

Sicurezza nei lavori in sotterraneo

di **Maurizio Magri** - Ingegnere, Resp. U.O. Vigilanza Tecnica Direzione Regionale del Lavoro di Torino

Analisi e riduzione dei rischi

• Percorso di analisi e intervento	5
• Individuazione dei pericoli e valutazione dei rischi	5
• Analisi degli infortuni	6
• Rischi residui	6

Rischi legati all'ambiente di lavoro

• Franamento dello scavo	7
• Investimento in galleria	10
• Caratteristiche dell'ambiente di lavoro	15
• Irruzione di acqua	23
• Presenza di radon	23

Impiego degli esplosivi

• Definizione e caratteristiche	25
• Classificazione	27
• Uso in sicurezza nei sotterranei	32
• Sistemi di innesco	32

Atmosfere esplosive

• Valutazione del rischio	37
• Classificazione delle gallerie	37
• Misure di sicurezza da adottare	42

Rischio elettrico

• Impianti	44
------------------	----

√ Ai sensi della circolare del Ministero del Lavoro del 18 marzo 2004, le considerazioni espresse sono frutto esclusivo dell'autore e non hanno carattere in alcun modo impegnativo per l'amministrazione di appartenenza.

- Messa in esercizio e verifiche..... 45
- Sezionamento degli impianti elettrici 46

Rischio incendio

- Elementi di valutazione 48
- Misure di sicurezza antincendio..... 50
- Presidi antincendio..... 53
- Altre misure di sicurezza..... 55
- Imprese operanti in appalto..... 57



EDITRICE
Wolters Kluwer Italia s.r.l.
Strada 1, Palazzo F6 - 20090 Milanofiori Assago (MI)

DIRETTORE RESPONSABILE
Giulietta Lemmi

REDAZIONE
Donatella Armini, Marta Piccolboni, Maria Lorena Radice

REALIZZAZIONE GRAFICA
Ipsoa - Gruppo Wolters Kluwer

FOTOCOMPOSIZIONE
Sinergie Grafiche s.r.l.
20089 Rozzano (MI) - Via Pavese, 1/3-Tel. 02/57789422

PUBBLICITÀ:



db Consulting srl Event & Advertising
via Leopoldo Gasparotto 168
21100 Varese
tel. 0332/282160
fax 0332/282483
e-mail: info@db-consult.it
www.db-consult.it

Autorizzazione del Tribunale di Milano n. 438 del 18 giugno 1999
Tariffa R.O.C.: Poste Italiane Spa - Spedizione in abbonamento Postale
D.L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n. 46) art. 1, comma 1, DCB Milano
Iscritta nel Registro Nazionale della Stampa
con il n. 3353 vol. 34 Foglio 417 in data 31 luglio 1991
Iscrizione al R.O.C. n. 1702

REDAZIONE

Per informazioni in merito agli argomenti
trattati scrivere o telefonare a:

IPSOA Redazione



Casella Postale 12055 - 20120 Milano
telefono (02) 82476.022 - 023
telefax (02) 82476.436
e-mail: sicurezzambiente@ipsoa.it

AMMINISTRAZIONE

Per informazioni su gestione abbonamenti,
numeri arretrati, cambi d'indirizzo, ecc.

scrivere o telefonare a:

IPSOA Servizio Clienti
Casella postale 12055 - 20120 Milano
telefono (02) 824761
telefax (02) 82476.799
Servizio risposta automatica:
telefono (02) 82476.999

ABBONAMENTI

Gli abbonamenti hanno durata annuale e si intendono
confermati per l'anno successivo se non disdettati
entro la scadenza a mezzo semplice lettera.

ITALIA - Abbonamento annuale: € 112,00

ESTERO - Abbonamento annuale: € 224,00

Prezzo copia: € 12,00

Arretrati: prezzo dell'anno in corso all'atto della richiesta

STAMPA

GECA s.p.a. - Via Magellano, 11 - 20090 Cesano Boscone (MI)

DISTRIBUZIONE

Vendita esclusiva per abbonamento

Il corrispettivo per l'abbonamento a questo periodico è comprensivo
dell'IVA assolta dall'editore ai sensi e per gli effetti del combinato
disposto dell'art. 74 del D.P.R. 26/10/1972, n. 633
e del D.M. 29/12/1989 e successive modificazioni e integrazioni.

Egregio abbonato,

ai sensi dell'art. 13 del D.Lgs. 30 giugno 2003 n. 196, La informiamo che i Suoi dati personali sono registrati su database elettronici di proprietà di Wolters Kluwer Italia S.r.l., con sede legale in Assago Milanofiori Strada 1-Palazzo F6, 20090 Assago (MI), titolare del trattamento e sono trattati da quest'ultima tramite propri incaricati. Wolters Kluwer Italia S.r.l. utilizzerà i dati che La riguardano per finalità amministrative e contabili. I Suoi recapiti postali e il Suo indirizzo di posta elettronica saranno utilizzabili, ai sensi dell'art. 130, comma 4, del D.Lgs. n. 196/2003, anche a fini di vendita diretta di prodotti o servizi analoghi a quelli oggetto della presente vendita. Lei potrà in ogni momento esercitare i diritti di cui all'art. 7 del D.Lgs. n. 196/2003, fra cui il diritto di accedere ai Suoi dati e ottenerne l'aggiornamento o la cancellazione per violazione di legge, di opporsi al trattamento dei Suoi dati ai fini di invio di materiale pubblicitario, vendita diretta e comunicazioni commerciali e di richiedere l'elenco aggiornato dei responsabili del trattamento, mediante comunicazione scritta da inviarsi a: Wolters Kluwer Italia S.r.l. - PRIVACY - Centro Direzionale Milanofiori Strada 1-Palazzo F6, 20090 Assago (MI), o inviando un Fax al numero: 02.82476.403.

Analisi e riduzione dei rischi

● Percorso di analisi e intervento

Lo scopo delle norme poste a tutela della salute e sicurezza dei lavoratori, indicando come adempiere ai vari obblighi da parte di tutte le figure coinvolte (datori di lavoro, dirigenti, preposti, lavoratori), è quello di ridurre i rischi durante tutta l'esecuzione dei lavori sotterranei.

Nel seguito si analizzeranno quindi i rischi principali e prevalenti presenti in galleria, indicando, secondo lo stato della tecnica disponibile, le misure di prevenzione e protezione che si sono dimostrate efficaci nella pratica.

È necessario ricordare che, per lo specifico cantiere con lavori in sotterraneo, deve essere sempre redatto, da parte dell'impresa esecutrice, il Piano Operativo di Sicurezza (POS), di cui all'art. 96 del D.Lgs. n. 81/2008, nonché, qualora vi sia la presenza anche non contemporanea di due o più imprese, e, da parte del Coordinatore per la Sicurezza, il Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) di cui all'art. 100 del D.Lgs. n. 81/2008.

I piani di sicurezza comprendono in particolare i seguenti punti:

- principi guida e obiettivi in materia di sicurezza;
- organizzazione della sicurezza, formazione, istruzione, informazione;
- regole di sicurezza;
- individuazione dei pericoli e valutazione dei rischi;
- analisi delle fasi di lavoro e successione temporale;
- pianificazione e realizzazione delle misure di prevenzione e protezione;
- dispositivi di protezione individuale (DPI);
- organizzazione in caso d'emergenza;
- partecipazione;
- protezione della salute;
- controllo e *audit*.

● Individuazione dei pericoli e valutazione dei rischi

Per l'individuazione dei pericoli e la valutazione dei rischi si terrà conto in particolare:

- dei pericoli legati a eventi naturali, come valanghe, caduta di seracchi, caduta di pietre, colate di fango, piene, fulmini e vento;
- dei pericoli legati a eventi specifici del cantiere, come distacco di materiale, fornello, tendenza al colpo di montagna (fenomeni di decompressione), inondazione, sprigionamento di calore geotermico,

Piani di sicurezza

quarzo, amianto, radon, depositi di vecchi residui chimici, esplosioni, incendi, fumo, pericoli legati alla depolverazione e ai trasporti;
– di eventuali pericoli dovuti a gas naturale, nella misura in cui non si può escluderne la presenza;
– dei pericoli legati agli impianti e alle condotte di servizio.

● **Analisi degli infortuni**

L'analisi degli infortuni nei lavori in sotterraneo, in particolare di quelli più gravi, ha evidenziato che spesso in un evento sono coinvolti lavoratori appartenenti a imprese differenti e che le vittime hanno un ruolo passivo: tali elementi evidenziano carenze nel coordinamento fra le imprese.

È pertanto rilevante prevedere una corretta attività dei Coordinatori della Sicurezza al fine di dare efficacia all'attività prestata per curare il coordinamento dei diversi attori coinvolti nella realizzazione dell'opera. Così come è essenziale porre particolare attenzione delle attività di coordinamento per la sicurezza poste in essere dal Committente e dalla propria organizzazione.

Il coordinamento non si intende limitato alla sola attività dei «coordinatori» e dei «committenti», ma va interpretato in una più ampia accezione, che interessa l'opera fin dalla sua concezione e ne accompagna la progettazione e la realizzazione.

● **Rischi residui**

Il D.P.R. n. 320/1956 contiene alcune norme di organizzazione del lavoro e di obblighi specifici per i lavori in sotterraneo, al fine di ridurre al minimo gli ulteriori rischi residui ancora presenti in galleria (dopo la riduzione o eliminazione di quelli che saranno esaminati di seguito).

In particolare:

- la direzione e la sorveglianza dei lavori devono essere affidate a persone competenti, che abbiano una esperienza diretta dei lavori in sotterraneo (art. 6);
- è fatto obbligo a ogni datore di lavoro delle imprese esecutrici di notificare agli organi di vigilanza i lavori in sotterraneo (art. 7);
- i lavoratori mai precedentemente occupati in sotterraneo devono lavorare sotto la guida di altri già pratici, almeno per un periodo di due settimane (art. 8);
- ai posti di lavoro in sotterraneo devono essere adibiti almeno due lavoratori, salvo che i lavori siano eseguiti entro il campo visuale diretto di altra persona (art. 9);
- il lavoratore non può rimanere in sotterraneo oltre il proprio orario di lavoro, salvo giustificati motivi di carattere eccezionale (art. 10);
- i lavoratori addetti al sotterraneo o che per qualsiasi ragione vi accedano, devono essere forniti e fare uso di casco di protezione, costituito di materiale leggero e resistente. Il casco è dato in dotazione personale, a meno che il lavoratore acceda al sotterraneo solo occasionalmente (art. 12).

Rischi legati all'ambiente di lavoro

• Frangimento dello scavo

Le disposizioni di cui al Capo II «Scavi e armature» del D.P.R. n. 320/1956, artt. 13-20, trattano dei sistemi di sicurezza atti a prevenire i rischi di frangimento, in ogni operazione di scavo della galleria.

La velocità di avanzamento del fronte e degli altri scavi previsti dal progetto dipende in modo diretto, oltre che dal livello di approfondimento e di dettaglio del progetto, anche dal livello di organizzazione del cantiere, dalla disponibilità e dalle caratteristiche di impianti e di attrezzature e dall'entità delle risorse umane disponibili. In altri termini, è strettamente correlata alle risorse economiche e tecniche allocate.

È interesse dell'impresa esecutrice massimizzare la velocità di avanzamento del fronte poiché è la progressione dello scavo che rende esigibili le risorse economiche dell'appalto. Per contro i cantieri di scavo sono luoghi a maggiore rischio di gravi incidenti poiché sono presenti pareti con roccia o terreno appena messe a vista, spazi e tempi operativi ridotti che comportano inevitabilmente elevata concentrazione di mezzi e di personale.

I più moderni principi dell'ingegneria degli scavi impongono, nella realizzazione di gallerie (caratterizzate da elevata incidenza di meccanizzazione), la continuità delle diverse azioni elementari che concorrono a garantire l'avanzamento dello scavo.

La buona conduzione del ciclo di scavo (abbattimento, sgombero del materiale scavato, disaggio, caricamento del materiale su mezzi di trasporto e rivestimento di prima fase) permette di conseguire migliori livelli di remunerazione. In altri termini, soddisfatte le esigenze di risorse, le suddette «operazioni di scavo» vanno concepite e condotte con approccio unitario e con l'ottimizzazione del concatenamento tra le diverse azioni elementari al fine di garantire la razionalità dell'organizzazione del cantiere, l'ottimizzazione del dimensionamento delle risorse, e la massima economicità per l'impresa esecutrice.

Anche la sicurezza dei lavoratori durante la fase di scavo richiede un approccio unitario e la razionalità dell'organizzazione del cantiere al fine di minimizzare i rischi connessi alle lavorazioni e quelli legati alle interferenze, agli spazi operativi e ai tempi di esecuzione ristretti.

In una galleria l'avanzamento del fronte è conseguito attraverso la seguente successione di azioni elementari:

- preconsolidamento del fronte,
- abbattimento della roccia o del terreno al fronte,
- sgombero del fronte dall'abbattuto,
- caricamento su mezzi di trasporto del frantumato,

**Operazioni
di scavo**

Tecniche di scavo

- disgreggio delle pareti e del fronte «freschi di scavo»,
- rivestimento di prima fase.

In funzione della tecnica di abbattimento adottata, l'abbattimento, lo sgombero e il caricamento possono essere svolti in sequenza o in parallelo, con un grado di contemporaneità più o meno elevato, ma non possono mai essere considerati indipendenti l'uno dall'altro, anche quando avvengono senza sovrapposizione temporale. Infatti, occorre sempre considerare le interferenze generate dalla sovrapposizione degli spazi funzionali e dei rischi connessi alle varie lavorazioni. Ad esempio, nel caso della tecnica con perforazione e sparo le azioni elementari sono nettamente distinte l'una dall'altra e non sono ammissibili contemporaneità.

Terminata la perforazione, la macchina operatrice (jumbo) deve essere allontanata dal fronte fino ad una distanza che, per ragioni di economicità, deve essere quanto più limitata possibile ma, d'altra parte, deve essere tale da liberare la zona operativa del fronte e renderla disponibile alle successive azioni elementari, tenuto conto che il jumbo parcheggiato costituisce un ingombro importante.

Più in generale, nella realizzazione di una galleria la zona a ridosso del fronte (di ampiezza variabile in dipendenza della sezione tipo adottata) è quella che è caratterizzata dalla maggiore densità di lavorazioni (macchine, impianti, uomini), mentre il tratto compreso tra l'imbocco e il fronte assolve per quest'ultimo la funzione di collegamento con l'esterno.

Anche le zone di lavoro per la costruzione dell'arco rovescio, delle murette e del rivestimento definitivo dei paramenti e della calotta contribuiscono ad aumentare l'interferenza tra le lavorazioni e i conseguenti rischi. Ad esempio, per eseguire contemporaneamente l'avanzamento al fronte e la costruzione dell'arco rovescio, occorre adottare un ponte che scavalchi la zona di realizzazione dell'arco (scavo e getto) per assicurare il passaggio dei mezzi da e per il fronte.

La gestione razionale del sistema costituito da più azioni elementari tra loro correlate, l'ottimizzazione del dimensionamento delle risorse economiche, degli impianti, delle attrezzature e delle risorse umane, si realizzano con approcci dell'ingegneria gestionale ampiamente diffusi e la cui efficacia trova unanime consenso nella comunità tecnico-scientifica.

I classici strumenti di gestione e controllo della realizzazione del progetto (Gantt, PERT, Project Management), imponendo il coordinamento unitario di tutte le azioni elementari che concorrono alla realizzazione dell'opera, permettono di individuare, valutare, mitigare e ridurre i rischi di infortunio dovuti allo scavo. Questi concetti devono trovare applicazione in sede di pianificazione dei lavori negli strumenti di progettazione della sicurezza (PSC e POS), ove sono indicate le misure operative per la stabilità dello scavo.

È ampiamente noto che l'avanzamento del fronte è la fase che comporta il maggior rischio infortunistico. Ne discende che le scelte or-

ganizzative devono armonizzare, al massimo grado, i rapporti tra le diverse azioni elementari che concorrono a realizzare l'avanzamento del fronte e devono escludere duplicazioni e sovrapposizioni nella catena di comando.

Le migliori condizioni di sicurezza al fronte si ottengono quindi solo garantendo unità tra direzione del cantiere-galleria ed esecuzione della fase di scavo (avanzamento del fronte).

La fase di scavo è costituita dalle seguenti azioni elementari:

- 1) abbattimento della roccia o del terreno al fronte;
- 2) sgombero dell'abbattuto fino al caricamento su mezzi di trasporto;
- 3) disaggio delle pareti e del fronte «freschi di scavo»;
- 4) rivestimento di prima fase (centine, *spritz beton*, bulloni ecc.);
- 5) scavo dell'arco rovescio quando la sua esecuzione è imprescindibile dallo scavo del fronte.

Per tutto quanto sopra esposto, il subappalto, anche di una sola di dette azioni elementari, non garantisce l'unicità del governo e la correlazione tra le diverse azioni e introduce un rischio infortunistico inaccettabile.

La fase di scavo deve essere, quindi, eseguita prioritariamente dall'impresa che detiene la direzione del cantiere galleria.

Si vuole accennare alla sicurezza nelle operazioni di disaggio e posa dei rivestimenti provvisori e definitivi, con lavoro in quota.

Per eliminare le parti di roccia pericolanti e successivamente effettuare la posa delle parti di rivestimento, si devono impiegare attrezzature di lavoro adatte, come escavatori muniti di scarificatore, martelli pneumatici di portata sufficiente, piccole gru, piattaforme di lavoro elevabili (PLE) e apparecchi portatili. In particolare, per evitare il pericolo di schiacciamento di persone tra la piattaforma di lavoro elevabile (PLE), usata per il lavoro in quota, e la volta, il comando del «cestello» deve essere installato direttamente nella piattaforma e per proteggere dalla caduta di sassi le persone a bordo del «cestello», nel tratto di galleria non ancora consolidato vanno impiegate piattaforme elevabili con un «cestello» di lavoro munito di un tetto di protezione solido che copra almeno una parte della sua superficie della piattaforma di lavoro.

In caso di abbattimento del diaframma per gallerie scavate da entrambi i lati, è necessario pianificare accuratamente questa delicata fase di lavoro.

Il cantiere in sotterraneo deve essere sgomberato dal materiale e dalle attrezzature non indispensabili all'abbattimento del diaframma e che risultino essere fonte di innesco e di propagazione di incendio. Prima dell'abbattimento si deve accertare, con una specifica verifica, l'effettiva presenza e la funzionalità dei presidi antincendio e la funzionalità dei presidi per l'emergenza, nonché la presenza delle squadre di salvataggio.

Si deve accertare con una specifica verifica tecnica:

- a) la funzionalità dell'impianto di illuminazione;

Attività di scavo

Operazioni con PLE

Scavo bilaterale (diaframma)

- b) la funzionalità dell'illuminazione di emergenza;
- c) la funzionalità del gruppo elettrogeno;
- d) la funzionalità del sistema di comunicazione e allarme.

Durante tutte le fasi di scavo, vige il divieto di ingresso ai veicoli alimentati a benzina, GPL e gas naturale e la sosta dei veicoli in galleria deve avvenire su un solo lato in modo da lasciare sempre libera la via di transito e orientando i veicoli verso l'uscita.

Devono essere indossati da parte di tutte le persone presenti in sottoterraneo nelle fasi di scavo:

- indumenti ad alta visibilità;
- elmetto di protezione e calzature di sicurezza.

**Scavo
in pendenza**

Infine, il Capo III «Norme particolari per i pozzi e per le gallerie a forte inclinazione» del D.P.R. n. 320/1956, artt. 21-23, dispone alcune regole di sicurezza per l'organizzazione e lo svolgimento dello scavo in verticale o a forte pendenza.

● Investimento in galleria

Le disposizioni di cui al Capo IV «Trasporti in galleria» del D.P.R. n. 320/1956, artt. 24-29, parlano dei sistemi di sicurezza atti a realizzare trasporti sicuri in galleria.

In particolare è elevato il rischio di investimento dovuto alla circolazione dei mezzi (gommati o ferrati) presenti in galleria. Considerata la vetustà del D.P.R. n. 320/1956, molte misure di prevenzione derivano dalle odierne tecniche di sicurezza dei veicoli, in principal modo gommati.

**Misure
di prevenzione**

Il contenimento del rischio avviene principalmente tramite le seguenti misure di prevenzione:

- 1) una preventiva valutazione dei rischi per individuare le possibili interferenze tra uomini e mezzi e per organizzare la circolazione nel cantiere;
- 2) un'adeguata visibilità dei mezzi, con idonea segnalazione, acustica e luminosa, durante la fase operativa e di manovra;
- 3) un'adeguata visibilità dal posto guida dei mezzi, prevedendo, ove necessario, il supporto di personale a terra per l'esecuzione in sicurezza di operazioni in spazi ristretti o con visibilità insufficiente;
- 4) un'adeguata visibilità dei lavoratori: il personale e ogni altra persona a qualsiasi titolo presente in cantiere devono indossare indumenti che li rendano facilmente visibili;
- 5) la predisposizione di aree e piste atte a garantire condizioni di sicurezza (larghezza, spazi di salvaguardia, distanze da zone con personale, segnaletica, separazione di vie pedonali da vie carrabili ecc.);
- 6) un'adeguata illuminazione dei luoghi di lavoro, diurna e notturna. L'illuminazione, naturale o artificiale, deve garantire una buona visibilità evitando l'abbagliamento;
- 7) una segregazione fisica delle lavorazioni in cui non è necessaria la presenza di pedoni;

- 8) una separazione temporale delle lavorazioni in cui mezzi e pedoni intervengono in fasi diverse del processo. Tale separazione, nel caso in cui sia possibile, deve essere definita nelle procedure di lavoro;
- 9) una pianificazione di misure e cautele per ridurre al minimo il rischio nelle attività promiscue, in cui è necessaria la contemporanea presenza di mezzi e pedoni;
- 10) il mantenimento in perfetta efficienza dei mezzi, degli indumenti di segnalazione ad alta visibilità, delle aree e delle piste, dell'illuminazione;
- 11) la formazione del personale.

I mezzi che operano in cantiere appartengono a un'ampia gamma di categorie. Facendo riferimento alle classificazioni internazionali, si ricordano: gli autoveicoli per il trasporto di persone, gli automezzi per il trasporto di cose, le macchine per movimento terra, le attrezzature da costruzione, le macchine per fondazioni ecc.

Per ridurre il rischio di investimento e collisione occorre che i mezzi siano opportunamente allestiti e siano dotati dei necessari dispositivi. In particolare, alcune dotazioni riguardano le condizioni per una guida sicura e altre l'evidenza dell'agire del mezzo per le persone che si trovano nell'area operativa o di manovra dei mezzi stessi.

Tutti i mezzi devono possedere i requisiti previsti da legislazioni o da standard tecnici vigenti per quella categoria di mezzi. Per quelli abilitati alla circolazione stradale, le dotazioni devono soddisfare anche tale normativa.

Si ricordano alcuni dispositivi in dotazione alle macchine:

- segnalatore luminoso lampeggiante, con scopo di evidenziare ai lavoratori presenti che il mezzo è operativo;
- dispositivi di illuminazione, di segnalazione e di posizione luminosi, con lo scopo di evidenziare la presenza e la larghezza del mezzo (luci di posizione anteriori e posteriori), di segnalare la presenza del mezzo visto lateralmente (luci di posizione laterali), di indicare chiaramente la larghezza fuori tutto del mezzo (luci di ingombro), di illuminare il piano stradale antistante il mezzo (proiettori anabbaglianti ed abbaglianti), di segnalare un cambio di direzione del mezzo a destra o a sinistra (indicatori di direzione), di illuminare l'area di lavoro (fari aggiuntivi), di illuminare il piano stradale retrostante al mezzo ed avvertire che il mezzo procede o sta per procedere in retromarcia (proiettore di retromarcia), di evidenziare che il conducente sta azionando il freno di servizio del mezzo (luce di arresto) e di segnalare un pericolo agli altri operatori in transito con funzionamento simultaneo di tutti gli indicatori di direzione (segnalazione di emergenza);
- catadiottri e pannelli di segnalazione retroriflettenti e fluorescenti, con scopo di segnalare la presenza di un mezzo, attraverso la riflessione della luce proveniente da una sorgente luminosa estranea al veicolo stesso, ad un osservatore situato in prossimità di detta sorgente luminosa (catadiottri), di segnalare la presenza dei veicoli adibiti al trasporto di cose con massa complessiva a pieno carico supe-

Dotazioni dei mezzi

riore alle 3,5 tonnellate, attraverso la riflessione della luce proveniente da una sorgente luminosa estranea al veicolo stesso e la fluorescenza delle diverse componenti del pannello (pannelli di segnalazione retroriflettenti e fluorescenti);

– segnalatore acustico (clacson), con lo scopo di segnalare un pericolo o lanciare un richiamo, mediante un suono, agli altri lavoratori presenti;

– avvisatore acustico di retromarcia, con lo scopo di avvisare che il veicolo procede o sta per procedere in retromarcia;

– retrovisori e specchi, con lo scopo di consentire, entro il campo di visibilità, una buona visione posteriore;

– tergicristalli, lavacristalli e sistemi di sbrinamento, con lo scopo di consentire al conducente una buona visione attraverso i vetri anche in caso di pioggia; permettere di ripristinare la visibilità attraverso i vetri in caso di imbrattamento dei cristalli e/o in presenza di umidità o brina depositata sui cristalli;

– dispositivi a telecamera e monitor per la visione indiretta, con lo scopo di consentire la visibilità dell'area retrostante la zona posteriore del veicolo, che non è possibile osservare, quando questo procede in retromarcia o effettua manovre.

Registro di manutenzione

Per ogni mezzo operante in galleria deve essere previsto un registro di manutenzione contenente:

– *check list* degli interventi di controllo e manutenzione da eseguire con la relativa periodicità;

– annotazione con data e tipologia degli interventi effettuati e firma dell'esecutore.

La periodicità degli interventi di manutenzione è desunta dalle indicazioni fornite dal fabbricante e correlata alle condizioni di esercizio, che possono richiedere una frequenza maggiore.

Il registro di manutenzione deve essere disponibile sul mezzo.

Devono essere oggetto di controllo periodico e manutenzione tutti gli organi dei mezzi che hanno funzioni di sicurezza (sterzo, freni, clacson, luci ecc.).

Indumenti di segnalazione

È inoltre fondamentale dotare i lavoratori di indumenti di segnalazione ad alta visibilità, allo scopo di segnalare visivamente la presenza di una persona, in qualunque condizione di luce diurna e alla luce dei fari dei mezzi, nell'oscurità.

Le caratteristiche dei dispositivi di protezione individuale (DPI di cui al D.Lgs. n. 475/1992)⁽¹⁾ costituiti dagli indumenti di segnalazione ad alta visibilità sono indicate dalla norma UNI EN 471.

Gli indumenti di segnalazione ad alta visibilità sono costituiti dal fondo realizzato con materiale fluorescente con sovrapposizioni costituite da strisce di materiale retroriflettente. Detti indumenti ga-

Nota:

(1) Recante «Attuazione della direttiva 89/686/CEE del Consiglio del 21 dicembre 1989, in materia di ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative ai dispositivi di protezione individuale», in Gazzetta Ufficiale n.289 del 9-12-1992 - Suppl. Ordinario n. 128.

rantiscono la visibilità dell'operatore in virtù del forte contrasto tra l'indumento stesso e lo sfondo (scuro) dell'ambiente in cui opera, e per la presenza delle strisce retroriflettenti che costituiscono segnalazione nell'oscurità alla luce dei fari.

I materiali di fondo fluorescenti sono normati in tre aree di colore: giallo fluorescente, arancio-rosso fluorescente, rosso fluorescente.

Gli indumenti di segnalazione ad alta visibilità sono raggruppati in tre classi. Ciascuna classe deve avere aree minime di materiali di fondo fluorescente e retroriflettenti incorporati nell'indumento secondo valori stabiliti nella norma UNI EN sopraccitata.

Gli indumenti di segnalazione ad alta visibilità realizzati in conformità alla norma sono provvisti di una marcatura specifica «CE».

La Classe 3 (la migliore) è ottenuta mediante l'impiego di tuta oppure mediante l'uso di pantalone, semplice, o a pettorina, o corto (indumento di Classe 2), integrato da altri indumenti ad alta visibilità, quali giacca, giaccone, giubbotto, corpetto, maglietta (indumenti di Classe 2).

Si possono dare le seguenti indicazioni sull'uso:

- Indumenti di Classe 3: i lavoratori impegnati nell'esecuzione delle lavorazioni in sotterraneo devono sempre indossare tali indumenti, appartenendo a questo insieme anche gli addetti ai rilievi topografici;
- Indumenti di Classe 2: gli addetti per i quali, in ragione della loro attività, non è prevista una esposizione diretta al rischio di investimento, devono indossare indumenti almeno di Classe 2, appartenendo a questa tipologia, ad esempio, gli autisti e i manovratori di macchine operatrici o movimento terra e chiunque accede saltuariamente alle aree di cantiere senza compiti esecutivi, a qualsiasi titolo (es. direzione lavori, visitatori);
- Indumenti di Classe 1: gli indumenti di questa classe non sono ritenuti mai idonei per il livello di rischio dovuto alla tipologia dei lavori.

Un elemento importante al fine di limitare le occasioni di investimento è costituito dalla corretta organizzazione delle aree di cantiere e delle vie di circolazione.

Le condizioni delle vie di transito possono influire sensibilmente sulla sicurezza dei trasporti.

Le principali carenze delle vie di circolazione normalmente riguardano:

- mancata separazione fra le vie di passaggio pedonale e quelle dei mezzi;
- rampe con pendenza eccessiva o piste carrabili con fondo stradale instabile e non sicuro;
- scarsa illuminazione;
- larghezza insufficiente della sede stradale;
- segnaletica inadeguata;
- ristagno di acque;
- scarsa visibilità su dossi e in prossimità di curve;
- mancanza di idonee banchine o *guard-rail* di protezione;

Organizzazione delle aree

- insufficiente manutenzione del fondo stradale e degli apprestamenti per la sicurezza;
- mancato coordinamento e cooperazione fra le imprese proprietarie dei diversi mezzi.

Le carenze sopra evidenziate possono portare a perdita di controllo del mezzo, incidenti con altri mezzi, investimento dei lavoratori. Inoltre, devono essere adottate misure idonee ad impedire l'accesso involontario alle aree e alle piste di cantiere da parte di pedoni e mezzi non autorizzati, anche nei periodi in cui non sono in atto lavorazioni. Per quanto possibile, tali accessi impropri dovranno essere impediti con sbarramenti materiali.

Addestramento

Non bisogna poi sottovalutare l'informazione, la formazione e l'addestramento, sia del personale di cantiere, per consentire a ciascuna persona di conoscere le regole vigenti in cantiere per ridurre i rischi di investimento, sia per i conducenti dei mezzi, per consentire a ciascun conducente di mezzi di conoscere al meglio le attrezzature a disposizione.

Le attività di informazione e formazione rivolte a "tutto il personale di cantiere" devono riguardare almeno i seguenti aspetti:

- identificazione dei referenti operativi;
- regole relative alle viabilità in cantiere;
- regole relative agli indumenti ad alta visibilità;
- rischi connessi alle fasi lavorative in corso;
- norme in caso di non conformità, emergenze e imprevisti.

Le attività di informazione, formazione e addestramento rivolte ai "conducenti" devono riguardare almeno i seguenti ambiti.

1) Aspetti relativi al mezzo e alla mansione:

- uso del mezzo;
- controlli da effettuare sul mezzo e sull'area di lavoro prima dell'utilizzo: buona visibilità attraverso i finestrini e gli specchietti, efficienza freni, luci e dispositivi acustici, ecc.;
- manutenzione del mezzo: tipi di interventi, periodicità, compiti demandati al conducente e compiti demandanti all'officina, registrazioni;
- modalità di trasmissione delle informazioni tra conducenti del mezzo ed officina;
- conoscenza del libretto di uso e manutenzione;
- utilizzo dei DPI;
- dispositivi di sicurezza disponibili sul mezzo e loro funzione: cintura di sicurezza, lampeggianti, ecc.

2) Aspetti relativi all'area di lavoro:

- identificazione dei referenti operativi;
- regole di utilizzo dei mezzi operanti in cantiere (limiti di velocità, regole di accesso, regole per il parcheggio, regole per la circolazione ecc.);
- rischi connessi alle fasi lavorative in corso;
- caratteristiche delle vie di circolazione;
- norme in caso di non conformità, emergenze e imprevisti.

● **Caratteristiche dell'ambiente di lavoro**

Le disposizioni di cui al Capo V «Ventilazione e limitazione della temperatura interna» del D.P.R. n. 320/1956, artt. 30-35, prescrivono particolari sistemi di sicurezza con l'obiettivo di realizzare la salubrità dell'ambiente in sotterraneo, per quanto riguarda sia la respirabilità dell'aria sia il controllo della temperatura.

Analogamente, il Capo VIII «Difesa contro le polveri» del medesimo decreto, artt. 53-65, dispone tutta una serie di misure atte a limitare la polverosità dell'ambiente di lavoro, così come il Capo IX «Illuminazione», artt. 66-70, elenca i requisiti minimi necessari a realizzare la visibilità dei lavori in galleria.

Partendo dalla salubrità dell'aria ambientale in galleria, particolare cura deve essere posta alla riduzione delle emissioni dei gas di scarico dei mezzi d'opera presenti in galleria.

La galleria, per sua natura, è un ambiente chiuso ove risulta difficoltoso realizzare un efficace ricambio dell'aria.

L'utilizzo dei mezzi d'opera (generalmente diesel) peggiora la qualità dell'aria e le condizioni d'igiene del lavoro, già di per sé problematiche. In particolare, nella realizzazione di gallerie con tecniche di scavo tradizionali, si fa un uso massiccio di automezzi a motore diesel, generando continuamente situazioni nelle quali i veicoli circolano lungo tutta la galleria, operano contemporaneamente in spazi ristretti e per periodi prolungati, a breve distanza dai lavoratori. Questi ultimi di norma stazionano sul luogo di lavoro in turni continui di 8 ore.

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 IPA 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

Salubrità dell'aria

dei mezzi impiegando specifici sistemi d'abbattimento dei prodotti di scarico, già disponibili sul mercato, e adottando appropriate misure tecnico-organizzative.

Si dovrà agire sulle caratteristiche dei motori, garantendo il rispetto di requisiti minimi in tema d'emissione dei motori, sulle caratteristiche del carburante, in particolare usando quelli a bassissimo tenore di zolfo, sulle caratteristiche dei sistemi d'abbattimento dei gas di scarico, applicando dispositivi di post-trattamento (abbattitori supplementari) sul condotto terminale di scarico dei motori diesel quali catalizzatori ossidanti e filtri antiparticolato FAP (in grado di trattene il materiale particellare presente nei fumi di scarico, con efficienza filtrante superiore al 90%). In particolare, una misura corretta di prevenzione è comunque quella di dotare tutti i mezzi diesel disponibili in galleria di FAP.

Ulteriore contenimento delle emissioni deriva dalla corretta manutenzione dei mezzi, tenendo un registro di controllo dei fumi di scarico, dall'effettuazione dei controlli periodici, come quelle dell'opacità dei fumi di scarico, che non deve superare il 10% per i veicoli dotati di FAP e il 35% per quelli non dotati di FAP, e dalla riduzione del traffico di veicoli limitando l'uso contemporaneo di mezzi diesel in alcune fasi di lavoro.

Ventilazione

Al fine di ridurre l'inquinamento dell'aria in galleria, dovute alle varie emissioni nocive, è necessario quindi provvedere alla ventilazione della stessa.

Il piano di ventilazione comprende il contributo di tutti gli inquinanti presenti quali nubi di gas di volata per brillamenti con esplosivi, emissioni (gas e particolato) dei motori diesel, gas naturale, altre sostanze nocive risultanti da procedimenti di lavoro (per esempio posa di rivestimenti bituminosi).

Il concetto di ventilazione deve tener conto inoltre di un eventuale caso d'incendio e deve garantire l'evacuazione del calore e dell'umidità.

In caso di volata per brillamento di esplosivi ad esempio, l'obiettivo di protezione può essere raggiunto adottando le seguenti misure:

- evacuazione dei fumi di volata mediante una condotta d'aspirazione;
- tutte le persone si recano all'aperto fino alla dissipazione dei fumi di volata;
- durante il passaggio dei fumi di volata, tutte le persone si ritirano in un locale alimentato direttamente con aria fresca.

L'accesso al posto di lavoro situato al fronte deve essere vietato fino alla dissipazione dei fumi di volata da parte dell'aerazione.

In caso di ventilazione aspirante, l'obiettivo di protezione è soddisfatto se per rifornire il fronte non raggiunto dalla ventilazione aspirante viene installata una ventilazione supplementare premente. Se si rinuncia a prendere misure di protezione contro i fumi di volata per i posti di lavoro situati in retrovia, si deve provare che i fumi di volata sono sufficientemente diluiti quando raggiungono questi posti.

L'impianto di ventilazione deve essere concepito conformemente allo stato della tecnica. Va dimensionato (pressione di servizio e portata) in modo che il fabbisogno d'aria possa essere coperto in ogni momento.

Nella Tabella 1 sono riportate, per alcuni gas che possono essere presenti in galleria, le concentrazioni (percentuali in volume) che danno effetti letali sia per inalazioni di breve durata che per inalazioni di 30 minuti.

Tabella 1 - Tossicità di alcuni gas

Gas	Effetti letali dopo 30 minuti di inalazione	Effetti letali dopo inalazione di breve durata
Anidride Carbonica CO ₂	10-20%	20-25%
Ossido di Carbonio CO	0,05%	0,1%
Acido solfidrico H ₂ S	0,05%	0,2%
Anidride Solforosa SO ₂	0,01%	0,05%
Ossidi di azoto NO, NO ₂	0,01%	0,025%

Pertanto, grazie alla ventilazione, si baderà di rispettare nell'aria respirabile i valori limite di esposizione professionale VLE per le sostanze nocive e di garantire almeno 3 metri cubi di aria fresca per lavoratore ogni minuto, aumentato in funzione della potenza nominale (in kW) dei grossi mezzi di scavo e di carico impiegati in sotterraneo. Se la presenza di gas naturale (metano o altri gas naturali) è possibile, l'apporto di aria fresca va dimensionato conformemente alle classi di pericolo di esplosione del tratto di galleria, per riuscire ad evacuare anche il grisù-metano.

Per evitare la formazione di strati d'aria nociva e di correnti fastidiose o che sollevino e trasportino polveri e inquinanti, nonché per garantire la circolazione dell'aria, la velocità di flusso deve essere almeno di 0,5 m/s in tutte le sezioni del tunnel e non dovrà essere superiore a 5 m/s.

I sistemi di ventilazione possono essere i più svariati.

L'aria può essere distribuita attraverso condotti, pozzi, gallerie d'areazione, ecc. La ventilazione di una galleria a fondo cieco (ovvero di una galleria in fase di realizzazione) è realizzata mediante un circuito costituito da due tratti in serie percorsi dall'aria senza soluzione di continuità, il primo tratto dall'imbocco al fronte, il secondo dal fronte all'imbocco.

L'aria è forzata da uno o più ventilatori a percorrere il circuito («ventilazione forzata»). I sistemi di ventilazione forzata possono essere: di tipo aspirante, di tipo premente, misti o combinati.

Nella «ventilazione aspirante» si ha l'allontanamento dal fronte dell'aria esausta all'interno di una tubazione. La depressione prodotta dal ventilatore aspirante posto in prossimità del fronte richiama l'aria salubre dall'esterno. Con questo sistema, l'aria percorre la galle-

Sistemi di ventilazione

ria, arriva al fronte parzialmente inquinata, lo lambisce e viene quindi richiamata all'interno della tubazione attraverso la quale verrà rilasciata all'esterno. Il fronte che avanza deve essere costantemente seguito dall'aspiratore.

Nella "ventilazione premente" (o soffiante) il fronte è lambito da aria forzata proveniente direttamente dall'esterno attraverso una tubazione che termina in prossimità del fronte stesso. In riflusso (dal fronte all'imbocco) l'aria diluisce la concentrazione degli inquinanti aerodispersi e li trasporta verso l'esterno.

Nella "ventilazione mista" si uniscono i due sistemi sopra descritti. In tale caso occorre evitare i corti circuiti di aria contaminata assicurando una sufficiente sovrapposizione dei condotti di aspirazione e di mandata.

L'applicazione di un sistema rispetto ad un altro dipende dal metodo di realizzazione dell'opera e dalle condizioni locali. Con ogni tipo di sistema, la portata d'aria deve essere dimensionata in modo tale che in tutta la galleria la concentrazione dei gas e delle polveri non pregiudichi la qualità dell'aria, sia in termini di igiene (concentrazione di inquinanti, umidità e temperatura) sia in termini di sicurezza (tenore di ossigeno, concentrazione di grisù).

La ventilazione è condizionata dalle caratteristiche idrauliche del circuito di ventilazione, costituito da galleria e condotto, e in particolare dai valori delle resistenze ripartite e concentrate, dalla pressione, dalla portata, dalla distanza della sezione terminale del tubo dal fronte di scavo in rapporto al diametro della galleria.

È compito del progettista, al fine di garantire condizioni ottimali di igiene del lavoro e di sicurezza, dimensionare l'impianto di ventilazione in funzione delle scelte tecniche di avanzamento del fronte, delle geometrie di cantiere, delle potenziali sorgenti di inquinanti nocivi o pericolosi. Ne deriva che il progetto deve esplicitare sia i criteri seguiti per il dimensionamento sia le norme di buona tecnica prese a riferimento.

Una volta verificata, in cantiere, la corretta realizzazione del progetto occorre, tramite indagini ambientali, valutare l'efficacia, nel suo complesso, del sistema adottato. In particolare, per garantire il permanere di adeguate condizioni di igiene in sotterraneo e, nel caso di gallerie grisutose, di sicurezza del lavoro è necessario eseguire il controllo periodico dei parametri di ventilazione (portata, prevalenza e velocità di flusso in primo luogo). Il progetto di ventilazione deve quindi essere anche corredato di procedure gestionali riferite sia alle condizioni normali di esercizio, sia alle situazioni carenti rispetto a quelle di progetto, sia alle interruzioni della ventilazione.

In sintesi, le esigenze relative all'installazione e all'esercizio della ventilazione sono soddisfatte se:

- la condotta è montata, sottoposta a manutenzione e preparata in modo che il flusso d'aria fresca raggiunga il fronte d'avanzamento;

Caratteristiche del circuito

- la quantità d'aria fresca può essere regolata in funzione della lunghezza d'avanzamento e della produzione di emissioni nocive;
- nelle opere la cui perforazione è terminata, è garantita comunque una ventilazione sufficiente;
- i flussi d'aria e la qualità dell'aria siano sorvegliati in modo da poter provare i valori minimi su cui si basa la concezione della ventilazione;
- le persone incaricate di sorvegliare la qualità dell'aria dispongono della formazione di base e del perfezionamento opportuni e ricevano istruzioni, competenze e responsabilità precise;
- in caso di entrata in spazi non ventilati (tratti, camere, pozzi, gallerie cieche), la composizione dell'aria è sorvegliata mediante apparecchi portatili.

Altro fondamentale aspetto in galleria è la valutazione del microclima (temperatura e umidità).

I fattori ambientali che influenzano la temperatura corporea sono la temperatura dell'aria, l'umidità dell'aria, la corrente d'aria e la radiazione termica. Il termine di microclima ingloba tutti questi fattori ambientali.

La temperatura dell'aria può essere misurata con un termometro asciutto protetto dalla radiazione termica; si ottiene così la temperatura secca (ta). Con un termometro umido si misura la temperatura umida (tu). La temperatura umida può pure essere definita con metodo psicrometrico partendo dalla misurazione della temperatura secca e dall'umidità relativa dell'aria. Per includere la radiazione, si può ricorrere a un termometro a bulbo nero che assorbe i raggi termici, cosa che permette di ottenere l'indice WBGT (wet bulb globe temperature).

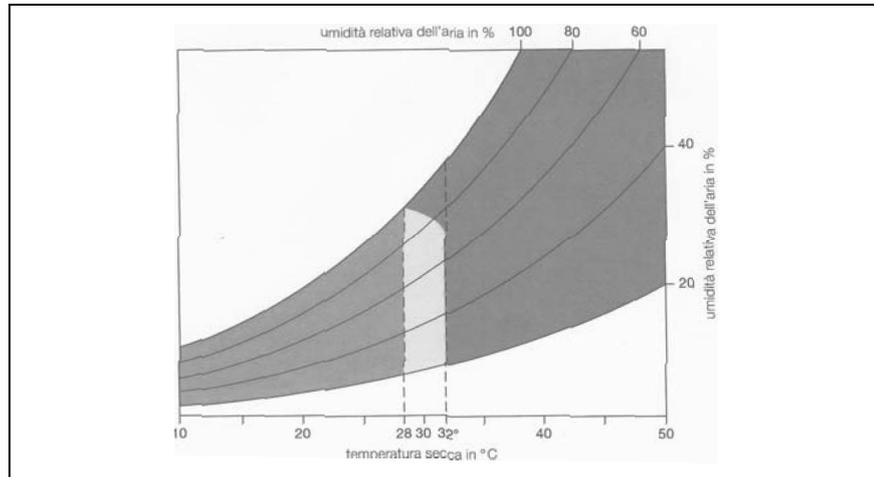
Il valore limite di microclima nei lavori sotterranei è fissato ai 30°C di temperatura secca e 25°C di temperatura umida, valori che vanno rispettati in tutti i settori d'attività principale, ossia nei quali dei lavoratori sono occupati per lunghi periodi come valore orario medio. Delle misure tecniche, ossia un sistema di raffreddamento efficace, devono garantire che una temperatura secca di lavoro al massimo di 30°C non sia superata in tutti i settori d'attività principale nonché in quelli in cui si eseguono lavori di una certa durata. Nuovi studi sul benessere termo-igrometrico hanno portato a definire un diagramma climatico (Figura 1), che corrisponde al limite climatico nei lavori sotterranei in caso di sforzi fisici usuali nei settori d'attività principale.

Visto che in tutti i lavori sotterranei all'avanzamento si eseguono lavori corporali in parte pesanti e in poco tempo può manifestarsi un'elevata umidità dell'aria, è consigliato di ridurre il valore limite a 28 °C di temperatura secca, come base per la pianificazione dei sistemi di raffreddamento e per le misure tecniche sul luogo di lavoro. Il valore limite parte dal principio che l'acclimatazione dei lavoratori ha avuto luogo, che non si svolgono lavori fisici molto pesanti (energia oraria media di circa 350 Watt e più) e che la temperatura delle

Microclima

pareti e quella di grosse parti di macchine nelle vicinanze del posto di lavoro non supera i 50°C.

Figura 1 - Diagramma climatico



Fonte: www.suva.ch

Si possono inoltre dare le seguenti indicazioni:

- in caso di temperatura secca da 23 a 25°C è necessario designare un responsabile della sorveglianza del microclima e il suo sostituto, misurare e registrare la temperatura secca almeno una volta la settimana, in caso di lavori molto pesanti, ricorrere a uno specialista per la verifica delle condizioni climatiche;
- in caso di temperatura secca da 25 a 28°C è necessario, oltre alle misure indicate, svolgere esami profilattici in medicina del lavoro su tutti i lavoratori che svolgono attività da moderate a pesanti su cantieri sotterranei, regolamentare l'accesso al cantiere solo ai lavoratori con idoneità confermata al lavoro nel calore, sorvegliare la temperatura e l'umidità dell'aria con misurazione in tutti i luoghi rappresentativi, far acclimatare al calore per due settimane i lavoratori prima di adibirli al lavoro, far usare indumenti di lavoro adatti allo scopo, istruire i lavoratori sui rischi del lavoro nel calore e sui primi soccorsi in caso di problemi dovuti al calore, istruire i sanitari aziendali sull'identificazione e sui primi soccorsi in caso di malattia da calore, allestire il piano di emergenza;
- in caso di temperatura secca superiore al valore di 28°C, oltre alle misure citate, è necessario mettere in atto immediatamente delle misure tecniche tese a rispettare il valore limite di 28°C, sorvegliare la temperatura e l'umidità dell'aria su ogni cantiere d'avanzamento durante ogni turno di lavoro in punti, sorvegliare sanitarmente anche i lavoratori che non svolgono lavori pesanti, impiegare esclusivamente lavoratori acclimatati, mettere a disposizione bevande adeguate; non impiegare lavoratori che soffrono di affezioni febbrili, disporre di un container di salvataggio raffreddato a meno di 25°C, garantire misure tempestive per i primi soccorsi.

Nel caso di lavori inevitabili che ricadono in condizioni microclimatiche della zona a destra (problematica) nel grafico della Figura 1 è necessaria la valutazione delle condizioni climatiche da parte di specialisti, l'impiego esclusivo di lavoratori con idoneità confermata al lavoro nel calore e acclimatati, la sorveglianza permanente del lavoro da parte di una terza persona e l'attenzione particolare all'apporto di liquidi e alla regolamentazione delle pause.

Per quanto riguarda la riduzione del rischio dovuto alle polveri, in occasione dei lavori di scavo (per esempio nelle operazioni di smarino, di frantumazione, di preparazione e di trasporto del materiale scavato), i requisiti di salubrità dell'aria sono soddisfatti se le misure di protezione tecniche e organizzative garantiscono che non siano superati i valori limite di esposizione professionale delle polveri per l'aria respirabile.

Polveri

Un valore proposto in letteratura per la concentrazione tollerabile di quantità di polveri nel volume di aria respirabile è di 3 mg/m^3 (milligrammi al metro cubo).

Particolare attenzione si deve prestare per il controllo delle polveri contenenti silice cristallina, minerali quarzosi e le polveri contenenti tracce di amianto. Se si impiegano macchine per scavo (fresatrici meccaniche a sezione piena o ad attacco puntuale), macchine a punta battente (escavatori con martello idraulico) o impianti di frantumazione e convogliatori, occorre impedire la dispersione della polvere, mediante aspersione d'acqua o con un impianto di depolverazione.

La polvere deve essere abbattuta o aspirata il più vicino possibile alla fonte.

Nelle operazioni di smarino e di trasbordo del materiale la polvere va legata mediante nebulizzazione d'acqua.

I fattori importanti nella scelta degli impianti di depolverazione sono in particolare i seguenti:

- quantità di polvere prodotta;
- caratteristiche della polvere (tenore di quarzo, aria impura umida o fangosa, granuli trascinati, silice cristallina, amianto);
- comportamento in caso di sovraccarico di polvere;
- concentrazione della polvere nel flusso d'aria viziata in caso di riflusso dell'aria viziata nello spazio di lavoro;
- verificabilità dell'efficacia dell'impianto (in caso di difetti come fughe interne o danneggiamenti dei filtri).

In caso di abbattimento delle polveri ad un livello non sufficiente è necessario dotare i lavoratori di dispositivi di protezione individuali a protezione delle vie respiratorie (ad esempio facciali filtranti di Classe FFP3 o maschere filtranti di Classe P3).

Dato il notevole uso di mezzi d'opera per lavorazioni di scavo in sotterraneo, gli operatori dei mezzi sono esposti ad alti livelli di polvere e anche di rumore.

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 finestri-

ni 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, quali jumbo, frese puntuali, martelloni demolitori, pale cariatrici, escavatori.

L'impianto di condizionamento/climatizzazione deve garantire adeguate condizioni di benessere in termini di temperatura, umidità e ricambio d'aria, nonché deve essere sottoposto a periodici controlli e manutenzioni e rientrare nel sistema di manutenzione programmata delle macchine, tenendo conto delle indicazioni costruttive e della gravosità delle condizioni di lavoro.

Illuminazione

Per quanto riguarda infine le condizioni di illuminazione della galleria, bisogna garantire idonea visibilità lungo le vie di transito e i posti di lavoro.

In ogni punto delle vie di transito o comunque in ogni zona accessibile coi mezzi deve essere garantita un'illuminazione non inferiore a 5 lux, in ogni punto dei posti di lavoro ordinari un'illuminazione non inferiore a 30 lux e in ogni punto con specifici pericoli un'illuminazione non inferiore a 50 lux. L'illuminazione espressa in lux descrive il flusso luminoso ricevuto dalla superficie illuminata e può essere misurata con un luxmetro.

La verifica del livello di illuminazione può essere eseguita, in mancanza di riferimenti più specifici, riferendosi alle modalità indicate nella norma UNI 10380 o UNI EN 12464-1 e 2.

I rischi derivanti da possibili oscuramenti dovuti a mezzi in sosta o alla presenza di altri impianti o servizi fissi o attrezzature devono essere ridotti scegliendo opportunamente la posizione dei corpi illuminanti o integrando localmente l'impianto con lampade aggiuntive.

L'impianto di illuminazione deve essere oggetto di periodica ispezione, manutenzione e pulizia e progettato accuratamente anche in riferimento all'impianto elettrico che lo alimenta.

I progressi tecnici raggiunti nei lavori in sotterraneo negli ultimi anni ai fini del miglioramento delle condizioni ambientali suggeriscono che le esigenze di illuminazione sono soddisfatte se:

- i locali di soggiorno e le infermerie hanno un'illuminazione pari a 300 lux;

- tutti i posti di lavoro, le vie di circolazione e di fuga, le stazioni, gli incroci, le strettoie, i punti d'incrocio, le aree di manovra ecc. sono dotati di un'illuminazione pari almeno a 60 lux;

- le vie di circolazione in retrovia sono dotate di un'illuminazione minima pari a 10 lux;

- l'illuminazione d'emergenza garantisce per almeno 15 minuti sulle vie di fuga e di salvataggio 1 lux (misurato a 0,2 m sopra il suolo) e sui posti di lavoro con pericoli particolari 15 lux.

In ogni caso ciascun lavoratore presente in sotterraneo deve essere provvisto di idoneo mezzo di illuminazione portatile.

● Irruzione di acqua

Le disposizioni di cui al Capo VI «Eduzione delle acque» del D.P.R. n. 320/1956, artt. 36-40, prescrivono le misure minime di sicurezza per evitare l'irruzione e la stagnazione di acqua in galleria, nonché le opportune misure per l'evacuazione della stessa, in particolare derivante da acque sorgive e di falda incontrate nel corso dello scavo. Valutata la portata, la pressione e la temperatura dell'acqua presente nell'ammasso roccioso o nei terreni attraversati, anche per mezzo di fori spia di idonea lunghezza, l'allontanamento delle acque può essere eseguito mediante cunicolo di scolo oppure, nelle tratte in contropendenza, tramite eiettori o pompe centrifughe azionate ad aria compressa o con energia elettrica, correttamente dimensionate per garantire un rapido smaltimento delle acque.

● Presenza di radon

Il radon è un gas inerte, risultato di una serie di decadimenti radioattivi di materiali naturali (uranio, torio, attinio), che producono il Radon 222 e il Radon 220. Il radon essendo un isotopo radioattivo produce a sua volta elementi metallici radioattivi (polonio, piombo, bismuto) che decadono nell'aria dell'ambiente in cui sono stati prodotti, i quali legandosi al pulviscolo e alla polvere penetrano e si depositano per inalazione nell'apparato respiratorio, che risulta così irraggiato. Il radon rilasciato dalle rocce scavate e respirato dai lavoratori può quindi causare il tumore al polmone.

Il Capo III *bis* del D.Lgs. n. 230/1995 si applica «alle attività lavorative nelle quali la presenza di sorgenti di radiazioni naturali conduce ad un significativo aumento dell'esposizione dei lavoratori, che non può essere trascurato dal punto di vista della radioprotezione, che comprendono le attività lavorative durante le quali i lavoratori sono esposti a prodotti di decadimento del radon o del toron o a radiazioni gamma o a ogni altra esposizione in particolari luoghi di lavoro quali tunnel, sottovie, catacombe, grotte e, comunque, in tutti i luoghi di lavoro sotterranei».

Definito il "livello di azione" come il valore di concentrazione di attività di radon in aria o di dose efficace, il cui superamento richiede l'adozione di azioni di rimedio che riducano tale grandezza a livelli più bassi del valore fissato, e inteso come Radon l'isotopo 222, è necessario procedere alla misurazione delle concentrazioni di attività di radon medie in un anno, per stabilire se è superato o meno il livello di azione, nel lavoro in galleria, fissato in termini di 500 Bq/m³ (bequerel al metro cubo) di concentrazione di attività di radon media in un anno. Se non è superato, ma i livelli sono superiori ai 400 Bq/m³ all'anno è necessario procedere a nuove misurazioni e

Valutazione

Misure di concentrazione

a monitorare con attenzione l'attività di scavo per la possibilità di rilascio di ulteriore gas radiottivo. Se è superato e non si dimostra che l'esposizione individuale del lavoratore è inferiore alla dose efficace di 3 mSv/anno (millisievert all'anno) è necessario, tramite l'intervento di un esperto qualificato, mettere in atto adeguate misure di rimedio radioprotezionistiche (uso di schermi, riduzione dei turni lavorati, uso di dispositivi di protezione individuale ecc).

Convenzionalmente, per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori a concentrazione di attività di radon si applica il fattore convenzionale di conversione di 3×10^{-9} Sv di dose efficace per unità di esposizione espressa in Bq h/m³.

La Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome di Trento e Bolzano ha emanato le «Linee guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei», documento che spiega come procedere alle misure dei livelli d'azione e i requisiti degli organismi idoneamente attrezzati che effettuano la misura.

Le tecniche di misura della concentrazione di radon che consentono di effettuare una valutazione della concentrazione media annua sono quelle di lunga durata, le cui caratteristiche sono riportate sinteticamente nella Tabella 2.

Tabella 2 - Misura concentrazioni di radon

Modalità di campionamento	Tipo di rivelatore	Durata del campionamento
Passivo	Rivelatore a tracce nucleari	Da un mese a un anno
Passivo	Rivelatore ad elettrete	Da un mese a un anno

I sistemi di misura (dosimetri, v. Figura 2) sono composti da un contenitore e da un rivelatore (elemento sensibile), rappresentato da materiale plastico di vario tipo (LR115, CR39, policarbonato) per il rivelatore a tracce nucleari e da un disco di teflon caricato elettrostaticamente per il rivelatore a elettrete.

Figura 2 - Dosimetri per radon



Fonte: www.ispesl.it.

Impiego degli esplosivi

• Definizione e caratteristiche

Gli esplosivi sono sostanze o miscele di sostanze che, bruciando istantaneamente, producono una grande quantità di gas ad elevata temperatura in modo che, se contenute in ambiente chiuso (fornelli, fori da mina), danno origine ad elevatissime pressioni repentine che provocano lo scoppio dell'ambiente chiuso e quindi la demolizione del materiale circostante.

L'esplosione è più o meno violenta a seconda della quantità più o meno grande dei gas che si sviluppano dalla combustione degli esplosivi, dalla maggiore o minore rapidità della combustione e dal grado di temperatura raggiunta dall'esplosione.

Ogni esplosivo è composto di diversi elementi, tra i quali figurano quasi sempre il carbonio, l'ossigeno, l'idrogeno e l'azoto.

Nelle normali condizioni di temperatura questi elementi sono uniti intimamente tra di loro; per poterli separare occorre rompere il loro equilibrio per mezzo di un urto violento e repentino o per mezzo del calore.

Per effetto di questo urto, dato generalmente dai detonatori, gli elementi che costituiscono l'esplosivo si separano istantaneamente e poi, pure istantaneamente, si riuniscono in parte fra di loro, a seconda della reciproca affinità e dei quantitativi presenti nell'unità fondamentale dell'esplosivo. Così il carbonio si combina con l'ossigeno per formare dei gas; cioè l'anidride carbonica e l'ossido di carbonio; l'idrogeno si combina con l'ossigeno per formare vapor d'acqua; invece l'azoto si sviluppa quasi sempre allo stato libero sotto forma di gas. Queste combinazioni del carbonio e dell'idrogeno con l'ossigeno, che in termine chimico costituiscono dei fenomeni di ossidazione, non sono altro che delle combustioni, reazioni che avvengono tra il comburente (ossigeno) e il combustibile (carbonio, idrogeno). In altre parole, l'esplosione dà origine ad una massa gassosa formata prevalentemente da vapor acqueo, anidride carbonica, ossido di carbonio (velenoso) la cui presenza è da temersi in sotterraneo, composti dell'idrogeno. Si presenta quindi l'impellente necessità della loro efficace rimozione nei lavori in sotterraneo anche se in tali lavori siano usati esplosivi a bilancio positivo di ossigeno e quindi sia evitata la formazione del velenoso ossido di carbonio.

Le caratteristiche identificative principali di un esplosivo sono:

- forza: è la misura della quantità di energia sviluppata da un esplosivo durante la detonazione e perciò della sua capacità di lavoro;
- velocità di detonazione: si intende per tale la velocità con cui il processo esplosivo si propaga in seno alla massa; negli esplosivi da mina, a seconda della natura dell'esplosivo stesso, della sua densità e del suo innescamento, la velocità è compresa in limiti assai ampi da 1800 a 7500 m/s;

Detonatori

Caratteristiche

Lezione 2: Analisi e riduzione dei rischi

- densità di carica o apparente: è data dal rapporto fra la massa di una certa quantità di esplosivo ed il volume da esso occupata; la densità apparente è sempre inferiore al vero peso specifico di un esplosivo a causa della sua maggiore o minore porosità;
- sensibilità alla detonazione: è l'indice della capacità dell'esplosivo di detonare per effetto di un innescamento più o meno forte, ma anche della capacità dell'esplosivo di propagare regolarmente la reazione nella propria massa; per un certo esplosivo si deve prendere in considerazione la sua capacità a trasmettere la detonazione all'aria, da una cartuccia ad una successiva, anche quando, fra le due, esiste uno spazio vuoto;
- distanza di colpo: si intende la distanza in cm alla quale una cartuccia di esplosivo provoca la sicura detonazione di una seconda cartuccia (si dice, in questo caso, che l'esplosivo esplode "per simpatia");
- stabilità: è l'attitudine di un esplosivo a mantenersi inalterato in condizioni normali di conservazione, per un tempo più o meno lungo;
- bilancio di ossigeno: negli esplosivi per l'impiego in galleria i componenti comburenti e quelli combustibili devono essere proporzionati affinché il bilancio di ossigeno risulti positivo, onde evitare, nella decomposizione, formazione di gas nocivi.

In Tabella 3 sono riportati i principali dati tecnici di alcuni esplosivi italiani.

Tabella 3 - Caratteristiche degli esplosivi

Denominazione	Velocità di detonazione (m/s)	Densità (kg/dm ³)	Distanza di colpo (cm)
Gomma A	7500	1,55	>10
Gomma Asb	7450	1,6	>10
Gelatina 1	6550	1,45	>10
Gelatina 2	6100	1,42	>10
Gelatina 3	6100	1,55	6
Vulcan 3	4500	1,05	10
Cava extra 2	4550	1,05	10
Cava 1	3800	1,0	5
ANF04	2100	0,8	2
ANFOS	2300	0,8	2
Grisutina 13,1%	4100	1,15	>15
Profilx	3240	1,2	—
Sismici	6400	1,55	—
Sismic 2	6600	1,55	—

● Classificazione

In relazione al loro impiego gli esplosivi da mina vengono classificati in:

- esplosivi per cava: che possono essere a bilancio negativo di ossigeno;
- esplosivi per galleria: che debbono avere sempre un bilancio positivo di ossigeno;
- esplosivi di sicurezza: per luoghi dove si può avere rischio di esplosione per sviluppo di grisù-metano o avere formazione di polveri infiammabili.

Secondo la classificazione prescritta dall'art. 83 del R.D. n. 635/1940, gli esplosivi vengono distinti nelle seguenti cinque categorie:

I categoria: appartengono alla prima categoria gli esplosivi deflagranti, la cui reazione è costituita da una combustione con sviluppo di gas ed aumento di temperatura. Tali esplosivi (polveri) hanno un lento processo esplosivo e scoppiano incendiandosi direttamente dalla miccia (cioè per ignizione). Sviluppano pressioni di 400-500 atmosfere. Le polveri nere (oggi usate quasi solo in lavori all'aperto) sono composte da una miscela di nitrato di potassio (circa il 7%), carbone di legna (15%) e di zolfo (15%). Sono molto sensibili agli urti ed agli sfregamenti e molto igroscopiche. Devono essere conservate in locali asciutti, con pavimento di legno e serramenta in materiale anti-scintilla.

II categoria: appartengono alla seconda categoria le dinamiti, gli esplosivi di sicurezza, le polveri e le micce detonanti.

Questi esplosivi, detti anche a rapida esplosione o dirompenti, hanno processo rapido ed esplodono mediante innesco detonante (detonatore). Sviluppano pressioni di circa 6 000-1000 atmosfere. Le dinamiti sono composte da nitroglicerina (molto sensibile e quindi pericolosa) e da sostanze chiamate basi le quali possono essere inerti (silice da infusori, farina di legno, bicarbonato di sodio) o attive (nitrati minerali quali il nitrato di ammonio o cotone collodio). In quest'ultimo caso si ottengono le dinamiti gommose e le gelatine esplosive.

Le dinamiti trasudano a temperature inferiori a 27°C, lasciando uscire la nitroglicerina che si fa rientrare con il raffreddamento, e congelano a più di 7°C, diventando pericolosissime. Si disgelano a bagnomaria con acqua a 30°C, evitando il contatto dell'acqua con l'esplosivo. Con l'aggiunta di olio ricavato dalla nitratura del toluene meglio con il dinitroglicole, si ottengono le cosiddette dinamiti incongelabili che congelano a circa 23°C sotto zero.

Gli esplosivi di sicurezza, che trovano il loro impiego in lavori in cui può esservi sviluppo di grisù o formazione di polveri infiammabili, sono costituiti da una mescolanza di nitrato ammonico con dinamite e cloruro ammonico e, in genere, con sostanze che abbassano la temperatura di esplosione.

Gli esplosivi di sicurezza sono molto sensibili all'urto, alla temperatura, allo sfregamento e, inoltre, sono molto igroscopici.

Le micce detonanti (Figura 3) servono essenzialmente per far esplo-

Impiego

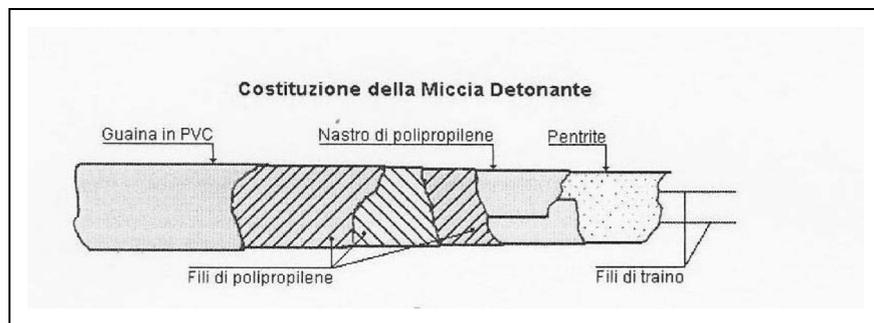
Deflagranti

Dirompenti

dere contemporaneamente diverse cariche come si fa con i detonatori elettrici. Per farle esplodere occorre sempre innescarle con un detonatore a miccia. Perciò, più che un mezzo di innescamento vero e proprio, la miccia detonante deve essere ritenuta un mezzo per una rapida trasmissione della detonazione.

La miccia detonante è costituita da un'anima a 4 fili imbevuti di fulminato di mercurio oppure da un involucro tessile rivestito da materiale impermeabilizzante e, all'interno, vi è un'anima di pentrite (esplosivo ad alto potere dirompente).

Figura 3 - Micce detonanti

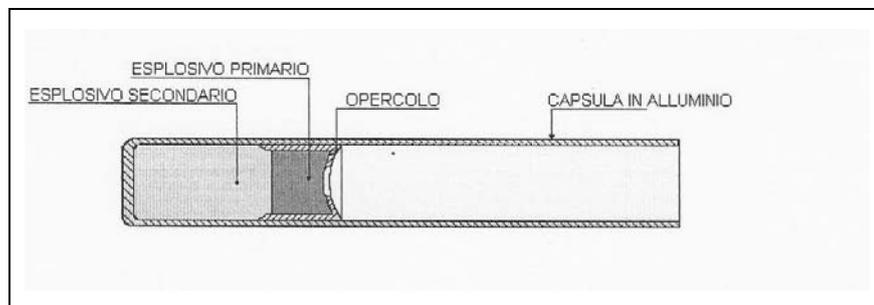


Fonte: www.trentinoesplosivi.it

Detonatori e inneschi

III categoria: appartengono alla terza categoria i mezzi di innesco degli esplosivi e cioè i detonatori a miccia e gli inneschi elettrici. Il detonatore a miccia (Figura 4) è costituito da un bossoletto di alluminio o di rame contenente una carica primaria innescante di fulminato di mercurio (o azotidrato di piombo) ed una carica secondaria di trasmissione, costituita da pentrite. Sotto l'effetto del dardo prodotto dalla miccia, la carica primaria detona trasmettendo la sua primaria detonazione alla carica secondaria che potenzia l'onda portandola ad un valore sufficientemente alto per innescare l'esplosivo.

Figura 4 - Detonatore a miccia



Fonte: www.trentinoesplosivi.it

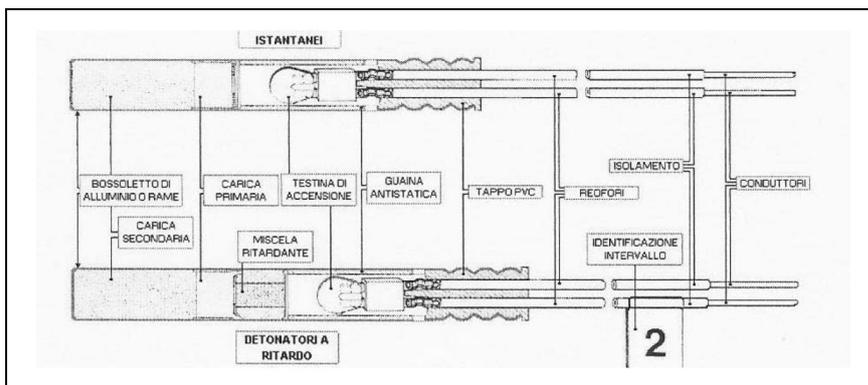
L'innescò o detonatore elettrico (Figura 5) è un dispositivo che trasforma l'energia elettrica nel calore necessario ad accendere una sostanza accensiva.

Il detonatore elettrico può essere considerato un detonatore a mic-

cia con la differenza che l'accensione della carica primaria, invece di essere prodotta dal dardo della miccia a fuoco è data dall'accenditore elettrico.

Il detonatore è caratterizzato da un filo metallico, detto ponticello, teso fra due armature conduttrici, nel filo passa la corrente, provocandone l'innalzamento della temperatura fino ad accendere una miscela speciale accensiva.

Figura 5 - Detonatore elettrico



Fonte: www.trentinoesplosivi.it

Il D.M. 8 aprile 2008, emanato ai sensi dell'art. 8, comma 1, del D.L. 27 luglio 2005, n. 144, convertito, con modificazioni, dalla L. 31 luglio 2005, n. 155, ha vietato la fabbricazione, l'importazione, l'esportazione, la detenzione, la commercializzazione, la cessione a qualsiasi titolo, il trasporto e l'impiego di detonatori ad accensione elettrica a bassa e media intensità per uso civile, oltretutto vietare i prodotti bicomponenti realizzati in confezioni portatili specificamente destinate alla realizzazione di esplosivi. Restano pertanto in commercio i soli detonatori elettrici ad alta intensità (HU), normali o ritardati con microritardi.

Sono inoltre ricompresi nella terza categoria, i detonatori con innescò non elettrico (sistema NONEL - Figura 6), che non possono essere accidentalmente innescati da correnti elettriche anche vaganti. Il sistema a guida d'onda è costituito da un tubicino di plastica di 3 mm, rivestito sulla parete interna di HMX in polvere, che consente una propagazione dell'onda d'urto ad una velocità di circa 2000 m/s e con energia sufficiente per l'innescò, alla cui estremità è fissato il detonatore, istantaneo o ritardato.

Il sistema, concepito per massimizzare la semplicità di impiego, può essere strutturato con combinazioni di detonatori aventi ritardi di notevole precisione, in modo da soddisfare tutte le esigenze della volata.

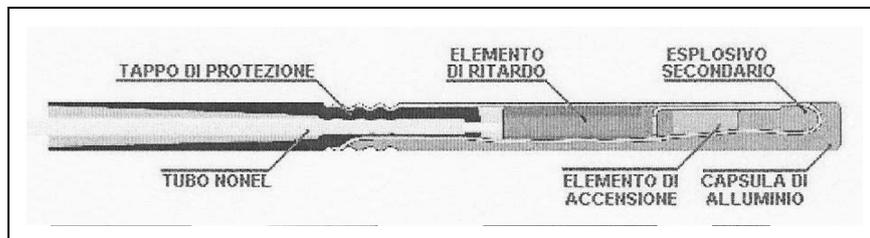
IV categoria: si omette la elencazione e la descrizione degli esplosivi appartenenti alla quarta categoria in quanto, trattandosi di «fuochi pirotecnici, artifici da guerra, razzi da segnalazione, ecc.» non vengono comunemente impiegati in sotterraneo.

IV categoria

Mezzi incendiivi

V categoria: appartengono alla quinta categoria i mezzi incendiivi, costituiti da micce a lenta combustione e accenditori.

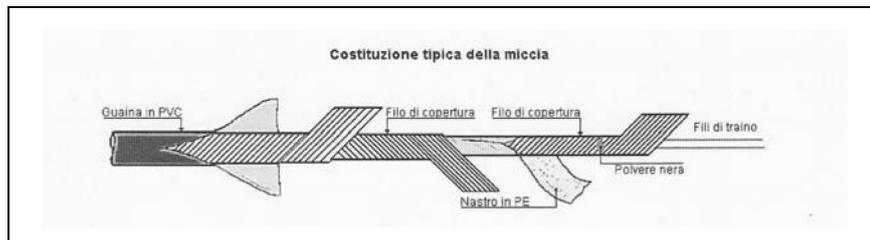
Figura 6 - Detonatore NONEL



Fonte: www.trentinoesplosivi.it

Un mezzo incendiivo classico è la miccia a lenta combustione (Figura 7), costituita da un involucro tessile con aggiunta di bitume e con uno strato esterno in materia plastica, contenente un'anima di polvere nera. Altri mezzi incendiivi sono costituiti da micce a lentissima combustione.

Figura 7 - Miccia a lenta combustione



Fonte: www.trentinoesplosivi.it

Un altro tipo di mezzo incendiivo è l'accenditore (ad esempio tipo PIREA) che è un artificio atto a facilitare l'accensione delle micce di una volata. In pratica l'accenditore è costituito da uno spezzone di una particolare miccia della lunghezza di 10 cm e della durata di combustione di 60 secondi circa.

La fiamma con cui brucia tale accenditore crea un dardo molto caldo che non si spegne né per forte vento né per stillicidio. La sua durata, che è, come già detto, di 60 secondi, permette e assicura l'accensione anche di un gran numero di micce e, nel contempo, indica all'addetto all'accensione il raggiungimento del limite di tempo per la sua permanenza sul fronte di sparo.

Nell'uso comune per il brillamento elettrico, la fonte di energia per il circuito elettrico è data dall'esplositore (Figura 8). Gli esplositori sono sostanzialmente costituiti da condensatori di carica, che al momento opportuno scaricano tutta l'energia accumulata nel circuito dei detonatori.

Ciascun esplositore deve essere munito di una targhetta dove deve essere indicato il numero massimo di detonatori che può innescare

e la resistenza massima dell'insieme linea di tiuro-detonatori, nonché tensione ed energia accumulata; oggi sono in commercio quelli multifunzionali a led per innesco elettrico e non elettrico a funzionamento semplice ed intuitivo. Per la sicurezza, la scarica è ordinata utilizzando tutte e due le mani, in maniera ergonomica, con una tensione di scarica a corrente continua e condensatori alimentati da batterie tascabili ricaricabili.

Figura 8 - Esploditore



Fonte: www.trentinoesplosivi.it

È bene ricordare che le operazioni di brillamento, sia a fuoco che elettrico o non elettrico, devono essere svolte da lavoratori dotati della licenza di fochino, di cui all'art. 27 del D.Lgs. n. 302/1956, rilasciata a seguito dell'accertamento dell'idoneità tecnica da parte di una Commissione Tecnica Prefettizia.

Si osserva ancora che gli esplosivi e i relativi accessori devono rispondere alla Direttiva Europea di prodotto che ne garantisce la circolazione sul mercato comune, fatte salve le disposizioni e le autorizzazioni previste dalle leggi di Pubblica Sicurezza.

In particolare, gli esplosivi e i relativi accessori devono essere dotati di marcatura "CE", ai sensi dell'art. 2, commi 2 e 3, del D.Lgs. n. 7/1997, in base al quale è vietato detenere, utilizzare, porre in vendita o cedere a qualsiasi titolo, trasportare, importare od esportare esplosivi per uso civile che siano privi della marcatura "CE" e che non abbiano superato la valutazione di conformità prevista dal predetto decreto.

Per una corretta individuazione del prodotto esplosivo nel territorio nazionale e per consentirne una migliore tracciabilità amministrativa, finalizzata alla più efficace tutela della sicurezza pubblica dovrà essere apposta sull'imballaggio apposita etichetta identificativa.

L'etichetta riunisce, anche in un unico riquadro, i seguenti dati:

- denominazione del prodotto;
- numero di identificazione ONU e codice di classificazione;

Marcatura CE

- numero di certificato «CE del tipo»;
- categoria dell'esplosivo secondo il TULPS R.D. n. 773/1931;
- nome del fabbricante;
- elementi identificativi dell'importatore o del produttore titolare delle licenze di polizia e indicazione di eventuali pericoli nel maneggio e trasporto;
- il numero del provvedimento di presa d'atto ministeriale e classificazione ai sensi dell'art. 19, commi 2 e 3 del decreto 19 settembre 2002, n. 272.

● **Uso in sicurezza nei sotterranei**

Le disposizioni di cui al Capo VII «Impiego degli esplosivi» del D.P.R. n. 320/1956, artt. 41-52, prescrivono le misure e le cautele da adottare per l'uso in sicurezza degli esplosivi in sottterraneo. Analogamente si affianca il Titolo II, Capo III «Impiego degli esplosivi» del D.P.R. n. 302/1956, artt. 20-38, che detta le misure generali di sicurezza in materia.

Si aggiungono poi tutte le norme di Pubblica Sicurezza riguardanti le licenze e autorizzazioni necessarie nelle operazioni di sparo; in particolare le attività di posizionamento e di sparo dei prodotti esplosivi di II e III categoria per uso civile devono svolgersi alla presenza della Forza Pubblica, osservate le disposizioni vigenti per i servizi a pagamento richiesti da privati, o, in mancanza, adottando le misure di sicurezza e di controllo prescritte dal questore, che può disporre la vigilanza, con spese a carico dell'impresa interessata, di guardie particolari giurate, munite di specifici ordini di servizio.

Inoltre, delle operazioni di posizionamento e sparo deve essere dato, almeno cinque giorni prima, preventivo avviso al questore, che, nei tre giorni successivi, comunica la disponibilità della forza pubblica o prescrive le misure di sicurezza e di controllo occorrenti. Sono fatti salvi i casi di emergenza, per i quali comunque deve essere data immediata e preventiva notizia all'Autorità di Pubblica Sicurezza.

● **Sistemi di innesco**

Ogni sistema di innesco presenta delle caratteristiche proprie che influenzano e condizionano le modalità d'uso e le regole di sicurezza da applicare.

Nel corso degli anni la ricerca sulla utilizzazione degli esplosivi ha fatto compiere grandi balzi in avanti alla affidabilità, alla stabilità, alla indipendenza dai fattori esterni.

I sistemi di innesco tradizionali a miccia (a fiamma) o elettrico sono stati affiancati da un nuovo sistema denominato a tubo conduttore d'onda che ha profondamente innovato il settore.

Per quanto riguarda l'innesco con miccia a lenta combustione (tiro a fuoco), essa trasporta l'energia di attivazione (calore) alla carica esplosiva del detonatore ordinario mediante la combustione dell'ani-

**A lenta
combustione**

ma, costituita da polvere nera, che è avvolta da più strati incrociati di cotone e canapa, avvolti in un involucro impermeabile.

La miccia a lenta combustione viene attivata con fiamma da un accenditore portatile. Esistono problemi legati al mantenimento delle caratteristiche intrinseche (velocità di combustione) e di integrità del cordone con conseguente pericolo di interruzione della combustione e quindi mancata trasmissione della fiamma di innesco, per cui è necessario prevedere il controllo periodico delle micce e annotarlo su apposito registro.

Le micce sono inoltre sensibili all'umidità e all'acqua e bisogna conservarle accuratamente. Non esistono limitazioni per quanto riguarda la sicurezza all'impiego dell'accensione con miccia a lenta combustione nelle "gallerie non grisutose" (Classe 0; Classe 1a, 1b e 1c). È vietato invece l'impiego nelle "gallerie grisutose" (Classe 2); la ragione del divieto nasce dal fatto che l'attivazione della miccia avviene tramite una fiamma e la propagazione è una combustione. La fiamma o la combustione sono un innesco per il grisù eventualmente presente in galleria.

Per quanto riguarda l'innesco elettrico (tiro elettrico), la modalità si basa sul principio che l'attivazione dei detonatori elettrici è provocata per mezzo della corrente elettrica generata da un esploditore e trasmessa attraverso la linea di tiro. L'intensità della corrente deve essere commisurata all'energia richiesta per l'accensione dei detonatori elettrici. La resistenza del circuito elettrico (somma della resistenza della linea di tiro e della resistenza del circuito dei detonatori) dipende dalla resistenza di ciascun detonatore, dalla lunghezza dei reofori, dal collegamento tra i detonatori (in serie, in parallelo, in serie-parallelo, in parallelo-serie).

Corrente, tensione e resistenza del circuito non sono parametri indipendenti ma legati dalla legge di Ohm $V = R \times I$, dove V è la tensione ai capi della linea di tiro in Volt, R la resistenza della linea in ohm e I la corrente passante in Ampere.

Per mantenere il valore di resistenza entro limiti accettabili si devono eseguire configurazioni complesse del circuito della volata (collegamenti serie-parallelo). Se non si contiene il valore totale di resistenza del circuito o si sottodimensiona l'esploditore si corre il pericolo di mine gravide per insufficiente tensione elettrica di accensione. La continuità elettrica e la corretta esecuzione dei circuiti secondo il progetto di volata deve essere verificata con un ohmmetro, strumento portatile sviluppato per misurare sia la resistenza elettrica del circuito di tiro che l'isolamento elettrico della linea di tiro verso terra. Si tratta di uno strumento indispensabile per la verifica della corretta realizzazione del circuito di tiro.

Occorre adottare una serie di misure di sicurezza per evitare l'accensione accidentale e prematura della volata. Detto rischio è legato alla presenza di corrente elettrica da contatto, da scariche elettriche legate a fenomeni temporaleschi, da induzione o a causa di correnti vaganti.

Innesco elettrico

Il rischio di accensione accidentale comporta il divieto di usare corrente elettrica in galleria durante il caricamento con necessità di utilizzare per l'illuminazione e l'eduzione delle acque dei sistemi alternativi di energia (esempio aria compressa).

Nelle "gallerie non grisutose" (Classe 0; Classe 1a, 1b e 1c) è consentito l'utilizzo dell'innesco elettrico alla condizione che vengano rispettate le seguenti misure:

- evitare che parti nude di conduttori di tiro vengano a contatto con le parti rocciose o siano immerse nell'acqua;
- rivestire le giunzioni dei conduttori di tiro con isolanti;
- effettuare il controllo dei circuiti elettrici di tiro con ohmmetro;
- vietare l'accensione elettrica se entro un raggio di 10 km vi sono temporali;
- sezionare dall'esterno tutte le linee elettriche entranti in sotterraneo;
- cortocircuitare e collegare elettricamente a terra i tratti di linea entranti in sotterraneo;
- collegare elettricamente a terra i binari e tutte le condutture metalliche.

Nelle "gallerie grisutose" (Classe 2) le misure di sicurezza sopra descritte devono essere integrate con le seguenti:

- utilizzare esplosivi e accessori di sicurezza antigrisutosi;
- evacuare tutto il personale dal sotterraneo prima della fase di accensione delle mine;
- accendere elettricamente le mine dall'esterno;

La prima delle tre misure di sicurezza integrative si pone l'obiettivo di evitare l'innesco della miscela di grisù.

La seconda e la terza misura si prefiggono lo scopo di incrementare il livello di sicurezza facendo in modo che prima della fase di accensione tutto il personale esca dalla galleria, compresa la persona che aziona l'esplosore.

Nessuna persona deve subire un danno nel caso che il gas, già presente in galleria al momento della volata o quello eventualmente liberatosi durante l'abbattimento, venga innescato.

Per quanto riguarda la seconda misura di sicurezza nel caso di una galleria di limitata lunghezza non è sufficiente portare il personale all'esterno ma occorre che questo sia al di fuori della zona di rischio. Infatti, l'esplosione del grisù può propagarsi oltre l'imbocco per l'effetto «canna da fucile» che si determina. In questi casi si deve intendere l'uscire come il portarsi in un luogo non interessato dagli effetti di un'esplosione verificatasi all'interno della galleria. Questa evenienza deve essere valutata in via preliminare, adottando, se del caso, le misure idonee.

Per il rispetto della terza misura di sicurezza si deve adottare in sequenza temporale la seguente procedura esecutiva:

- 1) stendere la linea di tiro cortocircuitandola ad entrambi i capi e collegandola a terra;
- 2) realizzare il circuito elettrico dei detonatori;

- 3) collegare il circuito dei detonatori alla linea di tiro;
- 4) togliere lato esploditore la cortocircuitazione e la messa a terra della linea di tiro e collegarla all'esploditore;
- 5) azionare l'esploditore.

Per quanto riguarda l'innescò non elettrico, il sistema d'innescò a tubo conduttore d'onda si basa sul principio che l'attivazione dei detonatori non elettrici è provocata dall'onda di deflagrazione che si propaga all'interno di un tubo di plastica rivestito internamente da una sostanza esplosiva.

Il sistema ha come vantaggio principale che non può essere attivato accidentalmente da scariche elettriche, correnti parassite o campi elettrici in quanto è indipendente da questi fenomeni, oltre che insensibile alla presenza di acqua. Presenta facilità e rapidità di impiego e permette un controllo visivo del circuito di tiro. Un vincolo è rappresentato dalla lunghezza dei tubi conduttori d'onda che è modulare e non può essere modificata in corso d'opera.

Non esistono limitazioni per quanto riguarda la sicurezza all'impiego nelle gallerie non grisutose (Classe 0, Classe 1a, 1b e 1c). Per le gallerie grisutose (Classe 2), se si realizza un caricamento con il sistema non elettrico, non si devono rispettare le condizioni previste per il caricamento elettrico in quanto il sistema di innescò a tubo d'onda è indipendente dai fenomeni elettrici. Occorre invece rispettare le altre condizioni previste per le gallerie grisutose, e cioè:

- a) la prima condizione, quella di utilizzare esplosivi ed accessori di sicurezza per evitare l'innescò di grisù durante la volata, deve essere rispettata;
 - b) la seconda condizione, di allontanare tutto il personale prima della fase di accensione, deve essere sempre rispettata;
 - c) la terza condizione, quella di accendere elettricamente le mine dall'esterno, può essere raggiunta in due modi:
 - con una linea di tiro non elettrica che arriva all'esterno. L'utilizzo del sistema soddisfa la condizione di accensione elettrica in quanto lo scopo del legislatore era escludere l'accensione con miccia a lenta combustione;
 - con un sistema ibrido in cui l'attivazione del sistema non elettrico è di natura elettrica. In questo caso, per la parte di circuito elettrico si devono rispettare le condizioni richieste per gli inneschi elettrici.
- L'innescò non elettrico può essere effettuato in uno dei seguenti modi:

- a) sistema di tiro totalmente non elettrico

le misure di sicurezza integrative da rispettare risultano:

- utilizzo esplosivi antigrisutosi,
- utilizzo accessori antigrisutosi,
- evacuazione di tutto il personale prima della volata,
- accensione delle mine dall'esterno,

- b) sistema di tiro misto: non elettrico nel circuito dei detonatori ed elettrico nella linea di tiro

alle misure di sicurezza integrative si devono aggiungere le seguenti procedure e misure di sicurezza suppletive:

**Innesco
non elettrico**

- 1) stendere la linea di tiro cortocircuitandola ad entrambi i capi e collegandola a terra;
- 2) caricare la volata con un circuito di detonatori non elettrici. Essendo il sistema indipendente dai fenomeni elettrici durante questa fase non esistono limitazioni di esercizio dell'impianto elettrico;
- 3) prima di procedere a collegare il/i detonatore/i di accensione con la linea di tiro elettrica si deve:
 - sezionare dall'esterno l'impiantistica elettrica installata in galleria;
 - cortocircuitare le linee elettriche entranti in galleria;
 - collegare elettricamente a terra le linee elettriche entranti in galleria;
 - collegare elettricamente a terra i binari e tutte le condutture metalliche;
- 4) collegare il detonatore di accensione alla linea di tiro;
- 5) collegare il detonatore di accensione al circuito dei detonatori non elettrici;
- 6) togliere, lato esploditore, la cortocircuitazione e la messa a terra della linea di tiro e collegarla all'esploditore;
- 7) azionare l'esploditore.

Lavoro notturno con esplosivi

Un'ultima notazione riguarda il lavoro notturno con l'impiego degli esplosivi. A tal riguardo l'art. 105 del R.D. n. 635/1940 dispone di non lavorare di notte nei depositi di esplosivi, e la Circolare n. 110/1953 emanata dal Ministero del Lavoro e della Previdenza Sociale ha ribadito che, in attuazione di quanto disposto dalle competenti Autorità di Pubblica Sicurezza nel rilasciare le licenze per l'autorizzazione alla costituzione di depositi di esplosivi, è fatto divieto alle aziende nei cantieri di entrare di notte nei depositi istituiti per prelevarvi l'esplosivo. È quindi generalmente invalso l'uso di ricorrere a semplici depositi giornalieri, con il quantitativo strettamente necessario alle esigenze di scavo.

Atmosfere esplosive

• Valutazione del rischio

Le disposizioni di cui al Titolo XI «Protezione da atmosfere esplosive» del D.Lgs. n. 81/2008, artt. 287-297, prescrivono le misure e le cautele da adottare per evitare il rischio di esplosione per la presenza di gas o polveri in sotterraneo.

In particolare è necessario individuare i requisiti e le misure per far fronte soprattutto al rischio grisù (metano naturale presente negli ammassi rocciosi e nei terreni), suddividendo le gallerie in classi in funzione del relativo livello di rischio. I termini gas, metano, grisù, miscela aria-metano, miscela aria-grisù sono utilizzati in modo indifferenziato in quanto considerati in letteratura sinonimi. La valutazione della probabilità di presenza di atmosfera esplosiva in galleria è alquanto complessa e non si presta ad un procedimento analitico di calcolo, a causa della mancanza di due dati in ingresso fondamentali: la portata e la durata di emissione di grisù in galleria a seguito dello stabilirsi di un collegamento tra la galleria stessa e una trappola di metano.

Le gallerie sono pertanto classificate sulla base non di una quantificazione della suddetta probabilità, ma di una valutazione qualitativa dei flussi di grisù che possono essere causati dall'interazione dello scavo con un determinato ammasso e considerando gallerie di grande sezione, realizzate con metodo a piena sezione e con tecnologia di scavo tradizionale. La diversa probabilità di afflusso di gas in galleria è legata quindi alla diversa struttura degli ammassi, alla loro diversa attitudine a favorire l'accumulo del gas, alle caratteristiche geometriche dell'opera, all'organizzazione del cantiere, al metodo ed alla tecnica di scavo. Le norme volte alla tutela della sicurezza contro le esplosioni in ambienti industriali (cosiddette «ATEX») sono costruite nell'ipotesi di potere predeterminare con sufficiente certezza ed univocità gli elementi necessari per una compiuta analisi del rischio.

Tale scenario non può essere mutuato per gli scavi, che presentano elevata variabilità delle caratteristiche. Molti elementi di valutazione possono essere acquisiti o determinati solo in corso d'opera, e gli stessi elementi possono variare con il progredire dello scavo. Il cantiere stesso è caratterizzato da un'elevata dinamicità sia in termini geometrici, sia come tipologia della lavorazione.

• Classificazione delle gallerie

Per quanto sopra esposto, si preferisce classificare le gallerie in tre Classi (0, 1, 2) di cui la 1 suddivisa in tre Sottoclassi (1a, 1b, 1c) a probabilità crescente di afflussi significativi di grisù e con correlate misure di sicurezza crescenti. Nell'ambito di tale classificazione non sono determinabili zone nel senso indicato dal D.Lgs. n. 81/2008 ma risulta più appropriata l'individuazione di due condizioni pericolose:

Grisù

Classificazione delle gallerie

Condizioni pericolose

- “condizione pericolosa 2” (atmosfera potenzialmente esplosiva) campo compreso tra 0% e sotto il LEL (limite inferiore di esplosibilità - per il metano circa 5%) oppure sopra l’UEL (limite superiore di esplosibilità - per il metano circa 16%) fino al 100% di grisù nell’aria;
- “condizione pericolosa 1” (atmosfera esplosiva) campo compreso tra il LEL e l’UEL di grisù nell’aria.

Apparecchi e sistemi di protezione

La scelta degli apparecchi e dei sistemi di protezione, elettrici e non elettrici, da utilizzare in un dato luogo a rischio grisù, è conseguente alla classificazione del luogo stesso. L’assetto della normativa è ora rappresentato dal D.P.R. n. 126/1998 (cosiddetta «marcatura Ex»), soprattutto in relazione alla scelta degli apparecchi elettrici e dei motori a combustione interna. Ad esempio l’uso dei motori diesel comunemente presenti in cantiere è concesso purché i motori siano resi «antideflagranti» e dichiarati come tali dal costruttore, ai sensi del D.M. 10 maggio 1988, n. 259, come modificato dal D.M. 26 febbraio 1991 n. 225. Il D.M. n. 259/1988 detta le norme tecniche da applicare per la trasformazione in antideflagrante dei motori diesel con aspirazione a pressione atmosferica e dei rispettivi veicoli sui quali sono installati, nonché le procedure da seguire per la certificazione e per un loro corretto impiego in ambiente grisutoso, così come per i motori turbocompressi, nei quali l’aria aspirata non è più a pressione atmosferica, ma viene compressa e riscaldata per uno scambio energetico con i gas di scarico ottenuto attraverso una turbina.

In generale, nelle gallerie a rischio grisù, classificate rispettivamente di Classe 1a, 1b, 1c e 2, deve essere perseguito il principio di prevenzione basilare di non far coesistere, nello spazio e nel tempo, in presenza di persone, un’atmosfera esplosiva per una significativa durata di tempo con un qualsiasi tipo di innesco che, nel caso in questione, significa fare in modo che la condizione pericolosa 1 non si verifichi mai. Pertanto, considerando esclusivamente la “condizione pericolosa 2”, gli apparecchi e i sistemi di protezione, conformi al D.P.R. n. 126/1998, utilizzati in galleria ed esposti ad atmosfera potenzialmente esplosiva, devono essere del Gruppo I (lavori in sotterraneo) e di Categoria almeno M2.

La Categoria M2 comprende gli apparecchi progettati per funzionare conformemente ai parametri operativi stabiliti dal fabbricante e basati su un livello di protezione elevato. Gli apparecchi di questa categoria sono destinati ai lavori in sotterraneo nelle miniere e nei loro impianti di superficie esposti al rischio di sprigionamento di grisù e/o di polveri combustibili; in presenza di atmosfera potenzialmente esplosiva, l’alimentazione di energia di questi apparecchi deve poter essere interrotta.

I mezzi di protezione relativi agli apparecchi di questa categoria assicurano il livello di protezione richiesto durante il funzionamento normale, compreso in condizioni di funzionamento gravose, segnatamente quelle risultanti da forti sollecitazioni e da continue variazioni ambientali. In particolare, per gli apparecchi elettrici sono ammessi tutti i modi di protezione Ex, purché realizzati per il Gruppo I e Categoria

M2. Gli apparecchi devono essere muniti di mezzi di protezione in modo che non possano attivarsi sorgenti di innesco durante il funzionamento e sono progettati in modo che l'apertura delle parti che possono costituire una sorgente di innesco sia possibile soltanto in assenza di energia o con meccanismi di apertura appropriati.

Il rischio di flusso di grisù e la conseguente classificazione delle gallerie devono essere valutati e verificati in tutte le fasi progettuali e anche in corso d'opera. Il rischio che gli scavi causino un flusso di grisù deve essere valutato da un Tecnico Specialista. La valutazione del rischio è formalizzata con una Relazione tecnica, chiamata «Documento di protezione dalle esplosioni», che deve quanto meno:

- a) essere riferita specificatamente alla galleria in esame;
- b) contenere valutazioni documentate sul rischio di invasione del gas, qualunque siano l'entità e le modalità attese del flusso (da tracce di gas a grosse manifestazioni);
- c) essere esplicitamente basata sullo studio, documentato, del «tratto di galleria» valutato;
- d) classificare per ogni tratto ed eventualmente per tutta la galleria, la previsione che si provochino flussi di grisù. La previsione deve considerare anche gli effetti indotti dalla realizzazione dell'opera sull'ammasso circostante gli scavi, in termini di variazione dello stato di fratturazione e della permeabilità dell'ammasso stesso, parametri che potenzialmente influiscono sul flusso di gas;
- e) allegare la documentazione utilizzata per gli studi, le ricerche e le indagini;
- f) indicare le modalità, la strumentazione, la periodicità delle verifiche da eseguirsi in corso d'opera (sondaggi in avanzamento, monitoraggio ecc.);
- g) recare data, firma e timbro del Tecnico Specialista.

Da quanto sopra deriva che ogni «tratto di galleria» deve essere classificato sulla base dei risultati di studi, ricerche e indagini. Le indagini di tipo bibliografico, storico (storicità delle manifestazioni spontanee d'idrocarburi, dei fenomeni registrati nell'esecuzione di altre opere ecc.), industriale (produzioni di idrocarburi nell'area in esame), gli studi teorici e le indagini sperimentali di superficie e profonde (sondaggi, pozzi, cunicoli, indagini geofisiche ecc.) devono essere mirate a:

- definire le condizioni geostrutturali locali, ritenute importanti in relazione alla presenza di idrocarburi (stato di fratturazione, trappole di idrocarburi di tipo strutturale ecc.);
- suddividere la galleria in tratti (porzioni omogenee di ammasso in termini di previsioni di flusso);
- stabilire le relazioni di tipo stratigrafico e/o strutturale tra i diversi ammassi, che possono influenzare il flusso di grisù all'interno della galleria;
- definire le dimensioni e le caratteristiche idrauliche dei serbatoi di grisù che potrebbero entrare in comunicazione idraulica, direttamente e non, con il tratto in corso di classifica.

**Documento
di protezione**

**Modalità di
classificazione**

Inoltre, le valutazioni devono essere integrate, in corso d'opera, in relazione all'evoluzione dello stato delle conoscenze, con ulteriori studi mirati alla evoluzione della previsione di afflusso di metano nei cantieri sotterranei.

La classificazione può portare ad un unico indice valido per tutta la galleria oppure ad indici diversi, ciascuno attribuito ad un tratto di galleria. Per la classificazione si utilizza uno dei seguenti cinque indici, ciascuno dei quali caratterizzante la previsione delle condizioni di flusso di grisù correlabili alla realizzazione dell'opera in sottoterraneo. Sono in "Classe 0" le gallerie o i tratti per le quali tutti gli elementi oggettivi e documentati di valutazione portano ad escludere che la realizzazione dell'opera possa indurre flussi di grisù dagli ammassi attraversati dall'opera oppure da quelli lontani ma connessi idraulicamente alla galleria.

Classe 0

Classe 1a

La "Classe 1a" è quella delle gallerie o tratti per le quali tutti gli elementi portano a prevedere come remota la possibilità di flussi di grisù, in base all'assenza di indizi derivanti dalle indagini preliminari (studi e ricerche, analisi della storicità, sondaggi), alle informazioni ottenute nello scavo della porzione d'opera già realizzata, alle considerazioni geologiche e strutturali.

Classe 1b

Le gallerie o tratti per le quali l'analisi geologica strutturale porta a prevedere flussi di grisù, ma non ci sono elementi di riscontro desunti dalle indagini preliminari (studi e ricerche, analisi della storicità, sondaggi) effettuate in fase di progetto e dalla porzione d'opera già realizzata sono in "Classe 1b". In definitiva le manifestazioni gassose sono possibili, ma con portate prevedibilmente modeste o con modalità che si ritiene non portino a condizioni di rischio.

Classe 1c

La "Classe 1c" è quella delle gallerie o tratti per i 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 ecc.) e le indagini sperimentali di superficie e profonde (sondaggi, pozzi, cunicoli, indagini geofisiche ecc.) fanno presumere che i lavori di scavo possano indurre flussi di grisù discontinui e poco frequenti e quindi tali da far ritenere l'emissione eccezionale.

Situazioni del genere sono tipiche di serbatoi di idrocarburi isolati e di dimensioni limitate in collegamento idraulico con l'opera. Tali serbatoi hanno forma e dimensioni molto varie e distribuzione spaziale casuale ed imprevedibile e possono far affluire gas in galleria con portate molto varie non escluse quelle a carattere massivo.

Classe 2

La "Classe 2" comprende le gallerie o i tratti per i 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 poten-

ziali 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.

Le Classi 1a e 1b sono applicabili in assenza di geostrutture favorevoli all'accumulo del gas e, conseguentemente, è limitata ma non si può escludere con assoluta certezza la possibilità che gli scavi determinino flussi di grisù nel sottterraneo.

Il sistema di interventi di sicurezza rappresentato dalla Classe 1c è il più articolato poiché considera gli ammassi caratterizzati dalla presenza di potenziali serbatoi di grisù costituiti da volumi di roccia ad alta permeabilità racchiusi in una matrice pressoché impermeabile. In particolare, tiene conto dei casi in cui non è possibile stabilire a priori la distribuzione spaziale, le dimensioni e le forme, le caratteristiche idrauliche (contenuto in idrocarburi, pressione ecc.) dei potenziali serbatoi e, conseguentemente, i plausibili flussi di grisù in galleria devono essere considerati prevalentemente casuali e con modalità di flusso in gran parte imprevedibili.

Per contro, la Classe 2 indica gli interventi di sicurezza che devono essere posti in essere nei casi in cui, i risultati degli studi e delle ricerche specialistiche, permettono di determinare posizione, forma e volume delle trappole di idrocarburi e di accertare la presenza o meno di un serbatoio e delle sue caratteristiche idrauliche.

L'indice di classifica attribuito, in sede di progetto, dal Tecnico Specialista deve essere verificato in corso d'opera. Qualora il Tecnico Specialista riscontri incongruenze tra le previsioni e la situazione in essere, deve aggiornare l'indice di classifica attribuito.

La classifica delle gallerie individua al massimo la sola "condizione pericolosa 2". Nei lavori di scavo in terreni grisutosi la prevenzione contro le esplosioni persegue l'obiettivo di evitare sempre e comunque la "condizione pericolosa 1", ossia lo svolgimento dell'attività lavorativa in presenza di atmosfera esplosiva, ricorrendo agli apprestamenti di difesa e alle procedure di lavoro opportune. Questi, quantomeno, impongono la ventilazione forzata della galleria e la presenza di un sistema di monitoraggio ambientale che prevede l'interruzione dei lavori con conseguente progressiva messa fuori servizio delle macchine operatrici e messa fuori tensione degli impianti elettrici, comunque, sia macchine che impianti, idonei ad operare in atmosfera potenzialmente esplosiva, fino al raggiungimento di valori di concentrazione di grisù in aria pari al massimo al limite inferiore di esplosibilità (LEL).

Gli apprestamenti di difesa e le procedure di lavoro mirano a contenere la concentrazione di grisù in aria al di sotto del LEL e, in caso di superamento, di limitarne la presenza ad un periodo breve.

L'assetto impiantistico da realizzare deve essere conseguente alla valutazione di rischio di afflusso di grisù: devono essere installati,

**Applicabilità
delle classi**

ove necessario, apparecchi del Gruppo I e di Categoria M2. Viene conseguito un grado di sicurezza equivalente contro l'innesco di un'esplosione pari almeno a 3, in quanto sono previste tre barriere di sicurezza in serie, tra di loro indipendenti da cause comuni di inefficienza:

- una barriera nell'ambiente, mediante la presenza dell'impianto di ventilazione forzata;
- due barriere sugli apparecchi, in relazione ai modi di protezione previsti (Categoria M2).

All'inizio di ogni tratto di galleria deve essere installato un cartello con fondo blu, riportante la scritta in colore bianco «Rischio grisù: galleria di classe X».

All'imbocco di ogni galleria deve essere installato un cartello con fondo blu, riportante, con caratteri in colore bianco, la progressiva di inizio e di fine di ogni tratto classificato ed il relativo indice di classifica. Deve essere nominato un Responsabile del Monitoraggio della concentrazione di gas e messi in opera e mantenuti in efficienza opportuni sensori e sistemi di rilevazione gas e di allarme.

Ai fini della sicurezza del personale, le gallerie o i tratti di galleria sono organizzati con diverse soglie di allarme, compresi impianti semaforici, alle quali corrispondono differenti stati comportamentali (in funzione della Classe 1a, 1b, 1c, 2).

● Misure di sicurezza da adottare

Si riportano sinteticamente le misure di sicurezza da adottare in funzione della classe della galleria.

Per le gallerie di Classe 2 sono previste tre soglie di allarme del Livello di gas (CH₄):

Misure di sicurezza di Classe 2

Gallerie Classe 2 - Soglie di allarme	
0,30% Volume (= 6% del LEL)	soglia di attenzione
0,70% Volume (= 14% di LEL)	soglia di preallarme
1,00% Volume (= 20% di LEL)	soglia di allarme (Abbandono galleria)

Le misure di sicurezza richieste in questo caso sono le seguenti:

- ottimizzazione e controllo di tutti i parametri della ventilazione;
- impianti e macchine operatrici in versione antideflagrante;
- monitoraggio fisso con registrazione degli andamenti di concentrazione dei gas;
- monitoraggi periodici con strumenti manuali ed ampolla;
- verifica dei sistemi di allarme;
- addestramento del personale;
- procedure di emergenza ed evacuazione.

Misure di sicurezza di Classe 1c

Per le gallerie di Classe 1c sono previste due soglie di allarme del Livello di gas (CH₄):

Gallerie Classe 1c — Soglie di allarme	
0,15% Volume (=3% di LEL)	limite significativo della sensibilità della strumentazione soglia preallarme
0,35% Volume (=7% di LEL)	soglia di allarme (Abbandono della galleria)

Le misure di sicurezza richieste in questo caso sono le seguenti:

- ottimizzazione e controllo di tutti i parametri di ventilazione;
- sistema antideflagrante limitato alle macchine che operano al fronte nella fase di ricerca del gas ed automazione della linea elettrica, salvo sistema di ventilazione;
- sistema di illuminazione di tipo antideflagrante per l'intera galleria;
- presenza di veicolo antideflagrante per eventuale immediata evacuazione del fronte;
- monitoraggio fisso con registrazione degli andamenti di concentrazione dei gas;
- monitoraggio manuale periodico con strumenti manuali ed ampolla, supportato da personale esperto durante la fase di ricerca;
- sistema di comunicazione interno-esterno in versione antideflagrante;
- analisi dei dati ed elaborazione di un modello di immissione del gas e progetto di avanzamento;
- addestramento del personale;
- procedure di emergenza ed evacuazione.

Le misure di sicurezza richieste per la Classe 1b sono le seguenti:

- ottimizzazione e controllo dei parametri di ventilazione;
- monitoraggio fisso con registrazione delle concentrazioni di gas;
- integrazione con monitoraggio sistematico manuale e ampolla;
- illuminazione di emergenza del tipo sicurezza per l'intera galleria;
- analisi ed elaborazione dei dati di immissione dei gas e progetto di avanzamento;
- sistema di interruzione automatica e/o manuale della linea elettrica, ad eccezione dell'alimentazione della ventilazione;
- sistema di comunicazione interno-esterno in versione antideflagrante;
- addestramento del personale;
- procedure di emergenza ed evacuazione.

Le misure di sicurezza richieste per la Classe 1a sono le seguenti:

- ottimizzazione di tutti i parametri della ventilazione;
- monitoraggio manuale e prelievi con ampolla;
- ventilazione opportuna;
- eliminazione e controllo delle cause d'innescio;
- addestramento del personale;
- procedure di emergenza ed evacuazione.

Per le gallerie in Classe 0 non è prevista alcuna misura specifica di sicurezza, essendo queste a basso rischio di venute di gas.

Misure di sicurezza di Classe 1b

Misure di sicurezza di Classe 1a

Misure di sicurezza di Classe 0

Rischio elettrico

• Impianti

Relativamente agli impianti elettrici, i lavori in sottoterraneo sono considerati «ambienti bagnati» ai sensi dell'art. 4 del D.P.R. n. 320/1956, e pertanto devono essere prese tutte le precauzioni dettate dalle norme CEI per gli impianti a funzionamento elettrico nei luoghi bagnati.

Si applicano le disposizioni di cui al Titolo III, Capo III, del D.Lgs. n. 81/2008, e in particolare dovrà essere curata la corretta posa delle condutture elettriche (fisse e flessibili), che preferibilmente saranno collocate in vicinanza delle pareti laterali dello scavo al fine di non intralciare il movimento dei mezzi e delle persone.

Per evitare i pericoli di scintille che possono essere causa di inneschi, sia di esplosioni che di incendi, si fa in modo che in luogo di impianti e apparecchi elettrici siano ad esempio usati utensili alimentati con un rete di aria compressa. Inoltre, nel caso di utilizzo di esplosivi con brillamento elettrico, gli impianti non dovranno interferire con le procedure di innesco e pertanto dovranno essere sezionati, cortocircuitati e messi a terra all'esterno dell'imbocco della galleria.

Requisiti per il sezionamento

Il D.M. 19 maggio 1978 «Riconoscimento della efficacia del sistema di sicurezza proposto dal Consorzio traforo autostradale Frejus-C.T.F., in materia di brillamento elettrico delle mine nei lavori in sottoterraneo» ha consentito che l'impianto elettrico entrante in galleria, prima di introdurre nei fori da mina le cartucce con inneschi elettrici, possa essere sezionato a una distanza non inferiore a 300 metri dal fronte di lavoro, nonché essere posto in corto circuito e collegato elettricamente a terra, purché:

- per l'alimentazione dei vari apparecchi utilizzatori sia impiegata, per trasformare la tensione da 5 KV a 380/220 V, una cabina elettrica mobile la cui sistemazione in galleria deve effettuarsi ad una distanza non minore di 300 metri dal fronte di lavoro;
- l'energia elettrica sia trasportata in galleria, fino alla cabina mobile, impiegando un cavo corazzato del tipo R.G. 50.H 1.Z.K/11, $3 \times 35 + 100$ mmq oppure, ferme restando le altre caratteristiche, un cavo $3 \times 70 + 100$ mmq di rame aggiuntivo quale conduttore di terra, dall'interno all'esterno della galleria, e tale cavo sia protetto dal pericolo di dispersione di energia elettrica verso terra, impiegando interruttori differenziali toroidali a media sensibilità, regolati a 300 mA;
- i conduttori percorsi da corrente elettrica alla tensione di 380/220 V, siano protetti dal pericolo di dispersione di energia elettrica verso terra, impiegando *relais* differenziali toroidali a media sensibilità, regolati a 150 mA;
- gli inneschi elettrici siano del tipo ad alta intensità aventi elevato impulso di accensione e alta corrente d'innesco.

Poiché la corrente a 50 Hz ha la frequenza più pericolosa, si possono adottare per l'alimentazioni degli apparecchi di illuminazione le alte frequenze, che diminuiscono senz'altro il pericolo di elettrocuzione e folgorazione. Infatti, prove su soggetti con mani bagnate e a piedi nudi, con differenza di tensione applicata fissa, hanno rivelato che la corrente percorsa nel corpo umano diminuisce all'aumentare della frequenza.

Alte frequenze

Il fenomeno è dovuto dell'effetto pellicolare o *skin effect*, per cui la corrente ad altissima frequenza, addensandosi alla superficie del conduttore, nella fattispecie il corpo umano, non colpisce gli organi vitali interni e apporta danno alle persone in misura ridotta. La Circolare n. 543/1959 emanata dal Ministero del Lavoro e della Previdenza Sociale, ad oggetto «Impiego di correnti frequenza», relativamente all'impiego di conduttori nudi per gli impianti di illuminazione in galleria alimentati con corrente a 220 V erogata a 2000 Hz, ha indicato la bontà e idoneità dell'alimentazione ad alta frequenza, riconoscendone la minore pericolosità, ma ha consigliato comunque l'adozione di un rivestimento di isolamento protettivo, non lasciando nudi i conduttori.

● Messa in esercizio e verifiche

È ancora da ricordare che la messa in esercizio e le verifiche degli impianti elettrici in luoghi con pericolo di esplosione sono disciplinate dai Capi III e IV del D.P.R. 22 ottobre 2001, n. 462 «Regolamento di semplificazione del procedimento per la denuncia di installazioni dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche, di dispositivi di messa a terra di impianti elettrici e di impianti elettrici pericolosi»⁽²⁾. Per gli impianti elettrici nei luoghi con pericolo di esplosione, è previsto il seguente iter tecnico-amministrativo:

- l'installatore verifica la conformità dell'impianto alla normativa tecnica applicabile e rilascia al datore di lavoro la dichiarazione di conformità ai sensi della normativa vigente;
- il datore di lavoro mette in esercizio l'impianto e, entro 30 giorni, invia la dichiarazione di conformità all'ASL/ARPA territorialmente competente;
- l'ASL/ARPA competente per territorio effettua l'omologazione dell'impianto, con la prima verifica sulla conformità alla normativa vigente di tutti gli impianti denunciati, rilasciando il relativo verbale;
- il datore di lavoro effettua regolari manutenzioni e fa eseguire all'ASL/ARPA o a un Organismo abilitato dal Ministero dello Sviluppo Economico le verifiche periodiche biennali;
- l'ASL/ARPA (o l'Organismo abilitato incaricato) effettua le verifiche straordinarie in caso di esito negativo della verifica periodica, modifica sostanziale dell'impianto o richiesta del datore di lavoro.

Procedimento

Nota:

(2) G.U. 8 gennaio 2002, n. 6.

Le “prime verifiche”, le “verifiche periodiche” e le “verifiche straordinarie” sono onerose e le spese relative sono a carico del datore di lavoro. Per quanto attiene ai gas, vapori o nebbie infiammabili sono gli impianti nelle aree classificate come zone 0 e 1 ad essere soggetti alla normativa, che, nelle “gallerie grisutose”, corrispondono ai tratti classificati rispettivamente 1a, 1b, 1c e 2, che possono ricondursi alle “condizioni pericolose 1 e 2”. Pertanto gli impianti elettrici soggetti alle verifiche di cui ai Capi III e IV del D.P.R. n. 462/2001 sono esclusivamente quelli realizzati con apparecchi e sistemi di protezione del Gruppo I e di Categoria M1 o M2.

Tali prodotti, prescritti nelle “condizioni pericolose 1 e 2”, garantiscono infatti le stesse barriere di sicurezza garantite dagli analoghi prodotti del Gruppo II e di Categoria 1 e 2, idonei rispettivamente per zone 0 e 1 negli ambienti di superficie e nelle industrie, e richiedono le stesse procedure di valutazione della conformità. Dalle verifiche sono esclusi i veicoli e le macchine operatrici di cantiere.

● **Sezionamento degli impianti elettrici**

Una ulteriore cautela da adottare nelle gallerie grisutose, per quanto riguarda l'impianto elettrico, è il “sezionamento” degli impianti elettrici.

Per la Classe 1a, al raggiungimento della concentrazione di gas 0,35% si devono attuare procedure che prevedano la messa fuori tensione manuale degli impianti elettrici non idonei a funzionare in atmosfera potenzialmente esplosiva costituita dalla miscela aria-grisù, ad eccezione del sistema di controllo dell'esplosività dell'atmosfera e dell'impianto di ventilazione (se è esterno).

Al raggiungimento della concentrazione di gas pari al 5% in volume anche l'impianto di monitoraggio, solo dopo l'attivazione della procedura di allarme, deve essere messo fuori tensione.

Classe 1b

Per la Classe 1b, al raggiungimento della concentrazione di gas 0,35% l'impianto di monitoraggio deve prevedere la messa fuori tensione automatica degli impianti elettrici non idonei a funzionare in atmosfera potenzialmente esplosiva costituita dalla miscela aria-grisù, ad eccezione degli impianti elettrici relativi ai servizi di sicurezza, ossia l'impianto di ventilazione, il sistema di controllo dell'esplosività dell'atmosfera, l'illuminazione di sicurezza, l'impianto di comunicazione interno-esterno ecc.

Al raggiungimento della concentrazione di gas pari al 5% in volume l'impiantistica elettrica a sicurezza deve essere messa automaticamente fuori tensione.

Classe 1c

Per la Classe 1c, al raggiungimento della concentrazione di gas 0,35% l'impianto di monitoraggio deve prevedere la messa fuori tensione automatica degli impianti elettrici non idonei a funzionare in atmosfera potenzialmente esplosiva costituita dalla miscela aria-grisù, ad eccezione degli impianti elettrici relativi ai servizi di sicurezza, ossia l'impianto di ventilazione, il sistema di controllo dell'esplo-

sività dell'atmosfera, l'illuminazione di sicurezza, l'impianto di comunicazione interno-esterno, ecc. e dell'impianto di illuminazione del franco di sicurezza.

Al raggiungimento della concentrazione di gas pari al 5% in volume l'impiantistica elettrica a sicurezza deve essere messa automaticamente fuori tensione.

Per la Classe 2, al raggiungimento della concentrazione di gas pari al 5% in volume tutta l'impiantistica elettrica deve essere messa automaticamente fuori tensione.

Classe 2

Rischio incendio

● Elementi di valutazione

Il tema della sicurezza antincendio durante la costruzione di gallerie mira a definire le misure di buona tecnica che devono essere poste in essere a tutela dei lavoratori dall'evento incendio.

Il rischio incendio nelle gallerie va inteso come parte integrante:

Normativa

– dell'applicazione in cantieri sotterranei del D.M. 10 marzo 1998 «Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro»⁽³⁾;

– della redazione del «Piano di sicurezza e coordinamento» e del «Piano operativo di sicurezza» di cui al Titolo IV del D.Lgs. n. 81/2008 con riferimento alle «Misure di sicurezza contro i possibili rischi di incendio o esplosione connessi con lavorazioni e materiali pericolosi utilizzati in cantiere».

Lo sviluppo di un incendio è uno dei principali rischi a cui sono esposti i lavoratori impegnati nella realizzazione delle gallerie. È pertanto necessario che tale rischio venga considerato fin dalla fase di progettazione dell'opera.

Il D.Lgs. n. 81/2008 impone, esplicitamente, la valutazione del rischio incendio nei luoghi di lavoro da effettuarsi secondo le indicazioni del decreto applicativo D.M. 10 marzo 1998. Tale decreto, pur applicandosi solo parzialmente ai cantieri, costituisce un riferimento fondamentale in materia di rischio incendio; inoltre classifica i «cantieri temporanei o mobili in sotterraneo» come «attività a rischio di incendio elevato».

La valutazione del rischio incendio è finalizzata all'obiettivo primario di salvaguardare le persone presenti nei cantieri, cercando di eliminare, o almeno ridurre, la possibilità di insorgenza degli incendi (prevenzione), e di garantire la tutela del personale, compresi i soccorritori, e lo spegnimento dell'incendio (protezione). Tale valutazione deve servire a conoscere il rischio e a definire le misure di sicurezza antincendio che i datori di lavoro sono tenuti a porre in essere.

Piano di emergenza

La valutazione deve trovare espressione scritta nei Piani di Sicurezza e Coordinamento (PSC) e nei Piani Operativi di Sicurezza (POS) delle imprese impegnate nei lavori. Deve essere redatto il Piano di Emergenza (PE), documento contenente la descrizione delle misure stabilite per la gestione delle emergenze.

Gli adempimenti sono posti in capo al Committente, per gli aspetti di pianificazione e coordinamento, e ai Datori di lavoro delle aziende esecutrici, per gli aspetti di dettaglio e applicativi che riguardano i compiti specifici loro assegnati. Il Committente e i Datori di lavoro

Nota:

(3) G.U. 8 gennaio 2002, n. 6.

devono fare valutare il rischio incendio da una persona esperta in materia.

L'identificazione di tutti quegli elementi che, se presenti in sotterraneo, possono concorrere a determinare l'insorgenza e la propagazione di un incendio è uno degli aspetti fondamentali per la valutazione del rischio incendio.

Si ricorda che per l'accensione di un incendio è necessaria la contemporanea presenza di materiale combustibile o infiammabile e di un innesco. Tra i suddetti elementi assumono particolare rilevanza i materiali combustibili o infiammabili (quali ad esempio: legname, teli di impermeabilizzazione, tubo di ventilazione, nastri trasportatori, gas tecnici, carburanti, ecc.).

La valutazione deve:

- individuarli nelle diverse fasi di lavoro e deve verificare: la possibilità di eliminarli, di ridurre la quantità e di migliorarne le caratteristiche di reazione al fuoco, le modalità e le zone di accumulo, le modalità di utilizzo, l'eventuale vicinanza con altri materiali;
- esaminare le conseguenze di un eventuale incendio in funzione delle condizioni del luogo di lavoro, delle persone esposte, delle possibilità d'intervento, d'allarme e di fuga;
- definire le responsabilità operative per l'uso e lo stoccaggio.

La valutazione deve individuare anche le possibili cause di innesco (fiamme, scintille o calore) nell'ambito delle lavorazioni, degli impianti, dei mezzi e delle attrezzature di lavoro.

Con riferimento alle lavorazioni, sia frequenti che saltuarie, che possono causare inneschi, la valutazione deve esaminare le condizioni di lavoro, in analogia con quanto fatto per i materiali.

L'esame deve riguardare:

- le condizioni ordinarie e quelle anomale prevedibili;
- la possibile interferenza fra lavorazioni;
- la possibile interazione tra lavorazioni e materiali anche ad esse estranei.

Per le attività più rischiose può essere opportuno istituire specifiche procedure operative. Con riguardo a impianti, mezzi e attrezzature presenti in sotterraneo, la valutazione deve individuarne le caratteristiche minime di sicurezza e le condizioni d'installazione, d'impiego e di manutenzione.

La valutazione deve considerare esplicitamente nell'analisi anche i fattori organizzativi, che possono aggravare o attenuare il rischio (coordinamento fra le imprese, successione dei lavori, capacità delle maestranze, procedure, responsabilità, controlli e manutenzioni).

La valutazione del rischio incendio deve definire le misure di sicurezza necessarie e i compiti affidati ai vari soggetti operanti.

Le principali misure di sicurezza devono essere tradotte in specifiche procedure scritte e in ordini di servizio, con esplicitazione dei vari responsabili operativi. Al Datore di lavoro dell'impresa esecutrice della parte principale dell'opera compete l'onere di:

**Elementi
alla base
del rischio**

Cause di innesco

**Procedure
operative**

- realizzare gli apprestamenti di base (rete antincendio, postazioni SOS, sistema di allarme ecc.);
- definire le regole di comportamento di cantiere e controllarne l'applicazione;
- governare il sistema di prevenzione e protezione stabilito dalla valutazione dei rischi;
- verificare periodicamente l'efficienza del sistema, anche tramite esercitazioni di cantiere.

DVR incendio

Alle singole imprese esecutrici spetta il compito di realizzare le misure di sicurezza relative alle proprie attività, anche a tutela di eventuali altre imprese e di lavoratori autonomi e quelle eventualmente assegnate dal Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC). Poiché gli aspetti più critici sono legati ai rapporti fra le imprese e alla vigilanza in cantiere, l'aggiudicataria-affidataria deve trasmettere alle esecutrici e ai lavoratori autonomi, con idoneo anticipo sul loro inizio lavori, il documento di valutazione dei rischi di incendio e le regole di sicurezza adottate.

L'impresa che esegue la parte principale dell'opera deve svolgere azione di vigilanza sull'effettivo rispetto delle regole di sicurezza antincendio, adottando le azioni più opportune per eliminare prontamente le difformità riscontrate, e deve esigere dalle imprese esecutrici l'organigramma aggiornato di cantiere, con indicazione degli addetti all'emergenza.

Le imprese esecutrici e i lavoratori autonomi devono comunicare alla principale e al Coordinatore per la Sicurezza, con opportuno anticipo sul proprio inizio lavori, la presenza di potenziali condizioni di rischio connesse alle proprie lavorazioni, per consentire al Coordinatore e all'impresa principale di pianificare e porre in essere eventuali misure di sicurezza aggiuntive.

È compito dell'impresa principale e del Coordinatore per la Sicurezza garantire la comunicazione sia tra loro che con le imprese esecutrici e i lavoratori autonomi, per tutta la durata dei lavori. Questo al fine di rilevare e correggere inadeguatezze del sistema e per comunicare prontamente principi di incendio e situazioni di rischio.

● Misure di sicurezza antincendio

Per rendere minimo il rischio di incendi e, in caso di una loro insorgenza, garantire la protezione dei lavoratori, è necessario porre in essere una serie articolata di misure di sicurezza antincendio.

La quantità di materiali combustibili ed infiammabili presente in galleria non deve superare quella strettamente necessaria alle lavorazioni in atto. Devono essere comunque evitati accumuli al di fuori delle zone destinate al deposito. I materiali utilizzati per le lavorazioni in galleria devono possedere caratteristiche di reazione al fuoco tali da rendere minimi i rischi di insorgenza e propagazione di un incendio.

Materiali combustibili e infiammabili

Le “Classi di reazione al fuoco” dei materiali sono assegnate in conformità alle indicazioni della normativa vigente antincendi.

La relativa certificazione deve essere detenuta in cantiere.

Il deposito permanente di materiali combustibili e infiammabili in galleria è vietato. Il deposito provvisorio di tali materiali deve essere, temporalmente e quantitativamente, ridotto alle esigenze esecutive della lavorazione in atto. Tale deposito deve essere soggetto a specifica analisi di rischio e alle conseguenti misure di sicurezza.

Nelle opere di carpenteria è possibile utilizzare legname.

Negli impalcati destinati ai piani di lavoro della cassaforma del getto del rivestimento e del carro di impermeabilizzazione è vietata invece l'utilizzazione di legname.

Negli impalcati provvisori è ammesso l'impiego di legname solo se preventivamente trattato con vernici ignifughe, secondo le seguenti specifiche:

- le vernici devono essere conformi alla normativa pertinente e nel certificato di prova deve essere previsto l'impiego su superfici calpestabili;
- deve essere disponibile in cantiere la documentazione relativa all'omologazione della vernice utilizzata;
- la verniciatura deve conferire al legname caratteristiche di reazione al fuoco di Classe 1;
- deve essere prodotta “dichiarazione della ditta” che effettua il trattamento sul tipo di vernice utilizzata e sulla conformità della modalità di posa in opera rispetto a quanto indicato nel certificato di prova.

In galleria è vietato il deposito permanente di bombole contenenti gas, anche non combustibile, purché non destinate al salvataggio. Possono essere presenti solo le bombole necessarie alle lavorazioni in corso cui sono destinate; esse devono essere portate fuori dal sotterraneo quando non ne è prevista l'utilizzazione a breve. Durante la fermata dell'attività di cantiere tutte le bombole devono essere portate all'esterno.

In sotterraneo, le bombole non devono interferire con il transito dei mezzi. Durante il deposito temporaneo, le bombole devono essere ubicate a distanza di sicurezza da materiali combustibili e infiammabili.

I materiali per l'impermeabilizzazione (tessuto non tessuto e telo impermeabilizzante) devono avere Classe di reazione al fuoco non superiore a 1.

I tubi di ventilazione devono avere Classe di reazione al fuoco non superiore a 1 e devono essere di tipo antistatico nelle gallerie classificate a rischio grisù (Classi 1a, 1b, 1c, 2).

I nastri trasportatori devono avere classe di reazione al fuoco non superiore a 1 e devono essere di tipo antistatico nelle gallerie classificate a rischio grisù (Classi 1a, 1b, 1c, 2).

Il progettista degli impianti elettrici deve valutare se la costruenda galleria è classificabile come un ambiente a maggior rischio in caso

Apprestamenti antincendio

d'incendio. L'impiantistica elettrica deve essere congruente con la classifica attribuita.

Nel sotterraneo devono essere facilmente individuabili, segnalati e, ove necessario, illuminati in modo idoneo, tutti gli apprestamenti antincendio e in particolare:

- gli idranti e la riserva di manichette;
- il container di salvataggio;
- il veicolo per l'immediata evacuazione del personale;
- i cartelli indicanti la direzione per l'uscita dal sotterraneo;
- le zone in cui sono collocati gli estintori portatili;
- l'inizio del franco di sicurezza attivo durante la fase di ricerca gas nelle gallerie di Classe 1c.

All'esterno e all'imbocco della galleria devono essere facilmente individuabili, segnalati e, ove necessario, illuminati in modo idoneo, per la sicurezza antincendio:

- i serbatoi della riserva idrica;
- l'attacco esterno DN 70 alla rete idrica antincendio ;
- il posto di coordinamento dei soccorsi;
- il percorso che devono seguire i soccorritori esterni per raggiungere la galleria;
- il container esterno con l'attrezzatura di emergenza;
- le zone in cui sono collocati gli estintori portatili;
- il cartello riportante la corrispondenza tra colore del semaforo e concentrazione di gas, affisso in prossimità del semaforo all'imbocco galleria;
- i cartelli che prescrivono il divieto di accesso per alcune tipologie di mezzi (mezzi GPL e benzina).

Emergenza

In caso di emergenza incendio, il sistema di sicurezza deve rapidamente ed efficacemente mettere in allarme il sotterraneo, dare l'avvio alle procedure di intervento e garantire la comunicazione fra i soccorritori e le loro strutture di comando. Il sistema è costituito da una rete che comprende apparecchiature di comunicazione e segnalazione (postazioni SOS e sistema di comunicazione per i soccorritori) e di allarme.

Le postazioni SOS servono per garantire la comunicazione tra i lavoratori e l'esterno. L'opportunità di allestire una rete di comunicazione ad uso dei soccorritori deve essere oggetto di confronto con gli Enti di soccorso (118, Vigili del Fuoco).

In condizioni di emergenza incendio, l'obiettivo primario è quello di porre in salvo le persone presenti nel sotterraneo. Le misure necessarie a perseguire il suddetto obiettivo devono essere garantite durante tutta la durata dei lavori, in ogni situazione; in particolare il sistema di salvataggio deve garantire al personale di raggiungere l'esterno il più rapidamente possibile.

L'uscita dal sotterraneo deve essere segnalata mediante cartellonistica di adeguate dimensioni (scritta bianca su fondo verde) negli incroci, nelle diramazioni e, quando l'articolazione del sotterraneo può generare dubbi, lungo il percorso più breve da seguire.

Il veicolo destinato esclusivamente all'abbandono del sotterraneo in caso di emergenza deve essere dedicato e sempre disponibile in galleria in prossimità del fronte di scavo.

In caso di incendio il container di salvataggio è il ricovero temporaneo per i lavoratori quando non sia possibile raggiungere l'esterno. Deve possedere caratteristiche di resistenza al fuoco e di impermeabilità ai fumi, essere alimentato con aria respirabile non proveniente dall'ambiente di galleria e contenere attrezzature di soccorso e salvataggio. Deve essere presente in galleria quando la distanza fra fronte ed imbocco raggiunge i 1000 m e posizionato a non più di 300 m dal fronte.

Il Piano di Emergenza (PE) deve espressamente prevedere le situazioni di impiego e le modalità di utilizzazione del container tenuto conto delle peculiarità delle singole gallerie e degli scenari incidentali previsti.

Gli autosalvatori, che forniscono ai lavoratori una riserva limitata di aria respirabile quando le condizioni ambientali lo richiedono, devono essere presenti in galleria se la distanza tra fronte ed imbocco raggiunge i 500 m. Per gli interventi della squadra di soccorritori aziendale devono essere disponibili degli autorespiratori, che forniscono una riserva di aria da utilizzare in caso di irrespirabilità dell'aria ambiente.

In caso di incendio può essere necessario un intervento della squadra di soccorritori aziendali che si trova all'esterno. A disposizione di tale squadra deve essere detenuta dell'attrezzatura di primo intervento in un container posto in prossimità dell'imbocco del sotterraneo.

In caso di incendio può essere necessario l'uso di attrezzatura varia: lampade portatili, corde, moschettoni, piede di porco, cesoie, piccone, ascia, guanti anticalore, completo antifiamma, coperta antifiamma, caschi antincendio con visiera.

● Presidi antincendio

I presidi antincendio sono costituiti dagli estintori, dalla rete idrica antincendio e dalle attrezzature specifiche.

Gli estintori sono presidi antincendio di primo intervento che devono essere disponibili in posizioni predefinite del sotterraneo, in prossimità degli impianti, sulle macchine operatrici e sui mezzi di trasporto. In particolare, per circoscrivere ed estinguere i principi d'incendio che si verificano a bordo del veicolo o in prossimità di esso, tutti i mezzi devono essere equipaggiati con estintori portatili di adeguata capacità, caricati con polveri di Classe A, B, C e conformi alle prescrizioni di legge vigenti.

Nelle situazioni ordinarie per le autovetture e i fuoristrada si ritiene idoneo un estintore del tipo a polvere almeno di Classe 5A-21BC (2 kg), mentre per gli altri tipi di veicoli è idoneo un estintore a polvere almeno di Classe 34A-233BC (6 kg).

**Piano
di emergenza**

Estintori

Rete idrica antincendio

La rete idrica antincendio è il presidio principale del sistema antincendio e deve essere presente per tutta l'estensione del sotterraneo. L'impianto idrico antincendio deve garantire la pressione e la portata nel punto idraulico più sfavorevole e nella condizione di massima estensione della galleria prevista. La massima portata e la massima pressione richieste possono essere assicurate o per carico geodetico o mediante opportuno impianto di sollevamento.

Il calcolo idraulico della rete di tubazioni consente di dimensionare ogni tratto di tubazione (diametro nominale e materiale) in base alle perdite di carico distribuite e localizzate.

In particolare, nella progettazione devono essere rispettati i seguenti requisiti:

a) Portata e pressione. L'impianto deve essere in grado di garantire una portata, per ciascun idrante a muro DN 45 o naspo installato, non minore di 0,002 m³/s (120 l/min) ad una pressione residua non minore di 0,2 MPa (2 bar) considerando simultaneamente operativi:

1) non meno di 2 idranti nella posizione idraulicamente più sfavorevole nelle gallerie scavate a partire da un imbocco principale;

2) non meno di 3 idranti nella posizione idraulicamente più sfavorevole nelle gallerie scavate a partire da un imbocco secondario (finestra) e che comportano un innesto con due fronti di scavo opposti, in virtù della maggiore possibilità di utilizzo in corrispondenza della zona di innesto.

b) Autonomia della riserva idrica. Anche qualora l'impianto sia alimentato dall'acquedotto pubblico deve essere realizzata una riserva idrica di idonea capacità, ossia in grado di garantire l'erogazione prevista per almeno 60 minuti.

All'imbocco della galleria deve essere installato un attacco di mandata per autopompa, che consenta l'immissione di acqua nella rete di idranti in condizioni di emergenza mediante le autopompe dei VV.FF.

Il tipo, il materiale e il sistema di posa dei sostegni delle tubazioni interne devono essere tali da assicurare la stabilità dell'impianto nelle più severe condizioni di esercizio ragionevolmente prevedibili. Dette tubazioni devono poi essere installate in modo da non risultare esposte a danneggiamenti per urti meccanici.

La rete idrica antincendio deve essere realizzata con tubazioni in acciaio. Questo obiettivo deve essere correlato con le caratteristiche progettuali della galleria. In particolare occorre tener conto della sezione tipo adottata e del succedersi cronologico delle fasi lavorative che vanno dallo scavo vero e proprio fino alla forma compiuta dell'opera.

L'ultimo tratto di rete, che va dalla zona in cui sono già state poste in opera le murette fino al fronte di scavo, può essere realizzato con tubazioni in polietilene. La giunzione tra rete in acciaio e tratto in polietilene deve vedere la presenza di una valvola di intercettazione, normalmente in posizione aperta, per evitare la messa fuori servizio

dell'intero impianto qualora si verifichi un incendio nella zona del fronte. Infatti, il tratto di rete in polietilene presenta scadenti proprietà meccaniche all'innalzamento della temperatura e in condizioni di emergenza la chiusura della saracinesca consente di mantenere in pressione la rete in acciaio a monte. Lungo la rete, ogni 50 m, deve essere installata una cassetta idrante a muro, da collegarsi alle tubazioni flessibili (manichette).

Le manichette consentono l'intervento su un incendio da distanza ravvicinata da parte del personale che opera all'interno della galleria. In particolare, estende la possibilità di protezione della rete idrica antincendio fissa a zone altrimenti non raggiungibili.

In galleria ogni 50 m sono generalmente presenti gli idranti a muro. Non sempre è possibile garantire il passo di 50 m tra un idrante ed il successivo (es. lavori di getto che richiedono la rimozione di un idrante, impossibilità di seguire l'avanzamento del fronte con l'installazione progressiva degli idranti, ecc.). Occorre pertanto prevedere delle riserve di manichette da utilizzare in condizioni di emergenza per aumentare il raggio di azione della rete idrica garantendo la possibilità di irrorare con un getto d'acqua tutti i punti della galleria. In particolare, una riserva di manichette deve essere disponibile nel container esterno e in apposito armadio di colore rosso da ubicare in prossimità dell'ultimo attacco di idrante verso il fronte.

Manichette

● Altre misure di sicurezza

Nelle gallerie in costruzione è vietato l'impiego di veicoli e di motori alimentati a benzina, GPL, gas naturale (metano) e, più in generale, con combustibile ad alta tensione, perché emanano facilmente vapori). Appositi cartelli di divieto devono essere affissi agli ingressi del sotterraneo.

Impiego di veicoli

Tutte le lavorazioni che possono generare inneschi devono essere effettuate a distanza di sicurezza da materiali combustibili e infiammabili. In prossimità di tali lavorazioni devono essere disponibili estintori in numero e capacità estinguente conformi alle indicazioni del D.M. 10 marzo 1998.

Distanze di sicurezza

Nel caso sia impossibile operare a distanza di sicurezza, la lavorazione deve essere eseguita secondo una specifica procedura di sicurezza e deve essere preventivamente autorizzata dalla direzione aziendale.

Le lavorazioni a rischio di innesco di incendio o di esplosione devono essere conformi alle indicazioni di sicurezza relative alla classe della galleria in relazione al rischio grisù.

Le operazioni di saldatura autogena e di ossitaglio devono essere eseguite da personale addestrato.

Saldatura

I carrelli portabombole devono essere dotati di estintori e collocati in posizione di sicurezza rispetto al transito dei mezzi.

Se il combustibile utilizzato è un gas con densità superiore a quella dell'aria (ad esempio GPL) sono vietate le operazioni di saldatura e

Rifornimenti dei mezzi

taglio all'interno o in vicinanza di pozzi, nicchie, e negli spazi ristretti che possono favorire ristagni di gas.

I rifornimenti dei mezzi devono essere eseguiti con procedure che riducano il carico e il rischio d'incendio.

Le modalità di rifornimento devono tenere conto di quanto segue:

- lo stoccaggio di carburante in galleria deve essere vietato;
- il rifornimento di carburante dei mezzi deve, di norma, essere effettuato fuori dalla galleria;
- il rifornimento di carburante dei mezzi che operano in galleria con continuità o che presentano velocità di traslazione ridotta è consentito all'interno del sottterraneo purché il travaso avvenga attraverso un idoneo erogatore azionante una pompa e non per gravità. Il gruppo di pompaggio deve essere realizzato a sicurezza in relazione all'inflammabilità del liquido travasato;
- il trasporto del carburante deve avvenire con un mezzo dedicato dotato di serbatoio conforme alle norme per il trasporto di merci pericolose (ADR);
- sul mezzo dedicato devono essere disponibili due estintori portatili di idonea tipologia e capacità estinguente; gli estintori devono essere installati sui due lati, in posizione visibile, e in maniera tale da renderne immediato l'utilizzo da parte di un operatore a terra;
- lo stazionamento del mezzo di rifornimento di carburante all'interno della galleria è consentito, in posizione defilata e di sicurezza, limitatamente al tempo necessario all'esecuzione delle operazioni di rifornimento.

Impermeabilizzazione

Per la posa del telo impermeabilizzante e delle guaine bituminose devono essere rispettate almeno le seguenti misure tecniche e procedurali di sicurezza:

- la posa deve procedere di pari passo con la realizzazione del rivestimento definitivo; in ogni caso non può precedere per più di 50 m il rivestimento definitivo;
- su ogni piano di lavoro del carro posa telo deve essere disponibile un'attrezzatura per appoggiare i termosaldatori realizzata con materiali incombustibili;
- il carro posa telo deve essere dotato di un naspo antincendi posto dalla parte più prossima al rivestimento definitivo e collegato alla rete idrica;
- sul carro posa telo devono essere disponibili 4 estintori di cui 2 alla base, posti sui due lati della struttura, e 2 sul piano sommitale di lavoro; detti estintori devono avere capacità estinguente pari alle Classi 34A-233BC o 89BC;
- sul carro posa telo deve essere presente solo il materiale di impermeabilizzazione combustibile e/o infiammabile strettamente necessario alla lavorazione in corso.

Registri di controllo

Le misure di sicurezza antincendio devono essere mantenute efficienti per tutta la durata dei lavori. A tale scopo il cantiere deve essere dotato di un sistema di controllo e manutenzione (registri di controllo). Tale sistema deve essere previsto dal Coordinatore per

la Sicurezza e contemplato nei documenti di sicurezza (PSC e POS) e gestito dall'impresa che esegue la parte principale dell'opera.

All'impresa principale spetta il controllo sugli apprestamenti di base e sulle misure di sicurezza generali, garantendo la sorveglianza, la verifica e la manutenzione degli impianti elettrici, degli impianti e delle attrezzature antincendio, quali la segnaletica, i sistemi di comunicazione e allarme, la cartellonistica per l'evacuazione, il veicolo di evacuazione, il container di salvataggio, gli autorespiratori, l'elisu-
perficie, i presidi antincendio, il container esterno col materiale di salvataggio, l'attrezzatura di soccorso.

Inoltre, l'impresa principale deve vigilare sul rispetto delle misure di sicurezza di carattere organizzativo, quali quelle concernenti:

- i materiali (depositi, legnami, bombole ecc.);
- la presenza, l'idoneità e le dotazioni dei sicuristi;
- la percorribilità delle vie di fuga e delle vie di accesso al cantiere;
- la limitazione di accesso al sotterraneo di veicoli e motori;
- la limitazione di accesso al sotterraneo di persone;
- l'informazione, la formazione e l'addestramento del personale di cantiere;
- la presenza del Piano di Emergenza in cantiere e la sua trasmissione ai Vigili del Fuoco, al 118 e alle imprese esecutrici.

● Imprese operanti in appalto

Infine, l'impresa principale deve vigilare sui compiti assegnati alle altre imprese e garantire la sorveglianza e l'efficienza generale dell'intero sistema di sicurezza antincendio.

Ogni impresa (principale e secondaria) deve farsi carico dei seguenti compiti concernenti le proprie lavorazioni e dotazioni:

- verifica e manutenzione degli estintori e degli autosalvatori;
- vigilanza sulle lavorazioni pericolose;
- vigilanza, controllo e manutenzione dei propri impianti, mezzi ed attrezzature a possibile rischio d'incendio;
- pronta segnalazione all'impresa principale dei problemi rilevati, delle situazioni di rischio, dei principi di incendio (anche se immediatamente spenti e senza conseguenze).

Le imprese esecutrici che realizzano la galleria devono, con i propri uomini, i mezzi, l'organizzazione e una formazione specifica, attuare le misure di prevenzione e lotta antincendio, di gestione dell'emergenza, di pronto soccorso e primo salvataggio dei lavoratori.

Per raggiungere questo obiettivo è indispensabile la formazione generale per tutti i lavoratori sui principali rischi di incendio ed esplosione presenti nei lavori in sotterraneo e la formazione specifica del personale designato alla lotta antincendio, alla gestione dell'emergenza e al pronto soccorso.

Il Piano di Emergenza (PE), redatto per lo specifico cantiere, deve riportare anche le misure da attuare in caso di incendio. Si deve ba-

Vigilanza

**Formazione
specificata**

**Piano
di Emergenza**

sare sulla valutazione del rischio, e in particolare sull'analisi dei possibili scenari e sulle scelte di prevenzione e protezione effettuate.

Il D.M. 10 marzo 1998 esclude i cantieri dall'obbligo della redazione del Piano di Emergenza. Tuttavia si ritiene indispensabile la redazione del Piano per i cantieri in sotterraneo, poiché sono luoghi a «rischio di incendio elevato», caratterizzati da difficoltà di accesso alle zone di lavoro e da una complessità di coordinamento tra le imprese.

Il Piano deve considerare tutte le imprese presenti e tutte le attività svolte e deve essere trasmesso, assieme ai relativi aggiornamenti, a tutte le imprese esecutrici, ai Vigili del Fuoco, al 118, consegnato ai sicuristi ed essere disponibile negli uffici di cantiere.

Il Piano deve contenere:

- i riferimenti del cantiere (località, opera da realizzare, date dei lavori, committente e principali imprese, numero massimo di lavoratori previsti ecc.);
- nominativi dei responsabili della gestione delle emergenze e loro recapiti di emergenza;
- una sintesi della valutazione del rischio incendi (analisi di rischio, misure di sicurezza adottate, responsabilità, procedure);
- le modalità di rilevazione e allarme incendio;
- le procedure da seguire da parte dei responsabili dell'impresa, dei lavoratori e degli addetti a particolari incarichi quali i sicuristi;
- le procedure per chiamare i Vigili del Fuoco e il 118 e per fornire loro la necessaria assistenza in cantiere. In particolare la procedura di chiamata deve prevedere che il richiedente fornisca il suo nome e il numero di telefono da cui chiama, la tipologia di evento in atto, il numero delle persone coinvolte, l'ubicazione dell'imbocco da raggiungere per l'ingresso in sotterraneo, i supporti disponibili in cantiere, il telefono e il nome della persona da contattare sul posto se diversa dal richiedente;
- gli specifici incarichi e procedure di emergenza per le attività e le aree a maggior rischio;
- le planimetrie indicanti le vie di accesso, la geometria del sotterraneo, la posizione degli attacchi alla rete antincendio, degli estintori, del container di salvataggio, del veicolo di evacuazione, del materiale di soccorso, dei quadri elettrici, degli eventuali depositi di materiale combustibile, delle valvole di intercettazione, dei serbatoi d'acqua antincendio, delle postazioni di allarme e comunicazione, delle aree di sosta dei mezzi di soccorso, della elisuperficie eventuale, del container esterno di salvataggio e del posto di coordinamento soccorsi;
- le modalità di informazione del personale sul Piano stesso;
- la periodicità delle esercitazioni di emergenza in cantiere.

Il Piano deve individuare una precisa gerarchia operativa per l'emergenza e deve essere periodicamente aggiornato, in relazione all'evolversi dei lavori.