

Modalità di esecuzione degli scavi

Si premette che sull'area nella quale si andranno a realizzare gli scavi insisteva un'antica cava il cui materiale fu utilizzato dai Veneziani per la costruzione delle mura di difesa della Bergamo Alta.

Abbandonati i lavori di scavo la cava fu lentamente riempita con inerti, laterizi e calcinacci in genere ed a fine 1700 fu completato il pendio attualmente esistente. Da qui la richiesta della Soprintendenza Archeologica di poter ispezionare questo materiale di riporto che potrebbe contenere oggetti di interesse storico.

Premesso inoltre che dalle indagini geognostiche dirette eseguite mediante sondaggi a carotaggio continuo per appurare la consistenza delle varie stratigrafie e dei materiali e mediante indagini indirette, metodo sismica a rifrazione con metodo termogradico risulta, in sintesi per quanto i fronti di scavo, la seguente situazione:

a) sul fronte principale di monte – fronte meridionale:

- spessore di materiali di riporto di 5-7 m;
- spessore di roccia alterata di 1-3 m;
- intercettazione di roccia compatta per 25-35 m;

b) sul fronte a valle settentrionale - con stratificazioni reggi poggio inclinati rispetto al taglio

- spessore di materiali di riporto di 8 m;
- successivamente approfondimento in ca. 5 m in roccia come sopra ma con stratificazioni franappoggio, però l'altezza di scavo è di soli 5 m ca.!!

c) sul fronte laterale orientale:

- spessori di riporto di 10-14 m (centro meridionale) e di 7-10 m (centro settentrionale);

d) sul fronte laterale occidentale:

- spessori di riporto continuo di 8-10 m.

Ciò premesso si richiamano di seguito le raccomandazioni del geologo per quanto le modalità di scavo: (estratto della relazione geologica da pag. 37 a 47)

8.2.1 scavo nei materiali di riporto

Gli scavi nelle porzioni in materiali di riporto, con scadenti caratteristiche geotecniche andranno realizzati mediante la posa in opera di una paratia di micropali tirantata tipo "berlinese", abbinata a rete e spritz beton.

Questa soluzione permetterà di eseguire scavi subverticali non determinando

quindi ingombri eccessivi nel sito in esame in relazione anche alla presenza di altre strutture e, sul fronte meridionale, del versante roccioso alla cui sommità è localizzato il museo.

Le paratie andranno incastrate nel substrato roccioso per una profondità di almeno 3 metri necessari anche per coprire e superare la porzione di materiale roccioso alterato corticale.

Tutte le paratie dovranno essere dotate di tubi di drenaggio al contatto tra roccia e terreni di copertura per permettere la fuoriuscita delle acque di filtrazione meteorica circolanti su questa interfaccia.

I flussi idrici andranno successivamente raccolti e allontanati dallo scavo.

Per il calcolo delle opere di contenimento e delle spinte agenti sulle paratie (tiranti) il progettista potrà fare riferimento ai parametri geologici e geomeccanici riportati al cap. 6.

Nei casi in cui invece la situazione al contorno lo permetta (come ad esempio nel settore nord ed in quello ovest ove non sono presenti edifici in prossimità dello scavo) non sarà necessario porre in opera la paratia berlinese realizzando invece profili di scavo rispondenti alle indicazioni di seguito riportate.

8.2.1.2 Stabilità degli scavi nei materiali di riporto non adiacenti a edifici o sovraccarichi

Per la realizzazione degli scavi nei riporti, in particolare in corrispondenza del fronte lato vallo e del fronte laterale occidentale, i progettisti potranno scegliere se realizzare una paratia di micropali tirantati, oppure se realizzare una scarpata con una pendenza adeguata alle caratteristiche geotecniche del materiale di riporto. Naturalmente i fronti in oggetto dovranno avere carattere provvisorio e andranno eseguiti ove gli ingombri lo permetteranno ed ove non vi sia interazione con opere esistenti o con sovraccarichi agenti nelle strette vicinanze.

In base alle prescrizioni del D.M. 11.03.88, per scarpate sia naturali che artificiali, il coefficiente di sicurezza F per garantire la stabilità degli scavi in fase

provvisoria non deve essere inferiore a 1.2.

Alla stabilità dello scavo a breve termine contribuisce, oltre all'angolo di attrito proprio del terreno, anche alla coesione apparente fornita dalla presenza, di materiali limo-argillosi nella matrice del deposito e dalle forze di natura superficiali (tensioni capillari, fenomeni di *aging*, ecc.) cui può essere assegnato un valore $C' = 8$ KPa e un coefficiente di angolo di attrito medio su tutta l'altezza $\phi = 26^\circ$.

Tenendo conto di tale contributo, utilizzando il diagramma di HOECK e BRAY senza filtrazione alla base (schema 1 di seguito riportato), con i parametri fisico meccanici precedentemente indicati, adottando un coefficiente di sicurezza pari a $F = 1.20$, si ricavano i seguenti angoli di profilatura per l'altezza prevista:

$$\frac{\tan \phi}{F} = \frac{0.48}{1.20} = 0.41$$

per un'altezza di scavo di 8 m:

$$\frac{C}{Y \cdot H \cdot \tan \phi} = \frac{0.8}{1.50 \cdot 8 \cdot 0.48} = 0.13$$

Da questi valori, facendo riferimento al grafico di HOECK e BRAY si ricava un angolo di profilatura $\beta = 42^\circ$.

8.2.2 Scavo in roccia

Per quanto riguarda il taglio nella porzione rocciosa questo potrà essere eseguito con l'uso del martellone o l'uso di esplosivi. La parete risultante andrà poi sistemata con un'opportuna chiodatura nei punti ove questa si renderà necessaria

44

in ragione dei possibili cinematismi evidenziati al cap. 7.1 e 7.2.

In alternativa allo scavo con esplosivo, il cui utilizzo è da considerarsi delicato in ragione della presenza di edifici al contorno, lo scavo in roccia potrà essere effettuato, ove la roccia si presenti più massiva, utilizzando la tagliatrice a braccio meccanico o il filo diamantato. Questa soluzione consentirebbe l'estrazione di blocchi che potrebbero avere un buon collocamento nell'industria delle pietre lapidee ornamentali considerando che questa arenaria è la roccia con cui è stata realizzata la parte storica della città di Bergamo.

Dal punto di vista della stabilità degli scavi in roccia non sono presenti situazioni che richiedano interventi molto complessi in quanto l'ammasso roccioso presenta buone caratteristiche geomeccaniche e il giunto di strato, nello scavo di maggiore altezza sul fronte meridionale, immerge a reggipoggio inclinato rispetto al taglio, favorendo quindi la stabilità di questo fronte ed anche dei due laterali.

Diversa invece è la situazione sul fronte nord ove la giacitura è a franappoggio, ma lo scavo previsto è di altezza notevolmente minore.

Nelle porzioni di roccia in cui i sistemi di discontinuità principali daranno luogo a situazioni con cinematismi possibili (vedi cap. 7.1 e 7.2) si suggerisce di chiodare sistematicamente le pareti con chiodi di lunghezza pari a 4 m, localmente di 6 m in prossimità delle fasce cataclastiche o a minor resistenza geomeccanica (vedi Tavola 3 fasce di colore rosato).

I chiodi dovranno essere alternativamente orizzontali o inclinati di circa 45°-50° dalla verticale. L'inclinazione dei chiodi è stata determinata sulla base delle geometrie instabili definite dalle verifiche cinematiche condotte (vedi Capitolo 7).

In particolare i chiodi inclinati a 45° sosterranno i cunei generati dal sistema K1, mentre i chiodi suborizzontale andranno a sanare porzioni alterate o instabili generate dal giunto di strato.

Il numero e la disposizione dei chiodi sarà definita in maniera compiuta in fase esecutiva sulla base del rilievo geomeccanico del fronte di scavo. A tal fine un geologo esperto di tali problematiche dovrà seguire, in cantiere, tutte le fasi di scavo e di realizzazione delle opere di contenimento. Si prevede in via del tutto indicativa che gli interventi di chiodatura secondo le modalità sopra indicate interesseranno circa il 50% delle superfici di scavo in roccia.

Data l'elevata altezza del fronte di scavo in roccia, sia per garantire la

sicurezza degli operatori sottostanti dall'eventuale caduta di piccoli clasti durante le fasi di cantiere, sia per garantire la stabilità della parete rocciosa a lungo termine durante le fasi di esercizio del cantiere, sarà necessario prevedere su tutta la superficie la posa in opera di calcestruzzo spruzzato (**spritz-beton**) con rete elettrosaldata.

La rete elettrosaldata sarà resa solidale con la roccia dalle chiodature nelle zone in cui queste verranno realizzate, mentre nelle altre aree verranno posti in opera dei chiodi di lunghezza limitata (2 m ca.) con un'intensità di un chiodo ogni 4 m² di superficie. Lo spritz-beton interesserà uno spessore minimo di 10 cm

I materiali di smarino ricavati dalla demolizione delle porzioni rocciose, soprattutto in corrispondenza della parte sommitale del versante, potranno essere utilizzati come materiali di riempimento e massicciata per opere civili (vedi cap. 8.4).

Eventuali blocchi sani e di dimensioni adeguate potranno essere utilizzati come pietra da taglio o da restauro in quanto si tratta degli stessi materiali utilizzati per esempio per la realizzazione del colonnato del Battistero della Città Alta di Bergamo.

Infine i lavori per la realizzazione del parcheggio multipiano indurranno inevitabilmente delle sollecitazioni al contorno.

Le condizioni al contorno sono caratterizzate dalla presenza:

- in corrispondenza del margine orientale di edifici residenziali,
- in corrispondenza del margine meridionale o di monte di edifici storici,
- in corrispondenza del margine occidentale di aree non edificate e lasciate incolte,
- in corrispondenza del margine di valle della Strada di Via della Fara che sale verso il centro della città di Bergamo.

I lavori nella fase di esecuzione delle opere di contenimento e durante lo svolgimento delle operazioni di scavo indurranno inevitabilmente modifiche ed effetti di disturbo al contorno, la cui entità e raggio di influenza dipenderà, oltre che dalle caratteristiche intrinseche degli interventi, dalle caratteristiche geologiche, fisico meccaniche ed idrogeologiche del mezzo scavato, dalle condizioni tensio-

deformative originarie e dalla posizione e caratteristiche degli obiettivi sensibili. Per definire correttamente gli obiettivi ed i parametri da tenere sotto controllo il progetto esecutivo dovrà prevedere uno specifico piano di monitoraggio che comprenderà:

- verifica di dettaglio dello stato di fatto delle opere al contorno significative nelle condizioni precedenti l'inizio lavori ed in concomitanza alle fasi preparatorie di cantiere.
- controllo degli effetti dinamici prodotti dalla realizzazione delle opere di consolidamento e dagli scavi in roccia (misure vibrometriche nel caso di utilizzo del martellone o dell'esplosivo)
- misura delle deformazioni e spostamenti delle opere di contenimento degli scavi, verifica degli stati tensionali sulle opere di contenimento e controllo delle deformazioni sulle opere al contorno.

E' importante sottolineare che per quanto riguarda gli edifici storici posti sulla sommità del versante e attualmente sede del Museo del Risorgimento non esisteranno probabilmente problematiche riguardanti fenomeni di cedimento o di scalzamento al piede, in quanto le fondazioni di tali edifici avranno sicuramente intercettato il substrato roccioso sano posto a debole profondità.

Per quanto riguarda invece gli edifici residenziali recenti posti oltre il margine orientale del futuro scavo andranno valutate da parte dei progettisti le eventuali sollecitazioni indotte dallo scavo in relazione anche alla tipologia fondazionale adottata per la loro realizzazione.

Si suggerisce comunque di realizzare un sistema di monitoraggio antecedente all'apertura degli scavi che verifichi, sia le attuali condizioni indisturbate, sia gli stati tensionali sulle opere di contenimento in progetto, sia le eventuali deformazioni sulle strutture al contorno.

La conoscenza degli effetti di disturbo indotti dagli scavi in progetto sul contorno dell'area "Parco della Rocca" permetterà la tempestiva esecuzione di eventuali opere di contenimento e/o stabilizzazione aggiuntive a quelle previste da questo studio, nel caso in cui si rendessero necessarie.

8.3 Interazione delle opere in progetto con la falda

La ricostruzione dell'assetto idrogeologico locale realizzata nel paragrafo 4.4 evidenzia la presenza di una circolazione idrica probabilmente all'interno del materiale di riporto sciolto.

Questa piccola falda è quella intercettata e monitorata nel sondaggio S2 V verticale, mentre le infiltrazioni rilevate nel sondaggio S1 V verticale si riferiscono molto probabilmente a locali e sporadiche venute idriche.

Le misure effettuate si riferiscono ad un periodo di probabile piena in quanto conseguenti a diversi giorni di piovosità intensa.

La profondità media della falda è stata supposta a circa -12 m dal p.c., come riportato in Tavola 3, il fondo scavo sarà ulteriormente approfondito di circa 1.5-2 m, in queste condizioni si potranno mantenere condizioni anidre mediante il posizionamento di pozzetti e linee drenanti in corrispondenza di tutto il perimetro del fondo scavo, connessi con delle pompe che permettano l'allontanamento delle acque di ingressione nello scavo e lo smaltimento nella rete fognaria esistente.

In corrispondenza del perimetro di fondo scavo andranno mantenuti dei canali di drenaggio e capatazione che permettano l'intercettazione di eventuali ingressioni idriche provenienti dalla scarpata retrostante e il loro conseguente allontanamento e scarico in un'adeguata struttura.

Questa soluzione permetterà di mantenere in condizioni anidre il piano fondazionale.

8.4 Smaltimento in discarica e/o recupero dei materiali di riporto scavati

L'esecuzione dello scavo inerente la realizzazione del parcheggio multipiano insisterà per uno spessore considerevole (vedi Tavola 3) in materiali classificabili come rifiuti secondo la classificazione CER Catalogo Europeo dei Rifiuti (Decisione 2002/532/CEE e successive modifiche e integrazioni)

In particolare secondo il Catalogo Europeo dei Rifiuti i materiali rinvenuti durante la campagna geognostica nell'area di studio “Parco della Rocca” sono

identificabili principalmente secondo i codici:

- 17 09 04 “Rifiuti delle operazioni di demolizione e costruzione - altri rifiuti delle attività di demolizione e costruzione – rifiuti misti dell’attività di costruzione e demolizione, diversi da quelli alle voci 17-09-01/02/03”;
- 17 01 02 “Rifiuti di costruzioni e demolizioni – rifiuti prevalentemente costituiti da mattoni”;
- 17 05 01 “Rifiuti costituiti da terra e rocce provenienti da costruzioni e demolizioni”;
- 17 07 01 “Rifiuti misti di costruzioni e demolizioni”.

Come specificato infatti nei capitoli precedenti si tratta di laterizi, cocci, ghiaie, limi argillosi, ecc. dovuti alla presenza in epoca storica di una discarica per inerti in corrispondenza dell’area in esame.

Da fonti storiche la discarica del “Parco della Rocca” è stata operativa nei secoli XVI-XVIII. Il materiale inerte potrà essere trattato secondo due metodologie:

- 1) Trasferimento della totalità della massa scavata indifferenziata in adeguata discarica nel rispetto delle vigenti normative,
- 2) Riutilizzo parziale o completo degli inerti come materiali riciclabili per l’edilizia.

La prima soluzione comporterebbe il totale trasferimento in adeguata discarica per inerti dei materiali di riporto estratti. I materiali in esame non costituiscono rifiuti pericolosi.

La seconda soluzione, preferibile, permetterebbe invece di recuperare totalmente o almeno parzialmente i materiali inerti scavati riutilizzandoli come materiali riciclati per opere civili.

I materiali in esubero andrebbero comunque stoccati in adeguata discarica.

Per quanto riguarda il riciclo degli inerti la normativa italiana fa riferimento al DLGS 5/2/97 n° 22 integrato dalla direttiva europea 91/156 CEE in materia di rifiuti.

L'uso dei materiali inerti come materia prima seconda ha un duplice scopo di tutela ambientale. Infatti sia vengono ridotti i prodotti delle lavorazioni edili utilizzando materiali che altrimenti finirebbero in discarica, sia si riducono le attività estrattive di materiali naturali.

Gli inerti in esame potranno essere principalmente utilizzati come materiali di riempimento per opere civili e come materiali per la rimodellazione del territorio.

Come materiali per la realizzazione di sottofondi o per gli impieghi nelle opere stradali i materiali in esame dovranno avere degli specifici requisiti di accettazione secondo le normative espresse ad integrazione della CNR-UNI 10006.

L'impresa dovrà verificare l'effettiva bontà del materiale inerte per l'utilizzo come materiale per sottofondo o rilevato stradale.

In merito si osserva che:

- viste le notevoli difficoltà di raggiungere con i macchinari la sommità del pendio, in luogo delle paratie in micropali, il progetto prevede la realizzazione di "pareti chiodate" come descritte nel dettaglio al punto 5.7, per la realizzazione delle quali non necessitano di grandi macchinari;
- per quanto al punto 8.2.2 sull'applicazione sulla parete in roccia di calcestruzzo spruzzato, ciò verrà eseguito a seguito della decisione della Direzione Lavori sentiti il geologo, il Coordinatore della Sicurezza ed i collaudatori; sarebbe preferibile lasciare in vista la parete rocciosa per poterne verificare i movimenti e le venute d'acqua.
- per quanto al materiale inerte qualora questi non potesse essere riutilizzato dall'impresa di scavo questi dovrà essere stoccato, dopo il vaglio eseguito dalla Soprintendenza Archeologica, e poi ritrasferito e ricompattato sui solai di copertura del parcheggio; così pure con lo strato di ca. 30 cm di terreno vegetale attualmente presenti, fino a ricostruzione del pendio di progetto.

Il sistema adottato per l'esecuzione degli scavi lo si può rilevare dall'elaborato E.PA 12; sinteticamente è previsto:

- esecuzione di pista, con idoneo cassonetto portanti di spessore minimo pari a 30÷40 cm, con pendenze variabili da 20%, per la rampa rettilinea o in leggera curva, a 0% sui tornanti o sulle piazzole; in sommità alla rampa è possibile la necessità di uno scavo in roccia;

- alla rampa è possibile la necessità di uno scavo in roccia;
- progressivo avvicinamento della rampa alla verticale della parete chiodata che è in fase di esecuzione;
- esecuzione di parete chiodata a mezzo di due squadre di lavoro a partire dal centro del fronte a monte – meridionale;
- col progressivo abbassamento dello scavo si incontrerà la roccia; va tolto lo strato di roccia alterata e terminata l'esecuzione della parete chiodata;
- lo scavo in roccia procederà con lo scalzamento delle varie stratificazioni mediante escavatore dotato di ripper o di martellone in caso di strati di spessore notevole;
- la regolarizzazione dello scavo in roccia avverrà mediante fresatura del paramento a vista;
- chiodatura della parete rocciosa a seconda della necessità – vedasi pure relazione geologica di cui sopra;
- il fondo scavo verrà messo in quota pure mediante fresatura;
- scavi a sezione ristretta per canalizzazioni, per fondazioni, e per vani forse verranno eseguiti con martellone e/o fresa;
- scavi per fondazioni ove presenti terreni di riporto vanno approfonditi fino al raggiungimento dello strato roccioso (zona tunnel di accesso viabile).

Per quanto al riempimento con materiale di riporto, materiale per cassonetti di viali e vialetti, con strato vegetale va previsto:

- per la grossa quantità ca. 7-8.000 mc una rampa da Via Fara, raccordandosi con il solaio di copertura delle rampe d'accesso; un tratto di questo dovrà essere poi costruito in una fase successiva;
- per la quantità necessarie alle finiture e per la fornitura di essenze vegetali ed arredi (trasporti leggeri), va verificata la possibilità di accesso attraverso l'area universitaria della mensa, sul gradone più basso; in alternativa va montata una gru automontante con sbraccio di ca. 25 m sul solettone del tunnel, all'interno della fontana la cui soletta di base dovrà essere rinforzata.