

# **WE BUILD spa**

**RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA**

**II LOTTO FUNZIONALE ORSARA - BOVINO**

**MISCELE ESPLOSIVE IN SOTTERRANEO**

Relazione tecnica

**DOCUMENTO CONTRO LE ESPLOSIONI**

**GALLERIA HIRPINIA**

Dott. Ing. Andrea Lisardi



## Sommario

1	Premessa .....	4
2	Standard e norme di riferimento .....	5
2.1	Applicazione D.L. 81/2008 .....	5
2.2	Standard tecnici .....	6
2.3	Certificazione attrezzature.....	8
2.4	Conformità Ex per la TBM.....	9
3	Descrizione dell’opera .....	10
4	Principali caratteristiche del metano .....	15
4.1	Caratteristiche esplosivistiche della miscela metano-aria .....	15
4.2	Campo di infiammabilità .....	17
4.3	Influenza della temperatura.....	19
4.4	Influenza della pressione .....	20
4.5	Detonazione .....	21
4.6	Classificazione CAS .....	22
4.7	Sorgenti di innesco.....	23
4.8	Scintille ed hot-spot.....	24
4.8.1	Tipologia urti .....	24
4.8.2	Capacità di produzione delle scintille.....	25
5	Metodo valutativo adottato.....	26
6	Monitoraggio sondaggi 2021/2022.....	27
6.1	Metodologia misura .....	27
6.2	Impianto di perforazione.....	28
6.3	Risultati campagna.....	28
7	Dati storici sondaggi .....	34
8	Rappresentazione dati sondaggi .....	35
9	Elementi desunti da letteratura .....	44

9.1	Dati storici .....	44
9.2	Dati MISE e progetto ViDEPI .....	45
9.3	Gallerie recenti .....	47
10	Sintesi elementi contenuti nel PD .....	49
11	Geologia .....	52
12	Idrogeologia .....	67
13	Minimizzazione del rischio per lo scavo tradizionale .....	73
13.1	Classifica rischio metano imbocco Bari .....	73
13.2	Finestra F5 .....	74
13.3	Finestra F1 .....	77
13.4	Classifica rischio metano imbocco Napoli .....	82
14	Minimizzazione del rischio per lo scavo Meccanizzato .....	83
14.1	Classifica rischio metano .....	83
14.2	Criteri progettuali sistema di sicurezza TBM .....	89
14.3	Emissioni in TBM .....	90
14.3.1	Caratterizzazione delle sorgenti di emissione .....	90
14.3.2	Caratterizzazione emissioni in TBM .....	91
14.4	Implementazione NIR44 .....	92
14.4.1	Criteri generali .....	93
14.4.2	Compartimentazione TBM .....	94
14.5	Realizzazione By-pass .....	100

## 1 Premessa

In seguito all'incarico ricevuto dal "Società Consorzio BOVINO ORSARA AV" è stato redatto il presente documento contro le esplosioni mirato alla minimizzazione del rischio connesso alla presenza di miscele esplosive in sotterraneo generate da gas naturale per la realizzazione della galleria Orsara prevista nel II Lotto funzionale della Hirpinia-Orsara della tratta Napoli – Bari.

In funzione del metodo e della tecnologia è definito il sistema di sicurezza e gli apprestamenti necessari per la tutela, nel sotterraneo, delle maestranze contro il rischio della presenza di miscele esplosive.

Le soluzioni proposte sono correlate al livello di rischio associato ai modelli emissivi riconosciuti e definiti in funzione dell'interazione fra caratteristiche del cantiere sotterraneo (in termini di metodo e tecnologia di scavo, organizzazione del cantiere, geometria dell'opera) ed il massiccio.

Nel documento si individuano le modalità di emissioni attese in sotterraneo, le potenziali sorgenti di emissione a bordo macchina e si analizzano le condizioni ambientali, secondo le metodologie valutative specificate dagli standard ATEX e nelle NIR italiane, per poi procedere alla minimizzazione del rischio a cui sono esposti i lavoratori mediante l'introduzione di apprestamenti e procedure di sicurezza tra loro interconnesse:

- attrezzature ATEX ed inibizione delle sorgenti di innesco;
- sistema di ventilazione;
- monitoraggio;
- procedure di allarme ed emergenza
- compartimentazione del sotterraneo;
- procedure operative volte a disciplinare gli scenari esistenti.

Fano parte della presente relazione i seguenti allegati:

*Allegato 1 - GALLERIA HIRPINIA - REPORT MONITORAGGI SONDAGGI*

*Allegato 2 – GALLERIA HIRPINIA - SINTESI CLASSIFICA TECNICA ED APPRESTAMENTI – Rev 1 del 13/07/2022*

Nell'Allegato I sono contenuti tutti i report dei monitoraggi eseguiti durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici. Nei report è rappresentata la traccia del sondaggio sul profilo geologico di PD.

## 2 Standard e norme di riferimento.

### 2.1 Applicazione D.L. 81/2008

Il Titolo XI del D.Lgs. 81/2008 riguardante il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive introduce l'obbligo del Datore di Lavoro di eseguire una valutazione specifica del rischio legato alla possibile presenza di atmosfere esplosive (metano) in galleria, che sarà parte integrante del Documento di Valutazione dei Rischi.

Tale documento dovrà far parte del POS ed essere redatto preventivamente all'inizio delle attività di scavo. In esso sarà contenuto il dettaglio delle soluzioni tecniche individuate e necessarie per la minimizzazione del rischio.

Per il datore di lavoro vengono specificati, tra gli altri, i seguenti obblighi:

- adottare le misure tecniche e organizzative adeguate alla natura dell'attività (Art. 289, comma 1) e prevenire la formazione di atmosfere esplosive, evitarne l'innesco, attenuarne i danni (Art. 289, comma 2);
- valutare il rischio specifico derivante da atmosfere esplosive considerando la probabilità e la durata della presenza di atmosfere esplosive, la probabilità della presenza di inneschi e della loro efficacia, le caratteristiche dell'impianto, sostanze utilizzate, processo e loro possibili interazioni, e l'entità degli effetti prevedibili (Art. 290, comma 1). In questa valutazione devono essere considerati i luoghi che sono o possono essere in collegamento, tramite aperture, con quelli in cui possono formarsi atmosfere esplosive (Art. 290, comma 3);
- strutturare gli ambienti in modo da poter permettere di svolgere il lavoro in sicurezza e garantire un adeguato controllo dell'atmosfera (Art. 291);
- elaborare e tenere aggiornato un documento, denominato «Documento sulla Protezione contro le Esplosioni» (Art. 294, comma 1). Questo documento, parte integrante del Documento di Valutazione dei Rischi (Art. 294, comma 4), deve individuare e precisare i rischi di esplosione, contenere le misure di prevenzione per minimizzarli, in quante aree è stato "zonizzato" il sotterraneo, e per ciascuna di esse indicare i tipi di impianti e attrezzature utilizzabili e gli accorgimenti per il loro impiego in sicurezza (294, comma 2).

- Il Datore di Lavoro è quindi tenuto, nell'eseguire la valutazione dei rischi (D.Lgs. 81/08 art. 17 e 28), a individuare i rischi di esplosione e a redigere il Documento sulla Protezione contro le Esplosioni.

Si ritiene utile ricordare che le misure per la salute e sicurezza nei cantieri temporanei o mobili sono disciplinate anche per il Committente al Titolo IV Capo I del D.Lgs. 81/2008 con disposizioni specifiche. In particolare la gestione dello specifico rischio deve trovare adeguata trattazione nel PSC e nel fascicolo tecnico dell'Opera redatti dal "Coordinatore della Sicurezza in fase di Progettazione" (CSP), secondo quanto disciplinato dall'art. 91 comma 1 lettere a) e b) del D.Lgs. 81/08 e sue successive modifiche e integrazioni.

Il Committente dell'Opera o il Responsabile dei lavori devono tenere debitamente conto di tali rischi in fase di progettazione, secondo quanto disciplinato dall'art. 90 comma 2 del D.Lgs. 81/08" e sue successive modifiche e integrazioni.

## 2.2 Standard tecnici

I principali standard tecnici di riferimento sono:

- UNI EN 1127-2 – *“Atmosfere esplosive. Prevenzione dell'esplosione e protezione contro l'esplosione - Parte 2: Concetti fondamentali e metodologia per attività in miniera”*;
- UNI EN 1127-1 – *“Atmosfere esplosive - Prevenzione dell'esplosione e protezione contro l'esplosione - Parte 1: Concetti fondamentali e metodologia “*;
- UNI EN 16191 – *“Macchine per scavo di gallerie – Requisiti di sicurezza”*;
- Standard delle serie EN 80079.
- Standard delle serie EN 60079

Nel panorama nazionale con riferimento ai pericoli associati a scavi di gallerie di grande sezione (diametro equivalente superiore a 9 m) è possibile considerare le due linee guida:

- NIR44 - NOTA INTERREGIONALE “Scavo meccanizzato di grande sezione con TBM – EPB in terreni grisutosi. Grisù - TBM” Protocollo N° PG/2012/132178 del 28/05/2012;
- NIR28 - NOTA INTERREGIONALE “Grisou 3<sup>a</sup> edizione” Protocollo N° ASS/PRC/05/1141 del 13/01/2005, per lo scavo in tradizionale

Le NIR rappresentano un riferimento tecnico che definisce un approccio valutativo metodologico, individuando al contempo soluzioni tecniche tarate su TBM-EPB di grande diametro, NIR44, e per lo scavo tradizionale a piena sezione la NIR28. La classifica prevista nella NIR28 **non** può essere estesa al caso del meccanizzato, in quanto è definita in base al modello giacimentologico e alla tecnica di scavo. Nello stesso massiccio, le sorgenti di emissione e le modalità emissive in tradizionale sono radicalmente differenti da quelle del meccanizzato.

La EN 1127-2 è uno standard di tipo “A”, le NIR adottano le metodologie valutative di tale norma, equiparando lo scavo di gallerie alle miniere, a cui la EN1127-2 esplicitamente si riferisce.

Gli aspetti principali che devono essere considerati per la valutazione del rischio di atmosfere esplosive sono elencati nella norma EN 1127-2 (che richiama in alcune parti la EN 1127-1):

- individuare le caratteristiche chimiche e fisiche dell’atmosfera esplosiva;
- analizzare le proprietà del massiccio e caratterizzare la presenza di metano in formazione;
- considerare le modalità di lavoro, e quindi gli effetti dell'azione umana sul massiccio
- caratterizzare quindi la presenza di grisù in cantiere;
- considerare il grado di diluizione del sistema di ventilazione.

La minimizzazione del rischio deve essere ottenuta definendo soluzioni e sistemi finalizzati a:

- 1) evitare o ridurre atmosfere esplosive;
- 2) evitare qualsiasi possibile sorgente di accensione efficace;
- 3) disalimentare le apparecchiature contenenti una sorgente di accensione in presenza di una concentrazione esplosiva.

Applicando i concetti base della mitigazione del rischio connesso alla presenza di miscele esplosive, la NIR44 afferma che le soluzioni individuate devono applicare il principio secondo cui *in ciascuno dei volumi che compongono il sistema “scudo – backup – galleria” non possano coesistere nello spazio e nel tempo miscele esplosive e potenziali sorgenti di innesco.*

La EN 16191 è uno standard di tipo “C” fornisce prescrizioni dettagliate per la realizzazione delle macchine, “la norma si applica alle macchine per scavo meccanizzato di gallerie utilizzate per la costruzione di gallerie, pozzi e altri scavi sotterranei. La norma tratta tutti i pericoli significativi, le situazioni pericolose e gli eventi relativi a tali macchine quando utilizzate come previsto e in condizioni di utilizzo improprio che sono ragionevolmente prevedibili dal fabbricante”.

In questo standard sono indicati una serie di interventi necessari per la certificazione CE della macchina:

- Nel caso in cui sia prevista la presenza di atmosfere potenzialmente esplosive è imposta l’adozione anche della EN 80079-38, confermando l’adozione di standard dedicati alle miniere.
- Nel caso invece non sia prevista la presenza di atmosfere potenzialmente esplosive è comunque indicata l’adozione di apparati ATEX per i sistemi di emergenza e monitoraggio, per i circuiti di aspirazione e per tutti i sistemi che la valutazione del rischio richiede.

In linea con l’approccio metodologico generale, la EN 80079-38, che discende dalla EN 1127-2, prevede che le misure di protezione per le sorgenti di innesco debbano:

- a) minimizzare la probabilità che si verifichino sorgenti di innesco;
- b) minimizzare la probabilità che le sorgenti di innesco diventino efficaci;
- c) minimizzare la probabilità che l’atmosfera esplosiva raggiunga la sorgente di innesco.

Da quanto sopra emerge un quadro di generale forte coerenza negli approcci e soluzioni definiti dai diversi standard.

## 2.3 Certificazione attrezzature

Le attrezzature devono avere dichiarazione di conformità Ex di Gruppo I, (per sotterraneo).

Non è applicata la zonizzazione indicata dalla EN 1127-1, ma una suddivisione in volumi e condizioni del sotterraneo in base a quanto previsto nello standard EN 1127-2.

Questo approccio, che è adottato e descritto negli allegati A e B della NIR 28 ed esteso anche alla NIR 44, è anche previsto dalla EN 88079-38 richiamata dalla EN 19161.

Gli apparati ATEX dovranno rispondere ai requisiti dei seguenti standard,

- Conformità alla direttiva 2014/34/EU.



- Livello di protezione ATEX
  - **EX I M2 o Mb.** Gli apparati dotati di tale certificazione devono essere sezionati per presenza di atmosfere esplosive, concentrazione di gas metano in aria superiori al 4,4 % in volume.
  - **EX I M1 o Ma** migliorativo rispetto alla precedente, non è soggetto al sezionamento di cui sopra.
  - Il sistema di monitoraggio e la trasmissione del segnale interno/esterno deve essere **EX I M1 o Ma**.
- I cablaggi tra gli elementi del sistema devono essere effettuati secondo lo standard **EN 60079-14:2014+AC:2016** *Explosive atmospheres - Part 14: Electrical installations design, selection and erection*.

I dispositivi di sicurezza devono rispondere ai seguenti requisiti:

- **EX I M1 o Ma.**
  - Conformità **EN 50271:2018** *Electrical apparatus for the detection and measurement of combustible gases, toxic gases or oxygen - Requirements and tests for apparatus using software and/or digital technologies*, o in alternativa alla **IEC 61508-1:2010** o **CEI EN 50402** rispetto quantomeno a **SIL1**.
- i sensori di gas devono essere conformi allo standard **EN 60079-29-1:2016** *Explosive atmospheres - Part 29-1: Gas detectors - Performance requirements of detectors for flammable gases*.

Oltre alle citate norme specifiche per la tematica ATEX, sono valide e devono essere applicate tutte le norme generali per l'impiantistica elettrica per i luoghi in questione.

## 2.4 Conformità Ex per la TBM

Per la TBM, che può essere considerata anche un assieme, il costruttore può emettere una dichiarazione di conformità alla direttiva ATEX e apporre il marchio CE Ex.

In alternativa è possibile seguire l'approccio adottato dalla NIR44 che non richiede una conformità CE Ex, ma richiede apparati dotati di certificazione Ex I M2 in alcuni volumi del sotterraneo; la TBM è considerata come un assieme di cui non è richiesta la marcatura CE.

### 3 Descrizione dell'opera

Dall'analisi degli elaborati progettuali è possibile sintetizzare le seguenti informazioni.

Lo scavo sarà eseguito in meccanizzato per la quasi totalità della galleria di linea, fatta eccezione per le seguenti tratte:

1. doppia canna singolo binario fra le pk 41+453,13 e 41+607,77, per una lunghezza di 154,7 m, compresa tra l'imbocco lato Bari e le camere di lancio delle TBM
2. finestra costruttiva F5 con innesto alla pk 41+555;
3. pozzo in scavo dall'alto interasse dei binari da 12.5 a 6.5 m compreso fra le progressive 68+180,35 e 68+250,1 per una lunghezza di 69,75 m;
4. camerone in scavo dall'alto interasse binari da 6.5 a 5 m compreso fra le progressive 68+250,1 e 68+287,5 per una lunghezza di 37.4 m;
5. camerone con scavo a foro cieco interasse binari da 5 a 4 m fra le progressive 68+287,5 e 68+383,38 per una lunghezza di 95,88 m;
6. singola canna a doppio binario da progressiva 68+383,38 a 68+529,38 per una lunghezza di 146 m;
7. finestra F1 caratterizzata da un tracciato inizialmente obliquo rispetto l'asse galleria, per circa 1000 metri, dopodiché prosegue fra le carreggiate perfettamente parallelo per altri 650 metri che consentirà la realizzazione di un camerone di smontaggio delle TBM.

Lo scavo meccanizzato avrà la sezione tipo rappresentata Figura 1.

Il diametro nominale di scavo è stato individuato in 9.920 mm. Tale diametro potrà essere incrementato in funzione del materiale attraversato di 260 mm grazie alla predisposizione di rippers addizionali, sempre installati in apposti supporti già previsti. Inoltre la dotazione di dispositivi tipo copycutters, permette di operare una riprofilatura dello scavo sino ad un massimo di 60 mm radiali; quindi, raggiungendo un incremento complessivo di

190 mm rispetto alle dimensioni nominali della testa di scavo: il diametro di scavo cresce quindi a 10.300 mm.

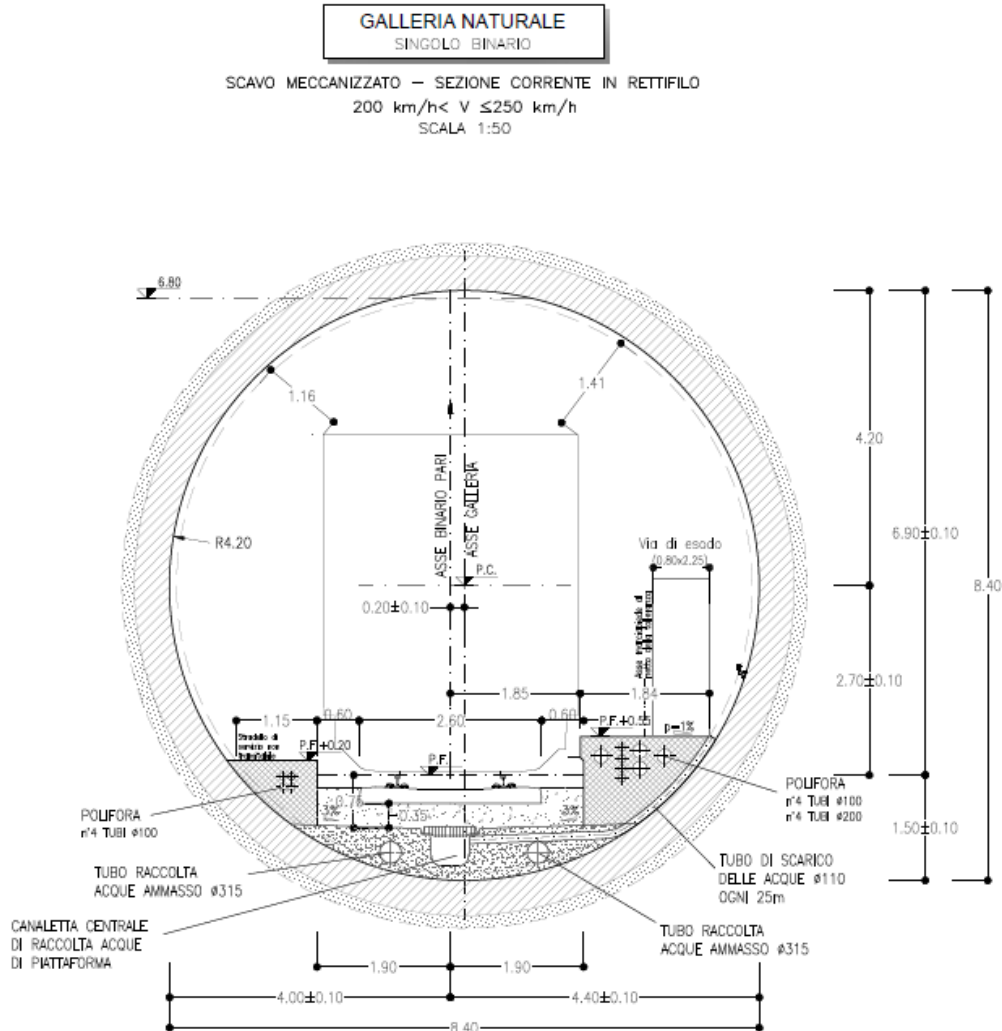


Figura 1

Il rivestimento definitivo della galleria presenta le seguenti caratteristiche salienti:

- raggio interno: 4,20 m;
- tipologia anello: universale;
- numero conci: 7+0;
- spessore conci: 0,5 m;
- lunghezza conci: 1,80 m;
- guarnizioni in EPDM integrate su ciascun concio per garantire la tenuta idraulica tra i giunti (sia longitudinali che radiali) e precaricate dal serraggio dei connettori;
- connessione tra anelli contigui mediante connettori longitudinali, asimmetrici

- bulloni trasversali in acciaio tra concii adiacenti.

Nella Figura 2 sono riportate le planimetrie dei due imbocchi, come rappresentate negli elaborati progettuali:

- Dall'imbocco lato Bari saranno eseguite due gallerie singolo binario, evidenziate in rosso in figura, con sezione di scavo policentrica con raggio di calotta e piedritti pari a 3,50 metri ed area libera di poco superiore a 52 m<sup>2</sup>.
- Il tratto in allargò sempre dall'imbocco lato Bari, avrà un sezione maggiore di circa 85 m<sup>2</sup>.
- Dall'imbocco lato Napoli è realizzata una galleria tradizionale, in rosso in figura, singola canna doppio binario con una sezione policentrica con raggio di calotta e piedritti pari a 5,40 metri ed area libera di poco superiore a 82 m<sup>2</sup>.

La finestra F5, sempre rappresentata nella Figura 2 verrà realizzata in tradizionale con scavo a piena sezione di circa 73 m<sup>2</sup>, con sezione di intradosso di circa 52 m<sup>2</sup>. La finestra F5 si sviluppa quasi perpendicolarmente alla galleria di linea per una lunghezza di 174 m.

La finestra F1 sarà realizzata in tradizionale, e prevede un tratto parallelo alle due carreggiate con l'esecuzione di by-pass e cameroni per lo smontaggio delle TBM. Il tratto adiacente alla linea è schematizzato nella Figura 3. Per una descrizione completa occorre far riferimento all'elaborato "GN02 - USCITA/ACCESSO DI EMERGENZA CARRABILE F1 - ELABORATI GENERALI - Relazione tecnico illustrativa finestra F1", file IF3A02EZZRGGN0200002A.

Nella Figura 4 è riportata la sezione di scavo del tratto compreso fra l'imbocco ed il primo by-pass. Le sezioni di scavo poi cambiano prevedendo ampi cameroni.

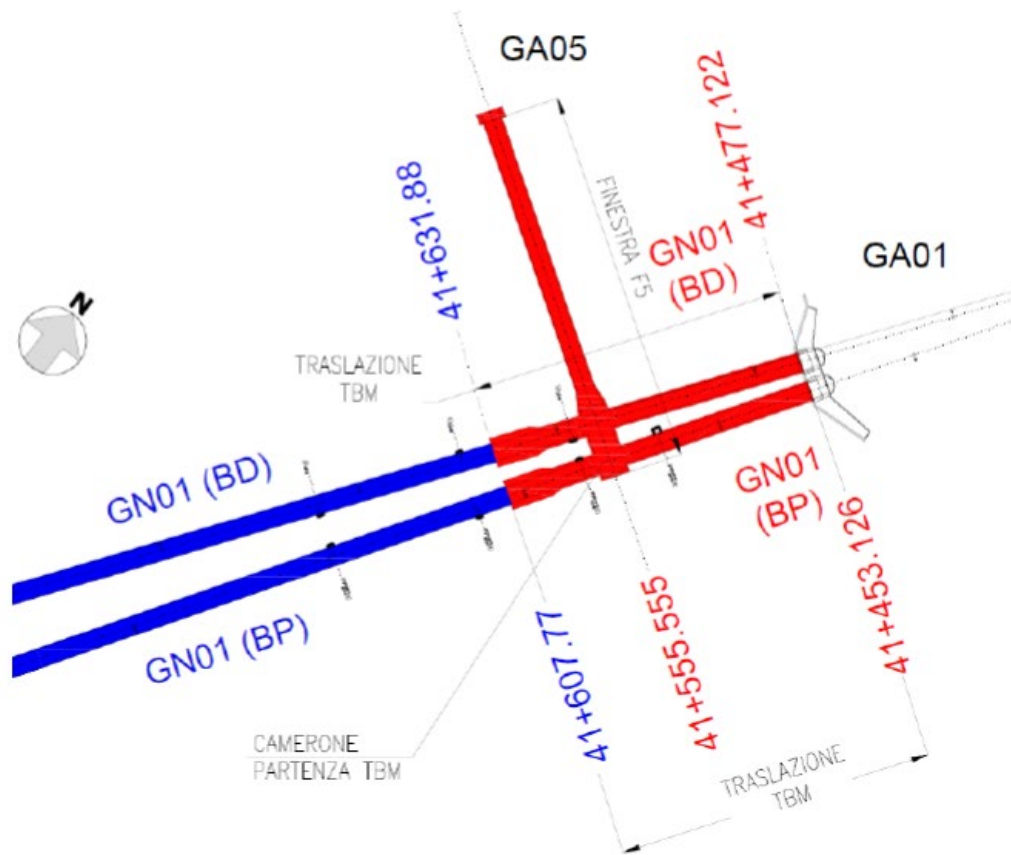


Figura 9-5. Layout partenza lato Bari (TBM in blu)

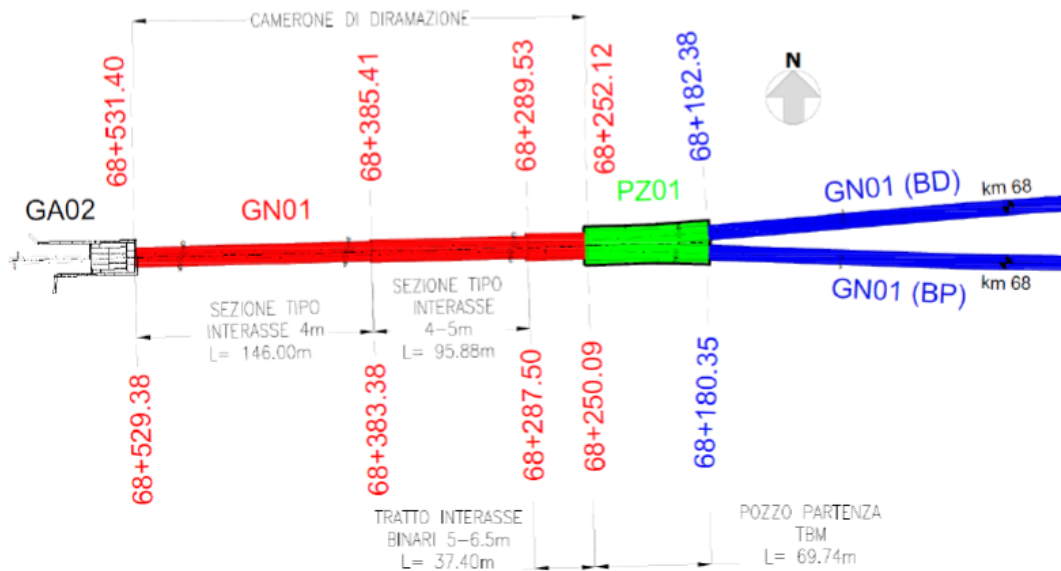


Figura 9-3. Layout partenza lato Napoli (TBM in blu)

Figura 2



Figura 9-4. Layout arrivo TBM al camerone di smontaggio (TBM in blu)

Figura 3

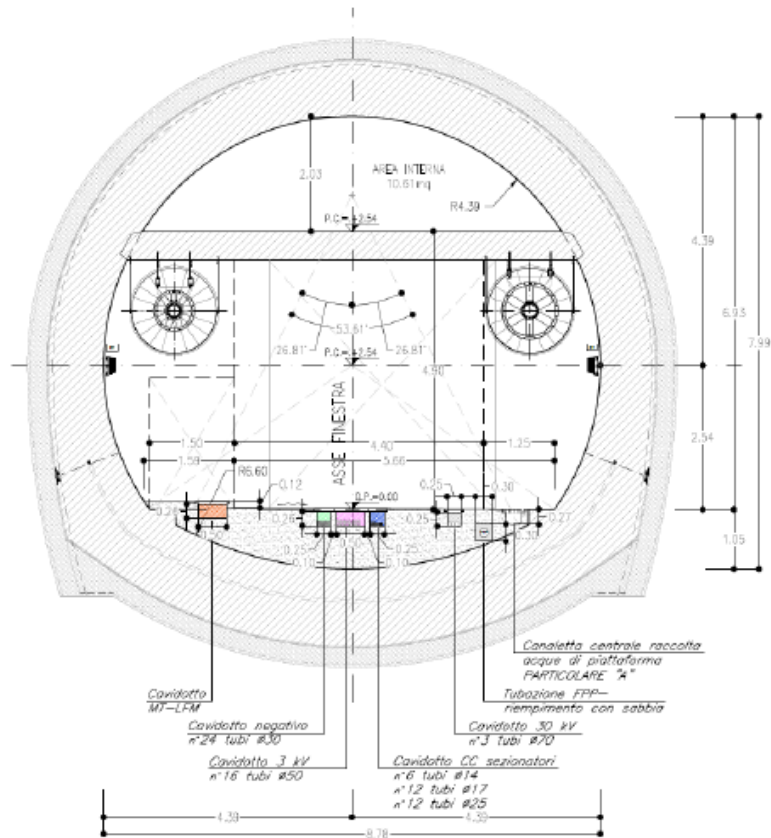


Figura 4

## 4 Principali caratteristiche del metano

La genesi del metano è generalmente ascritta alla degradazione della sostanza organica contenuta nelle rocce sedimentarie, per opera di microrganismi (metano microbico) o della temperatura (metano termogenico).

Anche in rocce ignee, può formarsi metano abiotico o abiogenico, che si produce indipendentemente dalla presenza di materia organica. Da tempo questo metano abiotico è noto nelle esalazioni vulcaniche, nei sistemi idrotermali e in microscopiche inclusioni nei minerali di alcune rocce, ed è prodotto da reazioni inorganiche, in genere sopra i 200°C.

Una delle principali caratteristiche del metano, oltre all'esplosività, è la sua grande mobilità nel sottosuolo. A valle della sua genesi, qualunque essa sia, il metano migra dalla roccia ove si è formato (roccia madre), attraverso formazioni permeabili fino ad accumularsi, anche a distanze notevoli, in volumi confinati detti trappole.

Relativamente alle problematiche connesse con lo scavo di opere civili è quindi importante, non solo individuare la presenza di possibili rocce madri, ma caratterizzare geologicamente le formazioni per verificare la possibile presenza di trappole o di vie di migrazione da serbatoi profondi. La presenza di faglie, ad esempio, può rappresentare una potenziale via di risalita da strutture profonde fino al piano campagna.

Sono note in letteratura manifestazioni superficiali di metano, ad esempio sotto forma di vulcanetti di fango, associate a sorgenti di acqua, che possono dal luogo a fiamme (note come fuochi fatui o perpetui).

### 4.1 Caratteristiche esplosivistiche della miscela metano-aria

I parametri fisici più importanti del metano, che risulta inodore, incolore, privo di sapore e di estrema mobilità, sono riportati nella Tabella 1 seguente:

Metano (CH <sub>4</sub> )	
Densità	
(kg/m <sup>3</sup> )	(relativa all'aria)
0,7168	0,5545
<b>Tabella 1 - Densità del metano</b>	

mentre quelli dell'aria in condizioni anidre e standard (pressione 101,33 kPa, temperatura 25°C) sono riassunti nella Tabella 2

Aria		
Gas	% in volume	% in peso
Azoto	78,09	75,55
Ossigeno	20,95	23,13
Anidride	0,03	0,05
Argon e gas rari	0,93	1,27
In pratica		
Azoto + altri gas	79	74,81
Ossigeno	21	23,19
Peso "molecolare"	28,97	
Densità (kg/m <sup>3</sup> )	1,2014	
<b>Tabella 2 Rapporti caratteristici dei gas presenti nell'aria.</b>		

La miscela metano-aria una volta formata può essere, se opportunamente innescata:

- **infiammabile**, ma non in grado di sostenere la combustione per un vasto campo di percentuali relative;
- **infiammabile con combustione** che si autosostiene (deflagrazione) con contenuti percentuali in volume di metano, in condizioni standard di pressione e temperatura, compresi tra il 5% ed il 15%, anche se in bibliografia sono riportati da diversi autori anche intervalli leggermente diversi. La percentuale stechiometrica per la completa combustione è di 9,48%. Per percentuali minori parte dell'ossigeno resta incombusto, mentre per percentuali superiori è il metano che non si consuma totalmente;



- **detonante** nel caso di miscela che, probabilmente, ha lo stesso intervallo di quella deflagrante.

## 4.2 Campo di infiammabilità

Il dominio di infiammabilità di una qualsiasi miscela può essere rappresentato sfruttando un diagramma di tipo triangolare, nel quale è possibile individuare una regione di infiammabilità al variare delle concentrazioni dei componenti puri: combustibile, comburente ed inerte.

Nel caso di una miscela composta da metano ossigeno e azoto, il diagramma triangolare di esplosività è quello rappresentato nella Figura 5.

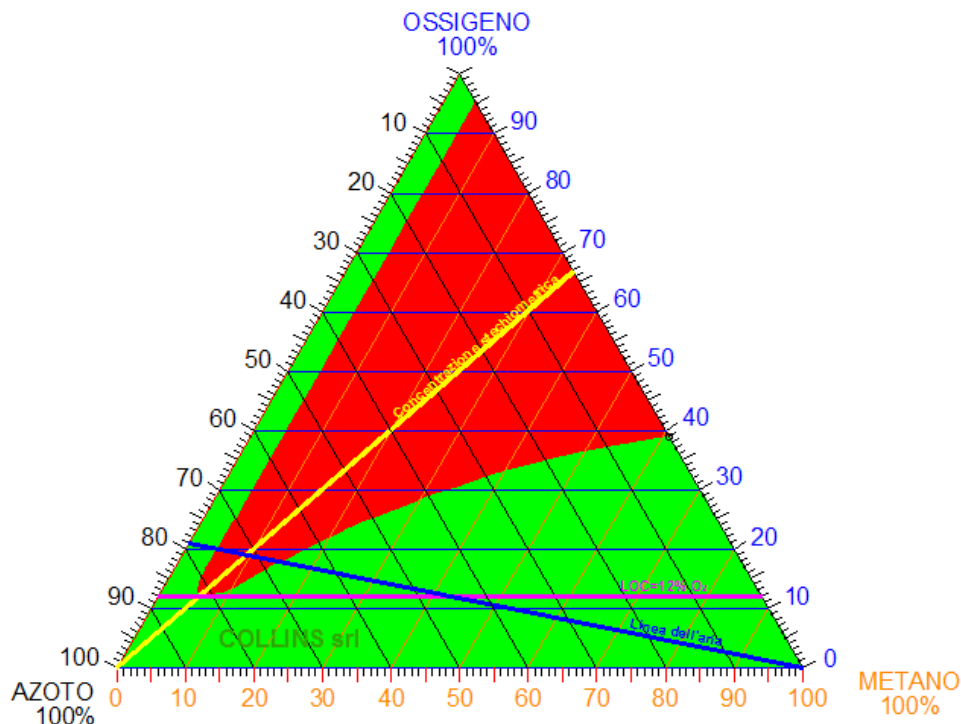


Figura 5 Diagramma triangolare di esplosività della miscela metano-ossigeno-azoto

Nella figura la linea viola rappresenta il LOC (Limiting Oxygen Concentration, ovvero la concentrazione limite di ossigeno al di sotto della quale non si verifica un'esplosione della miscela ovvero, la miscela non è in grado di generare una reazione che si auto sostenga e si propaghi all'insieme della miscela incombusta) pari al 12% di O<sub>2</sub> e in blu è rappresentata la linea dell'aria, ovvero il luogo dei punti delle concentrazioni di ossigeno e azoto al variare della concentrazione di metano in una miscela aria-metano.

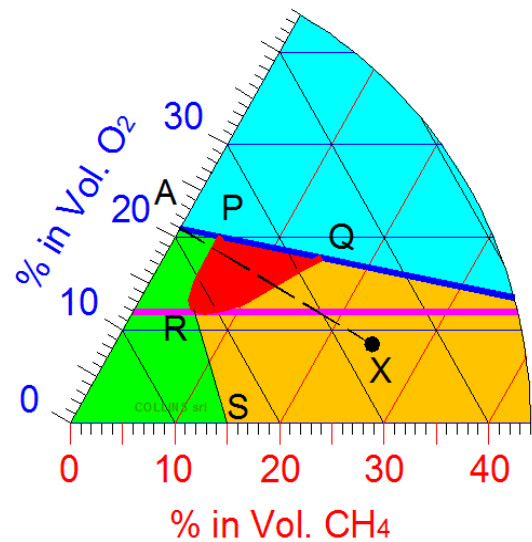


Figura 6 - Particolare del diagramma triangolare di esplosività

Per quanto concerne il mondo delle opere sotterranee il settore di interesse del diagramma è quello relativo al vertice in basso a sinistra riportato nelle seguenti Figura 6 e, in assi ortogonali, Figura 7.

Il diagramma riportato in Figura 7, triangolo di Coward (Coward-Jones – 1952), mette in vista il campo di infiammabilità o di deflagrazione della miscela metano-aria. Nella figura il punto A rappresenta l'aria priva di metano e con un contenuto percentuale di ossigeno pari a circa il 21%, la retta APQ definisce l'andamento delle percentuali di ossigeno quando all'aria si aggiunge metano con contenuti rappresentati dall'asse delle ascisse.

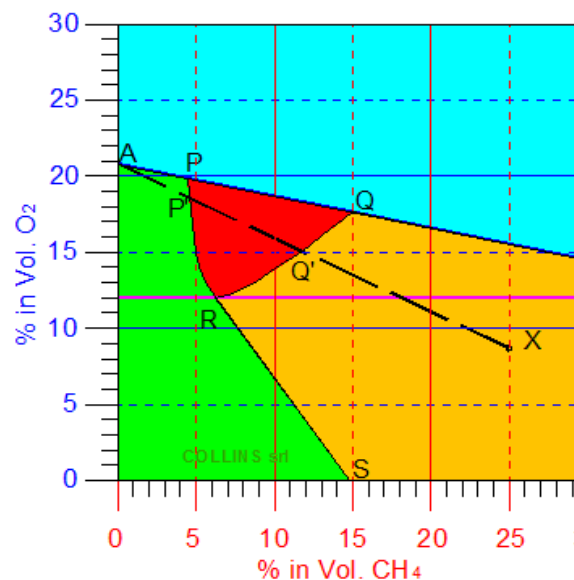


Figura 7: Campo di infiammabilità (triangolo di Coward) della miscela metano - aria (ossigeno + azoto).

Il segmento PQ individua il campo di infiammabilità, per la miscela metano aria, nel quale P rappresenta il limite inferiore, Q quello superiore relativamente al contenuto in metano.

La linea curva PR è il luogo dei limiti inferiori di infiammabilità, mentre la QR è il luogo dei limiti superiori. Il punto R rappresenta l'estremo inferiore del campo, nessuna miscela contenente ossigeno inferiore ad R può esplodere.

Il diagramma presenta quattro domini di interesse:

Quello rappresentato in celeste al di sopra della linea dell'aria, delimitato dalla retta passante per i punti A, P (o Q) e il 100% di Ossigeno. Chiaramente è una condizione che non potrà mai verificarsi; tutti i punti sovrastanti la linea APQ rappresentano miscele di metano, aria ed eccesso di ossigeno.

Quello compreso tra i punti PQR fino al 100% di metano, che rappresenta le miscele che possono esplodere se addizionate con aria.

Quello compreso nei punti APRS0 che rappresenta le miscele che non si incendiano neanche se miscelati con aria.

Quello compreso nei punti PQR che rappresenta il campo di infiammabilità per la miscela metano-aria. Le linee PR e QR rappresentano rispettivamente i luoghi dei limiti inferiori e superiori di esplosività della miscela metano-aria.

Il diagramma, indubbiamente complesso, è utile in caso si debba valutare il rischio di fare affluire aria sana in zone isolate in seguito ad infiammazione di grisou o nel caso si debbano diluire "tappi" di metano al fronte con ventilazione premente.

Osservando la figura si nota che il punto X, che rappresenta le condizioni di una zona ricca di metano, ma povera di ossigeno, si sposta, una volta afflitta l'aria di ventilazione, verso il punto A seguendo la retta xA; l'intersezione con il campo di infiammabilità evidenziato in rosso, fornisce due punti P' e Q' rispettivamente limite inferiore e superiore del nuovo campo di infiammabilità caratterizzato da carenza di ossigeno rispetto a quello definito dai punti P e Q.

### 4.3 Influenza della temperatura

La temperatura influenza notevolmente le caratteristiche di infiammabilità, in quanto agisce sulla tensione di vapore, sulla velocità di reazione, sui limiti di infiammabilità, sulla velocità di propagazione della fiamma, sulla tendenza all'autoaccensione, ecc.

Un aumento di temperatura produce un allargamento dell'intervallo di infiammabilità, cioè il limite inferiore si abbassa mentre quello superiore si alza. I limiti variano allargando l'intervallo di infiammabilità all'aumentare della temperatura.

#### 4.4 Influenza della pressione

Quando la pressione ambiente diminuisce i limiti di infiammabilità tendono a restringersi sino a coincidere in un valore minimo, al diminuire ancora della pressione la miscela metano-aria non è più infiammabile.

Andamento opposto si ha nel caso di pressione crescente; sino a valori di qualche atmosfera la variazione non è notevole, mentre per pressioni molto più elevate si nota un aumento elevato del limite superiore, restando più contenuta la variazione di quello inferiore come evidenziato nella Figura 9 e tabella Tabella 3 (dovuta a Bone).

In tutti i casi come limiti di sicurezza progettuali è utile riferirsi ai valori già richiamati di infiammabilità validi per condizioni standard di temperatura e pressione. In queste condizioni la temperatura di autoinnesco è di circa 537 °C.

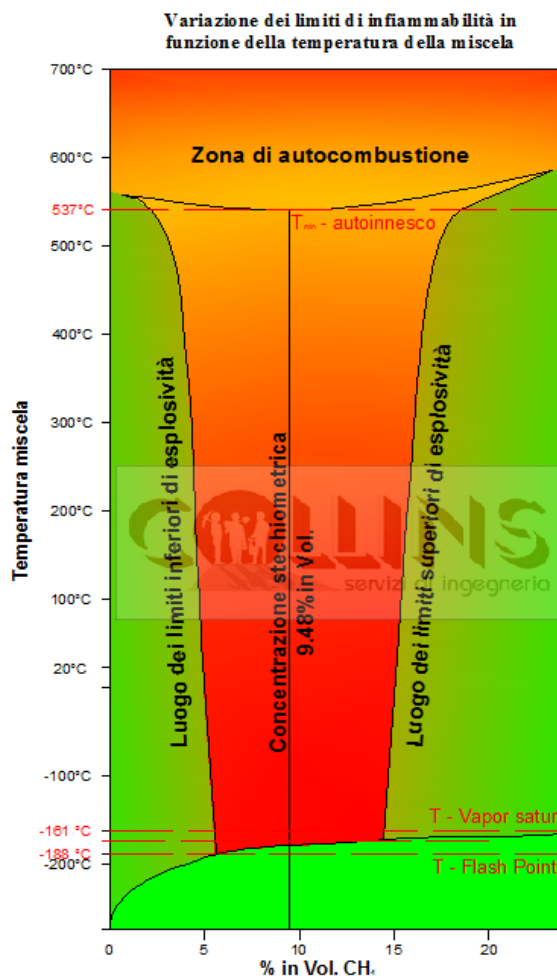


Figura 8

#### Limiti di infiammabilità Vs Pressione

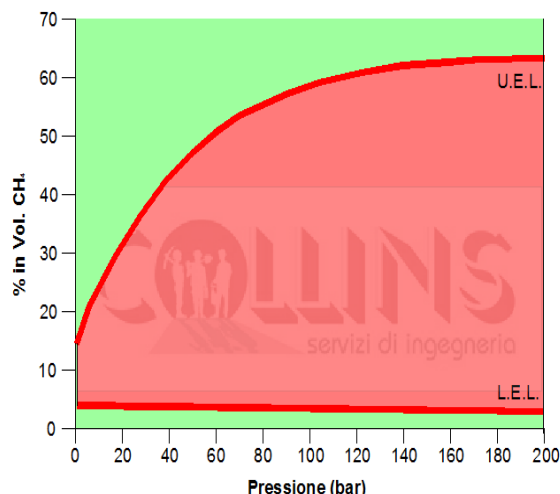


Figura 9 - Variabilità dei limiti di infiammabilità della miscela metano-aria in funzione della pressione. Il limite inferiore rimane pressoché costante.

Pressione (Atm)	10	50	124
Limiti infiammabilità	5,9-17,2	5,7-29,5	5,7-45,5
Tabella 3			

## 4.5 Detonazione

Sin dalle prime esperienze “pionieristiche” di Mallard e le Chatelier, Berthelot-Vielle è stata osservata una transizione tra deflagrazione e detonazione nelle combustioni di miscele metano-aria, metano-ossigeno.

I due regimi sono molto diversi sia nel meccanismo di propagazione, sia negli effetti indotti sull’ambiente circostante, molto più devastanti nel caso della detonazione.

Senza richiamare la differenza tra le due fenomenologie, ai nostri scopi, è utile soltanto richiamare la possibilità evidenziata nella Figura 10, che consente di affermare che il “trend” delle aree di detonabilità è tale che è da attendersi, salvo le dovute cautele, per volumi di miscela elevati una sostanziale coincidenza tra area di infiammabilità e area di detonabilità.

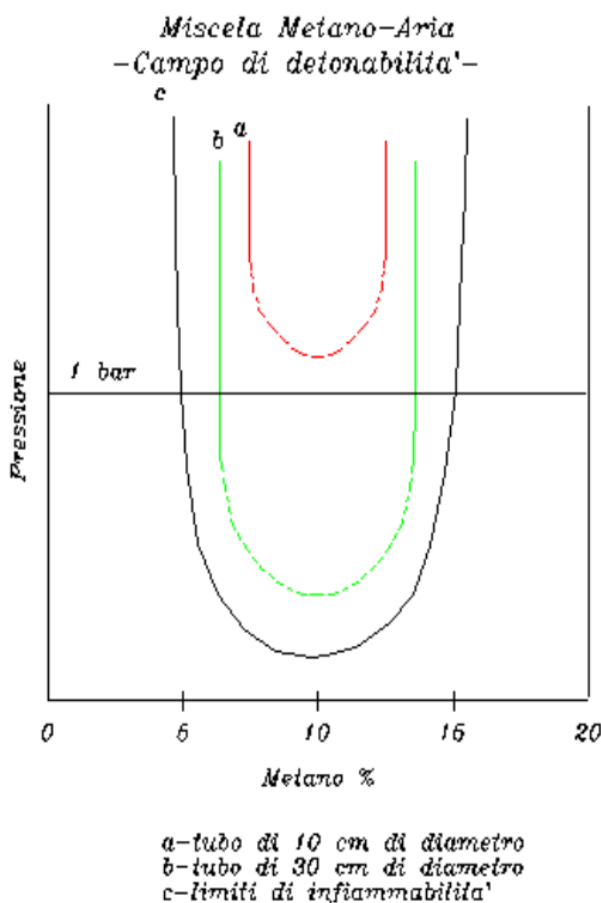


Figura 10 - Campi di detonabilità della miscela grisutosa, in funzione della pressione ambiente. Dato l’andamento è probabile che per volumi elevati di miscela i limiti di detonabilità coincidano con quelli di infiammabilità.

## 4.6 Classificazione CAS

Le caratteristiche chimico-fisiche, riportate Tabella 4, possono anche essere ricavate dalla definizione CAS, per gas naturale, secondo la definizione CAS.

Tabella 4

<i>SOSTANZE INFIAMMABILI</i>			<i>Gas naturale (12)</i>
<i>Numero di identificazione CAS</i>			<i>68410-63-9</i>
<i>Temperatura d'infiammabilità</i>	$T_i$	°C	<i>&lt; 0</i>
<i>Densità relativa all'aria del gas o vapore</i>			<i>0,5 - 0,65</i>
<i>Coefficiente di diffusione</i>	$C_d$	$m^2/h$	<i>0,09</i>
<i>Rapporto tra i calori specifici</i>	$\gamma (C_p/C_v)$		<i>1,31</i>
<i>Calore latente di evaporiz. alla <math>T_b</math></i>	$C_{lv}$	J/kg	<i>5,10 □□105</i>
<i>Massa molare</i>	$M$	kg/kmol	<i>17,85 - 13,734</i>
<i>Limiti di esplosibilità in aria</i>	<i>Inf.</i>	% vol.	<i>3,93 - 6,6</i>
	<i>Sup.</i>	% vol.	<i>13,20 - 17,5</i>
<i>Temperatura di ebollizione</i>	$T_b$	°C	<i>-185</i>
<i>Temperatura di accensione</i>	$T_{acc}$	°C	<i>482</i>
<i>Gruppo e Classe di temperatura</i>			<i>IIAT1</i>

Il gas naturale considerato ha il seguente contenuto percentuale in volume di idrocarburi:

CH <sub>4</sub> %	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> %	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> %	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> %	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> %	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> %
79 ÷ 99,6	0,01 ÷ 10	tracce ÷ 2,35	tracce ÷ □1,35	tracce ÷ □0,4	tracce ÷ 0,15

la parte restante è costituita da gas inerti.

## 4.7 Sorgenti di innesco

Le principali sorgenti di innesco che devono essere esaminate sono definite nella EN 1127-2 e confermate dalla letteratura internazionale:

- superfici calde;
- fiamme o gas caldi, particelle incandescenti;
- scintille di origine meccanica (es. attrito, urto, abrasione, ecc.), comprese quelle provenienti dalle attrezzature di lavoro (es. cacciaviti, chiavi, martelli, seghe, mole, saldatrici, ecc.);
- impianti elettrici (archi, scintille o temperature elevate);
- correnti elettriche vaganti e di protezione catodica;
- cariche elettrostatiche;
- fulmini;
- campi elettromagnetici con frequenza tra 9 kHz e 300 GHz;
- onde elettromagnetiche a radiofrequenza da 300 GHz a  $3 \cdot 10^6$  GHz o con lunghezza d'onda da 1000  $\mu\text{m}$  a 0,1  $\mu\text{m}$  (campo spettrale ottico);
- radiazioni ionizzanti (es. raggi X);
- ultrasuoni;
- compressioni adiabatiche, onde d'urto;
- reazioni chimiche (reazioni esotermiche), compresa l'autocombustione di polveri;
- ecc.

Tra le più comuni cause d'innesco, presenti nelle gallerie, possono elencarsi:

- incendi,
- mezzi meccanici con motori termici,
- motori elettrici,
- impianti elettrici
- urti di oggetti proiettati,
- frizione di parti in movimento,
- urti di utensili (nelle manutenzioni),

- metalli ad alta temperatura.
- Contatto degli utensili di scavo con il con la roccia.

In letteratura non sono sottolineate altre cause, quali ad esempio la compressione adiabatica della miscela grisutosa, salvo nel Seguiti 1969, che scrive: “.. la compressione prodotta dall’esplosione [delle volate (N.d.A.)] favorisce l’infiammazione del grisou; si può così scendere alla temperatura di infiammazione di 500 °C (minima) per effetto della compressione adiabatica di una miscela al 7-8% di CH<sub>4</sub>.”.

E’ da sottolineare che le possibili sorgenti d’innesco occorre che abbiano alcune caratteristiche di energia e di durata minimali, funzione del tipo di miscela e delle condizioni ambientali.

Nella Figura 11, ad esempio, è messo in vista l’andamento in funzione della percentuale di metano della energia di soglia di una scarica elettrica necessaria all’innesco; il “trend” evidenzia come la miscela stechiometrica sia quella che presenta una soglia minore e conseguentemente il maggiore livello di rischio.

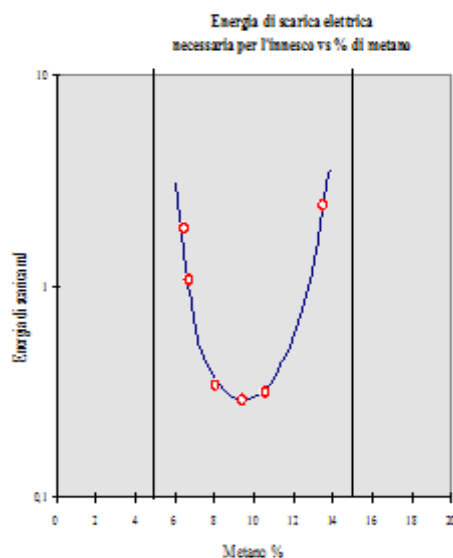


Figura 11 - Andamento della energia di scarica elettrica, in mJ, necessaria per innescare il grisou. L’andamento presenta un minimo in corrispondenza della concentrazione stechiometrica che risulta pertanto la più rischiosa.

## 4.8 Scintille ed hot-spot

### 4.8.1 Tipologia urti

Le sorgenti d’innesco che derivano da urti si riferiscono all’interazione di due mezzi fondamentali, roccia e metallo, e quindi alle seguenti combinazioni:

- metallo – roccia
- metallo – cls,
- roccia – cls,
- metallo – metallo.



Esse possono essere costituite sia da scintille, sia da superfici del materiale molto localizzate e ad alta temperatura (hot-spot).

La trasformazione dell'energia d'urto in calore, avviene, in generale, quando le sollecitazioni indotte hanno una elevata componente tangenziale e quindi quando l'energia dissipata per attrito è alta rispetto alla energia legata alla componente verticale, che è trasformata soprattutto in deformazioni plastiche; mentre la possibilità di raggiungere una temperatura elevata dipende da una parte da un'elevata tenacità del mezzo alle alte temperature, dall'altra dalle caratteristiche fisiche del materiale.

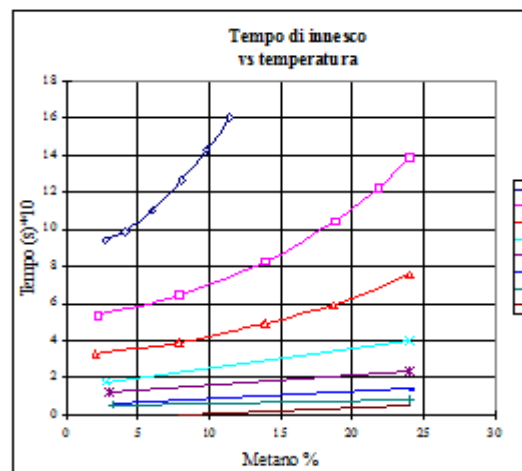


Figura 12: Grafico, tratto da Naylor e Wheeler, che lega la temperatura di innesco della miscela metano-aria ed il tempo di induzione in funzione di diverse concentrazioni di metano.

L'estensione della superficie della sorgente d'innesco dipende dal tipo d'urto (impatto normale o attritivo) dall'energia rilasciata, dal grado e tipo d'usura dell'oggetto, dal tipo e dimensione dell'oggetto, dal tipo di materiale, dalla granulometria e dai minerali delle rocce coinvolte.

Il tempo di persistenza, dipende dalla conducibilità termica dei mezzi a contatto con la sorgente, dalla mobilità o meno della sorgente e dalla sua temperatura e dimensione areale.

#### 4.8.2 Capacità di produzione delle scintille

Nei metalli, l'attitudine a produrre scintille dipende principalmente dalla durezza, dalle caratteristiche meccaniche, dall'energia dell'urto e dall'angolo d'impatto.

Infatti, se il metallo è tenero, la possibilità è notevolmente impedita, sia nel caso d'urti con prevalente componente a compressione, al seguito delle deformazioni elasto-plastiche conseguenti, che non permettono il distacco delle particelle, sia in presenza di una forte componente tangenziale, perché si depositerà sulla superficie una striscia di materiale.

Conseguentemente, ad esempio, risulta che nelle leghe leggere gli urti più rischiosi sono quelli che avvengono con un angolo compreso tra 35° e 55°.

Per contro, nei metalli duri, sono per lo più gli urti abrasivi, e quindi con una forte componente tangenziale, che producono la maggior quantità di scintille, mentre, in quelli molto duri, come il carburo di tungsteno, è necessaria una grande energia d'urto per scalfirli.

Un altro fattore che influisce sulla capacità di produzione delle scintille è la ruggine o la presenza di una rugosità superficiale. Le superfici lisce e levigate non facilitano il distacco di particelle

## 5 Metodo valutativo adottato

Il percorso valutativo per la definizione della classifica tecnica, rappresentato nella Figura 13 deve considerare l'interazione fra tecnica e tecnologia di scavo ed il massiccio. L'analisi, degli elementi geologici di conoscenza ottenuti dai dati bibliografici e dalle campagne di indagini eseguite, deve essere finalizzata a formulare una ragionevole previsione sulla presenza di metano nel sottosuolo, individuando trappole, serbatoi e/o vie di comunicazione preferenziale fra questi ed il cavo. In funzione anche della complessità della condizione geologica, il peso delle diverse informazioni varia.

Una volta prevista la presenza di metano nel sottosuolo occorre correlarla con le tecniche utilizzate per lo scavo e gli effetti che questo induce nel massiccio stesso. Il risultato sarà la formulazione di ipotesi sulle modalità delle emissioni attese in galleria nel corso degli scavi.

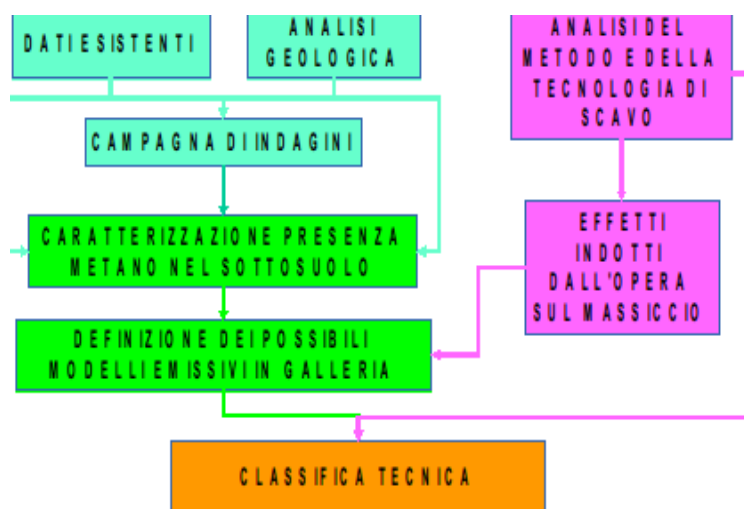


Figura 13

Queste saranno fortemente influenzate dalla tecnica e tecnologia di scavo, e diversificate all'interno di uno stesso sotterraneo in funzione delle attività e fasi realizzative. Occorre definire se le sorgenti individuate siano di tipo continuo o dovute a malfunzionamenti e guasti e infine associare ai volumi la condizione pericolosa, 1 o 2.

L'approccio utilizzato per la definizione delle emissioni è quello definito dalle NIR e dalla EN 1127-2, valida per il sotterraneo.

## 6 Monitoraggio sondaggi 2021/2022

### 6.1 Metodologia misura

Le attività di monitoraggio si sono svolte con tre metodologie differenti

1. Monitoraggio continuo dell'atmosfera nell'intorno della bocca del foro.

In prossimità della bocca del foro è posizionato una sonda di captazione dell'atmosfera collegata allo strumento di misura e registrazione dotato di pompa di aspirazione e filtro acqua e impurità. Questo tipo di misura è fortemente influenzata dalle condizioni climatiche, in particolare dal vento. È lecito ritenere che il metodo permetta di rilevare tempestivamente solo emissioni caratterizzate da una portata e pressione non trascurabili. Gli strumenti di misura utilizzati hanno una sensibilità di 1 % LEL ed un fondo scala strumentale di 100% LEL, pari a 4,4 % in volume.

2. Prelievo di campioni per esami di laboratorio.

Il fluido di perforazione è prelevato in appositi contenitori, che vengono chiusi ermeticamente e trasportati al laboratorio per le analisi dedicate alla determinazione della concentrazione del gas disciolto.

3. Misura speditiva in campo sui fanghi di perforazione

Il fluido di perforazione è prelevato in contenitori da campo riempiti per circa metà. A valle di un energico scotimento è misurata la concentrazione del metano nello spazio di testa. Tale metodo fornisce una misura qualitativa sulla presenza di gas contenuto nei fluidi. Le misure sono effettuate dal personale Collins quando presente sul foro e registrate.

4. misure ad opera di tecnico specializzato eseguite durante le fasi di:

- inizio perforazione
- cambio asta
- fine perforazione

## 6.2 Impianto di perforazione

L'impianto di perforazione utilizzato ha previsto un circuito idraulico con un fluido di perforazione (acqua con polimeri) che pompato da una vasca di accumulo, attraversa l'interno delle aste fino al carotiere o utensile di perforazione e successivamente, carico di detriti, risale passando attraverso una prima intercapedine costituita dall'estradosso delle aste e la roccia, un'eventuale seconda intercapedine, tra l'estradosso delle aste e l'intradosso del rivestimento, tracimando dal boccaforo è raccolto in una vasca di sedimentazione. Dalla vasca di sedimentazione parte del fluido è prelevato, miscelato con acqua presente nella vasca di accumulo e pompato nuovamente nelle aste di perforazione.

## 6.3 Risultati campagna

La descrizione dettagliata degli esiti della campagna di monitoraggio è affrontata nei report redatti per i singoli sondaggi raccolti nell'Allegato 1.

Nella Tabella 5 è riportata una sintesi degli esiti della campagna di monitoraggio.

L'analisi dei dati permette di riconoscere che:

- la presenza di metano disciolto nel fluido di perforazione è presente in molti sondaggi. Tale dato è correlabile sia alla presenza di falde contenenti metano disciolto, sia alla presenza di gas metano libero in formazione che entra in contatto con il fluido di perforazione. Considerando le modalità operative e l'uso di fluidi di perforazione arricchiti di polimeri, che generano il noto skin effect nell'intorno del foro riducendone la permeabilità, la presenza di concentrazione di metano nel fluido deve essere debitamente considerata.
- Sono state riscontrate emissioni di metano con portata tale da generare miscele esplosive nell'intorno della bocca del foro, alcune delle quali caratterizzate da pressione significativa.

Tabella 5

TRATTA HIRPINIA ORSARA										
Sondaggio	Profondità totale foro [m]	Data inizio	Data fine	Concentrazione max rilevata CH <sub>4</sub> [%LEL] misure manuali		Annotazioni eventi particolari	Analisi laboratorio campioni fluido			
				Speditiva	Boccaforo		Profondità foro [m]	CH <sub>4</sub> [mg/l]	H <sub>2</sub> S [mg/l]	CO <sub>2</sub> [mg/l]
S6	210	15/01/2022	05/02/2022	>100 %LEL	14 %LEL	Alla profondità di circa 56 m rilevata, in misura speditiva, concentrazioni di CO di 546 ppm. Rilevato CH <sub>4</sub> a fondo scala in misure speditive alle profondità di 200 e 202 m. La massima concentrazione rilevata a boccaforo di CH <sub>4</sub> è stata 14 % LEL alla profondità di 191 m.	170	< 0,05	< 0,05	< 10
							180,5	0,13	< 0,05	< 10
							189	0,13	< 0,05	< 10
							200	0,15	< 0,05	< 10
							209	0,21	< 0,05	< 10
S7new	250	26/01/2022	23/03/2022	>100 %LEL	>100 %LEL	in più occasioni si sono verificati eventi emissivi con CH <sub>4</sub> in pressione. Le misure speditive hanno rilevato CH <sub>4</sub> in concentrazioni superiori al 100 %LEL alle profondità di: 60 m, in maniera discontinua tra 100 e 130 m, in maniera pressochè continua tra i 145 ed i 218 metri, e dai 238 m a fine foro. Le misure MANUALI effettuate a boccaforo hanno rilevato CH <sub>4</sub> in concentrazioni superiori al 100 %LEL alle profondità di: 103 - 104 m, in quasi tutte le misure effettuate tra i 145 ed i 180 metri, a 216, 222 e 238 metri.	209	< 0,05	< 0,05	< 10
							218	26,1	< 0,05	< 10
							230	10,4	< 0,05	< 10
							240	0,29	< 0,05	< 10
							250	10,7	< 0,05	< 10

S8	/	/	/	>100 %LEL	>100 %LEL	Foro non monitorato da personale collins; il personale presente alle operazioni di perforazione riferisce che in più occasioni si sono verificati eventi emissivi con CH <sub>4</sub> in pressione. In una occasione il personale Collins si è recato sul foro eseguendo una misura a boccaforo e speditiva rilevando concentrazioni di CH <sub>4</sub> oltre al fondo scala strumentale.				
S9	180	04/12/2021	23/12/2021	>100 %LEL	>100 %LEL	le maggiori concentrazioni si sono rilevate alle profondità di 104 m e 132m	142	< 0,05	< 0,05	< 10
							151	< 0,05	< 0,05	< 10
							156	< 0,05	< 0,05	< 10
							170	4,3	< 0,05	< 10
							180	< 0,05	< 0,05	< 10
S12	225	03/11/2021	21/12/2021	>100 %LEL	>100 %LEL	Tra le profondità di 90 e 95 m si sono osservati degli eventi emissivi con CH <sub>4</sub> in pressione rilevato a fondo scala ad oltre 1 m dalla bocca del foro in particolare alla profondità di 90 m. Il fondo scala strumentale è stato rilevato a bocca foro anche alle profondità di 126 e 127 metri. Le misure speditive hanno rilevato valori oltre i 100 %LEL alla profondità di 90 m e valori oltre i 90 % LEL a circa 155m.	184	0,53	< 0,05	< 10
							194,5	0,12	< 0,05	< 10
							205	0,65	< 0,05	< 10
							214,5	1,1	< 0,05	< 10
							225	< 0,05	< 0,05	< 10
S14	130	11/11/2021	25/11/2021	3 %LEL	0 %LEL	A partire dalla profondità di circa 85 metri, durante la fase di scavo in carotaggio continuo, e fino alla quota di fine perforazione tutte le misure speditive hanno rilevato la presenza di CO in concentrazioni variabili con valore massimo di 390 ppm alla profondità di 124 metri circa.	90	3,4	< 0,05	< 10
							100	5,6	< 0,05	< 10
							110	1,6	< 0,05	< 10
							120	< 0,05	< 0,05	< 10
							129	4,2	< 0,05	< 10

S19	185	29/12/2021	21/01/2022	>100 %LEL	0 %LEL	alla profondità di 172 m, in misura speditiva, si sono rilevate cocentrazioni di CH <sub>4</sub> e di CO superiori al fondo scala strumentale (CO>2000ppm) ed H <sub>2</sub> S=15ppm	145	< 0,05	< 0,05	< 10
							155	< 0,05	< 0,05	< 10
							165	< 0,05	< 0,05	< 10
							175,5	0,05	< 0,05	< 10
							184,5	0,10	< 0,05	< 10
S21	45 previsti realizzati 15	11/11/2021	11/11/2021	>100 %LEL	>100 %LEL	Al raggiungimento della profondità di 15 metri si è verificato un evento emissivo di CH <sub>4</sub> in pressione con espulsione del fluido di perforazione, gorgoglio all'interno del foro e concentrazioni di CH <sub>4</sub> in aria a fondo scala strumentale rilevati ad oltre 1 m dalla bocca del foro. Arrestata la perforazione, monitorato il foro nei giorni successivi rilevando presenza di metano in aria a circa 1 metro dalla bocca del foro a f.s. strumentale.	/	/	/	/
S22	60	15/11/2021	18/11/2021	>100 %LEL	>100 %LEL	Dalla profondità di 11,5 m e fino alla profondità di 60 m, quota di termine del foro, è stata rilevata presenza di CH <sub>4</sub> nella maggior parte delle misure speditive ed a boccaforo. Alle profondità di 12,5 m e 27 m è stata rilevato CH <sub>4</sub> in concentrazioni superiori al fondo scala strumentale ed è stato effettuato un lavaggio del foro per continuare la perforazione. Concentrazioni di CH <sub>4</sub> > 100%LEL sono state rilevate anche alla profondità di 53 m.	12	< 0,05	< 0,05	< 10
							20	0,13	< 0,05	< 10
							30	< 0,05	< 0,05	< 10
							41	1,03	< 0,05	< 10
							52	0,24	< 0,05	< 10
							60	0,66	< 0,05	< 10

S3	220	09/02/2022	09/03/2022	0 %LEL	0 %LEL	Nessuna delle misure effettuate a boccaforo ha rilevato la presenza di alcuno dei gas monitorati superiore alla sensibilità strumentale. Le misure eseguite all'interno delle aste di perforazione e le misure speditive hanno rilevato la presenza di CO in concentrazioni variabili dalla profondità di 6,5 m fino alla quota di 220 m di fine foro. Le concentrazioni di CO hanno superato i 100 ppm alle profondità di: 19,5, 20, 30 e 115 metri.	181	< 0,05	< 0,05	< 10
							190	< 0,05	< 0,05	< 10
							200	< 0,05	< 0,05	< 10
							209	0,09	< 0,05	< 10
							220	< 0,05	< 0,05	< 10
S11	195	16/03/2022	02/04/2022	50 %LEL	0 %LEL	A partire dalla profondità di 87 m le misure speditive hanno rilevato concentrazioni di CH <sub>4</sub> superiori alla sensibilità strumentale con valori di circa 5 %LEL. Alla profondità di 103 m le concentrazioni di CH <sub>4</sub> hanno cominciato ad aumentare raggiungendo la concentrazione massima di 50 %LEL alla quota di 131 m. alla stessa quota è stata rilevata la concentrazione di 134 ppm di CO.	155	8,9	< 0,05	< 10
							165	0,21	< 0,05	< 10
							175	< 0,05	< 0,05	< 10
							185	0,37	< 0,05	< 10
							195	0,22	< 0,05	< 10
S17	200	28/03/2022	12/04/2022	7 %LEL	0 %LEL	La presenza di CH <sub>4</sub> è stata rilevata a partire dalla profondità di 182 m con concentrazioni massime, rilevate con misure speditive, di 7 %LEL. Alla quota di 182 m è stata rilevata anche la presenza di CO pari a 107 ppm.	160	0,07	< 0,05	< 10
							170	< 0,05	< 0,05	< 10
							180	0,16	< 0,05	< 10
							190	0,22	< 0,05	< 10
							200	1,3	< 0,05	< 10



S18	105	28/04/2022	03/05/2022	>100 %LEL	>100 %LEL	Concentrazioni di CH <sub>4</sub> superiori alla sensibilità strumentale si sono rilevate a partire dalla profondità di 65 m. In tre occasioni, alle profondità di 88 m, 91 m e 99 m si sono verificati eventi emissivi a boccaforo della durata di pochi minuti con metano in pressione.	65	0,15	< 0,05	< 10
							75	2,3	< 0,05	< 10
							85	2,1	< 0,05	< 10
							95	0,34	< 0,05	< 10
							105	0,13	< 0,05	< 10

## 7 Dati storici sondaggi

Una sintesi dei dati ottenuti dai monitoraggi eseguiti durante la fase di PD sono riportati nella seguente Tabella 6.

Sondaggio	Anno	Pk-asse	Profondità della manifestazione gassosa [m da p.c.]	Formazione geologica	Note
IO-S4	2017	47+552	160	FAE	Risalita di acque in pressione
IF16G07	2018-19	50+015	137--147.5--218-- 239.6--250--259	FAE	Risalita di acque in pressione (acqua sulfurea)
IF16G08	2018-19	51+320	162.5	FYR	Sondaggio interrotto a -162.5 m per presenza significativa di gas
IF16G09	2018-19	52+488	37.4--58--60	APC	Sondaggio interrotto a -60 m per presenza significativa di gas
IF16G29	2018-19	53+758	43	APC	Presenza di gas
IF16G11	2018-19	55+930	130	AVR	Sondaggio interrotto a -130 m per presenza significativa di gas
IF16G14	2018-19	63+124	65.5--97.3	BNA2	Sondaggio interrotto a -97.3 m per presenza significativa di gas
IF16G15	2018-19	66+387	19--25.5	MZF	Emissioni terminate dopo alcune ore
IO-S12	2017	68+150	12	FYR	-
IF16G18'	2018'	68+396'	24.6--29.5--37.8-- 40.5	FYR'	Emissioni terminate dopo alcune ore'

Tabella 6 Nella tabella sono sintetizzati i dati riportati nel PD.

Nelle successive figure che rappresentano la sezione geologica sono rappresentati con colore azzurro i sondaggi nei quali è stata effettuata una misura a bocca foro, dopo diverso tempo dalla loro ultimazione, in occasione di sopralluoghi eseguiti a vario titolo.

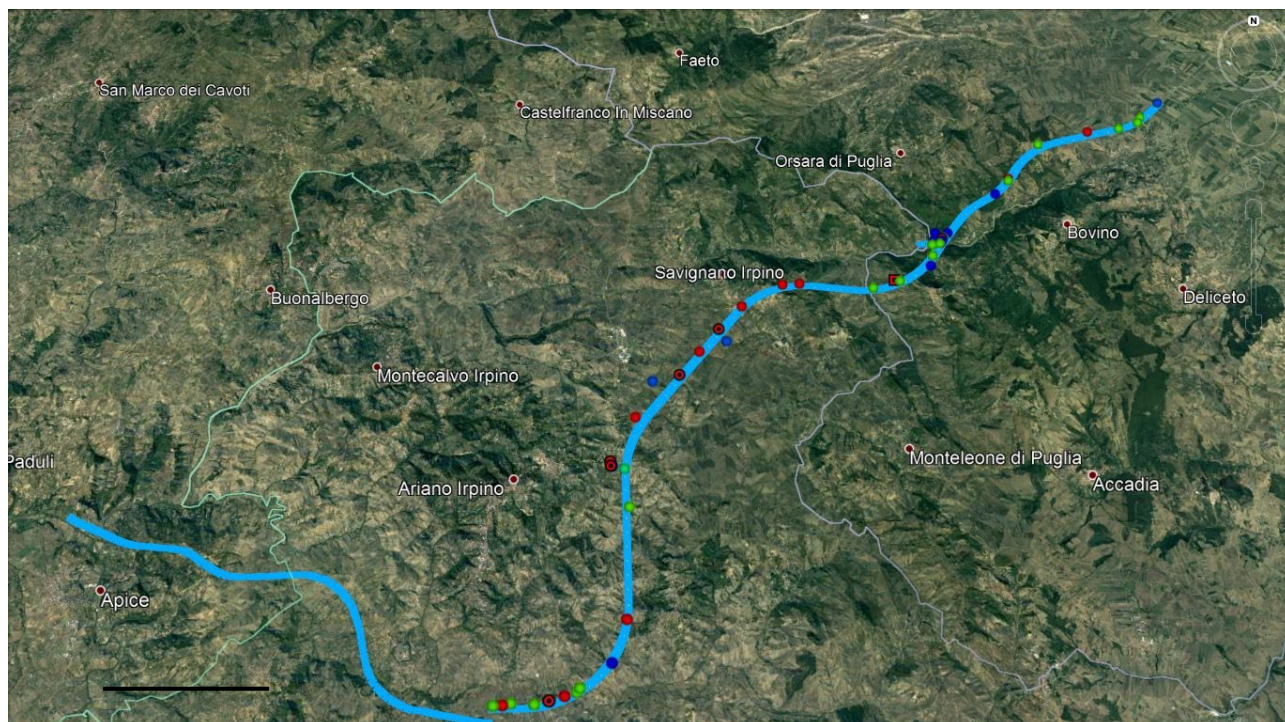


Figura 14 Nell'immagine (tratta da Google Earth) sono riportati in verde i sondaggi interessati dal monitoraggio nell'atmosfera interna al foro in cui non sono stati rinvenute concentrazioni superiori alla sensibilità della strumentazione adottata; in rosso, quelli in cui sono state rilevate concentrazioni positive di metano (con il pallino nero al centro anche H<sub>2</sub>S) o nell'atmosfera del foro o nei campioni analizzati, in blu quelli in cui è stata rilevata concentrazione di CO<sub>2</sub> o nell'atmosfera del foro o nei campioni analizzati. In celeste sono invece rappresentati i tracciati. La linea nera in basso a sinistra rappresenta la scala dell'immagine pari a 5 km

## 8 Rappresentazione dati sondaggi

Dalla Figura 15 alla Figura 21 è rappresentata la sintesi dei dati dei monitoraggi eseguiti sulla sezione geologica della galleria Hirpinia, procedendo dall'imbocco Bari verso l'imbocco Napoli, adottando la seguente convenzione:

- Sondaggi 2021/2022 – Assenza metano
- Sondaggi 2021/2022 – Tracce di metano in acqua o emissioni deboli
- Sondaggi 2021/2022 – Presenza metano emissioni con portata significativa
- Monitoraggio fori esistenti – Assenza metano
- Monitoraggio fori esistenti – Rilevate concentrazioni metano

Le misure effettuate nei fori esistenti si riferiscono a monitoraggi eseguiti in foro o boccaforo in sondaggi terminati da tempo e resi accessibili, mentre i monitoraggi del 2021/2022 sono stati eseguiti, come descritto, durante la perforazione.

Il colore rosso si riferisce a sondaggi che hanno avuto emissioni intense con flusso continuo, drenato nel tempo. Il colore arancio si riferisce ai sondaggi in cui è stato rilevato metano all'interno, senza flusso, o dove è stata rilevata concentrazione significativa in acqua o nei fanghi di perforazione. Infine, il celeste ed il blu si riferiscono a sondaggi nei quali non è stato rilevato metano in atmosfera o dove la contrazione nei fluidi è modesta.

Per la legenda della sezione geologica occorre far riferimento agli elaborati di progetto dalla quale è tratta: "Profilo geologico in asse al Binario Pari " Tavole da 1 a 18, file da IF3A02EZZF6GE0101001B a IF3A02EZZF6GE0101022B.

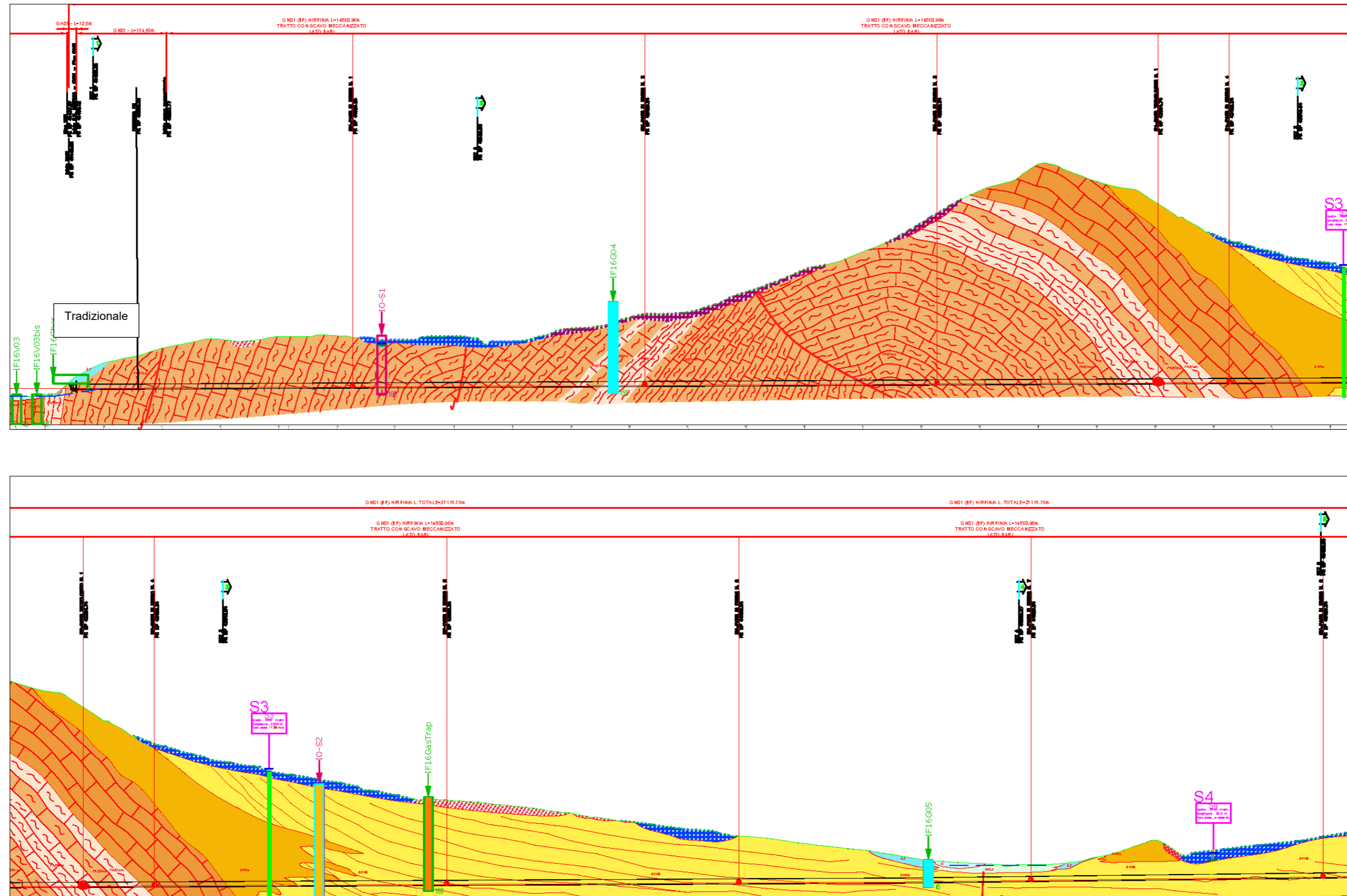


Figura 15

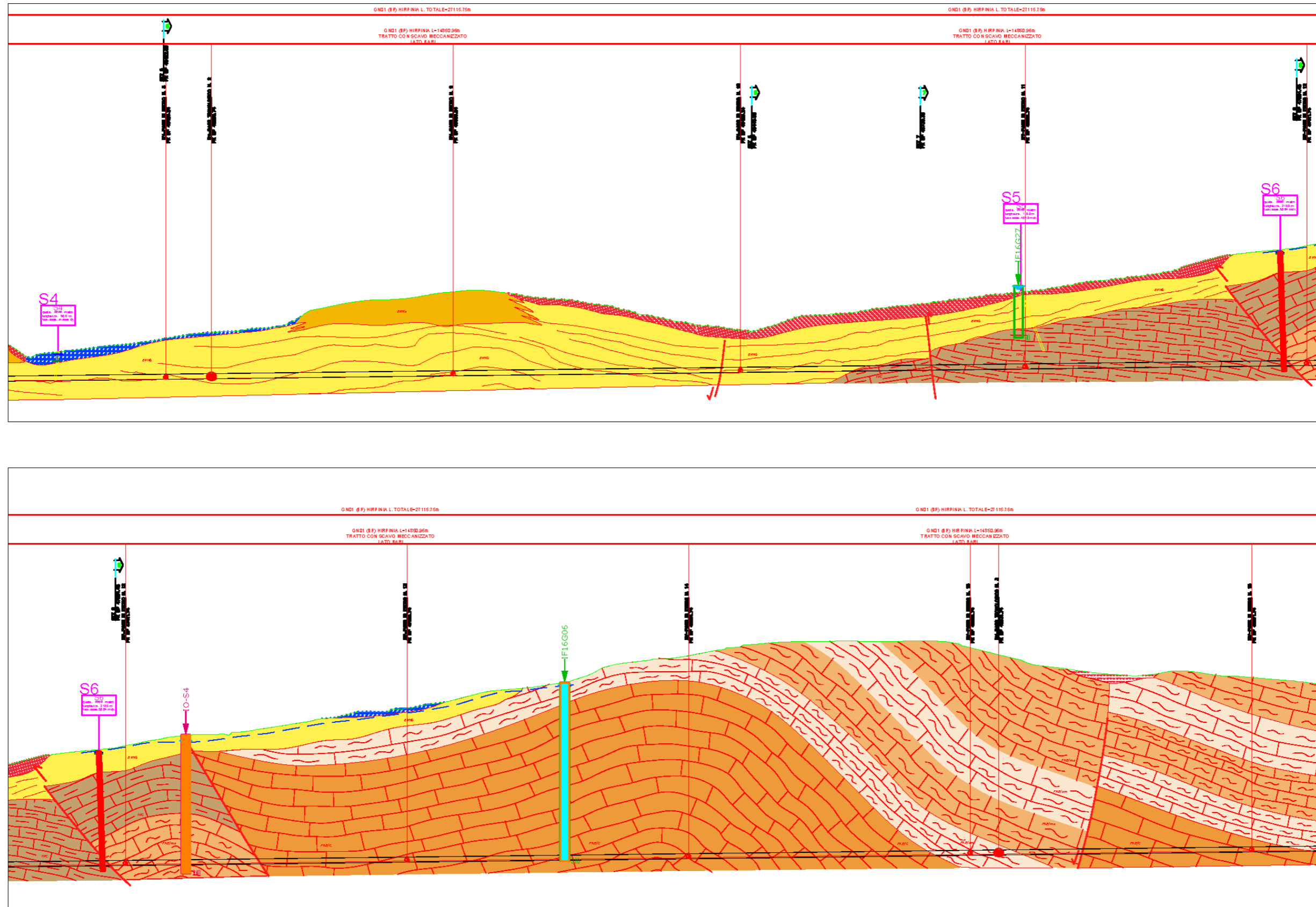


Figura 16

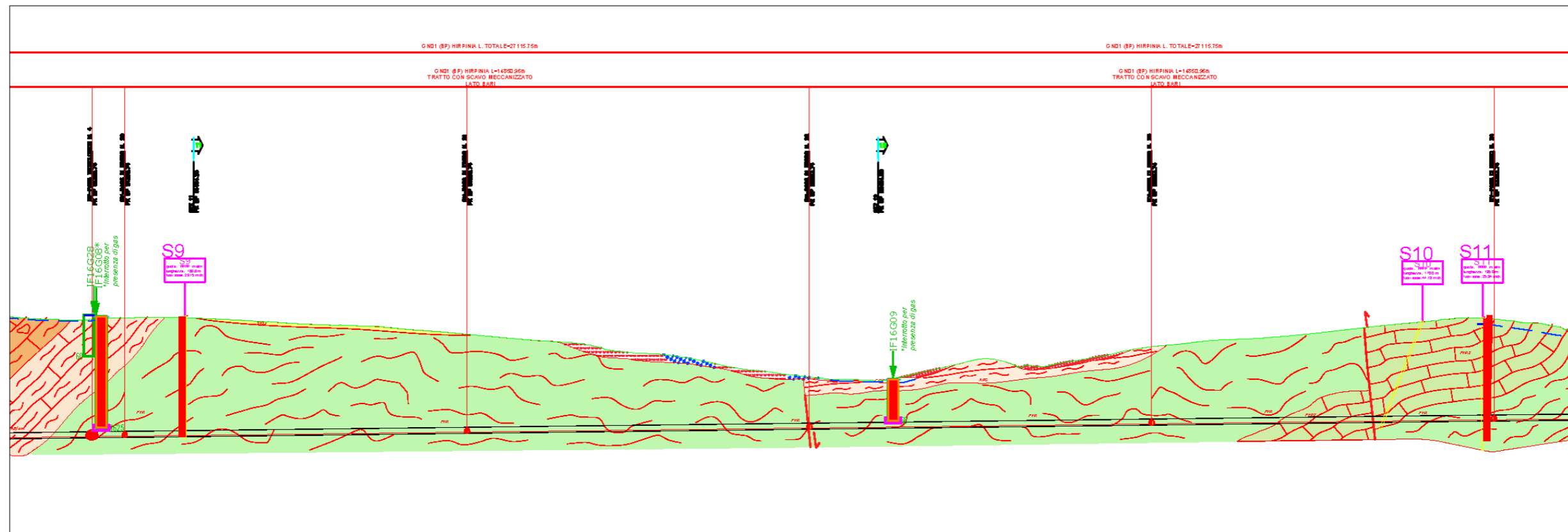
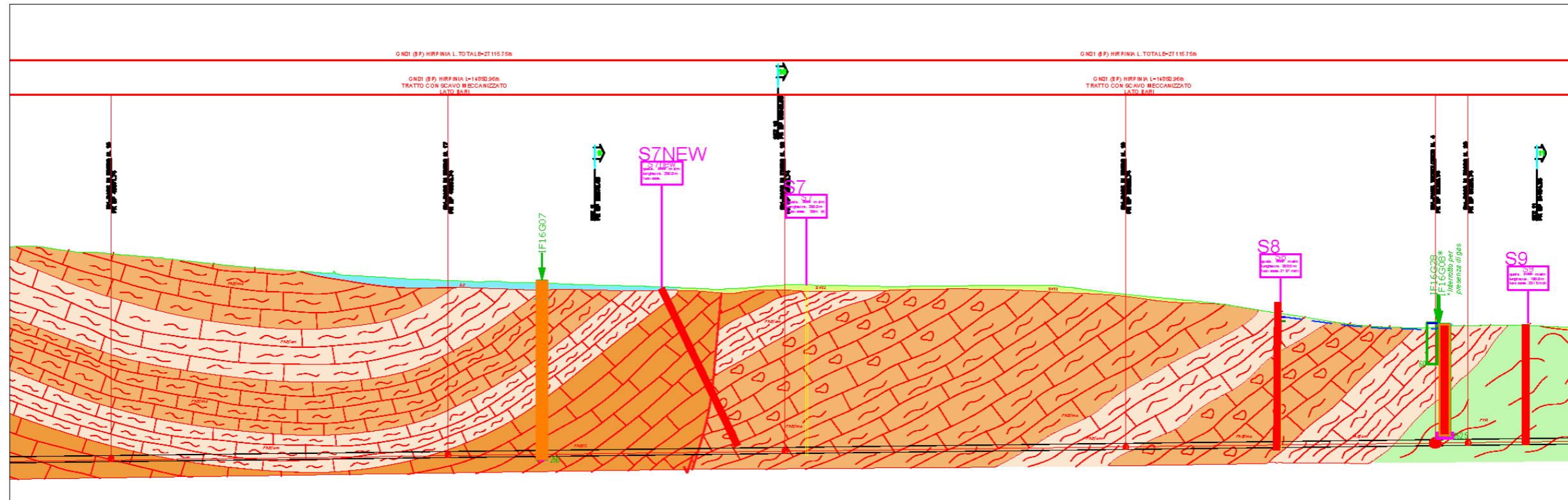


Figura 17

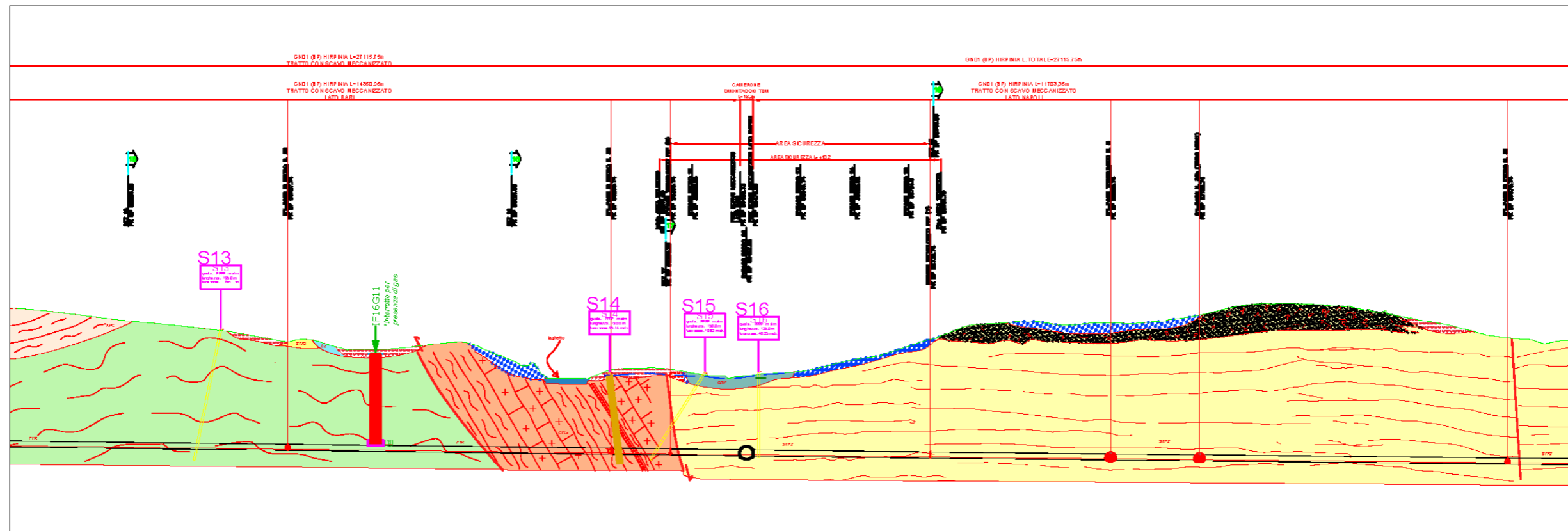
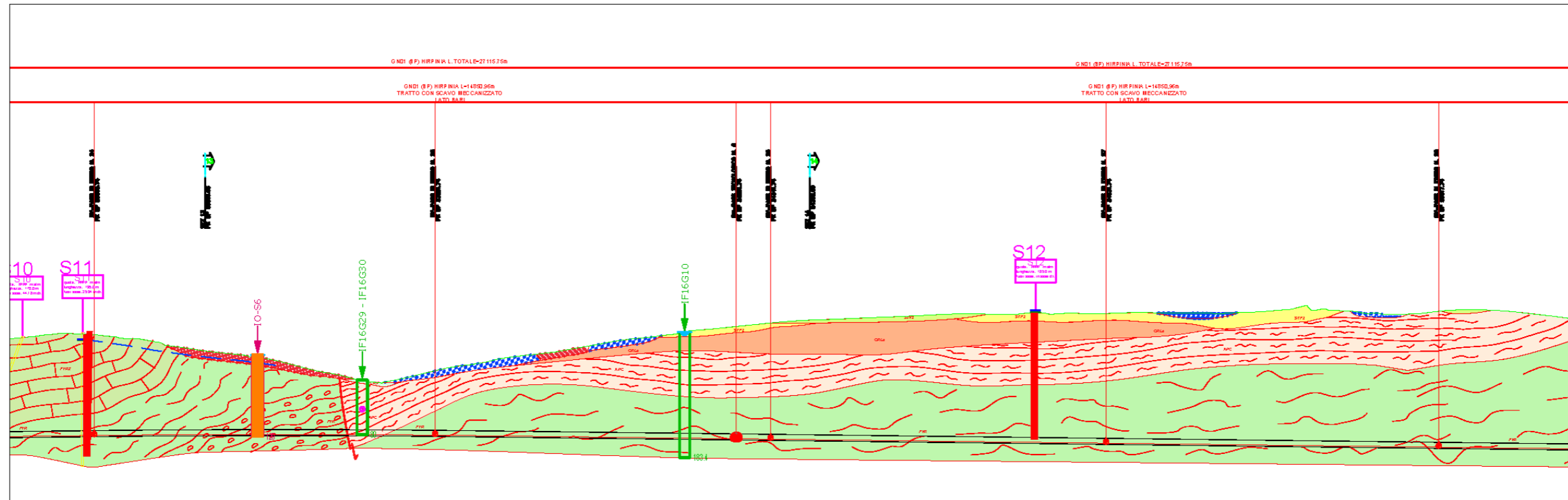


Figura 18



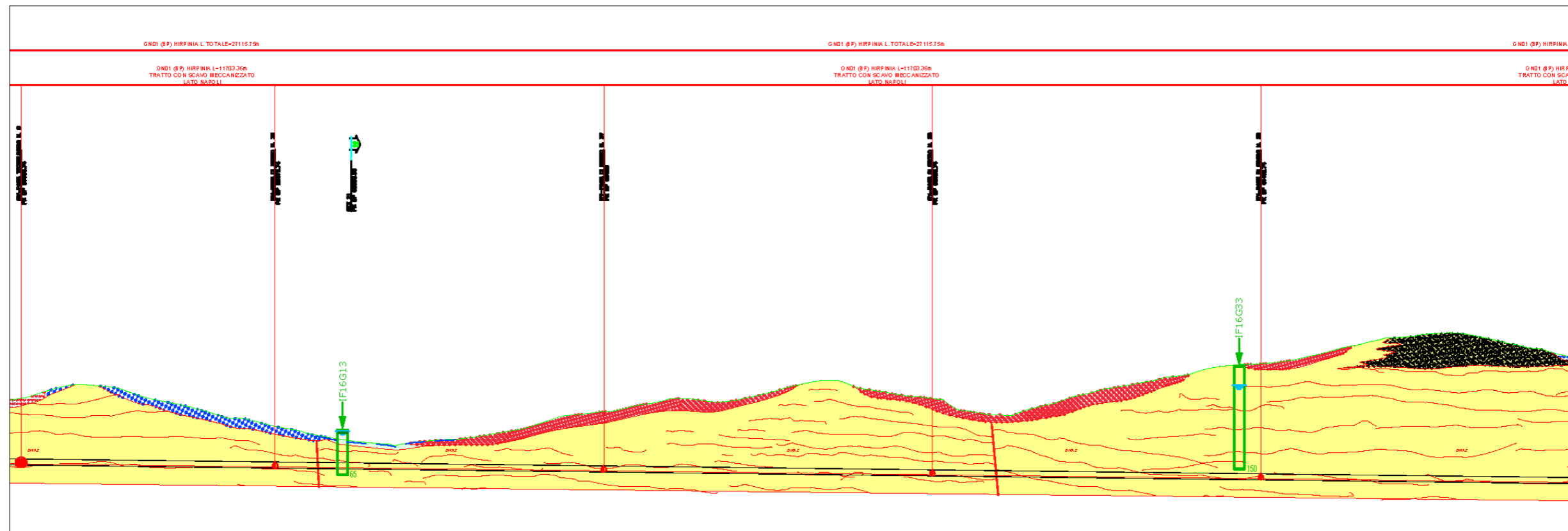
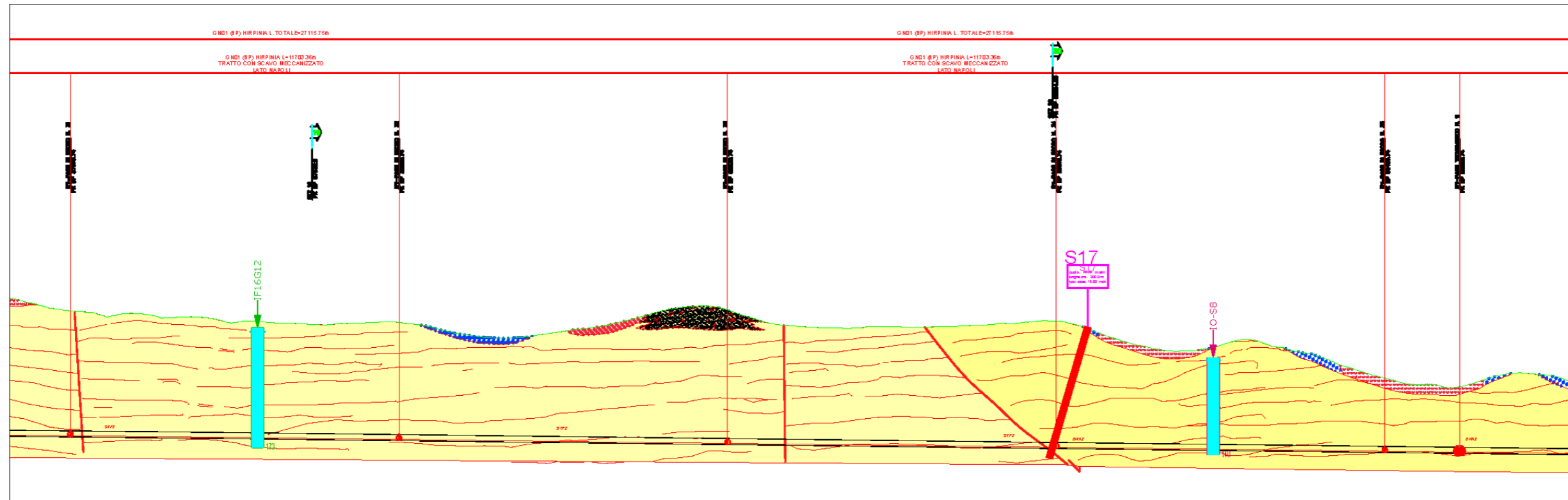


Figura 19

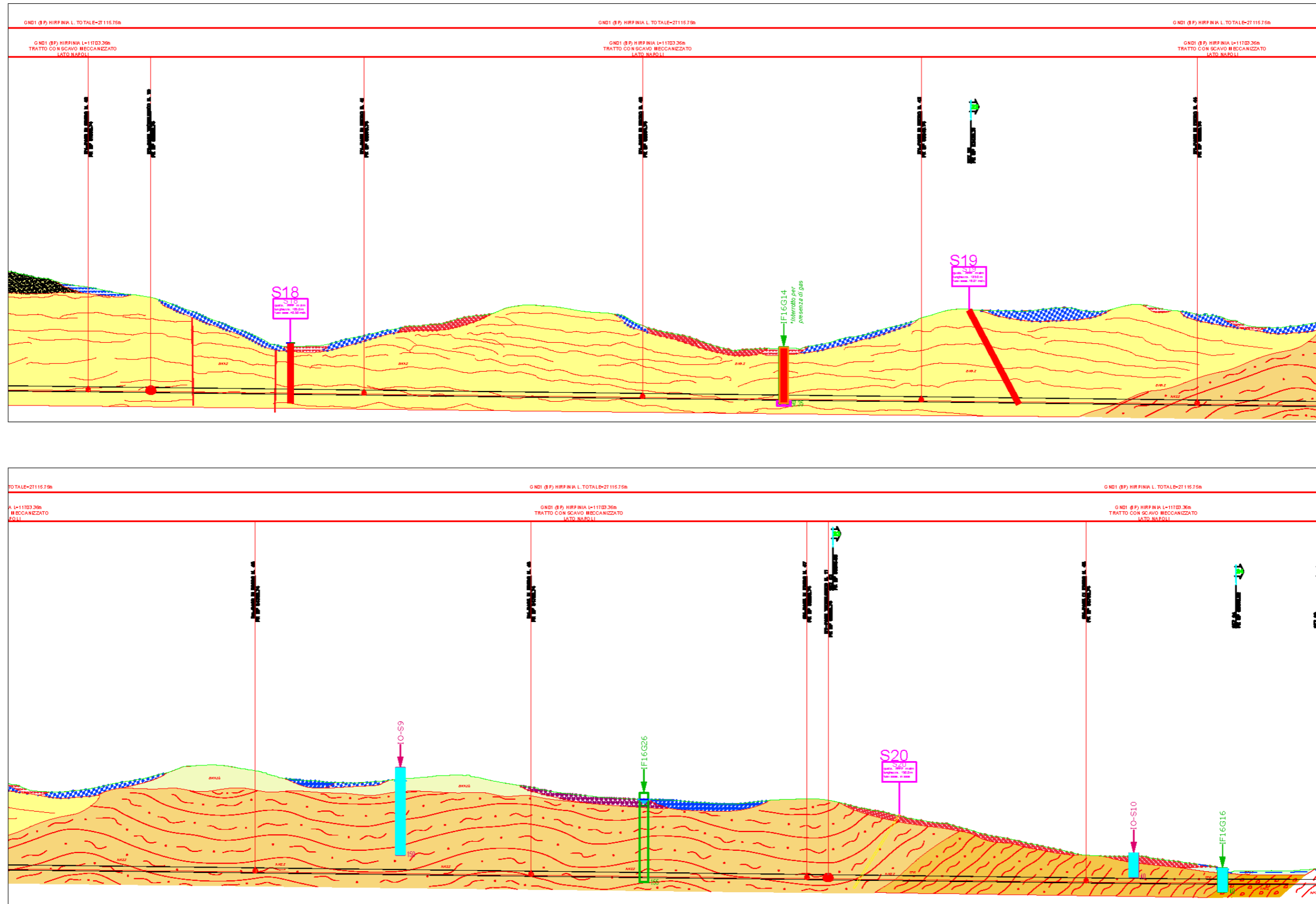


Figura 20

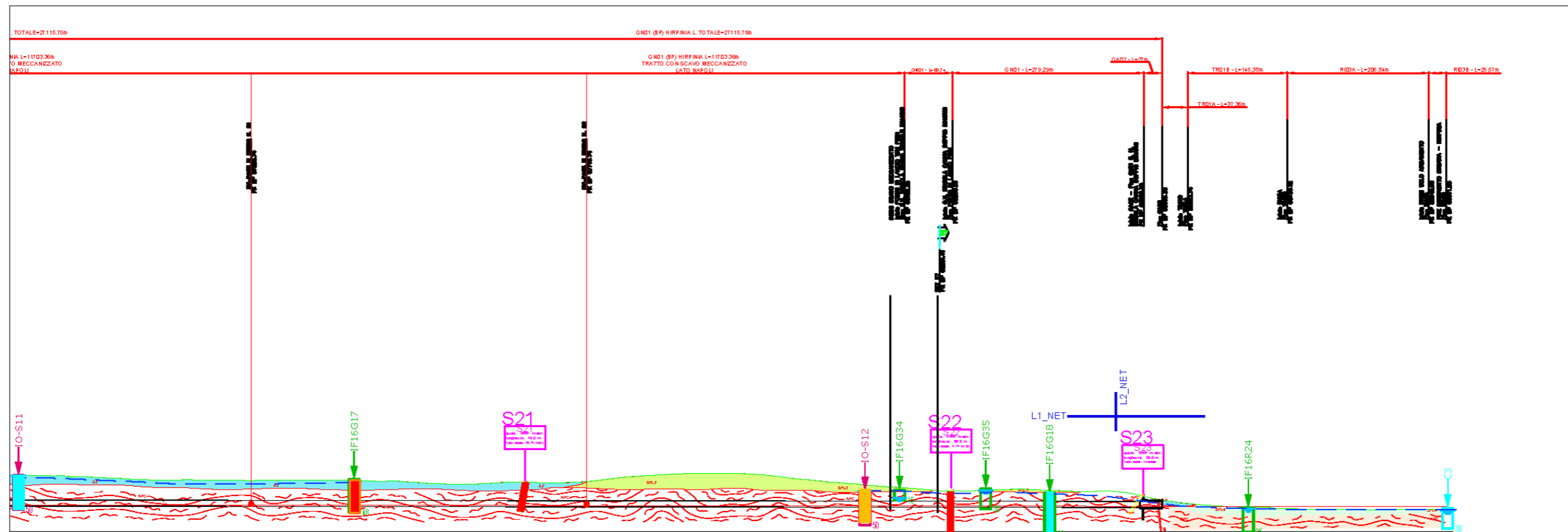
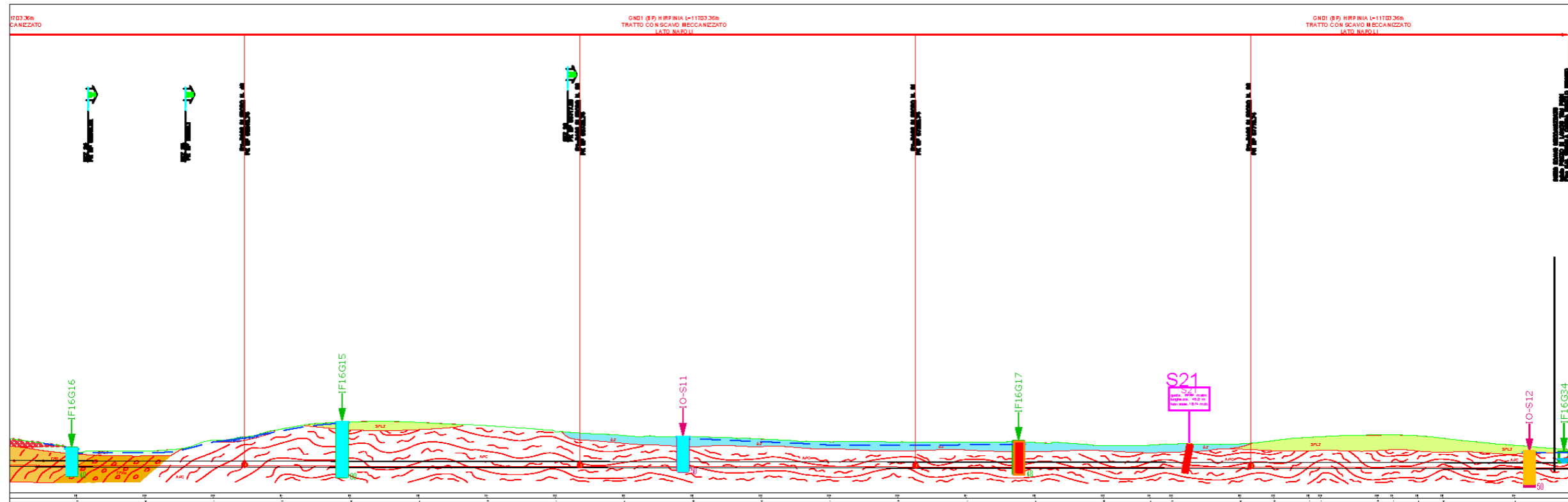
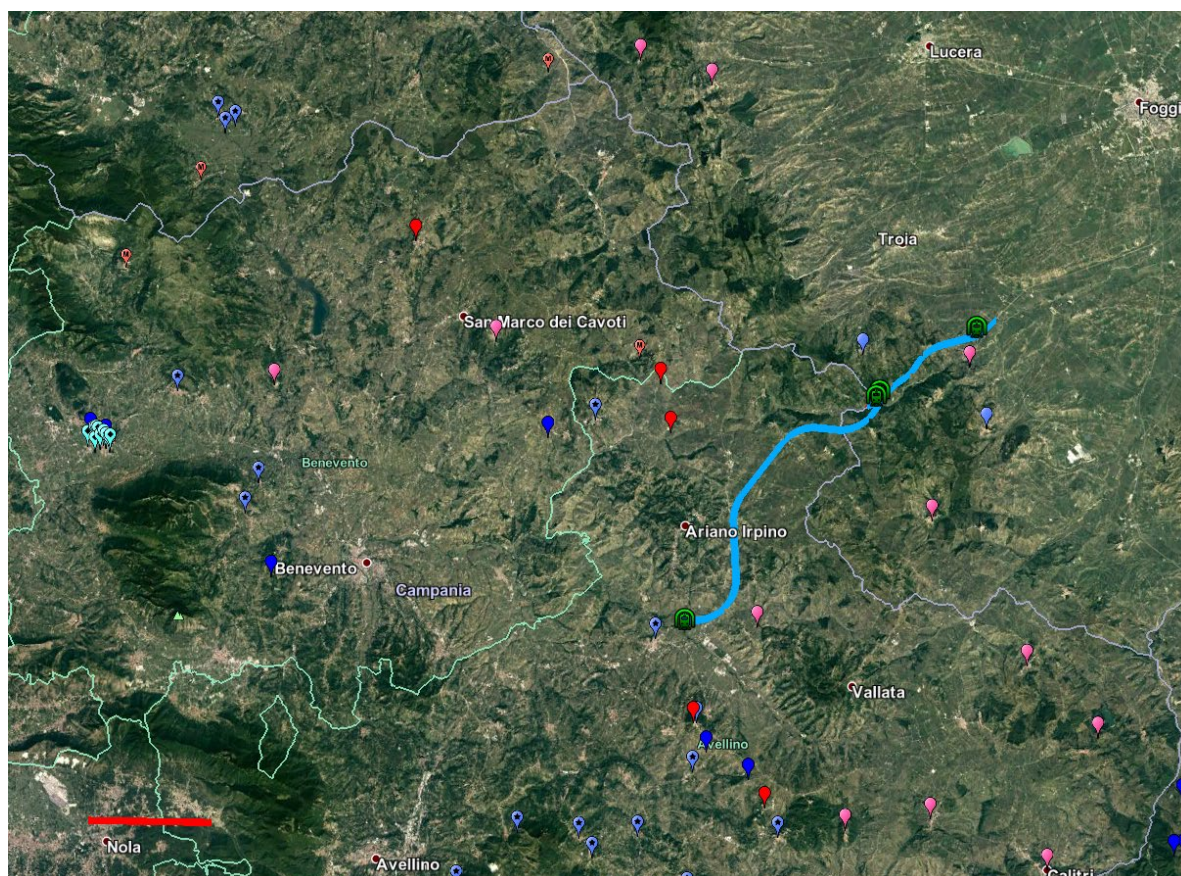


Figura 21

## 9 Elementi desunti da letteratura

### 9.1 Dati storici

La ricerca dei dati storici e di letteratura tecnico scientifica fornisce molte indicazioni sulla presenza di idrocarburi nell'intorno del tracciato della costruenda linea ferroviaria. In generale le segnalazioni riguardano emissioni superficiali, associate ad acqua contenente anche H<sub>2</sub>S, rinvenimenti di metano in occasione di scavi di pozzi o, nel caso di olio e bitume, impregnazioni superficiali in roccia (Figura 22).



*Figura 22 - Nella figura (tratta da Google Earth) sono riportati i dati di interesse sulle emissioni di idrocarburi riscontrate in bibliografia. Si tratta sia di emissioni superficiali che relative a scavi di pozzi o sondaggi. In rosso sono rappresentate le emissioni di metano, in rosso più chiaro con la M, emissioni di metano con presenza di altri gas, tipicamente H<sub>2</sub>S, in indaco con asterisco rinvenimenti di petrolio, sia in forma di impregnazioni su sedimenti lacustri, che miscelato con acqua sulfurea, che da pozzi di piccola profondità, in indaco sono segnalati rinvenimenti di olio, in viola bitume, sia da affioramenti in argilloscisti che dai calcari bituminosi, ma anche impregnazioni bituminose in breccia calcarea. In blu sono indicate le emissioni di CO<sub>2</sub> e in celeste chiaro i Sink-Holes sempre con emissioni di CO<sub>2</sub>. In celeste sono rappresentati i tracciati della Frasso – Vitulano, più a sinistra, e della tratta Apice-Hirpinia. La linea rossa, in basso a sinistra rappresenta la scala (10 km).*

La maggior parte delle esistenti gallerie ferroviarie presenti sono state realizzate tra la fine del 1800 e l'inizio del 1900 e l'unica informazione rinvenuta di interesse è la presenza

di emissioni di idrogeno protocarbonato rinvenuto all’inizio dei lavori di scavo della galleria della Starza (Salmoiraghi, 1870).

È lecito ritenere che, non avendo rinvenuto notizie in merito, durante gli scavi eseguiti all’epoca non ci furono incidenti rilevanti (la morte di pochi minatori era all’epoca non riportata) dovuti al grisou.

## 9.2 Dati MISE e progetto ViDEPI

L’Appennino meridionale è sempre stato oggetto di particolare interesse per l’esplorazione petrolifera, inizialmente per le numerose manifestazioni superficiali di idrocarburi presenti nell’area e successivamente per la particolare geologia della zona e dell’evoluzione della tettonica da essa subita.

Dal punto di vista geostrutturale l’area appartiene al dominio di Avanfossa adriatica, bacino adiacente ed in parte sottoposto al fronte esterno della Catena Appenninica, che si è formata a partire dal Pliocene inferiore per progressivo colmamento di una depressione tettonica allungata NW-SE, da

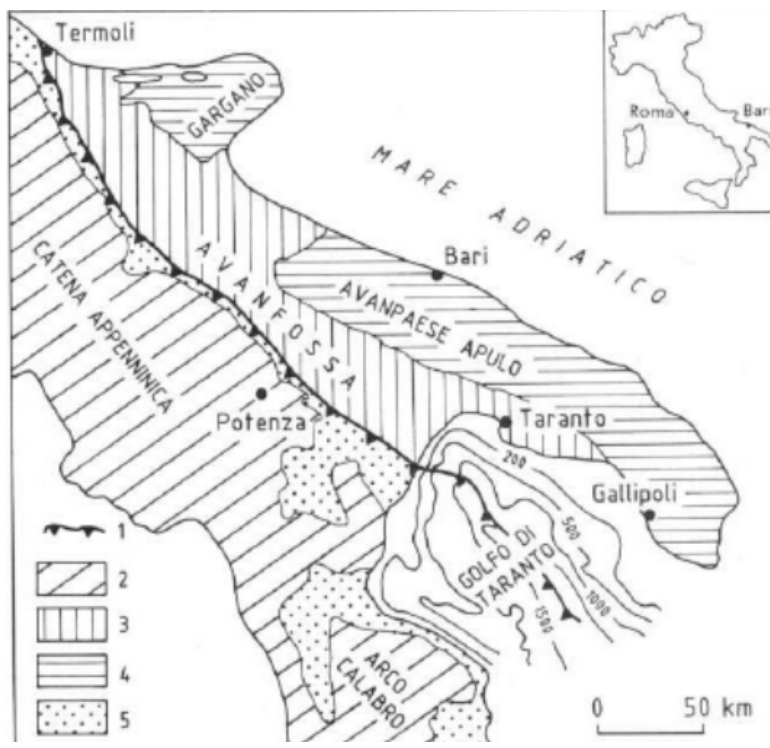


Figura 23 Schema dei principali domini geodinamici: 1) Limite delle Unità Appenniniche Alloctone; 2) Catena Appenninica ed Arco Calabro; 3) Avanfossa; 4) Avampaese Apulo-Garganico; 5) Bacini Plio-Pleistocenici (Fonte: Zezza et al., 1984).

parte di sedimenti clastici; L’area di Catena si estende lungo un tratto di dorsale, orientato circa N-S, che si sviluppa dalla zona di Bovino-Deliceto, costituendo, sotto il profilo morfologico-strutturale, parte del settore centro-meridionale dell’Appennino Dauno.

L’Appennino Dauno e la Fossa Bradanica fanno parte di un più esteso sistema di foreland thrust belt. Il margine esterno della catena è stato strutturato da sovrascorrimenti sui carbonati dell’avampaese apulo e questi, a loro volta, nella loro migrazione verso Est,

hanno dapprima dato origine ad una Avanfossa, la Fossa Bradanica, e successivamente hanno controllato la sedimentazione nel corso del Pliocene e di parte del Pleistocene.

Quando nel corso del Pliocene inferiore, durante la fase terminale della strutturazione della Catena, lungo il suo bordo orientale si forma la Fossa Bradanica, si osserva che la sua parte interna e inferiore è caratterizzata dalla deposizione di torbide terrigene sabbioso-siltose, mentre nella parte esterna si riscontra la sedimentazione dell'Unità delle argille subappenniniche.

La porzione adriatica della Fossa Bradanica rappresenta un foreland bacino, sviluppato sulla rampa regionale dell'avampaese: l'Avanfossa migra verso oriente per effetto combinato dell'arretramento e abbassamento della rampa carbonatica e dell'avanzamento verso Est delle strutture compressive appenniniche.

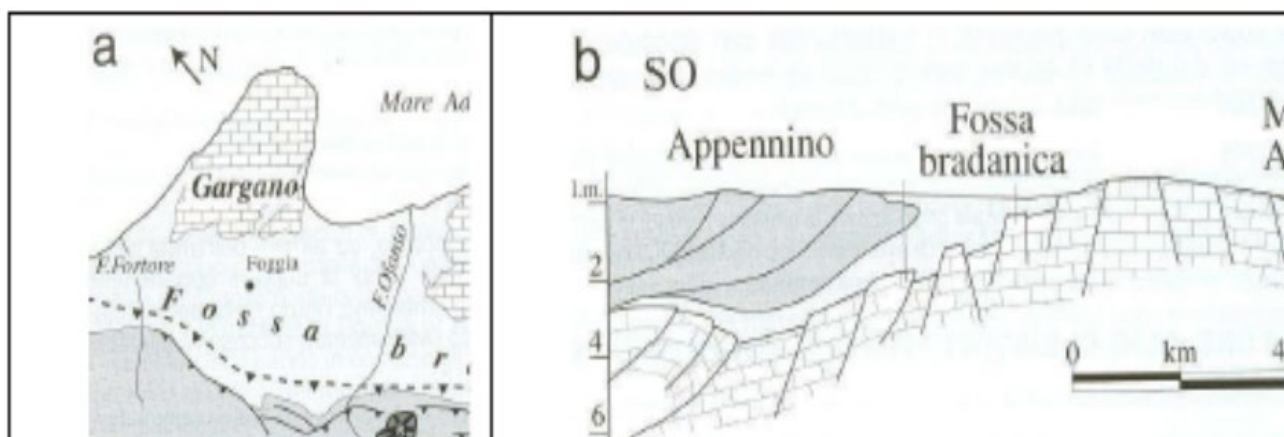


Figura 24 Schema tettonico e stratigrafico (Guide Geologiche Regionali n°9 "Puglia e Monte Vulture" Ed. BE-MA, 1999)

In estrema sintesi l'interesse minerario, in termini di idrocarburi, della zona è dovuto, oltre che alla geologia, alla tettonica subita dall'area, che ha provocato numerose discontinuità, sovrascorrimenti e faglie, sia dirette che inverse, originando scaglie della Piattaforma Apula Interna che in possibili up-lift hanno generato reservoir a profondità intorno ai 2000 metri.

L'importante reticolo di discontinuità geologiche ha, sia generato emissioni superficiali, sia imbibito formazioni attigue.

Ulteriori elementi di conoscenza sono tratti dal rapporto annuale sull'Attività di ricerca e coltivazione di idrocarburi in Italia, curato dal Ministero dello Sviluppo Economico Direzione Generale per l'Energia e le Risorse Minerarie, e dai dati disponibili del progetto ViDEPI riportati nella Figura 25.

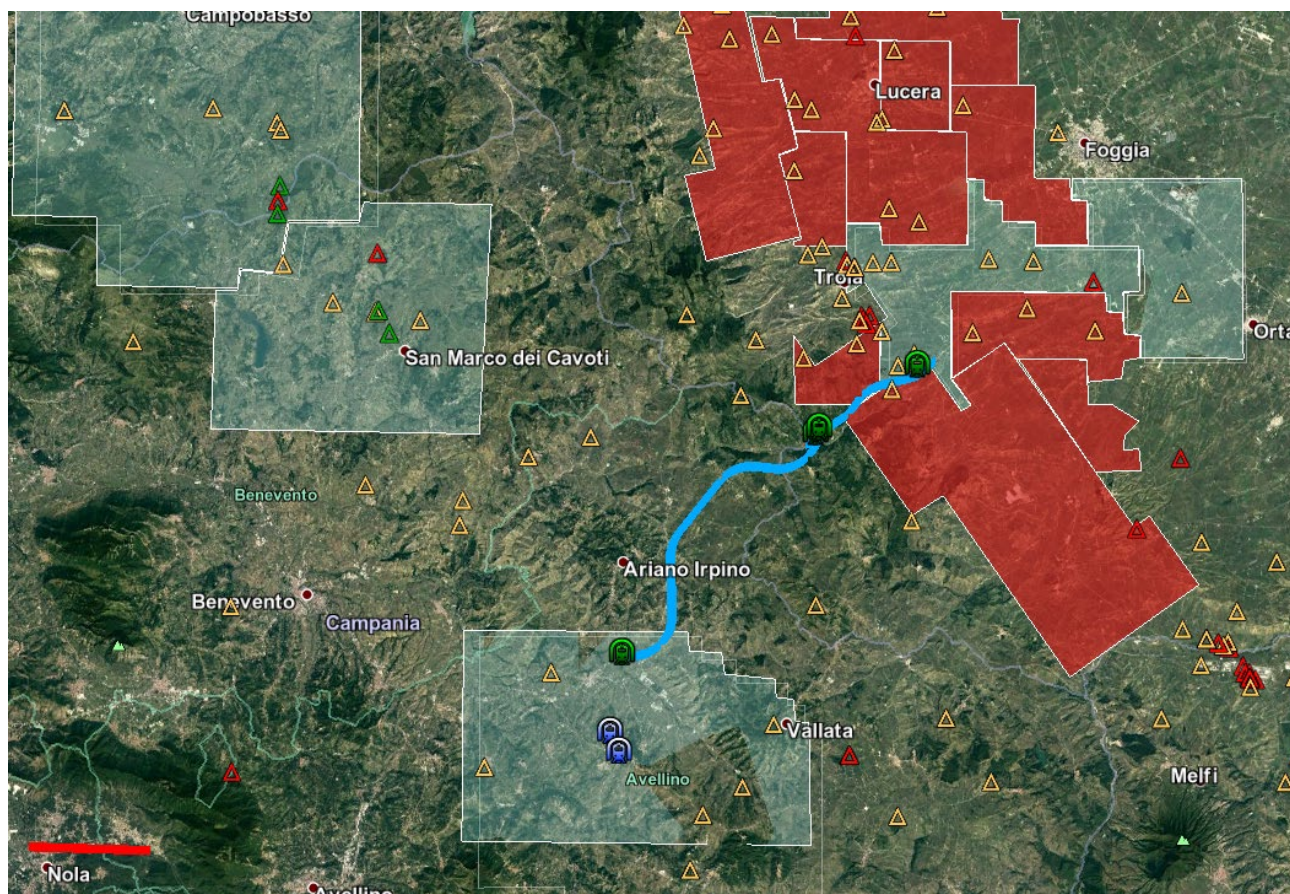


Figura 25 Nella figura (tratta da Google Earth) sono riportati i dati relativi ai permessi di ricerca (aree celesti), alle concessioni (aree rosse) ed alle perforazioni profonde eseguite, indicate con triangolini di diverso colore, arancio quelli considerati sterili ai fini estrattivi, in verde quelli in cui è stato rinvenuto petrolio ed in rosso quelli relativi al metano. In celeste è rappresentato il tracciato dell'opera.

### 9.3 Gallerie recenti

Fra le gallerie recenti realizzate nell'area è possibile citare la galleria San Filippo nei pressi di Grottaminarda, di piccolo diametro, realizzata con TBM-EPB, i cui imbocchi sono rappresentati in Figura 26.

Lo scavo ha interessato, adottando le definizioni del progetto CARG per il foglio n.433 Ariano Irpino, l'unità tettonica del Frigento, attraversando

- la formazione del Flysch Rosso, caratterizzata da un'alternanza di: stratificazioni con matrice prevalentemente argillosa-limosa e argilla-marnose con livelli di calcareniti e strati lapidei di calcareniti, caratterizzati da circolazione idrica anche significativa.
- La formazione di Galestrino, caratterizzata da una matrice argillosa con struttura caotica ed inclusi lapidei.

Sulla TBM era installato un sistema di monitoraggio del metano con soglia di evacuazione impostata alla concentrazione di 0,35% di metano in aria ed una prima soglia di allarme alla concentrazione di 0,15 %. Il sistema non era dotato di registrazione. Da quanto si apprende dalle informazioni ricevute dai tecnici di cantiere, non si sono mai attivati allarmi. Il sistema di monitoraggio era oggetto di verifica e controllo settimanale.

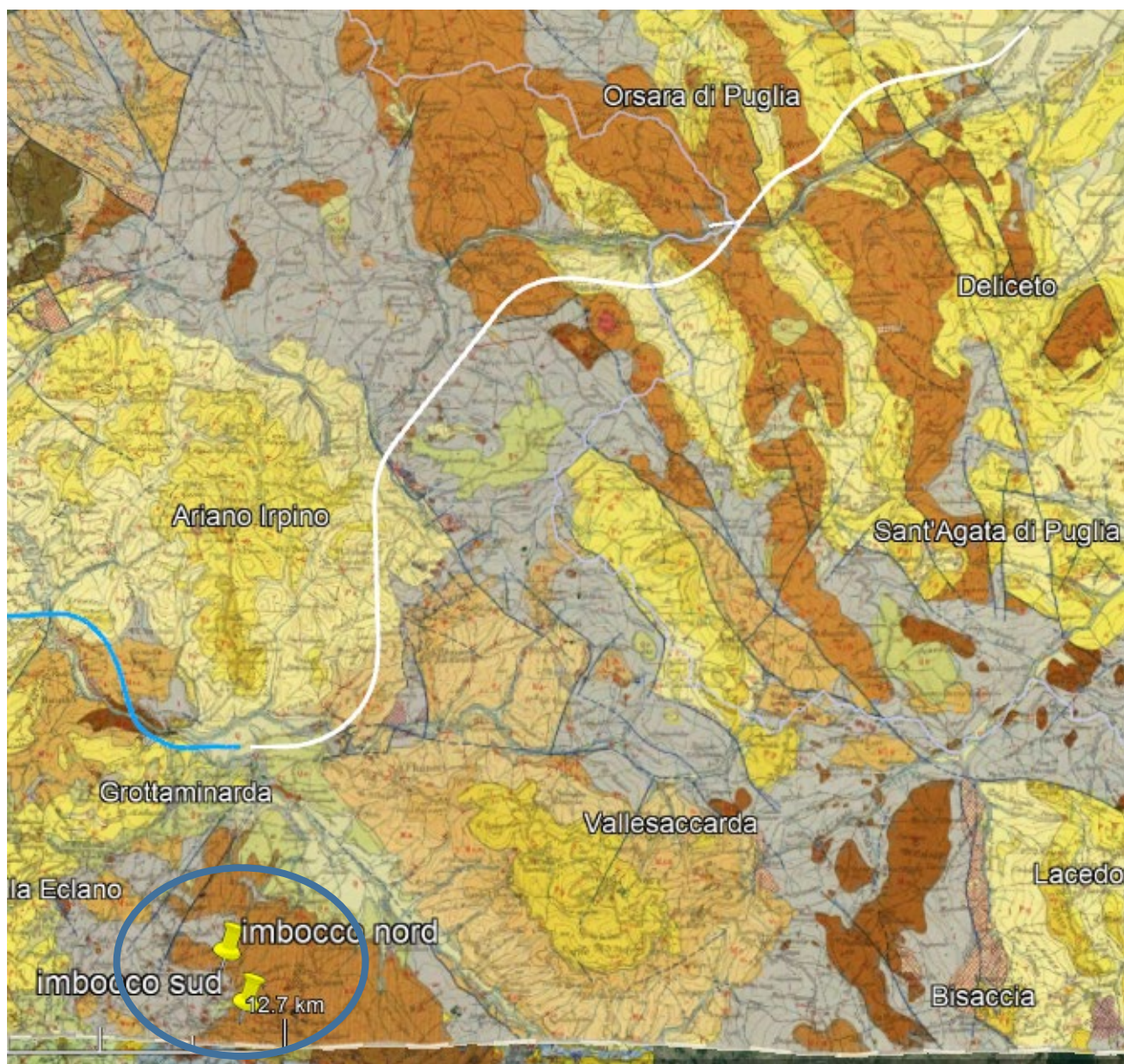


Figura 26 – Nella figura, non in scala, è rappresentata sul foglio 100.000 con un ovale blu la zona di scavo in cui è stata recentemente eseguita la galleria di piccolo diametro con TBM-EPB Grottole.

Altre informazioni possono essere ottenute dai dati ottenuti dallo scavo della galleria Pavoncelli, di piccolo diametro, realizzata con TBM-EPB. Durante gli scavi si sono verificate importanti emissioni di metano nella formazione del Flysch Rosso (FYR), nelle Argille



Varicolori (AV) e nelle arenarie del F. Numidico e della Formazione di Castelvetere. Tali emissioni si sono verificate in modo più intenso in corrispondenza di zone con faglie e sistemi di fratturazione ad esse associate. Maggiori informazioni sono disponibili in *“Innovative solutions for safety against firedamp explosions in small section EPB-TBM tunnelling”* (A. Bandini, C. Cormio, P. Berry, M. Battisti, A. Lisardi, P. Bernardini, M. Urso)<sup>1</sup>

## 10 Sintesi elementi contenuti nel PD

Sono sintetizzate le conclusioni delle valutazioni contenute nel PD rinvenute nel PSC e nella Relazione tecnica delle opere in sotterraneo.

All'interno della Relazione geologica e geotecnica sono contenuti numerosi riferimenti alla presenza di metano rilevata sia da bibliografia che dai sondaggi eseguiti per la definizione del PD. Tali informazioni rappresentano un insieme di elementi di assoluta affidabilità e validità e non saranno ripetuti nella presente relazione.

In sintesi nel PD, i cui stralci sono nei successivi paragrafi, è associata alla galleria di linea nel tratto realizzato con scavo tradizionale la classe di rischio gas 2 quasi per tutta la galleria, ad eccezione ella breve tratta di galleria in prossimità dell'imbocco lato Bari all'interno della formazione del Flysch di Faeto, a cui è possibile associare una classe di rischio 1B.

Per lo scavo meccanizzato, dopo aver riconosciuto la presenza significativa di metano informazione, è prevista l'applicazione della NIR44.

Nella *“Relazione tecnica delle opere in sotterraneo”*, file IF1V02D07RGGN0000001C, è contenuta una sintesi delle conclusioni delle relazioni specialistiche dedicate alla valutazione del rischio per le atmosfere esplosive.

Nel documento sono presenti alcuni importanti riferimenti, di cui si riporta un sintetico stralcio.

Pag 47

“ ... ..

*Infine, considerato il fatto che lo scavo meccanizzato è realizzato all'interno di formazioni che potrebbero presentare manifestazioni gassose, la macchina deve essere adeguatamente attrezzata ed equipaggiata in tal senso; per dettagli in merito agli*

<sup>1</sup>[https://www.researchgate.net/publication/332516927\\_Innovative\\_solutions\\_for\\_safety\\_against\\_firedamp\\_explosions\\_in\\_small\\_section\\_EPB-TBM\\_tunnelling](https://www.researchgate.net/publication/332516927_Innovative_solutions_for_safety_against_firedamp_explosions_in_small_section_EPB-TBM_tunnelling)

apprestamenti previsti a riguardo si rimanda al Piano di Sicurezza e Coordinamento di progetto.

... ..”

In merito all’esecuzione dei by-pass, a Pag. 59 è specificato:

“ ... ..

*Riguardo la presenza di gas si adotteranno le stesse prescrizioni e procedure previste per le altre tratte in scavo tradizionale e riportate nel PSC di progetto*

... ..”

Una sintesi è proposta nel capitolo “11.4 Rischi potenziali che incidono sulla realizzazione delle gallerie” della citata relazione, a pagina 65, nel seguente paragrafo.

“ ... ..

#### ***Presenza di gas***

*Le analisi per la determinazione del rischio gas sono state condotte per fasi di approfondimento successivo avvalendosi della consulenza di Tecnici Specialisti (cfr. Rif. [9] e Rif. [10]). Preliminarmente, è stata condotta un’analisi bibliografica e storica volta a verificare, in relazione alle differenti unità geologiche individuate e direttamente interessate dal progetto, l’eventuale presenza di termini geologici favorevoli alla presenza di gas. Inoltre, sono state esaminate le risultanze dello studio geologico, geomorfologico ed idrogeologico per la tratta in esame e sono state eseguite indagini di approfondimento con:*

- *rilievi di gas a bocca foro durante la perforazione dei sondaggi;*
- *monitoraggio dell’aria mediante analizzatore di gas a bocca foro in corrispondenza delle verticali di sondaggio;*

*I risultati derivanti dallo studio suddetto hanno confermato la presenza di gas nelle formazioni interessate dallo scavo della galleria Orsara.*

*Un valido strumento che può essere utilizzato per l’approccio al problema legato alla presenza di gas in galleria è rappresentato dal documento “Lavori in sotterraneo. Scavo in terreni grisutosi. Grisù 3a edizione”, recentemente aggiornato dalle seguenti Linee Guida (Rif. [11] e Rif. [12]):*

- *“Scavi in sotterraneo con metodo a piena sezione e tecnica tradizionale in terreni grisutosi”, Linea Guida Grisù, datato Luglio 2014;*
- *“Scavo meccanizzato di grande sezione con TBM – EPB in terreni grisutosi”, Linea Guida “Grisù – TBM, datato Maggio 2015.*

*Con riferimento allo scavo in tradizionale, nelle Linee Guida l'eventualità di rinvenire metano in galleria è differenziata in diverse classi, in base al numero ed al peso attribuito ai parametri che concorrono a caratterizzare la formazione interessata dallo scavo della galleria. In funzione dei risultati derivanti dall'analisi bibliografica e storica e dalle indagini di approfondimento, è stato possibile associare alla galleria di linea nel tratto realizzato con scavo tradizionale la classe di rischio gas 2 come definita in Tabella 14 (esclusivamente nel breve di galleria in prossimità dell'imbocco lato Bari all'interno della formazione del Flysch di Faeto è possibile associare una classe di rischio 1B).*

**Tabella 14 – Estratto Linee Guida Grisù**

<b>classe 2</b>	Gallerie/tratti per le quali le indagini bibliografiche, storiche (storicità delle manifestazioni spontanee e degli interventi industriali per la produzione di idrocarburi, dei fenomeni registrati nell'esecuzione di altre opere) e le indagini sperimentali di superficie e profonde (sondaggi, pozzi, cunicoli, indagini geofisiche, ecc.), fanno ritenere che, a causa della realizzazione degli scavi, siano probabili afflussi significativi di grisù in galleria in corrispondenza di strutture geologiche, tecnicamente note come potenziali trappole di idrocarburi (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 realizzato a seguito dello scavo, sono da attendersi flussi di grisù continui oppure discontinui ma con frequenza tale da non farli ritenere un evento eccezionale.
---------------------	--

*La probabilità di manifestazioni gassose in fase di scavo è prevista anche per la tratta realizzata con metodo meccanizzato. La TBM dovrà, pertanto, essere opportunamente equipaggiata per gestire il potenziale rischio di presenza di gas.*

*Per le misure di sicurezza da adottare in fase di scavo e per gli interventi atti a mitigare il rischio di presenza di gas nella fase di realizzazione delle gallerie, si rimanda al Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC).*

*Rispetto al rischio gas, associato all'eventuale gas metano disciolto nell'acqua drenata dall'ammasso, si è scelto di adottare un sistema di drenaggio confinato rispetto all'ambiente galleria, prevedendo:*

- *la realizzazione di tubazioni di raccolta delle acque provenienti dall'ammasso, annegate nel riempimento in calcestruzzo, garantendo adeguato spessore di confinamento, al fine di garantire la segregazione con l'atmosfera della galleria,*
- *la chiusura ermetica (al gas ed ai fumi) di tutti i punti di contatto del circuito di drenaggio verso l'ambiente galleria (es. tubi di spurgo, pozzetti di ispezione), con adeguato isolamento termico e in grado di rispettare la segregazione di cui al punto precedente,*

- *l'individuazione di apposite procedure per le attività di ispezione, manutenzione o interventi di modifica.*

*All'esterno della galleria tale circuito sarà collegato con il sistema di drenaggio previsto per le opere all'aperto (trincee, rilevati), garantendo la naturale degassazione della miscela metano-aria. I punti di recapito all'aperto della suddetta tubazione dedicata dovranno essere opportunamente protetti da potenziali sorgenti di innesco.*

*Per ulteriori dettagli in merito al sistema di smaltimento delle acque in galleria si rimanda agli specifici elaborati di progetto. In fase realizzativa, particolare cura dovrà essere posta nella posa in opera di tutti gli elementi del sistema di impermeabilizzazione e drenaggio, a garanzia della massima efficienza delle soluzioni di progetto*

*... ..”*

## **11 Geologia**

Per una ricostruzione geologica di dettaglio occorre far riferimento agli elaborati di progetto che costituiscono la base su cui sono articolate parte degli elementi di conoscenza che indirizzano la valutazione delle emissioni attese.

Il profilo geologico della galleria è rappresentato dalla Figura 15 alla Figura 21, tratto da “*Profilo geologico in asse al Binario Pari*” Tavole da 1 a 18, file da IF3A02EZZF6GE0101001B a IF3A02EZZF6GE0101022B.

Per facilità di lettura sono qui riportati alcuni passaggi della “*GEOLOGIA - STUDIO GEOLOGICO GENERALE - Relazione geologica generale*”, file IF3A02EZZRGGE0101001B.

“  
... ..”

Le successioni sedimentarie affioranti nel settore di catena in cui ricade il tracciato della galleria Hirpinia sono riferibili a tre distinte unità strutturali, di differente provenienza paleogeografica (Patacca et al. 1992), denominate rispettivamente Unità della Daunia, Unità del Fortore e Unità di Frigento. Tali unità sono costituite essenzialmente da depositi marini in facies di bacino e di scarpata, con un'età compresa tra il Cretacico inferiore e il Miocene superiore. La parte bassa delle successioni è sempre costituita da sedimenti pelitici e calcareo-marnosi di mare profondo, con locali passaggi di litotipi essenzialmente carbonatici o diasprigni (Ciaranfi et al. 2011). Verso l'alto si rinvengono, quindi, depositi di scarpata a composizione prevalentemente arenaceo-marnosa e calcareo-marnosa, sempre passanti a sedimenti argilloso-marnosi e calcareo-marnosi di bacino. Le suddette successioni sedimentarie risultano parzialmente ricoperte, in discordanza stratigrafica, da spessi depositi flyschoidi arenaceo-marnosi e calcareo-marnosi connessi allo sviluppo della

Catena Appenninica. Al di sopra di tali terreni si rinvengono estesi depositi di thrust-top sheet a composizione prevalentemente arenacea e arenaceo-marnosa e, quindi, sedimenti evaporitici messiniani e terreni caotici composti da olistostromi, frane e olistoliti con differente composizione e provenienza (Patacca et al. 1992; Basso et al., 1996b). La sequenza sedimentaria di catena è chiusa, quindi, da depositi pliocenici prevalentemente argilloso-sabbiosi e sabbioso-conglomeratici, chiaramente connessi alle ultime fasi di strutturazione dell'edificio appenninico (Di Bucci et al. 1999; Torre et al. 2011). Durante le fasi terminali di strutturazione della catena, si assiste quindi alla deposizione di spesse successioni silicoclastiche nei settori di avanfossa che si venivano a creare lungo il margine orientale dell'edificio a falde (Ciaranfi et al. 2011).

il settore interessato dalla galleria "Hirpinia" attraversa un tratto di catena appenninica caratterizzata dal fronte di sovrascorrimento di diverse unità tettoniche mio-plioceniche sulle unità della avanfossa Bradanica

... ..

## **4.2 STRATIGRAFIA**

... ..

### **4.2.1 Unità della Daunia**

... .. Questa unità tettonica è rappresentata da due distinte sub-unità, denominate Sub-unità tettonica del Vallone del Toro e Sub-unità tettonica di Masseria Sicurezza, e risulta ampiamente affiorante in tutta l'area di studio. Tale unità è strutturata in una serie di falde e scaglie tettoniche a vergenza generalmente nord-orientale e risulta variamente sovrascorsa sui termini marini meso-cenozoici dell'Unità del Fortore, su quelli infra-miocenici del Gruppo di Villanova del Battista e su quelli infra-pliocenici del Supersintema di Ariano Irpino. A luoghi l'unità risulta tettonicamente ricoperta dai termini marini più antichi dell'Unità tettonica del Fortore e di quella del Frigento.

#### **4.2.1.1 Sub-unità del Vallone del Toro**

La sub-unità tettonica del Vallone del Toro include le Argilliti policrome del Calaggio (APC) e la Argilliti con gessi di Mezzana di Forte (MZF).

Le Argilliti policrome del Calaggio (APC) affiorano localmente nel settore centrale dell'area di intervento, lungo i versanti che bordano il fondovalle del Torrente Cervaro e del Vallone del Confine, indicativamente tra le pk 51 e 56 circa (Figura 4 9).

Si tratta di depositi marini di bacino e base scarpata costituiti da argille, argille marnose e marne di colore grigio-azzurro, verde e rossastro, in strati da molto sottili a sottili, con locali intercalazioni di torbiditi calcaree grigio chiare; a luoghi si rinvengono passaggi di calcilutiti e calcari marnosi di colore grigio, in strati da sottili a medi, ricchi di noduli di pirite e hard ground, in alternanza con marne calcaree silicizzate e selci rosa e violacee; a varie altezze stratigrafiche sono presenti orizzonti lentiformi costituiti da alternanze di calcareniti torbiditiche biancastre, calcareniti glauconitiche verdastre, calcilutiti grigiobiancastre e argille marnose grigie e rossastre; nella parte alta della successione si rinvengono intercalazioni di diatomiti di colore nerastro, fissili, con nuclei sulfurei giallognoli e clasti di gesso cristallino millimetrico. L'unità presenta uno spessore massimo di circa 170 m ed è riferibile al Tortonian medio – Messiniano superiore.

Le Argilliti con gessi di Mezzana di Forte (MZF) affiorano unicamente nel settore meridionale dell'area di intervento, in località Tre Torri, lungo i versanti in sinistra idrografica del Torrente Fiumarella, approssimativamente tra pe pk 66 e 67 circa.

*Si tratta di depositi marini di bacino a bassa salinità costituiti da argille, argille limose e argille marnose di colore grigio-verdastro, a luoghi varicolori (MZF), in strati da sottili a medi, con diffusi cristalli centimetrici di gesso, locali lenti di gessareniti e frequenti passaggi di sabbie e sabbie limose grigie e giallastre; a luoghi si rinvengono porzioni ad assetto caotico, costituite da blocchi eterometrici di calcari marnosi, calcareniti, marne silicizzate e gesso in abbondante matrice argilloso-limosa. Questa formazione presenta uno spessore massimo di circa 150 m ed è riferibile al Messiniano superiore.*

#### **4.2.1.2 Sub-unità di Masseria Sicuranza**

*La sub-unità tettonica di Masseria Sicuranza è rappresentata da quattro successioni marine meso-cenozoiche di bacino e base scarpata, conosciute in letteratura come Flysch di Faeto (FAE), Marne argillose del Toppo Capuana (TPC), Tripoli (TPL) ed Evaporiti di Monte Castello (CTL).*

*Il Flysch di Faeto (FAE) consiste in depositi marini di bacino e base di scarpata, costituiti da calcareniti, calcilutiti e calcari marnosi di colore grigio e biancastro, in strati da sottili a medi, con frequenti intercalazioni di argille limose e argille marnose grigie e grigio-verdastre; a luoghi si rinvengono passaggi di micro-conglomerati e calciruditi bioclastiche di colore grigio, in strati da medi a spessi; localmente sono presenti orizzonti di brecciole calcaree e porzioni a struttura caotica riferibili a slumps. Poggia con contatto stratigrafico graduale sulla Formazione di Monte Sidone e passa per alternanza, verso l'alto, alle marne argillose del Toppo Capuana. Lo spessore massimo stimato è di circa 700 m, l'età è compresa tra il Burdigaliano superiore (?) e il Messiniano inferiore.*

... ..

*La formazione del Flysch del Faeto si presenta in generale come una potente successione torbiditica prevalentemente di natura calcarea, priva di contenuto silicoclastico (arenarie) nella quale si alternano pacchi dello spessore di diverse decine di metri con diverso rapporto lapideo/pelitico.*

*In estrema sintesi sono state differenziate tre facies:*

- Facies argilloso-marnoso-calcarea (FAE-am): caratterizzata da argille grigie e sottili strati calcarenitici e marnosi. L'ammasso, per la sua elevate componente pelitica (70-80%), si presenta sempre molto deformato in pieghe con stretto raggio. Talora sono presenti deformazioni sin-sedimentarie (slumping) (Figura 4 10Figura 4 11);*
- Facies marnoso-argilloso-calcarea (FAE-ma): costituita da marne e calcari con frequenti intervalli argillosi. Rapporto pelitico lapideo 50% (Figura 4 12Figura 4 13Figura 4 14);*
- Facies calcarea-argillosa (FAE-C): sono presenti prevalentemente calcari ben stratificati a cui si intercalano sottili starti di argille. La formazione contiene anche banchi di calciruditi e conglomerati calcarei (Figura 4 15Figura 4 16).*

... ..

*Le marne argillose di Toppo Capuana (TPC, Figura 4 17) sono depositi marini di bacino, costituiti da marne ed argille limose, argille marnose di colore grigio e grigio-azzurro, in strati da medi a molto spessi, generalmente a laminazione piano-parallela, con locali passaggi di sabbie e sabbie limose grigie e giallastre; a luoghi si rinvengono intercalazioni di arenarie, siltiti e calcilutiti di colore grigio e giallastro, in strati da sottili a medi. Lo spessore massimo è di circa 250 m. L'età è compresa tra il Tortoniano superiore e il Messiniano inferiore.*

... ..

La formazione di Tripoli (TPL, Figura 4 18) affiora in una stretta fascia del versante di Immerse, in destra idrografica del torrente Cervaro, alla pk 47+500 circa, ed in lembi di ridotta estensione nel settore centrale dell'area di studio, in località Cava di gesso, nei pressi della pk 56+400 circa. Si tratta di depositi marini di bacino euxinico costituiti da marne e marne argillose di colore biancastro, laminate e fissili, con frequenti intercalazioni di diatomiti bianche, passaggi di marne bituminose e abbondanti resti di pesci teleostei (scheletri e squame); nella parte alta della successione si rinvengono sottili livelli di cineriti chiare. Tali litotipi presentano uno spessore massimo di circa 80 m e sono ascrivibili al Tortoniano superiore – Messiniano inferiore.

... ..

Le Evaporiti di Monte Castello (CTL, Figura 4 19) affiora in lembi di limitata estensione nel settore centrale della zona di studio, in particolare nella zona compresa tra il torrente Cervaro ed il torrente di Vena ed in corrispondenza della porzione più elevata del rilievo di Monte Castello, che risulta appena al di fuori dell'areale di studio. Si tratta di depositi marini di bacino evaporitico, ed al suo interno comprende una litofacies a composizione calcareo-brecciosa (CTLa) che risulta in parziale eteropia con la parte basale della formazione. Le Evaporiti di Monte Castello (CTL) sono costituite da gessi selenitici macrocristallini di colore grigio chiaro, massivi o in strati molto spessi, in alternanza con marne gessose, gessosiltiti, gessoareniti e gessoruditi grigie e biancastre; a luoghi si rinvengono passaggi di argille grigio-verdastre con intercalazioni di cineriti bianche. Tale formazione presenta uno spessore massimo di circa 230 m ed è riferibile al Messiniano inferiore.

... ..

#### **4.2.2 Unità del Fortore**

L'unità tettonica del Fortore è rappresentata da un'unica sub-unità, denominata Gruppo di Groppa d'Anzi, e risulta localmente affiorante nel settore centro-meridionale dell'area di studio. Tale unità è strutturata in una serie di falde tettoniche a vergenza nord-orientale e risulta variamente sovrascorsa sui termini marini meso-cenozoici dell'Unità della Daunia, su quelli messiniani del Gruppo di Altavilla e su quelli pliocenici del Supersintema di Ariano Irpino. Localmente, l'unità è a sua volta ricoperta da scaglie poco estese dei termini litologici dell'Unità della Daunia.

Il gruppo in esame è rappresentato da una singola successione marina meso-cenozoica di bacino e base scarpata, nota in letteratura come Formazione delle Argille Varicolori (AVR, Figura 4 20).

... ..

Si tratta di depositi marini di bacino e base scarpata costituiti da argille, argille limose e argille marnose di colore grigio e varicolori, caotiche o a struttura scagliosa, con rare ghiaie poligeniche di dimensioni centimetriche e sporadici orizzonti di radiolariti policrome; a luoghi si rinvengono intercalazioni lenticolari di marne calcaree, calcari marnosi e calcilutiti di colore grigio e biancastro, in strati da medi a spessi, e passaggi di biocalciruditi e biocalcareniti biancastre con abbondanti microfaune rimaneggiate. Questa litofacies mostra uno spessore massimo di circa 850 m ed è riferibile al Cretacico superiore – Burdigaliano superiore?

... ..

#### **4.2.3 Unità di Frigento**

L'unità tettonica di Frigento è rappresentata da un unico gruppo, denominato Gruppo di Monte Arioso, e risulta ampiamente affiorante nel settore centrale e sud-occidentale della zona di studio.

Questa unità è strutturata in una serie di scaglie tettoniche a vergenza nord-orientale e risulta generalmente ricoperta stratigraficamente dai depositi marini infra-cenozoici dell'Unità della Daunia. Il presente gruppo è rappresentato da due formazioni marine meso-cenozoiche di bacino, base scarpata e di conoide sottomarina e piana batiale, rispettivamente denominate *Flysch Rosso* e *Flysch Numidico*.

Il *Flysch Rosso* (FYR) affiora diffusamente nel settore centrale e meridionale della zona di intervento, a N del Torrente di Vena e, in lembi di limitata estensione, nei settori sud-occidentali della stessa, a NE del centro abitato di Grottaminarda, in località Pezze dei Piani; si tratta di depositi marini di bacino e base scarpata. Nel *Flysch Rosso* è possibile distinguere nella porzione inferiore un membro prevalentemente calcareo (FYR2), il quale evidenzia rapporti eteropici con la formazione indifferenziata (FYR). È stata distinta inoltre una litofacies calcareo-clastica con subordinati livelli pelitici (FYRa).

La formazione FYR (Figura 4 21) è costituita da argille, argille marnose e marne di colore rossastro, grigio-azzurro e verdastro, scagliose o sottilmente laminate, con subordinate intercalazioni di calcari marnosi, calcilutiti e calcareniti rosa e biancastre, talora con noduli e lenti di selce scura e abbondanti resti di nummuliti e alveoline; a luoghi si rinvengono passaggi di radiolariti e argille silicizzate di colore rossastro e grigioverdastro, in strati da molto sottili a sottili. Essa mostra uno spessore massimo di circa 800 m ed è ascrivibile al Cretacico superiore – Burdigaliano superiore.

La litofacies calcareo-clastica (FYRa) affiora in lembi di limitata estensione nel settore sudoccidentale dell'area di interesse progettuale, in destra e sinistra idrografica del fiume Ufita (località Pescone), e nel settore centrale della stessa, lungo alcuni versanti che bordano il Vallone del Confine.

Si tratta di calcareniti torbiditiche di colore biancastro, in strati da medi a spessi, gradate e laminate, con frequenti passaggi di calcari marnosi bianco-giallastri, calcilutiti grigie e calciruditi con abbondanti resti di nummuliti e alveoline; a luoghi si rinvengono livelli di argille e argille marnose di colore grigio e rossastro, in strati da sottili a medi, e locali passaggi di marne calcaree silicizzate. Essa mostra uno spessore massimo di circa 150 m ed è ascrivibile al Cretacico superiore - Burdigaliano superiore.

Il membro calcareo-marnoso (FYR2) affiora nel settore sud-occidentale dell'area di studio, in destra idrografica del Fiume Ufita (località Fiocaglia), e nel settore centrale della stessa, lungo i versanti che bordano il Torrente di Vena e il Vallone del Confine. Si tratta di calciruditi e calcareniti di colore grigio e biancastro, in strati da medi a spessi, con abbondanti resti di nummuliti e alveoline e locali intercalazioni di argille marnose e marne rossastre e verdastre; nella parte bassa della successione si rinvengono livelli di argille e marne argillose di colore grigio, verde e rosso, calcilutiti biancastre con liste e noduli di selce scura e calcari marnosi silicizzati. Questi litotipi presentano uno spessore massimo di circa 250 m e sono riferibili al Cretacico superiore - Eocene superiore.

... ..

Il *Flysch Numidico* (FYN) Affiora unicamente nel settore centrale della zona di interesse progettuale, in località Masseria Capoiazzo. Si tratta di depositi marini di bacino e base scarpata costituiti da quarzoareniti medio-grossolane di colore grigio o giallastro, in strati da medi a molto spessi, con locali passaggi di quarzosiltiti grigie e subordinate intercalazioni decimetriche di argille marnose, marne e calcari marnosi grigi e grigioverdastrati; alla base



della successione si rinvengono quarzoareniti di colore giallo arancio, in strati da medi a spessi, in alternanza con marne argillose grigie e rossastre.

Tali litotipi presentano uno spessore massimo di circa 350 m e sono riferibili al Burdigaliano superiore – Langhiano. Nei pochi sondaggi profondi che hanno attraversato il contatto Flysch Rosso - Flysch del Faeto non sono state riscontrate le arenarie quarzose del Numidico.

#### **4.2.4 Unità sinorogene del Miocene Medio-Superiore**

Questa sequenza è formata da un singolo gruppo, denominato Gruppo di Villanova del Battista, e risulta localmente affiorante nel settore centro-meridionale dell'area di studio. La sequenza è in contatto stratigrafico discordante sui termini marini meso-cenozoici dell'Unità tettonica del Fortore e risulta sovrascorsa sui depositi alto miocenici del Gruppo di Altavilla e su quelli basso pliocenici del Supersistema di Ariano Irpino. Tale gruppo è rappresentato da una sola successione marina tardo-cenozoica di conoide sottomarina e piana batiale, nota in letteratura come Formazione di Villanova del Battista (VBA).

La formazione in esame affiora nel settore centro-meridionale della zona di studio. Si tratta di depositi marini di conoide sottomarina e piana batiale, costituiti da due distinti membri a composizione marnoso-arenacea e arenaceo-marnosa. Il membro marnoso-arenaceo (Arenarie di Ripe di Giacinto, VBA2) poggia in continuità stratigrafica o in parziale eteropia su quello arenaceo-marnoso (Membro di Costa delle Rose, VBA3). Questa formazione presenta uno spessore massimo di circa 600 m ed è ascrivibile al Tortoniano medio – Messiniano inferiore.

Le Arenarie di Ripe di Giacinto (VBA2) affiorano nel settore centro-meridionale della zona di intervento, a ENE del centro abitato di Villanova del Battista. Si tratta di arenarie quarzoso-feldspatiche di colore giallo chiaro, in strati da spessi a molto spessi, con diffuse clay chips verdastre e sottili intercalazioni di argille e marne grigie; a luoghi si rinvengono passaggi di paraconglomerati mal stratificati, da poco a ben cementati. Tali depositi mostrano uno spessore massimo di circa 200 m e sono ascrivibili al Tortoniano medio.

Il Membro di Costa delle Rose (VBA3) affiora nel settore centro-meridionale dell'area di interesse progettuale, poco ad E del centro abitato di Villanova di Battista. Si tratta di argille marnose, marne e siltiti di colore grigio-verde e brunastro, laminate o in strati molto sottili, con frequenti passaggi di arenarie giallo-brunastre a laminazione piano-parallela e convoluta; a luoghi si rinvengono livelli di arenarie di colore giallastro, in strati da sottili a medi, con impronte di fondo e gradazione diretta. Questa formazione mostra uno spessore massimo di circa 400 m ed è riferibile al Tortoniano medio – Messiniano inferiore.

#### **4.2.5 Unità sinorogene del Messiniano Superiore**

Questa sequenza è composta da un unico gruppo, denominato Gruppo di Altavilla, e si rinviene diffusamente nel settore centro-meridionale e sud-occidentale dell'area di studio. Tale sequenza poggia in contatto stratigrafico discordante sui termini marini infra-cenozoici dell'Unità della Daunia ed è localmente ricoperta in sovrascorrimento dai terreni meso-cenozoici dell'Unità del Fortore e dai depositi infra-miocenici del Gruppo di Villanova del Battista. Tale gruppo è rappresentato da una successione continentale alto-miocenica di genesi fluvio-lacustre, denominata Formazione del Torrente Fiumarella (TFR), e da una successione marina alto-miocenica di lago-mare, denominata Molasse di Anzano (ANZ).

La formazione del Torrente Fiumarella (TFR, Figura 4 22) affiora localmente nel settore sud-occidentale della zona di studio, lungo i versanti che bordano il Torrente Fiumarella e a NE della località Serro Palumbo. Si tratta di depositi continentali di lago e piana alluvionale ed al suo interno comprende una litofacies a composizione conglomeratico-arenacea, che risulta intercalata alla precedente e in parziale eteropia con la stessa. La formazione è

costituita da argille limose e argille sabbiose di colore nerastro, grigio-verdastro e marrone, laminate o in strati molto sottili, con diffusi passaggi di sabbie grigie e giallastre, marne sabbiose verdastre e limi detritici scuri con frustoli carboniosi e clasti di gesso; a luoghi si rinvengono livelli di arenarie di colore giallastro, massive o mal-stratificate, e lenti di conglomerati disorganizzati in scarsa matrice sabbiosa; a più altezze stratigrafiche sono presenti passaggi di argille e argille marnose varicolori e nerastre, scagliettate e fortemente caoticizzate. Tali litotipi presentano uno spessore massimo di circa 300 m e sono ascrivibili al Messiniano superiore.

In prossimità della confluenza tra il Torrente Fiumarella e il Vallone Masciano, sono presenti lembi di ridotta estensione della litofacies conglomeratico-arenacea (TFRa), presente a diverse altezze all'interno della Formazione del torrente Fiumarella.

Si tratta conglomerati a clasti eterometrici prevalentemente calcareo-marnosi, da sub-arrotondati ad arrotondati, mal-stratificati o in strati molto spessi, in matrice sabbiosa di colore grigio e marrone, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvengono lenti di arenarie grigio-brune e passaggi di argille sabbiose grigio-verdastre con abbondanti resti di ostracodi dulcicoli. Tali litotipi mostrano uno spessore massimo di circa 80 m e sono riferibili al Messiniano superiore.

... ..

La formazione delle Molasse di Anzano (ANZ) affiora estesamente nel settore sud-occidentale dell'area di interesse, lungo i rilievi che bordano il fondovalle del fiume Ufita e del torrente Fiumarella. Si tratta di depositi marini di lagomare, costituiti da due distinti membri a composizione arenaceo-marnosa e conglomeratico-arenacea, tra loro largamente eteropici. Il membro arenaceo-marnoso risulta intercalato, a tetto ed a letto, da una litofacies calcareo-marnosa. Questi litotipi presentano uno spessore massimo di circa 350 m e sono riferibili al Messiniano superiore. Comprende due membri, denominati rispettivamente Membro di Vallone di Fassa (ANZ1) e Membro di Flumeri (ANZ2).

Il membro Membro di Vallone di Fassa (ANZ1) affiora unicamente all'estremo sud-occidentale dell'area di studio, in località pezze dei Piani, a NE del centro abitato di Grottaminarda e non interferisce con le opere in progetto. Si tratta di microconglomerati e arenarie quarzoso-feldspatiche di colore grigio e giallastro, in strati da spessi a molto spessi, con abbondante matrice fine e grado di cementazione variabile, talora con noduli epigenetici; a luoghi si rinvengono paraconglomerati poligenici e livelli di cineriti biancastre a composizione riolitica. Tale membro presenta uno spessore massimo di circa 350 m ed è ascrivibile al Messiniano superiore.

Il Membro di Flumeri (ANZ2) affiora nel settore sud-occidentale della zona di intervento, dai rilievi presenti a N di Flumeri fino a quelli posti a SO di Villanova del Battista. Si tratta di argille limose, argille marnose e marne di colore grigio, in strati da molto sottili a sottili, ricche di sostanza organica e resti vegetali, con frequenti intercalazioni di sabbie e sabbie limose grigie; a luoghi si rinvengono passaggi di arenarie di colore giallo-brunastro, in strati da sottili a medi, con diffuse clay chips verdastre e frequenti impronte di fondo. Questi litotipi mostrano uno spessore massimo di circa 250 m e sono riferibili al Messiniano superiore.

#### **4.2.6 Unità a limiti inconformi del Pliocene**

Tale sequenza è composta da una sola unità sedimentaria, il Supersintema di Ariano Irpino, che risulta ampiamente affiorante in tutta l'area di intervento. La sequenza in questione poggia in contatto stratigrafico discordante su tutte le unità geologiche più antiche ed è tettonicamente ricoperta dei depositi marini dell'Unità tettonica della Daunia; è l'espressione della sedimentazione avvenuta in bacini tipo wedge-top tra il Pliocene inferiore

ed il Pliocene medio. Le unità che compongono la sequenza sedimentaria sono interessate da diversi sovrascorrimenti secondari e, localmente, tendono a suturare le strutture compressive più antiche.

Il Supersintema di Ariano Irpino è rappresentato da tre successioni marine infra-plioceniche di piattaforma, transizione, spiaggia emersa e laguna, rispettivamente denominate Formazione della Baronia, Formazione di Sferracavallo e Sintema di Bovino.

#### **4.2.6.1 Formazione della Baronia**

Tale formazione affiora nel settore centro-meridionale dell'area di studio, in corrispondenza dei rilievi collinari presenti tra il fondovalle del torrente Cervaro e quello del torrente Fiumarella. Si tratta di depositi marini di piattaforma, transizione, spiaggia emersa e laguna, che rappresentano l'espressione di un unico ciclo sedimentario completo, del quale è ben sviluppata la porzione superiore regressiva. Le osservazioni di dettaglio hanno messo in evidenza una spiccata variabilità dei caratteri litologici e sedimentologici nella porzione basale della successione, dove sono presenti sia termini ciottolosi e sabbiosi arrossati, di ambiente alluvionale deltizio, sia conglomerati con ciottoli con fori di litodomi e sabbie di spiaggia con tanatocenosi a gusci di molluschi marini. Verso l'alto si nota la presenza di torbiditi arenaceo-pelitiche, ben esposte negli affioramenti del letto del fiume Ufita, al margine sudoccidentale della Baronia, oppure di olistostromi, osservabili in alcune località ad ovest e sud-ovest di Ariano Irpino. La sedimentazione diviene quindi generalmente pelitica, con forti spessori di argille siltose o marnose, e successivamente sabbiosa; infine, si passa a conglomerati poligenici massivi, che si sviluppano per alcune centinaia di metri di spessore, e che costituiscono un litotipo caratteristico dei rilievi della Baronia. Nella formazione della Baronia sono stati riconosciute e cartografate cinque subunità, mentre nell'area di studio sono stati distinti tre membri, a volte comprendenti varie litofacies, con rapporti di eteropia. La formazione poggia con contatto inconforme su varie unità. Il passaggio latero-verticale tra i membri è sempre graduale. Lo spessore complessivo è di oltre 1850 m.

##### **4.2.6.1.1 Membro dei conglomerati e delle sabbie di S. Sossio Baronia (BNA1)**

Il membro dei conglomerati e delle sabbie di S. Sossio Baronia è costituito da due litofacies principali, considerate eteropiche. La litofacies ruditica (BNA1a) non affiora nell'area di studio ed è formata da conglomerati arrossati massivi con ciottoli arrotondati di ambiente alluvionale e costiero, cui si intercalano lenti di arenarie e sabbie siltoso-marnose con laminazione piano-parallela ed incrociata. La litofacies sabbiosa (BNA1b) affiora nel settore meridionale della zona di intervento, in località Montarozzo e Parco Sambuco, e nella porzione sommitale del versante di Serro Palumbo, ed è formata da sabbie giallognole di ambiente litorale in strati a luoghi amalgamati, intensamente bioturbate, con intercalazioni siltoso-argillose; a luoghi si rinvengono livelli di sabbie limose di colore grigio e giallastro, in strati da sottili a medi, alternate ad arenarie calcaree arrossate e argille marnose verdi con noduli calcarei e resti vegetali. La litofacies BNA1b presenta uno spessore massimo di circa 100 m ed è riferibile al Pliocene inferiore.

##### **4.2.6.1.2 Membro pelitico-arenaceo del Fiume Miscano (BNA2)**

Il membro si rinviene nel settore centro-meridionale dell'area di interesse progettuale, tra il fondovalle del Torrente Fiumarella e la dorsale che congiunge Stratola con località Tesoro. Si tratta di argille limose e argille limoso-marnose di colore grigio, in strati da molto sottili a sottili, con locali intercalazioni di sabbie limose grigie e rari resti di molluschi; a luoghi si rinvengono passaggi di arenarie e sabbie di colore grigio e giallastro, massive o mal-

*stratificate, talora a laminazione pianoparallela. Tali litotipi presentano uno spessore massimo di circa 800 m e sono riferibili al Pliocene Inferiore.*

#### **4.2.6.1.3 Membro sabbioso di Apollosa (BNA3)**

*Il membro affiora nel settore centro-meridionale della zona di studio, a ENE di Monte Verzale, in localita Casa Cirrarelli e tra il Fosso Vascavina e il Fosso Melaro. Si tratta di sabbie medio-grossolane di colore grigio e giallastro, in strati da sottili a medi, con abbondanti resti di ostreidi e pectinidi e con sottili intercalazioni di argille marnose verdastre; nella parte alta della successione di rinvengono argille marnose di colore grigio scuro, in strati da sottili a medi, in alternanza con arenarie e siltiti giallastre poco cementate. Il membro in esame presenta uno spessore massimo di circa 600 ed e riferibile al Pliocene inferiore.*

#### **4.2.6.2 Formazione di Sferracavallo**

*La formazione affiora nel settore centrale dell'area di studio, lungo i rilievi che bordano il fondovalle del Torrente Cervaro. Si tratta di depositi marini di piattaforma, transizione e spiaggia emersa, costituiti da tre distinti membri a composizione arenaceo-sabbiosa, argilloso-sabbiosa e calcarenitico-arenacea. Il membro argilloso-sabbioso è in rapporti di parziale eteropia con quello calcarenitico-arenaceo, mentre il membro arenaceo-sabbioso poggia su quello argilloso-sabbioso in continuità stratigrafica. Questa formazione mostra uno spessore massimo di circa 900 m ed è ascrivibile al Pliocene medio.*

##### **4.2.6.2.1 Calcareniti del Torrente di Vena (STF1)**

*Il membro in esame affiora nel settore centrale della zona di intervento, tra il Torrente Cervaro e il Torrente Di Vena, approssimativamente tra le pk 54 e 56. Si tratta di calcareniti bioclastiche di colore grigio e giallastro, lentiformi o in strati molto spessi, con abbondanti resti di molluschi e brachiopodi, frequenti passaggi di arenarie giallastre a cemento calcareo e sporadiche intercalazioni di calcilutiti chiare; alla base della successione si rinvengono conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati, massivi o in strati molto spessi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante. Questo membro presenta uno spessore massimo di circa 100 m ed è riferibile al Pliocene medio.*

##### **4.2.6.2.2 Peliti di Difesa Grande (STF2)**

*Il membro affiora nel settore centrale della zona di interesse progettuale, lungo una fascia a direzione NW-SE estesa tra Camporeale e il Torrente di Vena, approssimativamente tra le pk 56 e 59. Si tratta di argille limose e argille marnose di colore grigio, in strati da molto sottili a sottili, con frequenti intercalazioni di sabbie limose grigie e giallastre e abbondanti resti di molluschi; alla base della successione si rinvengono alternanze di conglomerati, sabbie e limi arrossati di genesi continentale. Il membro in esame mostra uno spessore massimo di circa 500 m ed è ascrivibile al Pliocene medio.*

##### **4.2.6.2.3 Areniti di Costa San Paolo (STF3)**

*Questo membro affiora nella porzione centrale dell'area di interesse, in localita Stratola, approssimativamente alla pk 57+000. Si tratta di arenarie quarzoso-feldspatiche di colore giallastro, in strati da sottili a medi, con frequenti passaggi di sabbie limose e limi argilloso-sabbiosi grigio-biancastrati e giallastri; a luoghi si rinvengono livelli di sabbie e sabbie limose di colore giallastro, in strati da sottili a medi, con abbondanti resti di bivalvi. Tale membro presenta uno spessore massimo di circa 300 m ed è riferibile al Pliocene medio.*

#### 4.2.6.3 Sintema di Bovino

*Il sintema di Bovino (BVN) affiora diffusamente nella porzione nord-orientale della tratta in esame, lungo i rilievi che bordano il fondovalle del Torrente Cervaro. Si tratta di depositi marini di piattaforma e transizione, costituiti da due distinti membri a composizione argilloso-sabbiosa e arenaceoconglomeratica. Il membro argilloso-sabbioso (BVNb) costituisce gran parte della sequenza stratigrafica, mentre quello arenaceo-conglomeratico (BVNa) risulta intercalato al precedente e in parziale eteropia con lo stesso. Questo sintema mostra uno spessore massimo di circa 250 m ed è riferibile al Pliocene medio.*

*Le Arenarie e Conglomerati di Castello Schiavo (BVNa) sono costituiti da arenarie quarzoso-feldpastiche di colore grigio e giallastro, in strati da medi a molto spessi, in alternanza con conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati, in strati molto spessi e di forma irregolare, in matrice sabbiosa e calcareo-sabbiosa di colore grigio e giallastro, generalmente scarsa; nella parte bassa della successione si rinvengono conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati, in strati generalmente molto spessi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, da scarsa ad abbondante (Figura 4 23). Lo spessore massimo è di circa 100 m. Questa successione è attribuita al Pliocene medio.*

... ..

*Le Argille e Sabbie del Vallone Meridiano (BVNb) sono costituiti da argille, argille limose e argille marnose di colore grigio e grigio scuro, in strati da medi a molto spessi, talora a laminazione piano-parallela, con frequenti intercalazioni di sabbie limose, siltiti e arenarie grigie e giallastre; a luoghi si rinvengono lenti ciottolose a elementi ben arrotondati e strati di marne sabbiose a laminazione piano-parallela; talora sono presenti spessi orizzonti di arenarie e siltiti di colore grigio, in strati da sottili a medi, con diffuse intercalazioni di sabbie e abbondanti resti di molluschi (Figura 4 24). Lo spessore massimo è di circa 250 m. L'età di tale successione è ascritta al Pliocene Medio.*

*Figura 4 24 - Alternanza di strati sabbiosi e argillosi delle Argille e Sabbie del Vallone Meridiano (BVNb).*

#### 4.2.7 Depositi continentali quaternari

*Questi depositi sono rappresentati da cinque differenti sequenze sedimentarie, quella dei Depositi ubiquitari formati, delle Unità dei bacini dei torrenti minori, delle Unità del bacino del Fiume Calore, del Tavolore della Puglia e quella dei Depositi ubiquitari in formazione, ampiamente affioranti in tutta l'area di studio. I terreni in questione ricoprono in discordanza i diversi termini litologici del substrato e, in generale, risultano caratterizzati da differenti paleosuoli e superfici erosive.*

##### 4.2.7.1 Depositi ubiquitari formati

*Tali depositi sono formati da una singola unità vulcanica quaternaria di caduta, genericamente denominata Depositi vulcanoclastici. I depositi in esame affiorano unicamente nel settore meridionale della tratta in esame. Si tratta di depositi vulcanici di caduta, costituiti da pomice e ceneri incoerenti con granulometria prevalente della sabbia, di colore dal giallo ocra al bruno rossiccio, e più raramente di tufo coerente in banchi, cartografati come piroclastiti. Risultano generalmente rimaneggiati e pedogenizzati. In genere si presentano areati o mediamente addensati, e talora costituiscono dei veri e propri paleosuoli. Tali depositi vulcanici si sono originati con le varie eruzioni esplosive del Somma Vesuvio e ricoprono le piane alluvionali e i versanti con geometria variabile e spessori*

variabili. Tali terreni mostrano uno spessore massimo di circa 5 m e sono ascrivibili al Pleistocene medio? – Olocene.

#### 4.2.7.2 Depositi dei bacini dei torrenti minori

Questa unità è formata da due unità sintemiche quaternarie di genesi prevalentemente alluvionale, denominate rispettivamente Sintema di Savignano Irpino e Sintema del Torrente Cervaro.

##### 4.2.7.2.1 Sintema di Savignano Irpino

Il presente sintema si rinviene nel settore centrale dell'area in esame, lungo la parte alta dei rilievi che bordano il fondovalle del Torrente Cervaro. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, conoide alluvionale e piana inondabile, costituiti da tre distinti subsintemi a composizione sabbiosoghiaiosa, sabbioso-limosa e limoso-argillosa. Tali terreni mostrano uno spessore massimo di circa 25 m e sono ascrivibili al Pleistocene medio-superiore.

##### 4.2.7.2.1.1 Subsintema di Masseria Palinieri (SVI1)

Tale subsintema affiora nel settore centrale dell'area di studio, in località Cicotti e Masseria Roberti, in corrispondenza della parte sommitale dei rilievi presenti tra il centro abitato di Savignano Irpino e il fondovalle del Torrente Cervaro. Si tratta di limi argilloso-sabbiosi e limi sabbiosi di colore grigio e marrone-rossastro, a struttura indistinta, con rare ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di argille limose e argille sabbiose di colore marrone, a struttura indistinta, con rare ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate. Questo subsintema presenta uno spessore massimo di circa 15 m ed è riferibile al Pleistocene medio?

##### 4.2.7.2.1.2 Subsintema di Torre delle Ciaule (SVI2)

Questo subsintema affiora nel settore centrale della zona di interesse progettuale, tra località Palumbo e Contrada Cicotti, lungo alcune superfici terrazzate poste in corrispondenza dei rilievi presenti in destra idrografica del torrente Cervaro. Si tratta di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro, a struttura indistinta o debolmente laminata, con frequenti ghiaie poligeniche da sub-arrotondate ad arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di limi argillosi e limi argillososabbiosi di colore grigio, a struttura indistinta, con rare ghiaie poligeniche da sub-angolose a subarrotondate. Il subsintema in esame mostra uno spessore massimo di circa 15 m ed è ascrivibile al Pleistocene medio-superiore.

##### 4.2.7.2.1.3 Subsintema di Lambio (SVI3)

Il subsintema in esame si rinviene nella porzione centrale dell'area di intervento, tra Camporeale e località Figurelle, in corrispondenza di alcuni terrazzi morfologici posti sui versanti in destra e in sinistra idrografica del Vallone del Confine. Si tratta di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro (SVI3), a struttura indistinta o debolmente laminata, con frequenti ghiaie poligeniche da sub-arrotondate ad arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante. Questi litotipi presentano uno spessore massimo di circa 25 m e sono riferibili al Pleistocene superiore?

##### 4.2.7.2.2 Sintema del torrente Cervaro (CRV)

Tale sintema affiora nel settore centrale dell'area di studio, lungo il fondovalle del torrente Cervaro. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, conoide alluvionale e piana inondabile, costituiti da ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso limosa di colore grigio, marrone e giallastro, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio e giallastro, a struttura indistinta, con frequenti ghiaie poligeniche

da sub-arrotondate ad arrotondate. Tali terreni presentano uno spessore massimo di circa 15 m e sono riferibili al Pleistocene superiore? – Olocene.

#### 4.2.7.3 Unità del bacino del fiume Calore

Questo sintema si rinviene unicamente nel settore sud-occidentale e centro-meridionale dell'area di studio, tra Stratola e il fondovalle del Fiume Ufita. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, conoide alluvionale e piana inondabile, costituiti da due differenti subsintemi a composizione ghiaioso sabbiosa e ghiaioso-ciottolosa. Tali litotipi mostrano uno spessore massimo di circa 120 m. e sono ascrivibili al Pleistocene medio – Olocene.

##### 4.2.7.3.1 Subsintema di Benevento (SFL3)

I terreni in questione affiorano nella porzione sud-occidentale della zona di intervento, essenzialmente in corrispondenza di superfici terrazzate poste ai margini dei fondivalle del fiume Ufita e del torrente Fiumarella. Si tratta di detriti di versante che ricoprono direttamente il substrato, da colluvioni con intercalati corpi di frana decametrici. Lo spessore di varie decine di metri denota un elevato tasso di smantellamento dei versanti accompagnato da ampi fenomeni franosi. Nella porzione più alta del subsintema, i depositi alluvionali diventano prevalenti ed i fenomeni franosi solo sporadici. Tale subsintema presenta uno spessore massimo di circa 20 m ed è ascrivibile al Pleistocene medio.

##### 4.2.7.3.2 Subsintema del fiume Ufita (SFL4)

Il subsintema affiora diffusamente nel settore sud-occidentale e centro-meridionale della tratta in esame, lungo i fondivalle del fiume Ufita e del torrente Fiumarella e nel Vallone Santa Regina, oltre che in corrispondenza di superfici terrazzate elevate di diversi metri dagli alvei attuali. Al suo interno sono stati individuati tre gruppi principali di litofacies: a) colluvioni limoso sabbiose e depositi di conoide torrentizia, generalmente pedogenizzati nei metri prossimi alla superficie topografica; b) alluvioni ghiaiose con intercalazioni di lenti sabbiose ed argillose; c) limi lacustri e palustri, a luoghi torbosi, presenti nella conca di Grottaminarda. Questi terreni mostrano uno spessore massimo di circa 120 m e sono riferibili al Pleistocene superiore – Olocene.

#### 4.2.7.4 Unità del Tavoliere della Puglia

La presente unità è formata da quattro unità sintemiche quaternarie di genesi essenzialmente alluvionale, rispettivamente denominate Sintema di Orsara, Sintema di Foggia, Sintema de La Sedia di Orlando e Sintema del Torrente Carapelle.

Il sintema di Orsara affiora in lembi di limitata estensione nel settore centrale e sud-occidentale della zona di intervento, lungo il bordo settentrionale della piana alluvionale del Torrente Cervaro. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine e conoide alluvionale, costituiti da due distinti subsintemi a composizione ghiaioso-sabbiosa e conglomeratico-sabbiosa. Il sintema mostra uno spessore massimo di circa 20 m ed è riferibile al Pleistocene medio - Pleistocene superiore?. Il subsintema di Bosco di Acquara (ORS1) si rinviene nel settore sud-occidentale dell'area di studio, in località Bosco di Acquara, in corrispondenza di un piccolo terrazzo morfologico posto immediatamente a Nord del fondovalle del Torrente Cervaro. Si tratta di conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da subangolosi a sub-arrotondati, massivi o mal-stratificati, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvengono lenti di sabbie e sabbie limose di colore grigio, in strati da sottili a medi. Tali depositi presentano uno spessore massimo di circa 20 m e sono ascrivibili al Pleistocene medio. Il subsintema di Inverse Madonna (ORS2) affiora nel settore centrale dell'area di intervento, in località Inverse Madonna, in corrispondenza di alcuni terrazzi morfologici presenti in sinistra idrografica del Torrente Cervaro. Si tratta di ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso limosa di colore grigio, marrone e giallastro, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvengono

passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio e giallastro, a struttura indistinta o debolmente laminate.

Il sintema di Foggia (TGF) si rinviene nel settore nord-orientale della zona di intervento, tra Masseria dei Combattenti e Masseria Serrone, in corrispondenza di estese superfici terrazzate poste lungo il bordo settentrionale della piana alluvionale del Torrente Cervaro. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, conoide alluvionale e piana inondabile, costituiti da limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore grigio, marrone e nerastro, a struttura indistinta o finemente laminata, con frequenti intercalazioni di sabbie limose giallastre, gradate e laminate; a luoghi si rinvengono lenti di conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati, massivi o in strati molto spessi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, generalmente abbondante. Questi depositi mostrano uno spessore massimo di circa 40 m e sono ascrivibili al Pleistocene medio? – Pleistocene superiore.

Il sintema di La Sedia di Orlando (LSO) affiora nel settore centrale e sud-occidentale dell'area di interesse progettuale, in destra idrografica del Vallone Forchione Acquara e in località Inverse Madonna, in corrispondenza di superfici terrazzate elevate di alcuni metri dal fondovalle attuale. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, conoide alluvionale e piana inondabile, costituiti da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro, a struttura indistinta o debolmente laminata, con frequenti ghiaie poligeniche da sub-arrotondate ad arrotondate e sporadiche intercalazioni di argille limose grigie; a luoghi si rinvengono passaggi di ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante. Questa litofacies presenta uno spessore massimo di circa 20 m ed è ascrivibile al Pleistocene superiore.

Il sintema del Torrente Carapelle e Cervaro affiora ampiamente in tutta l'area di studio, in corrispondenza del fondovalle del Torrente Cervaro. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, conoide alluvionale e piana inondabile, costituiti da silt argillosi, silt, sabbie siltose e lenti di ghiaie poligeniche. Tale sintema mostra uno spessore massimo di circa 30 m ed è riferibile al Pleistocene superiore? – Olocene. Include il subsintema dell'Incoronata (RPL1) che si rinviene in tutta la zona di intervento, in corrispondenza della piana alluvionale del Torrente Cervaro. Si tratta di silt argillosi, silt, sabbie siltose e lenti di ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso limosa di colore grigio, avana e giallastro, da scarsa ad abbondante; a luoghi livelli di limi nerastri con coperture decimetriche di sabbie con gradazione diretta, laminate e con al tetto sottili livelli argillosi. Spessore massimo di circa 30 m. Età: Pleistocene superiore? – Olocene.

#### 4.2.7.5 Depositi ubiquitari in formazione

I presenti depositi sono formati da due unità continentali quaternarie, di genesi alluvionale e detritico-colluviale, denominate rispettivamente Coltri eluvio-colluviali e Depositi alluvionali attuali.

Le Coltri eluvio-colluviali (b2) si rinvengono diffusamente in tutta l'area di studio, come copertura di tutte le unità geologiche più antiche, soprattutto in corrispondenza delle depressioni impluviali o alla base dei rilievi più acclivi ed estesi. Si tratta di depositi continentali di versante e alterazione del substrato, costituiti da argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore marrone, grigio e bruno-rossastro, a struttura indistinta, con abbondanti resti vegetali e rare ghiaie poligeniche da angolose a subarrotondate; a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore marrone, grigio e giallastro, a struttura indistinta, con abbondanti resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate. Tali depositi mostrano uno spessore massimo non determinabile e sono riferibili al Pleistocene superiore? – Attuale.



*I Depositi alluvionali attuali (b) si rinvencono in tutta l'area di studio, in corrispondenza degli alvei attuali dei principali corsi d'acqua. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine e conoide alluvionale, costituiti da ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso limosa di colore grigio, marrone e giallastro, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio e giallastro, a struttura indistinta, con frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate. Spessore massimo non determinabile. Età: Olocene – Attuale.*

*Ai depositi appena descritti vanno aggiunti i depositi antropici (r) che si rinvencono esclusivamente nell'area dell'imbocco della finestra costruttiva F3. Si tratta di depositi antropici di riempimento di cava, costituiti da argilla limosa ocrea, con clasti submillimetrici di calcari vacuolari di natura evaporitica, di colore biancastro e clasti millimetrici di cristalli di gesso.*

“

La relazione geologica segue analizzando nel dettaglio l'assetto geologica lungo il tracciato, fornendo fondamentali informazioni sullo sviluppo dei trust e contatti tettonici fra le formazioni e le falde tettoniche. Si rimanda alla citata relazione per un attento esame di dettaglio.

Il profilo geologico è rappresentato nelle immagini contenute dalla Figura 15 alla Figura 21. Le sezioni trasversali, file da IF3A02EZZW7GE0301001B al file IF3A02EZZW7GE0301013B permettono di verificare che non sussistono particolarità, relativamente alle problematiche in esame, non deducibili dalla osservazione del profilo geologico riportato. Per la legenda delle sezioni geologica si rimanda alla relazione e tavole di progetto.

Una significativa sintesi della caratterizzazione delle diverse tipologie di argille riconosciute nelle formazioni attraversate è sintetizzata nella Tabella 7 tratta dalla “Relazione geologica generale”, file IF3A02EZZRGGE0101001B.

Tabella 7 - Sintesi delle caratteristiche macroscopiche delle diverse formazioni argillose presenti nel tratto della Galleria Hirpinia

Formazione	Struttura	Scagliosità	Contenuto mineralogico macroscopico (oltre alle argille)	Contenuto fossilifero Macroscopico	Colore	Età
Argille plioceniche	ben stratificata bacino	Assente	siliceo	bivalvi	Grigio scuro	Pliocene
Marne ed argille del Toppo Capuana	ben stratificata torbiditico	Assente	Siliceo arenarie	Assente	Grigio scuro e marrone	Tortoniano-Messiniano
Argille Flysch del Faeto	Deformate Torbiditico	Assente	Calcareo e marnoso	Assente	Grigio e verde	Tortoniano
Argille del F. Rosso e AVS	Deformate e caotiche Successione bacinale	Presente	Calcareo e marnoso Talora siliceo (selci e diaspri)	Assente	Policrome	Cretacico Miocene inferiore
Argille varicolori (Fortore)	Deformate e caotiche Successione bacinale	Presente	Radiolariti policrome	Assente	Policrome	Cretacico Miocene inferiore
Gruppo delle argille tortoniano-messiniane	Ben stratificate Mare poco profondo	Assente	Arenaceo e gessi	Presente con impronte	Grigio azzurre e verdi	Tortoniano-Messiniano inf
Argille del T. Calaggio APC	Deformate e caotiche Torbiditico	Assente	Arenaceo e gessi Marne silicizzate Glauconite Pirite	Assente	Policrome	Tortoniano-Messiniano inf

“ ... ..

In estrema sintesi, per quanto detto, si potrebbero accorpate i diversi gruppi di argilla tenendo conto di caratteri macroscopici sedimentologici e strutturali che, ovviamente, dovranno trovare conferma nelle caratteristiche geotecniche e quindi geomeccaniche dell'ammasso.

I principali gruppi di argille sono:

- Le argille plioceniche che si presentano in sequenze monotone, ben stratificate per centinaia di metri e che contengono sottili livelli di sabbie (**BVNb**, **BVNa**, **STF2**, **BNA2**).
- Il gruppo delle **argille tortoniane-messiniane** compresa la formazione del Toppo Capuana e T. Calaggio, Anzano che si presentano ben stratificate, spesso con una componente lapidea arenacea. Sono spesso deformate ma non scagliose. Sono Presenti **cristalli di gesso** e strutture **evaporitiche** (**ANZ2a**, **TFR**, **VBA3**, **CTLa**, **CTL**, **TPL**, **TPC**, **MZF**, **APC**).

- *Le argille del Flysch del Faeto che presentano frequenti intercalazioni calcareo-marnose.*
  - *Le argille del Flysch rosso e le AVR che sono molto caotiche, scagliose, policrome e contengono sottili livelli di calcilutiti. Si presentano sempre in giacitura caotica.*
  - *Le marne ed argille della formazione del Toppo Capuana che hanno in generale una maggiore componente lapidea e che si presentano generalmente ben stratificate.*
- .....”

## 12 Idrogeologia

Da letteratura tecnica della zona (ad esempio *La Formazione della Daunia (Appennino centro-meridionale): un esempio di acquifero minore* Bruno R. et al.. Mem. Descr. Carta Geol. d'It. LXXVII (2008), pp. 183 - 200) si evince che il Complesso Argilloso - Marnoso – Calcarenitico, che affiora nella zona dove è ubicata l'opera, accorpa litologie essenzialmente pelitiche, quali argille, argilloscisti e marne variamente siltose alle quali si intercalano, a vari livelli, successioni torbiditiche, carbonatiche ed arenacee con conseguenti forti variazioni di permeabilità che possono determinare una significativa frammentazione del deflusso idrico sotterraneo. La permeabilità, per porosità, è molto bassa: sono gli orizzonti carbonatici, quando caratterizzati da spessori significativi, a presentare una permeabilità per fratturazione, che mostra un grado variabile da medio a medio – basso.

Dall'elaborato progettuale “GEOLOGIA - STUDIO IDROGEOLOGICO – GENERALE - Relazione Idrogeologica”, file IF3A02EZZRGGE0102001B e dai “Profilo idrogeologico in asse al Binario Pari - Tavola 1/18” file da IF3A02EZZF6GE0102001B a IF3A02EZZF6GE0102036B, è possibile trarre le principali informazioni circa la permeabilità dei materiali attraversati.

### **Complesso arenaceo-conglomeratico (CCA)**

Microconglomerati e arenarie in strati da sottili a molto spessi, con locale matrice fine a grado di cementazione variabile, con frequenti passaggi di sabbie limose e limi argilloso-sabbiosi; conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati, mal-stratificati o in strati molto spessi, in matrice sabbiosa, sabbioso-limosa e calcareo-sabbiosa da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvengono si rinvengono intercalazioni di cineriti a composizione riolitica e passaggi di sabbie e sabbie limose.

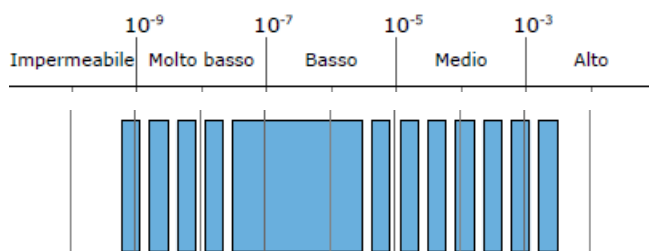
Unità litologiche interessate:

- BVNa – Arenarie quarzoso – feldspatiche
- ANZ1 – microconglomerati ed arenarie quarzoso-feldspatiche
- TRFa – conglomerati eterometrici
- STF1 - calcareniti

Costituiscono acquiferi misti di medio-alta trasmissività, eterogenei ed anisotropi. La permeabilità, per porosità e per fessurazione, è variabile da molto bassa a bassa.

La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da molto bassa a bassa, con un coefficiente di permeabilità  $k$  compreso tra  $10^{-8}$  e  $10^{-6}$  m/s.

*Intervallo di permeabilità del complesso [m/s]*



**Complesso arenaceo – marnoso (CMA)**

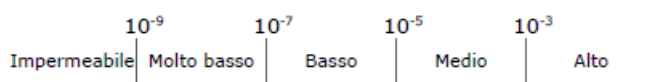
Arenarie e quarzoareniti in strati da medi a molto spessi, con locali passaggi di quarzosiltiti e diffuse intercalazioni di argille marnose, marne e calcilutiti; argille marnose, marne e siltiti laminate o in strati molto sottili, con frequenti passaggi di arenarie a laminazione piano-parallela e convoluta; a luoghi si rinvencono livelli di paraconglomerati mal stratificati, da poco a ben cementati, e orizzonti di quarzoareniti in alternanza con marne argillose.

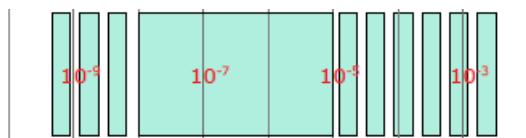
Unità litologiche interessate:

- FYN – quarzoareniti
- VBA2, VBA3 – arenarie e argille, argille marnose, quarzose

Costituiscono acquiferi misti di modesta trasmissività, eterogenei ed anisotropi. La permeabilità, per porosità e fessurazione, è variabile da molto bassa a bassa, con un coefficiente di permeabilità  $k$  compreso tra  $10^{-8}$  e  $10^{-5}$  m/s.

*Intervallo di permeabilità del complesso [m/s]*





### Complesso calcareo (CC)

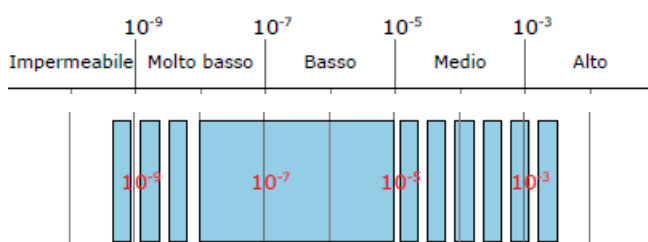
Calcareniti lentiformi o in strati da medi a molto spessi, con frequenti passaggi di arenarie, calcari marnosi, calcilutiti e calciruditi; calcari evaporitici mal-stratificati e vacuolari, con rari nidi di zolfo e orizzonti di brecce calcaree; a luoghi si rinvengono lenti di conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati, massivi o in strati molto spessi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa da scarsa ad abbondante; localmente sono presenti passaggi di marne calcaree silicizzate e livelli di argille e argille marnose.

#### Unità litologiche interessate:

- FYRa – Litofacies calcareo-clastica, costituita da calcareniti
- FYR2 – calcareniti e calciruditi

Costituiscono acquiferi fessurati di discreta trasmissività, eterogenei ed anisotropi. La permeabilità, per fessurazione e carsismo, è variabile. A tale complesso si può quindi attribuire un coefficiente di permeabilità  $k$  compreso tra  $10^{-8}$  e  $10^{-5}$  m/s.

#### *Intervallo di permeabilità del complesso [m/s]*



### Complesso calcareo – marnoso (CCM)

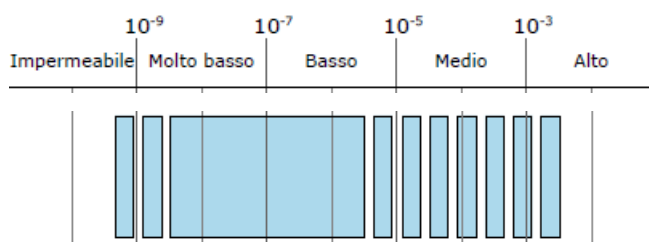
Calciruditi, calcareniti, calcilutiti e calcari marnosi in strati da sottili a spessi, con locali intercalazioni di argille limose, argille marnose e marne; calcari micritici, calcari marnosi e marne laminate o in strati da molto sottili a medi, con locali intercalazioni di arenarie, calcareniti e argille marnose; a luoghi si rinvengono passaggi di microconglomerati, arenarie e calciruditi bioclastiche; localmente sono presenti orizzonti di brecciole calcaree a struttura caotica e intercalazioni di argille e marne argillose in alternanza con calcilutiti e calcari marnosi silicizzati.

#### Unità litologiche interessate:

- ANZ2a – calcari micritici
- FAE/C – Litofacies calcarea, costituita da calcari ben stratificati e compatti con interstrati di argille
- FAE/ma – Litofacies marnoso-argillosa costituita da alternanze di argille, marne e calcareniti

Costituiscono acquiferi di buona trasmissività, eterogenei e anisotropi. La permeabilità, essenzialmente per fessurazione, è variabile da molto bassa a bassa, con un coefficiente di permeabilità  $k$  compreso tra  $3 \cdot 10^{-9}$  e  $3 \cdot 10^{-6}$  m/s.

*Intervallo di permeabilità del complesso [m/s]*



### **Complesso argilloso-marnoso e marnoso-argilloso (CAM)**

Argille, argille marnose e marne scagliose o in strati da molto sottili a sottili, con rare ghiaie poligeniche e locali intercalazioni di torbiditi calcaree e radiolariti; argille limose, limi argillosi e marne in strati da molto sottili a molto spessi, talora poco evidenti e a laminazione piano-parallela, con sottili intercalazioni di sabbie e sabbie limose.

#### Unità litologiche interessate:

ANZ2, APC, AVR, FYR, BNA2 – argille limose, argille marnose

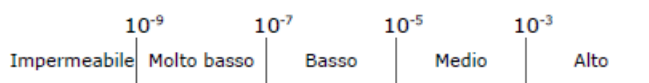
TPL – marne e marne argillose

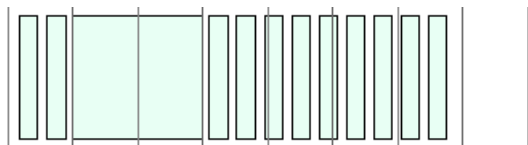
TPC - depositi marini costituiti da argille limose, argille marnose e marne

FAE/am – litofacies argilloso – marnosa costituita da argille grigie e sottili strati calcarenitici e marnosi

Costituiscono limiti di permeabilità per gli acquiferi giustapposti verticalmente o lateralmente e, possono rappresentare acquicludi, verticalmente o lateralmente. La permeabilità, per porosità e fessurazione, è generalmente da molto bassa a bassa. A tale complesso si può attribuire, quindi, un coefficiente di permeabilità  $k$  variabile  $1 \cdot 10^{-9}$  e  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s.

*Intervallo di permeabilità del complesso [m/s]*





### Complesso argilloso-sabbioso (CAS)

Argille limose, argille marnose e marne in strati da molto sottili a molto spessi, talora a laminazione piano-parallela, con frequenti intercalazioni di sabbie e sabbie limose; argille e argille sabbiose laminate o in strati molto sottili, con diffusi passaggi di marne sabbiose, limi detritici e clasti di gesso; sabbie e sabbie limose in strati da sottili a medi, con frequenti intercalazioni di limi argillosi e argille marnose; a luoghi si rinvengono lenti ciottolose e passaggi di arenarie, siltiti e conglomerati ben cementati.

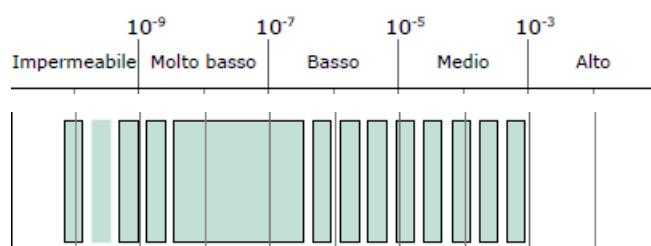
#### Unità litologiche interessate:

- BNA1b, BVNb – Argille, argille limose e argille marnose
- STF2 - argille limose, argille marnose
- TFR – argille limose e argille sabbiose
- STF3 – sabbie limose e limi argilloso-sabbiosi
- BNA3 – sabbie fini alternate ad argille.

Costituiscono acquiferi misti di modesta trasmissività, fortemente eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche di scarsa rilevanza, generalmente discontinue e a carattere stagionale

La permeabilità, per porosità e per fessurazione, è variabile da molto bassa a bassa, con un coefficiente di permeabilità  $k$  compreso tra  $3 \cdot 10^{-9}$  e  $3 \cdot 10^{-7}$  m/s.

#### *Intervallo di permeabilità del complesso [m/s]*



### Complesso gessoso-marnoso (CGM)

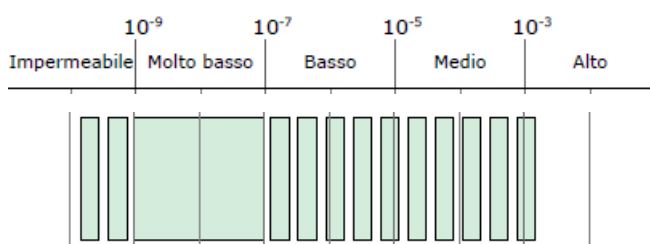
Gessi selenitici macrocristallini massivi o in strati molto spessi, in alternanza con marne gessose, gessosilti, gessoareniti e gessoruditi; argille, argille limose e argille marnose in strati da sottili a medi, con diffusi cristalli centimetrici di gesso, locali lenti di gessoareniti e frequenti passaggi di sabbie e sabbie limose; a luoghi si rinvengono intercalazioni di cineriti

e porzioni ad assetto caotico costituite da blocchi eterometrici di calcari marnosi, calcareniti, marne silicizzate e gesso in abbondante matrice argilloso-limosa.

Unità interessate:

- CTL, CTLa, MZF – Calcari evaporitici, gessi, argille marnose e limose con gessi  
 Costituiscono acquiferi misti di scarsa trasmissività, eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche di ridotta rilevanza, generalmente frazionate e a carattere stagionale. La permeabilità, per porosità e fessurazione, è generalmente molto bassa con un coefficiente di permeabilità  $k$  compreso tra  $1 \cdot 10^{-9}$  e  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s.

*Intervallo di permeabilità del complesso [m/s]*





## 13 Minimizzazione del rischio per lo scavo tradizionale

### 13.1 Classifica rischio metano imbocco Bari

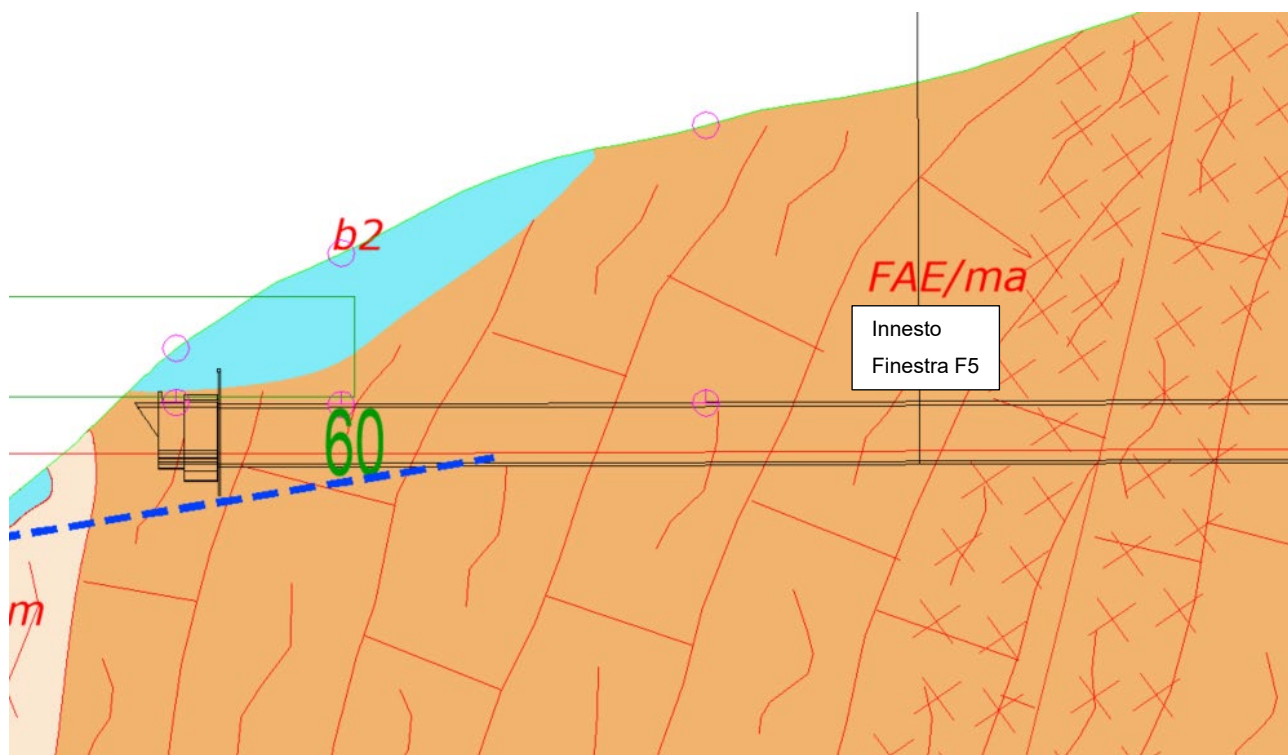


Figura 27 – Profilo geologico non in scala dell'imbocco Bari.

Nella figura è rappresentato il profilo geologico della galleria da imbocco Bari, il tratto realizzato in tradizionale terminerà con un camerone alle progressive 41+607 Binario Pari e 41+631 Binario Dispari, corrisponde a circa 170 metri dall'imbocco e circa 60 oltre l'innesto della finestra F5 (cfr. Figura 29).

Gli elementi che concorrono nella definizione di un modello emissivo e quindi al rischio associato alla presenza di metano nel cantiere sotterraneo sono riassunti nel seguente elenco.

- Lo scavo attraversa una successione calcareo-marnosa che rappresenta una facies peculiare del Flysch del Faeto. Nel tratto in esame la galleria attraversa gli orizzonti marnoso-argilloso-calcarei della formazione del Flysch di Faeto (FAE/ma). La successione si presenta generalmente molto inclinata con strati talvolta sub-verticali e a tratti invertiti (cfr. Figura 15).
- L'esame della letteratura permette di riconoscere presenza di giacimenti profondi di gas nell'area.

- Esiste un importante contatto tettonico alla pk 42+800 ove la galleria entra in una nuova unità strutturale. La struttura dei due tratti risulta differente.
- I monitoraggi eseguiti sui sondaggi nel tratto non hanno rilevato la presenza di metano.
- Non sono presenti alle quote di interferenza dell'opera o comunque con il loro ordine di grandezza strutture ascrivibili a trappole strutturali.
- E' ipotizzata la presenza di una falda idrica libera superficiale il cui tetto è posto nelle coltri rimaneggiate ed alterate dei termini litologici del Flysch di Faeto.
- Lo scavo sarà effettuato a piena sezione, nel primo tratto con una superficie di scavo di circa 53 m<sup>2</sup>, mentre il camerone sarà di circa 85 m<sup>2</sup>.

Sulla base di quanto esposto è ragionevole ipotizzare possibili gli afflussi di grisù dal massiccio verso la galleria, ma con portate prevedibilmente modeste o con modalità che si ritiene non portino a condizioni di rischio in ambiente nel cantiere sotterraneo.

Adottando gli standard definiti dalla NIR28 è possibile definire in classe 1B il tratto in oggetto.

La definizione della classifica tecnica nasce dalla interazione fra le formazioni attraversate e la tecnica di scavo adottata. Nell'analisi sono considerati sempre disponibili alcuni degli accorgimenti ed apprestamenti di sicurezza che risultano fondanti la classifica. Fra questi occorre richiamare l'attenzione sulla sezione di scavo e sulla disponibilità della portata di ventilazione.

Per il sistema di sicurezza si rimanda al documento contenuto nell'Allegato 2 – GALLERIA HIRPINIA - SINTESI CLASSIFICA TECNICA ED APPRESTAMENTI – Rev 1 del 13/07/2022.

## 13.2 Finestra F5

Nella Figura 28 è riportato uno stralcio del profilo geologico della Finestra F5. Lo scavo sarà eseguito nella formazione del Faeto, con un'alternanza della frazione FAE/am e FAE/C.

La carta geologica della zona è riportata nella Figura 29.

L'esame della geologia e dei dati disponibili permette di ritenere la condizione analoga a quella per lo scavo della tratta in tradizionale dell'imbocco Bari, in cui la finestra si innesta. La sezione di scavo sarà di circa 85 m<sup>2</sup>, per poi aumentare nel camerone.

L'analisi degli elementi di conoscenza permette di ritenere come possibili gli afflussi di grisù dal massiccio verso la galleria, ma con portate prevedibilmente modeste o con modalità che si ritiene non portino a condizioni di rischio in ambiente nel cantiere sotterraneo.

Sulla base di quanto esposto è ragionevole ipotizzare possibili gli afflussi di grisù dal massiccio verso la galleria, ma con portate prevedibilmente modeste o con modalità che si ritiene non portino a condizioni di rischio in ambiente nel cantiere sotterraneo.

Adottando gli standard definiti dalla NIR28 è possibile definire in classe 1B il tratto in oggetto.

Per il sistema di sicurezza si rimanda al documento contenuto nell'Allegato 2 – GALLERIA HIRPINIA - SINTESI CLASSIFICA TECNICA ED APPRESTAMENTI – Rev 1 del 13/07/2022.

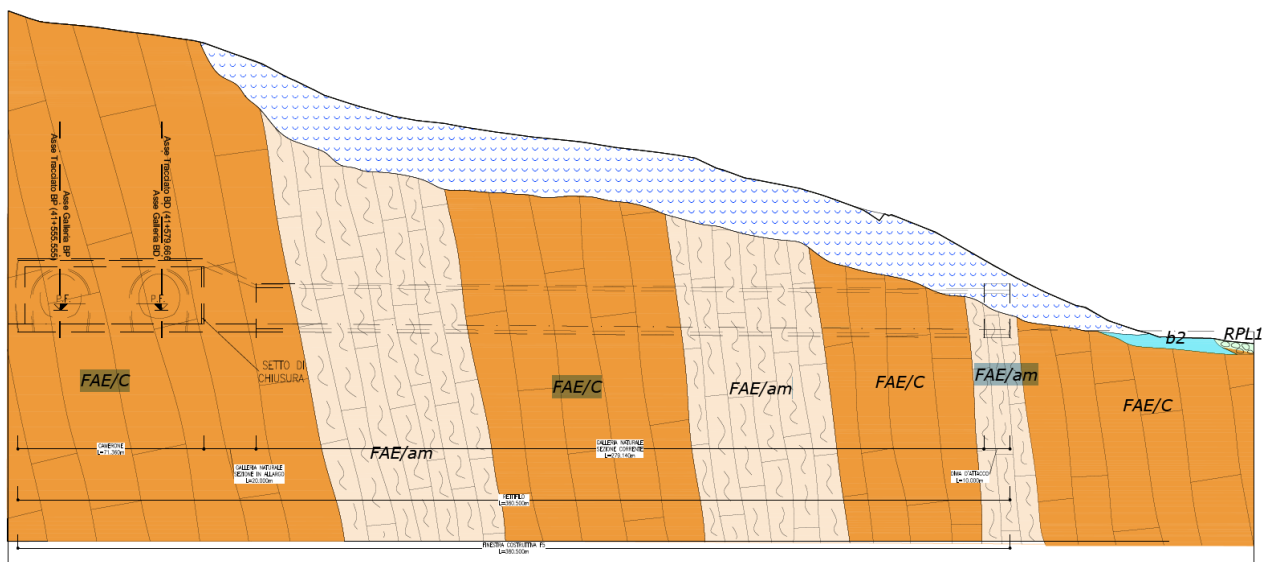


Figura 28

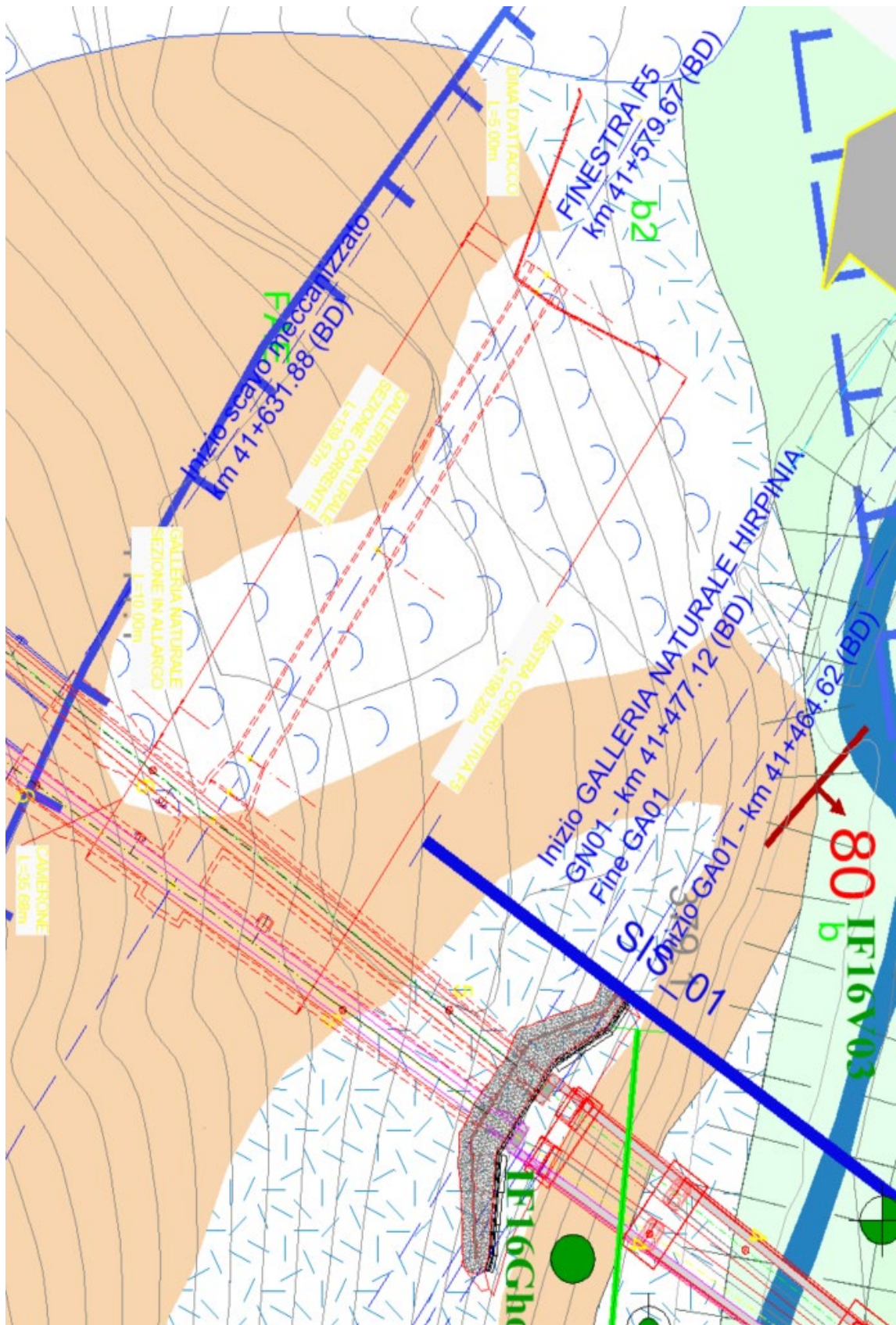


Figura 29

### 13.3 Finestra F1

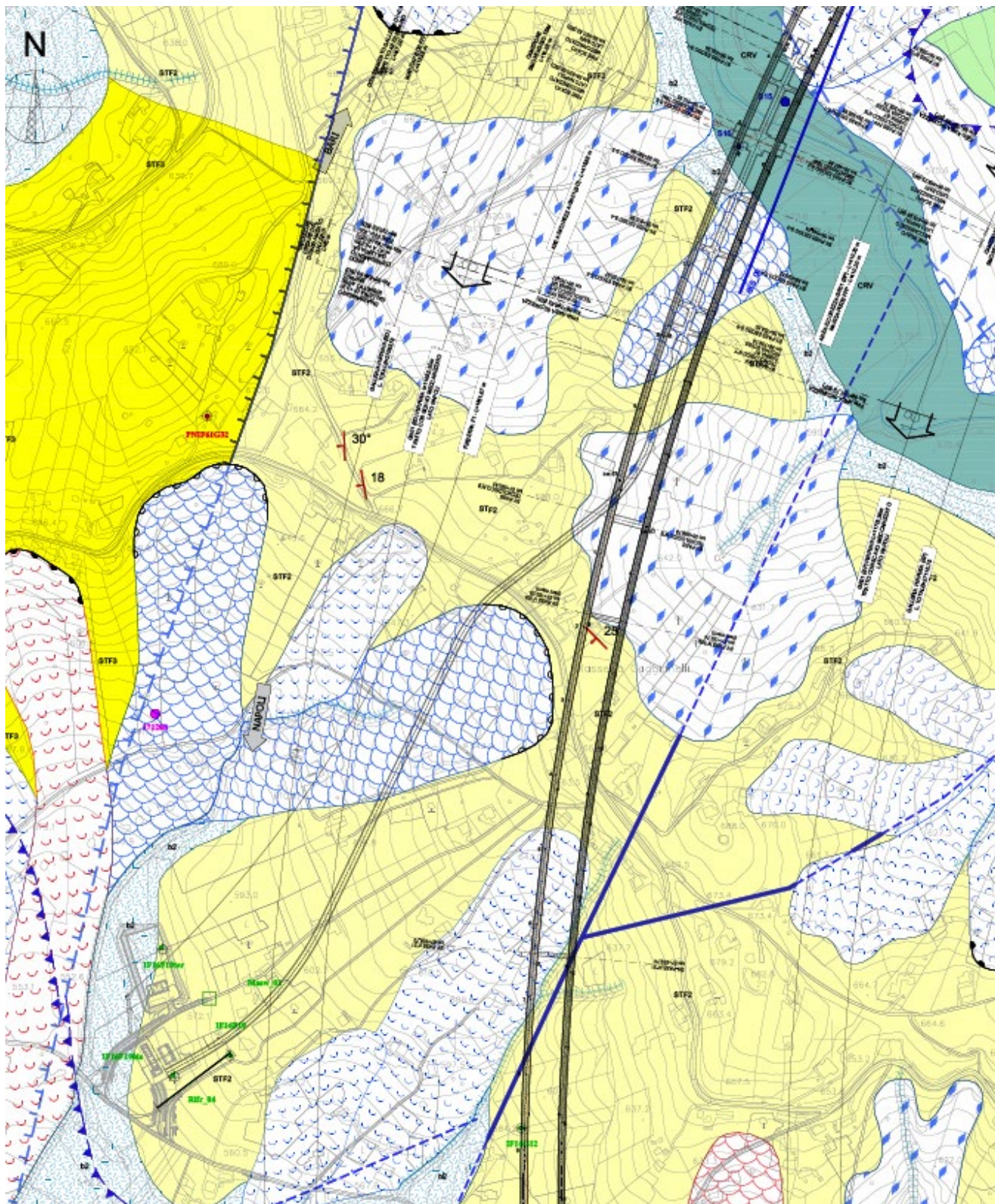


Figura 30

Nella Figura 30 è rappresentata la carta geologica nella zona ove è realizzata la finestra F1. Il tracciato dello scavo è inizialmente obliquo rispetto l’asse galleria, per circa 1000 metri, per poi proseguire fra le carreggiate perfettamente parallelo per altri 650 metri.

Nel tratto parallelo sono realizzati by-pass di intercetto con le due gallerie di linea ed è realizzato un camerone per le attività di smontaggio delle TBM.

Il profilo geologico della finestra F1 è rappresentato nella Figura 32, lo scavo avverrà all’interno della Formazione di Sferracavallo, nel membro delle Peliti di Difesa Grande (STF2), formazione che è intercettata anche dalle gallerie di linea approssimativamente tra le pk 56 e 59 (cfr. Figura 18 e Figura 31). Si tratta di argille limose e argille marnose di colore grigio, in strati da molto sottili a sottili, con frequenti intercalazioni di sabbie limose grigie e giallastre e abbondanti resti di molluschi.

Nella Figura 31 è riportato lo stralcio della sezione della galleria di linea (BP) dove è evidenziata l’intersezione con il camerone di smontaggio delle TBM.

È da notare che nel profilo in Figura 31 l’imbocco della finestra si trova sulla destra.

Nella formazione in esame è stato controllato a bocca foro un solo sondaggio, IF16G12 (cfr. Figura 18), dopo molto tempo dalla sua ultimazione.

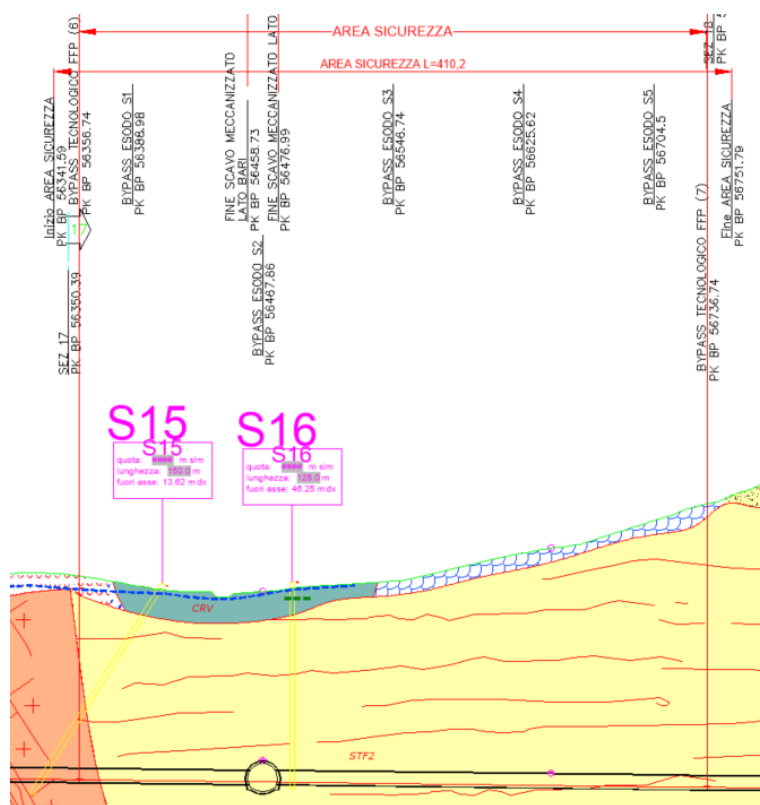


Figura 31 - Stralcio della sezione della galleria di linea (BP)

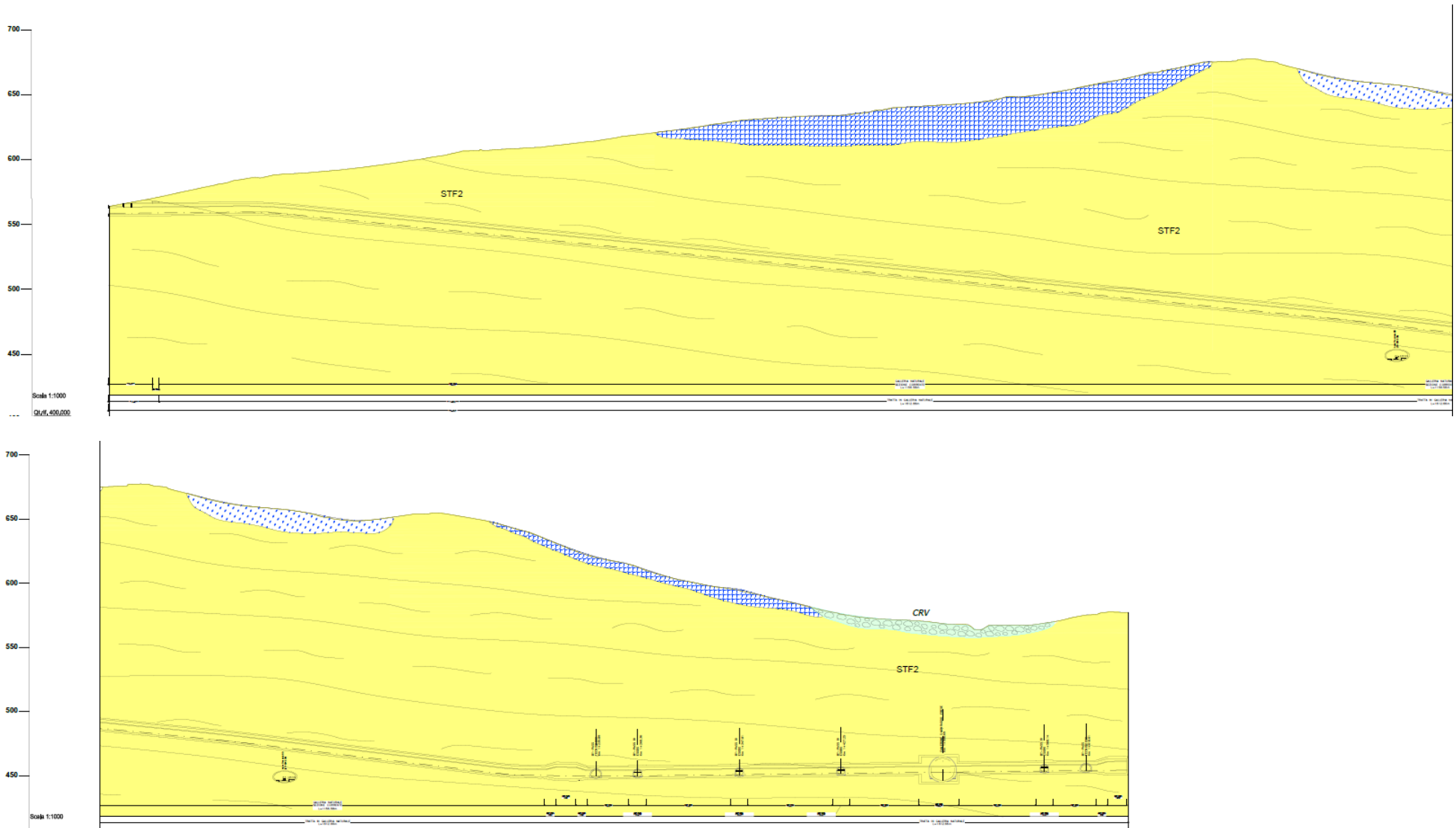


Figura 32

Gli elementi che concorrono alla definizione del rischio sono:

- La formazione attraversata è caratterizzata da un'alternanza di orizzonti con permeabilità locale diversa. Il pacchetto costituito dalle intercalazioni di sabbie limose nelle argille limose e marnose può costituire un sistema che genera trappole stratigrafiche di metano.
- L'esame della letteratura permette di riconoscere presenza di giacimenti profondi di idrocarburi nell'area.
- In prossimità della Finestra sono presenti strutture che rappresentano potenziali vie di circolazione dei fluidi del sottosuolo.
- I rilievi effettuati su sondaggi esistenti nell'area hanno evidenziato presenza di metano.
- Durante l'esecuzione della campagna di monitoraggio eseguita per i sondaggi da PED nella tratta della galleria Hirpinia si sono registrati fenomeni eruttivi.
- L'idrogeologia evidenzia una permeabilità da bassa a molto bassa, con possibili modesti acquiferi di prevalente carattere stagionale.
- La formazione STF2 è a tetto con le AVR.
- Lo scavo è effettuato inizialmente con coperture rapidamente crescenti per proseguire con coperture intorno ai 170m
- La sezione di scavo è variabile comunque maggiore di 100m<sup>2</sup>.

L'analisi degli elementi di conoscenza permette di ritenere possibile la presenza di emissioni di metano durante le attività di scavo. Anche se non sono disponibili riscontri dalla campagna di monitoraggio, non è possibile escludere che possano verificarsi eventi emissivi con una frequenza tale da non farli ritenere eccezionali.

Applicando gli standard della NIR28 è possibile definire in classe 2 lo scavo della finestra F1 e delle opere accessorie sotterranee.

La significativa variazione delle sezioni di scavo, unitamente alla presenza di numerose interconnessioni e by-pass richiede una particolare attenzione nella gestione dei sistemi di sicurezza, allarme ed evacuazione del sottterraneo; questo deve intendersi composto da tutti volumi idraulicamente collegati o separati da paratie artificiali.

Altro parametro di fondamentale importanza è la gestione della ventilazione che richiederà un'attenzione particolare al fine di assicurare la necessaria movimentazione nei fronti di scavo ed una velocità media minima di 0,5 m/s in ogni sezione del sottterraneo.



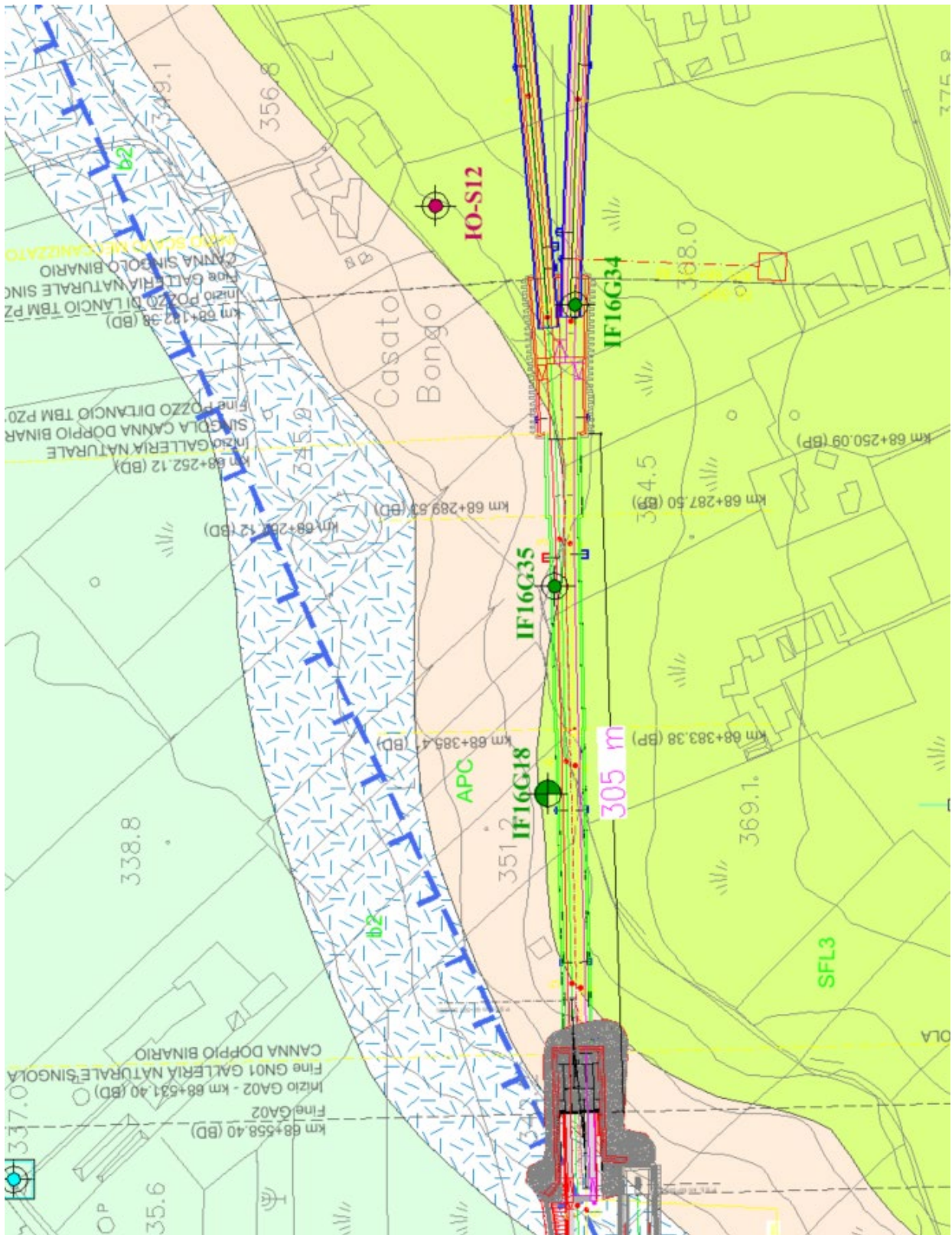


Figura 33

## 13.4 Classifica rischio metano imbocco Napoli

Lo scavo della galleria da imbocco Napoli sarà eseguito a carreggiata unica e con una sezione a doppio binario in tradizionale. Lo scavo inizierà dall'imbocco Napoli per terminare nel pozzo realizzato dall'alto per ribassi successivi.

Nella Figura 33 è riportato lo stralcio della carta geologica della zona dalla quale si può osservare come la galleria possa essere considerata parietale, caratterizzata da coperture sempre modeste. L'asse galleria appare sub-parallelo alle linee di quota topografiche.

Lo scavo attraverserà le Argilliti policrome del Calaggio (APC) della Sub-unità del Vallone del Toro della Unità della Daunia.

*Si tratta di argille, argille marnose e marne di colore grigio-azzurro, verde e rossastro, in strati da molto sottili a sottili, con locali intercalazioni di torbiditi calcaree grigio chiare; a luoghi si rinvengono passaggi di calcilutiti e calcari marnosi di colore grigio, in strati da sottili a medi, ricchi di noduli di pirite e hard ground, in alternanza con marne calcaree silicizzate e selci rosa e violacee; a varie altezze stratigrafiche sono presenti orizzonti lentiformi costituiti da alternanze di calcareniti torbiditiche biancastre, calcareniti glauconitiche verdastre, calcilutiti grigiobiancastre e argille marnose grigie e rossastre; nella parte alta della successione si rinvengono intercalazioni di diatomiti di colore nerastro, fissili, con nuclei sulfurei giallognoli e clasti di gesso cristallino millimetrico.*

Il profilo geologico della tratta in esame è riportato nella Figura 15, mentre la sezione trasversale che intercetta la galleria all'incirca all'innesto del pozzo di lancio delle TBM è riportata in Figura 34

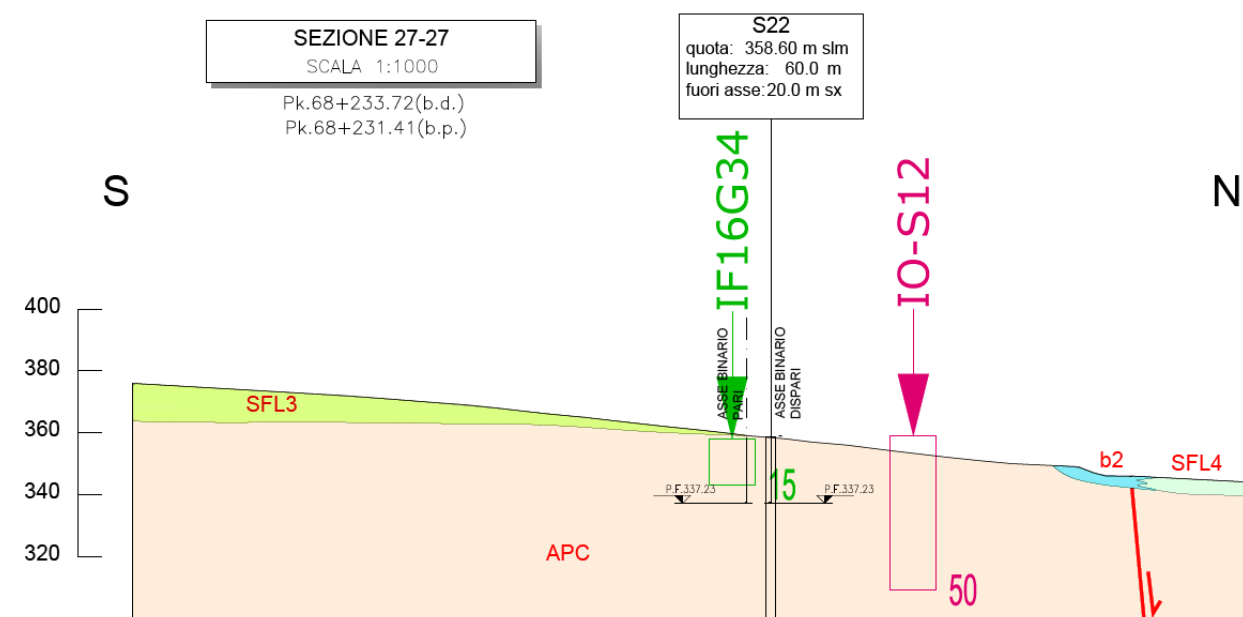


Figura 34 – sezione trasversale non in scala

Gli elementi che concorrono alla definizione del rischio sono:

- La formazione attraversata è caratterizzata da un'alternanza di orizzonti caratterizzati da permeabilità diversa. La presenza di frequenti intercalazioni di sabbie limose grigie e giallastre può costituire una trappola di metano
- L'esame della letteratura permette di riconoscere presenza di giacimenti profondi di idrocarburi nell'area.
- Durante l'esecuzione della campagna di monitoraggio eseguita per i sondaggi da PED nella tratta della galleria Hirpinia si sono registrati fenomeni eruttivi.
- L'idrogeologia evidenzia una permeabilità molto bassa, la formazione può rappresentare acquicludi, verticalmente o lateralmente.
- Lo scavo è effettuato inizialmente con coperture modeste, dell'ordine dei 10-15 metri.
- La sezione di scavo è di circa 85 m<sup>2</sup>.
- L'analisi dei dati ottenuti dai sondaggi evidenzia la presenza di emissioni drenabili in un ridotto intervallo di tempo.
- La descrizione della formazione permette di ricondurla ad un modello giacimentologico caratterizzato da trappole non estese.

L'analisi degli elementi di conoscenza permette di ritenere che i lavori di scavo possano indurre flussi di grisù discontinui e poco frequenti con portate molto varie non escluse quelle a carattere massivo.

Applicando gli standard della NIR28 è possibile definire in classe 1C la tratta in esame.

Per il sistema di sicurezza si rimanda al documento contenuto nell'Allegato 2 – GALLERIA HIRPINIA - SINTESI CLASSIFICA TECNICA ED APPRESTAMENTI – Rev 1 del 13/07/2022

## 14 Minimizzazione del rischio per lo scavo Meccanizzato

### 14.1 Classifica rischio metano

Gli elementi che concorrono alla definizione del rischio sono:

- Dalla relazione geologia si evince una significativa complessità generata dalla presenza di una zona compressiva con adiacente una fascia tipica da avanpaese con fenomenologia distensiva.

- Lo scavo attraversa una successione di anticlinali e sinclinali. Tali strutture risultano di geometria variabile ed asse variamente inclinato.
- Sono presenti contatti tettonici caratterizzati da permeabilità variabile, maggiore rispetto a quella delle formazioni adiacenti.
- L'esame della letteratura permette di riconoscere presenza di giacimenti profondi di idrocarburi nell'area.
- Sono presenti strutture riconducibili a geometrie caratteristiche delle trappole strutturali di idrocarburi.
- I rilievi effettuati su sondaggi esistenti hanno evidenziato presenza di metano.
- Durante l'esecuzione della campagna di monitoraggio eseguita per i sondaggi da PED si sono registrati fenomeni eruttivi.
- La permeabilità delle formazioni attraversate varia da bassa a molto bassa, associata principalmente a fratturazione.
- Sono presenti zone con permeabilità variabili, con presenza di contatti tettonici che possono generare trappole per il metano.
- All'interno della formazione del
- Lo scavo sarà effettuato con TBM-EPB con una superficie di scavo di circa 85 m<sup>2</sup>.
- Da Pk 41+482 a 43+540 lo scavo attraversa la formazione del Faeto (FAE)
  - *In estrema sintesi sono state differenziate tre facies:*
    - *Facies argilloso-marnoso-calcareo (FAE-am): caratterizzata da argille grigie e sottili strati calcarenitici e marnosi. L'ammasso, per la sua elevate componente pelitica (70-80%), si presenta sempre molto deformato in pieghe con stretto raggio. Talora sono presenti deformazioni sin-sedimentarie (slumping);*
    - *Facies marnoso-argilloso-calcareo (FAE-ma): costituita da marne e calcari con frequenti intervalli argillosi. Rapporto pelitico lapideo 50%;*
    - *Facies calcarea-argillosa (FAE-C): sono presenti prevalentemente calcari ben stratificati a cui si intercalano sottili strati di argille. La formazione contiene anche banchi di calciruditi e conglomerati calcarei.*

- Nella tratta è ben evidente una struttura tettonica ad anticlinale caratterizzate da stratificazioni a permeabilità variabile. Sono presenti anche faglie e contatti tettonici che possono costituire vie di circolazione di fluidi profondi. Il complesso delle informazioni permette di ritenere la presenza di metano in formazione possibile, in zone estese e probabilmente caratterizzata da pressione non trascurabili.
- DA Pk 46+620 a Pk 47+380 lo scavo attraversa la BVNa nel tratto iniziale per proseguire nel BVNb
  - Le Arenarie e Conglomerati di Castello Schiavo (BVNa) sono costituiti da arenarie quarzoso-feldpastiche di colore grigio e giallastro, in strati da medi a molto spessi, in alternanza con conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati, in strati molto spessi e di forma irregolare, in matrice sabbiosa e calcareo-sabbiosa di colore grigio e giallastro, generalmente scarsa; nella parte bassa della successione si rinvencono conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati, in strati generalmente molto spessi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, da scarsa ad abbondante
  - *Le Argille e Sabbie del Vallone Meridiano (BVNb) sono costituiti da argille, argille limose e argille marnose di colore grigio e grigio scuro, in strati da medi a molto spessi, talora a laminazione piano-parallela, con frequenti intercalazioni di sabbie limose, siltiti e arenarie grigie e giallastre; a luoghi si rinvencono lenti ciottolose a elementi ben arrotondati e strati di marne sabbiose a laminazione piano-parallela;*
  - Tranne un modesto tratto iniziale, lo scavo interesserà *Argille e Sabbie del Vallone Meridiano (BVNb)*. Il modello giacimentologico individua una struttura costituita da stratificazioni con permeabilità significativamente diversa. I dati ottenuti dai sondaggi hanno evidenziato presenza di metano nella zona ad alte coperture. Nelle tratte realizzate con basse coperture, considerando la presenza di falde di carattere stagionale, verosimilmente prive di metano, è ragionevole ritenere la presenza di metano modesta e caratterizzata da pressioni comparabili con quella atmosferica.
- Da Pk 47+380 a Pk 47+660 - TPC
  - *Le marne argillose di Toppo Capuana ... .. sono ... .. marne ed argille limose, argille marnose di colore grigio e grigio-azzurro, in strati da medi*

*a molto spessi, generalmente a laminazione piano-parallela, con locali passaggi di sabbie e sabbie limose grigie e giallastre; a luoghi si rinvengono intercalazioni di arenarie, siltiti e calcilutiti di colore grigio e giallastro, in strati da sottili a medi*

- Anche in questo caso l'alternanza di stratificazioni con permeabilità diversa permette di riconoscere un sistema che genera trappole stratigrafiche, anche estese. La presenza di faglie e contatti tettonici rappresenta una possibile via di circolazione di fluidi profondi. È ragionevole ritenere la presenza di metano possibile e con pressioni superiori a quella atmosferica.
- Da Pk 47+660 a Pk 51+250 – FAE
  - Per la formazione del Faeto, e le sue diverse facies, valgono le considerazioni espresse per la precedente tratta iniziale. In questo caso è visibile una alternanza di anticlinali e sinclinali con presenza di faglie. La presenza di metano è possibile e con pressioni superiori a quella atmosferica.
- Da Pk 51+ 250 a Pk 56+100 FYR
  - *La formazione FYR è costituita da argille, argille marnose e marne di colore rossastro, grigio-azzurro e verdastro, scagliose o sottilmente laminate, con subordinate intercalazioni di calcari marnosi, calcilutiti e calcareniti rosa e biancastre, talora con noduli e lenti di selce scura e abbondanti resti di nummuliti e alveoline*
  - La formazione è caratterizzata da una struttura caotica con stratificazioni deformate che consente di ipotizzare una distribuzione continua di trappole di modeste dimensioni in grado di generare condizioni di scavo con costante presenza di metano, ragionevolmente anche con pressioni superiori a quella atmosferica. I monitoraggi eseguiti nel corso dell'esecuzione dei sondaggi confermano tale scenario.
- Da Pk 56+100 a Pk 56+380 – CTLA
  - *composizione calcareo-brecciosa (CTLa) che risulta in parziale eteropia con la parte basale della formazione. Le Evaporiti di Monte Castello (CTL) sono costituite da gessi selenitici macrocristallini di colore grigio chiaro, massivi o in strati molto spessi, in alternanza con marne gessose, gessosiltiti, gessoareniti e gessoruditi grigie e biancastre; a luoghi si*

*rinvengono passaggi di argille grigio-verdastre con intercalazioni di cineriti bianche.*

- In questa tratta, considerando la condizione generale dell'area, è possibile una circolazione di metano che può aver determinato modesti accumuli. È ragionevole ritenere che durante lo scavo la presenza di metano potrà essere non continua e con pressioni modeste.
- Da Pk 56+380 a Pk 590000 – STF2
  - *Si tratta di argille limose e argille marnose di colore grigio, in strati da molto sottili a sottili, con frequenti intercalazioni di sabbie limose grigie e giallastre e abbondanti resti di molluschi; alla base della successione si rinvengono alternanze di conglomerati, sabbie e limi arrossati di genesi continentale*
  - La formazione attraversata è caratterizzata da un'alternanza di orizzonti con permeabilità locale diversa. Il pacchetto costituito dalle intercalazioni di sabbie limose nelle argille limose e marnose può costituire un sistema che genera trappole stratigrafiche di metano.
- Da Pk 59+000 a Pk 63+720 – BNA2
  - *argille limose e argille limoso-marnose di colore grigio, in strati da molto sottili a sottili, con locali intercalazioni di sabbie limose grigie e rari resti di molluschi; a luoghi si rinvengono passaggi di arenarie e sabbie di colore grigio e giallastro, massive o mal-stratificate, talora a laminazione pianoparallela*
  - La formazione attraversata è caratterizzata da un'alternanza di orizzonti con permeabilità locale diversa. Il pacchetto costituito dalle intercalazioni di sabbie limose nelle argille limose e marnose può costituire un sistema che genera trappole stratigrafiche di metano. I monitoraggi eseguiti durante l'esecuzione dei sondaggi hanno evidenziato la presenza di fenomeni eruttivi. La presenza di metano sarà caratterizzata da pressioni superiori a quella atmosferica
- Da Pk 63+720 a Pk 65+420– ANZ2
  - *Si tratta di argille limose, argille marnose e marne di colore grigio, in strati da molto sottili a sottili, ricche di sostanza organica e resti vegetali, con frequenti intercalazioni di sabbie e sabbie limose grigie; a luoghi si*

*rinvengono passaggi di arenarie di colore giallo-brunastro, in strati da sottili a medi, con diffuse clay chips verdastre e frequenti impronte di fondo*

- La formazione attraversata è caratterizzata da un'alternanza di orizzonti con permeabilità locale diversa. Il pacchetto costituito dalle intercalazioni di sabbie limose nelle argille limose e marnose può costituire un sistema che genera trappole stratigrafiche di metano. La stratificazione può essere deformata generando localmente trappole di metano.
- Da Pk 65+420 a Pk 68+120 – TFR
  - *comprende una litofacies a composizione conglomeratico-arenacea, che risulta intercalata alla precedente e in parziale eteropia con la stessa. La formazione è costituita da argille limose e argille sabbiose di colore nerastro, grigio-verdastro e marrone, laminate o in strati molto sottili, con diffusi passaggi di sabbie grigie e giallastre, marne sabbiose verdastre e limi detritici scuri con frustoli carboniosi e clasti di gesso; a luoghi si rinvengono livelli di arenarie di colore giallastro, massive o mal-stratificate, e lenti di conglomerati disorganizzati in scarsa matrice sabbiosa*
  - La formazione attraversata è caratterizzata da un'alternanza di orizzonti con permeabilità locale diversa. Il pacchetto costituito dalle intercalazioni di sabbie limose nelle argille limose e marnose può costituire un sistema che genera trappole stratigrafiche di metano. La stratificazione può essere deformata generando localmente trappole di metano.
- Da Pk 68+120 a Pk 68+556 – APC
  - *argille marnose e marne di colore grigio-azzurro, verde e rossastro, in strati da molto sottili a sottili, con locali intercalazioni di torbiditi calcaree grigio chiare; a luoghi si rinvengono passaggi di calcilutiti e calcari marnosi di colore grigio, in strati da sottili a medi, ricchi di noduli di pirite e hard ground, in alternanza con marne calcaree silicizzate e selci rosa e violacee; a varie altezze stratigrafiche sono presenti orizzonti lentiformi costituiti da alternanze di calcareniti torbiditiche biancastre, calcareniti glauconitiche verdastre, calcilutiti grigiobiancastre e argille marnose grigie e rossastre*
  - La formazione attraversata è caratterizzata da un'alternanza di orizzonti con permeabilità diversa. La struttura macroscopica appare deformata e caotica. Sono possibili trappole di metano, che possono localmente



essere drenate. Nelle zone a bassa copertura è ragionevole ritenere che l'estensione di tali trappole non sia significativa. Le analisi dei dati dei sondaggi eseguiti conferma la presenza di trappole drenabili.

Per quanto sopra è lecito ritenere possibile la presenza di metano in formazione quasi continua ed in alcune tratte con caratteristiche anche di mineralizzazione con pressione significative. È quindi ragionevole ritenere che durante le attività di scavo si possano formare atmosfere esplosive in camera di scavo e nei volumi a questa collegati. Ricoprono un ruolo fondamentale le soluzioni tecniche mirate a garantire l'efficienza degli elementi di tenuta e le procedure che consentono di abbattere la pressione in formazione.

Per la minimizzazione del rischio associato alla presenza di metano nel cantiere sotterraneo è necessario adottare gli standard previsti nella NIR44, individuando le idonee soluzioni tecniche per la sua implementazione, ed implementata dal sistema di sicurezza descritto nell'Allegato 2 – GALLERIA HIRPINIA - SINTESI CLASSIFICA TECNICA ED APPRESTAMENTI – Rev 1 del 13/07/2022.

## 14.2 Criteri progettuali sistema di sicurezza TBM

I principi fondamentali per la progettazione del sistema di sicurezza si basano sull'applicazione delle seguenti misure:

- minimizzare la formazione di miscela esplosiva nel sotterraneo;
  - inibendo le sorgenti di emissione;
  - bonificando l'atmosfera attraverso sistemi di ventilazione;
- impedire che la miscela esplosiva entri in contatto con sorgenti di innesco.

Tali misure devono essere perseguite distintamente o combinate tra loro seguendo l'approccio multi-barriera utilizzato nelle norme ATEX.

Le possibili soluzioni dovranno essere articolate, in applicazione dei criteri ATEX enunciati, attraverso un'analisi condotta tenendo in considerazione i seguenti punti:

1. individuazione delle sorgenti di emissioni;
2. definizione degli interventi sulle sorgenti di emissione per eliminarle e/o ridurre le portate e/o controllarne le portate;
3. caratterizzazione delle sorgenti e delle emissioni ad esse associate;
4. definizione dei volumi interessati dalle emissioni;

5. realizzazione di un efficace sistema di ventilazione
6. realizzazione di una compartimentazione dei volumi;
7. definizione dei livelli di rischio dei volumi definiti dalla compartimentazione;
8. inibizione delle sorgenti di innesco;
9. definizione del percorso delle miscele esplosive;
10. realizzare di un sistema di controllo e monitoraggio;
11. definizione delle procedure di sicurezza.

## 14.3 Emissioni in TBM

### 14.3.1 Caratterizzazione delle sorgenti di emissione

In una TBM EPB operante in un massiccio grisutoso le principali potenziali sorgenti di emissione del metano verso il cantiere sotterraneo individuate, sono:

- lo scarico della coclea;
- il marino movimentato e trasportato;
- le spazzole;
- le linee di iniezione;
- i giunti tra conci (tenuta delle guarnizioni che dipende anche dalla corretta messa in opera dei conci);
- gli elementi di tenuta della paratia;
- le vie di accesso in testa;

Queste sorgenti di emissione appartengono a zone del sotterraneo che possono essere classificate in due insiemi:

1. zone di emissioni potenzialmente continue e progettualmente previste,
2. zone di emissioni dovute alla mancata o parziale efficienza delle soluzioni tecniche adottate finalizzate a garantire la compartimentazione dei volumi della macchina.

Al primo gruppo appartengono

- la zona di emissione coincidente con la sezione di scarico, saracinesca, della coclea;
- il marino trasportato all'interno del sotterraneo.

La coclea deve essere un elemento a tenuta in modo che una volta fermata e chiusa assicuri il totale isolamento fra la galleria e la camera di scavo.

In funzione del tipo di mineralizzazione che si intercetta, il volume di metano contenuto nel materiale artificialmente plasticizzato prelevato dalla coclea è correlabile solo con larga approssimazione alla portata della coclea, e per questo motivo non può essere determinato.

Le emissioni attese possono essere sia continue connesse allo smarino sia a carattere impulsivo che, per il significativo aumento volumetrico possono impegnare vasti volumi della TBM. Il rilascio di metano dal marino una volta scaricato sul nastro è certo, le sue modalità dipendono sia dalle condizioni iniziali in cui si trova nel massiccio indisturbato, sia dalle modalità di condizionamento e della conduzione dello scavo.

Le emissioni ascrivibili al primo gruppo possono essere caratterizzate dal fatto che:

- la portata dell'emissione in galleria non può essere definita;
- sono noti i punti di emissione in galleria;
- nel caso della coclea, l'emissione può essere arrestata o controllata chiudendo la coclea o diminuendone i giri.

Al secondo gruppo appartengono le emissioni dovute alla inefficienza delle soluzioni tecniche adottate per garantire la tenuta della TBM ai fluidi. Queste, ragionevolmente, si possono configurare come emissioni puntuali e imprevedibili nel tempo.

Per l'inibizione di queste sorgenti di emissione sono realizzati sistemi di controllo della loro efficienza che governano procedure di scavo ed emergenza.

#### **14.3.2 Caratterizzazione emissioni in TBM**

In prima approssimazione è possibile individuare le seguenti condizioni di emissione, definite in funzione del limite di tenuta dei diversi elementi della TBM EPB:

1. presenza di metano in formazione a pressione maggiore dei limiti di sicurezza degli elementi strutturali.

Il metano in questo caso entrerebbe in via preferenziale dalle spazzole, dalla ghigliottina e presumibilmente anche dalle flange degli elementi strutturali.

Tale condizione è gestibile attraverso l'applicazione di procedure di scavo che permettono di monitorare la pressione in camera di scavo ed effettuare il drenaggio dell'atmosfera in essa contenuta attraverso condotti predisposti in regime controllato. Con tale soluzione si impedisce che esternamente allo scudo della TBM possa formarsi atmosfera ad alta pressione.

2. presenza di metano a pressione inferiore ai limiti di sicurezza degli elementi strutturali, ma maggiore di quella ambientale.

In questo caso l'emissione può essere controllata, attraverso la chiusura della ghigliottina della coclea e da procedure di scavo, adottando parallelamente sistemi e controlli che massimizzino la tenuta delle sorgenti di emissione del secondo tipo.

3. presenza di metano a pressione prossima a quella ambientale.

Questo tipo di emissione è legato alla fase di scavo e all'emissione dalla sola coclea.

Sono adottati sistemi di monitoraggio del metano che permettono di attivare procedure di allarme qualora si verificano anomalie nei sistemi degli elementi di tenuta. Con tale approccio il sistema appare ridondato.

Considerando gli effetti dello scavo indotti sulla formazione, è possibile ritenere che:

- la presenza di metano in camera di scavo sia continua, a tratti caratterizzata da pressioni significative,
- le emissioni dalla coclea sono possibili e frequenti,
- adottando una adeguata procedura di avanzamento è possibile gestire la pressione del gas nell'estradosso della TBM permettendone il suo contenimento
- i sistemi di controllo degli elementi di tenuta devono essere considerati essenziali ai fini della minimizzazione del rischio.

## 14.4 Implementazione NIR44

La presenza del metano in formazione unitamente alla valutazione delle emissioni attese richiedono l'adozione di un sistema di sicurezza dedicato al rischio connesso alla possibile presenza di atmosfere esplosive in sotterraneo.

Il sistema di sicurezza adottato segue l'approccio della NIR44, nella quale sono definite, con un approfondito livello di dettaglio, soluzioni tecniche e procedurali. È quindi adottata la definizione dei volumi previsti nella NIR44, che prevede una compartimentazione fisica ed idraulica del sotterraneo e dedicate procedure di avanzamento.

Qualora nel corso dello scavo emergano elementi rilevanti che permettono di rivedere la valutazione delle emissioni attese, sarà aggiornata la presente relazione individuando

metodologie di scavo adeguate; potranno essere variate alcune procedure di scavo senza alterare l'assetto impiantistico della TBM.

#### **14.4.1 Criteri generali**

È indicata una compartimentazione fra i volumi della TBM realizzata adottando barriere fisiche ed idrauliche. Tali soluzioni sono soggette a controllo e manutenzione.

In applicazione alla definizione delle condizioni ambientali della EN 1127-2 sono individuati i volumi in cui è possibile la formazione di atmosfera potenzialmente esplosiva e volumi dove tale possibilità è ridotta, tale da non generare condizioni di pericolo nelle normali condizioni di esercizio, e associata solo alla mancata efficienza delle soluzioni adottate.

Tutte le soluzioni adottate per la definizione della compartimentazione sono realizzate e gestite prevedendo sistemi di controllo della loro efficienza. La descrizione dei parametri di controllo e dei sistemi di monitoraggio è descritta in un elaborato dedicato che recepisce quanto previsto dal costruttore.

I criteri fondanti l'approccio alla zonizzazione sono che:

- sono note le sorgenti di emissione;
- sono ipotizzate le condizioni di emissione;
- sono presenti soluzioni tecniche che possono contenere le emissioni;
- le miscele potenzialmente esplosive sono veicolate attraverso un percorso obbligato a bordo TBM verso l'esterno,
- sono presenti sistemi di controllo e monitoraggio.

La presenza di volumi o zone con presenza di atmosfere esplosive, come definite dalla EN 1127-2, è esclusa. Le emissioni possono generare occasionalmente concentrazioni in ambiente superiore al LEL, ed il sistema di sicurezza impedisce che tali emissioni possano perdurare nel tempo. La classificazione dei volumi proposta identifica la presenza di atmosfere potenzialmente esplosive limitatamente al Volume 3 ed al Volume 4, ove tutte le attrezzature presenti dovranno esse Ex I M2.

Per il volume 1 il rischio è escluso escludendo la presenza di atmosfera inquinabile da metano.

Pe il Volume 2 la minimizzazione del rischio è raggiunta adottando sistemi di mitigazione delle sorgenti di emissione, presenza costante e affidabile di ventilazione, sistemi di monitoraggio e controllo, procedure di sicurezza.

Per il Volume 5 la mitigazione del rischio è raggiunta adottando sistemi di monitoraggio, controllo e procedure di sicurezza.

Per la gestione del rischio è adottata la soluzione prevista nella NIR44: una zonizzazione che operi una compartimentazione fisica e idraulica del sottterraneo.

Si potranno definire ulteriori parametri per le soluzioni tecniche, integrare quanto specificato o proporre soluzioni alternative di pari efficacia sempre con l'obiettivo di ottenere soluzioni che minimizzino i volumi interessati da miscele potenzialmente esplosive, minimizzando sia il rischio ad esse connesso, sia la possibilità che siano generate condizioni di allarme tali da provocare frequenti evacuazioni e fermi delle attività.

La definizione dei volumi del sottterraneo è rappresentata in Figura 36, utilizzando uno schema tipo di una TBM-EPB che prevede la presenza di un nastro macchina trasversale all'uscita della coclea ed una tramoggia di scarico sul nastro galleria che corre lateralmente alla TBM. Tale schema deve essere considerato indicativo.

Per il sistema di sicurezza del sottterraneo si rimanda al documento contenuto nell'Allegato 2 – *GALLERIA HIRPINIA - SINTESI CLASSIFICA TECNICA ED APPRESTAMENTI* – Rev 1 del 13/07/2022.

#### **14.4.2 Compartimentazione TBM**

In applicazione della NIR44 è operata una compartimentazione fisica ed idraulica della TBM secondo quanto descritto nei successivi paragrafi.

##### **14.4.2.1 Volume 1**

Appartengono a questo volume la camera di scavo e la coclea. La presenza di miscele esplosive è possibile mentre risulta non realizzabile l'inibizione delle sorgenti di innesco, specialmente di tipo frizionale e attritivo.

La minimizzazione del rischio è raggiunta imponendo che tale volume sia sempre colmo di materiale o fluidi, impedendo la formazione di volumi metano-aria.

Ne segue che l'avanzamento della TBM dovrà essere effettuato con camera piena.

Durante la manutenzione, quando la camera di scavo deve essere svuotata, l'accesso al personale è vincolato all'assenza di concentrazioni di metano. Le attività potranno essere

svolte in presenza di ventilazione, utilizzando attrezzatura ed impianti ATEX sia in camera che nei volumi ad essa adiacenti.

Per la gestione del drenaggio e spurgo della camera di scavo deve essere previsto un condotto dotato di valvola collegato al Volume 3, in modo che l'atmosfera proveniente dalla camera di scavo sia veicolata nel circuito ATEX.

Per le attività di manutenzione in condizioni normobariche deve essere prevista una predisposizione per collegare il condotto premente.

#### 14.4.2.2 Volume 2

Volume della TBM esterno al Volume 1 ed al Volume 3; le emissioni sono possibili solo per mancata efficienza dei sistemi di contenimento del Volume 1 e 3 o dalla inefficienza degli elementi di tenuta presenti, come ad esempio del sistema di spazzole sul contatto strisciante scudo-conci. L'estensione di questo volume comprende il back-up della TBM dalla paratia della camera di scavo sino al termine della compartimentazione del nastro macchina. La minimizzazione del rischio è raggiunta:

- monitorando le potenziali sorgenti di emissione e individuando soluzioni per il loro controllo,
- assicurando un sistema di ventilazione efficace e di alta affidabilità, dotato di un sistema di monitoraggio,
- prevedendo la presenza di un sistema di monitoraggio della concentrazione di metano in aria in punti adeguatamente scelti,
- definendo un sistema di allarme correlato alle concentrazioni di metano rilevate dal sistema di monitoraggio, che preveda il fermo delle attrezzature ed il sezionamento degli impianti presenti,
- definendo una sistema di procedure di lavoro,
- prevedendo un piano di controllo e manutenzione per le parti e le attrezzature soggette a guasti o anomalie tali da generare alte temperature per lungo tempo,
- prevedendo ATEX (almeno I M2) i sistemi, quali:
  - sistema di monitoraggio
  - SOS e telefono emergenza
  - arca salvataggio
  - mezzo evacuazione

- apparati che si ritiene debbano rimanere in esercizio come ad esempio dewatering e sistema tenuta conci dell'erettore.
- sistema pompaggio e controllo grasso spazzole
- sistemi flushing per pulizia linee malta, se necessario
- apparati dedicati all'emergenza o che devono rimanere in funzione in caso di allarme
- motori di ventilazione a bordo TBM ed impiantistica asservita.

#### 14.4.2.3 Volume 3

Volume dedicato al confinamento delle emissioni dallo scarico della coclea. Il volume è limitato geometricamente da una compartimentazione che racchiude lo scarico della coclea ed il nastro trasportatore macchina. Tale compartimentazione deve essere realizzata in modo tale che la miscela gas – aria rimanga confinata all'interno del Volume 3 stesso.

La compartimentazione è realizzata prevedendo un sistema di aspirazione che genera una pressione inferiore a quella ambiente, composta da

- a) un condotto che veicola l'aria del tunnel nastro a tergo della TBM, attraversando la TBM, e ne impedisce il contatto con potenziali sorgenti di innesco,
- b) motori di ventilazione ATEX dedicati all'aspirazione a bordo macchina,
- c) la parte del circuito a valle dei motori, in condizione premente, con sistema di tenuta affidabile e soggetto a controllo,
- d) l'estremità libera del condotto è un potenziale punto di emissione,
- e) all'interno del Volume 3 e del circuito motore-condotto presenza di apparecchiature almeno ATEX Ex I M2,
- f) in caso di fermo del sistema di aspirazione è previsto uno spillamento dal condotto premente per la bonifica del volume.

Tutti gli apparati all'interno del tunnel nastro devono essere ATEX gruppo I, almeno M2.

La minimizzazione del rischio è raggiunta:

- prevedendo impianti ed attrezzature ATEX (almeno I M2),
- prevedendo la possibilità di arrestare le emissioni chiudendo la coclea,
- prevedendo un sistema di ventilazione efficace e di alta affidabilità, dotato di un sistema di controllo e monitoraggio,



- prevedendo la presenza di un sistema di monitoraggio della concentrazione di metano in aria,
- definendo un sistema di allarme correlato alle concentrazioni di metano rilevate dal sistema di monitoraggio,
- definendo una sistema di procedure di lavoro,
- tappeto del nastro trasportatore classe B2 secondo la UNI 14973-1

#### 14.4.2.4 Volume 4

La presenza di metano in questo volume è correlata alle miscele veicolate dalla ventilazione dal volume 2 e 3.

L'estensione del volume 4 (cfr. Figura 36), franco di sicurezza, comprende la parte terminale del back-up, dalla sezione terminale del volume 3, considerando una sovrapposizione di qualche metro, e la galleria a tergo della TBM per almeno 500 m, come previsto dalla letteratura tecnica in materia sintetizzata nel paragrafo successivo.

La minimizzazione del rischio è raggiunta:

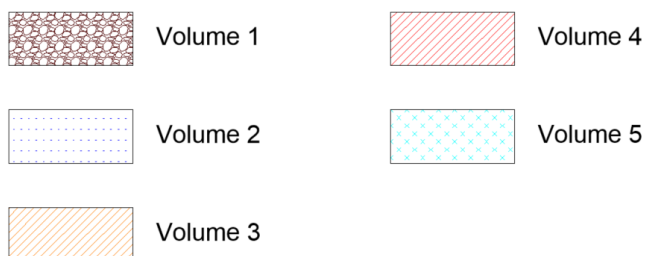
- eliminando le sorgenti di innesco,
- prevedendo impianti ed attrezzature ATEX (almeno I M2),
- prevedendo la presenza di un sistema di monitoraggio della concentrazione di metano in aria, con trasduttori disposti a inizio e fine del volume,
- definendo un sistema di allarme correlato alle concentrazioni di metano rilevate dal sistema di monitoraggio,
- definendo una sistema di procedure di lavoro.

#### 14.4.2.5 Volume 5

La presenza di metano in questo volume è correlata alle miscele veicolate dalla ventilazione attraverso il volume 4. La minimizzazione del rischio è raggiunta:

- prevedendo procedure per il fermo delle attrezzature ed il sezionamento degli impianti presenti correlate con il sistema a bordo TBM,
- definendo una sistema di procedure di lavoro,
- prevedendo un piano di controllo e manutenzione per le parti e le attrezzature soggette a guasti o anomalie tali da generare alte temperature per lungo tempo,
- prevedendo i sistemi di emergenza ATEX (almeno I M2), quali:

- sistema di monitoraggio
- SOS e telefono emergenza
- Sistemi di ripetizione allarme.



*Figura 35-Legenda della compartimentazione del sotterraneo rappresentata nelle successive figure*

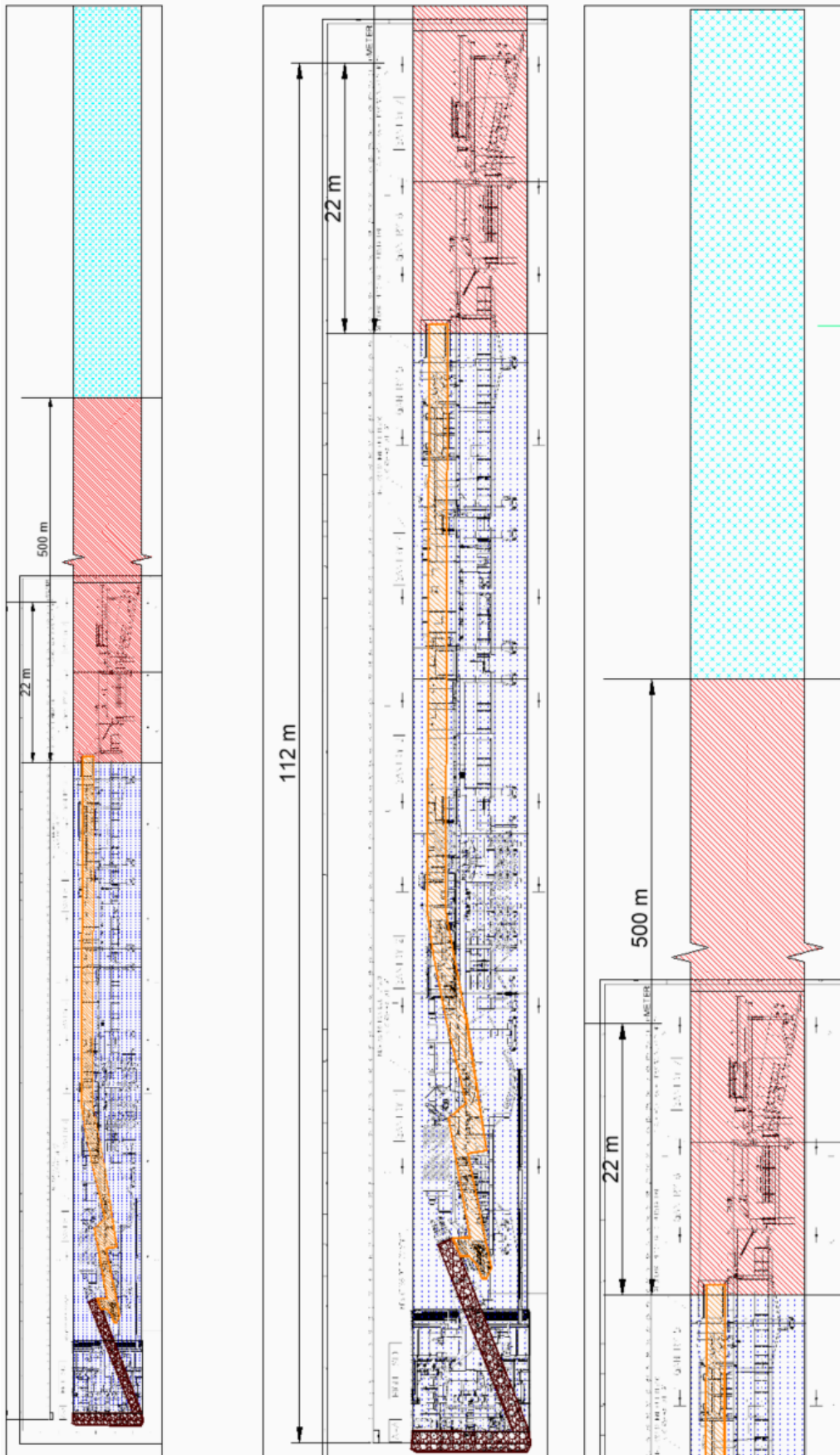


Figura 36 – Schema della compartimentazione del sotterraneo

## 14.5 Realizzazione By-pass

I by-pass saranno realizzati con tecnica tradizionale: a valle della demolizione del rivestimento definitivo in opera sarà eseguito lo scavo in avanzamento con posa in opera del rivestimento provvisorio ed il successivo rivestimento definitivo.

Stante la ridotta sezione di scavo non è possibile applicare tal-quale la NIR28, che si riferisce a gallerie di grande sezione realizzate con tecnica tradizionale.

Allo stato attuale delle conoscenze, coerentemente con le analisi svolte per lo scavo meccanizzato, è corretto ritenere che lo scavo dei by-pass sarà effettuato in una formazione grisutosa, pertanto, per la loro realizzazione dovrà essere adottando un sistema di sicurezza che veda l'uso di sola attrezzatura ATEX in un intorno di almeno 500m dal fronte di scavo<sup>2</sup>. In riferimento alla NIR28 è possibile citare il sistema di scavo previsto per le classi 2 con l'adozione di ulteriori procedure che gestiscano, in relazione alle particolari geometrie, i dispositivi di sicurezza (monitoraggio, ventilazione, emergenze) e procedure di lavoro che escludano la contemporaneità delle attività critiche.

---

<sup>2</sup> In merito alla gestione della zona ATEX, definita franco di sicurezza, si veda quanto contenuto nell'Allegato 2.