

VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA POLVERI SILICOTIGENE NELLE ATTIVITÀ DI SCAVO DI GALLERIE. L'ESPERIENZA CONTARP NEL TRATTO AUTOSTRADALE DELLA A3 SALERNO-REGGIO CALABRIA

S. BUSONERO¹, G. GARGARO², M. MECCHIA², G. MITA¹

¹INAIL - Direzione Regionale Calabria - Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione

²INAIL - Direzione Generale - Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione

RIASSUNTO

Lo studio prende in rassegna l'esposizione al rischio di inalazione di silice libera cristallina (SLC) respirabile nella fase di scavo di dodici gallerie naturali a doppia canna, relativamente ad un macro lotto per i lavori di ammodernamento dell'autostrada Salerno – Reggio Calabria (dal km 393+500 al km 423+300). I risultati analitici evidenziano un'esposizione generalizzata per tutte le maestranze occupate al fronte scavo, con picchi espositivi in SLC per gli addetti occupati allo scavo del fronte con martellone. Se si esclude un solo valore rilevato inferiore a 0,05 mg/m³, il 17% dei dati esaminati è compreso tra 0,05 e 0,1 mg/m³ ed il restante 83% supera il valore di 0,1 mg/m³ di SLC.

SUMMARY

This report reviews the exposure to the risk of inhalation of respirable free crystalline silica in digging of twelve natural tunnels -double reed- during jobs of modernization for a macrolot of motorway A3 Salerno-Reggio Calabria (from km 393+500 to km 423+500). The analytical results show widespread exposure for all workers employed at the excavation front, with peaks in the exposition of free crystalline silica for workers employed at digging of the front with big jackhammer. Except for a single measure of less than 0,05 mg/m³, the 17% of examined data is between 0,05 and 0,1 mg/m³ and the remaining 83% exceeds the value of 0,1 mg/m³ of silica.

1. INTRODUZIONE

Ai fini dell'accertamento del rischio silicosi per gli aspetti assicurativi dell'INAIL, sono state svolte delle indagini in dodici gallerie naturali dell'Autostrada A3 SA-RC in vari stadi di avanzamento, concentrando l'attenzione sulle maestranze impegnate al fronte scavo, in quanto in base alle tecniche lavorative, ai macchinari utilizzati ed alle caratteristiche geologiche del territorio interessato, si è ritenuto che i lavoratori impegnati nelle altre lavorazioni in galleria, in quelle artificiali o all'aperto potessero essere esposti a valori di SLC inferiori al limite assicurativo.

La complessità delle lavorazioni, dovuta al gran numero di imprese impegnate, ad un ciclo tecnologico spesso interrotto da eventi imprevisti, ad una pianificazione degli interventi talvolta disattesa, ha avuto delle ricadute sulle attività di monitoraggio della polverosità degli ambienti di lavoro. Nonostante ciò, le misure effettuate sono sufficienti per la rappresentazione reale del quadro espositivo alla SLC delle principali mansioni delle attività indagate.

2. MATERIALI E METODI

2.1 Il ciclo di lavoro

Il ciclo lavorativo per la realizzazione delle gallerie naturali, generalmente, è così articolato:

- 1) preparazione dell'area imbocco galleria
 - recinzione dell'area e predisposizione accessi;
 - viabilità interna e accessi;
 - operazioni di tracciamento;
 - picchettatura;
- 2) opere di consolidamento imbocchi gallerie e di fondazione in genere
 - messa in opera di micropali e/o tiranti;

- 3) preconsolidamento del fronte di scavo
 - getto spritz-beton;
 - perforazione e inserimento tubi in VTR e iniezione;
- 4) scavo del fronte
 - scavo con martellone;
 - scavo con esplosivo:
 - esecuzione dei fori di volata;
 - caricamento della volata;
 - brillamento della volata;
 - sfumo;
 - disgaggio;
- 5) smarino
 - caricamento marino su autocarro o dumper;
 - smarino con autocarro o dumper;
 - trasporto di materiale in discarica;
- 6) prerivestimento
 - montaggio centine;
 - posa in opera di catene e rete elettrosaldata;
 - applicazione spritz-beton;
 - applicazione bulloni radiali;
- 7) costruzione murette
 - scavo e smarino;
 - impermeabilizzazione e posizionamento tubi drenaggio;
 - predisposizione della cassaforma;
 - getto e disarmo;
- 8) costruzione arco rovescio
 - scavo e smarino;
 - predisposizione smorza e tubi di drenaggio;
 - getto del calcestruzzo;
 - avanzamento del ponte di servizio semovente;
- 9) impermeabilizzazione
 - posa in opera di teli tessuto-non tessuto;
 - posa in opera della guaina in PVC;
- 10) costruzione della calotta
 1. traslazione della cassaforma;
 2. stabilizzazione della calotta, pulizia ed oliatura delle forme;
 3. esecuzione smorza;
 4. getto del calcestruzzo;
 5. disarmo.

2.2 Attività lavorative monitorate

Le gallerie naturali indagate sono tutte a doppia canna e le indagini sono state effettuate ad avanzamenti compresi nell'intervallo 400 - 900 m.

Alla luce del ciclo lavorativo, si è scelto di procedere al campionamento delle seguenti fasi operative:

1. preconsolidamento del fronte di scavo;
2. scavo del fronte con martellone;
3. smarino;
4. prerivestimento (posa centine, getto arco-rovescio e getto spritz-beton).

Le mansioni campionate nelle attività di perforazione sono state le seguenti:

- ✓ addetto alla perforazione - addetto all'esecuzione delle perforazioni per consolidare i terreni;
- ✓ macchinista alla perforatrice - si trova all'interno della cabina di guida climatizzata ed insonorizzata della macchina;
- ✓ manovale - operaio non qualificato - svolge lavori semplici e spesso pesanti.

Per quanto riguarda l'attività di scavo del fronte in galleria, sono state campionate tutte le mansioni della squadra tipica e cioè:

- ✓ caposquadra – sovrintende i lavori, ma comunque partecipa attivamente alle lavorazioni;
- ✓ lancista – utilizza la pompa per l'esecuzione dello spritz-beton;
- ✓ escavatorista (martellonista) – aziona l'escavatore con il martellone per lo scavo in avanzamento;
- ✓ palista – aziona la pala meccanica gommata per il carico dei materiali (smarino);
- ✓ minatore/ferraiolo – aiuta nelle varie fasi e si occupa anche della lavorazione e posa dei ferri di armatura delle strutture in cemento armato.

Inoltre, nella fase di smarino e nelle fasi di getto sono stati monitorati gli addetti alla mansione di:

- ✓ autista – evacua il materiale di risulta e trasporta il calcestruzzo o spritz-beton.

Le lavorazioni avvengono solitamente su 3 turni nelle 24 ore giornaliere ed impegnano una squadra a turno su uno dei fronti in avanzamento. A titolo esemplificativo, per l'avanzamento di 1 m del fronte di scavo, il tempo necessario è indicativamente di circa 8 ore (pari al turno di lavoro), ripartito nel modo seguente:

- scavo e smarino: 4^h - 4^h 30'
- getto pre-spritz: 30'
- posa centina: 1^h 30'
- getto spritz: 1^h 15'

2.3 Assetto litostratigrafico locale

Le rocce affioranti nell'area in studio possono essere suddivise in due grandi unità litostratigrafiche:

- a) rocce appartenenti al basamento cristallino di età Paleozoica;
- b) rocce appartenenti a sequenze sedimentarie di copertura di età terziaria e quaternaria.

2.3.1 Il basamento cristallino del Paleozoico

Nel territorio dove sono state svolte le indagini sono presenti i seguenti litotipi, per i quali sono stati anche indicati i dati sui tenori medi di SLC espressi in percentuale mineralogica media "c".

- Paragneiss, "c"=37.5%: gneiss biotitici di colore bruno, composti prevalentemente da quarzo, plagioclasio, biotite, muscovite e sillimanite; affiorano prevalentemente nel settore compreso tra le progressive 412 e 418 circa (interessate sei delle dodici gallerie a doppia canna indagate).
- Migmatiti e Gneiss migmatitici, "c"=37.5%: metamorfici di colore dal verde scuro al grigio; paragenesi con quarzo, plagioclasio e biotite con subordinate muscovite e sillimanite; lungo il tracciato affiorano esclusivamente in corrispondenza di una galleria, tra le progressive 398+500 e 399 circa.
- Tonaliti e Granodioriti, "c"=20-22%: di colore verdastro, composte da plagioclasio, biotite, anfibolo, quarzo e subordinato epidoto; affiorano in maniera diffusa in tutto il tracciato tra le progressive 401 e 412 circa (interessate cinque gallerie).
- Metagraniti e Ortogneiss, "c"=27%: di colore variabile dal bruno al grigio, paragenesi di feldspato potassico, quarzo, plagioclasio, biotite e muscovite; affiorano estensivamente tra le progressive 415+500 e la fine del lotto (interessata una galleria).

- Metabasiti, “c”=assente: di colore verde intenso, presentano composizione basica e paragenesi metamorfica definita da plagioclasio e anfibolo con subordinati epidoto e biotite; non sembrerebbero affiorare lungo il tracciato di progetto.

2.3.2 L'orizzonte di alterazione nelle rocce di basamento

Si tratta di una fascia di alterazione di potenza compresa tra 5 e 30 m; il feldspato è stato completamente sostituito da minerali argillosi (caolinizzazione), ed in misura minore la biotite ed eventualmente l'anfibolo. Pertanto l'alterazione appare più intensa nelle rocce quali le tonaliti, le granodioriti, i metagraniti e filoni pegmatitici, con abbondante feldspato nella composizione mineralogica.

2.3.3 Le sequenze di copertura (Miocene – Pleistocene)

Si tratta di rocce sedimentarie sia di origine marina che continentale.

2.3.3.1 I depositi marini (Miocene – Pliocene)

Al di sopra di un orizzonte conglomeratico è riconoscibile una sequenza formata dai depositi di seguito descritti.

- Sabbie e calcareniti del Miocene medio-superiore, “c”=variabile: alternanze di strati e banchi di sabbie e arenarie fossilifere, di calcareniti e locali orizzonti siltoso-argillosi; la potenza complessiva può arrivare a 50-70 m; sedimenti particolarmente diffusi nel settore centrale dell'area di indagine, tra le progressive 403+500 e 408 (interessata una galleria).
- Calcarei evaporitici del Miocene superiore, “c”=assente o in tracce: di colore bianco e tessitura vacuolare, localmente associati a calcari biocostruiti; la potenza complessiva può arrivare a 30-40 m; affiorano tra le progressive 394 e 398+500 (interessata una galleria).
- Brecce carbonatiche del Miocene sup.- Pliocene inf., “c”=assente o in tracce: si tratta di brecce e conglomerati con clasti, di dimensioni variabili dal centimetro al decimetro, di rocce di basamento e carbonatiche; le brecce mostrano un passaggio graduale verso i silts argillosi e le sabbie del Pliocene; affiorano solo intorno alla progressiva 399 (interessata una galleria).
- Sabbie, sabbie siltose e silts del Pliocene, “c”=variabile: granulometrie variabili di colore dal bruno chiaro al grigio chiaro; di potenza complessiva anche superiore ai 50 m; depositi diffusi tra le progressive 394 e 402 circa (interessate due gallerie).

2.3.3.2 I depositi continentali del Pleistocene

Si tratta di sabbie medio-fini alternate a livelli sabbioso-limosi o sabbie medio-grossolane con intercalazioni ghiaiose di potenza decimetrica o metrica, “c”=variabile; localmente si rinvencono conglomerati e depositi di blocchi con clasti di dimensioni centimetriche/decimetriche immersi in matrice sabbiosa; la potenza varia tra 5 e 50 m; sono diffusi lungo tutto il tracciato.

2.3.4 I depositi olocenici recenti attuali

Sono i prodotti dell'evoluzione geologica recente ed attuale. Comprendono detriti di falda, depositi alluvionali e torrentizi, depositi detritico-colluviali (localmente anche 7-8 m di potenza); affiorano solo superficialmente e non interessano le attività di scavo delle gallerie.

2.4 Campionamenti di polveri

Il campionamento del particolato aerodisperso (limitatamente alla frazione “respirabile” così come definita dalla norma UNI EN 481) è stato effettuato a livello “personale” operando con campionatori portatili, indossati direttamente dai soggetti impegnati nelle proprie attività, dotati di portafiltro posizionato in prossimità della zona di respirazione. I campionamenti sono stati effettuati

utilizzando pompe a batteria AirChek 2000 della ditta SKC, con flusso di aspirazione costante pari a 2,2 l/min, mentre il dispositivo di ingresso per le polveri respirabili era costituito da un ciclone preselettore con stabilizzatore di flusso, prodotto dalla ditta SKC, secondo quanto definito nella norma UNI EN 481 (1994) e che soddisfa i requisiti prestazionali generali citati nella norma UNI EN 482 (1998).

Per la captazione del particolato sono state impiegate membrane filtranti in argento (OSMONICS), con porosità di 0,8 μm e diametro di 25 mm.

La determinazione della concentrazione nell'aria della polvere respirabile è stata effettuata con metodo gravimetrico a pesata differenziale, utilizzando una microbilancia SARTORIUS MC-1 (sensibilità: 10^{-6} g).

Le analisi per la ricerca ed il dosaggio del quarzo sono state eseguite dal Laboratorio di Igiene Industriale della CONTARP Dir. Gen. di Roma, con il metodo della diffrattometria RX utilizzando l'apparecchio automatico PHILIPS PW 1800 (X-ray tube: Cu LFF; 40 kV; 40 mA).

I valori di concentrazione della polvere respirabile e della silice cristallina sono rappresentativi di un turno di lavoro mediamente pari a 8 ore, per cui sono raffrontabili con il TLV-TWA di 0,025 mg/m^3 (ACGIH, 2008), utilizzato ai fini prevenzionali e con il limite assicurativo di 0,050 mg/m^3 , secondo quanto stabilito dal Ministero del Lavoro con lettera circolare n. 737 del 1991 e ribadito con nota dello stesso Ministero alla D.G. il 22/07/98.

3. RISULTATI

Nella tabella 1 sono presentati i risultati ottenuti durante le varie campagne di monitoraggio relativamente alla frazione respirabile per le mansioni sopra indicate. Vengono forniti gli intervalli di minimo e massimo della polverosità rilevata, il numero di campionamenti per mansione, la percentuale di silice depositata sul filtro, nonché la concentrazione di SLC. La figura 1 rappresenta l'esposizione a SLC respirabile in funzione del tipo di roccia in scavo.

Il tenore in quarzo, determinato su campioni di roccia prelevati in otto delle dodici gallerie indagate, per tipo di materiale, è risultato essere il seguente (valori minimo-massimo):

- GRANITOIDI:13÷60%
- GNEISS:13÷54%
- SCISTI:30%

Tabella 1: dati di esposizione a SLC respirabile dei lavoratori impegnati sui fronti di scavo delle gallerie naturali dell'autostrada A3 (intervallo di valori minimi e massimi)

Mansione	N° camp.	Conc. polveri respirabili (mg/m^3)	SLC (%)	Conc. SLC (mg/m^3)
Caposquadra	3	1,964 ÷ 3,304	4,6 ÷ 18,9	0,101 ÷ >0,625
Palista	4	0,133 ÷ 3,048	8,2 ÷ 35,0	0,021 ÷ 0,680
Autista	4	1,182 ÷ 1,936	7,6 ÷ 30,3	0,096 ÷ >0,556
Minatore	5	0,476 ÷ 4,908	2,6 ÷ >17,8	0,054 ÷ >0,644
Escavatorista	4	1,124÷2,829	3,6 ÷ 31,5	0,101 ÷ 0,505
Lancista	1	5,006	1,6	0,080
Addetto alla perforazione	3	0,823 ÷ 2,420	14,5 ÷ 16,7	0,138 ÷ 0,364
Manovale	4	0,812 ÷ 2,734	14,3 ÷ 17,0	0,138 ÷ 0,390
Macchinista alla perforatrice	2	1,133 ÷ 1,235	11,0 ÷ 11,7	0,124 ÷ 0,145

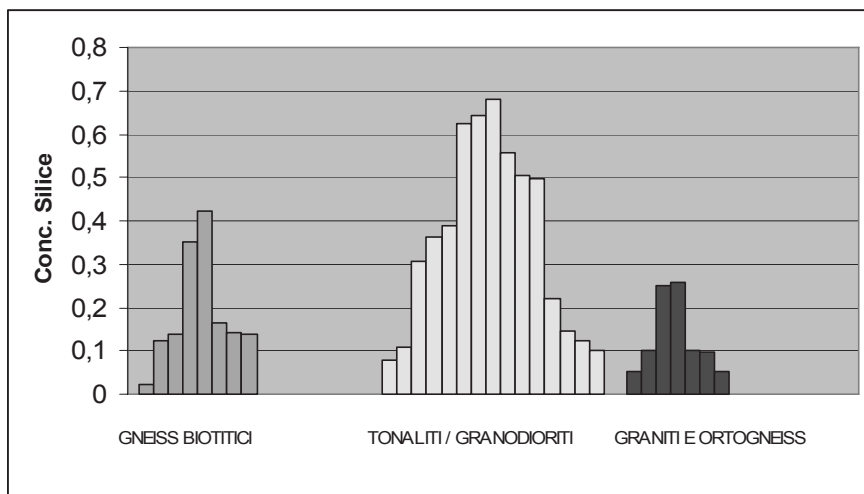


Figura1: concentrazione di SLC respirabile (mg/m^3) in relazione al tipo di roccia.

Non è agevole formulare un'analisi coerente dei dati ottenuti per la variabilità delle condizioni di lavoro messe in atto da un numero di imprese superiori al centinaio. Succede infatti, così come suggerisce anche la letteratura specialistica, che le mansioni con determinate responsabilità operative, come quelle del caposquadra, presentino valori di polvere respirabile e di percentuale di silice nettamente superiori ai rispettivi TLV, probabilmente a causa della costante vigilanza dell'attività lavorativa che li obbliga necessariamente ad un contatto più ravvicinato con le fonti di polverosità, soprattutto durante gli imprevisti e le emergenze. Ciò però non esclude le mansioni minori, come quella del minatore o del manovale, costantemente presenti al fronte scavo e quindi sottoposti a polverosità variabili tendenti al limite superiore, ma con tassi di silice respirabile comunque elevati. La possibilità per gli autisti degli autocarri e dei dumper di passare mediamente il 30% del tempo fuori la galleria, se da un lato permette loro di abbassare i tassi di polverosità respirabile a livelli quasi accettabili, ciò non si rivela sufficiente per la quantità di SLC respirata, dovuta anche al comportamento scorretto o alla cattiva pianificazione dello smarino (es. finestrini della cabina di guida sempre aperti e lunghe attese a terra all'interno della galleria prima dell'effettuazione del carico). I macchinisti dei mezzi semoventi che operano in cabina climatizzata sono sottoposti a tassi di polverosità più contenuti, ma il tenore in silice cristallina è comunque di 10-20 volte superiore al limite assicurativo (20-40 volte a quello prevenzionale). Bisogna però precisare che nelle operazioni di "infilaggio" degli elementi del preconsolidamento e consolidamento (es. pali in acciaio, VTR,...) al contorno e sul fronte, la quantità di polveri che si sprigiona è veramente rilevante, per cui il confinamento in cabina dell'operatore documenta una certa efficacia. Sebbene per il lancista sia stato possibile fare una sola misura, i valori registrati sono in linea con la tecnica esecutiva relativa alla sua mansione. Infatti, l'operatore manovra la lancia, dove si realizza la miscelazione dell'aria compressa con il calcestruzzo; il calcestruzzo spruzzato a pressione urta e aderisce alla roccia, alla rete elettrosaldata e alle centine, causando molta polvere. Per questo motivo l'operatore opera a distanza, munito di DPI. La frazione di polvere respirabile è elevata e testimonia la particolare polverosità della lavorazione, mentre l'esposizione a SLC è relativamente bassa, come si riscontra solitamente nei campionamenti dei lancisti, data il basso tenore di SLC nello spritz-beton. Si è però osservato che la specifica mansione ha una rilevanza secondaria riguardo il rischio polveri, in quanto le figure spesso sono intercambiabili nei diversi compiti: per esempio, l'escavatorista opera per solo circa il 50% di un turno di lavoro nello svolgimento della sua attività specifica.

4. CONCLUSIONI

I risultati ottenuti nei campionamenti effettuati durante le lavorazioni del ciclo di scavo con martellone e prerivestimento in galleria, che attraversano le formazioni geologiche granitoidi, di gneiss e di scisti, dimostrano che l'esposizione a SLC respirabile è distribuita praticamente su tutte le mansioni indagate, comportando per le relative maestranze un rischio silicotigeno importante, sia dal punto di vista assicurativo che prevenzionale. In merito a quest'ultimo aspetto, non è stato possibile conoscere le portate ed i criteri per il dimensionamento degli impianti di ventilazione - sempre funzionanti durante i lavori all'interno delle gallerie - principale forma di prevenzione primaria per la diluizione degli altri inquinanti, come gli scarichi diesel dei motori endotermici, il radon ed il grisou. Tuttavia, le precauzioni prevenzionali adottate, riscontrate durante le operazioni di monitoraggio descritte, non si sono dimostrate efficaci per il contenimento del rischio silicotigeno.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il personale dell'Ufficio Alta Sorveglianza locale dell'autostrada SA-RC dell'ANAS per il prezioso contributo fornito nell'espletamento delle indagini descritte, nonché il personale del Laboratorio di Igiene Industriale della CONTARP Centrale per il supporto professionale fornito con cortesia e tempestività.

BIBLIOGRAFIA

G. Casciani et al. (1982): La silice libera in natura e nei prodotti artificiali. Ed. INAIL. Pagg. 1-106.

A. Iotti, B. Rimoldi (1997): Le gallerie: esposizione a silice durante gli scavi. Atti del 1° seminario CONTARP. Pagg. 293-297.

ISPESL (2004): http://www.ispesl.it/profilo_di_rischio/_lavori_stradali_gallerie.

E. Della Penda, M. Mecchia (2004): Esposizione a silice libera cristallina nello scavo di gallerie stradali in provincia di Perugia. Atti del 4° Seminario CONTARP. Volume I. Pagg. 595-600.

UNICHIM (2006): metodo 2010. Determinazione della frazione respirabile delle particelle aerodisperse.

ACGIH (2008): Threshold limit value for chemical substances and physical agents - Biological Exposure Indices.