

Affidabilità: la “Cenerentola” nella progettazione degli impianti di ventilazione in galleria

Original

Affidabilità: la “Cenerentola” nella progettazione degli impianti di ventilazione in galleria / Bersano, Daniele; Labagnara, Davide; Patrucco, Mario; Pellegrino, Valeria. - In: GEAM. GEOINGEGNERIA AMBIENTALE E MINERARIA. - ISSN 1121-9041. - 133(2011), pp. 17-26.

Availability:

This version is available at: 11583/2460396 since:

Publisher:

Torino : Associazione mineraria subalpina

Published

DOI:

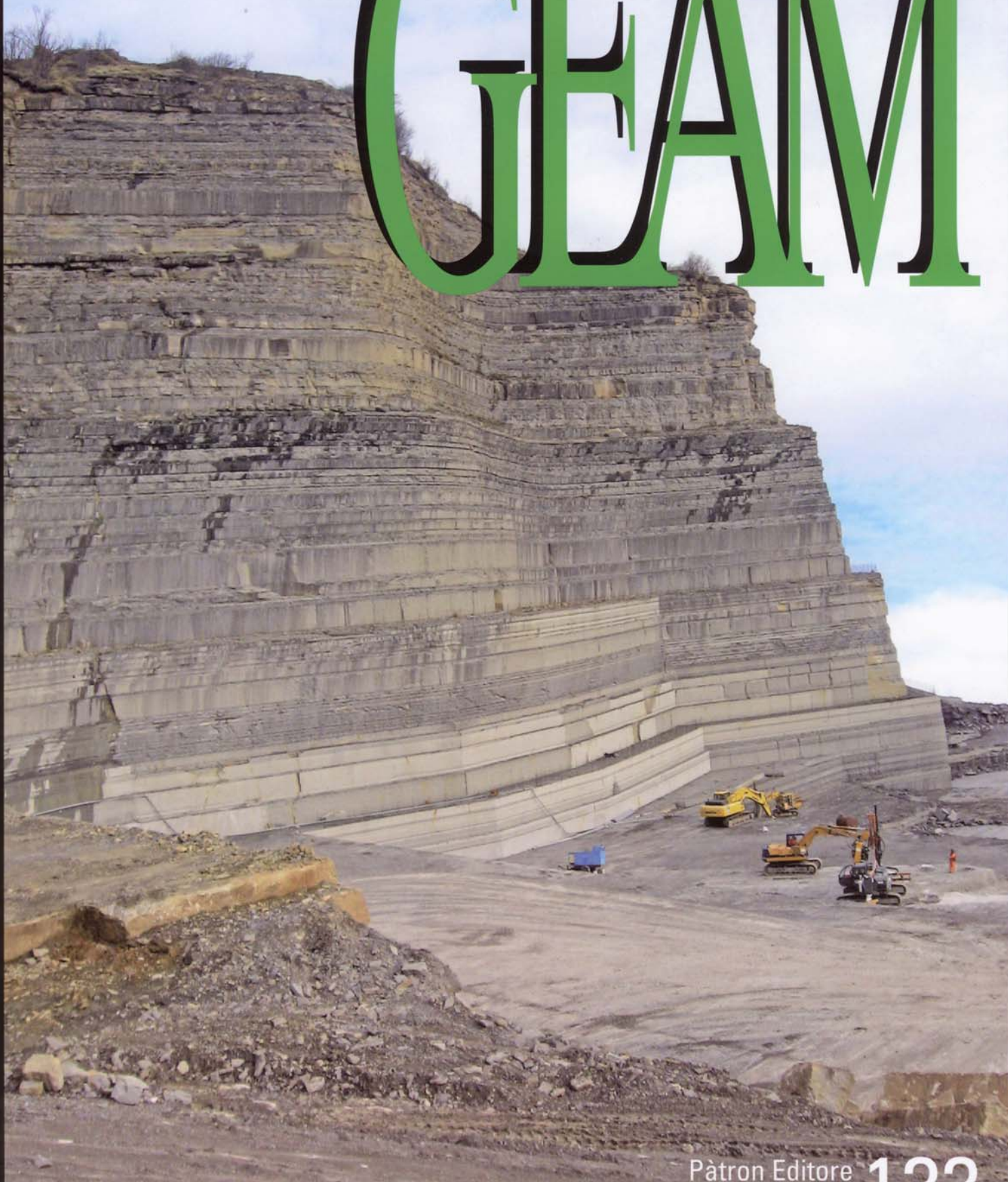
Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

GEAM



GEAM – Geingegneria Ambientale e Mineraria Rivista dell'Associazione Georisorse e Ambiente Anno XLVIII, n. 2, agosto 2011 (133)

Direzione e redazione

Associazione Georisorse e Ambiente
c/o DITAG - Dip. Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie - Politecnico di Torino
Corso Duca degli Abruzzi, 24 - 10129 Torino
Tel.: 011 0907681
Fax: 011 0907689
e-mail: geam@polito.it
www.geam.org

Direttore Responsabile
Daniele Peila

Comitato di Redazione

Gian Andrea Blengini - Politecnico di Torino; Marta Bottero - Politecnico di Torino; Claudia Chiappino - SET s.r.l., Bergamo; Marina De Maio - Politecnico di Torino; Pietro Salizzoni - Ecole Centrale de Lyon; Laura Turconi - CNR - IRPI di Torino;

Segretaria di Redazione
Laura Bianco

Gestione editoriale affidata a:

Patron Editore - Via Badini, 12 - 40057 Quarto Inferiore - Granarolo dell'Emilia - Bologna
Tel. 051 767003 - Fax 051 768252
www.patroneditore.com
e-mail: info@patroneditore.com

Abbonamenti

L'importo può essere versato sul Conto Corrente Postale n. 000016141400 intestato a Patron Editore, Via Badini 12, 40057 Quarto Inferiore, Granarolo dell'Emilia (BO)
Italia € 63,00 - fascicoli € 26,00
Estero € 73,00 - fascicoli € 31,00
abbonamenti@patroneditore.com

Pubblicità

periodici@patroneditore.com

Grafica e impaginazione

Exegi Snc - Bologna

Stampa

Tipografia LI.PE. Litografia Persicetana - San Giovanni in Persiceto, Bologna, settembre 2011

Riconosciuta dal C.N.R. quale rivista nazionale del settore Geo-Minerario, viene pubblicata sotto gli auspici del CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE Anagrafe Naz. Ricerche 518915NF

ISSN 1121 - 9041

Autorizzazione del Tribunale di Torino, n. 1682 del 20-11-1964

SOMMARIO

Georisorse Minerarie e Sicurezza

5

G. VOLA, E. LOVERA, R. SANDRONE, S. ALLEVI, E. PIAZZA

Riutilizzo di residui di "Pietra di Luserna" come risorsa nel settore delle costruzioni: tecnologia, sostenibilità ambientale ed economica

L'articolo illustra lo stato dell'arte delle conoscenze sul riutilizzo dei sottoprodotti derivanti dall'estrazione e lavorazione della "Pietra di Luserna" (Piemonte).

17

D. BERSANO, D. LABAGNARA, M. PATRUCCO, V. PELLEGRINO

Affidabilità: la "Cenerentola" nella progettazione degli impianti di ventilazione in galleria

Il lavoro illustra le problematiche per una corretta progettazione di un impianto di ventilazione per la costruzione di gallerie nell'ottica dell'approccio in Prevention through Design.

Ambiente e Sviluppo Sostenibile

27

I.R. SURACE, R. TORRI, D. MURGESE, A. DEMATTEIS

Gestione dei materiali di scavo: valutazione della presenza di amianto in roccia e suoli tramite microscopia ottica a luce polarizzata

La nota illustra l'applicazione di una metodologia di analisi di amianto tramite utilizzo di microscopia ottica a luce polarizzata (MOLP).

47

E. CIMNAGHI, G. MONDINI, M. VALLE

La costruzione di un sistema di indicatori per il monitoraggio nell'ambito del Dossier di Candidatura Unesco per il sito piemontese "I Paesaggi Vitivinicoli di Langhe-Roero e Monferrato"

Il lavoro illustra e descrive lo sviluppo del piano di monitoraggio per il Dossier di candidatura come Patrimonio Mondiale dell'Unesco per "I Paesaggi Vitivinicoli di Langhe-Roero e Monferrato".

SOMMARIO

Territorio e Difesa del Suolo

55 T. BELLONE, L. MUSSIO

Utopia, maps and the globe

L'articolo illustra l'evoluzione nei secoli della cartografia e come la geomatica ha contribuito allo sviluppo delle attività umane consentendo i trasporti e le comunicazioni tra i popoli.

Scavi Civili e Minerari e Geotecnologie

69 M. PATRUCCO, D. LABAGNARA, M. COGGIOLA, E. PIRA

Aspetti di valutazione e gestione del rischio associato alle fasi di generazione e riutilizzo del marino di galleria

Il lavoro tratta gli aspetti di Valutazione e Gestione del rischio occupazionale ed ambientale quale strumento decisionale nella impostazione e gestione delle attività di scavo in galleria e di definizione della destinazione finale del materiale escavato.

Le rubriche di GEAM

85 **Energia ed Ambiente**
R. VARVELLI

Le 12 cause che determinano l'effetto serra

87 **Congressi**

88 **Notizie**

Inaugurazione del "Palatino" a Torino

Lezione magistrale Prof. S. Pelizza

90 **Atti dell'Associazione**

Comitato Scientifico GEAM Scientific Committee

Presidente/Chairman

Yanni Badino – Politecnico di Torino

Georisorse Minerarie e Sicurezza/Mining and Safety

Paolo Berry – Università di Bologna; **Nuh Bilgin** – Istanbul Technical University (Turkey); **Lorenzo Brino** – LTF, Torino; **Raimondo Ciccu** – Università di Cagliari; **Carlos Dinis da Gama** – Lisbona Technical University (Portugal); **Mauro Fornaro** – Università di Torino; **Massimo Guarascio** – Università di Roma "La Sapienza"; **Francesco Luda di Cortemiglia** – Calcestruzzi S.p.A.; **Jakob Likar** – Lubiana University (Slovenia); **Mario Patrucco** – Politecnico di Torino; **Mario Pinzari** – Università Roma 3; **Marco Sertorio** – Università di Torino.

Territorio e Difesa del Suolo/Land Protection

Pietro Baraton – Dirigente Sett. Infrastrutture Ferroviarie – Ministero Infrastrutture; **Anna Maria Ferrero** – Università di Parma; **Gian Paolo Gianni** – Presidente GEAM; **John Harrison** – Imperial College, Londra (United Kingdom); **Yazicigil Hasan** – Ankara University (Turkey); **Vincent Labiouse** – Ecole Polytechnique Federal de Lausanne (Switzerland); **Paul G. Marinou** – National Technical University of Athens (Greece); **Gaetano Ranieri** – Università di Cagliari; **Domenico Tropeano**.

Ambiente e Sviluppo Sostenibile/Environment and Sustainable Development

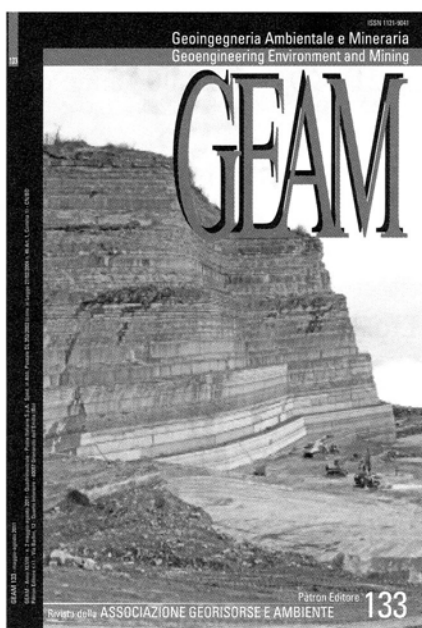
Guido Badino – Università di Torino; **Antonio Di Molfetta** – Politecnico di Torino; **Giulio Gecchele** – Politecnico di Torino; **Giuseppe Genon** – Politecnico di Torino; **Pietro Jarre** – Golder Associates s.r.l. - Torino; **Michael Karmis** – Virginia Tech University (USA); **Alberto Quaglino** – Politecnico di Torino; **Riccardo Roscelli** – SITI, Istituto Superiore sui Sistemi Territoriali per l'Innovazione - Torino.

Scavi Civili e Minerari e Geotecnologie/Excavation Techniques and Geotechnologies

George Anagnostou – ETH – Swiss Federal Institute of Technology, Zurich (Switzerland); **André Assis** – Brasilia University (Brazil); **Marilena Cardu** – Politecnico di Torino; **Bernardino Chiaia** – Politecnico di Torino; **Masantonio Cravero** – IGAG CNR Torino; **Sebastiano Pelizza** – Politecnico di Torino; **Raymond Sterling** – Louisiana Technical University (USA); **Shu Lin Xu** - Geodata S.p.A. - Torino.

Acque Sotterranee/Groundwater

Alice Aureli – UNESCO – Division of Water Sciences, Paris (France); **Giovanni Barrocu** – Università di Cagliari; **Giovanni Pietro Beretta** – Università di Milano; **Massimo Civita** - Politecnico di Torino; **José Luis Martin-Bordes** – UNESCO - Division of Water Sciences, Paris (France); **Gian Maria Zuppi** – Università di Venezia.



In copertina:

Cava Peglio di pietra serena Firenzuola (FI).
Foto: Daniele Peila

Affidabilità: la “Cenerentola” nella progettazione degli impianti di ventilazione in galleria

Daniele Bersano*
Davide Labagnara*
Mario Patrucco*
Valeria Pellegrino*

DITAG – Dip. Ingegneria Territorio,
Ambiente e Geotecnologie –
Politecnico di Torino, Italia.

Un problema rilevante durante lo scavo di gallerie è certamente la gestione efficace dell'igiene e della sicurezza sul lavoro e delle emissioni di inquinanti dai portali. L'approccio in Prevention through Design (PtD) costituisce l'unico metodo adeguato per gestire correttamente il lavoro di scavo, tanto più se è prevedibile in base a modelli geologici la presenza nell'ammasso da scavare di gas esplosibili, amianto, minerali radioattivi, ecc. In queste particolari situazioni l'impianto di ventilazione è fondamentale, dal momento che -grazie a schemi opportunamente definiti e alla possibilità di regolare le portate- può gestire condizioni di inquinamento non prevedibili in dettaglio a priori. Ne deriva che, per raggiungere e mantenere un livello accettabile di sicurezza, è essenziale che l'impianto di ventilazione sia caratterizzato da un'elevata efficienza e affidabilità durante le attività normali di scavo e sia in grado di affrontare efficacemente anche improvvise variazioni critiche delle condizioni ambientali in sotterraneo. Il gruppo Sicurezza e Igiene del Lavoro operante presso il Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie del Politecnico di Torino ha da tempo avviato un progetto di ricerca per individuare le tecniche di Hazard Identification (Identificazione del Pericolo) più adatte al contesto analizzato, su cui basare la progettazione dell'impianto di ventilazione. Il lavoro rientra fra le tematiche trattate dal gruppo WP 8 (Sicurezza, Ambiente e Qualità del Lavoro) del Progetto “Metodi innovativi per il riciclaggio eco-compatibile e sostenibile del marino di galleria, anche in considerazione della potenziale presenza di minerali pericolosi”.

Il documento qui presentato analizza i risultati dell'applicazione, sviluppata utilizzando come caso di prova la realizzazione una galleria in formazioni potenzialmente contenenti gas esplosibile, di una combinazione di Recursive Hazard and Operability Analysis (HAZOP (r)) e di Fault Tree Analysis (FTA), per verificarne l'efficacia quale supporto alla progettazione degli impianti di ventilazione e monitoraggio:

- un primo risultato del lavoro risiede certamente nella conferma della adeguatezza delle tecniche di Hazard Identification utilizzate per l'applicazione agli impianti di ventilazione di gallerie in corso di realizzazione;
- la identificazione certa dei Minimal Cut Sets può inoltre di per se essere considerata un contributo molto importante tanto per il miglioramento della sicurezza dei lavoratori impegnati nella realizzazione dell'opera quanto delle popolazioni residenti in aree finitime;
- lo studio ha infine evidenziato l'oggettiva difficoltà di reperire dati strutturati e dettagliati relativi ai tassi di guasto dei vari componenti degli impianti di ventilazione da galleria e degli associati sistemi di monitoraggio ambientale, indispensabili per eseguire una corretta e puntuale analisi di affidabilità: l'integrazione di banche dati specifiche dovrà sicuramente costituire obiettivo primario per rendere in futuro possibili progettazioni di adeguata qualità dei sistemi considerati.

Parole chiave: scavo di gallerie in formazioni critiche, Analisi e Gestione dei Rischi, Prevention through Design (PtD), sistemi di ventilazione in galleria, tecniche di Hazard Identification.

Reliability: the “Cinderella” in the design of tunnel ventilation systems. A quite concerning problem in tunnel driving operations is the effective management of Safety and Health conditions at workplace and of pollutant emission out of tunnel portals. The Prevention through Design (PtD) approach appears to be the only suitable way to correctly manage these situations, in particular where firedamp, asbestos, radioactive minerals, etc. can be expected due to geological reasons. In these particular cases the ventilation system is fundamental, since -thanks to the nowadays possibilities of appropriately definite layouts and flow rate adjustments- it can be designed to manage the pollution conditions not predictable in detail a priori. In fact, to achieve an acceptable safety level, it is essential that the ventilation plant is characterized by a high efficiency and reliability degree during normal excavation activities, and by high capability to effectively face critical variations of the underground environmental conditions. The Safety and Health group working in the Department of Land, Environment and Geo-Engineering of Politecnico di Torino developed a

L'attività di ricerca che ha portato alla stesura del presente lavoro è stata svolta nell'ambito del progetto della regione Piemonte per la ricerca industriale e lo sviluppo precompetitivo per l'anno 2006 dal titolo: “Metodi innovativi per il riciclaggio eco-compatibile e sostenibile del marino di galleria, anche in considerazione della potenziale presenza di minerali pericolosi”, responsabile scientifico il Prof. Pierpaolo Oreste.

Premessa

Durante lo scavo di una galleria lo scopo della ventilazione è di assicurare le condizioni di sicurezza e comfort per i lavoratori all'interno del cavo garantendo in particolare un'efficace diluizione degli inquinanti dispersi durante la lavorazione e la sostituzione sistematica del volume di aria nel sotterraneo.

Qualsiasi tecnica/tecnologia utilizzata, per garantire una buona efficienza (capacità di azione o di produzione con il minimo di scarto, di spesa, di risorse e di tempo impiegati) (Figura 1), deve essere caratterizzata da alta disponibilità (attitudine di un'entità ad essere in grado di svolgere una funzione richiesta, in determinate condizioni, in un particolare istante o durante un dato intervallo di tempo, partendo dal presupposto che siano fornite le risorse esterne necessarie), a maggior ragione nel caso di scavo in presenza di sostanze critiche, come gas nocivi per la salute od esplosibili, amianto, quarzo e sostanze radioattive.

La disponibilità è funzione dell'affidabilità (attitudine di un'entità a svolgere una funzione richiesta in

research project to identify the Hazard Identification techniques most suitable to the particular scenario of tunnel driving operations, upon which to base the ventilation system design. The work is connected to the topics discussed by the group WP 8 (Safety, environment and quality approach at work places) of the Project "Innovative methods for the eco-compatible and sustainable recycling of muck from tunnel excavation, also considering the potential content of noxious minerals".

The paper deals with the results of the application, developed using as a test case a potentially gassy tunnel situation, of a combination of Recursive Hazard and Operability Analysis (HAZOP(r)) and Fault Tree Analysis (FTA), to verify their effectiveness as a support to the design of the ventilation and monitoring plant:

- a first result of the work is certainly the confirmation of the adequacy of the selected technique to implement the design of the ventilation system of tunnels under construction,
- the identification of the Minimal Cut Sets can be considered an important result for the safety improvement for both the workers engaged in the construction work, and the people living in the nearby areas,
- finally, the study highlighted the difficulty of finding structured and detailed databases on rates of failure of various components of the tunnel ventilation systems and associated environmental monitoring systems, essential to carry out a correct and accurate reliability analysis of fault occurrences: the integration of specific databases will certainly be a primary goal to make possible in the future the planning of real quality of the systems.

Keywords: Tunnelling in critical formation, Risk Analysis and Management, Prevention through Design (PtD), Tunnel ventilation systems, Hazard Identification techniques.

Fiabilité: la "Cendrillon" dans la conception des systèmes de ventilation dans les tunnels. Un problème majeur lors de l'excavation de tunnels est certainement la gestion efficace de la santé et des sécurité au travail et des émissions de polluants à partir des portails. L'approche Prevention through Design (PtD) est la seule méthode appropriée pour gérer cette situation correctement, surtout si la présence de gaz, d'amiante, de minéraux radioactifs sont prévisibles à partir de modèles.

Dans ces situations particulières, le système de ventilation est crucial -depuis modèles définis de façon appropriée et la capacité de contrôler le flux- peut traiter des conditions de pollution non prévisibles dans le détail à l'avance. Il s'ensuit que, pour atteindre et maintenir un niveau acceptable de sécurité, il est essentiel que le système de ventilation se caractérise par une grande efficacité et une fiabilité au cours des activités normales de l'excavation et est également capable de traiter efficacement les changements soudains dans un état critique du milieu souterrain. Le groupe de recherche sur la sécurité et la santé au travail qui opère au Département des Terres, de l'Environnement et Géo de Politecnico di Torino s'est depuis longtemps engagé dans un projet de recherche, la mieux adaptée au contexte analysées, pour identifier les techniques de Hazard Identification (identification des dangers), sur lesquelles baser la conception du système de ventilation. Le travail est parmi les sujets abordés par le groupe WP 8 (sécurité, environnement et qualité du travail) du projet "Méthodes innovantes pour le recyclage écologique et durable des matériaux excavés, compte tenu également de la présence potentielle de minéraux nocifs".

Le document ici présenté analyse les résultats de l'application, développés en utilisant comme un test, d'un tunnel dans des formations contenant potentiellement du gaz, une combinaison Recursive Hazard and Operability Analysis (HAZOP (r)) et de Fault Tree Analysis (FTA) pour vérifier son efficacité en tant que soutien à la conception de la ventilation et de la surveillance:

- un premier résultat de l'œuvre réside certainement dans la confirmation de la pertinence des techniques utilisée pour mettre en œuvre la ventilation des tunnels en construction;
- l'identification de certains Minimal Cut Sets peut être aussi considérée en elle-même une contribution très importante à la fois pour améliorer la sécurité des travailleurs engagés dans les travaux de construction ainsi que des personnes qui vivent en proximité;
- enfin, l'étude a souligné la difficulté de trouver des données objectives structurée et détaillée sur les taux d'échec des différentes composantes des systèmes de ventilation du tunnel et des systèmes associés de surveillance de l'environnement: ces données sont indispensables pour une analyse de fiabilité correcte et précise. L'intégration des banques de données spécifiques doit sûrement être l'objectif principal pour rendre possible une planification future de qualité des systèmes.

Mots-clés: excavation de tunnel dans des formations critiques, analyse et gestion des risques Prevention through Design (PtD), systèmes de ventilation dans les tunnels, techniques d'identification des dangers.

date condizioni, durante un intervallo di tempo stabilito), dell'idoneità alla manutenzione ordinaria e straordinaria e della gestione organizzativa del lavoro.

Peraltro, poiché nella presente relazione si trattano solo i problemi relativi a deviazioni di funzionamento che possono compromettere la sicurezza dei lavoratori in sotterraneo e fermo restando che l'unica risposta corretta nel caso di malfunzionamento dell'impianto di ventilazione è ovviamente l'evacuazione del sotterraneo, l'aspetto preso qui in maggiore considerazione è la affidabilità, direttamente legata alla possibilità di dar luogo a detta evacuazione prima che il degrado delle condizioni ambientali nel sotterraneo stesso possa evolvere in scenari di danno ai lavoratori presenti nel sotterraneo stesso.

È altresì ovvio che successivamente le lavorazioni resteranno sospese finché le condizioni di efficienza dell'impianto non saranno ripristinate.

1. Struttura dei sistemi di ventilazione in sotterraneo analizzati

L'impianto di ventilazione va considerato come un complesso integrato di diversi sottosistemi composti di parti che operano sinergicamente per realizzare una gestione efficace delle condizioni ambientali in galleria in situazioni normali e critiche (Figura 2).

Tenuto conto dell'importanza di tale complesso, con l'applicazione di tecniche di Hazard Identification sono stati analizzati i possibili scenari conseguenti ad un guasto dello stesso in una galleria in cui non è escludibile la presenza di gas a rischio di esplosione. L'esempio è stato selezionato poiché costituisce un caso di prova piuttosto completo: nel caso della presenza di polveri pericolose dovrebbero essere posti in funzione solamente appositi dispositivi di controllo e filtri allo scarico

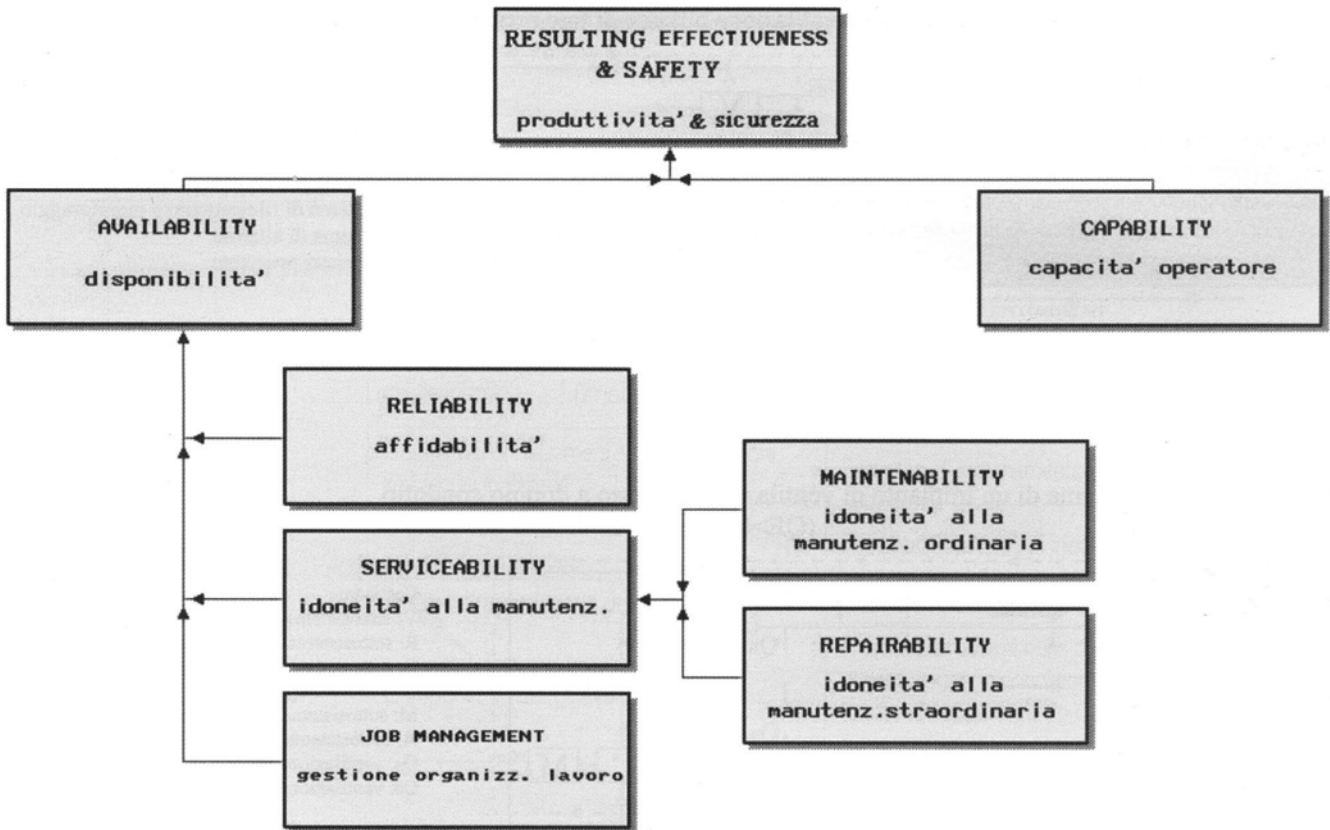
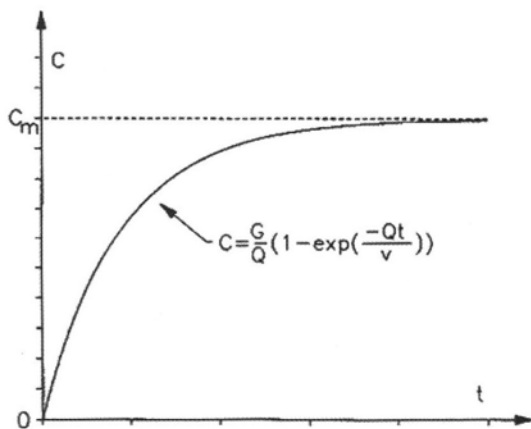


Fig. 1 – Elementi determinanti per efficienza produttiva e sicurezza.
Factors of production efficiency and safety.



Essendo:

C = concentrazione di inquinante (C_m = concentrazione a regime);

G = portata di emissione di inquinante da una sorgente;

Q = portata di aria di ricambio;

V = volume dell'ambiente chiuso in cui si trova la sorgente.

$$C_m = \frac{G}{Q}$$

Ovviamente la variazione di concentrazione C in funzione del tempo porta a completa saturazione se $Q \rightarrow 0$

Fig. 2 – Andamento della concentrazione di un inquinante in un ambiente ventilato.
Evolution of the pollutant concentration in a ventilated area.

dell'impianto di ventilazione.

L'azione di scavo deve, nelle condizioni ipotizzate, rientrare in generale nel quadro normativo di cui allo schema in Tabella 1.

Con riferimento a quanto discusso nell'articolo "Aspetti di valutazione e gestione del rischio associato alle fasi di generazione e riutilizzo del ma-

rino di galleria" autori Patrucco, Labagnara, Coggiola e Pira, pubblicato in questo stesso numero della rivista, i sistemi di ventilazione considerati sono biflusso di tipo premente e biflusso a doppio condotto (schemi in Figure 3 e 4).

Le parti e le componenti che costituiscono i sottosistemi dell'im-

pianto di ventilazione possono essere inseriti nelle categorie di Tabella 2 (ove possibile classificate secondo quanto in D.Lgs. 17/10, recepimento nazionale della Direttiva 2006/42/CE (2006)).

È interessante notare che nel secondo schema di ventilazione analizzato (biflusso a doppio condotto)

Schema di un impianto di ventilazione biflusso di tipo premente

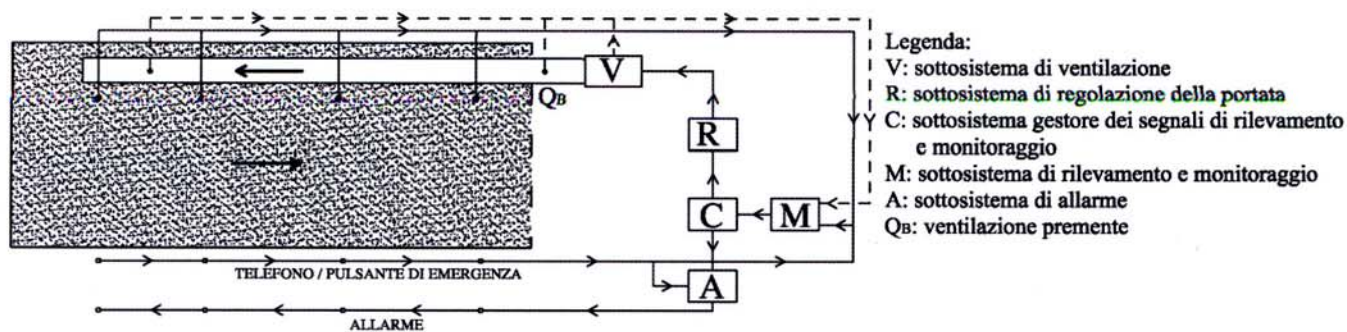


Fig. 3 – Impianto biflusso di tipo premente (con riflusso lungo la galleria).
 Layout of blowing ventilation.

Schema di un impianto di ventilazione biflusso a doppio condotto (Q_E > Q_B)

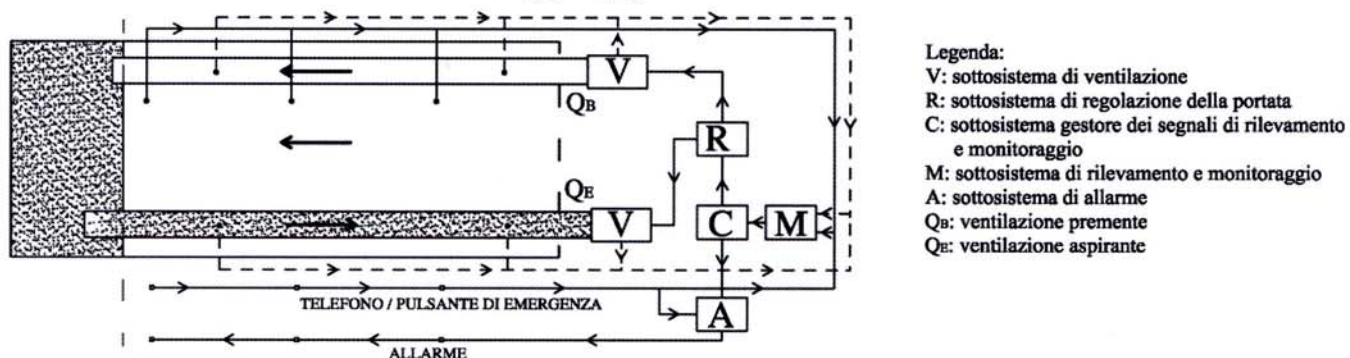


Fig. 4 – Impianto biflusso a doppio condotto (con entrata di aria dal portale Q_E > Q_B).
 Layout of double flow ventilation (Q_E > Q_B).

Tab. I – Quadro normativo generale secondo le Direttive Europee e trasposizione nazionale.
 General regulations according to European directives and national implementation.

	Direttive CE			Trasposizione nazionale
Normative sulle caratteristiche di sicurezza di apparecchi e di sistemi di protezione (direttive economiche)	Generale	Direttiva Macchine 89/392 2006/42/CE	➔	Regolamento per l'attuazione delle Direttive di ravvicinamento delle legislazioni degli stati membri relative alle macchine DLgs 17/10 del 27/01/2010
	Specifica per ambienti con atmosfere potenzialmente esplosibili	Direttiva in materia di apparecchi e sistemi di protezione per impiego in atmosfere potenzialmente esplosibili 94/9/CE (ATEX 95)	➔	Regolamento di attuazione della Direttiva 94/9/CE DPR 126/2008
Normative sulle prescrizioni minime per il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori (direttive sociali)	Generale	Direttiva sulle prescrizioni minime per il miglioramento della sicurezza e salute dei lavoratori 89/391/CE	➔	Normativa sulla sicurezza dei lavoratori Testo unico sulla tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro D.Lgs 81/08 Titolo XI
	Specifica per ambienti con atmosfere potenzialmente esplosibili	Direttiva sulle prescrizioni minime per il miglioramento della sicurezza e salute dei lavoratori esposti a rischio di atmosfere esplosibili 99/92/CE (ATEX 137)	➔	

Tab. 2 – Sottosistemi, parti e componenti dell'impianto di ventilazione.
Subsystems, parts and components of a ventilation system.

Sottosistema	Parti	Componenti
V – Ventilazione	Attivatori del movimento d'aria	Ventilatori, motori, variatori, ecc.
	Convogliatori	Condotti
R – Regolatore di portata	Dispositivo di regolazione delle portate	Programmable Logic Controller
C – Gestore dei segnali di rilevamento e monitoraggio	Sistema di interpretazione dei segnali	Computer
M – Rilevamento e monitoraggio	Dispositivo di rilevamento delle prestazioni dei ventilatori	Rilevatori di giri motore e rilevatori della portata del ventilatore e nei condotti (lungo e alla fine del condotto)
	Dispositivo di rilevamento delle condizioni ambientali in galleria	Rilevatori di inquinamento (fissi e mobili)
	Dispositivo di rilevamento dell'emissione di inquinanti dal portale	Rilevatori localizzati di inquinamento
	Sistema di trasmissione dei segnali	Linee per la trasmissione del segnale e connettori
A – Allarme	Componenti sistema allarme	In caso di problemi nelle prestazioni dell'impianto di ventilazione in condizioni normali In caso del superamento del limite della concentrazione dell'inquinante (condizioni critiche)

al ventilatore aspirante può essere anteposto un filtro per gestire l'emissione del particolato inquinante. Se presente, tale filtro dovrebbe essere incluso nel sottosistema V (convogliatori d'aria), poiché la resistenza aerodinamica del condotto aspirante può risultare in questo caso notevolmente modificata sia a causa della resistenza aerodinamica "fisiologica" del filtro stesso (funzione a sua volta del grado di intasamento ammesso), sia in caso di rottura. Devono allora essere predisposti un controllo adeguato da parte di M-Rilevamento e monitoraggio e procedure volte ad affrontare tali situazioni: la prima comporta carico addizionale sul ventilatore che deve comunque garantire la portata richiesta, la seconda costituisce deviazione grave con emissione incontrollata di inquinante verso le aree finitime al portale.

Nello scenario di galleria potenzialmente gassosa qui preso in esame, pur sottolineando che:

- con il primo schema di ventilazione il gas che dovesse interessare il fronte di avanzamento risulta poi presente in tutta

la galleria con concentrazione uniforme,

- con il secondo schema considerato il gas risulta comunque presente solo in corrispondenza della zona di emissione, cioè al fronte, si può in ogni caso supporre che, se correttamente dimensionati, entrambi i sistemi siano in grado di fornire la corretta diluizione del gas e contrastare quindi la formazione di atmosfera esplosibile al fronte e lungo la galleria, tenendo anche conto della potenziale presenza di zone di ristagno identificabili tramite un corretto posizionamento dei rilevatori, attuabile con un'analisi computazionale fluido-dinamica, come discusso da Gaj et al. (1998), e comunque da verificarsi sistematicamente mediante rilevamenti dedicati espletati con dispositivi mobili, come ricordato da Regioni Emilia Romagna e Toscana (2005).

Deve anche essere considerato che per vari motivi, tra cui essenzialmente il tempo necessario a stabilire l'andamento della concentrazione del gas sulla base dei dati forniti dai rilevatori e l'inerzia dell'aria nei

condotti, la risposta dell'impianto di ventilazione può essere adatta esclusivamente a gestire afflussi di gas di formazione progressivi e di entità moderata. Di conseguenza nella presente analisi si assume che la presenza di inquinanti nell'ambiente di lavoro sia già stata considerata nell'Analisi generale di Rischio, che deve portare ad una previsione adeguata del contenuto di gas nella roccia da scavare, mettendo in particolare in guardia nei confronti di situazioni eccezionali dovute a grandi ed improvvise venute al fronte.

L'analisi è stata effettuata, inoltre, in accordo alle seguenti ipotesi:

- solamente un'atmosfera non esplosibile può essere accettata in galleria (il LEL-Lower Explosive Limit- non deve essere raggiunto);
- la galleria si sviluppa in "zona 2" (un luogo in cui è improbabile che un'atmosfera esplosibile, consistente in una miscela di aria e sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapore o nebbia, sia presente durante il normale funzionamento, ma, nel caso si veri-

Tab. 3 – Tecniche di Hazard Identification selezionate.
Selected Hazard Identification techniques.

Tecnica	Descrizione
HAZard and OPerability analysis (HAZOP)	Metodo strutturato e sistematico in cui le deviazioni (eventi che causano disturbi di funzionamento di un processo in uso o previsto) vengono identificate utilizzando una serie di parole guida. L'analisi HAZOP ricorsiva è un potenziamento di quella tradizionale che rende possibile una più rapida realizzazione del risultato finale.
Fault Tree Analysis (FTA)	<p>Tecnica di analisi in cui un pre-identificato incidente o guasto -Top Event- viene analizzato utilizzando la logica booleana per combinare una serie di eventi intermedi fino a individuare gli Eventi Iniziatori (Initiating Events), fornendo così un metodo per la valutazione in approccio probabilistico della sequenza delle cause.</p> <p>Sono possibili due tipi di analisi FTA:</p> <ul style="list-style-type: none"> - qualitativa, finalizzata all'individuazione dei Cut Sets (combinazioni di guasti che si traducono in una conseguenza indesiderata), utile per la progettazione dell'impianto in particolare quando sono indagati i problemi di manutenzione ed organizzazione; - quantitativa, volta a definire le equazioni dei Minimal Cut Sets (combinazione minima di guasti che porta a una conseguenza indesiderata), utile per la valutazione numerica della probabilità di guasto di sistemi e di componenti. Questo approccio può essere utile anche se i valori dei tassi di guasto non sono conosciuti con adeguato dettaglio, in quanto è possibile la classificazione gerarchica delle diverse soluzioni tecniche dello stesso impianto almeno in termini di probabilità di guasto.

ficasse, persisterebbe per un breve periodo (EN 1127-1, 2007), definizione utilizzata anche da Patrucco e Tommasini (2001)).

2. Tecniche di Hazard Identification selezionate

Le tecniche Recursive Hazard and Operability Analysis (HAZOP (r)) e Fault Tree Analysis (FTA) -le cui descrizioni in Tabella 3 sono parzialmente basate sulle definizioni elaborate dal Center for chemical process safety of the American Institute of Chemical Engineers (1992)- sono state selezionate in quanto, combinate tra di loro, appaiono costituire il metodo più adatto per identificare e analizzare le criticità dei sistemi di ventilazione in galleria, anche in accordo con Guarascio (2002).

3. Sviluppo dell'analisi

Il primo passo dello studio è consistito nell'analisi di case histories di esplosioni da gas avvenute durante la realizzazione di opere in sotterraneo: pur non essendo la

bibliografia molto estesa, è stato tuttavia possibile raccogliere informazioni di sufficiente dettaglio per alcuni incidenti di questo tipo (Gaj *et al.*, 1998; Copur *et al.* 2011); altri dati di incidenti avvenuti durante operazioni in sotterraneo sono stati scartati poiché relativi ad operazioni minerarie e caratterizzati da una esplosione primaria di grisù successivamente evoluta però in esplosioni secondarie di polvere di carbone, con dinamiche e scenari risultanti marcatamente differenti (Eckhoff, 1997).

3.1. HAZOP(r) – Recursive Hazard and Operability Analysis

La prima fase del processo di Hazard Identification è stata la realizzazione di una sistematica analisi HAZOP(r) sul complesso ventilazione-rilevamento, utile a porre in evidenza eventuali deviazioni di funzionamento dell'impianto stesso e loro conseguenze qualitative, rendendo per tale via agevole la individuazione degli esiti indesiderati (Top Events) e la stesura di un ordine gerarchico di criticità.

Sono di seguito proposti esem-

pi parziali e semplificati dall'intero foglio HAZOP(r) rispettivamente per lo schema di ventilazione biflusso di tipo premente (Figura 5) e per lo schema di ventilazione biflusso a doppio condotto (Figura 6).

L'esito più indesiderato individuato, anche in accordo con United States Department of the Interior (1998), è stato la *formazione di atmosfera esplosibile non contrastata dall'impianto di ventilazione*.

Dalle Figure 5 e 6 è interessante notare come lo schema di ventilazione biflusso a doppio condotto abbia una risposta migliore nel caso di rottura del ventilatore o del condotto premente: in questo caso il ventilatore aspirante richiama un maggiore flusso di aria pulita dal portale che, percorrendo la galleria fino al fronte, permette comunque una certa diluizione dell'inquinante.

Altre considerazioni ricavabili dai risultati dell'analisi sono:

- la rottura del ventilatore o del condotto aspirante dello schema biflusso a doppio condotto porta sostanzialmente alla ventilazione biflusso di tipo premente che, pur avendo potenzialmente prestazioni non sufficienti alla totale diluizione dell'inquinante (l'impianto

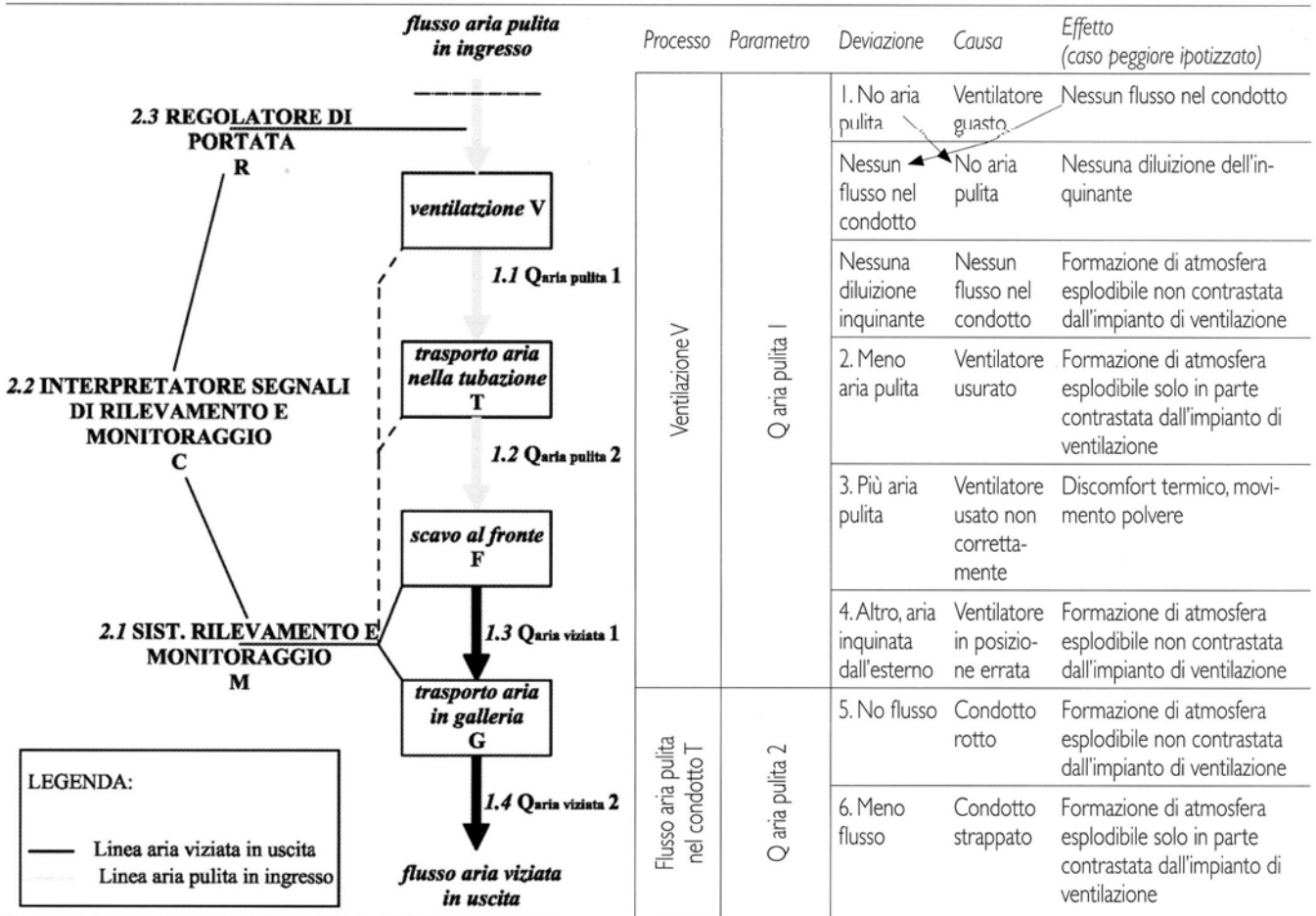


Fig. 5 – Estratto da foglio di Hazop ricorsiva -i passaggi completi sono inseriti solo per la prima deviazione- per uno schema di ventilazione biflusso di tipo premente.

Retrieved of recursive Hazop sheet -the complete steps are inserted for the first occurrence- for a blowing ventilation layout.

to è progettato per funzionare in modo premente-aspirante), contrasta comunque la formazione di atmosfera esplosibile¹;

- nel caso di rottura dei sottosistemi M-Rilevamento e monitoraggio o C-Gestore dei segnali di rilevamento e monitoraggio o R-

¹ Come considerazione a latere può essere osservato che l'incremento della resistenza aerodinamica della galleria (ad esempio per la presenza di macchinari, ponteggi, ecc.) porta al blocco della diluizione dell'inquinante nel caso di ventilazione biflusso di tipo premente, ma non in quello di ventilazione biflusso a doppio condotto: ciò non risulta direttamente dalla analisi in Hazop(r), in quanto rivolta a valutare, come da assunto, l'affidabilità del sistema, ma, con riferimento allo schema di Figura 1, rientra fra le questioni da prendere in generale in considerazione ai fini della garanzia di un adeguato livello di disponibilità.

Regolatore di portata entrambi i sistemi non sono più in grado di contrastare la formazione di atmosfera esplosibile.

La HAZOP(r) ha poi confermato l'importanza della misurazione sistematica della concentrazione di gas durante lo scavo e del monitoraggio continuo della velocità dei ventilatori e della portata nei condotti e lungo la galleria.

Ciò è in completo accordo con Regioni Emilia Romagna e Toscana (2005). In tale documento si prescrive infatti che il sistema di monitoraggio continuo debba essere basato sui principi compendati in Tabella 4.

La HAZOP(r) ha poi consentito di analizzare procedure di risposta adeguate alle deviazioni dell'impianto di ventilazione individuate:

- Situazione 1: nessun flusso di aria pulita al fronte → evacuazione immediata del sottoterraneo;
- Situazione 2: flusso di aria pulita al fronte minore a quello in progetto → informazione al responsabile del monitoraggio e attuazione delle procedure specifiche di risposta indicate dallo stesso.

3.2. Fault Tree Analysis

Per analizzare le interazioni tra gli Eventi Iniziatori individuati sono stati utilizzati alberi di guasto di tipo qualitativo e quantitativo con Top Event costituito da *formazione di atmosfera esplosibile non contrastata dall'impianto di ventilazione*.

La scelta di tale Top Event,

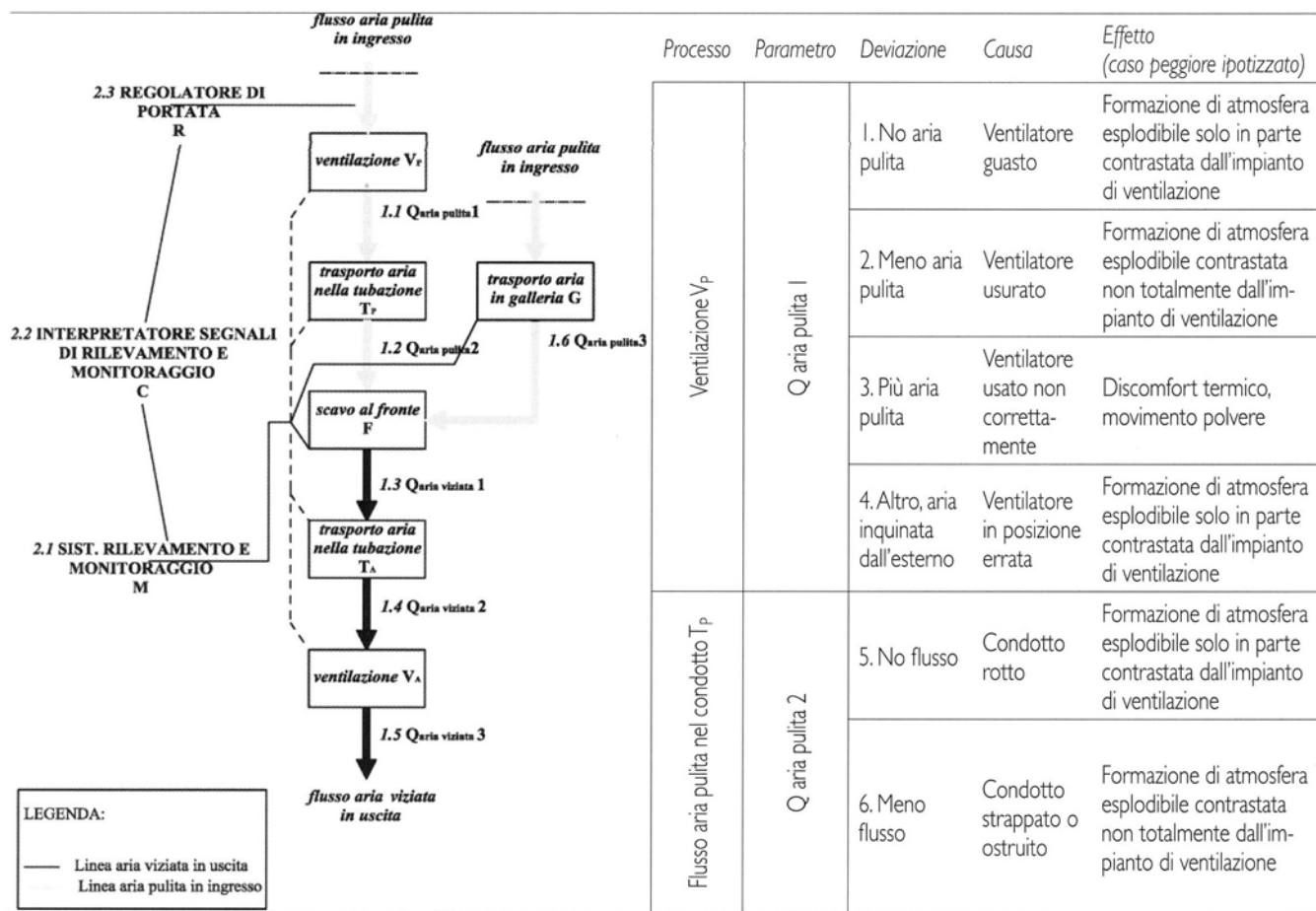


Fig. 6 – Estratto del risultato finale di Hazop ricorsiva per uno schema di ventilazione biflusso a doppio condotto. Retrieved of final result from the recursive Hazop for a double flow ventilation layout.

Tab. 4 – Azioni di monitoraggio e verifica per cantieri classificati Zona 2. Monitoring and verification actions for sites classified Zone 2.

1. misurazione di portata da effettuare nei condotti di ventilazione in almeno in due punti: immediatamente a valle dei ventilatori e vicino alla sezione terminale del condotto. I valori misurati devono essere costantemente rilevabili -per esempio tramite un display dal pannello di controllo ed è obbligatoria la registrazione automatica dei dati; una differenza tra i valori misurati nei due punti è indice di una diminuzione di flusso dovuta a perdite o rotture del condotto (la conoscenza di questi valori consente di riconoscere immediatamente eventuali situazioni critiche ed è utile anche a gestire correttamente le operazioni di manutenzione);
2. misurazione dell'efficienza dei ventilatori da effettuare immediatamente a valle degli stessi (anche in questo caso la registrazione automatica dei dati è obbligatoria);
3. misurazione di velocità dell'aria lungo la galleria: considerando che la stessa impostazione del sistema di ventilazione può portare a diversi profili della velocità dell'aria a seconda della geometria della galleria e di possibili ostruzioni, devono essere sistematicamente effettuate misure manuali della velocità effettiva dell'aria in sezioni trasversali e nei luoghi di lavoro, i cui risultati devono essere registrati.

comportante il blocco immediato e completo della diluizione del gas, ha permesso di analizzare in modo efficiente uno scenario ben definito a prescindere dalla discussione sul fun-

zionamento di altri rami indipendenti dell'albero, quali il sottosistema A-Allarme o i dispositivi di monitoraggio delle prestazioni del sottosistema M-Rilevamento e monitoraggio.

Risultato prioritario dell'Analisi Fault Tree così impostata è che lo schema di ventilazione biflusso con doppio condotto premente-aspirante, oltre ad essere in grado di gestire correttamente le emissioni dal portale, risulta decisamente migliore in termini di affidabilità nei confronti dello schema biflusso di tipo premente, che "paga" il fatto di avere un solo ventilatore ed un solo condotto i cui guasti costituiscono direttamente Eventi Iniziatori sufficienti a dar luogo al Top Event.

L'analisi qualitativa ha infatti confermato l'importanza della manutenzione, della organizzazione e delle scelte progettuali di gestione, temi indispensabili in qualsiasi settore e senza i quali l'analisi di affidabilità dei componenti meccanici risulta inutile, mentre quella quantitativa (esempio in Figura 7 per quanto riguarda lo schema di venti-

lazione biflusso con doppio condotto premente-aspirante), ha chiaramente messo in evidenza l'importanza dei sistemi di backup per ottenere miglioramenti significativi di affidabilità.

Si è potuto verificare che, laddove si considerino anche possibili problematiche nella gestione organizzativa del lavoro (presenza fuori luogo

di intralci alla ventilazione lungo la galleria) o fattori meteo negativi nella zona di imbocco, lo schema biflusso a doppio condotto premente-aspirante presenta addirittura maggiore

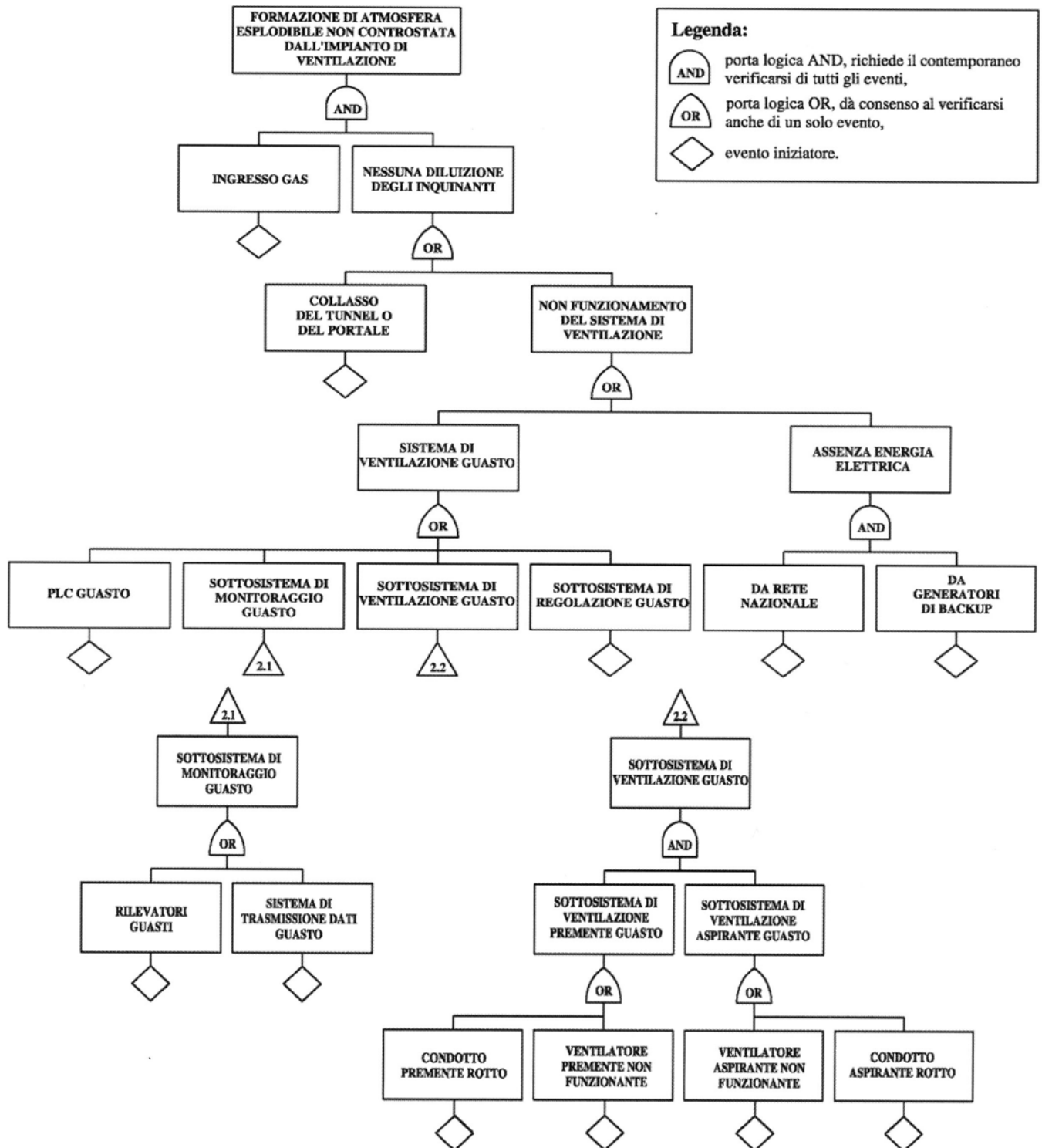


Fig. 7 – Albero di guasto quantitativo – semplificato – di uno schema di ventilazione biflusso con doppio condotto. In accordo con Reason (2000) non sono stati inseriti gli errori umani.

Quantitative Fault Tree Analysis for a double flow ventilation layout. The Human Error is here not considered, in accordance with Reason (2000).

disponibilità di uno schema bifluso premente "doppio" (basato sull'adozione di due impianti prementi gemelli installati in parallelo).

4. Conclusioni

Data per scontata la necessità di impostare le scelte progettuali di realizzazione di gallerie in approccio Prevention through Design, riconosciuto come l'unico strumento in grado portare ad un processo decisionale efficace per la scelta delle tecniche, delle tecnologie e delle procedure operative e di ridurre al minimo i rischi occupazionali e ambientali, appare a maggior ragione evidente l'opportunità di un'attenta Valutazione e Gestione del Rischio nel caso di scavo in formazioni rocciose potenzialmente contenenti minerali altamente pericolosi o gas esplosibili.

Lo studio è stato impostato con riferimento agli impianti di ventilazione, cui è demandato il compito di collaborare ad un'efficace gestione delle condizioni ambientali in galleria e delle emissioni dai portali.

I risultati del lavoro, sviluppato tramite discussione del grado di affidabilità conseguibile con differenti schemi di impianti di ventilazione utilizzabili in scenari critici, confermano l'effettiva possibilità di estendere l'applicazione delle comuni tecniche di Hazard Identification ed in particolare della combinazione di Recursive Hazard and Operability Analysis (HAZOP(r)) e Fault Tree Analysis (FTA) anche a tali problematiche, e pervenire per tale via ad indicazioni essenziali per una progettazione mirata a garantire anche in situazioni di guasto le necessarie condizioni di sicurezza e tutela dell'ambiente.

L'analisi ha inoltre messo in evidenza la pressante necessità di colmare la grave lacuna dovuta alla mancanza di database strutturati e dettagliati relativi ai valori di probabilità di guasto dei diversi componenti degli impianti di ventilazione e monitoraggio ambientale in sotterraneo.

Bibliografia

Center for chemical process safety of the American Institute of Chemical Engineers, 1992. Guidelines for Hazard Evaluation Procedures. Second Edition with Examples, ed. American Institute of Chemical Engineers, New York.

Copur H., Cinar M., Okten G., Bilgin N., 2011. A case of methane explosion in the excavation chamber of an EPB-TBM, in: ITA-AITES World Tunnel Congress and 37th General Assembly, 21-26 maggio 2011, Helsinki, International Tunneling And Underground Space Association, pp. 747-755.

Eckhoff R. K., 1997. *Dust explosions in the process industries*, Editore Butterworld Heinemann, Oxford, UK.

Gaj F., Mancini R. e Patrucco M., 1998. *Firedamp explosion prevention in civil tunnels excavation: analysis and discussion of an Italian case*, in: Coal Mining Safety and Health, 14-16 ottobre 1998, Chongqing, China, Editore China Coal Industry Publ. House, CCRI International Mining Technology, pp. 631-636.

Guarascio M., 2002. *L'ingegneria della sicurezza per la progettazione e costruzione delle gallerie*, in: La sicurezza in corso d'opera, 22

novembre 2002, Bologna, Editore Società Italiana Gallerie, Società Italiana Gallerie.

Patrucco M. e Tommasini R., 2001. *Classifying of the hazard zones and risk management in gassy tunnel driving operations*, in: The European Conference ESREL 2001: Towards a Safer World, 16-20 settembre 2001, Torino, Editore MG-Torino, European Safety and Reliability Association, pp. 847-954.

Reason J., 2000. *Human error: models and management*. Education and debate. Volume 320. pp. 768-770.

Regioni Emilia Romagna e Toscana, 2005. *Interregional Note No. ASS/PRC/05/1141- Underground works. Excavation in firedamp soils. Firedamp 3rd edition, 13 January 2005*, Regioni Emilia Romagna e Toscana.

United States Department of the Interior, Bureau of Mines, 1989. *Handbook Methane control in tunnelling*, United States Department of the Interior, Washington.

Riferimenti normativi e tecnici

Decreto Legislativo 27 gennaio 2010, n. 17. *Attuazione della direttiva 2006/42/CE, relativa alle macchine e che modifica la direttiva 95/16/CE relativa agli ascensori*

Direttiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 17 maggio 2006 relativa alle macchine e che modifica la direttiva 95/16/CE

UNI EN 13306:2010. *Manutenzione – Terminologia di manutenzione*

UNI EN 1127-1:2008. *Atmosfera esplosive – Prevenzione dell'esplosione e protezione contro l'esplosione – Parte 1: Concetti fondamentali e metodologia*.