



**Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino**

**Appunti universitari**

**Tesi di laurea**

**Cartoleria e cancelleria**

**Stampa file e fotocopie**

**Print on demand**

**Rilegature**

NUMERO: 1679A -

ANNO: 2015

# **A P P U N T I**

STUDENTE: Ricco

MATERIA: Ingegneria degli Scavi. Prof.Oggeri-Peila

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.  
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

## Ingegneria degli scavi

---

Prof. Oggeri Prof. Peila

# INGEGNERIA DEGLI SCAVI

## PROF.

## C. OGGERI

## D. PEILA

## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

SCAVO MECCANICO .....	31
ESPLOSIVI .....	32
Classificazione degli esplosivi in base allo stato fisico .....	33
Le emulsioni sono esplosivi costituiti .....	33
Classificazione degli esplosivi dal punto di vista chimico.....	34
Classificazione degli esplosivi in base alla velocità di reazione .....	35
ANFO .....	36
Diametro critico.....	37
Densità.....	37
DENSITA' CRITICA (densità di disattivazione / insensibilizzazione).....	38
Resistenza all'acqua .....	40
Mina.....	40
DETONATORI.....	40
A Miccia .....	41
DETONATORE ELETTRICO.....	44
DETONATORE DEL SISTEMA NONEL .....	46
ESPLODITORI PER DETONATORI NONEL : .....	50
CICLI DI SCAVO .....	51
LE VOLATE: .....	54
Pareti rettilinee a cielo aperto .....	54
VOLATE IN GALLERIE .....	56
Decomposizione della volata: .....	57
Decomposizione dell'effetto di una volata a ventagli verticali.....	58
AVANZAMENTO .....	59
<i>Fattori che influenzano le tecniche di abbattimento a giorno</i> .....	59
VOLATE PER LO SCAVO DI CANALI, TRINCEE, FONDAZIONI.....	60
SCAVI DI GRANDI FONDAZIONI.....	60
ERRORI DI DIMENSIONAMENTO .....	63
SUPERFICIE DI PERFORAZIONE .....	64
GRUPPI FUNZIONALI DI MINE.....	64
PIANO DI TIRO .....	65
OBIETTIVO VOLATE: .....	65
EFFETTO DEL DISACCOPIAMENTO DELLA CARICA .....	67
PROFILATURA-PRESPLITTING.....	68
PROFILATURA-LINE DRILLIN.....	69
PROFILATURA-SMOOTH BLASTING.....	70

## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

PERFORATRICI DOWN-THE-HOLE.....	121
PERFORATRICI A ROTAZIONE .....	121
CANTIERI DI SCAVO .....	123
Meccanizzazione dei cantieri di scavo con esplosivo.....	123
CAPACITÀ PRODUTTIVA .....	126
MACCHINE DI SMARINO .....	128
MACCHINE EFFETTUANTI RACCOLTA E TRASPORTO .....	130
<b>1. Dozer</b> .....	130
<b>2. Pale LHD</b> .....	132
<b>3. Carri autocaricanti (autopale e simili)</b> .....	133
SISTEMI CON MACCHINE SEPARATE PER LA RACCOLTA E IL TRASPORTO .....	134
ESCAVATORI.....	135
PALE CARICATRICI (VEDI ANCHE SEMINARIO ) .....	136
SCAVO CON FILO E TAGLIATRICI .....	140
<i>Cave a cielo aperto</i> .....	140
Tecnologie di distacco delle rocce (tagliatrice a filo diamantato ).....	140
velocità di taglio: numero di metri quadrati che si riescono a .....	141
<i>Figura 22 - Tagliatrice a filo diamantato con indicazione delle principali parti</i> .....	143
Tagliatrice a catena dentata.....	145
POZZI E RIMONTE.....	146
MACCHINE PER LO SCAVO IN ROCCE FRATTURATE .....	154
TBM APPROFONDIMENTI IMPORTANTI.....	160
<b>1. TBM aperte;</b> .....	160
<b>2. TBM a singolo scudo;</b> .....	160
<b>3. TBM a doppio scudo.</b> .....	160
TBM aperte .....	161
TBM MONOSCUODO.....	163
TBM A DOPPIO SCUDO .....	164
HYDRISHIELD .....	165
EPB EARTH PRESSURE BALANCE .....	166
RIASSUNTO CICLI LAVORO .....	167
UTENSILI ROTANTI.....	168
UTENSILI STRISCIANTI .....	169
SPINTA .....	169
CENTINE .....	170

## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

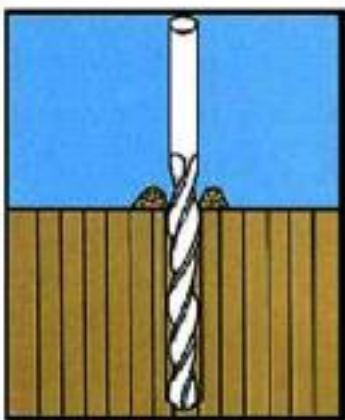
### PALI CHIARIMENTI

#### Situazioni in cui si impone una fondazione su pali:

- esigenze idrauliche (fondazioni di ponti o di opere in alveo o al largo in mare)
- necessità di limitare i cedimenti o di trasmettere il carico in profondità al di sotto di terreni con caratteristiche meccaniche scadenti

PALIFICATE: gruppo di pali posti a distanza ravvicinata e collegati tra loro da plinti, travi e intelaiature

#### TIPI DI PALI



## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

### **Pali a spostamento laterale del terreno**

**Lo spostamento del suolo nell'intorno dello scavo crea un notevole addensamento del suolo stesso. –**

**L'area di carico (dovuta al volume del suolo addensato) viene incrementata di circa il 30-40%.**

**L'attrito laterale del palo acquisisce, di conseguenza, un incremento dello stesso ordine di grandezza.**

I pali a spostamento laterale vengono eseguiti mediante rotazione e spinta, evitando gli eccessivi rumori e vibrazioni generalmente indotti da altre forme di palificazioni. Inoltre producono poco materiale di risulta. per aumentare le capacità dei pali in legno a sostenere maggiori carichi di spinta e di trazione.

Il Full Displacement Pile (FDP) è una metodologia realizzativa, sviluppata da Bauer, per opere di fondazione e consolidamento; tale tecnologia rappresenta alternativa ai classici pali trivellati o ai pali CFA - Continuous Flight Auger (

In sostanza si sfrutta un apposito utensile che può presentare differenti diametri, il quale viene inserito nel terreno per rotazione e spinto da una asta Kelly montata su un apposito mast e fatta ruotare da una testa di rotazione.

L'utensile FDP standard della Bauer è costruito su una robusta asta centrale progettata per convogliare il calcestruzzo, definito frequentemente in seguito "cls", fino alla punta. L'elemento sottostante di perforazione e quello superiore. Attraverso una Kelly bar si può estendere lo scavo ad elevate profondità (si può arrivare a 40 m, chiaramente in funzione della tipologia di macchina base).

4) Una volta raggiunta la profondità finale, l'utensile viene estratto e, contemporaneamente, il calcestruzzo viene pompato attraverso l'interno delle aste cave, uscendo dall'apposito ugello posto in prossimità della punta.

5) Ad utensile estratto si installa, se richiesto, la gabbia di rinforzo nel calcestruzzo (eventualmente tramite l'ausilio di un apposito vibratore) o si introducono per gravità idonee gabbie o profilati in acciaio.

## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

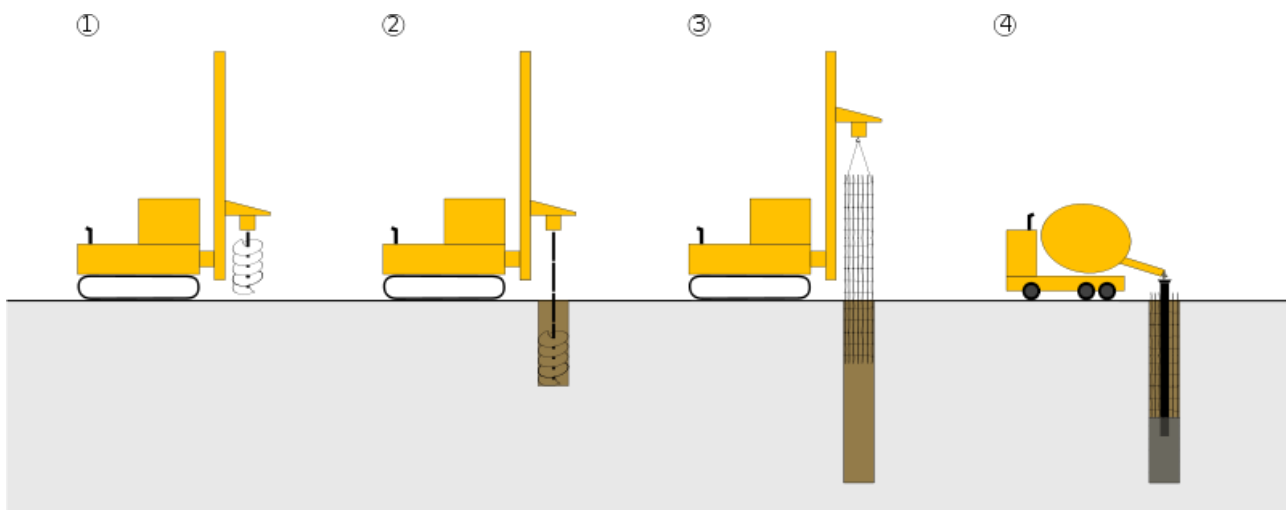
### MACCHINE UNIVERSALI PER PALI TRIVELLATI

*pali trivellati o con asportazione di terreno:*

pali ottenuti per perforazione del terreno ed estrazione di un volume di terreno circa uguale a quello del palo

Una macchina per pali trivellati persegue lo scopo di:

1. penetrare il terreno,
2. mantenendo la perforazione eseguita in condizioni di stabilità
3. sino al suo riempimento tramite opportuni materiali da costruzione.



### Caratteristiche principali:

-Il **cilindro o l'argano di tiro**/spinta del supporto della tavola rotary

-L'asta kelly telescopica ad incastro sulla tavola rotary

-La slitta mobile di supporto **della tavola rotary**

-Il carro base è sviluppato per movimentare l'attrezzatura e funzionare come unità idraulica di potenza



## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

### VIBROINFISSIONE

I moderni sistemi d'infissione possono essere divisi in tre categorie: infissione con **percussore (percussione si realizza mediante martelli )**, **vibro-infissione** o **presso-infissione**.

Le vibrazioni possono temporaneamente disturbare il terreno intorno alla palancola causando una lieve liquefazione, che si traduce in una notevole diminuzione della resistenza tra il terreno e la palancola. Questo consente alla palancola di essere infissa nel terreno con pochissimo carico aggiunto, cioè il proprio peso più il peso del martello.

vibratori possono essere azionati da motori elettrici o idraulici o con una combinazione di entrambi.

La possibilità di far variare la velocità dei vibratori idraulici permette di adattare la **frequenza del sistema alle diverse condizioni del terreno**.

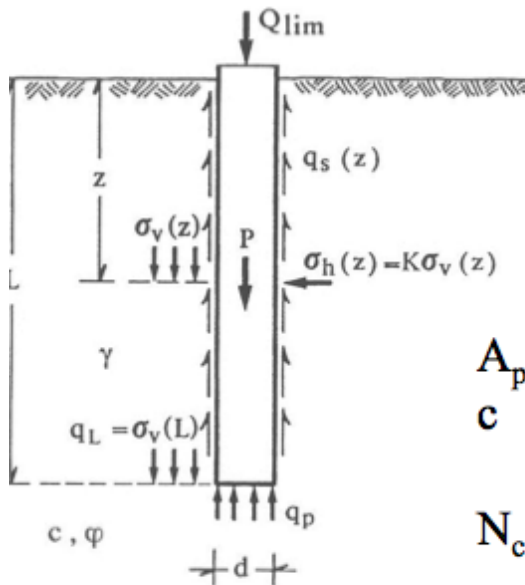
Nella gamma dei vibratori standard, la frequenza varia da 800 a 1800 RPM e le forze centrifughe raggiungono i 5000 kN.

I vibratori ad alta frequenza arrivano a 3000 RPM. Le forti vibrazioni sviluppate si attenuano molto rapidamente, riducendo al minimo le problematiche sulle strutture adiacenti. La performance dell'infissione dipende principalmente dalle condizioni del terreno.



## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila



### RESISTENZA ALLA PUNTA

$$Q_p = (cN_c + q_L N_q) A_p$$

Struttura simile al carico limite fondaz. sup.

$A_p$

area della punta del palo

$c$

coesione del terreno in

corrispondenza della punta del palo

$N_c$

coefficiente di capacità portante

(empirico)

$N_q$

coefficiente di capacità portante,

funzione di  $\phi$  del terreno alla punta

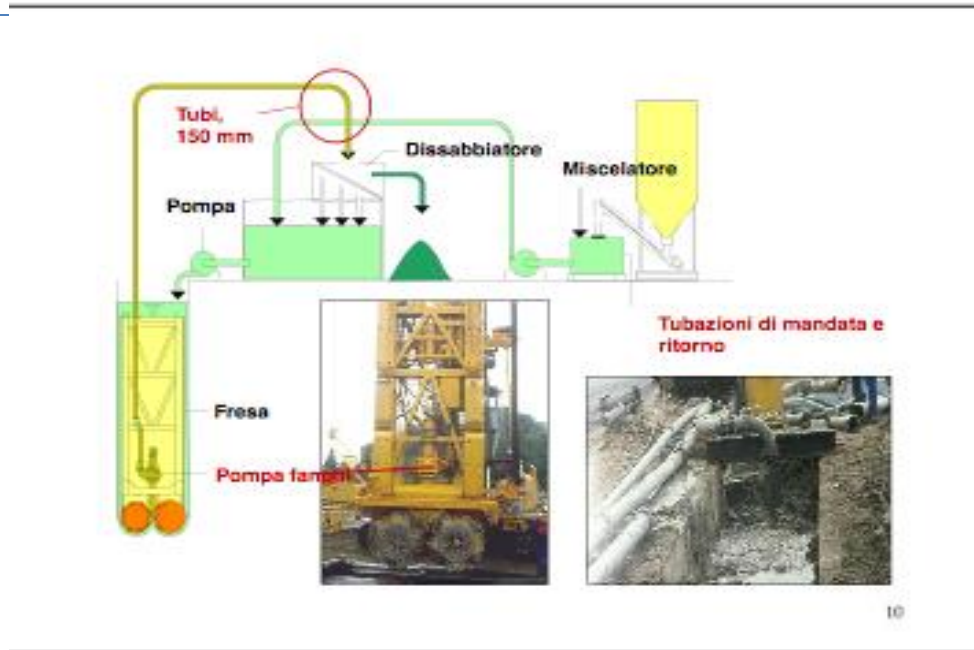
del palo e del rapporto  $L/d$

tensione litostatica verticale alla

profondità della punta del palo

$$q_L = \sum_i \gamma_i \Delta z_i \quad \leftarrow q_L$$

## Ingegneria degli scavi



### Le ruote di taglio

Le ruote di taglio, espressamente progettate in funzione del materiale da scavare, vengono installate a coppie su due riduttori, con un circuito idraulico indipendente in modo da poterle comandare anche singolarmente ed a velocità e verso di rotazione differenti.

Durante la loro rotazione il materiale a contatto con le ruote viene rimosso in maniera continua, mescolato con la sospensione bentonitica presente nello scavo e movimentato attraverso le aperture praticate nella scatola di aspirazione (suction box), posta sotto la pompa fanghi; da qui tramite apposita tubazione il materiale viene convogliato al dissabbiatore.

Le ruote taglienti possono girare con velocità massime di ca. 30 giri/minuto e sviluppano una torsione pari a 100 kN/m per il modello BC 40

La parte di materiale che si trova tra le due ruote assemblate sullo stesso riduttore viene rimossa tramite una serie di denti basculanti, chiamati “flipper teeth”. In funzione della tipologia di materiale vengono utilizzati differenti modelli di utensili, che possono essere denti (teeth), picchi o scalpelli (chisel) o taglienti rotanti a bottoni (roller bit). Paragonando l'idrofresa ai metodi convenzionali di scavo, questo sistema permette di ottenere elevate prestazioni in quasi tutte le formazioni geologiche. Sono state realizzate produzioni sino a 80 m<sup>3</sup>/ora in terreni sciolti. In formazioni molto dure, aventi resistenze superiori a 100 N/mm<sup>2</sup>, le teste fresanti vengono frequentemente equipaggiate con speciali utensili di taglio ruotanti provvisti di inserti a bottone.

## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

di risulta dallo scavo viene inviato all'unità di dissabbiamento ove le particelle solide sono rimosse e la bentonite così ripulita può essere rimessa in circolo nello scavo.  
Portata e capacità di dissabbiamento devono essere dimensionate in accordo:

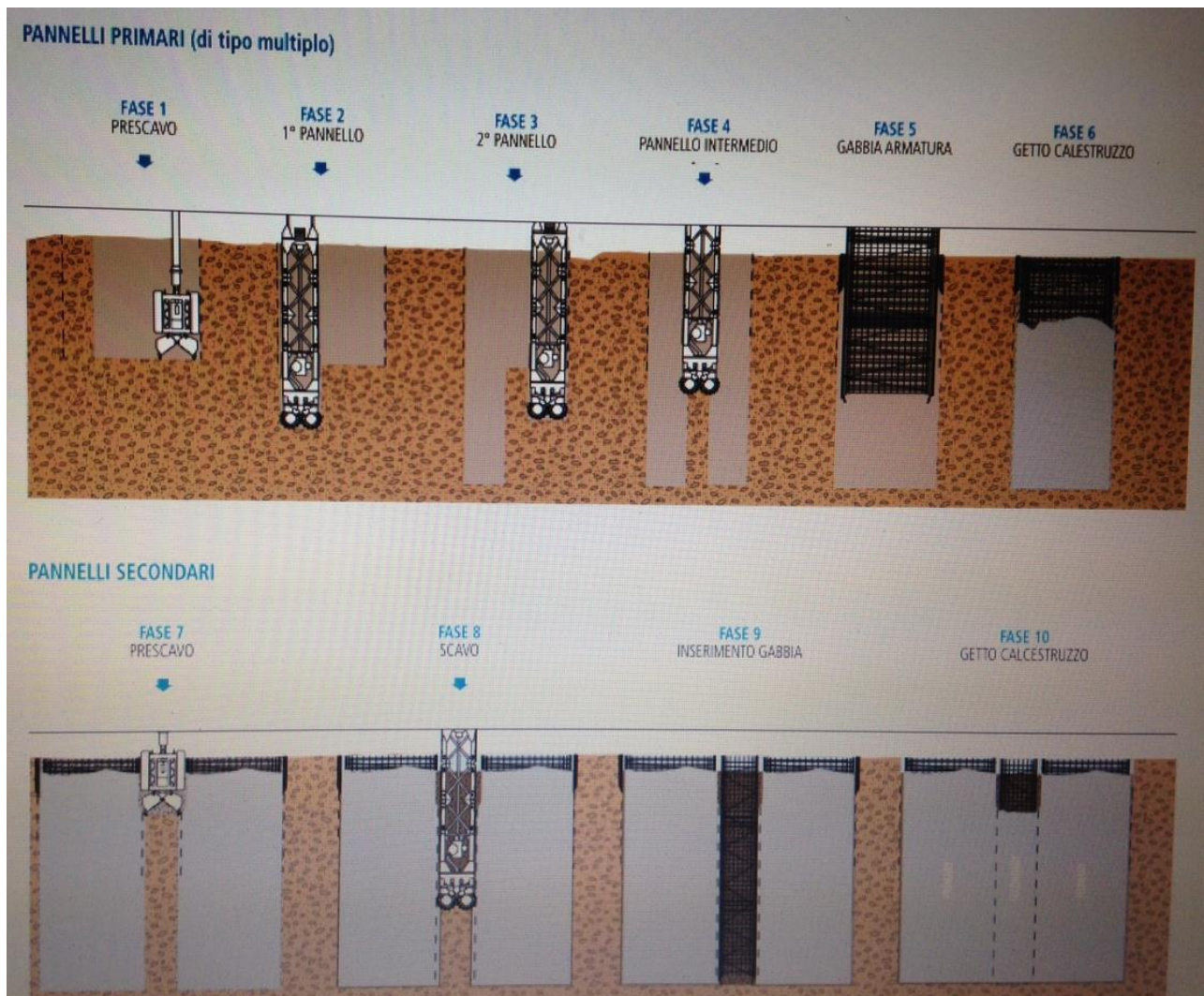
- al materiale da scavare,
- alla situazione logistica di cantiere ed
- alla macchina specificatamente utilizzata.

La bentonite, ripulita dai solidi, viene re-immessa in circolo mediante una pompa centrifuga molto potente

Fasi di costruzione con l'idrofresa:

- **Costruzione delle corree e prescavo**
- **Guida meccanica della fresa e posizionamento**
- **Scavo del pannello primario**
- **Posa della gabbia di armatura e getto**
- **Pannelli secondari**

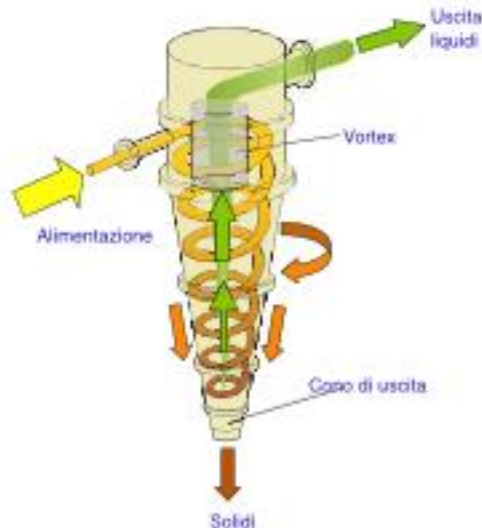
### Dissabbiatore e Principio di funzionamento del ciclone



## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

### Principio di funzionamento del ciclone



31

**Il flusso, all'interno del ciclone, assume la forma di un vortice primario diretto verso il basso ed il solido si deposita sulle pareti raccogliendosi sul fondo. Il gas fuoriesce invece dall'alto, attraverso un tubo coassiale all'apparecchio, dando origine ad un vortice secondario centrale.**

I processi di separazione solido-gas possono avvenire a gradini oppure come risultato di un unico processo.

A seconda della quantità di solido da separare, i dispositivi possono avere dimensioni fisiche grandi e per poter contenere i costi di processo e ridurre al più possibile lo spazio fisico occupato, l'efficienza dovrà essere il più elevata possibile. Come si è detto, l'apparecchio funziona in continuo, è assai semplice dal punto di vista costruttivo, può operare anche su correnti calde, ed è in grado di recuperare particelle di dimensioni superiori a 0.01 mm. La velocità di ingresso del gas è elevata (10-30 m/s) e le capacità di recupero (ma anche le perdite di carico) aumentano all'aumentare della velocità del gas ed al diminuire del diametro del ciclone: per limitare le perdite di carico al valore usuale (100-200 Pa) si possono utilizzare più unità in parallelo.

## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

### MICROTUNNELLING

E' una tecnologia **no dig** per spinta, idonea per l'installazione di nuove condotte, che consente attraversamenti in galleria di strade, ferrovie, corsi d'acqua, zone soggette a tutela ambientale, ecc. senza necessità di realizzazione di scavi in trincea.

La tecnologia del microtunnelling si può considerare una evoluzione di quella **spingi tubo** e ricorda quella della **TBM** infatti la trivellazione è effettuata mediante l'utilizzo di una testa fresante a piena sezione.

Il suo impiego è rivolto soprattutto **verso impianti che richiedono un elevato grado di precisione come le reti fognarie dove è importante la precisione della livelletta.**

**DIAMETRO:** sistema può essere impiegato per installare tubazioni aventi diametro da 250 mm a 3.000mm; in casi particolari si sono installate tubazioni aventi diametro superiore.

**TRACCIATI** La perforazione avviene di regola secondo tracciati rettilinei con pendenza massima della livelletta pari al 30% in salita e pari al 10% in discesa. Le ultime tecnologie utilizzate nel campo permettono di utilizzare pendenza minime vicine al 0.1%

**SPINTA** La lunghezza massima di spinta varia da circa 50 m a oltre 1400 m,

#### PRINCIPALI COMPONENTI:

- microtunneller che è uno scudo telecomandato munito di una fresa rotante che disgrega il materiale durante l'avanzamento.
- cilindri di spinta e centrale oleodinamica
- tubazioni di rivestimento scavo (jacking pipes): tubi impiegati come rivestimento definitivo della galleria devono essere di tipo rigido cioè in grado di resistere alla forza di spinta assiale applicata durante la messa in opera.  
Normalmente si utilizzano tubi in calcestruzzo armato, acciaio o gres; di recente utilizzo anche la vetroresina.
- sistema laser costituito da una sorgente e da un bersaglio
- sistema di smaltimento dello smarino costituito da una tubazione di alimentazione dell'acqua e dalla relativa pompa che viene fatta affluire verso la testa fresante, e dal tubo di smarino con la relativa pompa per l'allontanamento verso l'esterno del materiale di scavo.

## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

- tempi e costi costruttivi preventivati con grande affidabilità;
- una testa rotante sulla quale sono collocati gli utensili d'abbattimento, aventi la funzione di disaggregare la roccia;
- un sistema di propulsione e guida che spinge innanzi la testa fresante permettendo l'avanzamento della macchina;
- un apparato di sgombero atto a liberare il fronte dai detriti avviandoli ai mezzi di trasporto

La testa della TBM, dotata di moto rotatorio, è comandata da motori elettrici posti nella zona posteriore della macchina e da sistemi elettromeccanici o idraulici di regolazione della velocità.

Il funzionamento della macchina prevede che gli utensili di scavo penetrino nella roccia, la polverizzano localmente creando intense sollecitazioni di trazione e taglio. Quando è raggiunta la resistenza limite della roccia al di sotto di ciascun disco, si formano fratture che intersecandosi fra loro formano scaglie.

### **Granulometria del marino delle TBM**

25-45 % del materiale è costituito da una dimensione  $< 4$  mm

- La frazione più grossolana dei 4 mm ha una forma appiattita con spessore massimo di 15/25 mm correlato alla penetrazione per giro della macchina TBM
- La larghezza delle scaglie (dimensione intermedia) è correlata alla spaziatura tra i dischi
- La dimensione massima (lunghezza) della scaglia è 1,5-2 volte la dimensione intermedia e dipende dalle caratteristiche della roccia (anisotropia, resistenza)

Azione dei dischi sulla roccia :

## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

### 2. RMR

Cassificazione di Beniawsky si basa sul rilievo, in campagna o in laboratorio, di sei parametri:

- A1 = resistenza a compressione uniaassiale;
- A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);
- A3 = spaziatura delle discontinuità;
- A4 = condizioni delle discontinuità;
- A5 = condizioni idrauliche;
- A6 = orientamento delle discontinuità.

A questi parametri sono assegnati indici o punteggi in funzione della condizione della roccia il A6 INDICA L'INFLUENZA DELLA DIREZIONE ED IMMERSIONE DELLA DISCONTINUITA'

Da questi sei parametri si ricava l'**Rock Mass Rating (RMR, Beniawsky)**

L'RMR, nella pratica, viene differenziato come:

$$\text{RMR di base} = \text{RMRb} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

$$\text{RMR corretto} = \text{RMRc} = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6$$

RMR 100-81 CLASSE I ROCCI OTTIMA

RMR 80-61 CLASSE I ROCCI BUONA

RMR 60-41 CLASSE I ROCCI MEDIOCRE

RMR 40-21 CLASSE I ROCCI SCADENTE

RMR <20 CLASSE I ROCCI PESSIMA

### 3. Q SISTEM

(RQD/JN)(Jr/Ja)(Jw/SRF)

**La classificazione iniziale sulla qualità serve a decidere se devo usare esplosivo o altro metodo**

### MASSA VOLUMICA:

Massa volumica in posto divers dalla massa volumica del materiale abbattuto , con la frammentazione della roccia si ha un aumento di volume apparente dal 30%al 50% e quindi una diminuzione della densità apparente

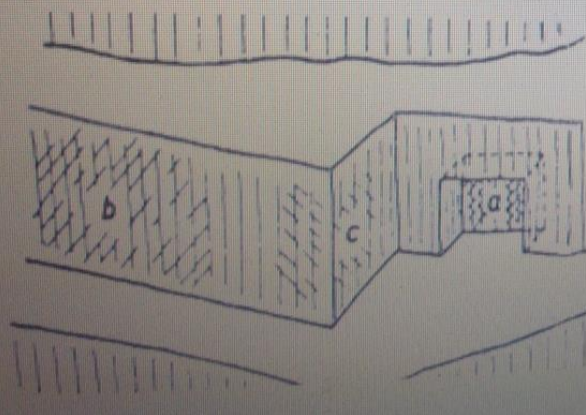


## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

Si indica come **fronte di abbattimento** la superficie che delimita la roccia da abbattere rispetto all'atmosfera.

La fronte ha **una sola superficie libera** quando è contornata da ogni lato da **diedri negativi** (es.: scavo di gallerie e pozzi) e che ha 2, 3, 4 superfici libere quando 1, 2, 3 dei diedri che la contornano sono positivi.



Superfici libere delle fronti di scavo.

a: fronte con una sup. libera;  
b: fronte con due sup. libere;  
c: fronte con tre sup. libere

### **AMBIENTE DI SCAVO:**

cielo aperto

CON ESPLOSIVO finalità estrattive o civili

CON MACCHINE finalità estrattive o civili

sotterranei –pozzi e gallerie

subacquei

FINALITA: estrattive –civili

OBIETTIVI :

- 1) Uso materiale scavato
- 2) Uso cavità prodotta
- 3) Entrambe

## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

### SCAVO MECCANICO DELLE ROCCE-PRINCIPI GENERALI

*Roccia e terra sono due termini estremi: esistono anche materiali intermedi (rocce morte, in gergo o, all'inglese, weak rocks) alle quali pure si applica correntemente lo scavo senza esplosivi (perché l'impiego dell'esplosivo non è conveniente, essendo la decoesione superflua, o perché si teme che le esplosioni compromettano la precaria stabilità delle pareti dello scavo).*

*Scavi in terra:*

il materiale è praticamente privo di coesione, per cui si ha un'unica fase di **asportazione** (sovente non si parla, in questo caso, di *macchine di scavo*, ma di *macchine movimento terra*).

*Scavi in roccia:*

si distinguono una fase di “decoesione”, ossia di trasformazione della roccia in materiale granulare (mediante un mezzo diverso dall'esplosivo) ed una fase di asportazione del detrito

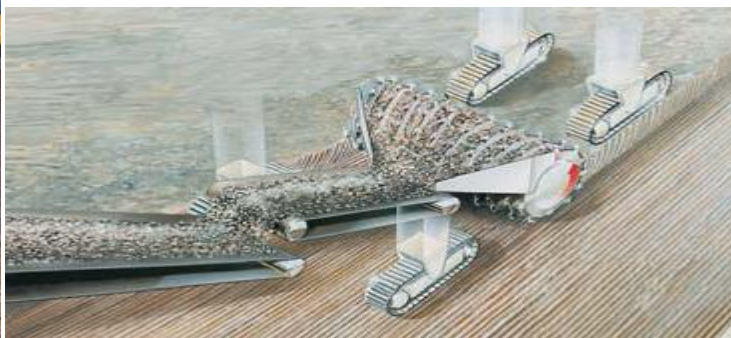
### SCAVO MECCANICO

Lo scavo meccanico è istintivamente considerato un passo avanti rispetto allo scavo con esplosivo, che è visto come tecnologia primitiva, rischiosa e di poco controllabile risultato.

***Lo scavo meccanico è energeticamente illogico:***

- Obbliga a frammentare la roccia a dimensioni molto più fini di quanto sia necessario per asportarla agevolmente;
- È rigido nei confronti della naturale mutevolezza della roccia (è facile modificare uno schema di tiro, molto meno modificare una macchina a lavoro avviato);
- Impegna, a pari produzione, capitali di un ordine di grandezza maggiori in macchinari.

Tuttavia è più perfezionabile ed evolve più rapidamente.



## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

### Classificazione degli esplosivi in base allo stato fisico

Gassosi

Liquidi( nitroglicerina es)

Solidi

Gelatinati (dinamiti)

### Le emulsioni sono esplosivi costituiti

al 90% circa da una soluzione concentrata di nitrati in acqua (fase acquosa ossidante) ed al 10% di olii, cere e paraffine (fase oleosa combustibile).

Entrambe le fasi sono allo stato liquido al momento della loro miscelazione.

Per garantire la propagazione della detonazione, la densità dell'emulsione dev'essere ridotta tramite disseminazione di un complesso di "nuclei", che agiscono come punti di reinnesco della detonazione.

• Tale "sensibilizzazione" (punto d'attivazione della reazione esplosiva) è ottenuta mediante piccolissime particelle di materiale inerte (microsfere di silice), oppure mediante bolle d'aria (50 µm) aventi distribuzione e dimensioni ben definite (Hot Spots).

• Ne deriva che non esiste, all'interno delle emulsioni, alcun componente di per sé esplosivo.



## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

### Classificazione degli esplosivi in base alla velocità di reazione

• esplosivi deflagranti o propellenti innescati da semplice fiamma

• **esplosivi detonanti primari o innescano per semplice infiammazione**

• esplosivi detonanti secondari innescano con detonatore

### Esplosivi Detonanti Primari

- Composti altamente sensibili all'urto, all'attrito, al calore.
- Sono innescati per contatto diretto con una fiamma o una scintilla elettrica, o un urto.
- **L'energia rilasciata e la velocità di detonazione sono BASSE.**
- Principale funzione: innescare un esplosivo secondario
- Essendo molto sensibili vengono utilizzati in piccole quantità.
- • **Fulminato di Mercurio  $\text{Hg}(\text{ONC})_2$  (in disuso)**
- Polvere grigia, termicamente instabile, molto sensibile agli urti e all'attrito. TOSSICO.
- • **Azotidrato di Piombo  $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$  (in disuso)**
- Meno sensibile all'urto, ma più sensibile all'attrito. Presenta una migliore stabilità termica.
- Spesso viene miscelato a stivato di Piombo, di più facile accensione.
- • **Stivato di Piombo (trinitroresorcinato di Piombo)  $\text{C}_6\text{H}_2\text{N}_3\text{O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O}$**
- Termicamente stabile, non corrosivo, non igroscopico.
- Risulta molto sensibile alla fiamma e alle scariche elettriche.
- Aggiunto a grafite in sistemi elettrici per migliorarne la conduttività.

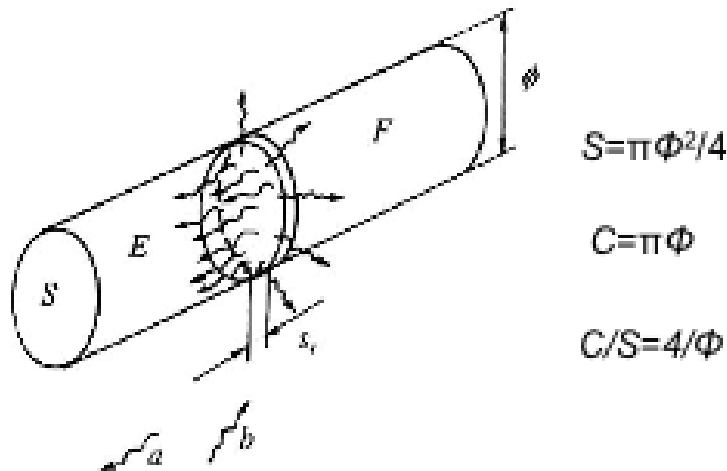
## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

### Diametro critico

#### Diametro critico di detonazione (mm)

È il più piccolo diametro a partire dal quale l'esplosivo è in grado di detonare



Effetto del diametro della carica sulla dispersione laterale (o periferica) dell'energia.

Il rapporto  $C/S$ , ovviamente, cresce al diminuire del diametro  $\Phi$ , con esso, il rapporto tra l'energia dispersa lateralmente, proporzionale a  $C$ , e l'energia trasmessa alla carica non ancora reagita, proporzionale a  $S$ .

$E$ : esplosivo;  $F$ : fumi;  $s_r$ : spessore della zona di reazione;  $S$ : sezione trasversale della carica;  $\Phi$ : diametro della carica;  $a$ : energia trasmessa alla carica non ancora reagita;  $b$ : energia dispersa lateralmente.

### Densità

La densità di un esplosivo dipende dalle sostanze componenti e dal loro stato di aggregazione nella carica.

I valori di densità degli esplosivi variano generalmente tra  $700 \div 800 \text{ kg/m}^3$  (ANFO) e  $1 \div 350 \div 1 \div 550 \text{ kg/m}^3$  (dinamiti).

Si possono definire, nelle applicazioni pratiche, 2 tipi di densità degli esplosivi:

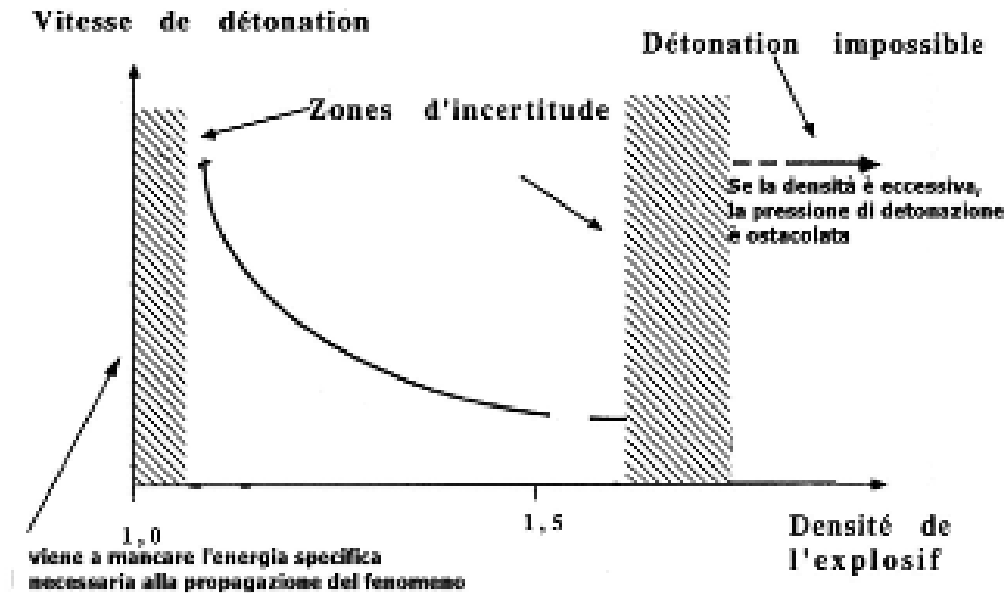
- densità di caricamento dell'esplosivo (rapporto tra la massa di esplosivo e il volume della cavità in cui è fatto esplodere (sempre  $\leq$  densità esplosivo));
- densità di insensibilizzazione dell'esplosivo (è la densità al di sopra della quale non si riesce ad avviare la reazione esplosiva).

## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

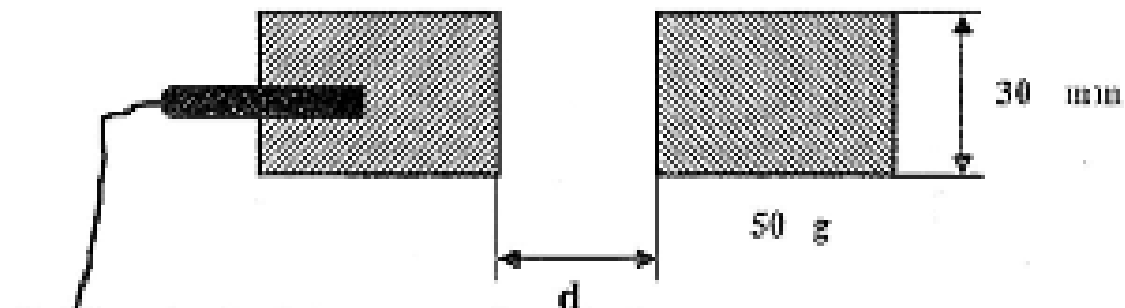
### Correlazione tra VELOCITA' DI DETONAZIONE e DENSITA'

L'esempio si riferisce ad un esplosivo al nitrato (tipicamente slurry, water gel)



### DISTANZA DI COLPO

Indica l'attitudine dell'esplosivo a trasmettere la detonazione (sensibilità dell'esplosivo)



Si determina la distanza massima per la quale la cartuccia non caricata esplose a causa dell'esplosione di quella innescata

$$d1 : 0/3$$

$$d2 : 3/3$$

$$c.s.e. = (d1+d2)/2$$

Distanza che assicura il 50% di probabilità d'innescata

## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

I detonatori sono molto sensibili agli urti per cui devono essere maneggiati con cautela.

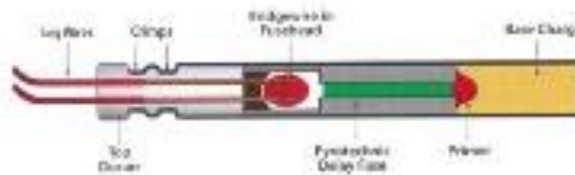
Essi non vanno mai conservati o trasportati assieme all'esplosiv

### Tipi di detonatori

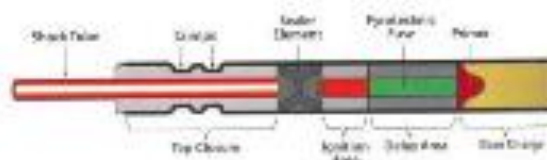
• relais per miccia detonante



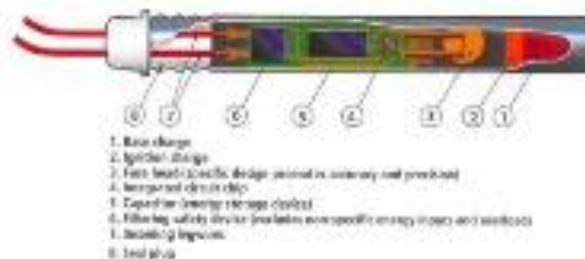
• detonatori elettrici



• detonatori NONEL



• detonatori elettronici



### A Miccia

Uno dei tipi più elementari di detonatori è costituito dalle **micce** utilizzate per trasmettere a distanza, ad un detonatore o all'esplosivo direttamente, la fiammata oppure l'onda detonante.

Ce ne sono di vari tipi. tuttavia per motivi di sicurezza ed efficienza il loro impiego (in particolare di alcuni tipi come le micce a lenta combustione) sia in ambito civile che militare, sta subendo una flessione a favore di altri sistemi di accensione quali l'accensione elettrica o il detonatore NONEL, molto più sicuri e attivabili a distanza di sicurezza dall'operatore solo ed esclusivamente al momento voluto.

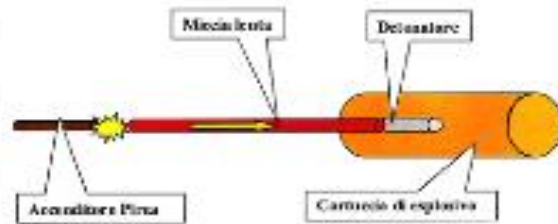
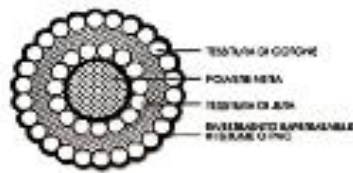
I detonatori a miccia hanno il tubicino metallico cavo per un terzo della lunghezza,

## Ingegneria degli scavi

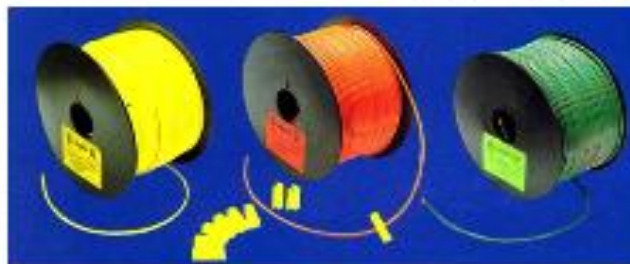
Prof. Oggeri Prof. Peila

### Tipi di detonatori

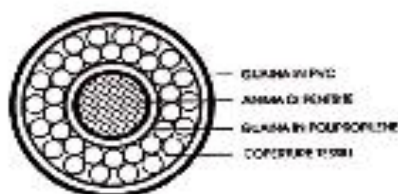
**Detonatori comuni (a fuoco)**  
Sono gli unici innescati da miccia a lenta combustione



### MICCIA DETONANTE



La miccia detonante (**detonating cord**, **detacord**, **detcord**, **primer cord** o **sun cord**) è un sottile tubo di plastica con all'interno un'anima di PETN (tetranitrato di pentaeritrite). La pentrite detona con velocità variabile fra 6000 e 8000 m/s.





## Ingegneria degli scavi

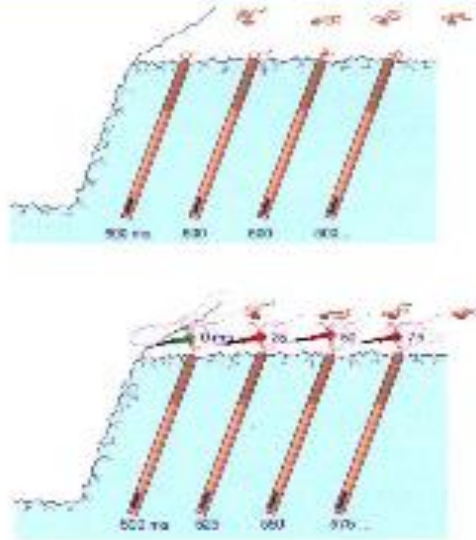
Prof. Oggeri Prof. Peila



## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

### SISTEMI D'INNESCO: DETONATORI NONEL



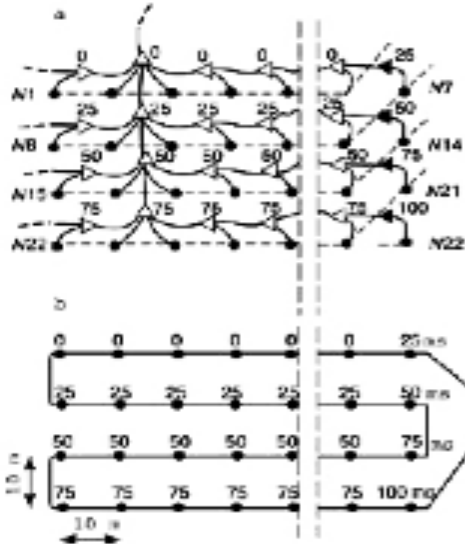
### SISTEMI D'INNESCO: DETONATORI NONEL



## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

### SISTEMI D'INNESCO: DETONATORI NONEL



La stessa volata può essere ovviamente realizzata con differenti sistemi di brillamento: nell'esempio sono riportati due schemi di tiro rispettivamente con sistema **Nonel** (in alto) ed **elettrico a microritardi** (in basso).



### Possibilità di variare la carica (esempi)

Per cariche continue si utilizza un solo detonatore, preferibilmente a fondo foro

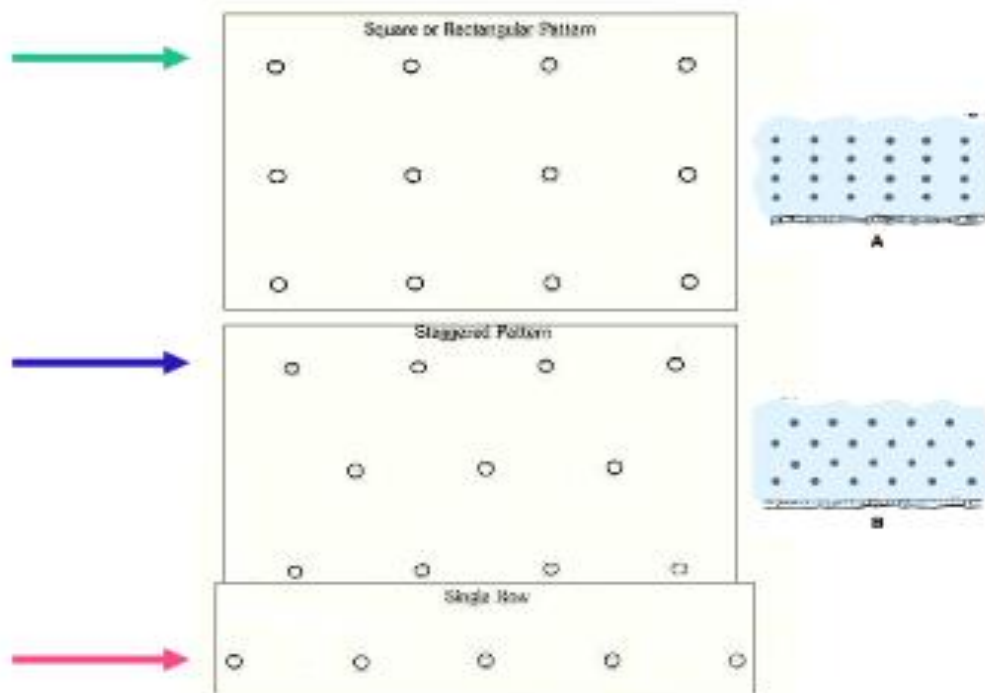
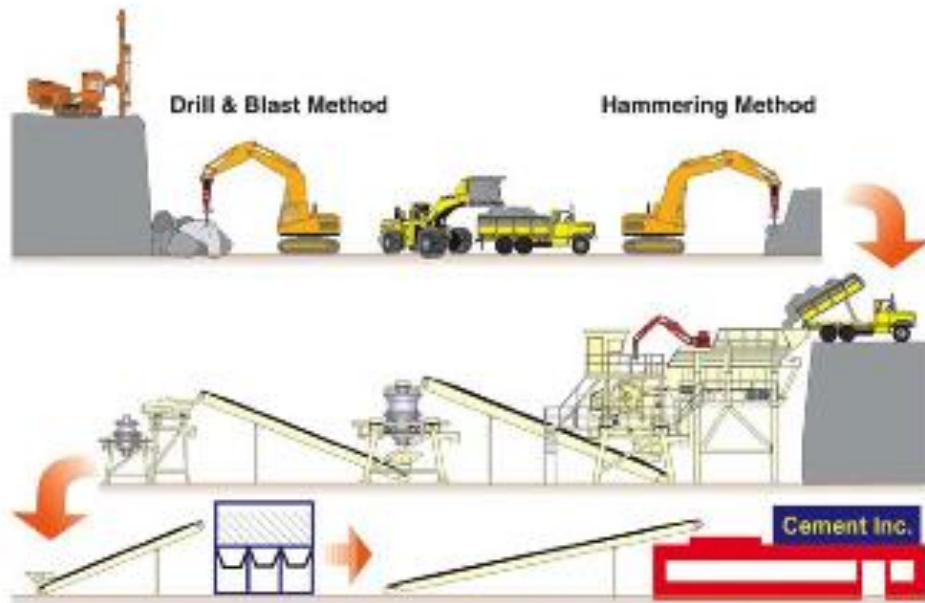


## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

### CICLI DI SCAVO

#### Ciclo di scavo e trattamento dell'abbattuto



/

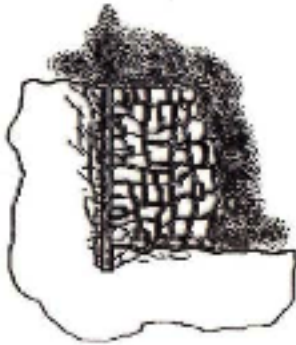
## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

### TEMPO 3

3° tempo: 100 ms < ritardo < 200-300 ms  
Apertura delle fratture grazie ai gas di esplosione

4° tempo: 200-300 ms < ritardo < +/- 1 s  
Dislocazione della roccia e proiezione dell'abbattuto



### TEMPO 4



Ritardo < +/- 1 s  
Formazione del cumulo

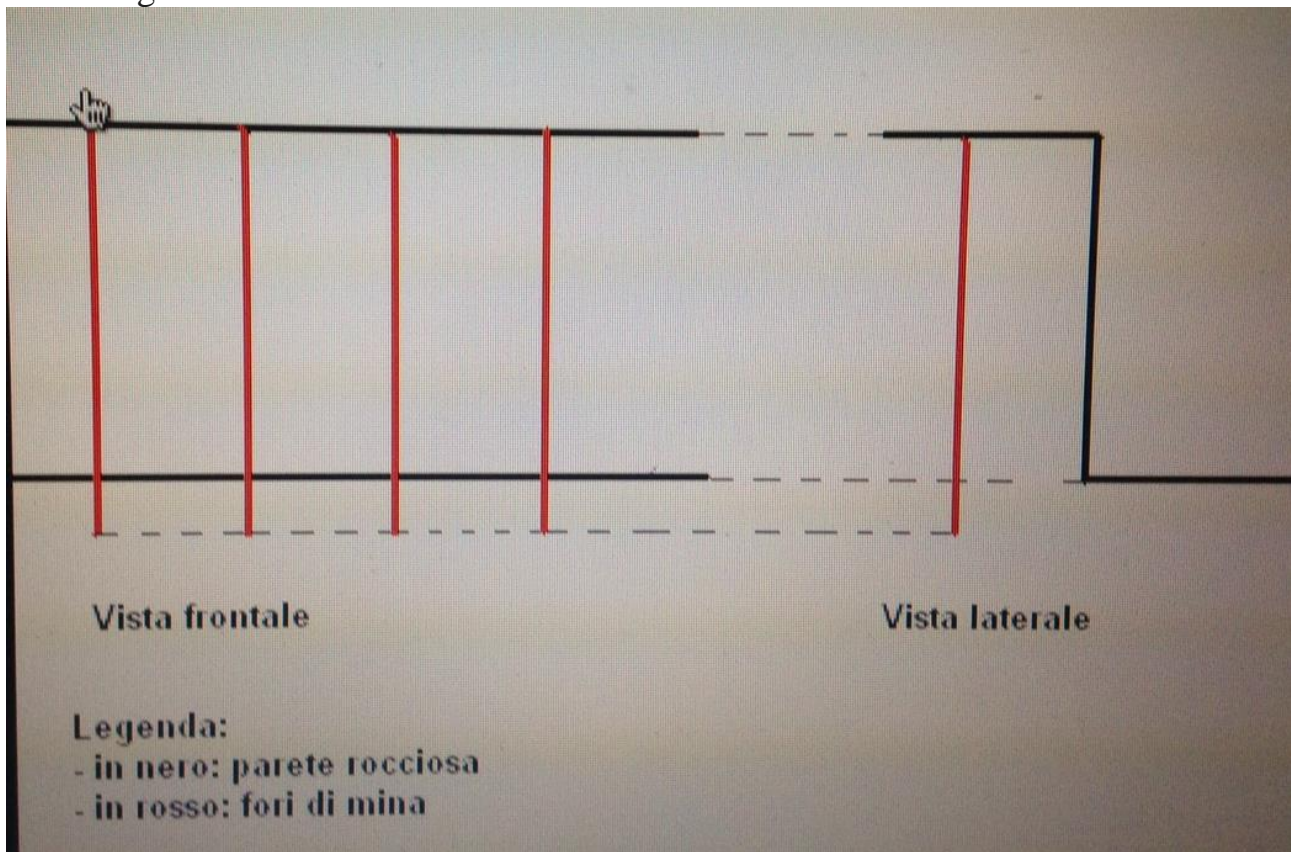
## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

La sovraperforazione può essere evitata qualora la roccia presenti una stratificazione orizzontale, oppure nel caso vengano predisposti i cosiddetti "rilevaggi", mine orizzontali di piccolo diametro ed a carica limitata poste alla base del gradino.

**Il caricamento delle mine sarà continuo, ovvero costituito da una serie di cartucce di esplosivo adiacenti tra loro**, nel caso di pareti di altezza limitata, mentre potrà essere costituito da più gruppi di cartucce distanziati tra di loro in caso di mine particolarmente lunghe (superiori ai 12-15 metri). Il quantitativo di esplosivo verrà ovviamente determinato sulla base delle caratteristiche fisiche della roccia e del grado di frammentazione che si intende ottenere.

**Il brillamento delle mine sarà istantaneo, ossia tutte le mine verranno fatte esplodere simultaneamente, salvo il caso in cui una porzione della parete sia formata da roccia più consistente, nel qual caso verrà applicato un ritardo (dell'ordine dei decimi di secondo) alle mine inserite in tale porzione, in modo che l'abbattimento delle porzioni adiacenti avvenga precedentemente e che la porzione centrale possa avere sfogo sia frontalmente che lateralmente.**



Schema di volata a brillamento istantaneo per l'abbattimento di una parete rettilinea

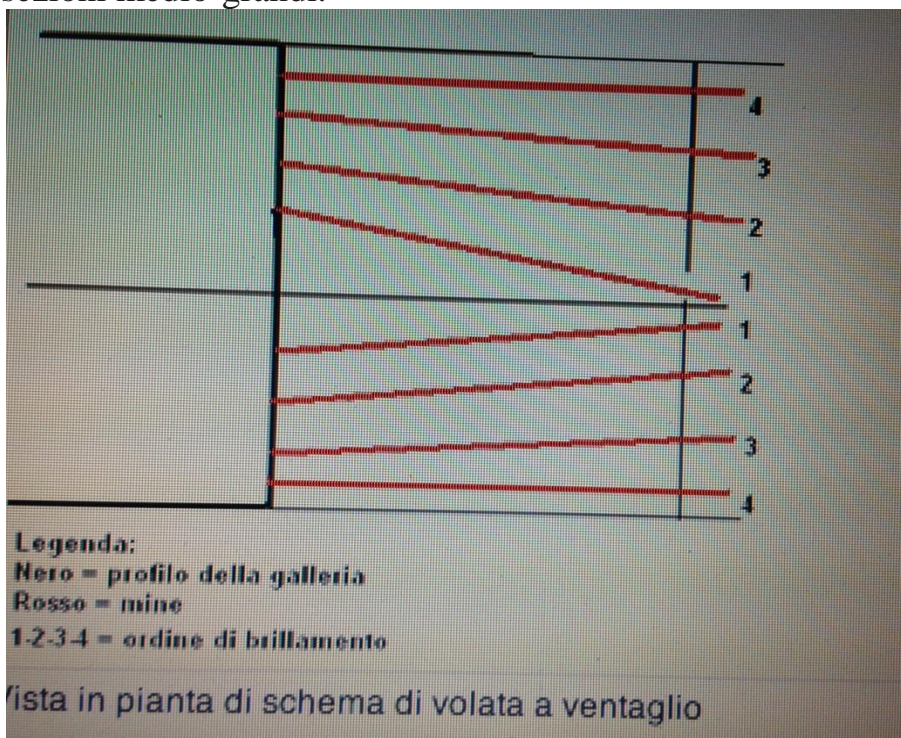
## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

In gallerie di sezione maggiore si ricorre alla **cosiddetta volata a ventaglio**, nella quale le mine di cuore formano con la loro disposizione un prisma a base triangolare che comprende la roccia che verrà abbattuta inizialmente; in questo caso l'ordine di brillamento andrà dalle mine centrali a quelle più esterne, con più ritardi successivi.

L'incremento della sezione della galleria comporta ovviamente un maggior numero di mine e disposizioni sempre più complesse, mantenendo comunque il principio generale di creare prima uno spazio libero per consentire alle mine successive di trovare un volume dove far cadere la roccia abbattuta. Nelle grandi gallerie stradali o ferroviarie, il numero delle mine perforate per ogni volata può facilmente essere superiore a 100.

Una variante a questo schema prevede una minore carica per le *mine di cuore* ed una loro minore convergenza grazie alla creazione di *fori di scarico*, ovvero fori non caricati di diametro maggiore di quello delle mine, in grado di fornire, sia pure in misura minima, un volume libero dove troverà uno sfogo iniziale il materiale abbattuto; lo schema, prevedendo un maggior numero di fori da eseguire ed una maggiore complessità della disposizione, viene usato ormai raramente e soltanto con sezioni medio-grandi.



Vista in pianta di schema di volata a ventaglio

### Decomposizione della volata:

la sequenza delle esplosioni dev'essere stabilita con l'obiettivo di rendere massimo il numero di mine che operano in condizioni favorevoli (due o tre pareti libere)

## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

### AVANZAMENTO

L'avanzamento ottenibile con una volata in galleria è proporzionale alla sezione della galleria stessa, in quanto la necessità di far convergere le *mine di cuore* richiede di distanziare il più possibile gli imbocchi delle stesse per ottenere una lunghezza maggiore.

**Nelle gallerie di piccola sezione**, tipiche delle miniere, l'avanzamento medio è dell'ordine dei 2 metri (con una lunghezza delle mine attorno a 2,40 metri),

**mentre nelle grandi gallerie ad uso civile**, pur con sezioni molto più grandi, l'avanzamento è dell'ordine di 4-4,50 metri, con mine di lunghezza di poco superiore ai 5 mt

### PARAMETRI IMPORTANTI AI FINI DEL DIMENSIONAMENTO DI UNA VOLATA

Perforazione [m]	<b>Perforazione specifica S.D.</b> <i>m/m<sup>3</sup></i>								
Inneschi (numero di sistemi di innesco)	<b>Consumo specifico D.C.</b> <i>n°/m<sup>3</sup></i>								
Esplosivo [kg]	<b>Consumo specifico P.F.</b> <i>g/m<sup>3</sup></i>								
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%; text-align: right;">Costi</td> <td style="width: 80%;">Esplosivi</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Inneschi</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Perforazione</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">TOTALE</td> </tr> </table>	Costi	Esplosivi		Inneschi		Perforazione		TOTALE	<b>Costo unitario</b> <i>Euro/m<sup>3</sup></i>
Costi	Esplosivi								
	Inneschi								
	Perforazione								
	TOTALE								

### *Fattori che influenzano le tecniche di abbattimento a giorno*

Altezza gradino

Lunghezza fori

Interasse

Sottoperforazione

Posizionamento foro

Diametro del foro

Spalla

Inclinazione

Maglia di tiro

Rilevaggio e sottoperforazione

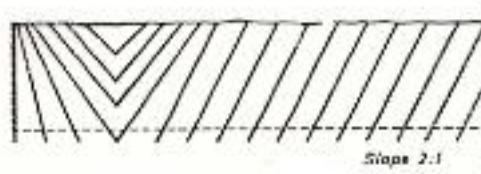


## Ingegneria degli scavi

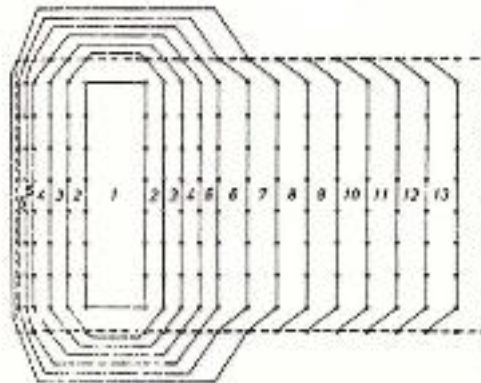
Prof. Oggeri Prof. Peila

### APERTURA A V

lateral view

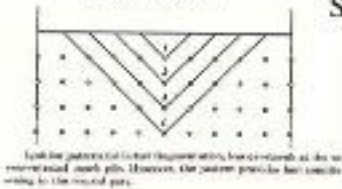


Plan view

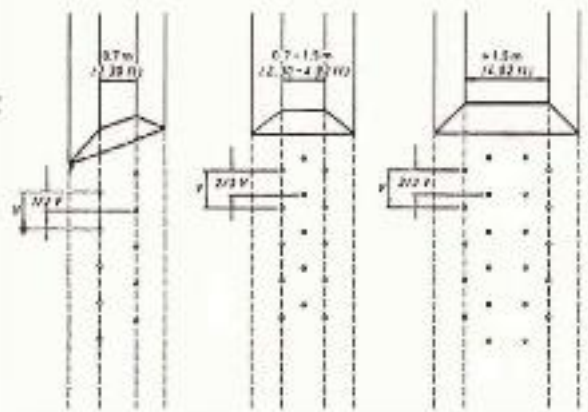
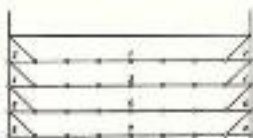
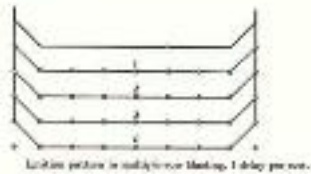


### ESEMPI SCHEMI DI TIRO PER LO SCAVO DI TRINCEE

Plan view



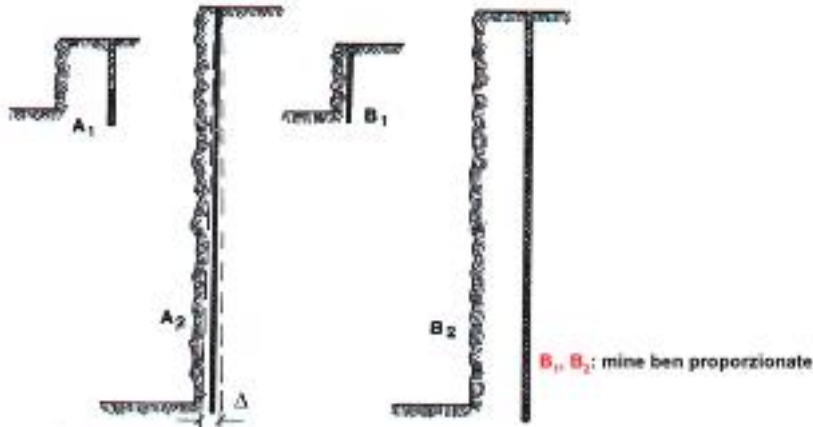
Scavo di **piccoli canali**: schemi di tiro a zig-zag



## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

### RELAZIONI TRA DIAMETRO, ALTEZZA DEL GRADINO E SPALLA



**A<sub>1</sub>**: il foro è male utilizzato in quanto la spalla e il diametro sono troppo grandi in rapporto all'altezza del gradino.

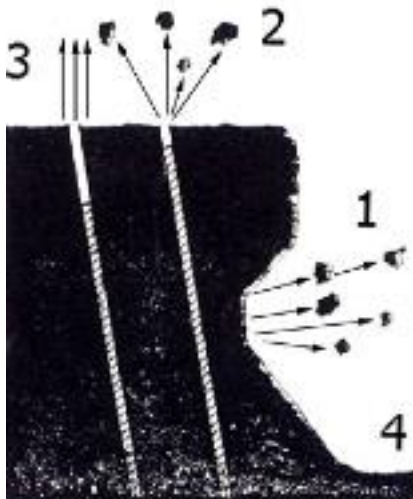
**A<sub>2</sub>**: il foro è ben utilizzato, ma l'altezza del gradino è troppo grande in rapporto alla spalla e al diametro e, pertanto, l'imprecisione della posizione del fondo del foro ( $\Delta$ ) è troppo grande in rapporto alla linea di minor resistenza.

**B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>**: mine ben proporzionate

### ERRORI DI DIMENSIONAMENTO

#### Possibili cause di imprecisione del risultato derivanti da errori di dimensionamento della volata

1. Insufficiente spalla
2. Scarso borrhaggio
3. Errata sequenza di brillamento (una mina della 2a fila detona prima di una della 1a fila)
4. Eccessiva spalla al piede

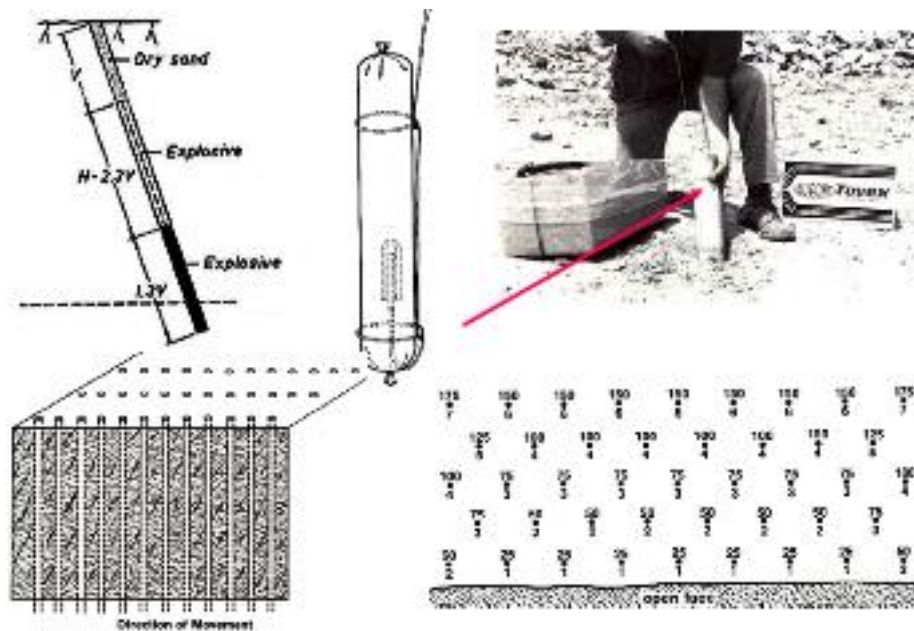


## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

### PIANO DI TIRO

E' il progetto esecutivo della volata; prescrive posizione, diametro, lunghezza e orientamento dei fori, il loro caricamento (tipo e quantità di esplosivo, mezzi di innesco, borraggio) e la temporizzazione delle esplosioni (sequenza, intervallo tra le esplosioni).



### OBIETTIVO VOLATE:

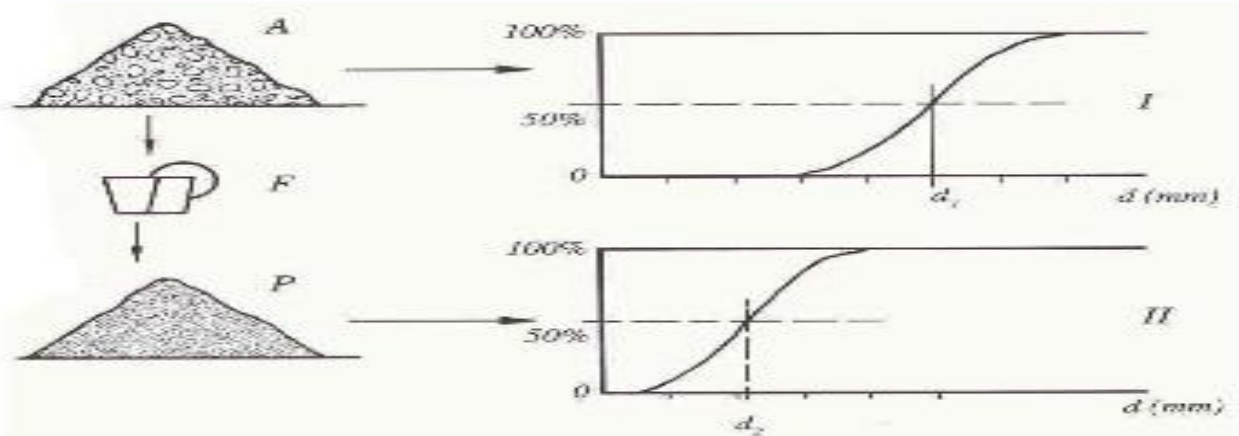
L'obiettivo delle volate (a parte i casi in cui si deve ottenere solo l'effetto di distacco) è quello di trasformare in detrito di una prestabilita pezzatura un prestabilito volume di roccia in posto. Il minimo che si può pretendere è che la volata riduca ad una pezzatura trasportabile, con una tollerabile percentuale di sopramisura, un certo volume di roccia.

Il massimo (la "perfezione") è che distacchi e riduca a frammenti di distribuzione granulometrica specificata tutto e solo il volume che il piano di tiro le assegna, lasciando una cavità con pareti regolari, salde e, ovviamente, corrispondenti alla geometria di progetto.

## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

### QUALITA' DEL RISULTATO DELL'ABBATTIMENTO CONCETTO DI DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA

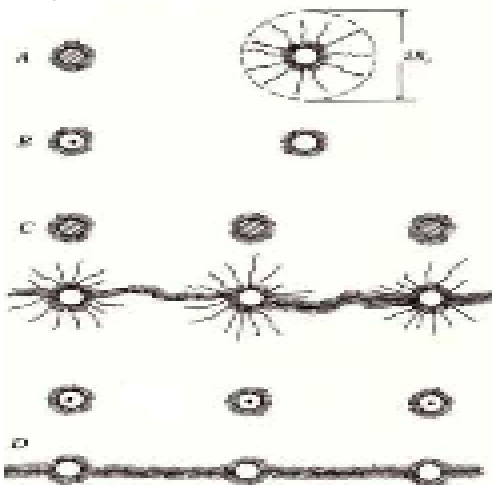


### EFFETTO DEL DISACCOUPLIAMENTO DELLA CARICA

Un forte disaccoppiamento riduce l'efficacia della carica e ciò può essere utile per ridurre il danno alla roccia

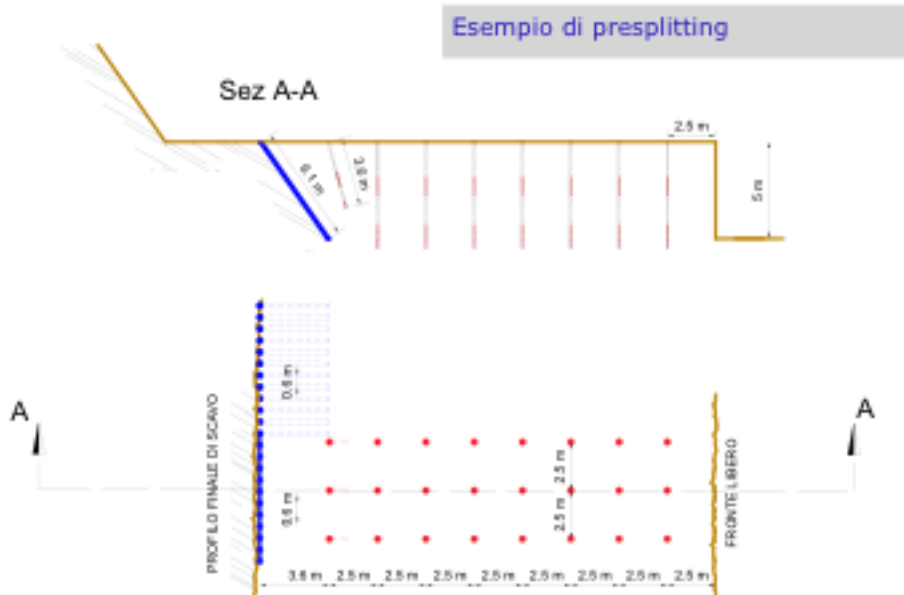
Effetto di guidaggio della frattura di distacco, nel caso di fori con carica completamente accoppiata (A, C) o disaccoppiata (B, D).

Un allineamento di fori con caricamento accoppiato sufficientemente vicini dà luogo ad una frattura di separazione, cui si sovrappone la rete di fratture radiali dei singoli fori. Nelle stesse condizioni, un allineamento di fori con caricamento disaccoppiato dà luogo unicamente alla frattura di separazione.



## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila



Schema esemplificativo (sezione verticale e planimetria), dell'applicazione del presplitting ad una volata di produzione in prossimità del fronte di abbandono.

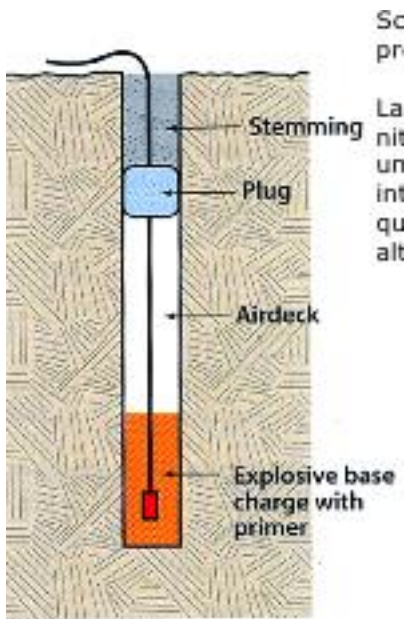
### PROFILATURA-LINE DRILLIN

si realizzano superfici di separazione, senza il ricorso ad elementi ausiliari di distacco, per mezzo di fori affiancati l'uno all'altro, con le generatrici interferenti. Tecnica molto dispendiosa in termini di energia specifica di perforazione. Nell'utilizzare questa tecnica si adottano normalmente diametri di perforazione compresi tra 38 e 76 mm.

Il line drilling è applicabile principalmente in formazioni rocciose omogenee con deboli fratturazioni o particolarmente vulnerabili all'azione dell'esplosivo.

## Ingegneria degli scavi

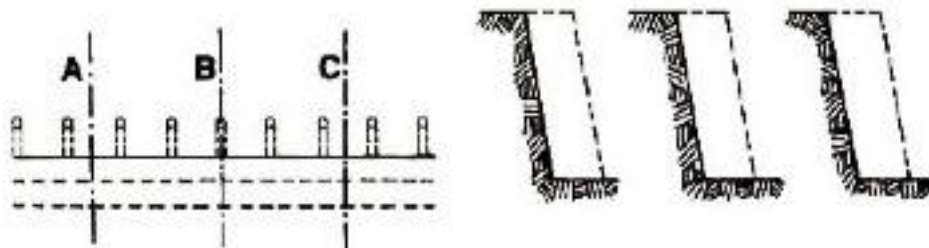
Prof. Oggeri Prof. Peila



### QUALITA' DEL RISULTATO DELL'ABBATTIMENTO RISPETTO DEL CONTORNO DI SCAVO

Il risultato ideale consisterebbe, naturalmente, nella perfetta coincidenza del piano in cui giacciono i fori di contorno della volata con la parete residuante dall'abbattimento, ma ciò si verifica di rado.

Le ordinarie volate di regola abbattano più roccia di quanta ne preveda il disegno e, anche quando il volume abbattuto corrisponde a quello calcolato, raramente è distribuito come prevede il disegno.

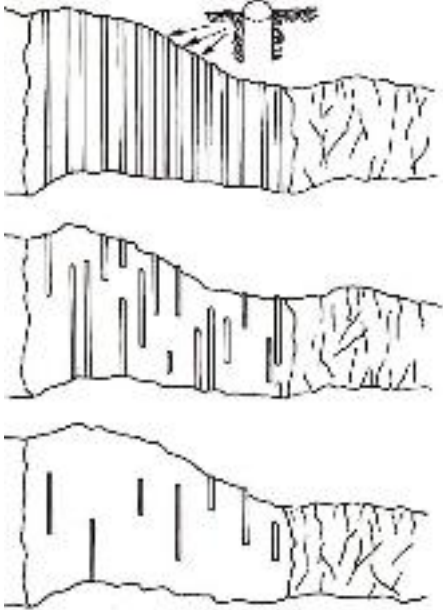


A parte gli eventuali errori nel posizionamento e direzionamento dei fori, le più frequenti discordanze che si osservano tra il risultato effettivo e quello ideale sono:  
 A. Arretramento del ciglio del gradino residuo rispetto all'allineamento delle bocche dei fori di contorno;  
 B. Sporgenze e rientranze, rispetto all'allineamento dei fori, del piede del gradino; C.

## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

indispensabile ad avere il distacco, si può assumere il fattore HCF come indicatore di grave (HCF nullo), moderato (HCF medio) o basso (HCF elevato) danneggiamento meccanico alla parete residua.



### **DYNAMIC SPLITTING (Perforazione + esplosivo)**

Scopo primario produrre blocchi commerciali: porzioni di roccia sana di forma parallelepipedica, di volume generalmente variabile tra i 2 e 15 m<sup>3</sup>, adatti alle successive lavorazioni, finalizzate principalmente alla realizzazione di lastre o di altri elementi architettonici.



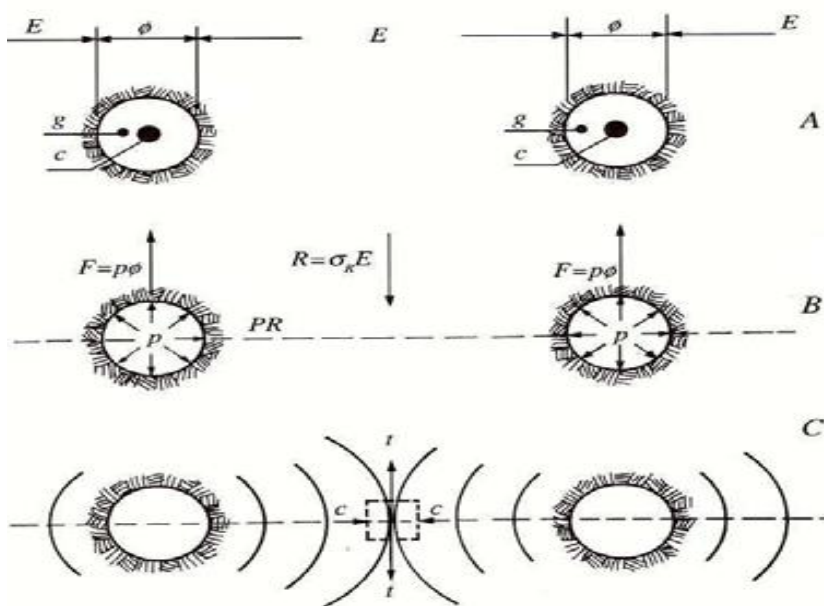
### **VOLATE DI DISTACCO NEL DINAMIC SPLITTING**

Distacco di blocchi regolari: la frattura ha lo scopo di isolare blocchi integri che verranno rimossi ed eventualmente sezionati per essere commercializzati.

La comparsa di fratture oltre a quella desiderata di separazione dev' essere esclusa

## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila



**p**: pressione nel foro;

**F**: forza risultante applicata dal foro alla roccia;

**R**: resistenza opposta dalla roccia alla rottura per trazione;

**$\sigma R$** : resistenza a trazione della roccia, relativa alla particolare velocità di applicazione e durata del carico.

**PR**: piano di rottura.

**In C, il distacco è spiegato con una diversa teorizzazione**, che attribuisce la rottura a sollecitazione di trazione indiretta ( $t$ ) generata dall'intensa compressione  $c$  dovuta all'incontro delle fronti d'urto provenienti dalle mine.

Il parametro più importante nella progettazione è il rapporto tra l'interasse tra i fori e il diametro di perforazione.

Infatti:

**$p \times \phi > \sigma R \times E$  può riscriversi come**

**$p / \sigma R > E / \phi$**

**$p / \sigma R,$**

per una certa configurazione **ESPLOSIVO / DISACCOPIAMENTO / ROCCIA** si può considerare una costante.

Il "**POWDER FACTOR**" non è fondamentale nel disegno di abbattimento di questo



## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

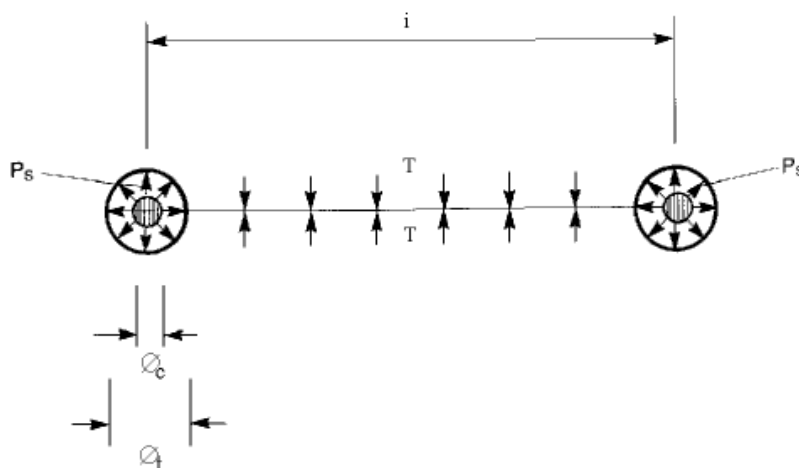
### SINTESI SPLITTING DINAMICO

Può essere usato per il taglio al monte e la riquadratura di qualsiasi tipo di roccia.

Può essere utilizzato a cielo aperto.

cariche esplosive (miccia detonante alla pentrite da 6-15 g/m) collocate in fori di piccolo diametro (circa 32-34 mm), ravvicinati (10-40 cm di interasse), paralleli e complanari, e fatte detonare simultaneamente tramite una miccia "maestra" di collegamento.

La frattura si genera grazie agli sforzi di trazione indotti nei ponti di roccia tra i fori e l'eccesso di energia dell'esplosione garantisce un piccolo spostamento nella massa isolata.



### Perforazione + esplosivo: splitting dinamico

#### pro e contro

##### Vantaggi:

- tecnologia versatile e flessibile a seconda dei diversi disegni di cava
- può essere impiegato sia nell'isolamento di grandi bancate sia nella riquadratura dei blocchi
- tecnica adattabile a rocce compatte di qualsiasi durezza
- costi operativi unitari contenuti

I maggiori svantaggi del metodo restano nell'impiego dell'esplosivo:

- rumori, vibrazioni, proiezioni
- fratturazione indotte nell'ammasso
- discontinuità operative di cantiere

## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

### **VOLATE DI BONIFICA**

Il termine *bonifica* è in genere riservato ad operazioni intese ad eliminare, provocandone artificialmente il distacco e la caduta, porzioni instabili, o che si teme siano instabili, di una parete rocciosa che nel suo insieme è stabile.

Affinché l'operazione si possa considerare riuscita, è necessario che le **condizioni statiche** della parete destinata a rimanere in posto non siano **peggiorate dall'intervento** e che non ne sia modificata sfavorevolmente la geometria.

La bonifica con impiego di esplosivi è in genere eseguita mediante convenzionale lavoro di mina, con cariche comunemente confinate.

I blocchi instabili da abbattere possono essere raggiunti difficilmente dal personale impiegato per la bonifica, quindi è indispensabile realizzare correttamente il progetto



Condizione fondamentale di una corretta **bonifica** è anche quella che gli interventi attuati :

Non contribuiscano a **peggiore le condizioni fronte** di scavo statiche della parete

**Modificare la geometria** del fronte scavo

**Danneggiare la roccia** destinata a rimanere in posto

## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

distacchi: a ciò provvedono le mine di distacco, che è consigliabile dimensionare mediante il **criterio statico**.

Il **brillamento può essere microritardato o simultaneo**: quest'ultimo è preferibile soprattutto in lavori con fronti irregolari e disposizione delle mine secondo schemi non ripetitivi, che possono esporre al pericolo di scopertura o amputazione di cariche.

### CONDIZIONI DA RISPETTARE:

Come in tutti i lavori di abbattimento con esplosivi, deve essere soddisfatta prioritariamente la sicurezza degli operatori e devono essere assicurate le seguenti condizioni:

-**certezza d'effetto**: suggerisce istintivamente di largheggiare nelle cariche, ma ciò è in contrasto con altre esigenze;

- **il consumo specifico di esplosivo** non è un dato di progetto, ma è calcolabile a posteriori dai dati progettuali: l'obiettivo prioritario, infatti, non è quello di frantumare la roccia, ma di provocarne il distacco con certezza d'effetto; sicurezza contro i lanci: negli ordinari lavori di mina la distanza di sicurezza è, in genere, fissata intorno a 150 m, ma questo criterio cade in difetto quando i punti che possono essere colpiti sono a quota molto inferiore rispetto ai punti di esplosione; si suggerisce, quindi, di rispettare un franco di sicurezza di almeno 500 m dalla sede del brillamento;

-**esclusione** del danneggiamento, con comparsa di nuove situazioni di pericolo a bonifica eseguita, di altre parti della parete da bonificare, per effetto delle esplosioni;

- **estrema cautela nella perforazione**.

## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

Dalla lunghezza caricata totale si ottiene la quantità totale  $Q$  di esplosivo, moltiplicando il volume di foro corrispondente a tale lunghezza per la massa volumica in foro dell'esplosivo:

$$Q = 0.785 \cdot \phi^2 \cdot \delta \cdot L_c$$

Dove  $\delta$  è la massa volumica in foro (densità di caricamento) dell'esplosivo scelto.

**La lunghezza totale  $L_t$  di fori necessaria si ottiene maggiorando la lunghezza totale caricata di quanto occorre per contenere il borraggio.**

Dividendo, infine,  $S_1$  per  $L_t$ , si ottiene la spaziatura tra i fori (interasse).

Occorre però evitare soluzioni che comportano eccessiva spaziatura tra i fori, per ottenere una superficie di stacco regolare: E non dovrebbe superare  $20 \varnothing$ ; più spesso è contenuto nell'intervallo fra 15 e  $20 \varnothing$ .

**Il principio di dimensionamento è analogo a quello impiegato per dimensionare volate di splitting.** Il brillamento delle mine è rigorosamente simultaneo: per garantire la sicura detonazione di tutte le cariche ed evitare eventuali mine gravide, è bene che avvenga mediante miccia detonante.

Per la valutazione dei parametri di resistenza della roccia, si è fatto riferimento ai valori ottenuti da prove di laboratorio su un numero significativo di campioni; i risultati sono sinteticamente forniti nel seguito:

Resistenza a compressione monoassiale  $C_0$ : 140 MPa

Resistenza a trazione indiretta (da prova "Brasiliana")  $\sigma_T$ : 9 MPa

Coesione  $c$ : 17 MPa

Angolo d'attrito della roccia intatta  $\varphi$ :  $63^\circ$

Resistenza a taglio  $\tau_R$ : 60 MPa

La pressione di esplosione  $P_e$  equivale alla pressione agente sulle pareti del foro a seguito della detonazione, che è responsabile della propagazione della frattura all'interno del mezzo; essa può essere calcolata a partire dalla pressione di detonazione:

$$P_d = 0.25 \cdot \rho_c \cdot VD^2$$

## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

### Modalità di attuazione della volata

Dati relativi al calcolo delle cariche spettanti alla superficie S1a, con mine inclinate di 30° rispetto alla verticale.

Diametro foro	[m]	$\phi_f$	0.076
Lunghezza totale caricata	[m]	$L_c$	36.8
Carica totale (Teorica)	[kg]	$Q$	133.5
Lunghezza Perforata	[m]	$L_t$	70
Interasse medio	[m]	$E$	1.5
Numero fori	[-]	$N$	10
Carica/foro (Teorica)	[kg]	$Q_{\text{foro teorico}}$	13.35
Numero Cartucce (Teorico)	[-]	$N_c$	10.15
Numero Cartucce (Effettivo)	[-]	$N_{\text{ce}}$	11
Carica/foro (Effettiva)	[kg]	$Q_{\text{foro eff}}$	14.48
Carica totale (Effettiva)	[kg]	$Q_{\text{tot eff}}$	144.8

### Modalità di attuazione della volata

Dati relativi al calcolo delle cariche spettanti alle superfici S1b e S1c, con mine verticali.

Diametro foro	[m]	$\phi_f$	0.076
Lunghezza totale caricata	[m]	$L_c$	51.3
Carica totale (Teorica)	[kg]	$Q$	186.3
Lunghezza Perforata	[m]	$L_t$	119
Interasse medio	[m]	$E$	1.0
Numero fori	[-]	$N$	17
Carica/foro (Teorica)	[kg]	$Q_{\text{foro teorico}}$	10.96
Numero Cartucce (Teorico)	[-]	$N_c$	8.33
Numero Cartucce (Effettivo)	[-]	$N_{\text{ce}}$	9
Carica/foro (Effettiva)	[kg]	$Q_{\text{foro eff}}$	11.84
Carica totale (Effettiva)	[kg]	$Q_{\text{tot eff}}$	201.3

## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

### **Flyrock control IL PROBLEMA DELLE PROIEZIONI A DISTANZA DI FRAMMENTI ROCCIOSI**

Il lancio di frammenti di roccia oltre la zona di accumulo del materiale abbattuto da una volata è un effetto indesiderato e non frequente, ma possibile.

**FLY-ROCK** proiezioni a distanze variabili di frammenti di roccia spinti dai gas sviluppati durante l'esplosione o dall'utilizzo improprio dell'esplosivo  
Possono originarsi dalla fronte di scavo, dalla sommità del gradino o dal piede.

Fenomeno causato prevalentemente da errori nella combinazione tra energia disponibile a seguito dell'esplosione e caratteristiche della roccia



L'evento si verifica quando la quantità di esplosivo riferita al volume di roccia da abbattere risulta, in qualche punto dell'ammasso, in eccesso rispetto a quella strettamente necessaria per provocare la frantumazione e la corretta dislocazione della roccia.

Il fenomeno presenta un particolare interesse, per quanto riguarda la sicurezza negli scavi a cielo aperto, soprattutto in aree montane dove, a causa della ristrettezza dei luoghi e delle irregolarità del terreno, il controllo dell'effettiva posizione delle mine è difficile e, a causa dei notevoli dislivelli, le traiettorie dei proiettili possono interessare punti anche molto lontani dalle mine.

#### CAUSE

localizzata riduzione della resistenza della roccia;  -  
irregolarità della fronte;  -  
anomala concentrazione locale di esplosivo;  -  
inadeguata temporizzazione della volata;  
maglia di tiro o caricamento non appropriati;  -  
deviazione dei fori da mina dalla direzione di progetto;  -  
borraggio insufficiente o realizzato con materiale non idoneo

## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

*Length of throw of the center of gravity as a function of the excess charge.*

Excess charge in	kg/m <sup>3</sup>	0	0.10	0.20	0.30	0.40
	lb/cu yd	0	0.17	0.33	0.5	0.67
The rock is moved forward a distance,	m	0	6	12	18	24
	ft	0	20	40	60	80

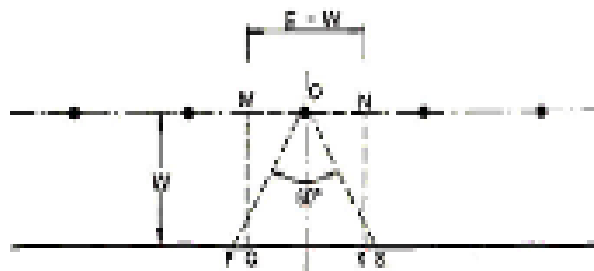
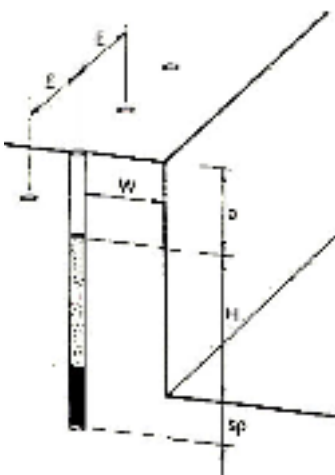
### Velocità massima che può essere acquisita da singoli

Per la previsione della velocità massima che può essere acquisita da singoli frammenti occorre fare riferimento **ad un valore massimo “locale” del consumo specifico**, che può essere molto maggiore di quello medio per il quale la mina è stata dimensionata.

da calcolare con la formula:

$$c = \frac{q}{0.54 \cdot W^2}$$

dove  $q$  è la carica lineare unitaria, ossia il rapporto tra la carica (in kg) e la lunghezza caricata (m), mentre  $W$  è la minima distanza tra la carica e la superficie libera, in m (ovviamente  $c$  risulta espresso in kg/m<sup>3</sup>, come il consumo specifico).



## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

### VIBRAZIONI INDOTTE DALL'ABBATTIMENTO CON ESPLOSIVI.

### ANALISI DI CASI STUDIO ED ESEMPI DI MONITORAGGIO, ALLA LUCE DELLA NORMATIVA VIGENTE

A dispetto dei numerosi criteri di valutazione del danno causato dalle vibrazioni, è talora difficile isolare completamente il danno dovuto a vibrazioni rispetto a quello causato dall'assestamento/cedimento di edifici, costruzioni inadeguate, età, ecc.

Il problema critico rimane l'eliminare, o ridurre considerevolmente, le lamentele causate dalle vibrazioni, rispettando i limiti imposti dalle normative.

Il tipo di roccia o terreno in cui si deve eseguire un lavoro di scavo condiziona pesantemente la velocità di propagazione delle vibrazioni.

Material	Velocity of elastic waves (m/s)	
	S waves	P waves
Clay or silt (dry)	~ 200	400 – 600
Clay or silt (wet)	~ 200	1300 – 1600
Sand or gravel (dry)	200 – 400	400 – 700
Sand or gravel (wet)	200 – 200	1400 – 1700
Moraine (dry)	200 – 700	700 – 1500
Moraine (wet)	200 – 700	1400 – 2000
Broken rock	800 – 1200	1900 – 2500
Sandstone or schist	1200 – 1600	2500 – 3400
Granite or gneiss	2000 – 2500	4000 – 4800

**Lo scavo implica l'applicazione di forze** notevoli a porzioni di roccia in continuità meccanica più o meno perfetta con l'ammasso, mediante utensili metallici o gassosi (esplosivo) che le distacchino.

Tali forze danno luogo a **sollecitazioni, e quindi deformazioni**, non confinabili nel solo volume che s'intende abbattere.

Le forze possono essere applicate con gradualità (es. macchina fresatrice) o impulsivamente (es. esplosivo).

**Il rilascio all'atto del distacco ha sempre carattere impulsivo** e, quindi, la roccia adiacente al volume distaccato è allontanata dalla posizione di riposo e lasciata bruscamente libera di tornare ad essa.



## CONTROLLO DELLE VIBRAZIONI



Per scopi pratici, si può ricorrere anche a valutazioni speditive.

Se 2 valori sono noti, gli altri 2 possono essere calcolati ricorrendo a **nomogrammi\***.

Nomogramma per determinare la relazione fra frequenza (f), accelerazione (a), velocità di oscillazione (v) e ampiezza (A).

\**Nomogramma*

*nomogramma, nomografo, o abaco è un dispositivo per il calcolo grafico. Nella sua forma più comune non ha parti mobili, ma è un diagramma bi-dimensionale che permette il calcolo grafico approssimato di una funzione. Si basa su una rappresentazione dei dati in un opportuno sistema di coordinate non cartesiane.*

*I nomogrammi sono utilizzati soprattutto in applicazioni per cui basta ottenere una risposta approssimata.*

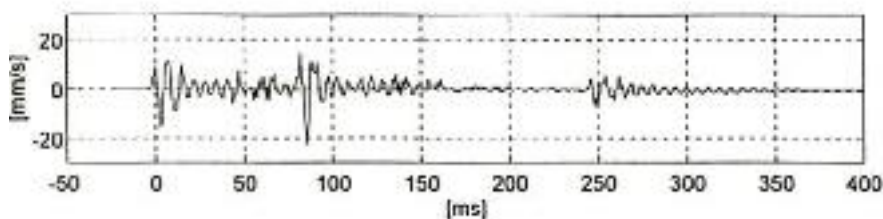
## Ingegneria degli scavi

Prof. Oggeri Prof. Peila

### Flash-over: esplosione per simpatia

Consiste nell'esplosione di una carica per effetto di quella di una carica vicina, anziché per azione del suo detonatore. Fenomeno abbastanza comune nelle aperture delle volate canadesi in galleria. La carica per ritardo è maggiorata della  $Q_{expl}$  contenuta nella mina indebitamente esplosa fuori tempo. E' un'impresione delle temporizzazioni che ha sempre conseguenze negative.

Vibrogramma dell'esplosione delle 4 mine d'apertura di una volata a fori paralleli. Si notino la mancanza del segnale della 3a mina e l'ampiezza anomala del segnale della 2a: la 3a mina è esplosa per simpatia (flash over) con la 2a



### Vibrazioni – rimedi

