

**POLITECNICO DI TORINO**

**Facolta' di Ingegneria**

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

**TESI DI LAUREA**

**Analisi di produttivita' e sicurezza con il metodo degli spazi funzionali  
in cave di pietre ornamentali**

**RELATORI:**

**Prof. Ing. M.PINZARI**



**Prof. Ing. M.PATRUCCO**



**Candidato:**

**Lagomarsini Massimo**

**Anno accademico 1995/96**

*Ai miei Genitori*

*Si ringrazia in modo particolare, per il  
contributo allo svolgimento di questa tesi,  
l'amico Giovanni Caro titolare presso la  
Ditta Caro & Colombi  
(Carrara)*

# SOMMARIO

SCOPO DEL LAVORO	1
------------------	---

## CAPITOLO.1

### LA TECNICA PERT IL METODO DEGLI SPAZI FUNZIONALI

LA TECNICA PERT-Microsoft PROJECT	3
1.1 INTRODUZIONE	4
1.1.1 Nozioni di base per l'analisi	4
1.1.1.1. Attività elementare	4
1.1.1.2. Risorse	5
1.1.1.3. Assegnazione risorse	5
1.1.1.4. Connessione	6
1.1.1.5. Reticolo	7
1.1.1.6. Nodi e rami	7
1.1.1.7. Cammino	7
1.1.1.8. Rappresentazione di un reticolo	8
1.1.1.9. Calendari	9
1.1.1.10. Diagrammi di Gantt	9
1.1.2 Calcoli sul reticolo	10
1.1.2.1. Date minime di inizio e di ultimazione	10
1.1.2.2. Date massime di inizio e di ultimazione	10
1.1.2.3. Vincoli ulteriori	10
1.1.2.4. Slittamenti	11
1.1.2.5. Cammino critico	11
1.1.2.6. Procedura di calcolo.	12

1.1.3	Livellamento di risorse	13
1.2	ATTIVITÀ, DURATE E PRODUTTIVITÀ	15
1.2.1	Criteri di individuazione delle attività e scelta del dettaglio	15
1.2.1.1.	Il criterio della durata	15
1.2.1.2.	Il criterio della macchina principale	15
1.2.1.3.	Il criterio dell'uomo o della squadra	16
1.2.1.4.	Il criterio del volume coltivato o dell'opera	16
1.2.2	Lavoro e produttività	16
1.2.2.1	Il volume interessato dall'attività	16
1.2.2.2	La quantità di lavoro	17
1.2.2.3.	La richiesta specifica di lavoro RSL	17
1.2.2.4.	La produttività tipica di una macchina $P_t$	17
1.2.2.5.	La produttività in unità di misura omogenee	18
1.2.2.6.	La durata dell'attività	18
1.3	IL CICLO ELEMENTARE E LE CATENE DI SPAZI RISORSE CON PARTICOLARE RIFERIMENTO AD UNA ATTIVITÀ' ESTRATTIVA	19
1.3.1.	Il ciclo elementare di produzione	19
1.3.2.	La catena di risorse	20
1.3.3.	La produttività della catena di risorse	20
1.3.4.	Spazi funzionali e catena degli spazi	21
1.4	LUNGHEZZA DEL FRONTE E PRODUTTIVITÀ	23
1.4.1.	Topologia temporale degli spazi funzionali	23
1.4.2.	Condivisione degli spazi	24
1.4.3.	La produttività di una catena di risorse in una fila di catene di spazi	24
1.4.4.	La lunghezza di fronte e la massima produttività	25

## CAPITOLO.2

2.1	LA CAVA IN CUI SI E' SPERIMENTATO IL MODELLO (generalità)	27
	2.1.1 Metodo di coltivazione dell'area interessata dal presente studio	29
	2.1.2. Tipologia del materiale	30
	2.1.3. Produzione	30
2.2	PROCEDURA ISOLAMENTO BANCATA	30
	2.2.1. Analisi dettagliata delle singole operazioni	31
	2.2.1.1.Taglio di base	31
	2.2.1.2.Perforazione al monte (pulizia sotto bancata)	32
	2.2.1.3.Taglio al monte	34
	2.2.1.4.Taglio laterale	35
	2.2.1.5.Ribaltamento bancata	37
	2.2.1.6.1. Suddivisione bancata dopo ribaltamento	40
	2.2.1.6.2 Riepilogo e calcoli specifici operazione ritagli	46
2.3	EDUZIONE-UTILIZZO ACQUA	47
2.4	ESTRAZIONE-TRASPORTI	48
2.5	MACCHINE	50

## CAPITOLO.3

### APPLICAZIONE METODO DEGLI SPAZI FUNZIONALI E TECNICA PERT NELLA CAVA STUDIATA

3.1	IPOTESI AVANZAMENTO COLTIVAZIONI FUTURE	53
	3.1.1. Risorse di base (livelli A, B e C)	56
	3.1.2. Un tipico ciclo di produzione attuato nella cava	56
	3.1.3.Ciclo elementare di produzione	60

3.2	IL METODO DEGLI SPAZI FUNZIONALI	63
3.2.1.	Spazi funzionali attività	64
3.2.2.	Catena di spazi	68
3.2.3.	Mappa presenze	69
3.2.4.	Matrice del grado di condivisione	71
3.2.5	Sfalsamento bancate	74
3.2.6	Mappa presenze (produttività massima)	75
3.4	TECNICA PERT (Gestione delle risorse)	76
3.4.1.	Introduzione generale	76
3.4.2.	Gestione sequenziale dei cicli	77
3.4.3	Approfondimento attività di ritaglio	78
3.4.4.	Gestione <i>in parallelo</i> dei cicli	83
	Osservazioni su colonna ricavi (**)	89
3.5	CONSIDERAZIONI FINALI	91

#### CAPITOLO.4

#### SICUREZZA E SALUBRITA' DEL POSTO DI LAVORO: APPROCCIO AL PROBLEMA CON IL METODO DEGLI SPAZI FUNZIONALI

4.1	Problematiche tipiche delle attività estrattiva	94
4.2	CADUTA MATERIALE DALL'ALTO	97
4.3	MACCCHINA A FILO DIAMANTATO (PROIEZIONE PERLINE - FRUSTATA FILO)	105
4.4	RUMORE	117
4.4.1	Nozioni di base sulla tematica rumore	117
4.4.2	Esempio applicativo	121

FOTOGRAFIE	Pagina
1	28
2	28
3	33
4	33
5	36
6	36
7	38
8	39
9	41
10	41
11	43
12	44
13	44
14	45
15	49
16	49
17	50
18	52
19	54
20	55
21	55
F1	100
F2	100
F3	101
F4	101
F5	102
F6	102
F7	103
F8	103
F9	104
F10	104
F11	104 bis
F12	104 bis

NUMERO TABELLE	Pagina
1	42
2	45
3	57
4	60
5	73
6	78
7	85
8	87
9	88
10	94

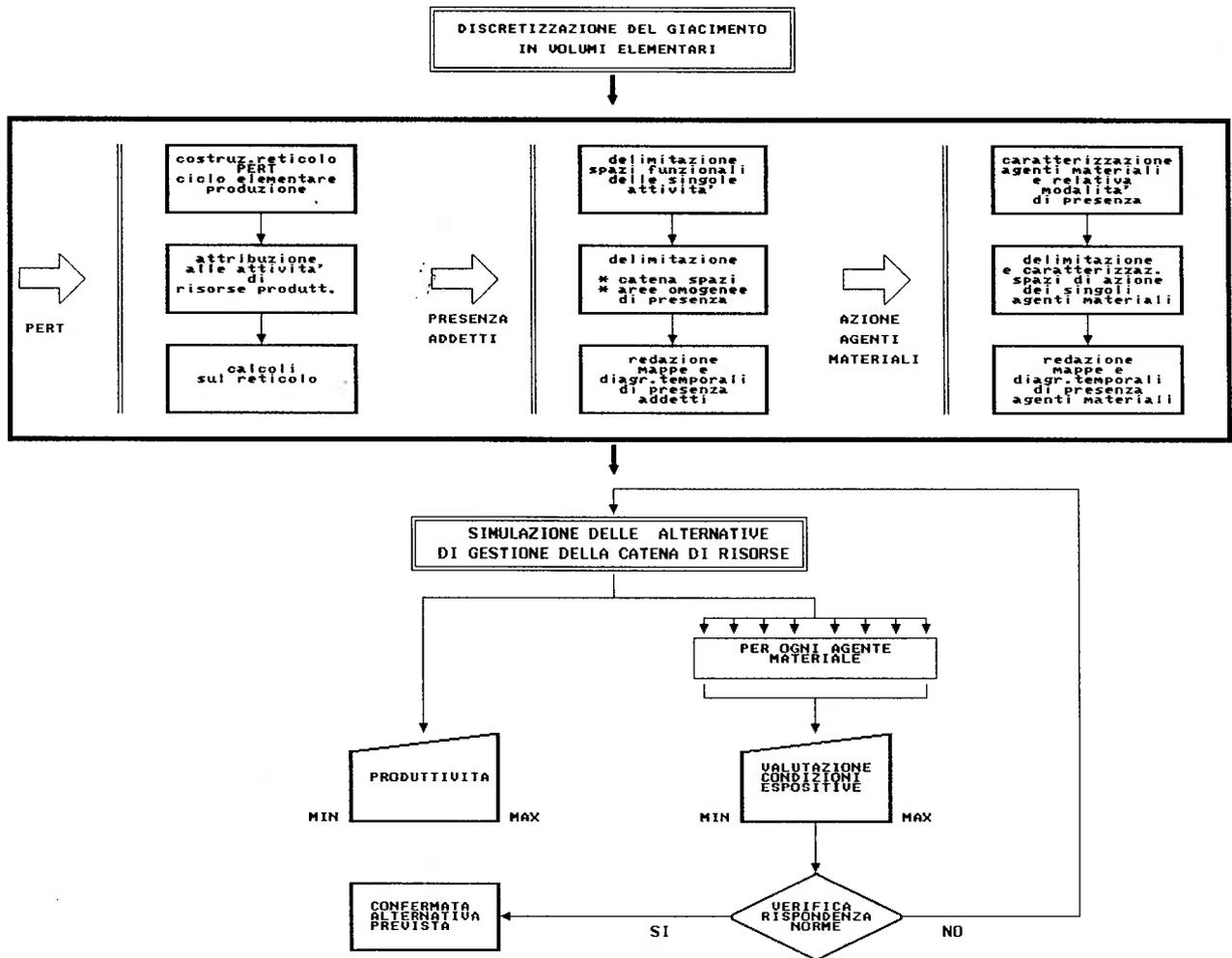
NUMERO FIGURE	Pagina
1	segue pagina 53
2	segue pagina 53
3	segue pagina 53
4	segue pagina 53
5	72
6 e 7	81
8	82
9	107
10	108
11	110
12	111
13	112
14	114
15	115
17	120
18	122

PIANTA 1	segue pagina 27
PIANTA 2	segue pagina 97

RAPPRESENTAZIONE 1	segue pagina 27
RAPPRESENTAZIONE 2	segue pagina 121

# SCOPO DEL LAVORO

## Ottimizzazione di un processo di coltivazione



Lo scopo del lavoro svolto nella tesi è, la verifica della possibilità di utilizzo di un metodo previsionale, basato sulla tecnica PERT, per l'ottimizzazione di un ciclo produttivo nel caso di una cava di pietre ornamentali; in seguito, ci si prefigge di analizzare la compatibilità del metodo degli spazi funzionali con la valutazione dei tempi di esposizione degli addetti ad agenti potenzialmente a rischio.

Nello svolgimento della prima parte (ottimizzazione) si parte da due presupposti fondamentali:

- la gestione delle risorse disponibili
- la gestione degli spazi disponibili.

Il termine ottimizzazione assume quindi il significato di utilizzare al meglio i due parametri appena citati.

La gestione delle risorse viene seguita con la tecnica PERT, la gestione degli spazi viene affrontata invece con il metodo degli spazi funzionali.

Lo scopo finale, è quello di evidenziare i profitti conseguiti dal passaggio da un ciclo produttivo gestito *sequenzialmente* ad uno *in parallelo*.

Nella seconda parte (capitolo 4) si utilizza nuovamente il metodo degli spazi funzionali, e tramite gli "indici di presenza" si prova a risalire ad un tempo di esposizione addetti agli agenti esterni (rumore, caduta oggetti dall'alto, perline diamantate...).

Suddivisione capitoli:

- Capitolo 1.**     TECNICA PERT / IL METODO DEGLI SPAZI FUNZIONALI
- Capitolo 2.**     LA CAVA IN CUI SI E' SPERIMENTATO IL MODELLO  
                    (generalità)
- Capitolo 3.**     APPLICAZIONE DELLA TECNICA PERT E DEL METODO DEGLI  
                    SPAZI FUNZIONALI ALLA CAVA STUDIATA
- Capitolo 4.**     ANALISI DI SICUREZZA

## **LA TECNICA PERT ( Program evaluation review technique)**

La tecnica PERT consente, tramite rappresentazione grafica, una visualizzazione della programmazione di un progetto, utilizzando le relazioni di dipendenza tra le attività. Le attività vengono rappresentate da caselle, dette nodi, e le relazioni fra di esse da linee che collegano i nodi. Per creare una programmazione del Diagramma PERT, si crea una serie di nodi e si specificano le relazioni fra le diverse attività; per modificare tale programmazione è sufficiente cambiare la disposizione dei nodi e ricollegarli in modo da rispecchiare le nuove relazioni fra le attività.

La programmazione secondo questo criterio, permette l'analisi e la gestione di un progetto in maniera chiara e immediata, non solo, aggiornando regolarmente la programmazione e quindi mettendola a confronto con le previsioni iniziali, si riesce a valutare immediatamente quali attività presentano ritardo, quali sono slittate e quali sono iniziate o finite in anticipo. Questo procedimento, detto *verifica dello stato di avanzamento dei lavori*, è lo strumento chiave per l'utilizzo della tecnica PERT e serve a prevenire e correggere in modo immediato eventuali problemi di programmazione.

### **Microsoft PROJECT**

Il sistema di pianificazione di progetti Microsoft Project fornisce una serie di strumenti che facilitano il compito di programmare le attività, organizzare le risorse, controllare i costi e produrre relazioni; tra le diverse opzioni disponibili vi è anche la tecnica PERT. Microsoft Project rende la gestione dei progetti molto semplice, grazie alla interattività dei diagrammi e alle visualizzazioni disponibili. Per questo motivo lo si utilizza come software per lo studio e la verifica di quanto detto sinora.

# CAPITOLO.1

## 1.1 INTRODUZIONE

In questo capitolo introduttivo si riportano: nella prima parte, gli elementi base che intervengono nella tecnica PERT, sia in generale che nella versione software Microsoft, nella seconda parte, la teoria degli spazi funzionali; entrambe le cose vengono spiegate in maniera dettagliata per avere poi una comprensione più immediata dell'applicazione di entrambe, svolta nel terzo capitolo. Nella tabella e nei paragrafi seguenti le parti riguardanti il software Microsoft Project ( sigla: M.p) vengono riportate in corsivo.

### 1.1.1 Nozioni di base per l'analisi

1.1.1.1. Attività elementare	
<b>Def.</b>	Per attività elementare si intende una qualsiasi operazione caratterizzata da un inizio e una fine e quindi da una durata.
<b>Altro</b>	Generalmente l'esecuzione di un'attività implica la utilizzazione di risorse, ma non necessariamente: sono ad esempio attività la perforazione, il caricamento ed il taglio, ma anche lo sfumo di una galleria, ovvero l'attesa che avvenga un evento naturale.
<b>M.p</b>	<i>M.p consente la visualizzazione di attività principali (o di riepilogo) e di sub-attività sino al dettaglio voluto dal progettista.</i>

### 1.1.1.2.Risorse

<b>Def.</b>	Mezzo umano o tecnologico necessario per lo svolgimento di una o più attività elementari.
<b>Altro</b>	-
<b>M.P</b>	<p><i>L'Elenco risorse di M.p visualizza su righe e colonne le informazioni su ciascuna risorsa del progetto. Il formato di questa visualizzazione, simile ad un foglio di calcolo, rende particolarmente semplice l'immissione, la modifica, l'ordinamento o il filtraggio delle informazioni sulle risorse.</i></p> <p><i>Inizialmente l'Elenco risorse presenta la tabella Immissione costituita da colonne per specificare le informazioni sulle risorse e per la verifica dei costi. Applicando all'elenco altre tabelle delle risorse, si potranno visualizzare le colonne per la visualizzazione o immissione di informazioni riferite sul costo, l'uso o il lavoro.</i></p> <p><i>Un'ulteriore criterio di analisi delle risorse disponibili è il Diagramma risorse, una rappresentazione grafica dell'utilizzo delle risorse nel tempo. Possono essere visualizzati, in tal maniera, diversi tipi di informazione, assegnazione, la disponibilità, il costo e il costo cumulativo delle risorse. E' possibile inoltre visualizzare informazioni riferite ad una singola risorsa, ad un gruppo di risorse, o ad entrambe le cose.</i></p>

### 1.1.1.3.Assegnazione risorse

<b>Def.</b>	L'assegnazione risorse è il processo con cui si specificano le risorse necessarie a ciascuna attività del progetto: persone, macchinari e forniture.
<b>Altro</b>	Utilizzando una programmazione basata sulle risorse, l'assegnazione di queste può avere conseguenze sui tempi di completamento di alcune attività.
<b>M.p</b>	<p><i>Sulla base delle risorse M.p è in grado di calcolare il costo e il lavoro delle risorse stesse, delle attività e del progetto.</i></p> <p><i>Una risorsa può essere assegnata ad un numero illimitato di attività, anche se questo può comportare un'assegnazione di lavoro che eccede la capacità della risorsa stessa. E' quindi possibile suddividere quotidianamente il tempo di una singola risorsa fra attività o progetti diversi; normalmente M.p assegna ad una risorsa per una certa attività la quantità 1 (100%), si può invece assegnare per quella attività il valore 0,25 così facendo si assegna il 25% della giornata lavorativa di una risorsa a quella specifica attività.</i></p>

### 1.1.1.4. Connessione

<b>Def.</b>	La connessione indica l'ordine di esecuzione temporale delle attività e collega la precedente alla seguente.																								
<b>Altro</b>	Le connessioni possono essere totali o parziali, le attività programmate possono essere collegate da vari tipi di relazioni, il caso più semplice è rappresentato da un'attività che non può iniziare prima del termine dell'altra; non è possibile, ad esempio, iniziare a costruire finché non si sono completati i progetti e preparato il cantiere.																								
<b>M.p</b>	<p><i>M.p consente di impostare le relazioni tra le attività, note anche come relazioni di dipendenza o precedenza, in modo che l'inizio o la fine di un'attività dipenda dall'inizio o dalla fine di un'altra. Un'attività che deve iniziare o finire prima che possa iniziare un'altra viene chiamata <u>predecessore</u>, mentre un'attività che può iniziare o finire soltanto dopo un'altra viene chiamata <u>successore</u>.</i></p> <p><i>M.p prevede inoltre relazioni di tipo Fine-Fine, Inizio-Inizio e Inizio-Fine e consente di specificare tempi di anticipo (sovrapposizione) o di ritardo, in modo da riprodurre esattamente le effettive relazioni tra le attività.</i></p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Relazione</th> <th>Barre di Gantt</th> <th>Descrizione</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fine-Inizio</td> <td>           Attività A <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>I</td><td>F</td></tr></table>            Attività B <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>I</td><td>F</td></tr></table> </td> <td>Attività che può iniziare quando finisce il predecessore</td> </tr> <tr> <td>Inizio-Fine</td> <td>           Attività A <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>I</td><td>F</td></tr></table>            Attività B <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>I</td><td>F</td></tr></table> </td> <td>Attività che può iniziare quando inizia il predecessore</td> </tr> <tr> <td>Fine-Fine</td> <td>           Attività A <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>I</td><td>F</td></tr></table>            Attività B <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>I</td><td>F</td></tr></table> </td> <td>Attività che può finire quando finisce il predecessore</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>In una relazione Fine-Inizio può essere quindi previsto un intervallo, denominato <u>tempo di ritardo</u>, il tempo di ritardo ( o anche di anticipo) può essere espresso in minuti, ore, oppure in percentuale della durata del predecessore, in una cava, ad esempio, la perforazione verticale della bancata non può cominciare sino a quando il braccio della tagliatrice a catena non si è spostato dalla zona sottostante.</i></p>	Relazione	Barre di Gantt	Descrizione	Fine-Inizio	Attività A <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>I</td><td>F</td></tr></table> Attività B <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>I</td><td>F</td></tr></table>	I	F	I	F	Attività che può iniziare quando finisce il predecessore	Inizio-Fine	Attività A <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>I</td><td>F</td></tr></table> Attività B <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>I</td><td>F</td></tr></table>	I	F	I	F	Attività che può iniziare quando inizia il predecessore	Fine-Fine	Attività A <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>I</td><td>F</td></tr></table> Attività B <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>I</td><td>F</td></tr></table>	I	F	I	F	Attività che può finire quando finisce il predecessore
Relazione	Barre di Gantt	Descrizione																							
Fine-Inizio	Attività A <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>I</td><td>F</td></tr></table> Attività B <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>I</td><td>F</td></tr></table>	I	F	I	F	Attività che può iniziare quando finisce il predecessore																			
I	F																								
I	F																								
Inizio-Fine	Attività A <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>I</td><td>F</td></tr></table> Attività B <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>I</td><td>F</td></tr></table>	I	F	I	F	Attività che può iniziare quando inizia il predecessore																			
I	F																								
I	F																								
Fine-Fine	Attività A <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>I</td><td>F</td></tr></table> Attività B <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>I</td><td>F</td></tr></table>	I	F	I	F	Attività che può finire quando finisce il predecessore																			
I	F																								
I	F																								

<b>1.1.1.5.Reticolo</b>	
<b>Def.</b>	Un reticolo è un insieme connesso di due o più attività caratterizzato da un unico senso di esecuzione.
<b>Altro</b>	Un reticolo può avere una o più attività iniziali, ovvero senza attività precedenti, ed una o più attività finali, ovvero senza attività seguenti. Per completare il processo produttivo o costruttivo rappresentato dal reticolo devono essere realizzate tutte le attività del reticolo, ovvero un reticolo non può rappresentare alternative diverse dello stesso processo. Esso non può contenere loop, ovvero ciascuna attività viene eseguita una ed una sola volta.
<b>M.p</b>	-

<b>1.1.1.6.Nodi e rami</b>	
<b>Def.</b>	Un nodo è un'attività nella quale convergono o dalla quale si dipartono almeno due connessioni. Un ramo è l'insieme di attività connesse comprese tra due nodi.
<b>Altro e M.p</b>	-

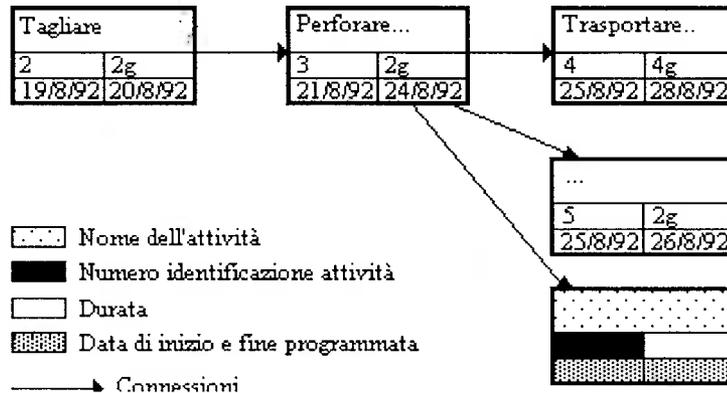
<b>1.1.1.7.Cammino</b>	
<b>Def.</b>	Un cammino è un insieme di attività connesse in sequenza temporale di esecuzione a partire da un'attività iniziale ed a finire con un'attività finale. La durata di un cammino è pari alla somma delle durate delle attività componenti.
<b>Altro</b>	La durata di un cammino è pari alla somma delle durate delle attività componenti. I cammini sono sempre aperti, un cammino chiuso infatti è un loop di durata infinita.
<b>M.p</b>	-

### 1.1.1.8. Rappresentazione di un reticolo (Diagramma PERT)

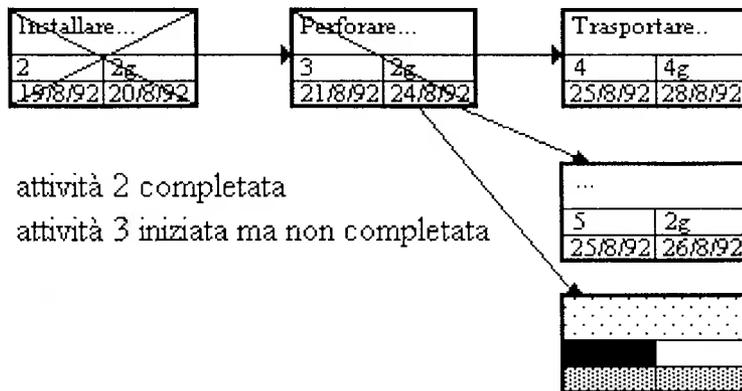
**Def.** Il reticolo o diagramma PERT è una visualizzazione grafica della programmazione del progetto che mostra le relazioni di dipendenza fra le attività.

**Altro** -

**M.p** Nel M.p i nodi del reticolo possono essere personalizzati cambiando le dimensioni e colore, nonché stile del testo e dei bordi. Si può anche cambiare la disposizione dei campi di informazioni presenti nei nodi.



M.p oltre a consentire l'impostazione di un certo progetto consente giorno per giorno l'aggiornamento con l'effettiva esecuzione delle operazioni programmate, i nodi PERT indicano quindi se un'attività è in corso o se è già stata completata. Le operazioni in corso presentano un segno di progressione diagonale, quelle terminate due.



Una ulteriore possibilità, se si lavora con un progetto di grandi dimensioni e con molte attività collegate tra loro, è quella di visualizzare il Diagramma PERT dell'attività che mostra i soli predecessori e successori immediati dell'attività selezionata.

<b>1.1.1.9. Calendari</b>	
<b>Def.</b>	I calendari specificano le ore ed i giorni lavorativi di un intero progetto, di gruppi di risorse e di risorse singole.
<b>Altro</b>	-
<b>M.p</b>	<i>Per la programmazione delle attività e del progetto, M.p utilizza i calendari creati dall'utente e si avvale di ulteriori informazioni, quali le relazioni tra le attività. Esistono due tipi di calendari: i calendari di base e i calendari delle risorse. Il calendario di base specifica le ore, i giorni lavorativi e non lavorativi normali e le eccezioni, ad esempio le festività, che interessano il progetto o un gruppo di risorse. Il calendario delle risorse contiene le ore, i giorni lavorativi e non lavorativi normali e le singole eccezioni, ad esempio le ferie, part-time o straordinari, relativi alla singola risorsa.</i>

<b>1.1.1.10. Diagrammi di Gantt</b>	
<b>Def.</b>	Il diagramma di Gantt è una visualizzazione grafica della programmazione del progetto. Consiste di una tabella che elenca le informazioni sulle singole attività e di un diagramma a barre visualizzato su una scala cronologica che mostra la durata e le date di inizio e fine delle attività.
<b>Altro</b>	-
<b>M.p</b>	<i>I diversi motivi, simboli e colori che caratterizzano le barre del Diagramma di Gantt nel programma M.p rappresentano i diversi tipi di attività, quali le attività critiche, le attività cardine o le attività di riepilogo.</i>

## 1.1.2 Calcoli sul reticolo

I calcoli sul reticolo consistono nella valutazione per ciascuna attività  $A_n$  di:

- $dinim(A_n)$  data minima di inizio;
- $dunim(A_n)$  data minima di ultimazione;
- $dimax(A_n)$  data massima di inizio;
- $dumax(A_n)$  data massima di ultimazione;
- $sa(A_n)$  slittamento dell'attività  $A_n$ ;
- $sr(A_n, A_{n+1}, A_{n+2}, \dots, A_m)$  slittamento del ramo  $A_n, A_{n+1}, A_{n+2}, \dots, A_m$ ;

ed inoltre

- individuazione dei cammini critici;
- calcolo della data di ultimazione del progetto.

### 1.1.2.1. Date minime di inizio e di ultimazione

Le date minime di inizio  $dinim(A_n)$  e di ultimazione  $dunim(A_n)$  di un'attività, indicano la data minima nella quale l'attività può iniziare e terminare senza alcuna ripercussione sulla durata di esecuzione del progetto.

### 1.1.2.2. Date massime di inizio e di ultimazione

Le date massime di inizio  $dimax(A_n)$  e di ultimazione  $dumax(A_n)$  di un'attività sono le date massime alle quali l'attività può iniziare e terminare senza alcuna ripercussione sulla durata di esecuzione del progetto.

### 1.1.2.3. Vincoli ulteriori

*Le date viste nei paragrafi precedenti possono essere espresse, in modo ancora più preciso in M.p., utilizzando una serie di ulteriori vincoli.*

*Impostando un vincolo si può fare in modo che l'inizio o la fine di un'attività siano legati ad una data specifica. Tale operazione risulta utile se la programmazione deve tenere conto di alcuni fattori esterni, ad esempio la disponibilità di attrezzature o delle risorse, oppure di limiti temporali, quali scadenze, eventi cardine di contratto o così via.*

*I vincoli permettono di mettere delle restrizioni sul modo in cui M.p calcola le date di inizio e di fine delle attività, in modo tale che la programmazione rifletta la situazione contingente. Complessivamente sono proposti otto tipi di vincoli:*

- *il più tardi possibile*
- *il più presto possibile*
- *finire non prima del*
- *finire non oltre il*
- *deve finire il*
- *deve iniziare il*
- *iniziare non prima del*
- *iniziare non oltre il.*

*Le attività con i primi due vincoli dell'elenco non sono legate ad una data specifica, ma sono programmate sulla base delle relazioni tra i predecessori ed i successori, ed il margine di flessibilità. Gli altri tipi di vincolo richiedono invece l'immissione di una data che controlli l'inizio o la fine dell'attività.*

Per semplicità, nei calcoli successivi si utilizzeranno le sole notazioni già visualizzate nel paragrafo 1.1.2.

#### **1.1.2.4. Slittamenti**

Lo slittamento è l'intervallo di tempo di cui si può ritardare l'esecuzione di un'attività senza ritardare la esecuzione del progetto.

Abbiamo due tipi di slittamento: slittamento  $sa(A_n)$  di un'attività ed  $sr(A_n)$  del ramo.

Quando un'attività è l'unica componente di un ramo lo slittamento può essere utilizzato da essa e solo da essa; in tal caso lo slittamento  $sa(A_n)$  è detto proprio dell'attività.

Se nel ramo vi sono più attività lo slittamento  $sr(A_n)$  è utilizzabile del tutto o in parte dalle attività del ramo; in ogni caso, la somma dei tempi utilizzati dalle attività del ramo, non possono superare lo slittamento totale senza modificare i tempi di esecuzione del progetto.

Gli slittamenti possono essere utilizzati per ottimizzare l'utilizzazione delle risorse, mediante la tecnica del livellamento (1.1.3).

#### **1.1.2.5. Cammino critico**

Un cammino è detto critico se la sua durata è uguale alla durata prevista per l'esecuzione del progetto; se la durata è maggiore il cammino è detto ipercritico, se invece è minore è detto non critico o subcritico.

Un cammino critico ha una durata maggiore di ogni altro cammino del reticolo. Le sue attività non hanno alcun slittamento.

Ogni ritardo nella esecuzione delle attività del cammino critico comporta un pari ritardo nella esecuzione del progetto.

Ogni accelerazione nella esecuzione delle attività di un cammino critico non comporta necessariamente un'accelerazione del progetto.

Ogni reticolo può avere nessuno, uno o più cammini critici; l'intero reticolo può essere critico.

#### 1.1.2.6. Procedura di calcolo.

Il calcolo delle date minima di inizio  $dinim(A_n)$  e di ultimazione  $dunim(A_n)$  si esegue procedendo dall'attività iniziale all'attività finale del reticolo ovvero, con le convenzioni adottate, operando da sinistra verso destra.

Un reticolo può avere diverse attività di inizio e di ultimazione; a ciascuna di queste attività possono essere associate date di inizio e di ultimazione prefissate.

La data minima di ultimazione  $dunim(A_n)$  di un'attività si ottiene sommando alla  $dinim(A_n)$  la sua durata  $d(A_n)$ .

- $dunim(A_n) = dinim(A_n) + d(A_n)$

La  $dunim(A_n)$  di un'attività diventa la  $dinim(A_n)$  delle attività seguenti. Se un'attività è preceduta da più attività la sua  $dinim(A_n)$  è pari alla maggiore delle  $dunim(A_n)$  delle attività precedenti.

- $dinim(A_n) = \max(dunim(A_{n-1}))$

Il calcolo delle date massime di inizio  $dimax(A_n)$  e di ultimazione  $dumax(A_n)$  si esegue procedendo dall'attività finale all'attività iniziale del reticolo, ovvero, con le convenzioni adottate, operando da destra verso sinistra.

Si assumono quali date massime di ultimazione delle attività finali le date di ultimazione del progetto.

La data massima di inizio di un'attività si ottiene sottraendo alla  $dumax(A_n)$  la sua durata.

- $dimax(A_n) = dumax(A_n) - d(A_n)$

Se un'attività ha diverse attività seguenti la sua  $dumax(A_n)$  è pari alla minore delle  $dimax$  di quelle attività.

- $dumax(A_n) = \min(dimax)$

Completati i calcoli per tutte le attività si ottengono per ciascuna di esse quattro date. Quando esse rispondono alla relazione:

- $dumax(A_n) = dunim(A_n) = dimax(A_n) + d(A_n) = dinim(A_n) + d(A_n)$

si è in presenza di un'attività critica e se esiste un'attività critica esiste un cammino critico. Se la uguaglianza non è vera si è in presenza di uno slittamento ed il suo valore è dato dalla differenza tra le date massime e minime di ultimazione o inizio

- $sa(A_n) = dimax(A_n) - dinim(A_n) = dumax(A_n) - dinim(A_n)$

e tutte le attività componenti un ramo presentano lo stesso slittamento ovvero

- $sr(A_n) = sa(A_n)$ .

### 1.1.3 Livellamento di risorse

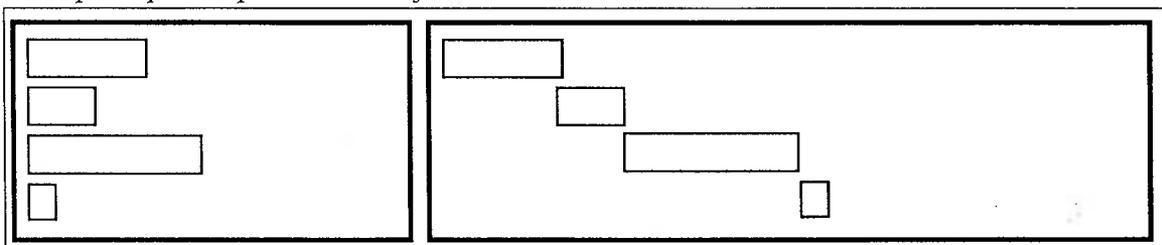
Quando si assegnano le risorse alle attività, può capitare di affidare ad alcune un lavoro che eccede la loro disponibilità. In questo caso si dice che le risorse sono sovrassegnate. Se in fase di progettazione ciò si verifica, M.p. visualizza automaticamente un messaggio nella barra di stato, consigliando di livellare la risorsa sovrassegnata.

Il livellamento di risorse è il procedimento con cui si risolve la sovrassegnazione di una risorsa, ritardando le date di inizio di alcune delle attività a cui è stata assegnata.

M.p. lascia al progettista la possibilità di scegliere come livellare le risorse. E' possibile, infatti, dare la priorità ad alcune attività per specificare quali possono essere ritardate per prime e quali, invece, devono rispettare la programmazione corrente, oppure, scegliere se livellare tutte le risorse o solo quelle selezionate. E' possibile, inoltre, specificare se il livellamento può comportare o meno lo slittamento della data di conclusione del progetto.

Quando analizza la programmazione per stabilire quali attività ritardare, M.p. utilizza una procedura standard di livellamento che si basa sul controllo sia delle relazioni fra l'attività ed i predecessori, che dal margine di flessibilità delle date, delle priorità e dei vincoli delle attività.

Il livellamento quindi non è altro che un insieme di istruzioni che si avvalgono di criteri fissi per stabilire quale attività ritardare per risolvere il conflitto. Lo stesso procedimento viene poi ripetuto per tutti i conflitti.



Le quattro attività nell'illustrazione vengono eseguite dalla stessa risorsa, dato che i tempi programmati per ciascuna in parte coincidono, la risorsa in questione risulta sovrassegnata. Dopo il livellamento, tre delle quattro attività sono state ritardate; in questo modo, la tal risorsa non risulta più sovrassegnata.

*Come puntualizzato, M.p. per livellare si basa su criteri fissi e ,nonostante la flessibilità della procedura, può accadere che il risultato finale ottenuto non sia totalmente soddisfacente. Il programma, infatti, non può tenere conto di tutte le piccole sfumature di organizzazione, e pertanto, è sempre consigliabile rivedere le modifiche apportate da M.p. durante il livellamento.*

*Questo metodo di livellamento automatico quindi, non può sostituirsi al responsabile del progetto in tutte le decisioni. Non può, ad esempio, sostituire una risorsa di un'attività sovrassegnata, cambiare le unità di risorsa assegnate ad un'attività o modificare la durata di un'attività.*

*Come conseguenza immediata di queste osservazioni tra le varie opzioni di M.p. c'è quella del livellamento manuale eseguito direttamente dall'utente, operazione facilitata dalla presenza di un pratico comando per la ricerca veloce delle attività sovrassegnate.*

## **1.2 ATTIVITÀ, DURATE E PRODUTTIVITÀ**

### **1.2.1 Criteri di individuazione delle attività e scelta del dettaglio**

La costruzione di un reticolo PERT, come si vedrà nel capitolo successivo, riferito allo specifico caso aziendale, richiede preliminarmente la descrizione del progetto, ovvero una relazione nella quale vengono elencate e descritte le attività principali, la loro sequenza logica, le risorse previste e così via. In generale e specialmente nei processi meno complessi, tale fase può essere superata partendo direttamente dalla identificazione delle attività principali ed arricchendo via via il reticolo attraverso la connessione delle altre attività. Nella progettazione di una cava, la descrizione del reticolo viene accompagnata dalla esecuzione di fotografie o schizzi progettuali.

Il progettista, deve inizialmente definire il livello di dettaglio della rappresentazione ed il criterio di individuazione delle attività, tenendo comunque presente il principio di carattere generale di costruzione del reticolo ovvero che le durate delle attività devono essere dello stesso ordine di grandezza.

Nella pianificazione della coltivazione le attività descrivono i lavori interessanti grandi volumi progettuali e le durate andranno da qualche mese all'anno; nella organizzazione del cantiere sono dell'ordine dell'ora.

Per la identificazione delle attività possono essere adottati diversi criteri:

- la durata;
- la macchina principale;
- l'operatore o la squadra;
- il volume coltivato o l'opera.

#### **1.2.1.1. Il criterio della durata**

E' il criterio più adottato in generale e, in particolare, nel caso di questa tesi. Può essere utilizzato per rappresentare il progetto a qualsiasi scala e gli altri criteri vengono quasi sempre integrati con esso. Le singole attività vengono individuate a partire dalla descrizione preliminare e, definite, in modo da avere durate dello stesso ordine di grandezza.

#### **1.2.1.2. Il criterio della macchina principale**

Le attività vengono individuate sulla base delle tecnologie principali utilizzate (ad esempio la perforatrice  $\Rightarrow$  perforazione; la pala gommata caricatrice  $\Rightarrow$  il caricamento e così via). Le

altre attività non caratterizzabili con una tecnologia, ove non richiedano tempi di esecuzione dello stesso ordine di grandezza, vengono inglobate in esse.

Tale criterio è particolarmente indicato nella rappresentazione dei cicli elementari di produzione ma non è di norma attuabile nei progetti a grande scala.

#### **1.2.1.3. Il criterio dell'uomo o della squadra**

Le attività vengono individuate in base agli addetti siano essi singole unità o squadre; è poco adottato, benché utilizzabile per qualsiasi scala di rappresentazione.

#### **1.2.1.4. Il criterio del volume coltivato o dell'opera**

Viene adottato unicamente per rappresentare la pianificazione della coltivazione della cava: le attività sono macroattività che rappresentano la coltivazione di un volume progettuale della cava (es.coltivazione della platea, del pannello...)o la realizzazione di un'opera a servizio (es.costruzione di una rampa, apertura di un piazzale...)

### **1.2.2 Lavoro e produttività**

#### **1.2.2.1 Il volume interessato dall'attività**

Ciascuna attività della coltivazione è sempre riferibile ad un determinato volume progettuale della cava. Nella maggior parte dei casi l'attribuzione è immediata (es.l'abbattimento di una volata, l'isolamento di una bancata...) dal momento che la lavorazione interessa direttamente il volume, in altri casi è indiretta perché si riferisce ad un'attività di servizio o ad uno o più volumi progettuali (es.costruzione di una pista per accedere ad una platea, scopertura di un lotto di coltivazione...).

Nel ciclo elementare di coltivazione il volume interessato dall'attività è di norma il volume elementare di coltivazione (es. la volata, la bancata, la strisciata, la bennata...) o il suo immediato multiplo nell'ordinazione gerarchica dei volumi (es. il pannello).

In ogni caso, qualunque sia l'attività, occorre identificare il volume di pertinenza, anche per l'attribuzione, e quindi per l'ottimizzazione del processo, dei costi.

### **1.2.2.2. La quantità di lavoro**

Qualsiasi operazione può essere espressa attraverso unità di lavoro che, nella maggior parte dei casi, sono quelle tipiche delle macchine impiegate nell'attività e sono esprimibili in unità di misura tipiche: il lavoro della perforazione è il foro e l'unità di misura è il metro; il lavoro dell'isolamento di una bancata è la superficie di taglio e l'unità di misura è il metro quadrato; il lavoro di una gru è il sollevamento di un blocco e l'unità di misura è il numero. In ogni attività è possibile definire le quantità di lavoro che devono essere realizzate per il suo completamento.

### **1.2.2.3. La Richiesta Specifica di Lavoro RSL**

La richiesta specifica di lavoro di un'attività RSL ( $A_n$ ) è il rapporto tra la quantità di lavoro  $L(A_n)$  da svolgere per completare l'attività ed il volume di interesse dell'attività  $V(A_n)$ : essa, a parità di tecnologia utilizzata, è tipica della tecnica d'uso e della roccia coltivata.

### **1.2.2.4. La produttività tipica di una macchina $P_t$**

Dal punto di vista del lavoro che una macchina può svolgere possiamo operare una distinzione preliminare in macchine specializzate, multifunzione e versatili.

Di norma le macchine specializzate possono svolgere un solo tipo di lavoro, le multifunzione più tipi di lavoro, mentre le versatili, pur svolgendo prevalentemente alcuni lavori, possono eseguirne anche altri, ma con scarsa produttività.

Esempi tipici di macchine specializzate sono la tagliatrice a filo diamantato e la perforatrice; multifunzione è invece il bulldozer attrezzato con ripper; caratteristiche di versatilità presenta l'escavatore a braccio rovescio, giacché può svolgere diverse funzioni proprie della macchina, ma anche funzioni improprie quali il ribaltamento bancata o, in generale, il sollevamento senza incorrere in funzioni pericolose e quindi vietate.

In linea generale, trattando della produttività tipica di una macchina, occorre pertanto fare riferimento ad una sua funzione di lavoro: la perforatrice effettua fori e la sua produttività si esprime in m/h, la tagliatrice a filo diamantato effettua tagli e la sua produttività si esprime in  $m^2/h$ .

Quando una macchina opera, oltre al lavoro principale, vengono svolti lavori secondari di servizio che implicano la sospensione temporanea della lavorazione specifica; il tempo impiegato in tali attività di servizio comporta una riduzione della produttività effettiva della

macchina con la conseguente introduzione di tempi morti ai fini produttivi. E' utile pertanto distinguere la produttività teorica, che esclude i tempi morti, dalla produttività pratica, detta anche commerciale, che ne tiene invece conto.

#### **1.2.2.5. La produttività in unità di misura omogenee (ovvero di una macchina in un ciclo elementare)**

Il coordinamento delle diverse attività nel reticolo richiede la comparazione delle produttività di diverse attività e quindi di diverse macchine; è necessario pertanto esprimere la produttività in un'unica unità di misura che, nelle cave è il metro cubo, la tonnellata ed a volte, il quintale.

La produttività in unità omogenee  $P_0(A_n)$  è pari al rapporto tra la produttività delle risorse espressa in unità di lavoro tipiche della macchina  $P_t(A_n)$  e la richiesta specifica di lavoro dell'attività  $RSL(A_n)$ .

Nel caso di una perforazione avremo:

- $RSL(A_n) = F(A_n) / V(A_n) \Rightarrow m / m^3$

dove  $F(A_n)$  è la lunghezza totale dei fori da mina da eseguire nel volume  $V(A_n)$ .

Detta  $P_t(A_n)$  la produttività delle macchine utilizzate nella perforazione, espressa in unità tipiche, la produttività dell'attività in unità omogenee è data dalla:

- $P_0(A_n) = P_t(A_n) / RSL(A_n) \Rightarrow (m/h) / (m / m^3) \Rightarrow m^3 / h$

#### **1.2.2.6. La durata dell'attività**

La durata di un'attività  $d(A_n)$  è il tempo minimo necessario per il suo completamento. Essa dipende dalla quantità di lavoro da svolgere e dalla produttività delle risorse impiegate.

- $d(A_n) = L(A_n) / P_t(A_n) = V(A_n) / P_0(A_n) = (V(A_n) \cdot RSL(A_n)) / P_t(A_n) \Rightarrow h$

### **1.3 IL CICLO ELEMENTARE E LE CATENE DI SPAZI RISORSE CON PARTICOLARE RIFERIMENTO AD UNA ATTIVITÀ ESTRATTIVA**

Nella fase progettuale della cava, il giacimento viene suddiviso idealmente in volumi, ordinati secondo una gerarchia per cui ogni volume è multiplo di quello di ordine immediatamente inferiore, fino a giungere al volume elementare di coltivazione, ovvero la più piccola porzione di giacimento che viene asportata dal sito.

In tal modo il giacimento risulta suddiviso in volumi elementari di coltivazione e la sequenza spazio-temporale della loro asportazione è il metodo di coltivazione della cava.

L'insieme delle attività operate sul volume elementare di coltivazione corrispondono al ciclo elementare di coltivazione stesso.

Volendo rappresentare mediante un reticolo la coltivazione dell'intera cava, possiamo fare riferimento alla gerarchia dei volumi.

La coltivazione di ciascun volume è esprimibile mediante la ripetizione di reticoli di coltivazione dei volumi di ordine inferiore, connessi da attività integrative di servizio, ad es. la costruzione di una rampa, il trasporto del tout-venant a valle...

Mentre il ciclo, o i cicli elementari di coltivazione, mantengono caratteristiche mediamente costanti durante lo sfruttamento, dipendendo sostanzialmente dalle tecnologie e dalle tecniche utilizzate, le attività integrative dipendono, talora anche fortemente, dalla geometria del giacimento e variano durante la coltivazione (ad es. la durata del trasporto a valle del tout-venant in un metodo per splateamento).

#### **1.3.1. Il ciclo elementare di produzione**

Nella realtà produttiva, il volume elementare e quindi il ciclo elementare di produzione della cava, può essere più di uno e ciò in relazione sia alle caratteristiche del giacimento, che alla possibile diversità dei prodotti da ottenere; del resto, nella stessa cava possono essere adottati sia contemporaneamente che in tempi diversi anche più metodi di coltivazione. In alcuni casi, ad esempio in alcune cave di roccia ornamentale, lo stesso volume elementare varia di volta in volta, variando di conseguenza la durata delle singole attività, talvolta può anche accadere che non sia necessario effettuare una o più attività del ciclo stesso (es. la presenza di una frattura naturale può sostituire la esecuzione di un taglio).

La individuazione comunque di uno o più cicli elementari di riferimento è il compito preliminare del progettista, giacché su di essi si basa la scelta ed il dimensionamento delle risorse produttive.

In linea di principio, per dare un riferimento operativo di carattere generale, possiamo dire che il ciclo elementare di produzione inizia con la prima attività riferibile al volume elementare, sia essa di servizio o operativa, e si completa ogni volta che sul fronte diventano disponibili tutti i prodotti estraibili dal volume elementare di coltivazione, ivi compresi gli scarti. Di volta in volta, in relazione alle condizioni locali specifiche, il progettista può valutare se inserire nel ciclo elementare il trasporto dei prodotti utili e degli eventuali scarti, il trasferimento di macchine e materiali e così via in funzione della costanza della loro durata.

### **1.3.2. La catena di risorse**

La catena di risorse è l'insieme minimo delle macchine ed attrezzature necessarie alla completa esecuzione del ciclo elementare di produzione.

### **1.3.3. La produttività della catena di risorse**

Se supponiamo di eseguire un singolo ciclo elementare di produzione, astraendoci per il momento dal considerare l'adeguatezza degli spazi, abbiamo che la produttività ottenibile dalla utilizzazione della catena di risorse è data dalla:

- $P_{cr} = V_e / D \Rightarrow (m^3 / h)$

ove,  $V_e$  è il volume elementare di coltivazione e  $D$  la durata del cammino critico del ciclo elementare di produzione.

Se prendiamo invece in considerazione  $n$ -cicli svolti in parallelo, utilizzando una sola catena di risorse e senza alcuna interruzione nella esecuzione delle attività critiche, nel passare dall'uno all'altro ciclo, la produttività sarà data dal rapporto tra il volume coltivato negli  $n$ -cicli e la durata del cammino critico del reticolo rappresentante gli  $n$ -cicli; è semplice dunque osservare che:

**-1.3.3a** il cammino critico parte dall'attività iniziale del primo ciclo, lo percorre fino a comprendere l'attività più lunga per poi passare attraverso la medesima attività di tutti i cicli successivi.-

Ne risulta che (se non abbiamo alcun impedimento dovuto agli spazi):

$$P_{nc} = \frac{n \cdot V_e}{(D + \max(d(A_n, A_{n+1}, \dots, A_m)))} =$$

$$= \frac{n \cdot V_e}{(D - \max(d(A_n, A_{n+1}, \dots, A_m))) + n \cdot \max(d(A_n, A_{n+1}, \dots, A_m))} \Rightarrow (m^3 / h)$$

per n molto grande il primo termine al denominatore può essere trascurato e quindi

$$P_{nc} = \frac{n \cdot V_e}{n \cdot \max(d(A_n, A_{n+1}, \dots, A_m))} =$$

$$= \min(P(A_n, A_{n+1}, \dots, A_m)) \Rightarrow (m^3 / h)$$

ovvero, la produttività ottenibile con n-cicli è pari alla produttività dell'attività di maggior durata, ovvero di minor produttività.

Ciascuna risorsa ha una sua produttività che può essere del tutto o in parte utilizzata durante la produzione; il fatto può dipendere sia da una scelta del progettista, che prevede una macchina più potente per avere a disposizione una riserva di produttività, sia perché non esiste una macchina di serie rispondente alla produttività del progetto.

In linea generale, per assorbire le oscillazioni inevitabili delle durate e gli imprevisti (guasti delle macchine ed oscillazioni della domanda), è sempre opportuno avere una risorsa di produttività, specialmente nelle attività meno affidabili ovvero di durata casualmente variabile.

Se consideriamo la catena di risorse nel suo complesso, organizzata in un ciclo elementare di coltivazione e operiamo con cicli in parallelo, avremo quindi che la sua produttività  $P_{cr}$  è pari alla minore delle produttività delle attività del cammino critico quindi:  $P_{cr} = P_{nc}$ .

Essa rappresenta la massima produttività ottenibile dalla catena di risorse, ovvero quella corrispondente ad un coefficiente di utilizzazione della risorsa di minor produttività, pari ad 1, prescindendo dalla disponibilità di adeguati spazi funzionali.

### 1.3.4. Spazi funzionali e catena degli spazi

Ciascuna attività richiede per la sua esecuzione uno spazio funzionale, che comprende quello fisicamente occupato dalle attrezzature e dai percorsi degli addetti.

Ove necessario, possiamo considerare all'interno dello spazio funzionale anche quello virtualmente impegnato dall'attività nel suo complesso; è quest'ultimo il caso degli spazi interdetti o comunque soggetti a norme di cautela per motivi di sicurezza.

Ciascuno spazio funzionale può essere esclusivo, ovvero durante la sua occupazione da parte di un'attività, non può essere effettuata nessun'altra attività, o meno. Mentre la occupazione dello spazio da parte delle attrezzature lo rende di norma esclusivo, ciò non avviene sempre per i percorsi degli addetti, la valutazione della esclusività resta affidata alla valutazione del progettista caso per caso.

La catena degli spazi funzionali del ciclo elementare di produzione è l'unione degli spazi funzionali delle singole attività che lo compongono: essa rappresenta lo spazio minimo richiesto per il completamento del ciclo elementare e quindi lo spazio minimo del cantiere affinché la catena di risorse produttive possa essere utilizzata.

## 1.4 LUNGHEZZA DEL FRONTE E PRODUTTIVITÀ

Lo spazio è sempre più considerato una risorsa e ciò in particolare nelle cave, dove ogni occupazione dello spazio superflua o comunque non strettamente necessaria alla produzione è sinonimo di impatto ambientale e, se escavato, destinato alla bonifica nel più breve tempo possibile.

Per tali motivi parlare di produttività dello spazio acquisisce oggi nelle cave, e non solo, un significato particolare: massimizzare la produttività dello spazio vuol dire infatti minimizzare lo spazio occupato ed il tempo di occupazione.

La produttività della catena di spazi non ha ovviamente un valore assoluto e dipende da molti fattori: dalle caratteristiche del ciclo elementare di produzione, dalle condizioni di sicurezza, dagli spazi funzionali associati a ciascuna attività.

### 1.4.1. Topologia temporale degli spazi funzionali

L'oggetto della coltivazione è il giacimento che viene asportato per volumi elementari ed i lavori di coltivazione di uno di essi i quali avvengono nella relativa catena di risorse. Ogni volta che viene svolto completamente un ciclo elementare, l'oggetto su cui si svolge il ciclo elementare successivo, è il volume elementare adiacente ad esso secondo la direzione di avanzamento del fronte di coltivazione: in conclusione, la catena di spazi trasla lungo la direzione di avanzamento, spostandosi ad ogni ciclo di una quantità detta avanzamento unitario o più semplicemente avanzamento.

Consideriamo uno schema di suddivisione di una porzione del giacimento in volumi elementari: ad esempio di una platea in volate in un metodo per splateamento.

Le volate saranno disposte in file orientate secondo la direzione di avanzamento del fronte ed ogni volata, di ciascuna fila, è identificabile mediante un indice di posizione da 1 ad n progressivo a partire dalla prima volata della fila.

Definiamo il ciclo elementare di produzione (che nelle cave è quasi sempre possibile esprimere tramite un solo cammino) e gli spazi relativi a ciascuna attività.

Sulla base dei detti elementi, possiamo rappresentare la topologia temporale di tutte le attività relative alla coltivazione di un certo numero di volumi elementari, ovvero ad un certo numero di cicli elementari riferiti alla stessa fila. Essendo la sovrapposizione tra spazi funzionali sia di attività dello stesso ciclo che di cicli diversi, per evitare confusioni, è opportuno adottare rappresentazioni ove gli spazi relativi a ciascuna attività e a ciascun indice di posizione dei volumi sono separati: a ciascun spazio è associata l'attività caratterizzata dall'indice di posizione (ovvero il ciclo) e su ciascun spazio è indicato lo

spazio occupato dal volume elementare. E' evidente che lo spazio della  $A_{n+1}$  sarà traslato rispetto a quello della  $A_n$  di un avanzamento, ovvero nel caso di una volata di una spalla, lungo la direzione di avanzamento.

### **1.4.2. Condivisione degli spazi**

Due attività che richiedono per la loro realizzazione il medesimo spazio funzionale  $S$ , totalmente o in parte, sono caratterizzate da una condivisione di spazio. La condivisione è una caratteristica indipendente dal tempo, ovvero, anche se due attività sono eseguite in tempi diversi, ma nello stesso spazio sono ugualmente caratterizzate da una condivisione di spazio. Nel seguito, si userà il solo termine condivisione per indicare una condivisione di spazio.

Se consideriamo due attività del ciclo elementare  $A_n$ ,  $B_n$  ed analizziamo la condivisione dello spazio del ciclo  $n$  con tutti gli spazi occupati da  $B$  nel tempo, si definisce grado o ordine di condivisione la differenza massima tra gli indici di posizione.

### **1.4.3. La produttività di una catena di risorse in una fila di catene di spazi**

A ciascuna fila è associabile una lunghezza di fronte che per semplicità possiamo assumere pari alla larghezza della catena di spazi. In tal caso, la produttività di una fila è pari alla produttività del fronte associato alla catena di risorse.

Se rappresentiamo mediante un diagramma di Gantt le attività di cicli consecutivi riportando su ogni riga un ciclo elementare, notiamo che dopo un certo numero di cicli la differenza tra le date di ultimazione tra due cicli successivi si stabilizza o assume una struttura periodica comprendente un numero fisso di cicli.

La produttività del fronte della fila è data dal numero di volumi elementari coltivati e dalla somma delle differenze tra le date di ultimazione: se tale differenza si stabilizza su un valore, la produttività è pari al rapporto tra  $V$  (volume elementare) e la differenza  $t$ .

Per costruire il diagramma di Gantt, occorre tenere conto di due vincoli: il primo è determinato dalla disponibilità delle risorse ed il secondo dalla unicità degli spazi.

Se assumiamo che ogni attività abbia a disposizione risorse specifiche, le attività uguali, pur se di cicli diversi, non possono essere realizzate in parallelo e quindi la loro allocazione nel diagramma di Gantt è in sequenza.

Analogamente, se due attività sono caratterizzate da condivisione non è possibile la loro esecuzione contemporanea e, controllando sulla topologia degli spazi funzionali, bisogna allocarle sul diagramma di Gantt sequenzialmente.

Per accelerare il controllo è possibile adottare la seguente regola, valevole nella quasi totalità dei cantieri di cava. Si valuta il grado di condivisione di un'attività rispetto ad un'altra, prendendo in considerazione soltanto le sue precedenti nel ciclo e limitando l'analisi a quelle caratterizzate da un indice superiore a quello dell'attività in esame. Avremo quindi che se il ciclo è rappresentato da tre attività in serie  $A_n$ ,  $B_n$  e  $C_n$  occorre valutare il grado di condivisione di  $C_n$  rispetto a  $B_{n+1}$ ,  $B_{n+2}$  ... ed  $A_{n+1}$ ,  $A_{n+2}$ , ..., e di  $B_n$  rispetto ad  $A_{n+1}$ ,  $A_{n+2}$ , ... Nella rappresentazione di Gantt, sarà sufficiente evitare lo svolgimento in parallelo di attività caratterizzate da una differenza tra gli indici di posizione minori o uguali al grado di condivisione così ridefinito.

#### **1.4.4. La lunghezza di fronte e la massima produttività**

Per sfruttare al massimo la produttività di una risorsa è necessario che da un lato il lavoro dell'attività precedente sia finito e dall'altro che lo spazio necessario sia disponibile ovvero non occupato da altre attività.

Per eliminare la prima limitazione è sufficiente adottare, ad esempio, durate costanti delle attività, ma ciò è spesso non vantaggioso, giacché tale soluzione non corrisponde al minimo costo di produzione.

Supponiamo comunque di aver risolto il primo aspetto con durate diverse o uguali. Per aumentare al massimo la utilizzazione delle risorse, è necessario a questo punto, eliminare il vincolo delle condivisioni di spazio; per fare ciò occorre semplicemente trasferire la risorsa ogni volta che vi è una limitazione di spazio in un nuovo volume elementare.

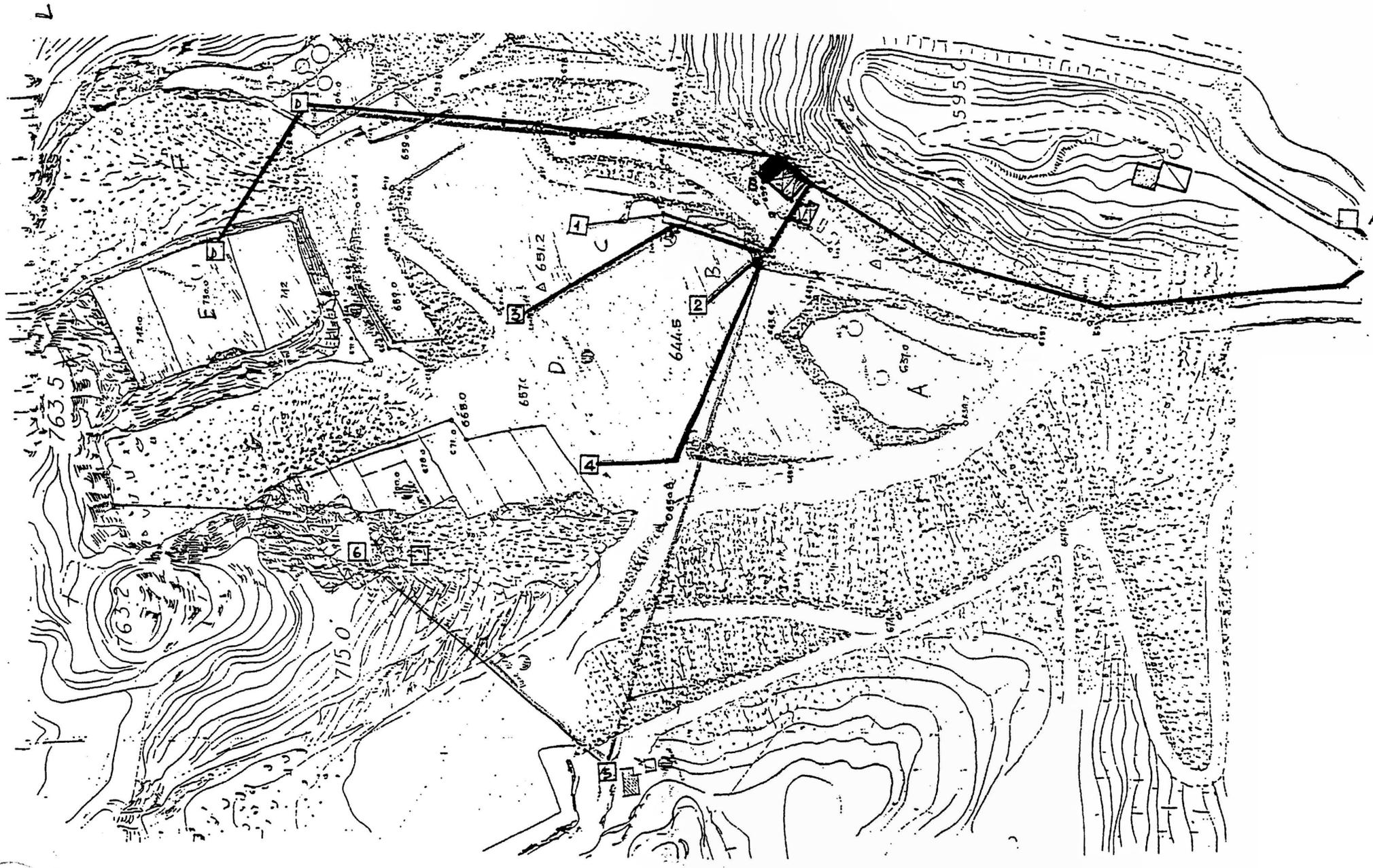
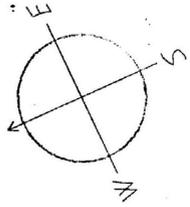
Il nuovo volume elementare difficilmente è allocabile sulla stessa fila, per cui è necessario allocarlo su una nuova fila che, se gli spazi funzionali lo consentono, e in particolare se lo consentono l'esposizione degli addetti a pericoli, sarà la fila immediatamente adiacente.

La procedura globale da utilizzare è la medesima vista nel caso di una fila di spazi.

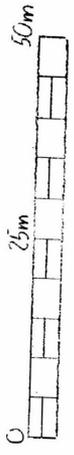
Ogni attività  $A_{sn}$ , nel diagramma di Gantt, sarà caratterizzata da due indici, il primo, "s", costante per ogni fila, ed il secondo, "n", relativo al ciclo, progressivo a partire dal ciclo della prima fila.

L'allocazione verrà effettuata escludendo la condivisione tra attività da effettuarsi sulla stessa fila.

Il numero di file necessario per raggiungere la massima produttività della catena di risorse, pari a  $V / \max (d_a, d_b, d_c, \dots)$ , sarà individuato dall'indice dell'ultima fila che non ha consentito la riutilizzazione della prima fila.



*Rappresentazione 1.*



## CAPITOLO.2

### 2.1 LA CAVA IN CUI SI E' SPERIMENTATO IL MODELLO (generalità)

**Nome cava:** Fiordichiara

**Località:** Fantiscritti (Carrara)

**Prodotto:** Bianco ordinario

**Produttività:** 2000 t/mese

**Metodo di coltivazione:** Splateamento

**Orario:**

giorni	ore
Lunedì	7.30÷12.00 12.45÷17.00
Martedì	7.30÷12.00 12.45÷17.00
Mercoledì	7.30÷12.00 12.45÷17.00
Giovedì	7.30÷12.00 12.45÷17.00
Venerdì	7.30÷12.00 12.45÷17.00
Sabato	non lavorativo
Domenica	non lavorativo

**Suddivisione giacimento:**

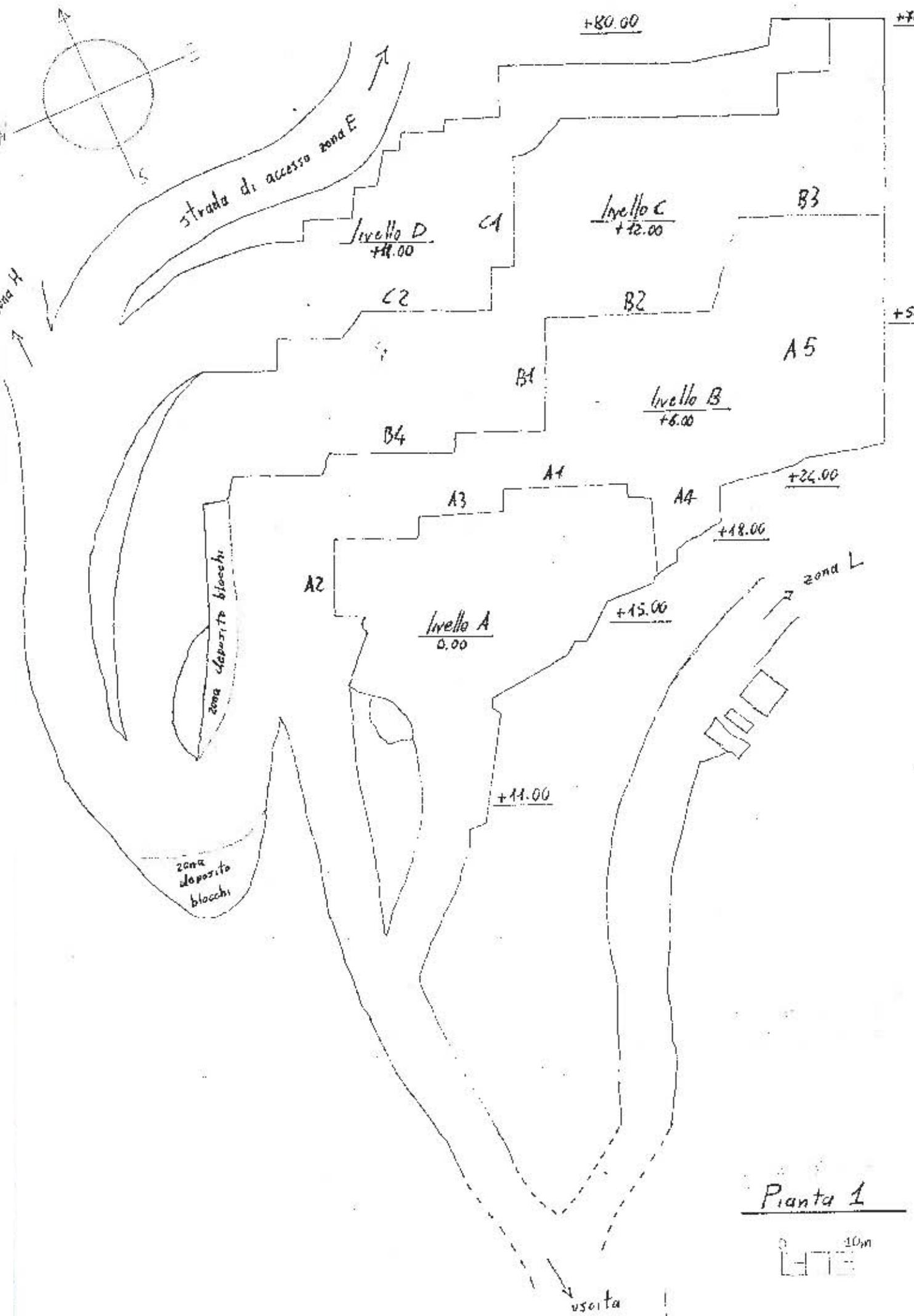
Il giacimento in disponibilità dell'azienda è suddiviso in quattro parti:

- una zona in alta quota in fase di apertura (circa 760 m-zona L)
- due camere in sotterraneo in fase di coltivazione
- uno sperone a quota medio-alta, rimasto incoltivato negli anni passati, ora in fase di ribasso(730 m-zona E)
- una zona principale a bassa quota, seguita per lo studio di questa tesi (637÷659 m-zone A,B,C,D).

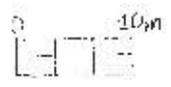
Riferimenti vedi rappresentazione 1.

**Evoluzione giacimento**

La coltivazione della cava ha inizio negli anni '50 dalle zone G ed F, per arrivare ai gradoni principali A, B, C e D (fotografia1-pianta 1), di coltivazione più recente. In quegli anni, nel seguire un procedimento selettivo di coltivazione, è rimasto incoltivato un grosso volume della cava (zona E), uno sperone di roccia (fotografia F11), giacente ora ad una quota più alta rispetto ai gradoni attualmente in via di coltivazione.



Pianta 1





**FOTOGRAFIA. 1**



**FOTOGRAFIA. 2**

Questo procedimento ha portato, in tempi successivi, come conseguenza primaria la necessità di acquisto di un derrick (fotografia 18) per l'estrazione dei blocchi e, in un secondo tempo, la costruzione di una strada di accesso (fotografia 19) perché la movimentazione tramite derrick risultava lenta e macchinosa. C'è da dire che in tempi passati le tecnologie a disposizione erano molto più limitate rispetto ad ora e, soprattutto, erano meno flessibili, meno adattabili alle diverse situazioni che si potevano presentare di volta in volta; con l'avvento delle tecnologie moderne, quali il filo diamantato, le tagliatrici a catena e, soprattutto, le pale gommate per lo spostamento del materiale coltivato, la coltivazione di un sito, con materiale meno buono, quale la zona E, si sarebbe potuta affrontare in modo molto più semplice e veloce.

### **2.1.1 Metodo di coltivazione nell'area interessata dal presente studio**

Lo studio di questa tesi si è svolto sull'ultima porzione citata nella suddivisione del giacimento. Fin dall'inizio, questa parte della cava, è stata suddivisa (progettualmente) in platee ("fette e ribassi") di altezza circa 6m, altezza fissata non in base a caratteristiche del giacimento, ma in base alla tecnologia utilizzata.

Il metodo di coltivazione adottato è per splateamento su tre gradoni, il cui avanzamento è tenuto sfalsato di circa 15m in modo da consentire la coltivazione senza creare vincoli reciproci fra i diversi fronti.

Dal punto di vista della pianificazione, la direzione di avanzamento dei fronti è circa da sud verso nord, fatta eccezione per la zona di apertura (zona A4-pianta 1) a sud-est prospiciente il confine, ove l'avanzamento è condotto "a lisca di pesce". La direzione di avanzamento (ovvero quello di rovesciamento delle bancate) è ortogonale al verso che, nella cava, è costituito da un sistema di fratture sub-verticali, ad orientamento circa ovest-est, con spaziatura dell'ordine di grandezza variabile da qualche metro alla decina di metri. La disposizione delle bancate secondo il verso e lo stesso spessore della bancata (pari a c.ca 3,6m), ha permesso di ottenere, in base all'esperienza, il maggior valore di resa. In tal modo, infatti, laddove la frattura non interseca la bancata è possibile ritagliare i blocchi standard disposti secondo la direzione di avanzamento. Laddove la bancata è intersecata dalla frattura, se quest'ultima ha caratteristiche adeguate, viene utilizzata come taglio di bancata e i blocchi standard vengono, se necessario, tagliati ortogonalmente. Naturalmente vengono prodotti anche blocchi sottomisura e informi, ottimizzando le modalità di ritaglio delle parti restanti all'attività di ritaglio blocchi standard.

### 2.1.2. Tipologia del materiale

Il marmo in esame può essere identificato come *bianco ordinario* ( $\gamma = 2,7 \text{ t / m}^3$ ), un marmo di colorazione bianca, grana media, con piccole macchie grigie dovute alla presenza di pirite microcristallina. Non esistono limitazioni troppo restrittive per ciò che riguarda le dimensioni del blocco, però generalmente si resta dentro il seguente range:

- **max**        4.20x1.80x1.80 m
- **min**        1.30x0.80x0.80 m.

Le lastre hanno in genere spessore di 2 o 3 cm, per usi particolari possono essere tagliate con spessore minimo di 1 cm. I tagli preferenziali di segazione sono al "verso" e al "contro", l'effetto ornamentale migliore per questo materiale reso in lastre, si ottiene con lucidatura normale o con levigatura fine. Per le sue caratteristiche fisico-meccaniche viene utilizzato indifferentemente per interni ed esterni.

### 2.1.3. Produzione

La produzione è di 1500÷2000 t/mese, tenuto conto di una chiusura annua di circa un mese nella stagione estiva e complessivamente di un mese in pieno inverno, per le giornate di tempo perturbato, si arriva ad una produzione media annua di 17500 t, ossia 6500 m<sup>3</sup>. Questi dati sono ovviamente indicativi, perché gli imprevisti sono diversi e dare una cifra più precisa risulta molto difficile.

## 2.2 PROCEDURA ISOLAMENTO BANCATA

- 1) TAGLIO DI BASE con TAGLIATRICE A CATENA
- 2) PERFORAZIONE al MONTE (PULIZIA SOTTO BANCATA)
- 3) TAGLIO al MONTE con FILO DIAMANTATO
- 4) TAGLI LATERALI con FILO DIAMANTATO
- 5) RIBALTAMENTO BANCATA (CUSCINI IDRAULICI)
- 6) SUDDIVISIONE BANCATA già RIBALTATA (RITAGLI)

## 2.2.1. Analisi dettagliata delle singole attività

### 2.2.1.1. Taglio di base

Questa attività (fotografia 2) viene eseguita con una tagliatrice a catena e assieme al attività taglio al monte è una delle attività [*pre-ritaglio*] più lunghe. Nella parte a cielo aperto, come già accennato e come ben visibile nella pianta 1, la cava si struttura su tre gradoni, più due zone distaccate in quote alte; attualmente, viene coltivato uno dei livelli suddetti e una delle due zone distaccate, data però la distanza di questi due siti e la difficoltà di trasporto della tagliatrice, per questo tipo di operazione sono disponibili due macchine. La maggior parte del tempo viene spesa nella preparazione della tagliatrice stessa; la macchina viene trasportata nella zona di esecuzione del taglio, legata ad una pala gommata, una volta posizionata in sito con una parte di rotaia già attaccata, le vengono aggiunte le rotaie ancora necessarie, dopoché si fissano le stesse al terreno con dei punciotti (circa 5 punciotti per 12m di rotaia). I fori in cui vengono introdotti i punciotti si eseguono con un martello pneumatico, operazione, seppur breve, assai rumorosa; una volta fissate le rotaie, se ne controlla l'accurato posizionamento con una livella. Eseguite queste operazioni, viene infine effettuata tutta una serie di controlli meccanici che comportano comunque una certa perdita di tempo.

Una volta pronta per il taglio la macchina lavorerà secondo tre fasi fondamentali:

- Entrata braccio;
- Taglio effettivo;
- Uscita braccio.

La fase di taglio effettivo è la più veloce, come è anche ovvio aspettarsi dal momento che oramai la macchina è a regime, le fasi più complicate sono invece proprio quelle di entrata ed uscita braccio dove è necessario seguire dei procedimenti più particolari di manovra. Recentemente, si sono cambiate le disposizioni dei denti nelle catene delle tagliatrici, e questo ha portato un riguardevole miglioramento dell'efficienza di taglio; si è appurata una velocità media di taglio di ~5 cm/min, volendo si è riusciti a raggiungere anche i 7 cm/min, però in tal caso, è necessaria una potenza eccessiva e vi sono inoltre difficoltà nello smaltimento del fango prodotto, essendo presente nella fase del taglio effettivo, un solo cavatore. Data la lunghezza della preparazione di questa operazione, generalmente si eseguono tagli di base di una lunghezza superiore alla bancata che viene poi effettivamente ribaltata; si esegue un taglio lungo e, successivamente, si eseguono i diversi ribaltamenti, questo ovviamente sino a quando la geometria del sito lo consente.

Questa attività necessita, inizialmente un cavatore palista e la pala gommata per posizionare la macchina, successivamente, nella fase di preparazione due cavitatori, nella fase di taglio a regime solamente uno.

Talvolta nel giacimento si incontrano zone molto fratturate, dette di finimento; in queste la tagliatrice, oltre a lavorare molto male, subisce un deterioramento molto veloce degli utensili sulla catena, ragion per cui si preferisce eseguire un foro orizzontale a tergo della bancata e procedere poi nel taglio di base, utilizzando la macchina a filo diamantato con il volano in posizione orizzontale. Operazione comunque rara, se non altro per la difficoltà nel far collimare la perforazione orizzontale con le rispettive verticali. La macchina perforatrice viene vincolata in parete come descritto nella fotografia 3, usando un certo numero di tiranti e, a differenza della perforazione verticale, in cui è sufficiente calare il tubo dell'acqua nell'asta cava, nel caso della perforazione orizzontale, questo deve essere fissato con un tappo nell'ultima asta.

#### **2.2.1.2. Perforazione al monte (pulizia sotto bancata)**

Questa attività viene generalmente portata avanti, in fase di preparazione, da due persone, mentre, la successiva introduzione delle aste viene eseguita da un solo cavatore; inizialmente si crea un piccolo foro guida con un martello pneumatico, successivamente si prepara la macchina roto-bit di perforazione (fotografia 3) e, una volta fissata la stessa al terreno con quattro tiranti, si inizia l'esecuzione del foro effettivo. La macchina, come nel caso della tagliatrice, per essere portata sui diversi posti di utilizzo, necessita di una pala gommata. La perforazione avviene, come già accennato, con il successivo inserimento di aste cave ( $\phi=8\text{cm}$ ) di perforazione per un'altezza totale di circa 6m. Durante l'operazione di perforazione deve sempre essere presente un cavatore, sia per il controllo della quantità di acqua che è necessario inserire all'interno delle aste, sia per spala gommatare, volta per volta, la marmettola che si viene a formare nella zona di ingresso.

Nel ciclo complessivo ha un peso non trascurabile il tempo impiegato per la **pulizia sotto la bancata** dello spessore tagliato dalla tagliatrice; infatti, in questa zona si annida un certo numero di sassi, che possono risultare molto fastidiosi quando viene successivamente introdotto il filo diamantato per eseguire il taglio al monte o quello laterale. Una volta eseguita quindi la perforazione al monte, le cosiddette "mine", si provvede all'eliminazione di questi sassi, in un primo momento mandando dell'acqua in pressione dall'alto, e, successivamente, introducendo una sonda flessibile che viene poi ripescata; vedere nel piccolo spessore tagliato è difficile, estrarre i sassi in questione altrettanto, la difficoltà aumenta con la distanza del sasso dall'esterno.



**FOTOGRAFIA. 3**



**FOTOGRAFIA. 4**

### 2.2.1.3. Taglio al monte

Questa attività del ciclo (fotografia 4) viene eseguita, come nel caso del taglio laterale, con una macchina a filo diamantato. La durata globale di un taglio di questo tipo (12×6m) è di circa 630 min (taglio dalla zona superiore) e, data la lunghezza dell'attività, non è facile quantificare il tempo in modo più preciso; si può aggiungere tuttavia che, essendo questo taglio eseguibile, sia dalla zona superiore del livello, che da quella inferiore, la seconda tipologia è più veloce (c.ca 5%) e allo stesso tempo più sicura ( a prescindere dall'ipotesi che si farà nel paragrafo 4.3). Come è facile intuire, non è sufficiente un'intera giornata lavorativa per la completa esecuzione di questa attività, proprio per questo motivo, talvolta, non si interrompe questa operazione neppure nelle ore di pausa pranzo e la si porta avanti senza interruzioni fino al suo termine, ovviamente sotto il controllo di un cavatore. Volendo dividere in fasi abbiamo:

- passaggio filo e ripescaggio;
- posizionamento rotaie;
- posizionamento telaio macchina;
- posizionamento rinvii (se utilizzati);
- posizionamento filo su volano e rinvii;
- posizionamento pompa dell'acqua;
- taglio effettivo.

La disposizione iniziale della macchina sulle rotaie necessita una pala gommata, un cavatore palista e un cavatore a terra per guidare il telaio sulle rotaie, durante il taglio effettivo si lascia invece un solo cavatore per controllare il tutto. Il filo viene calato da sopra e recuperato sotto con un apposito strumento; l'operazione di recupero e posizionamento del filo non sempre è facile per la presenza dei sassi di cui si faceva cenno nel paragrafo precedente e per questo motivo, talvolta, è necessario l'intervento di tre cavoratori. Durante il taglio i controlli sono limitati allo spostamento graduale della pompa dell'acqua nella zona superiore della bancata, al controllo di fine corsa delle rotaie dietro il telaio macchina e al conseguente accorciamento del filo, dovuto alla diminuzione della superficie da tagliare. Particolare attenzione viene posta nell'esecuzione delle giunzioni quando viene accorciato il filo, questo perché, nella maggior parte dei casi, il troncamento del filo avviene proprio in quella zona per un serraggio scorretto. Prima di eseguire il taglio al monte, e quindi ancor prima del posizionamento del filo, vengono piazzati, nello spessore tagliato con la tagliatrice, dei cunei di ferro, onde evitare che la bancata si sieda durante il taglio, la stessa precauzione viene poi tenuta, volta per volta, nella zona superiore, nell'intercapedine che si viene a creare durante il taglio al monte. Nel taglio di

superfici così grandi, non è escluso il cambiamento, per usura, del filo o, semplicemente, delle perline diamantate. La valutazione dell'usura viene eseguita ad occhio, infatti nelle perline è facile notare quando la superficie esterna tende ad essere liscia, e quindi oramai privata dei puntini di diamante elettrodepositato, nel cavo invece, eseguendo una flessione dello stesso, si può facilmente vedere se è più o meno sfibrato; si può ancora osservare che, nel momento in cui le perline sono maggiormente abrase, la velocità del filo aumenta per la diminuzione dell'attrito, cosa che tuttavia non comporta una maggiore efficienza nel taglio. I dati medi forniti in cava sono di circa 500 m<sup>2</sup> per il cambio del solo cavo e circa 4000 m<sup>2</sup> per la sostituzione delle perline. Bisogna specificare che in genere il taglio di tot.m<sup>2</sup> su tanti piccoli blocchi genera un deterioramento maggiore del taglio di tot.m<sup>2</sup> su un'unica grande superficie, l'usura maggiore, nel primo caso, è dovuta a tutte le partenze e al conseguente maggior numero di spigoli da eseguire. Il taglio al monte della bancata, si diceva inizialmente, può essere eseguito in due modi differenti, sia dalla zona superiore che da quella inferiore del livello, a seconda delle diverse circostanze in cui ci si viene a trovare, in entrambi i casi il volano è comunque disposto nella stessa direzione del taglio che dobbiamo eseguire e vi sono (talvolta) due pulegge che guidano il filo, consentendo dei tagli a cappio, senza eccessivi ondeggiamenti del filo.

#### **2.2.1.4. Taglio laterale**

Questa attività, (fotografia 5) come nel caso del taglio al monte, la si esegue con una macchina a filo diamantato, e può essere eseguita, sia dal livello superiore che da quello inferiore, la differenza sostanziale consiste nel tempo impiegato, infatti, essendo la superficie meno ampia, è chiaramente inferiore. Le fasi in sequenza sono analoghe a quelle del taglio al monte. Si può osservare poi, che, mentre il taglio di base e il taglio al monte vengono eseguiti con posizioni abbastanza standard, i tagli laterali vengono invece eseguiti in funzione delle discontinuità (peli) che si intravedono nella bancata quando ancora deve essere ribaltata. Nella pratica, se la bancata è sana, tendenzialmente si eseguono un paio di tagli laterali e si ribaltano due mezze bancate, se si intravedono parecchi difetti, si esegue invece un taglio solo e si ribalta l'intera bancata in una sola volta; si segue questo secondo procedimento, perché una bancata difettosa si rompe spontaneamente nei cosiddetti peli quando viene ribaltata, non è quindi conveniente, per questo motivo, eseguire i tagli preventivamente, o meglio, i tagli vengono eseguiti comunque, ma solo in un secondo tempo, a seconda di come la bancata si rompe nella caduta.



**FOTOGRAFIA. 5**



**FOTOGRAFIA. 6**

### 2.2.1.5. Ribaltamento bancata

Una volta isolata la bancata dal monte in ogni sua superficie, si provvede al ribaltamento della stessa sul piazzale. Il ribaltamento può essere eseguito in diverse maniere: nel caso più frequente viene data la prima spinta con dei cuscini idraulici (fotografia 6) e, successivamente, viene ribaltato il tutto con la spinta di una benna rovescia, nel caso di bancate più grandi, questo procedimento non è sufficiente e allora, dopo i cuscini idraulici, vengono utilizzati anche dei martinetti (fotografia 7) per dare un'ulteriore spinta, il ribaltamento finale lo si consegue con la benna rovescia, aiutata in qualche modo, anche da una o più pale gommate (fotografia 8). Un procedimento più obsoleto (ancora largamente usato nella zona in sotterraneo, quasi totalmente in disuso a cielo aperto) è quello di costruire un paranco al di sopra della bancata, e, con un sistema di funi, tirare giù la bancata dal basso con una pala gommata. Come precisato, è un sistema usato molto raramente, però, talvolta si è costretti a ricorrere a questo artificio per la mancanza di spazio nella zona posteriore alla bancata, tanto più che l'escavatore usato per spingere, ha una lunghezza notevole (c.ca 11 m), e per far funzionare correttamente il braccio non deve lavorare in spazi ristretti. Questo problema si può presentare, ad esempio, se i gradoni di coltivazione non vengono sfalsati in modo sufficiente, cosa che sta attualmente accadendo nelle zone A1 e A3.

Vediamo ora le varie operazioni più nel dettaglio. L'utilizzo dei **cuscini idraulici** è molto semplice, si introducono nell'intercapedine monte-bancata e per fare ciò, sono sufficienti un paio di minuti, importante, in questo caso, è l'aver previamente piazzato i cunei, altrimenti dopo il taglio, la bancata aderisce perfettamente al monte e si hanno non poche difficoltà nell'inserimento dei cuscini. Con un compressore idraulico si gonfiano i cuscini, i quali spostano la bancata generalmente di 20÷40 cm. Talvolta, se i cuscini sono difettosi, ne consegue l'esplosione prima del tempo voluto, tuttavia questo incidente di percorso non è né pericoloso né tanto meno rumoroso, a differenza dei cuscini pneumatici usati in un recente passato, l'unica precauzione che si deve tenere è quella di introdurre, volta per volta, nel vuoto che si crea, dei grossi massi, di forma pressappoco a cuneo, di modo che, nel momento dell'eventuale esplosione, la bancata non torni indietro nella posizione iniziale. Altra particolarità è la posizione dei cuscini, questi vengono infatti piazzati non casualmente, ma in funzione dei difetti presenti nella bancata. Si dovrà evitare di mettere un cuscino a cavallo di un difetto, perché in tal caso, nel momento in cui si staccasse parte della bancata, il cuscino resterebbe in parte libero e in parte schiacciato, subendo di conseguenza una sollecitazione differenziale che avrebbe come conseguenza, la sicura esplosione del cuscino stesso.



**FOTOGRAFIA.7**

Se la spinta data dai cuscini è sufficiente, si provvede al ribaltamento finale tramite escavatore, altrimenti, utilizzando dei martinetti piazzati nell'intercapedine, si sposta ulteriormente la bancata. Se lo spazio creatosi con i cuscini non permette ancora l'introduzione del martinetto, si provvede a creare lo spazio apposito, eseguendo dei fori con un martello pneumatico e usando, successivamente dei cunei. Un martinetto ha una sua corsa massima; volendo aumentare la larghezza di apertura, si aggiungono, volta per volta

delle zeppe, sia i martinetti che le zeppe vengono ovviamente bloccati su dei piri, onde evitare che, accidentalmente, caschino nell'intercapedine formatasi.

Dopo queste operazioni, si passa al ribaltamento effettivo, conseguito con una spinta da tergo, utilizzando il braccio di una sola benna rovescia, se è sufficiente, aiutandosi con una o più pale gommate, in caso contrario.

Prima del definitivo ribaltamento, il capocava e il proprietario osservano attentamente i vari peli presenti e, dopo aver ipotizzato le possibili modalità di fratturazione conseguenti al ribaltamento, cercano di disporre la posizione del letto di caduta in funzione di quella dei peli suddetti. La **preparazione del letto di caduta**, eseguita con una pala gommata, non è esattamente consequenziale a quella di ispezione della bancata, ma, inizia già quando si stanno eseguendo i cuscini. Il letto di caduta è preparato con l'abbondante terra presente nella cava stessa.



**FOTOGRAFIA. 8**

### 2.2.1.6.1. Suddivisione bancata dopo ribaltamento

Dopo le fasi di isolamento bancata e di ribaltamento della stessa, abbiamo sul piazzale un parallelepipedo di dimensione circa  $3,5 \times 6 \times 6$ m (fotografia 9), il quale, successivamente ritagliato, seguendo l'ipotesi semplificativa che vedremo tra poco, genera come prodotti finali 16 blocchi standard di  $3 \times 1,5 \times 1,75$ m. Le fasi di suddivisione che a noi interessano più strettamente sono quelle antecedenti alla creazione dei blocchi  $3 \times 3 \times 1,75$  (vedi figure 5a, 5b, 5c), fasi di taglio che vengono eseguite nel piazzale subito sottostante al fronte di ribaltamento, tuttavia nel computo globale includeremo tutti i tagli secondari da eseguire. La suddivisione infatti, dei blocchi  $1,5 \times 1,5 \times 3$ m, può essere anche eseguita in una zona decentrata, dato che la dimensione di questi ne consente oramai il trasporto con una pala gommata altrove.

Prima di iniziare ogni considerazione sul ritaglio della bancata ribaltata, è bene premettere che, per la presenza di diversi tipi di discontinuità (peli), le suddivisioni non sono mai precise come quelle ipotizzate, e inoltre, in zone particolari, quali ad esempio la zona P, gli spazi circostanti la bancata ribaltata sono spesso differenti, e le zone di accesso laterale alla stessa, non sempre si equivalgono. Entrambi i fattori appena elencati, contribuiscono, quindi, ad avere dei tempi e degli spazi di ritaglio diversi, a seconda della situazione.

Gli studi che si portano avanti nei capitoli successivi riguardo gli spazi funzionali, necessitano una schematizzazione del ciclo elementare di lavoro e quindi anche della attività ritagli, sia per quanto riguarda la sua durata che per quanto riguarda le risorse necessarie per portarla a termine.

L'analisi accurata di diversi cicli di ritaglio ha consentito una suddivisione di questa attività in tre sub-attività:

1. Preparazione macchina a filo (fotografia 10, 11, 12);
  - posizionamento rotaie;
  - posizionamento telaio macchina;
  - posizionamento filo su volano e rinvii;
  - posizionamento pompa dell'acqua.
2. Ritaglio effettivo (fotografia 13);
3. Spostamento blocchi ritagliati-pulizia piazzale (fotografia 14).

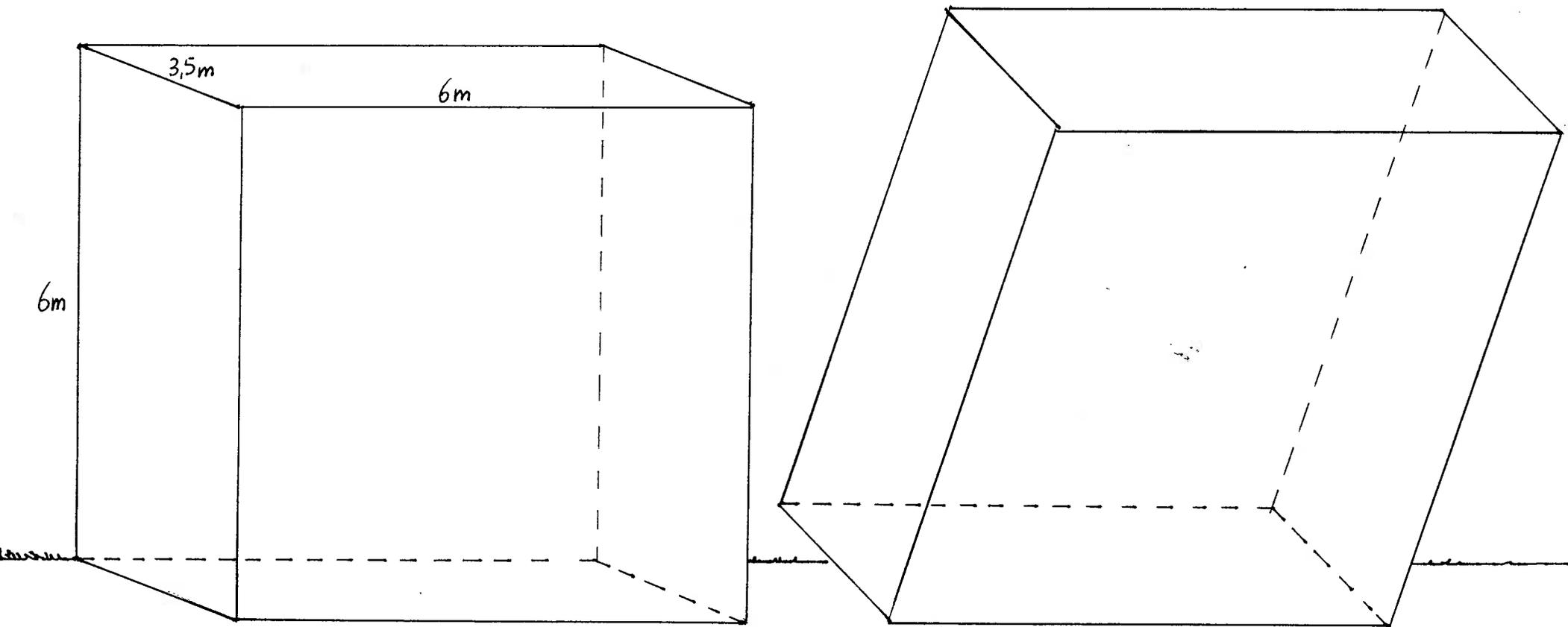
Nella prima fase è indispensabile la presenza del capocava, infatti è poi lui che decide, assieme al proprietario, come eseguire i ritagli; e altresì necessaria, in questa fase, l'apporto della pala gommata col relativo cavatore palista, per la disposizione del telaio macchina a filo sulle rotaie. Il ritaglio effettivo può essere poi seguito tranquillamente da un solo cavatore.



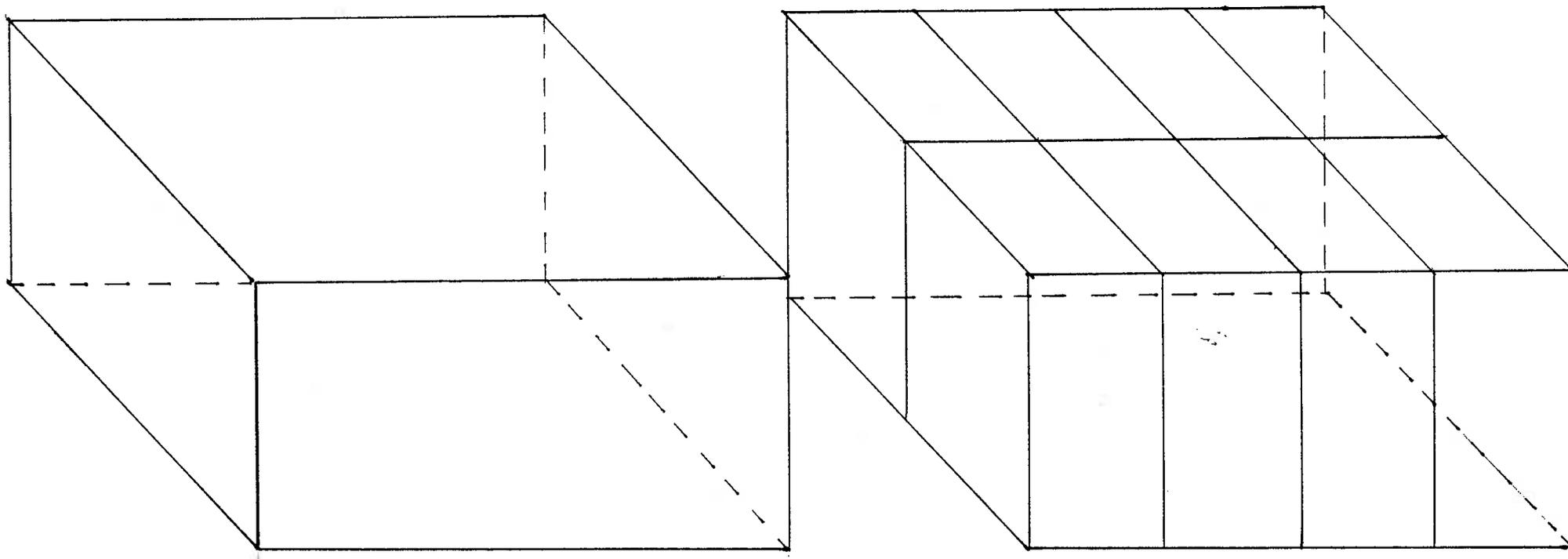
**FOTOGRAFIA. 9**



**FOTOGRAFIA. 10**

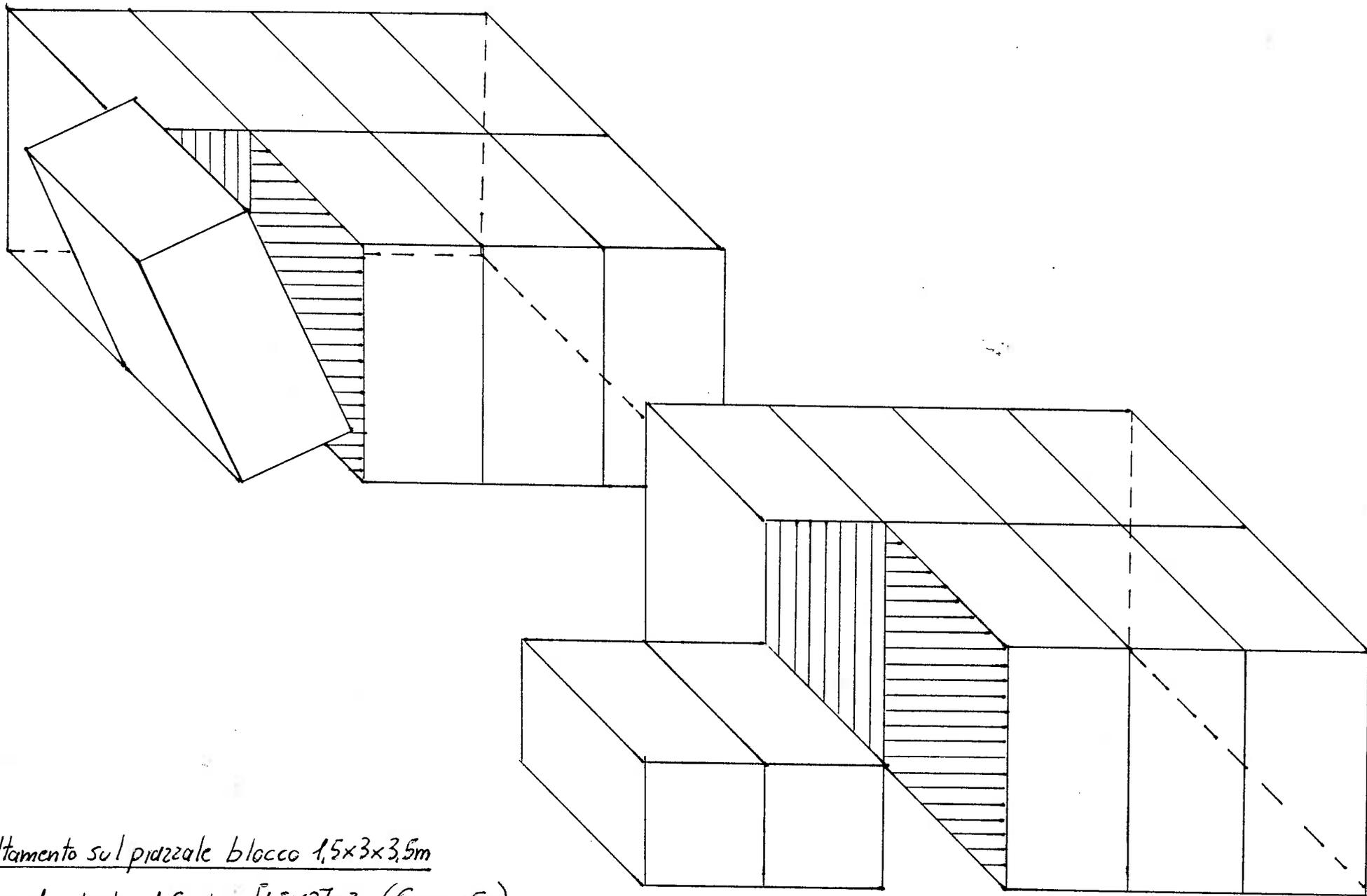


Isolamento e Ribaltamento Bancata (Figura 5a)



Bancata ribaltata sul piazzale (Figura 5.b)

Primi sette ritagli  $1 \times [6 \times 3,5]m^2$   $6 \times [3 \times 3,5]m^2$



Ribaltamento sul piazzale blocco  $1,5 \times 3 \times 3,5m$

Esempio di ritaglio definitivo  $[1,5 \times 3]m^2$  (Figura 5.c)

La terza fase indicata è invece indispensabile per smaltire i blocchi già ritagliati, sia standard che informi, e consentire così i ritagli successivi; i blocchi da telaio vengono trasportati nelle apposite zone di deposito, mentre gli informi vengono portati in una zona decentrata dove sono successivamente ridotti a granulato con un martellone. Questa fase, oltre al trasporto di blocchi pronti, include il posizionamento degli stessi in zone dove sia più semplice il ritaglio, include inoltre la pulizia del piazzale da granulati, fango e terra, derivanti dalle operazioni precedenti.

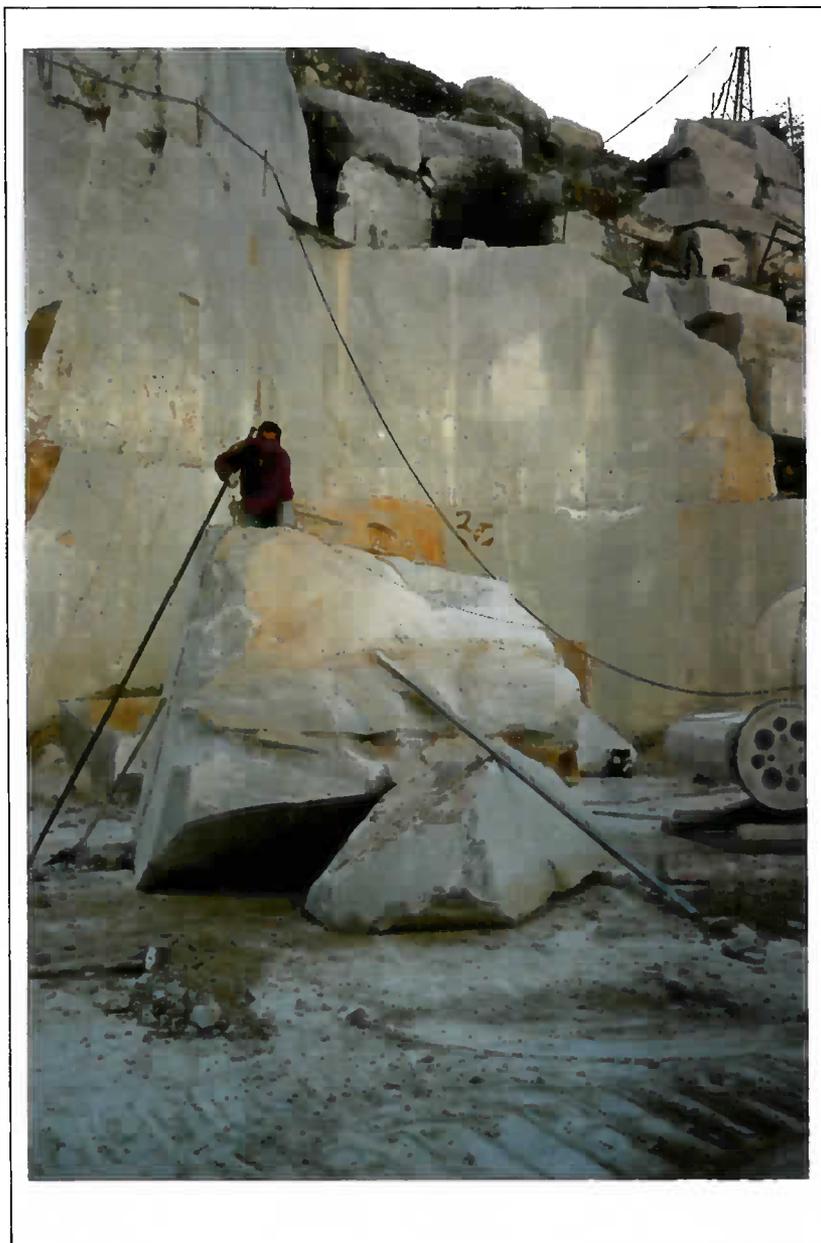
La verifica dettagliata in sito di queste operazioni ha consentito l'ottenimento di una serie di dati molto utili per le computazioni e le semplificazioni che ci si appresta ad eseguire.

**Tabella 1: Tempi di esecuzione attività di ritaglio**

PREPARAZIONE MACCHINA A FILO	
n.operazione	tempo di esecuzione [min]
1	15
2	10
3	15
4	35*
5	20
6	35*
7	25*
8	20

Come è evidente dalla tabella 1, i tempi di preparazione della attività ritaglio sono mediamente simili, uniche eccezioni, evidenziate con \*, sono rappresentate dai primi ritagli sulle superfici più grandi 6×3,5m<sup>2</sup>. Nella preparazione di questi primi ritagli, dopo aver eseguito con la pala gommata un'approssimativa pulizia del contorno bancata dagli avanzi di terra del letto di caduta, si passa alla perforazione del letto stesso, per creare un foro di passaggio per il filo diamantato. La perforazione col martello pneumatico in questa fase è un'operazione abbastanza lunga, può variare da 30 min a 15 min, a seconda della situazione; molto importante è la presenza o meno di due blocchi adiacenti, in caso affermativo non si riesce infatti a vedere dove sbuca la punta del fioretto ed è quindi necessaria mezzora piena; se il blocco invece è singolo, sufficientemente isolato, un cavatore si può appostare dietro allo stesso e dare indicazioni a quelli che perforano, accorciando l'operazione di quasi il

50%. Una volta comunque eseguito il foro, seguono tutte le operazioni di routine viste prima per la esecuzione del ritaglio, operazioni che, come si vede dalla tabella, portano via meno di mezzora e richiedono al massimo due cavaatori (uno semplice e uno palista) e una pala gommata. Dopo aver reiterato qualche volta l'operazione di partenza del filo (avviamento), perché magari non erano state eseguite correttamente le guide con lo scalpello, si inizia a questo punto il taglio effettivo del blocco.



**FOTOGRAFIA. 11**



FOTOGRAFIA. 12



FOTOGRAFIA. 13



**FOTOGRAFIA. 14**

**Tabella 2: Tempi di esecuzione attività di ritaglio e produttività**

RITAGLI-TAGLI SECONDARI	Superficie tagliata [m <sup>2</sup> ]	Tempo di esecuzione [min]	Produttività [m <sup>2</sup> /h]
1	18	180	6
2	21	180	7
3	2,4	30	5
4	3,3	40	5
5	3,5	50	4
6	7,5	55	8* <sub>1</sub>
7	3,4	60	3
8	3,4	55	4
9	7,5	65	7* <sub>1</sub>

\*<sub>1</sub> = macchina a filo diamantato 70 HP (52 kW)

Dalla tabella 2 è facile vedere che, fatta eccezione per i casi in cui si utilizza la macchina da 70 HP (52 kW), la velocità media di ritaglio si assesta su  $6 \text{ m}^2/\text{h}$ .

In, particolare invece, per quanto riguarda gli spostamenti dei blocchi e la pulizia del piazzale, si può notare che in genere, si eseguono brevi spostamenti di circa 10 min cad. ogni due ritagli, mentre globalmente in un ciclo completo di ritagli, si eseguono due grosse attività di pulizia e riordino del piazzale della durata di circa 50 min cad.

#### 2.2.1.6.2 Riepilogo e calcoli specifici attività ritagli

Alla luce di quanto visto sinora si possono fare le seguenti considerazioni:

##### IPOTESI

1. La bancata ribaltata non presenta difetti ed è quindi perfettamente parallelepipedica, originando così con i successivi ritagli 16 blocchi standard (resa = 100 %)
2. La preparazione dei primi sette ritagli dura mediamente 32 min cad., mentre per i successivi otto sono sufficienti 16 min cad.
3. La velocità media di ritaglio è di  $6 \text{ m}^2/\text{h}$
4. Nella fase spostamento blocchi se ne eseguono di brevi (10 min) ogni due ritagli e complessivamente due più lunghi (50 min) in tutto il ciclo

A) Tempi Prep. macch. filo [min]

$$\frac{15+10+15+20+20}{5} = 16 \text{ min}$$

$$\frac{35+35+25}{3} = 32 \text{ min}$$

a) primi sette tagli  $7 \cdot 32 = 224 \text{ min}$

b) ultimi otto tagli  $8 \cdot 16 = 128 \text{ min}$

$$a + b = 352 \text{ min}$$

B) Ritagli effettivi (vedi figura)

$$a_1) 1 \times [6 \times 3,5] = 21 \text{ m}^2$$

$$b_1) 6 \times [3 \times 3,5] = 63 \text{ m}^2$$

$$c_1) 8 \times [1,5 \times 3] = 36 \text{ m}^2$$

$$a_1 + b_1 + c_1 = 120 \text{ m}^2$$

con una velocità media di  $6 \text{ m}^2 / \text{h}$ ,  $120 \text{ m}^2$  corrispondono a  $1200 \text{ min}$

C) Spostamento blocchi - Pulizia

$$\left(\frac{15}{2} \cdot 10\right) + (2 \cdot 50) = 175 \text{ min}$$

$$\text{Durata complessiva ciclo ritagli} = A + B + C = 1726 \text{ min}$$

In sintesi si è visto che un ciclo di ritagli, nel caso di una resa pari al 100 %, ha una durata complessiva di circa 1725 min, nella realtà non si ottiene mai una resa così alta, tuttavia, dovendo fare dei calcoli per ottimizzare il ciclo globale, è sempre meglio tutelarsi e riferirsi alla condizione peggiore. Si definisce, in modo evidentemente strano, la condizione peggiore, quella associata ad una resa del 100 %, ma questa espressione è da riferirsi al tempo impiegato per il completamento della attività e non alla quantità di blocchi commerciali ottenuti. Nell'utilizzo di questo ragionamento, o meglio di questi tempi all'interno di un ciclo PERT, si dovranno aggiungere altre considerazioni sia per quel che riguarda l'utilizzo delle risorse necessarie, che per quanto riguarda gli spazi necessari, chiarificazioni che comunque verranno introdotte più avanti nel paragrafo approfondimento attività di ritaglio (3.4.3).

### 2.3 EDUZIONE-UTILIZZO ACQUA

Nella cava, l'approvvigionamento dell'acqua è quasi completamente naturale, se non in periodi di particolare siccità. L'acqua piovana viene raccolta in conche naturali derivanti da precedenti fasi di scavo, e, soprattutto, alla base del derrick, dove sono posizionati tre

grandi contenitori artificiali. L'acqua viene utilizzata nella attività di perforazione, nei tagli con filo diamantato e nel taglio di base con la tagliatrice a catena, onde evitare che in queste operazioni si raggiungano temperature eccessive; effettuato il ribaltamento, si usa poi l'acqua anche per la pulizia della bancata stessa, per poter meglio valutare la giacitura dei difetti e le conseguenti ipotesi di ritaglio. Nelle varie operazioni si cerca poi di dirottare l'acqua già utilizzata, in una zona di raccolta creata appositamente, dove, con un pompa (fotografia 15) si riesce così a recuperarla e quindi a riutilizzarla in seguito per altre operazioni.

Nella cava l'acqua utilizzata è poca e, a differenza delle segherie e dei laboratori, non è necessario un vero e proprio impianto di eduazione, quella poca acqua non riassorbita dalle pompe, viene lasciata assorbire dal terreno stesso. Merita invece, maggior attenzione, l'immissione nel terreno di grassi derivante dall'utilizzo delle tagliatrici a catena.

## **2.4 ESTRAZIONE-TRASPORTI**

I blocchi, derivanti dalla attività di ritaglio, vengono trasportati con la pala gommata (fotografia 16) e depositati nelle zone indicate nella pianta 1. Il trasporto complessivo del materiale lapideo si esegue quindi, quasi totalmente, con pale gommate, infatti la recente costruzione di una strada per accedere alla zona più alta della cava, ha permesso di non dover più ricorrere all'utilizzo del derrick per l'estrazione dei blocchi da tale zona, operazione lenta e laboriosa. I blocchi vengono dunque temporaneamente depositati nella zona sopracitata e, successivamente, caricati su camion (fotografia 17) che effettuano il trasferimento definitivo in segheria.

Nella zona in sotterraneo viene tuttora utilizzato il derrick per l'estrazione dei blocchi, infatti non è possibile raggiungere tale zona con i mezzi gommati per l'assenza di rampe d'accesso.

Tra cielo aperto e sotterraneo vengono utilizzati complessivamente due camionisti di fiducia che trasportano quasi tutto il materiale prodotto.

La sede della cava è facilmente raggiungibile su strada asfaltata, le vie interne sono invece acciottolate e, data la loro pendenza, per il transito sono spesso necessari mezzi a trazione integrale. Ultimamente, in casi eccezionali, per il trasporto di macchinari particolarmente pesanti, in zone difficilmente raggiungibili, si è utilizzato anche l'elicottero.



**FOTOGRAFIA. 15**



**FOTOGRAFIA. 16**



**FOTOGRAFIA. 17**

## **2.5 MACCHINE**

- **Escavatore Caterpillar 235C**  
motore diesel-turboalimentato  
potenza: 250 HP (186 kW)  
peso operativo: 41,8÷43,8 t  
altezza di trasporto: 3,480 m  
lunghezza di trasporto: 11,460 m  
larghezza di trasporto: 3,760 m
- **Pala gommata 988D**  
potenza: 375 HP (280 kW)  
peso operativo: 51,26 t  
lunghezza di trasporto: 9,00 m  
larghezza di trasporto: 3,20 m
- **Pala gommata 988F**  
potenza: 400 HP (298 kW)  
peso operativo: 57 t  
larghezza di trasporto: 3,70 m

lunghezza di trasporto: 10,70 m

- **derrick** (2 unità, una a cielo aperto in disuso, una in sotterraneo tuttora attiva)
- **Martellone Scaviter PMI 818 R**
- **Macchine a filo diamantato (3 unità) Micheletti 45**  
potenza motore: 70 HP (52 kW)
- **Macchine a filo diamantato (2 unità) Micheletti 30**  
potenza motore: 40 HP (30 kW)
- **Tagliatrice a catena (2 unità) Korfmann ST 50 VH**
- **Compressore pneumatico Mattei ERC 134**  
pressione massima lav.: 7 bar
- **Compressore pneumatico Atlas-Copco GA 408**  
pressione massima lav.: 8 bar



**FOTOGRAFIA. 18**

## CAPITOLO.3

### APPLICAZIONE METODO DEGLI SPAZI FUNZIONALI E TECNICA PERT NELLA CAVA STUDIATA

#### 3.1 IPOTESI AVANZAMENTO COLTIVAZIONI FUTURE

La cava *Fiordichiara* si estende su un'area molto ampia, seppur non troppo regolare, e le ipotesi di espansione della coltivazione possono essere diverse, la linea perseguita attualmente è quella di procedere nella coltivazione del livello A e abbassarsi gradualmente nella zona E, aspettando di arrivare con questa al livello dei gradoni più bassi; tuttora, è inoltre in fase di preparazione, un cantiere di lavoro nella zona decentrata L, cantiere, la cui preparazione crea non pochi problemi nelle zone A5, B2 e B3 (fotografia 20-pianta 1), per la proiezione di materiale con diametro variabile da pochi centimetri al metro.

Nella pianta 1 e nella fotografia 19 si può notare la presenza della strada di accesso alla zona E, immediatamente sopra al livello D, ragion per cui, allo stato attuale delle cose, andare oltre in quella zona risulta impossibile; tuttavia, per consentire l'espansione del primo livello nelle zone A1 ed A3, è strettamente necessario procedere nella coltivazione dei livelli C e D, per la precisione delle rispettive zone B1, B4, C1 e C2. L'avanzamento in tali zone è obbligatorio se si vuole mantenere possibile il passaggio dei mezzi gommati nel livello B.

Dopo un'attenta analisi della situazione contingente, e facendo anche riferimento alla coltivazione dei gradoni precedenti, le ipotesi di possibile avanzamento nel prossimo futuro dei livelli A, B, C e D sono quelle indicate nelle figure 1, 2, 3.

Analizzando la sopracitata situazione, si nota che lo schema di coltivazione ipotizzato è abbastanza regolare, fatta eccezione per la zona A4; ogni giacimento d'altra parte, difficilmente può essere schematizzato per intero in volumi elementari regolari, pur ricercando uno schema di base, ci devono sempre comunque essere delle zone in cui la coltivazione avviene in maniera diversificata.

La coltivazione, in particolare dei livelli A, B, C, D, ha un'impostazione principale che è quella ben visibile nelle figure 2 e 3, però, come è altrettanto evidente dalla figura 1, nella zona A4 per creare i presupposti per procedere nel modo suddetto, è necessario inizialmente crearsi un certo spazio minimo (fase di apertura) per la gestione delle varie attività del

ciclo. Per questo motivo si è costretti in principio, nella zona A4, a procedere seguendo lo schema "a lisca di pesce" evidenziato nella figura 1 e nella fotografia 20.

A questo punto è bene precisare che, quando si studierà l'applicazione del metodo degli spazi funzionali per l'ottenimento di un ciclo di coltivazione a file di bancate sfalsate (figura 4), questo lo si imposterà nello schema più regolare quale quello delle figure 2 e 3.



**FOTOGRAFIA. 19**

### 3.1.1. Risorse di base (livelli A, B e C)

risorse	sigla	gruppo	disponibilità
capocava	cap	cavatori	1
cavatore palista	cav pal	cavatori	2
cavatore tagliatrice	cav tag	cavatori	1
cavatore semplice	cav sem	cavatori	2
tagliatrice a catena	tcat	macchinari	1
macchina a filo	mfil	macchinari	3
compressore pneum.	cp	macchinari	1
martello pneum.	mp	macchinari	3
perforatrice rotativa	prot	macchinari	1
compressore idraul.	ci	macchinari	1
cuscini	cusc	macchinari	*
compressore per martini	cm	macchinari	1
martini idraul.	mi	macchinari	1
pala gommata	pg	macchinari	2
escavatore	esc	macchinari	1

(\*)= numero non precisato, ma pienamente sufficiente per gli scopi della cava

### 3.1.2. Un tipico ciclo di produzione attuato nella cava

Sulla base delle disponibilità appena viste, è possibile visualizzare il ciclo di produzione generalmente attuato nella cava e, successivamente, adoperando il metodo degli spazi funzionali e la tecnica PERT, cercare di delineare un procedimento di ottimizzazione dello stesso.

Il ciclo che si elenca a seguire riporta i dati, rilevati in sito, della coltivazione di una bancata nella zona A4:

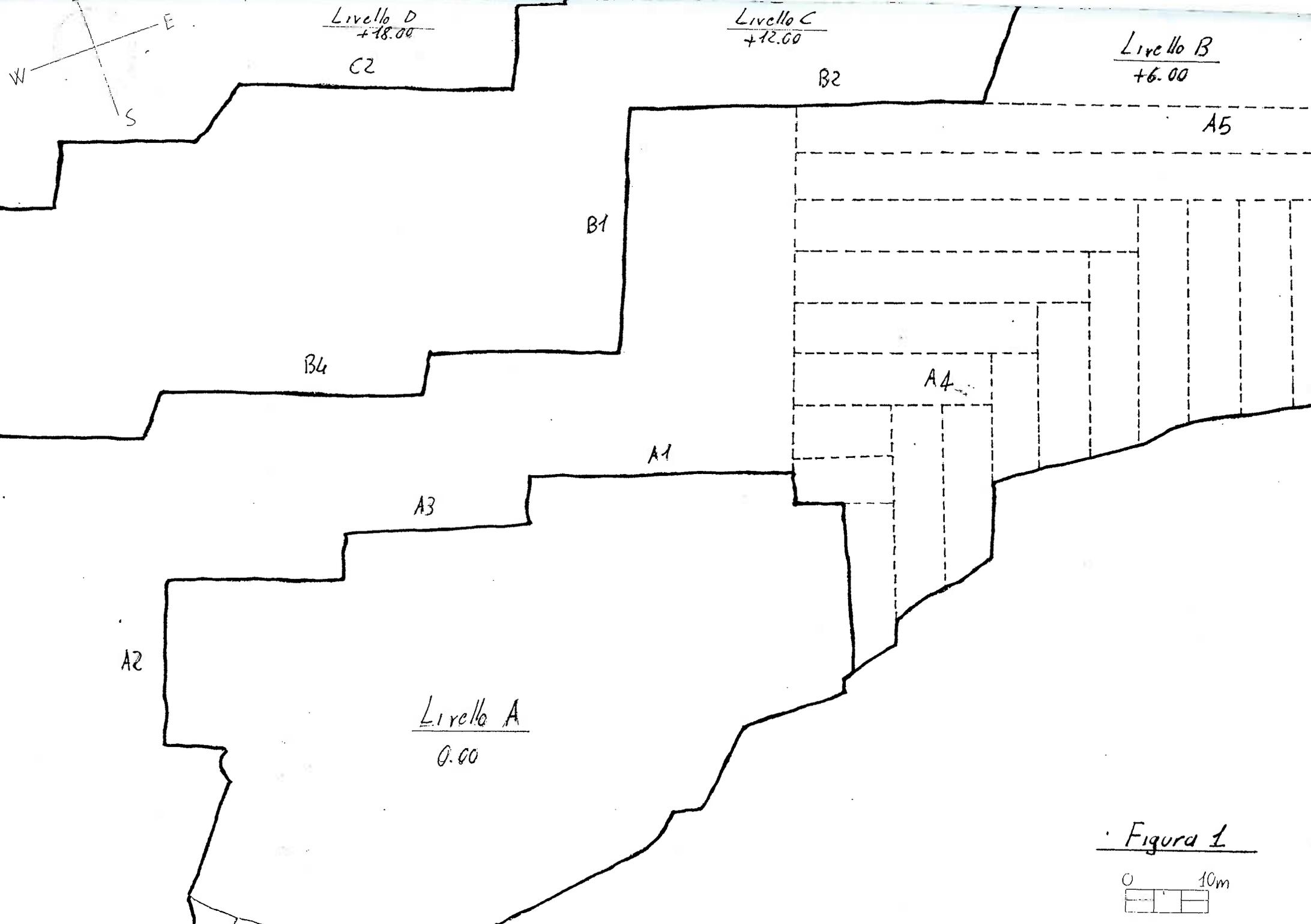
- elenco delle attività;
- tempi impiegati per il loro svolgimento;
- tempi morti (ritardi) intercorrenti tra le diverse attività.



FOTOGRAFIA. 20



FOTOGRAFIA. 21





strada di accesso zona E

Livello D  
+18.00

Livello C  
+12.00

Livello B  
+6.00

Livello A  
0.00

C1

C2

B1

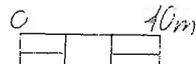
B4

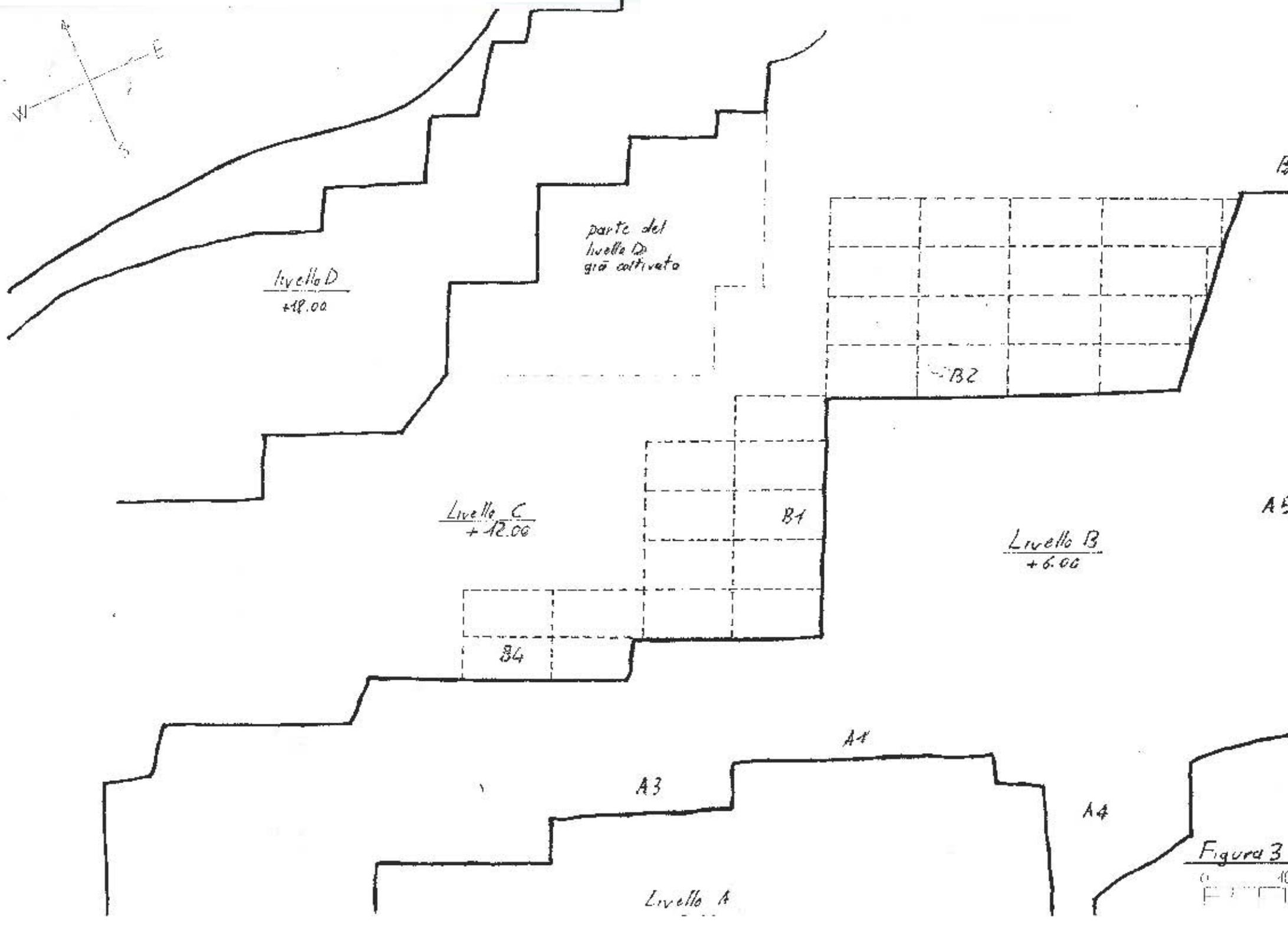
A1

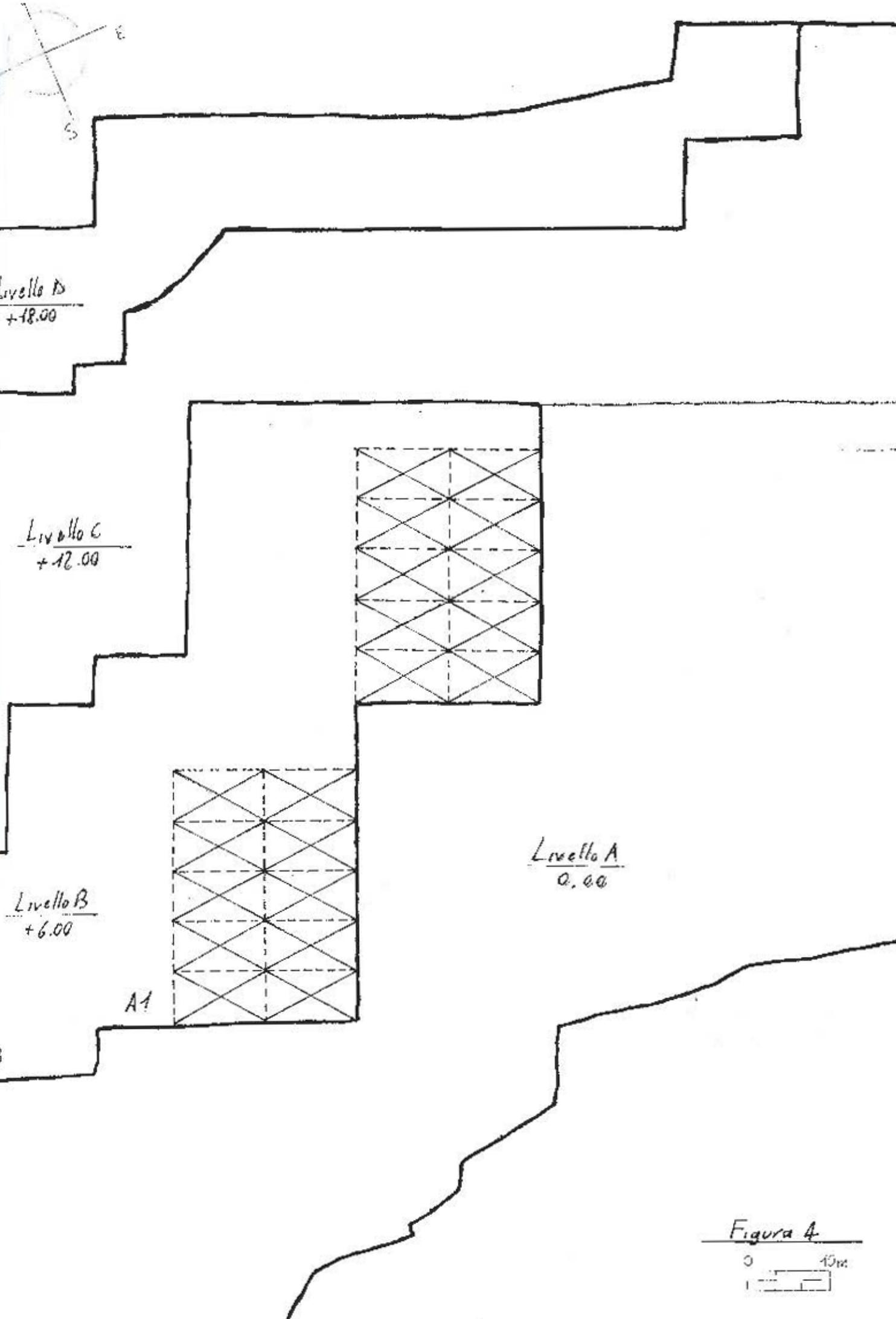
A3

A2

Figura 2







**Tabella 3: Ciclo di produzione tipico**

ATTIVITA	Durate [min]	Data inizio		Data fine		Risorse	Ritardi [min]
		[gg/mm/aa]	[ore/min]	[gg/mm/aa]	[ore/min]		
TAGLIO DI BASE	505	03/10/96	7.30	03/10/96	16.40		-
preparazione tagliatrice a catena	50	03/10/96	7.30	03/10/96	8.20	cav tag; cav sem; tcat; cav pal; cp; mp; pg	10
entrata braccio	50	03/10/96	8.30	03/10/96	9.20	cav tag; tcat	-
taglio effettivo	350	03/10/96	9.20	03/10/96	15.55	cav tag; tcat	-
uscita braccio	45	03/10/96	15.55	03/10/96	16.40	cav tag; tcat	
PERFORAZIONE a	120	04/10/96	7.30	04/10/96	9.30		-
preparazione perforatrice	30	04/10/96	7.30	04/10/96	8.00	cav sem[2]; prot; cp; mp; pg; cav pal	5
perforazione effettiva.	50	04/10/96	8.05	04/10/96	8.55	cav sem; prot	5
disassemblaggio perforatrice	30	04/10/96	9.00	04/10/96	9.30	cav sem[2]; prot	
PERFORAZIONE b	120	04/10/96	9.45	04/10/96	11.45		-
preparazione perforatrice	30	04/10/96	9.45	04/10/96	10.15	cav sem[2]; prot; cp; mp; pg; cav pal	5
perforazione effettiva.	50	04/10/96	10.20	04/10/96	11.10	cav sem; prot	5
disassemblaggio perforatrice	30	04/10/96	11.15	04/10/96	11.45	cav sem; cp; mp; prot	
PERFORAZIONE c	120	04/10/96	12.45	04/10/96	14.45		15
preparazione perforatrice	30	04/10/96	12.45	04/10/96	13.15	cav sem[2]; prot; cp; mp; pg; cav pal	5
perforazione effettiva	50	04/10/96	13.20	04/10/96	14.10	cav sem; prot	5
disassemblaggio perforatrice	30	04/10/96	14.15	04/10/96	14.45	cav sem[2]; prot	
PULIZIA SOTTO BANCATA	100	04/10/96	14.55	04/10/96	16.35	cav sem[2]	
TAGLIO AL MONTE	645	04/10/96	16.40	08/10/96	9.10		5
preparazione macchina a filo	20	04/10/96	16.40	04/10/96	17.00	cav sem[2]; mfil; cav pal; pg	-
avviamento	10	07/10/96	7.30	07/10/96	7.40	cav sem[2]; mfil	-
taglio effettivo	600	07/10/96	7.40	08/10/96	8.55	cav sem; mfil	5
disass.macchina a filo	10	08/10/96	9.00	08/10/96	9.10	cav sem; mfil	

TAGLIO LATERALE a	100	08/10/96	9.20	08/10/96	11.00		10
preparazione macchina a filo	10	08/10/96	9.20	08/10/96	9.30	cav sem[2]; mfil; cav pal; pg	-
avviamento	10	08/10/96	9.30	08/10/96	9.40	cav sem[2]; mfil	-
taglio effettivo	80	08/10/96	9.40	08/10/96	11.00	cav sem; mfil	
TAGLIO LATERALE b	100	08/10/96	11.10	08/10/96	13.35		10
preparazione macchina a filo	10	08/10/96	11.10	08/10/96	11.20	cav sem[2]; mfil; cav pal; pg	-
avviamento	10	08/10/96	11.20	08/10/96	11.30	cav sem[2]; mfil	-
taglio effettivo.	80	08/10/96	11.30	08/10/96	13.35	cav sem; mfil	
TAGLIO LATERALE c	105	08/10/96	13.45	08/10/96	15.30		10
preparazione macchina a filo	10	08/10/96	13.45	08/10/96	13.55	cav sem[2]; mfil; cav pal; pg	5
avviamento	10	08/10/96	14.00	08/10/96	14.10	cav sem[2]; mfil	-
taglio effettivo	80	08/10/96	14.10	08/10/96	15.30	cav sem; mfil	
PULIZIA- PREPARAZ.LETTO DI CADUTA	50	08/10/96	15.40	08/10/96	16.30	cav pal; pg	-
CUSCINI IDRAULICI	30	09/10/96	7.30	09/10/96	8.00	cap; cav sem; ci; cusc	
RIBALTAMENTO	5	09/10/96	8.10	09/10/96	8.15		
ribaltamento con benna- rovescia	5	09/10/96	8.10	09/10/96	8.15	cav pal; esc	
RITAGLI-TAGLI SECONDARI	1550	09/10/96	9.15	14/10/96	8.50		
ritaglio 1	180	09/10/96	9.15	09/10/96	13.00	cav sem; mfil	-
ritaglio 2	180	10/10/96	7.30	10/10/96	10.30	cav sem; mfil	5
spost.per iniziare ritaglio 3	10	10/10/96	10.35	10/10/96	10.45	cav pal; pg; cap	-
p.m.f 3	15	10/10/96	10.45	10/10/96	11.00	cap; cav sem; mfil	-
ritaglio 3	30	10/10/96	11.00	10/10/96	11.30	cav sem; mfil	5
p.m.f 4	10	10/10/96	11.35	10/10/96	11.45	cap; mfil; cav sem	15
ritaglio 4	40	10/10/96	12.45	10/10/96	13.25	cav sem; mfil	5
spost.blocchi	10	10/10/96	13.30	10/10/96	13.40	cav pal; pg; cap	5

p.m.f 5	15	10/10/96	13.45	10/10/96	14.00	cap; cav sem; mfil	-
ritaglio 5	50	10/10/96	14.00	10/10/96	14.50	cav sem; mfil	5
varie	40	10/10/96	14.55	10/10/96	15.35	cap; cav pal; pg	-
varie 2	15	10/10/96	15.35	10/10/96	15.50	cap; cav pal; pg	5
ritaglio 6	60	10/10/96	15.55	10/10/96	16.55	cav sem; mfil	-
ritaglio 8	60	11/10/96	7.30	11/10/96	8.30	cav sem; mfil	5
p.m.f 7	35	11/10/96	8.35	11/10/96	9.10	cap; cav sem; mfil	5
ritaglio 7	55	11/10/96	9.15	11/10/96	10.10	cav sem; mfil	5
p.m.f 9	20	11/10/96	9.05	11/10/96	9.25	cap; cav sem; mfil	5
ritaglio 9	55	11/10/96	9.30	11/10/96	10.25	cav sem; mfil	-
varie	25	11/10/96	10.15	11/10/96	10.40	cav pal; cap; pg	5
p.m.f 10	35	11/10/96	10.45	11/10/96	11.20	cap; cav sem; mfil	-
ritaglio 10	65	11/10/96	11.30	11/10/96	13.20	cav sem; mfil	5
varie	25	11/10/96	13.25	11/10/96	13.50	cap; cav pal; pg	10
p.m.f 11	25	11/10/96	14.00	11/10/96	14.25	cap; cav sem; mfil	-
ritaglio 11	50	11/10/96	14.25	11/10/96	15.15	cav sem; mfil	-
varie	60	11/10/96	14.40	11/10/96	15.40	cap; cav pal; pg	10 /rit 11
p.m.f 12	25	11/10/96	15.25	11/10/96	15.50	cap; cav sem; mfil	-
ritaglio 12	30	11/10/96	15.50	11/10/96	16.20	cav sem; mfil	-
p.m.f 13	20	14/10/96	7.30	14/10/96	7.50	cap; cav sem; mfil	5
ritaglio 13	55	14/10/96	7.55	14/10/96	8.50	cav sem; mfil	

\*<sub>1</sub> = giornata lavorativa ridotta causa pioggia

L'isolamento bancata appena schematizzato presenta la particolarità di avere due sole superfici libere (fatto che implica l'esecuzione di tre attività di perforazione e di tre tagli laterali), ciò nonostante tale ciclo può comunque risultare utile per definire il ciclo elementare di produzione, i suoi tempi e le risorse necessarie per il suo completamento. In particolare, assieme alle caratteristiche appena elencate, nella tabella seguente, si riporta anche la colonna *lavoro* nella quale è possibile valutare il tempo lavorativo reale, sia delle risorse umane che tecnologiche, dato fondamentale in seguito per il calcolo degli indici di presenza e quindi degli eventuali tempi di esposizione ad agenti esterni.

### 3.1.3. Ciclo elementare di produzione

Dall'esame in sito di un numero rappresentativo di cicli, non riportati tuttavia con lo stesso dettaglio del precedente esempio, si è ottenuto il seguente risultato:

**Tabella 4: Ciclo elementare di produzione**

ATTIVITÀ	DURATE [min]	LAVORO [min]		RISORSE
		risorse tot.	addetti	
<b>TAGLIO DI BASE</b>	525	1200	585	
preparazione tagliatrice a catena	50	250	110	cav tag; cav sem; cav pal; tcat; cp; mp; pg
entrata braccio	50	100	50	cav tag; tcat
taglio effettivo	350	700	350	cav tag; tcat
uscita braccio	45	90	45	cav tag; tcat
disassemblaggio tagliatrice	30	60	30	cav tag; tcat
<b>PERFORAZIONE a</b>	110	360	180	
preparazione perforatrice	30	170	70	cav sem; cav tag; cav pal; pg; prot; cp; mp
perforazione effettiva.	50	100	50	cav sem; prot
disassemblaggio perforatrice	30	90	60	cav tag; cav sem; prot
<b>PERFORAZIONE b</b>	110	360	180	
preparazione perforatrice	30	170	70	cav sem; cav tag; cav pal; pg; prot; cp; mp

perforazione effettiva.	50	100	50	cav sem; prot
disassemblaggio perforatrice	30	90	60	cav tag; cav sem; prot
<b>PULIZIA SOTTO BANCATA</b>	30	60	60	cav pal; cav tag
<b>TAGLIO AL MONTE</b>	640	1330	680	
prep.macchina a filo (t.monte)	20	80	50	cav sem; cav tag; cav pal; mfil; pg
avviamento (t.monte)	10	30	20	cav sem; cav tag; mfil
taglio al monte effettivo	600	1200	600	mfil; cav tag
disassemblaggio macchina a filo (t.monte)	10	20	10	cav sem; mfil
<b>TAGLIO LATERALE a</b>	110	250	135	
preparazione macchina a filo (t.laterale)	10	40	25	cav sem; cav tag; cav pal; mfil; pg
avviamento (t.laterale)	10	30	20	cav sem; cav tag; mfil
taglio laterale effettivo	80	160	80	cav tag; mfil
disassemblaggio.macchina a filo (t.laterale)	10	20	10	mfil; cav tag
<b>TAGLIO LATERALE b</b>	110	250	135	
preparazione.macchina a filo (t.laterale)	10	40	25	cav sem; cav tag; cav pal; mfil; pg
avviamento (t.laterale)	10	30	20	cav sem; cav tag; mfil
taglio laterale effettivo	80	160	80	cav tag; mfil
disassemblaggio macchina a filo (t.laterale)	10	20	10	mfil; cav tag
<b>PULIZIA -PREPARAZIONE. LETTO DI CADUTA</b>	15	30	15	cav pal; pg
<b>CUSCINI IDRAULICI</b>	30	120	60	cap; cav sem; ci; cusc
<b>RIBALTAMENTO</b>	5	10	5	cav pal; esc
<b>CICLO COMPLESSIVO RITAGLI (*)</b>	3485	9160	-	
<b>RITAGLI a</b>	1725	4500	-	
preparazione macchina a filo (ritagli)	350	1750	-	mfil; cap; cav pal; pg; cav sem
ritagli effettivi	1200	2400	-	cav sem; mfil

spostamento blocchi pulizia piazzale	175	350	-	cav pal; pg
<b>PULIZIA -PREPARAZIONE. LETTO DI CADUTA b</b>	15	30	-	cav pal; pg
<b>CUSCINI IDRAULICI b</b>	30	120	-	cav sem; cusc; ci; cap
<b>RIBALTAMENTO b</b>	5	10	-	cav pal; esc
<b>RITAGLI b</b>	1725	4500	2425	
preparazione macchina a filo (ritagli)	350	1750	1050	cav sem; mfil; cap; cav pal; pg
ritagli effettivi	1200	2400	1200	cav sem; mfil
spostamento blocchi pulizia piazzale	175	350	175	cav pal; pg

(\*)= per specifiche ritagli vedi paragrafo 3.4.3

### 3.2 IL METODO DEGLI SPAZI FUNZIONALI

attività	lavoro [h]	addetti [n]	attività	lavoro [h]	addetti [n]
TB	9,7	1÷3	TL.a	2,25	1÷3
P.a	3	1÷3	TL.b	2,25	1÷3
P.b	3	1÷3	CIa/b	1	2
PSB	1	2	RIBa/b	0,08	1
TM	11,3	1÷3	RITa/b	27,85cad.	1÷3

legenda	
TB : taglio di base-tagliatrice	TL.a : taglio laterale a-macchina a filo
P.a : perforazione a-perforatrice	TL.b : taglio laterale b-macchina a filo
P.b : perforazione b-perforatrice	CI : cuscini idraulici
PSB : pulizia sotto bancata	RIBa/b : rovesciamento bancata-escavatore
TM : taglio al monte-macchina a filo	RITa/b : tagli secondari-macchina a filo

Alla luce di quanto visto sinora, fissato il ciclo elementare di produzione, è necessario a questo punto introdurre altri elementi, essenziali per lo sviluppo del metodo degli spazi funzionali:

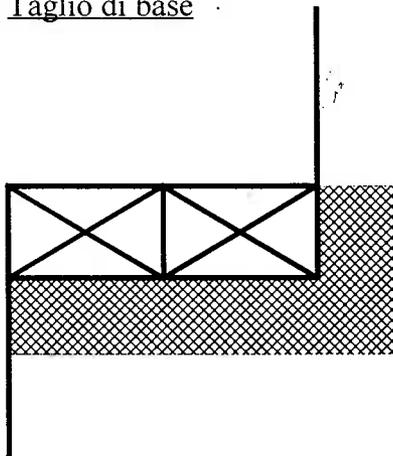
- spazi funzionali delle attività;
- catena di spazi;
- mappa di presenza degli addetti (dato utile soprattutto per la valutazione dei tempi di esposizione);
- matrice del grado di condivisione.

Per facilitare la comprensione di ciascuno degli elementi sopracitati si riporta nei paragrafi successivi una spiegazione sintetica di quanto già visto in modo dettagliato nel primo capitolo.

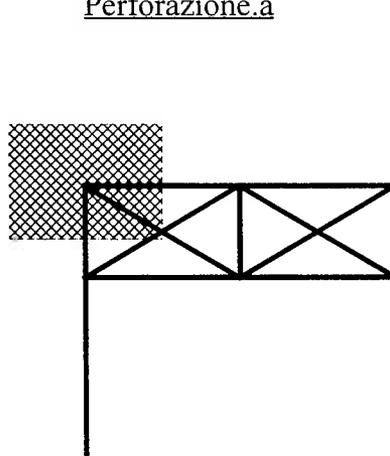
### 3.2.1. Spazi funzionali attività

Definizione: Spazio richiesto da ciascuna attività per la sua esecuzione, comprendente, sia quello fisicamente occupato dalle attrezzature che dai percorsi degli addetti.

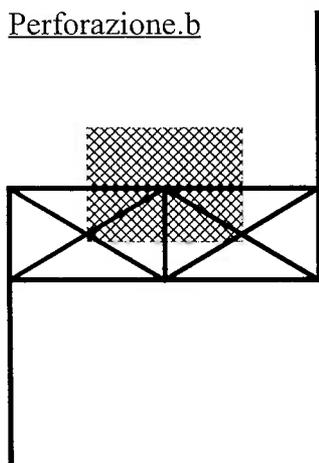
Taglio di base



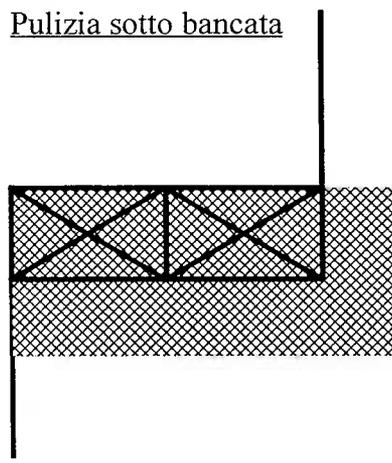
Perforazione.a



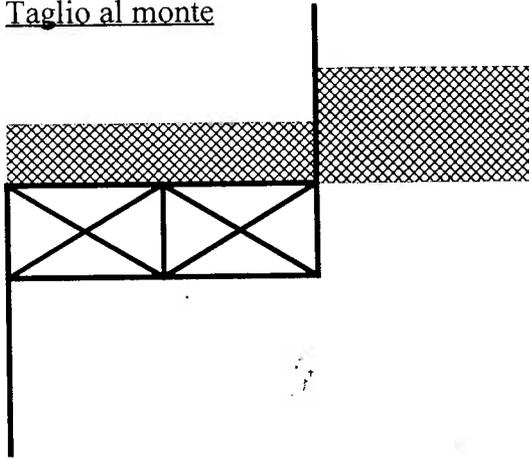
Perforazione.b



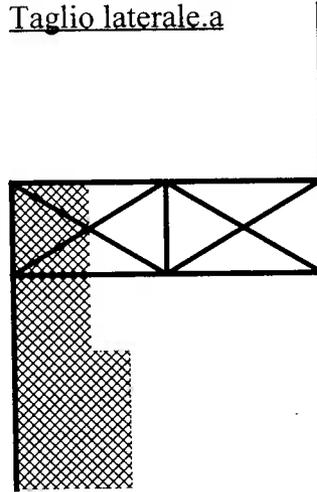
Pulizia sotto bancata



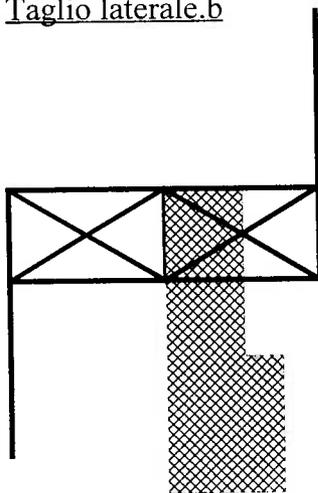
Taglio al monte



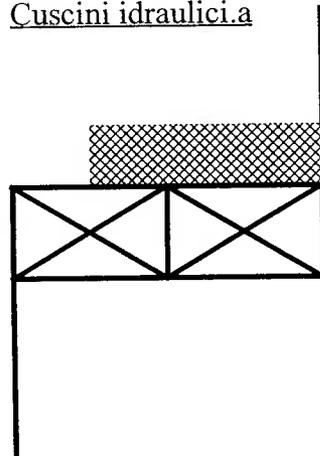
Taglio laterale.a



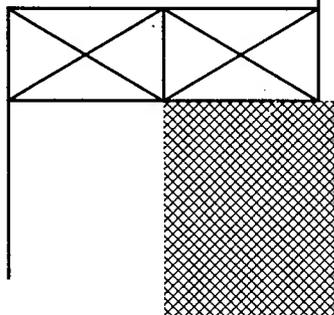
Taglio laterale.b



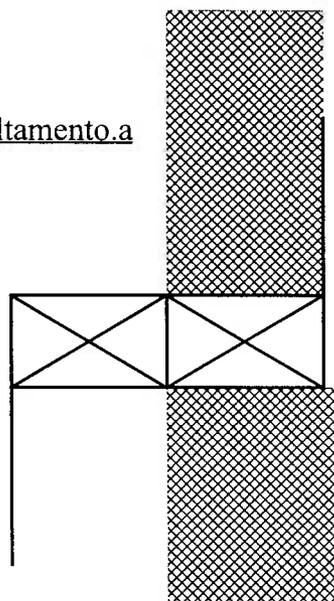
Cuscini idraulici.a



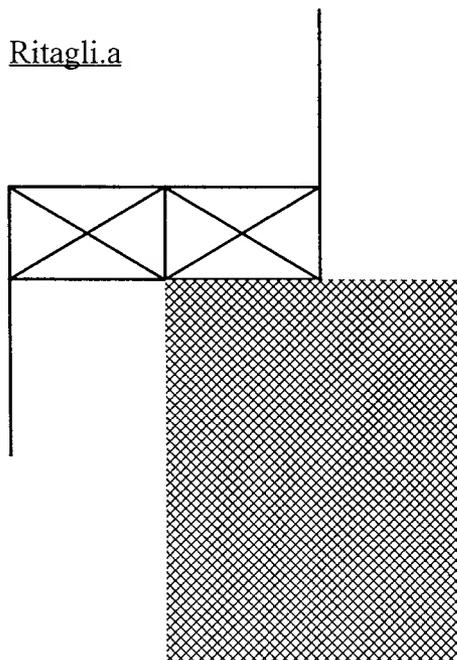
Preparazione letto di caduta.a



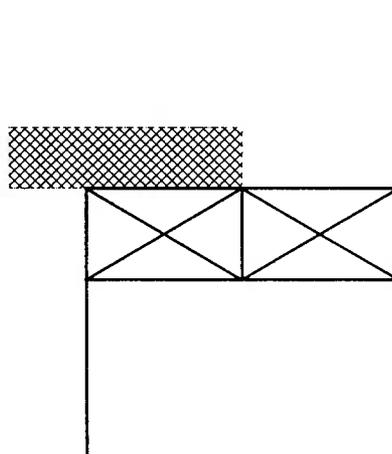
Ribaltamento.a



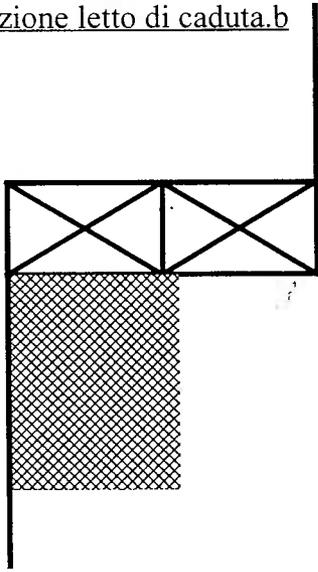
Ritagli.a



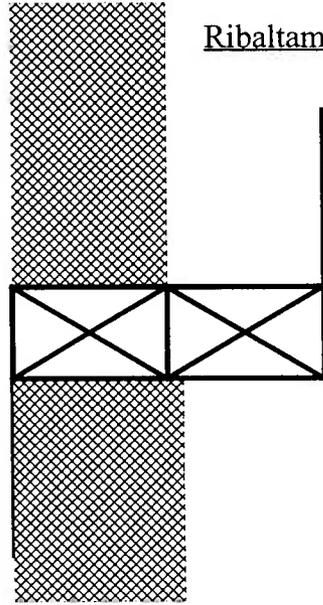
Cuscini idraulici.b



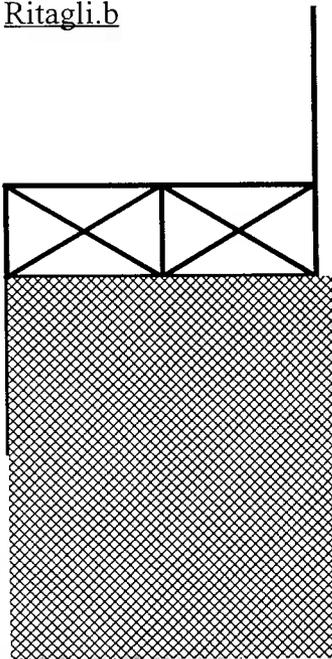
Preparazione letto di caduta.b



Ribaltamento.b

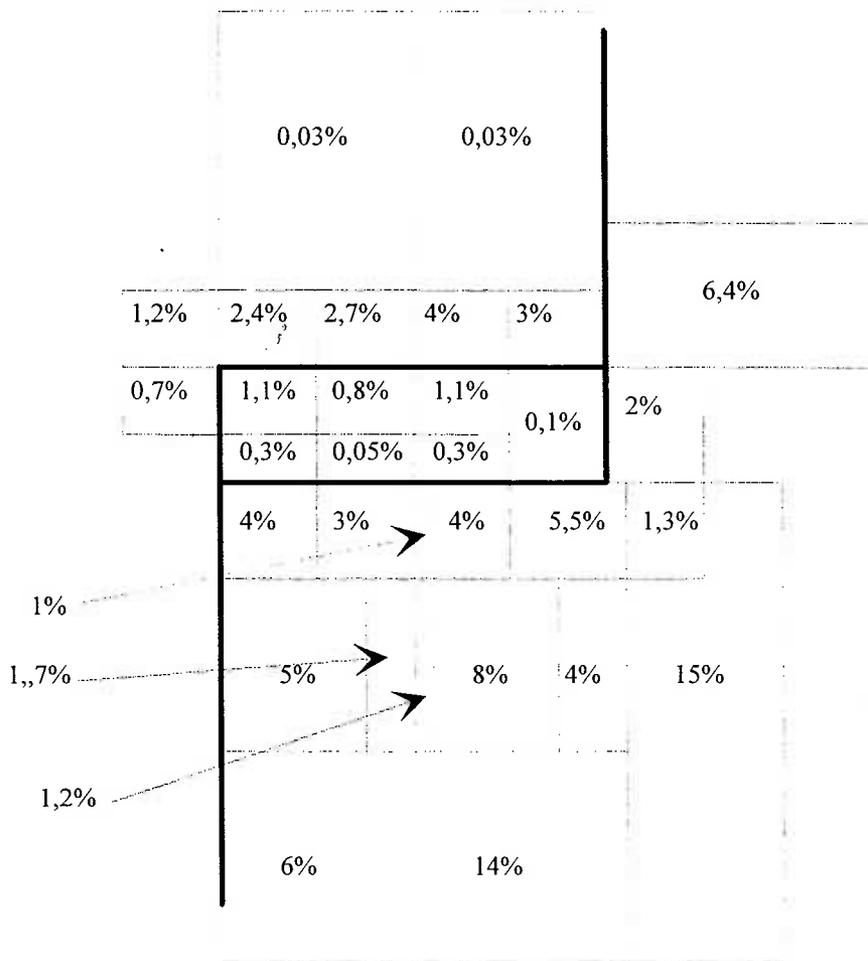


Ritagli.b





### 3.2.3. Mappa presenze



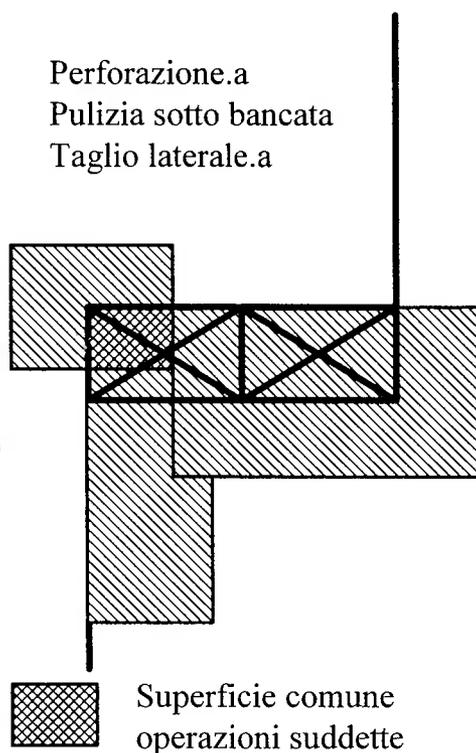
La valutazione degli indici di presenza è un'operazione abbastanza lunga, seppur schematica e ripetitiva, consiste nell'assegnazione ad ogni zona della catena di spazi di una percentuale di presenza del personale lavorativo.

Il calcolo di questo indice viene fatto, per ogni area della catena, tenendo conto dei seguenti fattori:

- ore lavorative [h] trascorse nella porzione specifica di area;
- superficie [m<sup>2</sup>] della porzione specifica di area.

Si parte dal presupposto che, in determinate zone della catena, durante un ciclo elementare di produzione, si avvicendano diverse attività e quindi ad ogni zona corrisponde come indice di presenza addetti la sommatoria delle ore lavorative delle diverse attività sopracitate.

Esempio:



L'indice presenza addetti si ottiene, in questo caso, svolgendo i seguenti calcoli:

Perforazione

Ore lavorative (addetti)=3 h

Superficie attività perforazione=27 m<sup>2</sup>

$$3 : 27 = x_1 : 6,3$$

$$x_1 = 3 \cdot 6,3 / 27 = 0,7 \%$$

Pulizia sotto bancata

Ore lavorative (addetti)= 1 h

Superficie attività pulizia sotto bancata= 99 m<sup>2</sup>

$$1 : 99 = x_2 : 6,3$$

$$x_2 = 1 \cdot 6,3 / 99 = 0,064 \%$$

Taglio laterale

Ore lavorative (addetti)= 2,25 h

Superficie attività taglio laterale= 44,1 m<sup>2</sup>

$$2,25 : 44 = x_3 : 6,3$$

$$x_3 = 2,25 \cdot 6,3 / 44 = 0,32 \%$$

indice di presenza =  $x_1 + x_2 + x_3 = 1,08 \%$

Come si può notare, i calcoli in sé sono molto semplici, l'esecuzione di questi diventa tuttavia problematica a causa del gran numero di attività da eseguire per schematizzare l'intero ciclo elementare.

Per ovviare a questo problema, si sono calcolate prima le aree e le ore lavorative di ciascuna attività (App.1-tabella A.1.a), successivamente è stato sufficiente impostare questi dati e le rispettive formule su un foglio di calcolo (App.1-tabella A.1.b) per velocizzare il procedimento globale.

Un'ulteriore osservazione che si può aggiungere riguardo alla tematica indici di presenza, è che non tutte le posizioni interne ad un singolo spazio funzionale vengono frequentate con la stessa assiduità dagli addetti: in tal caso sarebbe forse più corretto introdurre delle aree di presenza distinte all'interno di uno stesso spazio, però, come conseguenza immediata, i calcoli diventerebbero assai più complessi e sarebbe quindi da dimostrare la effettiva utilità di questo ulteriore di dettaglio.

Dettagli di calcolo: vedi App.1.

### **3.2.4. Matrice del grado di condivisione**

Se assumiamo che ogni attività del ciclo abbia a disposizione risorse specifiche, ma che attività di cicli diversi utilizzino la medesima risorsa, le attività uguali, pur se di cicli diversi, non possono essere realizzate in parallelo e quindi la loro allocazione in un diagramma di Gantt (1.1.1.10) risulta essere in sequenza. Analogamente, se due attività sono caratterizzate da condivisione di spazi non è possibile la loro esecuzione contemporanea, almeno in linea di principio e, controllando sulla topologia degli spazi funzionali, bisogna allocarle sul diagramma di Gantt sequenzialmente.

Nel caso della cava studiata, dopo un'attenta analisi che ha portato alla definizione dello sfalsamento di bancate visibile nelle pagine seguenti, per superare le eventuali sovrapposizioni spaziali, si segue un diagramma Gantt quale quello esposto nell'appendice 4.

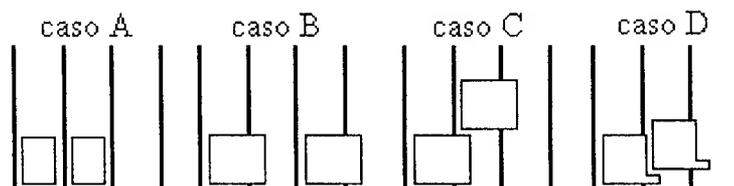
Per accelerare questo tipo di controllo, è possibile introdurre il concetto di grado di condivisione, si valuta cioè il grado di condivisione dello spazio di un'attività rispetto ad un'altra prendendo in considerazione soltanto le sue precedenti nel ciclo e limitando l'analisi a quelle caratterizzate da un indice di ciclo superiore a quello dell'attività in esame. Avremo quindi che, se il ciclo è rappresentato da tre attività in serie  $A_n$ ,  $B_n$ ,  $C_n$ , occorre valutare il grado di condivisione di  $C_n$  rispetto a  $B_{n+1}$ ,  $B_{n+2}$ ...ed  $A_{n+1}$ ,  $A_{n+2}$ , e di  $B_n$  rispetto ad  $A_{n+1}$ ,  $A_{n+2}$ ...

Si prenda ad esempio, nell'allegato A.2.a (appendice 2) l'attività *perforazione a1*, per questa, secondo quanto detto finora, il raffronto degli spazi funzionali viene fatto solamente con le attività taglio di base, con  $i = 2, 3, \dots, n$ , il grado di condivisione in questo caso risulta essere pari a 2.

Ripetendo questa operazione per tutte le attività, si ottiene la matrice del grado di condivisione (tabella 5), il valore massimo di questa corrisponde allo sfalsamento con cui devono essere disposte due file di bancate coltivate in parallelo, per evitare la contemporaneità delle attività richiedenti il medesimo spazio funzionale.

La matrice del grado di condivisione è costruita per confronto tra le attività di diversi cicli lungo la stessa fila, e il confronto avviene prioritariamente lungo una sola dimensione, la direzione di avanzamento, dal momento che è proprio da quella che possono derivare le principali sovrapposizioni. Se non vi sono spazi della catena fuori dalla fila di bancate, i fronti delle due file possono essere non sfalsati; se ci sono invece spazi (o porzioni) al di fuori della fila, si presentano due alternative: o si porta la posizione della nuova fila al di là degli spazi esterni alla prima fila, e in tal caso ricado nel caso precedente, oppure, se tutta la catena presenta spazi all'esterno, il numero di bancate di sfalsamento è pari al massimo grado di condivisione; se invece solo una parte della catena presenta spazi all'esterno, lo sfalsamento può essere  $\leq$  massimo grado di condivisione.

### Sfalsamento fronti



A = fronti non sfalsati

B = fronti non sfalsati

C = fronti sfalsati (max. grado matrice)

D = fronti sfalsati (solo una parte della catena presenta parti esterne)

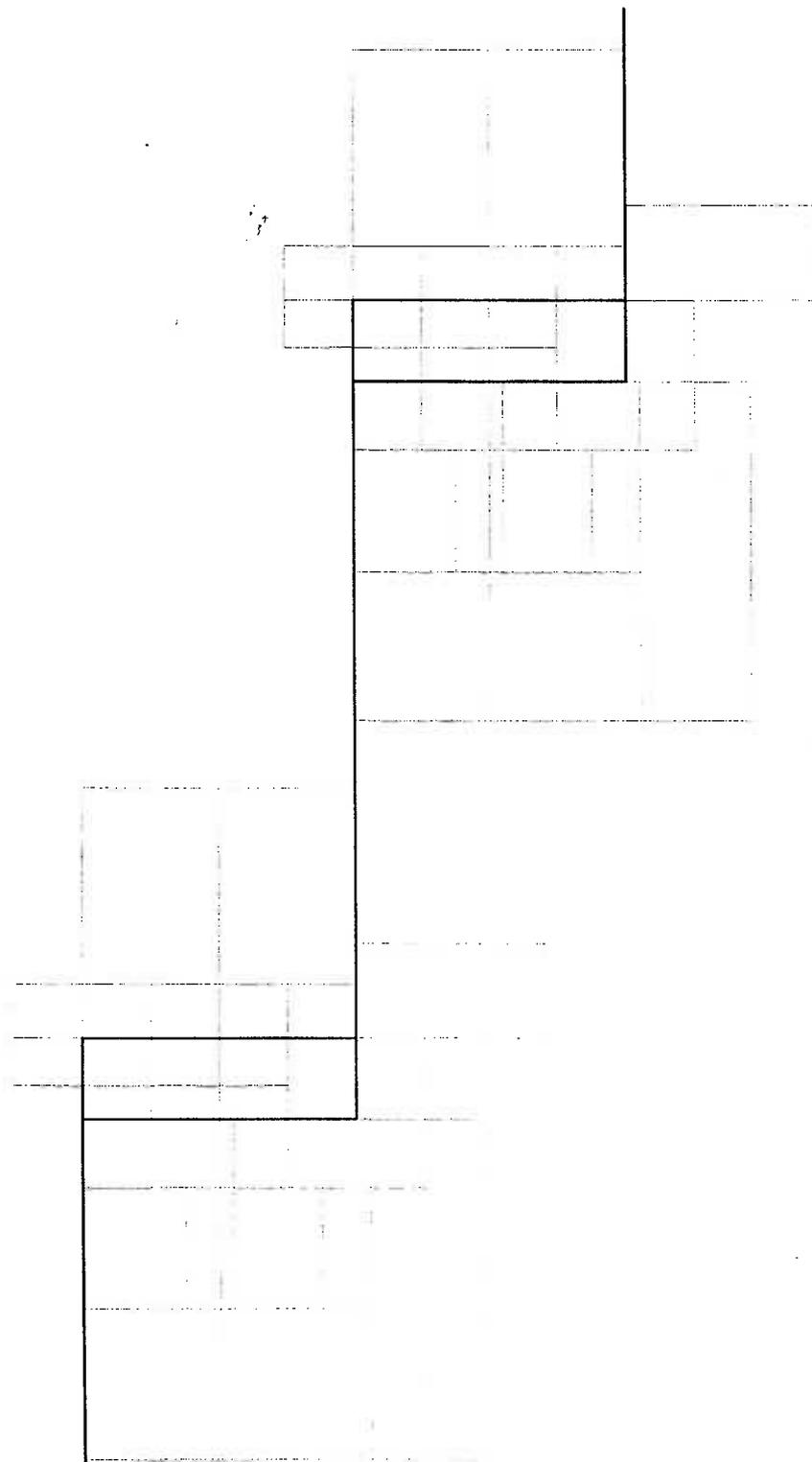
**Tabella 5: Matrice del grado di condivisione**

	Rit.b	Rib.b	PL.b	CI.b	Rit.a	Rib.a	PL.a	CI.a	TL.b	TL.a	TM	PSB	P.b	P.a	TB
Rit.b															
Rib.b	2														
PL.b	2	6													
CI.b	0	3	0												
Rit.a	4	8	4	5											
Rib.a	3	6	2	3	3										
PL.a	3	6	2	3	3	6									
CI.a	0	3	0	0	0	3	0								
TL.b	2	6	2	3	2	6	2	3							
TL.a	2	6	2	3	2	6	2	3	3						
TM	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0					
PSB	0	4	0	2	0	4	0	2	1	1	2				
P.b	0	3	0	1	0	3	0	1	0	0	1	0			
P.a	0	3	0	1	0	3	0	1	0	0	1	0	1		
TB	0	4	0	2	0	4	0	2	1	1	2	1	2	2	

♦ nell' appendice 2 è riportata la tabella (A.2a) con i valori reali di sovrapposizione

### 3.2.5 Sfalsamento bancate

Volendo dunque portare avanti due cicli in parallelo senza problemi di sovrapposizioni, si utilizza uno sfalsamento di otto bancate come previsto dalla matrice del grado di condivisione:



### 3.2.6 Mappa presenze (produttività massima)

Una volta definiti gli spazi necessari per portare avanti due cicli *in parallelo* è necessario ricalcolare gli indici di presenza addetti, prendendo come riferimento non più 86 ore per ciclo, ma il doppio.

Il risultato è riassunto nella seguente figura che, come ovvio, non evidenzia alcuna sovrapposizione essendo l'unione delle mappe di presenza delle due catene opportunamente sfalsate:



### 3.4 TECNICA PERT (Gestione delle risorse)

#### 3.4.1. Introduzione generale

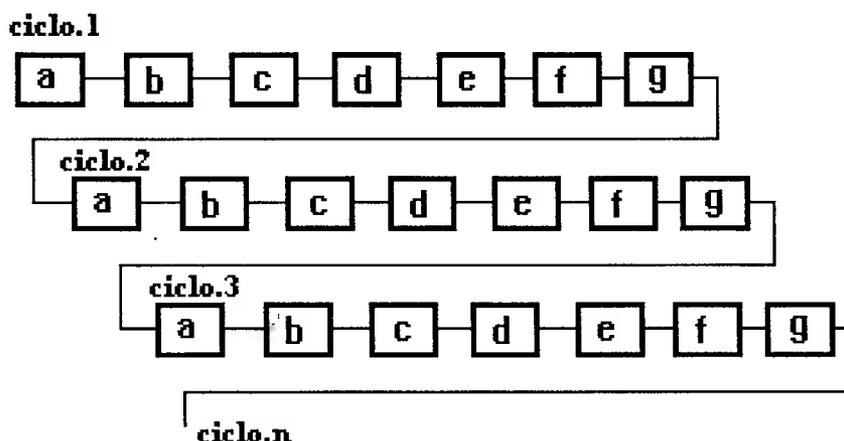
Dopo aver definito gli spazi funzionali necessari passiamo ora a pianificare la gestione delle risorse, utilizzando la tecnica PERT e tenendo presenti due punti fissi del ciclo studiato:

- durata globale del singolo ciclo produttivo (critico) = 85 h-55 min (5155 min)
- durata attività più lunga (ciclo ritagli) = 58 h-5 min (3485 min).

Per fare un raffronto tra i due metodi di gestione (*sequenziale e in parallelo*) si impostano entrambi su M.p. e per ciascuno si eseguono quattro cicli esempio. Entrambi i cicli vengono fatti iniziare lo stesso giorno, alla stessa ora, seguendo lo stesso calendario, quello ufficialmente seguito nella cava in esame.

CALENDARIO DI BASE	
giorno	ore
Lunedì	7.30÷12.00 12.45÷17.00
Martedì	7.30÷12.00 12.45÷17.00
Mercoledì	7.30÷12.00 12.45÷17.00
Giovedì	7.30÷12.00 12.45÷17.00
Venerdì	7.30÷12.00 12.45÷17.00
Sabato	non lavorativo
Domenica	non lavorativo

### 3.4.2. Gestione sequenziale dei cicli



Il ciclo sequenziale è sicuramente l'ipotesi di procedimento più semplice, infatti, decidendo di seguire questo tipo di gestione è sufficiente, prima dell'inizio di un nuovo ciclo aspettare l'esecuzione completa di quello precedente.

Questo metodo, oltre ad essere il più facile da portare avanti, è anche il meno dispendioso dal punto di vista delle risorse necessarie, infatti, essendo sequenziale non da ovviamente problemi di sovrapposizione delle stesse.

La produttività di un processo, a gestione completamente sequenziale, è tendenzialmente bassa e costante, il calcolo di questa è estremamente facile:

$P_{seq.} = Vol_{colt.}/D_{c.c} = P_{min.}$  dove  $D_{c.c}$  è la durata del ciclo critico e  $Vol_{colt}$  è il volume elementare coltivato. Nel caso della cava studiata si ha quindi  $P_{seq.} = 252/86 = 2,93 \text{ m}^3 / \text{h}$ .

#### **Durata progetto esempio (4 cicli)**

Data inizio 21 ottobre 7.30 1996

Data fine 16 dicembre 9.55 1996

Durata 20620 min.

Lavoro 85520 min.

**Tabella 6: Elenco risorse (gestione sequenziale)**

Risorse	Unità disponibili	Unità di punta	Lavoro [min]	Lavoro specifico [ore] <sub>lav</sub> / durata]
capocava	1	1	14040	0,7
cavatore palista	2	2	14280	0,35
cavatore tagliatrice	1	1	6100	0,3
cavatore semplice	2	1	15440	0,4
tagliatrice a catena	1	1	2100	0,1
macchina a filo	3	1	17240	0,3
compressore pneum.	2	1	400	0,01
martello pneum.	3	1	400	0,01
perforatrice rotativa	1	1	880	0,04
compressore idraul.	1	1	240	0,01
cuscini	*	1	240	trasc.
compressore per martini	1	0	0	-
martini idraul.	1	0	0	-
pala gommata	2	1	14120	0,34
escavatore	1	1	40	trasc.
derrick	1	0	0	-

\*= quantità non precisata

Dettagli (Diagrammi PERT, Relazione periodica...): Appendice 3.

### 3.43 Approfondimento attività di ritaglio

Come già anticipato nella descrizione generale dell'attività ritagli, prima di affrontare la gestione dei cicli *in parallelo*, all'interno di un reticolo PERT, è necessario un certo approfondimento sulla tematica ritagli.

Nel paragrafo 2.2.1.6.2, utilizzando i dati rilevati in sito e introducendo determinate ipotesi si è risaliti ad un prototipo di attività ritagli per quanto concerne i tempi complessivi, nell'analisi degli spazi funzionali (paragrafo 3.2.1) si è definita l'area necessaria per lo svolgimento di questa attività, a questo punto è necessario entrare più attentamente nel merito delle risorse occorrenti e quindi specificare bene come distribuire i tempi di queste all'interno della attività ritagli.

Sinora, per l'attività ritagli si è stabilita la seguente catena di risorse:

- capocava;
- cavatore semplice;
- cavatore palista;
- pala gommata;
- macchina a filo diamantato.

Una volta fissate, risulta più difficile decidere come distribuire le stesse all'interno dell'attività, perché, come già accennato, lo svolgimento di questa può avvenire in diversi modi e difficilmente si riesce a trovare una procedura standard, giacché, dopo il ribaltamento, la bancata può risultare variamente frantumata.

Nelle tabelle visualizzate in precedenza, per semplicità, si sono considerate le tre operazioni fondamentali (preparazione macchina a filo, ritaglio effettivo e spostamento blocchi-pulizia piazzale) come sequenziali, questo perché ogni altra ipotesi specifica sarebbe stata opinabile data la natura aleatoria del processo ritagli.

#### **Riassumendo, i dati relativi al ritaglio sono:**

TEMPI parziali di un CICLO RITAGLI (resa 100%)

- |    |                                      |           |
|----|--------------------------------------|-----------|
| a) | prep.macchina a filo                 | 352 min;  |
| b) | ritagli effettivi                    | 1200 min; |
| c) | pulizia piazzale-spostamento blocchi | 175 min.  |

RISORSE necessarie attività parziali:

- |    |   |
|----|---|
| a) | cavatore semplice;<br>cavatore palista;<br>pala gommata;<br>macchina a filo diamantato. |
| b) | capocava;<br>cavatore semplice;<br>macchina a filo diamantato.                          |
| c) | cavatore palista;<br>pala gommata.  |

Ne risulta che, le percentuali di presenza addetti o dell'utilizzazione risorse tecnologiche, rispetto alla durata del ritaglio sono:

- cavatore semplice =  $352+1200/1725 \cong 0,9$ ;
- cavatore palista (pala gommata) =  $352+175/1725 \cong 0,3$ ;
- capocava =  $1200/1725 \cong 0,7$ ;
- macchina a filo diamantato =  $352+1200/1725 \cong 0,9$ .

Prendendo questi come dati di riferimento, si potrebbe impostare per l'attività ritagli il seguente Modulo attività:

<b>ATTIVITÀ RITAGLI</b> (durata globale= 1725 min)		
<b>risorse</b>	<b>unità(%)</b>	<b>lavoro eff.</b> <b>[min]</b>
capocava	0,7	1207
cavatore semplice	0,9	1552
cavatore palista	0,3	517
pala gommata	0,3	517
macchina a filo	0,9	1552

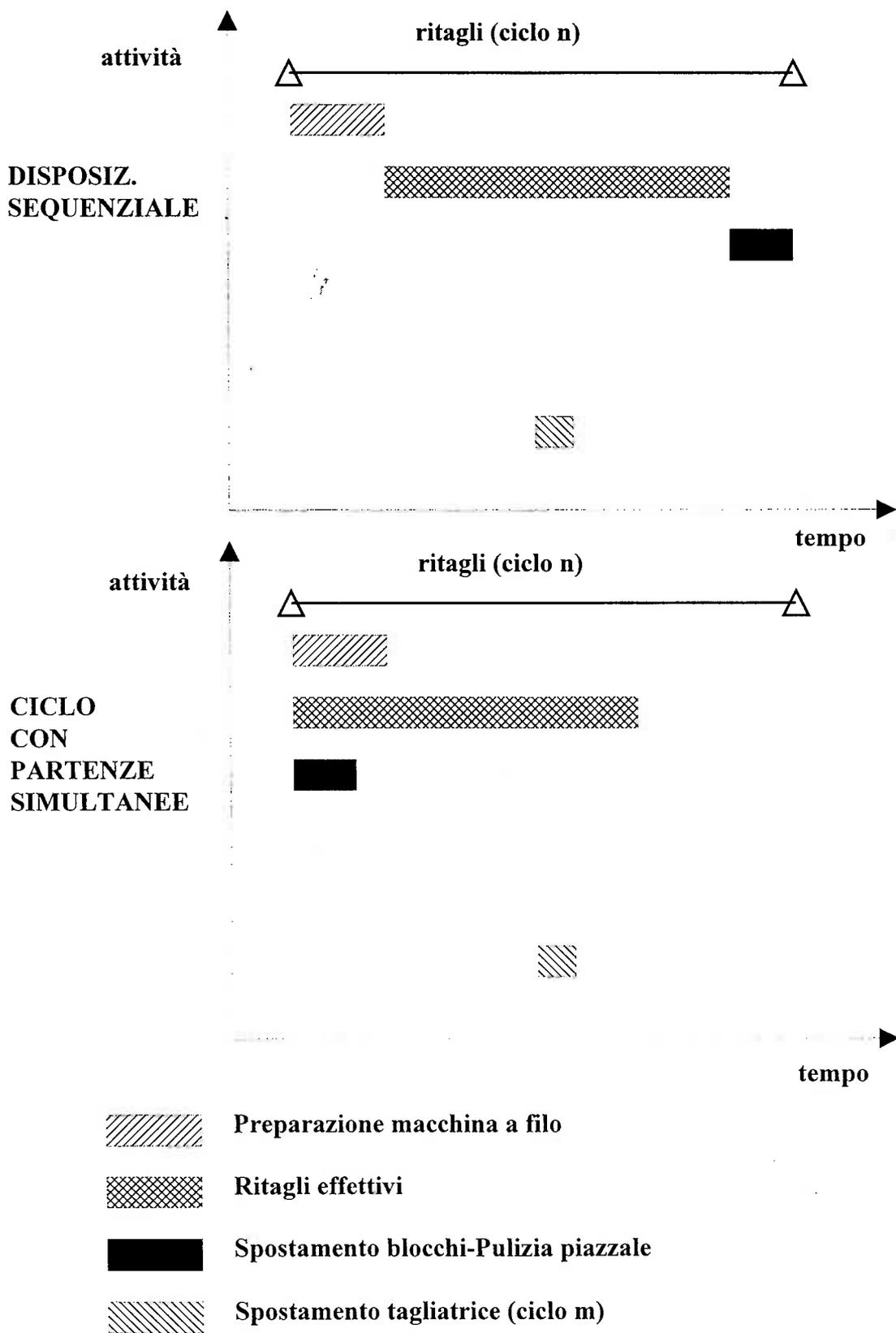
Si attribuirebbe quindi ad ogni risorsa il tempo di lavoro effettivo che questa svolge nell'attività ritagli, il problema di fondo resterebbe su come posizionare cronologicamente questo tempo all'interno dell'attività.

Nel processo di ottimizzazione che si sta svolgendo, la posizione temporale delle varie attività non è, d'altra parte, un dato trascurabile, perché da ciò conseguono le eventuali sovrapposizioni, punto cardine della metodologia studiata.

Per fare un esempio si potrebbe impostare un ciclo su M.p con il precedente modulo attività, il programma imposterebbe tutte le risorse a partire dalla data di inizio programmata e, come conseguenza immediata, il cavatore palista dopo soli 517 min sembrerebbe aver terminato tutto il suo lavoro all'interno di quel ciclo, mentre nella realtà, il lavoro potrebbe risultare, anzi risulta, distribuito dall'inizio alla fine dell'attività in modo casuale.

La visualizzazione delle figure nelle pagine seguenti può chiarire ulteriormente l'importanza di quanto detto sinora.

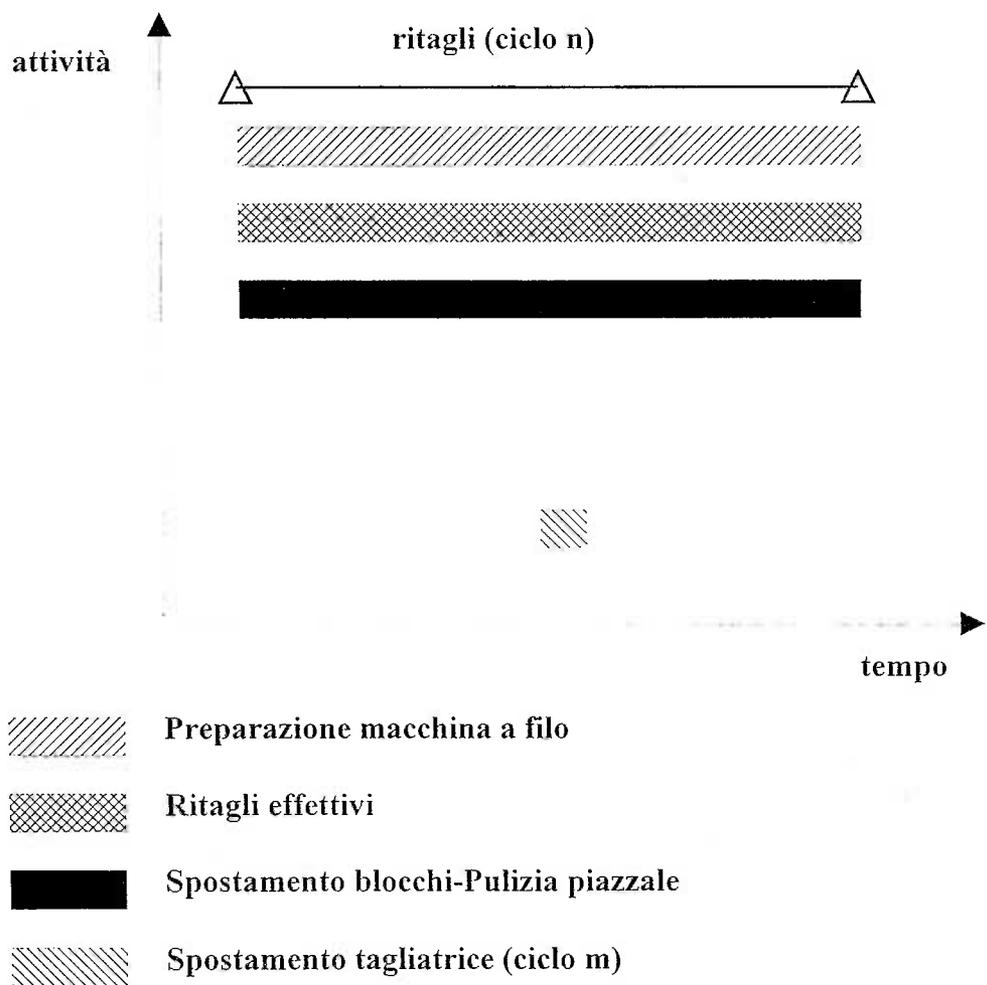
**Figura 6-7: Ipotesi sequenziale e con partenze simultanee per un'attività ritagli**



Nelle figure 6 e 7, l'attività *spostamento tagliatrice* del terzo ciclo, attività richiedente l'uso della pala gommata, sembrerebbe avere l'unica sovrapposizione con l'attività ritagli del primo ciclo quando in questa si sta svolgendo la fase *ritagli effettivi*, fase in cui la pala gommata non viene utilizzata, quindi, dal punto di vista delle sovrapposizioni sembrerebbe tutto a posto. Nella realtà però non accade così; la distribuzione casuale delle operazioni *pulizia piazzale e spostamento blocchi* fa sì che nel momento in cui si dovrebbe svolgere lo spostamento della tagliatrice nel terzo ciclo, sia magari necessario contemporaneamente l'utilizzo della pala gommata nel ciclo ritagli.

Questo problema può essere affrontato in due modi differenti: o impostando volta per volta delle posizioni random delle varie operazioni all'interno di un ciclo ritagli, oppure adottando un criterio più restrittivo, utilizzato nel caso studiato, si considera tutta la catena di risorse necessaria dall'inizio alla fine dell'attività ritagli.

**Figura 8:**  
**DISPOSIZIONE RESTRITTIVA**(tutte le risorse vengono utilizzate indistintamente dall'inizio alla fine del ciclo ritagli)



Seguendo questa seconda ipotesi, pur lontana dalla realtà operativa (giacché ad esempio il capocava non è sempre presente o la pala gommata può essere temporaneamente spostata ad eseguire qualche operazione nelle vicinanze), ci si tutela completamente dal problema sovrapposizioni; come risolto pratico derivante dall'uso di questa impostazione si esegue nel ciclo elementare di produzione (paragrafo 3.1.3) la seguente sostituzione:

RITAGLI	4500 min	1725 min	
prep.macchina a filo	1750 min	350 min	mfil; cap; cav pal; pg; cav sem
ritagli effettivi	2400 min	1200 min	cav sem; mfil
spost.blocchi-pulizia piazzale	350 min	175 min	cav pal; pg

diventa

RITAGLI	8625 min	1725 min	cap; cav pal; cav sem; mfil;pg
---------	----------	----------	--------------------------------

### 3.4.4. Gestione *in parallelo* dei cicli

La gestione del ciclo *in parallelo* prevede l'inizio delle diverse attività (taglio di base, perforazione, taglio al monte...) dopo la fine delle stesse nel ciclo precedente.

Nella realtà, come si può vedere nel diagramma Gantt associato al ciclo parallelo (appendice 4), non si segue strettamente la definizione di ciclo appena elencata, bensì si sfruttano i lunghi slittamenti dovuti alla durata dei cicli di ritaglio per impostare il procedimento in maniera leggermente diversa.

Finito il *taglio di base*, nella prima fila di bancate si aspetta di arrivare all'inizio del ciclo *ritagli*, solo a questo punto, nella seconda fila, si comincia il *taglio di base*. Il ciclo *ritagli*, sempre della seconda fila, può invece iniziare solamente dopo la completa esecuzione dello stesso nella prima, e così per tutti i cicli di ritaglio successivi.

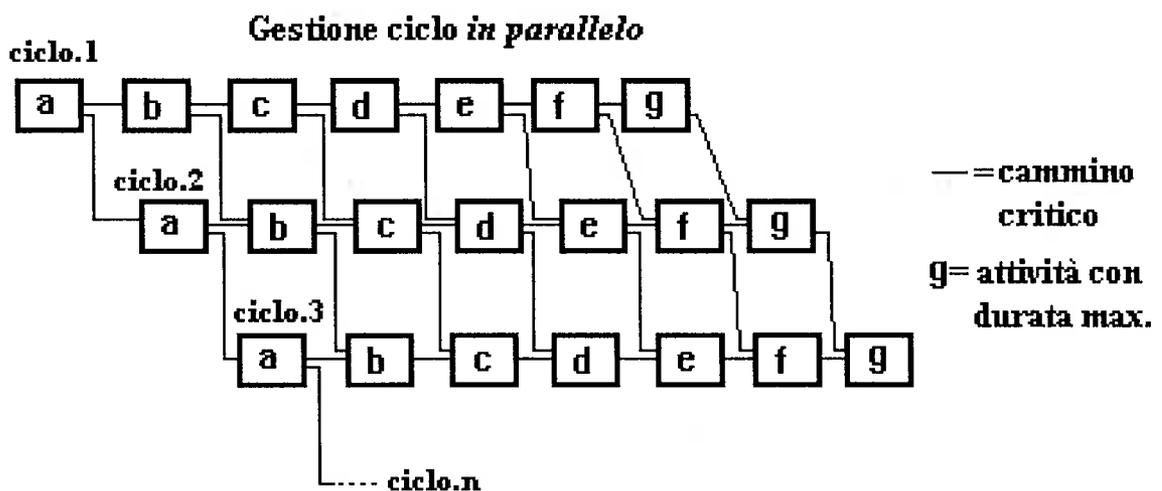
L'impostazione di base prevede quindi una serie di attività ritaglio (sequenziali) alternate sulle due file, e una serie di attività  $[pre-ritaglio]_i$  eseguite in parallelo con le rispettive attività  $[ritaglio]_{i-1}$ , dove "i" sta ad indicare il numero della fila.

Seguendo questa procedura e utilizzando due file sfalsate della quantità vista in precedenza (8 bancate), si evita qualsiasi sovrapposizione di spazio; inoltre, sempre grazie a questa procedura, si riesce a portare avanti la produzione con le risorse di base presenti in cava. Unica eccezione deriva dalla necessità, per il capocava, durante il ciclo ritagli, di passare mezzora nella fila adiacente, per l'operazione di ribaltamento con i cuscini idraulici, dove è prevista la sua presenza. Questa eccezione è tuttavia ampiamente tollerabile, perché, come specificato in precedenza, il fatto di ipotizzare l'utilizzo di tutta la catena di risorse prevista

per l'attività ritagli dall'inizio alla fine, è fortemente lontana dalla realtà; lo si fa solamente, per tutelarsi in modo più completo, proprio per quanto riguarda le sovrapposizioni.

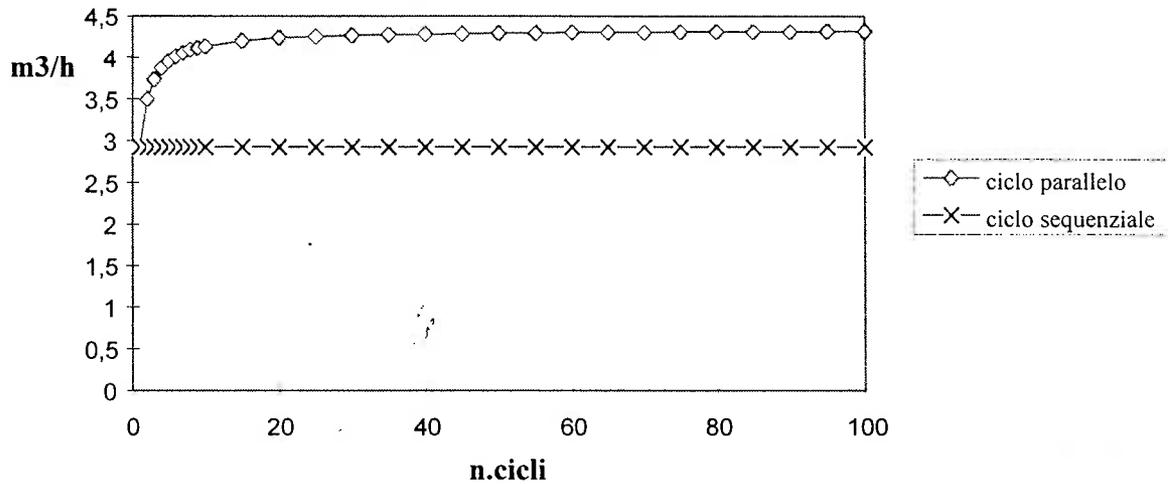
Nonostante questa precisazione, nelle notazioni in seguito si userà la terminologia *in parallelo*, per definire un ciclo di questo tipo.

Caratteristica peculiare del *ciclo parallelo* è la criticità del cammino passante attraverso le attività di ritaglio (cosiddette *attività strozzatura*), la cui conseguenza pratica, per queste attività, è di non avere alcun slittamento a disposizione. Tutte le attività cosiddette di *[pre-ritaglio]* hanno quindi un ampio slittamento, ragion per cui un loro ritardo o anticipo non comporta variazioni sulla durata globale del processo, le attività di *[ritaglio]* non possono essere invece spostate senza modificare la fine programmata del processo totale.



Come si può vedere nel grafico 1 e come si vedrà nella tabella 8, in un ciclo di questo tipo la produttività non è costante nel tempo, bensì parte da quella minima vista nel caso sequenziale e, in un numero non troppo grande di cicli (meno di venti), tende asintoticamente a quella che è la produttività massima raggiungibile.

**Grafico 1 : Tendenza produttività**



La produttività massima è data dal rapporto tra il volume elementare coltivato e la durata dell'attività strozzatura (ciclo ritagli) :

$$P_{par.} = P_{max.} = Vol_{colt.} / D_{max.} = 252 / 58 = 4,34 \text{ m}^3 / \text{h}$$

**Durata progetto esempio (4 cicli)**

Data inizio 21 ottobre 7.30 1996

Data fine 2 dicembre 14.40 1996

Durata 15610 min.

Lavoro 85490 min.

**Tabella 7: Elenco risorse (gestione in parallelo)**

Risorse	Unità disponibili	Unità di punta	Lavoro [min]	Lavoro specifico [ore <sub>lav</sub> / durata]
capocava	1	1	13950	0,9
cavatore palista	2	2	14300	0,46
cavatore tagliatrice	1	1	6100	0,4
cavatore semplice	2	2	15440	0,5
tagliatrice a catena	1	1	2120	0,14
macchina a filo	3	2	17240	0,37

compressore pneum.	2	1	400	0,01
martello pneum.	3	1	400	0,01
perforatrice rotativa	1	1	880	0,06
compressore idraul.	1	1	240	0,01
cuscini	*	1	240	trasc.
compressore per martini	1	0	0	-
martini idraul.	1	0	0	-
pala gommata	2	2	14140m	0,45
escavatore	1	1	40	trasc.
derrick	1	0	0	-

\*= numero non precisato

In sintesi, utilizzando un reticolato PERT (*in parallelo*) quale quello appena descritto, abbinato agli spazi funzionali previamente definiti, si consegue la ottimizzazione ricercata in partenza. Le tabelle delle pagine seguenti riportano, in dettaglio, l'aumento della produttività nel tempo del ciclo ottimizzato rispetto a quello sequenziale (la cui produttività si è visto essere costante e pari a 2,93 m<sup>3</sup> / h) e quantificano il divario tra i due procedimenti anche a livello di prodotti commerciali (n.blocchi standard).

Dettagli (Diagramma PERT, Diagramma Gantt, Relazione periodica, Diagramma risorse):  
 Appendice 4.

**Tabella 8: Tendenza produttività gestione cicli *in parallelo***

n.cicli	Tempoprogres. necessario [h]	Tempo necessario [lavorativo]		prod. [m <sup>3</sup> /h]	m3 prodotti [ciclo parall.]
		mesi	giorni		
1	86	-	11	2,93	252
2	144	-	18	3,50	504
3	202	1	4	3,74	756
4	260	1	11	3,87	1008
5	318	2	19	3,96	1260
6	377	2	5	4,02	1512
7	435	2	12	4,06	1764
8	493	3	20	4,09	2016
9	551	3	6	4,12	2268
10	609	3	13	4,14	2520
11	667	3	20	4,16	2772
12	725	4	7	4,17	3024
13	783	4	14	4,18	3276
14	841	5	-	4,19	3528
15	899	5	7	4,20	3780
16	958	5	15	4,21	4032
17	1016	6	1 g	4,22	4284
18	1074	6	8	4,22	4536
19	1132	6	15	4,23	4788
20	1190	7	2	4,24	5040
21	1248	7	9	4,24	5292
22	1306	7	16	4,24	5544
23	1364	8	3	4,25	5796
24	1422	8	10	4,25	6048
25	1480	8	7	4,26	6300
26	1539	9	3	4,26	6552
27	1597	9	11	4,26	6804
28	1655	9	18	4,26	7056

29	1713	10	4	4,27	7308
30	1771	10	11	4,27	7560
35	2061	12	6	4,28	8820
40	2352	14	21	4,29	10080
45	2642	15	15	4,29	11340
50	2933	17	10	4,30	12600
100	5838	34	16	4,32	25200

**Tabella 9: Differenza prodotti gestione cicli *in parallelo/sequenziale***

<b>Tempo trascorso [h]</b>	<b>tempo trascorso lavorativo [mesi/giorni]</b>	<b>m<sup>3</sup> prodotti [ciclo sequ.]</b>	<b>m<sup>3</sup> prodotti [ciclo parall.]</b>	<b><math>\Delta m^3</math></b>	<b>differenza [in blocchi standard]</b>	<b>differenza indicativa ricavi (**) [ML]</b>
86	11	252	252	0,02	2,53E-03	13.418 Lire
144	18	422	504	82	10	54,9
202	1/4	592	756	164	21	109,7
260	1/11	763	1008	245	31	164,6
318	1/19	933	1260	327	41	219,4.
377	2/5	1103	1512	409	52	274,9
435	2/12	1273	1764	491	62	329,5
493	2/20	1444	2016	572	72	384,8
551	3/6	1614	2268	654	83	438,9
609	3/13	1784	2520	736	93	493,7
667	3/20	1954	2772	818	104	548,6
725	4/7	2125	3024	899	114	603,4
783	4/14	2295	3276	981	124	658,3
841	5	2465	3528	1063	135	713,1
899	5/7	2635	3780	1145	145	768,0
958	5/15	2805	4032	1227	155	822,8
1016	6/1	2976	4284	1308	166	877,7
1074	6/8	3146	4536	1390	176	932,6
1132	6/15	3316	4788	1472	186	987,4
1190	7/2	3486	5040	1554	197	1042,3

1248	7/9	3657	5292	1635	207	1097,1
1306	7/16	3827	5544	1717	217	1152
1364	8/3	3997	5796	1799	228	1206,8
1422	8/10	4167	6048	1881	238	1261,7
1480	8/17	4338	6300	1962	248	1316,5
1539	9/3	4508	6552	2044	259	1371,4
1597	9/11	4678	6804	2126	269	1426,3
1655	9/18	4848	7056	2208	279	1481,1
1713	10/4	5019	7308	2289	290	1535,9
1771	10/11	5189	7560	2371	300	1590,8
2061	12/6	6040	8820	2780	352	1865,1
2352	14/21	6891	10080	3189	404	2139,4
2642	15/15	7742	11340	3598	455	2413,7
2933	17/10	8593	12600	4007	507	2687,9
5838	34/16	17105	25200	8095	1025	5430,8

### Osservazioni su colonna ricavi (\*\*)

Un'ultima osservazione, prima di entrare nel merito ricavi, va riportata per quanto riguarda la resa in blocchi. Nei calcoli si è fatto riferimento, per semplicità, al caso del tutto teorico di resa pari al 100 %. Come precisato nella descrizione generale, non si ha mai nella realtà una resa così alta, tuttavia, una bancata con parecchi difetti e quindi con una resa in blocchi standard minore, richiede, in linea di principio, un numero inferiore di tagli, benché aumentino altri tipi di attività, quali lo sgombero dei detriti, conseguenza che può portare ad una maggior velocità di esecuzione del ciclo e quindi alla disponibilità, in tempi più brevi, di determinate risorse.

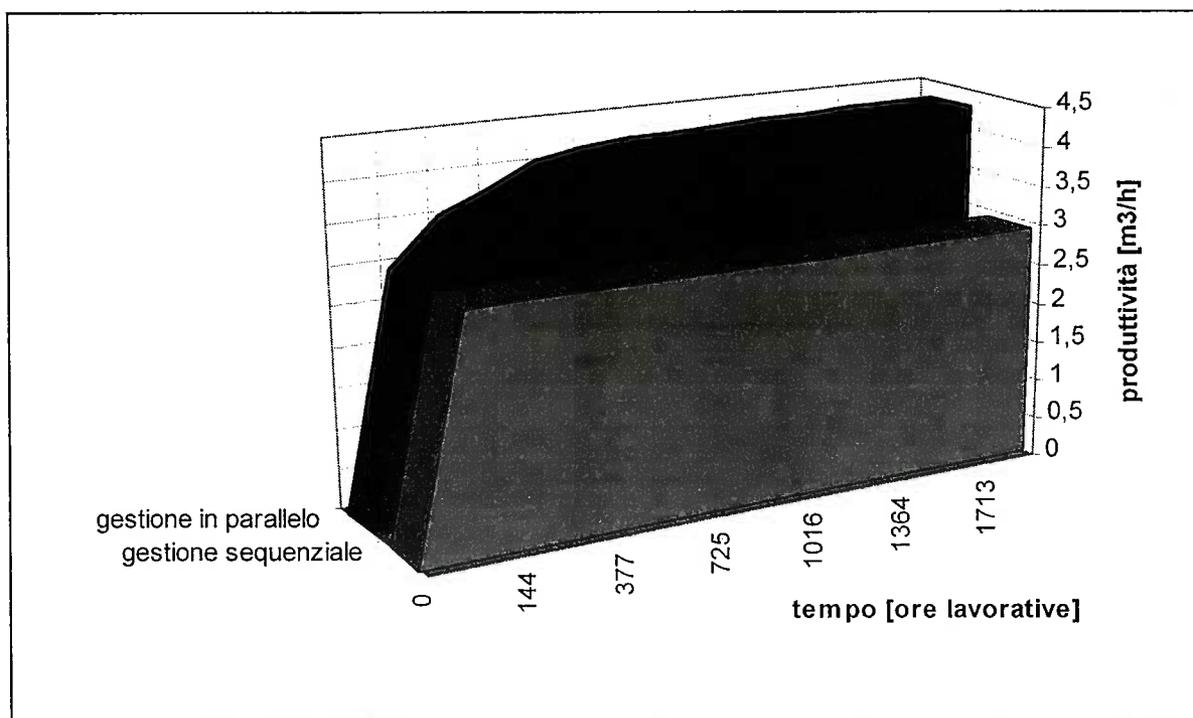
Il valore medio di un blocco da telaio è circa 250000 £/t (il blocco standard da telaio di buona qualità può essere valutato anche 400.000 £/t), che corrisponde ad un prezzo per blocco standard di circa 5.300.000 £. Non avendo a disposizione, né le rese di cava né la loro eventuale variazione nel tempo, i calcoli sono stati effettuati considerando una resa costante e, per semplicità di calcolo successivo, pari al 100 %. Conoscendo il valore reale della resa, è sufficiente moltiplicare per questo il valore della resa ipotizzato per ottenere immediatamente il valore effettivo.

Una resa del 100 % è del tutto irreali, già valori del 30÷50 % sono da considerarsi ottimi, ma come si è detto il valore 100 % non incide sul calcolo, giacché le cifre presenti nella

tabella 9 sono valori relativi, ossia derivano dalla differenza tra le due modalità di gestione dei cicli studiate; quello che si vuole dunque evidenziare è il fatto che, pur diminuendo di molto la resa in blocchi, il divario tra i due sistemi di gestione resta costante e molto alto, in parole semplici, una eventuale diminuzione di produzione va a colpire, proporzionalmente, sia il metodo ottimizzato che quello sequenziale.

Un'ultima notazione riguarda la produttività, che in linea di principio non risente della diminuzione della resa, in quanto, una bancata con difetti richiede un numero inferiore di tagli, benché aumentino altri tipi di attività quale lo sgombero dei detriti. Il ritaglio risulta semmai accelerato, giacché lo sgombero può essere effettuato almeno parzialmente in parallelo.

**Grafico 2: Tendenza produttiva annuale**



### 3.5 CONSIDERAZIONI FINALI

Analizzando pur se in modo discontinuo per più di un anno la cava *Fiordichiara* e seguendo attentamente il ciclo di produzione portato avanti, si è cercato di ottimizzare la gestione degli spazi e delle risorse disponibili. Come ipotesi di partenza, si è vincolato il numero delle risorse già presenti e si è valutato se, in questo modo, sarebbe stato possibile aumentare la produttività e quindi la produzione del giacimento.

Il risultato di questa analisi ha risposta inequivocabile nelle tabelle 8 e 9, in queste è infatti ben evidente, nella prima, l'aumento costante di produttività, nella seconda la differenza in termini pratici, di prodotto.

Un procedimento ottimizzato, quale quello appena studiato, si fonda su un principio fondamentale:

- svolgere determinate attività in tempo minore occupando il minor spazio possibile.

Si è cercato in sintesi, spazi e risorse permettendo, di ridurre tutti i tempi morti presenti all'interno di un ciclo.

Il fatto di svolgere più attività in minor tempo, comporta ovviamente un carico di lavoro effettivo maggiore per le risorse disponibili, sia umane che tecnologiche; infatti, fermo restando l'orario e il calendario di base della cava, se si vanno ad analizzare i valori del lavoro specifico riferiti a ciascun addetto, nel passare da un ciclo a gestione sequenziale ad uno *in parallelo*, questi valori sono chiaramente aumentati.

Nell'analisi del diagramma PERT e Gantt del procedimento ottimizzato, si è individuata la presenza del percorso critico all'interno delle attività di ritaglio, evidenziando quindi il peso nel ciclo globale di questa attività, le cui variazioni regolano e impongono eventuali spostamenti delle date di completamento programmatiche del ciclo. E' stato messo in luce altresì, l'ampio slittamento disponibile nelle fasi diverse dal ritaglio, dove, anche un ritardo molto grande, potrebbe non andare ad influire, in alcun modo, sulla data di fine progetto prefissata.

Un'ulteriore possibilità della pianificazione PERT, e in particolare del programma M.p, é la possibilità di aggiornamento in tempo reale della situazione contingente in cava. Se un giorno si è preventivato, ad esempio, il termine di una determinata attività, mentre, nella realtà di questa se ne è eseguita solo una parte, è possibile introdurre nel programma M.p la percentuale di completamento effettiva di tale attività ottenendo, in tempo reale, le variazioni sulle attività programmate nei giorni successivi.

Il fatto di esitare nella pianificazione del ciclo in maniera più precisa, a causa del gran numero di imprevisti, risulta dunque una scelta discutibile, perché la programmazione in modo più dettagliato porta comunque, anche in presenza di imprevisti, un riscontro più immediato delle conseguenze sul progetto nel suo insieme.

Nella coltivazione di una cava di pietre ornamentali, gli imprevisti possono essere tanti e di natura diversa, risulta quindi spontaneo il dubbio sulla possibilità di seguire pedissequamente un ciclo, quale quello ottimizzato, nei tempi e nei vincoli collegati ad esso, tuttavia, dando l'indicazione di tale procedimento, non si pretende che questa venga seguita in ogni suo particolare, bensì ci si limita ad indicare un riferimento che, anche se portato avanti solo in parte, può comunque dare dei risultati egregi, senza arrivare al divario enorme evidenziato nella tabella prodotti.

Si possono introdurre altre brevi considerazioni a consuntivo. Nello studio portato avanti, le risorse hanno rappresentato un vincolo; una valutazione ulteriore della produttività la si potrebbe fare aumentando proprio il numero di queste, tuttavia un'ipotesi di questo tipo, difficilmente porterebbe degli incrementi in quel senso, perché, pur aumentando la velocità di esecuzione di determinate attività, resterebbe comunque un vincolo difficilmente sormontabile rappresentato dallo spazio disponibile. Un'altra ipotesi percorribile, aumentando il numero delle risorse, è quella di eseguire le attività di uno stesso ciclo in parallelo. Per l'esattezza, si potrebbe valutare con la matrice del grado di condivisione, la possibilità di sovrapposizione tra le attività, non di due file distinte come fatto sinora, ma all'interno di uno stesso ciclo. Si potrebbero ad esempio: eseguire i tagli laterali o le attività di perforazione contemporaneamente, iniziare l'attività di perforazione destra, quando l'attività taglio di base è al 50 % del completamento...Queste sono tutte ipotesi che, risorse permettendo, velocizzerebbero ancora di più il ciclo elementare di produzione, fermo restando il problema accennato in precedenza degli spazi operativi.

L'ultima, e non per importanza, riflessione, più gestionale che tecnologica, può conseguire dal seguente quesito. Nella tesi si è cercato e trovato un metodo che nella teoria ci fornisce annualmente 8095 m<sup>3</sup> di prodotto in più.

Esiste un mercato richiedente questo surplus di produzione?

E quindi, conviene all'imprenditore perseguire questa strada ed eventualmente investire in ulteriori risorse?

# **CAPITOLO.4**

## **SICUREZZA E SALUBRITÀ DEL POSTO DI LAVORO: APPROCCIO AL PROBLEMA CON IL METODO DEGLI SPAZI FUNZIONALI**

### **Introduzione generale**

L'uniformazione delle normative sulla sicurezza del lavoro in Europa ha dato luogo, anche in Italia ad un'importante sforzo di adeguamento e, per le attività estrattive, considerato il carattere non statico del lavoro, si pone il problema di una corretta identificazione dei pericoli di infortunio e malattia professionale, e delle condizioni espositive. Per disporre di informazioni attendibili sin dalle prime fasi di un progetto, e sempre a livello previsionale, in corrispondenza di variazioni tecniche od organizzative/operative, viene proposta l'applicazione del metodo degli spazi funzionali, con riferimento alla cava studiata in questa tesi.

Come si è visto nella descrizione dettagliata del paragrafo 3.1 l'avanzamento del processo di coltivazione in una cava rispecchia il carattere non statico del lavoro: seppur con tempi variabili, tutte le opere, legate al periodo di sfruttamento del giacimento, sono temporanee e le macchine e le attrezzature seguono la coltivazione spostandosi nel cantiere. La produzione è il risultato della ripetizione più o meno regolare del ciclo elementare di produzione (3.1.3), la cui attuazione richiede un insieme di risorse, uomini, macchine ed attrezzature detta catena di risorse.

L'ambiente di lavoro delle imprese estrattive, spesso di piccole e medie dimensioni, per ridurre i tempi morti di trasferimento delle attrezzature, porta a lavorare in condizioni di spazio limitate. Vi è quindi una tendenza alla concentrazione dei cantieri esponendo gli addetti di un'attività agli agenti materiali derivanti da attività di altri cicli elementari interessanti vicine bancate.

Il metodo degli spazi funzionali consente di prevedere la presenza nello spazio e nel tempo degli addetti e delle azioni degli agenti materiali e quindi, applicando il principio di esclusione della contemporaneità, escludendo o parzializzando la contemporaneità di presenza degli addetti e degli agenti dannosi, si può eliminare o ridurre entro limiti di norma l'esposizione.

Per fare ciò occorre analizzare gli agenti materiali potenzialmente causa di infortunio o malattia professionale e descriverne, analogamente agli spazi funzionali delle attività, gli spazi di azione.

## 4.1 Problematiche tipiche delle attività estrattiva

Analizzando a questo punto in maniera più dettagliata le problematiche tipiche delle attività estrattive si devono riportare le seguenti osservazioni:

- ◆ carattere non statico del lavoro nelle attività estrattive: ⇒ *problema di identificazione di pericoli di infortunio e malattia professionale, e delle condizioni espositive*:
  - addetti sottoposti a periodi più o meno intensi di lavoro; esposizione ai fattori di rischio determinata dalla continuità di utilizzazione della catena di risorse e dalla maggiore o minore limitatezza degli spazi.
  - la esposizione può variare notevolmente nell'anno; obiettivo da conseguire è la previsione di tale esposizione in funzione di mutate condizioni di spazio, organizzazione del lavoro e produttività.
- nelle attività estrattive siamo nella ultima delle situazioni della tabella 10

**Tabella 10: Situazioni operative tipiche**

<i>a. posizione fissa con condizioni operative costanti;</i>
<i>b. posizione non fissa con condizioni operative costanti (in ciascuna posizione di lavoro il tempo di permanenza è conosciuto con certezza);</i>
<i>c. posizione fissa con condizioni operative variabili;</i>
<i>d. posizione non fissa con condizioni operative variabili (in ciascuna posizione di lavoro il tempo di permanenza è conosciuto con certezza);</i>
<i>e. posizione non fissa con condizioni operative variabili. Per ogni posizione di lavoro non sono noti, né possono essere definiti con sufficiente precisione, i tempi di permanenza.</i>

- ◆ possibile soluzione per l'identificazione dei pericoli e la valutazione di rischio in fase di analisi di una realtà in atto: analisi dettagliata delle condizioni operative dei vari addetti e costruzione dei relativi modelli di esposizione avvalendosi di tecniche mutuata dalla job safety analysis
- ◆ possibile soluzione per l'identificazione dei pericoli e la valutazione di rischio a livello previsionale: per disporre di informazioni attendibili sin dalle prime fasi di un progetto od in corrispondenza di programmi di variazioni tecniche od organizzative/operative.

- ◆ Il metodo degli Spazi Funzionali, permette di risolvere la questione di una valutazione previsionale delle condizioni espositive degli addetti ai vari agenti materiali incidenti sulla sicurezza del lavoro, e costituisce così uno strumento prezioso proprio nelle fasi di progettazione.
- ◆ Il metodo degli spazi funzionali presuppone la conoscenza della presenza degli addetti per ogni spazio funzionale ed il fatto parrebbe quindi in contraddizione con il punto "e" della tabella 10. In realtà la posizione dell'uomo all'interno del singolo spazio funzionale, durante lo svolgimento dell'attività, non è nota e soltanto qualora si utilizzasse un forte dettaglio nella determinazione delle attività e una forte discretizzazione dello spazio, potremmo avvicinarci alle condizioni di cui al punto "d". Un dettaglio particolarmente approfondito, pur possibile, non appare tuttavia utile giacché il livello di dettaglio delle mappe di esposizione, sarebbe del tutto incomparabile con la stessa variabilità della durata delle attività.

Il metodo degli spazi funzionali, può prestarsi sia per agenti, potenziali fonti di pericolo, del tipo classificabile come aventi:

1. caratteristiche omogenee nello spazio
2. caratteristiche variabili nello spazio

esemplificabili come segue:

- a. <caratteristiche omogenee nello spazio> ESEMPIO: *esposizione a pericolo di caduta*: esposizione = presenza di addetti in una fascia ( $\approx 2$  m), prospiciente il fronte, come illustrato nello schema semplificato proposto nel lavoro citato, basta sovrapporre le mappe di presenza addetti e di "azione agente materiale"; la mappa di esposizione è composta dalle aree omogenee di intersezione, con indice di presenza addetti non nullo.
- b. *esposizione a rumore* <caratteristiche variabili nello spazio>: occorre valutare la contemporaneità delle presenze con l'attività sorgente di rumore. Ciò viene desunto dalla tempistica dei cicli gestiti in parallelo; la esposizione degli addetti varierà da un massimo (durata della perforazione) a zero, con valori intermedi dipendenti dall'indice di contemporaneità.

Inoltre:

**Potenzialità del metodo:**

- a. prevedere la presenza nello spazio e nel tempo di addetti e azioni degli agenti materiali potenzialmente causa di infortunio o malattia professionale;
- b. eliminare o ridurre la esposizione applicando il principio di esclusione della contemporaneità agente-persona esposta.

## **1. Percorso logico:**

Analisi degli agenti materiali e descrizione dei relativi spazi di azione.

### **Fasi della procedura di generazione delle alternative di gestione della catena di risorse (in particolare a produttività minima e massima):**

- a) analisi del ciclo di produzione;
- b) redazione di mappe e diagrammi temporali di presenza degli addetti;
- c) analisi degli agenti materiali e caratterizzazione spazio temporale dei relativi spazi di azione;
- d) redazione di mappe di esposizione degli addetti ad ogni agente materiale.

La contemporaneità può essere espressa tramite il parametro IC (indice di contemporaneità), che varia da 0 ad 1 ed esprime in percentuale la quantità della durata dell'attività esposta all'azione dell'agente materiale.

Dalla combinazione della mappa di presenza degli addetti (3.2.3), della eventuale mappa d'esposizione addetti e, degli IC, si può realizzare una mappa di rischio operando nel modo seguente:

- sovrapposizione delle mappe (presenza addetti, agenti materiali);
- individuazione degli spazi omogenei;
- caratterizzazione dello spazio omogeneo con l'indice  $E = I_p \cdot I_c$ .

E' possibile, inoltre, approfondire l'argomento agenti esterni, anche per quanto riguarda la gestione delle risorse produttive in una cava, dato variabile nel tempo a seconda delle esigenze di produzione. Si è visto infatti che, la produttività di una catena di risorse può variare da un minimo  $P = V / d_c$ , ad un massimo  $P = V / \max (d_{a,c})$ , analogamente l'esposizione di un addetto varia da un minimo, corrispondente alla produttività minima, (tempi lavorativi minimi) ad un massimo (tempi lavorativi massimi).

Nel qui presente tesi ci si è posti di fronte a tre problematiche:

- caduta oggetti dall'alto;
- macchine a filo diamantato;
- rumore.

Nei confronti di queste è stata quindi analizzata la possibilità di applicazione pratica del metodo degli spazi funzionali.

## **Riepilogo ipotesi future di avanzamento**

Prima di entrare nel merito delle tre tematiche appena citate, è bene riportare in maniera sintetica le ipotesi di avanzamento della coltivazione, e, quindi, il posizionamento delle file di bancate sfalsate, secondo il ciclo di gestione in parallelo, visto nel terzo capitolo.

Le ipotesi viste in precedenza comprendono, in successione, i seguenti step:

1. apertura a "lisca di pesce" (figura 1);
2. avanzamento livello D (figura 2);
3. avanzamento livello C (figura 3);
4. impostazione gestione ciclo *in parallelo* livello B (figura 4).

Una volta identificati gli spazi funzionali dei cicli elementari di produzione delle due file di bancate, è possibile studiare in modo distinto i diversi agenti esterni e i rispettivi spazi d'azione.

#### **4.2 CADUTA MATERIALE DALL'ALTO ( <caratteristiche omogenee nello spazio>)**

Come visibile nella pianta 1 (pagina 27-b), in una ipotesi di sviluppo della coltivazione quale quella ipotizzata nelle figure 1, 2, 3 e 4 (pagina 27-c), si può porre il problema, data la topologia del giacimento, del pericolo dovuto alla caduta di elementi dall'alto, verso le zone indicate con  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  nella pianta 2.

Le ragioni della ripartizione risiedono in:

- 1 - differente situazione per quanto concerne la natura e le caratteristiche del materiale ( discariche, roccia, parte tagliata a filo...) costituente le pareti e la copertura
- 2 - differente situazione per quanto concerne la presenza di possibili cause scatenanti la caduta di materiali dall'alto :

- da una parte cause naturali quali pioggia, insolazione, vibrazioni qualora siano previste in futuro ulteriori lavorazioni a esplosivo;
- d'altra parte cause umane, connesse con la circolazione di mezzi sulla strada soprastante.

In particolare:

- Nella zona  $\alpha$ , (verde) potrebbe arrivare materiale dallo sperone di roccia di circa 80m di altezza che si erge di fronte (fotografia F11), tuttavia questa, la si può considerare, tra le zone evidenziate, quella a minor rischio, giacché il taglio delle pareti, come è ben visibile, è stato eseguito con macchine a filo elicoidale o diamantato, ottenendo così delle superfici uniformi difficilmente soggette a distacchi anche perché disgiunte prima del ribasso.
- Nella zona  $\beta$  (celeste), può arrivare materiale, derivante dalla preparazione della nuova zona di coltivazione (zona L), in quota 760 m, come si intravede nella fotografia F12. La pezzatura del materiale in questione, come si distingue in maniera inequivocabile dalla fotografia suddetta, è molto grande, resta però il fatto che, la proiezione di materiale, in questo caso, deriva da un'operazione antropica contingente, quale l'utilizzo di esplosivo per l'apertura di questa nuova zona. Il

rischio quindi c'è, però è solo temporaneo e tra l'altro programmato previamente con delle tempistiche ben precise: prima di una varata, l'intero personale lavorativo presente, viene ripetutamente avvertito.

- La terza ed ultima zona evidenziata è la  $\gamma$  (viola), ultima a livello di elencazione, ma certamente non a livello di importanza. Nella serie di fotografie F2÷F6, si possono infatti distinguere, in parte, le pareti che si affacciano sui livelli di coltivazione, e, soprattutto, il percorso della strada sovrastante, strada che ha la duplice funzione, di collegare i livelli bassi della cava studiata con la nuova zona che si sta aprendo, e di permettere inoltre, l'accesso ad una cava di un'altra azienda. Ragionando su quanto detto, si capisce facilmente, che l'utilizzo di tale strada è abbastanza frequente, sia da parte di camion, che da parte di pale gommate o mezzi di trasporto in genere. La movimentazione in tale zona, la quota tutt'altro che trascurabile, rispetto ai livelli di coltivazione (24÷70 m), la presenza di coltre detritica e elementi di piccolo diametro, adiacenti alla strada, fanno di questa zona la più pericolosa in assoluto.

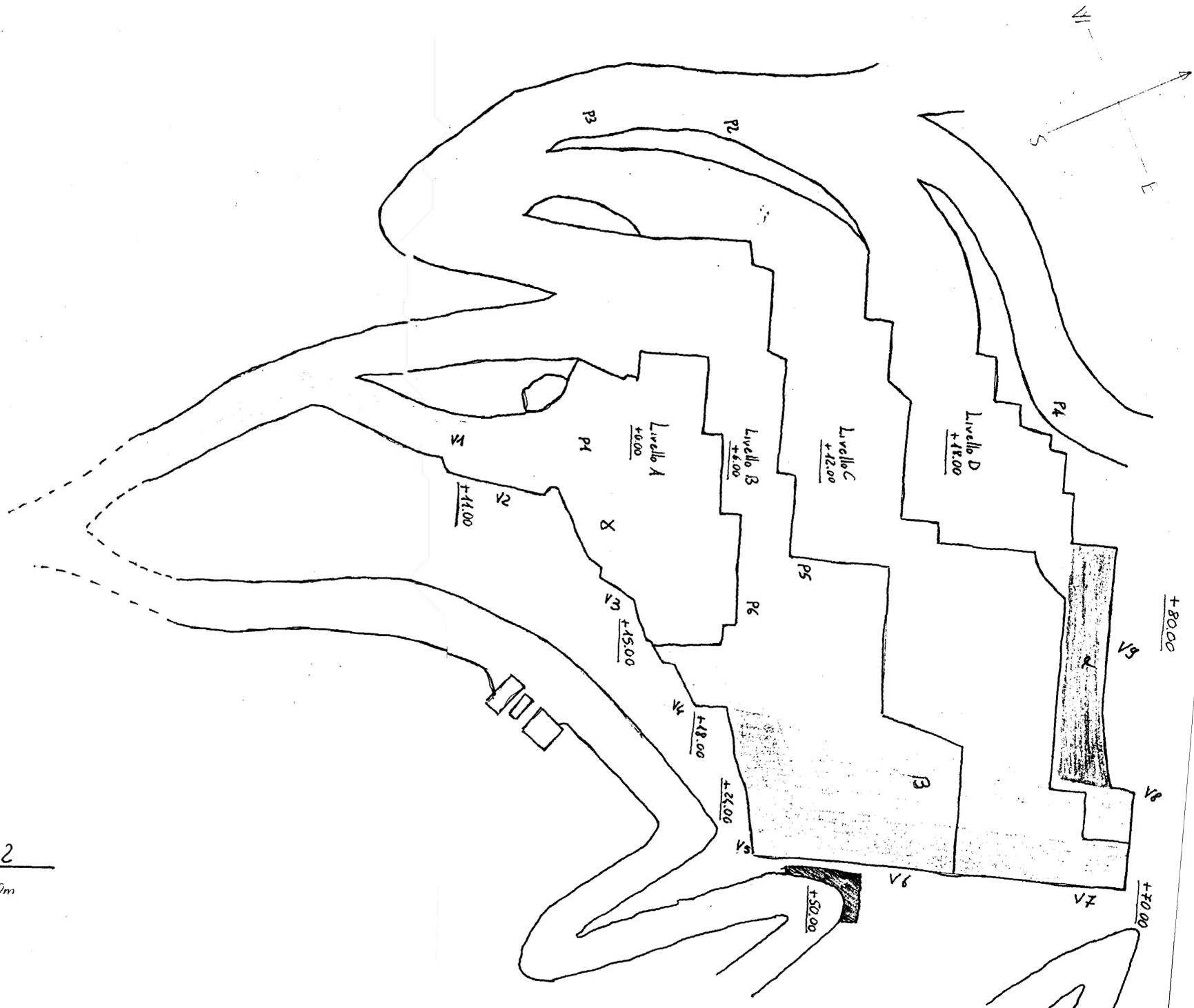
Dopo aver descritto la situazione di ciascuna parete, per avere un'idea ancora più precisa della situazione, si allegano nelle pagine seguenti le fotografie e una tabella abbinata alla pianta 2 che ne esemplifica l'interpretazione.

Nella pianta 2, sono evidenziate le pareti che confinano la cava nella zona sud-est, con le rispettive quote, prese rispetto al corrispondente livello sottostante. Sono evidenziate inoltre, vicino a ciascuna parete, in modo dettagliato, le diverse visualizzazioni (V1, V2, V3...), utili come riferimento per le fotografie allegate nelle pagine seguenti.

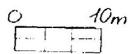
### **Spiegazione sintetica tabella 11**

Nella tabella seguente, sono indicate le specifiche, riferite alle fotografie delle pagine successive :

- zone rappresentate ( $V_i$ )
- posizioni di esecuzione delle fotografie ( $P_i$ )
- commento in generale.



Pianta 2



**Tabella 11: Analisi fotografie**

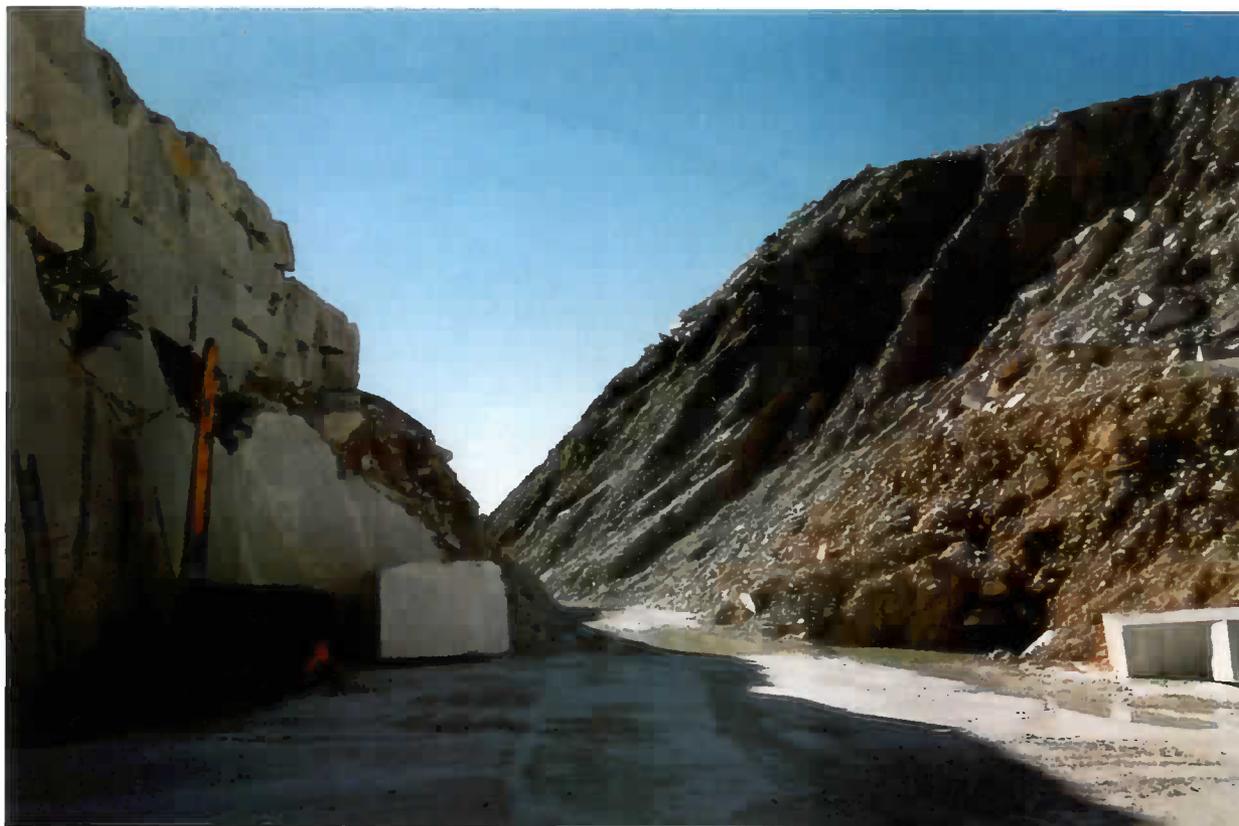
<b>Numero fotografia</b>	<b>V<sub>i</sub></b>	<b>P<sub>i</sub></b>	<b>Commento sintetico</b>
F1	V1	P1	Vista zona accesso livello A
F2	V2	P3	Vista prima parte strada, si distinguono anche spogliatoi e zona mensa
F3	V4	P2	Vista pareti sovrastanti i livelli di coltivazione e percorso strada di accesso zona in apertura
F4	V6	P2	Come sopra
F5	V5	P4	Altra vista strada in particolare curve.
F6	V6	P4	Come sopra
F7	V3	P1	Particolare delle pareti sopra livelli A, B, C, D
F8	V2	P1	Come sopra
F9	V4	P5	Come sopra
F10	V4	P5	Come sopra
F11	V9	P6	Sperone rimasto incoltivato (zona E)
F12	V9	P6	Zona F, particolare dei massi derivanti dalle varate nella zona alta di nuova apertura

A questo punto, seppur con un'analisi qualitativa della situazione in sito, si sono individuate le tre aree maggiormente a rischio.

La problematica in questione, tuttavia, pare mal prestarsi, in questa fase, ad un esame approfondito degli spazi funzionali, in quanto i dati di input appaiono insufficienti, soprattutto per quanto riguarda i programmi d'abbattimento con esplosivi, la cui data di attuazione, non è ancora noto se coinciderà con le coltivazioni delle zone a rischio.

Non è d'altro canto stato possibile, redigere una statistica di andamento stagionale delle cadute di materiale dalle pareti e dalle aree soprastanti, in quanto la quota parte di materiale provocata da questi fenomeni, è chiaramente di qualche ordine di grandezza soprastata dalla quantità di materiale derivante dalle volate di mine (fotografia 20).

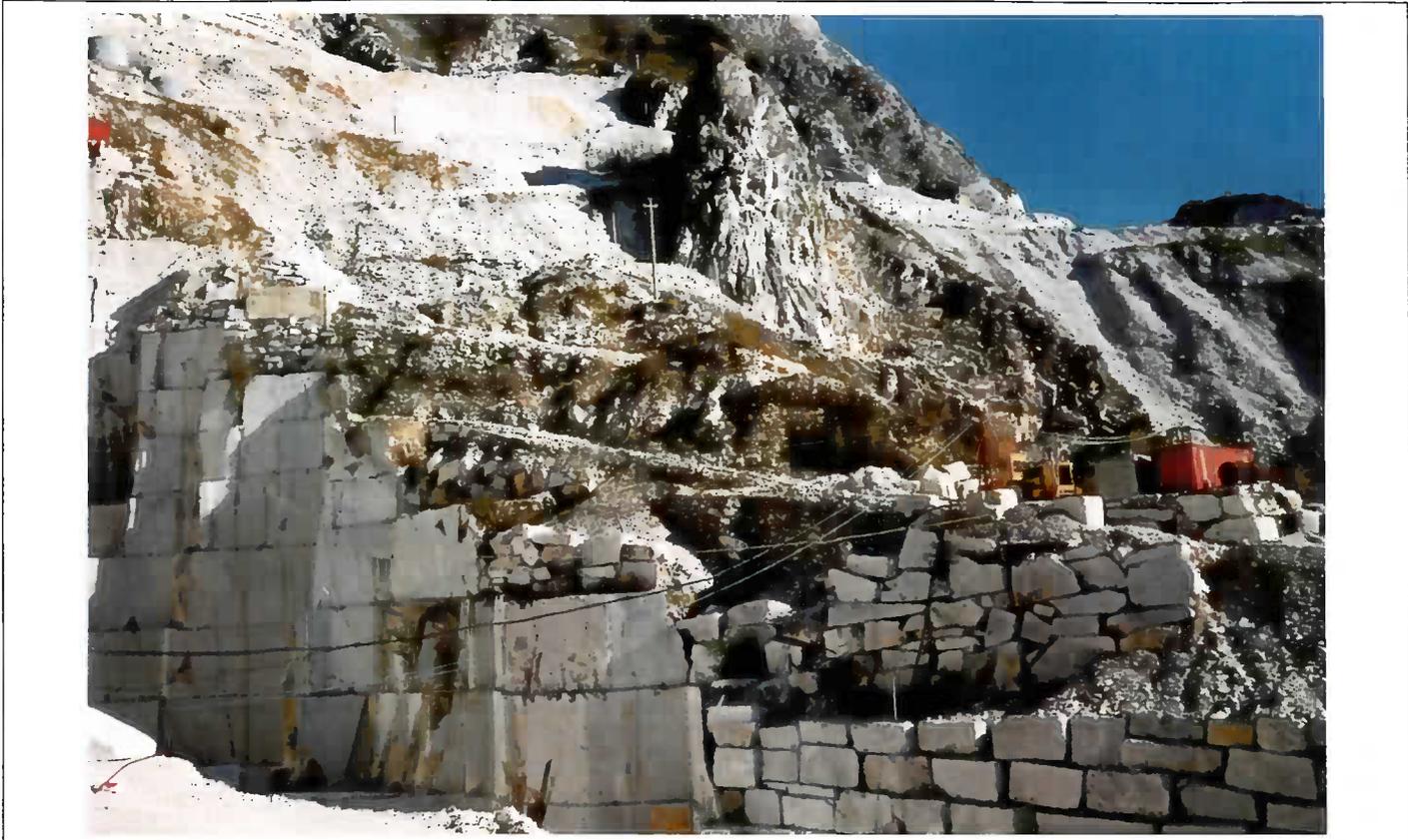
Pertanto, a prescindere dalla possibilità applicativa del metodo, non pare significativo sviluppare in questa tesi un esempio di impiego relativamente alla problematica di cui si è appena dato un accenno.



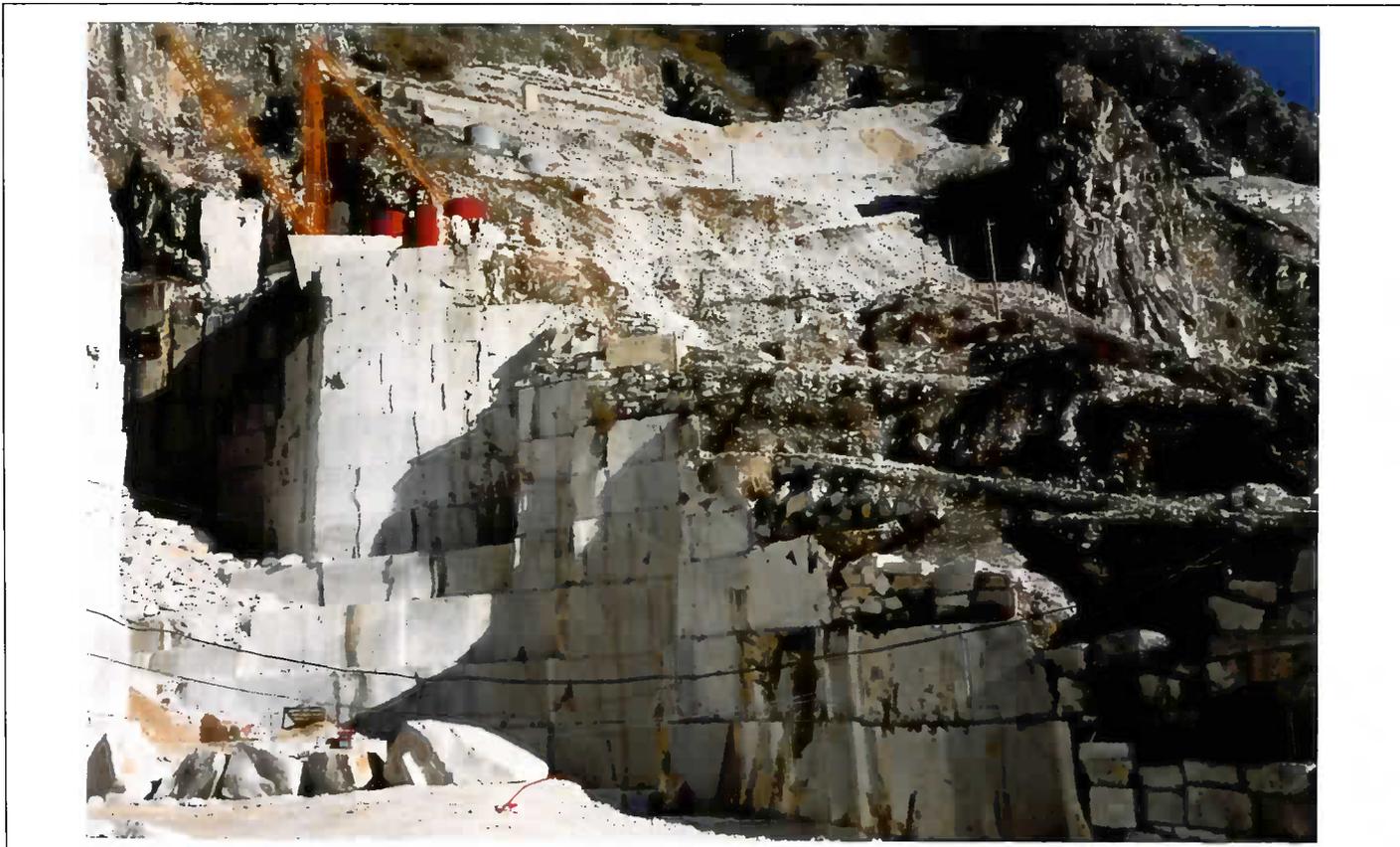
**FOTOGRAFIA. F1**



**FOTOGRAFIA. F2**



**FOTOGRAFIA. F3**



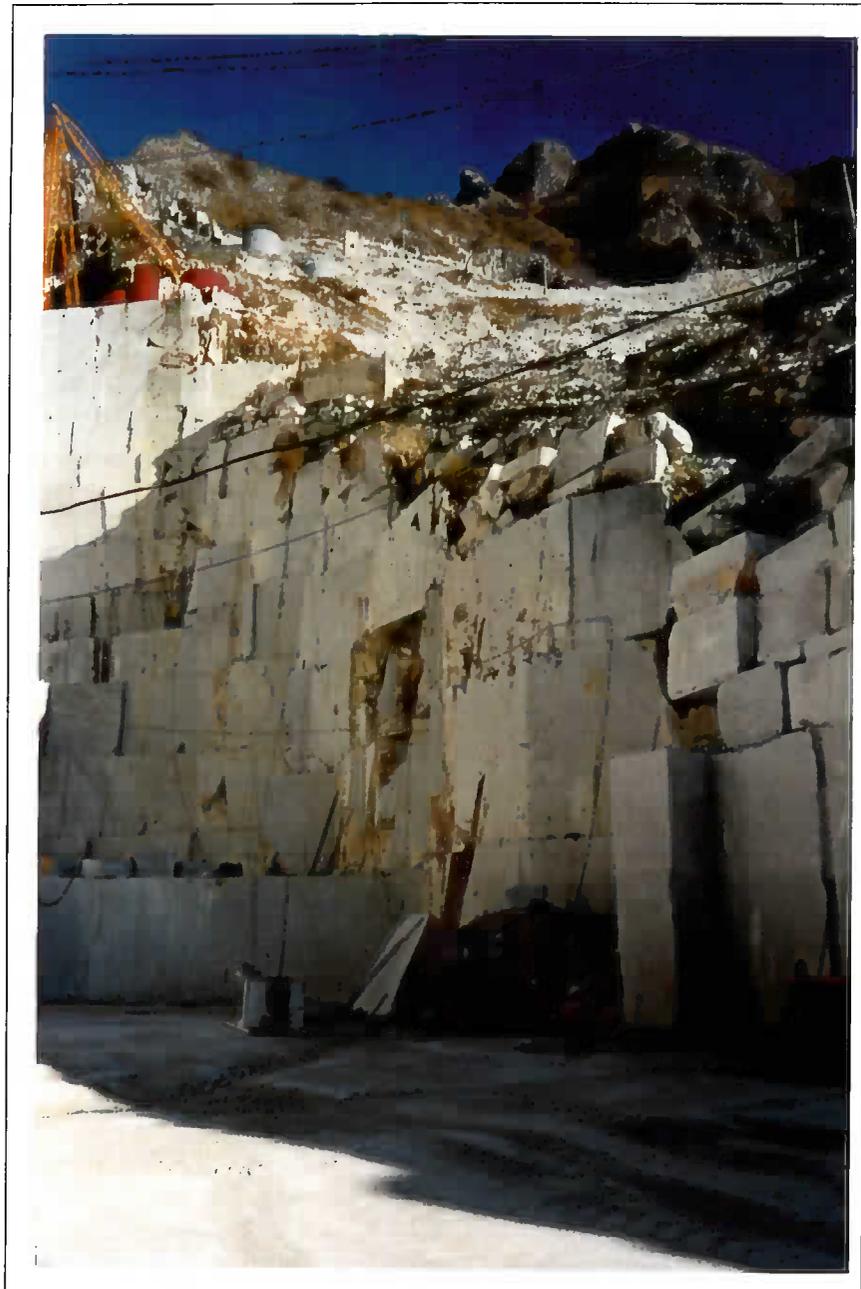
**FOTOGRAFIA. F4**



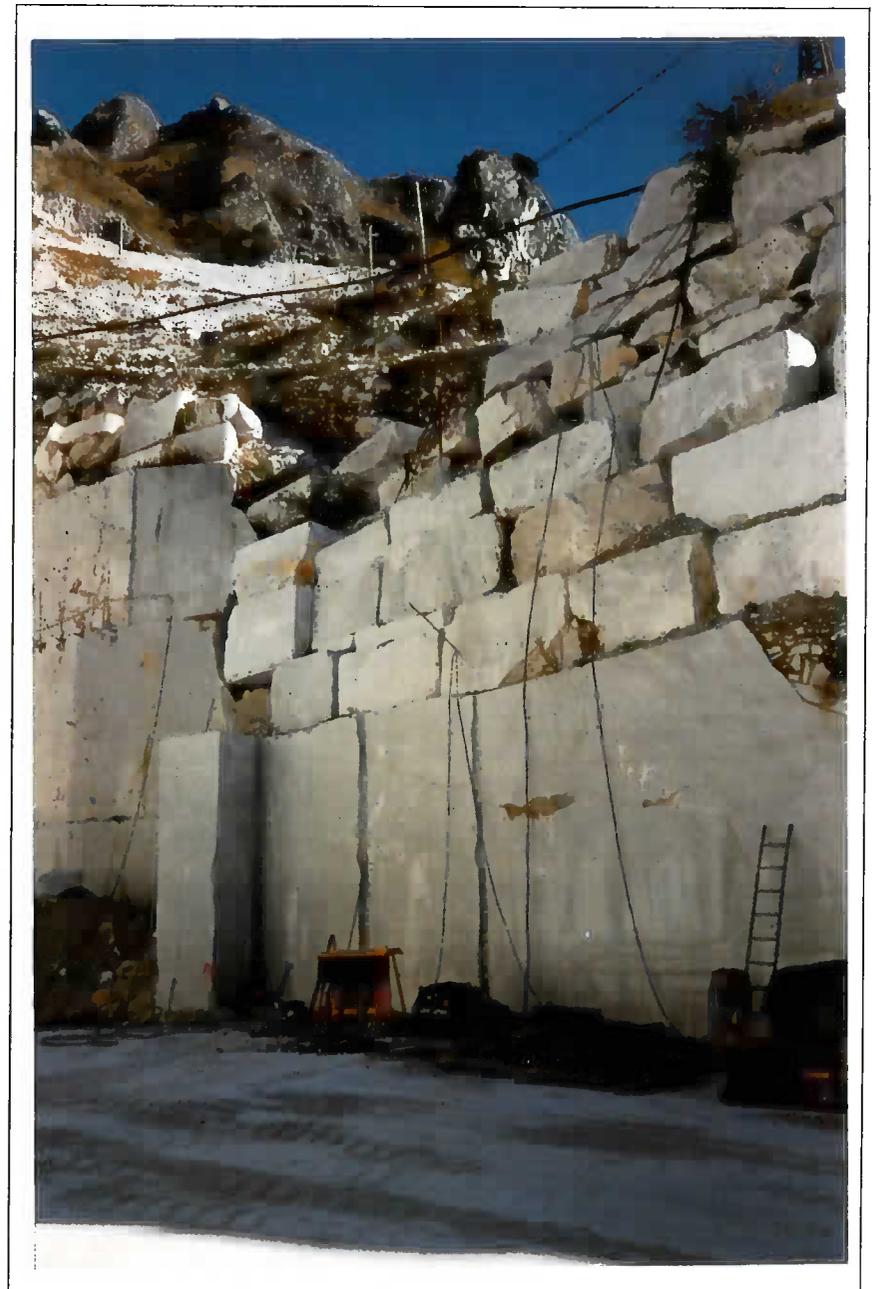
**FOTOGRAFIA. F5**



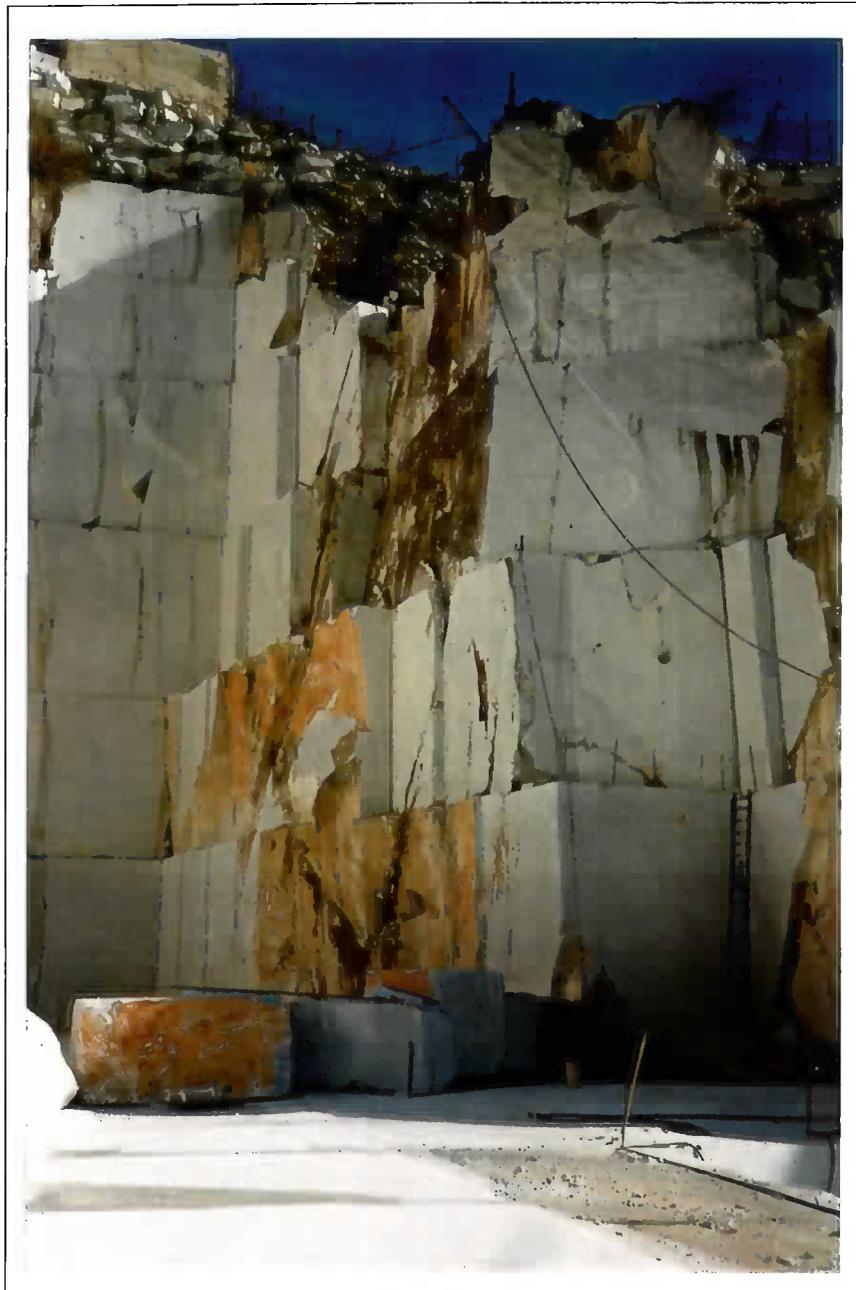
**FOTOGRAFIA. F6**



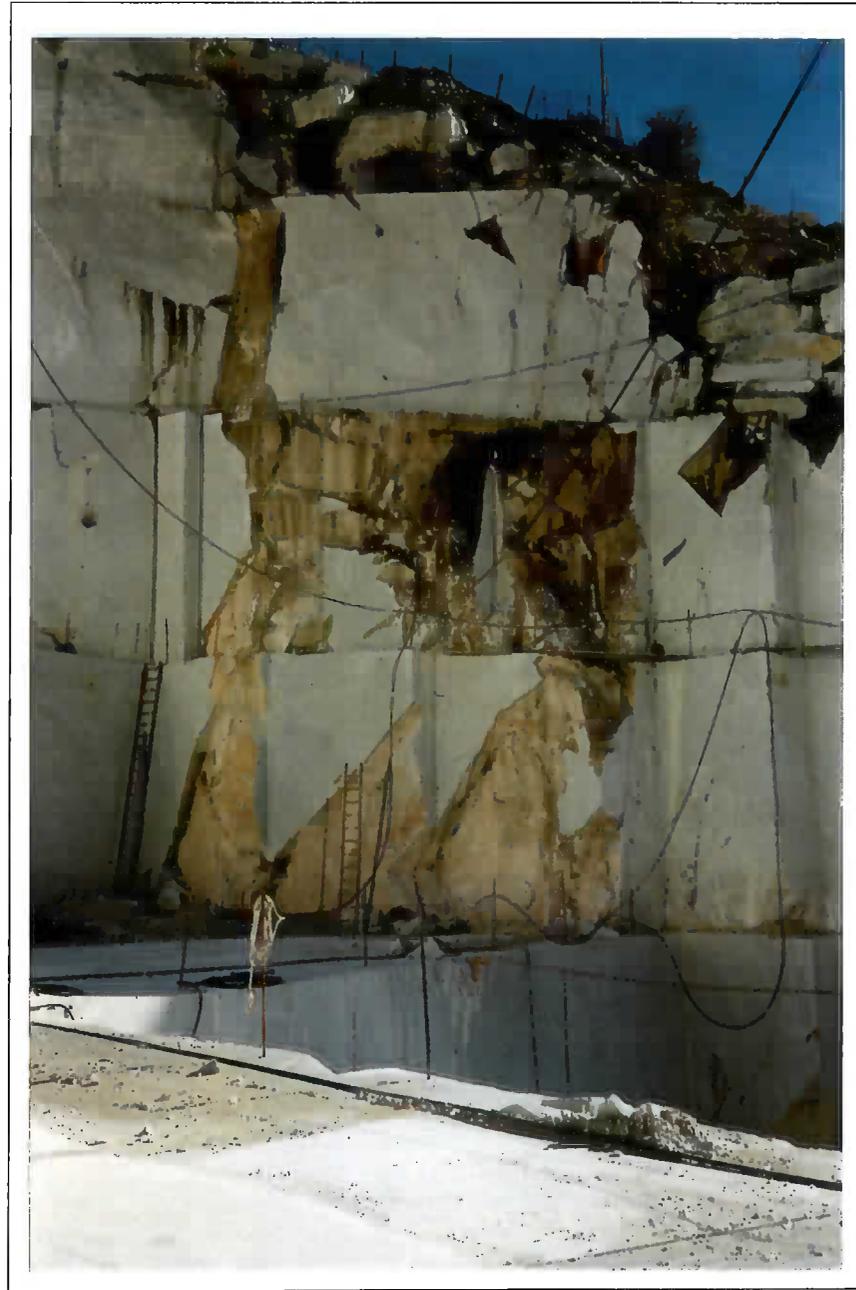
FOTOGRAFIA. F7



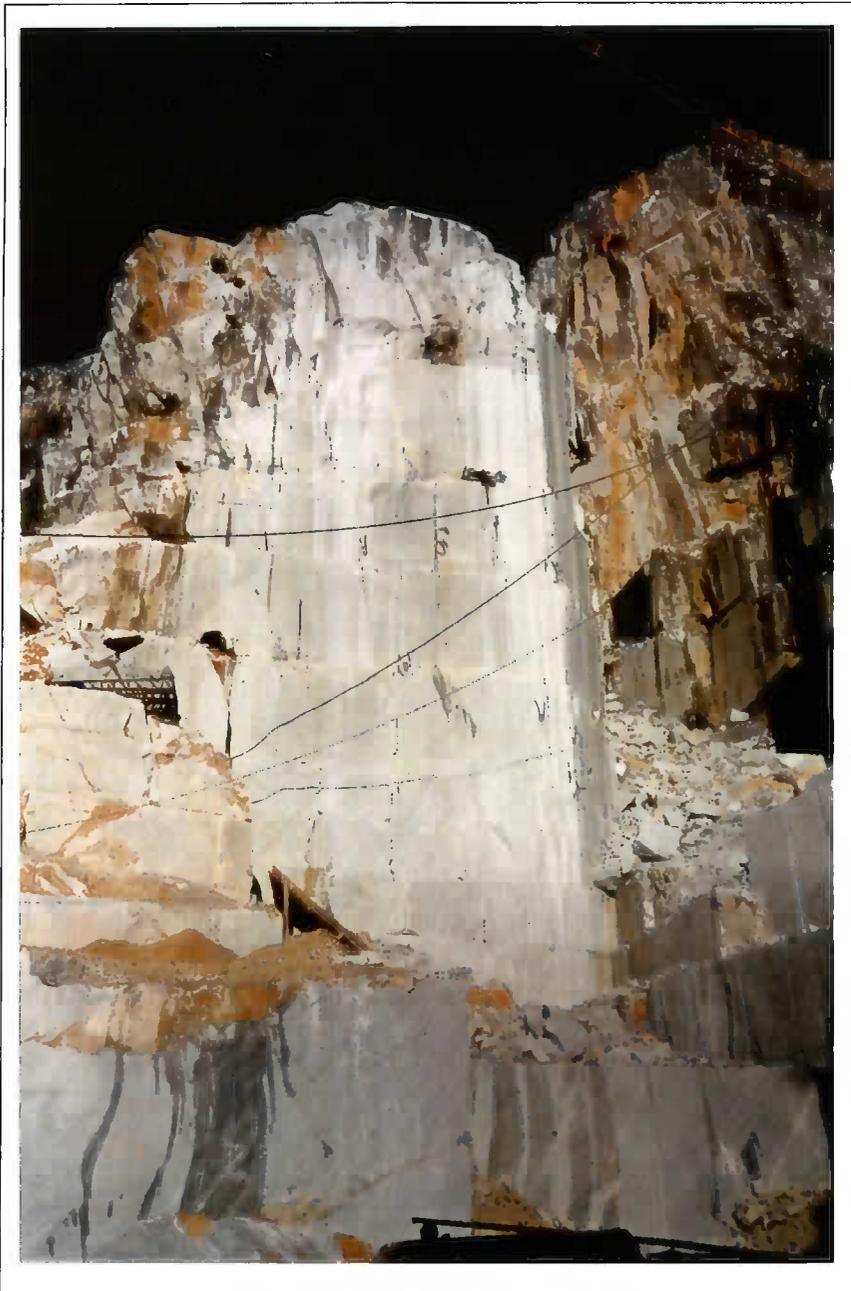
FOTOGRAFIA. F8



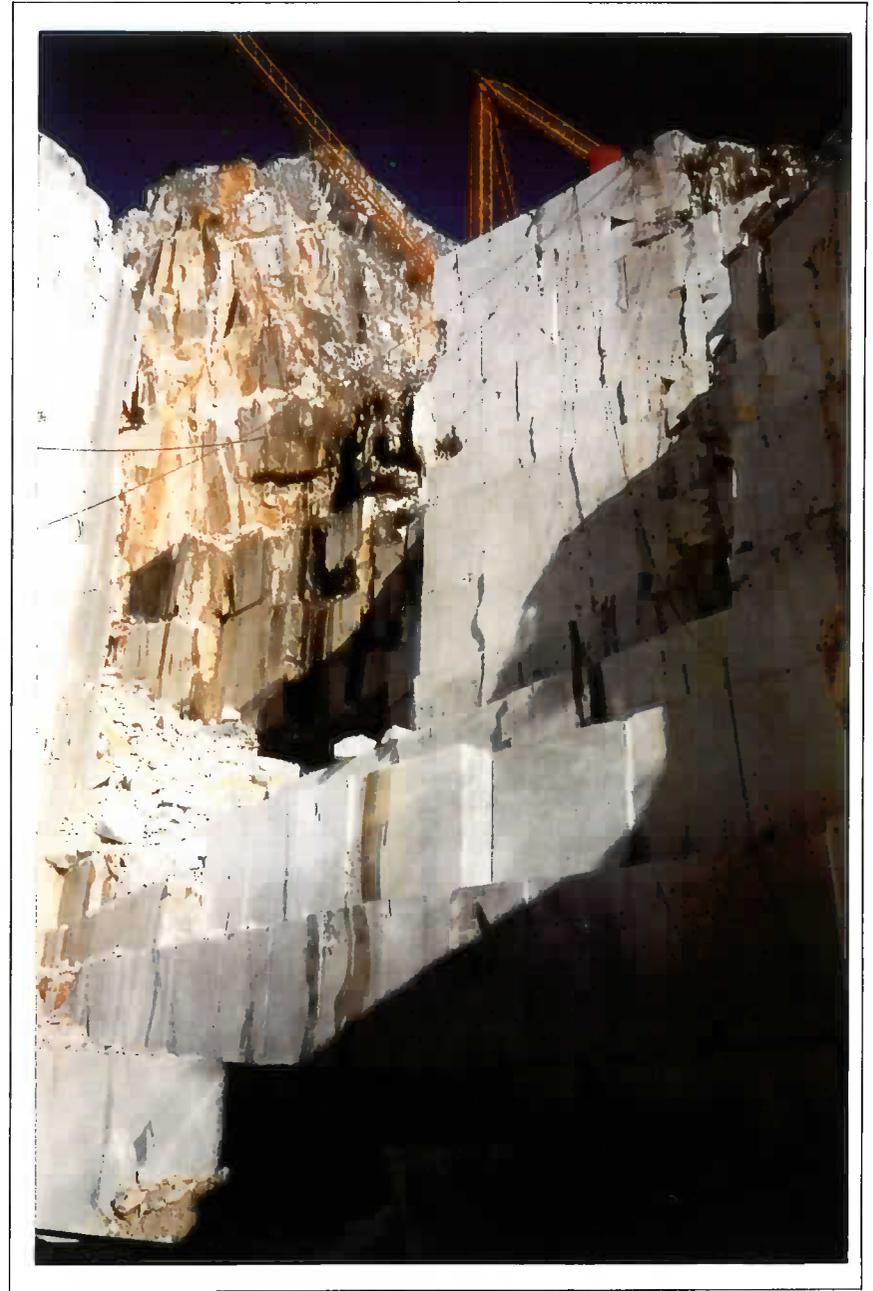
FOTOGRAFIA. F9



FOTOGRAFIA. F10



FOTOGRAFIA. F11



FOTOGRAFIA. F12

### 4.3 MACCHINA A FILO DIAMANTATO (PROIEZIONE PERLINE - FRUSTATA FILO) ( <caratteristiche omogenee nello spazio>)

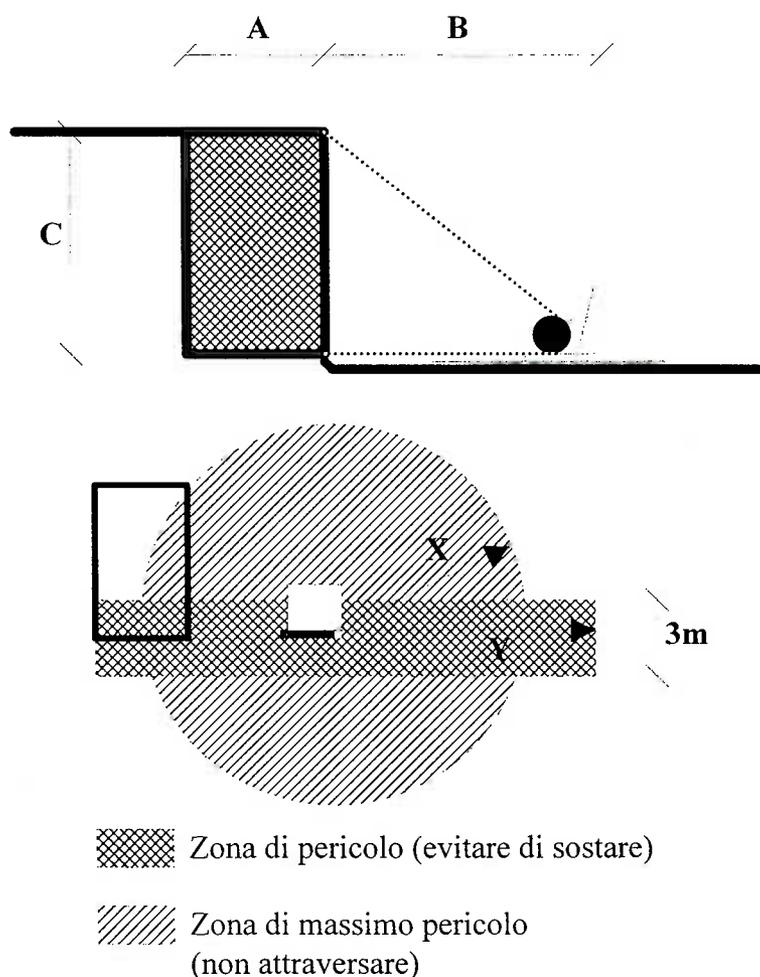
Benché sia difficile stabilire con esattezza la traiettoria del filo diamantato in caso di rottura, è possibile, con l'ausilio della pratica e sulla scorta di un'ampia bibliografia, tracciare una zona di pericolo attorno alla macchina, entro la quale si deve evitare di sostare o, addirittura di transitare, quando il filo sta tagliando.

Una volta individuate le zone sopraccitate, queste possono essere confrontate con gli spazi funzionali del ciclo elementare di produzione, diventa così possibile, con strategie differenti, modificare la situazione di rischio per gli addetti in quella specifica porzione di spazio funzionale.

Una distinzione delle aree in questione può essere fatta nel modo seguente:

- **zona di massimo pericolo:** area in cui più frequentemente ricade la *frustata* del filo spezzato
- **zona di limitato pericolo:** area in cui è sempre possibile che ricada il filo, ma con minore probabilità.

Per il calcolo di queste si utilizza la procedura schematizzata graficamente e le formule allegate a seguire:



$$X=A+1,5 C$$

$$Y=A+1,2 \cdot B+ C$$

Nel caso specifico studiato si ha che:

- Taglio laterale     $A= 3,5 \text{ m}$   
                           $B= 2,3 \text{ m}$   
                           $C= 6 \text{ m}$

$$\Rightarrow X= 7 \text{ m}$$

$$Y= 12,3 \text{ m}$$

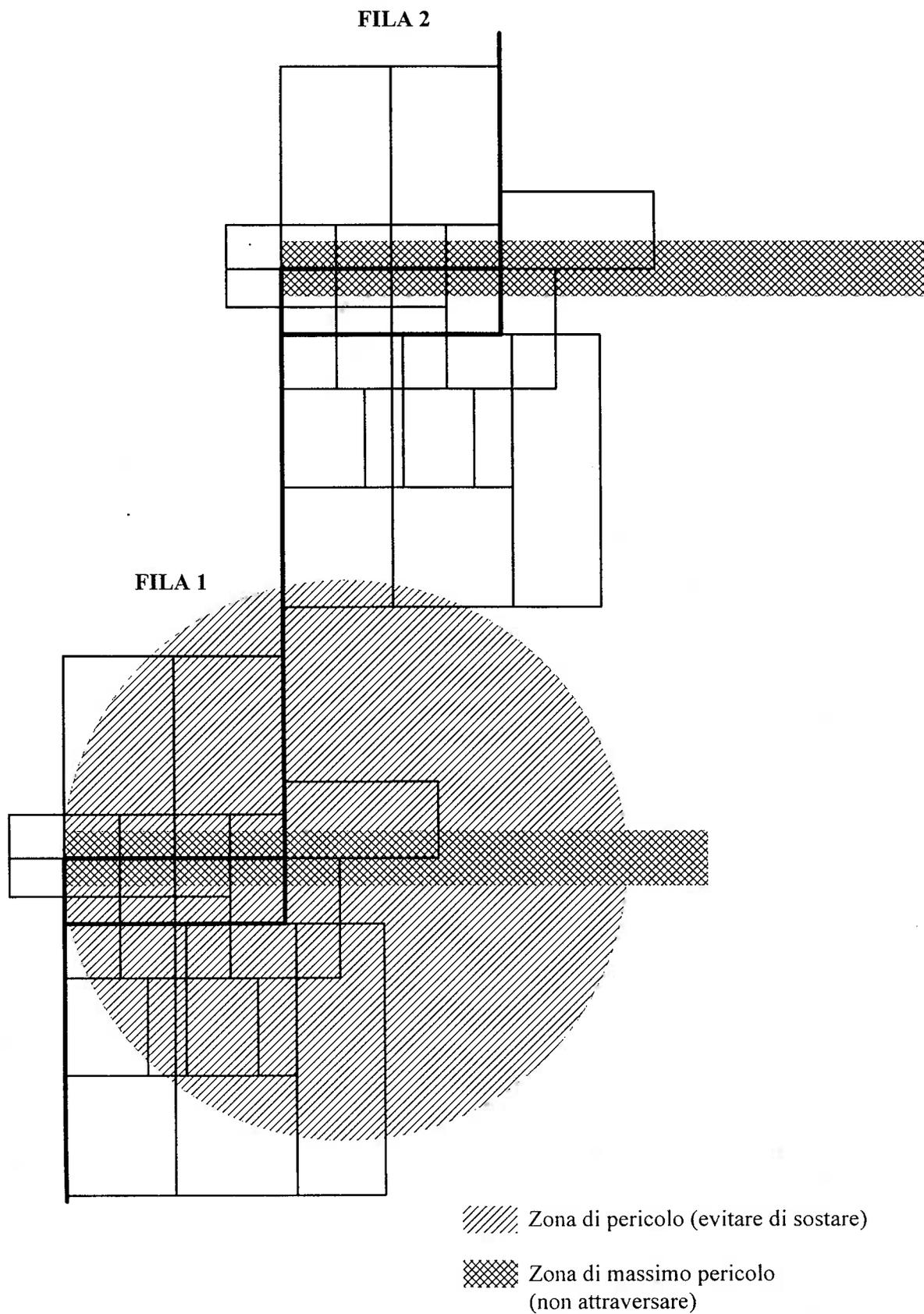
- Taglio al monte     $A= 12 \text{ m}$   
                           $B= 2,3 \text{ m}$   
                           $C= 6 \text{ m}$

$$\Rightarrow X=15,4 \text{ m}$$

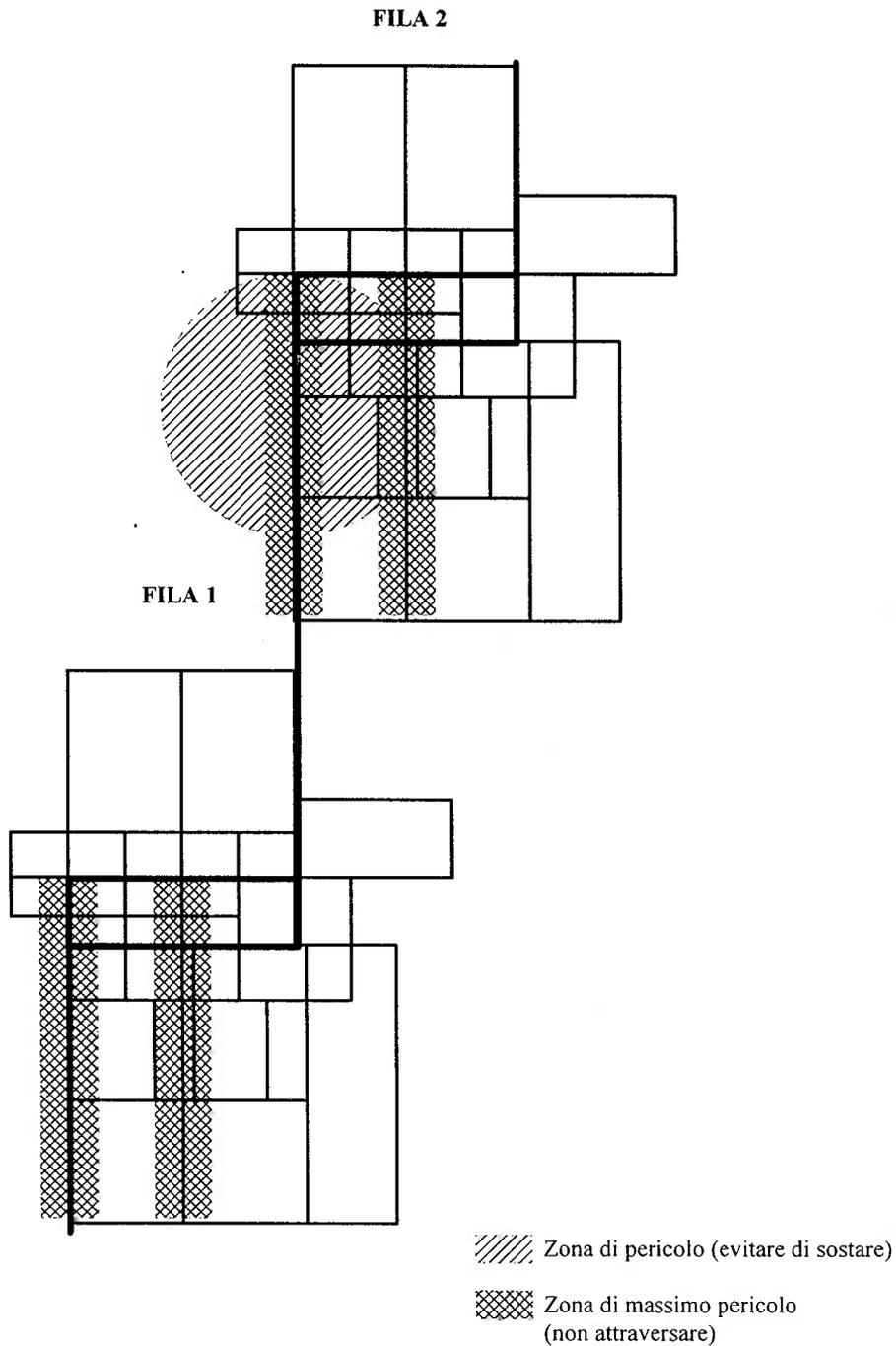
$$Y=20,7 \text{ m.}$$

In tal modo, è possibile introdurre nella catena di spazi (a produttività massima), la tipologia di zone pericolo appena viste, e valutare se, nella gestione del ciclo *in parallelo*, possono esservi dei rischi per le attività svolte in contemporanea con le attività di taglio con filo diamantato. Nelle pagine successive vengono riportate due schematizzazioni, la prima, riferita all'attività di taglio al monte, la seconda, riferita invece ai due tagli laterali; successivamente, si tratterà anche l'attività ritaglio. Per ridurre il numero delle rappresentazioni, vengono eseguiti i confronti, solamente tra le attività che risultano, in maniera evidente, essere combinate in modo peggiore; è inutile, ad esempio, verificare l'eventualità di sovrapposizione tra l'operazione di taglio al monte nella seconda fila e l'operazione ritagli nella prima: nel caso specifico si può vedere anche intuitivamente, senza bisogno di figure, anche ad occhio, che questa sovrapposizione non si verifica.

**Figura 9: Confronto agente materiale (taglio al monte) - file di bancate sfalsate**



**Figura 10: Confronto agente materiale (tagli laterali) - file di bancate sfalsate**



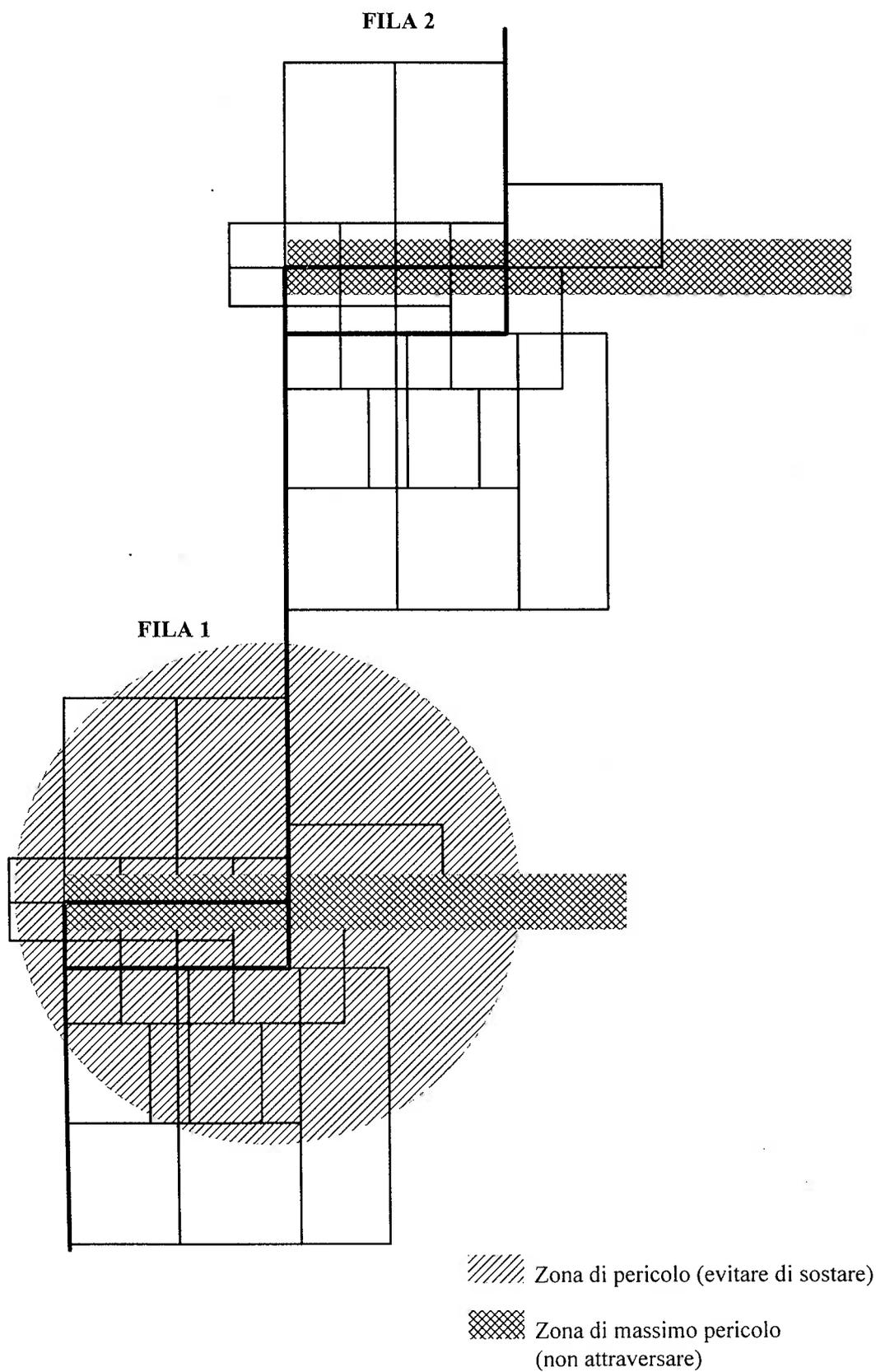
Se si controlla il Diagramma di Gantt del ciclo gestito *in parallelo* su due file (allegato nell'appendice 4), si può vedere che le operazioni di taglio con filo diamantato (sia per quel che riguarda il taglio laterale, che per il taglio al monte) della seconda fila, vengono eseguite in contemporanea con l'attività *ritaglio.a* della prima fila, e viceversa; avendo poi, il ciclo gestito *in parallelo* un'impostazione costante nel tempo, questa situazione tra le due file si ripete identicamente in tutti i cicli successivi.

La gestione di questa impostazione (figura 9, figura 10), non crea tuttavia particolari problemi, infatti, per quel che riguarda le aree di massimo pericolo, non si presenta in tal caso alcuna sovrapposizione. L'unica eccezione è rappresentata dal confronto fra la zona a rischio limitato, derivante dal taglio al monte della prima fila, e le operazioni di ritaglio della seconda fila, dove è possibile notare una piccola sovrapposizione (figura 9), sovrapposizione tuttavia trascurabile, se si considera l'attività *ritagli.b*, meritevole invece di una breve riflessione per quel che concerne il conflitto con l'attività *ritagli.a*, svolgentesi questa nello stesso arco di tempo.

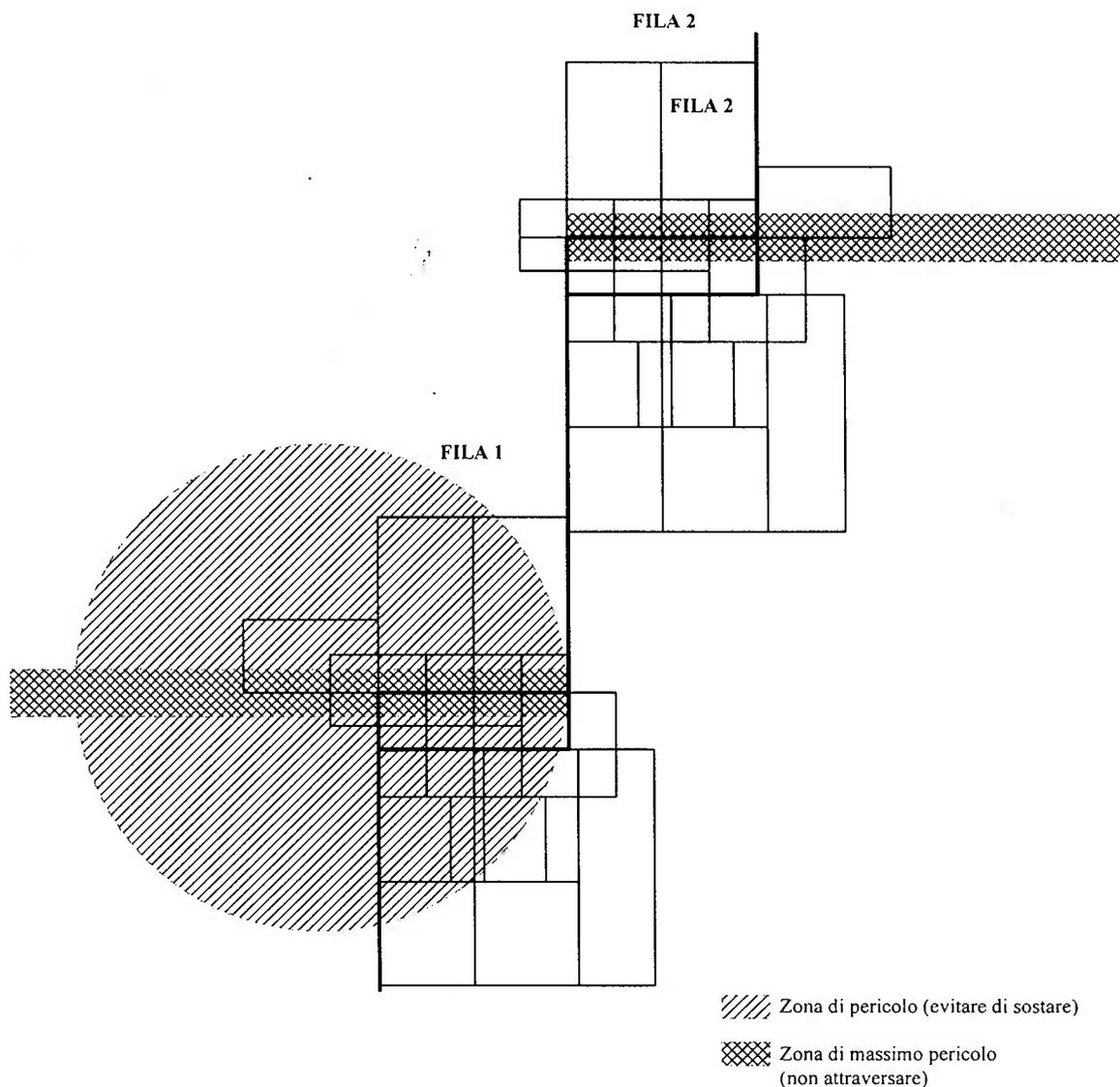
In questa particolare situazione, le ipotesi percorribili possono essere diverse:

- Si potrebbero utilizzare gli ampi slittamenti a disposizione delle operazioni di [*pre-ritaglio*] (tra cui anche il taglio al monte), e si potrebbe, di conseguenza, spostare l'attività taglio al monte, cercando di evitare la sovrapposizione rilevata. Ipotesi questa plausibile, ma da un'analisi attenta del diagramma suddetto, non facilmente gestibile, in quanto nascerebbero sicuramente problemi di sovrapposizione risorse tra le nuove combinazioni ipotizzate.
- Una seconda ipotesi, di più semplice esecuzione, è quella di prevedere uno sfalsamento di poco maggiore a quello previsto tra le due file di bancate (figura 11).
- Terza ed ultima ipotesi, può essere quella di eseguire il taglio al monte dall'alto nella prima fila, procedimento in sé, un'pò più lungo, ma comunque spesso utilizzato nell'isolamento bancata in cava. Anche seguendo questa ipotesi(figura 12), senza intervenire sugli sfalsamenti delle due file, non risulterebbe più alcuna sovrapposizione

**Figura 11: Aumento dello sfalsamento file, causa sovrapposizione spazi funzionali, con zona a rischio limitato**



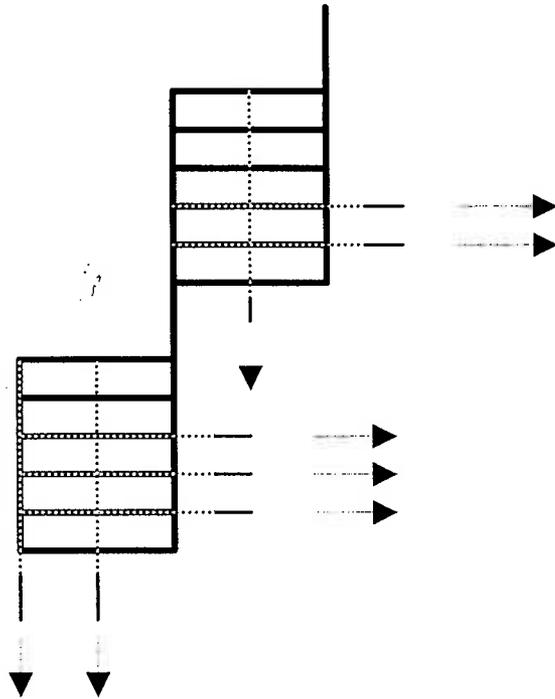
**Figura 12: Esecuzione taglio al monte dall'alto, causa sovrapposizione spazi funzionali, con zona a rischio limitato (senza aggiunta di ulteriore sfalsamento tra le file)**



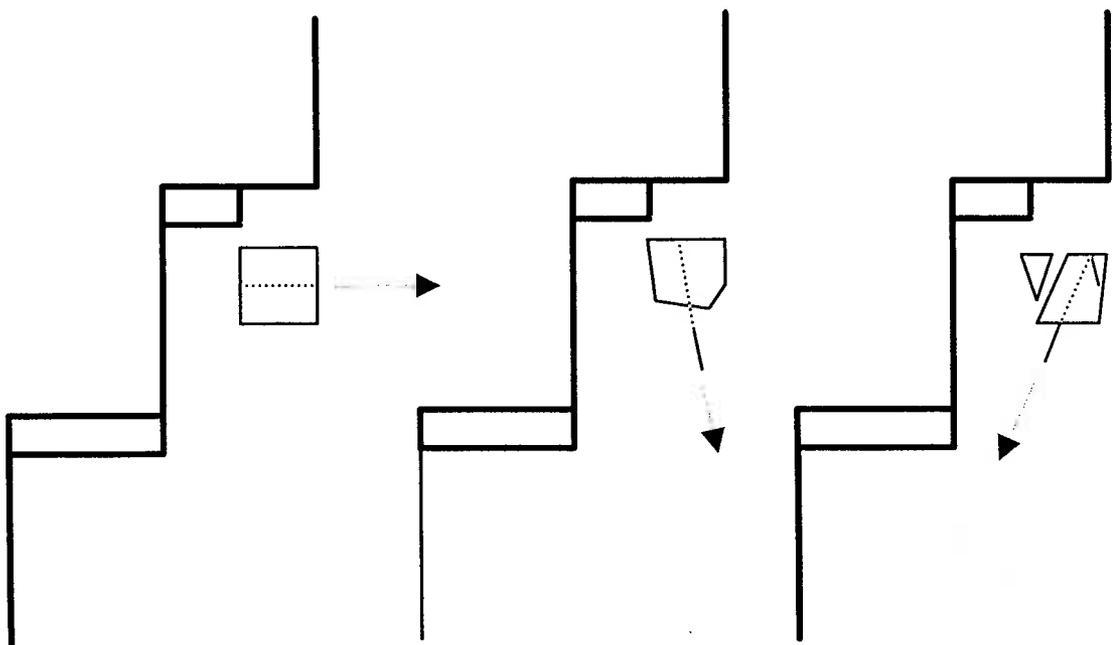
Le direzioni di taglio dei casi visti sinora (taglio al monte e tagli laterali), essendo lo schema di avanzamento del ciclo studiato abbastanza regolare, restano nella pratica sempre uguali (figura 13.a). La situazione, risulta essere invece più complessa nell'attività ritagli, sinora trascurata per semplificare l'analisi complessiva: in questo caso, per ottenere la resa in blocchi ottimale, le posizioni di taglio della macchina a filo possono essere svariate, e di conseguenza difficilmente schematizzabili a priori (figura 13.b).

**Figura 13:** a. Taglio al monte e tagli laterali  
b. Ritagli

**Taglio al monte e Tagli laterali**



**Ritagli**



Come conseguenza immediata delle osservazioni riportate sull'attività ritaglio, si sono ipotizzati due tipi di percorso:

- ◆ Si può prendere come riferimento lo schema visto nel secondo capitolo (figure 5), e calcolare, a seconda del tipo di ritaglio, i valori di X e Y visti in precedenza:

- a) 1 taglio  $6 \times 3,5 \text{ m}^2$
- b) 6 tagli  $3 \times 3,5 \text{ m}^2$
- c) 8 tagli  $3 \times 1,5 \text{ m}^2 \Rightarrow$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \quad & \text{nel caso "a"} \quad X= 9,5 \text{ m} \\ & \quad \quad \quad Y= 12,4 \text{ m} \\ & \text{nel caso "b"} \quad X= 6,5 \text{ m} \\ & \quad \quad \quad Y= 9,4 \text{ m} \\ & \text{nel caso "c"} \quad X= 7 \text{ m} \\ & \quad \quad \quad Y= 8,4 \text{ m.} \end{aligned}$$

Utilizzando questa impostazione, schematizzata sinteticamente nelle (figure 14), si può notare che, la gestione del ciclo ritagli non presenta alcun problema di sovrapposizione tra spazi funzionali e zone di pericolo.

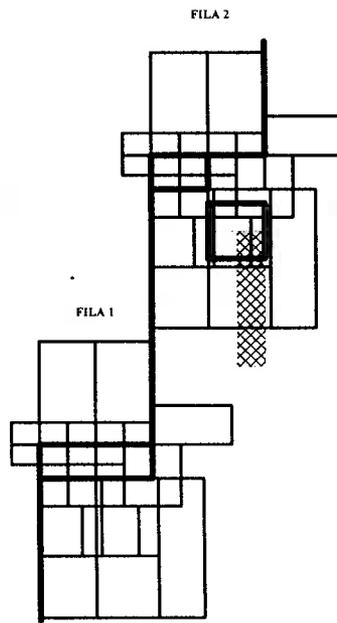
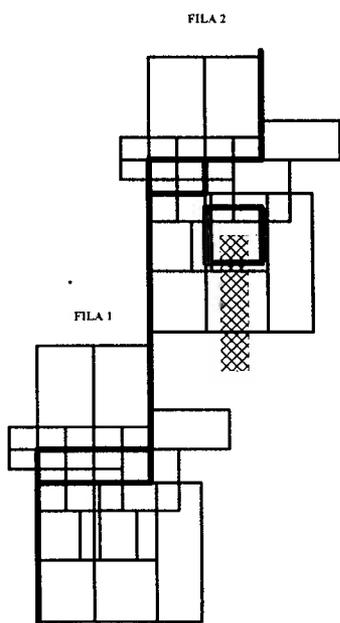
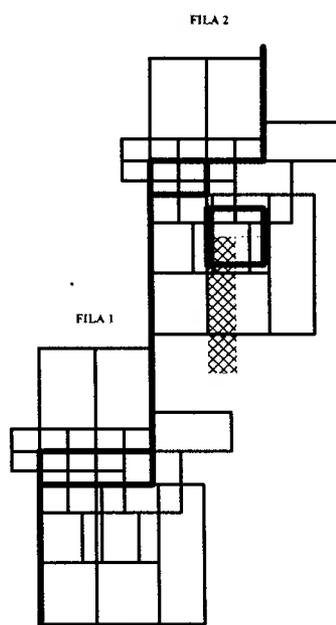
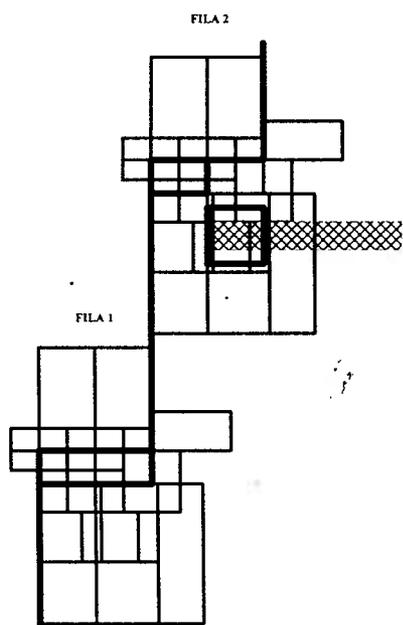
- ◆ Un secondo tipo di ipotesi, più cautelativa, tiene conto invece della problematica anticipata nelle figure 13, per la quale, essendo le possibilità di disposizione macchina da taglio diverse e non prevedibili a priori, per tutelarsi ulteriormente (secondo tale ipotesi) si imposta una zona più ampia di pericolo ipotetico, avente raggio Y adeguato, e disposta a  $360^\circ$  rispetto al fulcro della zona ritagli (figura 15).

Per il calcolo del valore Y si possono seguire tre procedimenti:

- Si può fare una media dei valori di Y visti nell'ipotesi precedente
- Si può prendere il valore del caso "c", essendo quello riferito al maggior numero di ritagli
- Si può prendere il valore del caso "a" (seppure riferito ad un solo ritaglio), perché risulta essere il più cautelativo.

Essendosi introdotta questa seconda ipotesi di procedimento, per ottenere una maggiore tutela del pericolo circostante, si utilizza, per la valutazione di Y, la terza ipotesi. Quindi  $Y= 12,4 \text{ m}$ .

Figure 14: prima ipotesi "ritagli"



⊗ Zona di massimo pericolo  
(non attraversare)

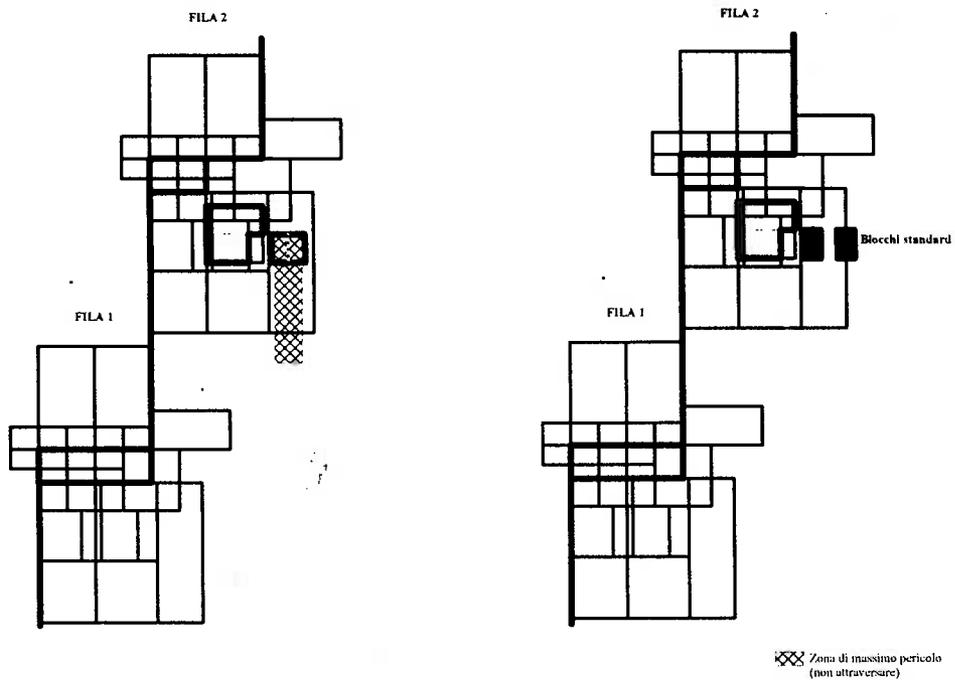
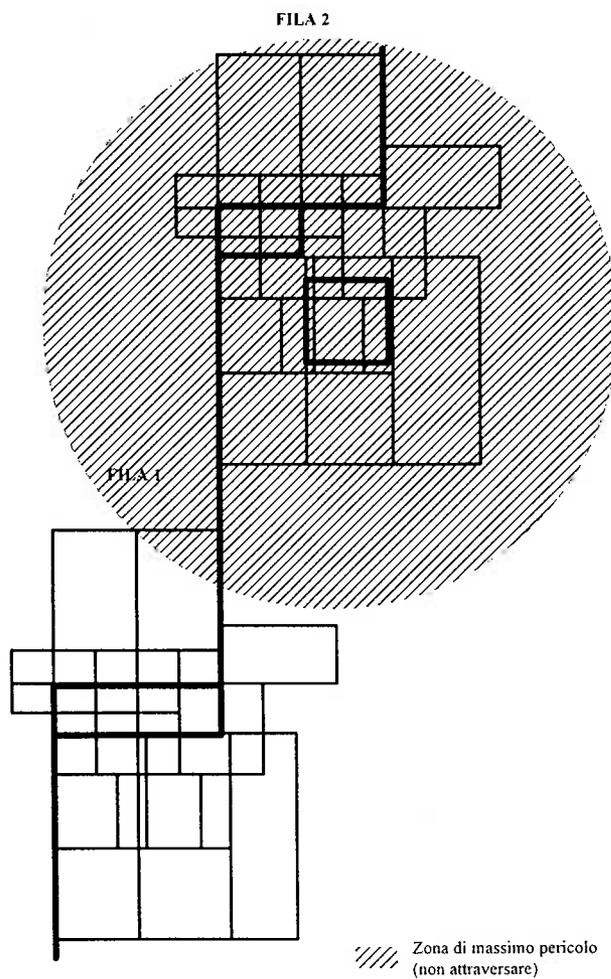


Figura 15: seconda ipotesi "ritagli"



Nelle figure appena viste, si nota che, in entrambe le ipotesi considerate, la impostazione del ciclo *in parallelo* porta, in una, a nessuna sovrapposizione, nell'altra, ad una sola con l'attività *ribaltamento a*, fatto tuttavia trascurabile per almeno tre buoni motivi:

1. lo svolgimento di tale attività avviene nel livello superiore;
2. lo svolgimento di tale attività avviene all'interno di un escavatore;
3. la durata di tale attività è di soli cinque minuti.

L'analisi degli spazi funzionali eseguita in questo paragrafo, ha evidenziato dunque la validità del ciclo a gestione *in parallelo*, anche per quel che riguarda la sicurezza nell'utilizzo delle macchine da taglio con filo diamantato. Tuttavia, è bene precisare che il rischio derivante dall'utilizzo di tali macchine non è costituito, nell'eventualità della rottura, dalla sola frustata del filo, bensì, anche dal lancio di perline diamantate.

Quando avviene la rottura, le perline diamantate presenti tra la zona di rottura e l'apposito fermo, si sfilano dal cavo, proiettandosi con una velocità altissima nella zona retrostante alla macchina. Si è cercato, riguardo a ciò, con una serie di ragionamenti più o meno empirici, di prevedere anche la direzionalità del *proietto* e, la conclusione a cui si è arrivati, è quella di un conoide tronco, conclusione tuttavia smentita da prove pratiche più recenti. Questa considerazione, evidenzia quindi la difficoltà che nasce, nel voler determinare una zona di pericolo conseguente a questa tipologia di rischio, senza contare poi le molteplici possibilità di rimbalzi delle perline contro le pareti riscontrabili in una cava quale quella studiata.

## 4.4 RUMORE <caratteristiche variabili nello spazio>

Il metodo degli spazi funzionali, può risultare efficace anche per una stima previsionale della esposizione a rumore da parte degli addetti. Nella pratica, ciò comporta una corretta definizione delle caratteristiche di propagazione del rumore nell'area interessata: quanto più, tale definizione risulta essere corretta, tanto più, la previsione può essere rappresentativa.

Premesso ciò, si introducono alcune nozioni di base, per quanto riguarda la tematica rumore.

### 4.4.1 Nozioni di base sulla tematica rumore

#### Campi sonori

- ◆ **Campo sonoro** è lo spazio in cui si propagano le onde sonore.
- ◆ **Campo sonoro libero** è quel particolare campo in cui il suono può diffondersi, in un mezzo omogeneo ed elastico ed in tutte le direzioni. Se la sorgente emette vibrazioni con simmetria sferica, i fronti d'onda risultanti sono sferici. Questo tipo di campo è un modello astratto, per il quale peraltro sono deducibili proprietà che possono essere estese ai campi reali con gli opportuni aggiustamenti; inoltre questo campo è di particolare interesse per le misure acustiche, e vengono pertanto realizzate camere di misura speciali (camere anecoiche od assorbenti) atte a simularlo.

Legge della distanza inversa: nel campo sonoro libero con sorgente onnidirezionale, per la conservazione dell'energia si ha:

$$\bullet \quad N/4\pi \cdot r^2 = \text{costante} = I = p_{\text{RMS}}^2/\rho \cdot C \quad [1]$$

ovvero, ad ogni raddoppio della distanza dalla sorgente di potenza  $N$  l'intensità sonora decresce di  $2^2$  volte (avvalendosi di mezzi di calcolo sofisticati si può pervenire a dimostrare che si riduce ad  $1/4$ ).

E pertanto

$$\bullet \quad p_{\text{RMS}} \cong 1/r$$

Potenza sonora: nelle stesse condizioni del punto precedente, esplicitandone la formula si ha:

$$\bullet \quad N = 4\pi \cdot r^2 \cdot p_{\text{RMS}}^2/\rho \cdot C$$

passando ai Livelli la [1] diventa

- $L_N = L_p + 10 \cdot \log(4\pi \cdot r^2)$  [2]

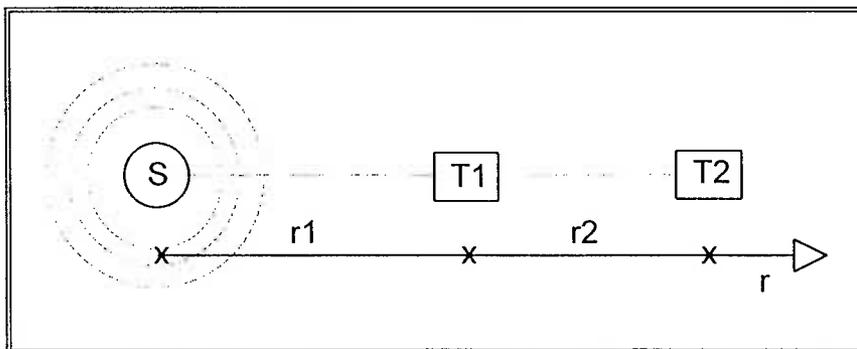
La [2] può comodamente essere scritta anche nella forma

- $L_p = L_N - 20 \cdot \log(r) - 11$  [dB] [3]

Dalla [2] o dalla [3] si ricava che:

ad ogni raddoppio della distanza il livello di pressione sonora cala di 6 dB

Tutto ciò può essere adoperato anche se non si conosce la potenza sonora emessa dalla sorgente, ma si dispone della misura del livello ad una distanza nota da essa, per dedurre il livello in altre posizioni:



si ha infatti direttamente

- $L_{p2} = L_{p1} - 20 \cdot \log(r_2 / r_1)$  [dB]

**Sorgente direzionale:** alcune sorgenti sonore irradiano maggiormente in una direzione che in altre; tale caratteristica è quantificata dal fattore di direttività

- $Q_\theta = p_\theta^2 / p_m^2$

dove  $p_\theta$  = pressione sonora ad una certa distanza lungo la direzione  $\theta$

$p_m$  = pressione sonora media su tutte le direzioni alla stessa distanza.

La pressione sonora in campo libero lungo la direzione  $\theta$  è correlabile con la potenza sonora totale  $P$  irradiata dalla sorgente mediante la relazione

$$\bullet \quad p^2_{\theta} / \rho \cdot C = P \cdot Q_{\theta} / 4\pi \cdot R^2 \quad ; \quad p^2_{\theta} = Q_{\theta} \cdot P \cdot \rho \cdot C / 4\pi \cdot R^2$$

In termini di livelli

$$\bullet \quad 10 \cdot \log Q_{\theta} = L_{p\theta} - L_{pm}$$

dato che dovrebbe essere noto, assieme alla potenza sonora, per caratterizzare la sorgente.

Ciò ammesso, la [3] diventa:

$$\bullet \quad L_p = L_N - 20 \cdot \log(r) + 10 \cdot \log Q_{\theta} - 11 \quad [\text{dB}]$$

Si noti che la determinazione della potenza sonora emessa, ed il calcolo del fattore di direttività, sono tra le varie applicazioni pratiche della camera assorbente, o dell'intensimetria.

- ◆ *Campo sonoro diffuso (riverberante)*, è quel campo sonoro in cui la pressione sonora ha lo stesso valore efficace in ogni punto e le onde sonore si propagano in ogni direzione, con eguale probabilità. Ciò può avvenire, in un ambiente chiuso, per effetto combinato della emissione della sorgente e delle riflessioni dalle pareti: in tali condizioni, anche se la sorgente cessa di emettere si ha pur tuttavia - a causa delle riflessioni dalle pareti- una persistenza del suono nell'ambiente, detta riverberazione. Esistono apposite strutture di laboratorio (camere riverberanti) realizzate in modo da simulare, con la massima approssimazione possibile, le condizioni teoriche.
- ◆ *Campo sonoro misto (semiriverberante)*, è un campo sonoro nel quale si verifica una situazione intermedia fra quella di campo libero e quella di campo diffuso. È il campo sonoro che si incontra nella pratica nelle officine, negli uffici, ecc. Il concetto di campo sonoro misto, è importante per una corretta valutazione della emissione della sorgente sonora installata in un ambiente.

Le proprietà acustiche delle superfici possono essere espresse tramite il coefficiente di assorbimento medio:

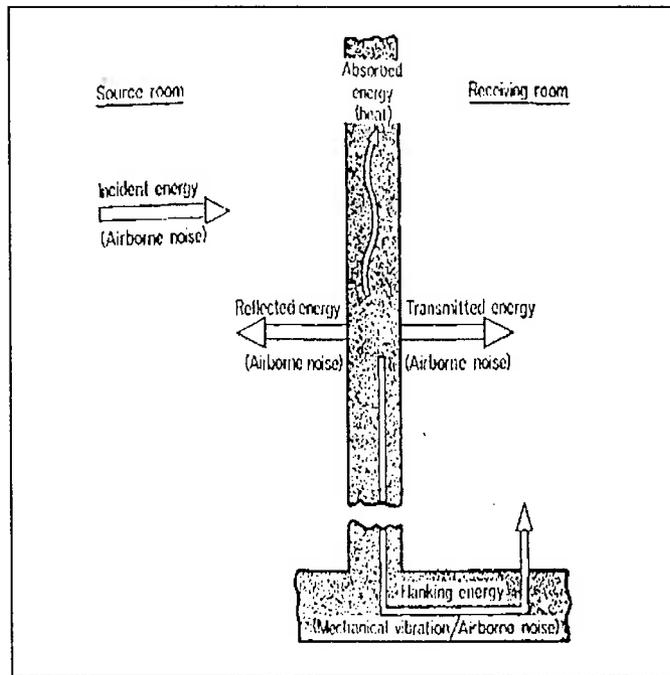
$$\bullet \quad \alpha_m = \frac{\sum_1^n \alpha_i \cdot S_i}{\sum_1^n S_i} \quad [4]$$

si noti che in generale il coefficiente di assorbimento di un materiale è definito come:

$$\alpha = \frac{\text{energia sonora assorbita}}{\text{energia sonora incidente}} \quad 0 < \alpha < 1$$

con riferimento alla figura seguente ripresa da Woods.

Figura 17



Il coefficiente di assorbimento  $\alpha$ , tipicamente determinato in camera riverberante, generalmente cresce in funzione della frequenza, ed assume valori molto elevati nei materiali porosi e fibrosi.

Il coefficiente di assorbimento medio, sopra definito [4], può essere valutato, per un ambiente, in base al tempo di riverberazione, mediante la formula di Sabine:

$$T_R = 0.16 \cdot \frac{V}{\alpha_m \cdot S} \quad [s] \quad [5]$$

dove:  $T_R$  è il tempo impiegato perché il livello esistente nell'ambiente decada di 60 dB dopo l'interruzione della sorgente;  $V$  è il volume dell'ambiente in  $m^3$ .

Basandosi sul coefficiente di assorbimento medio, può essere ricavata la *costante d'ambiente*

$$\bullet \quad R = \frac{S \cdot \alpha_m}{1 - \alpha_m} \quad [m^2] \quad [6]$$

In generale vale allora la

$$\bullet L_p = 10 \cdot \log\left(\frac{Q_\Theta}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right) \quad [\text{dB}] \quad [7]$$

Tuttavia  $Q_\Theta$  in un ambiente chiuso, è condizionato, oltre che dalle caratteristiche della sorgente, anche dalla sua posizione rispetto alle superfici che delimitano l'ambiente: ad esempio si può assumere:

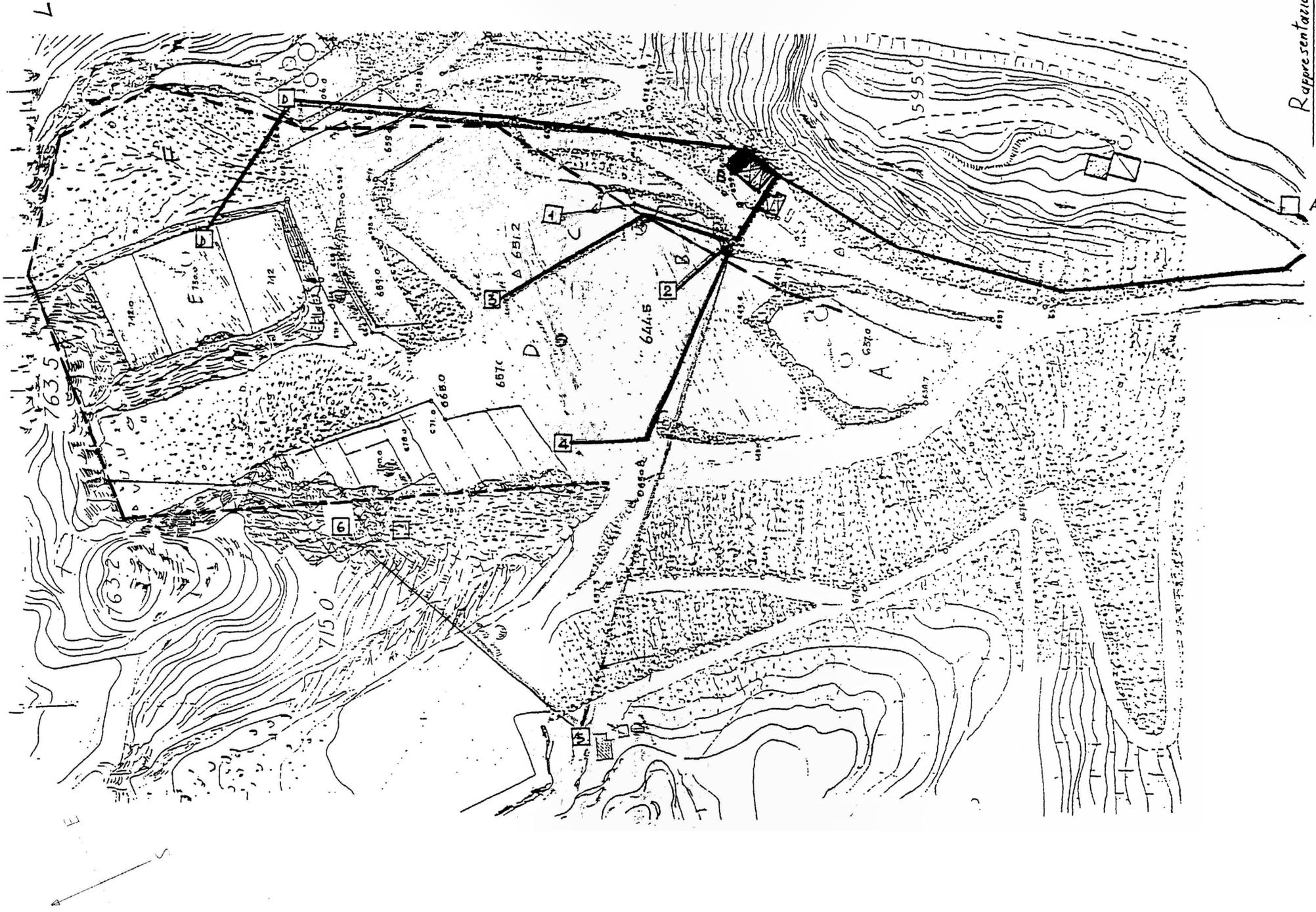
$Q_\Theta$	posizione sorgente rispetto alle superfici
1	lontana da tutte
2	sul pavimento (cioè vicino ad una superficie)
4	vicina ad un angolo fra due superfici (e.g. pavimento + parete)
8	vicina ad un angolo fra tre superfici (e.g. pavimento + spigolo fra pareti)

Queste ultime considerazioni, risultano molto importanti in un ambiente quale quello di cava, dove è facilmente presumibile che la situazione si discosti da quella ideale di propagazione in campo libero, assumendo caratteristiche, via via, più prossime alla condizione riverberante quanto più angusti sono gli spazi e lisce le pareti. Nella ipotesi di sviluppo dei lavori, del caso in esame a termine medio-breve, illustrata nel paragrafo 3.1, e a livello più generale nella rappresentazione 2, si può chiaramente identificare almeno una zona nella quale il fenomeno del riverbero sarà evidentissimo; e comunque, data la conformazione che si presume assumerà la cava, il problema potrà assumere dimensioni tutt'altro che trascurabili.

Peraltro, la incertezza attuale sulla geometria che la cava assumerà in futuro, e l'impossibilità di prevedere oggi, con attendibilità accettabile, la costante ambientale, hanno suggerito di rimandare un'analisi così dettagliata ad un momento in cui il programma dei lavori sarà meglio definito.

#### 4.4.2 Esempio applicativo

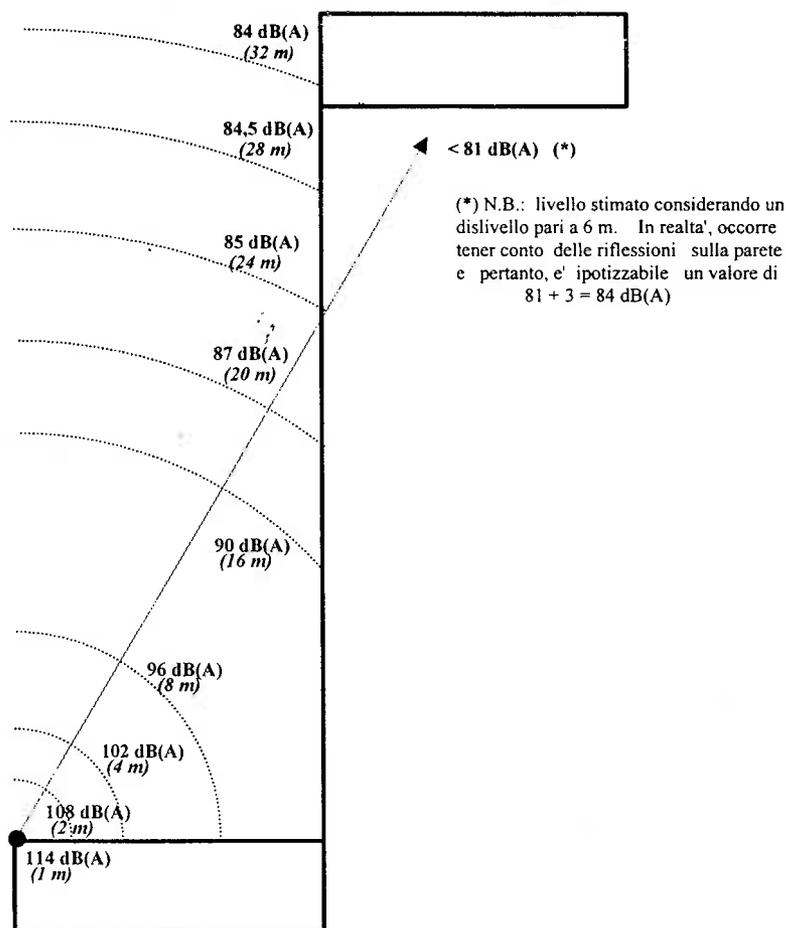
A titolo di esempio, si è proposta una applicazione del metodo nella ipotesi di propagazione in campo libero, con effetto di schermatura per le operazioni eseguite nel livello sottostante (figura 18).



Rappresentazione 2



**Figura 18: Effetto della propagazione del rumore tra due file di bancate sfalsate (tenuto conto dell'effetto schermatura)**



Nel ciclo elementare di produzione, le operazioni più rumorose, sono quelle in cui è necessario l'utilizzo del martello pneumatico, e quindi, le fasi di preparazione nelle attività perforazione e taglio di base. Nella prima attività, è necessario creare dei fori, per fissare poi con dei tiranti la perforatrice rotativa; nella seconda i fori vanno invece eseguiti per fissare al terreno i binari guida della tagliatrice a catena.

Nella pagina precedente, si è introdotto un disegno esplicativo della operazione di perforazione. Analizzando il diagramma di Gantt, del ciclo a gestione *in parallelo* (appendice 4), si nota che l'esecuzione dell'attività perforazione, in una delle due file, avviene in contemporanea con la fase *ritagli.a* nella fila sfalsata, queste due operazioni avvengono tuttavia su quote diverse, dato di cui si deve tenere conto nella valutazione dei valori di pressione sonora, percepita indirettamente dagli addetti nella fase ritagli.

## BIBLIOGRAFIA

L.FAINA, D.SAVOCA M.PATRUCCO (1986): *Linee guida per la valutazione dei rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori nel settore estrattivo ai sensi dell'art.4 comma 1 del decreto legislativo n.626/94*, Min.Industria, Commercio ed Artigianato-Direz.Gen,Miniere; Politecnico di Torino, Dip.Georisorse/ C.N.R. Centro Studi Fisica Rocce e Geotecnologie; Regione Piemonte - Serv. Polizia Mineraria.

L.FAINA, D.SAVOCA M.PATRUCCO (1986): *"La valutazione dei rischi ed il documento di sicurezza e salute nelle attività estrattive a cielo aperto"*, European Commission S.H.C.M.O.E.I.- Workshop on Risk Assesment, Gubbio, 20-23 giugno 1996.

ORSINI G, PINZARI M. (1986) *Design and maintenance of hard rock quarries to assure safe and healthy working. Proc. of Symposium on safety and health in mining and quarrying industries*. Luxembourg, C.E.C. Directorate General Employment, Social Affairs and Education, pp.100-123

PINZARI M. (1996) *Il metodo degli spazi funzionali nella progettazione delle cave e nella valutazione della esposizione degli addetti*. Corso IREF, Milano (in stampa)

PINZARI M.(1979) *Il dimensionamento di una attività produttiva di cava: criteri e metodologia progettuale*. Marmo Macchine, 27, pp.45-54

ANIM, Atti del convegno internazionale su *"Situazioni e prospettive dell'industria lapidea"*, Cagliari 3-5 Aprile 1989

LOCHTMANS. Scritto sull'utilizzo delle macchine a filo diamantato

M.CASTELLI, O.CAI. *Utilizzazione in sicurezza del filo diamantato in cava*.

D.PANDOLFI-O.PANDOLFI, *"La cava"*, Aprile 1989