

HYPOGEAN ARCHAEOLOGY®

by Roberto Basilico, Maria Antonietta Breda and Gianluca Padovan

33. CLASSIFICATION OF ARTIFICIAL CAVITIES BY TYPOLOGY

Typology n. 1: extraction works©

Mining science identifies and exploits useful mineral deposits both on the earth's surface and underground. Various types of science merge to fulfil this objective. Mining science has also been known as "mining art" as special aptitude, as well as specific scientific knowledge, is required of the technician. There are two types of extraction works: quarries and mines. The first term refers to the extraction of consolidated and unconsolidated rock, while the second refers to useful mineral extraction.

At the current point of research and as far as the development of extraction techniques is concerned, it would appear that mining systems saw little or no development between the Neolithic extraction of flint and throughout the mediaeval period. There was more of a development in the materials used for mining and transport equipment than in the functional work structure. Over the course of just a few centuries, there was the rapid introduction of efficient and constantly evolving tools: gunpowder, electricity, steam tunnelling machines, nitro-glycerine, helical-wire (for quarries), dynamite and spark-ignition engines. In particular, the gradual introduction of explosive materials, primarily for mining use, resulted in the modification of advancement systems in the XVII century. In any case, it should be taken into consideration that mines may also have been used in the past and not exclusively in Europe, although there is no evidence of this and if such evidence exists, it has yet to emerge from the archives.

The latter decades of the XX century saw an even more rapid progression with the introduction of modern automatic machinery: the compressed air hammer drill became a museum piece. Although applicable to the majority of cases, this was not always the case. It should be taken into consideration that in some of the mines, which were still operational in the second half of the XX century, manual blasting and transport tools were used (and are still used today) primarily (or exclusively), due to lack of available finance. In Europe, the majority of mines are now closed and raw materials are imported from other continents.

Mining can take place both on the surface and underground and both systems may be used simultaneously. Opencast mines which evolve underground are common; in more recent times, the type of mining adopted is partly dictated by its impact on the environment. The nature of the deposit to be extracted, its dislocation, the structure of the mining plants and the extraction system used collectively determine the mining method. The various types of "opencast mining" depend on their positioning: Stratum mining aside, other types of mining are "valley mining" and "mountain mining" (foothills, drift mining, mountain-top mining), which can be subdivided into "mining of unconsolidated materials" and "mining of consolidated materials". The latter, is in turn subdivided according to whether a regular or irregular product shape is required.

Depending on the type of material to be extracted and on the actual extraction process, there are thus various extraction methods. It should also be taken into account that one or more types of extraction may be adopted within the same plant. These extraction methods refer primarily to mines in use until the mid XX century. Generally speaking these are:

single or multiple bench mining: used in the extraction of loose or slightly consolidated material such as gravel and sand; also used in clay quarries;

step mining: generally applies to clusters, which are visible or of little depth;

amphitheatre extraction: normally used in the extraction of stone, the terraces in this type of mining are set out in the shape of an amphitheatre;

single terrace or single front mining: used in the presence of visible (or barely covered) strata, sub-horizontal or sub-parallel to the area's topographic structure;

multiple step or bench mining: for consolidated rock; the tread dimension of each step is relative to the type of material, the methods used, safety, profitability and to the current restoration project;

pit extraction: for loose, unconsolidated materials or consolidated stone material;

step extraction using underground transport: where the orography of the area permits, material can be removed from an extraction pit by means of tunnels at a level with the steps or by tipping the material into a chute and transporting it via a tunnel to the surface. The chute can also be used in the drainage of meteoric waters;

funnel extraction: used in the extraction of consolidated rocks; at the base of a funnel-shaped terrace ditch is a chute which connects to an underlying tunnel; excavated material in the funnel is removed via the chute and is either channelled to the surface or lifted within an extraction shaft;

shaft extraction: normally used for the extraction of ornamental stone;

depression extraction: used in areas characterised by subsidence and vertical erosion;

horizontal slice extraction: normally used in plains, for the extraction of unconsolidated material;

top slicing: for the downward extraction of materials;

panel extraction: for the extraction of small blocks or segments, subdivided into thin horizontal slices.

Underground mining: in basic terms, this type of extraction normally takes place within a cavity that fulfils the following criteria: entrance, circulation and mining plant. Access is gained by means of vertical shafts, inclined wells, descending tunnels and drift tunnels. From these branch the main haulage roads and from these the secondary haulage roads, which lead to the mining plants (fig. VII.2). There are many methods of underground mining and their structure is often complex, particularly in mines from the industrial era. These may take the form of “room and pillar mining”, “stope and retreat” or “stope and fill mining” (Gerbella 1947, II, pg. 80). In the XX century, various methods and techniques were replaced by systems in rapid and constant evolution.

Room and pillar mining: this simple method was the most used in the past although there are examples of its use even in the XX century. Room and pillar mining permits the extraction of all the available mineral from the vein, without the risk of collapse. This can be subdivided as follows:

open stope mining with isolated rooms: the removal of useful material together with non useful material creates underground rooms, the roofs of which require no support;

underhand stoping without supports: when descending to follow the mineral vein, vertical or transversal support or containment pillars are left in the areas of little or no mineralization;

multiple pillar extraction using only pillars: when removing useful mineral, non-useful mineral is left behind, in the form of pillars, for roof support;

downward slice room and pillar mining: similar to the latter method, mineral is also extracted from the floor; extraction can thus take place at lower levels;

mining with numerous artificial pillars: when the tunnel cannot be completely filled, additional rock and mortar pillars are created to prevent subsidence;

mining with multiple pillars and crown pillars: used in multiple pillar mining, where the roof is prone to collapse; sections and sometimes slabs of mineral, are left between one pillar and another to prevent the tunnels becoming too narrow;

multiple barrier extraction method with depots: used where the roof is prone to collapse in order to obtain parallel tunnels, which are separated by mineral barriers;

multiple barrier extraction method with rooms and barriers: involves the creation of mining plants at the location of mineral deposits; these are separated by roof support barriers;

multiple barrier extraction method with depots: a series of rooms are made within the deposits and these are filled with useful mineral, excess material is removed upwards by means of hoppers and chutes.

Stope and fill mining: this method is suitable for almost all types of mineral deposits and involves the backfilling of gaps formed following the extraction of useful minerals. The entire deposit (or most of it) can be removed, with the removal of oxidisable or combustible substances, which could give rise

to spontaneous heat or fire. Sterile material is not taken to the surface and phenomena of surface subsidence are thus limited or avoided. When compared to block caving, this allows improved underground stability and decreased risk of accidental falling rock. In addition to the sterile material which is left on site, an adequate system for completion of the fill works is required: fill material can be introduced via tunnels, shafts or special chambers. Special machinery is also used to carry out the various works. For instance, hydraulic fill is carried out by introducing the fill material together with pressurised water via specific piping. Sometimes the stope is only partially filled to avoid having to transport fill material from the surface. There are numerous methods of stope and fill mining, the choice being determined by the type of mineral deposit and by its location. Even so, various methods of stope and fill mining were used at least until the first half of the XX century.

Stope and retreat: this method involves caving the enclosing rock, resulting in the extraction of a higher percentage of mineral compared to multiple pillar extraction; this also reduces costs as no filling is required. The disadvantage is that this method often causes subsidence. There are many caving extraction methods and each method has its own variants. Tunnels (vein mines) are excavated at the site of the mineral deposit, on either one or more levels (in which case they are equipped with connecting shafts); excavation continues as far as it can go, thus a type of multiple barrier extraction is obtained. Alternatively, the tunnels on one level can be linked by means of perpendicular tunnels, thus obtaining a type of multiple pillar mining. In both cases both the stopes and pillars cover larger areas. Upon completion of this initial phase, the stopes and pillars are removed (stope and retreat) and the roof cave-in is adequately controlled. There are several types of stope and retreat mining.

In addition to that already mentioned, other methods are adopted for the exploitation of salt deposits (with the introduction of water), sulphur, coal, petroleum, natural gases and endogenous force deposits. Of the many aspects to be taken into account in the study of underground mining, are the study of mineralized rocks and deposits and identification of the support structures utilised. This has two functions:

- underground tunnel thrust resistance, contributing to renewing the rock's equilibrium;
- to protect excavation works from falling rocks and keep both men and machinery safe.

33. CLASSIFICAZIONE PER TIPOLOGIA DELLE CAVITÀ ARTIFICIALI **Tipologia n. 1: opere di estrazione©**

La scienza mineraria è rivolta a individuare e a sfruttare i giacimenti utili all'attività umana, esistenti alla superficie e nel sottosuolo della Terra, applicando la gran parte delle scienze nel conseguimento del risultato. È stata anche chiamata "arte mineraria" perché richiede dal tecnico una speciale attitudine, oltre alla conoscenza delle scienze esatte. Si distinguono due tipi di opere estrattive: cava e miniera. Con il primo termine s'indicano le coltivazioni di rocce incoerenti e coerenti, con il secondo quello di minerali utili.

Dal punto di vista dell'evoluzione delle tecniche di estrazione si rileva che, allo stato attuale delle ricerche, dalle coltivazioni neolitiche dei filoni selciferi a tutto il periodo medievale, i sistemi di estrazione non vedano (in linea generale) grandi evoluzioni. Vi è più uno sviluppo del materiale che costituisce gli attrezzi per l'abbattimento e il trasporto che l'organizzazione razionale del lavoro. Nell'arco di pochi secoli abbiamo poi l'impiego, in rapida successione e costantemente in evoluzione, di una strumentaria efficace, della polvere nera, dell'energia elettrica, delle macchine perforatrici a vapore, della nitroglicerina, del filo elicoidale (nelle cave), della dinamite e dei motori a scoppio. In particolare, la progressiva introduzione di materiali esplosivi, largamente utilizzati nelle miniere, determina dal XVII sec. la modifica dei sistemi di avanzamento. In ogni caso occorre tenere conto che in ambito minerario l'impiego di mine può essere stato applicato anche in precedenza e non solamente nel continente europeo, ma non ne è rimasta menzione o tale menzione deve ancora emergere dagli archivi.

Gli ultimi decenni del XX secolo vedono una ancor più rapida evoluzione, con l'introduzione di moderni macchinari automatici: il martello perforatore ad aria compressa diventa un oggetto da museo. Questo è vero nella gran parte dei casi, ma non in tutti. Si tenga presente che in talune miniere ancora in attività nella seconda metà del XX sec. si adoperavano (e si adoperano) prevalentemente (o esclusivamente) strumenti manuali per l'abbattimento e il trasporto a causa delle ristrette condizioni economiche. Oggi in Europa la gran parte delle miniere è chiusa, preferendo importare le materie prime da altri continenti.

Le coltivazioni possono avvenire sia a cielo aperto sia nel sottosuolo, anche utilizzando contemporaneamente entrambi i sistemi. Non di rado vi sono cave e miniere a giorno che evolvono in sotterraneo; in tempi recenti le scelte sono dettate anche dall'impatto ambientale che altrimenti si causa. La natura e la giacitura di ciò che s'intende estrarre, la sua dislocazione, l'organizzazione dei cantieri e il sistema con cui si procede all'estrazione, determina il metodo di coltivazione. Le "coltivazioni a giorno" si distinguono a seconda della loro collocazione. Tralasciando le coltivazioni in falda abbiamo "coltivazioni di pianura" e "coltivazioni di monte" (pedemontane, a mezza costa, culminali), suddivise tra "coltivazioni di materiali incoerenti" e "coltivazioni di materiali coerenti", quest'ultima a sua volta suddivisa a seconda che si voglia una forma regolare o irregolare del prodotto.

A seconda di cosa e di come si estrae, avremo quindi vari tipi di coltivazione, tenendo presente che uno o più tipi possono essere adottati in un medesimo impianto. I tipi di coltivazione qui esposti si riferiscono, soprattutto per le miniere, a quanto in uso fino alla metà del XX secolo. In linea di massima avremo:

coltivazione a uno o più gradini: per materiali sciolti o poco coerenti, come ghiaia e sabbia, e in cave d'argilla;

coltivazione a gradini: applicabile, generalmente, in ammassi affioranti o poco profondi;

coltivazione ad anfiteatro: generalmente per cave di lapidei, tenute a gradini e a forma d'anfiteatro;

coltivazione a gradone unico o a fronte unico: si adottano in presenza di strati affioranti (o scarsamente coperti) sub-orizzontali o sub-paralleli all'assetto topografico locale;

coltivazione a gradini o a gradoni multipli: per rocce coerenti, dove l'altezza e la pedata di ciascun gradino sono dimensionate in relazione alla natura del materiale, ai mezzi impiegati, alla sicurezza, alla redditività e attualmente al progetto di ripristino;

coltivazione a fossa: per giacimenti di materiali sciolti o poco coerenti e per materiali lapidei coerenti;

coltivazione a gradini con trasporti sotterranei: qualora l'orografia della zona si presti, in una coltivazione a fossa il materiale può essere evacuato tramite gallerie che si aprono a livello dei gradini, oppure rovesciato in un fornello e poi trasportato a giorno sempre mediante una galleria, la quale può servire anche per lo scolo delle acque meteoriche;

coltivazione a imbuto: applicabile in rocce coerenti, alla base di una fossa imbutiforme coltivata a gradini si apre un fornello comunicante con una sottostante galleria, da cui viene evacuato il materiale sbancato all'interno dell'imbuto per condurlo direttamente a giorno oppure per sollevarlo mediante un pozzo d'estrazione;

coltivazione a pozzo: generalmente impiegata per la coltivazione di lapidei ornamentali;

coltivazione in depressione: si colloca in corrispondenza di avvallamenti e incisioni;

coltivazione per platee orizzontali: generalmente applicato in pianura, per materiali incoerenti;

coltivazione per trincee discendenti: per l'abbattimento del materiale dall'alto verso il basso;

coltivazione per pannelli: per l'estrazione di blocchetti o conci, suddivisa in platee orizzontali di piccola spessore.

Coltivazione in sotterraneo: per semplicità d'esposizione si può dire che tale coltivazione sia generalmente costituita da una cavità con le seguenti funzioni: accesso, circolazione, cantiere. L'accesso avviene attraverso pozzi verticali, pozzi inclinati, discenderie, gallerie a mezza costa; da queste si diramano le gallerie di carreggio principali dalle quali si staccano le gallerie di carreggio secondarie conducenti ai cantieri. I metodi di coltivazione in sotterraneo sono molteplici e la loro articolazione è spesso complessa, soprattutto nelle miniere di età industriale. Possono distinguersi in

“coltivazione per vuoti”, “coltivazione per frana”, “coltivazione con ripiena”. Dal XX sec. vari metodi e tecniche lasciano il posto a sistemi in rapida e costante evoluzione.

Coltivazione per vuoti: il metodo è semplice e rappresenta il sistema più utilizzato in passato, con esempi anche nel XX sec. Coltivare per vuoti vuol dire estrarre quanto più minerale possibile dal filone, senza incorrere nel rischio di crolli, e si può così suddividere:

coltivazione senza sostegni a camere isolate: asportando il materiale utile, compreso tra materiali non utili, si creano camere sotterranee il cui tetto si autosostiene;

coltivazione senza sostegni a strozzi: scendendo a seguire il filone si lasciano pilastri, anche trasversali, a sostegno o a contenimento, in corrispondenza di parti poco o affatto mineralizzate;

coltivazione a pilastri abbandonati con soli pilastri: asportando parte del minerale utile si lascia il restante in posto, a forma di pilastri, per il sostegno delle volte;

coltivazione a camere e pilastri con platee di ribasso: analogo al precedente, attacca anche la massa mineralizzata del pavimento, approfondendo in verticale l'estrazione;

coltivazione a pilastri abbandonati con pilastri artificiali: volendo evitare sprofondamenti e non potendo ripienare totalmente, si realizzano ulteriori pilastri in pietrame e malta;

coltivazione a pilastri abbandonati con pilastri e volte: in coltivazioni a pilastri abbandonati, dove il tetto è franoso, per non restringere troppo le gallerie si lasciano in posto volte di minerale tra un pilastro e l'altro e talvolta anche solette;

coltivazione a diaframmi abbandonati con soli diaframmi: adottata in caso di tetto assai franoso per ottenere gallerie tra loro parallele e separate da diaframmi di minerale;

coltivazione a diaframmi abbandonati con camere e diaframmi: consiste nell'aprire entro il giacimento delle camere, separate da diaframmi lasciati a sostegno del tetto, dei cantieri;

coltivazione a diaframmi abbandonati con magazzini: aprendo nel giacimento una serie di camere, si riempiono di minerale utile abbattuto togliendo dal basso il materiale in esubero, mediante tramogge e fornelli.

Coltivazione con frana (o per franamenti): il metodo consente di fare franare la roccia incassante, con il vantaggio di ottenere una maggiore percentuale di minerale recuperato, rispetto alle coltivazioni a pilastri abbandonati, e di evitare le spese relative alla messa in opera delle ripiene. Di contro, tale sistema crea sovente fenomeni di subsidenza. I metodi di coltivazione per franamento sono diversi e prevedono varianti per ogni singolo metodo. All'interno di un giacimento, su uno o più livelli (in tal caso dotati di gallerie o di pozzi di collegamento), si scavano delle gallerie (gallerie di tracciamento) fino al raggiungimento del suo limite, ottenendo una sorta di coltivazione a diaframmi abbandonati. Oppure le gallerie di un medesimo livello possono essere collegate tra loro da gallerie ortogonali, in questo caso ottenendo una sorta di coltivazione a pilastri abbandonati. In entrambi i casi sia i diaframmi sia i pilastri occupano superfici maggiori. Al termine di questa prima fase si procede allo spoglio graduale dei diaframmi o dei pilastri (spoglio in ritirata oppure in direzione), controllando adeguatamente il franamento del tetto. I metodi di coltivazione con frana possono essere diversi.

Coltivazione con ripiena: il metodo si adatta a quasi tutti i tipi di giacimenti e prevede il riempimento dei vuoti che si formano a seguito dell'abbattimento dei minerali utili. È possibile asportare completamente (o quasi) il giacimento, eliminando eventuali sostanze ossidabili o combustibili che possono dare luogo a riscaldamenti e incendi spontanei. Non vi è il trasporto all'esterno del materiale sterile e si limitano o si evitano i fenomeni di subsidenza in superficie. Rispetto alle coltivazioni per franamento consente una migliore condizione di stabilità del sottterraneo e una diminuzione dei rischi dovuti a distacchi accidentali di roccia. Oltre allo sterile lasciato sul posto occorre prevedere un adeguato sistema per completare i lavori di riempimento: la ripiena può essere introdotta attraverso le gallerie, i pozzi o appositi fornelli. Vi sono inoltre specifici macchinari per eseguire tali lavori. Ad esempio, la ripiena idraulica si effettua introducendo il materiale da ripiena unitamente ad acqua in pressione mediante apposite tubazioni. In taluni casi si adotta il sistema della ripiena incompleta, per evitare l'introduzione di materiale da ripiena dall'esterno. Sono svariati i metodi di coltivazione con

ripiena e la scelta è determinata dalla natura del giacimento e dalla sua ubicazione. Anche in questo caso i metodi di coltivazione con ripiena, in uso almeno fino alla prima metà del XX sec., sono diversi.

Oltre a quanto descritto, vi sono altri particolari metodi per lo sfruttamento di giacimenti di sale (introducendo acqua), di zolfo, di carbone, di petrolio, di gas naturali e di forze endogene. Tra i numerosi aspetti da tenere in considerazione nello studio delle coltivazioni sotterranee vi è lo studio delle rocce attraversate e la loro giacitura, e il riconoscimento delle opere di sostegno adottate. Queste hanno due funzioni:

- resistere alle spinte che si determinano sulle pareti degli scavi sotterranei, contribuendo a ridare un nuovo equilibrio nel regime di tensioni sollecitanti la roccia;
- proteggere gli scavi dai distacchi di roccia e quindi preservare uomini e macchinari.