POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

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

Original
Aspetti di valutazione e gestione del rischio associato alle fasi di generazione e riutilizzo del marino di galleria / Patrucco, Mario; Labagnara, Davide; Coggiola, M.; Pira, Enrico. - In: GEAM. GEOINGEGNERIA AMBIENTALE E MINERARIA. - ISSN 1121-9041. - 133(2011), pp. 69-84.

Availability:
This version is available at: 11583/2460395 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)

01 September 2025

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

Mario Patrucco*
Davide Labagnara*
Maurizio Coggiola**
Enrico Pira**

* DITAG – Dip. Ingegneria Territorio, Ambiente e Geotecnologie, Politecnico di Torino.
** Dip. Traumatologia, Ortopedia e Medicina del Lavoro, AO CTO, Università degli Studi di Torino.

Una efficace Valutazione e Gestione del Rischio nelle operazioni di scavo di una galleria e di riutilizzo del marino, su cui fondare l'attività in coerenza con le norme vigenti in materia di sicurezza e igiene del lavoro, implica un approccio pro-attivo, tenuto conto dei diversi fattori coinvolti.
La conoscenza approfondita delle caratteristiche dell'ammasso da scavare, ancora più importante nel caso di possibile presenza di minerali di riconosciuta nocività specifica come amianto, silice libera cristallina (e minerali radioattivi), costituisce uno strumento essenziale per la corretta impostazione del progetto e la gestione dei lavori.
Lo studio è stato svolto 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" operante presso il Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie del Politecnico di Torino in collaborazione con il Dipartimento di Traumatologia, Ortopedia e Medicina del Lavoro del CTO, Università degli Studi di Torino.

Parole chiave: *Analisi del Rischio, Valutazione e Gestione del Rischio, Sicurezza e Igiene del Lavoro, Prevention through Design (PtD), Scavo di gallerie, Riutilizzo del marino.*

Aspects of risk assessment and management associated with the phases of generation and reuse of the tunnel muck. *An effective Risk Assessment and Management in the tunnels excavation and in the muck reuse, upon which to base the work organization in accordance with the European regulations of safety and hygiene at work, implies a pro-active approach, taken into account all the involved parameters.*
The detailed knowledge of the characteristics of the material to be excavated, particularly important in the possible presence of recognized harmful minerals such as asbestos, crystalline silica (and radioactive minerals), constitutes an essential tool for the definition of correct operating strategies and the management of the operations.
The study was carried out care of 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" operating in the Department of Land, Environment and Geo-Engineering of Politecnico di Torino in collaboration with the Department of Traumatology, Orthopaedics and Occupational Medicine of the CTO, Università di Torino.

Keywords: *Risk Analysis, Risk Assessment and Management, Occupational Safety and Health, Prevention through Design (PtD), Tunnel excavation, Muck reuse.*

Aspects d'évaluation et gestion des risques associés aux phases de production et de la réutilisation des matériaux d'excavation des tunnels. *Évaluation et gestion efficace des risques dans le creusement d'un tunnel et la réutilisation des matériaux d'excavation, sur lesquels fonder l'activité en conformité avec les normes de sécurité et d'hygiène au travail, implique un approche proactif, en tenant compte des différents facteurs impliqués.*
La connaissance des caractéristiques du sol à creuser, encore plus important dans le cas de la possible présence de minéraux nocifs spécifiques reconnus comme l'amiante, la silice cristalline (et de minéraux radioactifs), est un outil essentiel pour le réglage correct de la gestion du projet et des travaux.

L'attività di ricerca che ha portato alla stesura del presente lavoro (che costituisce versione estesa di quanto presentato in occasione del Convegno "Lo sviluppo delle tecnologie per il riciclo del marino delle gallerie – Il progetto regionale REMUCK" del 13 aprile 2011) 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

Nelle società avanzate i processi di produzione si basano sulla sostenibilità, intesa come qualità del processo e del prodotto finale, condizionata, oltre che dalla efficienza produttiva, anche dalla sicurezza e salute dei lavoratori e dalla soddisfazione della comunità (Figura 1).

Il settore della mobilità richiede una speciale attenzione nei confronti dell'ambiente; in particolare, nello scavo di una galleria, sono da prendere in considerazione due aspetti molto importanti: la destinazione del materiale scavato e l'apertura di nuove cave per la fornitura di materie prime.

Un'interessante soluzione per minimizzare questi problemi tra loro concatenati è il riutilizzo del marino di galleria, che può essere impiegato come aggregato per la produzione del calcestruzzo o come materia prima

Le travail a été développé par le groupe WP 8 (sécurité, environnement et qualité du travail) qui opère au Département des Terres, de l'Environnement et Géo de Politecnico di Torino sur le projet "Méthodes innovantes pour le recyclage écologique et durable des matériaux excavés, compte tenu également de la présence potentielle de minéraux nocifs" en collaboration avec le Département de la traumatologie, orthopédie et de la médecine du travail du CTO, Università degli Studi di Torino.

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, réutilisation des matériaux d'excavation.*

per altri processi industriali sempre nell'ambito del medesimo progetto od al limite al di fuori di esso. È però necessario tenere conto del fatto che nel materiale da scavare potrebbero essere presenti sostanze critiche per l'ambiente e per la salute dei lavoratori che condizionano la possibilità di re-impiego dello stesso.

Nel caso delle opere realizzate in una considerevole parte delle Alpi piemontesi si pone ad esempio il problema di possibili consistenti formazioni di Pietre Verdi (serpentiniti ofiolitiche della Zona Piemontese, che si estende con continuità dall'Ossola alla Liguria occidentale), in cui non è certamente escludibile a priori la presenza di amianto (in particolare crisotilo e tremolite-actinolite) o di formazioni (rocce di origine magmatica quali ad esempio basalti, graniti, trachiti, sieniti, porfidi) con associati minerali radioattivi.

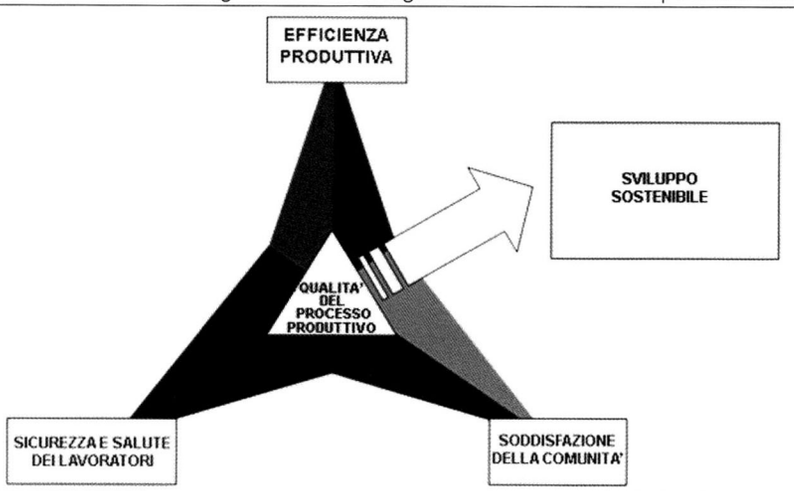
In quanto al quarzo, esso è notoriamente il minerale più diffuso nella litosfera, di cui rappresenta il 12% circa, ed è presente in modo quasi ubiquitario, dato che sono molte le rocce che lo contengono come costituente essenziale (rocce eruttive acide, sedimentarie, scisti cristallini): ne consegue che moltissime attività di scavo vengono in qualche modo ad interessare formazioni contenenti quarzo in tenori più o meno elevati, con possibile aerodispersione di particelle nocive.

È pertanto ovvio che la fattibilità stessa dell'intero sistema sia a priori da verificarsi con una analisi in termini di Valutazione e Gestione del Rischio condotta con gli obiettivi di:

- identificare le informazioni tecniche occorrenti per la impostazione di uno studio delle possibili conseguenze sui lavoratori operanti nel cantiere in sotterraneo, sui lavoratori degli impianti di

Fig. 1 – Principali parametri che influenzano la qualità del processo produttivo. Nella figura sono richiamati i parametri che, ove correttamente analizzati e gestiti in ottica estesa di Analisi e Gestione di Rischio, possono condurre ad una ottimizzazione della qualità globale del processo produttivo, a sua volta alla base, per chi condivide quest'ultimo approccio, dello Sviluppo Sostenibile (riprendendo la definizione: "lo Sviluppo sostenibile è uno sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri").
Main parameters influencing the quality of the production process. In the figure are listed the parameters that, when properly analyzed and managed in the approach of Risk Analysis and Management, may lead to an optimization of the overall quality of the production process, that is the base, for those who share the latter approach, of the Sustainable Development (taking the definition: "Sustainable Development is development that meets present needs without compromising the ability of future generations to meet theirs").

Efficienza produttiva	Sicurezza e Salute dei lavoratori	Soddisfazione della comunità
– elevata produttività	– politiche di prevenzione degli infortuni	– salute della comunità
– affidabilità del prodotto finito	– corrette condizioni igienico ambientali ai luoghi di lavoro	– salvaguardia ambientale
– assenza di sanzioni o penali	– limitazione dei trasferimenti di rischio	– contenimento delle emissioni
– minori tasse	– gestione delle emergenze	– ridotta occupazione del territorio
		– possibilità occupazionali



trattamento e riutilizzo (venendo il marino a costituire materia prima per altra fase lavorativa, devono essere valutati – sempre in approccio preventivo – i possibili trasferimenti di rischio dal cantiere di scavo al sito in cui avranno luogo le successive operazioni), sui futuri utilizzatori e manutentori di quanto realizzato, sulle condizioni di salute delle popolazioni residenti nelle aree finitime al cantiere stesso, e più in generale sull'ambiente di vita in tali aree;

- identificare – nell'ovvia impossibilità di operare in molti casi in situazioni di rischio nullo, in quanto le scelte di tracciato non sono più che tanto modificabili, ed i dati stessi del problema non possono essere noti al di là di un certo grado di approssimazione – le soluzioni tecniche di scavo, smarino, trattamento del materiale di risulta e gestione delle emissioni associate più confacenti alla minimizzazione del rischio, con riferimento al progresso della tecnica e delle conoscenze come imposto dalla logica ancor prima che dalle vigenti norme.

Naturalmente quanto precede ha importanza sostanziale nel contesto generale degli studi sul riutilizzo del marino di galleria, in quanto su tali concetti si fonda la definizione stessa della sua destinazione ultima (necessità di smaltimento, con importante incidenza negativa economica ed ambientale, oppure possibilità di reimpiego).

1. Aspetti normativi

1.1. Quadro normativo vigente relativamente ai lavori civili in sotterraneo

Il D.Lgs. 9 aprile 2008, n. 81 (comunemente noto come Testo Unico Sicurezza) e le successive modifiche ed integrazioni hanno riordinato in un unico corpus le numerose leggi e regolamenti emessi dagli anni '50 al 2008, insieme ai progressivi recepimenti nazionali delle Direttive Europee in tema di prevenzione, definita (Art. 2) come: "*complesso delle disposizioni o misure necessarie anche secondo la particolarità del lavoro, l'esperienza e la tecnica, per evitare o diminuire i rischi professionali nel rispetto della salute della popolazione e dell'integrità dell'ambiente esterno*".

Il Testo Unico Sicurezza, pur dettando i riferimenti di base anche relativamente alle attività civili in galleria – esplicitamente richiamate in Allegato XI – ha tralasciato di prendere in considerazione l'unica norma italiana che ha regolato i lavori in sotterraneo non minerari, il D.P.R. 20 marzo 1956, n. 320. All'epoca di tale normativa, l'approfondimento progettuale era molto diverso da oggi e le gallerie erano affidate a imprese specializzate che eseguivano la realizzazione dell'opera sulla base dell'esperienza e sul sistema del "trial by error". L'impianto normativo d'altra parte era, coerentemente con l'approccio dell'epoca, tipicamente prescrittivo, ben lontano dall'approccio in termini di valutazione e gestione del rischio introdotto dalla normativa Europea, che, soprattutto nelle situazioni complesse, è certamente il solo modo corretto di porsi.

Per una visione maggiormente approfondita di tali aspetti si rimanda a Berry e Patrucco (2011), Sorlini (2010) e Labagnara et al. (in press).

1.2. Quadro normativo per il riutilizzo del marino di galleria

Dal punto di vista normativo, le possibilità di riutilizzo delle terre e delle rocce derivanti dall'attività di scavo di una galleria sono vincolate a quanto contenuto nel D.Lgs. 152/2006 e smi.

La Parte Quarta del suddetto decreto contiene le norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati e in particolare quelle riguardanti un eventuale utilizzo delle terre e delle rocce derivanti dall'attività di scavo di una galleria. Essa divide il marino, a seconda delle sue caratteristiche, in materiale che deve essere considerato rifiuto o materiale che può essere utilizzato per diverse attività.

Le terre e rocce da scavo possono non essere considerate rifiuto purché (D.Lgs. 152/2006 Art. 186. Terre e rocce da scavo) "... *c) l'utilizzo integrale della parte destinata a riutilizzo sia tecnicamente possibile senza necessità di preventivo trattamento o di trasformazioni preliminari per soddisfare i requisiti merceologici e di qualità ambientale idonei a garantire che il loro impiego non dia luogo ad emissioni e, più in generale, ad impatti ambientali qualitativamente e quantitativamente diversi da quelli ordinariamente consentiti ed autorizzati per il sito dove sono destinate ad essere utilizzate; d) sia garantito un elevato livello di tutela ambientale; e) sia accertato che non provengono da siti contaminati o sottoposti ad interventi di bonifica ai sensi del titolo V della parte quarta del presente decreto; f) le loro caratteristiche chimiche e chimico-fisiche siano tali che il loro impiego nel sito prescelto non determini rischi per la salute e per la qualità delle matrici ambientali interessate ed avvenga nel rispetto delle norme di tutela delle acque superficiali e sotterranee, della flora, della fauna, degli habitat e delle aree naturali protette. In particolare deve essere dimostrato che il materiale da utilizzare non è contaminato con riferimento alla destinazione d'uso del medesimo, nonché la compatibilità di detto materiale con il sito di destinazione;...*".

L'Allegato V alla Parte Quarta dello stesso D.Lgs. contiene i valori di concentrazione limite delle sostanze nocive (ad esclusione dei minerali radioattivi), riferiti alla specifica destinazione d'uso, accettabili nel suolo e utilizzabili anche per decidere se le terre e rocce da scavo sono riutilizzabili o meno (per quanto riguarda la possibile presenza di minerali radioattivi nel marino

potenzialmente riutilizzabile il riferimento è il D.Lgs. 230/1995 e s.m.i., nato come attuazione della Direttiva 96/29/Euratom in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti).

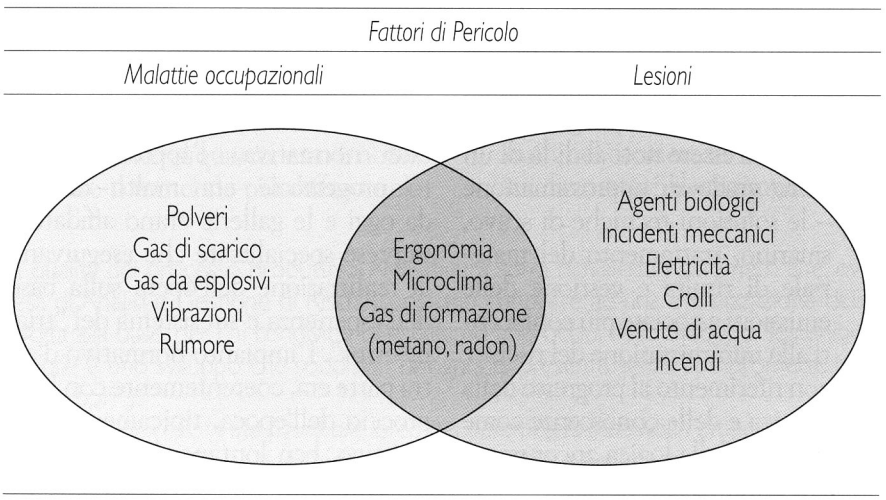
2. *Sicurezza e salute sui luoghi di lavoro nelle attività di scavo in sotterraneo per la realizzazione di opere civili*

I lavori per la realizzazione di opere civili in sotterraneo richiedono una particolare attenzione per quanto riguarda gli aspetti di sicurezza e di igiene del lavoro: la presenza di spazi operativi ristretti, l'elevata concentrazione di mezzi di grande potenza, l'utilizzo di cicli di lavoro iterativi e i tempi ridotti di esecuzione dello scavo costituiscono elementi di difficoltà oggettiva e rendono cogente la necessità di programmare e di pianificare l'attività dal punto di vista della tutela della sicurezza e salute dei lavoratori, anche ed in particolare considerando le interferenze tra le lavorazioni concomitanti ed interagenti nello stesso luogo. Queste problematiche si intrecciano con gli aspetti di igiene del lavoro, diventando maggiormente critiche nel caso di scavo in presenza di sostanze nocive, come ad esempio amianto, quarzo, elementi radioattivi, gas di formazione, ecc..

Ne segue la necessità di dar luogo ad una progettazione che tenga conto di tali aspetti e di predisporre contromisure impiantistiche dedicate coerenti con le difficoltà di contesto "ordinario" (ventilazione, illuminazione, ecc.) e "speciale" (basti pensare all'approccio specifico necessario per atmosfere esplodibili per quanto concerne attrezzature ed impianti, ventilazione ovviamente compresa).

Le criticità più evidenti nell'ambito analizzato e i relativi fattori di pericolo sono riassunti in Figura 2 e in Tabella 1.

Fig. 2 – Fattori di pericolo riscontrabili nei cantieri in sotterraneo.
Hazards in underground sites.



Tab. 1 – Origine e possibili conseguenze delle principali criticità riscontrabili nei cantieri in sotterraneo.
Origin and possible consequences of the main problems encountered in underground construction.

	Criticità	*Possibili conseguenze associate*
Dovute a cause naturali	Condizioni geomeccaniche più o meno difficili.	Cedimenti o crolli massivi o di porzioni localizzate, colpi di tensione, ...
	Gas: grisù, radon, anidride solforosa, ...	Esplosioni, intossicazioni, alterazioni nel funzionamento dei motori, ...
	Temperatura (caldo, associato al gradiente geotermico; talora freddo, in caso di presenza di acqua).	Stress da caldo, difficoltà di raffreddamento delle macchine, alterazioni del flusso d'aria naturale.
	Sostanze nocive contenute nelle rocce (amianto, silice libera cristallina, minerali radioattivi, ...).	Malattie lavoro correlate.
	Acqua di formazione.	Instabilità generali o localizzate, irruzioni di acqua.
Dovute alle operazioni di scavo	Roccia, materiale di rivestimento temporaneo.	Cadute di materiali dall'alto (date le attuali sezioni, che possono raggiungere e superare i 100 m^2, anche elementi di modeste dimensioni possono costituire un importante fattore di pericolo).
	Gas: scarichi di mezzi a combustione interna, esplosioni, operazioni varie (saldatura,...).	Esplosioni, incendi, intossicazioni.
	Polveri associate alle operazioni di abbattimento e movimentazione.	Esplosioni, malattie lavoro correlate, problemi di visibilità, ...
	Temperatura (caldo, dovuto a macchine ed installazioni).	Stress da caldo, difficoltà di raffreddamento delle macchine, alterazioni del flusso d'aria naturale, innesco di incendi ed esplosioni.
	Carburanti, lubrificanti, pneumatici, cavi, ...	Carico di incendio.

Gli aspetti statistici relativi agli infortuni avvenuti durante lavorazioni in sotterraneo sono discussi e commentati esaustivamente in Berry e Patrucco (2011), mentre per quanto concerne le malattie professionali del medesimo comparto, un quadro dettagliato sulla situazione specifica è al momento di impossibile identificazione, in quanto non sono reperibili dati rappresentativi e completi.

3. Principi di Analisi e gestione del Rischio

Lo strumento essenziale ai fini della tutela della sicurezza e salute dei lavoratori e della protezione dell'ambiente è una attenta azione di prevenzione, ossia di Gestione del Rischio, intesa come sua eliminazione o riduzione al minimo, con riferimento al progresso della tecnica e delle conoscenze.

Ovviamente è essenziale a questo scopo una corretta Analisi del Rischio, che deve portare alla sua quantificazione: tale analisi deve necessariamente fondarsi su un'esaustiva fase di Identificazione dei Pericoli e sulla definizione di corretti modelli di esposizione tramite una puntuale valutazione delle durate delle reali attività[1].

È altrettanto ovvio che tutti i processi decisionali inerenti alla sicurezza devono essere affrontati fin dalle fasi iniziali di progettazione, poiché solamente in questo modo, oltre ad assolvere gli obblighi di legge, si possono garantire l'efficacia e l'economicità degli interventi da mettere in atto.

Come accennato, considerare il progetto come fase essenziale di prevenzione e la prevenzione come parametro essenziale di progetto costituisce il fondamento della tecnica oggi comunemente nota col nome di Prevention through Design –PtD – (http://www.cdc.gov/niosh/topics/ptd/, accesso in data 01/07/2011) e si pone peraltro concettualmente, sin dagli anni '90, alla base delle normative di sicurezza comunitarie.

4. Fondamenti di igiene del lavoro riferita all'attività in sotterraneo: il caso dei particolati aerodispersi

Dal punto di vista legislativo gli obblighi connessi con la necessità di prevenire i rischi per i lavoratori derivanti dall'esposizione all'agente materiale di pericolo "particolati aerodispersi", così come quelli connessi alla necessità di proteggerli dai medesimi sono contenuti nel D.Lgs. 81/08, Titolo IX – Sostanze Pericolose, ai punti:

- Capo 1 – Protezione da Agenti Chimici;
- Capo 2 – Protezione da Agenti cancerogeni;
- Capo 3 – Protezione dei lavoratori contro i rischi connessi ad esposizione ad amianto.

Dal punto di vista sanitario le malattie professionali respiratorie sono di gran lunga le più frequenti e sono la conseguenza dell'esposizione a sostanze broncoirritanti (broncopneumopatie cronico-ostruttive), o dell'esposizione a polveri (pneumoconiosi).

La pneumoconiosi è un accumulo di polvere nel polmone da cui possono derivare due differenti quadri:

1. la struttura del polmone non cambia, non vi è fibrosi del tessuto polmonare, la reazione del polmone che si può osservare è reversibile ed in genere non vi è una compromissione della funzione polmonare;
2. vi è un danno permanente della struttura del polmone con la presenza di una fibrosi più o meno diffusa irreversibile associata ad una riduzione della funzione polmonare.

L'insorgenza di una pneumoconiosi è condizionata, oltreché dalla durata e dall'entità dell'esposizione, dalle caratteristiche dimensionali della polvere aerodispersa ed in particolare dalla quota di frazione respi-

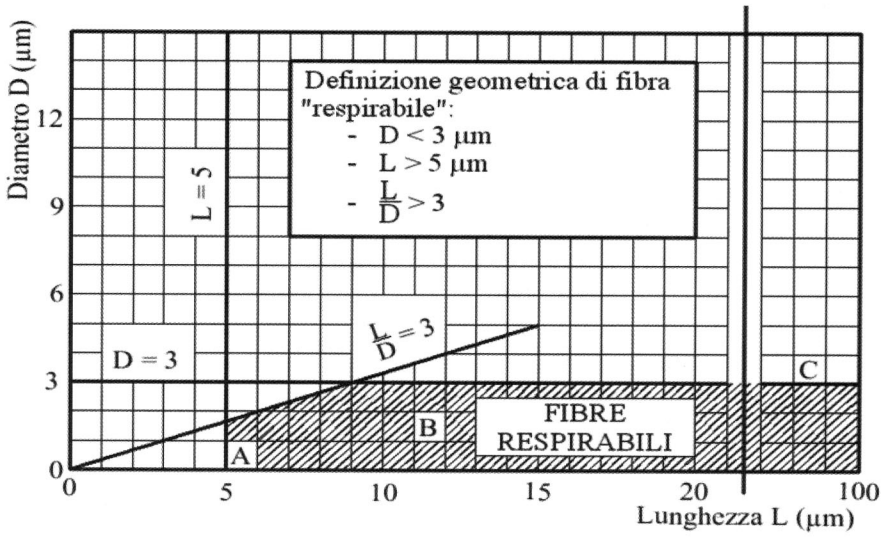


Fig. 3 – Range di respirabilità delle fibre: A = la più piccola fibra visibile al microscopio, B = fibra media, C = la massima fibra respirabile.
Range of breathable fibers: A = the smallest fiber visible with a microscope, B = average fiber, C = maximum respirabile fiber.

[1] Si è avuto modo di osservare sulla scorta di analisi approfondite che nel caso delle lavorazioni in galleria l'accorpamento in categorie differenziate dei lavoratori è operazione davvero molto delicata.

rabile, formata da polveri a struttura granulare con un diametro aerodinamico compreso tra 0,3 e 5 micron (UNI EN 481:1994) o da fibre (Art. 246 D.Lgs. 81/08), in grado di raggiungere il polmone profondo e la struttura alveolare (Figura 3).

I principali quadri di pneumoconiosi (sia per frequenza che per gravità) sono conseguenti all'esposizione a silice (silicosi) e ad amianto (asbestosi).

4.1. *Quarzo*

Gli effetti sulla salute attribuibili al quarzo sono conseguenti all'esposizione professionale a silice cristallina nella sua frazione respirabile (Crystalline Silica Respirable – CSR).

La silicosi è una fibrosi polmonare irreversibile causata dall'inalazione di CSR e caratterizzata da una condizione di dose-dipendenza: il rischio di contrarre la malattia cresce al crescere dell'esposizione ed esiste un valore limite di esposizione al di sotto del quale il rischio diviene statisticamente trascurabile (No Observed Adverse Effect Level – NOAEL). A supportare tale ipotesi si ricorda una pooled-analisi pubblicata da Mannetje et al. (2002) e basata sulla valutazione di sei coorti di esposti: fu osservato un incremento del rischio silicosi da un tasso di 4,7/100.000 persone/anno con esposizione cumulativa inferiore a 1 mg/m^3 anno ad un tasso di 233/100.000 persone/anno con esposizioni molto alte (> 28 mg/m^3 anno).

Molto più controversi sono i dati relativi al rapporto tra silice e tumore del polmone: il dibattito è orientato a verificare se la silice di per sé è in grado di determinare un eccesso di rischio per il tumore del polmone o se per contro il tumore del polmone sia un effetto secondario della silicosi o quantomeno la silicosi sia un fenomeno che deve precedere la comparsa del tumore del polmone.

Nel 1997 l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha classificato la silice cristallina come sicuramente cancerogena per l'uomo, ma in realtà un'attenta analisi dei dati di letteratura pone seri dubbi sulla correttezza di questa valutazione: molti lavori che analizzano il rapporto tra silice e cancro danno risultati negativi oppure non raggiungono la significatività statistica; al contrario risulta più rilevante il rapporto tra silicosi e cancro (in Figura 4 sono rappresentati i risultati degli studi statistici del rapporto tra silice e cancro e in Figura 5 quelli tra silicosi e cancro).

La sintesi sullo stato dell'arte dell'evidenza scientifica è riportata nelle conclusioni della metaanalisi con autori Pelucchi et al. (2005): "*... the association with lung cancer was considered consistent for silicotics, but the data were limited for non silicotic subjects and not easily explained for undefined silicosis status workers. This leaves open the issue of dose-risk relation and pathogenic mechanisms and supports the conclusion that the carcinogenic role of silica per se in absence of silicosis is still unclear.*"

A supporto delle perplessità derivanti dalla lettura dei dati epidemiologici sono anche i risultati degli studi sperimentali che non documentano in maniera univoca un eccesso di rischio negli animali esposti a silice cristallina in laboratorio e che non evidenziano un meccanismo d'azione oncogena plausibile (il meccanismo d'azione oggi proposto è ancora del tutto sovrapponibile a quello chiamato in causa per la silicosi).

Dal punto di vista pratico ne deriva che attuando una buona prevenzione della silicosi è possibile controllare il rischio di tumore del polmone da esposizione a silice che sarebbe pertanto un tumore dose-dipendente con un valore soglia il cui rispetto tende ad annullare il rischio.

Tale concetto nel 2003 è stato ripreso e formalizzato a livello europeo dallo SCOEL (Scientific Committee Occupational Exposure Level): "*The main effect in human of the inhalation of respirable silica dust is silicosis. There is sufficient information to conclude that the relative risk of lung cancer is increased in persons with silicosis (and apparently, not in employees without silicosis exposed to silica dust in quarries and in the ceramic industry). Therefore preventing the onset of silicosis will also reduce the cancer risk. Since a clear threshold for silicosis development cannot be identified, any reduction of exposure will reduce the risk of silicosis. (...) It arises that an OEL should lie below 0,05 mg/m^3*".

Sulla base delle considerazioni sopra riportate i principali produttori a livello europeo di silice e di materiali contenenti silice hanno deciso di classificare la silice cristallina, in accordo con il sistema armonizzato di classificazione delle sostanze pericolose per l'uomo come STOT RE 1 (Specific target organ toxicity – repeated) per inalazione, corrispondente al vecchio concetto di tossico.

I materiali e le miscele contenenti valori percentuali di silice cristallina respirabile maggiore del 10% sono anch'essi classificati come STOT RE 1, mentre, in presenza di valori percentuali superiori all'1% ma inferiori al 10%, vengono classificati come STOT RE 2 (corrispondente al vecchio concetto di nocivo).

A livello europeo è stato siglato un accordo tra le parti sociali pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale della Comunità Europea del 17 novembre 2006 (2006/C 279/03) che definisce i criteri base dell'Analisi e Gestione del Rischio in caso di attività comportanti potenziale esposizione a silice cristallina, inseriti in Tabella 2 (su ciò si fonda l'approccio adottato anche in ambito Network Italiano Silice, come ricordato anche in Patrucco et al. (1998)).

Con particolare riferimento alle attività di scavo in galleria, da valutazioni di monitoraggi ambientali condotti in un'attività assimilabile

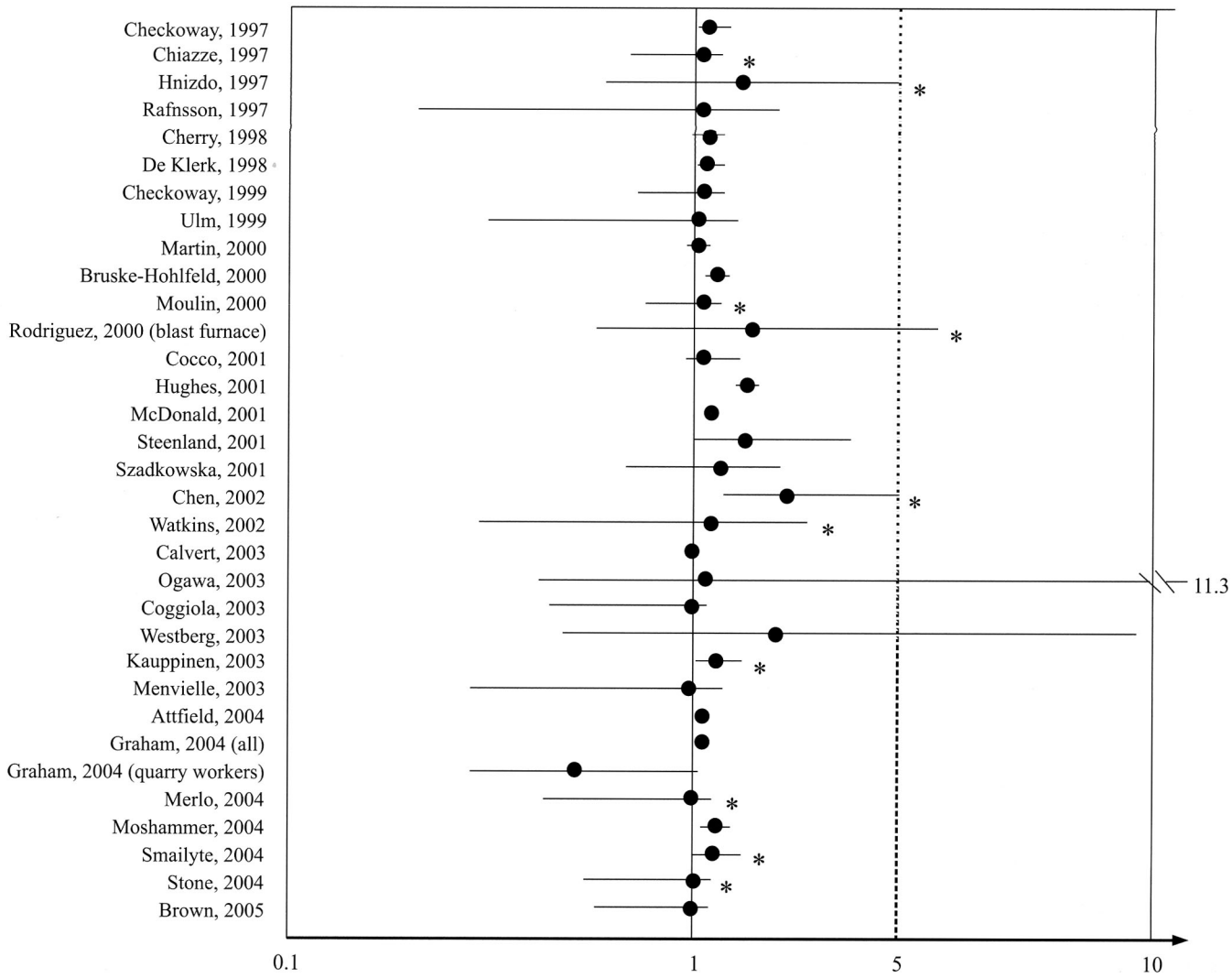


Fig. 4 – Risultati degli studi statistici sul rapporto tra silice e cancro. ● = rischio relativo RR, — = intervallo di confidenza del 95% * = confounding, si intende la presenza di fattori di confondimento (es. fumo, altre esposizioni) che possono aver influenzato i risultati osservati e che non sono stati oggetto di analisi dedicata nell'indagine epidemiologica.
*Results of statistical studies on the relationship between silica and cancer. ● = relative risk RR, – = 95% confidence interval, * = confounding, is defined as the presence of confounding factors (eg smoking, other exposures) that may have influenced the results that have not been observed and analyzed by the epidemiological investigation.*

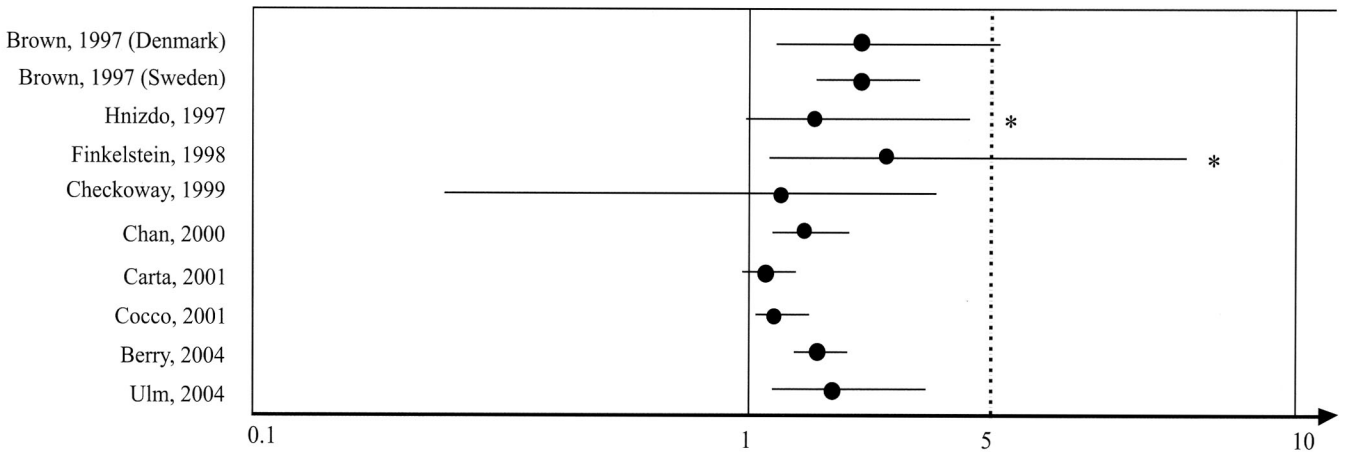


Fig. 5 – Risultati degli studi statistici sul rapporto tra silicosi e cancro.
Results of statistical studies on the relationship between silicosis and cancer.

Tab. 2 – Motivazioni, obiettivi e principi dell'accordo Europeo in caso di potenziale esposizione a silice cristallina.
Motivations, objectives and principles of the European agreement in the case of potential exposure to crystalline silica.

Motivazioni dell'accordo Europeo	
– La silice cristallina è onnipresente – Il rischio inerente alla silice cristallina è limitato al posto di lavoro – Il rischio inerente alla silice cristallina è variabile – I lavoratori affetti da silicosi sono a più alto rischio di cancro al polmone	– Il controllo della silicosi previene il cancro – I casi di silicosi odierni derivano da esposizioni passate – La silicosi è una malattia prevenibile – L'esposizione alla silice cristallina respirabile può essere ridotta
Obiettivi dell'accordo Europeo	
– Tutelare la salute dei lavoratori – Minimizzare l'esposizione a silice cristallina respirabile applicando una serie di Buone Pratiche – Aumentare la conoscenza dei potenziali effetti sulla salute della silice cristallina respirabile e delle Buone Pratiche	
Principi dell'accordo Europeo	
– Effettuare una prima valutazione del rischio sulla base dei risultati del controllo dell'esposizione alle polveri – Attuare le Buone Pratiche (collettive e, se necessario, anche misure di protezione individuale) – Fornire informazione, formazione ed addestramento ai lavoratori – Organizzare la sorveglianza sanitaria – Monitorare l'applicazione dell'accordo e delle Buone Pratiche (a livello di sito) – Relazionare al Consiglio NEPSI (http://www.nepsi.eu, accesso in data 01/07/2011) riguardo all'applicazione dell'accordo	

a quelle prese in esame si evidenzia come la silice cristallina sia un inquinante ubiquitario e come sia altamente probabile ritrovare la silice anche nei materiali di risulta: ciò richiede pertanto un'attenta valutazione sulla possibilità di determinare l'esposizione a CSR in caso di loro riutilizzo.

4.2. Amianto

La scelta comunitaria di bandire l'uso dell'amianto (recepita in Italia dalla Legge 257/92) è stata fatta sulla base delle evidenze scientifiche relative agli effetti sulla salute derivanti dall'esposizione ad amianto, come discusso da International Agency For Research On Cancer (1998) (Tabella 3).

Il tumore del polmone riconosce nel fumo di sigaretta la sua principale causa, ma l'effetto combinato di abitudine tabagica ed esposizione ad amianto aumenta il rischio con un effetto sinergico moltiplicativo piuttosto che additivo. Non è invece documentata una associazione tra fibrosi e tumore del polmone: è possibile osservare casi di tumore del polmone potenzialmente attribuibili all'esposizione ad amianto in assenza di un quadro di asbestosi.

Il mesotelioma è invece un tumore maligno che si sviluppa generalmente a livello pleurico e più raramente a livello peritoneale, si manifesta molti anni dopo la prima esposizione e può essere conseguenza di una esposizione anche a basse dosi di amianto. Pur a fronte di una documentata relazione dose/risposta (all'aumentare della dose aumenta la

Tab. 3 – Effetti sulla salute dell'amianto.
Health effects of asbestos.

Organi	*Effetti*	*Associazione con l'esposizione*
Laringe	Carcinoma	Possibile
Polmone	Fibrosi interstiziale	Stabilita
	Carcinoma	Stabilita (effetto moltiplicativo con il fumo)
Pleura	Ispessimenti pleurici	Stabilita
	Placche pleuriche	Stabilita
	Versamento pleurico benigno	Stabilita
	Mesotelioma	Stabilita
Peritoneo	Mesotelioma	Stabilita
Apparato gastrointestinale	Neoplasia	Possibile