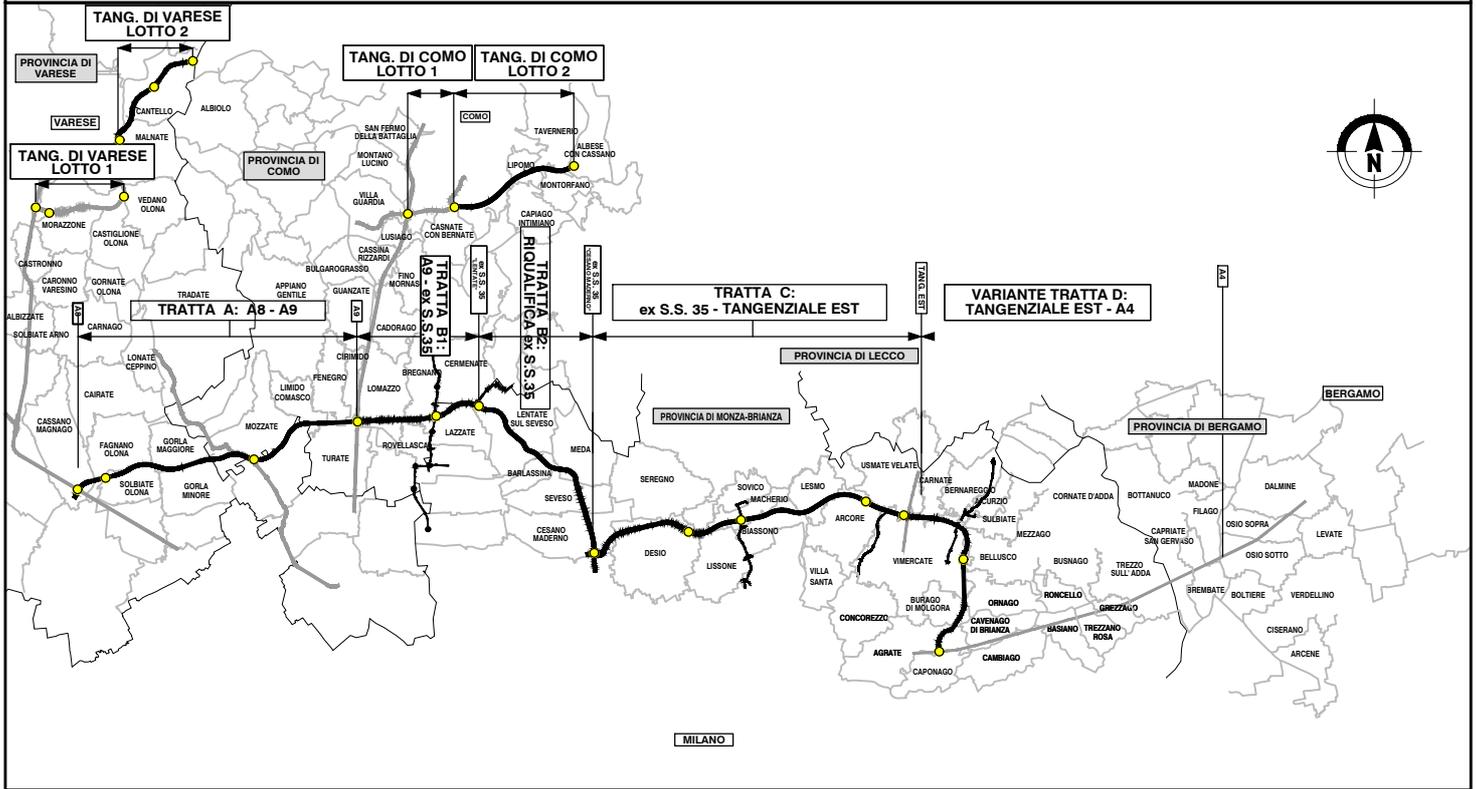


QUADRO DI UNIONE GENERALE



COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE DALMINE-COMO-VARESE-VALICO DEL GAGGIOLO E OPERE AD ESSO CONNESSE

CODICE C.U.P. F11B06000270007

PROGETTO DEFINITIVO VARIANTE TRATTA D

PIANO DI SICUREZZA E COORDINAMENTO SEZIONE PARTICOLARE RELAZIONE SULLE MISURE PER LA SALUBRITA' DELL'ARIA IN GALLERIA

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

FASE PROGETTUALE	AMBITO	TRATTA	CATEGORIA	OPERA	PARTE DI OPERA	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVA	REVISIONE ESTERNA
D	PS	DD	000	GE00	000	SC	005	A

DATA Giugno 2023
SCALA -

CONCEDENTE



PROGETTAZIONE



DATA REVISIONE

Giugno 2023 EMISSIONE A

ELABORAZIONE PROGETTUALE

Direzione Ingegneria BIM Center
Arch. Fabio Massimo Saldini RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE
Ing. Lucia Samorani

Redatto: Ing. A. Palombarni Visto: Ing. A. Palombarni Contributo specialistico: Ing. A. Palombarni

CONCESSIONARIO

Direttore Ingegneria e BIM Center: Arch. Fabio Massimo Saldini
Direttore Tecnico: Ing. Paolo Simonetta
Responsabile Funzione Tecnica, Project Financing e ACT: Ing. Andrea Monguzzi

VERIFICA E VALIDAZIONE

RTI: Conteco Check S.r.l. (Mandante), Rina Check S.r.l. (Mandataria), Bureau Veritas Italia S.p.a. (Mandataria)



COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE
DALMINE – COMO – VARESE – VALICO DEL GAGGIOLO
E OPERE CONNESSE

PROGETTO DEFINITIVO

VARIANTE TRATTA D

**TRATTA D
PIANO DI SICUREZZA E COORDINAMENTO
SEZIONE PARTICOLARE**

**RELAZIONE SULLE MISURE PER LA SALUBRITÀ
DELL'ARIA NEI LAVORI IN GALLERIA**

INDICE

1. PREMESSA	3
2. DESCRIZIONE DELL'OPERA E DEL PROGETTO ESECUTIVO	7
2.1 DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO	7
2.2 DESCRIZIONE SINTETICA DELLE FASI DI SCAVO	8
3. FATTORI E PARAMETRI PRINCIPALI DA MONITORARE.....	10
4. PRINCIPALI GAS DA MONITORARE	11
4.1 ANIDRIDE CARBONICA	12
4.2 MONOSSIDO DI CARBONIO.....	12
4.3 OSSIDI DI AZOTO	12
4.4 ACIDO SOLFIDRICO	12
4.5 ANIDRIDE SOLFOROSA	13
4.6 METANO	13
4.7 RADON	14
5. MISURE GENERALI	17
5.1 LIMITAZIONE DELLA TEMPERATURA.....	18
5.2 DIFESA CONTRO LE POLVERI	18
5.3 SISTEMI DI MONITORAGGIO	20
5.3.1 <i>Sistema di monitoraggio automatico</i>	20
5.3.2 <i>Sistema di monitoraggio manuale</i>	20
5.3.3 <i>Gestione allarmi</i>	21
6. DISPOSIZIONI PER L'UTILIZZO DI MACCHINE IN SOTTERRANEO	22
6.1 CARATTERISTICHE DEI SISTEMI D'ABBATTIMENTO DEI GAS DI SCARICO.....	23
6.2 MANUTENZIONE GENERALE DEI MEZZI.....	23
6.3 RIDUZIONE DELL'ESPOSIZIONE A POLVERE E A RUMORE DEI CONDUCENTI DI ALCUNI MEZZI	24
6.4 EVENTUALE PRESENZA DI MECELA ESPLOSIVA.....	24
7. PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI	26

1. PREMESSA

La presente “Sezione Particolare: misure per la salubrità dell’aria nei lavori in galleria” è parte integrante del Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC), redatto ai sensi dell’art.91 ed in conformità all’art. 100 del D. Lgs 81/2008 e ss. mm. ii. relativo alle attività svolte per la realizzazione della Tratta D dell’Autostrada Pedemontana Lombarda che si estende dalla Tangenziale Est/A51 all’Autostrada A4.

In questa fase di progettazione si intende dare le indicazioni utili affinché nella successiva fase di dettaglio progettuale vengano considerati e puntualmente dimensionate in funzione delle esigenze di cantiere i sistemi e gli impianti di monitoraggio dell’aria e della presenza di gas nocivi e/o tossici.

Gli elaborati del PSC che insieme al presente (campito in grassetto) formano un “unicum” sono di seguito elencati:

CODICE ELABORATO																			DESCRIZIONE ELABORATO		
SEZIONE GENERALE																					
D	P	S	D	D	0	0	0	G	E	0	0	0	0	0	S	C	0	0	1	A	Piano di sicurezza e coordinamento - relazione generale
D	P	S	D	D	0	0	0	G	E	0	0	0	0	0	S	C	0	0	2	A	Fascicolo tecnico dell'opera
D	P	S	D	D	0	0	0	G	E	0	0	0	0	0	S	C	0	0	3	A	Piano emergenze
D	P	S	D	D	0	0	0	G	E	0	0	0	0	0	P	L	0	0	1	A	Gestione emergenze - parte generale
SEZIONE PARTICOLARE																					
D	P	S	D	D	0	0	0	G	E	0	0	0	0	0	S	C	0	0	4	A	Piano di sicurezza e coordinamento - relazione rischi specifici
D	P	S	D	D	0	0	0	G	E	0	0	0	0	0	S	C	0	0	5	A	Piano di sicurezza e coordinamento - relazione sulle misure per la salubrità dell'aria in galleria
D	P	S	D	D	0	0	0	G	E	0	0	0	0	0	S	C	0	0	6	A	Piano di sicurezza e coordinamento - relazione sugli impianti di cantiere
INQUADRAMENTO GENERALE E PARTICOLARE																					
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	0	2	A	Inquadramento intero tracciato
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	0	3	A	Inquadramento generale cantierizzazione: RI01-RI02
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	0	4	A	Inquadramento generale cantierizzazione: TR01-RI03
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	0	5	A	Inquadramento generale cantierizzazione: VI01-VI02-RI04 (1^ parte)
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	0	6	A	Inquadramento generale cantierizzazione: RI04 (2^parte) - TR02-GA01

Collegamento Autostradale Dalmine – Como – Varese – Valico del Gaggiolo ed Opere ad Esso Connesse
 Progetto Definitivo Variante Tratta D
PROGETTO DEFINITIVO

CODICE ELABORATO																			DESCRIZIONE ELABORATO		
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	0	7	A	Inquadramento generale cantierizzazione: TR03
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	0	8	A	Inquadramento generale cantierizzazione: PZ01 - TR04 - RI05
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	0	9	A	Inquadramento generale cantierizzazione: TR05
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	1	0	A	Inquadramento generale cantierizzazione: interconnessione TEEM - A4
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	1	1	A	Inquadramento generale interferenze: RI01-RI02
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	1	2	A	Inquadramento generale interferenze: TR01
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	1	3	A	Inquadramento generale interferenze: VI01-VI02-RI04 (1^ parte)
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	1	4	A	Inquadramento generale interferenze: RI04 (2^parte) - TR02-GA01
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	1	5	A	Inquadramento generale interferenze: TR03
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	1	6	A	Inquadramento generale interferenze: PZ01 - TR04 - RI05
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	1	7	A	Inquadramento generale interferenze: TR05
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	1	8	A	Inquadramento generale interferenze: interconnessione TEEM - A4
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	1	9	A	Inquadramento generale bob RI01-RI02
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	2	0	A	Inquadramento generale bob: TR01-RI03
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	2	1	A	Inquadramento generale bob: VI01-VI02-RI04 (1^ parte)
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	2	2	A	Inquadramento generale bob: RI04 (2^parte) - TR02-GA01
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	2	3	A	Inquadramento generale bob: TR03
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	2	4	A	Inquadramento generale bob: PZ01 - TR04 - RI05
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	2	5	A	Inquadramento generale bob: TR05
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	2	6	A	Inquadramento generale bob: interconnessione TEEM - A4
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	2	7	A	Inquadramento particolare: CO01
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	2	8	A	Inquadramento particolare: AT01
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	2	9	A	Inquadramento particolare: CO02-AT02
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	3	0	A	Inquadramento particolare: DT01
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	2	1	A	Inquadramento particolare: AS01-AS02
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	2	2	A	Inquadramento particolare: AS03

Collegamento Autostradale Dalmine – Como – Varese – Valico del Gaggiolo ed Opere ad Esso Connesse
 Progetto Definitivo Variante Tratta D
PROGETTO DEFINITIVO

CODICE ELABORATO																			DESCRIZIONE ELABORATO		
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	2	3	A	Inquadramento particolare: AS04
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	2	4	A	Inquadramento particolare: AS05
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	2	5	A	Inquadramento particolare: WBS RI01
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	2	6	A	Inquadramento particolare: WBS RI02
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	2	7	A	Inquadramento particolare: WBS TR01-RI03
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	2	8	A	Inquadramento particolare: WBS VI01-VI02
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	2	9	A	Inquadramento particolare: WBS RI04 parte 1
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	3	0	A	Inquadramento particolare: WBS RI04 parte 2
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	3	1	A	Inquadramento particolare: WBS RI04 parte 3
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	3	2	A	Inquadramento particolare: WBS TR02
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	3	3	A	Inquadramento particolare: WBS GA01
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	3	4	A	Inquadramento particolare: WBS TR03 parte 1
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	3	5	A	Inquadramento particolare: WBS TR03 parte 2
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	3	6	A	Inquadramento particolare: WBS TR03 parte 3
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	3	7	A	Inquadramento particolare: WBS TR03 parte 4
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	3	8	A	Inquadramento particolare: WBS PZ01
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	3	9	A	Inquadramento particolare: WBS TR04
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	4	0	A	Inquadramento particolare: WBS RI05
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	4	1	A	Inquadramento particolare: WBS TR05
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	4	2	A	Inquadramento particolare: svincolo TEEM-A4_fase 1
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	4	3	A	Inquadramento particolare: svincolo TEEM-A4_fase 2
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	4	4	A	Inquadramento particolare: svincolo TEEM-A4_fase 3
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	4	5	A	Inquadramento particolare: svincolo TEEM-A4_fase 4
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	4	6	A	Inquadramento particolare: svincolo TEEM-A4_fase 5, 6, 7
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	4	7	A	Inquadramento particolare: svincolo TEEM-A4_fase 8
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	4	8	A	Inquadramento particolare: svincolo TEEM-A4_fase 9
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	4	9	A	Inquadramento particolare: svincolo TEEM-A4_fase 10, 11, 12
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	5	0	A	Inquadramento particolare: svincolo TEEM-A4_fase 13
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	5	1	A	Inquadramento particolare: svincolo TEEM-A4_fase 14
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	5	2	A	Inquadramento particolare: svincolo TEEM-A4_fase 15,

Collegamento Autostradale Dalmine – Como – Varese – Valico del Gaggiolo ed Opere ad Esso Connesse
 Progetto Definitivo Variante Tratta D
PROGETTO DEFINITIVO

CODICE ELABORATO																			DESCRIZIONE ELABORATO		
																				16	
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	5	3	A	Inquadramento particolare: svincolo TEEM-A4_fase 17
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	5	4	A	Inquadramento particolare: svincolo TEEM-A4_fase 18, 19
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	5	5	A	Inquadramento particolare: svincolo TEEM-A4_fase 20
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	L	0	5	6	A	Inquadramento particolare: svincolo TEEM-A4_fase 21, 22
SCHEMATICO FASI																					
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S	K	0	0	1	A	Schematico fasi - cabina elettrica
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S	K	0	0	2	A	Schematico fasi - fasi bob
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S	K	0	0	3	A	Schematico fasi - demolizioni
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S	K	0	0	4	A	Schematico fasi - fabbricato casello
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S	K	0	0	5	A	Schematico fasi - galleria artificiale
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S	K	0	0	6	A	Schematico fasi - galleria top down
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S	K	0	0	7	A	Schematico fasi - ponti
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S	K	0	0	8	A	Schematico fasi - scatolare idraulico
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S	K	0	0	9	A	Schematico fasi - mitigazione ambientale
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S	K	0	1	0	A	Schematico fasi - nuova viabilità
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S	K	0	1	1	A	Schematico fasi - rifacimento stradale
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S	K	0	1	2	A	Schematico fasi - scavi
COSTI																					
D	P	S	D	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S	M	0	0	1	A	Stima dei costi per la sicurezza

2. DESCRIZIONE DELL'OPERA E DEL PROGETTO ESECUTIVO

2.1 DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

Il progetto definitivo della variante della Tratta D è caratterizzato da un tracciato che, nella prima parte, ricalca l'andamento del progetto definitivo del 2010 della Tratta D per circa 1.5 km per poi piegare in direzione sud verso l'interconnessione esistente tra l'autostrada A4 e la Tangenziale Est Esterna nei comuni di Agrate e Caponago.

La variante della Tratta D presenta una lunghezza di circa 9 km. Il suo inizio è ubicato in corrispondenza della tratta precedente immediatamente dopo lo svincolo di interconnessione con la Tangenziale Est (appartenente alla Tratta C) e prima dell'attraversamento del fiume Molgora.

Nella prima parte dell'itinerario di progetto, attraversato il fiume Molgora, il tracciato si sviluppa per circa 3250 m in rilevato al fine di limitare i rischi connessi alla presenza di occhi pollini in quanto, dalle analisi condotte e più dettagliatamente specificate nella relazione geologica-geotecnica, l'area risulta presentare un alto grado di suscettibilità a tale fenomeno. Dopo questo primo tratto in rilevato il tracciato prosegue in trincea e si approssima alla galleria artificiale in corrispondenza dell'interconnessione SP2, di nuova realizzazione prevista nei Comuni di Bellusco e Vimercate, sopra la quale viene mantenuta la continuità della viabilità locale. La galleria artificiale presenta uno sviluppo di circa 450 m.

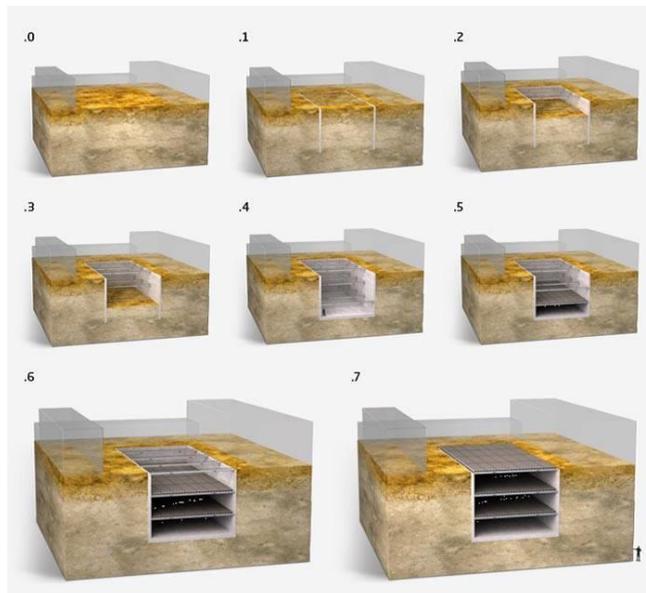
Dopo un tratto di circa 2500 m dove l'asse principale prosegue in trincea sottopassando l'interconnessione SP2 di futura realizzazione e attraversando la barriera di esazione prevista nell'intorno della pk 6+100, la morfologia del territorio consente di proseguire in rilevato per circa 800 m. Dalla pk 7+450 fino a termine dell'intervento l'asse principale prosegue in trincea fino a raccordarsi alla TEEM e all'A4 in corrispondenza dell'attuale svincolo della TEEM mediante la realizzazione della nuova interconnessione con TEEM-A4 che prevede un complesso sistema di rampe atto a garantire tutte le possibili manovre di svolta e coerentemente con lo stato di fatto dell'intersezione. Le interferenze con la viabilità locale sono state risolte mediante la realizzazione di cavalcavia in funzione delle condizioni al contorno riscontrate nell'area.

Per il progetto in esame, si prevede la realizzazione di una galleria in artificiale, la Galleria Bellusco avente lunghezza di circa 440 m.l.

Per la sua realizzazione è prevista in progetto la metodologia definita "Metodo Milano" (scavo Top Down) che verrà realizzata temporalmente in due fasi prima e dopo la realizzazione della deviazione provvisoria SP2. Successivamente si prevede la realizzazione degli imbocchi Nord e Sud, dei muri e degli impianti e completamenti definitivi.

2.2 DESCRIZIONE SINTETICA DELLE FASI DI SCAVO

Le lavorazioni dello scavo della galleria Bellusco avverranno secondo le fasi operative riportate nel seguito:



- a) FASE 1:
 - Sbancamento di 1a fase fino a quota intradosso travi galleria.
 - Realizzazione cordoli guida per diaframmi centrali e laterali.
 - Esecuzione diaframmi centrali e laterali
- b) FASE 2
 - Scavo localizzato per esecuzione trave di coronamento.
 - Scapitozzatura diaframmi laterali e centrale.
 - Realizzazione trave di coronamento.
- c) FASE 3
 - Varo travi prefabbricate di copertura.
 - Realizzazione soletta di copertura.
 - Impermeabilizzazione e ritombamento fino a piano campagna.
- d) FASE 4
 - Scavo per realizzazione solettone di fondazione.
 - Getto di pulizia e livellamento.
 - Realizzazione impermeabilizzazione e solettone di fondazione.
 - Completamento dell'impermeabilizzazione e getto delle contropareti.
- e) FASE 5
 - Scavo per realizzazione solettone di fondazione.
 - Getto di pulizia e livellamento.
 - Realizzazione impermeabilizzazione e solettone di fondazione.

- Completamento dell'impermeabilizzazione e getto delle contropareti.
- f) FASE 6
- Completamento finiture galleria
- Apertura all'esercizio

Le lavorazioni relative alla realizzazione degli imbocchi Nord e Sud e del completamento dell'attacco a TR02 e TR03 avverranno secondo le seguenti fasi e sottofasi lavorative: galleria Bellusco avverranno secondo le fasi operative:

- a) FASE 1
 - Sbancamento di 1a fase per esecuzione micropali.
 - Esecuzione micropali.
 - Esecuzione cordoli BERLINESE.
- b) FASE 2
 - Scavi intermedi di 2a fase fino a raggiungimento quota tiranti.
 - Esecuzione tiranti
- c) FASE 3
 - Scavo di 2a fase per realizzazione solettone di fondazione.
 - Getto di pulizia e livellamento.
 - Realizzazione impermeabilizzazione.
 - Realizzazione solettone di fondazione con ferri di ripresa per getto pareti
- d) FASE 4
 - Realizzazione pareti verticali con ferri di ripresa per getto solettone di copertura.
 - Impermeabilizzazione pareti laterali
- e) FASE 5
 - Banchinaggio provvisorio per getto solettone di copertura
 - Getto solettone di copertura
 - Completamento impermeabilizzazione.
 - Ritombamento galleria.
- f) FASE 6
 - Completamento finiture galleria
 - Apertura all'esercizio

In questa configurazione di scavo, si ritiene indispensabile prevedere un sistema di monitoraggio dell'aria continuo ed automatico da installare nelle fasi successive alla realizzazione del solettone di copertura. Questo sistema dovrà essere dimensionato in funzione delle geometrie e dei volumi dei compartimenti di scavo e del numero di mezzi e persone impiegate contemporaneamente.

Risulterà fondamentale la pianificazione di un sistema di monitoraggio dei gas di scarico dei mezzi di opera e delle attrezzature da utilizzarsi nel corso delle attività a fondo scavo.

3. FATTORI E PARAMETRI PRINCIPALI DA MONITORARE

Come descritto al par.4.4 dell'elaborato DPSDD000GE00000SC006A - Relazione su impianti di cantiere, nel corso dell'esecuzione delle opere dovranno essere assicurate adeguate condizioni di lavoro all'interno dell'ambiente sotterraneo al fine di ottenere il rispetto degli indici di salubrità dell'aria respirabile da parte degli operatori impiegati nelle lavorazioni.

I fattori principali che influenzano e da cui dipendono le sensazioni termiche sono:

- qualità dell'aria;
- temperatura dell'aria;
- temperatura radiante;
- velocità dell'aria;
- umidità relativa;
- isolamento termico dell'abbigliamento;
- attività fisica.

Le aree di lavoro in sotterraneo dovranno essere ventilate in modo da fornire, costantemente, aria sana al personale addetto ai lavori ed evitare concentrazioni di gas nocivi nelle aree di lavoro. La ventilazione dovrà essere effettuata con l'immissione forzata dell'aria mediante appositi ventilatori situati all'ingresso della galleria.

In conformità a quanto previsto dal DPR 320/56 la composizione dell'aria ambiente del sotterraneo deve essere controllata periodicamente da esperti ed i risultati dei controlli, con l'indicazione delle modalità tecniche adottate, devono essere tenuti presso il cantiere a disposizione degli ispettori di controllo e vigilanza.

Per tale motivo l'impianto è dotato di un sistema di monitoraggio, con dati registrati in automatico ed in continuo e visualizzati a mezzo di display sul quadro di comando del sistema di ventilazione, dei seguenti parametri:

○ PORTATA D'ARIA

La misura dovrà essere eseguita nella tubazione premente, in due punti: subito a valle del ventilatore e in prossimità della sezione terminale del condotto.

Il controllo della portata va integrato da misure puntuali della velocità di riflusso, effettuate con strumentazione manuale in galleria in prossimità delle postazioni di lavoro e riportate in apposito registro: si verificherà il mantenimento di velocità comprese tra 0,3 m/sec e 5 m/sec (velocità massima stabilita dall'art. 61 del DPR 320/56).

○ PREVALENZA DELL'ARIA

La misura deve essere eseguita nella tubazione premente immediatamente a valle dei ventilatori; il suddetto sistema di misura va collegato con un sistema di registrazione automatica e continua dei dati.

4. PRINCIPALI GAS DA MONITORARE

Il rischio da gas e vapori deriva dalla natura geologica del terreno o dalla vicinanza di fabbriche, depositi, condutture di gas, ecc., che possono dar luogo ad infiltrazioni di sostanze pericolose. Per eliminare e/o ridurre tale rischio occorre:

- effettuare idonei controlli, se si teme la presenza di gas tossici o rischi simili, prima di far entrare i lavoratori nello scavo;
- ripetere i controlli con frequenza tale da assicurare nel tempo le necessarie condizioni di sicurezza dei lavoratori;
- dotare i lavoratori di autorespiratori, quando sia accertata o temuta la presenza di gas tossici, od effettuare idonea ventilazione;
- provvedere alla bonifica dell'ambiente, mediante idonea ventilazione, quando sia accertata la presenza di gas infiammabili o esplosivi;
- vietare l'uso, anche dopo bonifica, se si teme l'emanazione di gas pericolosi, di apparecchi a fiamma, di corpi incandescenti e di apparecchi comunque suscettibili di provocare fiamme o surriscaldamenti atti ad incendiare il gas;
- controllare e testare costantemente l'equipaggiamento d'emergenza che deve essere rapidamente disponibile;
- verificare preventivamente la presenza di canalizzazioni di gas, ed iniziare lo scavo solo quando l'azienda di servizio ha comunicato l'effettivo tracciato delle stesse;
- comunicare all'azienda erogatrice del gas la necessità di effettuare gli scavi in prossimità dei gasdotti ed iniziare i lavori solo dopo le necessarie autorizzazioni;
- redigere idonee istruzioni per l'esecuzione delle attività in prossimità delle condutture;
- proteggere, se necessario, le condotte del gas, con barriere protettive o sistemi equivalenti;
- effettuare il lavoro con cautela ed eventualmente a mano, quando non è possibile individuare l'esatta posizione delle condutture, neanche con sistemi elettronici;
- allontanare rapidamente i lavoratori, se in fase di scavo o di lavorazione si sono danneggiate le condotte del gas;
- avvertire l'azienda erogatrice del gas e sospendere il lavoro fino al sopralluogo delle stesse, nel caso di danneggiamento delle condutture

Dovrà essere previsto un sistema di monitoraggio della concentrazione nell'atmosfera di gas nocivi o pericolosi e della concentrazione di ossigeno, quale sistema di controllo ai sensi dell'art.32 del DPR 320/56 e del D. Lgs. 81/2008 allegato XXXVIII

SENSORE	LIVELLO MIN DI ALLARME	LIVELLO MAX DI ALLARME
Ossigeno O ₂	19 % in volume	---
Metano CH ₄	10 % LEL (0.5 % CH ₄)	20% LEL (1 % CH ₄)
* Monossido di carbonio CO	50 ppm	---
Anidride carbonica CO ₂	0,75%	---

SENSORE	LIVELLO MIN DI ALLARME	LIVELLO MAX DI ALLARME
* Ossidi di azoto NO - NO ₂	0,5 ppm	---
Acido solfidrico H ₂ S	0,05 mg/mc	---
Anidride Solforosa SO ₂	0,5 ppm	
Radon		
* Ai sensi del comma 1 dell'art. 2 del D.l. del 02 maggio 2020, per le sole attività sotterranee in miniera e in galleria, i valori limite di monossido di azoto, il biossido di azoto e il monossido di carbonio si applicano dal 22 agosto 2023.		

4.1 ANIDRIDE CARBONICA

Tracce di questo gas sono contenute normalmente nell'atmosfera (circa il 0,03%). Alla concentrazione del 2% il ricambio polmonare raddoppia con notevole sensazione d'affanno.

È fondamentale monitorare i valori di CO₂ nell'ambiente sia con misure puntuali e manuali che con misurazioni automatiche.

4.2 MONOSSIDO DI CARBONIO

È un gas venefico anche in piccole quantità, passa dai polmoni al sangue per osmosi impedendo la formazione dell'ossiemoglobina, fondamentale per il trasporto dell'ossigeno nel sangue (l'affinità del monossido di carbonio per l'emoglobina è 200 volte superiore a quella dell'ossigeno). La sintomatologia da intossicazione di CO è affaticamento, vertigini, sonnolenza, fino al coma.

4.3 OSSIDI DI AZOTO

L'NO e NO₂ sono gas prodotti essenzialmente da motori diesel o dai fumi dell'esplosivo. A determinate concentrazioni possono provocare irritazioni alle mucose della gola e delle prime vie respiratorie. La loro azione non è immediata, ma possono causare pericolosi effetti ritardati.

4.4 ACIDO SOLFIDRICO

L'**acido solfidrico** (o **idrogeno solforato**, nome IUPAC **solfuro di idrogeno**) è un idracido debole, diprotico, gas incolore a temperatura ambiente non infiammabile, contraddistinto dal caratteristico odore di uova marce; la sua formula chimica è H₂S, il suo numero CAS è 7783-06-4, La densità è 2,92, quindi tende a ristagnare in basso.

Le principali vie di esposizione per l'uomo sono quella inalatoria, oculare e quella orale, meno rilevante quella per contatto epidermico.

Nella tabella seguente si riassumono in forma schematica i dati desunti dalla letteratura internazionale relativamente agli effetti sulla salute a concentrazioni crescenti di acido solfidrico per esposizione respiratoria.

EFFETTO	CONCENTRAZIONE [ppm]
Soglia dell'attivazione dell'odorato	0,05
Odore offensivo	3
Soglia dei danni alla vista	50
Paralisi olfattoria	100
Edema polmonare, intossicazione acuta	300
Danni al sistema nervoso, apnea	500
Collasso, paralisi, morte immediata	1000

Ne segue che, in ambiente, la soglia olfattiva media, ossia quella a cui il 50% degli esseri umani percepisce il caratteristico odore del solfuro di idrogeno normalmente descritto come odore di uova marce, è 35 microg/m³ pari a 0,05 ppm; a concentrazioni molto più alte (>100 ppm) la percezione dell'odore tende a svanire per esaurimento funzionale dei recettori (paralisi olfattoria).

4.5 ANIDRIDE SOLFOROSA

Questo gas può avere effetto nocivo sull'uomo ma non comporta pericoli di esplosione o di incendiabilità apprezzabili.

4.6 METANO

Il metano è inodore, incolore, molto volatile e ha estrema mobilità.

METANO (CH₄)	
Densità [kg/m ³]	Densità relativa all'aria [kg/m ³]
0,7168	0,5545

La miscela aria-metano se è opportunamente innescata può dar luogo ad una reazione di combustione più o meno rapida:

- Si infiamma ma non in grado di autosostenere la combustione per un vasto campo di percentuali relative metano-aria;
- Si infiamma con combustione che si autosostiene per trasferimento termico ma non raggiunge valori elevati di reazione (deflagrazione) con contenuto percentuali in volume di metano, in condizioni standard di pressione e temperatura, compresi tra circa il 5% ed il 15%. 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 si consuma totalmente;
- Si infiamma con combustione che si autosostiene per trasferimento di pressione con velocità di reazione molto elevate (detonazione) con miscele che, probabilmente,

hanno gli stessi estremi del contenuto percentuale in volume di metano in aria indicato per le esplosioni in regime deflagrante.

La genesi del metano è ascritta alla decomposizione di sostanze organiche, contenute nelle rocce sedimentarie, per opera di microorganismi o della temperatura. Il gas che deriva da attività batterica è composto essenzialmente da metano puro, mentre il gas termogenico che si crea in sedimenti rocciosi molto profondi e alte temperature senza l'intervento dei batteri, può contenere tracce di anidride carbonica e idrogeno solforato. Questo tipo di metano è definito "biotico".

Data la sua elevata mobilità già durante la sua genesi il metano tende a migrare dalla roccia dove si forma (roccia madre) attraversa formazioni permeabili e si accumula anche a distanze notevoli in volumi (serbatoi) confinati (trappole) oppure in corrispondenza di un collegamento idraulico sia lungo il tragitto che direttamente dai serbatoi profondi, può incontrare formazioni superficiali o spingersi fino al piano campagna.

Per la sicurezza dello scavo di opere sotterranee non solo è importante individuare la presenza di possibili rocce madre ma si deve anche verificare la possibile presenza di trappole o vie di migrazione da serbatoi profondi. La presenza di faglie ad esempio può rappresentare un potenziale collegamento idraulico (vie di risalita) da strutture profonde ad altre superficiali, fino anche al piano campagna. Sono note in letteratura manifestazioni superficiali di metano ad esempio sotto forma di vulcanetti di fango spesso associate a sorgenti di acqua che possono dar luogo a fiamme (fuochi fatui o perpetui).

Con riferimento alla prescrizione normativa data dal Titolo XI, con particolare riguardo all'art. 287, è necessario che nelle condizioni di accertata presenza di gas grisou (miscela aria-metano) vengano previste misure per la tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori.

Relativamente al tratto realizzato con metodo tradizionale un valido strumento che può essere utilizzato per l'approccio al problema legato alla presenza di gas in galleria è rappresentato dal documento redatto dalle regioni Emilia-Romagna e Toscana "Lavori in sottterraneo. Scavo in terreni grisutosi. Grisù 3a ed." (NIR 28), che seppur riferito al solo problema metano, può essere un riferimento tecnico in merito al problema dello scavo di gallerie in presenza di gas. Questo documento, sviluppato nel corso e con i riscontri diretti degli scavi effettuati nell'appennino Tosco Emiliano, durante la realizzazione delle gallerie dell'alta velocità ferroviaria Bologna Firenze, e la variante di valico autostradale, sempre tra Bologna e Firenze, può essere considerato come "Linea guida per buone pratiche di lavoro nelle costruzioni in sottterraneo". Nella citata Nota Interregionale, dedicata al problema dello scavo in terreni grisoutuosi o sospetti tali, 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.

4.7 RADON

Il radon è un gas radioattivo immesso nell'aria ambiente e proveniente dal decadimento dell'uranio presente nelle rocce, nel suolo e nei materiali da costruzione. Tende ad accumularsi negli ambienti confinati (ambienti indoor), dove in alcuni casi può raggiungere concentrazioni tali da rappresentare un rischio significativo per la salute della popolazione esposta. È considerato la seconda causa di cancro al polmone dopo il fumo di tabacco e

ad esso sono attribuiti dal 5 al 20% di tutti i casi (da 1.500 a 5.500 stimati per la sola Italia all'anno).

Il suolo è responsabile dell'80% del radon presente nell'atmosfera, l'acqua del 19% e le altre fonti solo dell'1%. È circa 8 volte più pesante dell'aria, e per questa sua caratteristica tende ad accumularsi negli ambienti confinati.

Gli effetti dell'esposizione al radon sono stati evidenziati prima di tutto tra i minatori di miniere sotterranee di uranio, nelle quali la concentrazione di radon arrivava a valori estremamente elevati. Tali studi hanno mostrato un evidente e forte aumento di rischio di tumore polmonare tra i minatori esposti ad alte concentrazioni di radon. Di conseguenza il radon è stato classificato tra i cancerogeni per i quali vi è la massima evidenza di cancerogenicità.

Lo strumento di misura più opportuno per rilevazioni di lungo periodo (generalmente un anno) è il cosiddetto dispositivo o dosimetro passivo. I dosimetri passivi sono di piccole dimensioni e non necessitano di alimentazione elettrica; essi forniscono un valore medio della concentrazione di radon in aria nel periodo di esposizione (detto anche periodo di campionamento). I dosimetri sono costituiti da un contenitore di materiale plastico, che ospita un elemento sensibile al radon (rivelatore a tracce o elettret). Questi strumenti non emettono alcuna sostanza o radiazione.

I dosimetri possono essere collocati in un locale, ad esempio appoggiati sulla superficie di un mobile, su una mensola, ecc., per un determinato periodo di tempo, al termine del quale vengono restituiti al laboratorio per l'effettuazione dell'analisi.

Per decidere in quali locali o ambienti sotterranei di uno stesso edificio effettuare le misure di concentrazione di radon, bisogna tenere conto del fatto che le misure devono essere pianificate in modo da essere rappresentative dell'esposizione del personale. Perciò in linea di massima le misure non dovranno essere condotte in locali che non siano occupati con continuità dai lavoratori, come per esempio i locali di servizio, gli spogliatoi e gli ambienti di passaggio come i corridoi.

Altri ambienti come i magazzini, i bunker delle banche e locali di utilizzo simile, nei quali il personale entra senza occupare una vera e propria postazione di lavoro, ma che rimangono chiusi a lungo, non dovranno essere sottoposti a misura a meno che il personale nel suo complesso non vi trascorra una frazione di tempo significativa, che viene indicativamente fissata in 10 ore al mese.

Considerato che numerosi studi hanno messo in evidenza la variabilità della concentrazione di radon anche fra ambienti contigui, le misure dovranno in generale essere effettuate in ogni locale fisicamente separato; il risultato della media annuale del singolo locale dovrà essere confrontato con il livello di azione di 500 Bq/m^3 introdotto dalla normativa.

EFFETTO	Livello di azione [media annuale]
	< 500 Bq/mc
Cancerogeno	> 500 Bq/mc

Nel caso di luoghi di lavoro sotterranei in cui vi sia un numero elevato (dell'ordine delle decine) di ambienti "analoghi" sulla base di considerazioni riguardanti le caratteristiche della costruzione e dell'uso degli ambienti stessi, compresa la ventilazione e il tipo di attività, potrà essere giustificata la riduzione del numero di misure da effettuare in uno

PROGETTO DEFINITIVO

stesso edificio. Tale scelta dovrà essere oggetto di una relazione che resti a disposizione degli organi di vigilanza e dovrà necessariamente essere sottoposta a verifica: se la media dei valori misurati risulterà sostanzialmente inferiore al livello di azione e la loro variabilità contenuta, l'operazione sarà giustificata anche a posteriori, in caso contrario, sarà necessario estendere in una seconda fase il programma di misura a tutti i locali.

5. MISURE GENERALI

Le aree di lavoro in sotterraneo dovranno essere ventilate in modo da fornire, costantemente, aria sana al personale addetto ai lavori ed evitare concentrazioni di gas nocivi nelle aree di lavoro. La ventilazione dovrà essere effettuata con l'immissione forzata dell'aria mediante appositi ventilatori situati all'ingresso della galleria.

L'Impresa esecutrice dovrà predisporre un sistema di ventilazione progettato per assicurare una portata d'aria costante, garantire un adeguato ricambio dell'aria e non creare sensazioni di fastidio o problemi per la salute (eccessiva velocità o stagnazione dell'aria).

La ventilazione dovrà garantire, nel rispetto dei limiti di TLV, una quantità d'aria sufficiente per soddisfare:

- il ricambio d'aria per gli operai sul fronte e lungo la galleria;
- la diluizione dei gas di scarico dei mezzi a motore operanti in galleria;
- la diluizione delle polveri prodotte dalle lavorazioni in galleria;
- una velocità di ritorno dell'aria non pregiudizievole per la salute dei lavoratori e in linea con le prescrizioni normative.

L'aria immessa in sotterraneo dovrà essere prelevata in luoghi non situati in prossimità di inquinamento.

Il dimensionamento del sistema di ventilazione sarà effettuato dall'Impresa esecutrice sulla base del programma lavori, del numero e delle caratteristiche delle macchine operatrici e dei mezzi che opereranno contemporaneamente in galleria e della quantità d'aria necessaria per le squadre di operai.

Il gruppo ventilatore dovrà essere adeguatamente silenziato.

L'Impresa esecutrice dovrà prevedere la presenza di un gruppo elettrogeno di emergenza, ad intervento automatico, che provvederà all'alimentazione del ventilatore in caso di interruzione dell'alimentazione di energia elettrica. Analogamente dovrà disporre di un ventilatore di riserva, da tenere in vicinanza della galleria predisposto per poter essere installato in tempi rapidi in caso di guasto al gruppo ventilatore.

L'Impresa esecutrice dovrà provvedere al monitoraggio sistematico del microclima in ambiente sotterraneo attraverso rilevazioni eseguite con apparecchi di controllo. Attraverso tali misurazioni l'Impresa esecutrice dovrà accertare la concentrazione di ossigeno e la presenza di eventuali gas nocivi o pericolosi (in particolare ossido di carbonio, ossidi di azoto ed anidride solforosa). L'Impresa esecutrice dovrà inoltre effettuare misure strumentali per rilevare i valori di velocità, umidità e temperatura dell'aria.

Il Piano Operativo di Sicurezza dovrà comprendere una specifica procedura di monitoraggio dell'aria che preveda:

- Il riferimento ai valori limiti di soglia individuati dalle norme di buona tecnica (quali ad esempio i valori TLV delle Norme Americane ACGIH)
- La periodicità delle misure
- La periodicità delle tarature degli strumenti

- La metodologia di monitoraggio (correlazione con le attività in corso, posizione dei sensori ecc.)
- La conservazione dei dati derivanti dal monitoraggio

Per quanto riguarda le concentrazioni di gas metano si farà riferimento ai valori soglia stabiliti dal DPR 320/56 e dalle linee guida vigenti in materia di scavi in sotterraneo (note interregionali Emilia - Toscana)

La dotazione necessaria per tali monitoraggi dovrà essere specificata in dettaglio unitamente alla descrizione degli apparecchi di controllo redatto dall'impresa appaltatrice. I risultati dei controlli, con le modalità tecniche adottate, dovranno essere tenuti a disposizione degli organi di controllo (ASL, ISPESL, ecc.) negli uffici del cantiere.

5.1 LIMITAZIONE DELLA TEMPERATURA

La temperatura nei posti di lavoro sotterranei dovrà essere contenuta, per mezzo della ventilazione, al di sotto del limite massimo di 30 gradi centigradi del termometro a bulbo asciutto o 25 gradi centigradi del termometro a bulbo umido.

Qualora non sia possibile mantenere la temperatura entro tali limiti, il normale lavoro potrà essere continuato a condizione che la permanenza dei lavoratori in sotterraneo non si prolunghi oltre le 6 ore al giorno, se la temperatura non supera 35 gradi centigradi del termometro a bulbo asciutto o 30 gradi del termometro a bulbo umido.

A temperature superiori a tali limiti l'Impresa esecutrice consentirà solo l'esecuzione di lavori urgenti di emergenza diretti a scongiurare pericoli o lavori relativi ad operazioni di salvataggio. In tal caso il personale addetto dovrà essere impiegato secondo orari e turni adeguati alle situazioni contingenti.

5.2 DIFESA CONTRO LE POLVERI

Nei lavori in sotterraneo l'Impresa esecutrice dovrà adottare sistemi di lavorazione, macchine, impianti e dispositivi che diano luogo al minore sviluppo possibile di polveri, secondo le disposizioni di cui al capo VIII del DPR 320/56. Le polveri dovranno essere comunque eliminate il più possibile vicino ai punti di formazione.

Per operazioni come quella di getto del betoncino proiettato, per cui non sia possibile eliminare la polverosità dell'ambiente di lavoro, l'Impresa esecutrice dovrà utilizzare macchinari che consentano ai lavoratori di ridurre la propria esposizione alle polveri (ad esempio: lancia telecomandata).

La riduzione della presenza di polveri potrà avvenire anche tramite:

- processi di lavorazione ad umido;
- installazione di opportuni filtri sugli attrezzi di perforazione;
- sistema di ventilazione forzata: questo dovrà consentire di diluire la frazione granulometrica che potrebbe rimanere più a lungo in sospensione.

Nei lavori in cui vengano impiegati dei procedimenti ad umido, l'acqua utilizzata dovrà essere esente da forme di inquinamento. Inoltre, le eventuali operazioni di bagnatura della sezione della galleria finalizzate all'abbattimento delle polveri depositate dovranno essere eseguite con spruzzatori e non tramite getti violenti d'acqua.

Eventuali sostanze utilizzate per ridurre la tensione superficiale dell'acqua o per limitare la dispersione di polveri nell'ambiente dovranno essere tali da non nuocere alla salute dei lavoratori.

La perforazione meccanica delle rocce dovrà essere eseguita mediante macchine munite di dispositivi per l'aspirazione delle polveri o di spruzzatori ad acqua.

Il materiale abbattuto nei cantieri dove l'escavazione sia stata eseguita in rocce asciutte e polverulente, dovrà essere inumidito prima di essere rimosso e trasportato. Il caricamento dei dumper dovrà essere effettuato in modo da evitare la caduta dei materiali durante il trasporto stesso.

Al fine di contenere la polverosità dell'ambiente, la velocità dell'aria forzata dal sistema di ventilazione dovrà essere contenuta entro limiti tali da non sollevare la polvere depositata sulle pareti e sul suolo.

In ottemperanza a quanto disposto dalle norme di legge si dovrà provvedere a far eseguire da ditte esperte del settore igiene del lavoro, rilevazioni delle concentrazioni di polveri nell'aria nei luoghi di lavoro in galleria e del contenuto in silice al fine di valutare il livello di rischio per i lavoratori esposti. I dati provenienti dalle analisi dovranno essere tenuti nel cantiere ed esibiti a richiesta da parte degli organi preposti.

Nel Piano Operativo di Sicurezza dovrà essere individuata una specifica procedura di monitoraggio delle polveri che preveda:

- Il riferimento ai valori limiti di soglia individuati dalle norme di buona tecnica (quali ad esempio Norme Americane ACGIH)
- La periodicità delle misure
- La periodicità delle tarature degli strumenti
- La metodologia di monitoraggio (correlazione con le attività in corso, posizione dei sensori ecc.)
- La conservazione dei dati monitorati

Particolare attenzione sarà posta nella valutazione delle concentrazioni di polveri sclerogene in riferimento alla natura dei terreni attraversati.

L'Impresa esecutrice dovrà inoltre indicare, nel proprio Piano Operativo di Sicurezza:

- gli accorgimenti che intende adottare al fine di ridurre la polverosità dell'aria in galleria;
- gli accorgimenti che intende adottare al fine di ridurre le polveri prodotte durante il carico ed il trasporto dello smarino e quelle dovute alla circolazione dei mezzi;
- gli accorgimenti che intende adottare al fine di ridurre l'esposizione alla polvere degli addetti al getto del betoncino proiettato;

Nel caso sorgessero delle difficoltà respiratorie per la presenza delle polveri in alcune lavorazioni, dovrà essere previsto che il personale faccia uso di idonee maschere munite di filtri, tenute sempre in efficienza nei luoghi di lavoro. In particolare, per le attività di getto del betoncino proiettato, i lavoratori dovranno utilizzare apposite maschere con visiera ed occhiali.

5.3 SISTEMI DI MONITORAGGIO

Il controllo della presenza del gas deve essere periodicamente eseguito da personale esperto provvisto di idonei strumenti indicatori a batteria muniti di quadrante graduato. La frequenza dei controlli, quando il gas non è stato ancora riscontrato, è stabilita in relazione al grado di probabilità della sua manifestazione, tenuto conto della natura e delle caratteristiche del terreno in escavazione e di quello della zona circostante, nonché dei fenomeni indiziari eventualmente manifestatisi nel corso dei lavori di scavo. Quando la comparsa di gas sia da ritenersi molto probabile, i controlli devono essere eseguiti giornalmente.

Se la presenza del gas è accertata, il controllo della sua concentrazione è eseguito in modo continuativo. Il controllo della presenza e della concentrazione del gas non può essere limitato alla zona del fronte di avanzamento, ma deve essere esteso a tutto lo sviluppo del sotterraneo ed in modo particolare alle zone elevate.

5.3.1 Sistema di monitoraggio automatico

Tale sistema permette una rilevazione continua del tenore di metano nell'ambiente del sotterraneo, tramite un numero determinato di sensori, desunto dall'analisi di rischio in capo all'impresa esecutrice che dovranno essere posizionati in punti opportuni e sostanzialmente mirati ad individuare volumi considerevoli di gas in ambiente.

Il sistema di monitoraggio automatico dovrà essere composto da:

- Sensori di misura
- Unità per la visualizzazione dei valori rilevati localmente
- Unità master di visualizzazione e controllo
- Ripetizione allarmi
- Unità di registrazione dati

5.3.2 Sistema di monitoraggio manuale

Oltre ai rilevatori al fronte eventualmente confermati in una successiva fase di progettazione, si potrà prevedere l'utilizzo di misuratori mobili al fine di monitorare periodicamente sia le aree di lavoro sia sui tratti già rivestiti della galleria la tenuta ai gas del rivestimento. Tali misuratori avranno caratteristiche e sensibilità tali da individuare anche piccole zone di accumulo o di emissioni localizzate o perdite localizzate.

Con questo sistema si effettua un'azione di monitoraggio discontinua, eseguita in maniera completamente manuale, allo scopo di:

- integrare i dati del monitoraggio continuo con misure mirate in una particolare area interessata, come ad esempio il fronte dopo la volata o durante l'attività di perforazione,
- individuare accumuli localizzati.

Tutti i valori delle letture del monitoraggio sia automatico che manuale dovranno essere giornalmente riportati su un registro, assieme alla progressiva raggiunta dallo scavo; tale registro sarà a disposizione della Direzione di Cantiere e della Direzione Lavori.

5.3.3 Gestione allarmi

Dovranno essere previste misurazioni per i diversi gas da attenzionare come descritte al cap. 5 del presente documento.

Tale dato dovrà essere gestito direttamente dal sistema, che fornirà un'unica segnalazione per ogni livello di allerta; l'informazione che verrà fornita al personale per attuare le dovute procedure sarà in questo modo chiara ed univoca.

6. DISPOSIZIONI PER L'UTILIZZO DI MACCHINE IN SOTTERRANEO

Nella costruzione di gallerie deve essere rispettato il divieto previsto dal punto 5.5 della Direttiva Macchine (2006/42/CE) che inibisce l'accesso in sotterraneo ai mezzi i cui motori a combustione interna utilizzano combustibili ad alta tensione di vapore e che quindi devono essere dotate esclusivamente di motore che utilizzi un combustibile a bassa tensione di vapore che escluda qualsiasi scintilla di origine elettrica. In ragione di ciò è vietato l'impiego di motori alimentati a benzina, GPL o gas naturale (metano).

Per ridurre i rischi i mezzi devono essere opportunamente allestiti e dotati dei necessari dispositivi.

Le emissioni dei motori diesel contengono, come principali inquinanti:

- monossido di carbonio;
- ossidi di azoto;
- idrocarburi incombusti;
- anidride solforosa;
- particolato.

La quantità e la qualità degli inquinanti emessi dipende principalmente dai seguenti fattori:

- potenza del motore;
- efficienza del tipo di motore;
- caratteristiche del carburante utilizzato;
- caratteristiche dei dispositivi d'abbattimento delle emissioni;
- stato di manutenzione del motore e dei sistemi di abbattimento;
- condizioni di esercizio del mezzo.

Il sistema di ventilazione presente in galleria è in grado unicamente di diluire gli inquinanti che fuoriescono dai condotti di scarico dei veicoli, senza modificarne l'emissione alla fonte. A prescindere dalle caratteristiche tossicologiche di ciascun inquinante, la IARC ha classificato l'emissione dei motori diesel come "probabile cancerogeno per l'uomo" (classe 2A). Si ritiene che l'azione di cancerogenesi sia determinata dalla presenza di idrocarburi policiclici aromatici e loro derivati, che risultano essere adsorbiti sul particolato.

In considerazione dei vari inquinanti prodotti dai motori diesel, si evidenzia come il principale rischio per la salute sia sicuramente determinato dalla presenza di cancerogeni. Per ridurre e tenere sotto controllo, entro parametri prefissati, l'emissione degli inquinanti generati nel processo di combustione del ciclo diesel (e di conseguenza l'inquinamento dell'aria) è necessario modificare l'allestimento dei mezzi impiegando specifici sistemi d'abbattimento dei prodotti di scarico, già disponibili sul mercato, e adottando appropriate misure tecnico-organizzative.

- I motori dei veicoli destinati a circolare su strada devono essere provvisti dell'omologazione prevista dalla normativa vigente alla data della prima messa in servizio.

Per ottenere una significativa riduzione delle emissioni inquinanti alla fonte, è opportuno privilegiare l'uso di motori di recente produzione, appositamente concepiti per rispettare già in sede d'omologazione ridotti limiti d'emissioni; in essi il processo di combustione è stato reso più efficace.

- La purezza e le caratteristiche del carburante utilizzato risultano determinanti al fine di limitare i sottoprodotti generati dalla combustione.

Relativamente allo zolfo, le direttive europee prevedono la distribuzione di carburanti con diverso tenore dello stesso, tra cui quelli a bassissimo contenuto.

- I veicoli provvisti dei dispositivi di abbattimento dei gas di scarico devono utilizzare carburanti a basso/bassissimo (50/10 ppm) tenore di zolfo secondo le indicazioni fornite dai costruttori dei dispositivi di abbattimento.

Per i restanti veicoli si ritiene comunque preferibile l'utilizzo di carburanti a bassissimo tenore di zolfo per contenere gli inquinanti generati dalla combustione.

6.1 CARATTERISTICHE DEI SISTEMI D'ABBATTIMENTO DEI GAS DI SCARICO

I più diffusi dispositivi di post-trattamento (abbattitori supplementari) applicabili sul condotto terminale di scarico dei motori diesel si dividono in:

- catalizzatore ossidante: è un dispositivo in grado di ottenere una riduzione allo scarico di ossido di carbonio e di idrocarburi incombusti. Le caratteristiche specifiche di questo dispositivo non garantiscono una buona funzionalità nel tempo, in quanto il catalizzatore tende a perdere efficacia. È pertanto necessaria la periodica sostituzione del dispositivo, senza possibilità di rigenerazione;
- filtro antiparticolato (in seguito denominato FAP): è un dispositivo in grado di trattenere il materiale particolato presente nei fumi di scarico, con efficienza filtrante superiore al 90%. Per garantire una buona funzionalità nel tempo di questo dispositivo (efficienza filtrante) è necessario che venga periodicamente rigenerato.

Le ultime scoperte sui pericoli per la salute rappresentati dai gas di scarico, le condizioni di esposizione nei cantieri sotterranei, i progressi tecnici realizzati nel trattamento secondario dei gas di scarico (tecnica dei filtri antiparticelle), le indicazioni emanate dall'organismo svizzero che si occupa della salute nei lavori sotterranei, SUVA, sulla base delle risultanze scaturite dallo studio di settore "Progetto VERT", conducono alle conclusioni sotto riportate:

- a) Tutti i mezzi operanti in galleria con motore diesel devono essere muniti di filtro antiparticolato (FAP) ad eccezione
- b) Rimangono esclusi dall'obbligo del filtro FAP:
 - Mezzi di nuova immatricolazione tali per cui i livelli di emissione di particolato sono tali che l'impiego del FAP potrebbe risultare non necessario;
 - mezzi la cui funzione operatrice è azionata esclusivamente in maniera elettrica
 - mezzi con potenza nominale inferiore a 100 kW e una durata di impiego inferiore a 2 ore per turno di lavoro di 8 ore;
 - mezzi utilizzati per una durata di impiego giornaliera inferiore ad una ora;
 - mezzi in uso ad organi di vigilanza, ispezione ed istituzionali e mezzi specificatamente adibiti all'emergenza.

6.2 MANUTENZIONE GENERALE DEI MEZZI

Deve essere effettuata una manutenzione periodica dei mezzi, secondo un protocollo e un calendario predefiniti.

Gli interventi devono riguardare tutte le componenti che influiscono sui livelli di emissione. La programmazione degli interventi di manutenzione deve tener conto delle condizioni d'uso dei mezzi, ed in particolare delle situazioni d'utilizzo gravoso.

Ogni impresa esecutrice deve individuare chiaramente i compiti e le responsabilità in relazione alle attività di manutenzione.

Ogni impresa esecutrice deve annotare gli interventi su di un registro, che contenga le seguenti indicazioni:

- a) marca, modello, numero di matricola del mezzo, targa (se presente);
- b) marca, modello e tipo del sistema di abbattimento;
- c) periodicità e descrizione degli interventi previsti;
- d) data e descrizione degli interventi effettuati;
- e) data ed esito (con risultato numerico) dell'analisi dei fumi di scarico

Per rendere noto lo stato di manutenzione, su ogni mezzo deve essere apposto, in modo ben visibile, un cartello con l'indicazione della data dell'ultimo intervento di manutenzione effettuato e di quella prevista per il successivo intervento.

6.3 RIDUZIONE DELL'ESPOSIZIONE A POLVERE E A RUMORE DEI CONDUCENTI DI ALCUNI MEZZI

Le lavorazioni di scavo in sotterraneo espongono gli operatori dei mezzi ad alti livelli di polvere e rumore. In presenza di particolari ammassi rocciosi la polvere può contenere discrete percentuali di silice cristallina. Relativamente al rumore è frequente il superamento dei limiti personali di esposizione.

Per ridurre l'esposizione a questi fattori di rischio una valida soluzione può essere costituita dalla presenza della cabina di guida.

Le cabine svolgono la loro funzione protettiva solo se le porte e i finestrini vengono mantenuti chiusi durante il lavoro. Per smaltire il calore generato dalle macchine, occorre che le cabine stesse siano dotate di impianto di condizionamento/climatizzazione.

L'adozione dell'impianto di condizionamento/climatizzazione assume particolare rilevanza per quelle macchine che operano stabilmente al fronte durante le operazioni di scavo e di movimento terra.

6.4 EVENTUALE PRESENZA DI MECELA ESPLOSIVA

Qualora nel corso della successiva fase di studio progettuale dovesse esserci la probabilità di presenza di gas esplosivo (miscela aria-metano) ad oggi non valutabile sulla scorta della documentazione pervenuta dai progettisti di PD, dovranno essere predisposte tutte le misure atte a garantire il funzionamento in sicurezza di tali macchine e/o attrezzature, fermo restando quanto finora indicato.

In questa eventuale configurazione, le macchine elettriche devono risultare protette contro il pericolo di esplosioni come previsto dalle norme EN 60079-10 (CEI 31-30) "Costruzioni elettriche per atmosfere esplosive per la presenza di gas".

Come noto le miscele di aria e metano con percentuale di metano tale da renderle potenzialmente esplosive (percentuale di metano compresa tra il 5% ed il 15%) possono essere innescate a contatto con corpi a temperatura superiore ai 537 °C; pertanto le macchine con alimentazione diesel, idonee a lavorare in atmosfera potenzialmente esplosiva non dovranno avere, come cautelativamente previsto dal D.P.R. 126/98 e la

PROGETTO DEFINITIVO

norma UNI EN 1834-2, parti con temperature superiori ai 450 °C, inoltre gli eventuali impianti elettrici presenti nelle macchine dovranno essere idonei al funzionamento. Ovviamente tali prescrizioni si applicano esclusivamente a quelle macchine che sono in funzione al momento del probabile evento di rilascio del gas (fase di scavo o di perforazione in avanzamento) e per le macchine che vengono utilizzate per allontanare il personale dal fronte di scavo.

7. PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI

Per il controllo, monitoraggio e prevenzione dei rischi da emissione di gas nel corso delle attività di scavo tradizionale si faccia riferimento al **D.P.R. 320/56**. In particolare:

- Art. 30 - Respirabilità dell'aria ambiente negli scavi
- Art. 31 - Presa e velocità dell'aria di ventilazione
- Art. 32 - Apparecchi di controllo
- Art. 33 - Limitazione della temperatura in sotterraneo
- Art. 54 - Bagnatura delle polveri
- Art. 60 - Disposizione del tubo di scappamento nelle macchine di trazione
- Art. 61 - Velocità della corrente d'aria
- Art. 63 - Verifiche della polverosità dell'aria ambiente
- Art. 79 - Sospensione dei lavori e abbandono del sotterraneo

Per il controllo e la prevenzione dei rischi per la salute dovuti ad esposizione ad agenti chimici, si fa riferimento ai valori limite di esposizione professionale riportati **all'allegato XXXVIII del D.Lgs 81/08**.

L'allegato indica per gli ambienti di lavoro due soglie:

- Valore Limite di Soglia - Media Ponderata nel Tempo TLV-TWA (Threshold Limit Value - Time Weight Average): è la concentrazione media (relativa ad una giornata lavorativa di 8 ore, ovvero ad una settimana lavorativa di 40 ore) alla quale, i lavoratori possono essere esposti, ripetutamente, giorno dopo giorno, senza subire effetti dannosi alla salute
- Valore Limite di Soglia - Limite per Breve Tempo di Esposizione TLV-STEL (Threshold Limit Value - Short Time Exposure Limit): è la concentrazione massima alla quale i lavoratori possono essere esposti per un breve periodo di tempo (pari al massimo a 15 minuti nell'arco delle 8 ore lavorative) senza che si producano irritazioni, alterazioni croniche o irreversibili ai tessuti, narcosi di intensità sufficiente ad aumentare il rischio di danni accidentali. Le escursioni giornaliere non possono essere più di quattro, deve intercorrere un intervallo di almeno 60 minuti e il TLV-TWA giornaliero non deve essere superato.

Il Titolo XI del D. Lgs. 81/08 riguardante il miglioramento della sicurezza e salute dei lavoratori nei luoghi di lavoro che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive introduce l'obbligo di eseguire una valutazione specifica del rischio legato alla possibile presenza di atmosfere esplosive (metano) in galleria che dovrà essere parte integrante del DVR integrato alle NIR Toscana ed Emilia Romagna.