

Finalità e tecniche di monitoraggio geotecnico nelle cave in sotterraneo di pietra ornamentale

Original

Finalità e tecniche di monitoraggio geotecnico nelle cave in sotterraneo di pietra ornamentale / DEL GRECO, O; Oggeri, Claudio. - STAMPA. - (2006), pp. 95-100. (Intervento presentato al convegno Le cave in sotterraneo tenutosi a Torino nel 20-21 giugno 2006).

Availability:

This version is available at: 11583/1412262 since: 2023-02-14T14:47:50Z

Publisher:

GEAM

Published

DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

FINALITA' E TECNICHE DI MONITORAGGIO GEOTECNICO NELLE CAVE IN SOTTERRANEO DI PIETRA ORNAMENTALE

O. DEL GRECO¹, C. OGGERI¹

¹ DITAG, Politecnico di Torino, Italia

Abstract

Gli esempi sempre più numerosi di coltivazioni in sotterraneo di pietre ornamentali indicano la necessità di una “progettazione” delle coltivazioni che prenda nella giusta considerazione gli aspetti geotecnici connessi alla stabilità dei vuoti. In tal senso, quindi, si vanno sempre più affermando gli impieghi dei metodi più aggiornati sia nella fase di caratterizzazione geotecnica delle formazioni naturali, sia in quella dell’analisi statica con modelli numerici sia, infine, nel controllo in corso d’opera con l’adozione di sistemi di monitoraggio strumentale. In particolare, la nota riassume le finalità del monitoraggio e le usuali circostanze in cui esso può essere realizzato. Le tecniche di misura e le strumentazioni adottate devono rispondere a criteri di semplicità, robustezza ed affidabilità, anche tenendo conto dell’evoluzione geometrica degli scavi e della ridotta presenza, in generale, di strutture di sostegno artificiali. Sulla scorta di alcuni significativi esempi di applicazione in cave dell’area italiana ed europea si riassumono alcune considerazioni utili per affrontare in maniera affidabile il controllo della stabilità di grandi vuoti sotterranei.

1. Introduzione

Le cave di rocce ornamentali vengono coltivate sia a giorno, sia in sotterraneo. In particolare in quest’ultima decade si è accentuata la tendenza alla coltivazione in sotterraneo, nel senso dello sviluppo di cave precedentemente coltivate a giorno, come pure dell’avvio di nuove coltivazioni direttamente in sotterraneo. Le ragioni di questo sviluppo sono connesse all’attenzione sempre maggiore rivolta alla protezione dell’ambiente e al recupero di aree già compromesse, specie in regioni densamente popolate, come l’Italia, ed in ambiti montani, dove si devono assicurare condizioni di stabilità dei versanti o dove le masse rocciose utili sono ricoperte da potenti strati di coperture sterili. A queste considerazioni devono aggiungersi altre di tipo tecnico-economico che, in molti casi, rendono le coltivazioni in sotterraneo anche più convenienti di quelle a giorno.

Tra i numerosi elementi da considerare al momento della scelta verso una coltivazione in sotterraneo, quelli più significativi riguardano:

- 1) la condizione strutturale della massa rocciosa, che deve possedere buone caratteristiche geotecniche, sia per ciò che riguarda il materiale roccioso, sia per il grado di continuità della massa. Tali condizioni sono intrinsecamente verificate in un giacimento di rocce ornamentali, anche se possono esistere situazioni critiche localizzate, come l’occasionale presenza di sottili strati con riempimenti argillosi;
- 2) la possibilità di adottare anche in sotterraneo sistemi di taglio meccanizzato per la separazione di blocchi regolari di roccia;
- 3) il confronto economico con la coltivazione a giorno, rispetto alla quale è generalmente possibile un minor recupero di materiale utile (dovendo lasciare porzioni di roccia a sostegno dei vuoti) ma con un risparmio elevato nella rimozione di masse di copertura (specie in formazioni utili al di sotto di potenti coltri di depositi morenici) e nella relativa messa a discarica. Altri vantaggi economici si riscontrano nei minori oneri per le opere di recupero ambientale;
- 4) la necessità di una maggiore salvaguardia delle condizioni ambientali, specie delle caratteristiche paesaggistiche, e di assicurare le condizioni di stabilità dei pendii in ambito montano.

Nel successivo progetto della coltivazione in sotterraneo si dovranno poi prendere in considerazione i seguenti aspetti geomeccanici: le caratteristiche dei litotipi; le condizioni strutturali della massa rocciosa utile (l’incidenza delle discontinuità, la loro resistenza a taglio, etc.); la morfologia del soprasuolo, che condiziona l’accessibilità al

giacimento e lo stato tensionale nella massa rocciosa. La conoscenza di tali elementi permette di dimensionare le strutture di scavo che devono rispondere a requisiti di: stabilità a lungo termine; uso limitato di opere di sostegno; dimensione ampia dei vuoti per ottenere un'elevata produttività nella coltivazione.

Effettivamente, alcune delle considerazioni qui esposte valgono anche per altri tipi di coltivazioni in sotterraneo (gessi, sali, calcari, graniti, feldspati), le quali richiedono una più ampia disamina per tener conto delle ulteriori specificità.

Le coltivazioni in sotterraneo di pietre ornamentali oggi esistenti riguardano rocce sedimentarie ed alcune rocce metamorfiche di resistenza non elevata, mentre il taglio meccanizzato in sotterraneo di rocce ad elevata resistenza presenta ancora eccessivi ostacoli tecnici ed economici.

La distribuzione geografica dei centri produttivi in sotterraneo vede le maggiori concentrazioni in Italia (Alpi Apuane, Val d'Aosta, Alto Adige, Lombardia, etc.), negli Stati Uniti (Vermont) e in Portogallo (Alentejo). Altri centri estrattivi si trovano in Grecia, Croazia, Spagna, Austria e Norvegia.

2. Caratteristiche geomeccaniche per una coltivazione in sotterraneo

Un giacimento di pietra ornamentale da coltivazione sotterranea deve, in genere, possedere requisiti di maggiore continuità e uniformità rispetto alle condizioni sufficienti per una coltivazione a giorno. Ciò perché le minori superfici liberate dagli scavi consentono più stretti margini di selezione rispetto ad un fronte gradonato a giorno, lungo il quale è più agevole individuare le zone a diversa fratturazione.

Questi aspetti rivestono anche un particolare interesse poiché la produttività della coltivazione dipende anche dalla orientazione relativa delle camere di coltivazione e delle discontinuità presenti nella massa rocciosa. Per questo il recupero della coltivazione non supera generalmente il 65-70%, dovendo lasciare in posto elementi rocciosi di sostegno dei vuoti (pilastri o diaframmi) le cui dimensioni dipendono dalla resistenza della roccia, dallo stato di tensione originario e dall'entità del fattore di sicurezza adottato.

Il recupero di blocchi, ovvero la percentuale di volumi rocciosi di interesse commerciale rispetto al volume recuperato di giacimento, tende, a sua volta, da un minimo del 10% sino all'80% in caso di rocce sedimentarie particolarmente continue ed omogenee (Fig.1).

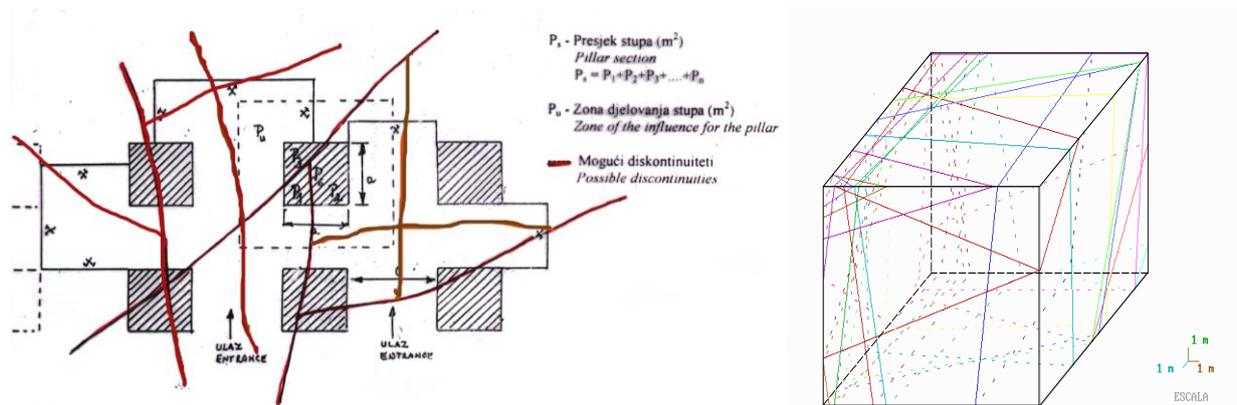


Figura 1. A sinistra si riporta lo schema planimetrico di tracce di discontinuità naturali progressivamente esposte dagli scavi di una cava poco profonda in calcare (Pietra d'Istria). Schemi di tale genere consentono di disporre di un pratico ausilio nella fase di scelta delle installazioni della strumentazione di controllo e per una utile collocazione dei sostegni naturali (pilastri) lasciati in posto. In realtà, oggi, spesso si accetta una condizione anche più sfavorevole in termini di fratturazione pur di avere a disposizione uno schema geometrico regolare dei pilastri, soprattutto laddove si preveda di realizzare più livelli sovrapposti. Non altrettanto avveniva in passato, ove la ricerca del massimo recupero portava ad abbandonare pilastri o diaframmi in modo irregolare.

A destra si riporta invece, ancora in termini schematici, il modello geometrico di un volume di roccia rappresentativo di un singolo cantiere di coltivazione ove le varie discontinuità sono raffigurate nella loro mutua interferenza. Tale modellazione è alla base di una ricostruzione geometrica e preventiva per meglio valutare l'impostazione generale dello scavo, e statistica a posteriori utile al fine della verifica del recupero dei blocchi.

La condizione statica delle strutture rocciose in una coltivazione a camere e pilastri dipende dalla concentrazione delle tensioni nei pilastri e nella corona delle camere, dalle caratteristiche di resistenza della formazione rocciosa e dall'orientazione relativa delle discontinuità presenti rispetto alle superfici libere degli scavi in sotterraneo.

Prendendo in considerazione quest'ultimo aspetto, si riscontrano diverse possibili situazioni.

Nel caso della presenza di un rilevante sistema di discontinuità sub-orizzontali, le maggiori conseguenze possono presentarsi nella corona delle camere, dove è possibile la formazione di una "falsa corona" quando le discontinuità isolano strati "sottili" al tetto dei vuoti. Tali casi si possono riscontrare al contatto della roccia utile con le formazioni incassanti (bacino delle ardesie liguri, bacino della Pietra del Cardoso).

Il progressivo ribasso delle camere rende sempre meno accessibile le corone e più difficile il loro controllo. In tal caso un bullonaggio attivo può essere una soluzione tecnica al problema di possibili distacchi (fig.2).



Fig.2. Esempio di vecchie coltivazioni in oficalciti di grande pregio commerciale (Verde Patrizia, valle di Gressoney –AO): nella foto a) si osserva l’irregolare distribuzione dei pilastri, talora anche molto snelli; nella foto b) è visibile una importante discontinuità subverticale che interessa completamente il pilastro posto a sinistra. La copertura è variabile da 40 a 90 m, e la cava ha disposizione parietale.

Il dimensionamento delle opere di sostegno dipende quindi dallo spessore dello “strato” delimitato dalle discontinuità e dall’ampiezza delle camere, tenendo anche conto dell’eventuale presenza di discontinuità subverticali che possono indurre l’instaurarsi di un “effetto arco” al tetto della camera. Le discontinuità orizzontali che intersecano i pilastri non hanno, generalmente, una significativa influenza sulla loro resistenza, a meno che il pilastro sia relativamente snello e che i carichi siano disassati rispetto allo sviluppo verticale del pilastro.

La presenza nella massa rocciosa di discontinuità mediamente inclinate non comporta, in genere, problemi di stabilità nella corona dei vuoti, eccetto il caso della formazione di cunei rocciosi potenzialmente rimovibili, quando si intersecano discontinuità a diversa giacitura.

Queste situazioni, peraltro non molto frequenti, possono essere sanate agevolmente o con l’asportazione preventiva del blocco o con il suo consolidamento con interventi locali (quale la bullonatura attiva).

Più significativa è, invece, l’influenza delle discontinuità inclinate quando intersecano pilastri rocciosi, giacché viene mobilitata la resistenza a taglio lungo le discontinuità stesse (fig.3a). In questi casi, gli interventi di stabilizzazione (generalmente il bullonaggio laterale del pilastro) richiedono un progetto che tenga conto delle dimensioni del pilastro, della sua area di influenza, delle caratteristiche di resistenza a taglio della discontinuità.

Le discontinuità con giacitura subverticale (3b) possono avere un’influenza notevole sulla statica dei pilastri e dei diaframmi, specialmente, com’è intuibile, quando tali strutture di sostegno si sviluppano sempre più in verticale con i successivi ribassi della coltivazione. In particolare, poi, questa influenza si accentua quando i pilastri sono prossimi alla superficie esterna del pendio, perché ciò genera carichi eccentrici rispetto all’asse dei pilastri. In questi casi è opportuno prevedere una posizione dei diaframmi in modo tale che le discontinuità li intersechino trasversalmente e che i diaframmi stessi presentino l’asse longitudinale parallelo alla direzione di immersione del pendio esterno.

Altri due casi di interesse riguardano la presenza di tetti stratificati e di carsismi. La prima evenienza si ha nelle cave di ardesie, di arenarie, di calcari, laddove cioè le modalità di formazione geologica evidenziano la struttura sedimentaria della massa rocciosa. Il controllo degli spostamenti delle lastre rocciose a tetto e la loro delimitazione in termini geometrici divengono quindi uno degli obiettivi dell’indagine geomeccanica preventiva (rilievi geologico-strutturali, rilievi geofisici) e del monitoraggio durante gli scavi (misure fessurimetriche, distometriche, estensimetriche e di carico sui sostegni artificiali).

La seconda evenienza (presenza di carsismi o vuoti di forma e ubicazione irregolare) si riscontra principalmente nelle masse rocciose calcaree e marmoree. Questi vuoti comportano, in relazione ovviamente alla loro forma e dimensioni, problemi di distacchi qualora vadano ad isolare scaglie parietali sottili, oppure quando al loro interno possano veicolare detriti o acqua; inoltre possono rendere molto problematica la funzionalità di interventi di sostegno quali bulloni e tiranti.



a)



b)

Fig.3. Nel caso 3a si nota la base di un pilastro di una grande camera di una cava di marmo delle Alpi Apuane presso Arni, interessato da una discontinuità fortemente inclinata ed altresì posta trasversalmente rispetto ai lati del pilastro stesso. Tale situazione va riguardata con particolare attenzione in previsione del ribasso della bancata posta a sinistra del pilastro, allorquando verrà liberata la base di questo e con essa la possibilità cinematica di un distacco repentino ed incontrollato di una porzione molto estesa di roccia. Nel caso 3b siamo ancora nelle oficalciti della Val d'Aosta, presso Chatillon: un'ampia discontinuità separa grandi porzioni di roccia sino in superficie (copertura circa 30 m), e si rende necessaria la preventiva pulizia del riempimento per ragioni di sicurezza.

3. Misure di monitoraggio

Riguardo al monitoraggio di scavi sotterranei nella coltivazione di pietre ornamentali possono individuarsi tre principali finalità:

- a) la validazione, attraverso back-analysis, delle ipotesi adottate in fase di progetto mediante modelli numerici delle strutture;
- b) il controllo delle condizioni di sicurezza delle strutture intese come gli scavi nella massa rocciosa e le opere di sostegno;
- c) il controllo dell'evoluzione dello stato di tensione nella massa rocciosa al contorno degli scavi e le sue condizioni geostrutturali.

È importante comunque osservare che tali finalità non sono da considerare separatamente l'una dall'altra, ma tutte si integrano fra loro e concorrono alla migliore interpretazione delle misure per ottenere un quadro realistico della situazione.

Le grandezze fisiche misurate direttamente con le operazioni di monitoraggio sono spostamenti di parti significative delle strutture, tensioni nel corpo della massa rocciosa o nelle opere continue di sostegno, forze nelle opere di sostegno a carattere puntuale.

Le misure di spostamento riguardano più spesso i movimenti relativi tra i lembi interfacciati di una discontinuità. Per tali misure si utilizzano strumenti detti "fessurimetri", costituiti da estensimetri rimovibili, generalmente di tipo meccanico, oppure estensimetri fissi (a barra o a filo, per le basi di misura più lunghe) attrezzati con un trasduttore potenziometrico.

Gli estensimetri meccanici sono economici, affidabili, precisi e più robusti, ma non consentono misure continue nel tempo; quelli potenziometrici e fissi richiedono un maggior investimento (ogni punto di misura richiede una sua strumentazione), sono ugualmente affidabili e precisi, ma risentono maggiormente di avverse condizioni ambientali (specie l'umidità); essi hanno però il grande vantaggio di fornire misure continue e senza l'accesso di un operatore, e sono quindi più adatti alla funzione del controllo delle condizioni di sicurezza.

Le situazioni tipiche di installazione di fessurimetri sono quelle del controllo di significative discontinuità che intersecano un pilastro roccioso, le pareti o la corona di una camera in cui sono presenti blocchi di potenziale scivolamento o distacco gravitativo.

Altre misure di movimenti possono riguardare la convergenza delle pareti al contorno di uno scavo, specie nella zona di imbocco, dove maggiori sono i gradi di libertà. Allo scopo possono utilizzarsi utilmente un distometro rimovibile a nastro o sistemi che fanno uso di strumenti topografici e ottici e capisaldi meccanici.

Meno frequenti e riservate a situazioni che richiedono un particolare approfondimento delle indagini sono le misure di deformazione della massa rocciosa eseguite con estensimetri posti in fori praticati al contorno di vuoti sotterranei. Le misure estensimetriche in foro possono essere eseguite con strumenti fissi a con l'uso di una

sonda rimovibile. Gli estensimetri fissi sono barre metalliche ancorate a diverse distanze dal contorno del vuoto, che rilevano lo spostamento relativo tra il punto di ancoraggio e la bocca del foro mediante trasduttori meccanici (comparatori rimovibili) o potenziometrici.

Le sonde estensimetriche da impiegare in masse poco deformabili come quelle in esame, fanno uso di un trasduttore molto sensibile (tipo LVDT, inserito in uno strumento) che si sposta tra caposalda fissati lungo il foro, alla distanza generalmente di 1 metro, fra i quali misura gli spostamenti relativi.

Tutte le misure di spostamento di cui si è detto sinora, come pure gli altri tipi di monitoraggio di cui si dirà successivamente, devono essere correlate alle fasi di progressiva evoluzione degli scavi (geometria e cronologia) e alle locali condizioni geostrukturali della formazione rocciosa. Solo a queste condizioni le misure sono realmente significative e la loro interpretazione risulta utile per il conseguimento delle finalità indicate all'inizio di questo paragrafo.

Per la misura dello stato di tensione originario nella massa rocciosa può essere impiegato un metodo basato sul rilascio tensionale nell'intorno di un foro (metodi "doorstopper", CSIR, CSIRO). Questa categoria di metodi di misura si presta particolarmente bene all'impiego in masse poco fratturate come quelle delle pietre ad uso ornamentale. In condizioni ove le discontinuità presentino giaciture regolari e siano prevalentemente chiuse si può altresì applicare la tecnica della fratturazione idraulica (HF e HTPF). Nell'interpretazione di queste misure è particolarmente auspicabile la collaborazione tra il progettista ed il geologo che potrà fornire importanti indicazioni sull'eventuale esistenza di stati tensionali anomali rispetto alla condizione geostatica.

Lo stato tensionale indotto dagli scavi di coltivazione nei pilastri e diaframmi di sostegno dei vuoti può invece essere determinato con la tecnica del ripristino tensionale ottenuto con martinetti piatti inseriti in intagli sottili (fig.4). Con questo metodo è opportuno eseguire le misure in numerosi punti specie quando i carichi non sono assiali rispetto all'asse dei pilastri (è il caso di vuoti prossimi alla superficie esterna in pendici di aree montane). Ancora per la misura dello stato tensionale indotto possono utilizzarsi strumentazioni fisse posizionate in fori praticati nelle strutture rocciose di sostegno. Questi strumenti possono impiegare trasduttori a corda vibrante o trasduttori idraulici a diaframma.

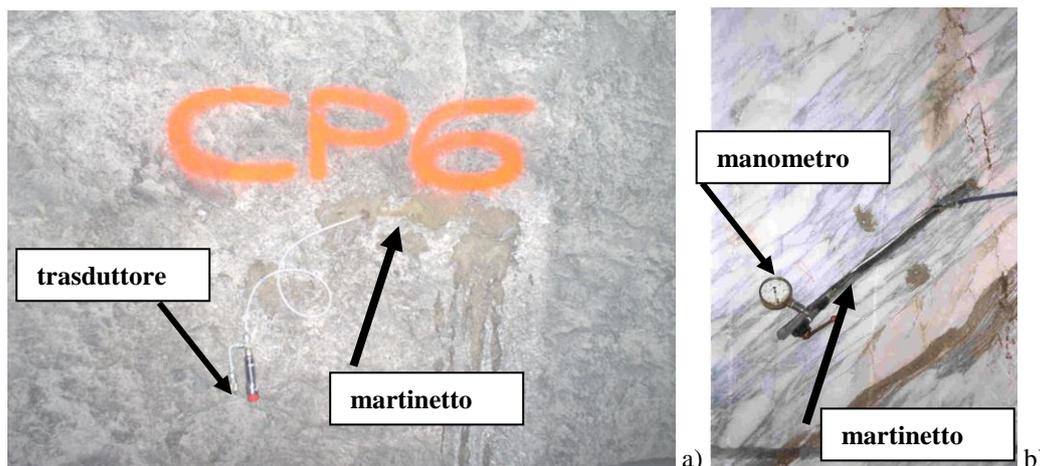


Fig.4. 4a) Installazione di martinetto piatto sulla parete di un pilastro in una coltivazione per camere e pilastri, su livelli, in una cava di gesso. In tale roccia, modellabile con un continuo, prevale il carattere di omogeneità, mentre in molte circostanze l'uso del martinetto soffre di alcune controindicazioni: contrasto di rigidezza, disomogeneità della roccia, differimento nei tempi di installazione nell'istante di installazione, rappresentatività della misura parietale in ragione della non omogenea distribuzione trasversale delle sollecitazioni nei pilastri o nei diaframmi (possono cioè aversi sia concentrazioni sia detensionamenti corticali). Va anche considerato che le misure tensionali sono sempre problematiche, in quanto fortemente condizionate dalla struttura discontinua locale e dalla volumetria coinvolta dai diversi tipi di strumentazione e, quindi, dalla conseguente rappresentatività della misura. 4b) Nel caso dell'Arabescato Corchia, in virtù della macrostruttura del materiale e dell'orientazione della stessa (inclinata di circa 45°), è stato utilizzato un martinetto di grandi dimensioni (circa 35 cm di lato) installato nel pilastro lasciato in posto; le misure sono poi ripetute nel tempo e correlate con l'evoluzione degli scavi.

Infine, nel caso di sostegno di vuoti con tiranti e bulloni attivi, peraltro limitati a situazioni specifiche, l'evoluzione degli scavi può essere correlata allo sviluppo dello stato tensionale utilizzando celle dinamometriche anulari montate all'estremità stessa dei tiranti in prossimità del punto di tensionamento (fig.5). Questi strumenti fanno uso di trasduttori resistivi o a corda vibrante. Nel caso di bulloni a barre possono inoltre impiegarsi estensimetri resistivi montati direttamente sulle barre, di cui è necessario conoscere il modulo elastico per risalire allo stato tensionale.

4. Conclusioni

La progettazione e la coltivazione delle cave in sotterraneo, anche di quelle per pietre ornamentali, sono valisamente coadiuvate da indagini e monitoraggi geotecnici: la progettazione per quanto attiene alla conoscenza di taluni parametri di ingresso (stato tensionale, deformabilità, condizione strutturale), la coltivazione per quanto

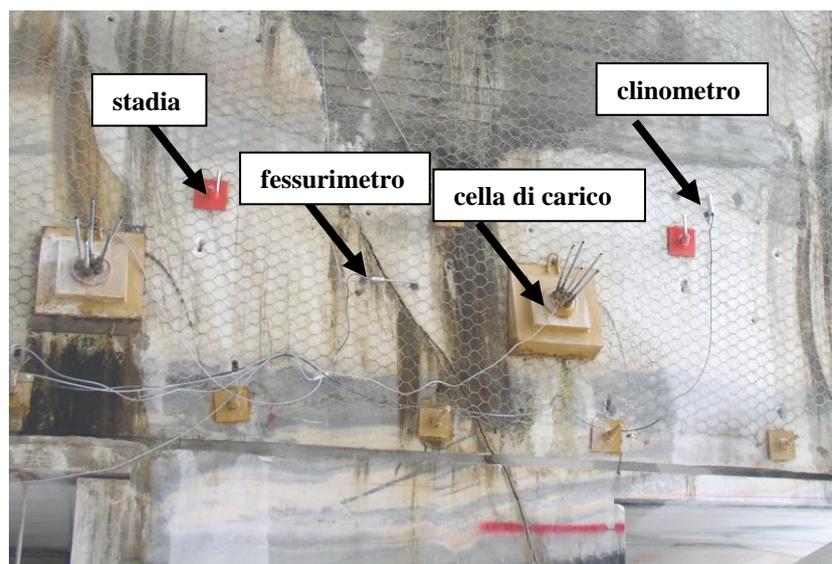


Fig.5. Su una parete verticale di una caverna di coltivazione di marmo (Candoglia) è possibile distinguere diversi tipi di strumentazione: ministadia per battute topografiche eseguite con teodolite o stazione totale (convergenze), fessurimetro (apertura discontinuità principali), celle di carico (tensionamento trefoli tiranti), clinometro (inclinazione parete). I diversi strumenti possono essere alimentati e letti indipendentemente oppure possono essere asserviti ad un'unità centrale locale (datalogger); infine, le varie letture, se rese automatiche, possono essere "scaricate" localmente o trasferite via cavo, via modem telefonico o via radio ad una postazione remota.

riguarda il controllo della stabilità.

Il monitoraggio, per una sua affidabile applicazione, deve prevedere: 1) individuazione del fenomeno (cinematismo locale – parietale o a tetto - in corrispondenza di discontinuità, deformazione e convergenza di strutture di sostegno naturali, variazione di carichi sui rinforzi); 2) definizione degli ordini di grandezza attesi per i vari fenomeni; in genere i movimenti attesi sono al più pluricentimetrici, in ragione del carattere elasto-fragile della roccia e della struttura discontinua della massa rocciosa interessata dagli scavi. E' quindi opportuno scegliere strumenti ad elevata precisione e risoluzione, anche se con ridotti valori di fondo scala, e curarne particolarmente l'installazione. Per il controllo dei tetti degli scavi è inoltre necessario disporre di misurazioni in diverse direzioni (trasversale ai giunti in superficie ed ortogonali agli strati in profondità), frequenti ed accurate, data la possibilità di rapide evoluzioni delle instabilità; 3) scelta della strumentazione, adeguata ai tempi previsti ed alla dislocazione dei cantieri, se possibile adottando anche il criterio della ridondanza; in particolare si deve tener conto dell'eventuale progressiva inaccessibilità delle strumentazioni per letture dirette, nonché la presenza di eventuali strumenti a filo che possono interferire con i cantieri e con il transito; 4) scelta del metodo di acquisizione delle misure e loro correlazione con l'avanzamento degli scavi nonché con le condizioni geostrutturali della roccia; contrariamente ad altre tipologie di scavo, le cave in sotterraneo sono comunemente "concentrate" sul territorio, agevolando in tal modo l'installazione di strumentazione fissa per l'acquisizione automatica dei dati. In tal modo si può incrementare la frequenza di lettura, anche se data la lenta evoluzione degli scavi questo raramente costituisce un deterrente all'impiego del monitoraggio, ma soprattutto consente di svincolare tali misurazioni dalle disponibilità del cantiere. Per le acquisizioni, oltre alla misura diretta su strumentazione meccanica, ci si può avvalere di acquisitori portatili singoli o multicanale oppure di datalogger installati in cava e funzionanti autonomamente.

In definitiva, considerate le crescenti dimensioni dei vuoti in sotterraneo e delle obiettive condizioni geostrutturali riscontrate nei diversi bacini su cui si è formata l'esperienza nel settore e le doverose esigenze di sicurezza nei cantieri, si ritiene di dover sottolineare la necessità dell'adozione di tecniche di monitoraggio, soprattutto tenendo in conto che, spesso, ciò si pone come contraltare al ridotto impiego di sostegni artificiali e quindi alla necessità di essere in grado di seguire l'evoluzione "naturale" delle strutture residuali in roccia.

5. Bibliografia

- Del Greco O., Fornaro M., Oggeri C. (1995). *Improvement of dimension stone exploitation using structural analysis*. Proc. Int. Symposium "Mechanics of jointed and faulted rocks" (MJFR), Wien, Balkema, 841-845.
- Del Greco O., Fornaro M., Oggeri C. (1999). *Underground dimension stone quarrying: rock mass structure and stability*. Proc. Int. Symposium on Mining Science and Technology, Beijing, Balkema, 385-390.
- Oggeri C., Vinai R. (2003). *Analisi geomeccaniche per la stabilità degli scavi in sotterraneo della Pietra del Cardoso*. Rivista GEAM, Torino, anno XL, n.3, 55-61.