

## INDICAZIONI PER LA MESSA IN SICUREZZA DEI SITI MINERARI DISMESSI

Pubblicazione della ReMi



# INDICAZIONI PER LA MESSA IN SICUREZZA DEI SITI MINERARI DISMESSI

Publicazione della ReMi

## **Informazioni legali**

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), insieme alle 21 Agenzie Regionali (ARPA) e Provinciali (APPA) per la protezione dell'ambiente, a partire dal 14 gennaio 2017 fa parte del Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), istituito con la Legge 28 giugno 2016, n.132.

Le persone che agiscono per conto dell'Istituto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo quaderno.

**ISPRA** - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Via Vitaliano Brancati, 48 – 00144 Roma

[www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)

## **ISPRA, Documenti Tecnici 2021**

ISBN 978-88-448-1039-9

Riproduzione autorizzata citando la fonte

### **Elaborazione grafica**

*Grafica di copertina:* Sonia Poponessi

ISPRA – Area Comunicazione Istituzionale

### **Coordinamento editoriale:**

Rossella Sisti

ISPRA – Area Comunicazione Istituzionale

### **Coordinamento pubblicazione on line:**

Daria Mazzella

ISPRA – Area Comunicazione Istituzionale

FEBBRAIO 2021

**A cura di:** Agata Patanè – ISPRA - Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia - GEO DES

**Elaborazioni Grafiche:** Roberta Carta – ISPRA - Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia - GEO CARG

**Revisioni:** Michele Fratini – ISPRA - Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia - GEO PSC

### **Promotori della Re.Mi.**

- ✓ ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale
- ✓ MISE - MINISTERO PER LO SVILUPPO ECONOMICO - Direzione generale per la sicurezza anche ambientale delle attività minerarie ed energetiche – Ufficio nazionale minerario per gli idrocarburi e le georisorse
- ✓ REGIONE LOMBARDIA - Direzione Ambiente, Energia e Sviluppo Sostenibile
- ✓ AIPAI - Associazione Italiana per il Patrimonio Archeologico ed Industriale

### **Enti Pubblici, Enti Territoriali, Associazioni e Musei**

- ✓ ANIM - Associazione Nazionale Ingegneri Minerari
- ✓ ASSOCIAZIONE AD METALLA
- ✓ ASSOCIAZIONE CULTURALE AIPSAM – Il patrimonio Storico-Ambientale
- ✓ ASSORISORSE – Risorse Naturali ed Energia sostenibili
- ✓ CNG - Consiglio Nazionale dei Geologi
- ✓ CNR-ISPC – Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale del Consiglio Nazionale delle Ricerche
- ✓ Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze
- ✓ ERIH Italia
- ✓ ICCD MIBACT – Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione
- ✓ Museo Provinciale di Storia Naturale del Mediterraneo di Livorno
- ✓ REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA - Servizio Attività Estrattive e Recupero Ambientale
- ✓ REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA - "Parco minerario" regionale
- ✓ REGIONE PIEMONTE: Direzione: Competitività del Sistema Regionale - Settore: Polizia mineraria, Cave e Miniere

### **Autori**

**Francesca Messina** (Regione Lombardia - U.O. Sviluppo Sostenibile e Tutela Risorse dell'Ambiente)  
**Giorgio Paolucci** (Regione Autonoma della Sardegna, Servizio attività estrattive e recupero ambientale)  
**Domenico Savoca** (Presidente ANIM - Associazione Nazionale Ingegneri minerari)  
**Renato Stevanon** (Consulente Ambientale, già funzionario Regione Valle d'Aosta)

### **Comitato REMI**

agata patanè<sup>1</sup> (coordinatore), roberta carta<sup>1</sup>, marco falconi<sup>1</sup>, michele fratini<sup>1</sup>, cristina giovagnoli<sup>1</sup>, alessandra lasco<sup>1</sup>, simona olivadese<sup>1</sup>, monica serra<sup>1</sup>, rossella sisti<sup>1</sup>.

patrizia altomare<sup>26</sup>, anselmo danielle agoni<sup>3</sup>, federica angelini<sup>5</sup>, augusto barile<sup>6</sup>, luca bollea<sup>7</sup>, antonio borzatti de loewenstern<sup>8</sup>, chiara braga<sup>9</sup>, debora brocchini<sup>27</sup>, gianna cascone<sup>8</sup>, manuela castagna codeluppi<sup>15</sup>, raffaele calabrese de feo<sup>10</sup>, giampiero calegari<sup>11</sup>, maria carcasio<sup>12</sup>, lara casagrande<sup>13</sup>, alessandra casini<sup>14</sup>, paolo cresta<sup>16</sup>, davide d'acunto<sup>2-33</sup>, carlo dacquino<sup>18</sup>, vittoria daghetto<sup>19</sup>, carlo evangelisti<sup>20</sup>, fabio fabbri<sup>21</sup>, luca genre<sup>22</sup>, giovanni gentiluomo<sup>23</sup>, monica giarda<sup>10</sup>, silvia grandi<sup>24</sup>, carlo greppi<sup>25</sup>, edoardo guerrini<sup>26</sup>, silvia guideri<sup>27</sup>, maria iacono<sup>34</sup>, luciano leusciatti<sup>28</sup>, maria letizia mancinelli<sup>48</sup>, gabriella mariani<sup>29</sup>, fabio marguerettaz<sup>2-33</sup>, luigi matteoli<sup>30</sup>, francesca messina<sup>31</sup>, dario milani<sup>32</sup>, antonio monte<sup>49</sup>, antonella negri<sup>48</sup>, sergio nicol<sup>17</sup>, gian marco orlandi<sup>35</sup>, giorgio paolucci<sup>29</sup>, giovanni pratesi<sup>36</sup>, massimo preite<sup>37</sup>, manuel ramello<sup>38</sup>, danielle rappuoli<sup>39</sup>, luigi rinaldi<sup>26</sup>, roberto rizzo<sup>40</sup>, maurizio rossi<sup>50</sup>, giuseppino santoanni<sup>41</sup>, fabio sarandrea<sup>24</sup>, domenico savoca<sup>42</sup>, francesco sbetti<sup>43</sup>, luca sbrilli<sup>44</sup>, renato stevanon<sup>45</sup>, maurizio stuppini<sup>16</sup>, christian terzer<sup>51</sup>, emery vajda<sup>52</sup>, alexia venturini<sup>46</sup>, gilberto zaina<sup>47</sup>, enrico zanoletti<sup>45</sup>.

- (1) ISPRA
- (2) Comune di Saint-Marcel, Alpin Sas
- (3) Skimine Srls Miniera di Marzoli (Bs), Miniera Gaffione (Bg), Complesso Tassara Sant'aloisio (Collio Bs)
- (4) Regione Emilia-Romagna Servizio Statistica e Sistemi Informativi Geografici
- (5) Regione Autonoma Valle D'Aosta - Assessorato Attività Produttive, Energia, Politiche del Lavoro E Ambiente
- (6) Geosito Lecce Nei Marsi (Aq)
- (7) Val Di Cecina, Miniera Di Rame Di Caporciano

- (8) Museo di Storia Naturale del Mediterraneo di Livorno ,Responsabile U.O. Museo, Beni e Attività Culturali ,  
Provincia di Livorno
- (9) VIII Commissione (Ambiente, Territorio e Lavori Pubblici) e Commissione Parlamentare di Inchiesta Sulle Attività  
Illecite Connesse al Ciclo dei Rifiuti e su Illeciti Ambientali ad esse correlati
- (10) ASSORISORSE – Risorse Naturali ed Energia sostenibili
- (11) Ecomuseo delle Miniere di Gorno
- (12) Comune di Casteltermini - Miniera-Museo di Cozzi Disi
- (13) Associazione Ecomuseo Argentario
- (14) Parco Nazionale delle Colline Metallifere Grossetane
- (15) Parco Internazionale Geominerario/Museo Minerario Miniera Lab di Cave del Predil - Raibl
- (16) Parco Naturale Regionale dell'aveto Museo Minerario di Gambatesa
- (17) Comune di Coazze (To), Sito Minerario Ex Miniera di Talco Di Garida c/o Ecomuseo dell'alta Val Sangone di Coazze
- (18) Consulente Ambientale ed Ingegnere Minerario, già Responsabile del Manuale ISPRA " I Siti Minerari Italiani (1870-  
2006)
- (19) Comune Di Cogne, Mines De Cogne
- (20) Parco Museo Minerario delle Miniere di Zolfo delle Marche e dell'Emilia Romagna
- (21) La Società di Ricerca e Studio della Romagna Mineraria – Villaggio Minerario di Formignano
- (22) L'unione Montana dei Comuni Valli Chisone E Germanasca - Ecomuseo Regionale delle Miniere e della Val  
Germanasca
- (23) Comune di Comitini - Libero Consorzio dei Comuni di Agrigento, Parco Minerario delle Zolfare
- (24) Mise - Ministero dello Sviluppo Economico - Direzione Generale per la Sicurezza anche Ambientale delle Attività  
Minerarie ed Energetiche
- (25) Comunità Montana Lario Orientale-Valle San Martino, Parco Minerario Piano Resinelli
- (26) Regione Piemonte, Direzione: Competitività Del Sistema Regionale - A19000 Settore: Polizia Mineraria, Cave e  
Miniere - A1906a
- (27) Parchi Val Di Cornia: Parco Archeominerario di San Silvestro
- (28) Museo Minerario della Bagnada
- (29) Regione Autonoma Sardegna, Servizio Attività Estrattive e Recupero Ambientale
- (30) CNG - Consiglio Nazionale dei Geologi
- (31) Regione Lombardia - Assessorato all'Ambiente, Energia e Sviluppo Sostenibile - U.O. Attività Estrattive, Bonifiche e  
Pianificazione Rifiuti
- (32) Comune di Primaluna (Lc) - Parco Minerario di Cortabbio
- (33) Comune di Brusson, Alpin Sas
- (34) Componente della XIV Commissione Parlamentare – Politiche Dell'Unione Europea e Componente della X  
Commissione Parlamentare – Attività Produttive Commercio e Turismo.
- (35) Comune di Dossena - Miniera Paglio Pignolino
- (36) Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra, -Settore Scientifico Disciplinare: Geo/O6 –  
Mineralogia
- (37) ERIH Italia
- (38) AIPAI – Associazione Nazionale per Il Patrimonio Archeologico Industriale
- (39) Parco Museo delle Miniere dell'Amiata
- (40) Parco Geominerario Storico ed Ambientale della Sardegna
- (41) Comune di Lungro (Cs)
- (42) ANIM – Associazione Nazionale Ingegneri Minerari
- (43) Società Sistema e Direttore Istituto Nazionale Urbanistica
- (44) Parco Minerario dell'Isola d'Elba
- (45) Consulente Ambientale
- (46) Comune di Resiutta, Miniera di Resartico e Sito Minerario del Resartico (Parco delle Prealpi Giulie Ente Gestore)
- (47) Associazione Ad Metalla
- (48) ICCD MIBACT – Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione
- (49) CNR-ISPC – Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale del Consiglio Nazionale delle Ricerche
- (50) ASSOCIAZIONE CULTURALE AIPSAM – Il patrimonio Storico-Ambientale
- (51) Museo Provinciale Miniere Alto Adige
- (52) Polo Argeo-minerario di Castiglione Chiavarese - Società Geologica srl per il Comune di Castiglione Chiavarese

## Contatti

Alessandra Lasco  
Ufficio stampa ISPRA  
Telefono +39 0650072042

Agata Patanè  
Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia  
Telefono +39 06 50074745  
3441249886

Rossella Sisti  
Area Comunicazione Istituzionale  
Telefono +39 06 50072379

# INDICE

PRESENTAZIONE.....	7
PREMESSA .....	9
1. MESSA IN SICUREZZA DEI SOTTERRANEI DELLE MINIERE DISMESSE, A FINI DI VALORIZZAZIONE .....	11
1.1. La progettazione degli interventi di messa in sicurezza dei siti minerari dismessi .....	11
1.2. La gestione in condizioni di sicurezza dei siti minerari dismessi .....	12
2. MESSA IN SICUREZZA DEI SITI ESTRATTIVI DISMESSI E DEGLI IMPIANTI A CIELO APERTO A FINI DI VALORIZZAZIONE	14
3. SPECIFICHE TECNICHE PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO IN FASE DI PROGETTAZIONE DELL'ATTIVITÀ DI VALORIZZAZIONE .....	14
3.1. Reperimento dati bibliografici e analisi generale della situazione che si è venuta a determinare dopo la chiusura delle attività di coltivazione .....	15
3.2. Ricostruzione assetto geologico ed idrogeologico .....	15
3.3. Individuazione dei fenomeni di dissesto .....	17
3.4. Ricostruzione topografica dei vuoti minerari.....	18
3.5. Caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi all'interno dei vuoti - I metodi di rilievo geomeccanico.....	19
3.6. Valutazione del rischio geologico ed idrogeologico in sotterraneo .....	20
3.7. Valutazione della stabilità dei vuoti minerari e delle gallerie.....	24
3.8. Esempi di approcci per le analisi di stabilità .....	25
3.8.1 Analisi di sensibilità.....	25
3.8.2 Approccio probabilistico.....	25
3.8.3 Modellazione di ammassi rocciosi complessi .....	25
3.9. Il monitoraggio .....	26
4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....	30
Allegato 1 .....	31
<i>"Protocollo REMI-ANIM per il contrasto e il contenimento dell'emergenza sanitaria COVID -19 nelle attività di visita a miniere dismesse in sotterraneo per motivi turistici e culturali"</i> .....	31
Allegato 2 .....	38
<i>"D.g.r. 22 dicembre 2008 - n. 8/8749 Indirizzi e disposizioni tecniche per la conduzione di analisi sulla stabilità e per la progettazione di fronti di scavo in attività estrattive a cielo aperto, di scavi minerari in sotterraneo e di materiali in mucchio"</i> .....	38
Allegato 3 .....	39
Regolamento n. 2/2015 della Regione Lombardia.....	39
<i>"Criteri e modalità per il rilascio dell'autorizzazione per gli interventi di valorizzazione del patrimonio minerario dismesso, ai sensi dell'articolo 6, comma 4, della legge regionale 10 dicembre 2009, n. 28 «Disposizioni per l'utilizzo e la valorizzazione del patrimonio minerario dismesso"</i> .....	39

## PRESENTAZIONE

---

Le miniere dismesse sono oggi tra i patrimoni culturali più ricchi di interesse per una loro fruizione turistica.

Ciò pone il problema di un riutilizzo del patrimonio minerario votato a funzioni diverse da quelle tradizionali d'estrazione di minerali, in ambiti paesaggistici modificati, che con la cessazione dell'attività produttiva, non ritornano ai precedenti equilibri nell'area geografica investita dal fenomeno.

La tutela, la valorizzazione e la gestione dei siti minerari rispondono, così, a criteri culturali intesi nel senso della difesa delle identità comunitarie costruite nel corso del tempo; pongono il problema di sanare, per quanto possibile, le rotture indotte sul tessuto sociale dalla loro dismissione, attraverso un riutilizzo finalizzato ad incentivare forme d'attività economica (turismo archeo-industriale ed ambientale, processi di marketing territoriale, ecc.); si collocano all'interno dei processi di riqualificazione dei quadri ambientali compromessi dall'attività umana.

Questo complesso di motivazioni è alla radice della nascita e dello sviluppo dei musei e dei parchi minerari, sorti in primis nei siti di più recente dismissione e, poi, allargatisi ai luoghi storici della produzione mineraria. Si è trattato di uno sforzo progettuale e finanziario d'ingenti dimensioni, che ha impegnato molteplici soggetti istituzionali e scientifici perlomeno per un ventennio e che oggi, nel corso di anni di crisi economica, è arrivato ad un punto di snodo, di fronte a difficoltà giuridico-legislative che si coniugano con una carenza crescente di finanziamenti.

Si tratta di una serie d'iniziative che si articolano in tutto il Paese e che hanno come obiettivo una sensibilizzazione diffusa nei confronti di quello che rimane di un'attività produttiva che ha segnato profondamente intere aree italiane e che vuole rilanciare un progetto di tutela e di valorizzazione di siti ideali per l'applicazione dei moderni principi di green economy ed economia circolare.

La "Rete Nazionale dei Parchi e Musei Minerari Italiani - ReMi<sup>1</sup> coordinata da ISPRA (Figure 1,2), con il supporto di MISE, ANIM, AIPAI, ASSOMINERARIA, CNG, attiva dal 2015, nasce dall'esigenza di mantenere alta l'attenzione su un tema, quello del recupero culturale dei siti dismessi, che ha una rilevanza di tutto rispetto, in un contesto in cui il paesaggio e le sue determinanti territoriali, assumono un ruolo decisivo e che, senza la partecipazione del mondo associativo e delle comunità, delle istituzioni, delle università e dei privati, rischia di soccombere in via definitiva. Il Paese, sempre distratto dalle emergenze, sembra non considerare a sufficienza gli elementi portanti della sua identità (il patrimonio culturale e ambientale, la memoria del lavoro, l'intensa attività antropica che ne ha caratterizzato la storia); risulta dunque indispensabile insistere con pazienza sulla loro decisiva importanza come strumenti per programmare il futuro.

Oggetto del presente lavoro è un Documento tecnico della ReMi che segue il Quaderno ReMi 21/2020<sup>2</sup> riprendendo la tematica già affrontata nella Rivista AIPAI-ISPRA "Patrimonio industriale 17.18 - Il patrimonio industriale minerario e i suoi valori"<sup>3</sup>, riguardo la sicurezza e la gestione dei siti minerari dismessi da valorizzare ai fini culturali.

---

<sup>1</sup> <http://portalesgi.isprambiente.it/en/La-Rete-Nazionale-dei-Parchi-e-dei-Musei-minerari>

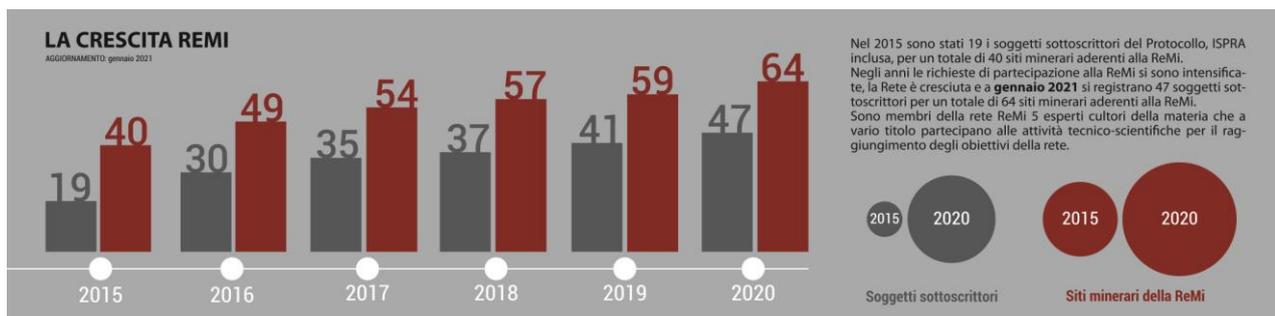
<sup>2</sup> <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/quaderni/ambiente-e-societa/indicazioni-per-la-formazione-di-operatori-turistici-minerari.-pubblicazione-della-remi>

<sup>3</sup> [https://www.isprambiente.gov.it/files/progetti/remi/remi\\_patrimonio-industriale-17-18\\_2017.pdf](https://www.isprambiente.gov.it/files/progetti/remi/remi_patrimonio-industriale-17-18_2017.pdf)

**Figura 1 – La Rete dei Parchi e Musei minerari – ReMi-ISPRA**



**Figura 2 – La crescita ReMi**



## PREMESSA

---

L'ingente patrimonio minerario dismesso presente in alcune regioni italiane, testimonianza di una passata importante attività mineraria, costituisce il presupposto concreto per una attività di valorizzazione ai fini culturali, scientifici, sociali e turistici, dei siti non più oggetto di interventi estrattivi, rendendo così viva la memoria storica dell'impegno e della fatica di tanti lavoratori del passato.

A livello nazionale le attività di valorizzazione si sono rette il più delle volte su impegni volontaristici da parte di Associazioni private o Enti Locali, in assenza di adeguate risorse tecniche ed economiche e senza una pianificazione e programmazione delle iniziative a livello nazionale o regionale.

La mancanza di indicazioni normative cui fare riferimento per l'avvio e la gestione dell'attività di valorizzazione, oltre a essere fonte di incertezza operativa, è stata causa della precarietà e della non affidabilità di interventi sul patrimonio minerario esistente, effettuati senza garanzie di sicurezza per i visitatori dei siti minerari aperti al pubblico.

Nel corso degli ultimi anni, in assenza di un quadro legislativo nazionale che si spera di concretizzare con l'azione della ReMi, alcune regioni, quasi tutte del nord-ovest, hanno legiferato in modo sostanzialmente uniforme, anche per gli scambi tecnici e operativi che sono avvenuti tra funzionari regionali e tra operatori interessati.

Le regioni che oggi, se pur in modo non coordinato, hanno legiferato in materia di valorizzazione del patrimonio minerario dismesso risultano essere Lombardia, Piemonte, Liguria, Valle d'Aosta e Sardegna. Tali regioni hanno previsto la necessità di acquisizione di una autorizzazione regionale per la valorizzazione del patrimonio minerario dismesso, mentre dal punto di vista della tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori e dei visitatori hanno fatto riferimento alle norme di polizia mineraria di cui al DPR n. 128/1959, Norme di Polizia delle miniere e delle cave, se pur con qualche distinguo non ben chiarito.

Il DPR n. 128/1959 costituisce un utile riferimento anche per le regioni che non hanno ancora legiferato, in quanto le disposizioni in esso contenute costituiscono un valido riferimento per attuare i necessari obiettivi di tutela, pur tenendo conto che talune previsioni normative contenute nello stesso DPR risultano ormai obsolete dal punto di vista tecnico e legislativo.

Le regioni che hanno prodotto una legislazione organica ed esaustiva, maturata in un regime di pieno coordinamento e quindi sostanzialmente sovrapponibile, risultano essere la Lombardia e la Valle d'Aosta, mentre la regione Liguria ha prodotto una legge che, seppure organica, mantiene elementi di incertezza applicativa relativamente alle norme di sicurezza mineraria.

La regione Lombardia ha approvato la legge regionale 10 dicembre 2009, n. 28, "Disposizioni per l'utilizzo e la valorizzazione del patrimonio minerario dismesso" e il regolamento attuativo 17 marzo 2015, n. 2, "Criteri e modalità per il rilascio dell'autorizzazione per gli interventi di valorizzazione del patrimonio minerario dismesso".

La regione Valle d'Aosta ha approvato la legge 18 aprile 2008, n. 12, "Disposizioni per la valorizzazione dei siti minerari dismessi".

La regione Liguria ha approvato la legge 12 novembre 2014, n. 31, "Norme per il recupero e la valorizzazione dei siti estrattivi a fini museali, turistici e ricreativi".

La regione Sardegna ha introdotto l'obbligo di autorizzazione regionale per il riutilizzo dei siti minerari dismessi e delle relative pertinenze con l'art. 5 della legge regionale 9 marzo 2015, n. 5, mentre ha disposto, con legge regionale 29 maggio 2007, n. 2, l'applicazione delle norme di polizia mineraria alle attività di valorizzazione dei cantieri di miniere dismesse, fatta salva l'applicazione delle

norme in materia di pubblica sicurezza di fatto aumentando l'incertezza circa le modalità di gestione in termini di sicurezza delle stesse attività di valorizzazione.

Ancora, la regione Sardegna, con deliberazione n. 23/2 del 8 maggio 2008, ha emanato le direttive per il rilascio dell'autorizzazione per interventi di riutilizzo del patrimonio minerario dismesso.

I riferimenti in materia di sicurezza contenuti nel regolamento della regione Lombardia n. 2/2015 e della deliberazione della regione Sardegna n. 23/2/2018 e, più in generale, i contenuti delle leggi regionali sopra richiamate, sono stati motivo di ispirazione per la redazione delle presenti linee guida.

Un gruppo di lavoro della ReMi ha predisposto nel giugno 2020 un protocollo per il contrasto e il contenimento dell'emergenza sanitaria COVID -19 nelle attività di visita a miniere dismesse in sottterraneo per motivi turistici e culturali (Allegato 1).

Si ricorda infine il disegno di legge emesso dal Comitato ReMi depositato in Parlamento<sup>4</sup>, che costituisce il primo tentativo nazionale di normare la materia "*Tutela e Valorizzazione dei siti minerari dismessi e del loro patrimonio storico, archeologico, paesaggistico, ambientale*".

Nel seguito si esplicano le pratiche adottate per la messa in sicurezza di siti minerari museali in assenza di una norma dedicata, come già in parte trattate nella Rivista ISPRA-AIPAI dedicata al patrimonio minerario<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup> <https://www.isprambiente.gov.it/it/archivio/notizie-e-novita-normative/notizie-ispra/2019/01/conferenza-stampa-di-presentazione-della-proposta-di-legge-n.-1274>

<sup>5</sup> <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/quaderni/ambiente-e-societa/indicazioni-per-la-formazione-di-operatori-turistici-minerari.-pubblicazione-della-remi>

## **1. MESSA IN SICUREZZA DEI SOTTERRANEI DELLE MINIERE DISMESSE, A FINI DI VALORIZZAZIONE**

Quasi sempre l'utilizzo di una miniera dismessa a fini di valorizzazione turistica, culturale e sociale richiede interventi preliminari complessi per la messa in sicurezza dei vuoti sotterranei per la fruizione da parte di visitatori.

Le leggi regionali della Lombardia e della Valle d'Aosta hanno previsto la piena applicazione alle attività di valorizzazione della legislazione in materia di Polizia Mineraria delle attività estrattive di cui al D.P.R. n. 128/1959, al D.Lgs. n. 624/1996, nonché del D.Lgs. n. 81/2008.

Si tratta di norme certamente previste per la sicurezza dei lavoratori in attività produttive minerarie, quindi talvolta non pienamente rispondenti alle necessità di tutela dei visitatori, i quali non hanno le competenze dei minatori stessi e quindi necessitano di tutele maggiori in termini di sicurezza.

Le norme di Polizia Mineraria rispondono pienamente alla regolamentazione delle attività preliminari di messa in sicurezza del sito minerario, mentre necessitano di analisi applicativa più intensa nella fase di gestione dell'attività di valorizzazione, allorché, ai normali problemi di sicurezza relativi alla gestione dei vuoti minerari, si aggiungono quelli delle visite ai vuoti stessi da parte di persone non pienamente a conoscenza dei rischi minerari e organizzativi del sottterraneo.

Si osserva che un sito minerario dismesso oggetto di valorizzazione non è un'attività produttiva mineraria, ma un sito riconvertito per una fruizione a fini turistici: i visitatori devono essere portati a conoscenza dei rischi a cui possono essere sottoposti durante la visita, che sono decisamente inferiori rispetto a quelli delle attività estrattive in esercizio.

La previsione normativa circa l'obbligo della presenza in denuncia di esercizio dell'attività di valorizzazione mineraria di un Direttore responsabile dei luoghi di lavoro con le caratteristiche di cui all'art. 27 del D.P.R. n. 128/1959 (laurea in ingegneria o geologia e abilitazione all'esercizio della professione o perito industriale minerario, in possesso delle capacità e competenze adeguate), costituisce una garanzia sostanziale circa l'obiettivo della legislazione regionale di affrontare le problematiche di sicurezza mineraria dei vuoti minerari dismessi con professionalità.

Appare opportuno che sia prevista, in aggiunta alla professionalità del Direttore Responsabile, la figura chiave del Sorvegliante dei Lavori, che assicura la necessaria presenza durante tutte le fasi dell'attività di valorizzazione.

Si esaminano di seguito le specifiche problematiche della messa in sicurezza dei siti minerari dismessi e della fase di gestione dell'attività di valorizzazione, evidenziando che alcune problematiche possono essere presenti in entrambe le fasi.

L'esame delle problematiche per la messa in sicurezza e la gestione dei siti minerari dismessi non ha certamente carattere di esaustività, in quanto dovranno essere considerate anche quelle sito-specifiche, che non possono essere oggetto di una pubblicazione di carattere generale.

### **1.1. La progettazione degli interventi di messa in sicurezza dei siti minerari dismessi**

Le azioni base da compiere per garantire la corretta progettazione sono elencate nel seguito.

- a. *Sistemazione delle strade di accesso dei visitatori al sito minerario.* Le strade di accesso sono spesso inadeguate a consentire il transito in sicurezza dei visitatori, sia per la conformazione delle strade stesse, non progettate per permettere il transito al pubblico, sia per le condizioni di manutenzione e vetustà. Le strade di accesso devono permettere un percorso pedonale o con mezzi meccanici in piena sicurezza, per la copertura dei dislivelli presenti, con adeguate caratteristiche del fondo stradale e protezioni laterali.
- b. *Sistemazione degli ingressi del sito estrattivo.* Gli ingressi delle miniere rappresentano un punto di debolezza del sistema di accesso al sito dismesso, in quanto possono presentare problemi di sicurezza per crolli o franamenti dall'alto e instabilità per i primi metri delle gallerie di accesso, generalmente in roccia meno salda o addirittura oggetto di interventi di demolizione nelle fasi di chiusura mineraria successivamente alla cessazione dell'attività estrattiva.
- c. *Messa in sicurezza statica dei vuoti sotterranei.* La messa in sicurezza statica dei vuoti sotterranei costituisce il principale intervento richiesto per poter permettere l'accesso dei visitatori ai cantieri dismessi. Come noto, le vie di transito e i cantieri in sottterraneo delle miniere sono progettati per consentire i lavori di coltivazione per il tempo necessario

all'esaurimento della sezione di giacimento o all'utilizzo delle vie di transito del personale e di trasporto del minerale. Gran parte delle attività estrattive presenta problemi di stabilità dei sotterranei e tali problemi sono incrementati in funzione della vetustà dei vuoti, per il maggiore degrado della roccia intervenuto nel corso del tempo. Le situazioni di stabilità più favorevoli si presentano allorché si può avviare l'attività di valorizzazione senza soluzione di continuità rispetto a quella cessante di coltivazione. Gli interventi di messa in sicurezza statica possono talvolta rappresentare un onere tecnico ed economico insostenibile per gli Enti o Associazioni interessate alla valorizzazione, e tali da richiedere specifici e rilevanti finanziamenti da parte della Pubblica Amministrazione. I lavori di messa in sicurezza statica dovranno essere preceduti da un approfondito progetto di stabilità, se necessario mediante sistemi di calcolo ad elementi finiti o definiti, anche in considerazione delle condizioni di stabilità a livello locale tenendo conto della possibilità di distacco di singoli blocchi. La regione Lombardia ha approvato la deliberazione n. 8749 del 22 dicembre 2008 (Allegato 2), relativa alla verifica di stabilità nelle attività estrattive, che può essere presa a riferimento per la progettazione degli interventi di messa in sicurezza statica. I progettisti dovranno individuare un percorso protetto per le visite, prevedendo la possibilità di ispezione agevole e sistematica del tetto delle gallerie o dei vuoti di cantiere, per prevenire il distacco di blocchi, eventualmente proteggendo il percorso stesso con reti o altri sistemi di trattenuta.

- d. *Disponibilità di una seconda uscita dal sottoterraneo.* Le norme di polizia mineraria prevedono la necessità di disporre di una seconda uscita, di sicurezza, dal sottoterraneo del sito dismesso. La seconda uscita deve essere pienamente praticabile, in modo non difforme rispetto a quella di entrata principale, dovendosi prevedere, tra l'altro, la necessità di evacuare un ferito in barella. La necessità di disporre di una seconda uscita dal sottoterraneo potrebbe creare problemi autorizzativi ad alcune attività di valorizzazione relative a vecchie miniere che non dispongono di tale seconda uscita.

In analogia con quanto previsto dal D.P.R. n. 128/1959, nel caso sia resa fruibile, a fini di valorizzazione, una galleria di ricerca o di accesso ai vuoti minerari, può non essere prevista una seconda uscita, purché siano assicurate adeguate condizioni di ventilazione e di stabilità della galleria stessa e siano stabilite, con ordine di servizio del Direttore Responsabile, le modalità di esercizio dell'attività di valorizzazione; è vietata l'areazione per diffusione della galleria per distanze superiori a 50 metri. E' fatta salva l'applicazione delle norme di pubblica sicurezza.

- e. *Verifica circa la possibilità di venute d'acqua improvvise nel vuoto sottoterraneo.* I progettisti dell'attività di valorizzazione dovranno verificare con estrema attenzione che i cantieri esauriti a quote superiori rispetto a quelli presenti alla quota di transito dei visitatori, non possano contenere accumuli d'acqua, trattenuta da ostacoli naturali, che in particolari condizioni di piovosità all'esterno possano cedere improvvisamente per gli elevati volumi drenati all'interno del sito minerario. La situazione descritta si presenta sovente nelle miniere con accessi a mezza costa, caratteristici dell'arco alpino, la cui attività di sfruttamento è cominciata coltivando le sezioni di giacimento a quota più elevata.
- f. *Predisposizione delle vie di deflusso dell'acqua di miniera.* Si tratta di un'operazione sempre necessaria quando si verificano portate di acqua da edurre elevate, anche a livello stagionale. La predisposizione di rigole di pendenza e profondità sufficienti risolverà agevolmente il problema.

## 1.2. La gestione in condizioni di sicurezza dei siti minerari dismessi

Le azioni necessarie in fase di gestione sono sintetizzate nel seguito.

- a. *Monitoraggio sistematico dei vuoti di coltivazione.* Il monitoraggio dovrà essere effettuato da parte del Sorvegliante, per la prevenzione di crolli o cadute di blocchi. In sede di

progettazione degli interventi per la messa in sicurezza dei vuoti sotterranei, potranno essere previsti adeguati sistemi di monitoraggio per il controllo continuo o discontinuo di sezioni della miniera con particolari problemi di stabilità, anche con allarme in caso di superamento dei parametri individuati dal progettista. E' vietato l'attraversamento di vuoti di coltivazione per i quali non sia agevole il controllo sistematico da parte del Sorvegliante, a vista o con attrezzature meccaniche, a meno che non si prevedano percorsi protetti contro la caduta di blocchi.

- b. *Disponibilità di mezzi di trasporto in sotterraneo.* I mezzi per il trasporto dei visitatori in sotterraneo dovranno rispettare la specifica normativa relativa alle macchine. Qualora si utilizzino mezzi di trasporto (essenzialmente treni) già usati nelle attività estrattive passate, dovrà essere verificata la rispondenza di tali mezzi alle previsioni normative così come chiarite, ancora, dalla direttiva macchine.
- c. *Ventilazione dei vuoti sotterranei.* La ventilazione dei vuoti sotterranei dovrà essere garantita secondo le indicazioni contenute nelle norme di Polizia Mineraria, da utilizzare quale riferimento operativo, tenendo conto delle condizioni più gravose di esercizio, nonché per la prevenzione degli incendi.
- Si richiama, in particolare l'articolo 261 del D.P.R. n. 128/1959, che determina la velocità massima dell'aria di ventilazione in 6 m/s e quella minima in 10 cm/s, salvo si adotti l'aerazione per diffusione. Con ordine di servizio del Direttore Responsabile è stabilita, per l'intero sotterraneo o per singoli scomparti e settori, la velocità minima delle correnti d'aria in relazione alle caratteristiche del sotterraneo, alle temperature ed allo stato igrometrico del sotterraneo, al fine di determinare soddisfacenti condizioni ambientali durante le visite o l'effettuazione della manutenzione ordinaria o straordinaria del sotterraneo stesso. Il medesimo ordine di servizio determina la periodicità delle misure da effettuare.
- Si osserva che per la gran parte delle miniere dismesse è sufficiente la ventilazione naturale, in quanto nella fase di esercizio non vi è produzione di polveri dovuta a lavori di abbattimento o di inquinanti derivanti dalla presenza di mezzi diesel, che non risulta siano utilizzati nelle attività di valorizzazione.
- d. *Gestione delle emergenze.* In sede di conduzione dell'attività di valorizzazione la gestione delle emergenze costituisce un'attività rilevante, che dovrà essere valutata attentamente ed esplicitata nel Documento di Sicurezza e Salute (DSS) di cui all'articolo 6 del D.Lgs. n. 624/1996. La gestione delle emergenze è riferita a pronto soccorso, antincendio, incidenti nei cantieri e nelle vie di transito, evacuazione degli operatori e dei visitatori, stabilità dei vuoti sotterranei.
- e. *Impianti in sotterraneo.* Gli impianti in sotterraneo dovranno essere rispondenti alle norme di cui al DPR n. 128/1959 e al D.Lgs. n.81/2008, "Testo unico sulla sicurezza del lavoro" e le verifiche previste dovranno essere effettuate con la periodicità stabilita dalle norme o dal DSS. Particolare attenzione dovrà essere posta relativamente alla costruzione dell'impianto elettrico, dell'impianto di comunicazione con l'esterno e di illuminazione di emergenza.
- f. *Disponibilità di Dispositivi di Protezione Individuale (DPI).* I dispositivi di protezione individuale necessari per la gestione in sicurezza del sito minerario dismesso dovranno essere individuati dal DSS e le guide minerarie e i visitatori dovranno essere informati e formati secondo le necessità rappresentate dallo stesso DSS. I DPI per i visitatori dovranno tenere conto dell'ambiente sotterraneo e delle modalità di visita, mentre quelli per gli accompagnatori, le guide e gli addetti al sotterraneo saranno determinate in funzione delle previsioni di cui al Titolo III, Capo II, del D.Lgs. n. 81/2008.
- g. *Formazione degli operatori minerari.* Gli operatori minerari dovranno acquisire una formazione adeguata alle problematiche di sicurezza evidenziate in sede di valutazione dei rischi, soprattutto in relazione alla necessità di prestare assistenza ai visitatori nel caso sia necessario gestire un'emergenza. Si rimanda al Quaderno ReMi sull'argomento<sup>1</sup>.
- h. *Documento organizzativo di gestione delle attività di valorizzazione.* Il Direttore Responsabile dei luoghi di lavoro dovrà predisporre gli ordini di servizio necessari per la gestione dell'attività di valorizzazione, al fine, soprattutto, di regolare il flusso dei visitatori all'interno in

relazione alle necessità di sicurezza evidenziate dal DSS. In particolare dovrà essere definito il numero massimo dei componenti i singoli gruppi di visita e il numero massimo di visitatori e guide minerarie presenti contemporaneamente nel sotterraneo.

Secondo il regolamento n. 2/2015 della Regione Lombardia (Allegato 3), le previsioni di cui al precedente paragrafo 1.1, devono far parte del progetto di valorizzazione, mentre quelle di cui al paragrafo 2.2 devono far parte del programma di valorizzazione.

Risulta necessaria la redazione di un *business plan* che elenchi gli investimenti necessari per realizzazione degli interventi di cui ai precedenti paragrafi, nonché per l'individuazione delle spese di gestione necessarie a condurre almeno in equilibrio economico l'attività di valorizzazione.

Nel caso in cui si rendano fruibili al pubblico cantieri estrattivi dismessi di miniere ancora in esercizio, tutte le considerazioni che precedono valgono ancora relativamente a tali cantieri, evidenziando, inoltre, la necessità di un coordinamento formale tra l'attività mineraria ancora in esercizio e quella relativa alla valorizzazione dei cantieri dismessi, attraverso la redazione del Documento di Sicurezza e Salute Coordinato di cui all'articolo 9 del D.Lgs. n.624/1996. In particolare non vi dovrà essere sovrapposizione tra l'attività estrattiva e quella di valorizzazione del patrimonio minerario dismesso, anche con riferimento alla ventilazione del sotterraneo ed ai trasporti all'interno.

## **2. MESSA IN SICUREZZA DEI SITI ESTRATTIVI DISMESSI E DEGLI IMPIANTI A CIELO APERTO A FINI DI VALORIZZAZIONE**

La valorizzazione di siti minerari all'esterno può avvenire in particolari situazioni in cui, oltre agli aspetti normali legati alla presenza dell'attività dismessa, bisogna riscontrare elementi favorevoli in termini culturali, di strutture di ricezione sul territorio, di specifiche caratteristiche morfologiche, paesaggistiche e ambientali, al di là del ristretto significato di concetti di recupero, riabilitazione e riassetto.

L'esame della casistica e delle condizioni operative possibili va oltre lo scopo della presente relazione: occorre valutare, progettare ed attuare interventi per la messa in sicurezza di pareti estrattive, recupero ambientale di cantieri dismessi, messa in sicurezza, bonifica e recupero ambientale di discariche minerarie, ripristino di percorsi per mezzi d'opera, protezione di laghi derivanti dall'attività estrattiva, etc.

Talvolta, per esigenze di valorizzazione, è necessario procedere alla bonifica e messa in sicurezza di impianti e macchinari, per l'eliminazione dei pericoli per la salute e l'incolumità dei visitatori.

## **3. SPECIFICHE TECNICHE PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO IN FASE DI PROGETTAZIONE DELL'ATTIVITÀ DI VALORIZZAZIONE**

La valutazione del rischio geologico<sup>6</sup> e idrogeologico costituisce un'attività fondamentale da condurre nella fase di progettazione dell'attività di valorizzazione, in quanto i risultati di tale valutazione saranno importanti per definire la fattibilità dell'iniziativa, dal punto di vista tecnico ed economico. Troppo spesso si trascurano le problematiche legate al rapporto della miniera dismessa con l'ambiente circostante e con le caratteristiche strutturali del sotterraneo.

Per la valutazione del rischio geologico ed idrogeologico connesso a siti minerari dismessi, occorre utilizzare un approccio di carattere multidisciplinare, in quanto le problematiche che possono essere riscontrate per questa tipologia di opere sono molteplici ed abbracciano discipline che vanno dall'ingegneria civile alla geologia, alla topografia, etc..

In generale, si può affermare che i fenomeni principali che possono verificarsi nelle ex-aree soggette a sfruttamento minerario, possono essere ricondotti a:

---

<sup>6</sup> Documento - Politecnico di Milano Polo regionale di Lecco - Analisi scientifico-tecniche per la valutazione del rischio geologico nelle miniere dismesse della Regione Lombardia"

- Fenomeni di subsidenza, cedimenti, ecc. o in generale fenomeni di deformazioni superficiali del terreno al di sopra dei cantieri minerari
- Variazioni dell'assetto idrogeologico dell'area circostante i vuoti
- Fenomeni di crolli all'interno delle gallerie o dei vuoti

Alla luce di queste considerazioni, si propone qui di seguito un iter procedurale, articolato in più fasi, che consente di fare una valutazione dei fenomeni connessi a miniere dismesse.

Tale processo metodologico, che è indipendente dal fenomeno, consta delle seguenti fasi:

1. Reperimento dati bibliografici e analisi generale della situazione che si è venuta a determinare dopo la chiusura delle attività di coltivazione
2. Ricostruzione assetto geologico ed idrogeologico dell'area mineraria
3. Individuazione dei fenomeni di dissesto
4. Ricostruzione topografica dei vuoti minerari
5. Caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi all'interno dei vuoti
6. Valutazione del rischio geologico ed idrogeologico all'interno dei vuoti
7. Analisi di stabilità dei siti minerari in sottoterraneo
8. Il monitoraggio di blocchi instabili all'interno dei vuoti

Per ciascuna di queste problematiche verranno illustrati i metodi più idonei e per ciascun metodo definiti i campi di applicabilità e le situazioni geologiche a cui meglio si adattano.

Riprendendo l'iter sopra riportato, alcune fasi sono decisamente generali e hanno la funzione esclusivamente di inquadrare il problema da un punto di vista geologico ed idrogeologico (fasi 3.1, 3.2 e 3.3), altre fasi (4.3, 5.3, 6.3, 7.3 e 8.3) hanno la funzione di valutare la stabilità all'interno dei vuoti valutando la probabilità di fenomeni di crollo o di altri eventi critici (venute d'acqua).

### **3.1. Reperimento dati bibliografici e analisi generale della situazione che si è venuta a determinare dopo la chiusura delle attività di coltivazione**

Quando si affronta il problema della valutazione del rischio idrogeologico, la prima operazione da effettuare, indipendentemente dal tipo di problema e dalla logistica (si può accedere o non si può accedere ai vuoti minerari) di una miniera dismessa, è quella di raccogliere tutta la bibliografia esistente sull'area in termini di documentazioni tecniche disponibili incluso il confronto di documenti, fonti cartografiche e iconografiche inerenti le attività estrattive pregresse.

Tutte le informazioni raccolte devono essere sintetizzate in un resoconto organico ed esaustivo che faciliti anche la consultazione del materiale a disposizione.

Seguirà un'analisi della situazione generale che si è venuta a creare dopo la chiusura delle attività di coltivazione, inclusi gli effetti che le miniere dismesse hanno prodotto sull'area circostante (descrizione delle problematiche indotte).

Occorre ricordare che questa prima fase è fondamentale per il prosieguo del lavoro in quanto si tratta innanzitutto di recuperare un patrimonio storico e culturale di grande valore che risulta il più delle volte abbandonato in archivi, con il rischio di andare perso definitivamente.

Ciò determinerebbe, oltre al danno storico e culturale, problemi anche per la scelta delle tecniche di messa in sicurezza dei cantieri in quanto si verrebbero a perdere informazioni indispensabili per intervenire con successo e razionalità.

### **3.2. Ricostruzione assetto geologico ed idrogeologico**

Come detto, i fenomeni che si possono verificare in aree dismesse sono riconducibili sostanzialmente a subsidenze, cedimenti, o, in generale, a fenomeni di deformazioni superficiali del terreno al di sopra dei cantieri minerari, a variazioni dell'assetto idrogeologico dell'area circostante i vuoti e /o a crolli all'interno delle gallerie e vuoti.

Pertanto, l'operazione fondamentale che costituisce la base sulla quale poi creare il piano di indagine successivo, è la ricostruzione dell'assetto geologico ed idrogeologico sia dell'area

circostante le miniere, sia, qualora fosse possibile accedere all'interno, della zona direttamente coinvolta negli scavi.

Per quanto concerne i rilievi geologici la procedura che deve essere utilizzata è quella classica che viene seguita sia in superficie che all'interno delle miniere. Si tratta da andare a definire la natura litologica delle rocce affioranti e i reciproci rapporti spaziali, la presenza e la natura delle eventuali discontinuità (faglie, fratture ecc.). La ricchezza di notizie a disposizione, per eseguire un rilievo geologico fornisce una buona base di partenza per il successo del lavoro. Pertanto, occorrerà recuperare tutta la documentazione storica di carattere geologico presso gli enti competenti (Regioni, Comunità Montane, Province, Comuni, distretti minerari, gestori e società conduttrici delle miniere, ecc.) al fine di avere un quadro completo sulla zona indagata. Il rilievo geologico vero e proprio consentirà di descrivere in modo esauriente i principali caratteri degli affioramenti rocciosi sia nell'area sovrastante le miniere sia all'interno delle miniere stesse.

In particolare il rilevamento avverrà definendo i seguenti caratteri:

- Litologia
- Colore della roccia
- Stratigrafia e stratimetria
- Giacitura degli strati o dei piani di scistosità
- Caratteristiche sedimentologiche (gradazione, laminazione, stratificazione, ecc.)
- Assetto tettonico (pieghe, faglie, ecc.) e tipo di fratturazione
- Tipologia di mineralizzazioni

La raccolta di campioni sarà indispensabile per un'analisi dettagliata della composizione petrografia della roccia e per eseguire eventualmente delle prove geomeccaniche.

In merito all'assetto idrogeologico la prima operazione da effettuare è quella di ricostruire le modalità di circolazione idrica sotterranea nell'area oggetto di studio.

Ciò deve avvenire attraverso l'iniziale riconoscimento delle formazioni geologiche presenti e nella determinazione delle loro caratteristiche idrogeologiche in termini soprattutto di permeabilità. In questo modo si comprenderanno in generale quali sono le vie preferenziali di alimentazione e quelle di scorrimento in profondità.

Per completare la ricostruzione idrogeologica dell'area occorrerà fare un censimento dei pozzi e dei piezometri esistenti in un'area vasta, misurare i livelli piezometrici e ricostruire, anche con l'ausilio di modelli di calcolo, le caratteristiche di deflusso delle acque sotterranee in termini di gradiente, direzione e velocità.

L'interpolazione speditiva dei livelli piezometrici viene effettuata con un metodo visivo. Le curve sono tracciate tenendo conto dei livelli piezometrici misurati e, implicitamente, delle leggi generali della morfologia della superficie piezometrica. Questo metodo dà risultati soddisfacenti nella maggior parte dei casi e può essere usato da solo o in unione con metodi matematici in genere computerizzati. L'affidarsi ai soli metodi computerizzati può condurre a grossolani errori di interpretazione.

Nel caso di utilizzo di algoritmi di calcolo per l'interpolazione delle misure di soggiacenza della falda e la ricostruzione della morfologia della superficie piezometrica, si raccomanda di verificare i risultati con valutazioni esperte basate sulle caratteristiche idrogeologiche generali dell'area.

La superficie piezometrica è soggetta a continue variazioni di livello, per cause naturali e/o artificiali.

Le principali cause naturali sono legate a:

- Precipitazioni atmosferiche
- Pressione atmosferica
- Maree
- Variazioni del livello dei fiumi e laghi
- Evapotraspirazione
- Terremoti

Mentre questa ultima causa ha un carattere accidentale, le altre hanno carattere ciclico.

Le principali variazioni dovute a cause artificiali sono, invece, legate a:

- Utilizzazione delle falde
- Irrigazione
- Alimentazione artificiale
- Costruzione di trincee e gallerie drenanti

Le oscillazioni di livello dipendono dall'equilibrio esistente tra drenaggio e alimentazione. La piezometrica si mantiene stabile se i quantitativi d'acqua che affluiscono in falda compensano quelli che defluiscono verso i punti di recapito; il suo livello si deprime se le uscite superano le entrate e si eleva nel caso opposto.

Le misure piezometriche possono essere eseguite su numerosi punti d'acqua relativi ad un determinato acquifero, quali pozzi per uso domestico, irriguo o industriale, piezometri e sorgenti.

In fase di censimento pozzi, per ciascun punto dovrà essere redatta una scheda nella quale saranno descritte l'ubicazione (Provincia, Comune, indirizzo, proprietario, coordinate, quota dal piano campagna), le principali caratteristiche dell'opera (profondità, diametro, tipologia della tubazione, caratteristiche e posizione dei filtri, tipo di utilizzo), la soggiacenza e, ove disponibile, la stratigrafia. Per consentire una più agevole individuazione, nella scheda dovrà inoltre essere indicata la posizione su una cartografia in scala di sufficiente dettaglio (es. CTR scala 1:5.000) corredata da fotografie.

La rappresentazione cartografica della superficie piezometrica dovrà contenere l'indicazione dei punti di misura utilizzati per la ricostruzione, avendo cura, in caso di presenza di più falde acquifere sovrapposte, di utilizzare i dati delle misure acquisite in pozzi o piezometri che afferiscono alla stessa falda.

Considerato che i livelli piezometrici variano nel tempo, in funzione ad esempio di fenomeni di ricarica naturale (piogge) o di prelievi (emungimento da pozzi), è opportuno che le misure di livello siano acquisite in un intervallo temporale ristretto.

Un ulteriore aspetto da valutare nella ricostruzione dell'assetto idrogeologico dell'area è la valutazione dei dati meteorologici, acquisiti da stazioni di misura il più possibile prossime all'area di studio, in modo da valutare, anche con fini previsionali, le ricariche del sistema e gli effetti sui livelli piezometrici.

In relazione alla qualità delle acque sotterranee, si potranno prevedere delle campagne di prelievo e analisi di campioni nei punti d'acqua esterni alle gallerie (pozzi, sorgenti, corsi d'acqua) e in quelle concentrate nei vuoti dismessi che siano di ausilio per la valutazione delle possibili interazioni tra acque superficiali, acque sotterranee ed acque eventualmente presenti nei vuoti.

Per la scelta degli analiti da ricercare in laboratorio, oltre ai principali parametri chimico-fisici (temperatura, pH, potenziale redox, conducibilità elettrica) e a quelli necessari alla determinazione della facies idrochimica, ci si dovrà basare su una valutazione delle potenziali sorgenti di contaminazione presenti e dei contaminanti caratteristici ad esse associati.

### **3.3. Individuazione dei fenomeni di dissesto**

Una volta ricostruito l'assetto geologico ed idrogeologico dell'area mineraria dismessa e valutate le condizioni al contorno sarà possibile rilevare i fenomeni principali che si sono verificati nelle ex-aree soggette a sfruttamento minerario e soprattutto iniziare a comprendere le motivazioni che li hanno causati.

Innanzitutto tali fenomeni possono essere ricondotti a tre categorie principali all'interno delle quali si possono far ricadere i principali effetti negativi provocati dalla dismissione mineraria e precisamente:

- Fenomeni di subsidenza, cedimenti, o in generale fenomeni di deformazioni superficiali del terreno al di sopra dei cantieri minerari,

- Variazioni dell'assetto idrogeologico dell'area circostante i vuoti
- Fenomeni di crolli all'interno delle gallerie e dei vuoti

Per quanto concerne i fenomeni di subsidenza si tratta in generale di movimenti di abbassamento verticale della superficie terrestre, indipendentemente dalla causa che lo ha prodotto, dallo sviluppo areale e dall'evoluzione temporale del fenomeno, dalla velocità di spostamento del terreno e dalle alterazioni ambientali che ne conseguono. Tale abbassamento del suolo può essere legato a cause naturali, quali i processi tettonici, i movimenti isostatici e le trasformazioni chimico-fisiche (diagenesi) dei sedimenti per effetto del carico litostatico o dell'oscillazione del livello di falda.

Altre cause possono invece essere di chiara origine antropica tra cui sicuramente annoveriamo le aree minerarie dismesse soprattutto laddove i vuoti si trovano a profondità non troppo elevata. In questo caso le miniere possono influenzare in modo considerevole il fenomeno qualora questo sia già presente nella zona per cause naturali oppure addirittura determinarne l'insorgere.

La subsidenza in questo caso si esplica generalmente in tempi relativamente brevi (al massimo alcune decine di anni), con effetti che possono compromettere fortemente opere ed attività umane, nel caso in cui non si intervenga preventivamente con azioni di controllo e gestione.

Talvolta questi fenomeni di subsidenza dovuti anche al naturale drenaggio operato dai vuoti sotterranei nell'area limitrofa si limitano ad abbassamenti del terreno, talvolta invece possono essere di entità rilevante e dare luogo a veri e propri fenomeni di sprofondamento.

La formazione di questi fenomeni è improvvisa, può essere realizzata in un evento unico o in più eventi con progressivo cedimento delle pareti. Inoltre questi fenomeni impediscono l'accesso ai cantieri minerari e questo riduce sensibilmente anche le possibilità di recupero di queste aree a fini turistici, scientifici, culturali.

Un'altra tipologia di fenomeni connessa alla dismissione mineraria riguarda la variazione dell'assetto idrogeologico dell'area circostante i vuoti. Questi fenomeni possono accompagnare le deformazioni superficiali descritte in precedenza oppure manifestarsi indipendentemente da queste.

Si tratta per lo più di sensibili variazioni del livello piezometrico della falda. Qualora le miniere si dovessero riempire d'acqua in quanto vengono a meno i pompaggi effettuati durante le fasi di esercizio si può assistere ad allagamenti dei piani interrati di abitazioni localizzate nell'area delle miniere o addirittura a venute a giorno di cospicui quantitativi d'acqua che possono riversarsi sul terreno.

Infine, un'altra tipologia di fenomeni connessa alla dismissione mineraria riguarda fenomeni di instabilità dei vuoti, si tratta per lo più di crolli di blocchi di roccia di dimensioni variabili che possono compromettere la sicurezza di coloro che entrano nella miniera per motivi turistici o di lavoro (guide, accompagnatori, maestranze, ecc.).

Tali crolli sono da mettere in relazione allo stato di fratturazione degli ammassi rocciosi che, scomposti dai giunti, possono isolare blocchi instabili pericolanti.

Se i fenomeni non sono di proporzioni rilevanti e non interessano tutta la volta della miniera, non viene impedito l'accesso, ma occorre ripristinare in breve tempo le condizioni di sicurezza valutando gli interventi più idonei sia strutturali (es. quadri in legno, puntelli, chiodi, ecc.) che non strutturali (es. monitoraggio).

Talvolta può capitare che intere porzioni di galleria siano già crollate e questo compromette definitivamente il riutilizzo delle miniere.

### **3.4. Ricostruzione topografica dei vuoti minerari**

La base fondamentale di ogni tipo di intervento sul territorio è una carta topografica. Mentre a cielo aperto ci si può avvalere di carte topografiche già esistenti, in miniera appare fondamentale avere a disposizione un rilievo topografico ad hoc. Qualora infatti si dovesse essere già in possesso di rilievi già effettuati e recuperabili dai piani di coltivazione delle miniere, questi non sempre ricostruiscono l'esatto sviluppo delle gallerie con un dettaglio adeguato. Inoltre la già citata difficoltà di reperire il

materiale bibliografico e il diffuso stato di abbandono in cui questi documenti, se esistono, si trovano, rende la ricostruzione topografica una fase fondamentale senza la quale è impossibile intervenire per la messa in sicurezza.

Pertanto, laddove lo si ritiene opportuno (ad esempio per la criticità dell'area) o laddove non sono recuperabili i piani di miniera e altri documenti affini, sarebbe opportuno, se è possibile accedere nei cantieri minerari fare un rilievo topografico dei vuoti ad hoc.

Per rilevare tridimensionalmente le cavità sotterranee con precisione centimetrica ci si potrebbe avvalere di strumenti di rilievo topografico di ultima generazione quali il *laser scanner* integrato da tecniche topografiche tradizionali. Il carattere innovativo di questa applicazione consente di ottenere risultati altrimenti non raggiungibili e di sviluppare nuove metodologie che potranno trovare impiego nel corso di rilevamenti in miniere e gallerie nel prossimo futuro. La tecnica di rilevamento basata sul laser a scansione costituisce la moderna evoluzione delle metodologie topografiche e fotogrammetriche per l'acquisizione di modelli digitali delle superfici (D.S.M. - Digital Surface Model).

Il vantaggio dell'uso di una tecnologia come il laser scanner è l'elevato dettaglio dell'acquisizione digitale tridimensionale molto utile nel caso di cavi in sottoterraneo. Con questo tipo di tecnologia l'informazione geometrica è molto più significativa e preziosa del mapping fotografico in quanto riproduce con estrema accuratezza e in tre dimensioni la topologia dell'oggetto. Inoltre il raggio laser ha diversi valori di riflettanza a seconda del tipo di materiale che incontra, questi diversi valori si traducono in una variazione del valore cromatico dei punti acquisiti. Grazie a questa proprietà se si imposta una visualizzazione in scala di grigio si otterrà una percezione della nuvola come se fosse effettivamente mappata con una texturefoto realistica in bianco e nero ad altissima risoluzione e la lettura interpretativa risulterà estremamente agevole e potenziata.

Lo scanner spesso consente il montaggio di una camera digitale calibrata la cui posizione rispetto al sistema di riferimento strumentale è nota a priori. Grazie a questo sensore è possibile acquisire immagini dell'oggetto che possono essere impiegate per la creazione di ortofoto oppure di modelli virtuali 3D.

E' ampiamente dimostrata la sovrapposizione estremamente precisa fra geometria e mappatura fotografica, soprattutto nel caso in cui quest'ultima sia stata acquisita ad alta risoluzione e successivamente ortorettificata. In tal caso il valore cognitivo e rappresentativo del modello viene ulteriormente incrementato. Inoltre con questa strumentazione si ha la possibilità, attraverso l'analisi del modello virtuale, di identificare e studiare l'oggetto sia da un punto di vista topologico che conservativo, avanzando interpretazioni critiche e di elaborare il modello tridimensionale a varie scale di dettaglio.

### **3.5. Caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi all'interno dei vuoti - I metodi di rilievo geomeccanico**

La caratterizzazione delle rocce e lo studio del loro comportamento meccanico e deformativo, dipendono dalla grande variabilità delle caratteristiche e delle proprietà dei materiali nonché dall'elevato numero di fattori che li condizionano. Proprio per questa ragione la caratterizzazione geomeccanica degli ammassi può essere un'operazione complessa soprattutto se l'assetto geologico è complicato dalla presenza di discontinuità tettoniche, di rocce deboli, zone di frattura, ecc.

Il rilievo geomeccanico da realizzarsi nelle miniere ha come obiettivo quello di mettere in luce gli aspetti fisici degli ammassi rocciosi nonché il comportamento meccanico degli stessi; dovrà essere effettuato sistematicamente lungo i piedritti e la calotta sui quali, oltre a riconoscere i passaggi litologici, verranno rilevate le discontinuità con le loro giaciture e caratteristiche, la presenza di zone in equilibrio precario o dove i crolli sono già avvenuti e le venute d'acqua perenni o temporanee.

E' chiaro che in miniera il rilevamento geologico e geomeccanico comporta numerosi problemi che vanno dalla scarsità di illuminazione, alla presenza di elevata umidità e di elevate quantità di polvere.

Numerosi sono i metodi di corrente applicazione in campo nazionale ed internazionale che possono essere utilizzati per definire la qualità di un ammasso roccioso. Quelli che possono essere applicati

con successo ad opere in sotterraneo quali le miniere dismesse e che sono anche ampiamente riconosciuti dalla comunità scientifica sono:

- Classificazione geomeccanica Q-System (Barton, 1976)
- Geological Strength Index (Hoek e Brown, 1995)
- Rock Mass Rating (Bieniawski 1989)

Per applicare con successo le classificazioni sopra riportate si devono innanzitutto acquisire dati sul terreno rilevando i tradizionali parametri del rilievo geomeccanico non finalizzato esclusivamente all'impiego di una specifica classificazione. In una seconda fase, occorre raccogliere le informazioni specifiche necessarie ad entrare nelle varie classificazioni.

Indipendentemente dal metodo utilizzato il procedimento iniziale è comune e consiste nel suddividere la galleria in zone più o meno omogenee dal punto di vista litologico e tettonico. In queste zone verranno rilevati i parametri (giacitura delle discontinuità, intercetta, persistenza, spaziatura, apertura, riempimento, dilavamento, alterazione ecc.) previsti dalle singole classificazioni.

### **3.6. Valutazione del rischio geologico ed idrogeologico in sotterraneo**

Al momento della chiusura, le miniere vengono lasciate generalmente in stato di abbandono, ciò comporta situazioni di forte degrado all'interno delle cavità con alta probabilità di crolli localizzati o di fenomeni di instabilità diffusi.

Essendo le miniere delle opere in sotterraneo è inevitabile fare riferimento al cosiddetto rischio geologico imputabile ai numerosi fattori ed imprevisti che possono verificarsi all'interno dello scavo.

Nasce pertanto la necessità di avere a disposizione degli strumenti di previsione e gestione del rischio che permettano di ricostruire nel modo più veritiero possibile il contesto geologico in cui la galleria si sviluppa.

Uno degli strumenti per la valutazione del rischio geologico che è già stato sperimentato con successo in scavi minerari dismessi è il Modified Rock Engineering System (MRES- Papini M. et Al., 2001).

Un ammasso roccioso interessato dallo scavo di una galleria può esibire condizioni di sostanziale equilibrio in virtù della sua capacità di autosostenersi oppure denotare condizioni di instabilità. In questo secondo caso, la mancanza di equilibrio dell'ammasso roccioso determina l'innescarsi di fenomeni di instabilità differenti a seconda che il materiale coinvolto abbia un comportamento geomeccanico di tipo fragile o di tipo duttile. In rocce aventi un comportamento fragile, i fenomeni di instabilità si possono manifestare attraverso cinematismi di tipo gravitativi, caratterizzati per lo più da crolli la cui entità è da mettere in relazione al reticolo fessurativo che pervade l'ammasso roccioso oppure attraverso bruschi detensionamenti peraltro subordinati alla presenza di particolari motivi geostrutturali (pieghe). Quando il comportamento tenso-deformativo del materiale è di tipo duttile, per la natura propria del materiale coinvolto (ad esempio argilliti, limi di frizione, ecc.) e/o per la presenza di elevate coperture, si possono manifestare delle deformazioni che evolvono in campo elasto-plastico o plastico. Oltre ai cinematismi sopra citati, e talvolta contemporaneamente ad essi, si possono avere altre problematiche geologiche quali le venute d'acqua che sono da mettere in relazione all'assetto geologico e strutturale del materiale intercettato (carsismo, presenza di pieghe, faglie o zone di frattura). Riassumendo i principali imprevisti di natura geologica ed idrogeologica che possono verificarsi nelle gallerie minerarie sono i seguenti:

- Cinematismi gravitativi di blocchi lapidei (GR)
- Convergenze radiali del cavo (plasticizzazione del cavo – CSR)
- Venute d'acqua (WR)

L'assetto geologico ed idrogeologico di un ammasso roccioso è chiaramente responsabile del verificarsi di uno o più imprevisti tra quelli descritti in precedenza. Pertanto la conoscenza del comportamento geomeccanico dell'ammasso roccioso permette di operare uno screening iniziale in modo da eliminare a priori quegli imprevisti che, da un punto di vista geologico, non potranno mai verificarsi. A tale scopo viene costruita una matrice, detta matrice dei vincoli, che consente di effettuare una selezione preliminare dei possibili rischi in funzione delle caratteristiche litologiche e

tecniche del materiale intercettato. Per realizzare la matrice dei vincoli si ricorre ad uno schema classificativo delle rocce che distingue le rocce dure (hard rocks) da quelle deboli (weakrocks) valutando le tipologie di rischio ad esse associate. Qualora una determinata classe di roccia possa generare una certa tipologia di rischio, il corrispondente elemento della matrice è posto pari a 1, al contrario se una certa classe di roccia esclude a priori alcune tipologie di rischio, l'elemento della matrice è posto pari a 0. Identificati i principali rischi geologici, la fase successiva ha lo scopo di quantificare i rischi nel modo più completo ed oggettivo possibile. Il problema viene risolto utilizzando un metodo matriciale (MRES) messo a punto per la valutazione del rischio geologico nella realizzazione delle opere in sotterraneo (Papini M., et Al. - 2001). Tale approccio metodologico è stato modificato per adattarlo allo studio della stabilità e del rischio connesso ad una galleria esistente non rivestita.

L'approccio adottato consiste nello scegliere gli elementi o i parametri più rappresentativi del sistema ammasso roccioso in esame e studiarne le mutue interazioni con un approccio matriciale.

Dopo aver costruito la matrice di interazione (figura definire) e calcolati i valori di causa  $C_i$  e effetto  $E_i$  di ogni parametro, si attribuisce loro un indice numerico, indicato da un indice  $V_i$  che va da 0 a 4: più l'indice è alto più corrisponde a situazioni di rischio elevato (figura definire). Considerando quindi  $V_{max}$  l'indice della classe più sfavorevole, viene calcolato il peso di ciascun parametro utilizzando la relazione:  $W_i = (C_i + E_i) / (\sum C_i + \sum E_i) * 100 / V_{max}$

Il peso di ogni parametro sarà più elevato quanto maggiore è il suo grado d'interattività con il sistema. Infine, l'approccio considerato consente di valutare un indice di rischio, detto MRI (Modified Risk Index), che fornisce una valutazione dell'intensità del fenomeno potenzialmente pericoloso espressa in termini percentuali:

$$MRI_n = \sum V_i * W_i$$

Dove n = venute d'acqua, distacchi, rigonfiamento.

Questo risultato consente quindi di individuare e quantificare i vari tipi di rischio geologico presenti, ovvero i parametri che influiscono maggiormente sulla dinamica del sistema, in particolare sull'intensità della specifica tipologia di rischio.

Con l'approccio sopra descritto è possibile stimare la tendenza dei cavi minerari a generare distacchi gravitativi o fenomeni di plasticizzazione e ad individuare le tratte che possono dar luogo a venute d'acqua. E' chiaro che tale metodo è flessibile nel senso che ben si adatta a tutte le situazioni geologiche riscontrabili, è economico perché con un buon rilievo geomeccanico si riescono a dare informazioni circa il rischio geologico in galleria ed efficace soprattutto qualora venga integrato, in fase di progettazione degli interventi di messa in sicurezza con modelli numerici specifici per l'analisi di dettaglio delle diverse problematiche individuate nei vari tratti.

Tale integrazione consente di procedere alla scelta e al dimensionamento degli interventi di stabilizzazione più efficaci in relazione al tipo di processo in atto e all'effettivo contesto geologico ed idrogeologico interessato dai vuoti.

Tab. 1 - Matrice dei vincoli, basata sullo schema classificativo delle rocce deboli di CLERICI (1992), modificato; I=intercetta discontinuità, d=diametro granuli,  $\sigma_c$ = resistenza a compressione, w=grado di alterazione.  
Constraints matrix, based on weak rock classification scheme (Clerici - 1992, modified); I=joints intercept, d=grains diameter,  $\sigma_c$ = compressive strength, w=weathering degree.

			GR	CSR	WR	
HARD ROCKS	HR 1	Ammasso roccioso massiccio (l>60cm)	Bassa profondità	1	0	1
			Elevata profondità	1	1	1
	HR 2	Ammasso roccioso stratificato o poco fratturato (l=20÷60cm)	Bassa profondità	1	0	1
			Elevata profondità	1	1	1
	HR 3	Ammasso roccioso scistoso o mediamente fratturato (l=6÷20cm)	Bassa profondità	1	0	1
			Elevata profondità	1	1	1
WEAK ROCKS	WR 1a	Ammasso roccioso costituito da rocce sedimentarie, con dimensioni prevalenti della grana: grossa e media (d≥0.075mm)	1	0	1	
	WR 1b	Ammasso roccioso costituito da rocce sedimentarie, con dimensioni prevalenti della grana: fine (d < 0.075 mm)	1	1	1	
	WR 2a	Alternanze di litotipi a differente comportamento meccanico con prevalenza di rocce dure	1	0	1	
	WR 2b	Alternanze di litotipi a differente comportamento meccanico con prevalenza di rocce della classe WR1a	1	1	1	
	WR 2c	Alternanze di litotipi a differente comportamento meccanico con prevalenza di rocce della classe WR1b	1	1	1	
	WR 3	Ammasso roccioso a struttura caotica	1	1	1	
	WR 4a	Ammasso roccioso costituito da materiali con media ed alta resistenza meccanica ( $\sigma_c > 20\text{MPa}$ ), ma molto fratturati (l ≤ 6 cm)	1	0	1	
	WR 4b	Ammasso roccioso costituito da materiali con bassa resistenza meccanica ( $\sigma_c < 20\text{MPa}$ ), molto fratturati (l ≤ 6 cm) e mediamente alterati	1	0	1	
	WR 5	Ammasso roccioso costituito da litotipi con elevato grado di alterazione (W≥4)	1	1	1	
	WR 6	Ammasso roccioso rigonfiante	0	1	0	

Tab. 2 - Parametri rilevanti per la valutazione del rischio connesso alla realizzazione ed alla vita di uno scavo in sotterraneo; per ognuna delle quattro possibili tipologie di rischio si identifica una lista di parametri.

Relevant parameters to assess the risk connected to underground excavations; one list of parameters is identified for each one of the four risk typologies.

Parametro	WR	GR	CSR
P1: litologia	X	X	X
P2: n° famiglie di discontinuità	X	X	X
P3: orientamento discontinuità	X	X	
P4: persistenza discontinuità	X	X	
P5: spaziatura discontinuità	X	X	X
P6: apertura discontinuità	X	X	X
P7: riempimento discontinuità	X	X	
P8: rugosità dei giunti	X	X	
P9: resistenza a compressione lungo i giunti		X	
P10: resistenza al taglio lungo i giunti		X	
P11: condizioni idrauliche dei giunti		X	
P12: permeabilità dell'ammasso roccioso	X		
P13: resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta	X	X	
P14: stato di alterazione	X	X	
P15: carsismo	X	X	X
P16: faglie e fasce cataclasi	X	X	X
P17: pieghe	X	X	X
P18: stato di sollecitazione in sito	X	X	X
P19: precipitazioni	X	X	
P20: presenza d'acqua			X

TAB. 3 - Matrice d'interazione per il rischio di distacchi gravitativi. Sulla diagonale principale vengono posizionati i parametri considerati (tab. 2), mentre nelle altre caselle vengono inseriti degli indici rappresentativi delle mutue interazioni tra i parametri stessi; le interazioni sono state raggruppate in cinque classi d'intensità (da assente=0 a critica=4).  
 Interaction matrix for the rock falls risk. The parameters (tab. 2) are positioned on the main diagonal, whereas indexes representative of the interactions are positioned in the other boxes. Interactions were grouped in five intensity classes (from "absent"=0 to "critical"=4).

W <sub>i</sub>																			C <sub>i</sub>
1,7	P <sub>1</sub>	2	1	2	1	2	3	1	2	1	0	4	3	4	2	2	2	0	32
1,2	0	P <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	2	0	0	0	0	7
0,6	0	0	P <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
0,5	0	0	0	P <sub>4</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2
0,9	0	0	0	0	P <sub>5</sub>	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	3
1,7	0	0	0	0	0	P <sub>6</sub>	0	0	0	1	4	0	2	3	0	0	2	0	12
1,2	0	0	0	0	0	0	P <sub>7</sub>	0	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	6
0,8	0	0	0	0	0	0	0	P <sub>8</sub>	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	5
0,9	0	0	0	0	0	0	2	0	P <sub>9</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
1,5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	P <sub>10</sub>	4	0	0	0	0	0	0	0	5
2	0	0	0	0	0	0	4	1	2	2	P <sub>11</sub>	0	2	1	0	0	1	0	13
1,7	0	3	1	1	1	2	1	0	3	2	0	P <sub>13</sub>	1	0	0	0	0	0	15
2,6	0	3	0	1	2	2	3	1	2	2	2	4	P <sub>14</sub>	2	0	0	0	0	24
1,6	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	2	0	1	P <sub>15</sub>	0	0	1	0	11
2	0	4	4	3	4	3	1	2	2	2	1	3	3	2	P <sub>16</sub>	0	2	0	36
1	0	2	2	0	3	2	0	1	1	1	0	2	1	0	0	P <sub>17</sub>	2	0	17
1,9	0	1	2	1	1	4	0	3	1	3	3	2	1	0	0	0	P <sub>18</sub>	0	22
1	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1	4	0	4	3	0	0	3	P <sub>19</sub>	19
E <sub>i</sub>	0	15	10	8	13	19	17	10	15	22	25	16	25	19	2	2	14	0	232

TAB. 4 - Matrice d'interazione per il rischio di venute d'acqua.  
 Interaction matrix for the water inflows risk.

W <sub>i</sub>																			C <sub>i</sub>
2,1	P <sub>1</sub>	2	1	2	1	2	3	1	3	4	3	4	2	2	2	0	0	0	32
1,6	0	P <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	3	1	4	2	0	0	0	0	0	0	10
0,8	0	0	P <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3
0,7	0	0	0	P <sub>4</sub>	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3
1,2	0	0	0	0	P <sub>5</sub>	0	0	0	3	0	2	1	0	0	0	0	0	0	6
1,9	0	0	0	0	0	P <sub>6</sub>	0	0	4	0	2	3	0	0	2	0	0	0	11
0,9	0	0	0	0	0	0	P <sub>7</sub>	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
0,8	0	0	0	0	0	0	0	P <sub>8</sub>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2,3	0	0	0	0	0	0	2	3	P <sub>12</sub>	0	0	3	0	0	2	0	0	0	10
1,7	0	3	1	1	1	2	1	0	0	P <sub>13</sub>	1	0	0	0	0	0	0	0	10
2,6	0	3	0	1	2	2	3	1	0	4	P <sub>14</sub>	2	0	0	0	0	0	0	18
2	0	0	0	0	1	2	1	1	3	0	1	P <sub>15</sub>	0	0	1	0	0	0	10
2,3	0	4	4	3	4	3	1	2	2	3	3	2	P <sub>16</sub>	0	2	0	0	0	33
1,2	0	2	2	0	3	2	0	1	1	2	1	0	0	P <sub>17</sub>	2	0	0	0	16
2	0	1	2	1	1	4	0	3	1	2	1	0	0	0	P <sub>18</sub>	0	0	0	16
0,8	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	4	3	0	0	3	P <sub>19</sub>	0	0	13
E <sub>i</sub>	0	15	10	8	13	19	12	12	26	16	23	21	2	2	15	0	0	0	194

TAB. 5 - Matrice d'interazione per il rischio di rigonfiamenti.  
 Interaction matrix for the swelling risk.

W <sub>i</sub>																			C <sub>i</sub>
2,7	P <sub>1</sub>	2	1	2	4	2	2	2	2	3	18								
1,8	0	P <sub>2</sub>	0	0	2	0	0	0	0	1	3								
2	0	0	P <sub>5</sub>	0	1	0	0	0	0	2	3								
3,2	0	0	0	P <sub>6</sub>	3	0	0	2	3	8									
3,4	0	0	1	2	P <sub>15</sub>	0	0	1	4	8									
3	0	4	4	3	2	P <sub>16</sub>	0	2	3	18									
2	0	2	3	2	0	0	P <sub>17</sub>	2	2	11									
3	0	1	1	4	0	0	0	P <sub>18</sub>	2	8									
3,8	0	0	0	0	2	0	0	3	P <sub>20</sub>	5									
E <sub>i</sub>	0	9	10	13	14	2	2	12	20	82									

Tipo litologico	Valore del parametro		
	GR	CSR	WR
HR 1 (l>60cm)	1	0	0
HR 2 (20cm<l<60cm)	2	0	1
HR 3 (6cm<l<20cm)	3	0	2
WR 1a	4	0	4
WR 1b	2	2	2
WR 2a	3	0	3
WR 2b	4	2	2
WR 2c	2	3	1
WR 3	1	3	2
WR 4a	4	0	4
WR 4b	4	1	4
WR 5	2	2	3
WR 6	0	4	0

TAB. 6 - Classi di valori per il parametro relativo alla litologia, in funzione della tipologia di rischio.

Value classes for lithotype parameter, in relation to risk typology.

TAB. 7 - Classi di valori dei parametri per la valutazione del rischio in galleria.

V <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>	P <sub>10</sub>
0	0	Molto favorevole	<10%	>3m	serrate	Nessun riempimento	JRC>16	>100 MPa	>35 MPa
1	1	Favorevole	10÷30%	1÷3m	<0.1mm	Completo riemp. con mat. coer.	12<JRC<16	50÷100 MPa	15÷35 MPa
2	2	Indifferente	30÷50%	0.3÷1m	0.1÷1mm	Parziale riemp. con mat. coer.	8<JRC<12	25÷50 MPa	10÷15 MPa
3	3	Sfavorevole	50÷90%	0.05÷0.3m	1÷5mm	Parziale riemp. con mat. inc.	4<JRC<8	10÷25 MPa	3÷10 MPa
4	>4	Molto sfavorevole	>90%	<0.05m	>5mm	Completo riemp. con mat. inc.	JRC<4	<10 MPa	<3 MPa

V <sub>1</sub>	P <sub>11</sub>	P <sub>12</sub>	P <sub>13</sub>	P <sub>14</sub>	P <sub>16</sub> e P <sub>17</sub>	P <sub>18</sub>	P <sub>19</sub>	P <sub>20</sub>
0	Giunti asciutti	<10-9 m/s	>200 MPa	Non alterata	Assenti	Profondità <80m	<500mm	W<20%
1	Giunti umidi	10-9÷10-7 m/s	100÷200 MPa	Poco alterata		Profondità 80÷300m	500÷750 mm	20÷50%
2	Giunti bagnati	10-7÷10-6 m/s	50÷100 MPa	Scolorita	Di modesta importanza	Profondità 300÷600m	750÷1000 mm	50÷100%
3	Stillicidi	10-6÷10-4 m/s	25÷50 MPa	Alterata		Profondità 600÷1000m	1000÷1500 mm	100÷200%
4	Venute d'acqua	>10-4 m/s	<25 MPa	Molto alterata	Di rilevante importanza	Profondità >1000m	>1500mm	W>200%

### 3.7. Valutazione della stabilità dei vuoti minerari e delle gallerie

Le analisi di stabilità dovranno essere basate su parametri misurati nel corso del rilievo geomeccanico, che dovranno essere impiegati nelle calcolazioni tenendo conto della più provabile distribuzione statistica dei valori di ogni singolo parametro, evitando quindi approcci deterministici relativamente a caratteristiche di materiali naturali che, per loro costituzione, mostrano sempre campi di variabilità più o meno ampi; tale ampiezza così come la legge distributiva, sarà definita sulla base dei loro valori misurati nel corso delle indagini in sito e di laboratorio.

La scelta del metodo di calcolo o del tipo di modello numerico, così come quella sulla opportunità di procedere con simulazioni numeriche in due o tre dimensioni, dipenderanno dalla complessità del problema e dalle caratteristiche geologiche e geotecniche delle formazioni interessate. A titolo esemplificativo la presenza in sotterraneo di un'attività mineraria dismessa che abbia portato alla realizzazione di un complesso di gallerie di carreggio, rimonte, camere, ecc. dovrà essere affrontato, indipendentemente dalla complessità geologica, con un *modello tridimensionale* l'unico in grado di tener conto della reale situazione tenso-deformativa di luoghi intensamente sfruttati.

Le analisi di stabilità saranno condotte considerando tutti i fattori che possono influire sulla stabilità nel sito, compresi quelli meteorologici locali (ad esempio con riferimento alle curve normalizzate di

precipitazione critica) e quelli legati alle sollecitazioni dinamiche naturali o indotte dall'attività antropica.

Le analisi di stabilità così come più in generale le condizioni geologico-tecniche e morfologiche del sito, potranno suggerire la predisposizione di eventuali interventi di stabilizzazione e messa in sicurezza a diversa scala.

### **3.8. Esempi di approcci per le analisi di stabilità**

Le più significative applicazioni mostrano come vi sia sempre più la necessità e la tendenza ad una trattazione dei dati che meglio consideri la variabilità intrinseca dei mezzi naturali in esame, con l'impiego di modelli numerici complessi, volti a un miglioramento della capacità di prevedere le condizioni di sicurezza.

#### **3.8.1 Analisi di sensitività**

L'approccio tradizionale nella conduzione di analisi di stabilità in ammassi rocciosi, consiste nel confrontare le forze resistenti con le forze agenti, esprimendo tale confronto in termini di fattore di sicurezza. Un altro approccio teso invece che affidarsi ad un unico valore, ad esprimere in termini di probabilità un determinato problema di stabilità impiegando una analisi di sensitività. In estrema sintesi ciò significa sviluppare una serie di calcoli nei quali ogni parametro significativo dell'ammasso roccioso viene variato sistematicamente all'interno di un intervallo di valori possibile, in modo da determinarne l'influenza sul fattore di sicurezza. L'intervallo di valori possibili viene definito sulla base di prove sperimentali e di misure. I parametri che tipicamente vanno soggetti a questa trattazione sono ad esempio l'angolo d'attrito delle discontinuità, la resistenza a compressione monoassiale del materiale roccia, la giacitura delle discontinuità, il campo tensionale dell'ammasso, i parametri di coesione e l'angolo d'attrito di questo.

#### **3.8.2 Approccio probabilistico**

È ben noto come le classificazioni geomeccaniche costituiscano da decenni, soprattutto ma non solo nei lavori in sotterraneo, un importante metodo di approccio ai problemi costituiti dalla descrizione compiuta e dalla classificazione da un punto di vista tecnico degli ammassi rocciosi. Le classificazioni inoltre consentono di analizzare la stabilità di uno scavo sotterraneo o di una parete rocciosa e di decidere eventuali interventi di consolidamento e sostegno. In quanto basate sull'esperienza pregressa di diversi Autori, esse costituiscono il cosiddetto "metodo empirico" di approccio ai temi sopra citati: la descrizione oggettiva di ognuno dei diversi parametri significativi dell'ammasso porta all'attribuzione di coefficienti numerici che, elaborati in modi diversi portano a loro volta ad un indice di qualità dell'ammasso dal quale si ricavano indicazioni di stabilità e di un eventuale necessità di intervento. In questo percorso ben delineato, si è inserito un nuovo sistema classificativo noto come SSPC (Slope Stability - a Probability Classification) che introduce un approccio probabilistico, usando il metodo Monte Carlo per verificare l'adeguatezza delle funzioni proposte per l'analisi della stabilità dell'ammasso.

#### **3.8.3 Modellazione di ammassi rocciosi complessi**

Per l'analisi del comportamento meccanico di un ammasso roccioso, cioè di un sistema composto da blocchi discreti separati da discontinuità, è stato sviluppato all'inizio degli anni 70 il metodo degli elementi distinti che, tra il 1985 del 1988 è stato esteso allo studio di problemi piani allo studio di problemi tridimensionali. Alcune caratteristiche del metodo non rendono particolarmente adatto rispetto ad altri per trattare le deformazioni di ammassi rocciosi in quanto i blocchi possono essere soggetti a notevoli rotazioni e spostamenti rispetto agli altri blocchi e le forze che interagiscono tra questi producono cambiamenti nella configurazione geometrica dell'insieme nel tempo. Il modello deve essere generato tenendo conto delle caratteristiche geometriche e geomeccaniche relative all'ammasso roccioso di interesse. In tutti i casi in cui la massa rocciosa in esame è tanto estesa, o complessa da non poter essere rappresentata con un numero limitato di discontinuità, l'analisi numerica basata sugli elementi distinti non ha alternative.

Un altro esempio che mostra l'opportunità di eseguire calcoli con metodi diversi da quello tradizionale dell'analisi all'equilibrio limite è fornito dallo studio dell'instabilità flessionale per carico di punta. Questo tipo di fenomeno è tipico di rocce sedimentarie stratificate a giacitura sub verticale,

l'inflessione e la rottura dello strato può avvenire per forze esterne al pendio per la pressione dell'acqua a tergo da concentrazioni di sforzi nel piano della lastra per il peso proprio dello strato. Considerando la difficoltà che spesso, nella pratica, si pone nella previsione del modello più realistico, appare evidente come un approccio basato sulla modellazione numerica sia preferibile anche nell'analisi di questo tipo di instabilità.

### 3.9. Il monitoraggio

Il monitoraggio ha la funzione di valutare eventuali fenomeni deformativi all'interno di gallerie e vuoti in corrispondenza di fratture o blocchi instabili che sono stati messi in evidenza dai rilievi geomeccanici. In questo paragrafo verrà affrontato il problema di un monitoraggio geotecnico in corrispondenza di punti critici all'interno dei cantieri in sotterraneo.

E' chiaro che per localizzare correttamente i punti critici, sarebbe necessario sviluppare opportuni modelli matematici in grado di simulare il comportamento tenso-deformativo della roccia.

Si ritiene d'altro canto che, vista la complessità delle elaborazioni con modelli numerici e l'elevato onere computazionale, tali devono essere impiegati solo quando la sicurezza all'interno dei cavi è indispensabile e cioè quando le miniere sono rese accessibili a scopo turistico.

Un sistema di monitoraggio di questo tipo risponde alle esigenze sia di assicurare un livello adeguato di sicurezza per l'incolumità di persone che eventualmente entrano nelle miniere, sia di fornire una base di dati quantitativi e continui nel tempo che risulta indispensabile dal punto di vista scientifico-sperimentale per ogni eventuale successiva iniziativa di ricerca nel campo delle opere in sotterraneo.

Il sistema di monitoraggio deve essere in grado di soddisfare le esigenze di sicurezza a lungo termine di ambienti sotterranei realizzati ad uso minerario durante una storia di coltivazione che si è protratta per secoli e che ha visto l'evoluzione delle tecniche di scavo dall'uso di strumenti manuali all'uso di esplosivo e mezzi meccanici, e che sono infine stati riadattati all'accesso dei visitatori.

Una delle esigenze da soddisfare nel progetto, anche di massima, di un sistema di monitoraggio veramente efficace consiste proprio nella capacità di coprire tanto le situazioni estese a un'intera tratta (o a porzioni significative di essa), quanto le situazioni localizzate, ma determinanti per la stabilità.

Anche dal lato della scelta degli strumenti che possono essere raccomandati per l'impiego nei vari scenari è necessario distinguere tra l'esigenza di monitorare specifiche fratture, identificate come importanti, piuttosto che porzioni maggiori, contenenti una varietà di elementi e che forniscono una immagine complessiva dell'evoluzione geomeccanica dell'ammasso.

L'applicazione di strumenti e tecniche di monitoraggio è un metodo ormai diffuso e consolidato in campo geologico applicativo e numerose sono le località e le situazioni che hanno visto l'installazione di sistemi di monitoraggio a lettura automatica, manuale o, spesso, mista.

Queste applicazioni consentono infatti di tenere sotto controllo l'evoluzione di fenomeni quali ad esempio frane di ogni dimensione e di operare lungo archi temporali che possono spaziare dai mesi alle decine di anni.

Molte delle tecniche e degli strumenti installati con un accoppiamento meccanico alla roccia sono utilizzabili anche in sotterraneo, e spesso trovano applicazione ad esempio nel rilievo delle deformazioni a seguito dello scavo di gallerie e camere.

Per quanto riguarda la pianificazione del monitoraggio, Kovari e Amstad (1979) indicano come fondamentali nella formulazione del piano di misure in sito i seguenti punti:

- Corretta formulazione del problema strutturale
- Selezione delle grandezze fisiche più sensibili
- Definizione dell'ordine di grandezza delle entità da misurare, al fine di identificare la precisione richiesta alle misure

- Definizione e scelta delle tecniche di misura, della strumentazione, dei punti di riferimento e dei programmi di rilevamento
- Determinazione delle possibili cause di errore nelle misure
- Individuazione di strumentazione affidabile e di personale qualificato
- Pianificazione che consenta la tempestiva comunicazione e interpretazione delle misure e l'appropriata definizione dei livelli di emergenza
- Per quanto riguarda in particolare la scelta della strumentazione, Hustrulid e Boisen (1992) sottolineano le seguenti raccomandazioni:
  - A parità di prestazione, deve essere ricercata la semplicità della strumentazione
  - La scelta di un dispositivo di misura deve rispondere a un'analisi costi-benefici
  - La ridondanza delle misure è necessaria soprattutto in condizioni geologiche complesse

Molte delle considerazioni appena sintetizzate sono valide anche nel caso in esame del monitoraggio delle gallerie minerarie, e in particolare le raccomandazioni di Hustrulid e Boisen (1992) possono essere direttamente mutate dal contesto originario e applicate nel caso di miniere dismesse.

Per quanto riguarda i cantieri minerari dismessi, la circostanza che più si discosta dal caso sopra ricordato della costruzione di gallerie consiste nella lunghezza dell'intervallo di tempo trascorso dagli ultimi interventi di scavo. Questo lungo intervallo di tempo ha permesso, in generale, alle deformazioni (convergenze) del cavo di verificarsi completamente, portando alla situazione attuale nella quale le velocità di deformazione sono da considerarsi sicuramente nulle per la gran parte delle situazioni osservabili. Ciò nonostante, è possibile che alcuni punti possano tuttora presentare un'evoluzione misurabile. Questo rende necessario un sistema di monitoraggio che integri le conoscenze già acquisite attraverso i rilievi geomeccanici eseguiti, l'osservazione dei segnali premonitori di possibili instabilità e lo studio delle tracce ancora visibili di distacchi avvenuti in passato. Rispetto alla predisposizione di un sistema di monitoraggio, il lungo tempo intercorso dalla fine dei lavori di scavo, si traduce dunque nell'esigenza di utilizzare strumenti e procedure in grado di rilevare deformazioni particolarmente piccole e lente. Inoltre la valutazione costi-benefici nella selezione degli strumenti dovrà tener conto della specifica situazione in esame.

L'approccio metodologico da adottare deve tener conto delle condizioni di stabilità degli ammassi rocciosi e garantire nel tempo i requisiti prefissati di sicurezza rispetto all'instaurarsi o all'evoluzione di fenomeni potenzialmente pericolosi per le persone e le cose.

La prima fase consiste nella preventiva documentazione circa le conoscenze pregresse riguardanti i cantieri minerari, l'area sulla quale essi insistono, e il contesto geologico e geologico-strutturale che li sottende. A questa fase deve seguire una campagna di rilievi di terreno spinti a un livello di approfondimento particolarmente elevato e condotti utilizzando spesso tecniche più raffinate di quelle previste anche dalla miglior pratica corrente per la quantificazione del rischio geologico in galleria.

I risultati di questi metodi permettono l'individuazione di tratte più "sensibili" dal punto di vista della qualità dell'ammasso roccioso. Inoltre, si rende necessaria l'esecuzione di sopralluoghi per rilevare evidenze di situazioni che, per la loro puntualità, non sarebbero altrimenti rilevabili dalla semplice osservazione dei valori derivati dalle classificazioni geomeccaniche.

Il monitoraggio può essere "dinamico", ovvero è possibile predisporre un piano di monitoraggio che preveda più livelli con un grado di sorveglianza progressivamente maggiore (sia in termini di numero di punti sorvegliati che di precisione e frequenza di lettura delle misurazioni). Secondo questo approccio, la prima rete di monitoraggio può essere composta da strumenti relativamente semplici ed economici per lo più a lettura manuale, installati nei punti ritenuti più meritevoli di attenzione sulla base di indagini precedentemente svolte e di uno specifico sopralluogo tecnico in sito.

Pur limitando l'investimento economico necessario per rendere operativo questo primo livello di monitoraggio, gli strumenti installati permettono di raggiungere l'obiettivo fondamentale di individuare con oggettività quali siano le situazioni realmente in evoluzione e che possono pertanto richiedere di essere ulteriormente considerate per installare strumenti più sofisticati. Inoltre le risultanze della sorveglianza costante ed estesa ad un lasso di tempo significativo di questi primi strumenti fornisce un quadro preliminare di quale possa essere l'entità delle deformazioni che ci si può aspettare.

Il modello concettuale del “monitoraggio dinamico” prevede che fin dall’inizio il piano di monitoraggio abbia livelli ulteriori di potenziamento del sistema installato. Si deve quindi prevedere quali e quanti strumenti dovranno essere installati nel caso che i dati forniti dal sistema di monitoraggio previsto dal livello inferiore risultino inadeguati alla corretta sorveglianza del fenomeno, ovvero che un cambiamento nell’evoluzione del fenomeno stesso renda necessario un livello di attenzione maggiore.

In concreto, riferendosi ad esempio a una porzione di galleria che attraversa una parte di ammasso roccioso interessato da alcune fratture sospettate di poter determinare una situazione di potenziale instabilità, il primo livello di monitoraggio dinamico può consistere nell’uso di semplici fessurimetri e nella materializzazione di punti di riferimento che identifichino una base di misura da rilevarsi ogni mese con metodi manuali, quali l’uso del distometro a nastro. Il livello di monitoraggio successivo, che viene implementato ad esempio allorché un movimento significativo venga effettivamente rilevato lungo un numero predeterminato di basi di misura, potrebbe prevedere l’installazione di un fessurimetro elettrico sulla frattura che è risultata sede dei movimenti più importanti, con un datalogger che registri in memoria i dati permettendo il successivo scarico dei dati stessi da parte dell’operatore sul posto. La prevista determinazione delle soglie di attenzione e di allarme potrà essere effettuata con un grado di dettaglio e una confidenza molto migliori attraverso l’analisi di queste registrazioni. Verrebbe inoltre aumentata la frequenza dei rilievi manuali sulle restanti basi di misura. Nel caso in cui l’analisi dei dati scaricati indichi l’effettiva serietà della situazione, il livello successivo di monitoraggio detterà, ad esempio, l’installazione di altri fessurimetri a lettura automatica, sia per meglio analizzare il fenomeno, sia per introdurre un grado adeguato di ridondanza al sistema per fronteggiare l’eventuale danneggiamento o fuori scala di alcuni strumenti, nonché l’attivazione di una linea di trasmissione dei dati per consentire di seguire in remoto l’evoluzione dei fenomeni. Infine, il livello più elevato di monitoraggio potrebbe prevedere la ripetizione dei dati acquisiti in tempo reale a una postazione presidiata con continuità da personale qualificato e ubicata in luogo sicuro (ma preferibilmente in vicinanza del punto critico sotto osservazione).

Generalizzando quindi il primo livello di monitoraggio potrebbe prevedere l’installazione di strumenti a lettura manuale e la loro sorveglianza a cadenza settimanale durante il periodo immediatamente seguente all’installazione, onde poter seguire adeguatamente la fase di andata a regime degli strumenti stessi, e in seguito con cadenza mensile. Gli strumenti dovranno poter essere installati in posizioni tali da garantire una ragionevole accessibilità per le operazioni di lettura da parte di un operatore. Le tipologie di strumenti potrebbero consistere in:

- Fessurimetri a lettura manuale, con geometrie che si adattino all’installazione nelle situazioni specifiche che dovranno essere monitorate;
- Bulloni di convergenza e capisaldi installati direttamente nella roccia e misurabili manualmente mediante distometro a nastro, crepemetromonoassiale, crepemetro triassiale o deformometro;
- Eventualmente, fessurimetri elettrici con lettura in sito della misura per quelle situazioni nelle quali l’operatore non potrebbe agevolmente raggiungere e leggere gli altri tipi di strumenti.

Queste tipologie di strumenti rispondono alle esigenze di tenere sotto controllo un numero sufficientemente ampio di situazioni attraverso il rilievo manuale ripetuto di un congruo campione di basi di misura, con strumenti facilmente installabili, durevoli e dal costo relativamente contenuto.

Il secondo livello di monitoraggio verrà implementato qualora alcuni degli strumenti installati nel primo livello rilevassero delle deformazioni indizio di attiva evoluzione del fenomeno monitorato. In questo caso l’esatta comprensione delle cause e possibili evoluzioni successive dei fenomeni in atto richiede infatti la conoscenza completa dell’entità, della velocità, dell’accelerazione e della continuità o episodicità dei movimenti lungo le basi di misura predisposte. Gli strumenti dovranno poter acquisire e memorizzare le letture degli strumenti in modo automatico e periodicamente secondo intervalli predefiniti (nei casi in oggetto, possono prevedersi indicativamente intervalli da orari a giornalieri). Le centraline di acquisizione, le cui memorie in questo livello di monitoraggio dovranno poter essere controllate e lette localmente da un operatore munito di un idoneo terminale portatile, dovranno essere equipaggiate con una quantità di memoria sufficiente a contenere almeno tre mesi di dati. Nel caso in cui si optasse per centraline di acquisizione prive di display locale indicante le letture in tempo reale (o, in alternativa, l’ultima lettura registrata in memoria) e per una modalità di scarico dei dati mediante schede di memoria intercambiabili, la procedura da seguire da parte

dell'operatore dovrà esplicitamente dettare la necessità di provvedere al più presto al trasferimento dei dati su una piattaforma PC o equivalente che consenta almeno:

- Il controllo del funzionamento privo di anomalie degli strumenti
- La presenza di un adeguato margine di corsa prima del fuori scala
- L'assenza di movimenti di entità o tipologia imprevista e allarmante nell'immediato.

Questa disposizione è dettata dalla necessità di poter agire rapidamente con i necessari interventi di manutenzione o di passaggio a un livello superiore di monitoraggio.

#### ***4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE***

L'attività di valorizzazione del patrimonio minerario dismesso risponde a bisogni e interessi condivisi, per cui bisogna definire concretamente una normativa tecnica di dettaglio in materia di sicurezza che sia adottata a livello nazionale, anche facendo riferimento all'esperienza delle regioni che per prime hanno deciso di dare risposte concrete alle necessità rappresentate dagli operatori.

Le problematiche da affrontare sono ben note, come lo sono le soluzioni da adottare, manca in molte regioni la presenza pubblica che detti le regole, lasciando nell'incertezza applicativa chi desidera valorizzare parti importanti del patrimonio minerario nazionale.

La ReMi si è fatta interprete delle esigenze nazionali di coordinamento, ed ha avviato la redazione di indicazioni per le attività di valorizzazione mineraria, acquisendo le competenze presenti all'interno della Rete.

La presenza di un ambiente amministrativo favorevole potrà rimuovere ostacoli ingiustificati alla fruizione pubblica del patrimonio minerario dismesso, creando anche opportunità di lavoro e di crescita culturale.

Il disegno di legge<sup>7</sup>, redatto nell'ambito del Comitato ReMi, vuole essere il primo tentativo di riferimento normativo nazionale che attende di essere valutato in Parlamento.

---

<sup>7</sup> <http://documenti.camera.it/leg18/pdl/pdf/leg.18.pdl.camera.1274.18PDLO032690.pdf>

## **Allegato 1**

### ***“Protocollo REMI-ANIM per il contrasto e il contenimento dell'emergenza sanitaria COVID -19 nelle attività di visita a miniere dismesse in sotterraneo per motivi turistici e culturali”***

Il presente protocollo riguarda le azioni finalizzate al contrasto e al contenimento dell'emergenza sanitaria COVID – 19 nelle attività di visita a miniere dismesse in sotterraneo per fini turistici e culturali, relativamente a siti debitamente autorizzati dalle amministrazioni regionali o da altre amministrazioni locali, a norma della legislazione vigente nelle singole regioni.

Il protocollo può coincidere con procedure già adottate, integrate secondo le necessità, oppure costituire un addendum connesso al contesto emergenziale del DVR (Documento di Valutazione dei Rischi) di cui all'articolo 17, comma 1, lettera a), del decreto legislativo n. 81/2008 o del DUVRI (Documento Unico per la Valutazione dei Rischi da Interferenza) di cui all'articolo 26 del medesimo decreto legislativo. Relativamente alle regioni che prevedono l'applicazione delle norme di polizia mineraria alle attività di valorizzazione del patrimonio minerario dismesso, il protocollo costituisce un addendum al DSS (Documento di Sicurezza e Salute) di cui all'articolo 6 del decreto legislativo n. 624/1996 o al DSS Coordinato di cui all'articolo 9 del medesimo decreto legislativo. Non occorre procedere, pertanto, alla modifica dei documenti di valutazione dei rischi.

In generale, le attività di valorizzazione in sotterraneo rientrano nelle previsioni generali di cui al sistema prevenzionistico delineato dai decreti legislativi n. 81/2008 e 624/1996.

Con l'articolo 1 del DPCM del 17 maggio 2020, contenente, tra l'altro, misure urgenti per il contenimento del contagio COVID -19, è stato disposto che il servizio di apertura al pubblico dei musei e degli altri luoghi della cultura di cui all'articolo 101 del testo unico dei beni culturali e del paesaggio, è assicurato a condizione che detti istituti e luoghi, tenendo conto delle dimensioni e delle caratteristiche dei locali aperti al pubblico, nonché dei flussi di visitatori, garantiscano modalità di fruizione contingentata o comunque tali da evitare assembramenti di persone e da consentire che i visitatori possano rispettare la distanza tra loro di almeno un metro.

Il servizio è organizzato tenendo conto dei protocolli o linee guida adottati dalle regioni o dalla Conferenza delle regioni e delle province autonome. Le amministrazioni e i soggetti gestori dei musei e dei luoghi di cultura possono individuare specifiche misure organizzative, di prevenzione e protezione, nonché di tutela dei lavoratori, tenuto conto delle caratteristiche dei luoghi e delle attività svolte.

In applicazione dell'articolo 2 del sopra citato DPCM, il contenuto del protocollo condiviso di regolamentazione delle misure per il contrasto e il contenimento della diffusione del virus COVID – 19 negli ambienti di lavoro sottoscritto il 24 aprile 2020 (accordo fra il Governo e le parti sociali di cui all'allegato 12 dello stesso DPCM) costituisce presupposto necessario per le previsioni di carattere generale a livello nazionale. Il protocollo condiviso, sottoscritto il 24 aprile 2020 fra il Ministro delle infrastrutture e dei trasporti, il Ministro del lavoro e delle politiche sociali e le parti sociali, di cui all'allegato 13 del DPCM, relativo ai cantieri, non trova applicazione alle attività museali relative alle miniere in sotterraneo. Naturalmente il protocollo relativo ai cantieri trova applicazione anche per i musei e gli altri luoghi di cultura relativamente alle attività di manutenzione ordinaria e straordinaria dei cantieri in sotterraneo.

Le attività di valorizzazione a fini turistici e culturali dei sotterranei delle miniere dismesse possono rientrare, ai fini dell'applicazione del DPCM del 17 maggio 2020, nella definizione di attività museali richiamata all'articolo 1, in quanto finalizzati a raggiungere i medesimi obiettivi di diffusione culturale.

Il Coordinamento delle regioni, con documento del 16 maggio 2020, (Allegato 17 del DPCM), “Linee guida per la riapertura delle attività economiche e produttive”, ha individuato, in particolare, la scheda tecnica “Musei, Archivi e Biblioteche”, contenente indicazioni per enti locali e soggetti pubblici e privati titolari delle attività richiamate, valide sia per i lavoratori che per i visitatori. Si tratta, in particolare, di indirizzi operativi specifici “finalizzati a fornire uno strumento sintetico e immediato di applicazione delle misure di prevenzione e contenimento di carattere generale.

Il documento della Conferenza delle regioni estende la validità delle indicazioni a tutte le attività di valorizzazione e non solo a quelle relative all'articolo 101 del testo unico dei beni culturali e del paesaggio, pertanto, appare pienamente idoneo a ricomprendere anche le attività di valorizzazione del patrimonio minerario sotterraneo dismesso.

Per approfondimenti specifici su particolari problematiche di contrasto e diffusione del virus SARS-CoV.2 e di gestione dell'emergenza sanitaria COVID – 19 si potrà fare riferimento ai documenti tecnici predisposti dall'INAIL e dall'Istituto Superiore di Sanità (Bibliografia).

Si richiama, ancora, il contenuto della circolare n. 14915 del 29 aprile 2020 del Ministero della Salute relativamente alle attività del medico competente nel contesto delle misure di contrasto e contenimento della diffusione del virus SARS-CoV.2 negli ambienti di lavoro e nella collettività.

La circolare di cui sopra evidenzia che il ruolo del medico competente risulta di primo piano nella tutela della salute e della sicurezza sul luogo di lavoro nell'ordinario, e si amplifica nell'attuale momento di emergenza pandemica, e conferma il suo ruolo di "consulente globale" del datore di lavoro: la figura del medico competente risulta obbligatoria per esposizione ad agenti biologici.

Attualmente per le attività di valorizzazione non risulta necessaria la sorveglianza sanitaria, a meno di particolari condizioni richiamate dal decreto legislativo n. 81/2008.

La possibilità di esposizione al virus SARS-CoV.2 configura un rischio di esposizione biologico generico: l'INAIL, nel Documento Tecnico su possibile rimodulazione del contagio del mese di aprile 2020 afferma che "Relativamente alle aziende dove non è già presente il medico competente, in via straordinaria, va pensata la nomina di un medico competente *ad hoc* per il periodo emergenziale o soluzioni alternative, anche con il coinvolgimento delle strutture territoriali pubbliche, che, come per altre attività, possono effettuare le visite, magari a richiesta del lavoratore.

Si tratta di indicazioni non vincolanti, da attivare qualora il datore di lavoro ne riconosca i presupposti sanitari concreti.

Le singole regioni possono apportare modifiche al protocollo approvato dal Coordinamento delle regioni stesse, per cui in sede di applicazione nelle singole attività di valorizzazione del patrimonio minerario dismesso occorrerà valutare eventuali integrazioni tecniche e operative nel frattempo intervenute a livello regionale.

A titolo esemplificativo, si segnala che, con ordinanza n. 59 del 22 maggio 2020, allegato 2, il Presidente della regione Toscana ha dettato specifici indirizzi per l'apertura dei musei, con un elevato grado di approfondimento, mentre con ordinanza n. 555 del 29 maggio 2020 del Presidente della regione Lombardia sono state fornite integrazioni marginali al documento del Coordinamento delle regioni. Il Comitato Tecnico Scientifico istituito presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri, infine, con verbale n. 66 del 4, 5 e 6 maggio 2020 ha fornito le specifiche linee guida per l'apertura e la gestione dei musei.

Si espone di seguito il protocollo specifico per le attività di valorizzazione del patrimonio minerario dismesso in sotterraneo, adeguando gli indirizzi relativi ai musei sopra richiamati alle particolari condizioni del sotterraneo delle stesse miniere dismesse oggetto di visita a fini culturali e turistici.

Molti musei minerari sono anche costituiti da una parte all'esterno, per la quale appaiono sufficienti i puntuali riferimenti contenuti nelle linee guida regionali e nel DPCM del 17 maggio 2020.

Il gestore del sito in sotterraneo, informa tutti i lavoratori e i visitatori circa le disposizioni delle Autorità, consegnando e/o affiggendo nei luoghi maggiormente visibili appositi *depliant* informativi (punto 1 del protocollo condiviso di regolamentazione delle misure di contrasto e contenimento della diffusione del virus SARS CoV. 2 del 24 aprile 2020).

#### ***Protocollo visita miniere dismesse a fini turistici e culturali***

- Predisposizione di una adeguata informazione su tutte le attività di prevenzione da adottare

- a. L'informazione deve riguardare sia il personale operante all'interno del sotterraneo della miniera, sia i visitatori.
  - b. L'informazione indirizzata al personale deve risultare da quanto previsto all'addendum al DVR o DSS in relazione agli obiettivi in funzione delle differenti mansioni ricoperte all'interno dell'organizzazione aziendale, relativamente al contrasto e al contenimento della diffusione del virus SARS-CoV.2 durante la visita al sotterraneo della miniera da parte dei singoli gruppi di visitatori.
  - c. L'informazione indirizzata ai visitatori deve essere finalizzata a rendere edotti gli stessi visitatori circa l'obbligo dell'utilizzo dei dispositivi di protezione individuale, le modalità di conduzione della visita, la distanza interpersonale di un metro da rispettare, le modalità di vestizione iniziale e svestizione finale, le modalità di trasporto all'interno del sotterraneo dei visitatori stessi.
- Definizione di uno specifico piano di accesso dei visitatori
    - a. Per quanto possibile deve essere data diffusione mediante i canali social, il sito web e i comunicati stampa dei giorni e degli orari di apertura del sito minerario dismesso, favorendo eventuali pagamenti dei biglietti per la visita della miniera mediante strumenti elettronici.
    - b. Devono essere stabiliti gli orari di accesso dei singoli visitatori al sito sotterraneo, in modo da evitare assembramenti e ridurre al minimo la fase di attesa, eliminando il possibile contatto tra i diversi gruppi programmati per l'accesso.
    - c. L'elenco dei visitatori dovrà essere reso disponibile per almeno quattordici giorni.
    - d. Il punto di raduno dell'accesso in sotterraneo deve essere separato da quello relativo alle strutture a cielo aperto (bar, ristorante, museo minerario, area vendita gadget, sala proiezione, etc.).
  - Può essere rilevata la temperatura corporea dei visitatori, impedendo l'accesso in caso di temperatura > 37,5 °C. Talune regioni impongono l'obbligo della rilevazione della temperatura corporea come previsione per la generalità delle attività economiche
  - I visitatori devono sempre indossare la mascherina.
  - Il personale lavoratore deve sempre indossare la mascherina.
  - All'ingresso del sotterraneo e, se ritenuto opportuno, nei locali del sotterraneo, devono essere disponibili soluzioni idro-alcoliche per l'igiene delle mani.
  - Composizione dei gruppi di visita
    - a. La composizione dei gruppi di visita deve essere stabilita dal titolare dell'attività di valorizzazione o un suo delegato in collaborazione con il Direttore Responsabile di cui al DPR 9 aprile 1959, n. 128, Norme di polizia delle miniere e delle cave, nelle regioni in cui si applicano tali norme), in funzione della tipologia di vuoto estrattivo e in relazione alle modalità di svolgimento della visita stessa.
    - b. Il numero dei componenti del gruppo, per siti sotterranei con gallerie di ridotta sezione di transito (minore di 4 mq), deve risultare di non più di sette persone, mentre per gallerie di sezione maggiore può essere aumentato il numero dei componenti del gruppo di visita che, comunque, non deve superare le dodici persone, oltre la guida. Qualora l'accesso ai cantieri in sotterraneo avvenga tramite convoglio ferroviario, quindi in modo certamente più ordinato rispetto ad un accesso pedonale, è possibile incrementare il numero dei componenti dei gruppi di visita, senza mai superare il numero di dodici, oltre la guida, nel rispetto, comunque, delle regole di distanziamento previste.
  - Consegna dispositivi di protezione individuale

- a. La consegna dei dispositivi di protezione individuale e degli altri indumenti e attrezzature (stivali, caschi, lampade da miniera, cuffie igieniche, mantelle, etc.) deve essere effettuata direttamente da parte del personale incaricato della guida del gruppo.
  - b. E' preferibile che la consegna avvenga all'aperto. In caso di impossibilità di procedere alla consegna dei dispositivi di protezione individuale all'aperto, è necessario che siano evitati incroci tra le persone all'atto della consegna stessa, prevedendo opportuna segnaletica e, se il locale ha due accessi, utilizzarne uno per l'entrata e l'altro per l'uscita.
  - c. La riconsegna dei dispositivi e degli altri oggetti deve essere effettuata direttamente da parte dei visitatori, riponendo tali dispositivi in appositi contenitori da avviare alla successiva sanificazione. In alternativa, i dispositivi possono essere riutilizzati dopo una quarantena di nove giorni. Le cuffie igieniche dopo l'uso debbono essere trattate come rifiuto al pari delle mascherine usate.
  - d. L'uso di eventuali depositi o guardaroba deve essere regolamentato.
  - e. Le mascherine possono, se necessario, essere fornite dal gestore del sito.
- Organizzazione del circuito di visita
    - a. Il circuito di visita deve essere progettato in modo tale che durante il percorso non si incroci altro gruppo in visita. Nel caso in cui ciò non sia possibile il sito minerario in sotterraneo può essere visitato da un solo gruppo per volta.
    - b. Durante tutto il percorso deve essere garantita una distanza interpersonale di un metro.
    - c. Devono essere evitati percorsi per i quali non sia possibile garantire il distanziamento di un metro (ad esempio rimonte o discenderie per le quali sia necessario il supporto attivo del personale della guida o del personale di assistenza).
    - d. Il percorso di visita deve essere adeguatamente segnalato, anche per garantire la distanza interpersonale di un metro.
    - e. All'ingresso e durante tutto il percorso i volantini e le brochures sono rimossi.
    - f. Occorre evitare che durante il percorso i visitatori possano cimentarsi in prove con attrezzi o utensili che possano essere toccati da più persone.
    - g. Occorre evitare che i visitatori possano asportare campioni di minerale posto a disposizione in mucchio da parte del gestore del sito.
    - h. La visita ad impianti in sotterraneo per la lavorazione del minerale deve essere effettuata seguendo un percorso prestabilito, senza possibilità di incrocio da parte dei visitatori.
    - i. Eventuali audioguide o supporti informativi possono essere utilizzati solo se adeguatamente disinfettati al termine di ogni utilizzo. Occorre favorire l'utilizzo di dispositivi personali per la fruizione delle informazioni.
  - Ventilazione del sotterraneo delle miniere dismesse
    - a. Il sotterraneo delle miniere dismesse, nella quasi totalità dei casi, è ventilato naturalmente, quindi, in funzione delle condizioni climatiche esterne, la velocità dell'aria nei cantieri sotterranei può variare considerevolmente.
    - b. Nel caso in cui si verifichi l'insufficienza della ventilazione naturale e non sia possibile assicurare la ventilazione forzata, la visita in sotterraneo non deve essere effettuata. Il gestore del sito sotterraneo definisce nel protocollo specifico per il sito stesso le condizioni di ventilazione che rendono necessaria la sospensione delle visite".
    - c. Nel caso in cui non si possa assicurare la ventilazione, naturale o forzata, di locali all'interno della miniera (es. riservetta, locale refettorio, deposito attrezzi, ricoveri del personale, deposito carburanti, etc.) tali locali devono essere esclusi dal circuito di visita.
  - Trasporti all'interno della miniera

- a. Il trasporto dei visitatori all'interno della miniera, dal punto di ingresso della galleria di carreggio fino ai cantieri di coltivazione in alcune miniere avviene solitamente mediante convoglio ferroviario.
  - b. Al fine di una corretta gestione del trasporto e per assicurare il distanziamento di un metro, la disponibilità di posti dentro il convoglio per i visitatori deve essere stabilita in modo appropriato.
  - c. La salita e la discesa dei visitatori deve essere regolamentata in modo tale da assicurare sempre il distanziamento di un metro.
  - d. Il convoglio deve essere sanificato ad ogni viaggio, ovvero a periodicità adeguata, in funzione del numero di viaggi effettuati, secondo quanto stabilito nel protocollo specifico del sito sotterraneo.
  - e. Il collegamento tra diversi livelli di miniera tramite ascensore in pozzo deve essere evitato, a meno che non si possa assicurare in sicurezza il trasporto di un solo visitatore alla volta.
- Pulizia e sanificazione dei locali
    - a. Assicurare una adeguata pulizia e sanificazione delle superfici e degli ambienti, con particolare attenzione a quelle toccate con maggiore frequenza (es maniglie, interruttori, corrimano, etc.).
    - b. Disinfettare frequentemente i pulsanti di attivazione di installazioni (es. telecomandi), eventuali dispositivi con pulsanti e schermi touch a scopo educativo.
    - c. Assicurare regolare pulizia e sanificazione dei servizi igienici, che saranno posizionati all'esterno del sotterraneo di miniera.
    - d. La pulizia dei locali deve essere assicurata almeno giornalmente, mentre la sanificazione degli ambienti dipenderà dalla frequenza delle visite, e la sua periodicità sarà riportata nel protocollo definito dalla Società esercente.
    - e. Non è necessario procedere alla sanificazione delle vie di transito, a meno che in tali vie non siano previste soste per illustrazioni di tipo geogiacimentologico o per esaminare particolari sistemi per l'abbattimento o la lavorazione del minerale.
    - f. Non è necessario procedere alla sanificazione dei locali alla riapertura del sito minerario, in considerazione della spontanea inattivazione del virus dopo nove giorni.

#### Fonti:

- AIAS - Vademecum per la Gestione del Rischio Coronavirus in ambito lavorativo (Vers. 1.7 - Aggiornata al 8 marzo 2020)
- DPCM 17 maggio 2020: Disposizioni attuative del decreto-legge 25 marzo 2020, n. 19, recante misure urgenti per fronteggiare l'emergenza epidemiologica da COVID – 19, e del decreto-legge 16 maggio 2020, n. 33, recante ulteriori misure urgenti per fronteggiare l'emergenza epidemiologica da COVID - 19
- HSE: Talking with your workers about preventing coronavirus
- HSE: Working safely during the coronavirus outbreak – a short guide
- INAIL - Circolare n. 22 del 20 maggio 2020: Tutela infortunistica nei casi accertati di infezione da coronavirus (SARS- CoV-2) in occasione di lavoro. Decreto-legge 17 marzo 2020, n. 18 "Misure di potenziamento del Servizio sanitario nazionale e di sostegno economico per famiglie, lavoratori e imprese connesse all'emergenza epidemiologica da COVID-19" - Articolo 42 comma 2, convertito dalla legge 24 aprile 2020, n. 27. Chiarimenti.
- INAIL: Documento tecnico sulla possibile rimodulazione delle misure di contenimento del contagio da SARS-CoV.2 nei luoghi di lavoro e strategie di prevenzione – aprile 2020
- Ministero della Salute - Circolare n. 14915 del 29 aprile 2020: Indicazioni operative relative alle attività del medico competente nel contesto delle misure per il contrasto e il contenimento della diffusione del virus SARS.CoV-2 negli ambienti di lavoro e nella collettività.
- Ministero Salute - Protocollo condiviso di regolamentazione delle misure per il contrasto e il contenimento della diffusione del virus Covid-19 negli ambienti di lavoro – aggiornamento 24 aprile 2020

- Politecnico di Torino: "Misure per il contrasto e il contenimento della diffusione del COVID – 19 nel post lockdown – protocollo condiviso
- Rapporto ISS COVID – 19 n. 5/2020: Indicazioni ad interim per la prevenzione e gestione degli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2
- Rapporto ISS COVID – 19 n. 10/2020: Indicazioni ad interim su acqua e servizi igienici in relazione alla diffusione del virus SARS-CoV-2 Versione del 7 aprile 2020
- Rapporto ISS COVID -19 n. 19/2020: Raccomandazioni ad interim sui disinfettanti nell'attuale emergenza COVID-19: presidi medico chirurgici e biocidi
- Rapporto ISS COVID – 19 n. 20/2020: Indicazioni per la sanificazione degli ambienti interni per prevenire la trasmissione di SARS-COV 2
- Rapporto ISS COVID – 19 n. 26/2020: Indicazioni ad interim su gestione e smaltimento di mascherine e guanti monouso provenienti da utilizzo domestico e non domestico
- Verbale CTS (Comitato Tecnico-Scientifico) n. 66 del 4, 5 e 6 maggio 2020

**GdL COVID\_19 ReMi:**

**Domenico Savoca** – ANIM, Associazione Nazionale Ingegneri Minerari

**Agata Patanè** – ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

**Paolo Cresta** - Parco Naturale Regionale dell'Aveto, Museo Minerario di Gambatesa

**Luca Genre** - Ecomuseo Regionale delle Miniere e della Val Germanasca

**Daniele Rappuoli** - Parco Nazionale Museo delle miniere dell'Amiata

Figura 3 – Il decalogo della ReMi per una visita in sicurezza

## PROTOCOLLO ACCESSO AI PARCHI E MUSEI MINERARI DELLA RETE NAZIONALE REMI-ISPRA

### 10 Regole per una visita in sicurezza

- 

**1** SII PUNTUALE E RISPETTA GLI ORARI ASSEGNATI
- 

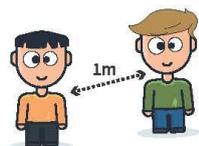
**1** PRENOTA SEMPRE LA TUA VISITA, È OBBLIGATORIO
- 

**2** RICORDATI DI INDOSSARE ABBIGLIAMENTO E CALZATURE IDONEE ALL'AMBIENTE SOTTERRANEO
- 

**3** IL PERSONALE POTREBBE CONTROLLARE LA TUA TEMPERATURA: SE SUPERIORE A 37,5 POTRÀ VIETARTI L'ACCESSO
- 

**4** PRESENTATI CON IL MINIMO DI ACCESSORI PERSONALI, EVITANDO ZAINI E BORSE VOLUMINOSI
- 

**5** PRESENTATI DOTATO DI MASCHERINA. I DPI/ATTREZZATURE PER LA VISITA IN SOTTERRANEO (CASCO, CUFFIETTA, STIVALI...) TI VERRANNO FORNITI SUL POSTO
- 

**6** LUNGO I PERCORSI TROVERAI POSTAZIONI CON PRODOTTI IGIENIZZANTI PER LE MANI: USALI SE NE SENTI LA NECESSITÀ
- 

**7** NEGLI SPAZI MUSEALI INTERNI SEGUI LA SEGNALETICA E RISPETTA LA DISTANZA DI ALMENO 1 METRO DALLE ALTRE PERSONE
- 

**8** DURANTE LA VISITA IN SOTTERRANEO LA GUIDA TI AIUTERÀ A RISPETTARE DISTANZE E MISURE IGIENICHE: RISPETTA SCRUPolosAMENTE LE ISTRUZIONI
- 

**9** A FINE VISITA I DPI/ATTREZZATURE UTILIZZATI DOVRANNO ESSERE IGIENIZZATI E/O SMALTITI: LA GUIDA TI INDICHERÀ COME DEPOSITARLI CORRETTAMENTE
- 10**

## La rete ReMi ti garantisce standard comuni in tutti i parchi e musei minerari

- SISTEMI DI PRENOTAZIONE VIA TELEFONO E/O INTERNET
- IGIENIZZAZIONE E MASCHERINE PER IL PERSONALE IN CONTATTO CON IL PUBBLICO
- SANIFICAZIONE DELLE SUPERFICI E DEGLI AMBIENTI E AD ALTA FREQUENTAZIONE
- SANIFICAZIONE DOPO OGNI UTILIZZO DI DPI, TRENINO...
- VISITE IN SOTTERRANEO CON PICCOLE COMITIVE DA 7 A 12 PERSONE(\*) PER GARANTIRE IL "NON ASSEMBRAMENTO" E IL RISPETTO DELLA DISTANZA INTERPERSONALE DI ALMENO 1 M (\*)il numero di persone potrebbe variare in funzione delle esigenze del sito

**RICORDATI: OGNUNO PROTEGGE TUTTI!**



## Allegato 2

*“D.g.r. 22 dicembre 2008 - n. 8/8749 Indirizzi e disposizioni tecniche per la conduzione di analisi sulla stabilità e per la progettazione di fronti di scavo in attività estrattive a cielo aperto, di scavi minerari in sotterraneo e di materiali in mucchio”*

Tabella 2

**MASSIMALI PER NUCLEI FAMILIARI CON PRESENZA DI ALMENO UN DISABILE/INVALIDO**

<i>Nuclei senza figli o con tutti i figli maggiorenni e/o con altri familiari a carico e presenza di almeno un disabile/invalido</i>		<i>Nuclei familiari con presenza di almeno un figlio minore e di almeno un disabile/invalido</i>				
<i>N. componenti</i>		<i>N. componenti</i>	<i>Nucleo con un unico genitore</i>	<i>Nucleo con un unico genitore che lavora</i>	<i>Nucleo con due genitori, di cui uno solo lavora</i>	<i>Nucleo con due genitori, entrambi che lavorano</i>
1	30000	1				
2	41400	2	45400	49400		
3	50800	3	54800	58800	50800	54800
4	59200	4	63200	67200	59200	63200
5	67000	5	71000	75000	67000	71000
6	74000	6	78000	82000	74000	78000
7	81000	7	85000	89000	81000	85000
8	88000	8	92000	96000	88000	92000
9	95000	9	99000	103000	95000	99000
10	102000	10	106000	110000	102000	106000

Nel caso di presenza, nel nucleo familiare, di più disabili/invalidi, il tetto di reddito familiare, potrà essere determinato partendo dal massimale corrispondente, riferito a ciascuna tipologia di cui alla Tabella 2, applicando al relativo massimale medesimo il seguente calcolo:

**massimale moltiplicato (1 + 0.50 moltiplicato n)**

dove **n** è il numero di componenti disabili/invalidi oltre il primo, già calcolato dalla Tabella 2 medesima.

**4. Interventi ammissibili ed entità del contributo**

Sono ammesse a contributo le seguenti tipologie di interventi:

<i>Tipologia di intervento</i>		<i>Contributo previsto</i>
A	Acquisto auto nuova o usata: - elettrica - ibrida - metano/gpl (max 1600 cc di cilindrata) - bifuel (di 1° impianto) (max 1600 cc di cilindrata)	4.000 €
B	Acquisto auto nuova o usata (max 1600 cc di cilindrata): - benzina (minimo Euro 3) - bifuel di 2° impianto solo su Euro 3 o 4	3.000 €
C	Installazione impianto metano/gpl o dispositivo antiparticolato	600 €

I contributi per gli interventi di tipo A e B vengono concessi a seguito di contestuale rottamazione di un veicolo Euro 0 o Euro 1 diesel o Euro 2 diesel.

**5. Modalità di erogazione del contributo**

Il progetto prevede l'utilizzo di un Voucher telematico riconosciuto da Regione Lombardia che può essere utilizzato dal soggetto beneficiario esclusivamente per la sostituzione/trasformazione di un'autovettura rispondente ai requisiti previsti dal progetto stesso.

(BUR2009016)

**D.g.r. 22 dicembre 2008 - n. 8/8749**

(5.3.2)

**Indirizzi e disposizioni tecniche per la conduzione di analisi sulla stabilità e per la progettazione di fronti di scavo in attività estrattive a cielo aperto, di scavi minerari in sotterraneo e di materiali in mucchio**

**LA GIUNTA REGIONALE**

Visto l'art. 3, comma 2, della legge regionale 8 agosto 1998, n. 14 (Nuove norme per la disciplina della coltivazione di sostanze minerali di cava), ai sensi del quale la Giunta regionale stabilisce indirizzi e disposizioni tecniche da osservare nell'esercizio dell'attività estrattiva;

Visto l'art. 52 del d.lgs. 25 novembre 1996, n. 624 (Attuazione delle Direttive 92/91/CEE e 92/104/CEE riguardanti il migliora-

mento della sicurezza e della salute dei lavoratori nelle industrie e estrattive), che prescrive a carico del datore di lavoro la predisposizione di una relazione sulla stabilità dei fronti di scavo delle attività estrattive a cielo aperto, al fine di assicurare la sicurezza dei lavoratori e dei terzi interessati, in funzione della natura e dello stato del terreno, nonché dei macchinari impiegati. La relazione deve essere aggiornata annualmente;

Visto l'art. 56 del citato d.lgs. n. 624/1996, che prevede, in via generale, che le armature per il sostegno delle gallerie, dei cantieri e di ogni altro scavo in sotterraneo devono essere realizzate in conformità a specifiche disposizioni scritte del direttore responsabile;

Visto il Titolo IV del d.P.R. 9 aprile 1959, n. 128 (Norme di polizia delle miniere e delle cave), recante disposizioni relative a escavazioni a cielo aperto e sotterranee, richiamato dall'art. 52 del d.lgs. n. 624/1996;

Considerato che le disposizioni sopra richiamate definiscono gli obiettivi generali per la progettazione, applicabili alla generalità delle attività estrattive, senza tenere conto delle specificità delle attività stesse;

Ritenuto di fornire adeguati indirizzi per la progettazione di fronti di scavo, di scavi minerari in sotterraneo e di materiali in mucchio, tenendo conto delle innovazioni disponibili in materia di analisi di stabilità, di monitoraggio, di progettazione dinamica e di limiti di confidenza;

Visto il documento «Indirizzi per la conduzione di analisi di stabilità e per la progettazione di fronti di scavo in attività estrattive a cielo aperto, di scavi minerari in sotterraneo e di materiali in mucchio», allegato alla presente deliberazione, predisposto dalla competente struttura della Giunta regionale;

Dato atto che il documento di cui sopra contiene elementi innovativi per il miglioramento della sicurezza ambientale dei siti estrattivi, nonché per la sicurezza dei lavoratori e dei terzi interessati, con riferimento alle attività specifiche di analisi di stabilità e di progettazione dei siti stessi;

Ritenuto, pertanto, di approvare il documento «Indirizzi per la conduzione di analisi di stabilità e per la progettazione di fronti di scavo in attività estrattive a cielo aperto, di scavi minerari in sotterraneo e di materiali in mucchio», quale supporto operativo alle aziende del comparto estrattivo;

Ad unanimità di voti espressi nelle forme di legge,

Delibera

1. Di approvare, per le considerazioni in premessa, il documento «Indirizzi per la conduzione di analisi di stabilità e per la progettazione di fronti di scavo in attività estrattive a cielo aperto, di scavi minerari in sotterraneo e di materiali in mucchio», allegato alla presente deliberazione quale parte integrante e sostanziale.

2. Di disporre la pubblicazione della presente deliberazione,

completa del proprio allegato, sul Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia.

Il segretario: Pilloni

#### ALLEGATO

### **Indirizzi per la conduzione di analisi di stabilità e per la progettazione di fronti di scavo in attività estrattive a cielo aperto, di scavi minerari in sotterraneo e di materiali in mucchio**

#### **1. Premessa**

I progressi che si sono avuti negli ultimi decenni nelle Scienze che studiano i materiali naturali ed il loro comportamento, insieme alle innovazioni tecniche che consentono di svolgere calcoli, simulazioni e modellazioni numeriche un tempo di fatto impossibili nel mondo del lavoro, suggeriscono di affrontare il tema della stabilità dei versanti e fronti di scavo in attività estrattive a cielo aperto, di scavi minerari in sotterraneo e di materiali in mucchio. Agli approcci più tradizionali si affiancano tecniche innovative in grado di contribuire in modo decisivo al miglioramento della conoscenza delle condizioni dei siti estrattivi contribuendo quindi in maniera sostanziale alla definizione delle condizioni di stabilità, a tutto beneficio della sicurezza dei luoghi di lavoro.

Quanto di seguito riportato intende superare alcune carenze dell'attuale normativa che coinvolge e responsabilizza pesantemente l'amministrazione competente in materia di vigilanza su una moltitudine di argomenti, anche molto diversi tra loro, e che è impostata su un approccio deterministico al problema della sicurezza in relazione alle condizioni di stabilità delle pareti di scavo che appare superato, tendendo a trascurare le caratteristiche geologiche, morfologiche, geotecniche, geomeccaniche ed idrogeologiche locali, le quali in realtà hanno, evidentemente, un ruolo sostanziale nel condizionare la stabilità del sito in esame e, quindi, le relative condizioni di sicurezza.

Gli argomenti di seguito discussi approfondiscono quanto contenuto nel d.lgs. del 25 novembre 1996, n. 624 «Attuazione della Direttiva 92/91/CEE relativa alla sicurezza e salute dei lavoratori nelle industrie estrattive per trivellazione e della Direttiva 92/104/CEE relativa alla sicurezza e salute dei lavoratori nelle industrie estrattive a cielo aperto o sotterranee». Il decreto n. 624 sopracitato accenna, all'art. 52 (per ciò che riguarda le attività a cielo aperto) ed all'art. 56 (per quanto concerne le attività in sotterraneo) al tema della stabilità dei fronti di scavo richiamando le disposizioni del Titolo IV del d.P.R. 9 aprile 1959, n. 128 «Norme di polizia delle miniere e delle cave», integrandole brevemente.

Di seguito vengono forniti alcuni indirizzi per la redazione del progetto di coltivazione, che costituisce il documento su cui deve essere imperniata tutta la materia relativa alle condizioni di stabilità delle pareti di scavo ed alla valutazione della sicurezza del sito e, conseguentemente, delle condizioni di pericolo e di rischio.

#### **2. Il progetto di coltivazione**

Il Progetto di coltivazione, previsto dalle norme vigenti, deve avere lo scopo di guidare gli operatori affinché ogni scavo a cielo aperto o in sotterraneo ed ogni accumulo di materiale venga progettato, realizzato e mantenuto in maniera tale da evitare che qualunque instabilità o movimento possano dar luogo ad un rischio per le persone e le attrezzature.

Il Progetto di coltivazione dovrà garantire, in ogni fase del lavoro, la stabilità sia locale che generale dei versanti.

Esso sarà articolato nelle seguenti fasi:

1. fase diagnostica da svolgersi in sito ed in laboratorio;
2. conduzione di analisi di stabilità;
3. pianificazione della strumentazione di controllo e delle modalità di rilievo dei dati strumentali;
4. progettazione di eventuali interventi di stabilizzazione;
5. progettazione degli scavi;
6. impiego dei materiali in mucchio.

##### **2.1 La fase diagnostica**

Il Progetto sarà imperniato su una esauriente e puntuale fase diagnostica relativa all'area di estrazione e ad un suo conveniente intorno. La fase diagnostica deve essere in grado di fornire tutte le informazioni qualitative e quantitative che saranno suc-

cessivamente utili nella conduzione delle analisi di stabilità e nella progettazione degli scavi e dei lavori. Essa non potrà prescindere dall'impiego di una base topografica adeguata, sia per ciò che concerne lo stato reale dei luoghi, sia per quanto riguarda la scala di rappresentazione; da una relazione geologica che metta in evidenza l'assetto litologico, stratigrafico, strutturale, geomorfologico, idrologico ed idrogeologico dell'area; da una relazione geotecnica che illustri tutte le attività di indagine svolte in sito ed in laboratorio e che sintetizzi, in termini quantitativi, le caratteristiche degli ammassi rocciosi o i volumi di terre specificando le tecniche ed i metodi usati, tutti i parametri utili relativi ai mezzi investigati (materiale roccia, discontinuità, ammassi rocciosi, terre, acque sotterranee); nel caso di progetti di coltivazione in sotterraneo si dovrà tenere conto anche delle passate attività di scavo.

In sostituzione dei dati di laboratorio potranno essere utilizzati dati relativi ad attività limitrofe o ricavati dalla letteratura solo qualora si possa dimostrare una omogeneità di situazioni geologiche e geotecniche.

La profondità dell'indagine geognostica e l'ampiezza dell'area che dovrà essere interessata saranno proporzionate alla complessità delle condizioni geologiche e geomeccaniche e/o geotecniche dell'area stessa; esse dovranno essere significativamente maggiori di quelle direttamente oggetto di coltivazione, interessando anche unità litologico-tecniche non oggetto di coltivazione mineraria, qualora queste siano comunque coinvolte nei lavori (piste, piazzali, depositi, etc.), oppure siano limitrofe alle unità in lavorazione.

##### **2.2 Le analisi di stabilità**

Una parte fondamentale del Progetto di coltivazione sarà costituita dalle analisi di stabilità, che dovranno essere basate su parametri misurati nel corso dell'indagine geognostica; essi dovranno essere impiegati nelle calcolazioni tenendo conto della più probabile distribuzione statistica dei valori di ogni singolo parametro, evitando quindi approcci deterministici relativamente a caratteristiche di materiali naturali che, per loro costituzione, mostrano sempre campi di variabilità più o meno ampi: tale ampiezza, così come la legge distributiva, sarà definita sulla base dei valori misurati nel corso delle indagini in sito e di laboratorio.

La scelta del metodo di calcolo o del tipo di modello numerico, così come quella sulla opportunità di procedere con simulazioni numeriche in due o tre dimensioni, dipenderanno dalla complessità del problema e dalle caratteristiche geologiche e geotecniche delle formazioni interessate. A titolo esemplificativo, l'estrazione in sotterraneo in presenza di una attività pregressa che abbia portato alla realizzazione di un complesso di gallerie di carreggio, rimonte, camere, ecc. dovrà essere affrontato, indipendentemente dalla complessità geologica, con un modello numerico tridimensionale, l'unico in grado di tener conto della reale situazione tenso-deformativa di luoghi intensamente sfruttati.

Nei lavori in superficie, l'impiego di modelli che non portano alla definizione di un fattore di sicurezza dovrà essere tecnicamente motivato, e dovrà comunque fornire risposte circa la stabilità particolare e generale del sito; i termini tenso-deformativi delle risposte di tali metodi dovranno inoltre essere confortati da misure in sito continue e diffuse.

Le analisi di stabilità saranno condotte considerando tutti i fattori che possono influire sulla stabilità del sito, compresi quelli meteorologici locali (ad esempio con riferimento alle curve normalizzate di precipitazione critica) e quelli legati alle sollecitazioni dinamiche naturali o indotte dall'attività antropica.

Analisi di scendimento di massi saranno predisposte in tutti i casi in cui le condizioni morfologiche e geologico-tecniche del sito lo suggeriscano. Quando la morfologia del pendio di caduta non si presenta «uniforme» sono da preferire le analisi di scendimento «tridimensionali», in cui la traiettoria del masso in caduta non viene stabilita a priori, ma definita in funzione della forma e delle irregolarità del pendio stesso. Poiché le simulazioni di scendimento sono sensibili alla accuratezza con cui è stato rilevato il pendio di caduta, è necessario operare sulla base di un rilievo topografico sufficientemente aggiornato ed accurato (indicativamente, con una spaziatura delle isoipse dello stesso ordine di grandezza del masso di progetto, cioè - frequentemente - dell'ordine di 1 ÷ 2 metri).

##### **2.3 La strumentazione di controllo**

Qualora ritenuto necessario dal Progettista, il Progetto comprenderà anche una strumentazione di controllo. La rete di mi-

sura sarà funzione della complessità geologica e geologico-tecnica del sito, oltre che delle sue dimensioni. Alle misure eventualmente effettuate con acquisizione automatica dovranno accompagnarsi, seppure con una periodicità più ampia, rilevazioni con tecniche manuali le quali permetteranno anche di controllare la veridicità delle acquisizioni automatiche, sia lo stato della strumentazione o almeno della parte accessibile di questa. Il Progetto comprenderà anche indicazioni circa le modalità e la periodicità delle misure.

L'impiego di tecniche di misura o di elaborazione innovative sono auspicabili, ma la loro significatività andrà verificata con un congruo periodo di affiancamento a metodologie già sperimentate e giudicate affidabili.

Le misure dovranno venire catalogate e, insieme ad una loro elaborazione che le renda comprensibili a terzi, conservate in modo da essere disponibili all'Autorità competente.

#### 2.4 Gli interventi di stabilizzazione

Le analisi di stabilità, così come più in generale, le condizioni geologico-tecniche e morfologiche del sito, potranno suggerire la predisposizione di eventuali interventi di stabilizzazione e protezione a diversa scala. Il Progetto di coltivazione dovrà comprendere tipologie, dimensionamenti, tempistiche di tali interventi, i quali potranno essere integrati o rivisti in fase di coltivazione.

#### 2.5 La progettazione degli scavi

Le stesse analisi di stabilità guideranno anche la stesura della parte del Progetto che si occuperà esplicitamente dell'abbattimento del materiale, definendo le geometrie degli scavi, la tempistica di progressione degli stessi, le metodologie di abbattimento e di movimentazione del materiale abbattuto: le nuove geometrie che si otterranno dovranno in ogni caso ed in ogni momento soddisfare i requisiti di stabilità e sicurezza.

A fianco delle tecniche tradizionali di abbattimento, per specifiche tipologie estrattive, potranno essere introdotte tecnologie più recenti, come l'impiego delle malte espansive od il taglio mediante water-jet, delle quali dovrà essere considerata in dettaglio ogni fase della applicazione (ad esempio, nella tecnica di taglio con acqua in pressione, dovrà essere considerato il problema sia dell'approvvigionamento dell'acqua, sia quello del suo corretto smaltimento).

Il Progetto considererà l'influenza degli scavi sul regime delle acque superficiali e prevederà interventi per una loro gestione ottimale; il progetto considererà, altresì, l'eventuale influenza dei lavori sulle acque profonde, anche per scongiurare qualunque eventualità di inquinamento di queste.

#### 2.6 I materiali in mucchio

Il Progetto prevederà anche l'eventuale creazione di depositi di materiale utile in mucchio e di strutture di deposito, temporanee o definitive, di rifiuti minerari. La forma e le dimensioni dei depositi devono sempre essere tali che sia assicurata la stabilità dell'accumulo anche considerando le condizioni più gravose ragionevolmente ipotizzabili per il sito in esame; tali condizioni devono essere verificate con apposite analisi di stabilità. Per le strutture di deposito di rifiuti minerari dovranno essere osservate le disposizioni di cui al d.lgs. 30 maggio 2008, n. 117 (Attuazione della Direttiva 2006/21/CE relativa alla gestione dei rifiuti delle industrie estrattive e che modifica la Direttiva 2004/35/CE).

Per ciò che riguarda l'impiego di esplosivi, la progettazione e l'impiego di bacini di decantazione, la gestione delle emergenze, la gestione dei lavori in altezza, l'istruzione del personale ed il comportamento in aree sismiche, il Progetto farà riferimento alla normativa specifica vigente.

### 3. Limiti di confidenza e progettazione dinamica nella valutazione del rischio

Premesso che, in generale, la valutazione del rischio deve essere intesa come un processo dinamico, basato da un lato sulla determinazione delle caratteristiche dell'ambiente di lavoro e, dall'altro, sulla considerazione degli aspetti organizzativi, della situazione infortunistica e dell'incidenza delle malattie professionali, si può senz'altro affermare che non esistono due realtà estrattive uguali. Da ciò consegue che, per quanto concerne la sicurezza del lavoro in relazione all'oggetto della presente linea guida, occorre una analisi dedicata a ciascuna singola situazione.

Una corretta gestione del rischio deve dunque necessariamente fondarsi su un approccio in due fasi di analisi dei possibili scenari di pericolo, ben distinte anche nel tempo, nell'ambito della

realizzazione dell'obiettivo: la prima viene svolta durante la stesura del Progetto, la seconda durante la conduzione dei lavori.

Risulta allora essenziale che da parte Direttore dei Lavori vi sia una costante verifica circa la conservazione, o meno, delle condizioni di progetto e quindi della validità di questo nei confronti della sicurezza anche nelle condizioni evolutive che sono tipiche dell'industria estrattiva.

Questo è particolarmente vero quando si prendono in considerazione gli aspetti di statica: qui, infatti, il problema diviene ancor più complesso poiché si opera su elementi naturali che, per loro natura, hanno caratteristiche non costanti e comunque sovente non conoscibili a priori con sufficiente dettaglio.

Il progetto deve quindi necessariamente contenere adeguati *limiti di confidenza* (ad esempio in funzione degli aspetti geometrici, così come rispetto alla natura ed alle caratteristiche meccaniche delle formazioni interessate) e precise indicazioni con cui il Direttore dei Lavori possa costantemente raffrontare la situazione per evitarne il superamento. Ciò vale sia in termini di statica generale, ad evitare rischi di collassi generalizzati, sia in termini di rischio di distacchi localizzati che possono comunque coinvolgere singoli lavoratori (quest'ultimo aspetto, anche perché più difficile da valutare a livello predittivo, costituisce causa certamente frequente di infortuni gravi: ne nasce la necessità di rigorosi controlli sui luoghi di lavoro e di periodici interventi di bonifica di eventuali porzioni di materiale instabile).

In tutti i casi in cui venga evidenziato un superamento delle condizioni ipotizzate a livello progettuale, occorre quindi procedere alla sospensione dei lavori e ad una nuova analisi che ridefinisca i parametri operativi di sicurezza nella nuova situazione statica (con un approccio quindi che definiamo di «*progettazione dinamica*»).

#### 4. Esempi di utilizzo di approcci non solo tradizionali nello studio degli ammassi rocciosi

Di seguito si riportano le più significative applicazioni innovative che mostrano la tendenza, attualmente in via di sviluppo, verso approcci non solo deterministici della materia in esame, verso l'impiego di modelli numerici complessi volti ad un miglioramento della capacità di prevedere le condizioni di sicurezza di una parete rocciosa naturale o artificiale e verso l'impiego di strumentazioni di rilevamento innovative.

##### 4.1 L'analisi di sensitività nelle analisi di stabilità.

L'approccio tradizionale nella conduzione di analisi di stabilità in versanti in ammassi rocciosi (ed anche in terre) consiste nel confrontare le forze resistenti con le forze agenti esprimendo tale confronto in termini di fattore di sicurezza.

Da qualche lustro sta sempre più diffondendosi un approccio teso, invece che affidarsi ad un unico valore, ad esprimere in termini di probabilità un determinato problema di stabilità impiegando una analisi di sensitività. In estrema sintesi ciò significa sviluppare una serie di calcoli nei quali ogni parametro significativo dell'ammasso roccioso viene variato sistematicamente all'interno di un intervallo di valori possibile, in modo da determinarne l'influenza sul fattore di sicurezza. L'intervallo di valori possibili viene definito sulla base di prove sperimentali e di misure.

I parametri che tipicamente vanno soggetti a questa trattazione sono, ad esempio, l'angolo d'attrito delle discontinuità, la resistenza a compressione monoassiale del materiale roccia, la giacitura delle discontinuità, il campo tensionale nell'ammasso e i parametri di coesione e angolo d'attrito di questo.

##### 4.2 L'approccio probabilistico nelle classificazioni geomeccaniche

È ben noto come le classificazioni geomeccaniche costituiscono da decenni, soprattutto – ma non solo – nei lavori in sotterraneo, un importante metodo di approccio ai problemi costituiti dalla descrizione compiuta e dalla classificazione, da un punto di vista tecnico, degli ammassi rocciosi. Le classificazioni inoltre consentono di analizzare la stabilità di un scavo sotterraneo o di una parete rocciosa e di decidere eventuali interventi di consolidamento e sostegno. In quanto basate sull'esperienza pregressa di diversi Autori, esse costituiscono il cosiddetto «metodo empirico» di approccio ai temi sopra citati: la descrizione oggettiva di ognuno dei diversi parametri significativi dell'ammasso porta all'attribuzione di coefficienti numerici che, elaborati in modi diversi, portano a loro volta ad un indice di «qualità» dell'ammasso dal quale si ricavano indicazioni di stabilità e di una eventuale necessità di intervento.

In questo percorso ben delineato, si è inserito recentemente (Hack R., Price D. & Rengers N., 2001, 2003) un nuovo sistema classificativo noto come SSPC (A new approach to rock Slope Stability – a Probability Classification) che introduce un approccio probabilistico, usando il metodo Monte Carlo, per verificare l'adeguatezza delle funzioni proposte per l'analisi della stabilità dell'ammasso.

Quanto sopra, insieme ad altri lavori recenti, testimonia come vi sia sempre più la necessità e la tendenza ad una trattazione dei dati che meglio consideri la variabilità intrinseca dei mezzi naturali in esame.

#### 4.3 La modellazione di ammassi rocciosi complessi.

Per l'analisi del comportamento meccanico di un ammasso roccioso, cioè di un sistema composto da blocchi discreti separati da discontinuità, è stato sviluppato agli inizi degli anni '70 (Cundall, 1971) il metodo degli elementi distinti che, tra il 1985 ed il 1988 è stato esteso dallo studio di problemi piani allo studio di problemi tridimensionali.

Alcune caratteristiche del metodo lo rendono particolarmente adatto, rispetto ad altri, per trattare le deformazioni di ammassi rocciosi in quanto i blocchi possono essere soggetti a notevoli rotazioni e spostamenti rispetto agli altri blocchi e le forze che interagiscono tra questi producono cambiamenti nella configurazione geometrica dell'insieme nel tempo.

Il modello deve essere generato tenendo conto delle caratteristiche geometriche e geomeccaniche relative all'ammasso roccioso di interesse.

In tutti i casi in cui la massa rocciosa in esame è tanto estesa, o complessa, da non poter essere rappresentata con un numero limitato di discontinuità, l'analisi numerica basata sugli elementi distinti non ha alternative.

#### 4.4 La modellazione di ammassi rocciosi nel caso di instabilità flessionale

Un altro esempio che mostra l'opportunità di eseguire calcoli con metodi diversi da quello tradizionale dell'analisi all'equilibrio limite è fornito dallo studio dell'instabilità flessionale per carico di punta (buckling). Questo tipo di fenomeno è tipico di rocce sedimentarie stratificate a giacitura subverticale; l'inflessione e la rottura dello strato può avvenire per forze esterne al pendio, per la pressione dell'acqua a tergo, da concentrazione di forze nel piano della lastra, per il peso proprio dello strato.

L'approccio tradizionale al problema prevede di individuare il modo di rottura più probabile, distinguendo normalmente tra instabilità flessionale di una lastra (lo strato) piana, instabilità flessionale di una lastra piana a tre cerniere, instabilità flessionale di una lastra piana a più cerniere, instabilità secondo Timoshenko & Gere ed instabilità flessionale di una lastra curva a tre cerniere.

Considerando la difficoltà che spesso, nella pratica, si pone nella previsione del modello più realistico, appare evidente come un approccio basato sulla modellazione numerica sia preferibile anche nella analisi di questo tipo di instabilità.

#### 4.5 L'impiego di tecniche di rilievo innovative

Negli ultimi anni la tecnica di rilevamento «laser scanning terrestre» è andata progressivamente sviluppandosi, estendendo via via il proprio campo di applicazione e migliorando sia le apparecchiature di rilievo che il software per l'elaborazione dei dati e sono ormai numerose le esperienze maturate anche in ambito geologico-applicativo che hanno mostrato la potenzialità di questa nuova tecnica come ausilio nella raccolta dei dati.

Particolarmente interessanti sono le applicazioni:

1) nella conduzione dei rilievi geomeccanici, come strumento in grado sia di arricchire la quantità e la precisione nell'acquisizione dei parametri geometrici (giacitura delle discontinuità, spaziatura, intercetta, volume roccioso unitario, ecc.) ove la conduzione di un rilievo tradizionale è possibile, sia di estenderne l'acquisizione ad aree di difficile accesso, spesso forzatamente trascurate nella pratica tradizionale di rilievo;

2) nello studio della stabilità dei versanti, sia, in ammassi rocciosi, per l'esecuzione di rilievi geomeccanici in zone di difficile accesso, sia, in terre ed in ammassi rocciosi, per la quantificazione di movimenti lenti;

3) nel rilievo topografico di aree di coltivazione a cielo aperto, permettendo la quantificazione certa dei volumi estratti e la caratterizzazione degli ammassi da coltivare con riferimento alla intensità di fratturazione degli stessi;

4) nel rilevamento dello stato di fatto in gallerie esistenti, anche a seguito di crolli;

5) nello studio della caduta massi, sia per il rilievo delle condizioni geomeccaniche di pareti di distacco di difficile accesso, che per il rilievo accurato della morfologia del pendio di caduta, a tutto beneficio della significatività delle simulazioni relative alle possibili traiettorie dei massi in caduta.

In casi particolari, qualora si determini la necessità di conoscere l'evoluzione nel tempo di movimenti del versante, anche per valutare le necessità di monitoraggio e di stabilizzazione, si può ricorrere all'utilizzo di dati radar satellitari.

(BUR2009017)

**D.g.r. 22 dicembre 2008 - n. 8/8754**

(5.3.3)

**Determinazioni in ordine alle procedure operative per gli infortuni derivanti dalle attività di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi**

#### LA GIUNTA REGIONALE

Vista la legge 11 agosto 1991, n. 266 «Legge quadro sul volontariato»;

Vista la legge 24 febbraio 1992, n. 225 «Istituzione del Servizio Nazionale della protezione civile»;

Vista la legge 8 agosto 1995, n. 339 recante «Disposizioni urgenti per prevenire e fronteggiare gli incendi boschivi sul territorio nazionale» che prevede la possibilità da parte delle Regioni di stipulare apposite convenzioni con il Ministero dell'Interno per l'utilizzo di personale e mezzi del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco;

Visto il d.lgs. n. 112/98 «Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni e agli Enti locali in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1995, n. 59», che conferma la competenza delle Regioni in materia di difesa dei boschi dagli incendi;

Vista la legge 21 novembre 2000 n. 353 «Legge quadro in materia di incendi boschivi» ed in particolare:

- l'art. 3, comma 1, per cui le Regioni approvano il Piano regionale per la programmazione delle attività di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi sulla base delle linee guida e delle direttive deliberate dal Consiglio dei Ministri su proposta del Ministro delegato per il coordinamento della protezione civile;
- gli articoli 5 e 7 della succitata legge n. 353/2000 per i quali le Regioni, negli interventi di formazione e di lotta attiva agli incendi boschivi possano avvalersi di risorse, mezzi e personale del Corpo Forestale dello Stato, del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, delle organizzazioni di volontariato;

Visto il d.P.R. 8 febbraio 2001, n. 194 «Regolamento recante nuova disciplina della partecipazione delle organizzazioni di volontariato alle attività di protezione civile»;

Visto il decreto della Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile – 20 dicembre 2001 «Linee guida relative ai Piani regionali per la programmazione delle attività di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi»;

Visti gli articoli 3 e 4 della l.r. n. 11/98 e successive modifiche ed integrazioni;

Visto l'art. 4, comma 3, della l.r. n. 16 del 22 maggio 2004, per cui la Regione instaura un costante rapporto collaborativi con gli Organi dello Stato, con gli Enti Locali e gli Enti e gli organismi, anche su base volontaria, operanti nell'ambito del territorio regionale in materia di Protezione Civile;

Vista la d.g.r. n. 3949 del 27 dicembre 2006 «Revisione e aggiornamento del Piano regionale delle attività di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi ai sensi della legge n. 353/2000»;

Vista la d.g.r. n. 6962 del 2 aprile 2008 «Procedure operative per le attività antincendio boschivo da effettuarsi sul territorio regionale della Lombardia, ai sensi della legge 21 novembre 2000, n. 353»;

Vista, altresì, la convenzione tra la Regione Lombardia ed il Corpo Forestale dello Stato, in data 7 marzo 2006, n. rep. 8801/RCC del 20 marzo 2006, per le attività di previsione, prevenzione e lotta attiva agli incendi boschivi, (ex d.g.r. n. 1880 dell'8 febbraio 2006);

Considerato che la presente proposta intende precisare le atti-

### Allegato 3

Regolamento n. 2/2015 della Regione Lombardia.

*“Criteri e modalità per il rilascio dell'autorizzazione per gli interventi di valorizzazione del patrimonio minerario dismesso, ai sensi dell'articolo 6, comma 4, della legge regionale 10 dicembre 2009, n. 28 «Disposizioni per l'utilizzo e la valorizzazione del patrimonio minerario dismesso”*

Supplemento n. 12 - Venerdì 20 marzo 2015

**Regolamento regionale 17 marzo 2015 - n. 2  
Criteri e modalità per il rilascio dell'autorizzazione per gli  
interventi di valorizzazione del patrimonio minerario dismesso,  
ai sensi dell'articolo 6, comma 4, della legge regionale  
10 dicembre 2009, n. 28 «Disposizioni per l'utilizzo e la  
valorizzazione del patrimonio minerario dismesso»**LA GIUNTA REGIONALE  
ha approvatoIL PRESIDENTE DELLA REGIONE  
emana

il seguente regolamento regionale:

**Art. 1  
(Finalità)**

1. Il presente regolamento, in attuazione dell'articolo 6, comma 4, della legge regionale 10 dicembre 2009, n. 28 «Disposizioni per l'utilizzo e la valorizzazione del patrimonio minerario dismesso», disciplina i criteri e le modalità per il rilascio dell'autorizzazione per gli interventi di valorizzazione e attività connesse relativi a miniere dismesse o a compendi immobiliari di miniere dismesse, nel rispetto del programma regionale per il recupero e la valorizzazione del patrimonio minerario dismesso, individuando:

- la documentazione tecnica ed amministrativa necessaria al rilascio dell'autorizzazione per gli interventi di valorizzazione del patrimonio minerario dismesso o dei compendi immobiliari delle miniere dismesse, nel rispetto della normativa statale in materia di miniere;
- il procedimento amministrativo per il rilascio dell'autorizzazione regionale.

**Art. 2  
(Definizioni)**

1. Ai fini del presente regolamento s'intende per:

- miniere dismesse o compendi immobiliari di miniere dismesse: miniere o infrastrutture non più interessate da permessi di ricerca o da concessioni minerarie in corso e sezioni di miniere o di compendi immobiliari di cui la Regione ha dichiarato la cessazione dello sfruttamento minerario anche collocate in aree interessate da permessi di ricerca o da concessioni minerarie in corso;
- operatore per l'attività di valorizzazione del patrimonio minerario dismesso, di seguito denominato «operatore»: persona fisica o giuridica la cui attività sia finalizzata alla messa in sicurezza, al recupero funzionale e al riutilizzo a fini di ricerca scientifica, turistici e culturali di miniere dismesse, di sezioni dismesse di miniere in esercizio o di compendi immobiliari di miniere dismesse;
- progetto di valorizzazione del patrimonio minerario dismesso: l'insieme di elaborati, relazioni e valutazioni tecniche finalizzato a determinare le attività di valorizzazione del patrimonio minerario dismesso, nel rispetto dei principi di salvaguardia della sicurezza dei territori interessati, nonché di salvaguardia della salute e della sicurezza dei lavoratori e dei visitatori dei siti minerari dismessi o dei compendi immobiliari di miniere dismesse oggetto di valorizzazione;
- programma di valorizzazione del patrimonio minerario dismesso: documentazione tecnica e amministrativa relativa alle azioni proposte dall'operatore per l'esercizio dell'attività di valorizzazione del patrimonio minerario dismesso;
- intervento di valorizzazione: attività relativa alla messa in sicurezza di miniere dismesse o di compendi immobiliari di miniere dismesse e al successivo esercizio nel rispetto del programma di valorizzazione del patrimonio minerario dismesso;
- autorizzazione alla valorizzazione del patrimonio minerario dismesso, di seguito «autorizzazione»: autorizzazione rilasciata dalla competente struttura regionale per l'esercizio di una attività di valorizzazione del patrimonio minerario dismesso o di compendi immobiliari di miniere dismesse;
- organo di vigilanza: il dirigente della struttura regionale competente in materia di polizia delle miniere.

**Art. 3  
(Autorizzazione)**

1. Gli interventi di valorizzazione a fini di ricerca scientifica, turistici e culturali di cantieri di miniere dismesse o di compendi immobiliari di miniere dismesse sono soggetti ad autorizzazione regionale, nel rispetto del programma regionale, ai sensi dell'articolo 6, comma 2, della l.r. 28/2009.

2. L'autorizzazione di cui al comma 1 è rilasciata anche per gli interventi di valorizzazione relativi a cantieri dismessi di miniere in fase di coltivazione o interessate da permessi di ricerca ancora vigenti, purché sia garantito l'isolamento tecnico e funzionale di tali cantieri dai restanti cantieri minerari in esercizio.

3. Qualora l'isolamento tecnico e funzionale non possa essere garantito, in sede di istanza di autorizzazione dovrà essere presentata, per l'approvazione, una proposta di convenzione tra il concessionario della miniera o il titolare del permesso di ricerca e l'operatore, contenente la regolazione dei rapporti tra le due attività, mineraria e di valorizzazione, a garanzia della sicurezza dei lavoratori e dei visitatori presenti.

4. Qualora non sia possibile una separazione delle attività minerarie e di valorizzazione dei cantieri dismessi oggetto di valorizzazione, la concessione mineraria, di cui al regio decreto 29 luglio 1927, n. 1443 «Norme per la coltivazione delle miniere», per lo sfruttamento integrato, minerario e a fini di ricerca scientifica, turistici, culturali e sociali del giacimento minerario può essere rilasciata al solo concessionario.

5. Qualora sia possibile la separazione delle attività minerarie e di valorizzazione di cui al comma 4, il concessionario, se interessato allo sfruttamento integrato del giacimento minerario, deve chiedere l'autorizzazione di cui al presente regolamento.

**Art. 4  
(Presentazione dell'istanza di autorizzazione)**

1. Il richiedente l'autorizzazione deve presentare alla struttura regionale competente istanza in bollo, allegando la seguente documentazione:

- attestazione della disponibilità delle aree e degli immobili destinati ad attività di valorizzazione del patrimonio minerario dismesso;
- programma di valorizzazione del patrimonio minerario dismesso comprendente:
  - documento organizzativo dell'attività di valorizzazione, comprensivo degli ordini di servizio per la gestione ordinaria degli accessi dei visitatori al sito minerario dismesso ed ai relativi compendi immobiliari in condizioni di sicurezza;
  - documento organizzativo per la gestione delle emergenze gestionali;
  - documento organizzativo per le emergenze antincendio;
  - schema degli impianti elettrici e di comunicazione in sotterraneo e con l'esterno;
  - schema dell'impianto di ventilazione;
  - obiettivi di formazione per il personale;
  - criteri per l'organizzazione del servizio di manutenzione delle gallerie e dei vuoti di coltivazione e per l'educazione delle acque sotterranee;
  - schema di organizzazione dei trasporti del personale e dei visitatori;
  - elenco delle macchine utilizzate per l'attività di valorizzazione;
  - programma di monitoraggio relativo al mantenimento delle condizioni di progetto, con particolare riferimento alla ventilazione e alla stabilità dei vuoti sotterranei;
- documentazione attestante l'appartenenza del sito e dei relativi compendi immobiliari dismessi oggetto di valorizzazione ad una attività mineraria dismessa;
- relazione dalla quale risulti la fattibilità tecnico-economica dell'intervento di valorizzazione;
- progetto di valorizzazione della miniera dismessa o del compendio immobiliare di una miniera dismessa, comprendente:
  - inquadramento territoriale;
  - relazione geologica e geomorfologica;
  - inquadramento storico;

4. inquadramento amministrativo e urbanistico;
5. inquadramento botanico-vegetazionale e paesaggistico per le aree esterne;
6. descrizione dello stato attuale della miniera dismessa o del compendio immobiliare di miniera dismessa oggetto di intervento di valorizzazione;
7. rilievo topografico aggiornato dell'area interessata alla valorizzazione in scala opportuna e dei percorsi utilizzabili a cielo aperto;
8. valutazione della stabilità globale e locale dei fronti relictivi di scavo, dei vuoti minerari e delle gallerie, ai sensi della d.g.r. n. 8749 del 22 dicembre 2008;
9. collegamenti con la viabilità ordinaria;
10. piano delle opere infrastrutturali da realizzare o oggetto di sistemazione e relativo progetto, delle opere di recupero e miglioramento ambientale, con descrizione del recupero morfologico e delle opere botanico-vegetazionali, in funzione della tipologia prevista dell'intervento di valorizzazione e delle opere per la messa in sicurezza del sito ai fini della salute e della sicurezza dei lavoratori e dei terzi interessati, comprese le opere di consolidamento statico dei vuoti sotterranei;
11. verifica del potenziale accumulo di acqua nei cantieri minerari dismessi a quote superiori a quelle di intervento;
12. studio, per i soli siti estrattivi dismessi in sotterraneo, relativo al sistema di ventilazione;
13. progetto dell'impianto di ventilazione;
14. business plan: elenco degli investimenti relativi agli interventi di cui ai punti precedenti.

**2.** La documentazione tecnica di cui al comma 1, ove necessario, deve essere predisposta da tecnico abilitato.

**3.** Nel caso in cui l'attività di valorizzazione a fini di ricerca scientifica, turistici, culturali e sociali di cantieri dismessi o di compendi immobiliari di miniere dismesse, ricada all'interno di aree interessate da permesso di ricerca o da concessione mineraria in corso, così come previsto all'articolo 6, comma 1, della l.r. 28/2009, l'operatore allega all'istanza di autorizzazione, oltre a quanto previsto dal comma 1, il nulla osta del titolare del permesso di ricerca o della concessione mineraria, nonché una dichiarazione del direttore responsabile designato dal titolare della concessione mineraria o del permesso di ricerca, dell'isolamento tecnico e funzionale tra interventi di valorizzazione e quelli di coltivazione o ricerca mineraria in essere.

**4.** Qualora non sia possibile mantenere l'isolamento tecnico e funzionale tra l'intervento di valorizzazione e l'attività mineraria, l'istanza di autorizzazione deve essere sottoscritta anche dal titolare della concessione mineraria o del permesso di ricerca, e la documentazione di cui al comma 1 deve prevedere il necessario coordinamento tra le due attività.

## Art. 5

### (Procedimento amministrativo)

**1.** L'autorizzazione è rilasciata dalla struttura regionale competente in materia di polizia delle miniere entro novanta giorni dalla data di presentazione dell'istanza, previo parere del comune o dei comuni interessati, che deve essere rilasciato entro trenta giorni dalla data di richiesta. Decorsi inutilmente i trenta giorni il parere si intende favorevole.

## Art. 6

### (Obblighi dell'operatore)

**1.** Si applicano alle attività di valorizzazione di miniere dismesse o di compendi immobiliari di miniere dismesse le disposizioni di cui al decreto del Presidente della Repubblica 9 aprile 1959, n. 128 «Norme di polizia delle miniere e delle cave», ai sensi dell'articolo 6, comma 5, della l.r. 28/2009. Le comunicazioni e le denunce previste dalla normativa in materia di tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori dovranno essere trasmesse all'organo di vigilanza.

E' fatto obbligo a chiunque spetti di osservarlo e farlo osservare come regolamento della Regione Lombardia

Milano, 17 marzo 2015

Roberto Maroni

(Acquisito il parere della competente Commissione consiliare nella seduta del 5 febbraio 2015 e approvato con deliberazione della Giunta regionale n. X/3260 del 16 marzo 2015)

ISBN 978-88-448-1039-9