

ESPOSIZIONE A SILICE LIBERA CRISTALLINA NELLO SCAVO DI GALLERIE STRADALI IN PROVINCIA DI PERUGIA

*E. Della Penda**, *M. Mecchia***

* INAIL - Direzione Regionale Umbria - Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione

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

RIASSUNTO

Sono state effettuate indagini per l'accertamento del rischio silicosi nella fase di scavo e pre-rivestimento in quattro gallerie stradali. I risultati analitici evidenziano differenze complessivamente modeste relativamente alla presenza di quarzo nelle polveri respirabili campionate durante lo scavo delle diverse formazioni geologiche incontrate, che hanno compreso litotipi calcarei, marnosi, arenacei e argillosi. Lo scavo effettuato con l'uso di esplosivo ha comportato valori di esposizione significativamente superiori rispetto al metodo di scavo meccanico. Non sono emerse differenze di esposizione particolarmente rilevanti fra le varie mansioni della "squadra tipo", con valori generalmente compresi fra 0,05 e 0,08 mg/m³. Fanno eccezione i capisquadra e gli addetti alle macchine di perforazione, la cui esposizione media è risultata superiore a 0,1 mg/m³.

SUMMARY

This report examines the exposure to respirable crystalline free silica in driving works of four tunnels in Umbria. Data shows few differences among personal exposure levels for people working at the banks through limestone, sandstones and claystones. Blast ditching has produced personal exposure levels to silica dusts higher than those generated by mechanical drilling. Moreover, among the workers, the foreman and the driller have shown greater exposure values.

1. INTRODUZIONE

Le operazioni di scavo in ambienti di lavoro sotterranei, come le gallerie stradali, sono origine di rilevanti volumi di polveri. Questo articolo si basa sulle indagini svolte nell'ambito dell'accertamento del rischio silicosi ai fini assicurativi istituzionali dell'INAIL, durante lo scavo di quattro gallerie stradali realizzate in provincia di Perugia.

La particolare realtà lavorativa, in sotterraneo e con un ciclo di lavoro costituito da una sequenza di operazioni spesso interrotta da eventi imprevisti, ha reso necessaria, al fine di produrre un campione significativo di dati di esposizione a silice libera cristallina, la realizzazione di un numero cospicuo di sopralluoghi e di misure di polverosità rispetto a quello normalmente richiesto per le attività industriali con ciclo lavorativo routinario. Le indagini per l'accertamento del rischio silicosi in galleria hanno, quindi, portato alla raccolta di numerosi dati e consentito la rappresentazione di un articolato quadro dell'esposizione dei lavoratori alla silice respirabile.

2. MATERIALI E METODI

2.1 Cantieri di scavo

Le indagini, effettuate nel periodo 2000-2004, riguardano lo scavo di quattro gallerie realizzate nella provincia di Perugia da tre imprese di costruzione (A, B e C).

Nel cantiere A lo scavo in avanzamento ha interessato la sezione di calotta ed è stato effettuato con benna o martellone montato su escavatore, con avanzamento di 1,40 m per ogni ciclo di scavo. Le indagini sono state svolte negli intervalli compresi fra 90 e 100 m di distanza dall'imbocco, interessando rocce calcaree tipo "Scaglia", e fra 270 e 280 m, quando sono state penetrate le rocce marnose della formazione delle "Marne a fucoidi".

Nel cantiere B lo scavo si è svolto a sezione piena con il metodo della perforazione e sparo, realizzando un avanzamento di 3 m per ogni ciclo. La galleria ha attraversato la formazione marnoso-arenacea e i campionamenti si sono svolti nell'intervallo compreso fra le progressive 3100 e 3300 m.

Nel cantiere C sono state effettuate indagini in due distinte gallerie. In entrambe le gallerie lo scavo si è svolto a sezione piena con un ciclo di avanzamento di 1 m, utilizzando il metodo di scavo con benna o martellone montato sul braccio dell'escavatore. Gli scavi hanno interessato rispettivamente la formazione Marnoso-arenacea alla progressiva 300-310 m, e, alle distanze di 170 e 320 m dall'imbocco, depositi caotici ed incoerenti di argille fogliettate "Varicolori" inglobati nella formazione Marnoso-arenacea.

2.2 Modalità di campionamento e di analisi

Nei tre cantieri sono stati compiuti 17 sopralluoghi, con il prelievo di complessivi 65 campioni personali della frazione respirabile delle polveri, relativi alla fase di scavo e pre-rivestimento.

I campionamenti personali delle polveri respirabili hanno riguardato tutte le mansioni. Per caratterizzare adeguatamente il processo lavorativo esaminato, sono stati rilevati i tempi delle distinte operazioni che compongono il ciclo lavorativo e delle interruzioni delle attività previste.

I campionamenti sono stati effettuati nella zona di respirazione degli addetti, utilizzando pompe a batteria "Personal" prodotte dalla ditta Aquaria e "Aircheck 52" della ditta SKC. Il flusso di aspirazione è stato posto pari a 1,9 o 2,2 l/min.

Come dispositivi di ingresso per le polveri respirabili sono stati utilizzati cicloni preselettori con stabilizzatore di flusso, modelli prodotti dalle ditte Casella e SKC.

Per la captazione del particolato sono state impiegate membrane filtranti in argento, modello FM 25-0.8 della OSMONICS, con porosità di 0,8 micron 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: milionesimo di grammo).

Le analisi per la ricerca ed il dosaggio del quarzo sono state eseguite in diffrattometria RX utilizzando l'apparecchio automatico PHILIPS PW 1800, servito dal Personal System/2 modello automatico dell'IBM (X-ray tube: Cu LFF 40 KV 40 mA).

Sono stati prelevati anche 4 campioni massivi delle rocce in scavo, poi sottoposti ad analisi diffrattometrica per la valutazione della percentuale di silice cristallina presente.

I valori di concentrazione misurati sono stati confrontati con il TLV-TWA raccomandato dall'ACGIH (2000) per la silice libera cristallina respirabile, pari a 0,050 mg/m³.

3. RISULTATI

3.1 Il ciclo di lavoro

La realizzazione di gallerie prevede due macrofasi di lavoro: 1) scavo e pre-rivestimento; 2) rivestimento definitivo. In questo lavoro viene analizzata unicamente la prima fase, di maggiore criticità per quanto riguarda l'esposizione a polveri.

Nonostante le diverse soluzioni progettuali adottate per le quattro gallerie analizzate, le operazioni cicliche della fase di scavo e pre-rivestimento hanno un andamento comune e sono schematizzabili nella sequenza: 1) scavo; 2) smarino; 3) posa delle centine; 4) esecuzione spritz beton.

In Figura 1 è riportato l'andamento temporale delle varie operazioni del ciclo di scavo e pre-rivestimento, effettivamente misurato nel corso dei sopralluoghi.

3.1.1 Scavo

I progettisti delle gallerie oggetto dello studio hanno scelto due diverse tecniche di scavo: il metodo tradizionale di "perforazione e sparo" con utilizzo di esplosivi, e il metodo del martellone idraulico demolitore montato sul braccio di un escavatore convenzionale. E' opportuno, quindi, sottolineare che l'adozione di altre metodologie di scavo, per esempio lo scavo con "scudo", con Tunnel Boring Machine o con fresa ad attacco puntuale, avrebbe comportato valori di esposizione ovviamente diversi.

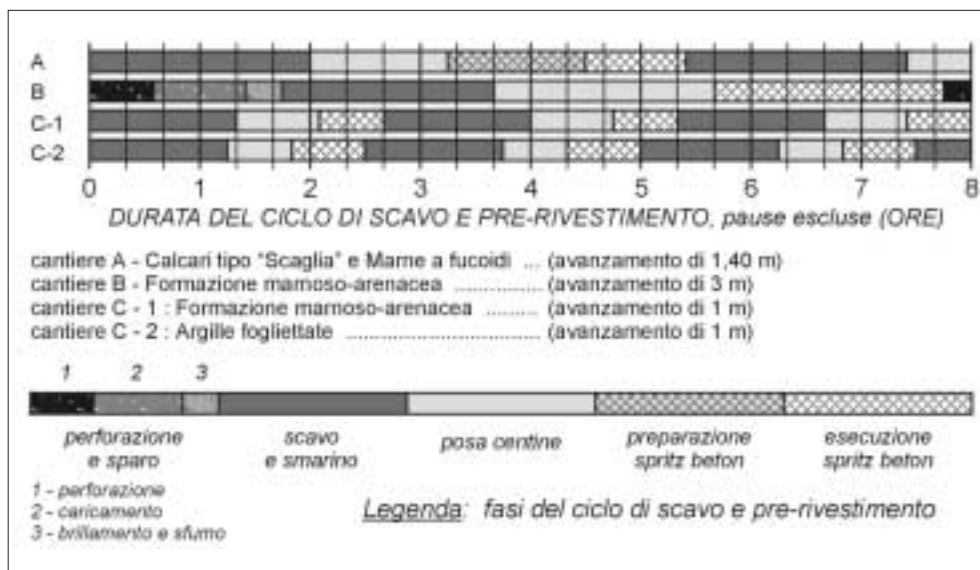


Figura 1: Durata media delle operazioni cicliche di scavo e pre-rivestimento nei tre cantieri esaminati (interruzioni escluse).

Lo scavo con esplosivo, realizzato nel cantiere B, si compone delle operazioni di perforazione, sistemazione delle cariche, brillamento, allontanamento fumi e verifica volata. La perforazione dei fori da mina nel mezzo roccioso si effettua mediante un'attrezzatura semovente con bracci meccanici ognuno dei quali dotato di perforatrice idraulica ("jumbo") montata su appo-

sito veicolo e alimentata da gruppo elettrogeno. Il caricamento delle cartucce di esplosivo nei fori avviene manualmente, tramite l'utilizzo del "cestello" per il sollevamento degli operatori nella parte alta della calotta.

Nei cantieri A e C, invece, l'abbattimento della roccia è stato realizzato con scavo meccanico, impiegando il martellone o la benna montata sul braccio dell'escavatore.

3.1.2 Smarino

Lo smarino, cioè l'evacuazione del materiale abbattuto, è stato realizzato con pala meccanica, dumper e autocarri. Quando l'abbattimento viene effettuato per demolizione con mezzo meccanico, lo smarino può avvenire contemporaneamente allo scavo, sul lato opposto. Nel caso di abbattimento con esplosivo, lo smarino inizia dopo lo "sfumo" che segue il brillamento delle cariche esplosive, spesso comunque in concomitanza con l'azione del martellone che effettua il disgiungimento per la sagomatura del profilo della calotta. L'allontanamento dei fumi dal fronte è piuttosto lento e alla ripresa dei lavori dopo il brillamento l'ambiente può essere ancora carico di polvere.

3.1.3 Posa delle centine

La centina, struttura in acciaio per il sostegno dello scavo, viene trascinata al fronte, sollevata con macchina specialmente progettata (posa-centine), giuntata con le flangie di accoppiamento e collegata alla centina precedente con "catene". Alla posa delle centine spesso segue la posa della rete elettrosaldata, cioè di un'armatura in barre d'acciaio saldate a maglie quadrate, sulla quale farà poi presa il calcestruzzo spruzzato, del quale migliora le caratteristiche di resistenza a flessione.

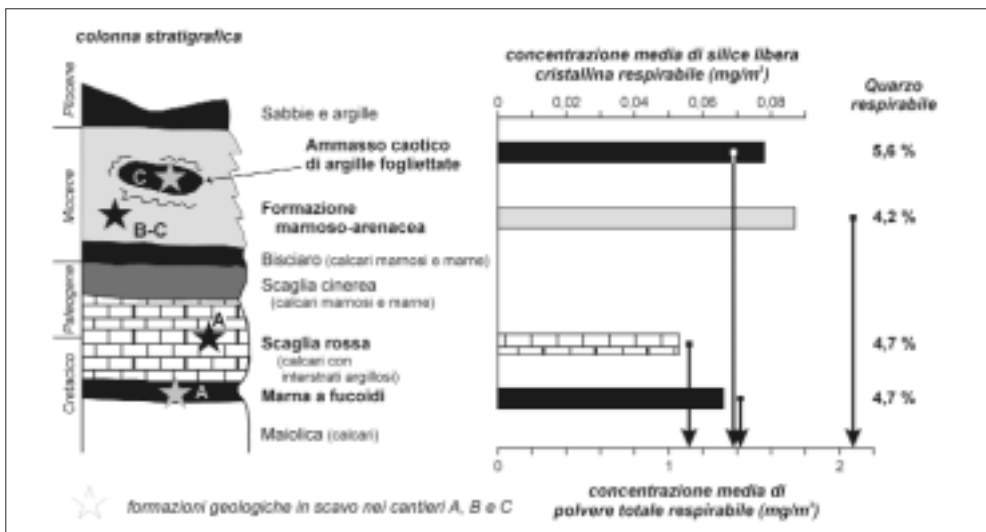


Figura 2: Colonna stratigrafica della successione umbro-marchigiana. Sono indicate le formazioni attraversate dalle gallerie oggetto dello studio, con i valori medi delle concentrazioni di silice libera cristallina e di polvere totale, e il contenuto percentuale in quarzo nella frazione respirabile.

3.1.4 Esecuzione del calcestruzzo spruzzato

La messa in opera dello spritz beton è stata effettuata con procedimento ad umido, utilizzando automezzi specifici nei quali viene realizzata la miscelazione del calcestruzzo con l'acqua, e sui quali sono montati il sistema di pompaggio e il braccio meccanico che sostiene il tubo che porta il calcestruzzo alla "lancia". La lancia è l'attrezzo che si trova alla fine della tubazione di trasporto, 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. Data la nube di polvere che si leva durante l'operazione, il braccio che sostiene la lancia è comandato a distanza dall'operatore (il "lancista"), che indossa idonei DPI. Contemporaneamente operano anche l'autobetoniera che rifornisce di conglomerato cementizio la lancia, il gruppo elettrogeno per l'alimentazione e il compressore. Con il getto del calcestruzzo proiettato si conclude il ciclo di scavo e pre-rivestimento, che si riavvia con la successiva operazione di scavo.

3.2 Esposizione a silice libera cristallina

3.2.1 Analisi dei dati di esposizione in relazione al tipo di litologia in scavo

Le formazioni rocciose attraversate fanno tutte parte della successione sedimentaria "umbromarchigiana" e sono state depositate in intervalli temporali diversi compresi fra 120 e 5 milioni di anni fa (S.G.I., 1980): 1) calcare tipo "Scaglia", 2) marna "a fucoidi", 3) formazione marnoso-arenacea, 3) argille fogliettate caotiche (Figura 2). Le percentuali medie di quarzo misurate nelle polveri respirabili dei campionamenti personali sono risultate simili per tutti i litotipi, e comprese fra il 5,6% riscontrato nelle argille e il 4,2% della formazione marnoso-arenacea. Per quanto riguarda l'esposizione dei lavoratori al quarzo respirabile, la media dei dati rilevati nelle diverse formazioni geologiche campionate indica il seguente ordine decrescente di concentrazione media: marnoso-arenacea (0,087 mg/m³) → argille fogliettate (0,078) → marne "a fucoidi" (0,066) → calcare tipo "Scaglia" (0,055). Quindi, l'esposizione media dei lavoratori risulta superiore al TLV della silice libera cristallina in tutte le formazioni geologiche campionate.

3.2.2 Analisi dei dati di esposizione in relazione al metodo di scavo

I risultati dei valori medi dell'esposizione dei lavoratori alla silice libera cristallina raggruppati per metodologia di scavo sono rappresentati in Figura 3. Entrambi i metodi di scavo utilizzati hanno comportato valori superiori al TLV, tuttavia l'esposizione è risultata nettamente superiore nel cantiere in cui si è utilizzata la tecnica di perforazione e sparo, con un valore quasi doppio rispetto a quanto misurato nei cantieri di scavo meccanico con il martellone.

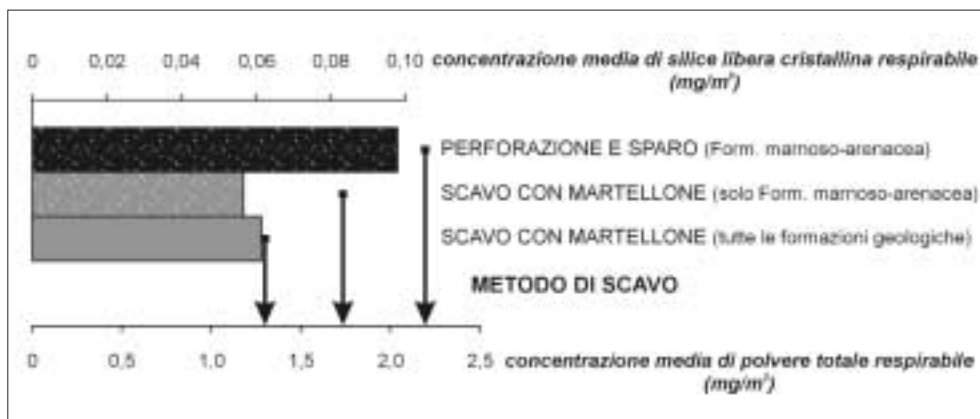


Figura 3: Esposizione media dei lavoratori durante la fase di scavo e pre-rivestimento, in funzione del metodo di scavo adottato (e della litologia).

3.2.3 Analisi dei dati di esposizione in relazione alla mansione

La squadra tipica del lavoro in galleria nella fase di scavo e pre-rivestimento è costituita dalle seguenti mansioni: 1) caposquadra; 2) escavatorista; 3) palista; 4) autisti; 5) lancista. A questi si aggiunge normalmente il manovale e, nel caso di avanzamento con perforazione e sparo, gli addetti alla perforazione. I dati di esposizione alla silice libera cristallina e alle polveri totali respirabili, suddivisi per cantiere e mediati per mansione, sono riportati in Figura 4.

I valori di esposizione più elevati sono generalmente riferiti al ruolo di caposquadra, con valori medi sempre superiori al TLV e in due cantieri su tre superiori anche al doppio del TLV. Le responsabilità operative a carico della mansione del caposquadra comportano, probabilmente, un impegno maggiore a contatto più ravvicinato con le fonti di polverosità. Particolarmente elevata anche l'esposizione degli operatori delle macchine di perforazione, presenti nel cantiere B, la cui esposizione media è risultata di $0,1 \text{ mg/m}^3$. Valori medi sempre superiori al TLV sono stati riscontrati anche per le mansioni di autista ed escavatorista. I valori più modesti, ma comunque talvolta superiori al TLV, hanno riguardato la mansione di lancista. A questo proposito si deve notare che il lancista, pur utilizzando attrezzature comandate a distanza, viene comunque ad essere investito dalla polvere generata dall'operazione di spruzzatura, costituita sia dallo stesso calcestruzzo nebulizzato sia dalla polvere presente nell'ambiente e mobilizzata dall'utilizzo dell'aria compressa. D'altra parte, la concentrazione di quarzo nello spritz beton è tipicamente molto ridotta (1,7% in un campione analizzato in un precedente lavoro INAIL; BENEDETTI & PAPA, 1999).

L'esame dei valori medi riscontrati per le varie mansioni sembra indicare, diversamente da quanto atteso, un'esposizione abbastanza omogenea per tutte le mansioni, con differenze ridotte e apparentemente "casuali". L'interpretazione di questi risultati deve però tener conto delle effettive attività che i lavoratori svolgono in galleria. In Figura 5 sono riportati i tempi medi effettivi misurati nel corso dei campionamenti, relativi alle varie mansioni e alla loro presenza durante le diverse fasi della lavorazione. Innanzitutto, va sottolineata la variabilità del tempo di non-lavoro, che non è riferita alle pause "fisiologiche" delle lavorazioni ma alle interruzioni per guasti a macchine o attrezzature o ad altri imprevisti di vario genere, che in alcuni

casi hanno raggiunto valori di oltre il 30% del tempo di campionamento. Durante queste pause si può presumere che la polverosità si abbassi fino a valori quasi nulli. Il secondo aspetto da considerare è che tutti i lavoratori, pur essendo addetti a mansioni "specifiche", sono comunque presenti in galleria a supporto dei colleghi della squadra, anche nelle fasi di lavoro che non prevedono l'impiego della loro mansione. Per esempio, i dati rilevati indicano che il lancista è stato impegnato solo per il 15-30% nell'effettiva operazione di spruzzatura dello spritz beton, mentre l'escavatorista per il 25-45% del tempo ha svolto compiti diversi da quelli di scavo. Pertanto, i valori di esposizione suddivisi per mansione non sono del tutto indicativi delle operazioni strettamente attinenti ai compiti specifici.

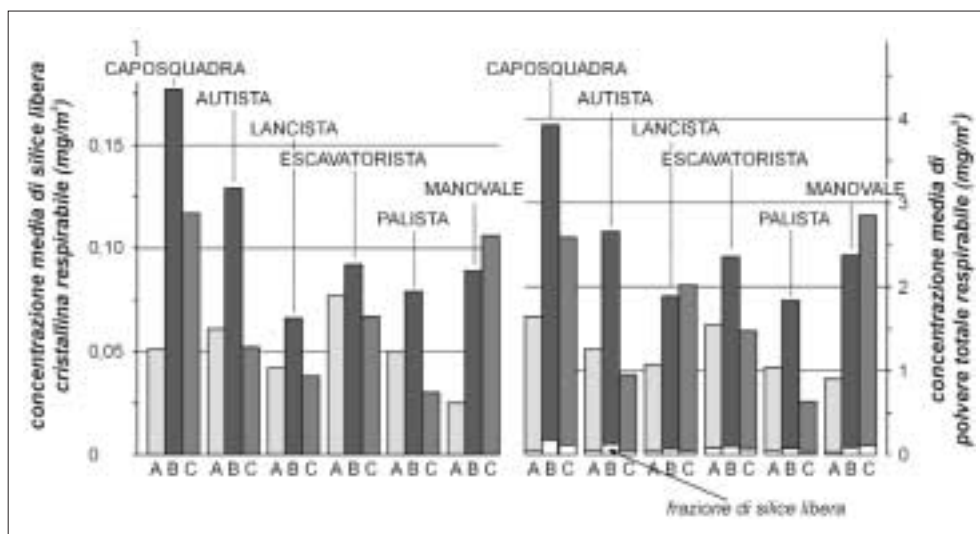


Figura 4: Esposizione a silice libera cristallina e a polveri totali respirabili, nella fase di scavo e pre-rivestimento, per mansione e per cantiere (A, B e C).

4. CONCLUSIONI

In conclusione, i risultati dei campionamenti effettuati indicano che nelle lavorazioni del ciclo di scavo e pre-rivestimento in galleria l'esposizione a silice libera cristallina è abbastanza omogeneamente distribuita su tutte le mansioni.

Lo scavo di gallerie che attraversano le formazioni geologiche del calcare tipo "Scaglia", della marna "a fucoidi", della "marnoso-arenacea" e delle "argille fogliettate", della serie umbromarchigiana, con i metodi di scavo più comunemente impiegati in queste formazioni geologiche, produce facilmente condizioni di rischio silicotigeno, con valori che generalmente superano il TLV ($0,05 \text{ mg/m}^3$) e che talvolta sono superiori anche al doppio di tale limite.

Per quanto riguarda le misure di tutela adottate nel corso delle lavorazioni, si è rilevato che l'impianto di ventilazione, a cui è affidata l'evacuazione della polvere dal fronte di scavo, opera spesso con efficacia limitata per l'abbattimento della concentrazione di polvere. L'uso di DPI, quali le mascherine, è normalmente limitato alle operazioni di getto dello spritz beton o alla ripresa dei lavori dopo lo sfumo che segue il brillamento delle cariche, e comunque non sembra una soluzione particolarmente efficace e, soprattutto, estendibile a tutte le operazioni che

si svolgono in sotterraneo. Le protezioni che impediscono l'ingresso delle polveri negli abitacoli delle macchine non risultano sempre presenti o correttamente utilizzate. In definitiva, il problema del rischio da polveri nello scavo di gallerie non sembra aver trovato ancora una soluzione adeguata ed è percepito come un problema non particolarmente importante sia dai lavoratori sia dai datori di lavoro.

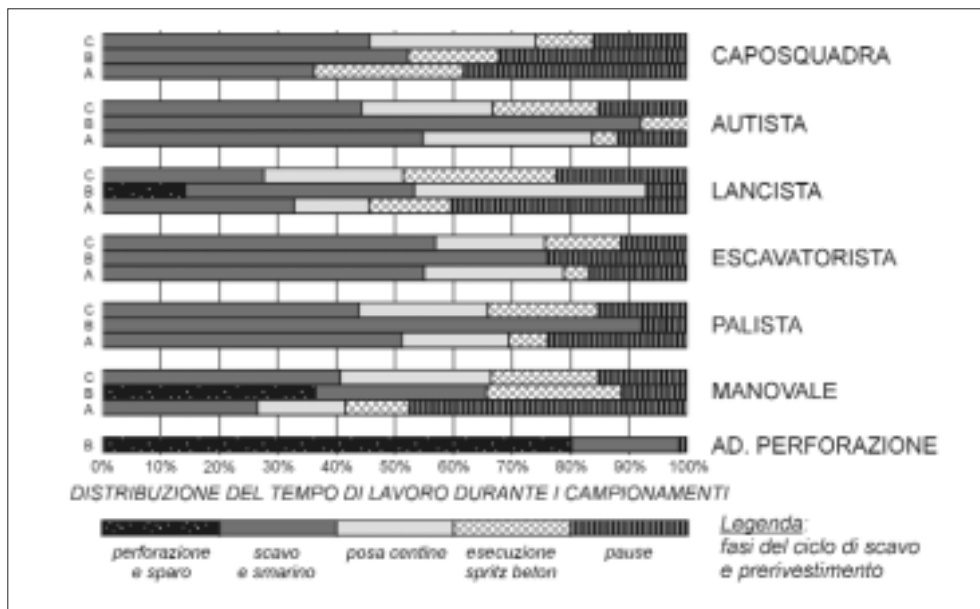


Figura 5: Lavorazioni del ciclo di scavo e pre-rivestimento effettivamente svolte nel corso dei campionamenti (in durata temporale media) per mansione e per cantiere.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano i tecnici della ASL Foligno e i colleghi Alessandro Bianconi, Rossella Continisio, Giovanni Battista Perrone, Federico Ruspolini e Sergio Spinosi per la preziosa collaborazione nelle indagini effettuate in galleria. Si ringrazia, inoltre, il personale del Laboratorio della CONTARP Centrale per il supporto analitico fornito con cortesia e professionalità.

BIBLIOGRAFIA

ACGIH: Threshold limit value for chemical substances and physical agents - Biological exposure indices 2000. 2000, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH.

F. Benedetti, G. Papa: Analisi dei processi di scavo delle gallerie per la prevenzione e la protezione dal rischio silicosi dei lavoratori addetti. Un caso di studio. Inail - Rivista degli Infortuni e delle Malattie Professionali. 1999, n. VI, p. 1109-1115.

S.G.I.: Carta geologica dell'Umbria in scala 1:250.000. 1980, Servizio Geologico d'Italia, Roma.