

# **PROGETTO PER LO STUDIO DELL'ESPOSIZIONE A SILICE CRISTALLINA NEI LAVORI DI SCAVO E DEL CONTENUTO DI QUARZO NELLE ROCCE DELLA SUCCESSIONE UMBRO-MARCHIGIANA**

D. CANDIDO<sup>1</sup>, R. COMPAGNONI<sup>1</sup>, P. DE BLASI<sup>2</sup>, E. DELLA PENDA<sup>3</sup>, E. INCOCCIATI<sup>2</sup>, C. KUNKAR<sup>2</sup>, M. MECCHIA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INAIL – Direzione Regionale Marche – Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione

<sup>2</sup> INAIL – Direzione Generale – Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione

<sup>3</sup> INAIL – Direzione Regionale Umbria – Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione

## **RIASSUNTO**

Il progetto ha l'obiettivo di studiare le relazioni esistenti fra l'esposizione dei lavoratori a silice libera cristallina nelle operazioni di scavo eseguite nell'area umbro-marchigiana e i tenori di quarzo nei litotipi tipici del territorio stesso.

In questo lavoro vengono presentati gli obiettivi del progetto, le metodologie messe a punto per il campionamento dei materiali naturali e i metodi analitici di laboratorio elaborati per l'analisi del quarzo nei campioni massivi.

Il progetto si propone di analizzare i rapporti esistenti fra i valori di esposizione relativi alle operazioni di scavo, che si realizzano principalmente nei cantieri in cava e in galleria, e i contenuti di quarzo presenti nelle formazioni geologiche dell'area umbro-marchigiana. La lettura congiunta delle due tipologie di dati potrebbe fornire una nuova chiave di interpretazione dei valori di esposizione che si riscontrano in tali cantieri, e consentire un approccio alla prevenzione delle patologie dovute all'esposizione a silice libera cristallina fondato su basi più corrette.

Obiettivo ultimo dello studio è di rendere maggiormente consapevoli le imprese che operano nel settore estrattivo e, soprattutto, nella realizzazione di gallerie o di altre opere in sottosuolo, del rischio legato alle polveri silicotigene che si può generare nelle attività di scavo.

## **SUMMARY**

CONTARP Centrale, CONTARP Marche and CONTARP Umbria have developed a project concerning the study of relationship between workers' exposure to respirable crystalline free silica in digging works in Marche-Umbria regions and the quartz content in the lithotypes of Umbro-Marchigiana geological sequence.

The analysis of two sets of data could give a new interpretation of the exposure's values which are found in digging sites and allow a more correct approach to prevention of occupational diseases due to respirable crystalline free silica.

This paper presents the aims of such project, the procedures of sampling grounds defined during geological surveys, the methods for laboratory analysis of quartz in massive samples.

Final aim of this study is to make building firms more aware of risk due to siliceous dusts during digging works in the lithotypes of Umbro-Marchigiana sequence.

## **1. INTRODUZIONE**

L'esposizione a polveri contenenti silice libera cristallina (SLC) è uno dei rischi più caratteristici per i lavoratori impegnati nelle attività di scavo in galleria. Se da un lato la comunità scientifica si è molto impegnata per mettere a punto strumenti analitici e valutativi per la caratterizzazione del rischio professionale, dall'altro le aziende che svolgono attività di scavo non sempre recepiscono correttamente tali indirizzi tecnici e, di conseguenza, i documenti di valutazione del rischio (DVR) risultano spesso molto carenti in tema di valutazione di rischio polveri.

Nel corso dei sopralluoghi effettuati in galleria negli ultimi anni, ai fini istituzionali dell'accertamento del rischio silicosi, la CONTARP dell'INAIL ha constatato una sistematica sottovalutazione di tale agente di rischio. In più occasioni, anche gli operatori del SSN, impegnati nella sorveglianza dei lavori di scavo condotti su tutto il territorio nazionale, hanno sottolineato la necessità che il DVR, nella sezione dedicata al rischio di esposizione a SLC, prenda in considerazione i seguenti elementi:

1. caratterizzazione geologica degli strati di roccia interessati dagli scavi e, ove possibile, determinazione diffrattometrica del relativo contenuto in quarzo;
2. dettagliata descrizione delle lavorazioni che espongono a SLC (durata, numero di lavoratori coinvolti, attrezzature impegnate, ...);
3. livello dell'esposizione personale dei lavoratori a SLC;
4. misure preventive e protettive già adottate e da adottare.

Le carenze che spesso si registrano nei DVR hanno evidenti ricadute sia sulla scelta delle misure di prevenzione da attuare per la riduzione del rischio sia rispetto alla programmazione della sorveglianza sanitaria che, in assenza di dati di esposizione, possono condurre a eccessi e difetti nell'effettuazione di accertamenti integrativi e difficoltà nella loro interpretazione.

Dall'insieme di queste considerazioni trae origine il progetto "Relazioni fra l'esposizione a silice libera cristallina nei lavori di scavo e il contenuto di quarzo nelle rocce della successione Umbro-Marchigiana", nato dalla collaborazione fra la CONTARP Centrale, la CONTARP Marche e la CONTARP Umbria. Si sottolinea, a tal proposito, che i dati di letteratura sul contenuto di quarzo nelle rocce sono spesso carenti e quasi sempre poco conosciuti da parte di chi effettua la valutazione dei rischi.

Uno degli obiettivi più rilevanti dello studio è di rendere consapevoli le imprese che operano nel settore estrattivo, e soprattutto nella realizzazione di gallerie o di altre opere in sottosuolo, del rischio derivante dalle polveri silicotigene nelle attività di scavo.

Per quanto riguarda la territorialità del progetto, si deve osservare che la varietà di ambientazioni geologiche che caratterizza il territorio nazionale induce a concentrare l'attenzione su aree di estensione regionale, connotate da una storia geologica comune. E' questo il motivo che ha spinto a scegliere un'area specifica, il territorio delle regioni Umbria e Marche, come primo ambito di intervento di uno studio che potrebbe successivamente essere esteso ad altre aree del Paese.

## 2. PROGRAMMA DEL PROGETTO

Il progetto si articola in tre punti:

- A) raccolta dei dati di esposizione dei lavoratori a SLC respirabile durante operazioni di scavo nei cantieri dell'Umbria e delle Marche;
- B) campionamento di campioni massivi delle rocce della successione umbro-marchigiana e determinazione in laboratorio del tenore di SLC;
- C) integrazione dei due livelli di studio ed elaborazione documenti conclusivi.

Le informazioni di interesse relativamente all'esposizione a polveri silicotigene saranno estratte dagli archivi delle CONTARP delle Regioni Umbria e Marche.

Per quanto concerne il punto B, il progetto si ricollega alle ricerche effettuate dalla CONTARP nel passato, i cui risultati sono riportati nelle pubblicazioni edite dall'Istituto per la guida al riconoscimento delle fonti di rischio ad uso del personale addetto alla vigilanza (PAROTTO & VERDEL, 1980; CASCIANI *et al.*, 1982). Le operazioni di campionamento delle rocce e di analisi di laboratorio per la determinazione del quarzo richiedono la messa a punto di procedimenti specifici. Le determinazioni analitiche saranno basate sulla diffrattometria dei raggi X, ampiamente consolidata ma che richiede miglioramenti nel caso dell'analisi dei campioni massivi.

La sovrapposizione delle due tipologie di dati potrebbe fornire una nuova chiave di interpretazione dei valori di esposizione che si riscontrano nei cantieri di scavo, e consentire un approccio alla prevenzione delle patologie dovute all'esposizione a SLC fondato su basi più corrette.

### 3. METODOLOGIE DI STUDIO

Dati i particolari obiettivi dello studio, sono stati messi a punto i procedimenti e i metodi specifici per il campionamento delle rocce e per l'analisi diffrattometrica dei campioni massivi, riportati nel seguito.

#### 3.1 Metodologia di campionamento delle formazioni geologiche

Come si può arrivare a definire il contenuto in quarzo in una successione di "rocce" presenti in un territorio?

Innanzitutto è necessario conoscere la "litostratigrafia" del territorio. La litostratigrafia suddivide e gerarchizza le successioni rocciose in unità formali, distinte sulla base della loro litologia, cioè dei caratteri fisico-chimici (composizione, tessitura, strutture, colore) che definiscono l'aspetto di una roccia (APAT, 2002).

La "formazione" geologica è l'unità litostratigrafica fondamentale. Indica un corpo roccioso distinguibile da quelli adiacenti sulla base delle caratteristiche litologiche e dalla sua posizione stratigrafica (età, generalmente stabilita in base al contenuto fossilifero). Una formazione può anche avere al suo interno discontinuità deposizionali a meno che non coincidano con significativi cambiamenti litologici. E' però fondamentale che una formazione sia facilmente riconoscibile sul terreno, che sia cartografabile e che abbia una complessiva omogeneità litologica.

Il lavoro di istituzione delle formazioni, naturalmente, già è stato realizzato e il risultato principale è rappresentato dalle carte geologiche, che riportano gli affioramenti delle formazioni.

Gran parte delle formazioni geologiche tipiche della Successione Umbro-Marchigiana si sono formate secondo "sequenze stratigrafiche" che si sono ripetute nel tempo, formando spessori di depositi anche notevoli. Per esempio, la formazione "Marnoso-Arenacea" è il risultato della stratificazione di correnti di torbida sottomarine, in cui ogni strato ha uno spessore di alcuni decimetri ed è costituito da una parte bassa a granulometria più grossa (sabbiosa) e da una parte alta di materiale marnoso. Naturalmente il contenuto di quarzo nelle due parti dello strato potrebbe essere diverso. Strato dopo strato, lo spessore complessivo della formazione è di circa 2000 m, e sull'area regionale la variabilità verticale e orizzontale della formazione può essere rilevante.

La ciclicità in una successione sedimentaria, indotta dai periodi dei parametri orbitali terrestri, può produrre alternanze ritmiche di litologie diverse. Per esempio la formazione delle "Marne a Fucoidi", ampiamente rappresentata nell'area Umbro-Marchigiana, ha uno spessore complessivo di circa 75 m ed è disposta in sequenze ritmiche, evidenziate da variazioni cromatiche e da variazioni nel contenuto di carbonato di calcio che causano l'alternanza di strati più calcarei e strati argilloso-marnosi.

In considerazione di quanto detto, per definire il contenuto medio di quarzo di ogni formazione geologica, è stato approntato un programma di campionamenti che prevede le seguenti attività:

1. scelta di un certo numero di località rappresentative dell'Appennino Umbro-Marchigiano, ben note dal punto di vista geologico;
2. per ogni località, definizione sulle carte geologiche delle zone utili per il campionamento delle diverse formazioni geologiche; generalmente saranno preferiti i tagli stradali; ogni formazione dovrà essere campionata in almeno 3 diverse località;
3. sopralluogo e campionamento; in ogni sito di campionamento si svolgeranno le seguenti attività:
  - a. posizionamento dell'affioramento sulla carta geologica (coordinate GPS);
  - b. verifica della formazione geologica affiorante (per esempio: formazione della "Scaglia Bianca") e documentazione fotografica;
  - c. individuazione sull'affioramento dei diversi litotipi presenti (per esempio, nella formazione della "Scaglia Bianca": 1) strato di calcare; 2) nodulo di selce; 3) interstrato marnoso);
  - d. osservazione (misurazione) dei rapporti percentuali fra i vari litotipi (per esempio: calcare 85%; selce 4%; marna 1%);
  - e. prelievo di un campione di ogni litotipo (almeno 200 g).

Si prevede di campionare 16 formazioni geologiche (vedi par. 4), generalmente rappresentate da 2-3 litotipi ciascuna, in almeno 3 diverse aree geografiche dell'Appennino Umbro-Marchigiano, per un totale di 100-150 campioni da inviare in laboratorio.

### **3.2 Metodologia di preparazione ed analisi dei campioni di roccia delle formazioni geologiche**

#### *3.2.1 Preparazione dei campioni per l'analisi*

Una aliquota di materiale del peso di circa 100 g viene manualmente frantumata con l'uso di un martello (adottare le opportune precauzioni di sicurezza) e passata al setaccio di 2,8 mm fino ad ottenere un'aliquota di 80 g, che viene frantumata in un mulino a palle planetario con giara di carborundum.

Il microassorbimento è probabilmente un fattore che influenza in maniera rilevante l'accuratezza nella determinazione di dati di intensità, ed il miglior modo per eliminare questo effetto di microassorbimento è la riduzione dimensionale. La questione fondamentale diventa allora individuare la granulometria ottimale. Un ragionevole ed ottenibile limite dimensionale superiore dei grani (particella meccanicamente libera presente nella polvere) pare essere di 10  $\mu\text{m}$  se si attendono effetti di microassorbimento o se il campione contiene grandi e perfetti cristalliti (fase singola e continua che occupa una parte o l'intero volume di un grano). Se nessuna di queste condizioni sussiste può essere soddisfacente una macinazione meno drastica a 20-30  $\mu\text{m}$  (ZEVIN & KIMMEL, 1995).

Per ottenere i parametri di settaggio del mulino ottimali per raggiungere questa dimensione granulometrica media è stato necessario effettuare una serie di prove di macinazione, e al termine di ogni prova verificare le dimensioni della polvere al granulometro laser.

Dopo la macinazione, una frazione ben miscelata della polvere (circa 2 g) viene utilizzata per la preparazione della pasticca per l'analisi diffrattometrica.

Nel caso di alcuni particolari litotipi, come la selce e le argille, sono previsti ulteriori procedimenti per preparare la pasticca di polvere e migliorare il risultato analitico.

#### *3.2.2 Analisi per diffrattometria dei raggi X*

Per ogni formazione geologica saranno costituiti dei lotti omogenei di materiale aventi caratteristiche litologiche simili (per esempio: strati calcarei, interstrati marnosi, livelli e noduli di selce, parti arenacee e parti marnose delle formazioni silico-clastiche, ecc.).

Due diversi metodi d'analisi, fondati sulla misura delle intensità di picco, sono stati messi a punto per l'analisi diffrattometrica quantitativa del contenuto in quarzo dei campioni. L'applicazione dell'uno piuttosto che dell'altro viene determinata in base al valore del rapporto  $I_{ij}/(I_{ij})_0$  essendo  $(I_{ij})_0$  il valore di intensità del picco principale ( $i$ ) del quarzo (fase  $j$ ) di uno standard puro e  $I_{ij}$  il valore di intensità del picco principale del quarzo nel campione di interesse:

A) Campioni per i quali è soddisfatta la condizione  $0 \leq I_{ij}/(I_{ij})_0 < 0,2$  ;

B) Campioni per i quali  $I_{ij}/(I_{ij})_0 \geq 0,2$ .

Le analisi iniziano determinando, in successione nello stesso giorno:

1. il valore di intensità del picco principale del quarzo sullo standard puro  $(I_{ij})_0$  ;

2. il valore di intensità del picco principale del quarzo nel campione di interesse  $I_{ij}$  ;

e calcolando il rapporto tra le due intensità  $I_{ij}/(I_{ij})_0$ . Si procede quindi in uno dei due modi sopra elencati e di seguito descritti, a seconda del valore di  $I_{ij}/(I_{ij})_0$  sperimentalmente determinato nel caso specifico.

#### ***Campioni per i quali è soddisfatta la condizione $0 \leq I_{ij}/(I_{ij})_0 < 0,2$ : metodo delle aggiunte***

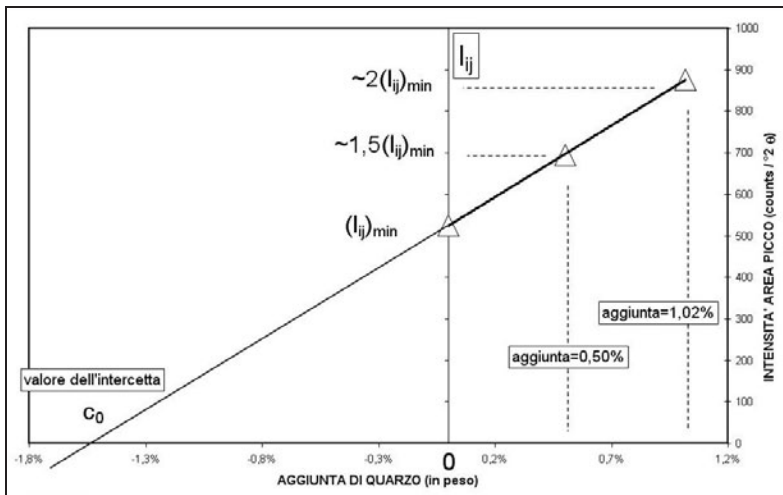
Il metodo assume che il coefficiente di assorbimento di massa del campione rimanga circa costante durante il dosaggio.

In generale il metodo consiste nell'aggiunta di quantità note della fase pura ad un campione che contiene una frazione incognita della stessa fase. L'utilizzo di questo metodo comporta il vantaggio che tutti i campioni di una formazione geologica aventi simili caratteristiche litologiche per i quali

la condizione è soddisfatta si considerano appartenenti al medesimo lotto e possono essere analizzati tal quali, a meno di un unico campione assunto come riferimento che viene invece dopato.

Operativamente viene effettuata l'analisi diffrattometrica del quarzo su tutti i campioni del lotto e viene individuato quello col valore  $(I_{ij})_{min}$  minimo: questo campione viene utilizzato come riferimento e dopato effettuando in successione due aggiunte di standard di quarzo. Pertanto, ai fini della costruzione della retta di taratura vengono effettuate le seguenti tre misure:

1. lettura dell'intensità del picco principale del quarzo sul campione tal quale assunto come riferimento  $(I_{ij})_{min}$ ;
2. lettura dell'intensità del picco principale del quarzo sul campione assunto come riferimento, opportunamente dopato in maniera tale da leggere un valore di intensità circa pari a 1,5  $(I_{ij})_{min}$ ;
3. lettura dell'intensità del picco principale del quarzo sul campione assunto come riferimento, opportunamente dopato in maniera tale da leggere un valore di intensità circa pari a 2  $(I_{ij})_{min}$ .



**Figura 1:** Tipica retta di taratura del metodo delle aggiunte.

Si deve notare che la retta viene utilizzata non per estrapolare direttamente i valori delle frazioni in peso di quarzo negli altri campioni del lotto, ma per ottenere le seguenti informazioni:

- 1) la frazione in peso di quarzo presente nel campione di riferimento non dopato:  $c_j = c_0 (1 - c_0)$ , ove  $c_0$  è il valore dell'intercetta della retta con l'asse delle ascisse;
- 2) il coefficiente angolare della retta  $\Phi = (K_{ij}/\mu^*) = (I_{ij}/c_{ij})$ ,  
dove  $K_{ij}$  è la costante di calibrazione (correlata all'angolo di dispersione, alle caratteristiche strumentali e alle caratteristiche della fase) e  $\mu^*$  è il coefficiente di assorbimento.

Si risale alla quantità di quarzo presente in un generico campione incognito  $n$  appartenente al medesimo lotto applicando la seguente formula:

$$(c_{ij})_n = (I_{ij})_n / \Phi$$

dove:

$(c_{ij})_n$  è la frazione in peso di quarzo presente in un campione incognito dello stesso lotto;

$(I_{ij})_n$  è il valore di intensità del picco del quarzo nel medesimo campione incognito.

**Campioni per i quali  $I_{ij} / (I_{ij})_0 \geq 0,2$  : metodo RIR**

Il metodo consiste nella preparazione e nell'analisi di campioni ottenuti aggiungendo alla miscela in esame una frazione nota di corindone.

Il RIR è definito come il rapporto tra il picco più intenso di una generica fase  $j$  (quarzo nel nostro caso) ed il picco del piano angolare [113] più intenso del corindone, in una miscela avente rapporto in peso 1:1.

I RIR sono calcolati per una radiazione  $\text{CuK}\alpha$ , con una geometria Bragg-Brentano *focusing* a riflessione con slitta divergente costante.

In letteratura sono disponibili i RIR per moltissime fasi diverse, liberamente applicabili al problema specifico, ma l'approccio migliore consiste nel determinare un proprio RIR per la specifica applicazione.

Il RIR viene determinato a partire da miscele che di fatto non sono esattamente 1:1, ma delle quali sono note la frazione in peso e le intensità relative dei picchi impiegati per le due fasi. La formula per il calcolo del RIR è:

$$(\text{RIR})_j = \frac{c_c}{c_j} \cdot \frac{a_{kc}}{a_{ij}} \cdot \frac{I_{ij}}{I_{kc}}$$

dove:

$c_c$  e  $c_j$  sono le frazioni in peso del corindone e della fase di interesse (quarzo) nella miscela;

$a_{kc}$  e  $a_{ij}$  sono le intensità relative dei picchi impiegati;

$I_{kc}$  e  $I_{ij}$  sono le intensità osservate dei picchi impiegati.

In pratica per la determinazione di un proprio RIR si procede nel modo che segue.

Si preparano, per pesata e successiva miscelazione, una serie di miscele omogenee di uno standard puro di quarzo e dello standard di corindone che verrà impiegato per la preparazione dei successivi miscugli sui campioni incogniti, in rapporti il più possibile vicini a 1:1, esattamente noti.

Si effettua l'analisi diffrattometrica sui picchi principali del quarzo e del corindone e se ne fa il rapporto, applicando la formula precedente in cui si è tenuto conto delle rispettive frazioni in peso.

Si calcola la media dei valori dei singoli RIR ottenuti, che si utilizzerà come RIR di riferimento per le analisi del quarzo in campioni incogniti nelle medesime condizioni.

Per l'analisi del quarzo in un campione incognito si prepara una sua miscela in rapporto circa 1:1 con il corindone, se ne registra il peso e si effettua l'analisi diffrattometrica. Si applica quindi la formula seguente:

$$c_j = \frac{c_s}{1 - c_s} (\text{RIR}) S_{js}$$

in cui:

$c_j$  è la frazione in peso del quarzo nel campione;

$S_{js}$  è il rapporto tra le intensità dei picchi analitici del quarzo e del corindone nel campione analizzato;

$c_s$  è la frazione in peso di corindone nella miscela;

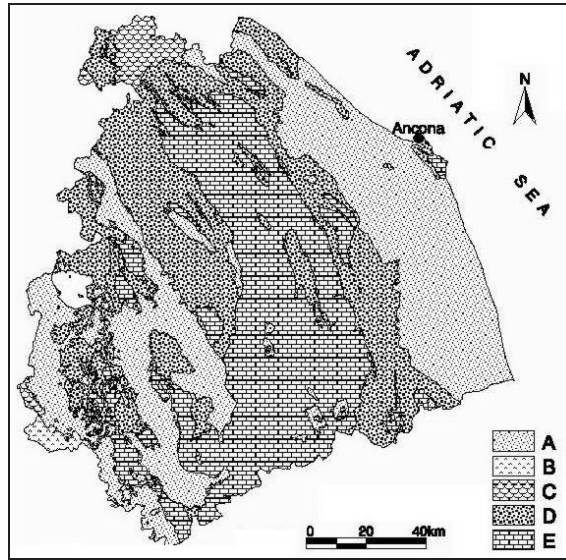
RIR è il valore di riferimento sperimentalmente determinato.

#### 4. LA SUCCESSIONE GEOLOGICA UMBRO-MARCHIGIANA

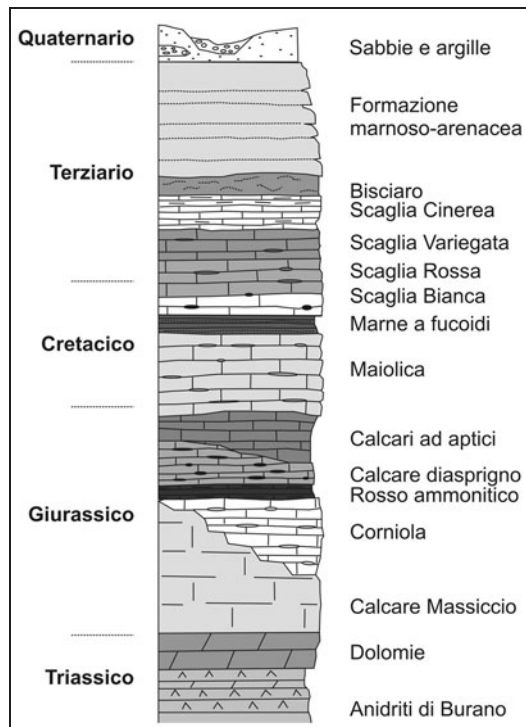
Sembra utile riportare una descrizione dei materiali naturali che costituiscono l'oggetto dello studio, e cioè le formazioni geologiche della successione Umbro-Marchigiana.

Il paesaggio Umbro-Marchigiano è modellato in rocce che si sono formate e trasformate nell'arco di oltre 200 milioni di anni. La successione geologica è rappresentata quasi per intero da rocce sedimentarie (Fig. 2).

La successione geologica, suddivisa nelle formazioni geologiche che la costituiscono (connotate da un numero progressivo nel testo), è rappresentata graficamente in Figura 3 e descritta di seguito.



**Figura 2:** Complessi litologici nella regione Umbro-Marchigiana. A) Sedimenti successivi all'orogenesi (sabbie e argille). B) Rocce vulcaniche. C) Sequenze alloctone (argille, marne, arenarie e calcareniti; calcari dell'Eocene-Miocene; gessi). D) Flysch (marnoso-arenacea). E) Rocce carbonatiche (dolomie, calcari, marne della sequenza Umbro-Marchigiana).



**Figura 3:** Colonna stratigrafica della successione Umbro-Marchigiana.

### **Parte basale della successione Umbro-Marchigiana (Trias superiore–Giurassico inferiore)**

Nel Trias superiore l'area Umbro-Marchigiana fu occupata da un esteso bacino evaporitico in cui si depositarono i materiali che oggi costituiscono la formazione delle Anidriti del Burano (alternanze di gesso e dolomia o brecce calcaree) per uno spessore presunto di oltre 1000 m che però si rinviene in affioramento in poche località, e che perciò non è stata inclusa in questo studio. Successivamente si depositarono i sedimenti carbonatici delle Dolomie del Monte Cetona e dell'importante formazione del Calcare Massiccio.

1. “Calcare Massiccio”: costituisce una formazione compatta, stratificata in banchi di molti metri di spessore; priva di intercalazioni significative.

### **Parte media della successione Umbro-Marchigiana (Giurassico inferiore–Paleogene)**

Per effetto di azione tettoniche distensive, connesse all'apertura del bacino oceanico Ligure, la piattaforma carbonatica si frammentò e in alcune aree gradualmente sprofondò. Il fenomeno tettonico provocò la suddivisione dell'area corrispondente all'Appennino centrale in due settori paleogeografici ben definiti: la piattaforma Laziale-Abruzzese che rimase in condizioni di mare basso, ed il bacino Umbro-Marchigiano che fu soggetto ad una rapida subsidenza ed accolse una sedimentazione di tipo pelagico.

Il bacino pelagico che si formò dopo l'annegamento della piattaforma presentava un fondale estremamente articolato con blocchi diversamente rialzati ed inclinati. Queste variazioni nella batimetria e nella velocità di subsidenza sono registrate da successioni sedimentarie diverse da zona a zona. Le formazioni geologiche, in successione cronologica dalla più antica alla più giovane, sono descritte di seguito.

2. “Corniola”: calcare micritico grigio, omogeneo e regolarmente stratificato; spessore variabile da qualche metro a 200 m con strati di 20-40 cm; presenta selce in liste e noduli soprattutto nella parte alta della formazione.
3. “Marne del Monte Serrone”: Alternanze di calcari marnosi e argille con un livello a marne o argille scure, contenente sostanza organica bitumizzata, che si estende con continuità in tutto il bacino Umbro-Marchigiano.
4. “Rosso Ammonitico”: alternanze di livelli di marne e calcari rossi; il tenore in argilla diminuisce verso l'alto stratigrafico; ricco in fossili di ammoniti.
5. “Calcari e marne a posidonia”: marne nella parte basale passanti a calcari micritici caratterizzati dalla presenza di gusci di posidonia (lamellibranchi).
6. “Calcari diasprigni”: livelli calcarei intercalati a selce, di spessore variabile: da varie decine di metri decrescono fino a sparire verso le zone di alto strutturale.
7. “Calcari ad aptici”: calcari micritici sottilmente stratificati contenenti fossili di aptici ed echinodermi.
8. “Maiolica”: calcari micritici bianchi ben stratificati con selce grigio-nera per uno spessore variabile da 20 a 400 m. Presenta nella parte alta, livelli argillosi scuri in frequenza e spessore crescenti al passaggio con la sovrastante formazione.
9. “Marne a fucoidi”: argille marnose, marne e in subordine calcari marnosi per uno spessore di 45-90 m. Gli strati presentano le tipiche bioturbazioni dei fucoidi.
10. “Scaglia bianca”: Calcari micritici bianchi con selce nera per uno spessore di 50-70 m. La parte superiore contiene un livello nero (“Bonarelli”) composto da argilliti e siltiti per uno spessore di 45-200 cm, che corrisponde ad un evento anossico.
11. “Scaglia rossa”: calcari micritici regolarmente stratificati (10-15 cm) con intercalazioni marnose e selcifere rossastre per uno spessore di 200-400 m.
12. “Scaglia variegata”: calcari marnosi e marne calcaree stratificati per uno spessore di 20-40 m, di colore variabile dal rosa al bianco, dal bianco al grigio-verde.
13. “Scaglia cinerea”: Marne e calcari marnosi color grigio o grigio-verde per uno spessore di 100-200 m.



In tutta l'area Umbro-Marchigiana la parte sommitale, selcifera, ha termine con un orizzonte vulcanoclastico (livello Raffaello) corrispondente al limite Oligocene-Miocene.

### **Parte superiore della successione Umbro-Marchigiana (Oligocene–Miocene)**

Nel Miocene il dominio Umbro-Marchigiano fu soggetto ad un regime orogenico: le fasi del corrugamento modificarono la morfologia dei fondali ed influenzarono la sedimentazione. Si individuaronò dei bacini di avanfossa orientati in senso appenninico che si spostarono progressivamente verso Est. Le successioni che si deposero in questi bacini sono caratterizzate inizialmente dai prodotti dell'attività vulcanica connessa all'orogenesi e successivamente dalla presenza di elevati spessori di torbiditi (sedimenti clastici che si depositano sul fondo marino in corrispondenza del piede della scarpata continentale in seguito all'apporto di grandi volumi di materiali provenienti dall'erosione delle terre emerse). La sequenza sedimentaria è raggruppata in tre formazioni geologiche:

14. "Bisciario": Marne e calcari marnosi grigi e grigio-verdi con selce grigio-nera e intercalazioni di cineriti, tuffi e bentoniti vulcaniche. Lo spessore è variabile da 15 a 70-80 m.
15. "Schlier": è presente nelle Marche al di sopra del Bisciario, costituita da alternanze di marne e marne argillose in strati sottili e da torbiditi calcaree in strati più spessi.
16. "Formazione Marnoso-Arenacea": marne emipelagiche e successivamente arenarie torbiditiche; si distinguono successioni differenti in base alle caratteristiche litologiche e all'età procedendo da W verso E.

Nel Miocene superiore buona parte dell'area marchigiana rimase soggetta a sedimentazione marina, infatti troviamo i depositi evaporatici legati alla crisi di salinità che interessò tutto il Mediterraneo nel Miocene superiore, mentre l'area umbra entrò in piena fase di deformazione ed arrivò ad emergere. Nel Pliocene buona parte di Toscana e Umbria furono nuovamente invase dal mare, si formarono depositi marini e continentali di sabbie e conglomerati, argille, silt.

## **5. CONCLUSIONI**

Il Progetto per lo studio delle relazioni esistenti fra l'esposizione dei lavoratori a SLC nei lavori di scavo e il contenuto in quarzo nelle rocce oggetto dello scavo si è avviato con la messa a punto di metodologie per il campionamento delle formazioni geologiche e per le analisi di laboratorio dei campioni massivi.

Il rischio di esposizione a polveri, e in particolare a SLC, è certamente un aspetto importante da considerare nel DVR che si elabora per cantieri in cui sono previste operazioni di scavo in galleria.

Questo documento deve essere redatto prima dell'inizio dei lavori, e quindi si deve basare su previsioni di polverosità che dipendono dalle informazioni dedotte dalla geologia di superficie e dai sondaggi geognostici, che rivelano le formazioni geologiche che probabilmente verranno attraversate dagli scavi.

A seconda dei terreni attraversati, e cioè del contenuto in quarzo delle rocce interessate, lo scavo determinerà una esposizione maggiore o minore a SLC.

La conoscenza del contenuto di quarzo nelle rocce è quindi basilare in un cantiere di questo tipo al fine di approntare le misure di prevenzione e protezione ottimali per il caso specifico. La ricerca delle relazioni fra esposizione dei lavoratori a SLC e contenuto in quarzo della roccia in scavo sembra quindi di fondamentale importanza per una corretta valutazione dei rischi.

## **BIBLIOGRAFIA**

**APAT:** Guida italiana alla classificazione e alla terminologia stratigrafica, 2002, APAT, Quaderni, Serie III, Vol. 9, 155 p.

**G. Casciani, G. Ripanucci, U. Verdel:** La silice libera in natura e nei prodotti artificiali, 1982, Collana di monografie tecniche sulle malattie professionali, n. 1, Edizioni INAIL, pagg. 1-106.

**M. Parotto, U. Verdel:** Individuazione di aree di rischio da calcari. INAIL, 1980, Rivista degli Infortuni e delle Malattie Professionali, fasc. 1-2 (Gennaio-Aprile 1980), pagg. 131-146.

**SGI:** Appennino Umbro-Marchigiano, 1994, Società Geologica Italiana, Guide Geologiche Regionali, BE-MA editrice, 301 p.

**L.S. Zevin, G. Kimmel:** Quantitative X-Ray Diffractometry, 1995, Springer-Verlag, 253 p.