



Repubblica e
Cantone

Dipartimento del
Territorio

Divisione Territoriale
e della Mobilità

Sezione Sviluppo
Territoriale

Ufficio Piano Direttore

AETi

**Gruppo di lavoro
Attività Estrattive
in Ticino**



MUTTONI & BEFFA SA
Geofisica e Geologia

Via Cantonale 15
CH 6760 FAIDO
T+41(0)91 866 31 81
F+41(0)91 866 32 20
admin@mebsa.ch
<http://www.mebsa.ch>



Dionea SA
6600 LOCARNO

Lungolago Motta 8
6600 Locarno
Tel: ++41'91'751'51'20
Fax: ++41'91'751'93'46
<http://www.dionea.ch>

m&b09.1201/1-13

Scala: -

Formati: A4

Rel.	Visto	Dis.
GC / DF	FB	

Data: 05. 02. 2013
Rev.: 14. 02. 2013

Ti.petra

Redazione di materiali utili
all'elaborazione della scheda PD-V8

Elementi informativi

*Modelli di coltivazione alternativi:
esempi, potenzialità e limiti.*

Sintesi dei risultati

Indice

1.	Introduzione generale	4
2.	Obiettivi	4
2.1	Utilizzo sostenibile delle risorse del territorio	4
2.2	Recupero di alcuni siti dismessi	4
2.3	Mantenimento del settore e garanzia di continuità	5
2.4	Innovazione e sicurezza	5
3.	Introduzione alle tipologie e ai metodi di coltivazione	5
3.1	Tipologie di cava	6
3.1.1	Coltivazioni a cielo aperto	6
3.1.2	Coltivazioni in sotterranea.....	7
3.1.3	Coltivazioni ibride e in semi-sotterranea	7
3.2	Metodi di coltivazione	8
3.2.1	Terminologia essenziale.....	8
3.2.2	Metodi di coltivazioni a cielo aperto	10
3.2.3	Metodi di coltivazioni in sotterranea	12
3.2.4	Metodi di coltivazioni per le tipologie in semi-sotterranea.....	15
3.3	Introduzione ad alcune tecniche estrattive d’interesse	15
3.3.1	Sviluppo delle tecniche	15
3.3.2	Macchine di perforazione	17
3.3.3	Estrazione e taglio all’esplosivo.....	18
3.3.4	Taglio con filo diamantato	19
4.	Attuali metodi di coltivazione e tipologie estrattive in Ticino	20
4.1	Svolgimento tipico della coltivazione in Ticino	20
5.	Metodi di coltivazione alternativi applicabili alla realtà ticinese.....	21
5.1	Coltivazione in semi-sotterranea (sottotecchia).....	21
5.2	Coltivazione in sotterranea	22
6.	Fasi preparatorie, coltivazione e fine lavori in sotterranea	26
6.1	Studi preparatori e contenuto relazione tecnica	26
6.1.1	Caratteristiche e proprietà	26
6.1.2	Progetto di estrazione in sotterranea	26
6.1.3	Scavo o innesto di prova.....	29
6.1.4	Macchine di cava in sotterranea	29
6.1.5	Opere d’assicurazione e di premunizione.....	30
6.2	Monitoraggio costante e sicurezza operai	30
6.3	Fine dei lavori di coltivazione e dismissione	31
6.4	Impatto paesaggistico e ambientale	31
6.4.1	Recupero e gestione dei rifiuti	31
7.	Vantaggi e svantaggi delle coltivazioni in sotterranea	32
8.	Esempi pratici	33
8.1	Carrara	33
8.2	Val Bregaglia	35
8.3	Val Calanca	38
9.	Bibliografia	41

Indice delle figure

Figura 1: Tipologie di coltivazione e zone di transizione	6
Figura 2: Tipologie di coltivazioni a giorno (superficiali)	7
Figura 3: Tipologie di coltivazione in semi-sotterranea	8
Figura 4: Gerarchia dei volumi	9
Figura 5: Le geometrie che si riferiscono allo sbancamento di produzione	9
Figura 6: I metodi principali adottati per una tipologia di cava di monte	11
Figura 7: I metodi principali adottati per una tipologia di cava a mezza costa o di pedemonte	12
Figura 8: Metodo a vuoti (esempio)	13
Figura 9: Metodi differenti per la coltivazione di vuoti in sotterranea	13
Figura 10: Applicazione dei metodi in sotterranea per livelli (nel caso della pietra ornamentale)	14
Figura 11: Principali modi di esecuzione di taglio con filo diamantato	19
Figura 12: Scelte d'avanzamento al fronte per sezioni complete o parziali (esempi)	23
Figura 13: Spaccato di una coltivazione in sotterranea	24
Figura 14: Schema di flusso per il progetto d'estrazione in sotterranea	27
Figura 15: Geometria del vuoti (portale, gallerie, camere)	28
Figura 16: Schema di avanzamento per un tipo di galleria di sopravvuto	33

Indice delle tabelle

Tabella 1: Metodi di coltivazione principali per tipologie a cielo aperto	11
Tabella 2: Metodi di coltivazione suddivisi per <i>gradoni</i> o <i>platee</i> , per tipologie a cielo aperto ..	11

Indice delle immagini

Immagine 1: Punciotti, piccone (piccarocca) e lastra dimezzata con punciotti.....	16
Immagine 2: Filo elicoidale.....	16
Immagine 3: Flame-jet e tagliatrice a catena	17
Immagine 4: Perforatore pneumatico su binario, cavalletto di perforazione montato su mezzo cingolato, perforatrice a slitta	17
Immagine 5: Utilizzo di miccia detonante per la riquadratura di un blocco e per la sezionatura di una fetta verticale.....	18
Immagine 6: Polvere nera, miccia detonante in fori ravvicinati, detonatore.....	18
Immagine 7: Taglio al filo diamantato con l'utilizzo di pulegge, macchina, perline diamantate	19
Immagine 8: Esempio di estrazione in sottotecchia.....	22
Immagine 9: A camere e pilastri (e diaframmi), per camere isolate	25
Immagine 10: A camere (a volta) e pilastri, a camere e pilastri per incroci di cunicoli di carreggio.....	25
Immagine 11: Per magazzino vuoto.....	25
Immagine 12: Macchina perforatrice del tipo Jumbo, perforatrice elettrica ad avanzamento idraulico e hydro bag	29
Immagine 13: Coltivazione sotterranea a Carrara	34
Immagine 14: Coltivazione a Promontogno.....	35
Immagine 15: Coltivazione a Promontogno – intestazione dei fronti.....	36
Immagine 16: Coltivazione a Promontogno – produzione.....	37
Immagine 17: Coltivazione a Promontogno – monitoraggio e ventilazione	37
Immagine 18: Coltivazione ad Arvigo.....	38
Immagine 19: Coltivazione ad Arvigo– innesto di prova	39
Immagine 20: Coltivazione ad Arvigo – impostazione del cunicolo di produzione	39
Immagine 21: Coltivazione ad Arvigo – produzione.....	40

1. Introduzione generale

Le cave, e il relativo metodo d'estrazione delle materie prime (sovente individuale per singolo caso estrattivo), rappresentano un elemento territoriale molto complesso e devono essere analizzate attraverso svariati punti di vista, considerando anche gli scenari emergenti applicati altrove.

L'estrazione dei materiali grezzi dalla roccia in situ è la fase più importante del ciclo di coltivazione e comporta la scelta oculata del metodo di coltivazione e della tecnica estrattiva: dipendenti soprattutto da fattori tecnici, ambientali, economici ed esperienziali (persino culturali).

Siamo dell'opinione che molti dei luoghi estrattivi in Ticino, ai fini di uno sfruttamento ottimizzato e più armonioso, presentano delle potenzialità ancora da sviluppare. Tramite questo breve sunto informativo, con una lettura essenzialmente geologica e di tecnica estrattiva, presentiamo degli spunti inerenti all'estrazione in semi-sotterranea e sotterranea della pietra naturale, considerando al contempo metodi di coltivazione meno invasivi e più rispettosi dell'ambiente.

Certo, ogni gestore dovrà attentamente e criticamente valutare questi spunti, considerando le possibilità concrete relative al proprio sito estrattivo. In particolare, soppesando potenzialità e limiti di tali metodi e relative tecniche estrattive; sicuramente, valutando l'impatto finanziario che tale cambiamento può significare alla sua industria.

L'estrazione in sotterranea o semi-sotterranea prevede una valutazione caso-specifica delle condizioni geomeccaniche e di stabilità dell'ammasso roccioso, come pure una definizione appropriata delle geometrie dei vuoti e del concetto di sicurezza applicabile. Questo scritto non può dunque fornire le informazioni nel dettaglio, quest'ultime sono perciò demandate al gestore stesso o ad uno specialista da esso incaricato.

2. Obiettivi

L'obiettivo principale di queste note informative è quello di presentare metodi di coltivazione alternativi per la realtà del settore in Ticino e di introdurre le tecniche d'estrazione a questi applicabili, in considerazione della petrografia delle rocce cristalline che compongono la maggior parte dei fronti di cava ticinesi.

2.1 *Utilizzo sostenibile delle risorse del territorio*

Tra gli obiettivi annoveriamo anche lo sviluppo sostenibile del settore estrattivo considerando sia un utilizzo equilibrato della risorsa 'pietra', sia una riduzione degli impatti sul territorio. In molti casi, la migrazione a metodi estrattivi alternativi facilita un'estrazione mirata della 'pietra nobile' e mitiga gli impatti sul territorio, relativizzando gli influssi sul paesaggio, ma anche riducendo le immissioni dirette quali le polveri, le vibrazioni e i rumori.

In visione futura, l'adozione di metodi alternativi, oltre al miglior inserimento dell'attività di cava nel territorio, potrebbe anche favorire una risistemazione ambientale ottimizzata.

2.2 *Recupero di alcuni siti dismessi*

Presso alcune aree estrattive, le criticità che oggi sono palesi adottando i metodi di coltivazione convenzionali potrebbero essere mitigate grazie all'utilizzo di altri metodi e differenti tecniche estrattive. È, dunque, ragionevole pensare che alcune aree estrattive

dismesse potrebbero essere riattivate, soprattutto considerando che la coltivazione in sotterranea limita gli influssi sull'ambiente e sul territorio.

Per di più, un altro approccio all'estrazione che permetterebbe la riapertura dell'attività – altrimenti definitivamente preclusa – può concorrere alla tutela del valore economico, storico e culturale di certe 'pietre di particolare pregio'.

2.3 *Mantenimento del settore e garanzia di continuità*

Ci si riallaccia a quanto riportato nel capitolo precedente. Per alcune aree estrattive, a breve termine, il mantenimento dei metodi di coltivazione convenzionali condurrà all'inevitabile dismissione definitiva. L'unica possibilità per il mantenimento dell'attività, della relativa industria e dei posti di lavoro, sarà data dall'innovazione sia per quanto riguarda la proposta dei prodotti, sia per quel che concerne il metodo di coltivazione.

Per il Ticino il settore estrattivo è parte integrante del tessuto socio-economico, soprattutto per zone decentrate quali possono essere la Val Maggia e la Val Onsernone; a mano a mano, la 'pietra ticinese' è diventata cultura architettonica – gli 'edifici tipici' ticinesi, lo sono appunto perché costituiti anche dall'elemento 'pietra' – in questo senso, la garanzia di una certa continuità di fornitura di un dato tipo di pietra potrà essere dato unicamente se si abbandoneranno i metodi di coltivazione convenzionale a favore di altri più idonei.

2.4 *Innovazione e sicurezza*

Sempre più il metodo di coltivazione e la tecnica di escavazione rivestiranno grande importanza, anche perché soprattutto tramite questi strumenti si dovrà prevedere l'uso ottimale della risorsa, una maggior tutela del territorio e delle sue risorse essenziali, come pure le migliori condizioni di sicurezza del luogo di lavoro.

A breve-medio termine, infatti, la pianificazione dell'attività di cava dovrà essere sviluppata anche con l'adozione di tecniche di escavazione innovative, garantendo il miglioramento delle condizioni di lavoro e della sicurezza degli addetti e delle popolazioni comunque interessate.

3. Introduzione alle tipologie e ai metodi di coltivazione

Con il termine *coltivazione* intendiamo l'asportazione di una massa mineralizzata dalla sua sede originaria e le operazioni tecniche (compresa l'estrazione vera e propria) atte a trasformarla in un prodotto utilizzabile sul mercato. Pertanto l'azione, propriamente mineraria, si estende dalla ricerca del bene o risorsa sino al trattamento per renderla disponibile con le caratteristiche di qualità richieste dagli utilizzatori.

La classificazione tradizionale, che è funzione della localizzazione dell'area estrattiva in rapporto con il contesto morfologico, determina la *tipologia di coltivazione*.

Per *metodo di coltivazione* s'intende la sequenza di escavazione e abbattimento che caratterizza lo sfruttamento del giacimento.

Per *tecnica d'estrazione* si definisce la modalità specifica utilizzata per il recupero della roccia che poi sarà sezionata e lavorata in laboratorio. In altre parole, s'intende il modo usato per la produzione del materiale grezzo.

Allo scopo di generare una visione d'assieme su cosa s'intende per tipologie e metodi di coltivazione, nei prossimi paragrafi proponiamo una rapida panoramica dei tipi e dei metodi maggiormente in uso, illustrandone le caratteristiche principali.

3.1 Tipologie di coltivazione

Le tipologie di coltivazione sono innanzitutto suddivise in due macro tipologie: *coltivazioni a cielo aperto* (o a giorno) e *coltivazioni in sotterranea*

Una terza è rappresentata da una forma intermedia 'sottotecchia' (Figura 1) che può essere sia una fase transizionale tra la coltivazione a cielo aperto e quella sotterranea, sia a una tipologia estrattiva a sé stante.

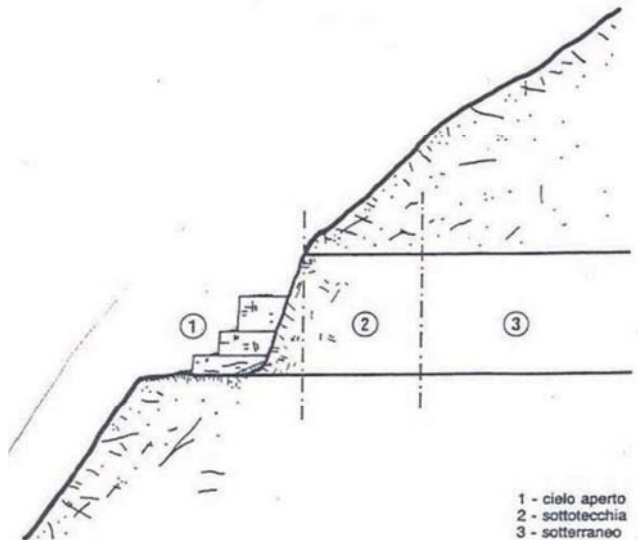


Figura 1: Tipologie di coltivazione e zone di transizione

3.1.1 Coltivazioni a cielo aperto

Tra le tante classificazioni possibili, in funzione ad esempio della morfologia, della geologia del giacimento o delle tecniche di escavazione, la classificazione scelta è quella tradizionale, dunque in funzione della localizzazione dell'area estrattiva in rapporto con il contesto morfologico, attraverso l'individuazione di tre tipologie principali (Figura 2):

... di pianura

suddivisa nelle tipologie secondarie: *... in fossa sopra falda, ... in fossa sotto falda, ... per arretramento del terrazzo e ... di bonifica.*

Si sviluppano da quota terreno nel substrato (*cave chiuse*); l'impatto visivo è limitato dal punto di vista, se quest'ultimo è innalzato allora saranno evidenti, altrimenti l'impatto sarà del tutto trascurabile.

... di collina

solitamente definita da una coltivazione *per riprofilatura* e arretramento del ciglio, con una configurazione *aperta* a fronte unico o con più gradoni.

A dipendenza del loro sviluppo in altezza e larghezza, possono generare un impatto visivo più o meno evidente.

... di monte

suddivisa nelle tipologie secondarie: *... pedemontane, ... a mezza costa (o di versante) e ... culminali.*

L'impatto visivo è in genere importante, a causa della morfologia dello scavo e della quota maggiore rispetto al contesto urbanizzato circostante. Di norma necessitano di piste d'accesso che possono aumentare ulteriormente l'impatto.



Figura 2: Tipologie di coltivazioni a giorno (superficiali)

3.1.2 Coltivazioni in sotterranea

In definitiva l'attività in sotterranea si differenzia più per i metodi di coltivazione che per le differenti tipologie. Di quest'ultime possiamo però elencarne almeno due che, come per la coltivazione a cielo aperto, saranno scelte principalmente in funzione della morfologia del territorio.

In sintesi:

... di pianura

con attacco dal piano campagna: *... a pozzo verticale, ... a pozzo inclinato oppure ... a imbuto.*

Si sviluppano da quota terreno nel substrato; l'impatto visivo è di norma del tutto trascurabile, per gli attacchi ad imbuto dipende dal diametro di quest'ultimo e dalla quota del punto di vista.

... di monte

con attacco da una zona pedemontana o a mezza costa: *... a portale d'imbocco (... per gallerie o ... per discenderie).*

L'impatto visivo è sovente inesistente, per lo più potrebbero influire le piste d'accesso e/o le ripiene dei materiali di scarto.

3.1.3 Coltivazioni ibride e in semi-sotterranea

Si tratta di forme ibride (Figura 3) tra la coltivazione a cielo aperto e quella in sotterranea che risultano dall'applicazione di due o più metodi di coltivazione relativi alle tipologie di cui ai capitoli precedenti. Di norma, si tratta di coltivazione a cielo aperto e di un'evacuazione in sotterranea (*glory hole* o *fornello*) o via *trincee profonde* che possono generare problematiche tipiche dell'escavazione in sotterranea. Queste scelte procedurali sono dettate essenzialmente dal fatto che l'impatto ambientale e/o economico delle vie di accesso sarebbero comunque superiori.

Nell'estrazione in sotterranea, la zona di transizione da cielo aperto all'interno dell'ammasso roccioso, in assenza di un vero e proprio portale definito, è sovente caratterizzata da una fase di coltivazione descritta come *sottotecchia*. Si tratta di una coltivazione che implica l'applicazione di metodi differenti rispetto alle tipologie puramente a cielo aperto, inoltre, ci si trova confrontati con problemi di stabilità tipici delle estrazioni in sotterranea.

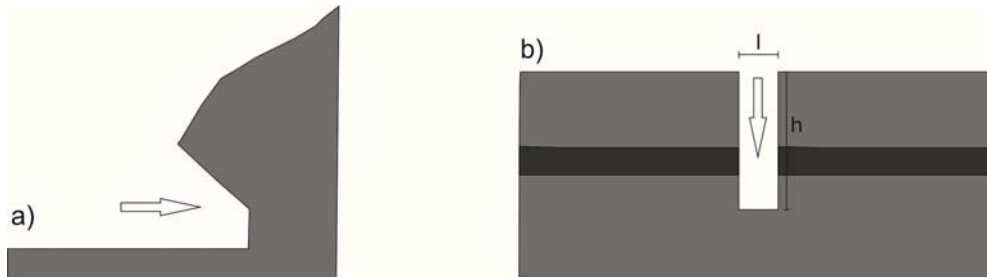


Figura 3: Tipologie di coltivazione in semi-sotterranea

- a) *sottotecchia* (a tetto inclinato o sub-orizzontale)
- b) *trincea profonda* (quando $h >> l$ e come transizione alla sotterranea o 'glory hole')

In sintesi:

... per fornello

Cfr. l'impatto delle cave in fossa (cap. 3.1.1).

... per trincea profonda

Spesso riservate all'evacuazione di materiale generato da cave di *mezza costa* o di tipo *pedemontano ad anfiteatro*. L'impatto è analogo a queste tipologie di cave.

... di *sottotecchia*

Possono essere confinate alla zona d'imbocco per l'estrazione in sotterranea, in questo caso l'impatto visivo sarà poco più importante di quello generato dalla tipologia estrattiva sotterranea *di monte*.

Oppure, data la stratigrafia e le condizioni geomeccaniche favorevoli, potrebbe essere il caso di un 'prolungo' dell'estrazione a cielo aperto (di *mezza costa* o *pedemontana*) coltivando, in maniera continua o a sezioni, il piede di una parete rocciosa. In questo caso, l'impatto visivo sarà tanto più importante quanto lo sviluppo areale della superficie a strapiombo.

Ulteriori informazioni nel capitolo 'Metodi di coltivazione alternativi per la realtà ticinese' (cap. 5).

3.2 Metodi di coltivazione

Il metodo di coltivazione è la sequenza logico-temporale secondo la quale le diverse porzioni di giacimento sono interessate dalle attività produttive elementari.

La scelta del metodo di coltivazione più idoneo s'impone sin dal momento della scoperta del giacimento. Data la tipologia di cava, a dipendenza dei fattori morfologici, stratigrafici (giacitura), territoriali, economici, logistici, ostativi e condizionanti, il gestore di cava individua il metodo di coltivazione a lui più confacente.

Di seguito una succinta presentazione dei metodi più diffusi.

3.2.1 Terminologia essenziale

Nella descrizione dei metodi affronteremo termini specifici inerenti al mondo dei cavisti e pertinenti alle volumetrie ed alle geometrie coltivate, per questo motivo riteniamo fondato riassumere quei vocaboli che serviranno alla comprensione di quanto segue.

Questi termini (Figura 4) implicano non solo una concettualizzazione puramente geometrica o geologica dell'ammasso costituente la concessione d'estrazione, in quanto la loro definizione impone pure valutazioni di carattere tecnico-economico variabili nel tempo. Soprattutto per quanto riguarda gli *intercalari sterili*, s'intendono rocce a caratteristiche mediocri che, alle condizioni tecniche e/o economiche presenti, non possono essere valorizzate sul mercato. Ciò non vuol dire che modifiche tecnologiche o mutamenti del mercato possano permettere una rivalutazione di questi banchi. La loro localizzazione può essere definita dalla struttura dei giacimenti (allora saranno disposti per lo più in maniera regolare) oppure dalla petrografia (allora la loro distribuzione sarà eterogenea). Possono trovarsi anche in mezzo al giacimento di valore.

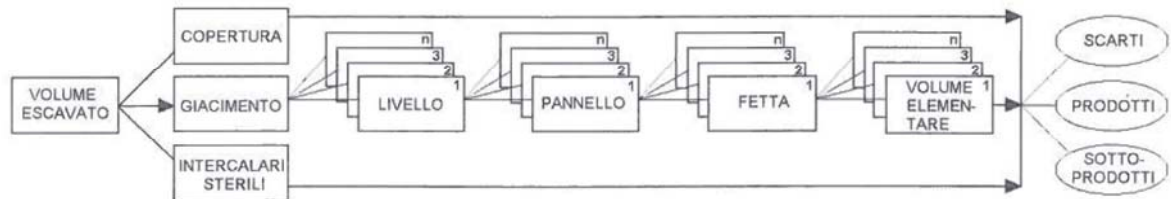


Figura 4: Gerarchia dei volumi

Dove per *copertura* s'intende quella porzione di materiale che non ha valore estrattivo (materiale sciolto, cappellaccio), come pure non ha valore l'*intercalare sterile*

Il *cappellaccio* è in genere costituito da rocce alterate e fratturate oppure da banchi sterili, quando la copertura è troppo imponente e l'investimento finanziario per la sua asportazione oneroso, allora per il gestore è interessante la valutazione di una migrazione al sistema di estrazione in sotterranea.

Il *giacimento* è la formazione utile alla coltivazione e alla vendita sul mercato. Quest'ultimo si suddivide poi in *livelli* (in genere costituiti da singoli o più *banchi geologici*), *pannelli*, *tracce orizzontali* o *platee*, e *fette* o *tracce verticali* (o *inclinate* a dipendenza della struttura geologica). In gergo, la *bancata* è solitamente costituita da più pannelli staccati verso monte dalla roccia in situ (taglio, fessura).

Il *volume elementare* è definito secondo la tecnologia e le tecniche a disposizione per la movimentazione del materiale. I prodotti successivi al primo ritaglio sono i *blocchi* e gli *scarti*.

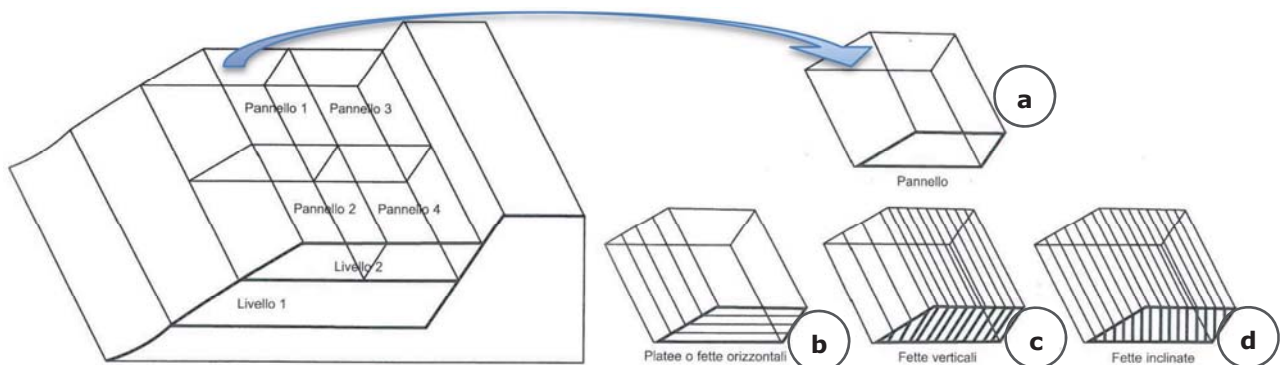


Figura 5: Le geometrie che si riferiscono allo sbancamento di produzione

- a) *pannello*
- b) *tracce o platee (o fette) orizzontali*
- c) *fette o tracce verticali*
- d) *fette o tracce inclinate*

Per i metodi di coltivazione a cielo aperto serve capire il significato dei termini proposti alla Figura 5; spesso, anche in sotterranea, indipendentemente dal metodo di coltivazione principale, l'abbattimento avviene considerando le geometrie di uno sbancamento di produzione.

3.2.2 Metodi di coltivazioni a cielo aperto

Alcuni metodi sono più confacenti a certe tipologie di coltivazione, altri possono essere implementati a tutte le tipologie.

Sovente il caso reale sfocia in una combinazione di due o più metodi di coltivazione.

Si rileva che non v'è linearità tra tipologia di coltivazione e metodo, innumerevoli fattori (oltre alla morfologia e alla geologia) influenzano la scelta del metodo, per cui a parità di condizioni geomorfologiche e tipologiche è possibile che un gestore opti per un metodo di coltivazione piuttosto che per un altro.

Metodo a gradoni per gradone unico

Il giacimento è costituito da un unico livello che coincide con l'altezza del gradone.

Metodo a gradoni per splateamento su gradone unico

Sono coltivate delle platee per intero e in sequenza, partendo da quella più alta.

Metodo a gradoni per gradoni multipli (fette orizzontali discendenti)

Il giacimento è costituito da un unico livello ed è suddiviso in platee (fette) orizzontali che sono coltivate in sequenza per gradonatura. L'altezza dei gradoni può raggiungere la ventina di metri.

Metodo a gradoni per splateamento su gradoni multipli (fette orizzontali discendenti)

Il giacimento è costituito da un unico livello ed è suddiviso in platee orizzontali che sono coltivate per gradonatura, ma anche in simultanea. L'altezza dei gradoni può raggiungere la ventina di metri. I fronti del gradone sono distanziati a garanzia di una lavorazione simultanea e sicura su più platee.

Metodo a gradoni per fette verticali ascendenti

Il giacimento è coltivato per abbattimento di fette verticalizzate sviluppate dal piano di coltivazione verso la superficie.

Metodo a platea per splateamenti successivi

Sono coltivate delle platee per intero con un gradone per volta, in successione, dall'alto al basso. Le cave a fossa sono coltivate in questa maniera.

Metodo a platea per splateamenti contestuali

Il giacimento è costituito da più platee che sono coltivate in modo contestuale, con più fronti progressivi a gradone, dall'alto al basso. Le cave ibride a imbuto sono coltivate in questa maniera.

Metodo per lotti con rotazione del fronte

Può applicarsi sia ai metodi a gradoni che per platee, permette di ridurre l'impatto visivo e consiste nel far procedere l'avanzamento del fronte (o dei fronti) secondo direzioni più o meno ortogonali alla direzione di maggior visibilità.

Alle tabelle seguenti (Tabella 1 e 2) si può leggere la possibile correlazione tra tipologia di coltivazione e metodo adottato. Le tabelle non sono esaustive e rappresentano due possibili interpretazioni dei metodi di coltivazioni adottati.

METODO DI COLTIVAZIONE	TIPOLOGIA DI COLTIVAZIONE A CUI PUÒ ESSERE APPLICATO
Coltivazione a gradoni per fette orizzontali discendenti su più livelli	di monte (culminali, a mezza costa e pedemontane) di colle di pianura
Coltivazione a gradoni per fette orizzontali discendenti su un unico livello (splateamenti)	di monte (culminali, a mezza costa e pedemontane) di pianura
Coltivazione a gradoni per fette verticali montanti	di monte (a mezza costa e pedemontane) di pianura
Coltivazione a gradone unico	di colle di pianura

Tabella 1: Metodi di coltivazione principali per tipologie a cielo aperto

Metodo di coltivazione		Tipologia di cava
Metodi a gradoni	- A gradone unico	Cave di pianura aperte Cave di monte culminali
	- A gradone multiplo	Cave di monte culminali Cave di monte di versante Cave di monte pedemontane
Metodi a platee	- A splateamenti successivi (a fossa)	Cave di pianura chiuse
	- A splateamenti contestuali (ad imbuto)	Cave di pianura chiuse Cave di monte culminali Cave di monte di versante

Tabella 2: Metodi di coltivazione suddivisi per *gradoni* o *platee*, per tipologie a cielo aperto

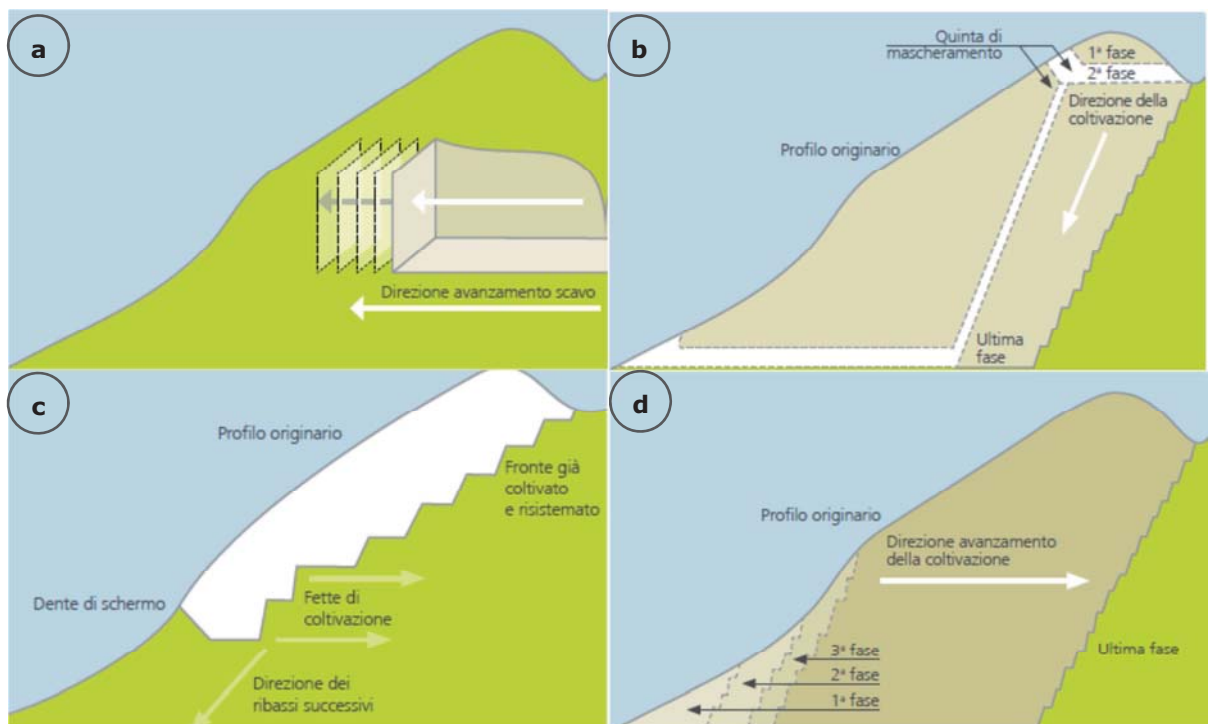


Figura 6: I metodi principali adottati per una tipologia di cava di monte

- a) A gradone unico, con avanzamento a fette verticali
- b) A gradoni multipli per splateamento su gradone unico, nelle prime fasi potrebbe anche consistere in un metodo a platea per splateamento contestuale e imbuto
- c) A gradoni per splateamento su gradoni multipli, con avanzamento a fette verticali o fette orizzontali discendenti
- d) A gradoni per fette verticali ascendenti

Alla Figura 6 sono evidenziati in maniera figurativa i metodi principali adottati per tipologie di cave di monte, mentre alla Figura 7 sono raffigurati i metodi usualmente adottati per tipologie di cava a mezza costa o pedemontane.

In Ticino, nell'ambito dell'estrazione della pietra locale, le cave rientrano in questi due tipologie.

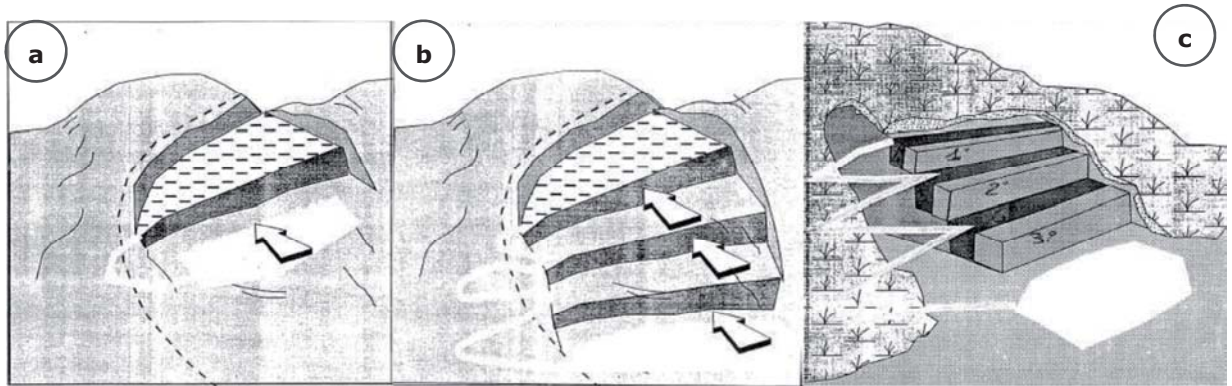


Figura 7: I metodi principali adottati per una tipologia di cava a mezza costa o di pedemonte

- a) *A gradone unico*
- b) *A gradoni multipli*
- c) *A trance (fette) discendenti*

3.2.3 Metodi di coltivazioni in sotterranea

Le coltivazioni in sotterranea sono praticate da molto tempo, una volta il lavoro era svolto a mano con l'ausilio di utensili, oggi è in gran parte meccanizzato.

Tale coltivazione è costituita da una o più cavità interconnesse con le funzioni: produzione, accesso, circolazione e logistica. I metodi adottati sono tra i più svariati, ma in sintesi si possono raggruppare in tre grandi classi.

Di queste, il metodo per (grandi) vuoti è il più variegato e si suddivide in una molteplicità di altri sottogruppi a dipendenza della stabilità dell'ammasso roccioso, della localizzazione del giacimento utile, dallo sviluppo nelle tre dimensioni di questo giacimento, dall'intercalazione del giacimento con rocce sterili.

Anche per l'estrazione in sotterranea, il caso reale sfocia in una combinazione di due o più metodi di coltivazione.

Metodo a vuoti o grandi vuoti

Lo spazio ricavato coltivando nel sottosuolo è lasciato vuoto (Figura 8 e Figura 9).

Quando parliamo di coltivazione in sotterranea di pietre ornamentali, normalmente il presente metodo è quello maggiormente applicabile.

La coltivazione può essere eseguita nei seguenti modi:

- *per camere isolate*, la cui dimensione dipende dalla solidità della roccia,
- *per strozzi* (larghi sino a 10 m), in cui la coltivazione avviene per gradoni generando dei vuoti molto alti,
- *per magazzino pieno*, in cui l'abbattimento della corona della camera genera delle *tramogge* in materiale detritico la cui distanza dalla corona della camera è mantenuta costante,
- *per magazzino vuoto*, con abbattimento a fette orizzontali partendo da fornelli, oppure per abbattimenti a sottolivelli,
- *a camere e pilastri*, essendo i pilastri costituiti da roccia di giacimento da materiali sterili oppure da ricostruzioni in beton,

a camere e diaframmi, essendo i diaframmi costituiti da roccia di giacimento oppure da materiali sterili o meno indicati (le camere possono essere larghe sino a 20 m e lunghe anche oltre i 40 m).

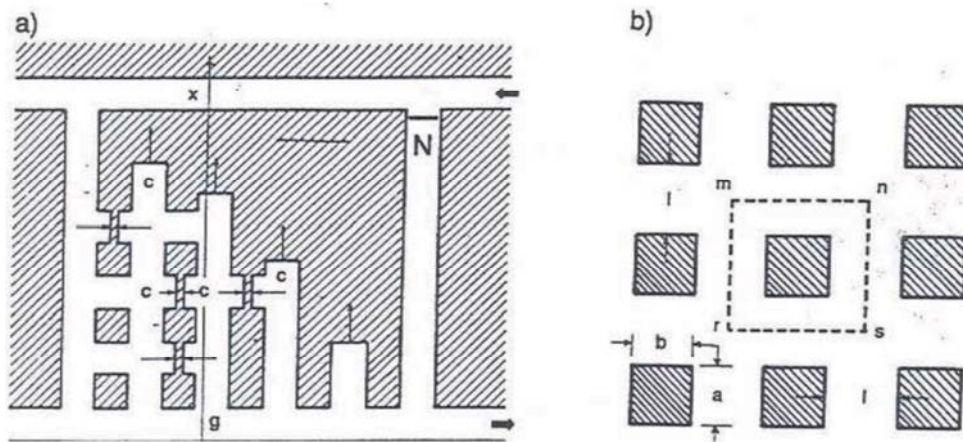


Figura 8: Metodo a vuoti (esempio)

- a)** Tramite gallerie d'accesso e di carreggio, sono lasciati pilastri e diaframmi a sostegno della volta
b) Particolare dei rapporti geometrici tra vuoti e pilastri

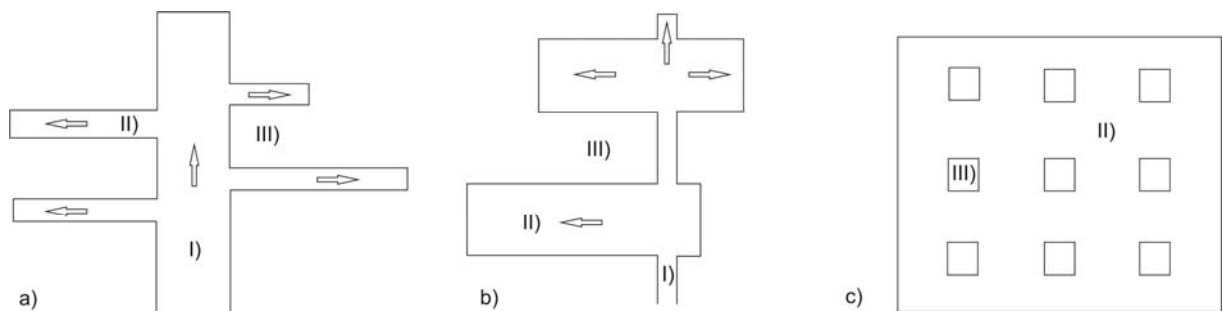


Figura 9: Metodi differenti per la coltivazione di vuoti in sotterranea

- a)** Galleria a grande fronte di produzione (I), con cunicoli laterali di collegamento o di carreggio (II), anche a livelli differenti e ampie spalle di contrafforte (III)
b) Galleria d'avanzamento (I) e cameroni di produzione (II) -anche con estrazione a pozzo o fossa- con grandi spalle di contrafforte (III)
c) A grandi camere o caverne (II), con pilastri (III) o puntelli di sostegno

Metodo a vuoti e per franamenti

Lo spazio ricavato coltivando nel sottosuolo è occupato dalla roccia che sovrasta il giacimento facendola franare in maniera controllata. Questo metodo di coltivazione è utilizzato soprattutto per l'estrazione di minerali e di materiale non ornamentale. Ha il vantaggio di ottenere una maggiore percentuale di materiale utile recuperato e di produrre una volumetria nettamente inferiore di materiale per ripiena esterna; il grande svantaggio è dato dallo sviluppo d'instabilità e subsidenze di difficile controllo. La coltivazione può essere eseguita nei seguenti modi:

· *per lunghi fronti* (larghi sino a 300 m) e *puntelli*, laddove quest'ultimi hanno funzione di sostegno provvisorio, per le macchine al fronte e per la via di trasporto, gradatamente vengono abbattuti generando frane di lastre e blocchi dalla volta,

- *a camere e pilastri e/o diaframmi*, laddove quest'ultimi, dopo il vuotamento delle camere, sono abbattuti,
- *per sottolivelli*, in cui l'abbattimento avviene in ritirata dal livello più alto a quello più basso,
- *per camere, strozzi o magazzini divisi da diaframmi sottili*, in cui il materiale abbattuto è lasciato nei vuoti e svuotato in un secondo tempo, demolendo i diaframmi di sostegno,
- *per fornelli inclinati*, che raccolgono il materiale generato dall'abbattimento corale di una serie di pilastri ricavati perforando il massiccio con una serie di gallerie orizzontali e ortogonali tra loro.

Metodo a vuoti e con ripiena

Lo spazio ricavato coltivando nel sottosuolo è occupato da detriti e materiale di scarto che provengono dall'interno (scarti della coltivazione di altri vuoti) o dall'esterno. Se si tratta di coltivazione di minerale o materiale non ornamentale, solitamente i modi ricalcano quando riportato per il metodo a franamento.

Quando, invece, si tratta di coltivare pietre ornamentali, allora si applicano i modi descritti sotto il paragrafo dei metodi a vuoti e si utilizza il materiale di scarto della successiva camera in abbattimento per riempire l'ultimo vuoto coltivato.

Rispetto al metodo per franamento ha il vantaggio di mantenere una migliore condizione di stabilità dell'ammasso roccioso.

La coltivazione può essere eseguita nei seguenti altri modi:

- *per gradini rovesci*, soprattutto quando si abbattono stratificazioni inclinate, partendo dalla base di un fornello in abbattimento dai livelli più bassi a quelli più alti,
- *a lunghe fronti montanti*, che differisce dal precedente per il fatto che il fronte di scavo è lungo e non finisce in un fornello,
- *a fette orizzontali montanti*, quando la compattezza e la resistenza della roccia lo permette, dopo aver demolito la prima fetta la si riempie con ripiena e si attacca la fetta superiore.

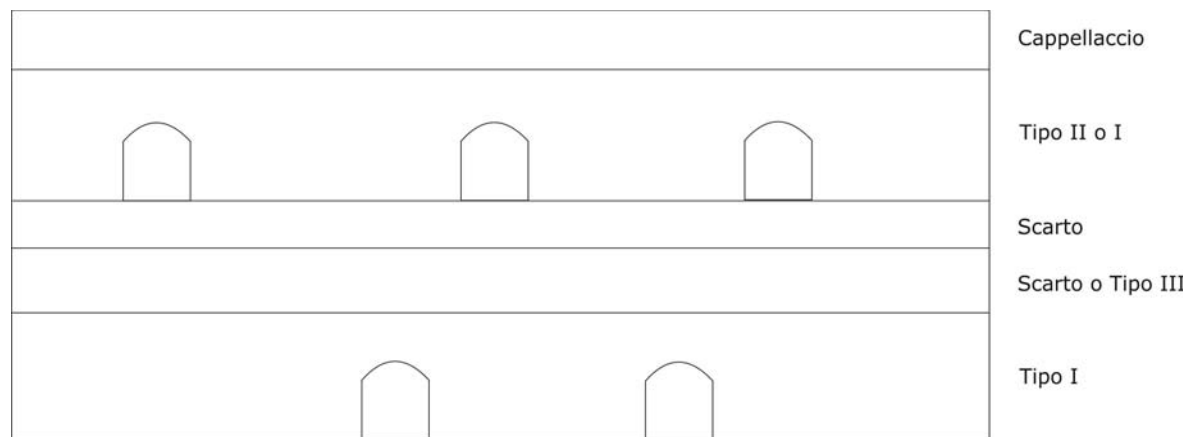


Figura 10: Applicazione dei metodi in sotterranea per livelli (nel caso della pietra ornamentale)

Dipendentemente dall'assetto strutturale e geologico dell'ammasso e dalle effettive possibilità tecniche, i metodi suelencati possono essere applicati per livelli (Figura 10), con entrata e uscita unica da una singola galleria, oppure usufruendo di cunicoli di carreggiamento interni per entrare e uscire da due portali. Tale approccio permette di sfruttare unicamente i banchi (o livelli) costituiti da giacimenti di roccia utile di prima o seconda qualità, lasciando in posto gli strati di roccia sterile, a sostegno dell'edificio roccioso.

Nell'ambito della coltivazione di pietra ornamentale è difficile pensare a collegamenti interni tra livelli differenti, ad esempio mediante imbuti e tramogge, oppure per franamento controllato e localizzato delle intercalazioni sterili, ma – a dipendenza della particolare geologia e dell'assetto strutturale – è possibile adottare anche un metodo d'abbattimento del genere.

3.2.4 Metodi di coltivazioni per le tipologie in semi-sotterranea

In pratica, per la coltivazione della pietra ornamentale in *'sottotecchia'*, sono adottati alcuni dei metodi elencati per le tipologie di cava a cielo aperto. Ovviamente, la scala su cui si opera è minore, e il fronte non può superare qualche decina di metri.

Sono utilizzati i metodi a gradone per splateamento, oppure a gradoni per gradoni multipli, oppure si adottano dei metodi di coltivazione del tipo:

- *per trince discendenti*, (in combinazione con i metodi a gradone) con un abbattimento del materiale dall'alto verso il basso,
- *per pannelli*, ad estrazione di blocchetti o conci e suddivisi in platee orizzontali di piccolo spessore.

Per questa particolare tipologia di coltivazione, l'attacco inclinato a fendere l'ammasso roccioso è praticato adottando tecniche particolari che prevedono la distruzione del primo cuneo oppure il taglio e l'asportazione meccanica di quest'ultimo.

3.3 Introduzione ad alcune tecniche estrattive d'interesse

Data la tipologia di coltivazione e adottato il metodo (o i metodi) di coltivazione, il gestore di cava, grazie alla sua esperienza e sulla scorta delle specificità della sua organizzazione (logistica, mezzi materiali e finanziari a disposizione, capitale umano), focalizza la tecnica estrattiva applicabile al suo caso.

Di seguito presentiamo alcune delle tecniche estrattive implementate per la coltivazione di pietre ornamentali, senza più distinzione tra cielo aperto e sotterranea, in quanto l'adozione della tecnica estrattiva dipende, oltre che dai fattori logistici suelencati, dalla tipologia di roccia e dagli eventuali vincoli ostativi o condizionanti.

Ai paragrafi 3.3.2, 3.3.3 e 3.3.4 sono riportate quelle tecniche d'estrazione facilmente e normalmente implementabili in sotterranea, per tipologie rocciose tali quelle presenti nel comprensorio ticinese.

3.3.1 Sviluppo delle tecniche

Se guardiamo all'evoluzione delle tecniche estrattive, si rileva che dalle coltivazioni neolitiche di selce a tutto il periodo medievale, i sistemi di estrazione non hanno registrato grandi evoluzioni.

L'estrazione nell'antichità avveniva soprattutto grazie al sapiente e mirato utilizzo degli elementi, utilizzando le tecniche:

- *del lavoro a fuoco*, per rendere più friabile l'ammasso roccioso e facilitarne l'asportazione tramite utilizzi di utensili manuali,
- *del lavoro dell'acqua*, utilizzando il rigonfiamento di cunei e spuntoni di legno infissi in fessure o buchi della roccia, per dislocare lastre e blocchi,
- *del lavoro del ghiaccio*, utilizzando lo stesso principio dato dal rigonfiamento del volume di acqua in foro a seguito della transizione di stato in ghiaccio,
- *del lavoro d'utensile*, che consisteva nell'utilizzo (con la sola forza manuale dell'uomo) di mazze, martelli, picconi, scalpelli, leve e punciotti (Immagine 1).



Immagine 1: Punciotti, piccone (piccarocca) e lastra dimezzata con punciotti

Nell'arco di pochi secoli, con costante e rapida evoluzione, si adottano nuovi strumenti e utensili più efficaci (come il fioretto), la polvere nera, le macchine perforatrici a vapore, la nitroglicerina, il filo elicoidale (Immagine 2), la dinamite, i motori a scoppio e, infine, le macchine elettriche. In particolare, la progressiva introduzione di materiali esplosivi, largamente utilizzati nelle miniere, determina dal XVII sec. la modifica radicale dei sistemi di avanzamento.

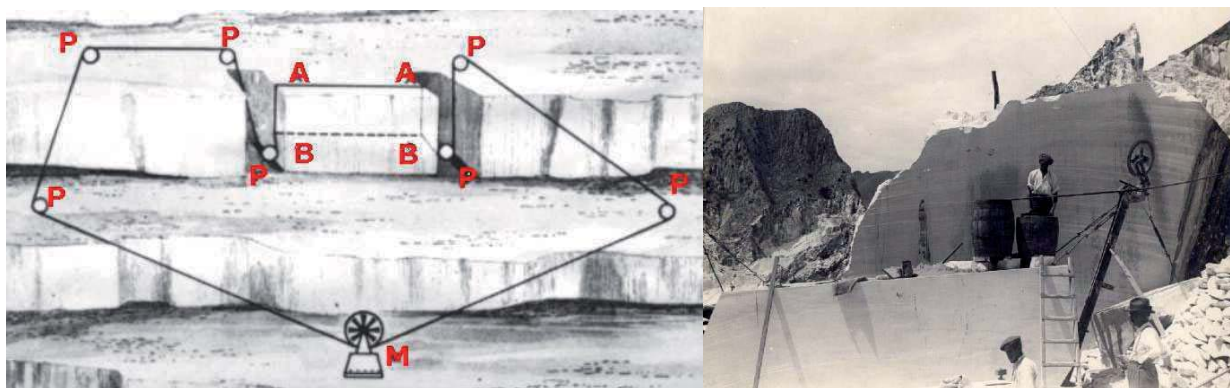


Immagine 2: Filo elicoidale

Il metodo del "filo elicoidale" è basato su una lenta azione erosiva esercitata da una fune metallica che trasporta acqua e sabbia silicea come abrasivo. Il filo mantenuto in movimento dal motore (M) è guidato in apposti "pozzetti" (P), preparati in precedenza di fianco al blocco che si vuole isolare; all'inizio esso agisce lungo la linea AA, poi giunge allo stadio BB, finché cessa l'azione abrasiva una volta a livello di PP. In qualche decina di giorni si tagliano blocchi di centinaia di metri cubi.

È d'interesse in questa tesi poiché rappresenta il precursore del filo diamantato, tecnologia relativamente innovativa implementabile per l'estrazione in sotterranea delle pietre ornamentali ticinesi.

Gli ultimi decenni del XX secolo vedono una ancor più rapida evoluzione, l'introduzione di moderni macchinari automatici, porta al parziale pensionamento del martello perforatore ad aria compressa. Nuove tecniche fanno capolino come le tagliatrici a catena (Immagine 3), il filo diamantato ed il flame-jet (lancia termica).



Il Flame-jet è una tecnica di taglio delle rocce cristalline per fusione termica, assai lenta ma che permette di operare in luoghi difficili e stretti. La tagliatrice a catena è largamente utilizzata per rocce carbonatiche anche metamorfiche.

Immagine 3: Flame-jet e tagliatrice a catena

3.3.2 Macchine di perforazione

Nell'ambito delle tecniche moderne d'estrazione un ruolo fondamentale è dato dalle macchine di perforazione utilizzate sia per l'inserimento della carica esplosiva in foro sia per il passaggio del filo diamantato.

Le perforatrici (Immagine 4) sono utilizzate nell'estrazione (perforatore pneumatico o cavalletti montati su mezzi cingolati) e della fase di riquadratura dei blocchi (slitte di perforazione).



Immagine 4: Perforatore pneumatico su binario, cavalletto di perforazione montato su mezzo cingolato, perforatrice a slitta

La tecnica di perforazione per taglio consiste nel realizzare una serie di fori ravvicinati, condotti per tutta la profondità del blocco da sezionare, mediante perforatori pneumatici. Quest'operazione crea piani di facile divisibilità sui quali si può agire per una completa separazione che si ottiene con speciali cunei stretti, oppure con piccole cariche di polvere nera collegate tra loro da una miccia detonante che provoca lo scoppio istantaneo. Le punte impiegate in questi martelli pneumatici sono in acciaio speciale, con la testa a taglio di alcuni centimetri di diametro e diversa secondo la durezza e la tenacità della roccia da perforare.

3.3.3 Estrazione e taglio all'esplosivo

Allo scopo di innestare i fronti – delle gallerie nelle tipologie estrattive in sotterranea, oppure per i cunei di rientro allo strapiombo per le tipologie estrattive sottotecchia – è generalmente d'uso adottare la tecnica estrattiva all'esplosivo.

In considerazione della tipologia del materiale da asportare, dei mezzi a disposizione, del reticolo di perforazione e della grammatura del materiale di smarino, si dovrà decidere che tipo di esplosivo utilizzare e in che quantità. Di regola, per asportazioni di materiale che non prevedono il realizzo di pietra utile, si utilizzeranno esplosivi dirompenti ad alta potenza distruttiva; mentre per tagli e sezionature si preferirà l'utilizzo di polvere nera deflagrante e/o di miccia detonante (Immagini 5 e 6), che permette una ripartizione lineare e regolare di una quantità minima d'esplosivo.



Immagine 5: Utilizzo di miccia detonante per la riquadratura di un blocco e per la sezionatura di una fetta verticale



Immagine 6: Polvere nera, miccia detonante in fori ravvicinati, detonatore

L'utilizzo ragionato e ad arte dell'esplosivo può portare a notevoli risultati anche in sotterranea. Anche se, allo scopo di evitare destabilizzazioni incontrollate di elementi lapidei di piccola e media dimensione, bisognerà conoscere anticipatamente gli effetti delle vibrazioni sull'ammasso roccioso e, se del caso, prevedere degli accorgimenti per limitare il loro livello.

3.3.4 Taglio con filo diamantato

Fino ad una decina di anni or sono, l'utilizzo della tecnica d'estrazione con filo diamantato (Immagine 7), per rocce dure come la maggior parte delle pietre cristalline presenti nel comprensorio ticinese, non era finanziariamente sostenibile.

Le macchine moderne ed i fili diamantati di nuova concezione, permettono però dei tagli precisi con un investimento finalmente concorrenziale al costo di altre tecniche, anche per tipi di pietra cristallina e metamorfica. Nelle macchine moderne, a filo installato, tutte le operazioni sono svolte automaticamente e non richiedono interventi di controllo da parte dell'operatore.

Il principio generale di funzionamento delle tagliatrici a filo diamantato è quello di incidere una roccia trascinando un dispositivo dinamico ad azione abrasiva (Figura 11). L'elemento tagliante, il filo diamantato, è disposto secondo un circuito chiuso attorno alla sezione da tagliare e irrorato con acqua per il raffreddamento durante il taglio.

Il cuore del sistema è il filo diamantato costituito da due elementi distinti; il cavo e le boccole diamantate. Il cavo, in acciaio inossidabile e del diametro medio di 5 mm, ha il compito di assorbire le sollecitazioni statiche e dinamiche e di sostenere le perline diamantate. Le boccole diamantate sono elementi sinterizzati di forma cilindrica cava, che sono inseriti a distanza regolare sul filo d'acciaio.



Immagine 7: Taglio al filo diamantato con l'utilizzo di pulegge, macchina, perline diamantate

Il filo diamantato può essere utilizzato anche in sotterranea, per sezionare e tagliare i gradoni a fette, ma anche per svincolare lateralmente eventuali grandi cunei d'attacco. In questo caso, l'inserimento del filo diamantato nella roccia avviene tramite perforazioni cieche, oblique e incidenti. Per quest'operazione è di fondamentale importanza l'esperienza dell'operatore nell'incrociare i fori di perforazione.

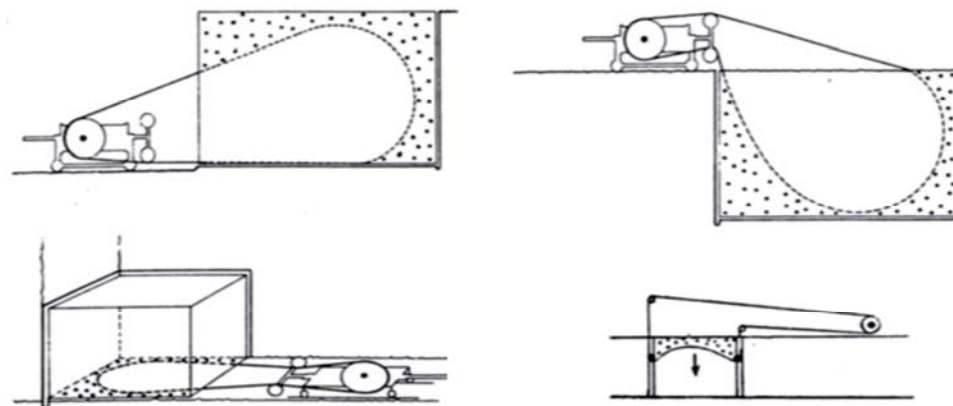


Figura 11: Principali modi di esecuzione di taglio con filo diamantato

4. Attuali metodi di coltivazione e tipologie estrattive in Ticino

Le cave di pietra attive in Ticino sono essenzialmente coltivate mediante estrazione di superficie a cielo aperto.

Le tipologie di coltivazione più frequenti sono quelle *pedemontane* e *a mezza costa* (cfr. 3.1.1). Questi due tipi principali migrano talvolta verso una tipologia *culminale* localizzata, allora quando la coltivazione va a smantellare dei locali promontori rocciosi; oppure verso una tipologia a fossa, nel caso in cui vien lasciato un ciglio esterno (in materiale sciolto o roccia sterile) oppure se il gestore decide di coltivare sino a qualche metro al di sotto del piano campagna.

Le pareti di roccia sono generalmente coltivate tramite *metodo a gradoni per fette verticali discendenti su uno o più livelli* (cfr. 3.2.2) o, in ogni caso, estraendo le porzioni di roccia utile sfruttando la struttura dell'ammasso roccioso (allora il metodo migra verso: ... *per fette inclinate discendenti* o ... *per pannelli*). Altri metodi d'estrazione rappresentano delle unicità che non approfondiamo in questa tesi, ma che sono demandati ad uno studio di dettaglio focalizzato sulle singole specificità.

Alcuni gestori hanno pure coltivato delle porzioni dei loro giacimenti, comunque di contenuto sviluppo, adottando un tipo d'estrazione in '*sottotecchia*'. In questi casi, il metodo utilizzato è stato quello ... *per fette verticali discendenti*, con formazione di un cuneo d'attacco nella sezione a strapiombo.

Le cave a cielo aperto cambiano morfologia e dimensioni di frequente. Infatti, presupposte le tecniche ed i metodi convenzionali su cui si basano molti dei gestori da ormai più decenni, i fronti di estrazione si estendono sino a che le riserve e la morfologia del versante lo permettono. Sovente ci si trova confrontati con i limiti intrinseci ai metodi di coltivazione convenzionali, viepiù ostici considerata la maggiorata sensibilità del comune cittadino e degli organi di controllo agli impatti ambientali e paesaggistici.

Con il metodo d'estrazione a cielo aperto, in media il 50% del materiale estratto è di scarto e in alcuni casi difficile da gestire.

4.1 Svolgimento tipico della coltivazione in Ticino

In genere, considerata la geomorfologia del territorio ticinese, l'approccio all'estrazione del materiale utile è caratterizzato, in una prima fase, dallo spurgo e dalla rimozione del materiale sciolto (sovente depositi morenici) e del cappellaccio che ricopre i vari giacimenti di roccia. Quando gli affioramenti sono messi a nudo, inizia la coltivazione vera e propria dell'ammasso roccioso.

La tecnica d'estrazione è usualmente all'esplosivo (volate e tagli), sono diffuse e sempre utilizzate le mine e le saccocce da mina caricate a polvere nera. Le volate sono caricate a esplosivo dirompente con carica al piede e miccia detonante o esplosivo pulverulento come carica in colonna. I tagli all'esplosivo avvengono facendo capo alla miccia detonante.

Sempre più gestori di cava utilizzano il filo diamantato come tecnica per il taglio, soprattutto lungo le superfici laterali di svincolo.

La pietra ticinese è costituita da gneiss cristallini a durezza relativamente elevata, al contrario dei marmi costituenti l'ammasso roccioso di Carrara che, invece, possiedono durezza media e sono dunque più adatti ad essere sezionati tramite filo diamantato.

I blocchi estratti sono spezzettati (sgrossati) e riquadrati sul piano di lavorazione a ridosso del fronte estrattivo, per essere in seguito tagliati e lavorati nei laboratori situati verso il fondovalle (comunque a piè di cava).

La spezzettatura e la riquadratura avvengono utilizzando esplosivo (miccia detonante e micro-cariche di polvere nera) oppure per azione manuale tramite utilizzo di puncioti (spinotti d'acciaio muniti di alette laterali). I blocchi così ottenuti sono trasportati al laboratorio utilizzando benne gommate di notevoli dimensioni, gru del tipo derrick oppure appositi automezzi a pianale.

5. Metodi di coltivazione alternativi applicabili alla realtà ticinese

In via puramente teorica, presupposte le possibilità pianificatorie e territoriali, la coltivazione a cielo aperto è generalmente applicata quando i giacimenti di roccia sono affioranti oppure quando i costi necessari alla rimozione di ricoprimenti alluvionali o sedimentari, come pure di coltri rocciose non idonee (roccia sterile), non inficiano la redditività globale della cava.

In passato, certamente, non esisteva ancora una tecnica affinata che permetteva una coltivazione in sotterranea a costi concorrenziali con quelli generati da un tipo di coltivazione a cielo aperto.

Nel sondare tipologie di coltivazione in semi-sotterranea e sotterranea, proponiamo dunque un approccio di riqualificazione, di reinvenzione e di rigenerazione dello spazio scavato in territorio ticinese.

Nei paragrafi seguenti indichiamo i motivi per cui potrebbe essere interessante migrare ad una tipologia estrattiva di un certo tipo ed elenchiamo alcune peculiarità e tipicità riscontrabili per le aree di cava in Ticino.

5.1 *Coltivazione in semi-sotterranea (sottotecchia)*

La coltivazione in sottotecchia per la realtà ticinese non è generalmente intesa come una fase di transizione tra il cielo aperto e la sotterranea, bensì un vero e proprio approccio all'estrazione in zona prevalentemente pedemontana. Al paragrafo 3.2.4 sono indicati i metodi di coltivazione che questa tipologia prevede, mentre che le tecniche estrattive applicabili più importanti sono esposte ai paragrafi 3.3.2, 3.3.3 e 3.3.4.

Lo sviluppo dell'estrazione avviene in altezza piuttosto che in profondità, prevalentemente *per gradoni a fette verticali discendenti* (Immagine 8).

Motivi

Incrementare l'estrazione di materiale utile laddove l'approccio tradizionale propenderebbe per uno sviluppo piuttosto laterale o sommitale dei limiti di cava.

Sfruttare maggiormente un giacimento storico preservando temporaneamente altre zone ad interesse estrattivo.

Tipicità

La caratteristica essenziale per questo tipo d'estrazione è la presenza di alti fronti estrattivi prossimi all'esaurimento o d'imponenti pareti rocciose.

Oppure l'esistenza di inclinazioni di banco o scistosità consone ad un tipo d'estrazione in sottotecchia.

L'ammasso roccioso deve avere delle buone qualità geomeccaniche intrinseche e non deve essere percorso da superfici di discontinuità a frequente distribuzione.

La stabilità del tetto inclinato potrà essere garantita da speroni/diaframmi di spessore idoneo che interromperanno i vuoti a cadenze di 15-30 m.



Immagine 8: Esempio di estrazione in sottotecchia

La prima immagine riporta degli 'abbozzi' di estrazione in sottotecchia in Ticino. Nel caso specifico il piede di parete è stato coltivato perforando in obliquo le file di fori del primo taglio a monte. Lo strapiombo ottenuto non supera però i pochi metri.

La seconda immagine è relativa ad un'estrazione in sottotecchia nella Alpi Apuane che interessa una profondità di ca. 20 metri.

5.2 Coltivazione in sotterranea

La coltivazione in sotterranea è applicabile nel caso di rocce dure e stabili, in Ticino soprattutto per tipologie di cava pedemontane (limitatamente per quelle a mezza costa). Al paragrafo 3.2.3 sono indicati i metodi di coltivazione che questa tipologia prevede, preferendo il *metodo a vuoti* oppure quello *a vuoti e con ripiena*. Le tecniche estrattive applicabili più importanti sono esposte ai paragrafi 3.3.2, 3.3.3 e 3.3.4.

Il metodo a vuoti con ripiena è ben applicabile a rocce con strati inclinati, con stabilità medio-buona. La roccia è coltivata per fette oblique oppure per fette orizzontali estratte dal basso verso l'alto oppure dall'alto verso il basso. Il vuoto che si forma dopo l'estrazione è colmato con materiale di scarto per permettere la creazione di una piattaforma di lavoro utile per la perforazione della volata successiva.

Lo sviluppo dell'estrazione avviene in profondità piuttosto che in larghezza, prevalentemente *per camere e diaframmi (o pilastri)*, oppure *per strozzi*. Quest'ultima

indicazione è da considerare preliminare e potrebbe variare a dipendenza della geomeccanica e della geo-struttura della roccia che si vorrà coltivare in sotterranea.

La variazione delle caratteristiche geomeccaniche e/o strutturali della roccia di uno stesso giacimento con l'avanzare dei fronti di scavo, possono imporre un cambiamento oppure un adeguamento dei metodi di coltivazione.

I metodi di coltivazione in sotterranea possono essere diversi da una cava all'altra poiché condizionati dai fattori specifici già menzionati in precedenza.

Motivi

Incrementare l'estrazione di materiale utile laddove l'approccio tradizionale propenderebbe per uno sviluppo piuttosto laterale o sommitale dei limiti di cava.

Sfruttare maggiormente un giacimento storico preservando temporaneamente altre zone ad interesse estrattivo.

Continuare l'estrazione di pietra ornamentale di un giacimento considerato esaurito, quando la sua coltivazione con i metodi tradizionali non è più fattibile.

Ridurre gli impatti ambientali dovuti alle operazioni di estrazione a cielo aperto in maniera rilevante.

Limitare l'impatto paesaggistico alla sola presenza del portale e delle piste d'accesso.

Tipicità

La caratteristica essenziale per questo tipo d'estrazione è la presenza d'importanti fronti estrattivi a cielo aperto prossimi all'esaurimento.

L'esistenza di mutati vincoli ostativi ambientali o paesaggistici.

L'ammasso roccioso deve avere delle buone qualità geomeccaniche intrinseche e non deve essere percorso da superfici di discontinuità a frequente distribuzione.

La stabilità della volta potrà essere garantita da pilastri e/o diaframmi di spessore idoneo; le porzioni di vuoto tra di essi avranno cadenze di 8-18 m.

La possibilità di depositare il materiale di scarto (o buona parte dello stesso) nei vuoti creati in precedenza permette di limitare il fabbisogno di superficie dedicata a deponia in superficie.

L'avanzamento al fronte (Figura 12) può avvenire secondo diverse impostazioni dettate dalla tipologia di pietra coltivata, dalla geometria dei vuoti che si vanno a creare e dal concetto d'abbattimento tipico di una cava piuttosto che dell'altra.

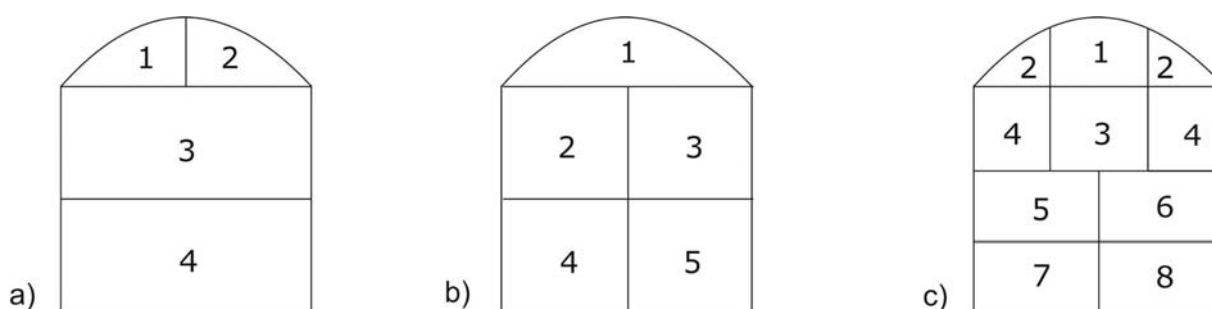


Figura 12: Scelte d'avanzamento al fronte per sezioni complete o parziali (esempi)

- a) Per sezioni poco larghe e di limitata altezza
- b) Per sezioni anche larghe, con buona stabilità della volta
- c) Per sezioni larghe e di notevole altezza

Una sezione tipo di come può svilupparsi il lavoro d'estrazione in sotterranea è esposta alla Figura 13. In particolare, si nota lo sviluppo a gradoni multipli e l'abbattimento per fette verticali. Nel caso specifico sono state segnate sia le infrastrutture tecniche

(raccordi elettrici, luci, d'aria compressa e evtl. sistema di ventilazione), sia una porzione consolidata (tramite chiodatura o beton spruzzato armato con rete elettrosaldata).

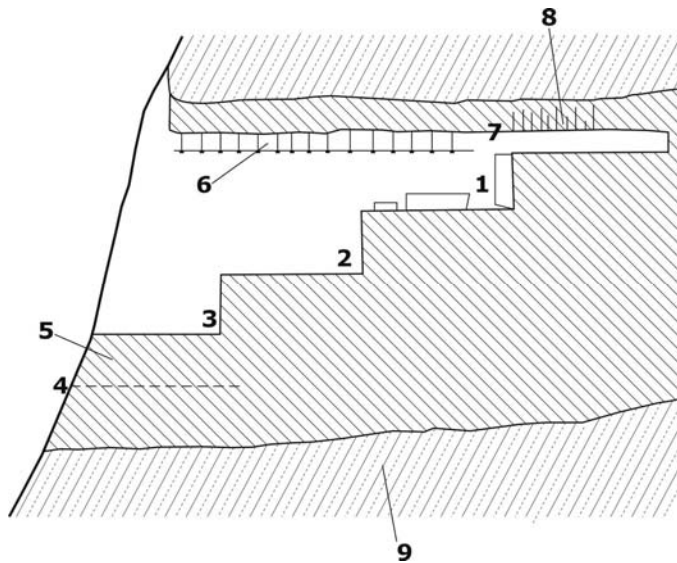


Figura 13: Spaccato di una coltivazione in sotterranea

- 1, 2 e 3**) Primo, secondo e terzo gradone
- 4**) Quarto gradone (da coltivare)
- 5**) Giacimento
- 6, 7**) Infrastrutture tecniche
- 8**) Consolidamento tramite chiodatura, reti o beton spruzzato
- 9**) Roccia incassante (solitamente sterile)

È utile ribadire che la programmazione dell'attività estrattiva in sotterranea (cap. 6), pur considerando alcuni aspetti generali definiti dalle tipicità della coltivazione in sotterranea sensu lato, dovrà essere approfondita in maniera individuale per singolo progetto estrattivo. Le condizioni geologiche e geologico-strutturali di dettaglio, infatti, variano praticamente per singola concessione.

Geologia e geologia strutturale locale

Aspetti geologici tali l'omogeneità dell'ammasso, la resistenza a compressione e la potenze dei banchi (utili e sterili), condizionano sia la localizzazione dell'attacco (portale), sia la geometria dei vuoti.

Per geologia strutturale s'intende il reticolo dei giunti e delle discontinuità dell'ammasso roccioso. Per l'estrazione in sotterranea interessa conoscere la frequenza, lo sviluppo, la persistenza, l'apertura e le condizioni delle superfici di discontinuità (rugosità, mineralizzazioni, materiale di riempimento, percolazioni d'acqua), al fine di poter progettare in maniera razionale e ragionata i vuoti estrattivi che si andrà a creare.

Di seguito una panoramica di svariate configurazioni dei vuoti generati da coltivazione in sotterranea (Immagine da 9 a 11).



Immagine 9: A camere e pilastri (e diaframmi), per camere isolate



Immagine 10: A camere (a volta) e pilastri, a camere e pilastri per incroci di cunicoli di carreggio



Immagine 11: Per magazzino vuoto

6. Fasi preparatorie, coltivazione e fine lavori in sotterranea

6.1 Studi preparatori e contenuto relazione tecnica

Come per gli scavi a cielo aperto, a maggior ragione per la coltivazione in sotterranea è necessario definire esattamente la forma e le dimensioni della porzione di roccia che si vuole asportare (cap. 5.2).

In questa fase di progettazione è opportuno che uno studio specialistico abbia a valutare le caratteristiche geologiche, geologico-strutturali e geomeccaniche della roccia, come pure le proprietà tecniche del materiale (cfr. elenchi seguenti).

6.1.1 Caratteristiche e proprietà

Elenco sintetico delle caratteristiche geologiche e geomeccaniche:

- giacitura (suborizzontale, subverticale, inclinata, massiva);
- struttura e tessitura della roccia (omogenea, isotropa, anisotropa);
- caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso;
- orientazione dei banchi;
- caratteristiche strutturali dell'ammasso (stratiforme, fratturato, caratteristiche dello stato di fratturazione);
- orientazione dei piani di discontinuità;
- caratteristiche delle eventuali rocce 'sterili' di contatto;
- dimensioni dei blocchi ottenibili;
- volume globale del giacimento di roccia 'utile';
- volume totale della pietra ornamentale estraibile.

Elenco sintetico delle proprietà tecniche dei materiali rocciosi:

- grado di compattezza e omogeneità;
- qualità dell'ammasso roccioso (RMR, RQD, ecc.);
- grado di alterazione;
- permeabilità;
- durezza;
- qualità;
- tipo.

Elenco sintetico delle proprietà geomeccaniche dei materiali rocciosi:

- densità;
- resistenza alla compressione e alla trazione;
- resistenza al taglio e allo strappo;
- modulo d'elasticità;
- rapporto di Poisson;
- coesione;
- angolo d'attrito lungo le superfici di discontinuità;
- rugosità lungo le superfici di discontinuità.

6.1.2 Progetto di estrazione in sotterranea

Alla pagina seguente (Figura 14), ritenendo un approccio prevalentemente di tipo geologico e geotecnico, indichiamo uno schema di flusso che riassume i passi procedurali da intraprendere per la pianificazione e lo sviluppo di un progetto di coltivazione in sotterranea (o in semi-sotterranea). A dipendenza della situazione altri fattori potrebbero rientrare nell'ambito della formulazione del progetto.

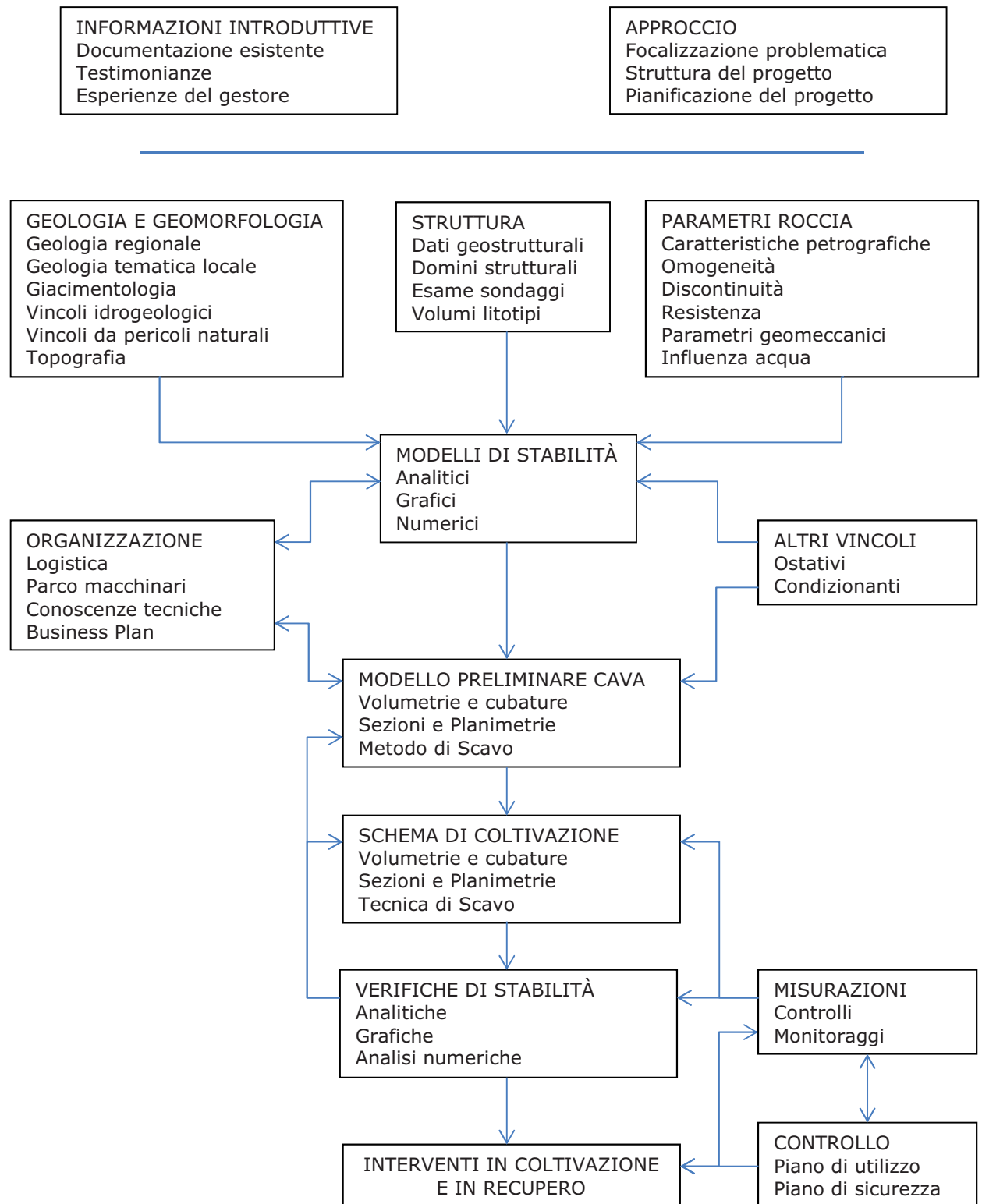


Figura 14: Schema di flusso per il progetto d'estrazione in sotterranea

In conformità con i dati geologie e geotecniche, e considerando le interazioni con i vincoli e le specificità date dal gestore.

Durante gli studi preparatori è sicuramente necessario definire la geometria del portale (Figura 15), infatti, questo può essere scavato a volta (galleria semi circolare) oppure con tetto piatto o inclinato. Per una migliore ripartizione degli sforzi tensionali dell'ammasso roccioso, nel limite del possibile, si tenderà a sviluppare un tetto a volta. Nel caso di strati (o banchi) ben definiti e obliqui, si procederà sfruttando la geometria naturale e ricavando un tetto inclinato. Per ammassi massicci e compatti si può considerare anche il tetto piatto.

Queste geometrie si applicano in definitiva a tutti i vuoti generati dall'estrazione in sotterranea.

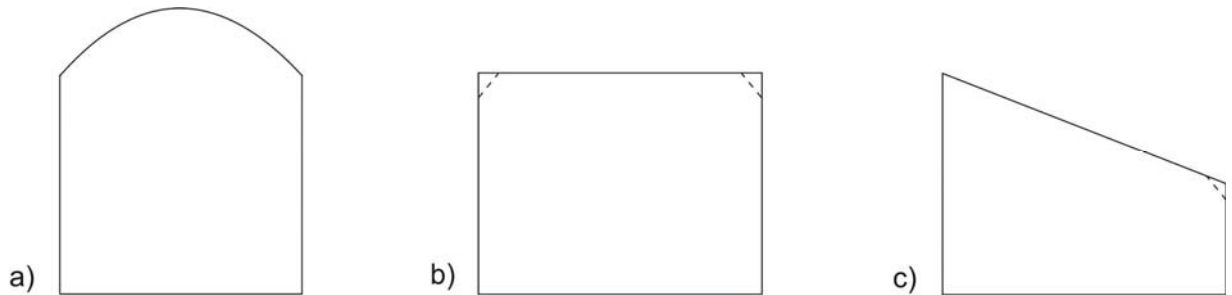


Figura 15: Geometria del vuoti (portale, gallerie, camere)

- a) *Tetto a volta*
- b) *Tetto piatto*
- c) *Tetto inclinato*

La relazione tecnica conterrà almeno le seguenti specifiche:

- valutazione dei quantitativi da scavare;
- scelta dei metodi di coltivazione;
- calcoli e simulazioni di stabilità dei fronti di scavo e delle volte (con restituzione delle deformate al contorno: volte, paramenti);
- tecniche estrattive utilizzabili;
- calcoli giustificativi delle metodologie di abbattimento;
- schedario delle fasi e dei lotti di coltivazione, corredate dal programma produttivo delle stesse;
- organizzazione del lavoro, scelta delle macchine per coltivazione e logistica;
- individuazione degli spazi destinati al cantiere e alle infrastrutture di sotterranea;
- piste d'accesso al portale;
- metodi adottati per la regimazione delle acque meteoriche e sotterranee;
- piano di utilizzo e sicurezza, corredate da un piano dei controlli;
- schema d'allarme e contatti utili;
- programmazione dell'istruzione e norme di sicurezza per i lavoratori;
- ogni altro elemento necessario.

In fase progettuale per la futura attività estrattiva bisognerà prevedere l'elaborazione di un rapporto d'impatto ambientale (RIA) allo scopo di verificare la compatibilità ambientale del progetto durante tutte le sue fasi.

Per conferma d'eventuali ipotesi di progetto, si valuterà la necessità di eseguire dei sondaggi distruttivi o carotati che permettono di raccogliere, in maniera mirata e puntuale, dei provini di roccia, laddove permangono dubbi sulla prognosi circa lo stato della roccia e sulla presenza di acqua.

6.1.3 Scavo o innesto di prova

Per valutare il comportamento in semi-sotterranea e sotterranea dell'ammasso roccioso, come pure la bontà del metodo di coltivazione e delle tecniche di estrazione individuati, sarebbe opportuno pianificare e effettuare un innesto di prova laddove è stata progettata l'estrazione.

L'innesto di prova non è da considerare un'operazione totalmente improduttiva, giacché una parte della roccia è comunque estratta come pietra utile e sarà destinata alle successive fasi di lavorazione.

Un'accorta valutazione del comportamento tensionale e strutturale dell'ammasso roccioso nelle fasi immediatamente seguenti l'innesto di prova e durante il mese successivo, può sicuramente concorrere al miglioramento dei modelli di stabilità e all'ottimizzazione del progetto di coltivazione in semi-sotterranea o sotterranea.

6.1.4 Macchine di cava in sotterranea

Il sezionamento e il ribaltamento dei blocchi avvengono adottando le stesse modalità impiegate a cielo aperto.

Macchine perforatrici e stacchi dei blocchi (Immagine 12)

Le macchine da perforazione usualmente utilizzate (cap. 3.3.2) come le perforatrici su slitta o le machine tagliablocchi, ma anche i wagon drill, mal si applicano all'apertura di un fronte in sotterranea. Queste macchine potranno essere utilizzate per la coltivazione dei gradoni e delle platee, ma per l'apertura del fronte sarà da preferire un piccolo jumbo a bracci semoventi, in grado di perforare con tutte le angolazioni del caso e ad altezze diverse dal pianale di carreggio.

Per il passaggio del filo diamantato si utilizzano, di regola, le perforatrici convenzionali. Per spazi angusti e di difficile accesso saranno da preferire le agili perforatrici oleodinamiche, più agili e flessibili rispetto alle normali perforatrici a percussione o pneumatiche.

Per lo stacco (sbancamento) dei blocchi è pensabile utilizzare dei cuscini ad espansione – hydro bag, ad acqua oppure expansion bag, ad aria) –, tale tecnologia è applicabile anche a cielo aperto.



Immagine 12: Macchina perforatrice del tipo Jumbo, perforatrice elettrica ad avanzamento idraulico e hydro bag

Jumbo: adatto alla formazione degli attacchi al fronte, ma anche alla perforazione dei fori (anche in volta) per l'eventuale posa di chiodature di sostegno

Perforatrice elettrica: adatta alla perforazione dei fori guida per il filo diamantato

Hydro bag: ideato per lo sbancamento di blocchi (tramite l'inserimento di membrane nei tagli tra blocchi e la successiva immissione di acqua ad alta pressione, si ottiene l'allargamento della fessura e il successivo sbancamento)

Movimentazione del materiale

Nel caso della coltivazione in sotterranea i macchinari dovranno essere adattati alle dimensioni delle gallerie e dei vuoti, come pure alle mansioni specifiche della sotterranea, a differenza delle grandi macchine di cava utilizzate attualmente nel Canton Ticino per lo sbancamento a cielo aperto (soprattutto per la movimentazione degli elementi lapidei sbancati: porzioni di fette discendenti o di pannelli). Il gestore dovrà dunque tener conto di dover eventualmente modificare parte del suo parco veicoli in funzione della nuova tipologia di coltivazione.

La movimentazione dei blocchi coltivati sarà dunque realizzata grazie a delle pale escavatrici idrauliche, idonee all'impiego in spazi ristretti. Le grandi pale gommate presenti attualmente presso le cave maggiori non rivestiranno più una grande importanza di ruolo.

6.1.5 Opere d'assicurazione e di premunizione

Nel limite del possibile, in fase progettuale e a seguito delle successive ottimizzazioni, si tenterà di proporre delle geometrie autoportanti che non necessitano a priori di assicurazioni particolari.

L'accurata verifica della stabilità di lastre e blocchi sulla volta e sui paramenti da parte degli operai che lavorano all'interno dell'ammasso roccioso (valutazione visiva, azione di spurgo con escavatori idraulici a pala, anche attrezzati di martelloni), favorirà la pulizia e l'allontanamento della maggior parte degli elementi lapidei instabili. Questo tipo di lavoro dovrà essere eseguito da operai d'esperienza. Inoltre, delle visite periodiche o su chiamata da parte di uno specialista, potranno aiutare all'identificazione precoce degli evtl segnali d'instabilità.

A dipendenza del contesto geologico e strutturale in cui si troverà, sarà però possibile che localmente e puntualmente si debba operare per incrementare il grado di sicurezza.

Le opere di assicurazione e di premunizioni si riassumono in: chiodature mirate, chiodature con rete elettrosaldata, chiodature con strato di beton spruzzato armato con rete elettrosaldata. Raramente bisognerà utilizzare puntelli o centine.

6.2 Monitoraggio costante e sicurezza operai

Il *piano di utilizzo e sicurezza* sarà corredato dal *piano dei controlli*, questi due documenti sono parte integrante del progetto e rimangono in vigore durante tutte le fasi attive dell'estrazione.

Sul piano dei controlli saranno indicati i provvedimenti da intraprendere per la verifica dei movimenti e delle traslazioni. Sicuramente saranno da prevedere delle misure geodetiche di superficie e in sotterranea, come pure delle misure delle convergenze (sui paramenti, diaframmi o pilastri). Se si risconteranno fessure aperte o di dubbia riattivazione, allora si prevederà il monitoraggio tramite fessurimetri manuali o resistivi.

Se del caso, si procederà alla verifica del livello vibratorio cagionato dal brillamento delle volate.

Il controllo visivo della stabilità della volta e delle intersezioni sui paramenti costituirà una delle mansioni cui tutti quelli che entreranno in sotterranea dovranno attenersi.

La sicurezza per gli addetti ai lavori in sotterranea va garantita secondo le direttive della SUVA. In particolare, operai saranno orientati sul sistema di sicurezza e d'allarme adottato, inoltre potranno far capo ad un impianto di ricetrasmisione.

Quando la distanza dei fronti di scavo dal portale diventerà importante, si dovrà prevedere un idoneo sistema di ventilazione, l'approvvigionamento di acqua e l'evacuazione delle acque reflue e d'infiltrazione.

6.3 Fine dei lavori di coltivazione e dismissione

Se si omettono le evtl piste d'accesso e le aree di sgrossatura che potrebbero essere presenti in prossimità del portale, l'impatto visivo all'esterno delle gallerie sarà praticamente nullo, sia durante gli scavi sia al termine della coltivazione, quando la cava sarà chiusa e sigillata per sicurezza.

Dopo le opere di riempimento e recupero della morfologia ambientale (piste d'accesso e piazzale), si può procedere alla ricopertura con suolo e vegetazione quanto più possibile uguale a quella presente in origine. Tali oneri sono, però, sicuramente minori se confrontati ai lavori di recupero necessari per una tipologia di cava a cielo aperto.

Il reinsediamento degli ecosistemi e il recupero delle alterazioni del paesaggio possono, invece, essere realizzati una volta terminata la coltivazione in sotterranea. Il riempimento delle aree coltivate non può sempre essere ottenuto utilizzando i residui di lavorazione eventualmente presenti.

Al termine di un'attività di estrazione in sotterranea, se non precedentemente colmatati mediante deposito degli scarti d'estrazione, rimangono dei vuoti che potrebbero essere utilizzati per altri scopi totalmente indipendenti dall'attività di cava.

6.4 Impatto paesaggistico e ambientale

Una coltivazione genera inevitabilmente un certo depauperamento del patrimonio naturalistico locale, in sotterranea questo fatto è sicuramente meno evidenziato.

Dal punto di vista paesaggistico (cfr. paragrafo 6.3) l'impatto sarà notevolmente ridotto rispetto a qualsiasi altro tipo di coltivazione a cielo aperto o in semi-sotterranea.

L'impatto ambientale è fondamentalmente determinato da:

- tipologia e sviluppo dell'insediamento industriale di cava;
- sviluppo delle discariche per inerti;
- acqua di educazione e impianti di trattamento e di lavorazione;
- trasporto del materiale (rumore, polvere, dissesto del manto stradale, condizionamento della viabilità);
- aria esausta di ventilazione;
- dissesti prodotti in superficie.

Rumore, reflui aeriformi e liquidi e dilavamento dei residui possono essere ridotti in modo drastico adottando particolari sistemi di abbattimento, contenimento e tecnologie di depurazione. Anche in questo caso, le emissioni nocive sono di molto ridotte rispetto a una tradizionale coltivazione a cielo aperto; infatti, la fase estrattiva del processo viene svolta in sotterranea e le emissioni che l'accompagnano rimangono in gran parte confinate all'interno dell'ammasso roccioso.

Un'accurata progettazione della coltivazione in sotterranea correlata da misure di controllo adeguate permetterà di rendere residuo il grado di rischio relativo alla stabilità delle aree di cava abbandonate, che potrebbero presentare evidenti rischi a causa del collasso dei vuoti sotterranei e delle frane in superficie.

6.4.1 Recupero e gestione dei rifiuti

In generale, i rifiuti di cava sono essenzialmente i materiali di scarto (stimati ad un 35% del totale del volume coltivato) ed i fanghi generati dal taglio e dalla lavorazione della pietra (limi di segazione).

Per limitare il problema discariche, riteniamo necessario orientarsi principalmente verso il recupero dei residui di cava.

I rifiuti di scarto possono essere riciclati e adoperati non solo per il rimodellamento, per il riempimento delle caverne, per la costruzione delle strade d'accesso, per la pavimentazione in galleria e per il recupero del sito estrattivo, ma anche nel campo delle costruzioni.

7. Vantaggi e svantaggi delle coltivazioni in sotterranea

I principali vantaggi della coltivazione in sotterranea rispetto alla coltivazione a cielo aperto sono:

- Nessuna influenza degli agenti atmosferici (intemperie, freddo, vento, eccessivo irraggiamento). Possibilità quindi di lavorare tutto l'anno.
- La coltivazione in sotterranea è mirata all'estrazione del giacimento utile, per cui non si pone il problema riguardante gli oneri finanziari e temporali generati dall'asportazione della copertura in materiale sciolto e/o dallo sbancamento del primo strato di roccia sterile che, nel caso di una tipologia di coltivazione a cielo aperto dovrebbero essere considerati.
- Nessun onere per la messa a deponia del materiale sterile di cui al punto precedente.
- Eliminazione dei costi per gran parte delle opere di ripristino ambientale.
- Dissodamento di nuove superfici alberate non necessario.
- Diminuzione dell'impatto sia dal punto di vista paesaggistico che ambientale.
- Abbattimento del rumore generato dallo sparo di mine e dai lavori con grossi macchinari. Abbattimento delle vibrazioni dovute allo sparo delle mine.
- Limitazione dell'emissione di polveri e altri reflui aeriformi.
- Riduzione in media di circa il 15% del materiale di scarto;
- Possibilità di utilizzare una buona parte del materiale di scarto per il riempimento dei vuoti in sotterranea (fabbisogno ridotto di volume di deponia).

I principali svantaggi della coltivazione in sotterranea rispetto alla coltivazione a cielo aperto sono:

- Spazi più ridotti, limitati alle dimensioni delle trincee, gallerie e vuoti.
- Carico del materiale solamente in una o due posizioni obbligate.
- Allungamento relativi dei tempi di trasporto del materiale verso l'esterno;
- Probabile aumento dei costi dovuti alla formazione degli operai, agli interventi di preparazione, all'acquisto di macchinari e attrezzature specializzate (la coltivazione vera e propria ha un costo paragonabile alla coltivazione a cielo aperto).
- Possibili venute d'acqua nello scavo dalle pareti delle gallerie.
- Differenziazione dei rischi degli operai (infortuni, presenza di gas pericolosi come il radon).
- Incognite insite nel lavoro d'estrazione svolto in sotterranea.

8. Esempi pratici

8.1 Carrara

Importanti esempi di coltivazione in sotterranea sono le cave di marmo di Carrara, convenzionalmente suddivise in quattro bacini estrattivi (70% a cielo aperto, 30% in sotterranea).

Il termine generale "Marmo di Carrara" ricopre un numero di varietà merceologiche con caratteristiche meccaniche ed estetiche significativamente diverse.

Le notizie riguardanti le prime estrazioni di marmo nella zona di Carrara risalgono al I sec. A.C. In diverse località sono presenti tagliate marmifere risalenti all'età romana.

Le estrazioni di materiale a cielo aperto sono programmate nei due modi seguenti:

- Apertura della cava dall'alto a forma d'anfiteatro o di semi-anfiteatro, adottando il metodo di coltivazione *a gradone unico per trance verticali*.
- Realizzazione di più piani di lavoro, ciascuno accessibile lateralmente da una pista di arroccamento dedicata, suddivisi in più fronti di avanzamento e sfasati in profondità. Secondo il metodo di coltivazione *a gradoni multipli per trance verticali discendenti*.

Nel secondo caso si ottiene un grande vantaggio che è quello di disporre di più gradoni verticali attivi simultaneamente, con vari punti di avanzamento entro ciascun gradone (in gergo: *metodo per lotti con rotazione del fronte*). In questo modo si dispone sempre di alcuni fronti in produzione mentre altri sono in preparazione.

Durante la transizione dalla coltivazione a cielo aperto a quella in sotterranea, le cave si avviano in sottotecchia. Questo passaggio avviene normalmente per seguire gli strati di materiale di prima qualità o nel caso di situazioni morfologiche (strapiombi, a valle di balzi o rilievi) che rendono impossibile o pericoloso realizzare ampliamenti o approfondimenti delle aree di lavoro a cielo aperto. La coltivazione in sottotecchia a Carrara si apre con le stesse tecniche adottate per le gallerie di avanzamento in sotterranea (cap. 3.2.4).

La prima fase del lavoro consiste nell'incidere la roccia con la tagliatrice a catena (Immagine 3) e procedere all'apertura del taglio mediante impiego di cuscini e di cunei, in modo da poter far passare il filo diamantato che, grazie agli appositi volani di rimando, potrà servire al taglio di spalle. Il blocco così ottenuto potrà essere estratto tramite escavatore o altro mezzo. Questo primo innesto è chiamato '*galleria di sopravvoto*' (Figura 16) e di norma ha un'altezza di ca. 3 metri e larghezza variabile tra 6 e 18 metri.

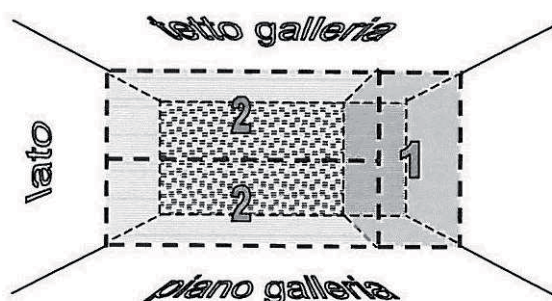


Figura 16: Schema di avanzamento per un tipo di galleria di sopravvoto

Una volta realizzato il sopravuoto e valutata la consistenza del giacimento, si può coltivare il gradone sottostante con i macchinari usuali della coltivazione a cielo aperto. In una seconda fase lavorativa si procederà alla coltivazione di un'ulteriore porzione in sottotecchia (se è data la giusta consistenza dell'ammasso roccioso), per poi entrare nella montagna (Immagine 13).



Immagine 13: Coltivazione sotterranea a Carrara

*Impostazioni di portali con coltivazione in sottotecchia
Coltivazione per camere e pilastri
Coltivazione per grandi camere con estrazione a pozzo*

La coltivazione in sotterranea è generalmente condotta adottando una configurazione a camere (*metodo di coltivazione a grandi vuoti per camere*), anche su più livelli, con pilastri lasciati in situ per il sostegno della volta (*metodo di coltivazione per camere e pilastri*). Spesso le camere evolvono in un'estrazione a pozzo (Immagine 13).

In alcune cave sotterranee a Carrara si possono osservare camere molto grandi sia in altezza sia in larghezza e profondità. Addirittura, i normali criteri di parametrizzazione geomeccanica sembrano inadeguati ad inquadrare questi imponenti vuoti. Tuttavia, si ritiene sensato pensare ad aperture di volta non superiori ai 20 metri.

Per la coltivazione del marmo, a Carrara, come strumento principale si utilizza il filo diamantato. È generalmente usato in tutte le cave sia per i tagli al monte, sia per la sezionatura delle bancate e la riquadratura dei blocchi. Con velocità di taglio che vanno da 10 a 20 m²/ora.

In molte cave, si associa il lavoro del filo diamantato con quello fornito dalla tagliatrice a catena, che ha il vantaggio di poter essere posizionata in modo rapido e poter eseguire tagli orizzontali a minor costo.

Gli esplosivi sono utilizzati solamente per le operazioni di disaggio e in minima quantità. La tecnica di splitting con miccia detonante non è utilizzata poiché può danneggiare il marmo. La polvere nera, deflagrante e non dirompente, è utilizzata molto spesso per l'escavazione di bancate o per l'abbattimento di grandi masse (preliminarmente distaccate con tagli a filo).

8.2 Val Bregaglia, Promontogno

A Promontogno (e nel vicino paese di Soglio) si coltiva un gneiss molto quarzítico a grana fine e tessitura da compatta a scistosa. Il colore è chiaro da grigio a verdognolo. Si tratta di una pietra ornamentale assai ricercata, soprattutto per arredi interni.

La roccia presenta una scistosità ad inclinazione importante e reggipoggio. I banchi costituiti dalla roccia più compatta sono intercalati da altri molto più scistosi, da cui un tempo si estraevano lastre per la copertura dei tetti.

La coltivazione è rimasta a cielo aperto sino ad inizio di XXI secolo, ed è avvenuta mediante implementazione di metodi a gradoni e a gradoni multipli per fette verticali discendenti. Prima di impostare la sotterranea si sono perfino adottati dei metodi a fette verticali ascendenti (contro la parete rocciosa) e a gradoni per splateamento (breve fase in fossa di limitata profondità).

Per oltre un decennio si è perfino operato adottando una tipologia di coltivazione di semi-sotterranea ed estraendo la pietra sotto una viepiù strapiombante parete rocciosa. La parte di sottotecchia (Immagine 14), per finire, mostra una penetrazione dello scavo di oltre 15 metri, per un'altezza 'tetto-piano di cava' di ca. 35 metri. Con una roccia talvolta molto scistosa e una parete decisamente imponente, i pericoli oggetti per gli operai si sono fatti sempre più evidenti, al punto che durante le fasi di gelo e disgelo non era più possibile lavorare in cava e che annualmente era necessario lo spurgo della parete.

Ad esaurimento del coltivabile a cielo aperto, considerato anche l'alto valore della pietra utile (molto ricercata), il gestore ha deciso di tentare una coltivazione in sotterranea.

L'impostazione della sotterranea è avvenuta nella roccia più compatta parallelamente ai piani di scistosità, con l'idea di ricavare un cunicolo d'accesso da cui far dipartire le camere di coltivazione ortogonalmente alla scistosità.

Non esiste una vera transizione tra cielo aperto e sotterranea, la transizione è il tunnel d'accesso di ca. 20 metri fino alla prima camere di produzione.

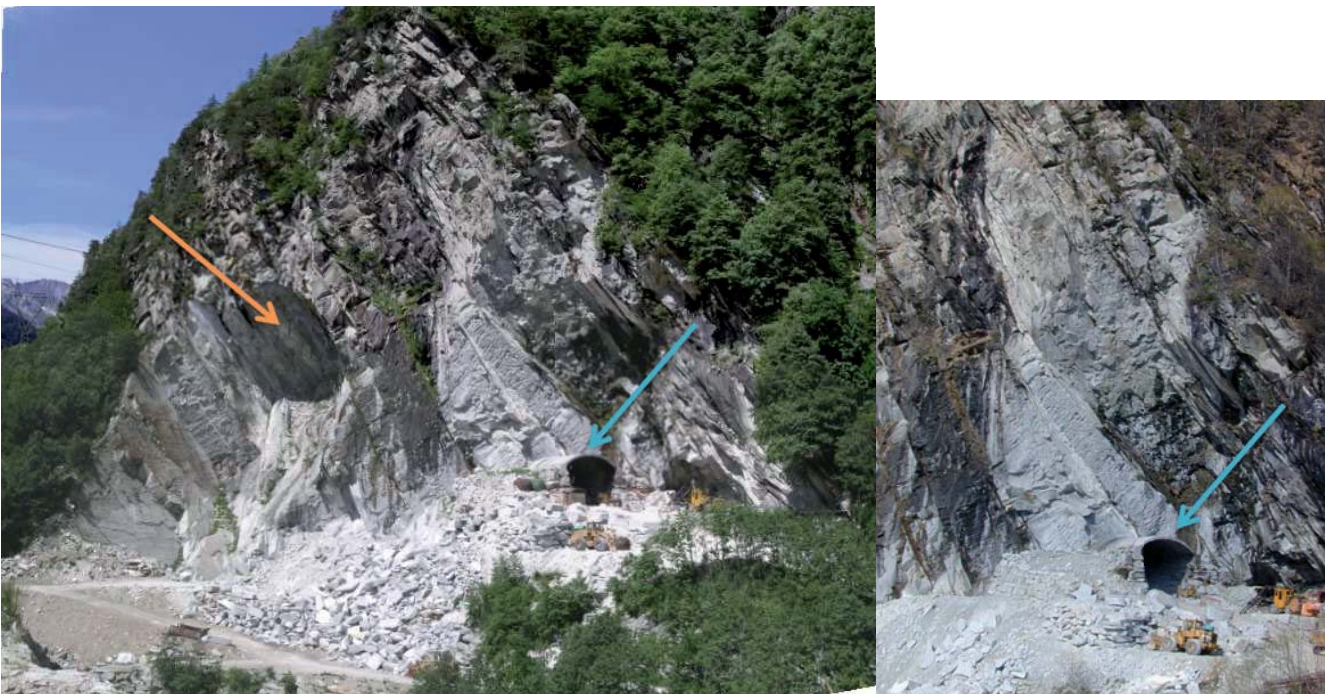


Immagine 14: Coltivazione a Promontogno

Freccia arancione: parte di cava in sottotecchia (semi-sotterranea)

Freccia celeste: portale artificiale di protezione

A protezione del portale e degli operai, considerata la roccia a strapiombo soprastante, è stata costruita una galleria in artificiale di ca. 10 metri di lunghezza.

L'estrazione avviene per formazione di una piccola galleria di sopravvuoto e per successivo taglio a filo diamantato e/o miccia detonante (Immagine 15). Oppure per estrazione del cuneo iniziale per brillamento a miccia detonante (tutto il materiale di risulta prodotto da questo brillamento è messo in deponia).

La produzione dei banchi sottostanti avviene per taglio degli svincoli laterali al filo diamantato e per successivo sezionamento dei blocchi con miccia detonante (Immagine 16). Quando l'altezza del vuoto è sufficiente, risulta possibile procedere ad una tipologia estrattiva di poco dissimile a quella utilizzata a cielo aperto.

Il materiale di scarto prodotto dall'estrazione è messo in deponia sia nei vuoti delle precedenti estrazioni in sotterranea sia all'esterno.

La geometria dei vuoti è variabile e dipende dalla presenza e dalla distribuzione delle strutture, come pure dalla tipologia di roccia (più o meno compatta).

La geometria del presente vuoto sarà di 15 metri di larghezza, di ca. 18-20 metri d'altezza e di 30 metri di lunghezza.

Questi valori sono stati verificati dallo specialista geologo anche tramite modelli di stabilità ad elementi finiti, calibrando i risultati sulla base delle misurazioni eseguite durante la coltivazione del primo grande vuoto.



Immagine 15: Coltivazione a Promontogno – intestazione dei fronti

Intestazione del fronte di coltivazione nella caverna di estrazione

Intestazione della galleria di carreggio alla prossima caverna (terza)

Per l'evacuazione dell'acqua di percolazione che s'infiltra nella caverna di coltivazione, siccome la quota del portale è più alta, è stata eseguita una perforazione di dreno alla base dell'estrazione per collegare l'ambiente interno con quello esterno.

Le installazioni elettriche, come pure l'impianto di aerazione (Immagine 17), sono fissate appena sotto la volta e servono gli spazi presso di cui avviene l'estrazione.

La volta non è generalmente protetta, l'operaio deputato alla sicurezza (con esperienza pluridecennale come minatore in galleria), oltre ad eseguire giornalmente dei controlli visivi, verifica la stabilità di lastre e blocchi fessurati sia con l'ausilio della pala dell'escavatore, sia con il martellone. Per i casi dubbi e laddove le caratteristiche strutturali non erano idonee, sono stati messi in opera dei chiodi di sostegno. Di volta in

volta, ma sicuramente per ogni situazione dubbiosa, è coinvolto lo specialista geologo che di concerto partecipa all'individuazione dei punti deboli e consiglia circa gli interventi di sicurezza necessari e i passi da intraprendere.



Immagine 16: Coltivazione a Promontogno – produzione

Produzione per abbassamento del banco per blocchi (tagli laterali con filo diamantato, taglio di testa con filo o miccia detonante, sollevamento tramite miccia detonante)

Lo specialista geologo è coinvolto nel monitoraggio e verifica a scadenze regolari l'assetto della struttura rocciosa e le variazioni estensionali di volta e paramenti. I controlli sono eseguiti mediante l'ausilio di marcatori manuali e di misure di precisione con teodolite (Immagine 17).



Immagine 17: Coltivazione a Promontogno – monitoraggio e ventilazione

*Fotografia di sx: specchio per misure geodetiche con teodolite
Fotografia di dx: ultimo tratto del tubo di ventilazione*

8.3 Val Calanca, Arvigo

Ad Arvigo si coltiva uno gneiss a grana media e tessitura da compatta a gneissitica, con una struttura spesso lenticolare. Il colore passa da grigio a grigio scuro. Si tratta di una pietra ornamentale tipica, utilizzata per arredi interni ed esterni.

La roccia presenta una scistosità a piani inclinati e franapoggio. I banchi costituiti dalla roccia più compatta (di 8-15 metri di potenza) sono intercalati da altri meno pregiati o di roccia sterile. La copertura è formata da materiale quaternario d'origine morenica e di spessore variabile da pochi metri a oltre una decina. Il primo banco di roccia è costituito da materiale alterato e sterile (cappellaccio) e ha uno spessore di oltre 10 metri.

La coltivazione è rimasta a cielo aperto sino all'anno scorso, ed è avvenuta mediante implementazione di metodi a gradoni multipli per fette verticali discendenti. In passato era utilizzata la tecnica d'estrazione per grandi mine (polvere nera), per mezzo della quale grandi volumi di roccia (sino a 15-20'000 m³) venivano staccati dall'ammasso roccioso per poi essere sezionati. Considerata l'alta percentuale di scarto che si realizzava con questa tecnica, si è progressivamente passati ad un'estrazione tramite taglio con miccia detonante e polvere nera in simultanea, sufficiente per 'staccare' blocchi di alcune migliaia di m³.

Vista la potenza dei banchi e l'inclinazione degli stessi a franapoggio, procedendo con un taglio dei blocchi ortogonalmente alla scistosità, si sono create situazioni a strapiombo ripetute di gradone in gradone, che hanno portato ad una penetrazione al piede della parete (ca. 60 metri d'altezza) di ca. 6-8 metri. Pur utilizzando unicamente macchine e tecniche tipiche della coltivazione a cielo aperto, la situazione è di sottotecchia.

Le cave sono prossime all'esaurimento per coltivazione di superficie, inoltre un dissesto superficiale di grosse dimensioni ne pregiudica in parte la sicurezza. Per questi motivi il gestore di cava ha deciso di tentare una coltivazione in sotterranea (Immagine 18).

L'impostazione della sotterranea è avvenuta nella roccia più compatta, dapprima parallelamente ai piani di scistosità (innesto di prova), poi ortogonalmente agli stessi e immediatamente con l'idea di produrre pietra utile.

Non esiste transizione tra cielo aperto e sotterranea.



Immagine 18: Coltivazione ad Arvigo

Nel 2002, in fase di progettazione della futura coltivazione in sotterranea, è stato impostato un attacco ortogonalmente alla scistosità e ai banchi, con l'idea di generare un cunicolo di accesso da cui far partire delle camere allungate di coltivazione ortogonalmente allo stesso e in direzione dei banchi. Purtroppo le macchine a disposizione erano (e sono) sovradimensionate per la movimentazione in sotterranea, per cui il cunicolo d'accesso così impostato presupponeva una produzione eccessiva di scarti. Per di più, il tentativo di estrarre blocchi utili con quest'orientamento dei vuoti rendeva le operazioni di asportazione del materiale tagliato decisamente complicate (Immagine 19).



Immagine 19: Coltivazione ad Arvigo- innesto di prova

Fotografia di sx: perforatrici su slitta fissati in verticale

Fotografia di dx: wagon drill in posizione precaria

A seguito di questa prova si è deciso di procedere con la formazione di camere-cunicolo di produzione, impostandone l'innesto da subito con l'orientamento ideale.

Il progetto ad Arvigo prevede la coltivazione di camere-cunicolo a differenti livelli (Immagine 20), sfruttando i banchi a giacimento migliore e lasciando tutto il resto.



Immagine 20: Coltivazione ad Arvigo – impostazione del cunicolo di produzione

Fotografia di dx: altro cunicolo impostato su un altro livello

L'estrazione di progetto dovrebbe avvenire per formazione di una piccola galleria di sopravvuoto e per successivo taglio a filo diamantato (superfici di svincolo laterali) e miccia detonante. Le ultime esperienze hanno però dimostrato che, appena creato uno spazio sotto-volta, è possibile estrarre dei grossi cunei rocciosi (sino a 500 m³) tramite taglio laterale al filo diamantato e brillamento delle superfici di cuneo convergenti (Immagine 21).

La produzione dei banchi sottostanti avviene per taglio degli svincoli laterali al filo diamantato e per successivo sezionamento dei blocchi con miccia detonante.

La geometria dei vuoti è variabile e dipende dalla presenza e dalla distribuzione delle strutture, come pure dalla tipologia di roccia (più o meno compatta).

La geometria del presente vuoto è di 12 metri di larghezza, di ca. 18-20 metri d'altezza e di 15 metri di lunghezza.

Questi valori sono stati verificati dallo specialista geologo anche tramite modelli di stabilità ad elementi finiti, calibrando i risultati in corso d'estrazione.



Immagine 21: Coltivazione ad Arvigo – produzione

- a) Volata principale: produzione di blocchi da taglio (ca. 500 m³)
- b) Dettaglio: carica lungo la superficie di base (miccia detonante e altro)
- c) Volta: geometria curva della volta per migliore ripartizione delle tensioni

Verifiche di stabilità, controlli, decisione sulla messa in opera di protezioni e monitoraggi avvengono in analogia a quanto previsto per la cava in Val Bregaglia (cap. 8.2).

9. Bibliografia

- a) Le cave, Recupero e pianificazione ambientale, Manuale per la gestione sostenibile delle attività estrattive; Collana Sigea di geologia ambientale, Dario Flaccovio editore, 2008.
- b) Linee guida per progettazione, gestione e recupero delle aree estrattive, Esempi e buone pratiche dell'industria del cemento; Aitec – Legambiente, 2012.
- c) Piano regionale delle attività estrattive; Bollettino Ufficiale della Regione Umbria, 2005.
- d) Documento di programmazione delle attività estrattive, I stralcio – Relazione; Regione Piemonte, 2009.
- e) Piano provinciale delle attività estrattive della Provincia di Torino – Relazione generale e analisi di compatibilità ambientale; Provincia di Torino, 2006.
- f) Piano provinciale delle attività estrattive della Provincia di Torino – Linee guida; Provincia di Torino, 2006.
- g) Programma Provinciale Attività Estrattive, Relazione tecnico-illustrativa generale; Provincia di Ancona, 2004.
- h) Piano delle attività estrattive di recupero delle aree escavate e riutilizzo dei residui recuperabili della Provincia – Norme tecniche d'attuazione; Provincia di Grosseto, 2009.
- i) Piano delle Attività Estrattive, di Recupero delle aree escavate e Riutilizzo dei residui recuperabili della Provincia di Siena – Norme; Provincia di Siena, 2009.
- j) Piano delle Attività Estrattive, di Recupero delle aree escavate e riutilizzo dei residui recuperabili della Provincia di Arezzo – Norme; Provincia di Arezzo, 2009.
- k) Vita di cava, coltivazione, di Gisella Giglio, 2005.
- l) Verifica ed aggiornamento triennale del piano regionale delle attività estrattive, Tipologie principali di coltivazione; Regione autonoma Valle d'Aosta, 2012.
- m) Estrazione della pietra, di Anna Frangipane, Università di Udine, 2012.
- n) Tecnologie di lavorazione della pietra naturale, di Sandro Turchetta, Dottorato all'università degli studi di Cassino, 2003.
- o) Il Marmo di Carrara: aspetti geologici, merceologici e minerari; Eurominerals and the Society of Mining Professors, 1998.

Siti internet visitati:

- i) www.viscions.it
- ii) www.ilo.org
- iii) www.marblelink.com
- iv) www.plaka.org
- v) www.archeologiadel sottosuolo.com

Faido, febbraio 2013



Daniela Fontana, MSc Ing. Geol.

Muttoni & Beffa SA



Floriano Beffa, MSc Earth Sci

Muttoni & Beffa SA