

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITA' DI BOLOGNA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Dipartimento D.I.C.M.A.

Tesi di Laurea in Arte Mineraria LS

**CRITERI DI OTTIMIZZAZIONE TECNICO
ECONOMICA NELL'ESTRAZIONE DI BLOCCHI
DA TELAIO**

Tesi di:

ALMA MARTINA

Relatore:

Prof. Ing. PAOLO BERRY

Sessione III

Anno Accademico 2008/2009

INTRODUZIONE	3
1. ANALISI DELL'IMMAGINE	5
1.1 IMMAGINE DIGITALE	5
1.2 DIGITAL IMAGE PROCESSING	7
1.3 EVIDENZIAMENTO FRATTURE SUI FRONTI	15
2. LA PIETRA DI APRICENA	17
2.1 IL PROMONTORIO DEL GARGANO	17
2.2 IL BACINO DI APRICENA	22
2.3 METODO DI COLTIVAZIONE	41
2.4 METODI DI COLTIVAZIONE NELLE CAVE DI MARMI	42
2.5 UTILIZZI DELLA PIETRA DI APRICENA	46
3. CONFRONTO FRA L'UTILIZZO DI MICCIA DETONANTE E TAGLIATRICE A CATENA	49
3.1 TAGLIATRICE A CATENA	49
3.2 MICCIA DETONANTE	55
3.3 CONFRONTO FRA UTILIZZO TAGLIATRICE E MICCIA DETONANTE APPLICATO ALLA CAVA APRICENA	59
4. STRUMENTI DI PROJECT MANAGEMENT	63
4.1 PROJECT MANAGEMENT	63
4.2 STRUMENTI DI PROJECT MANAGEMENT	63
4.3 LA PIANIFICAZIONE DI UN PROGETTO	68
5. CICLO PRODUTTIVO IN UNA CAVA DI ROCCE ORNAMENTALI	74
5.1 FASI DEL CICLO DI LAVORO	75
5.2 TECNOLOGIE DI TAGLIO PRIMARIO	76
5.3 TECNOLOGIE DI RIBALTAMENTO	95
5.4 TECNOLOGIE DI RITAGLIO IN BLOCCHI COMMERCIALI E DI RIQUADRATURA	99
5.5 TECNOLOGIE DI MOVIMENTAZIONE	106
6. CICLO DI LAVORO NELLA CAVA APRICENA	111
6.1 DESCRIZIONE DEL SITO	111
6.2 CICLO DI LAVORO APRICENA 1	115
6.2 CICLO DI LAVORO APRICENA 1	136
6.4 TEMPO DI CICLO	137
6.5 ANALISI DEI COSTI	138
6.6 CONCLUSIONI	142
BIBLIOGRAFIA E SITI WEB	143

INTRODUZIONE

Nel corso del mio lavoro verranno analizzati vari aspetti riguardanti le cave di roccia ornamentale, con particolare interesse nei confronti della pietra di Apricena.

Il lavoro di tesi è stato preceduto da un periodo di "tirocinio" nella Cava Augelli e Di Nunzio al fine di seguire e monitorare le varie fasi di lavoro in cava e rilevare i tempi e i dati necessari per costruire il ciclo di lavoro che verrà analizzata nell'ultimo capitolo della mia tesi.

Il lavoro è articolato fondamentalmente in quattro parti; la prima parte riguarda l'analisi dell'immagine, un excursus sulle tecniche di analisi e l'applicazione al mio caso su un fronte della cava Augelli con la finalità di mettere in evidenza le fratture e individuare uno stato di fratturazione.

La seconda parte è costituita dalla caratterizzazione del massiccio roccioso, descrizione della pietra di Apricena e del tipo di coltivazione adottato nella cava Augelli.

Nella terza parte confronto due diverse tecniche di taglio; l'utilizzo di miccia detonante e della tagliatrice a catena, basandomi su dati reali presi in cantiere opero una valutazione costi benefici nell'utilizzo delle due tecniche sopracitate

Nella quarta parte vi è una descrizione teorica degli strumenti di project management, Gantt e PERT, che verranno utilizzati per la costruzione del ciclo di lavoro in cava partendo dal taglio in bancata ed estrazione fino ad ottenere il cosiddetto blocco da telaio, blocco delle giuste dimensioni per subire le successive lavorazioni di rifinitura.

Per la costruzione del ciclo è stata utilizzata una quantità di dati significativa sotto il profilo statistico (valore medio, coefficiente di variazione,

ecc.). I dati sono stati rilevati in cantiere durante uno stage dedicato ad acquisire elementi di conoscenza utili per l'elaborato di tesi di laurea. Questi dati "reali" sono stati confrontati con dati estrapolati da manuali e pubblicazioni rilevando notevoli differenze soprattutto riguardo alle prestazioni in termini di resa della varie macchine operatrici, sia tagliatrici a catena che perforatrici.

Nella costruzione del ciclo si cerca già attuando varie modifiche di giungere ad un'ottimizzazione attraverso l'utilizzo di macchinari e di risorse umane più razionalizzato possibile e riducendo al minimo i cosiddetti tempi morti.

Le difficoltà incontrate sono state varie: nella fase di rilievo dei tempi dovute alla presenza in contemporanea di più cantieri operanti su stadi di lavorazione diversi in punti anche distanti fra di loro nella cava; in fase di rielaborazione e di costruzione del ciclo è stato complesso realizzare questi parallelismi di lavorazione in modo da rispecchiare il più possibile la realtà operativa del cantiere.

1. ANALISI DELL'IMMAGINE

1.1 IMMAGINE DIGITALE

Un'immagine digitale può essere definita come una funzione bidimensionale, $f(x,y)$, dove x ed y sono le coordinate spaziali, ed il valore della funzione a ogni coppia di coordinate è chiamata l'intensità o il livello di grigi dell'immagine in quel punto.

$$f(x,y) = \begin{pmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & & f(1,N-1) \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{pmatrix}$$

Quando x, y , ed il valore di ampiezza della funzione sono tutti valori finiti e discreti, chiamiamo l'immagine un'immagine digitale; essa è composta da un numero finito di elementi, ognuno dei quali ha una particolare posizione ed un valore.

Spazialmente la copia digitale dell'immagine è una matrice vettori di elementi finiti chiamati picture elements (pixel), i pixel sono distribuiti in una matrice di M righe e N colonne del campo spaziale bidimensionale. Ogni pixel, che costituisce quindi il più piccolo elemento dell'immagine digitale, rappresenta un punto dell'immagine e porta con sé un duplice corredo di informazioni: la sua posizione nello spazio, individuata dai valori x, y rispetto ad una coppia di assi cartesiani, ed il valore della sua densità ottica.

Geometricamente un punto è definito come una zona adimensionale del piano individuata da una coppia di coordinate cartesiane. Invece il pixel è un'entità reale di dimensioni note. Per convenzione il pixel corrispondente ad un punto geometrico dell'immagine (cioè

con le stesse coordinate) è quello situato in basso a destra rispetto al punto stesso.

Per una immagine su scala di grigi monocromatica, i valori di intensità sono numeri interi che definiscono il livello discreto di grigio per ogni pixel. Il numero dei livelli di grigio ammessi per ogni pixel, definito come risoluzione del livello di grigio, di solito varia da 0 a 255; il valore di intensità 0 rappresenta il nero, mentre 255 è il bianco. Così l'immagine funzione può assumere solo valori interi tra $0 \leq f(x,y) \leq 255$

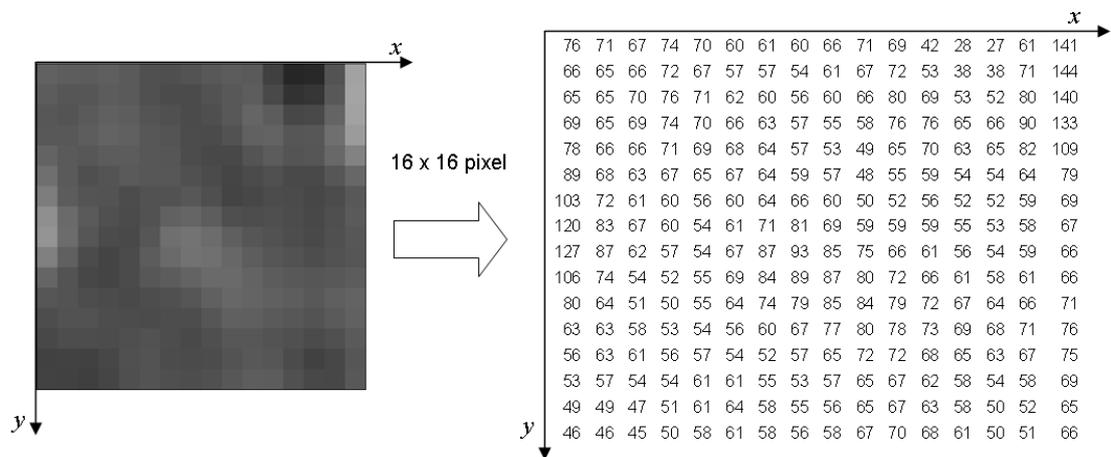


Figura. a) 16 x 16 pixel immagine digitale in scala di grigi e b) la sua matrice di vettori di valori numerici di intensità.

L'istogramma di distribuzione è una funzione discreta che indica il numero di pixel ad ogni diversa intensità in valore riscontrata nell'immagine:

$$h(r_k) = n_k \quad [4.2]$$

Dove r_k è il k-esimo livello di grigio ed n_k è il numero di pixel corrispondenti al livello di grigio r_k .

Gli istogrammi di distribuzione forniscono utili statistiche e la loro manipolazione è la base per le numerose tecniche di lavorazione, come la valorizzazione e la segmentazione d'immagine.

Nelle immagini a colori, viene memorizzato solitamente il livello di intensità dei colori fondamentali (nel modello di colore RGB, uno dei più usati, sono tre: rosso, verde e blu: la sovrapposizione di 3 layer monocromatici crea lo spettro di colore naturale; oppure un altro esempio è CMYK, usato per la stampa, basato su tre colori fondamentali: magenta, giallo e nero.); invece nelle immagini monocromatiche in scala di grigio (dette impropriamente bianco e nero) il valore indica l'intensità del grigio, che varia dal nero al bianco.

1.2 DIGITAL IMAGE PROCESSING

Il termine Digital Image Processing (DIP), Processazione digitale d'immagine si riferisce alle modifiche che possono essere applicate ad una immagine digitale utilizzando un computer.

In generale, vi sono 3 livelli indipendenti di DIP: Basso livello, Medio livello, Alto livello di elaborazione.

L'elaborazione Low-level, generalmente conosciuta come pre-processing, comporta modifiche accessorie basiche di immagine come riduzione del rumore, aumento del contrasto, nitidezza. L'elaborazione Mid-level è caratterizzata da funzioni tipo segmentazione dell'immagine; in entrambi i trattamenti basso e medio inputs ed outputs sono immagini. L'elaborazione High-level comporta riconoscimento di oggetti, classificazione delle caratteristiche ed estrazione dei parametri desiderati dall'immagine classificata.

L'intera procedura dal Basso all'Alto livello di elaborazione è comunemente denominata Image Analysis (IA), analisi dell'immagine, su immagini digitali (DI).

LOW-LEVEL DIP: PRE-FILTRAGGIO

Il pre-filtraggio delle immagini digitali è di fondamentale importanza per il processo di IA. L'obiettivo di questa fase è migliorare la qualità delle immagini o evidenziare alcune caratteristiche specifiche. Nel nostro caso è molto importante per migliorare il contrasto tra blocchi e matrice senza alterare i bordi del blocco o senza perdere alcuni importanti dettagli.

Il primo passo è convertire le immagini SLCC ritagliate e rettificate in immagini monocrome su scala di grigio di 8-bit. Le immagini originali vengono registrate in modello di colore rosso-verde-blu (RGB), dove ogni colore appare nella sua componente primaria spettrale di colore rosso, verde e blu. Dal momento che le principali differenze tra blocchi e matrice sono dovute a variazioni di intensità di toni di grigio, è possibile scartare le informazioni sul colore senza perdere alcuna informazione utile. In scala di grigi a 8-bit, le immagini sono molto più facili da maneggiare e richiedono una potenza di calcolo molto minore.

Al fine di migliorare il contrasto d'immagine due principali trasformazioni possono essere utilizzate:

- Equalizzazione dell'istogramma
- Stretching dell'istogramma

Entrambe queste trasformazioni lavorano sull'istogramma dell'immagine, ridistribuendone i valori.

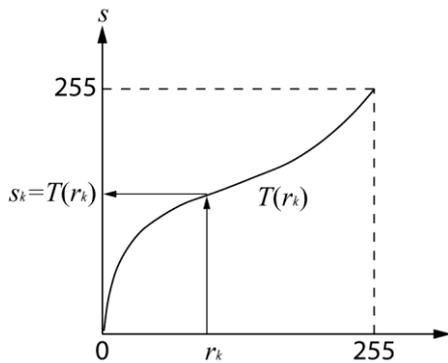
L'Equalizzazione dell'istogramma prevede un sofisticato metodo per modificare il contrasto dell'immagine, applicando all'istogramma dell'immagine una trasformazione monotona non lineare che riassegna i valori di intensità degli input pixel cosicché l'immagine in output contenga una distribuzione uniforme dei livelli diffusi su tutta la gamma di valori di intensità (0-255).

L'Equalizzazione è definita dalla funzione:

$$s_k = T(r_k)$$

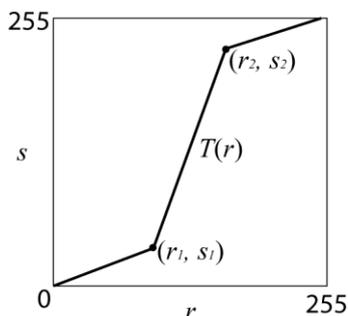
Dove r_k è il k -esimo livello di grigio di ogni pixel dell'immagine in input, s_k è il livello di pixel corrispondente all'immagine in output e T è la funzione trasferimento.

Questa tecnica è molto efficace nella valorizzazione del dettaglio



Esempio di funzione di trasformazione di equalizzazione dell'istogramma. La funzione è non lineare e monotonicamente crescente.

Lo stretching dell'istogramma migliora il contrasto estendendo la gamma di valori di intensità fino a coprire l'intera gamma di valori desiderata, in base ad una funzione lineare di scala. L'obiettivo dell'estensione del contrasto è di ampliare la gamma dei livelli di grigio sull'immagine elaborata

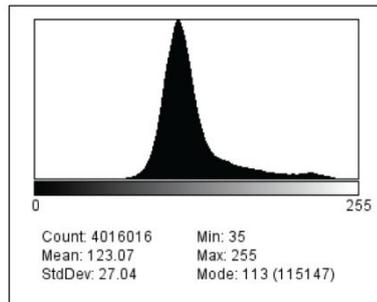
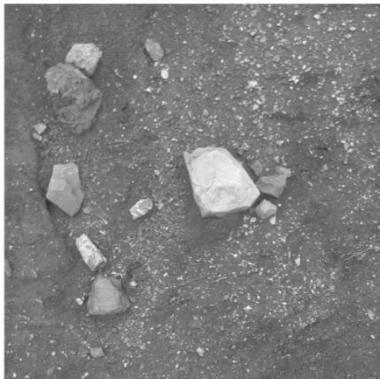


Esempio di funzione di trasformazione Histogram Stretching. La funzione è lineare e monotonicamente crescente.

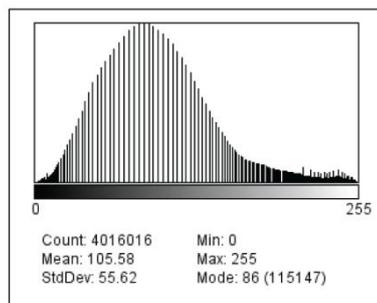
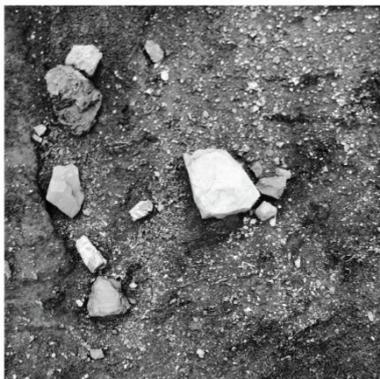
Le posizioni dei punti (r_2, s_2) controllano la forma della trasformazione; in genere $r_1 \leq r_2$ e $s_1 \leq s_2$ quindi la funzione trasformazione T è lineare e monotonicamente crescente.

La figura mostra l'effetto del miglioramento del contrasto su un'immagine campione SLCC ed i corrispondenti istogrammi d'intensità. Histogram Equalization e Histogram Stretching possono essere utilizzate una alla volta oppure entrambe su una stessa immagine; dipende dalle caratteristiche dell'immagine e dalle scelte dell'operatore.

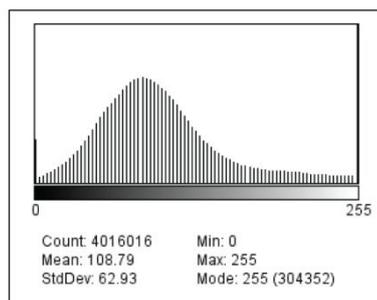
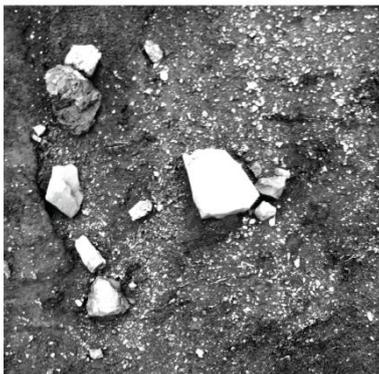
Original Image



Contrast enhancement by Histogram Equalization



Contrast enhancement by Histogram Stretching



Effetto del miglioramento del contrasto su un'immagine in scala di grigi ed il suo istogramma d'intensità(a), equalizzazione dell'istogramma (b) e stretching dell'istogramma (c).

MID-LEVEL DIP: SEGMENTAZIONE DELL'IMMAGINE

L'obiettivo dell'analisi dell'immagine è di isolare gli elementi dell'immagine che devono essere esaminati (in primo piano) dal resto delle immagini (sullo sfondo), e quindi cogliere le caratteristiche dell'elemento isolato per mezzo di algoritmi di riconoscimento dell'oggetto. Questo processo è chiamato Segmentazione dell'immagine (IS).Le condizioni di segmentazione possono essere connesse a vari aspetti dell'immagine, come la tessitura, struttura, la geometria e l'intensità, in tutti i casi l'output di IS è un'immagine binaria, caratterizzata da due valori d'intensità: 0 per il nero e 1 per bianco.

Uno dei metodi più comunemente utilizzati per la IS è la tecnica della soglia Thresholding

Il Thresholding viene attuato studiando le variazioni dei valori di intensità di grigio nell'immagine in input ed applicando una soglia (T) all'istogramma, cosicché, nell'immagine in output tutti i pixel con un valore di intensità inferiore al valore della soglia sono impostati a 0 ed i pixel con un valore di intensità superiore alla soglia sono impostati su 1.

Un' immagine binarizzata $g(x,y)$ viene definita come:

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & f(x,y) \geq T \\ 0 & f(x,y) < T \end{cases}$$

Quindi i pixel con intensità di valore 1 corrispondono a elementi isolati laddove pixel con una intensità di valore 0 corrispondono allo sfondo, o viceversa.

Il Thresholding è molto efficace per le immagini con distinte caratteristiche su uno sfondo del tutto uniforme. In tali casi, infatti, le distinte caratteristiche possiedono una specifica gamma di valori di intensità di colore grigio, che differisce

dall'immagine di sfondo, portando ad elevati gradienti di colore grigio lungo i bordi e le tipiche concavità nell'istogramma dell'immagine.

L'identificazione della soglia può essere sia manuale che generata da un processo automatico.

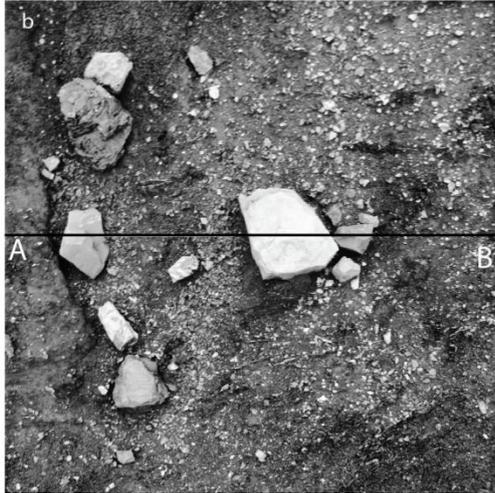
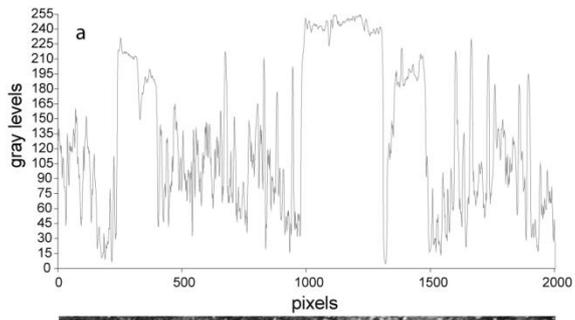
Nella modalità manuale o binarizzazione semplice la T è definita dall'operatore sulla base dell'istogramma e sulla base di analisi qualitative dell'immagine.

Quando le caratteristiche sono chiaramente distinguibili dallo sfondo, l'istogramma presenta una forte distribuzione bimodale e T può essere scelta nel minimo tra i due picchi. Per istogrammi senza bimodalità evidente, una soglia appropriata può essere scelta in corrispondenza delle concavità maggiori.

Rosenfeld and De La Torre, (1983)

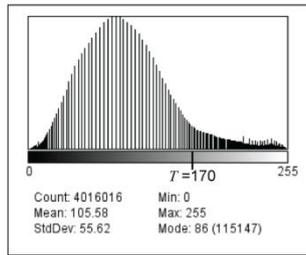
Nei processi automatici l'applicazione della soglia avviene sulla base di specifici algoritmi.

L'applicabilità e l'utilità degli algoritmi varia a seconda delle caratteristiche dell'immagine che si deve processare; la modalità a massima entropia è un istogramma basato su algoritmi che eseguono il calcolo della soglia basandosi su considerazioni sull'entropia ed equazioni matematiche; questo metodo è veramente efficace quando gli oggetti sono distribuiti in modo casuale su uno sfondo abbastanza uniforme.

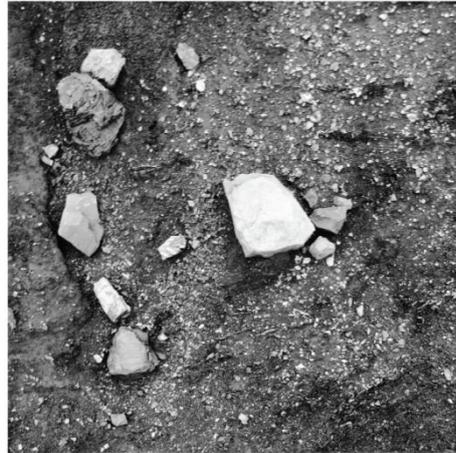


L'alta intensità di contrasto al bordo delle rocce produce un'improvvisa e forte variazione di valori d'intensità

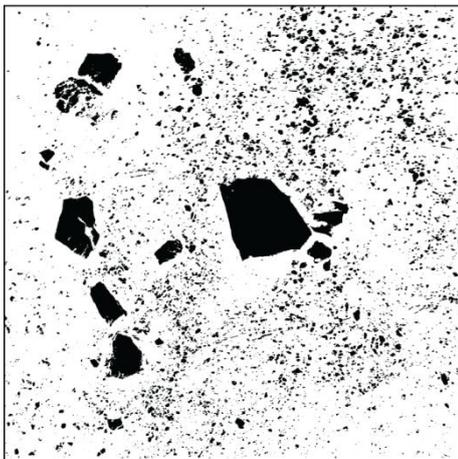
a) Histogram of input image



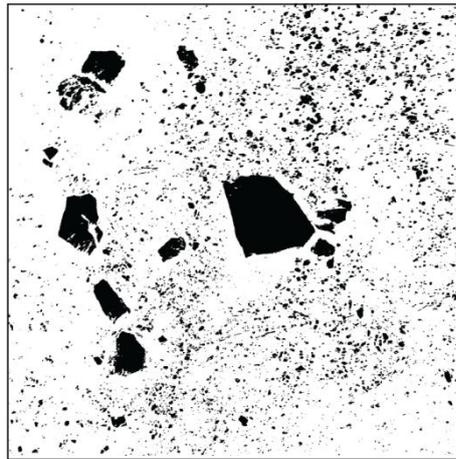
b) Input image



c) Simple Threshold, $T = 170$



d) Maximum Entropy Threshold



Risultato di un' immagine binarizzata: a) istogramma in scala di grigi dell'immagine iniziale equalizzata. Il punto di flesso nella parte discendente della curva ($T=170$) viene selezionato come valore si soglia per il simple threshold; b) immagine di SLCC ritagliata. L'immagine è in scala di grigi ed equalizzata:c) immagine in output ottenuta con il Simple Threshold; d) immagine in output ottenuta con Maximum Entropy Threshold.

HIGH-LEVEL DIP: RICONOSCIMENTO DEGLI OGGETTI

L'alto livello di processazione comprende il riconoscimento dei singoli oggetti e le misurazioni dei parametri fisici significativi.

L'algoritmo di riconoscimento degli oggetti lavora attraverso la scansione dell'immagine binaria fino a trovare il bordo di un elemento in primo piano, delinea il contorno della zona in primo piano e la rende

invisibile, poi riprende la scansione fino a quando trova la fine dell'immagine.

Le zone in primo piano racchiuse nel contorno sono definite come Zone di Interesse (ROI).

Una volta che gli oggetti sono stati riconosciuti, è possibile ottenere le proprietà geometriche.

L'output di high-level processing sono dati geometrici, spaziali o livelli di intensità.

Una volta che gli oggetti vengono riconosciuti, è possibile investigare le loro proprietà geometriche.

Prima di attuare ogni misura, comunque, è necessario definire la scala spaziale dell'immagine affinché i parametri misurati possano essere riferiti ad unità calibrate, per esempio ai centimetri.

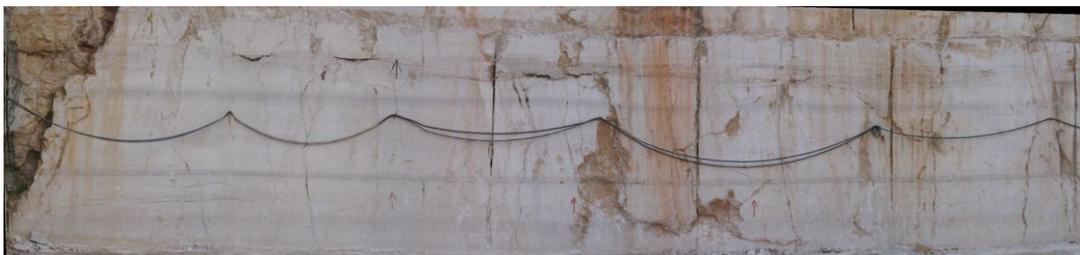
Come descritto prima le immagini SLCC vengono ortorettificate e sagomate su una cornice quadrata di alluminio, che ha il bordo lungo due metri; se per esempio l'immagine avesse una dimensione di 2000x2000 pixels, la scala sarebbe 2000 pixels = 2m, quindi 1pixel/mm.

1.3 EVIDENZIAMENTO FRATTURE SUI FRONTI

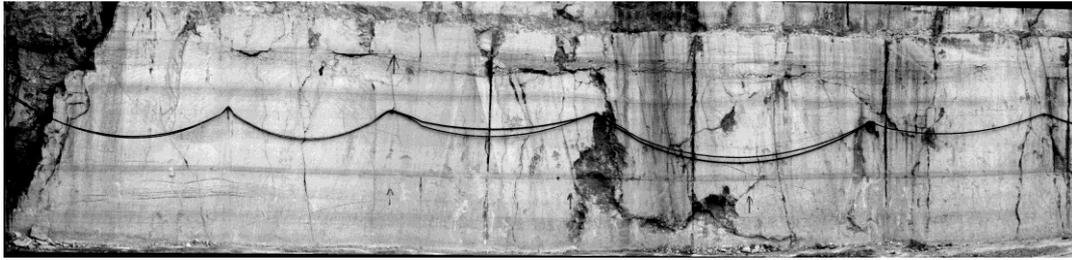
L'analisi dell'immagine è stata effettuata al fine di evidenziare le fratture presenti sui fronti SUD ed EST della cava Apricena 1.

I programmi utilizzati sono stati: PHOTOSHOP, IMAGE J, SIGMA SCAN PRO.

FRONTE SUD



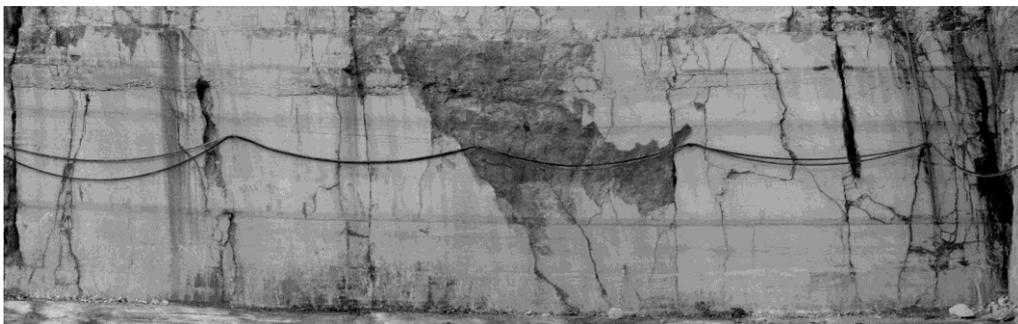
FRONTE SUD MODIFICATO



FRONTE EST



FRONTE EST MODIFICATO



2. LA PIETRA DI APRICENA

2.1 IL PROMONTORIO DEL GARGANO

Il Gargano, come precedentemente esposto, fa parte dell'unità carbonatica apulo-Garganica mesozoica. Risulta pertanto formato prevalentemente, eccettuate le manifestazioni filoniane della Punta delle Pietre Nere, da un basamento calcareo-dolomitico, di età essenzialmente giurassico-cretacica e da una copertura di sedimenti terziari e quaternari in facies detritico-organogena.

Per quanto riguarda i caratteri geolitologici del promontorio del Gargano, gli affioramenti di età più antica (Triassico), si ritrovano alla punta delle Pietre Nere.

Sono rappresentati da calcari marnosi neri fossiliferi con gessi più o meno bituminosi.

Associati ai calcari marnosi e ai gessi si rinvencono rocce ignee basiche.

La successione più rappresentativa dell'unità carbonatica apulo-Garganica è quella calcareo-dolomitica mesozoica costituita in un ambiente deposizionale tipico di un complesso di scogliera.

Il complesso di scogliera si può dettagliatamente distinguere in: complesso di scogliera propriamente detto, di avanscogliera e di retroscogliera.

a) Complesso di scogliera p.d.

E' costituito da una formazione calcareo-dolomitica (Giurassico sup.) che occupa la parte centrale del promontorio del Gargano e si sviluppa da NO a SE lungo una fascia compresa tra il Lago di Varano e Mattinata.

Si tratta in prevalenza di calcari privi di stratificazione, talora cariati e dolomitizzati.

b) Complesso di avanscogliera

E' costituito da sedimenti di mare aperto (calcari tipo "maiolica" e calcari tipo "scaglia") e occupa la parte nord-occidentale del promontorio.

I calcari tipo maiolica, attribuiti al Cretaceo inferiore, sono ricchi di selce e passano gradualmente verso l'alto ai calcari tipo scaglia, del Cretaceo medio-superiore, bianchi, selciferi, sottilmente stratificati, con intercalazioni marnose.

c) Complesso di retro scogliera

Comprende sedimenti calcarei e dolomitici, che ricoprono tutta l'area occidentale del Gargano (Giurassico sup.-Cretaceo sup.), di norma stratificati in strati spessi e in banchi.

In virtù dell'ambiente deposizionale di mare poco profondo, si tratta di rocce che presentano caratteri litologici alquanto diversi da zona a zona.

I depositi in parola acquistano caratteristiche peculiari a seconda delle diverse aree di affioramento:

- dal Lago di Lesina a Mattinata: calcari oolitici e pseudoolitici biancastri, (Giura sup.);
- nella zona compresa tra il Lago di Lesina, S. Giovanni Rotondo e Rignano Garganico: calcari compatti prevalentemente micritici, di colore grigio-avana (Malm);
- nell'intorno di Sannicandro Garganico e nelle zone di Apricena e di Poggio Imperiale: calcari micritici e/o granulari.

Tali calcari si presentano di norma biancastri, compatti e tenaci, stratificati in banchi o strati spessi, con rare intercalazioni di calcari oolitici e subordinatamente di dolomie biancastre, a scarso grado di fratturazione. Lo spessore affiorante è valutabile intorno ai 400-500 m.

Sono riferibili al Malm-Cretaceo inf. e provengono da livelli diversi della successione stratigrafica

localmente affiorante facente parte della formazione dei Calcari di Sannicandro e Calcari di S. Giovanni Rotondo.

- dai dintorni di Monte S. Angelo fino a Mattinata: calcari a Rudiste (Senoniano).

Nella porzione più meridionale del Promontorio Garganico, è emerso che questo giacimento è costituito da calcari di colore variabile dal bianco, al nocciola al grigiastro; esso si presenta inoltre stratificato con spessore degli strati abbastanza costante e mediamente di circa 40 cm.

La giacitura degli strati è variabile principalmente in funzione di faglie e fratture che hanno dislocato blocchi di roccia e inclinato in modo differente gli strati stessi.

Le fratture sono prevalentemente subverticali, ma se ne rinvencono altre variamente orientate. L'intersezione tra stratificazioni e fratture ha segmentato la roccia in piccoli blocchi parallelepipedi. Le faglie si presentano per lo più parallele fra di loro.

I fenomeni carsici sono accentuati prevalentemente in corrispondenza di faglie dove risultano abbondanti i detriti di frizione e si segnalano diffuse sacche carsiche riempite di terra rossa.

- nei dintorni di Monte S. Angelo: calcari bianchi, granulari, spesso friabili (calcari tipo "craie", Cretaceo sup.).

E' altresì individuabile una zona intermedia, compresa tra la scogliera p.d. e il mare aperto, con sedimenti parte in facies pelagica e parte in facies neritica, ricoprenti l'area nordorientale del Gargano (Cretaceo inf.-Eocene).

Sedimenti terziari e quaternari

Una copertura di sedimenti terziari e quaternari sovrasta i depositi di scogliera.

Al margine del Gargano orientale affiorano sedimenti Eocenici rappresentati da arenarie calcaree grigiastre e

da brecce ad elementi calcarei (trasgressivi) e da calcari arenacei a stratificazione irregolare.

I terreni miocenici, ovunque direttamente trasgressivi sui calcari mesozoici e affioranti in aree poco estese ai margini occidentali del promontorio e nella conca dell'antico bacino di S. Egidio, sono costituiti da arenarie calcaree tenere giallastre e subordinatamente da arenarie calcaree tenere grigie.

Si presentano a grana media e fine, tenere e fragili e mostrano i caratteri di un ambiente deposizionale di mare aperto.

Tali depositi mostrano ovunque gli stessi caratteri di lito e biofacies che contraddistinguono le calcareniti mioceniche presenti nel Salento ed in particolare la tipica formazione della "Pietra Leccese".

Trasgressive sul substrato carbonatico o sui depositi miocenici, sono presenti le calcareniti plioceniche di colore bianco e giallastro a grana medio-fine, porose e tenere.

Anche tali depositi possono essere correlati a quelli, della stessa, età affioranti in altre aree della regione, presentando notevoli analogie con i tufi calcarei dei margini dell'area murgiana e delle serre salentine.

Gli affioramenti di maggiore estensione delle calcareniti pleistoceniche si rinvencono presso Apricena e a SW di Manfredonia.

I terreni quaternari, infine, comprendono:

-depositi costieri terrazzati (conglomerati a lenti e livelli e arenarie);

-depositi eluviali e colluviali (al fondo di depressioni tettoniche);

-detriti di falda, depositi alluvionali attuali e recenti, dune recenti, lidi e spiagge attuali.

Dal punto di vista della Tettonica, l'assetto strutturale del Promontorio del Gargano è caratterizzato da una serie

di horst e graben secondari nell'ambito di un unico horst, nel quale predominano fenomeni disgiuntivi rispetto a quelli plicativi.

L'horst è interessato da faglie di tipo essenzialmente distensivo che, oltre a delimitarlo sia verso l'Adriatico che verso la piana di Foggia, lo interessano in tutta la sua estensione dividendolo in zolle secondarie.

Le faglie, pur avendo una prevalente direzione appenninica (NNO-SSE), presentano subordinatamente anche direzione antiappenninica (NNE-SSO) e garganica (E-O).

Le faglie a direzione appenninica che dislocano l'horst garganico in blocchi secondari si sviluppano particolarmente nella parte centro-occidentale del Promontorio mentre quelle a direzione garganica prevalgono nella parte centro-meridionale.

2.2 IL BACINO DI APRICENA

Le notizie storiche relative alla "Pietra di Apricena" ed alle sue applicazioni risalgono agli inizi del XIX secolo, come risulta dagli Annali Civili del comune di Apricena del 1810; tuttavia i primi interessi di tipo industriale attorno alle cave sono datati 1840 quando il Professore di Mineralogia e Petrografia Leopoldo Pilla riconobbe la presenza di giacimenti in banchi superficiali esaminando la zona del Monastero di Stigliano, nella località di San Giovanni in Pane.



Per quanto riguarda la coltivazione vera e propria dei giacimenti marmiferi risale agli anni '50; in seguito l'adozione di macchinari moderni e di nuovi metodi di coltivazione dagli anni '70 ad oggi ha razionalizzato l'organizzazione dei cantieri.

STRATIGRAFIA E TETTONICA

La regione in cui ricadono i giacimenti marmiferi rappresenta l'estrema propaggine nord-occidentale del massiccio garganico.

Più precisamente ci si riferisce al piatto rilievo collinare che si protende verso Ovest, al piede del Gargano stesso, interponendosi tra la piana foggiana e la

regione costiera occupata in gran parte dalle acque del lago di Lesina.

L'estensione superficiale del bacino marmifero di Apricena è stata valutata, escluse le aree più intensamente tettonizzate, nell'ordine di 800 ha.



Figura 1: Ortofoto del bacino di Apricena

Sarà bene, prima di esporre le peculiari caratteristiche geologiche del sito chiarire il significato del termine "marmo".

Esso deriva dal greco "marmario" che significa risplendere, ragione per cui comunemente si indicano come marmi tutte le rocce suscettibili di lucidatura e di impiego come materiale ornamentale, estendendo il termine ad una vasta gamma di rocce di origine diversa (magmatica, metamorfica e sedimentaria).

Dal punto di vista mineralogico la pietra di Apricena è un calcare bianco o colorato, a struttura semicristallina o compatta, e non metamorfosato così da assumere la tipica struttura saccaroide, come previsto dalla definizione rigorosamente petrografica della roccia stessa.

Talora si rinvencono anche rocce bauxitiche, denominate "terre rosse", dovute a particolari processi pedogenetici.

Strutturalmente il Gargano è stato interpretato come un Horst debolmente piegato ed interessato da numerose faglie normali, distensive, riferibili a tre diversi sistemi, con direzione NNW-SSE, NNE-SSW ed E-W, di cui il più importante è il primo, cioè l'appenninico.

La configurazione risultante da tale insieme di faglie a gradinata è una serie di evidentissimi ripiani. La dorsale di Apricena-Poggio Imperiale, quota 110-130 m., è il più basso dei suddetti ripiani (sprofondamento di zolle mesozoiche), separato dal rilievo garganico per mezzo della faglia del vallone Fosso Grotte.

Le masse rocciose che costituiscono i giacimenti coltivati corrispondono a una potente pila di sedimenti, circa 1100 m di profondità, depositati in ambiente marino in 50 milioni di anni.

Le condizioni di giacitura dei banchi sono caratterizzate da una direzione prevalente E-W, immersione a S ed inclinazione da 10° a 20°, salvo variazioni locali.

L'associazione micro faunistica presente nei sedimenti permette di attribuire al Cretaceo Inferiore gli orizzonti esposti sui fronti di cava. Non è tuttavia da escludere anche la presenza del Giurese Superiore nella porzione inferiore della successione affiorante ai Tre Fossi.

Tale era geologica è rappresentata da calcari fini a frattura concoide, in strati regolari, con potenza

oscillante tra i 3° e i 50 cm. A questi si accompagnano calcari organogeni, pseudoolitici o detritici, calcari marnosi o dolomitici con venature rosate in banchi di spessore variabile tra qualche dm e più di un metro, calcari teneri, più o meno compatti, a volte lievemente cavernosi, in strati alternativamente sottili e di notevole spessore.

Il Cretaceo Inferiore consta invece di calcari oolitici, generati dalle correnti marine, calcari compatti, concordanti con la stratificazione, calcari marnosi teneri o microcristallini e cavernosi. Lo spessore di questi banchi è variabile da 30-40 cm a 3 m.

Il Cretaceo Superiore è rappresentato da calcari leggermente marnosi, molto compatti, di potenza variabile da 10-15 cm a 70-80 cm; da calcari detritici ad elementi finissimi, ricchi di frammenti fossiliferi, compresi in sottili livelli, tra i precedenti; da brecce calcaree ben cementate, con elementi di dimensione massima comprese tra 3 e 5 cm, in banchi la cui potenza può superare i 3m, presenti di norma nella parte alta della formazione.

Le condizioni di giacitura dei calcari sono caratterizzate da una generale inclinazione dei banchi, piuttosto debole ed uniforme, verso Sud e verso Sud-Ovest, complicate da disturbi di tipo sia plicativo che disgiuntivo, sempre di modesta entità, che si inseriscono nel quadro generale della tettonica del massiccio garganico.

I terreni formano dunque una sorta di monoclinale, delimitata a N e a S da due faglie, non riconoscibili direttamente, e verso E, dalla faglia del Fosso Grotte, in direzione appenninica così da incrociare le precedenti.

La zolla calcarea è a sua volta interessata da altri processi disgiuntivi, i più importanti sono quelli

orientati da NO a SE che sono intersecati ortogonalmente o quasi da un secondo sistema di faglie.

Da questo reticolato di fratture deriva la frammentazione della massa calcarea di zolle minori, di estensione variabile. L'assenza di livelli caratteristici di riferimento rende però difficile valutare il rigetto delle faglie stesse.

CARATTERISTICHE MINERALOGICO-PETROGRAFICHE E SEDIMENTOLOGICHE

La pietra di Apricena è del tipo delle rocce calcaree di origine principalmente chimico-sedimentaria e subordinatamente organogeno bioclastica, talora lievemente marnosa, con frattura sub conoide o scheggiata.

Come già ricordato in precedenza, le condizioni deposizionali sono caratterizzate da un mare poco profondo retrostante a una barriera corallina, clima molto più caldo dell'attuale, che ha determinato una attiva evaporazione con precipitazione del carbonato di calcio contenuto in soluzione nelle acque, particolari condizioni di agitazione delle acque stesse così da formare le concrezioni oolitiche o pisolitiche. Una parte dei calcari di Apricena è tuttavia dovuta all'accumulo dei resti fossiliferi, talora con l'apporto di materiali detritici.

L'origine dei calcari è quindi, in gran parte, chimico-sedimentaria e, subordinatamente, organogena o bioclastica.

Dal punto di vista mineralogico, si ha un carbonato di calcio per il 90-96%, con un contenuto di sostanze argillose variabile, del 3-8%, oltre a tracce silicee e feldspatiche ed a una sporadica presenza, non superiore alle poche unità per cento, di carbonato di magnesio.

Gli elementi principali costituenti la roccia stessa, sono i granuli ed il fango calcareo (micrite), associati ai mosaici cristallini in deposizione chimica (cemento).

I granuli comprendono gli intraclasti, i fossili, le ooliti ed i pellets.

Gli intraclasti sono formati da frammenti di fango calcareo litificato, eroso dal fondo marino e ridepositato; i fossili, detti anche bioclasti, non sono

altro che i resti degli animali vissuti nei bacini di sedimentazione.

Le ooliti corrispondono a minute sfere calcitiche, a struttura concentrica, il cui nucleo è un granulo minerale o il nicchio di un microrganismo; al contrario i pellets sono aggregati di fango calcareo, privi di struttura interna.

Il fango calcareo formatosi per via meccanica o precipitato per via chimica o biochimica, costituisce la micrite di fondo, micro e cripto cristallina (diametro medio pari a 1-4 micron), in cui sono immersi i granuli.

La calcite spastica costituisce il cemento che occlude parzialmente gli interstizi tra le particelle detritiche, è rappresentata dai cristalli con dimensioni superiori ai 10 micron e si forma, per precipitazione chimica, dalle acque circolanti negli spazi intergranulari del sedimento. Dall'analisi fatta su diversi campioni si deduce che, tra calcite microcristallina, calcite spastica e costituenti allochimici, sia preponderante la presenza della prima, a indicare come l'ambiente di sedimentazione sia stato caratterizzato dalla presenza di una notevole abbondanza di fango microcristallino, in assenza di forti correnti che potessero allontanarlo.

I caratteri tessiturali e strutturali variano notevolmente in base all'origine, detritica o biochimica, ed agli agenti deposizionali e diagenetica.

Si passa dalla varietà oolitica a quella pisolitica, in cui le concrezioni sferoidali, immerse nella massa di fondo calcitica, assumono dimensioni superiori; talvolta il calcare stesso presenta una tessitura cavernosa, dovuta alla soluzione differenziale, dei granuli o a vuoti intercristallini, in cui i vacuoli possono essere riempiti da calcite secondaria.

Eventuali processi diagenetici hanno cancellato sia la struttura oolitica, sia i resti fossili, con una ricristallizzazione della roccia.

Spesso il calcare risulta attraversato da sistemi di diaclasi aperte o cementate da legante calcitico: caratteristiche sono le "stiloliti", con sviluppo di una sutura a denti di sega, originate da fenomeni di pressione - soluzione, la cui superficie è marcata, oltre che da calcite bianca, da impregnazioni di ossidi di ferro e di manganese, rispettivamente di colore rosso e nero.

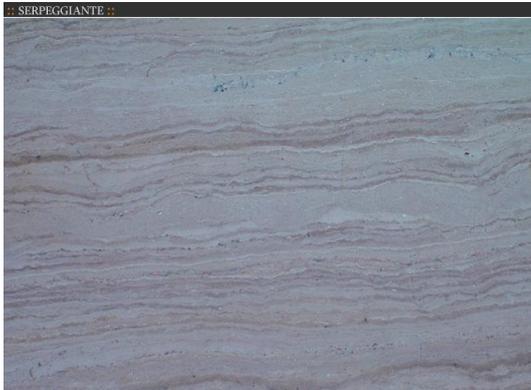
In seguito vi è una descrizione della varietà della "pietra di Apricena" attualmente estratte trascurando quei tipi che, per la loro scarsa diffusione, non possono dar luogo ad uno sfruttamento di carattere continuativo.

Serpeggiante classico. Calcare fortemente compatto, con frattura scheggiata e polvere bianca. Presenta qualche vacuolo di ridotte dimensioni, riempito da calcite secondaria. Intenso il grado di diagenizzazione che ha quasi completamente cancellato l'originaria tessitura oolitica.

Il colore di fondo predominante è di tono caldo, giallo-paglierino, passante talora al marrone chiaro. Esso è ravvivato da bande serpeggianti, messe in evidenza da un'accentuazione dei toni della colorazione fondamentale. All'interno di alcune di queste bande, di colore più chiaro, sono individuabili minute formazioni oolitiche.

Numerose e fitte le tracce di stiloliti, sempre ben cementate da calcite generalmente incolore. Vengono, così, a mancare le venature rosse comuni - in simili condizioni di fatturazione della roccia - nella "pietra di Apricena". Solo al microscopio si rileva, sparsa qua e là, qualche minuscola traccia rossastra, probabilmente di natura bauxitica.

Sono anche frequenti sottili leptoclasti, distribuite per lo più normalmente ai piani di stratificazione e saldamente cementate da calcite.



Serpeggiante San Nazario. Deriva il suo nome dalla località nella quale si estrae. Il suo colore di fondo è di solito più chiaro di quello normale; anche i serpeggiamenti sono, di regola, meno marcati. Si notano, però, delle esilissime fasce, ad ondeggiamenti appena accennati, dello spessore di pochi millimetri, che spiccano sul fondo uniforme per il loro colore grigio azzurrognolo. Al microscopio, queste appaiono formate da calcite cripto cristallina opaca. Nelle bande di tonalità più chiara, non sono rari degli allargamenti improvvisi di tipo nodulare, nei quali il calcare assume una tessitura minutamente oolitica.

Serpeggiante "A". Colore di fondo molto chiaro, quasi bianco-avorio. Le bande, per contro, sono più marcate, mentre si nota qualche rara stilolite, messa in evidenza dal colore rossastro.

Serpeggiante "E". In questa varietà sono notevoli i toni rosati delle bande sottili ed ondulate, che spiccano particolarmente sul solito colore di fondo.

Serpeggiante misto. Questo marmo associa, di norma, i caratteri peculiari del serpeggiante classico, del serpeggiante " E" e del " Biancone".

Ondagata. Detto anche " radica di noce "questo marmo non è particolare prodotto di cava, ma il risultato del taglio in lastre dei blocchi di "Serpeggiante" non - come di consueto - secondo il "verso", bensì secondo il "contro".

Così segato, invero, l'ondagata, per un minore risalto dei serpeggiamenti, assume una tinta d'insieme alquanto più uniformemente distribuita. Questo marmo, per la sua colorazione calda - sul tono del marrone - è certamente di bell'effetto decorativo.

Biancone. E' un calcare marnoso, leggermente dolomitico, assai compatto, durevole e con caratteri intrinseci senz'altro uniformi. Presenta una frattura concoide; la sua polvere è bianca.



Ha un colore di fondo sempre molto chiaro (biancastro o nocciola) e non presenta le fasciature e le venature di tinta diversa così comuni e caratteristiche per le altre varietà della "Pietra di Apricena". Qualche minuscola cavernosità della roccia è riempita di calcite secondaria e spicca come una tenue punteggiatura più scura.

Questo marmo è privo o quasi di fratture, anche di tipo stilolitico. Circa la sua denominazione, ricordiamo che essa richiama quella del classico calcare compatto, bianco-latteo, d'età titonico-infracretacea.



VARIETÀ:

Biancone San Nazario

Biancone Tre Fosse

Biancone 5B

Bianco Picchiettato

Ai bianconi va riferito anche il calcare compatto e di identica tessitura, spesso indicato con il nome di "rosato chiaro". Sul colore di fondo del biancone comune è diffusa una macchiatura rosata che varia alquanto l'insieme cromatico, rendendolo più elegante e più vivo. Se poi il colore rosa si distribuisce lungo sottili linee nastriformi, accentuando il contrasto con il colore di fondo, si è in presenza della varietà nominata "biancone filettato rosa".

Silva Bella calcare compatto di costituzione uniforme e di notevole resistenza, a frattura concoide e con polvere bianca.

Nei vacuoli di piccole dimensioni, formatesi entro la sua massa, si annidano noduletti calcitici. La tinta di fondo è marrone, con diverse sfumature che caratterizzano le sottili fettucce lievemente ondulate e tra loro parallele, da cui la roccia è attraversata.



La calcite che cementa le stiloliti ha una tenue colorazione giallastra e rossastra; incolore è quella che salda le fratture disposte normalmente ai sistemi di bande di cui sopra.

Filettato è un calcare compatto, con qualche plaga colitica irregolarmente distribuita nella massa, o corrispondente alle sottili bande leggermente ondulate che la attraversano nel senso della stratificazione.

La sua frattura è scheggiosa, la polvere è biancastra, il colore di fondo è sul marrone chiaro molto uniforme.

Tra le varietà più comuni di questo pregiato marmo ricordiamo:

Filetto rosso Apricena dal fondo uniformemente paglierino, sul quale spiccano venuzze rosse alquanto rade, sub parallele e periodicamente ripetute.

Filetto "B" di tinta fondamentale bianco avorio, che ha filetti nastriformi rossi o giallastri.

Filetto "70 B" con colore di fondo più scuro (nocciole) e con radi filetti subparalleli tra i quali, di sovente, si nota una fitta punteggiatura costituita da minuscoli vacuoli riempiti di calcite secondaria.

Filetto "FG" a sottili bande alternativamente chiare e scure, parallelamente alle quali si distribuiscono

numerose stiloliti saldate da calcite rossastra o giallognola.

Al filettato si accostano la varietà **Righina** nella quale sul colore di fondo uniforme, spiccano sottili righe rosse, gialle e viola, il **Filetto o Rosso di Puglia**, che si estrae nel territorio di Poggio Imperiale, ed il **Rosso San Sabino**.

Macchiettato o Perlato: calcare leggermente magnesiaco, compatto, a frattura scheggiata e con polvere bianca.

Bronzetto è un calcare microlitico a struttura compatta e a frattura scheggiata. La sua polvere è bianca. Si tratta di un marmo monocromatico, con colorazione uniforme sul marrone marcato tendente al bronzo sulla quale si osserva una minutissima punteggiatura, corrispondente a minuscoli vacuoli parzialmente riempiti di calcite.



Grigio Aurora: questo marmo, purtroppo scarsamente diffuso, rappresenta una delle varietà più pregevoli della pietra d'Apricena.

È un calcare oolitico a bande parallele, le dimensioni delle ooliti sono assai variabili. Le ooliti sono immerse in una massa di fondo costituita da calcite micro e cripto cristallina con zonule opache determinate da impurità argillose.

Pur possedendo una colorazione di fondo predominante, grigio-azzurra sfumata, il grigio Aurora è un marmo policromo.

Travertino Apricena: calcare diffusamente vacuolare, attraversato da leptoclasti più o meno ampie, saldate da calcite secondaria.

Il termine di travertino è evidentemente improprio. Si tratta di una varietà molto simile al macchiettato.

Le cavità di questo marmo rappresentano in media dal 3 al 7 % del suo volume. Una così spiccata vacuolarità ne diminuisce notevolmente le proprietà meccaniche.

Il colore di fondo è grigio e su di esso appaiono le macchie brunastre della calcite secondaria.

Le varietà della Pietra d'Apricena di cui si è parlato sono quelle che vengono comunemente poste sul mercato marmifero, vi è però la necessità di una classificazione commerciale conforme alla nomenclatura tradizionale, ma confortata da criteri distintivi concreti dei tipi e delle varietà, che tengano conto delle effettive diversità cromatiche.

I tipi di Pietra d'Apricena veramente caratteristici sono i seguenti:

1. Biancone
2. Serpeggiante
3. Silva Bella
4. Filettato
5. Macchiettato o Perlato
6. Bronzetto

CLASSIFICAZIONE LITOLOGICA

Le diverse varietà della Pietra d'Apricena attualmente distinte rispondono ad uno schema di classificazione che tiene conto di caratteristiche salienti utili solamente dal punto di vista commerciale.

Un approccio scientifico invece consente di distinguerle, in base alle condizioni di sedimentazione ed alla petrografia dei diversi livelli coltivati, in quattro gruppi di seguito riportati.

1. Micriti e intrabiomicriti

Si presentano sia omogenee, costituite da micrite in cui si trovano sparsi i grani bioclastici e gli intraclasti, che eterogenee, costituite da bande alternativamente micritiche e intrabiomicritiche e da lenti di materiale clastico eterometrico.

2. Olomicriti ed intrabiomicriti

Le lamine possono essere omogenee a grana finissima, micritiche, oppure a grana fine, con micrite debolmente magnesiaca, infine, eterogenee e costituite da intraclasti, bioclasti ed ooliti.

Esse si susseguono senza alcun ordine apparente, con contorno netto o sfumato, e con spessori variabili così da caratterizzare le diverse varietà commerciali.

3. Calcareniti intrabiomicritiche e oomicritiche

Le prime contengono una quantità piuttosto elevata di costituenti allochimici immersi nella sostanza di fondo. Nelle varietà oomicritiche sono presenti, invece, lenti di spessore centimetrico immerse in un mosaico di fondo micritico.

Nelle calcareniti intrabioclastiche, infine, si ha meno del 50% di micrite, con prevalenza di calcite microcristallina che cementa i grani.

4. Calciruditi intra-micritiche e pisolitiche

Sono costituiti da grani bioclastici, intraclasti, micrite e calcite spatica. I resti fossili presenti hanno spesso i vuoti intergranulari riempiti da micrite e/o calcite, così come i bioclasti sono cementati dalla micrite di fondo.

Le varietà pisolitiche sono invece caratterizzate dal contenuto in resti fossili ed in intraclasti, soggetti ad una spinta fratturazione, incrostati da successivi involucri calcitici e cementati da micrite; frequenti sono anche le stiloliti.

CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE

L'impiego delle rocce come materiali naturali da costruzione dipende dalle loro proprietà tecniche, ossia dall'insieme e dalle reciproche influenze delle loro caratteristiche chimico-mineralogiche, sedimentologico-petrografiche e fisico-meccaniche.

È sulla scorta di tali proprietà che si possono definire i limiti di utilizzazione delle rocce stesse, tecnici ed almeno in parte, economici.

Le caratteristiche fisiche delle varietà Pietra d'Apricena si mantengono in un campo di variabilità assai ristretto; si vedano a proposito i valori del peso specifico reale ed apparente, della compattezza, del grado di porosità e di quello di imbibizione.

	<i>Tipi litologici</i>			
<i>Caratteristiche fisico meccaniche</i>	1	2	3	4
Peso specifico reale (g/cm ³)	2,70	2,72	2,71	2,71
	2,65	2,65	2,66	2,65
Peso specifico apparente (g/cm ³)	0,981	0,977	0,980	0,977
Grado di compattezza	0,018	0,022	0,019	0,022
Coefficiente di porosità (%)	0,46	0,30	0,68	0,74
	1.870	1.526	1.645	1.341
Coefficiente imbibizione (%)	150,4	143,5	147,0	155,7
Resistenza a compressione (kg/cm ²)				
Resistenza a flessione (kg/cm ²)				

A tale apparente omogeneità non corrisponde, tuttavia, un analogo comportamento per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche.

In seguito alle particolari condizioni del processo di sedimentazione, delle modalità diagenetiche e delle deformazioni tettoniche, esse infatti possono oscillare anche tra limiti sensibilmente discosti tra loro, sia nel passare da una varietà litologica all'altra che all'interno della stessa varietà. Tali proprietà sono inoltre direttamente influenzate dalla presenza nella roccia di peli, venature, cavità e parti più debolmente cementate o addirittura farinose.

Il valore della resistenza a compressione, ad esempio, può decrescere sensibilmente, nonostante la compattezza della roccia si mantenga elevata, in considerazione dell'orientamento delle stiloliti, della loro frequenza e della molteplicità delle direzioni di sviluppo.

Un ulteriore motivo di eterogeneità è fornito inoltre dalla presenza di eventuali costituenti allochimici che, a parità di composizione granulometrica e di grado di compattezza della roccia, determinano valori diversi delle stesse caratteristiche meccaniche.

Nella tabella si riportano, per ognuna delle quattro varietà litologiche precedentemente elencate, valori medi delle seguenti grandezze:

- a) *Peso specifico reale*
- b) *Peso specifico apparente*
- c) *Coefficiente di compattezza*: rapporto tra il peso dell'unità di volume ed il peso specifico reale
- d) *Coefficiente di porosità*: differenza tra peso specifico reale e peso specifico apparente, divisa per il peso specifico reale.
- e) *Coefficiente di imbibizione*: riferito al volume, è pari al rapporto

$$100 \times \frac{(P' - P)}{V}$$

In cui

P' : peso del provino saturo di acqua

P : peso a secco del medesimo campione di volume V.

Il valore ottenuto indica la percentuale volumetrica del campione saturo di acqua.

- f) *Resistenza a compressione assiale*: è determinabile per via grafica in un diagramma in cui è riportata la variazione della resistenza media in funzione della densità apparente.

A risultati del tutto analoghi, tutt'al più con uno scarto dell'ordine del 2-5%, si perviene applicando la formula del Mesnager, derivata da una serie di sperimentazioni, in cui il carico di rottura a compressione assiale è espresso in funzione della densità apparente d_a .

Tale formula è del tipo

$$\sigma_{rc} = k(d_a - 0,83)/(2,88 - d_a)$$

In cui k è una costante sperimentale pari a 150.

g) *Resistenza a flessione*

L'analisi globale di tali valori permette di inquadrare i calcari esaminati tra le rocce pesanti, molto compatte, a bassissimo valore sia del grado di imbibizione che della dilatazione lineare termica e quindi idonee anche in condizioni ambientali caratterizzate da forti contrasti di temperatura ed umidità.

Mediamente elevati sono pure i valori dei carichi di rottura a compressione; la resistenza a flessione, all'usura ed all'urto risultano più che valide.

2.3 METODO DI COLTIVAZIONE

Metodo di coltivazione: definisce la sequenza spaziale e temporale secondo le quali viene asportato il giacimento, che è suddiviso in volumi progettuali organizzati secondo un ordine gerarchico funzionale.

Applicandolo ad un giacimento si può in qualsiasi istante determinare la geometria della cava in tutte le sue peculiarità; quindi la prima operazione è l'individuazione e la denominazione dei volumi e poi le sequenze di asportazione.

L'individuazione delle tecnologie, le macchine, i materiali, le energie e le tecniche d'uso delle stesse rappresentano un'informazione aggiuntiva non sostitutiva nel metodo.

I parametri che determinano la scelta delle tecnologie, delle tecniche e dei metodi di coltivazione sono i seguenti:

1. ELEMENTI LOGISTICI quali la posizione geografica del giacimento, la viabilità e la distanza dai centri di trasformazione o dei porti di imbarco.
2. FORMA E DIMENSIONI DEL GIACIMENTO e la loro relazione rispetto alla morfologia del territorio.

Questi aspetti condizionano il tipo di cava e i metodi di coltivazione adottabili determinando costi aggiuntivi in particolare per quanto riguarda l'accessibilità dei cantieri: scopertura, piste di collegamento, eduazione delle acque e "costi ambientali".

I fattori che incidono sulla scelta del metodo di coltivazione sono:

1. DISCONTINUITÀ FISICHE cioè la fratturazione e, nei giacimenti stratificati, le giaciture. Occorre tenere conto della fratturazione nella scelta delle direzioni di taglio, che può portare a sensibili

variazioni della resa in blocchi, mentre le giaciture possono condizionare la scelta del metodo di coltivazione in senso stretto.

2. DISCONTINUITÀ MECCANICHE o potenziali, sono spesso parallele alle fratture, come nei marmi, o alle giaciture, come nei travertini. Esse condizionano l'orientamento dei tagli e il metodo di coltivazione, intervenendo anche nella scelta delle tecnologie e nella loro produttività.
3. STATO DI QUALITÀ rappresenta la distribuzione nello spazio di tutte quelle caratteristiche chimiche, fisiche, meccaniche, tessiturali ed estetiche che concorrono alla definizione del tipo merceologico e della qualità dei prodotti. In base ad esso viene definita la selettività del metodo di coltivazione e quindi le dimensioni dei volumi che vengono via via tagliati durante il ciclo produttivo dalle prime fasi di isolamento al monte fino al ritaglio ed alla riquadratura dei blocchi.

2.4 METODI DI COLTIVAZIONE NELLE CAVE DI MARMI

I metodi di coltivazione adottati nelle cave di marmi sono nella stragrande maggioranza dei casi per splateamento; si ha cioè un'asportazione progressiva, dall'alto verso il basso di volumi di roccia, platee, in cui un giacimento è stato progettualmente suddiviso.

Questi volumi hanno normalmente una notevole estensione laterale (alla scala della cava intera) e un'altezza modesta, da qualche metro a qualche decina di metri, ed è per questo che sono assimilati a delle fette. Si tratta, ovviamente, di fette virtuali: volumi cioè che vengono materializzati da superfici che devono essere fisicamente create per mezzo dei tagli con le macchine. Durante

l'asportazione dal giacimento, le fette vengono modellate in forma di gradoni (o gradini, o scalini).

Se la coltivazione riguarda una sola fetta, si ha un solo gradone; se la coltivazione asporta contemporaneamente più fette, a diversi livelli, si hanno più gradoni. La configurazione più frequente prevede gradoni adalzata e pedata mutuamente ortogonali, verticale la prima e orizzontale la seconda.

Le platee possono essere orizzontali o variamente inclinate ed il loro spessore viene fissato in base alle caratteristiche del giacimento e delle tecnologie di taglio. Nei giacimenti composti da strati o banchi, quali quelle di calcare o travertino, le platee vengono delimitate ed orientate sulla base delle giaciture degli strati o degli orizzonti di deposizione; in tal caso le platee sono suborizzontali o debolmente inclinate, come nei calcari dei bacini pugliesi di Apricena, Fasano e Trani; oppure inclinate fino a 25-30 gradi come nei bacini di Botticino.

Logicamente, l'escavazione dovrà poi tener conto dei sistemi di frattura e delle faglie.

Tutte le possibili varianti del metodo per fette discendenti sono in definitiva riconducibili a due: metodo "per grandi bancate" e metodo "per gradino basso". Nel primo caso si ha l'isolamento di grosse porzioni di roccia dal giacimento, con successivo ritaglio in blocchi commerciali; nel secondo caso si ha l'estrazione diretta del blocco, o, tutt'al più, abbattimento di bancate non grandi, successivamente ridotte a blocchi commerciali.

Metodo "per gradino basso": nella coltivazione per gradino basso si può procedere in due modi: isolando una bancata di altezza modesta e seguendo il ciclo classico ribaltamento-ritaglio-riquadratura, oppure estraendo il blocco direttamente dal giacimento, senza alcun ribaltamento né riquadratura.

È frequente, ma non tassativo, che l'altezza del gradino corrisponda ad una delle dimensioni del blocco. Il gradino basso è una metodologia di escavazione particolarmente efficace sia in giacimenti stratificati che in giacimenti massivi di materiali poco fratturati e con buona omogeneità e uniformità di aspetto e disegno; questa condizione riduce infatti la necessità di isolare grandi volumi in grandi bancate e permette di escavare direttamente il blocco; tuttavia comporta un maggior numero di tagli per un ugual volume escavato.

Nel caso in cui si taglino bancate di altezza modesta, ma piuttosto lunghe, se ne opera il ribaltamento e si procede sostanzialmente come nel caso delle grandi bancate.

Assume maggiore importanza, nei tagli verticali, l'impiego della tagliatrice a catena con braccio di lunghezza intermedia.

Nel caso in cui l'estrazione del blocco sia diretta, è frequente l'esecuzione dei tagli orizzontale e verticale paralleli al fronte con la tagliatrice a catena/cinghia; i tagli trasversali vengono eseguiti a filo.

Il gradino basso è poi la condizione che rende possibile anche l'impiego di un solo tipo di macchina - la tagliatrice a catena/cinghia - molto efficace con queste configurazioni di cava. Il filo mantiene inalterata la sua validità ma si trova comunque a dover lavorare sempre con piccoli raggi di curvatura, soprattutto se il gradino è molto basso, e questo riduce un poco la sua produttività. Il metodo del gradino basso mostra alcuni vantaggi anche dove mutano improvvisamente le caratteristiche del giacimento; ad esempio, in presenza di pieghe numerose e strette, il disegno del marmo può cambiare continuamente direzione in spazi brevi, richiedendo che si adattino continuamente le orientazioni

dei tagli per mantenere nei blocchi una costanza di aspetto.

Quando si lavora con bancate alte e lunghe, la cosa non è sempre possibile, né immediata; l'orientamento di un fronte alto un metro e mezzo, invece, con estrazione diretta del blocco, può essere modificato con rapidità molto maggiore.

Le cave aperte in aree pianeggianti possono essere "a fossa" o "a pozzo"; i piazzali del primo tipo sono accessibili mediante piste o rampe mentre nel secondo lo sono solo mediante scale, ascensori e mezzi di sollevamento verticale.

Le cave di calcari stratificati pugliesi nelle zone di Apricena sono della tipologia "a fossa", la cui scelta è dettata nella quasi totalità dei casi dalle locali condizioni topografiche di terreno pianeggiante.

Per la sua realizzazione si apre una ampio scavo asportando, in successione, la copertura di terreno vegetale, gli strati calcarenitici e quelli di calcare alterato e fratturato associato a "brecce" e terre rosse. In seguito lo scavo stesso viene approfondito con l'asse maggiore disposto secondo la direzione dei piani di stratificazione e con la fronte di avanzamento che procede ortogonalmente ad esso. Lo sviluppo della coltivazione avviene dall'alto verso il basso per gradini successivi.

In molti casi gli strati in virtù della loro immersione verso S-SO e della debole inclinazione, dell'ordine dei 5-10°, ed in seguito alle operazioni di taglio, risultano a reggi poggio, condizione estremamente favorevole per le condizioni di sicurezza dei cantieri.

2.5 UTILIZZI DELLA PIETRA DI APRICENA

La "pietra d'Apricena" ha molteplici impieghi, naturalmente condizionati dai suoi caratteri geolitoologici, giacimentologici, tecnici ed ornamentali.

In generale si può osservare che, oltre ad essere un pregevole materiale ornamentale, da costruzione e da pavimentazione, essa ha i requisiti richiesti per ricavarne massi da scogliera, pietrame in genere e pietrisco per massicciate stradali e rilevati ferroviari. Scendendo a qualche particolare, si evidenzia che la "pietra di Apricena" è adatta per davanzali interni ed esterni, stipiti, architravi, gradini, zoccolature e (se segata in lastre di dimensioni superficiali e di spessore convenienti) per rivestimenti di pareti e strutture portanti, per pavimenti, per composizioni geometriche e per lavorati di rifinitura ed ornamentazione delle costruzioni edili.

Serve inoltre per la pavimentazione di strade e marciapiedi (in elementi rettangolari o poligonali d'opportune dimensioni) per cordoni di marciapiedi e d'altri rialzi stradali e per la preparazione di masselli e basole, da impiegare soprattutto nell'architettura monumentale.

In graniglia, in scaglie od in pezzi grossolani di colore diverso viene poi impiegata - su di un supporto di calcestruzzo di cemento - per marmette e marmettoni.

La facile sculpibilità la rende infine idonea a tutte le esigenze della scultura sia artistica che ornamentale.

Viene dato qui di seguito qualche cenno particolare sulle possibilità d'impiego delle più importanti varietà dei marmi di Apricena.

Il biancone ed il bronzetto sono tipici per il loro monocromatismo.

Il primo è alquanto argilloso e quindi di durezza inferiore a quella media degli altri marmi. Entrambi, per la costanza dei loro caratteri e per la grande compattezza, sono utilizzabili per tutte le applicazioni di cui sopra, e soprattutto come materiali ornamentali per il rivestimento di elementi verticali.

Un maggior effetto decorativo hanno, indubbiamente, il serpeggiante e l'ondagata (marmi pur essi assai compatti e più duri del biancone), per la sfumata delicatezza del tono della colorazione di fondo e per la distribuzione cromaticamente armoniosa delle loro bande ondulate. Per l'ondagata però sembra lecita qualche riserva circa la convenienza di utilizzazione nelle composizioni ornamentali, ciò a causa del minore spicco delle fasce serpeggianti.

Il silva bella ed il grigio aurora hanno caratteri ornamentali che li rendono particolarmente adatti per il rivestimento di elementi costruttivi verticali ed orizzontali.

Anche i filettati sono adatti per i più svariati impieghi.

In questi marmi però le fratture da cui trae origine la filettatura non sempre sono perfettamente cementate; possono pertanto aversi peli aperti che diminuiscono la resistenza, mentre aumentano il coefficiente d'imbibizione della roccia, determinando di conseguenza l'accentuazione di quei processi di alterazione ai quali sono dovuti i fenomeni di sbiancamento della colorazione e la genesi delle macchie deturpanti.

Da qui la necessità di una rigorosa scelta dei filettati, soprattutto per gli impieghi all'esterno.

Il macchiettato o perlato, pur essendo molto compatto, è piuttosto tenero e quindi facilmente lavorabile. La vacuolarità e la tendenza al naturale isolamento dei numerosi macrofossili e dei noduli calcitici in esso

racchiusi, costituiscono però indubbiamente elementi limitativi per l'impiego di questo marmo, con riferimento sia alla sua resistenza meccanica che alla possibilità di alterazioni della sua colorazione.

Analoghe o addirittura peggiori condizioni si presentano per il cosiddetto travertino che può essere soggetto in una certa misura anche a fenomeni di gelività.

Sia il macchiettato che il travertino sono quindi prevalentemente impiegabili negli interni, soprattutto per rivestimenti verticali, e previa idonea stuccatura.

3. CONFRONTO FRA L'UTILIZZO DI MICCIA DETONANTE E TAGLIATRICE A CATENA

Le tecnologie e le tecniche di taglio includono tutti i macchinari e i sistemi impiegati per l'estrazione ed il frazionamento di blocchi di roccia durante lo sfruttamento di un giacimento.

Dal punto di vista dello sviluppo storico della tecnologia le grandi innovazioni del secolo scorso furono l'introduzione del filo elicoidale e la perforazione ad aria compressa agli inizi del '900.

In seguito alla prima guerra mondiale iniziò la diffusione dei mezzi cingolati e gommati nella movimentazione e trasporto nonché lo sviluppo delle piste e delle strade di arroccamento; infine nel 1965 si fecero le prime esperienze nelle cave francesi e belga con tagliatrici a catena dentata e nel 1978 venne introdotto nelle cave di Carrara il filo diamantato messo a punto alla fine degli anni Sessanta.

Non si approfondiranno in questo capitolo tutte le tecnologie di taglio, ci si limiterà a descrivere la tagliatrice a catena e la miccia detonante.

3.1 TAGLIATRICE A CATENA

La tecnologia delle tagliatrici a catena deriva dall'evoluzione dei macchinari originariamente impiegati nella coltivazione del carbone fin dagli anni '30. Le prime esperienze di utilizzazione delle tagliatrici a catena con utensili saldati di carburo di tungsteno avvennero nel 1965 in Belgio e nei marmi colorati in Francia.

In Italia le prime prove sui calcari furono realizzate a Botticino e diedero risultati incoraggianti, con velocità di taglio di 5 m²/h, ma il loro impiego fu limitato a causa delle frequenti rotture e la non facile

manovrabilità in quei giacimenti. Il miglioramento tecnologico generale e l'adozione del fissaggio meccanico degli utensili ne favorì successivamente una buona diffusione in diversi bacini italiani: a Carrara nel 1970, dove la tagliatrice a catena è considerata da allora indispensabile per le aperture delle camere in sotterraneo; nel peperino di Viterbo dove il metodo di coltivazione è passato dalle grandi bancate a gradino basso; in talune cave di travertino di Tivoli, nella coltivazione dei banchi di piccolo spessore; nel serpeggiante di Apricena in Puglia; nei marmi, oltre a Carrara, in Portogallo, in Belgio, in Grecia a Tassos ed in Jugoslavia a Brax, in Bulgaria a Sandaski. In molti casi la tagliatrice costituisce una risorsa integrativa o preparatoria all'utilizzo di altre tecnologie, ad esempio il filo diamantato, per ridurre le perforazioni iniziali.



Figura 2: Tagliatrice a catena (Apricena)

I modelli per la coltivazione a cielo aperto si muovono su elementi di binario modulari sottostanti, singoli (un solo binario), o multipli (più binari giustapposti tra

loro); spesso dotati anch'essi di sistema autolivellante, consentono lo scorrimento a tutta la macchina, solitamente attraverso una trasmissione a cremagliera.

La lunghezza di ogni binario è variabile tra i 3 e i 6 metri. Da menzionare i modelli che si muovono su un solo binario autotraslante, una opzione che consente alla macchina di eseguire tagli di lunghezza indefinita, utilizzando il proprio sistema di automovimentazione, senza la necessità di dover movimentare altri binari, e limitando quindi l'uso di impianti di sollevamento. In sotterraneo invece traslano su colonne a contrasto.

Gli inserti da taglio consistono in prismi abrasivi di carburo sinterizzato (chiamati comunemente widia) o bordati con diamante policristallino (tipo Stratapack); essi sono alloggiati su speciali supporti fissati lungo la catena. Esistono comunque oggi dei porta inserti a fissaggio rapido che accorciano i tempi di sostituzione dei taglienti e dei sistemi di montatura speciale dell'inserto sul supporto, in modo da rendere girevole l'insieme, senza successive lavorazioni né saldature.

La catena scorre lungo il perimetro del braccio, lubrificato in continuo con il grasso.

Il braccio consiste in un elemento d'acciaio di forma tabulare (circa 40-50 cm di larghezza e 34 mm di spessore), la cui lunghezza normalmente non eccede i 5 metri. Il braccio può ruotare di 360° sulla testa che lo connette al motore e può realizzare sia tagli verticali che orizzontali.

Il taglio è creato attraverso il passaggio continuo della sequenza di taglienti, che rimuove una minima parte di roccia e.g. 0,45-1,5 mm per ogni tagliente; infatti, essi sono montati sulla catena in serie di 6-8 elementi e posizionati in modo da creare un angolo.

Il taglio ha una larghezza di 38-42 mm, una lunghezza teoricamente infinita (in orizzontale), ma una profondità limitata dalla lunghezza del braccio.

I parametri che possono essere variati in modo da ottimizzare la relazione tra la velocità di taglio e l'usura dei taglienti sono la percentuale di avanzamento della macchina in cm/min e la velocità di rotazione della catena in m/s. il taglio può avanzare alla velocità massima di 15cm/min, mentre la catena ha una velocità massima di 1 m/s; normalmente è preferibile mantenere una bassa velocità di avanzamento, in modo che i residui prodotti possano essere rimossi da un solo operatore.

Il controllo idraulico per i movimenti permette la regolazione della velocità di lavoro mentre il controllo delle forze è regolato attraverso valvole di limitazione di pressione.

Il taglio viene effettuato con acqua od a secco: opzione quest'ultima particolarmente importante in zone con scarsità d'acqua e/o con climi particolarmente freddi dove la temperatura si attesta costantemente sotto gli 0°.

Nel modello per cielo aperto, è di grande interesse l'equipaggiamento con un dispositivo atto alla raccolta della polvere, una coclea, che, ancorata al telaio, segue la macchina durante l'esecuzione del taglio, provvedendo a rimuovere rapidamente la polvere prodotta durante l'avanzamento. Alcuni operatori optano per una refrigerazione eseguita irrorando solamente il pignone; così facendo la catena lavora parzialmente ad umido, mantiene un eccellente grado di lubrificazione e scorre in un solco sempre molto pulito.



Figura 3: Coclea

Nel caso di taglio a secco si riscontra una più alta velocità di taglio dovuta probabilmente ad una migliore lubrificazione, ma con una più alta usura dei taglienti; il taglio con acqua causa il raffreddamento degli utensili permettendone così una maggiore durata.

La catena ha bisogno di lubrificazione continua per le sue operazioni; il consumo registrato è di circa 0,6-2 kg/h di lubrificante. I problemi connessi al rilascio nell'ambiente di oli minerali hanno incentivato lo sviluppo di oli biodegradabili e grassi naturali, in modo da evitare la possibile contaminazione di acque superficiali e falde sotterranee.

I vantaggi più importanti della tagliatrice a catena sono: versatilità, buone condizioni di salute e sicurezza durante l'operatività (assenza di polveri, vibrazioni e rumore contenuti), la semplicità dell'operatività e la necessità di poca manodopera, solo 1 operaio; l'assenza di fratturazione indotta nel massiccio roccioso, regolarità e complanarità del taglio (regolarità dei blocchi estratti). Inoltre questa tecnologia è essenziale per l'apertura e lo sfruttamento delle platee nelle cave sotterranee di marmo.

D'altro canto gli svantaggi sono: in primis questa tecnica non può essere usata su materiali molto duri,

secondariamente la ridotta profondità di taglio limitata dalla lunghezza del braccio, anche se ad oggi, macchine con 7,5 m di braccio sono disponibili (solo per il taglio verticale). Inoltre la movimentazione ed il posizionamento della macchina sono legati, a parte i modelli semoventi, alla disponibilità di potenti pale od escavatori ed è richiesta la presenza di minimo due operatori.

3.2 MICCIA DETONANTE

In passato venivano utilizzate le mine a fendere che erano delle vere e proprie tecniche di taglio e di parziale movimentazione; entro fratture naturali o artificiali veniva posta polvere nera opportunamente confinata con diversi accorgimenti e quindi fatta esplodere per completare l'isolamento delle bancate ed il loro spostamento o rovesciamento.

In seguito con lo sviluppo della perforazione ad aria compressa l'esplosivo diventa una vera e propria tecnica di taglio. Infatti l'azione dell'esplosivo introdotto in fori da mina complanari e paralleli viene controllata e finalizzata al taglio limitandone gli effetti dirompenti e operando sulla quantità di esplosivo, sul disaccoppiamento, sull'interasse tra i fori e sull'intasamento; studi condotti sul marmo di Carrara hanno messo in luce la possibilità di orientare la fratturazione mediante intasamento differenziato.



Figura 4: Inserimento esplosivo nel foro

Nella coltivazione delle rocce carbonatiche l'esplosivo è utilizzato marginalmente; per lo più nei calcari e spesso come tecnica integrativa; viene utilizzata miccia

detonante alla pentrite con bassa o media carica lineare: per esempio nel calcare di Botticino i migliori risultati sono stati ottenuti con miccia da 8-12 g/m di pentrite, in fori da 35-40 mm disaccoppiamento 10-12 ed interasse 15-20 cm; nei calcari di Apricena l'interasse per fori da 34 mm è 20 cm, nei calcari di Coreno con fori da 34 mm vengono adottati interassi diversi in funzione delle condizioni di taglio 20-25 cm nei tagli ortogonali alla stratificazione e 40 cm in quelli di base.

La miccia detonante è formata da un cordone molto simile ad una miccia lenta che però al posto di un nucleo di polvere contiene un'anima di un esplosivo ad alta velocità di detonazione, la pentrite.

La pentrite o tetranitropentaeritrite (PETN) è un solido cristallino che fonde a 141°C, con densità 1760 Kg/m³, non igroscopico, esplosivo detonante sensibile ad urti o sfregamenti. La velocità di detonazione è intorno ai 6000-7000 m/s e l'energia totale sviluppata è di 5,2 KJ/Kg. Viene usato soprattutto per la carica secondaria dei detonatori e per le micce detonanti.



Figura 5: Inserimento miccia detonante

La miccia viene prodotta in vari tipi con un contenuto variabile da 3 a 100 grammi per metro di miccia; i più utilizzati sono quelli da 6 e da 12 g/m. L'anima di pentrite è protetta contro l'azione dell'umidità e dall'usura da strati spiraliformi di filati rivestiti esternamente da un materiale plastico, il cloruro di polivinile che permette che si mantengano le adeguate caratteristiche di flessibilità, impermeabilità e resistenza a trazione.

Impermeabilizzandone convenientemente le estremità, la miccia detonante può essere impiegata in acqua, sotto qualsiasi battente.

I materiali che la compongono hanno caratteristiche tali da garantire la flessibilità del cordone e la stabilità dell'esplosivo, sia alle alte che alle basse temperature, per cui non si richiedono cautele particolari per la sua conservazione nei depositi.

La miccia detonante ha interessanti applicazioni come carica lineare, ma in questa sede interessa come mezzo di innescamento di una o più cariche. Può in un certo senso essere considerata come un "detonatore allungato".

Dato che l'innescamento è lineare (e non puntiforme come con i detonatori) la carica può indifferentemente essere continua o discontinua. Una linea di miccia detonante collega tra loro tutti gli spezzoni di miccia detonante assiemati alle cariche.

Una estremità della linea di miccia detonante viene collegata con un detonatore (comune o elettrico) la cui esplosione, al momento voluto, determina quella della miccia detonante e di tutte le cariche ad essa collegate. Questo sistema di collegamento consente un innescamento pressoché simultaneo di tutte le cariche (6 metri di miccia detonante danno un ritardo non superiore a 1 ms).

Nel caso si volessero distanziare tra loro le esplosioni delle cariche, è previsto l'inserimento di elementi ritardatori, relays, sulla linea di collegamento.

I relays sono tubetti metallici, di diametro pressoché uguale a quello dei detonatori e comunque tale da permetterne l'accoppiamento con la miccia detonante, aperti alle 2 estremità e contenenti un elemento di ritardo (simile a quello dei detonatori elettrici) compreso tra 2 carichette di esplosivo detonante; sul mercato italiano sono disponibili relays con ritardo di 20 millisecondi.



Figura 6: Volata

3.3 CONFRONTO FRA UTILIZZO TAGLIATRICE E MICCIA DETONANTE APPLICATO ALLA CAVA APRICENA

Al fine di effettuare un'analisi dei costi su quale metodo di taglio sia più vantaggioso sotto il profilo economico e produttivo occorre condurre un'indagine conoscitiva basandosi sui dati di un taglio di profondità di 4,4 m nella cava Apricena in una giornata lavorativa di 8 ore.

I costi dei macchinari e attrezzature impiegate si intendono nuovi ed il loro ammortamento è stato fissato in 5 anni, con un tasso di interesse del leasing pari a 7,5%

Ci si riferisce ai dati su un taglio a regime.

TAGLIATRICE A CATENA

La macchina di riferimento è una KORFMANN ST 50, tagliatrice con lama da 6,5 m di lunghezza. Per un taglio di lunghezza 12 m e profondità 4,4 m la macchina lavora con una velocità areale lorda di 3,7 m²/h: tale velocità include tutte i cosiddetti tempi morti, cioè le varie operazioni di spostamento e posizionamento tagliatrice, elettrificazione tagliatrici e fissaggio sistema tagliatrice-binari.

Calcolando una giornata lavorativa di 8 ore si ottiene una prestazione areale di taglio di 29,6 m².

	€/h	€	€/day
COSTO MANODOPERA	13,58		108,64
COSTO ENERGIA ELETTRICA			8,17
COSTO ACQUA			4
COSTO GRASSO	6		48
COSTO INSERTI	1,7		13,6
COSTO MANUTENZIONE	3,6		28,8
COSTO TAGLIATRICE		120000	
COSTO RATA LEASING TAGLIATRICE	21,5		172
COSTO TOTALE €/day			383
COSTO AL MQ		13	

MICCIA DETONANTE

La perforatrice utilizzata è una perforatrice idraulica marca MARINI modello GIRAFFA dotata di due perforatori.

	€	€/h	€/m	m	€/day
MICCIA DETONANTE ALLA PENTRITE 12 g			0,55	54	30
MICCIA NERA A LENTA COMBUSTIONE			0,4	1	0,4
DETONATORE (1)			1,5		1,5
COSTO PERFORATRICE MARINI (2 PERFORATORI)	200000	28			225
COSTO CARBURANTE+RICAMBI+MANUTENZIONE		20			160
COSTO MANODOPERA		13,58			129
COSTO TOTALE €/day					545
COSTO AL MQ	13,4				

Sono stati eseguiti 12 fori del diametro di 35 mm ad intervalli di 0,25 m, profondi 4,40 m, su una stessa linea lunga 3 m. Il rendimento risulta uguale a 6,25 m²/h che è un tempo lordo che include i tempi morti cioè le operazioni di posizionamento e preparazione perforatrice. La preparazione della volata nelle sue diverse fasi è durata 1,5 ore e la fase della perforazione è durata 6,5 ore. Nella preparazione della volata il minatore è stato coadiuvato da un aiutante.

CONCLUSIONI

Dall'analisi eseguita si evince che il costo di taglio della bancata con miccia detonante risulta poco superiore rispetto a quello con la tagliatrice; questo risultato è dovuto al fatto che la velocità di taglio della tagliatrice deriva da tempi presi direttamente in cava; inoltre la macchina è vecchia (del 1992), e del tipo creato per lavorare con lame più corte quindi per profondità minori rispetto a quelle realizzate in cava: difatti le prestazioni di taglio sono molto più basse rispetto a quelle conseguite da tagliatrici più nuove.

Vi sono alcuni svantaggi dovuti all'utilizzo di miccia detonante; vi è l'effetto dannoso che il movimento vibratorio generato dal brillamento esercita sulla bancata che è diverso da cava a cava dato il diverso grado di compattezza del calcare.

Vi è il rischio che la detonazione provochi una serie di microfratture indotte "rovinando" il blocco; si possono riscontrare fenomeni di riflessione d'onda dovuti a fratture aperte.



Figura 7: Esempio di fratturazione radiale indotta

Il blocco con caratteristico semicerchio del foro necessita di squadratura mentre dai formati riquadrati che si ottengono con il taglio diretto della tagliatrice si deve solo asportare la parte difettosa ed inoltre i lati tagliati sono levigati mentre con la miccia i lati del blocco risultano grezzi.

Vi sono anche problemi di tipo ambientale correlati poiché la miccia detonante crea rumore molto potente, vibrazioni nel terreno e sovrappressioni in atmosfera e in acqua.

Per utilizzare la miccia detonante sono necessarie autorizzazioni e la volata viene autorizzata in un orario fissato, quindi questo potrebbe provocare rallentamenti nella produzione.

4. STRUMENTI DI PROJECT MANAGEMENT

4.1 PROJECT MANAGEMENT

Con il termine "Project Management" si intende la gestione di un'impresa complessa, unica e di durata determinata rivolta al raggiungimento di un obiettivo chiaro e predefinito mediante un processo continuo di pianificazione di risorse differenziate con vincoli interdipendenti di:

- tempi
- costi
- Qualità

4.2 STRUMENTI DI PROJECT MANAGEMENT

Gli strumenti di project management possono essere intesi sia come le tecniche utilizzate per supportare la realizzazione delle attività di project management sia come i prodotti software che implementano tali strumenti e li forniscono contestualmente ad un insieme integrato di servizi e/o funzionalità.

Tra le principali tecniche di supporto alla realizzazione delle attività di project management vi sono:

- Diagrammi di Gantt, per descrivere i legami logico/temporali delle fasi e delle singole attività
- Diagrammi Pert, per descrivere in chiave reticolare le attività e la loro connessione, individuando i percorsi critici
- CPM: Critical Path Method
- WBS, per descrivere l'articolazione delle attività in termini di fasi, sottofasi... fino alle attività elementari, in chiave gerarchico-associativa

Ogni progetto richiede un tempo di realizzazione e l'inizio di alcune attività può essere indipendente o dipendente dalla fine delle attività precedenti.

Eeguire lo scheduling di un progetto significa determinare esattamente i tempi di realizzazione del progetto stesso.

Nell'ambito del Project Management questa attività può essere supportata da strumenti quali il diagramma di GANTT e il PERT, che consentono di visualizzare meglio l'evoluzione di un progetto in corso.

Il diagramma di Gantt - definito anche "diagramma a barre schedulato" - è uno strumento di controllo della produzione, così chiamato in ricordo dell'ingegnere statunitense che si occupava di scienze sociali che lo ideò nel 1917, Henry Laurence Gantt.

Esso mostra le varie fasi costituenti il progetto come linee che partono nel diagramma dalla data in cui devono essere intraprese e terminano alla data in cui devono essere concluse.

A livello grafico sull'asse delle ascisse sono rappresentati i tempi di realizzazione del progetto (in fasi incrementali, ad esempio giorni, settimane o mesi), mentre su quello delle ordinate sono rappresentate le mansioni o le attività del progetto stesso. Delle barre orizzontali, di lunghezza variabile, rappresenteranno le sequenze, la durata e l'arco temporale di ogni singola attività. Queste barre possono sovrapporsi durante il medesimo arco temporale ad indicare la possibilità dello svolgimento in parallelo di alcune delle attività.

Oltre a rappresentare le attività, il diagramma di Gantt può rappresentare l'impegno dei diversi soggetti impiegati nel progetto sia dal punto di vista della successione del tempo, che dal punto di vista della percentuale di tempo lavorativo di ciascun soggetto impiegato nell'attività.

Per realizzare un diagramma di Gantt manualmente, occorre elencare le varie fasi necessarie per completare

un progetto e stimare il tempo necessario per portarle a termine.

Le varie fasi andranno elencate lungo l'asse verticale del diagramma e le date lungo quella orizzontale. Per ogni fase che unisce la data di inizio programmata con quella del suo completamento si segna una linea orizzontale. Alcune fasi parallele possono essere eseguite contemporaneamente e una può essere più lunga dell'altra; ciò può essere indicato con una linea tratteggiata sino alla data del completamento.

Il diagramma di Gantt risulta essere lo strumento più utilizzato sia in fase operativa che in fase di controllo.

Per concludere, quindi, con il diagramma di Gantt possiamo essere in grado di:

- visualizzare il tempo totale minimo necessario per la realizzazione del progetto;
- visualizzare la sequenza esatta delle fasi (quando cioè è schedulata la data minima di inizio e di fine di un'attività);
- vedere quali fasi possono essere contemporaneamente svolte;
- avere una chiara illustrazione dello stato di avanzamento del progetto rappresentato;
- definire eventi o date chiave (milestones).

I limiti del diagramma sono invece, i seguenti:

- non indica esplicitamente le relazioni e i vincoli di sequenza fra le attività (non è possibile sapere da chi dipende un eventuale ritardo o quale attività deve fornire un input all'altra);
- non è in grado di evidenziare il cammino critico.

I diagrammi di Gantt, quindi, non riuscendo sempre a mostrare l'interdipendenza delle singole attività, risultano utilissimi in processi le cui fasi fluiscono in una semplice sequenza di eventi.

Quando le fasi in cui è suddiviso un progetto sono molteplici ed hanno un elevato livello di interdipendenza diventano molto utili i diagrammi di PERT.

Il Pert (Program Evaluation and Review Tecnique) è una tecnica di schedulazione che identifica i collegamenti esistenti tra le diverse attività necessarie per completare un certo progetto ed i tempi che occorrono.

Fu sviluppato nel 1958-1959 per soddisfare le esigenze di una "era di massiccia ingegneria", durante la quale le tecniche di Gantt si rivelavano spesso inefficaci. Nello specifico, il PERT fu creato dallo Special Projets Office della U.S. Navy (la marina statunitense), che applicò la tecnica al progetto del sistema d'arma Polaris (SLBM) nel 1958; successivamente fu sviluppato dalla compagnia di consulenza di Booz, Allen ed Hamilton.

Con questa tecnica vengono messi in risalto le attività critiche ed il percorso critico di progetto, cioè l'insieme delle non-attività o di particolari eventi sequenziali che richiedono un tempo più lungo e provocano un ritardo nei tempi di realizzazione del progetto stesso.

Si tratta quindi, di una forma di programmazione più sofisticata della precedente, che prende in considerazione tre componenti: gli eventi, le attività e le non attività.

Gli eventi (fasi realizzate o milestones) di inizio o fine attività sono rappresentati da cerchi, si caratterizzano come sott'obiettivi da realizzare se si vuole procedere verso il raggiungimento del risultato finale; le attività sono rappresentate da linee spesse che collegano i cerchi; le non-attività, invece, che collegano due eventi sono rappresentate da linee sottili o tratteggiate. Sul diagramma è anche indicata

la stima del tempo richiesto per svolgere ognuna di queste attività e le risorse da impiegare.

Riepilogando quindi, il diagramma di PERT è uno strumento di programmazione che:

- descrive graficamente le relazioni causa-effetto, di precedenza logica e di successione temporale che intercorrono tra le diverse attività di un progetto;
- consente di esaminare un progetto come una serie di eventi e di azioni legati tra di loro all'interno di una rete;
- evidenzia dove focalizzare gli sforzi;
- mette in risalto le attività critiche ed il percorso critico del progetto;
- permette di valutare l'effetto dei cambiamenti sul progetto.

Gli svantaggi principali sono, invece, i seguenti:

- è relativamente complesso rispetto ad altri sistemi e richiede maggiori sforzi e costi più elevati per la realizzazione ed il continuo aggiornamento;
- richiede più dati di altri planning;
- si tende a restringerne l'uso a grandi progetti.

CPM: Critical Path Method, metodo del percorso critico.

Il PERT ed il CPM differiscono tra di loro per la modalità di determinazione delle durate, di natura probabilistica per il PERT e di natura deterministica per il CPM, e per il modo di considerare il legame tra i costi e la durata del progetto, implicito per il PERT ed esplicito per il CPM.

WBS (*Work Breakdown Structure*). Tale approccio ricorre ad un diagramma ad albero che consente di descrivere e visualizzare tutte le parti di un progetto ai diversi livelli di dettaglio, secondo un ordine gerarchico. Al livello più alto vi è il progetto globale, mentre al livello più basso, come risultato di una successiva scomposizione secondo un grado di dettaglio crescente, vi

sono le attività elementari. In tal modo ciascun livello rappresenta il risultato delle attività al livello inferiore.

4.3 LA PIANIFICAZIONE DI UN PROGETTO

Scopo principale della pianificazione é l'ottimizzazione dei processi necessari per il raggiungimento di obiettivi prefissati o, nell'ottica diametralmente opposta, la definizione degli obiettivi raggiungibili mediante un definito processo.

Nel settore dell'ingegneria civile, dove gli obiettivi sono solitamente costituiti dalla realizzazione di un particolare tipo di opera e sono definiti in termini di tempo, costi e standard qualitativi, la pianificazione si prefigge le seguenti finalità:

- previsione del tempo di esecuzione di un lavoro assegnato, da realizzare con l'utilizzo di risorse prestabilite, mediante la definizione della struttura organizzativa e del processo produttivo;
- ottimizzazione del processo produttivo e dell'utilizzo delle risorse, rappresentate da struttura organizzativa, manodopera, materiali ed attrezzature, con conseguente miglioramento degli standard qualitativi e/o riduzione dei costi e/o dei tempi di esecuzione;
- ricerca del minimo costo di esecuzione, con definizione delle modalità esecutive, del tempo e delle risorse ad esso connessi;
- realizzazione di un efficace strumento di controllo dei lavori, costituito dal confronto tra il programma ed il reale andamento dei lavori, con possibilità di intraprendere azioni correttive in fase esecutiva.

Mediante la pianificazione si determinano le operazioni che si devono compiere per la realizzazione di un

progetto, la sequenza delle operazioni stesse, la loro durata e le risorse necessarie.

La stima iniziale della durata per le attività di un progetto ipotizza l'accesso a tutte le risorse necessarie per compiere, in modo ideale e nel periodo più breve, il lavoro richiesto.

Tuttavia, la pianificazione dei tempi deve presto considerare le reali disponibilità delle risorse. Come è immaginabile, queste disponibilità hanno dei limiti, d'altra parte non è possibile accedere a nuove risorse senza fare i conti con il budget di riferimento.

La programmazione, dunque, deve badare ai tempi di consegna come alla necessità di pianificare e ottimizzare al meglio l'impiego di risorse limitate.

Per ottenere una schedulazione sostenibile occorre valutare il rapporto di reciproca dipendenza tra durate e risorse: bene quindi considerare la successione delle attività e la loro durata come strettamente legate alla pianificazione delle risorse.

Infatti, spostare un pacchetto di lavoro sulla scala temporale può significare incontrare o non incontrare la disponibilità di una risorsa; ancora, variare il tempo di esecuzione di un'attività può richiedere un diverso carico di risorse. Viceversa, il cambiamento del livello d'impegno di una risorsa provocherà effetti sui tempi di svolgimento dell'attività.

Con il termine risorsa non si intende unicamente la risorsa uomo che compie lavoro; si può fare riferimento anche a risorse informative o risorse materiali, come macchine, infrastrutture e materie prime. Anche queste entità, apparentemente meno implicate con lo svolgimento temporale del lavoro, hanno uno stretto legame con le durate: ad esempio, il periodo di disponibilità delle materie prime da lavorare non può che condizionare le date e le durate della produzione.

Equilibrare i tempi di progetto con le risorse a disposizione non è un'operazione semplice.

Anzitutto, c'è da chiedersi quali delle due variabili deve prevalere sull'altra: possiamo scegliere che sia l'impegno delle risorse a determinare le durate delle attività (resource driven); oppure, possiamo optare che siano i tempi a vincolare l'uso delle risorse (time driven).

La scelta può essere applicata al progetto o su ciascuna attività, ed è suggerita dalla peculiarità del lavoro e dalle aspettative.

In situazioni limite, un progetto può essere interamente time driven quando la data finale è un vincolo stabilito dal cliente, ad esempio per ragioni di stagionalità del prodotto o di penali sui ritardi di consegna; in tal caso, tutte le risorse richieste dovranno essere a disposizione per assicurare le consegne stabilite.

D'altro canto, un progetto è interamente resource driven quando la disponibilità delle risorse guida le decisioni del progetto e diventa la variabile prevalente: la carenza di attrezzature causata dalla mancata approvazione di nuovi investimenti, ad esempio, può dilatare consapevolmente i tempi di progetto.

Ciò che il più delle volte accade, però, è un'integrazione tra le due esigenze, ovvero una pianificazione ottimizzata che rispetti il più possibile le scadenze e punti a un impiego uniforme delle risorse, con un controllo accurato su sovraccarichi e sottoutilizzi.

L'attività di pianificazione, programmazione e controllo dei lavori si esplica, con l'utilizzo delle tecniche reticolari, attraverso un chiaro e definito processo logico.

Il primo passo del processo è costituito da un'analisi del progetto con scomposizione in attività elementari ed

individuazione dei legami logici e temporali tra le attività; in tal modo è possibile la stesura del reticolo utilizzando WBS.

La scomposizione può raggiungere diversi livelli di dettaglio a seconda delle finalità della programmazione e del reticolo che si vuole costruire. Difatti i diversi livelli manageriali possono richiedere informazioni con differenti gradi di dettaglio; si distinguono pertanto reticoli con diversi gradi di approfondimento:

- reticolo sommario, *summary network*;
- reticolo principale, *master network*;
- reticolo operativo, *detail network*.

Il *reticolo sommario* presenta il livello di dettaglio inferiore, essendo rivolto all'alto livello direzionale, ed ha l'obiettivo principale di controllare i momenti più importanti dell'esecuzione del progetto.

Il *reticolo principale* fornisce una panoramica d'insieme dei lavori da eseguire per realizzare il progetto, e deve essere abbastanza dettagliato da illustrare chiaramente i legami logici e temporali tra le attività, senza compromettere la facilità di lettura spingendosi in un grado di dettaglio troppo elevato.

Il *reticolo operativo*, rivolto ai responsabili esecutivi dei lavori, presenta un livello di dettaglio tale da consentire l'organizzazione del cantiere.

L'analisi delle attività, comprendente la definizione delle modalità esecutive e la stima delle risorse e delle durate, associata all'esame dei legami di dipendenza tra le attività stesse, consente la risoluzione temporale del reticolo fornendo importanti informazioni:

1. *tempo minimo* di esecuzione del progetto;
2. individuazione del *percorso critico*, insieme delle attività che condizionano la durata minima del progetto;
3. *scorrimento delle attività* non critiche, periodo di tempo di cui possono essere ritardate le attività senza

modificare la durata minima del progetto (free float, total float).

Solo dopo questi primi studi si possono considerare i carichi di risorse necessari per effettuare le attività e l'eventuale rivalutazione delle durate.

Procedendo con ordine, per una corretta pianificazione delle risorse occorre definire:

- le risorse;
- le disponibilità sul progetto;
- il carico sulle attività;
- i ritardi di intervento;
- le durate di impiego.

Il punto di partenza è la definizione, per ogni attività di progetto, delle risorse singole o di gruppo che saranno oggetto di assegnazione. Se si tratta di risorse umane si descriverà il nome o il rispettivo ruolo, mentre per le risorse materiali si riporterà il codice.

Dopo aver identificato le risorse da associare alle attività, occorre stabilire la loro disponibilità sul progetto. Sulla base del calendario generale di progetto o di un calendario personalizzato, ogni risorsa si renderà disponibile in giorni e orari definiti. Tuttavia, la capacità di impiego della risorsa non corrisponde necessariamente all'intero orario di lavoro per tutti i giorni lavorativi fissati nel calendario.

Oltre ai carichi, resta ancora da valutare l'applicazione dei ritardi di intervento. Se si assegnano più risorse a un'attività, può essere utile far iniziare la partecipazione di una o più risorse a lavori iniziati, ovvero stabilire un intervallo fra la data di inizio attività e la data di inizio dell'impiego della risorsa (lead time). Questo tipo di ritardo può essere applicato per varie ragioni, pensiamo ad esempio a una risorsa che si limita a controllare il risultato finale di

un'attività o alla gestione di due assegnazioni critiche parallele.

Come ultimo punto, è bene determinare la durata delle partecipazioni delle risorse alle attività assegnate, in quanto la modalità di impiego determina il periodo di coinvolgimento su ciascun pacchetto di lavoro. Il tempo di partecipazione, in ogni caso, non potrà essere superiore alla durata complessiva dell'attività assegnata.

Due strumenti che aiutano il processo di pianificazione delle risorse sono il diagramma di Gantt, per quanto riguarda i parallelismi delle assegnazioni, e il diagramma di carico per quanto concerne la valutazione delle sovrassegnazioni e dei sottoutilizzi.

Riassumendo si elencano di seguito le fasi di realizzazione di un diagramma di Gantt

- Analisi del progetto e scomposizione in attività in elementari
- Individuazione dei legami logici tra le attività
- Stesura del reticolo
- Analisi attività
- Individuazione risorse e stima durate
- Analisi temporale del reticolo ed individuazione del percorso critico
- Analisi ed ottimizzazione delle risorse
- Analisi ed ottimizzazione dei costi
- Programma lavori
- Controllo

5. CICLO PRODUTTIVO IN UNA CAVA DI ROCCE ORNAMENTALI



Figura 8: Cava storica

5.1 FASI DEL CICLO DI LAVORO

Il ciclo di produzione in cava si può suddividere nelle seguenti fasi operative. Le fasi sono:

1. APERTURA BANCATA
2. TAGLI
3. MOVIMENTAZIONE E TRASPORTO

FASE 1: APERTURA BANCATA

La coltivazione di una bancata richiede la preliminare asportazione di un certo volume di materiale per ottenere gli spazi operativi necessari alla esecuzione delle fasi del ciclo di produzione.

I lavori di apertura possono avere diversa importanza ed incidenza sia dal punto di vista del costo che dal punto di vista della produttività complessivi della cava. In generale si tratta di operazioni diverse da quelle previste a regime e che vengono effettuate in condizioni peggiori di quest'ultime; i tagli sono quasi sempre "chiusi", effettuati cioè con solo una parete a disposizione, i volumi hanno dimensioni modeste in quanto devono essere movimentati e le condizioni di agibilità spesso caratterizzate da spazi ristretti richiedono particolare attenzione per quanto riguarda la sicurezza degli addetti.

Chiaramente per l'avvio della produzione è necessaria anche la realizzazione di alcune opere preliminari quali le piste d'accesso e le opere di drenaggio e di educazione delle acque.

FASE 2: TAGLI

Taglio primario: è l'isolamento di una grossa porzione rocciosa dal deposito; il volume di tale porzione (chiamata bancata, pannello, banco ecc.), in forma normalmente parallelepipedica, è dell'ordine delle

centinaia-migliaia di metri cubi, con dimensioni multiple di quelle richieste per i blocchi commerciali ed orientamento dei tagli funzionale alla migliore utilizzazione delle caratteristiche del materiale (fratture, disegno, venature, difetti ecc.).

Quando la bancata non è particolarmente voluminosa essa può essere suddivisa direttamente in blocchi senza subire sezionamenti intermedi; se la bancata ha un volume rilevante essa viene invece sezionata in elementi più piccoli - le "fette" - da ribaltare sul piazzale di cava.

5.2 TECNOLOGIE DI TAGLIO PRIMARIO

Le tecnologie oggidì impiegate per l'esecuzione dei tagli primari in cava sono le seguenti:

- tagliatrice a filo diamantato
- tagliatrice a catena
- tagliatrice a cinghia diamantata
- perforazione ± dispositivi separatori
- flame-jet ("lancia termica" o "fiamma")
- water-jet
- altre tecnologie, subordinate.

LA TAGLIATRICE A FILO DIAMANTATO

Benché sia una tecnologia dalla quale è lecito attendersi ulteriori sviluppi, a quasi venticinque anni dalla sua entrata in scena, il filo diamantato può essere a buon diritto incluso tra le tecnologie tradizionali.

Il taglio a filo dei materiali carbonatici è ormai una procedura consolidata ed ha quasi del tutto soppiantato gli altri sistemi, il ricorso ai quali è quasi sempre indotto da motivi particolari. Nel caso del granito vi sono oggettivamente più fattori che concorrono a definire una maggior convenienza del filo rispetto ad altre tecniche ma, ad opinione di chi scrive, il tempo finirà

per sancire il filo come tecnologia dominante anche per il granito.

Per produttività, aspetti ambientali, flessibilità ed applicabilità, il filo diamantato costituisce probabilmente la tecnica che meglio è in grado di coniugare le esigenze delle varie categorie di materiali lapidei.



Figura 9: Tagliatrice a filo diamantato

La sua applicazione nei tagli primari richiede la creazione di un circuito chiuso attorno alla massa rocciosa da sezionare, su cui il filo viene fatto scorrere, sotto tensione permanente. Una parte del circuito corrisponde alla superficie esterna della roccia; la restante deve essere creata, sostanzialmente in tre modi: per convergenza di due fori; per intersezione di un foro con un piano; per intersezione di due piani. I fori vengono eseguiti con apposite macchine perforatrici; i piani vengono realizzati con tagliatrici a catena o a cinghia.

Nell'analizzare le tagliatrici, conviene esaminare separatamente la struttura delle macchine e quella del filo.

Nelle versioni più avanzate, le macchine sono costituite da unità elettriche-elettromeccaniche con potenze variabili tra i 7,5 e i 75 HP, o autoalimentate diesel, con potenza fino a 120 HP. Queste le caratteristiche costruttive e di equipaggiamento normalmente offerte:

- motore elettrico ad elevato valore di coppia, con variatore di frequenza per permettere velocità di traslazione progressive e poter regolare la velocità lineare del filo;
- dispositivi di sicurezza che determinano l'arresto istantaneo della macchina in caso di rottura del filo, di manovre errate ai controlli, di assorbimento eccessivo del motore principale ecc.;
- regolazione elettronica automatica della tensione del filo in relazione alla potenza assorbita dal motore della puleggia principale, onde ottenere in ogni fase di taglio il massimo rendimento;
- possibilità di taglio con qualsiasi inclinazione.

Qualunque sia il materiale tagliato, le macchine attuali possono quindi adattarsi alle caratteristiche del medesimo, regolare in maniera ottimale la velocità, soprattutto nelle fasi iniziali e finali del taglio, regolare la velocità in funzione del grado di usura dell'utensile, e massimizzare il rapporto resa/durata del filo in ogni condizione.

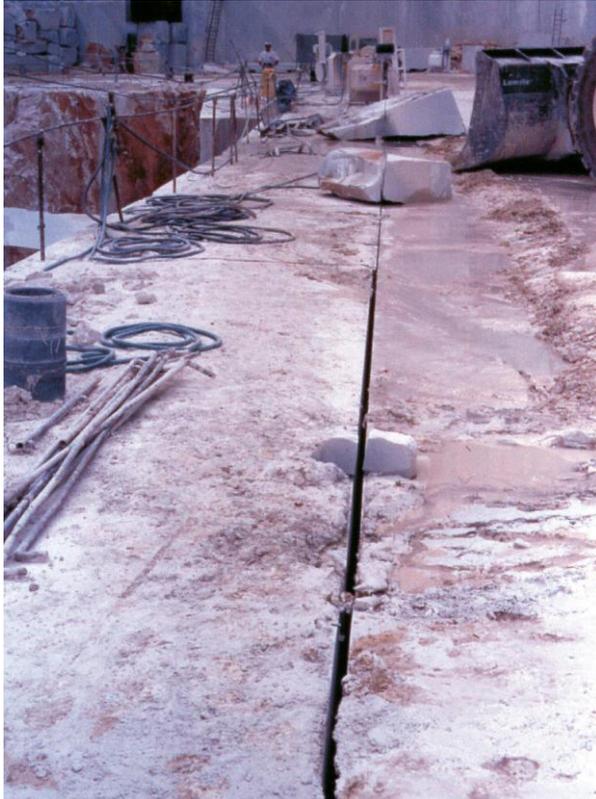


Figura 10: Taglio a filo diamantato

Strutturalmente, la stragrande maggioranza delle macchine è costituita da tre parti fondamentali:

- un telaio
- una sezione motrice
- una centralina.

Il filo, dalla versione originaria, ha subito importanti evoluzioni e modificazioni. Il filo diamantato a molle è il capostipite dei più moderni fili plastificati e gommati, e rappresenta ancor oggi, la forma più semplice e versatile per il taglio di marmi e materiali assimilabili. Il suo punto di forza è nella semplicità del montaggio (cavo + molle + anelli distanziali + fermi), il quale può essere eseguito anche in cava.

Al filo classico sono da tempo affiancati il filo gommato e il filo plastificato, inizialmente adottati solo su granito, ma decisamente consigliabili con ogni materiale, per motivi di sicurezza.

L'utensile di taglio, le perline, anch'esse succedutesi nel tempo in una moltitudine di tipi (cilindrica, sagomata, a sella, a profilo scanalato, tronco-conica ecc.), possono essere prodotte sulla base delle caratteristiche del materiale.

Come è noto, esistono due tipi di perline: elettrodeposte e sinterizzate; ad essi corrispondono processi di produzione diversi cui è dato appunto il nome di elettrodeposizione e di sinterizzazione.

Le perle elettrodeposte si compongono di un supporto metallico sul quale il diamante è fissato per mezzo di un legante depositato per via elettrolitica.

Le perle sinterizzate constano invece di un supporto in acciaio circondato da un anello di polvere metallica sinterizzata che contiene grani di diamante, uniformemente distribuiti. Il processo di sinterizzazione consiste appunto nell'omogeneizzare polvere di diamante con polvere metallica, sagomarla opportunamente in forma di cilindretti, e sottoporre questi ultimi ad altissima pressione e temperatura in una speciale macchina sinterizzatrice. Nelle perle sinterizzate (o "a concrezione") le caratteristiche del legante sono tali da permettere al diamante usurato di abbandonare l'impasto consentendo a quello sottostante di fuoriuscire in superficie.

Nelle perle elettrodepositate invece lo strato di legante trattiene sino alla completa usura i granuli di diamante depositati sullo stesso.



Figura 11: Filo diamantato a perla sinterizzata

La tagliatrice a filo diamantato rappresenta oggi una macchina fondamentale nelle operazioni di taglio primario, ritaglio e riquadratura dei marmi. In costante incremento è il suo impiego nelle cave di granito, dove il taglio orizzontale, in passato meno adottato, ha quasi ovunque affiancato i tagli verticali. Non sempre conveniente l'impiego in riquadratura. Occorre tuttavia ricordare che, soprattutto con i graniti meno acidi (quelli a colorazione più scura), l'adozione del filo è ormai totale in tutte le fasi del ciclo di lavoro.

LA TAGLIATRICE A CATENA

Insieme alla tagliatrice a filo diamantato, è la macchina che, nell'ultimo decennio, ha registrato il maggior incremento di diffusione nelle cave di materiali carbonatici e di durezza moderata.

Per descrizione tecnologia vedi cap 4.



Figura 12: Tagliatrice a catena

LA TAGLIATRICE A CINGHIA DIAMANTATA

La macchina è analoga per aspetto, struttura globale e cinematica alla tagliatrice a catena, da cui si differenzia profondamente per utensile, caratteristiche del braccio e di funzionamento.

Si tratta cioè di una macchina a braccio sul cui perimetro scorre, anziché una catena, una cinghia in materiale plastico di elevata durezza, all'interno della quale sono collocati, a distanze regolari, dei segmenti diamantati sinterizzati.

Gli elementi che ne marcano le differenze principali con una macchina a catena sono:

- La cinghia: costituita da un'anima metallica fatta di cavetti d'acciaio di 3 mm circa di diametro assemblati in forma planare e ricoperti da una sostanza plastica molto dura.
- I settori abrasivi: ai cavetti sono fissati i settori abrasivi taglienti, delle placchette diamantate sinterizzate, larghe quanto la cinghia stessa e ancorate in profondità, al di sotto della cinghia stessa. Tipo di diamante e di legante sono scelti in funzione dei materiali da tagliare. Gli elementi taglienti non necessitano alcuna riaffilatura; l'intera cinghia viene sostituita quando la sua capacità abrasiva è esaurita.
- Sistema di lubrificazione e refrigerazione: lubrificazione e refrigerazione della cinghia sul braccio sono ottenute facendo esclusivo impiego di acqua in pressione; il sistema non richiede alcun tipo di grasso od olio, a grande beneficio degli aspetti ambientali. La cinghia scorre sul perimetro del braccio lubrificata da un flusso continuo di acqua che le viene immessa a pressione all'interno della guida in cui è alloggiata.

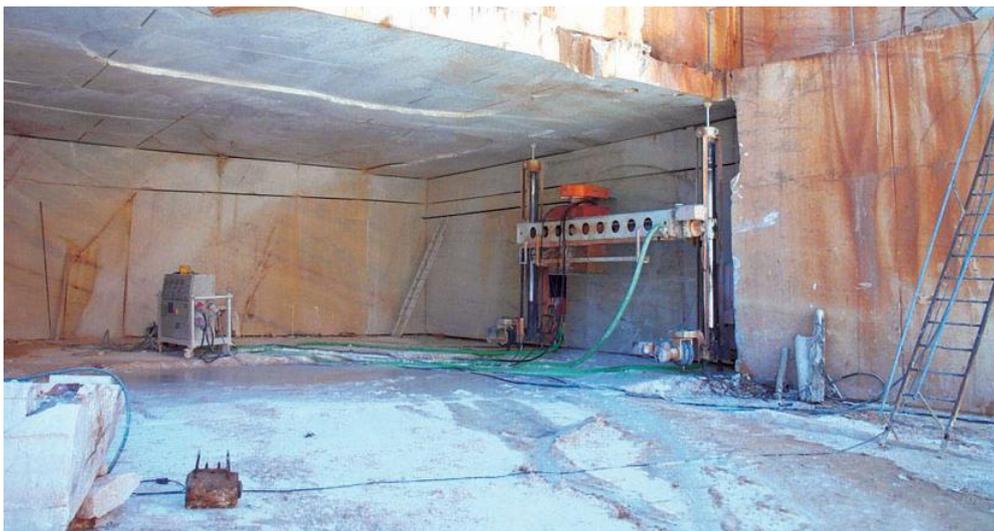


Figura 13: Tagliatrice a cinghia diamantata

Analogamente alla tagliatrice a catena, la macchina può essere utilizzata su marmi, calcari e materiali di moderata durezza, ma non su granito.

Esistono tre tipi di tagliatrice a cinghia: uno per soli tagli verticali, uno per tagli verticali e orizzontali, uno per l'escavazione in galleria.

Le potenze dei motori sono dell'ordine dei 75 HP, lo spessore del taglio 3,8÷4 cm e la lunghezza del braccio variabile tra i 2 ed i 4,8 metri (dati variabili in funzione dei modelli).

Notevole la possibilità, con il modello da galleria, di muoversi autonomamente, la qual cosa agevola non poco le operazioni di posizionamento, permettendo così di risparmiare tempo.

PERFORAZIONE ± DISPOSITIVI SEPARATORI

La perforazione rappresenta la tecnologia più tradizionale e da più lungo tempo adottata nelle cave di lapidei ornamentali.

Di essa è già stata fatta menzione anche se solo limitatamente alla perforazione preliminare all'impiego del filo diamantato. La stragrande maggioranza delle tecniche di perforazione comporta l'esecuzione di una perforazione discontinua (cioè con un interasse di roccia tra foro e foro), mentre più rara è la perforazione continua (cioè con le generatrici dei fori adiacenti l'una all'altra).

Nel primo caso si rendono necessari dei dispositivi separatori (meccanici, chimici, idraulici) per completare il sezionamento parzialmente eseguito con la perforazione; nel secondo caso il distacco della roccia avviene con la sola perforazione.

TECNOLOGIE DI PERFORAZIONE DISCONTINUA

I sistemi di perforazione discontinua possono essere ricondotti ai seguenti:

- Perforazione + esplosivo
- Perforazione + cunei (manuali)
- Perforazione + spaccarocce
- Perforazione + malta espansiva.



Figura 14: Perforazione+malta espansiva

Perforazione + esplosivo: noto anche come splitting dinamico, costituisce a tutt'oggi il sistema di maggior diffusione per l'esecuzione dei tagli primari.

Il sistema prevede l'esecuzione di fori, ad una regolare distanza l'uno dall'altro, e l'introduzione di esplosivo al loro interno; l'esplosivo ha il compito di realizzare un netto piano di rottura in corrispondenza del piano di

debolezza materializzato nella roccia dall'allineamento dei fori eseguiti.

Nel suo schema più generale il sistema prevede le seguenti fasi, in successione:

a) Una perforazione discontinua ad interasse variabile: viene eseguita una successione di fori allineati secondo un piano prescelto.

La distanza tra i fori (spacing) viene scelta sulla base delle caratteristiche della roccia ma deve sostanzialmente costituire il miglior compromesso possibile tra la necessità di ottenere un distacco regolare e l'esigenza di contenere i costi di perforazione, la cui incidenza è molto elevata (quasi sempre, la maggiore tra le diverse voci di costo). Normalmente, la spaziatura tra i fori corrisponde a 4÷10 volte il diametro dei fori stessi (29÷40 mm, ma anche di più), anche se, in caso di rocce con nette superfici di maggior debolezza, può essere molto maggiore.

Valori di spacing usuali sono 12÷45 cm. Sono di fondamentale importanza la rettilineità, il parallelismo e la complanarità dei fori, pena risultati scadenti in termini di regolarità della superficie di taglio (sporgenze, fratture indesiderate ecc.).

b) L'inserimento di esplosivo nei fori: questa operazione non interessa necessariamente tutti i fori eseguiti ed assume modalità di applicazione e di calibratura differenti a seconda del tipo di esplosivo scelto. A questo riguardo, sulla base delle esperienze pratiche maturate da numerosissimi operatori (e con materiali i più diversi tra loro), non c'è accordo su quale esplosivo fornisca i migliori risultati.

Gli esplosivi di più comune impiego sono:

- La miccia detonante: cordone esplosivo detonante (generalmente pentryte) con velocità di detonazione di 5.000÷7.000 m/sec, avvolto da più strati di fibre tessili

e ricoperto esternamente da cloruro di polivinile che gli conferisce flessibilità e impermeabilità. È normalmente usato con grammature di 6÷15 g/m.

- La polvere nera: esplosivo deflagrante, costituito da un miscuglio di nitrato di potassio, carbone vegetale e zolfo. Viene usata allo stato granulare, ha una velocità di reazione di 200÷600 m/sec e non è resistente all'acqua.

- Altri esplosivi (subordinati), come gelatine, dinamiti ecc. Un caso tipico del loro impiego è quello come cariche di fondo o ad azione intensificatrice localizzata, ad esempio per assolvere al maggior lavoro richiesto per lo stacco della base di bancate molto voluminose.

Alla fase b) compete poi il dimensionamento della carica esplosiva, che è uno dei fattori cruciali; in termini di carica lineare, espressa come massa di esplosivo per ogni metro di lunghezza di perforazione, si hanno valori da 6÷10 g/m (introduzione di cordoni detonanti singoli), fino a valori quindici-venti volte più alti, quando debbono essere isolate bancate di grande volume, perforate a maggiore diametro. Non esiste una regola fissa per l'entità di caricamento dei fori: nel caso della miccia detonante, si possono avere caricamenti singoli, doppi, tripli, in tutti i fori, o in fori alternati, secondo criteri che la pratica dimostra essere efficaci.

c) Il borrhaggio dei fori: a caricamento avvenuto, è consuetudine occludere la porzione superiore dei fori caricati con materiali inerti, o acqua, allo scopo di ritardare quanto più possibile lo sfogo dei gas dalla compagine rocciosa. L'acqua permette anche di compensare il grande disaccoppiamento esistente tra il diametro dei fori e quello del cordone detonante.

d) Il brillamento: la fase finale è rappresentata dal brillamento delle cariche. Normalmente si procede a un tiro simultaneo, con un sistema cioè che garantisca la contemporaneità del distacco in ogni punto della massa da isolare; la simultaneità e l'istantaneità dell'esplosione sono condizioni della massima importanza se si vuole che il taglio sia netto e ben definito. Le superfici separate sono generalmente due, la orizzontale (base della bancata) e la verticale parallela al fronte, anche se non sono rari i casi di distacco di un numero maggiore di superfici (intere bancate).

Le variabili in gioco che il sistema presenta sono numerose, tuttavia il sistema ha oggi raggiunto un buon grado di affinamento.

Per realizzare buoni distacchi e per un buon livello di efficienza del metodo è necessario che le facce diverse da quelle della linea di tiro siano libere; in caso contrario l'energia dell'esplosivo viene sfruttata irrazionalmente con conseguenze negative sul materiale. Permangono infatti frequenti inconvenienti legati all'induzione di lesioni nella roccia, soprattutto laddove domina l'empirismo più assoluto (caso purtroppo molto frequente) per il dimensionamento delle cariche e dei parametri della volata. Ciò determina piani di rottura indesiderati, fronti di cava, bancate e blocchi irregolari, consistenti volumi di scarto, riduzione dei valori economici delle parti vendibili, controversie nelle transazioni/compravendite tra gli operatori.

In particolare, è opportuno rimarcare che gli effetti di un uso inappropriato dell'esplosivo determinano sempre delle conseguenze negative, con effetti che si possono osservare dalla scala del blocco fino a quella microscopica, ed anche molto a valle dell'estrazione in cava (in trasformazione; post-posa in opera).

Perforazione + cunei (manuali): nota anche come splitting statico, costituisce il sistema più arcaico per la suddivisione di un volume di roccia preventivamente perforato.



Figura 15: Perforazione +cunei

I cunei, familiarmente conosciuti come "punciotti", sono in realtà formati da un cuneo e due alette laterali entro le quali il cuneo stesso deve essere inserito. Una volta posizionati nei fori, i cunei vengono colpiti manualmente con pesanti mazze fino a superare la resistenza della roccia sul piano di giacenza dei fori, e determinarne la rottura. L'efficacia è in stretta relazione con l'altezza del volume di roccia da sezionare: quanto più alta è la bancata (o la fetta) da isolare, tanto minore è la probabilità che l'azione dei cunei si estrinsechi sino alla base della bancata stessa. Le uniche eccezioni sono rappresentate da quei materiali che mostrano una facile suddivisibilità, per presenza di un "verso" molto penetrativo, o di altre superfici di evidente debolezza. L'uso di questa tecnica nel taglio primario non è quindi cosa frequente; il bilancio infatti tra l'energia spesa (manuale) e il risultato ottenuto è assolutamente

sfavorevole, non consentendo inoltre di ottenere quegli spostamenti della bancata necessari per le operazioni successive. Tuttavia la tecnica deve essere almeno menzionata, non foss'altro per l'universalità dei cunei stessi, la semplicità del sistema, l'assenza di lesioni indotte e il basso costo. La sua maggior diffusione si registra laddove il livello tecnologico è modesto, dove non si hanno a disposizione altre tecnologie più efficaci, o, come precedentemente accennato, dove la roccia è facilmente suddivisibile per la presenza di superfici fortemente penetrative.

FLAME-JET

Il principio di funzionamento del flame-jet si basa sull'azione provocata su un materiale da uno shock termico prodotto da una fiamma ad alta temperatura e proiettata a velocità supersonica su una prefissata linea di taglio.

In condizioni ordinarie di funzionamento, il sistema propaga la fiamma ad una velocità di 1.300 m/sec, con una temperatura massima superiore a 2.000 °C (in funzione dei combustibili e comburenti impiegati). Questa azione determina profonde trasformazioni nella struttura della roccia stessa, la quale subisce una "vetrificazione", con sviluppo di un caratteristico aspetto rugoso.

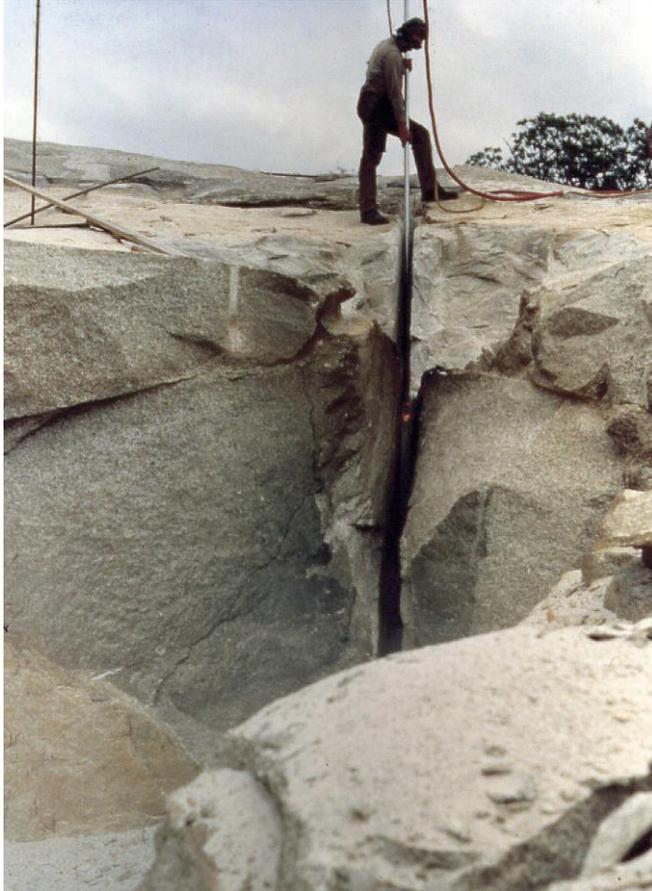


Figura 16: Flame jet

Poiché il flame-jet sfrutta il differente valore del coefficiente di dilatazione termica dei vari minerali costituenti una roccia, esso risulta efficace solo nel taglio dei graniti, categoria all'interno della quale le sue performances scadono se il contenuto in quarzo è scarso o nullo. Sono peraltro riferite alcune esperienze di relativo successo, e per lo più a carattere sperimentale, su marmi arricchiti in magnesio ed altre rocce calcaree più o meno impure.

Un dispositivo flame-jet comprende:

- una pompa ad aria compressa per inviare in pressione il combustibile al cannello;
- una bombola di ossigeno da utilizzarsi come comburente solo durante la fase di accensione;
- raccordi flessibili per l'invio del combustibile al cannello;

- un cannello, costituito da tubi concentrici per l'afflusso del combustibile e del comburente;
- un ugello terminale di polverizzazione del combustibile e per la miscelazione col comburente;
- un bruciatore della miscela.

La macchina, della quale esistono sia modelli fissi che carrellati, è in pratica costituita da un lungo tubo dall'estremità inferiore del quale fuoriesce la fiamma disgregatrice; il tubo viene orientato dall'operatore verso il basso con movimento di progressivo affondamento a mano a mano che procede la disgregazione della roccia. Il suo utilizzo principale si ha nei tagli primari, con l'esecuzione dei tagli verticali ortogonali al fronte, per l'isolamento laterale delle bancate. Valori tipici dell'estensione di questi tagli sono $20 \div 80 \text{ m}^2$, con punte maggiori a seconda delle cave; le velocità areali di taglio più frequenti sono di $1,0 \div 2,0 \text{ m}^2/\text{ora}$.

Il taglio a fiamma è però incompatibile con lo svolgimento contestuale di altre attività, è meno produttivo di quasi tutte le altre tecnologie e molto meno valido dal punto di vista della sicurezza e della salubrità, a causa dei gas di combustione e del rumore (circa 120 dB) provocato dall'emissione della fiamma. È pertanto una tecnologia in progressivo abbandono per i numerosi aspetti negativi che comporta; tuttavia essa risulta ancora di impiego frequente in alcuni paesi, soprattutto per la sua maneggevolezza, la sua immediatezza di preparazione ed il suo costo contenuto.

WATER-JET

Il water-jet è una tecnologia di taglio continuo, di corrente impiego in altri campi industriali (pulitura, demolizione e modifica strutture in calcestruzzo) la cui applicazione in campo estrattivo ornamentale, salvo

pochissimi casi, non è ancora andata oltre la sperimentazione avanzata. Il sistema, contrariamente agli altri che operano o per superamento della resistenza a trazione della roccia, o per asportazione di truciolo, determina una vera e propria disgregazione (bucatura) di un materiale lapideo utilizzando un getto d'acqua ad altissima pressione, fino a 350 MPa. Fino ad oggi, ha evidenziato la sua validità soprattutto con i graniti, mentre non sono di alcun interesse i risultati con i marmi e i materiali più teneri.



Figura 17: Water jet

Benché si sia assistito negli ultimi anni ad un certo raffreddamento degli entusiasmi e ad un ridimensionamento delle prospettive del suo sviluppo, esso merita tuttavia di essere descritto, ancorché brevemente, in quanto rappresenta l'unica vera novità dal punto di vista applicativo (dal punto di vista concettuale già esisteva in altri campi di applicazione).

È una tecnologia che richiede ancora un'ottimale messa a punto affinché la sua competitività, interessante nei confronti del taglio a fiamma e della perforazione continua, sia tale anche nei confronti di altri sistemi di taglio.

ALTRE TECNOLOGIE DI TAGLIO SUBORDINATE

Tra le tecnologie subordinate impiegate per il taglio primario, ve ne sono alcune che, per consuetudini operative, o per esistenza di produzioni localizzate di particolari macchine, o per specifici obiettivi di produzione di una cava (ad es.: produzione di piccoli conci per edilizia), si differenziano sensibilmente da quanto esaminato sinora.

Queste tecnologie sono sostanzialmente riconducibili alle seguenti:

- tagliatrici a disco gigante/catena
- macchine a disco tipo-tagliatufo
- tagliatrici-refilatrici a fresa circolare.



Figura 18: Tagliatrice a disco gigante

5.3 TECNOLOGIE DI RIBALTAMENTO

Ribaltamento: è l'operazione con cui le fette ottenute dalla bancata, o la bancata stessa, vengono rovesciate sul piazzale di cava. L'operazione viene realizzata su un letto di detriti rocciosi, collocati in posizione antistante al fronte, onde attenuare l'urto di caduta e limitare le rotture ai soli punti difettosi latenti nella roccia.

Eseguito il distacco primario con una delle tecnologie fin qui descritte, si procede al ribaltamento dell'intera bancata isolata o di una fetta da questa ricavata (usando le stesse tecnologie).

I dispositivi impiegati per il ribaltamento delle bancate e/o delle fette sono i seguenti:

- cuscini divaricatori
- impianti sbancatori
- pale meccaniche, escavatori.

I cuscini divaricatori, chiamati anche dilatatori, constano di una centralina deputata all'espansione di uno o più cuscini, aventi forma quadrata o rettangolare.

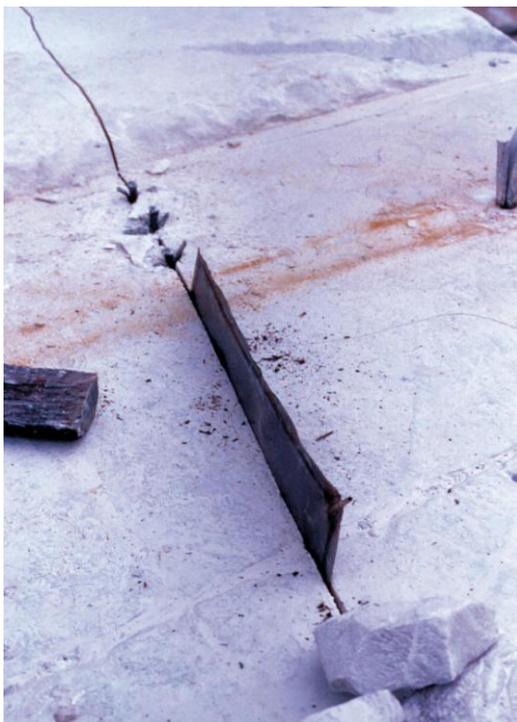


Figura 19: Cuscino divaricatore inserito

Si differenziano due principali tipi di impianti:

- Un primo tipo adotta cuscini in metallo e funziona idraulicamente, mediante iniezione forzata di acqua sotto pressione: i cuscini sono in realtà due sottili fogli di acciaio ad alta resistenza, accoppiati perifericamente con le tecniche più moderne, tra cui un sistema di saldatura a laser; il loro spessore prima dell'esercizio è di soli 2 mm.

Una pompa idraulica azionata da un motore elettrico (o pneumatico) provvede ad inviare la pressione d'acqua necessaria al gonfiaggio (30÷40 atm). Con una dilatazione di circa 25÷30 cm, o anche più, questi dispositivi sono in grado di esercitare spinte anche superiori alle 300 tonnellate.

Ogni centralina può alimentare contemporaneamente due-tre cuscini, i quali vengono inseriti nel taglio verticale parallelo al fronte in coltivazione. Il loro peso si aggira sui 7÷15 Kg, ovviamente anche in funzione delle dimensioni, che raggiungono i cm 150x150.

A spinta effettuata, essendo il metallo deformato permanentemente, i cuscini devono essere buttati.

- Un secondo tipo ha invece azionamento pneumatico ed è costituito da cuscini rettangolari in PVC + poliestere, o in gomma, con speciali orditure metalliche o rete di acciaio; i cuscini sono collegati da apposita tuberia ad una centralina di distribuzione di aria compressa, la quale può alimentarne simultaneamente fino a quattro. In questo caso la pressione di espansione è molto inferiore che nel caso precedente (2÷4 atm), il distacco ottenibile di 40÷50 cm. Le dimensioni arrivano anche fino a 3 m di lunghezza, lo spessore 6-8 mm.

Contrariamente a quelli in metallo, i cuscini in PVC non si deformano e, a spinta avvenuta, possono essere recuperati per impieghi successivi.

In moltissimi casi l'azione dei cuscini idraulici deve essere integrata da quella degli impianti sbancatori: è infatti raro che l'inclinazione raggiunta dalla bancata sia sufficiente al suo ribaltamento.

Gli impianti sbancatori sono costituiti da una serie di martinetti oleodinamici, con serbatoio di olio, che erogano spinte unitarie di 150 tonn. ed oltre, con pompa a pistoncini.

Essi vengono collocati nella parte alta della bancata, nello spazio creato con la precedente azione dei cuscini; uno spazio che, spesso, viene mantenuto grazie anche all'interposizione di pietre di dimensione progressivamente crescente a mano a mano che la bancata si inclina in avanti.

I martinetti oleodinamici sono disponibili in numerose versioni, caratterizzate tutte dallo stesso principio generale di funzionamento: si tratta di centraline azionate da un motore elettrico, a benzina, o diesel, con potenze di 3÷8 HP, che, nella maggioranza dei casi, comandano simultaneamente due pistoncini idraulici la cui fuoriuscita dalle sedi (corsa di mm 50, 100, 150, fino a 300) spinge la bancata da tergo fino al ribaltamento.

In tutte quelle cave, infine, dove l'accessibilità ai gradoni è agevole, il ribaltamento può essere eseguito efficacemente a mezzo macchine movimento-terra (pale meccaniche ed escavatori).

Eseguito l'allontanamento sommitale della bancata con l'impiego dei cuscini di cui sopra, pale ed escavatori provvedono a ribaltare la stessa con grande velocità, consentendo di evitare tutti i tempi di approntamento, collocazione ed azione degli impianti sbancatori a martinetti idraulici.



Figura 20: Ribaltamento con pale meccaniche

Cinque, sostanzialmente, i sistemi più frequentemente utilizzati:

- spinta con pala meccanica dalla sommità della bancata, introducendo la benna nello spazio creato dai cuscini; data la limitata articolabilità della benna della pala, è la pala stessa ad eseguire un certo spostamento in avanti;
- trazione con pala meccanica dalla base della bancata, con impiego di funi metalliche ancorate in testa alla bancata stessa; utile soprattutto quando le pareti laterali tendono ad incastrarsi e a rendere il ribaltamento molto difficoltoso;
- trazione/spinta con pala meccanica equipaggiata di apposita barra rigida, dalla base della bancata (trazione) o da tergo (spinta);
- trazione con braccio di retroescavatore dalla base della bancata; la conformazione della benna e del braccio, e la lunghezza di quest'ultimo, consentono l'azione ad escavatore fermo, sia in posizione frontale, sia in posizione parzialmente laterale;

- spinta con braccio di retroescavatore dalla sommità della bancata, introducendo la benna nello spazio creato dai cuscini; data la grande articolabilità della benna dell'escavatore, la manovra può essere eseguita ad escavatore fermo.

5.4 TECNOLOGIE DI RITAGLIO IN BLOCCHI COMMERCIALI E DI RIQUADRATURA

Il ritaglio in blocchi commerciali, chiamato anche taglio secondario, è l'operazione con cui le bancate, o le fette, estratte dal giacimento vengono ridotte in volumi minori, fino a quello del blocco commerciale.

A seconda delle caratteristiche della roccia, dei suoi difetti, nonché delle tecniche usate, detta riduzione può condurre a blocchi di forma molto regolare, ma anche a porzioni decisamente irregolari, se non informi.

Ogniqualevolta è possibile, o commercialmente consigliabile, è bene procedere ad una riquadratura, onde ottimizzare le successive fasi di trasformazione in impianto. La possibilità di eseguire riquadrature direttamente in cava è un'opzione sicuramente importante; così facendo si è sicuri di trasportare all'impianto solamente quella che sarà la parte effettivamente utilizzabile dei blocchi, risparmiando sui costi di trasporto, rendendo disponibili alla clientela i blocchi con la forma più regolare possibile, e creando le condizioni per la migliore utilizzazione delle macchine e attrezzature presenti negli impianti di trasformazione. Non ultimo, la possibilità che hanno alcune tecnologie di sezionare a secco permette un risparmio di acqua nei laboratori, opportunità sicuramente interessante in quei posti con scarsità idriche.

Il ritaglio in blocchi commerciali e la loro riquadratura vengono eseguite impiegando macchine che usano gli stessi

principi di quelli esaminati per le macchine da taglio primario, ma, in vari casi, strutture differenti. Ciò si deve al fatto che ritaglio e riquadratura sono operazioni che non devono confrontarsi con le numerose incognite presenti nella roccia in posto, né devono adattarsi a volumi da trattare diversi da caso a caso; inoltre possono essere gestite come operazioni ripetitive, da compiere in serie, quindi abbastanza automatizzabili e standardizzabili.

Le tecnologie che, normalmente, non vengono impiegate in queste fasi sono la tagliatrice a cinghia diamantata, il flame-jet, il water-jet e quelle che sono state denominate "altre tecnologie subordinate".

Si aggiungono invece gli impianti a filo diamantato in installazione fissa (o impianti stazionari), le stazioni di perforazione in installazione fissa e, ormai obsoleti, i monolama.

Tagliatrice a filo diamantato: si tratta delle stesse tagliatrici a filo diamantato impiegate in cava e aventi uno schema di funzionamento assolutamente identico a quello del taglio primario, senza tuttavia il vincolo della perforazione preliminare.

La porzione rocciosa, libera da tutti i lati, viene circondata dal filo e sezionata in blocchi regolari, ovvero - se trattasi già di blocco estratto, ma irregolare - viene regolarizzata su alcune, o su tutte le facce.

Le macchine impiegate possono essere sia le stesse dei tagli primari, sia modelli con minore potenza (25÷40 HP). Alcuni modelli di tagliatrice offrono un carrello semovente di supporto alla macchina, completa di binari, impiegato per la riquadratura veloce in piazzale. La macchina, grazie a questo carrello, compie spostamenti limitati e finalizzati a riquadrare più blocchi disposti tutti a poca distanza l'uno dall'altro nell'immediato

intorno della tagliatrice stessa. La struttura comprende anche una console a portata dell'operatore recante tutti i comandi del circuito e gli strumenti di controllo del funzionamento.

Da un punto di vista squisitamente tecnico, la riquadratura dei blocchi comporta un lavoro del filo a raggi di curvatura più piccoli, con conseguenti maggiori sollecitazioni per il filo stesso.

Gli operatori non disdegnano allora l'uso di fili parzialmente, se non fortemente, consumati da precedenti impieghi per tagli primari, che, in caso di rottura, generano minori perdite economiche.

Più efficace, rispetto al taglio primario, l'irrorazione dell'acqua di refrigerazione, data la migliore controllabilità dei punti di immissione.

Ritaglio e riquadratura a filo sono ormai prassi consolidate nelle cave di materiali calcarei e di durezza moderata, mentre la loro convenienza è da valutare caso per caso nelle cave di silicei (anche, e soprattutto, in funzione del valore commerciale del materiale).

Tagliatrice a catena: è la tecnologia che ha indubbiamente beneficiato delle maggiori innovazioni nel corso degli ultimi anni.

In ritaglio-riquadratura tre sono le unità a catena utilizzabili:

- Una macchina a struttura tradizionale, ma di dimensioni e peso più contenuti e lunghezza del braccio di m 1,7. Questa versione può essere equipaggiata con un braccio dello spessore di cm 2,8 onde ridurre lo sfrido di taglio, e/o con un accorgimento che consente di non lasciare sul blocco riquadrato eventuali buchi non utilizzabili.

- Macchina con struttura a portali: la versione è espressamente progettata e realizzata per la riquadratura in cava; con un telaio a portale, singolo o multiplo,

sulla cui sommità è posta la tagliatrice, i blocchi, collocati a terra, vengono allineati e sezionati l'uno dopo l'altro dal braccio della catena nel suo movimento continuo di traslazione. Il piano del braccio di taglio è parallelo alla direzione di traslazione della macchina, o, in altre parole, parallelo al piano che contiene il/i portale/i. Il numero dei portali viene scelto in base alle esigenze della cava, anche perché il suo aumento non influisce in alcun modo sulle prestazioni e sulla efficacia della macchina.

È questa una macchina che ha introdotto un'interessante, quanto utile, automazione, con conseguente riduzione della manodopera necessaria a questa fase di lavoro.

- Macchina con struttura a portale singolo, scorrevole su binari: il modello esprime, in forma modificata, il concetto dell'unità precedente. Le principali differenze sono costituite dal fatto che il portale è singolo, che scorre su binari installati al suolo, e che il piano del braccio di taglio è ortogonale alla direzione di traslazione della macchina. La macchina è pensata per una elevata automazione delle operazioni di riquadratura e si propone sia come unità da cava, sia come unità da impianto.

Perforazione: quando le bancate sono ritagliate con la perforazione - ad aria compressa e/o idraulica, manuale o automatica

- le procedure per l'esecuzione dei fori sono del tutto analoghe.

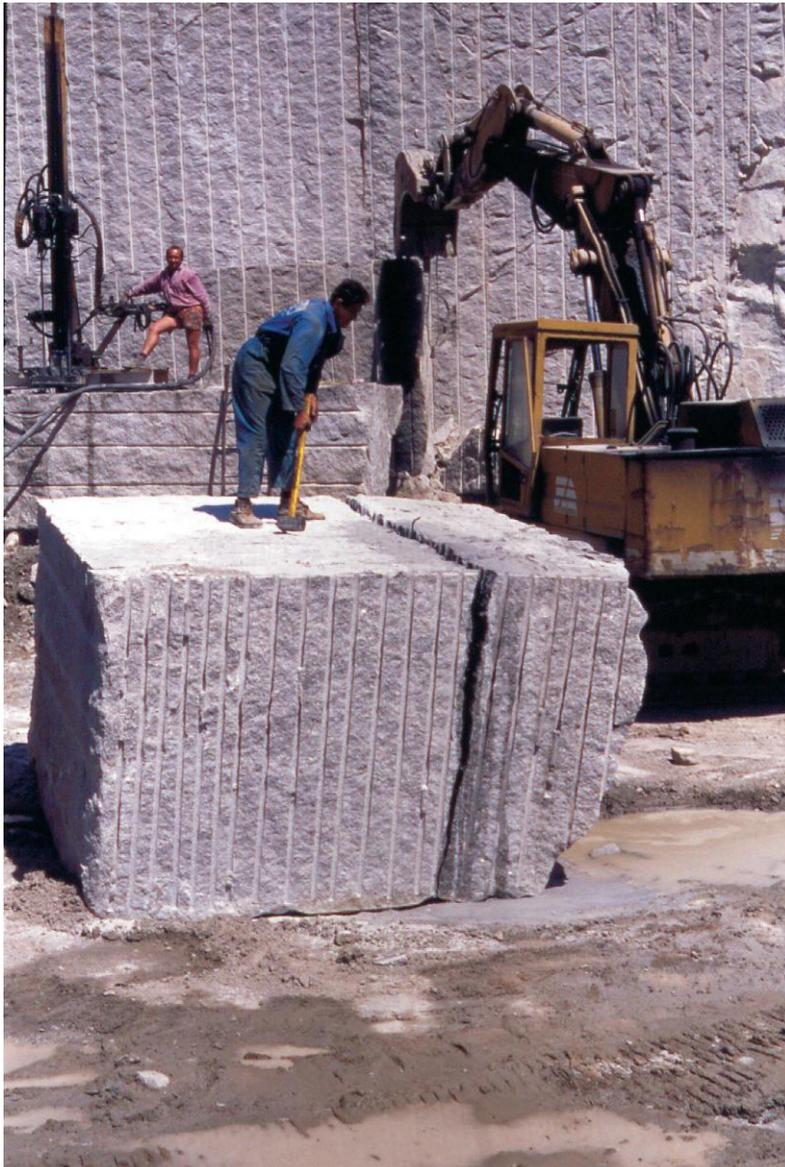


Figura 21: Riquadratura, perforazione e cunei

Si registra un grande incremento nella meccanizzazione delle operazioni, con impiego sempre più consistente di perforazione idraulica ed unità autonome, semoventi e servoassistite.

In alcune cave permangono tuttavia stazioni di perforazione in installazione fissa, ubicate in prossimità della cava stessa; in esse i blocchi vengono posizionati sotto ad una batteria di macchine tagliablocchi installate in forma permanente, talvolta su fondazioni in cemento. In altri casi è l'unità perforante ad essere installata su binari e a scorrere sui medesimi,

incontrando i blocchi precedentemente collocati in successione.

Rimane immutata l'esigenza di assoluta rettilineità e complanarità dei fori, onde evitare che i blocchi, oltre alle irregolarità tipiche da perforazione, soffrano anche ulteriori deviazioni e/o bombature.

I dispositivi separatori di maggior adozione sono i cunei e le malte espansive, seguiti, a grande distanza, da esplosivo e impianti spaccarocchia.

I cunei ad azionamento meccanico mantengono inalterata la loro validità, grazie alla grande economicità, all'assenza di lesioni indotte ed alla buona applicabilità su molti materiali, soprattutto se caratterizzati da evidenti piani di minor resistenza.

In fase di riquadratura, a parità di materiale, si ha una riduzione dell'equidistanza tra i fori rispetto a quanto avviene nel taglio primario. La perforazione, inoltre, non viene necessariamente completata fino alla base del blocco per tutta la sua lunghezza; è consuetudine, infatti, intervallare ai fori lunghi alcuni fori più corti, anche per guidare meglio la sezionatura.

Le malte espansive rappresentano la tecnica su cui si è molto concentrato l'interesse e, di fatto, stanno soppiantando i vari altri sistemi in numerosissime cave di ogni tipo di materiale.

Mantenendo invariate le caratteristiche, le malte sono efficaci sia nei sezionamenti di bancata (o fetta) in blocchi, sia nelle regolarizzazioni di singole facce di blocchi.

L'impiego di esplosivo è confinato a quei pochi materiali che mostrino di non soffrirne minimamente. I noti serizzi (Val d'Ossola, Italia) possono essere presi come buon esempio; la riquadratura con esplosivo dei blocchi di serizzo è infatti cosa frequente; spesso viene condotta anche su una sola delle due facce minori, se necessario.

Il caricamento viene effettuato quasi sempre con cordone singolo di miccia detonante da 10 g/m, con eventuale borrhaggio di acqua. Il modesto diaframma di eccedenza viene facilmente rimosso, lasciando il blocco con una regolarità rimarchevole, ferme restando le sporgenze e rientranze della perforazione.

Con questo materiale la sagomatura ad esplosivo risulta molto più regolare che non con la perforazione + cunei; infatti, quando la pioda è particolarmente penetrativa, il sezionamento manuale "prende" la pioda anziché seguire la filata di fori ove sono introdotti i punciotti, ciò che provoca molte più irregolarità e "scalinature" di quelle che si hanno con l'esplosivo.

TAGLIATRICI A FILO DIAMANTATO IN INSTALLAZIONE FISSA

In alcune cave si fa uso delle tagliatrici a filo diamantato in installazione fissa.

Più frequentemente collocate nei piazzali degli impianti, queste macchine vengono talvolta preferite al margine della cava (soprattutto di granito, con blocchi più irregolari), al fine di assegnare ai blocchi una forma più geometrica già prima del trasporto su camion.

Per agevolarne l'impiego nelle cave alcuni modelli si differenziano da quelli usati negli impianti: non hanno bisogno di fondazioni e non hanno carrello per i blocchi, consentendo così agli stessi di essere posizionati dalle macchine movimento-terra.

Questi impianti si sono poi dimostrati validi anche in virtù della scarsa manutenzione richiesta, facilità di posizionamento, elevata produttività, nonché possibilità di riutilizzo dei fili diamantati logori dall'attività di cava.

Non di rado è installato, nelle immediate adiacenze, un ribaltatore di blocchi (modelli con portate fino a 60 tonnellate), utilissimo per posizionare i blocchi stessi con l'orientazione desiderata per un taglio corretto.

Assolutamente marginale, ormai, l'uso degli impianti monolama per la riquadratura dei materiali carbonatici ed affini.

Complemento necessario a queste tre fasi, indipendentemente dal metodo e dalle tecniche adottate, è la movimentazione, intesa come il complesso delle manovre di spostamento, carico, scarico e trasporto sia delle macchine, sia del prodotto (blocchi ed inforni), sia del materiale di scarto.

5.5 TECNOLOGIE DI MOVIMENTAZIONE

La movimentazione in cava comprende tutto il complesso delle manovre di sollevamento, carico, scarico, spostamento e trasporto, che avvengono durante le operazioni di estrazione; esse sono relative sia ai macchinari, sia ai blocchi, sia agli scarti.

La corsa - peraltro frenata - a produrre blocchi sempre più grandi, le maggiori velocità conseguenti agli incrementi di produzione, l'aumentato numero di macchine da mobilitare e la continua attività di messa a discarica hanno portato in primo piano, già da tempo, l'importanza della movimentazione, ed il rischio concreto che questa sia la strozzatura più seria nel ciclo produttivo di cava.

Ciò, sostanzialmente, per motivi di efficienza e di (in alcuni casi) lentezza dei mezzi di movimentazione e trasporto.

La movimentazione di cava abbisogna di macchine potenti e, soprattutto nel caso di acquisto di unità nuove,

incide sugli investimenti per meccanizzare la cava stessa per quasi i due terzi, se non di più.

Lavorare una cava senza almeno una pala ed un escavatore è irrazionale, oltrech  limitativo; le eccezioni riguardano solo quei prodotti che si escavano con cicli e modalit  del tutto particolari e/o con produzioni molto limitate.

Questi i mezzi tipicamente impiegati per eseguire la movimentazione:

- pale meccaniche
- escavatori
- gru in installazione fissa (gru derrick)
- dumpers
- argani (subordinati).

Pale meccaniche: il lavoro che una macchina movimento-terra si trova a dover svolgere in una cava di lapidei ornamentali   forse la prova pi  ardua che possa esistere.

Le macchine usate in cava sono caricatori cingolati o gommati con potenze non inferiori ai 250 HP, nelle cave medio-piccole, e oltre 400 HP, fino a 500 HP, nelle cave di maggiori dimensioni. Le capacit  delle benne sono comprese tra i 3 e i 12 m³.

Il caricatore cingolato   lento; il suo conveniente raggio di azione non deve superare le poche centinaia di metri nel caso di lavori continuativi, distanza oltre la quale il suo impiego diventa spesso antieconomico. La sua articolabilit  a 90  lo fa normalmente preferire laddove gli spazi disponibili sono molto ristretti e in tutte quelle situazioni in cui una potente trazione   indispensabile (terreni scivolosi su morfologia molto inclinata; fango ecc.) o dove l'altezza disponibile   limitata (fasi iniziali del sotterraneo). Limitata   per  l'azione della sua benna.

I caricatori gommati sopperiscono ad una minore capacità di trazione al suolo con una più elevata capacità di trasferimento, una grandissima flessibilità di uso ed un ampio raggio di azione. Sono i più diffusi nelle cave dove il tipo di materiale estratto consente una buona pulizia dei piazzali, laddove anzi la trazione del cingolato sarebbe più sfavorevole. Notevolmente più flessibile la benna, grazie alla maggiore escursione dei bracci di supporto.

Escavatori: dopo un periodo di affiancamento alle comuni pale, l'escavatore è diventato una macchina pressoché indispensabile in ogni cava.

Di tipo cingolato o gommato, consente manovre altrimenti non possibili con le pale ed è un indispensabile supporto ad unità di perforazione predisposte per l'installazione su di esso. È in grado di spostare ingenti masse con una mobilità ed una articolabilità che non è consentita ad altri mezzi e si è rivelato assolutamente insostituibile laddove, con il taglio primario, si isolano porzioni di giacimento enormi che anche un insieme di pale operanti di concerto non riuscirebbe a movimentare.

Tra le numerose funzioni ausiliarie attivabili con l'escavatore, è di grandissima utilità la possibilità di montare il martello demolitore, comodo strumento per la bonifica delle fronti instabili e per la riduzione della pezzatura degli scarti di maggiori dimensioni.

Gru in installazione fissa (gru derrick): il riferimento è sostanzialmente alle gru derrick, ancora molto diffuse sia in cave di pianura, con grandi spazi operativi sia in quelle cave di versante, dove, per vari motivi (limiti di proprietà; limiti di concessione; giacitura del corpo produttivo), si è dovuto optare per un'escavazione a pozzo, priva di qualsiasi accesso con rampe e con considerevoli approfondimenti delle lavorazioni rispetto all'originario piano-campagna.



Figura 22: Gru Derrick

Senza registrare particolari innovazioni tecniche recenti, le gru derrick si segnalano ancora per quelle che sono sempre state le loro caratteristiche più peculiari: ampi raggi di azione, che possono aggiungere, e superare, gli 80 metri, un'articolabilità integrale di manovra ($220^{\circ} \div 360^{\circ}$), elevate portate, fino a 50 tonnellate.

Gli scotti da pagare sono una discreta lentezza nelle operazioni, e la necessità, a seconda della topografia e dello sviluppo della cava, di modificare spesso il punto di installazione, con gettata delle relative fondazioni.

Dumpers: sono i camion dotati di cassone, largamente usati sia per blocchi, sia per gli scarti di cava.

I dumpers non sempre fanno parte del parco-macchine dell'azienda che gestisce la cava, la quale spesso preferisce noleggiare il servizio da terzi. Sono suddivisibili in rigidi e articolati: i primi hanno normalmente il cassone in lamiera, due assi, e capacità di carico fino a 25 metri cubi. I secondi sono invece contraddistinti da due unità con giunto di articolazione,

e stretta sterzata su ogni lato. Il modello preferito è solitamente il primo.

Argani: obsoleti, ma pur sempre presenti, sono gli argani, impiegati per trascinare, tirare, spostare blocchi ed altre attrezzature più o meno voluminose in situazioni di tutti i tipi.

Si dimostrano particolarmente utili ed efficaci laddove c'è bisogno di una importante forza traente, ma ci sono problemi spesso insuperabili di accessibilità o "arrivabilità".

6. CICLO DI LAVORO NELLA CAVA APRICENA

Per costruire il ciclo di lavoro nella cava Apricena è stata utilizzata una quantità di dati significativa sotto il profilo statistico (valore medio, coefficiente di variazione, ecc.). I dati sono stati rilevati in cantiere durante uno stage dedicato ad acquisire elementi di conoscenza utili per l'elaborato di tesi di laurea. Questi dati "reali" sono stati confrontati con dati estrapolati da manuali e pubblicazioni rilevando notevoli differenze soprattutto riguardo alle prestazioni in termini di resa della varie macchine operatrici, sia tagliatrici a catena che perforatrici.

Nella costruzione del ciclo si cerca, già attuando varie modifiche, di giungere ad una ottimizzazione attraverso l'utilizzo di macchinari e di risorse umane il più possibile razionalizzato e riducendo al minimo i cosiddetti tempi morti.

6.1 DESCRIZIONE DEL SITO

STRATIGRAFIA DEL GIACIMENTO

Denominazione merceologica	Potenza utile m.	Potenza totale m.	Quota s.l.m. m.
			124,00
cappellaccio		10,00	
scarto		3,10	
Zebrato - H 70	1,20	2,40	
H 100A fiorito - H 100B bronzetto	2,00	2,30	
scarto		1,80	
4 METRI: H 80/400 - H 70/400 silvabella - H 80f - H 80 rosatina	3,60	4,40	
			100,00
fasciato	1,00	1,50	
3METRI: H 80/300 - H 70/300 silvabella - H 110/300	2,60	3,10	
H 100 filettato - H 70	1,70	5,40	
			90,00
scarto		2,40	
H 60	0,60	1,80	
H 130	1,30	2,80	

H 90 - H 140	2,30	4,60	
H 160	1,60	2,70	
			75,70
H 80 rosso	0,80	3,40	
			72,30
Bicolore rosso	1,00	2,30	
			70,00
5 METRI: H 150 - H 120	2,70	4,20	
scarto		3,00	
H 105 rosso filettato	1,10	3,50	
H 90r - H140r rosatina	2,60	3,10	
2 METRI: H 200 biancone	1,50	2,50	
4 METRI: H 115 - H 170 - H 95	4,00	4,00	
			49,70
FARFALLATO: H 150f - H 180f	3,30	3,30	
H 90 rosso	0,90	3,40	
H 50 - H 120f - H 105r	2,75	5,30	
			37,70
FASCIA NERA: H 80fn - H 200fn	2,80	4,30	
BICOLORE. H100b - H90b	1,90	1,90	
			31,50
H 80 - H 120 italian rosa	2,00	4,10	
			27,40
H 80 - H 140 - H 160 - H 100	4,80	5,40	
H 200 - H 150 - H 120	4,40	7,00	
			14,80
H 140 - H 130	2,70	4,10	
H 180	1,80	3,20	
H 200	2,00	2,30	
H 200 - H 160b	3,60	5,20	
H 100 - H 150 - H 170b	4,20	4,20	
H 130 - H 130g	2,60	3,00	
H 170a - H 130	3,00	4,00	
H 120 - H 170	2,90	4,00	



MACCHINARI IN CAVA

PALE

- CAT 988 G
- VOLVO L300

ESCAVATORI

- CAT 365
- CAT 345

TAGLIATRICI A CATENA

- KORFMANN ST 50 VH
- KORFMANN ST 450 VH

PERFORATRICI MOBILI

- PERFORA HANDY MAXI DRILL
- PERFORA HANDY DRILL 100 VH

DUMPERS

- PERLINI DP 405
- PERLINI 366

MANODOPERA IN CAVA

1 operatore tagliatrice 1
1 operatore tagliatrice 2
1 operatore perforatrice 1
1 operatore perforatrice 2
1 operatore pala cat
1 operatore pala VOLVO
1 operatore EXC 365
1 operatore EXC 345
1 operatore JOLLY

Durante il rilevamento della maggior parte dei dati utilizzati per costruire il ciclo di lavoro, in cava si lavorava contemporaneamente in 3 cantieri su 3 platee diverse; nella platea di altezza 5,4 m venivano effettuati i tagli, nelle platee di altezza 4,4 m e 2 m si procedeva con le operazioni di estrazione e riquadratura.

Ciò che si andrà ad analizzare nella cava Apricena sarà la fascia di giacimento da quota 33,80 m s.l.m. a quota 22 m s.l.m., interessata da 3 strati di spessore differente.

Partendo da quota 33,80 m s.l.m.

- Cantiere 3, altezza platea: 5, 4 m
- Cantiere 2, altezza platea: 4, 4 m
- Cantiere 1, altezza platea: 2, 0 m

I dati delle bancate da NORD a SUD sono i seguenti:

- a. Lunghezza 40 m separate da un taglio di testa a 20 m
- b. Lunghezza 20 m
- c. Lunghezza 30 m separate da un taglio di testa a 15 m

Sono state esaminate due ipotesi diverse di ciclo con pari produzione, in seguito si sono analizzati i tempi ed i costi per ognuna:

- APRICENA 1
- APRICENA 2

6.2 CICLO DI LAVORO APRICENA 1

CANTIERE 3

Si effettuano tagli successivi mediante tagliatrici a catena, che portano al completo isolamento dal massiccio di un volume di roccia, bancata, di dimensioni variabili che poi subirà una prima fase di movimentazione.

Nel taglio verticale teoricamente non vi è bisogno di operatori poiché la tagliatrice avanza da sola ed è inoltre dotata di un sistema di rimozione polveri, la coclea a vite.



L'operatore alle tagliatrici si occupa del controllo del funzionamento delle macchine verificando la

perpendicolarità della discesa della lama, del fare pulizia alla superficie del taglio, del cambio delle placchette, della rotazione dei taglienti, dello spostamento dei binari, dello spostamento delle macchine quand'esse debbano iniziare un nuovo taglio e delle manovre per far passare la lama da una parte all'altra (con l'aiuto di uno o più operatori).

1. TAGLIO DI TESTA PER LA SUDDIVISIONE DELLA PLATEA IN PANNELLI
2. TAGLI DI BANCATA PER LA SUDDIVISIONE DEL PANNELLO IN BANCATE
3. TAGLIO DI BASE O TAGLIO ORIZZONTALE

Il taglio vero e proprio viene preceduto da una fase di *preparazione al taglio*.

1. PREPARAZIONE AL TAGLIO

- trasporto tagliatrice
- trasporto binari e attrezzi
- posizionamento tagliatrice
- posizionamento binari
- fissaggio del sistema a mano
- stabilizzazione del sistema mediante perforatrici e cunei
- elettrificazione tagliatrice

2. TAGLIO DI INGRESSO, quando la lama inizia a tagliare la roccia fino a quando non raggiunge la profondità desiderata

- Posizionamento lama
- Taglio di ingresso

3. TAGLIO A REGIME, quando la lama raggiunge la giusta profondità

- Taglio a regime

4. ALLUNGAMENTO CORSA TAGLIATRICE

- Disimpegno binari
- Spostamento binari
- Posizionamento binari
- Stabilizzazione binari con piedini
- Stabilizzazione binari con perforatrice e cunei

5. TAGLIO A REGIME

6. INVERSIONE SENSO DI TAGLIO

- Inversione catena
- Posizionamento carrello
- Posizionamento lama

7. TAGLIO DI INGRESSO

8. TAGLIO A REGIME

9. CHIUSURA TAGLIO

10. MESSA A DIMORA TAGLIATRICE

Rispetto al caso standard può essere eseguita un'ulteriore attività che costituisce la manutenzione ordinaria.

10. GIRO TAGLIANTI E PULIZIA TAGLIANTI

Il *taglio di base o orizzontale* non viene quasi mai effettuato nella cava Apricena, a seconda di quale sia lo stato naturale delle bancate; in caso di bancate unite si utilizzano la perforatrici e si caricano i fori con esplosivo oppure con inserzione di cunei e battitura manuale, se la bancata è appoggiata o staccata si utilizza lo sgancio con cunei battuti a mano oppure con forche ed escavatore.

L'altezza della platea è 5,4 m; si utilizza per il taglio verticale una tagliatrice a catena con una lama di lunghezza 7,5 m in modo da ottenere il taglio utile necessario.

CARATTERISTICHE LAME			
	serie	inserti per serie	inserti totali
lama da 6,5 m	13	11	143
lama da 7,5 m	16	11	176



Si effettuano dei tagli verticali, in prima battuta paralleli al fronte, in seguito quelli perpendicolari ad esso.

La prima fase è realizzare due tagli paralleli distanziati di 5 m, utilizzando 2 tagliatrici e 6 binari di lunghezza 3m.



Taglio verticale parallelo al fronte: lunghezza 20 m
 Nella tabella seguente sono riassunti i tempi di preparazione al taglio

PREPARAZIONE TAGLIO	h
SPOSTAMENTO E POSIZIONAMENTO TAGL., BINARI, ATTREZZI	0,6
FISSAGGIO SISTEMA A MANO	0,1
STABILIZZAZIONE SISTEMA CON PERF E CUNEI	1,24
ELETTRIFICAZIONE TAGL.	0,102
TEMPO TOTALE DI PREPARAZIONE	2,042

Caratteristiche tagli

taglio 1	m	m ²	m ² /h	h
lunghezza	20			
altezza	5,4			
area di taglio		108		
Vel. areale netta			2,95	
tempo di taglio				36,6

taglio 2	m	m ²	m ² /h	h
lunghezza	20			
altezza	5,4			
area di taglio		108		
Vel. areale netta			2,95	
tempo di taglio				36,6

In seguito si eseguono 4 tagli perpendicolari al fronte di lunghezza 10 m con interasse 5 m.

Si lavora con 2 tagliatrici e 3 binari da 3 m.

Nella tabella seguente sono riassunti i tempi di preparazione al taglio

PREPARAZIONE TAGLIO	h
SPOSTAMENTO E POSIZIONAMENTO TAGL., BINARI, ATTREZZI	0,5
FISSAGGIO SISTEMA A MANO	0,1
STABILIZZAZIONE SISTEMA CON PERF E CUNEI	1,24
ELETTRIFICAZIONE TAGL.	0,102
TEMPO TOTALE DI PREPARAZIONE	1,942

Caratteristiche tagli

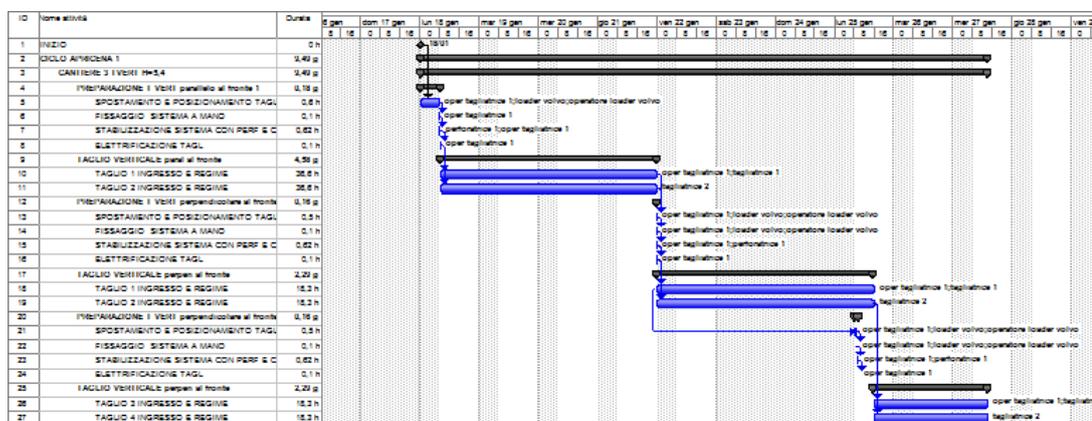
taglio 1	m	m ²	m ² /h	h
lunghezza	10			
altezza	5,4			
area di taglio		54		
Vel. areale netta			2,95	
tempo di taglio				18,3

taglio 2	m	m ²	m ² /h	h
lunghezza	10			
altezza	5,4			
area di taglio		54		
Vel. areale netta			2,95	
tempo di taglio				18,3

taglio 3	m	m ²	m ² /h	h
lunghezza	10			
altezza	5,4			
area di taglio		54		
Vel. areale netta			2,95	
tempo di taglio				18,3

taglio 4	m	m ²	m ² / h	h
lunghezza	10			
altezza	5,4			
area di taglio		54		
Vel. areale netta			2,95	
tempo di taglio				18,3

Inserendo i dati nel diagramma di Gantt, il cantiere 3 risulta avere una durata totale di 9,49 giorni, cioè 7,49 giorni lavorativi.



CANTIERE 2

Altezza platea 4,4 m: i tagli sono già stati eseguiti, quindi si procede estrazione, ritaglio, riquadratura ed infine trasporto blocchi e scarto.

Da questa attività si ottengono blocchi da telaio e informi ed entrambe le tipologie devono essere allontanate dalla platea in coltivazione. I blocchi commerciali sono successivamente sottoposti a ritaglio e a suddivisione in tipologie mercantili, gli informi sono trasportati e accatastati nei depositi di inerti.

FASE 1: ESTRAZIONE

Nella fase di estrazione il blocco viene distaccato, movimentato e, se necessario, ribaltato su un letto di detriti rocciosi collocati in posizione antistante al

fronte, onde attutire l'urto di caduta e limitare le rotture ai soli punti difettosi latenti nella roccia. Ci si avvale dell'uso di macchine operatrici quali pale, escavatori e talvolta anche con l'ausilio di un martellone montato sull'escavatore; infine il blocco viene allontanato dal fronte in modo da creare gli spazi operativi affinché si possa poter procedere all'estrazione della bancata successiva.



In seguito vengono elencate le operazioni elementari che compongono la fase di estrazione

1. PREPARAZIONE ESTRAZIONE BANCATA

- Posizionamento macchine
- Creazione "presa" su top bancata e discontinuità di strato

2. ESTRAZIONE BANCATA

- Distacco bancata

3. ALLONTANAMENTO BANCATA ESTRATTA

- Movimentazione bancata estratta
- Spostamento bancata estratta

4. PREPARAZIONE BANCATA SUCCESSIVA

- Asportazione roccia sterile bancata in posto
- Smarino fronte

Si estraggono all'incirca 74,33 m³/h, questo valore deriva da una media dei dati raccolti in cantiere utilizzando pala CAT 988, escavatore CAT 365 ed eventualmente con l'ausilio in caso di necessità dell'escavatore CAT 345 equipaggiato con il martellone.

DIMENSIONI PLATEA

	m	m ³
Lunghezza	20	
Profondità	10	
Altezza	4,4	
Volume		880

DATI BANCATA ESTRATTA

	m	m ³
Lunghezza	5	
Profondità	5	
Altezza	4,4	
Volume		110

	m ³ /h	m ³	h
Estrazione	74,33		
Volume bancata estratta		110	
Tempo estrazione bancata 1			1,48

Si ipotizza una percentuale di materiale sano del 40% del volume in banco, quindi il volume di blocchi utili sarà di circa 352 m³, il volume restante sarà di scarto.

Volume blocchi utili = 352 m³

La bancata estratta deve subire una movimentazione in modo da rendere possibile il distacco della bancata successiva garantendo gli spazi operativi per lavorare in sicurezza; spostandola di alcune decine di metri si

possono iniziare le successive operazioni di ritaglio e suddivisione in tipologie mercantili.

FASE 2: RITAGLIO

Con il ritaglio si ha la riduzione in blocchi commerciali delle porzioni utili della bancata ed avviene la separazione per tipologie commerciali.

1. PREPARAZIONE PERFORAZIONE VERTICALE

- Spostamento perforatrice e reperimento attrezzi
- Controllo blocco
- Tracciamento linea fori
- Posizionamento macchina (braccio e barra)
- Controllo linea fori
- Posizionamento fioretto

2. PERFORAZIONE VERTICALE

- Intesto
- Perforazione
- Risalita fioretto
- Spostamento martello
- Posizionamento fioretto

3. MESSA A DIMORA MACCHINA

4. INSERIMENTO E BATTITURA CUNEI

5. APERTURA

6. MOVIMENTAZIONE BLOCCHI



Si utilizza la perforatrice mobile Perfora Handy Maxi Drill.

Dopo la perforazione vi è la fase di inserimento e battitura dei cunei, che implica l'impiego di 2 operatori; per l'intera operazione sono impegnate la pala CAT 988 e l'escavatore CAT 365 che all'occorrenza lavorano sulla stessa platea.

Sulla base dei dati raccolti si assume come tempo di perforazione il valore di $6,25 \text{ m}^2/\text{h}$ e come tempo di perforazione + battitura cunei + movimentazione il valore di $31,08 \text{ m}^2/\text{h}$.

Chiaramente i blocchi avranno dimensioni un po' differenti fra loro quindi in tabella vi è una simulazione delle dimensioni che potrebbero assumere, in modo da ottenere per ogni blocco i tempi da inserire nel Gantt.

	lunghezza	larghezza	altezza	
blocco 1	3	3,6	4,4	m
blocco 2	3,5	3,8	4,4	m
blocco 3	2,7	3,9	4,4	m
blocco 4	2,9	3,7	4,4	m

Quindi si riporta il tempo di ritaglio per ogni blocco.

	m ²	tempo h
blocco 1	10,8	0,35
blocco 2	13,3	0,43
blocco 3	10,53	0,34
blocco 4	10,73	0,43



FASE 3: RIQUADRATURA

Attraverso l'operazione di riquadratura si ha la riduzione finale della porzione di bancata attraverso

l'utilizzo di macchine perforatrici mobili e di cunei battuti a mano dagli operatori.

Il risultato finale dell'attività è il cosiddetto *blocco da telaio*.

In seguito vengono elencate le operazioni elementari che compongono la fase di riquadratura

1. PREPARAZIONE PERFORAZIONE VERTICALE

- Spostamento perforatrice e reperimento attrezzi
- Controllo blocco
- Tracciamento linea fori
- Posizionamento macchina (braccio e barra)
- Controllo linea fori
- Posizionamento fioretto

2. PERFORAZIONE VERTICALE

- Intesto
- Perforazione
- Risalita fioretto
- Spostamento martello
- Posizionamento fioretto

3. MESSA A DIMORA MACCHINA

4. INSERIMENTO E BATTITURA CUNEI

5. APERTURA



Si utilizza la macchina perforatrice e la pala; sia le prestazioni in termini di perforazione che di perforazione + battitura cunei + movimentazione sono più basse rispetto alla fase di ritaglio.

Tempo di perforazione = $5,9 \text{ m}^2/\text{h}$

Tempo di perforazione + battitura cunei + movimentazione = $23,24 \text{ m}^2/\text{h}$.

L'obiettivo è ottenere dei blocchi da telaio di dimensioni: $3,3 \times 2 \times h$ (h deriva dalla potenza delle diverse tipologie mercantili, quindi dallo spessore dei vari tipi di materiale); si ritagliano 2 facce che secondo le mie ipotesi sono 12 m^2 e $4 \times h \text{ m}^2$; poiché l'operazione di separazione avviene a 2 m si ottengono 2 blocchi, alti rispettivamente 2,3 m e 2 m.

Nelle tabelle seguenti sono riassunti i tempi totale di riquadratura per ogni blocco

Blocco 1 estratto		m ² prima faccia	m ² seconda faccia	Totale m ²	Tempo h
	Blocco 1 primo	10,8	8,28	19,08	0,82
	Blocco 1 secondo	10,8	7,20	18	0,77
Tempo totale h					1,60

Blocco 2 estratto		m ² prima faccia	m ² seconda faccia	Totale m ²	Tempo h
	Blocco 2 primo	13,3	8,74	22,04	0,95
	Blocco 2 secondo	13,3	7,6	20,9	0,90
Tempo totale h					1,85

Blocco 3 estratto		m ² prima faccia	m ² seconda faccia	Totale m ²	Tempo h
	Blocco 3 primo	10,53	8,97	19,5	0,84
	Blocco 3 secondo	10,53	7,8	18.33	0,79
Tempo totale h					1,63

Blocco 4 estratto		m ² prima faccia	m ² seconda faccia	Totale m ²	Tempo h
	Blocco 4 primo	10,73	8,51	19,24	0,83
	Blocco 4 secondo	10,73	7,4	18.13	0,78
Tempo totale h					1,61

FASE 4: TRASPORTO BLOCCHI

In questa fase il blocco riquadrato viene movimentato dalle varie platee fino al piazzale preposto allo stoccaggio dei blocchi pronti per il taglio nei telai e alle successive fasi di lavorazione.

Il trasporto viene effettuato solitamente dalla pala ma nella fase di sollevamento blocco e di carico può accadere che vi sia la necessità dell'ausilio dell'escavatore.

Le operazioni sono 2:

1. SOLLEVAMENTO BLOCCO
2. TRASPORTO FINO AL PIAZZALE

Caratteristiche blocco da telaio:

	Tons/m ³	m ³	tons
Volume blocco		13,2	
Peso blocco			35,64
Peso specifico calcare	2,7		

Il ciclo per ogni blocco è composto da carico blocco, viaggio di andata, scarico e viaggio di ritorno.

Tempo di ciclo = 0,29 h

Il tempo totale di trasporto blocchi sarà 1,54 giorni

A tal punto il ciclo si ripete con la metà di platea rimanente quindi si procede alle operazioni di ritaglio, riquadratura e trasporto blocchi per i restanti 440 m³ estratti.

FASE 5: TRASPORTO SCARTO

Il fronte viene ripulito e si procede a trasportare lo scarto mediante dumpers verso la zona della cava preposta a scarica; per caricare il dumper con il materiale di scarto si utilizza la pala o all'occorrenza l'escavatore.

Nel dettaglio le operazioni elementari sono:

1. CARICO DUMPER
2. VIAGGIO DI ANDATA
3. SCARICO DUMPER

4. VIAGGIO DI RITORNO

I dumpers Perlini DP 405 E Perlini 366 hanno entrambi una capacità di 24 m³.

Volume scarto = 528 m³

Il ciclo nel caso del trasporto dello scarto è composto da carico, andata, scarico, ritorno, manovra.

Tempo di ciclo = 0,383 h

Il tempo totale di trasporto scarto sarà 1,05 giorni.



CANTIERE 1

Altezza platea 2 m: i tagli sono già stati eseguiti, quindi si procede estrazione, ritaglio, riquadratura ed infine trasporto blocchi e scarto.

FASE 1: ESTRAZIONE

Si estraggono all'incirca 74,33 m³/h, questo valore deriva da una media dei dati raccolti in cantiere utilizzando pala VOLVO L300, escavatore CAT 345 ed eventualmente con l'ausilio in caso di necessità dell'escavatore CAT 365-

DIMENSIONI PLATEA

	m	m ³
Lunghezza	20	
Profondità	10	
Altezza	2	
Volume		400

DATI BANCATA ESTRATTA

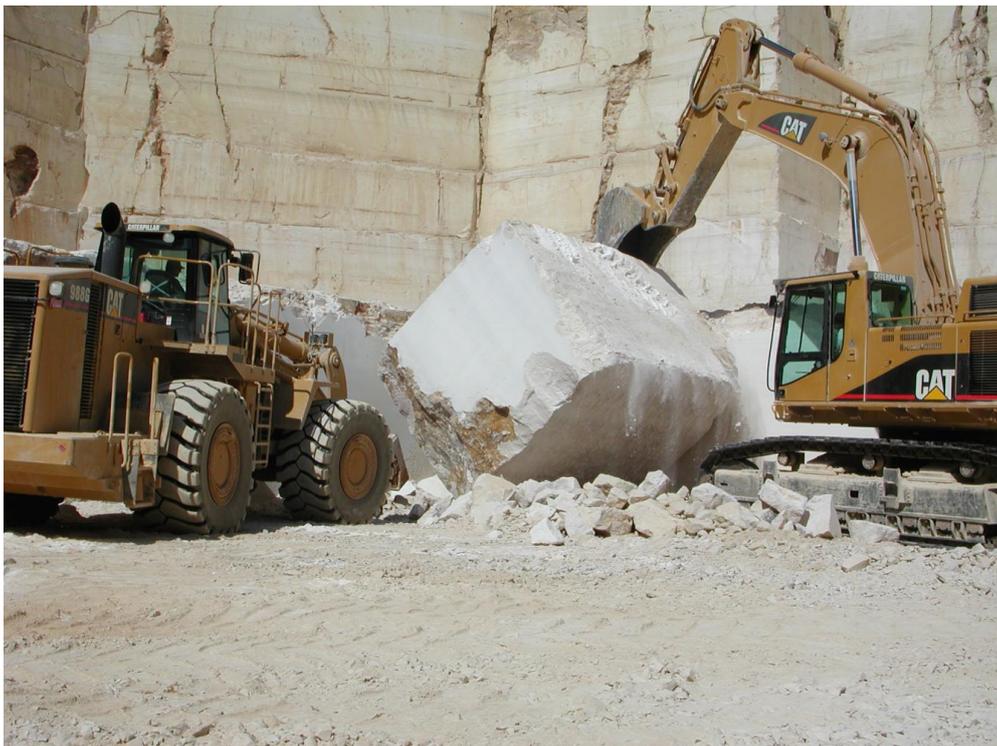
	m	m ³
Lunghezza	5	
Profondità	5	
Altezza	2	
Volume		50

	m ³ /h	m ³	h
Estrazione	74,33		
Volume bancata estratta		50	
Tempo estrazione bancata 1			0,67

Si ipotizza una percentuale di materiale sano del 40% del volume in banco, quindi il volume di blocchi utili sarà di circa 160 m³, il volume restante sarà di scarto.

Volume blocchi utili = 160 m³

Volume estratto = 400 m³



La bancata estratta deve subire una movimentazione in modo da rendere possibile il distacco della bancata successiva garantendo gli spazi operativi per lavorare in sicurezza; spostandola di alcune decine di metri si possono iniziare le successive operazioni di ritaglio. Nel caso del cantiere 1 essendo l'altezza della platea uguale a 2 m vi è un solo materiale quindi non vi è l'operazione di separazione di materiali differenti.

FASE 2: RIQUADRATURA

La fase di riquadratura è la fase finale attraverso la quale si ottiene il cosiddetto *blocco da telaio*; si utilizza la macchina perforatrice Perfora Handy Drill 100 VH e la pala.



Sia le prestazioni in termini di perforazione che di perforazione + battitura cunei + movimentazione sono più basse rispetto alla fase di sfaldatura.

Tempo di perforazione = 5,9 m²/h

Tempo di perforazione + battitura cunei + movimentazione = 23,24m²/h.

L'obiettivo è ottenere dei blocchi da telaio di dimensioni: 3,3x2x2, si ritagliano 2 facce che secondo le mie ipotesi sono 12 m² e 8 m².

Nelle tabelle seguenti sono riassunti i tempi totale di riquadratura per ogni blocco

	m ² prima faccia	m ² seconda faccia	Totale m ²	Tempo h
Blocco 1 estratto	10,8	7,2	18	0,77
Blocco 2 estratto	13,3	7,6	20,9	0,90
Blocco 3 estratto	10,53	7,8	18,33	0,79
Blocco 4 estratto	10,73	7,4	18,13	0,78

FASE 3: TRASPORTO BLOCCHI

In questa fase il blocco riquadrato viene movimentato dalle varie platee fino al piazzale preposto allo stoccaggio dei blocchi pronti per il taglio nei telai e alle successive fasi di lavorazione.

Il trasporto viene effettuato solitamente dalla pala ma nella fase di sollevamento blocco e di carico può accadere che vi sia la necessità dell'ausilio dell'escavatore.

Caratteristiche blocco da telaio:

	Tons/m ³	m ³	tons
Volume blocco		13,2	
Peso blocco			35,64
Peso specifico calcare	2,7		

Il ciclo per ogni blocco è composto da carico blocco, viaggio di andata, scarico e viaggio di ritorno.

Tempo di ciclo = 0,29 h

Il tempo totale di trasporto blocchi sarà 0,81 giorni.

A tal punto il ciclo si ripete con la metà di platea rimanente quindi si procede alle operazioni di riquadratura e trasporto blocchi per i restanti 200 m³ estratti.

FASE 4: TRASPORTO SCARTO

Il fronte viene ripulito e si procede a trasportare lo scarto mediante dumpers verso la zona della cava preposta a discarica; per caricare il dumper con il materiale di scarto si utilizza la pala o all'occorrenza l'escavatore.



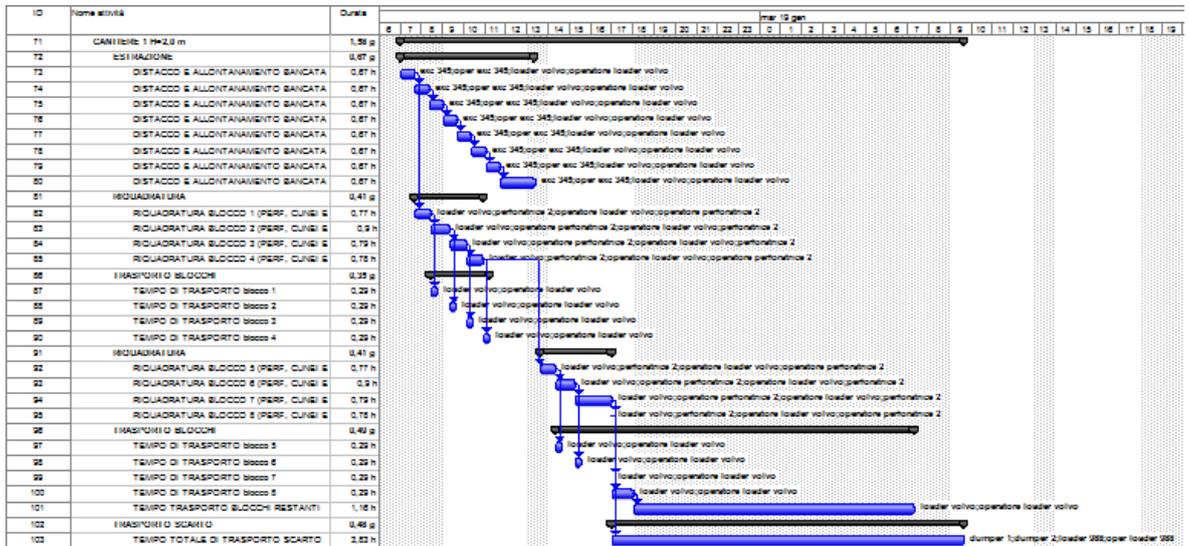
I dumpers Perlini DP 405 E Perlini 366 hanno entrambi una capacità di 24 m³ .

Volume scarto = 240 m³

Il ciclo nel caso del trasporto dello scarto è composto da carico, andata, scarico, ritorno, manovra.

Tempo di ciclo = 0,383 h

Il tempo totale di trasporto scarto sarà 0,48 giorni.



6.3 CICLO DI LAVORO APRICENA 2

CANTIERE 3

Per quanto riguarda il cantiere 3 il ciclo è uguale a quello descritto in Apricena 1.

Apricena 2 differisce nell'utilizzo delle perforatrici, poiché in Apricena 1 nel cantiere 2 lavora la perforatrice 1, nel cantiere 1 lavora la perforatrice 2; nel ciclo Apricena 2 si confrontano i costi ed i tempi nel caso che le perforatrici lavorino prima entrambe nel cantiere 2 e successivamente nel cantiere 1.

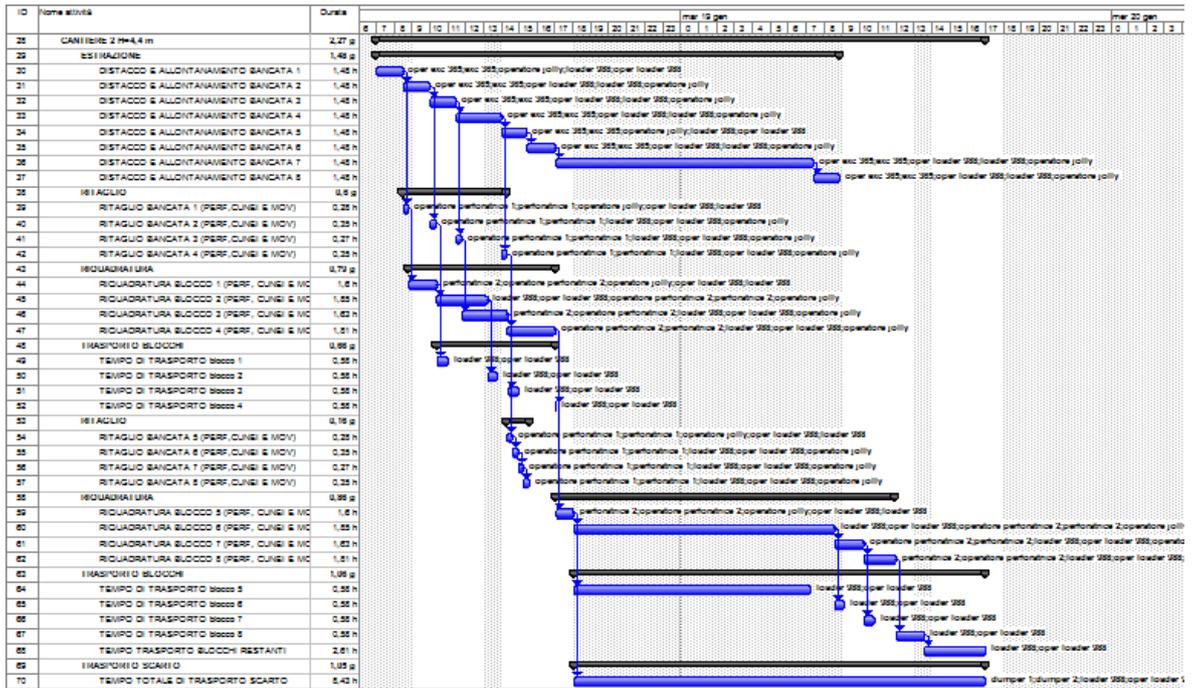
CANTIERE 2

RITAGLIO

Si utilizza la perforatrice mobile Perfora Handy Maxi Drill.

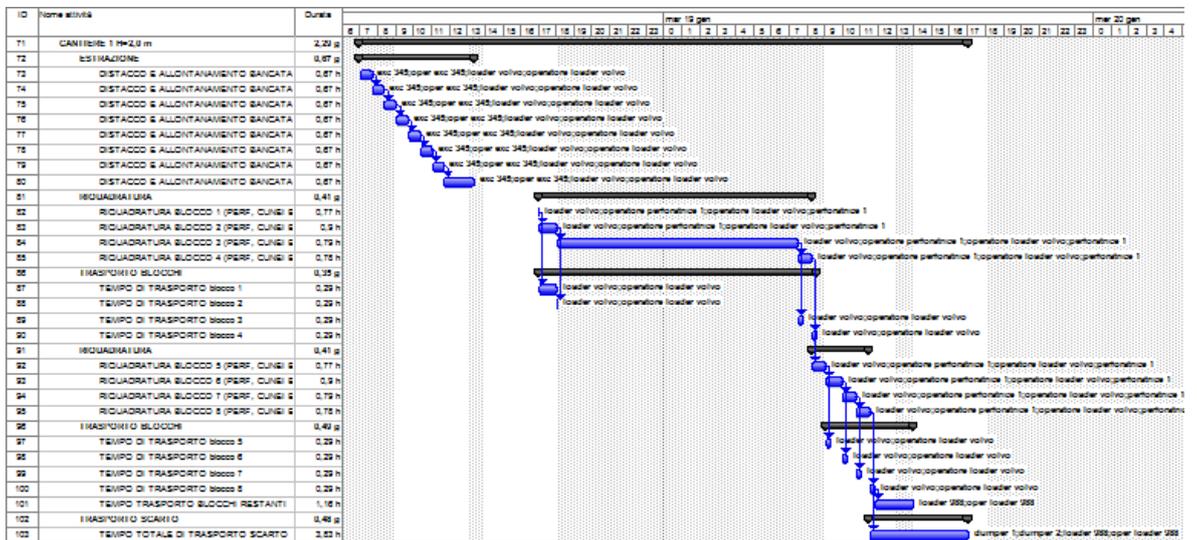
RIQUADRATURA

Si utilizza la perforatrice mobile Perfora Handy Drill 100 VH.



CANTIERE 1

Si utilizza per l'operazione di riquadratura la perforatrice mobile Perfora Handy Maxi Drill.



6.4 TEMPO DI CICLO

	APRICENA 1	APRICENA 2	
CANTIERE 1	1,58	2,27	days
CANTIERE 2	3,79	2,29	days
CANTIERE 3	9,49	9,49	days
TEMPO TOTALE	9,49	9,49	days

6.5 ANALISI DEI COSTI

I dati seguenti sono ottenuti mediante un'analisi dei costi basata sui cicli ipotizzati.

Per quanto riguarda il costo delle tagliatrici le cifre non cambiano per Apricena 1 e 2

Costo gasolio 1,2 €/l

Costo energia elettrica 0,155 € per ogni KW/h

COSTI TAGLIATRICI KORFMANN ST 50 E KORFMANN ST 450 VH

Numero ore di lavoro al giorno	8
Ore totali di lavoro di 2 tagliatrici	146,6

	€/h	€	€/day
Costo manodopera	13,58		108,64
Costo energia elettrica	1		9,5
Costo acqua	0,625		5
Costo grasso	8		64
Costo inserti	1,9		15,2
Costo manutenzione	3,6		28,8
Costo tagliatrice		120000	
Costo rata leasing tagliatrice	21,5		172
Costo totale	50,4		403

	€/h	€/day
Costo totale esclusa manodopera e leasing	15	122,5

COSTO TOTALE TAGLIATRICI 2242 €

COSTI ESCAVATORI

CAT 365	€/h
Gasolio	42
Lubrificante	3,4
Ricambi	31,3
totale	76,6

CAT 345	€/h
Gasolio	42
Lubrificante	3,4
Ricambi	26,0
totale	71,4

COSTI PALE

CAT 988	€/h
Gasolio	54
Lubrificante	4,3
Ricambi	36,5
totale	94,8

VOLVO L300	€/h
Gasolio	54
Lubrificante	4,3
Ricambi	31,3
totale	89,6

COSTI PERFORATRICI

PERFORA HANDY MAXI DRILL

Costo totale carburante + ricambi 20 €/h

PERFORA HANDY DRILL 100 VH

Costo totale carburante + ricambi 19 €/h

COSTI DUMPERS

PERLINI DP 405

Costo totale carburante + ricambi 62,4 €/h

PERLINI 366

Costo totale carburante + ricambi 62,4 €/h

COSTI MANODOPERA
APRICENA 1

	Costo orario €/h	Ore lavorate h	Costo al giorno €/day	Giorni lavorati	Costo totale €
Operatore tagliatrice	13,58	8	108,6	8	597,52
Operatore perforatrice 1	13,58	8	108,6	3	597,52
Operatore perforatrice2	13,58	8	108,6	3	597,52
Operatore pala CAT 988	16,58	8	132,6	3	729,52
Operatore pala VOLVO L300	16,58	8	132,6	3	729,52
Operatore exc CAT 365	16,58	8	132,6	3	729,52
Operatore exc CAT 345	16,58	8	132,6	3	729,52
Operatore jolly	13,58	8	108,6	3	597,52

Costo totale manodopera 3439 €

	Costo orario €/h	Ore lavorate h	Costo al giorno €/day	Giorni lavorati	Costo totale €
Operatore tagliatrice	13,58	8	108,6	8	597,52
Operatore perforatrice 1	13,58	8	108,6	2	597,52
Operatore perforatrice2	13,58	8	108,6	2	597,52
Operatore pala CAT 988	16,58	8	132,6	2	729,52
Operatore pala VOLVO L300	16,58	8	132,6	2	729,52
Operatore exc CAT 365	16,58	8	132,6	2	729,52
Operatore exc CAT 345	16,58	8	132,6	2	729,52
Operatore jolly	13,58	8	108,6	3	597,52

Costo totale manodopera 2691 €

RIEPILOGO COSTI

APRICENA 1

	COSTO ORARIO €/h	ORE LAVORATE h	COSTO TOTALE €
ST 50 VH	15	73,2	1098
ST 450 VH	15	73,2	1098
EXC 365	76,6	11,83	906,2
EXC 345	71,4	5,37	383,4
PALA VOLVO	89,6	17,12	1534,0
PALA 988	94,8	24	2275,2
PERFORA 100VH	19	6,48	123,1
PERFORA MAXI	20	18,13	363
PERLINI DP 405	62,4	12,27	765,648
PERLINI 366	62,4	12,27	765,648
MANODOPERA			3439

COSTO TOTALE CICLO APRICENA 1 16190 €

APRICENA 2

	COSTO ORARIO €/h	ORE LAVORATE h	COSTO TOTALE €
ST 50 VH	15	73,2	1098
ST 450 VH	15	73,2	1098
EXC 365	76,6	11,85	907,7
EXC 345	71,4	5,37	383,4
PALA VOLVO	89,6	15,97	1430,9
PALA 988	94,8	24	2275,2
PERFORA 100VH	19	13,78	261,8
PERFORA MAXI	20	10,83	217
PERLINI DP 405	62,4	12,27	765,648
PERLINI 366	62,4	12,27	765,648
MANODOPERA			2961

COSTO TOTALE CICLO APRICENA 2 15125 €

RICAVI

Produzione 512 m³

Produzione 13824 quintali

Vendo i blocchi utili a 10 €/quintale

Ricavo 138240 €

Il ciclo di lavoro dura 44 ore durante le quali la produzione di blocchi da telaio è di 512 m³ nei cantieri 2 e 3 e si eseguono tutti i tagli nel cantiere 1.

6.6 CONCLUSIONI

Il ciclo Apricena 2 alla luce dei risultati sembra essere migliore rispetto ad Apricena 1 sia dal punto di vista economico (il costo totale è minore), sia sotto il profilo temporale; per quanto riguarda il cantiere 3 non vi è differenza, nel cantiere 1 i tempi sono leggermente maggiori mentre la durata del cantiere 2 è nettamente minore.

BIBLIOGRAFIA E SITI WEB

- o AA.VV.: " I marmi della Puglia", Vol. a cura dell'istituto Geografico De Agostini, e della Regione Puglia, Bari, 1982.
- o ANONIMO - Industrie rappresentative della Capitanata. Marmi, graniti, pietre, n. 23, pagg 51-53, Milano 1964.
- o APRICENA (Comune di) - Annali Civili. Fasc. XXII, Apricena, 1810.
- o Assocave Sardegna, Politica di valorizzazione delle risorse: opzioni per un intervento regionale per il comparto lapideo sardo, febbraio 1986.
- o Atti del convegno ISVEIMER e degli operatori economici di capitanata. Foggia, 1966.
- o Berry P., Dantini E.H., Frattuarazione controllata nella coltivazione di pietre ornamentali . Carrara 1986.
- o Berry P., Dantini E.H., Gli esplosivi nella coltivazione delle pietre ornamentali ed il controllo della fatturazione indotta. Carrara 1980.
- o BERRY P., GURASCIO M., SCIOTTI M. - Analisi geostatistica del grado di fatturazione della roccia per la previsione del rendimento in blocchi in cave di tufo litoide. Atti I Conv. Int. Sulla coltivazione di pietre e minerali litoidi. Torino 4-6 ottobre 1974.
- o BERRY P., SCIOTTI M. - La pietra di Coreno Ausonio. Atti del III Conv. Naz. Su Attività estrattiva dei minerali di seconda categoria. Bari, 1985.
- o Berry P., Sciotti M., I peperini del Lazio. Torino 1974.
- o Berry P., Sciotti M., La pietra di Coreno Ausonio, Quarry and Construction 1985.
- o Berta G., Briganti C., Valt S., Taglio di roccia ornamentale con miccia detonante e controllo strumentale delle vibrazioni indotte dall'esplosione. Quarry and Construction 5, 1986, pp.13-17.
- o Bertolini L., Capuzzi Q., Martinelli, Le moderne tecnologie nella estrazione lapidea nazionale ed internazionale. Atti del convegno internaz. "La cava nel 2000", Carrara 1986.
- o Betourne R., Decoupage a l'explosif des roches ornamentales. Methode des charges decouplees. Industrie minerale, numero speciale "les technique" 6-82. Suppl. juin 1982.
- o Bibliografia geologica e paleontologica della Capitanata. Palermo, 1914.
- o Bortolussi A., Ciccu R., Manca P., Massacci G., Escavazione e preparazione dei blocchi di granito. Marmi, Graniti e Pietre, n.162, 1988, pp 17-33.
- o Bradley, Izzo A., Primavori P., Metodologie razionali nella ricerca e caratterizzazioni di giacimenti di pietre ornamentali. Quarry and Construction 5, 1987, pp.62.
- o Bruzzi G., Unità meccanizzate con perforatrici idrauliche per la coltivazione di blocchi nelle cave di marmo e di pietra ornamentale. 1982, pp.31.
- o CAMERA DI COMMERCIO, INDUSTRIA E AGRICOLTURA DI FOGGIA-

- Medie mensili dei pezzi all'ingrosso praticati in provincia Foggia durante l'anno 1964 e medie annuali 1961-1962-1963-1964. Foggia, 1966.
- o Capuzzi Q., La tecnologia nel settore lapideo. Quarry and construction, 4, 1982, pp.49.
 - o CASTAING Ch. e RABU D.- Apports de la géologie à la recherche et l'exoloitiation des roches ornamentales et de construction. Colloques sur les marre et les roches ornamentales. Rabat (Maroc), 1979.
 - o CHECCHIA-RISPOLI G.- I calcari di San Giovanni in Piano presso Apricena in provincia di Capitanat. Boll. Soc. Geol. Ital., vol. XXXIII, fasc. 2°, pagg. 292-294, Roma, 1904.
 - o COLAMONICO C. - Studi coro logici sulla Puglia- 1. Cenni fo stratigrafia. Bari, 1908
 - o CORTESE E., CANAVARI M. - Nuovi appunti geologici sul Gargano. Boll. Soc. Geol. Ital., vol. XV, fasc. 7-8, pagg. 225-240 e fasc. 9-10, pagg. 287-304, Roma, 1904.
 - o Costa, Il taglio delle rocce per la produzione di blocchi nelle pietre ornamentali. ACIIM per il marmo, n. 1, 1984, pp 41-59.
 - o D'ERASMO G. - Bibliografia Geologica d'Italia. Vol V- La Puglia . Napoli, 1959.
 - o DE AUGUSTINIS M. - Del Monte Gargano e dei suoi marmi. Ann. Geograf. Ital., Bologna, 1845.
 - o De Santis, Coltivazione della pietra di Apricena con segatrice a catena dentata e con miccia detonante. Bari, 1985.
 - o De Santis, La valorizzazione della pietra di Apricena. Marmi, graniti e pietre, n.73, 1973.
 - o Di Venanzi A. (1980): Criteri per la progettazione ottimale della coltivazione dei tufi da costruzione. Tesi di Laurea in Ing. Mineraria, Relatore Paolo Piga, Correlatore M., Pinzarini, Roma.
 - o Di Venanzi A., Faraoni C., Pinzarini M., Tamagnini G. (1983): " Metodi e tecnologie di coltivazione del tufo per i blocchetti da costruzione".
 - o FEDERAZIONE NAZIONALE FASCISTA INDUSTRIA MARMO GRANITO PIETRA E AFFINI - I marmi, i graniti e le pietre d'Italia. Roma 1929.
 - o Filippi, L'industria marmifera pugliese. Marmi, graniti e pietre, 136, 1984.
 - o FLORES E. - Appunti di geologia pugliese. Rass. Pugliese, Trani, 1899.
 - o G. Berta: L'impiego della miccia detonante nelle cave di pietra da decorazione. L'esplosivo strumento di lavoro. Italesplosivi, Milano 1985, 402-412.
 - o Giuliani, Siotti, Problemi di ricerca, estrazione e valorizzazione dei minerali, di II categoria, con particolare rif. Ai marmi di Orosei. Quarry and Construction, 1986, pp. 39.
 - o GONZALEZ AND WOOD - DIGITAL IMAGE PROCESSING-Prentice Hall 2002
 - o Guida Marmi, Istituto per il Commercio con l'Estero, 1972.
 - o I terrazzi delle pendici meridionali del Gargano. La

- Geografia, a.IV, nn. 4-7, pagg. 255-259, Novara,1916.
- o Le pietre ornamentali della Puglia. Marmi, pietre e graniti, a. XVI, Carrara, 1938.
 - o Le regioni geologiche e geografiche della Puglia. La geografia, a. III, nn. 3 e 4, pagg.111-116,Novara,1915.
 - o Leopoldo Pilla e la geologia. In "Memorie di commilitoni e di geologi ", raccolte da N.Marucci nel 1° centenario nella nascita di Leopoldo Pilla . Campobasso 1905.
 - o Maggiore M., Ricchetti G,& Walsh N.:"Studi geologici e tecnici sulle pietre ornamentali della Puglia. "Il Filetto rosso jonico" di Fasano , Geol. Appl. e Idrogeol. vol. XIII, Bari, 1978a.
 - o MALCANGI P. - I materiali naturali da costruzione in Puglia. Assoc. Naz. degli Ing. Ital., a. II, n.12, Bari,1924.
 - o Mannoni L. e T., Il marmo materiale e cultura . Sagep, Genova, ed 1978.
 - o Marmi, graniti e pietre dell'Italia meridionale. Marmi, pietre e graniti, Carrara, n.6, 1936 e n3, 1937.
 - o Marmologia . Dizionario dei marmi e graniti italiani ed esteri. Milano, 1966.
 - o MARTELLO B. - La Capitanata e la pietra di Apricena. Marmi, graniti,pietre, n.23, pagg.45-47, Milano, 1964.
 - o MARTINS B. - Osservazioni sulla tettonica del Gargano orientale. Boll. Serv.. Geol. Ital., vol. LXXXV, pagg. 45-93, Roma, 1964.
 - o Moretti A. & Balboni A.: "La pietra di Apricena", Camera di Comm. Ind. E Agric., Foggia,1966.
 - o MOSCHETTI A. - L'industria mineraria nell'Italia meridionale. Rass. Min.Metall.e Chim., a XXXIX,vol. LIX,n.5,Roma,1923.
 - o Note geografiche sul Gargano. Bari, 1925.
 - o Nuove osservazioni sulla formazione pliocenica di Apricena (Capitanata). Giorn. Di Sc. Nat. Ed Econ. Di Palermo, vol. XXX, pagg.265-277, Palermo, 1914.
 - o Osservazioni geologiche sul Monte Gargano. Rend. R. Acc. Lincei, S. V, vol XXVIII, fasc. 12°, 2°sem. pagg 499-502, Roma, 1919.
 - o Osservazioni geologiche sul Monte Gargano. Rend. R. Acc. Lincei, S. V, vol XXVIII, 2°sem. pagg 499-502, Roma, 1919.
 - o PASA A. - Appunti Geologici per la paleogeografia della Puglia. Mem. Di Biogeograf. Adriat., vol II, pagg.175 - 280, Padova, 1953.
 - o PENTA F. - Marmi e pietre della Puglia. Lo scultore ed il marmo, a. XXX, n.40, Milano, 1933.
 - o Penta F. (1956): " I materiali da costruzione del Lazio". La Ric. Scientifica,26,1-170.
 - o PIERI M. - I marmi d'Italia. Milano, 1964.
 - o PILLA L. - Sopra una peregrinazione geologica sul Gargano e sui marmi di quella contrada. Giornale degli atti della Soc. Econom. E Camera di Comm.di Capitanata vol. V, Foggia, 1840.
 - o Pinzari M. (1979): " Il dimensionamento di una unità produttiva di cava". Criteri e metodologia progettuale

- Marmo Macchine, 27, 45-54.
- o PINZARI M., RASPA G. - Previsione del rendimento in blocchi tramite la simulazione su computer della coltivazione e dello stato di fatturazione in cave di rocce ornamentali. Atti conv. Int. " La cava nel 2000", Carrara 29-30 gennaio 1986, ED. Grafo Print, Sarzana, 1987.
 - o Pinzari, Il dimensionamento di una unità produttiva di cava. Criteri e metodologia progettuale. Marmo macchine, n. 27, 1979, pp. 45-54.
 - o Pinzari, La gestione coordinata di più aziende nel caso di giacimento di rocce ornamentali. Atti del II conv. Naz. su " Attività estrattiva dei minerali di II categoria", Bari, gen 1985.
 - o Pinzari, Le cave: metodi di coltivazione ed impatto ambientale. Dispense di Coltivazione e Gestione delle Cave, Roma, 1987.
 - o R. Gustafsson: Swedish Blasting Technique. SPI, Gothenburg, Sweden, 1973, 172-178.
 - o RADINA B. - Marmi ornamentali e pietre della Puglia. Marmi, graniti, pietre, n.23, pagg, 10-13, Milano, 1964.
 - o Radina B., Ricchetti G. & Maggiore M.: " Aspetti applicativi dell'indagine litostratifica nella ricerca della "Pietra di Trani"", Geol. Appl. e Idrogeol. vol. VIII Bari, 1973.
 - o Radina B.: "La Pietra di Trani", Geotecnica, n.5, Milano, 1956.
 - o Relazione sulle ricerche svolte nel 1933 nel distretto minerario di Napoli. Rel. Serv. Min. a. XLIV, n.59, Roma, 1935.
 - o Relazione sulle ricerche svolte nel 1935 nel distretto minerario di Napoli. Rel. Serv. Min.e Statistica Ind. Estratt., a. XLVI, n.61, Roma, 1938.
 - o Relazione sulle ricerche svolte nel 1936 nel distretto minerario di Napoli. Rel. Serv. Min.e Statistica Ind. Estratt., a. XLVII, n.62, Roma, 1939.
 - o RICCIARDELLI M. - Sulla costituzione dei dintorni di san Severo. Boll. Serv.. Geol. Ital., vol. XVII, fasc. 3°, pagg. 165-169, Roma, 1898.
 - o SACCO F. - La Puglia . Schema geologico. Boll. Serv.. Geol. Ital., vol. XXX, PAGG.529-637, Roma, 1911.
 - o SALMOIRAGHI F. - Materiali naturali da costruzione. Milano, 1892.
 - o Sciotti m.: "La Pietra di Trani", Suppl. Rassegna dei lavori pubblici, Roma, 1968.
 - o SQUINABOL S. - Dal Fortore al Gargano. Note di escursioni. Il Rinascimento, vol. I, fasc.1°, Foggia, 1895.
 - o ZACCARA G., RAIMONDI C., MORELLI C., DICEGLIE S., COTECCHIA V.- Studio geofisico della regione pugliese. Metano a. X, n.10, Padova, 1956.
 - o Zaina, Le rocce ornamentali. Origine, Arte e industrie, 1952. La Scuola ed. Brescia.
 - o Zezza F.: "Le pietre da costruzione e ornamentali della Puglia. Caratteristiche sedimentologico-petrografiche. Proprietà fisico-meccaniche e problemi geologico-tecnici

relativi all'attività estrattiva", rassegna tecnica pugliese, Continuità, anno VII,N.3-4,1974.

- www.ing.uniroma2.it NICOLOSI & MONTELLA, appunti del corso di Tecnica ed organizzazione del cantiere, A.A. 2004/2005 Università degli Studi di Roma "Tor Vergata".
- www.dico.unimi.it FOLGIERI R., appunti del corso di Gestione e organizzazione dei progetti, A.A 2007/08 Università degli studi di Milano.
- www.videomarmoteca.it
- www.unibg.it, DIRECTORY 2004, PRIMAVERI P, 2003
- www.cat.com
- www.korfmann.it
- www.perlini.com
- www.perfora.com
- www.volvo.com
- www.mariniqg.it
- www.uri.it
- www.indeco.it
- www.pellegrini.net
- www.electroelsa.com
- www.giacominiom.com
- www.users.libero.it/sandry
- www.blogcattedra.info.it
- www.architetturadi Pietra.it