

Valutazione e gestione dei rischi per la salute dei lavoratori nello scavo meccanico di gallerie

*Original*

Valutazione e gestione dei rischi per la salute dei lavoratori nello scavo meccanico di gallerie / DE CILLIS, Elisabetta; Labagnara, Davide; Maida, LUISA MARIA TERESA; Masucci, Carla. - In: GEAM. GEOINGEGNERIA AMBIENTALE E MINERARIA. - ISSN 1121-9041. - STAMPA. - 143:3(2014), pp. 93-103.

*Availability:*

This version is available at: 11583/2601783 since:

*Publisher:*

Patron

*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 - Anno LI - n. 3 settembre-dicembre 2014 - Quadrimestrale - Poste Italiane S.p.A. - Sped. in Abb. - Postale DL 353/2003 (conv. in Legge 27/02/2004 n. 46 Art. 1, Comma 1) - CN/BO  
Pàtron Editore s.r.l. - Via Badini, 12 - Quarto Inferiore - 40057 Granarolo dell'Emilia (Bo)

Pàtron Editore **143**

Rivista della **ASSOCIAZIONE GEORISORSE E AMBIENTE**

## Direzione e redazione

Associazione Georisorse e Ambiente  
 c/o DIATI - Dip. Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio, e delle Infrastrutture - Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi, 24 - 10129 Torino  
 Tel.: 011 0907681 - Fax: 011 0907689  
 e-mail: [geam@polito.it](mailto:geam@polito.it) - [www.geam.org](http://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., Torino; **Marina De Maio** - Politecnico di Torino; **Cristina Gabriella Oñate Salazar** - 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

Singoli fascicoli: € 39,00 Italia - € 49,00 Estero  
 PDF articoli precedenti all'anno in corso € 6,50 cad.  
 PDF articoli anno in corso € 15,00 cad.

Per ordinare:

[www.patroneditore.com](http://www.patroneditore.com)  
[abbonamenti@patroneditore.com](mailto:abbonamenti@patroneditore.com)

Per ricevere i fascicoli inviare il pagamento anticipato adottando una delle seguenti forme:

- c.c.p. n.000016141400 intestato a Patron editore, via Badini 12, Quarto Inferiore, 40057 Granarolo dell'Emilia (BO)

- bonifico bancario a CARISBO, Agenzia 68, Via Pertini 8, Quarto Inferiore, 40057 Granarolo dell'Emilia (BO); BIC IBSPIT2B; IBAN IT 03 M 06385 36850 07400000782T

- carta di credito a mezzo PAYPAL [www.paypal.it](http://www.paypal.it)

Per ricevere la rivista contattare:

Associazione Georisorse e Ambiente  
 Tel. 011/0907681 - [geam@polito.it](mailto:geam@polito.it)

I fascicoli cartacei, se non pervenuti, possono essere richiesti all'Editore.

Tel. 051/767003 - [abbonamenti@patroneditore.com](mailto:abbonamenti@patroneditore.com)

## Pubblicità

[advertising@patroneditore.com](mailto:advertising@patroneditore.com)

## Grafica e impaginazione

Exegi Snc - Bologna

## Stampa

Tipografia LI.PE. Litografia Persicetana - San Giovanni in Persiceto, Bologna, gennaio 2015

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

## Ambiente e Sicurezza Environment and Safety

**5** D. PANEPINTO

### Verifica tecnologica e valutazione della compatibilità ambientale dell'incenerimento dei rifiuti: presentazione di un caso studio

*Il presente lavoro metodologico analizza la compatibilità ambientale di un caso studio per la realizzazione di un termovalorizzatore e la bonifica, mediante la tecnica del landfill mining, della discarica. Sono state analizzate in particolare la tecnologia di combustione e di depurazione dei fiumi più idonee e i possibili impatti di tale impianto sulla qualità dell'aria.*

**15** M. BOTTERO, M. BRAVI

### Valutazione dei benefici connessi al risparmio energetico degli edifici: un approccio econometrico

*Il lavoro studia il contributo della certificazione energetica rispetto al valore di mercato di un immobile. Il metodo è applicato a un campione di immobili residenziali localizzati nella città di Torino.*

**25** M. BO, M. CLERICO, F. POGNANT

### Forest yard's safety: a methodological approach for the analysis of occupational risk

*In the realization of wood biomass thermal plants, environmental sustainability is best achieved through the small-scale plant's adoption. The aim of this study is to define a methodology analysis for the identification of safe and environmentally sustainable work practices.*

**37** S. CARAMELLO, S. FORNASERO

### Controlli analitici sulle acque minerali naturali: le analisi microbiologiche

*Nel lavoro vengono presentati i principi sui quali si basano i controlli microbiologici da eseguire sulle acque minerali per poter esprimere un giudizio di purezza microbica.*

**43** B. VIGNA

### Acquisizione ed interpretazione dei dati di monitoraggio delle sorgenti

*Il lavoro illustra l'importanza dei sistemi di monitoraggio per gli studi riguardanti la captazione e l'utilizzo delle risorse sorgive.*

**59** G.P. BERETTA

### Risorse in acque minerali dell'Italia: aspetti qualitativi

*Nel lavoro vengono riassunte le disponibilità, la distribuzione e le caratteristiche idrochimiche sul territorio italiano delle acque minerali.*

La rivista GEAM è indicizzata nel database di SCOPUS.

## ambientale SOMMARIO

73

L. PICCININI, M.T. DE NARDO, M. FILIPPINI, S. SEGADELLI, V. VINCENZI, A. GARGINI

### Protezione idrogeologica di sorgenti in acquiferi fratturati non carsici

La memoria tratta della delimitazione delle aree di protezione e di alimentazione di sorgenti in acquiferi fratturati non carsici, in particolare in contesti di hard rock aquifers sedimentari caratterizzati da elevata eterogeneità ed anisotropia nella distribuzione di permeabilità.

### Note Tecniche

93

E. DE CILLIS, D. LABAGNARA, L. MAIDA, C. MASUCCI

### Valutazione e gestione dei rischi per la salute dei lavoratori nello scavo meccanico di gallerie

La presente relazione compendia quanto discusso all'interno del seminario "Valutazione e gestione dei rischi per la salute dei lavoratori nello scavo meccanico di gallerie" per fornire un quadro organico della materia.

### Le rubriche di GEAM

105

#### Energia e Ambiente

R. VARVELLI

#### L'Italia degli idrocarburi

107

#### Congressi

108

#### Atti dell'Associazione

### Comitato Scientifico GEAM Scientific Committee

#### Presidente/Chairman

Vanni Badino – Politecnico di Torino

George Anagnostou ETH – Swiss Federal Institute of Technology, Zurich (Switzerland)

André Assis Brasilia University (Brazil)

Alice Aureli UNESCO – Division of Water Sciences Paris (France)

Guido Badino Università di Torino

Pietro Baraton Dirigente Sett. Infrastrutture Ferroviarie – Ministero Infrastrutture

Monica Barbero Politecnico di Torino

Giovanni Barrocu Università di Cagliari

Giovanni Pietro Beretta Università di Milano

Paolo Berry Università di Bologna

Nuh Bilgin Istanbul Technical University (Turkey)

Lorenzo Brino LTF, Torino

Marilena Cardu Politecnico di Torino

Bernardino Chiaia Politecnico di Torino

Raimondo Ciccu Università di Cagliari

Massimo Civita Politecnico di Torino

Raffaello Cossu Università di Padova

Masantonio Cravero

Riccardo Crivellari Rappresentante Ordine Ingegneri della Provincia di Torino

Antonio Di Molfetta Politecnico di Torino

Carlos Dinis da Gama Lisbona Technical University (Portugal)

Anna Maria Ferrero Università di Parma

Mauro Fornaro Università di Torino

Giulio Gecchele Politecnico di Torino

Giuseppe Genon Politecnico di Torino

Gian Paolo Giani Università di Milano, Presidente GEAM

Massimo Guarascio Università di Roma "La Sapienza"

John Harrison Imperial College, Londra (United Kingdom)

Yazicigil Hasan Ankara University (Turkey)

Pietro Jarre Golder Associates s.r.l. – Torino

Michael Karmis Virginia Tech University (USA)

Vincent Labiouse Ecole Polytechnique Federal de Lausanne (Switzerland)

Jakob Likar Lubiana University (Slovenia)

Francesco Luda di Cortemiglia Calcestruzzi S.p.A.

Paul G. Marinos National Technical University of Athens (Greece)

José Luis Martin-Bordes UNESCO – Division of Water Sciences, Paris (France)

Mario Patrucco Politecnico di Torino

Daniele Peila Politecnico di Torino

Sebastiano Pelizza Politecnico di Torino

Mario Pinzari Università Roma 3

Alberto Quaglinò Politecnico di Torino

Gaetano Ranieri Università di Cagliari

Riccardo Roscelli SITI, Istituto Superiore sui Sistemi Territoriali per l'Innovazione – Torino

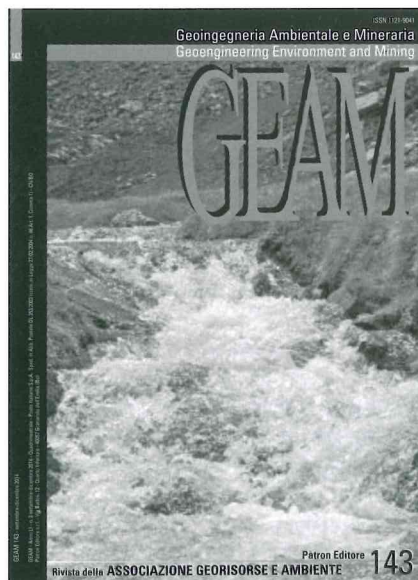
Marco Sertorio Università di Torino

Raymond Sterling Louisiana Technical University (USA)

Domenico Tropeano

Mariachiara Zanetti Politecnico di Torino

Shu Lin Xu Geodata S.p.A. – Torino



#### In copertina:

Torrente nel Parc de Lauzanier – Parc National du Mercantour (Foto di Glenda Taddia)

# Valutazione e gestione dei rischi per la salute dei lavoratori nello scavo meccanico di gallerie

Elisabetta De Cillis\*  
Davide Labagnara\*  
Luisa Maida\*  
Carla Masucci\*

\* DIATI – Dip. Ingegneria Ambiente, Territorio e Infrastrutture – Politecnico di Torino, Torino, Italy

## 1. Premessa

Il seminario, organizzato anche con valenza formativa nell'ambito del Master di 2° livello in Ingegneria per la Sicurezza Occupazionale – MISO – e riconosciuto come crediti Educazione Continua in Medicina – ECM – per le professioni sanitarie, ha visto la partecipazione di oltre 180 iscritti provenienti da tutta Italia.

Il Prof. Romano Borchiellini, Vicerettore nel Politecnico di Torino, nella sua prolusione di apertura, oltre a farsi latore dei saluti del Rettore Prof. Marco Gilli, ha richiamato in particolare tematiche certamente ben connesse con la sicurezza degli scavi in sotterraneo quali

la fluidodinamica e la ventilazione e gli associati risvolti di tipo progettuale e di gestione di scenari normali e di emergenza, con particolare riferimento ai casi di incendio ed esplosione. La situazione risulta infatti articolata in termini di:

- complessità tecnologica e di dimensioni spaziali, ma anche di dinamica ed evoluzione di inquinanti in sistemi articolati la cui capacità di interpretazione complessiva ai fini di una gestione in efficienza e sicurezza non è certamente cosa immediata;
- tempo, che nella odierna società non costituisce una variabile indipendente, il che si ripercuote sulla progettazione e sulla applicazione di tecnologie avanzate

La presente relazione costituisce il compendio di quanto discusso all'interno del seminario organizzato anche con valenza formativa nell'ambito del Master di 2° livello in Ingegneria per la Sicurezza Occupazionale – MISO – e accreditato Educazione Continua in Medicina – ECM –, dal titolo "Valutazione e gestione dei rischi per la salute dei lavoratori nello scavo meccanico di gallerie". Nei vari interventi, dopo un inquadramento sulle moderne tecniche di scavo meccanico, sono trattati i criteri di approccio per la valutazione e gestione dei principali inquinanti di formazione o generati durante la lavorazione. Sono in particolare approfonditi gli aspetti connessi con la definizione di valori di concentrazione accettabili con uno scenario normativo tuttora in marcata evoluzione. L'ultima parte fornisce indicazioni sulla gestione della sicurezza in coerenza con il moderno approccio in Prevention through Design – PtD – e in qualità, in condizioni normali ed in caso di deviazioni ragionevolmente attendibili.

Nel suo insieme quindi, quanto esposto può costituire riferimento aggiornato sullo stato dell'arte in materia di sicurezza per lo scavo meccanico delle gallerie.

**Parole chiave:** scavo di gallerie in formazioni critiche, inquinanti di formazione e generati dalle operazioni di scavo, epidemiologia, campionamenti e limiti normativi, Prevention through Design (PtD).

**Occupational Risk Assessment and Management in the mechanical excavation of tunnels.** This report is a compendium of what discussed during a seminar, organized with educational purposes, within the 2° level Master in Engineering for Occupational Safety and accredited for the health professions, titled "Occupational Risk Assessment and Management in the mechanical excavation of tunnels". In the various contributions, after an introduction about up-to-date techniques of mechanical excavation, a structured approach to assess and manage the presence of pollutants in the rock formations and generated during tunnelling is discussed. In particular, the acceptable values of the concentration of the different pollutant are examined in depth. The last part provides a guidance on safety management according with the modern approach in Prevention through Design – PtD – and in quality, in both normal conditions or in case of reasonably predictable deviations.

Therefore, the paper represents an updated reference on the state of the art of the safety for the mechanical excavation of tunnels.

**Keyword:** tunnelling in critical formation, pollutant present in rock formation and generated by excavation operations, epidemiology, sampling and regulatory limits, Prevention through Design (PtD).

Note a margine del seminario "Valutazione e gestione dei rischi per la salute dei lavoratori nello scavo meccanico di gallerie" tenuto in data 25 febbraio 2014 presso il Politecnico di Torino

– Prolusione Inaugurale: Prof. Romano Borchiellini

– Chairman: Ing. Achille Sorlini

– Relatori: Dott. Maurizio Coggiola, Prof. Mario Patrucco, Prof. Daniele Peila, Ing. Valeria Pellegrino, Prof. Enrico Pira, Prof. Canzio Romano.

È possibile richiedere il testo completo delle presentazioni all'indirizzo [carla.masucci@polito.it](mailto:carla.masucci@polito.it)

Si ringrazia il Prof. Mario Patrucco per la cortese revisione.

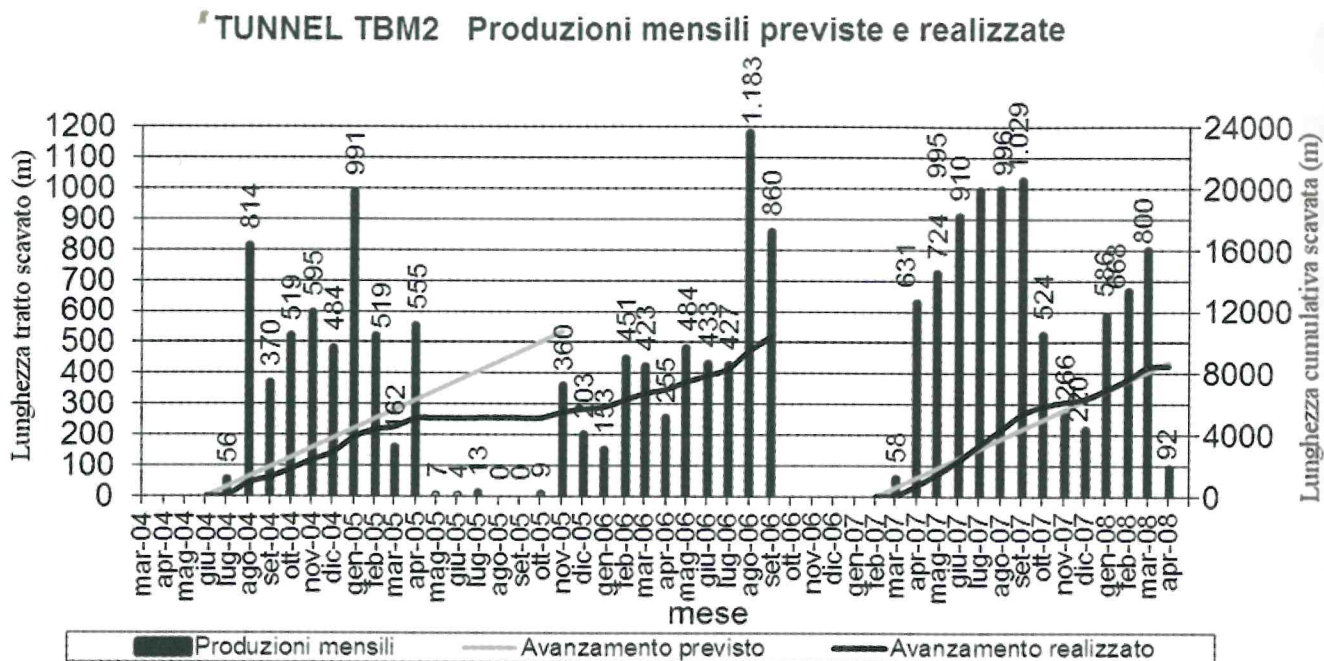


Fig. 1. Dati reali di avanzamento previsto e realizzato nello scavo di una infrastruttura in sotterraneo. Real data of provided and realized feeds during the excavation of a tunnel.

in uno scenario di esasperata contrazione delle tempistiche realizzative. In termini di sicurezza ciò significa saper riconoscere e prevenire velocemente le criticità ed implica da un lato elevate capacità di previsione (mediante tecniche di modellazione predittiva), dall'altro capacità di reazione certamente maggiori che non in passato;

- multidisciplinarietà: la gestione della sicurezza, anche ed in particolare nella realizzazione delle opere in sotterraneo, coinvolge certamente esperti in molte discipline tra cui sicuramente l'ingegneria, la medicina del lavoro e la metrologia, come testimoniato dalle qualifiche dei relatori, e dall'ancora più ampio spettro culturale dell'uditorio.

Il chairman Ing. Achille Sorlini ha introdotto la parte operativa del seminario, sottolineando la forte evoluzione tecnologica e culturale ottenutasi nell'ambito dello scavo di gallerie (il grafico in Figura 1 riporta come esempio le reali produzioni previste e realizzate nello scavo di una infrastruttura in sotterraneo) ed approfondendo l'importanza della "Improved Safety" che, secondo l'European Construction Technology Platform (nella pubblicazione "Strategic research agenda for the European Construction Sector", 2005), si pone due principali obiettivi: 1) "No-workers inside tunnel" e 2) "Zero accidents".

L'Ing. Sorlini ha infine voluto sottolineare che il continuo miglioramento delle tecnologie di scavo sta rendendo la realizzazione delle infrastrutture in sotterraneo sempre più veloce; tuttavia tale rapida innovazione ad oggi non è seguita da un parallelo sviluppo di nuove e più dinamiche tecnologie di monitoraggio delle condizioni ambientali e del materiale abbattuto.

### Strutturazione del seminario

Il seminario è stato strutturato secondo la seguente organizzazione logica delle esposizioni:

| Parte | Presentazioni | Argomento   |
|-------|---------------|---|
| 1     | 1             | inquadramento delle principali moderne tecniche di scavo meccanico;   |
| 2     | 2 e 3         | aspetti epidemiologici relativi agli inquinanti di formazione o generati dalle operazioni di scavo, e modalità di misurazione (in particolare amianto e silice libera cristallina, gas naturali, Composti Organici Volatili - COV -, Idrocarburi Policiclici Aromatici - IPA - e Isocianati); |
|       | 4 e 5         | interpretazione delle misure, contestualizzate in un ambito dinamico ed in continua evoluzione;   |
| 3     | 6             | moderno approccio alle problematiche di Safety and Health - S&H - tramite progettazione in Prevention through Design - PtD - e gestione in qualità.   |

### 2. Sintesi degli interventi

**Intervento 1: Inquadramento delle tecniche e tecnologie di scavo meccanico delle gallerie e parametri condizionanti le valutazioni di applicabilità (relatore Prof. Ing. Daniele PEILA)**

Le tecniche di scavo sono principalmente raggruppabili in due categorie:

A. scavo con esplosivo (Drill & Blast): può essere realizzato a piena sezione o a sezione parzializzata; con

## NOTE TECNICHE

o senza consolidamenti o presostegni dell'ammasso roccioso; lo scavo con esplosivo segue tipicamente un processo ciclico dove si alternano le fasi di abbattimento, asportazione del materiale abbattuto (smarino) ed installazione di sostegni, opportunamente intervallati dalle fasi di messa in sicurezza e spostamento / adeguamento dei servizi;

b. scavo con metodi meccanici, secondo quanto compendiato in Tabella 1 e riassumibile in:  
*scavo con metodi meccanici ad attacco localizzato: può*

essere a piena sezione o a sezione parzializzata con o senza consolidamenti o presostegni (se a piena sezione scudi), ed il processo è anche in questo caso ciclico. Vengono adoperate frese puntuali (roadheader Figura 2 a), martelli ad alta energia d'urto (HEHH, Figura 2 b), escavatori con benna rovescia e tecnologie speciali (cesoie Figura 2 c, superwedge Figura 2 d, ecc.);

– *scavo con macchine a piena sezione, ulteriormente categorizzabile secondo quanto segue:*

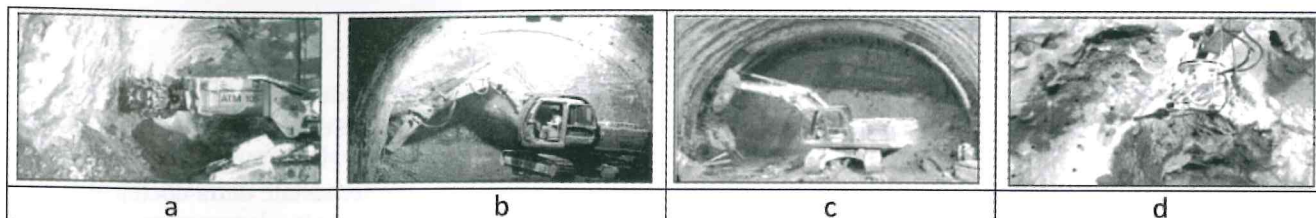


Fig. 2. a) Roadheader, b) Martello ad alta energia d'urto, c) Tecnologie speciali – Cesoie, d) Tecnologie speciali – Superwedge.  
 a) Roadheader, b) High impact energy hammer, c) Special technologies – Hydraulic Shears, d) Special technologies – Superwedge.

Tab. 1. Compendio dei metodi di scavo meccanici.  
 Summary of the methods of mechanical excavation.

| Support  |        |      | Excavation                            |  | Reaction Force            | Machine              |                                    |  |             |
|----------|--------|------|---------------------------------------|--|---------------------------|----------------------|------------------------------------|--|-------------|
| Location | System |      | Method                                | Tool                                   |                           | Category             | Type                               |  |             |
|          | Cavity | Face |                                       |  |                           |                      |                                    |  |             |
| None     | None   | None | Partial Face Excav. Machines (PFM)    | Various                                | None or gripper           | Rock Machines        | Other                              |  |             |
|          |        |      | Full Face Rotating Cutting Head (TBM) | Cutting disk                           | Grippers                  |                      | Special Under – shielded TBM       |  |             |
|          |        |      |                                       | Cutting disk / bits / knives and teeth | Thrust Jacks              |                      | SS – TBM                           |  |             |
|          |        |      |                                       | Cutting disk                           | Grippers and Thrust Jacks |                      | DS – TBM                           |  |             |
| Cavity   | None   | None | PFM                                   | Rod Header / Back hoe / Manual excav.  | Thrust Jacks              | Soft Ground Machines | Open Shield                        |  |             |
|          |        |      | TBM                                   | Cutting bits / knives and teeth        |                           |                      | Mechanical Supported Closed Shield |  |             |
|          |        |      |                                       |  |                           |                      | Mechanical Supported Open Shield   |  |             |
|          |        |      | Compressed air                        | TBM                                    |                           |                      | Cutting bits / knives and teeth    | Compressed Air Closed Shield           |             |
|          |        |      |                                       |  |                           |                      |                                    | Compressed Air Open Shield             |             |
|          |        |      | Fluid                                 | Slurry                                 |                           |                      | TBM                                | Cutting disk / bits / knives and teeth | Hydroshield |
|          |        |      |                                       |  |                           |                      |                                    |  | PFM         |
|          |        |      |                                       |  |                           |                      | TBM                                | Cutting disk / bits / knives and teeth |             |
|          |        |      |                                       |  |                           |                      |                                    |  | PFM         |
|          |        |      | None or fluid                         | None or slurry or EPB                  |                           |                      | TBM                                | Cutting disk / bits / knives and teeth |             |

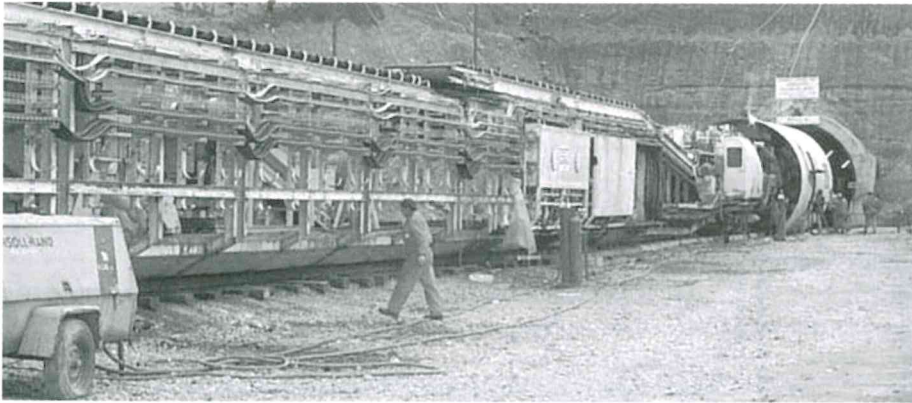


Fig. 3. Tunneling Boring Machine – TBM.  
Tunneling Boring Machine – TBM.

- macchine di scavo per roccia: Tunnel Boring Machines – TBM – di tipo scudato o no (Figura 3). La pressione necessaria allo scavo è ottenuta grazie al moto di avanzamento della macchina ed alla forza esercitata sulla testa fresante tramite martinetti idraulici, l'evacuazione del materiale avviene mediante utensili raschiatori montati sulla testa che lo trasferiscono su una tramoggia. Dal back up il materiale prosegue su nastro principale (o treno);
- macchine di scavo per terreni:
  - Earth Pressure Balance – EPB – (Figura 4 a): testa fresante in pressione con bilancio di forze esercitato dalla pressione dei fanghi in ingresso (acqua, schiuma, polimeri, bentonite, ecc.; in Figura 4 b è inserito un grafico – semplificato – per la scelta del condizionamento del terreno per il sostegno del fronte) ed in uscita, dalla spinta della macchina e dal grado di riempimento della camera di scavo. L'eva-

cuazione del materiale dalla camera avviene mediante coclea e il successivo trasporto con nastro (o treno). La camera di scavo è isolata fino al punto terminale della coclea, e la presenza di inquinanti nel tratto successivo può essere circoscritta e controllata;

- Slurry Shield o Hydroshield (Figura 4 c): testa fresante in pressione tramite aria compressa: i fanghi in ingresso vengono addotti ed evacuati con lo smarino in un circuito chiuso. Necessitano di un impianto di separazione fango-smarino tanto più complicato quanto più il materiale è fine.

Le macchine di scavo a piena sezione possono raggiungere lunghezze di oltre 100 m e comprendono numerosi impianti ed attrezzature di back-up, che sono parte integrante del "sistema macchina di scavo". Le TBM non scudate sono le più semplici, ma possono necessitare di rivestimento subito dietro la testa di scavo; quelle scudate consentono maggiori spazi di lavoro /

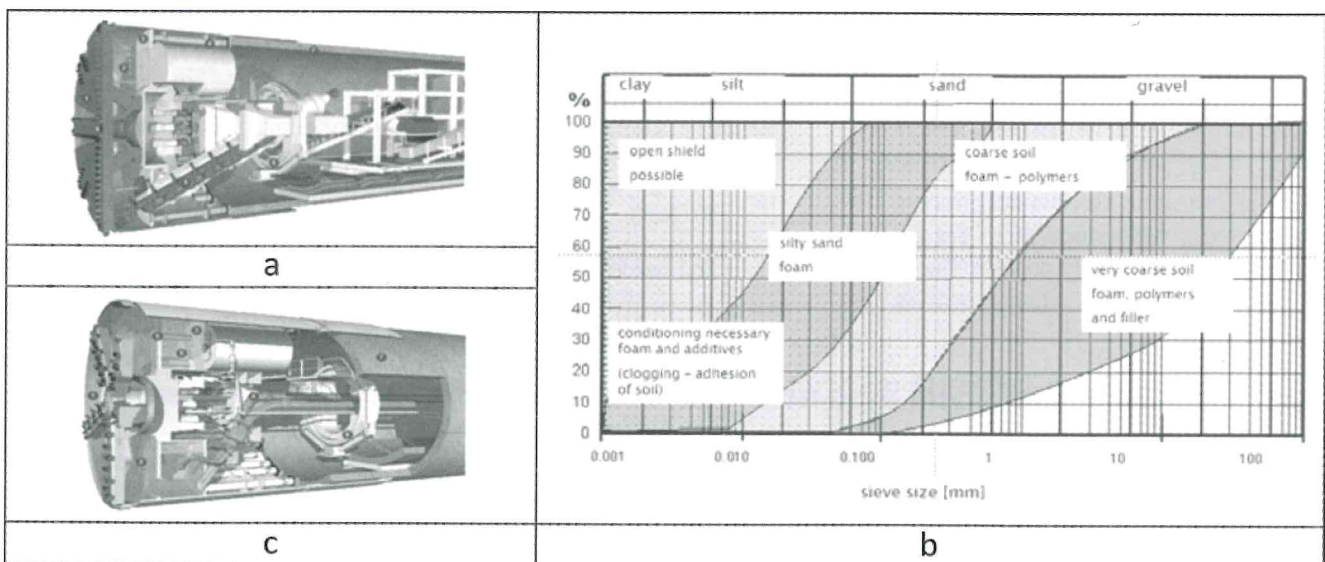


Fig. 4. a) Earth Pressure Balance Machine – EPB-, b) Grafico per la scelta del tipo di condizionamento del terreno con l'utilizzo di macchina EPB, c) Hydroshield Machine.

a) Earth Pressure Balance Machine – EPB –, b) Chart for selection of the type of soil conditioning with the use of EPB, c) Hydroshield Machine.

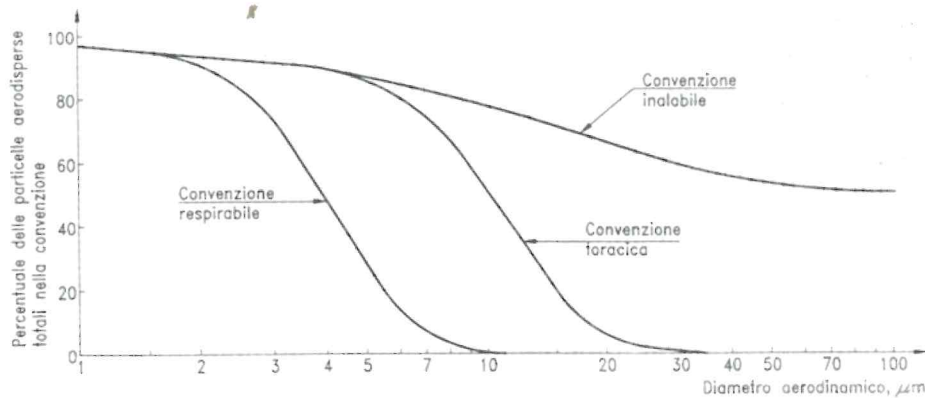


Fig. 5. Rappresentazione grafica delle particelle inalabile, toracica, respirabile come percentuali ritenibili delle particelle aerodisperse totali - UNI EN 481:1994.

Graphical representation of inhalable particles, thoracic, respirable as percentages of total airborne particles - UNI EN 481:1994.

manovra la parte di galleria appena scavata è sostenuta dallo scudo. Le macchine per terreno EPB, Slurry Shield e Hydroshield vengono adoperate laddove si possano riscontare problemi di instabilità del fronte e cedimenti del terreno in superficie, e consentono inoltre di limitare molto la dispersione di inquinanti, grazie ad un sistema di smarino semi chiuso / chiuso.

### Intervento 2: Problematiche metodologiche di campionamento e di analisi degli inquinanti aerodispersi in ambienti di scavo meccanico di gallerie (relatore Prof. Canzio ROMANO)

Per determinare l'esposizione dei lavoratori e dedurne dati fruibili per analisi di rischio oppure studi epidemiologici, il primo passo è la identificazione dell'inquinante presente o, se già noto o ipotizzabile, la quantificazione dello stesso. Le possibili tipologie di campionamento sono campionamenti areali e campionamenti personali, questi ultimi più indicati per definire correttamente l'esposizione del lavoratore. Per quanto concerne i particolati aerodispersi, dal punto di vista igienico ambientale la valutazione del rischio sulla salute viene condotta considerando la possibilità di ogni classe dimensionale di raggiungere le diverse zone dell'apparato respiratorio. I particolati vengono in questo modo suddivisi in frazione inalabile, frazione toracica e frazione respirabile. Questa ultima tipologia è costituita da particelle di di-

mensioni in grado di raggiungere gli alveoli e che pertanto possono risultare particolarmente dannose.

In Figura 5 è inserita la rappresentazione grafica delle particelle inalabili, toraciche e respirabili come percentuali ritenibili delle particelle aerodisperse totali (norma di riferimento UNI EN 481:1994).

Nelle tabelle che seguono (Tabelle 2 e 3) sono elencati, per ogni agente dannoso, i principali metodi di campionamento e di analisi e le relative possibili problematiche.

#### Silice libera cristallina e Amianto

Entrambi questi inquinanti sono definiti autoctoni poiché già presenti in modo naturale nella roccia scavata, essi si disperdono nell'ambiente di lavoro in forma di polveri durante la lavorazione.

#### Idrocarburi Policiclici Aromatici - IPA - , Composti Organici Volatili - COV - ed Isocianati

IPA, COV e Isocianati sono prodotti chimici organici definiti, per quanto riguarda i cantieri in sotterraneo, inquinanti alloctoni poiché non presenti naturalmente nell'ambiente di lavoro. IPA e COV sono generati dalla combustione dei motori diesel delle macchine usate in cantiere e si riscontrano sia in fase gassosa che particolata in funzione della tensione di vapore a temperatura ambiente. Gli Isocianati sono dovuti all'uso di alcune

Tab. 2. Principali metodi di campionamento e di analisi e relative possibili problematiche per silice libera cristallina e amianto. Principal methods of sampling and analysis and possible related problems for crystalline silica and asbestos.

| Inquinante | Procedure di campionamento  | Metodo di analisi  | Problematiche   |
|------------|---|--|---|
| Silice     | NIOSH metodo 7500;<br>OSHA metodo ID-142;<br>INSHT metodo MTA/MA-056/A06;<br>HSE metodo MDHS 101/2005;<br>UNICHIM 2398/2011;  | Analisi diffrattometrica   | impaccamento filtri per umidità o eccessiva polvere;<br>problemi tecnologici di sensibilità degli strumenti;<br>problemi nella capacità di lettura dei risultati ottenuti (interferenze); |
| Amianto    | D.Lgs. 81/08 titolo IX art. 253: "metodo raccomandato dall'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) nel 1997, o qualsiasi altro metodo che offra risultati equivalenti" | Microscopia Ottica a Contrasto di Fase (MOCF);<br>Microscopia Elettronica a Scansione (SEM); | impaccamento filtri per umidità o eccessiva polvere.  |

Tab. 3. Principali metodi di campionamento e di analisi e possibili relative problematiche per IPA, VOC e Isocianati.  
*Principal methods of sampling and analysis and possible related problems for IPA, VOC and Isocyanates.*

| Inquinante | Procedure di campionamento   | Metodo di analisi   | Problematiche   |
|------------|--|---|---|
| IPA        | NIOSH 5515; sistema di captazione combinato (fiala-filtro), permette il campionamento sia dell'aerosol sia dei vapori  | metodologia analitica del gas massa (GC/MS); combina la tecnica gas-cromatografica (GC) con spettrometria di massa (MS).  | date le basse concentrazioni e la sensibilità degli strumenti è necessario attuare prelievi molto lunghi per arrivare ad avere entità di campione analizzabili;<br>dati i limiti prestazionali di trattenimento delle fiale utilizzate non è possibile aumentare il flusso di campionamento poiché gli IPA in fase vapore non verrebbero trattenuti completamente;<br>per IPA con almeno 5 anelli è necessario, per raggiungere sensibilità accettabili, campionare più di 1 m <sup>3</sup> d'aria <sup>1</sup> . |
| COV        | NIOSH 2549 con fiala di carbone attivo   | per composti conosciuti:<br>gascromatografia con rivelatore a ionizzazione di fiamma (GC/FID – Flame Ionization Detector);<br>per composti incogniti:<br>gascromatografia con spettrografia di massa (GC/MS). | possibile saturazione del supporto solido legato ad alte concentrazioni di COV in ambiente;<br>possibilità di perdere le sostanze termolabili utilizzando desorbitori termici (circa 250 °C);<br>impossibilità di identificare composti co-eluiti utilizzando desorbitori con solvente, con conseguente sovrapposizione dei composti nell'area cromatografica del solvente.   |
|            | Metodo US-EPA 15-TO. Vantaggi del metodo: bassissimi limiti di rilevazione (0,01 ppb); per alte concentrazioni di COV è possibile ridurre la quantità di aria criofocalizzata. | gascromatografia con spettrografia di massa (GC/MS).  | non sono disponibili standard in forma gassosa per tutti i COV;<br>per sostanze identificate non contenute negli standard è possibile fornire solo un dato semi-quantitativo.   |
| Isocianati | OSHA 47 per difenilmetano diisocianato MDI; OSHA 42 per esametilendiisocianato HDI e toluendiisocianato TDI.   | analisi in cromatografia liquida ad alta prestazione (High Performance Liquid Chromatography HPLC-UV);<br>analisi con fluorimetro.  | per OSHA 47 MDI il limite di rilevazione è di 0.8 µg/m <sup>3</sup> .   |

<sup>1</sup> Gli IPA con più di quattro anelli benzenici permangono solo per breve tempo nell'atmosfera come molecole gassose e, a causa della loro bassa tensione di vapore, tendono rapidamente a condensarsi e ad essere adsorbite dalle particelle sospese, soprattutto carboniose.

tipologie di materiali contenenti resine poliuretaniche, anch'essi si disperdono in fase sia gassosa sia particolata.

### Intervento 3: Indicazioni per una corretta interpretazione delle valutazioni di criticità per la salute degli inquinanti riscontrabili in ambienti di scavo meccanico di gallerie (relatore Dott. Maurizio COGGIOLA)

All'interno del processo generale di gestione della sicurezza, la fase di Analisi del Rischio, posteriore alla fase di Identificazione dei Fattori di Pericolo, è fondamentale perché tramite essa si possono definire i successivi passi di Gestione del Rischio. La procedura individuata per la fase di Analisi del Rischio prevede:

- identificazione delle possibili condizioni che determinano l'esposizione al fattore di pericolo,
- monitoraggio dell'esposizione,
- confronto dei risultati con i valori normativi a disposizione.

Una volta ottenuti i risultati delle misurazioni, il quesito che ci si pone è quali siano i limiti di legge con i

quali confrontarli.

Nella tabella seguente (Tabella 4) vengono proposte le normative di riferimento ed alcuni commenti, per quanto riguarda gli agenti dannosi silice cristallina, amianto, radon ed emissioni diesel.

### Intervento 4: Aspetti di rappresentatività nella caratterizzazione dei parametri di ingresso di progettazione a seguito di rilevamento delle condizioni igienico-ambientali nei luoghi di lavoro (relatore Ing. Valeria PELLEGRINO)

Le attività cantieristiche hanno caratteristiche logistiche ed impiantistiche specifiche che le differenziano in modo marcato dagli altri comparti industriali: l'evoluzione nel tempo del luogo di lavoro e il continuo mutamento degli scenari rendono necessario un approfondimento dedicato durante le fasi di Identificazione dei Fattori di Pericolo e Gestione del Rischio; gli ambienti ristretti e particolarmente "affollati" da mezzi ed operatori comportano possibilità di interferenze fisiche

Tab. 4. Tabella riassuntiva degli standard disponibili e commenti per silice cristallina, amianto, radon e emissioni diesel.  
 Summary table of available standard and comments for crystalline silica, asbestos, radon and diesel emissions.

| Inquinante       | Standard disponibile / Normativa   | Commenti   |
|------------------|--|--|
| Silice           | In UE vi è forte dispersione dei valori limite nei differenti Paesi:<br>Italia e Portogallo: TLV = 0,025 mg/m <sup>3</sup> (derivante da ACGIH);<br>gran parte d'Europa: TLV = 0,1 mg/m <sup>3</sup> .   | i limiti tecnologici degli strumenti di misurazione difficilmente raggiungono sensibilità di 0,005 mg/m <sup>3</sup> ;<br>intenti futuri della UE:<br>definire come fattore di pericolo non più la silice a sé stante, ma il processo di lavorazione che la genera con frattura fresca;<br>portare il valore limite a 0,1 mg/m <sup>3</sup> ;<br>inserire il problema silice in Direttiva Agenti Chimici (CAD) o Direttiva Agenti Cancerogeni (CMD) e individuare quale caratteristica verrà data al valore individuato come limite: Binding Limit Value (BLV) oppure Indicated Limit Value (ILV). |
| Amianto          | D.Lgs. 257/92 vieta l'estrazione e la lavorazione di questo minerale;<br>D.Lgs. 81/08 Titolo IX art. 246: <i>campo di applicazione</i> e art. 254: <i>valore limite</i> , pari a 0,1 fb/cm <sup>3</sup> di aria, misurate in MOCF come media ponderata nel tempo di riferimento di 8 ore.  | può essere discussa la possibilità di considerare il cantiere in sotterraneo come un caso di attività ESEDI [situazioni espositive sporadiche e di debole intensità] per cui potrebbero non essere applicati gli artt. 250: <i>notifica</i> , 251: <i>misure di prevenzione e protezione</i> , 259: <i>sorveglianza sanitaria</i> , 260: <i>registro esposti, cartelle sanitarie e di rischio</i> .  |
| Radon            | D.Lgs. 241/2000 art. 10: livelli di esposizione della concentrazione di attività di radon media all'anno pari a 500 Bq/m <sup>3</sup> .  | la ventilazione è fondamentale per limitare la concentrazione di radon in galleria.  |
| Emissioni Diesel | non esistono valori di concentrazione <minima> tecnicamente raggiungibili o valori limite di soglia, eccezione fatta per il Benzo[a]pirene, che viene usato come parametro indicativo della qualità dell'aria;<br>D.Lgs. 155/2010 Allegato XIII: limite ambientale di PM10 < 1 ng/m <sup>3</sup> ;<br>ACGIH riporta per gli IPA l'indicazione L: <i>as low as possible</i> . | se i rilevamenti risultano inferiori ai valori attesi per la popolazione generale, si considerano i lavoratori comunque come potenzialmente esposti, ma non si applicano le previsioni del Capo II, Titolo IX, D.Lgs. 81/08, "Protezione da agenti cancerogeni e mutageni" relativamente all'istituzione del registro esposti.   |

ed ambientali; ed infine si pone la necessità di adottare ridondanze specifiche e logiche di soft down di cui tener conto nella fase di progettazione. Inoltre, la pianificazione e le scelte progettuali si presentano complesse in quanto fortemente condizionate dalla specifica natura del sito e caratterizzate da elevata interdipendenza delle scelte decisionali prese su basi non certe: è quindi necessario adottare nel progetto larghi limiti di confidenza per fronteggiare emergenze talora non chiaramente quantificabili a priori.

L'approccio metrologico a queste problematiche non consente di avere chiarezza sui parametri, ma permette di comprendere gli intervalli di confidenza entro i quali ci si può trovare per ovviare alle possibili deviazioni del sistema. Seguendo tale approccio vengono identificati tre macrogruppi di problematiche nella definizione dei valori di concentrazione degli inquinanti in ambienti di lavoro sotterranei:

1. deviazioni date da fattori esterni, nello specifico dovute a:
  - funzionamento del cantiere, con variabili dovute

te al regime di funzionamento delle sorgenti, alla presenza di differenti tipologie di particolati e/o di acqua e umidità che impasta la membrana, ai parametri ambientali al contorno e alle discontinuità dei cicli lavorativi (si ricorda l'importanza di nuove misurazioni ogni volta che si cambia lavorazione);

- immissione di aria non pulita nei luoghi di lavoro: è necessario capire se gli inquinanti aerodispersi presenti nell'ambiente di lavoro sono ivi generati o se provengono dall'esterno;
- molto spesso impossibilità di ripetere le misurazioni nelle stesse condizioni;
- fattore umano: per quanto il lavoratore possa essere informato, formato ed addestrato, il suo lavoro e il suo comportamento, possono interferire con gli strumenti di misurazione, personali e non, ed inficiarne il risultato;
- scelta tra campionamenti personali o di area: dipende anche dall'organizzazione del sito e dal tipo di macchine impiegate.

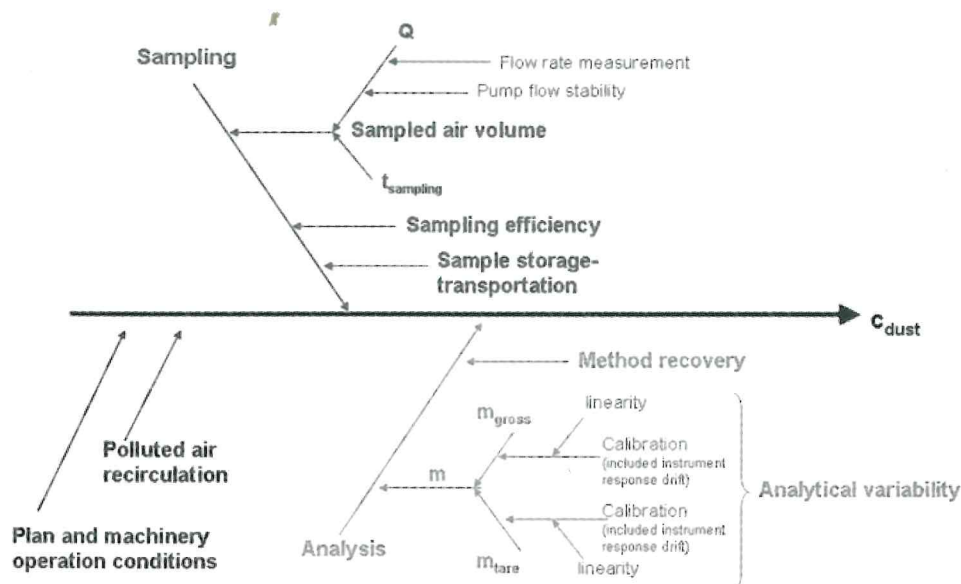


Fig. 6. Schema Ishikawa o fishbone che identifica le possibili fonti di incertezza / deviazione delle misurazioni.

Ishikawa or fishbone diagram that identifies possible sources of uncertainty/error of the measurements.

2. incertezze dovute al campionamento, nello specifico:
  - efficacia del campionamento;
  - errori dovuti alla gestione e al trasporto del campione;
3. incertezze dovute all'analisi:
  - metodi di recupero del campione dal supporto;
  - deviazioni legate al processo di misura;
  - problemi tecnico-pratici: attualmente in alcuni casi non si è in grado di misurare piccoli valori di concentrazione, per limiti tecnologici.

Tali problematiche sono anche riassunte graficamente nello schema Ishikawa o fishbone in Figura 6.

È anche da rimarcare che la prevenzione in una situazione in evoluzione come quella di cantiere, ed a maggior ragione in presenza di inquinanti con distribuzione non prevedibile all'interno degli ammassi rocciosi, è condizionata in modo sostanziale dai tempi di restituzione dei risultati dei campionamenti. Nella maggior parte dei casi, infatti, dalle campagne di campionamento si ottengono fotografie relative alla situazione quale si presentava al momento dei campionamenti, ovvero vecchia di almeno una settimana: bisognerebbe quindi impegnarsi nella messa a punto di tecniche di quantificazione degli inquinanti meglio rispondenti alle esigenze di realtà lavorative come quelle analizzate.

### Intervento 5: Evoluzione delle conoscenze in materia di tossicità degli inquinanti di formazione e indotti dall'attività di scavo meccanico delle gallerie (relatore Prof. Enrico PIRA)

Sostanze e miscele vengono classificate dagli enti competenti in base alla loro cancerogenicità. Le principali sono:

- classificazione CE (secondo il Regolamento CE 1272/2008 CLP): ne sono state stilate due differenti per sostanze e miscele;
- classificazione secondo IARC (International Agency

for Research on Cancer);

- classificazione secondo ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienist);
- classificazione secondo SCOEL (Scientific Committee on Occupational Exposure Limits): distinzione ben definita tra agenti di tipo genotossico (dna-reattivi, modello dose-effetto di tipo lineare senza soglia) e non genotossico (modello non lineare, con soglia di non effetto).

Per gli agenti cancerogeni non è possibile definire una "soglia", per quanto bassa, al di sotto della quale l'esposizione può dirsi sicura (è ovvio supporre che quanto maggiore è la quantità di cancerogeno a cui si è esposti tanto è più probabile la comparsa dell'effetto). Il problema della verifica dell'esposizione in termini qualitativi e quantitativi è un aspetto cruciale negli studi epidemiologici e frequentemente si ricorre a stime indirette, specie nel caso di esposizioni ad agenti diversi concomitanti sullo stesso organo bersaglio. In genere per migliorare l'analisi epidemiologica si fa ricorso alle "pooled analysis": si aumenta l'entità del campione sommando ai dati principali ulteriori dati derivanti da studi originali relativi ad altri casi. Spesso questi accorpamenti tralasciano le contestualizzazioni specifiche dalle quali derivano i dati, comportando quindi diverse limitazioni dovute in genere a criteri di inclusione, presenza e controllo di diversi fattori di confondimento e tasso di partecipazione allo studio.

Di seguito si riportano alcune considerazioni riguardo agli inquinanti più comuni in ambiente sotterraneo.

*Silice libera cristallina*: numerosi studi di settore hanno reso evidenti gli effetti della silice libera cristallina: primo tra questi è l'insorgenza della fibrosi nodulare/interstiziale o silicosi. Da molto tempo si discute anche sul possibile effetto biologico/cancerogeno della silice: tali discussioni dipendono dalla poca conoscenza epide-

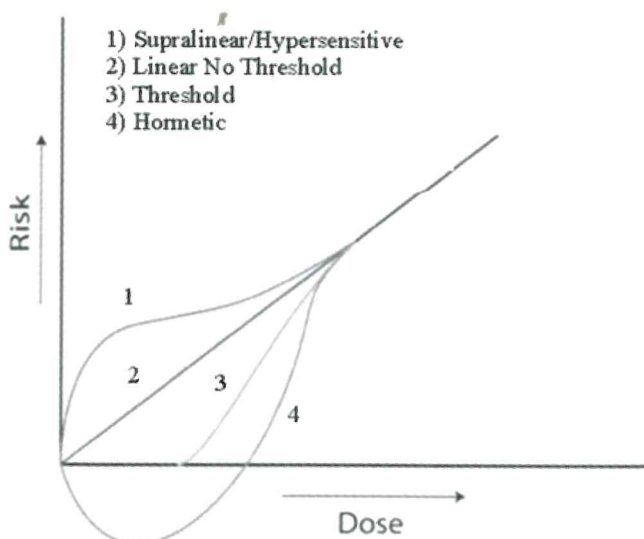


Fig. 7. Modello di rischio attuale di tipo dose-risposta per Radon, suggerito dal National Research Council (NRC) nel Biological Effects of Ionizing Radiation Report VII (BEIR VII).  
 Model of dose-response for Radon, suggested by the National Research Council (NRC) in the Biological Effects of Ionizing Radiation Report VII (BEIR VII).

miologica del minerale poiché la qualità e la quantità degli studi statistici non ne hanno riscontrato completa evidenza.

**Amianto:** Gli effetti dell'esposizione sono: asbestosi, placche pleuriche o fibrosi, tumore del polmone, mesotelioma. Oltre all'asbestosi il più noto effetto è il mesotelioma pleurico, che tuttoggi è oggetto di studi ed approfondimenti. Si presenta con uno sviluppo molto lento (circa 40-45 anni) e fino ad ora è sempre stato associato all'esposizione all'amianto. Attualmente in Italia, da dati reperibili dal quarto rapporto del 2012 del Registro Nazionale Mesotelioma – RENAM –, si può dedurre che circa il 40% dei casi registrati non sia in modo certo riconducibile all'esposizione all'asbesto ed è possibile pensare che vi siano altre cause probabilmente ancora non note, oppure che vi siano fibre di amianto talmente piccole da non riuscire ad essere individuate con la tecnologia in nostro possesso, o ancora che non siano state eseguite diagnosi corrette in presenza di tumore al polmone. La corretta identificazione del mesotelioma è un nodo cruciale del problema, data la difficoltà di diagnosticare tale malattia.

**Radon:** Il modello di rischio attuale suggerito dal National Research Council – NRC – nel Biological Effects of Ionizing Radiation Report VII (BEIR VII) è di tipo dose-risposta lineare senza soglia (linear no-threshold, LNT), anche se il rischio potenziale a basse dosi è calcolato dall'estrapolazione di dati da esposizioni a medie ed alte dosi. Per le basse dosi esistono alcune evidenze per

una deviazione dal modello LNT. Per spiegare tale fenomeno sono state formulate numerose ipotesi, fra cui la presenza di una soglia, la risposta ormetica e la risposta biologica sopralineare (Figura 7).

### Intervento 6: Gestione della sicurezza: concetti di Prevention through Design per le scelte progettuali e criteri di gestione in qualità delle attività di scavo meccanico delle gallerie (relatore Prof. Mario PATRUCCO)

Fermo restando che la normativa vigente (D.Lgs. 81/08, Titolo I) specifica che la protezione collettiva e personale nei luoghi di lavoro va intesa come integrazione della prevenzione, per eseguire una corretta gestione della sicurezza è necessario effettuare sempre una valida Valutazione e Gestione del Rischio: ciò permette di individuare le possibili conseguenze delle prevedibili deviazioni dalle condizioni ideali del sistema e di poter adottare soluzioni – tecniche, organizzative e procedurali – volte alla eliminazione o riduzione del rischio ed alla conservazione del livello di sicurezza previsto in corso d'opera.

Un approccio corretto deve fondarsi sulla Prevention through Design – PtD – (NIOSH) concetto peraltro già presente dagli anni '90 nella Direttiva comunitaria 89/391 EEC e successivamente ribadito nella Direttiva 92/57 EEC. La scelta di tale approccio è motivata nel diagramma costi/errori compromettenti la salute e la sicurezza dei lavoratori inserito in Figura 8 (tratto da Office of the official publication of the European Communities, 1993).

Strutturare la prevenzione attraverso una progettazione mirata offre indubbi vantaggi in termini di efficienza tecnica ed economica di sistema (limitati costi della non-sicurezza), oltretutto ovviamente di sicurezza. La PtD si fonda su principi rappresentati dalle "tre E":

**Engineering:** applicazione delle conoscenze tecniche e tecnologiche per effettuare un'analisi comparata tra le differenti soluzioni possibili e produrre scelte motivate;

**Education:** adeguati informazione, formazione ed addestramento dei lavoratori sono il frutto di una corretta valutazione dei rischi;

**Enforcement:** verifica della conservazione del livello di sicurezza attraverso operazioni di audit interno ed esterno.

Il principio della PtD considera i problemi della sicurezza in fase di progettazione, nel caso specifico di scavo di gallerie si ha la necessità di adottare a fini progettuali svariati parametri in ingresso derivanti da analisi geologiche/geotecniche e da campionamenti in sito, che necessitano di essere considerati valutandone opportunamente la rappresentatività statistica. Occorre pertanto corredare il progetto di ben precisi limiti di confidenza, e della necessaria flessibilità ed adattabilità nel caso si verifichi un eventuale loro superamento. È inoltre necessario conoscere e caratterizzare i possibili inquinanti (stabilità,

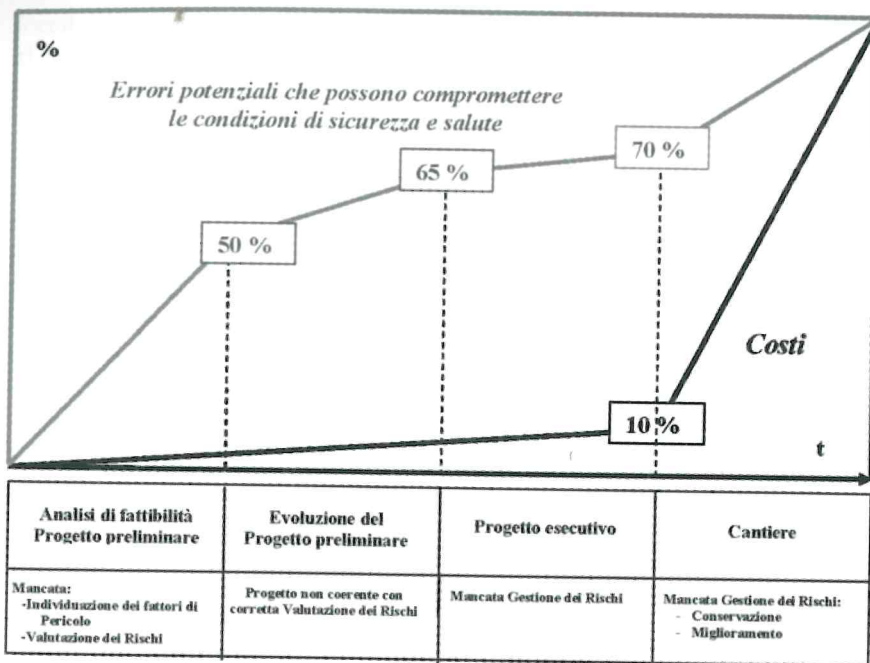


Fig. 8. Andamento di costi ed errori nel tempo nelle fasi del progetto.  
Trend of costs and errors vs time in the stages of the project.

dispersione, presenza nella formazione rocciosa, ecc.) in modo da poter impostare correttamente la progettazione della sicurezza e dei successivi sistemi di protezione. Oltretutto bisogna tener ben presente che ad ogni scelta tecnica di scavo è associata una diversa situazione espositiva all'inquinante, e ciò comporta che le scelte progettuali ricadano in modo basilare sulla sicurezza.

Il mantenimento delle condizioni di sicurezza può essere condotto attraverso operazioni di audit sistematico interno ed esterno da professionisti con profonda conoscenza delle tecniche e tecnologie in modo tale da poter cogliere le criticità più e meno evidenti. I problemi di gestione della sicurezza, così come l'analisi delle possibili deviazioni, vanno affrontati con opportune tecniche di Identificazione dei Fattori di Pericolo che bene si adattino al contesto di scavo di galleria. Due esempi sono la tecnica di Hazard and Operability Analysis – Hazop – di tipo ricorsivo, adeguata per valutare le possibili deviazioni degli impianti di ventilazione, elettrici, di eduazione acque, ecc. e la Fault Tree Analysis – FTA –, utile ad analizzare le conseguenze di deviazioni che possono verificarsi contemporaneamente.

### 3. Conclusioni

In conclusione si può chiaramente notare come la sicurezza nei lavori di scavo vada intesa come il risultato di una complessa e ponderata analisi di molteplici fattori che devono essere tenuti tutti in debito conto al fine di una corretta impostazione dell'opera e gestione delle attività in fase realizzativa.

Come discusso nell'ambito del seminario da cui questa nota prende spunto occorre quanto meno concentra-

re l'attenzione sulle seguenti famiglie di fattori:

- conoscenze tecniche e tecnologiche che consentano giuste scelte progettuali adottabili;
- riconoscimento dei Fattori di Pericolo e del loro potenziale effetto dannoso tramite opportuni e bene definiti studi epidemiologici;
- campionamento con metodi adatti all'ambiente di lavoro, tenendo in dovuta considerazione i molteplici aspetti critici legati all'ambiente stesso;
- identificazione dei limiti normativi con cui confrontare il caso in studio, scelta non sempre così semplice a causa delle possibili differenti interpretazioni;
- capacità di lettura ed interpretazione dei valori campionati e della loro rappresentatività;
- comprensione degli aspetti di realizzazione, gestione e conservazione nel tempo della sicurezza.

### Bibliografia

- Presentazioni espone dai relatori durante il seminario, di cui è possibile chiedere copia tramite mail a [geam@polito.it](mailto:geam@polito.it)
- European Construction Technology Platform, 2005. *Strategic research agenda for the European Construction Sector.*
- Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro – INAIL –, 2012. *Quarto rapporto del Registro Nazionale Mesotelioma – RENAM –.*
- Office of official publication of the European Communities, Luxembourg 1993. *Report 1993.*
- USA National Research Council of the National Academies, 2006. *Health Risks from Exposure to low levels of Ionizing Radiation, BEIR VII phase 2.*

### Riferimenti normativi

- Decreto Legislativo 26 maggio 2000, n. 241. Attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti.
- Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81. Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.
- Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155. Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa.
- Direttiva del Consiglio Europeo del 12 giugno 1989, n. 391, concernente l'attuazione di misure volte a promuovere il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro.
- Direttiva del Consiglio Europeo del 24 giugno 1992, n. 57, concernente l'attuazione di misure volte a promuovere il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro.
- Legge 27 marzo 1992, n. 257. Norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto.
- Regolamento del Parlamento Europeo e del Consiglio 16 dicembre 2008, n. 1272, relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele che modifica e abroga le direttive 67/548/CEE e 1999/45/CE e che reca modifica al regolamento (CE) n. 1907/2006.

### Riferimenti tecnici

- American Conference of Industrial Hygienists. 2014 TLVs and BEIs Substances and Agents Listing.
- Associazione per l'Unificazione del Settore dell'Industria Chimica - UNICHIM-, 2011. Metodo n. 2398. Ambienti di lavoro. Silice libera cristallina in polvere libera. Analisi diretta su filtro per diffrazione dei raggi X.
- Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 1994. UNI EN 481: Atmosfera nell'ambiente di lavoro. Definizione delle frazioni granulometriche per la misurazione delle particelle aerodisperse.
- National Institute for Occupational Safety and Health

alth - NIOSH -, 1996. *Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition - Volatile Organic Compounds (Screening): Method 2549.*

Spain Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. *Determinación de sílice libre cristalina (cuarzo, cristobalita, tridimita) en aire - Método del filtro de membrana/Difracción de rayos X-MTA/MA-056/A06.*

UK Health and Safety Executive - HSE -, 2005. *Methods for Determination of Hazardous Substances MDHS 101 - Crystalline silica in respirable airborne dusts.*

USA Environmental Protection Agency, 1999. *Method TO-15 Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) In Air Collected In Specially-Prepared Canisters And Analyzed By Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS).*

USA National Institute for Occupational Safety and Health - NIOSH -, 1985 revised 1994. *Manual of Analytical: Methods (NMAM), Fourth Edition. Polynuclear Aromatic Hydrocarbons by GC 5515.*

USA National Institute for Occupational Safety and Health - NIOSH -, 2003. *Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition - Silica, Crystalline, by XRD: Method 7500.*

USA Occupational Safety and Health Administration - OSHA-, 1981 revised 1996. *Quartz And Cristobalite In Workplace Atmospheres - Method ID-142.*

USA Occupational Safety and Health Administration - OSHA -, 1983 revised 1989. *Organic Methods Evaluation Branch: Sampling and Analytical Methods: 1,6-Hexamethylene Diisocyanate (HDI), Toluene-2,6-Diisocyanate (2,6-TDI), Toluene-2,4-Diisocyanate (2,4-TDI).*

USA Occupational Safety and Health Administration - OSHA -, 1984 revised 1989. *Organic Methods Evaluation Branch: Sampling and Analytical Methods: Methylene Bisphenyl Isocyanate (MDI).*

### Riferimenti sitografici

- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Prevention through Design <http://www.cdc.gov/niosh/topics/ptd/>.