

AMBITO CIVILE:

Opere Geotecniche

***(ad es. gallerie,
pozzi, ecc.)***

GALLERIE DI
TRAFFICO

- 1) Gallerie ferroviarie
- 2) Gallerie stradali e autostradali
- 3) Gallerie di scorrimento pedonale
- 4) Gallerie per la navigazione
- 5) Gallerie per metropolitane

GALLERIE
CONVETTIVE

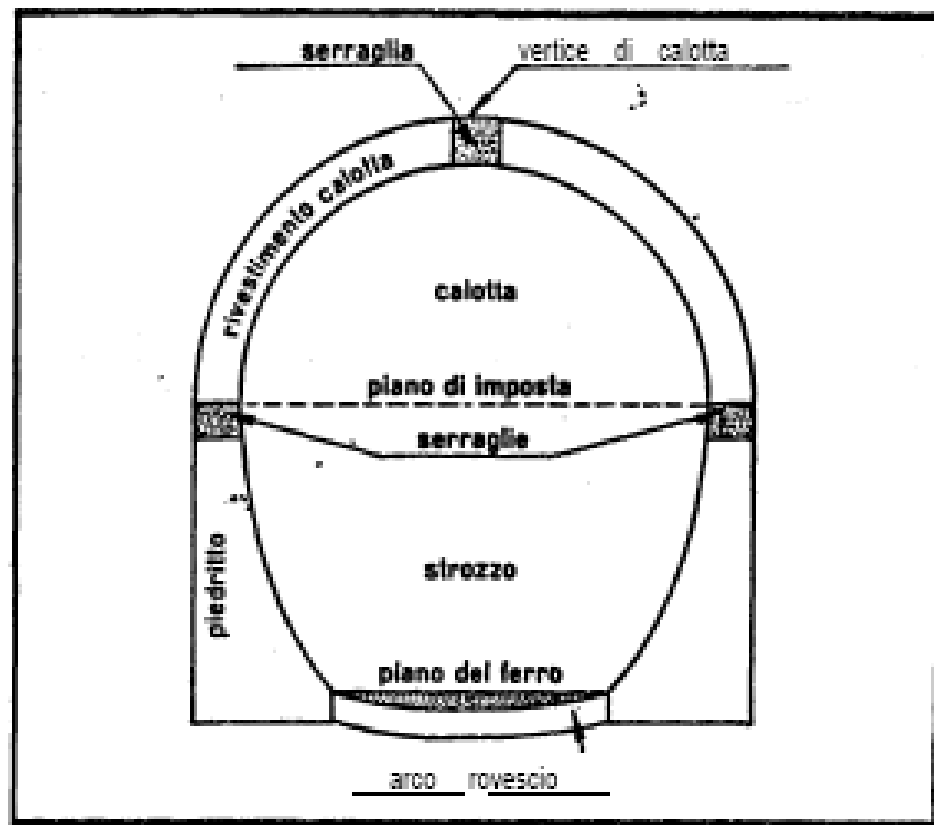
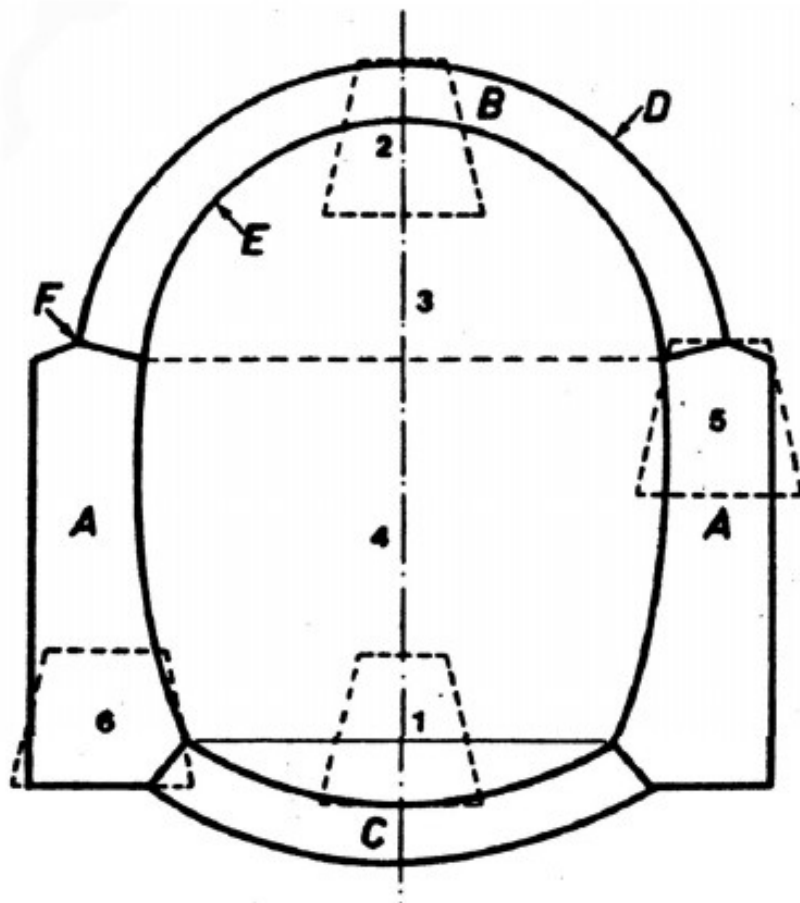
- 1) Condotte forzate per centrali idroelettriche
- 2) Acquedotti
- 3) Opere di presa e condotte
- 4) Fognature
- 5) Gallerie di trasporto in impianti industriali

GALLERIE
MINERARIE

- 1) Gallerie primarie e secondarie (long life)
- 2) Gallerie per scopi esplorativi
- 3) Sfruttamento: gallerie in direzione lungobanco, caverne (short life)
- 4) Tunnel di servizio
- 5) Gallerie di drenaggio e soccorso

Dimensioni dei principali tipi di galleria

Gallerie	Profilo trasversale Area (mq)
Ferrovia semplice binario	25-30 media
doppio binario	50-70 grande
Stradale a due vani	30-60 grande
ad unico vano	75-110 molto grande
Metropolitana	30-60 media-grande



Terminologia delle diverse parti di una galleria:
A, piedritti; **B**, rivestimento di calotta; **C**, arco rovescio; **D**, profilo di estradosso; **E**, profilo di intradosso; **F**, imposta di calotta; **1**, cunicolo di base centrale; **2**, cunicolo di sommità o di calotta; **3**, sezione di calotta; **4**, strozzo; **5**, cunicolo d'imposta di calotta; **6**, cunicolo di base laterale

- Il cantiere deve consentire le operazioni di **scavo, armamento e rivestimento** e l'insieme di queste tre operazioni prende il nome di

sistema di attacco

- La scelta di tale sistema dipende dalle seguenti **variabili**:
 - Sezione da adottare,
 - Numero di attacchi,
 - Velocità di avanzamento,
 - Caratteristiche meccaniche del terreno,
 - Assetto geologico.

CRITERI DI PROGETTAZIONE DELLE GALLERIE

Categorie geotecniche (Eurocodice 7, 1995), —————→ **categoria geotecnica 3**, opere impegnative, dove le previsioni circa le condizioni geologiche e geotecniche da incontrare lungo il tracciato sono caratterizzate da incertezze.

Definire:

requisiti funzionali (particolare attenzione alle caratteristiche prestazionali)

vincoli socio-ambientali (possono talora portare a tracciati diversi da quelli geotecnicamente ed economicamente “preferibili”)

Piano di indagini preliminari necessarie

Piano di monitoraggio da porre in atto in modo sistematico prima, durante e dopo la realizzazione dell’opera —————→ **OBSERVATIONAL DESIGN METHOD**

Indagini geologiche - geotecniche preliminari

La progettazione e la costruzione di una galleria rappresentano il risultato di una serie di **decisioni** prese dal **Committente, dal Progettista, dal Costruttore e dalla Direzione Lavori**.

Le indagini preliminari hanno una rilevanza fondamentale per ognuno dei suddetti attori, in quanto influenzano e guidano la definizione e la gestione dei contratti e la scelta della più adatta metodologia di scavo.

Tali indagini sono mirate alla **massima riduzione del grado d'incertezza** e permettono lo sviluppo di un progetto calibrato sugli attuali metodi statistici dell'**analisi di rischio**.

Un adeguato programma di indagini preliminari rappresenta un fattore decisivo nei confronti del costo complessivo finale dell'opera. Un piano d'indagini ben fatto riduce l'insorgenza di **contenziosi contrattuali tra il Committente ed il Costruttore**.

Indagini geologiche – geotecniche in corso d'opera [...]

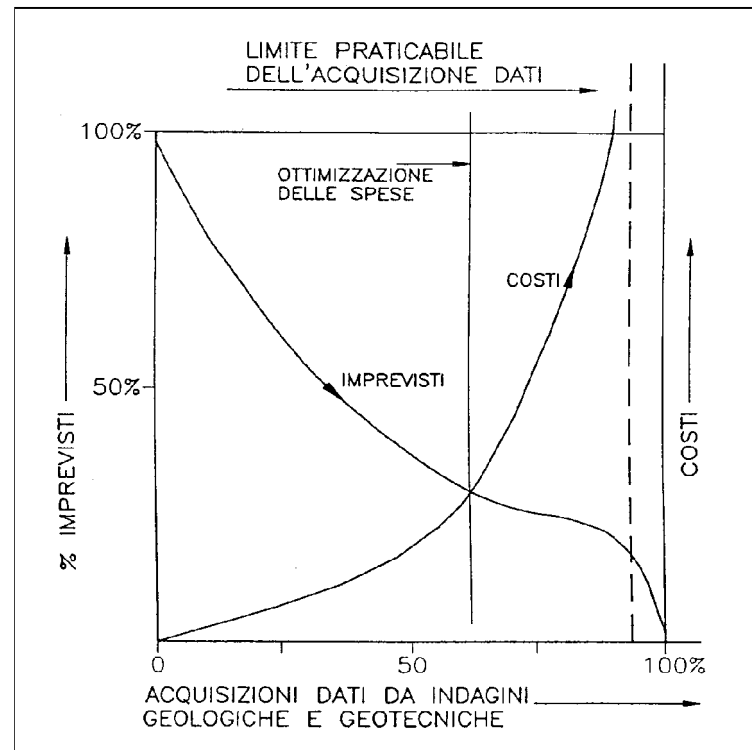
- sondaggi in avanzamento
- rilievi geomeccanici sistematici dei fronti di scavo
- misure di convergenza con sistema ottico (convergenze ed estrusioni ottiche);
- strumentazione di controllo delle deformazioni dell'ammasso al contorno (estensimetri multibase)
- strumentazione di controllo delle deformazioni dell'ammasso al fronte (misure di estrusione con sistema ottico)
- strumentazione di controllo del comportamento tensionale e deformativo delle strutture (estensimetri a corda vibrante sulle centine, negli archi rovesci e nei rivestimenti definitivi)
- controlli topografici di mire ottiche installate sulle pareti degli imbocchi
- inclinometri sui pendii interessati dagli imbocchi
- misura delle pressioni e delle portate delle acque

Caratterizzazione geologica e geotecnica

Ogni opera presenta problemi specifici e non si può quindi individuare uno schema ideale delle indagini da eseguire.

Il grado di approfondimento è maggiore nella progettazione di opere "puntuali" (grandi cavità sotterranee e pozzi), mentre per le gallerie, specie in situazioni geologiche complesse e eterogenee (o per profondità medie ed elevate), la possibilità di acquisire con le indagini informazioni esaustive prima dello scavo può talora anche essere limitata.

Spese indagini: 1-2%
costo complessivo
(escluso tunnel esplorativo)



Carter, 1992

ANALISI E PREVISIONE DEL COMPORTAMENTO ALLO SCAVO

Individuare i possibili scenari di instabilità che possono riguardare la galleria in progetto nelle diverse **zone o tratti geotecnicamente omogenei**.

[sviluppo di zone plastiche sul contorno del cavo e/o al fronte di scavo, l'entità delle deformazioni anticipate e del relativo gradiente di deformazione, le potenziali instabilità del tetto e del fronte, ...;]

Identificare le possibili condizioni difficili connesse al comportamento rigonfiante e/o spingente, all'afflusso di acqua o alla presenza di materiale sciolto.

Individuare i possibili danni all'ambiente quali ad esempio lo sviluppo di cedimento/subsidenza in superficie, l'impatto su opere adiacenti e su eventuali preesistenze, l'influenza sulle condizioni idrogeologiche ed ambientali.

Problematiche di natura geologica o idrogeologica

- Presenza di **materiale dotato di elevata permeabilità** (terreni granulari, rocce permeabili per porosità o per fratturazione), di bruschi cambi di permeabilità, **di** dislocazioni tettoniche fortemente alimentate, di corpi soggetti a fenomeni carsici, di sinclinali, di alvei sepolti, di faglie, di sovrascorrimenti ecc.;
- interazione fra quota della galleria e **falda idrica**. Se la galleria si trova al di sopra della falda, le problematiche sono molto ridotte. Solo in presenza di ammassi rocciosi carsificati si possono avere venute d'acqua di ingente portata anche al di sopra della superficie piezometrica. Se invece la galleria si snoda al di sotto della falda gli afflussi idrici possono diventare così rilevanti da rendere difficile l'avanzamento.
- Il reperimento di **gas durante gli scavi** può dare rischi per l'incolumità delle maestranze, soprattutto se il gas è in pressione. Dipende dalla natura litologica delle formazioni intercettate e dalla presenza di fratture.
- È possibile intercettare **acque in grado di aggredire chimicamente i calcestruzzi (pH minore di 6,5)** e quindi, **il** disfacimento del rivestimento definitivo dell'opera. Il loro rinvenimento dipende dalla formazione litologica attraversata.
- Problematiche connesse al rinvenimento di **materiali rigonfianti** che, una volta privati del loro naturale confinamento a seguito dell'apertura della cavità, tendono ad aumentare significativamente di volume. Ciò avviene a seguito di fenomeni di adsorbimento di acqua, anche sotto forma di umidità presente nell'aria.

Il primo obiettivo è quello di definire la classe o le classi di scavo del terreno

Bieniawski [1976,79,84] Ratings for RMR

Parameter		Ranges of values						
Strength of intact rock material	Point load index	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	For this low range uniaxial compressive test in preferred		
	Uniaxial compressive	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	Rating	15	12	7	4	2	1	0
Drill core quality RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	< 25%		
	Rating	20	17	13	8	3		
Spacing of discontinuities		> 2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<	< 60 mm	
	Rating	20	15	10	8	5		
Condition of discontinuities		Very rough surfaces. Not discontinuous. No separation. Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces. Separation < 1 mm. Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces. Separation < 1 mm. Highly weathered walls	Slickensided surfaces or gouge < 5 mm thick or separation 1-5 mm.	Soft gouge > 5 mm or separation > 5 mm. Continuous		
					Continuous			
	Rating	30	25	20	10	0		
		Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
Groundwater in joints								
	Rating	15	10	7	4	0		

CLASSI SMR

Class	SMR	Description	Stability	Failures	Support
I	81-100	Very good	Completely stable	None	None
II	61-80	Good	Stable	Some blocks	Occasional
III	41-60	Normal	Partially stable	Some joints or many wedges	Systematic
IV	21-40	Bad	Unstable	Planar or big wedges	Important/corrective
V	0-20	Very bad	Completely unstable	Big planar or soil-like	Reexcavation

$$SMR = RMR + (F1 \cdot F2 \cdot F3) + F4$$

$$F1 = (1 - \sin A)^2$$

A = angle between the strikes of the slope face and the joint.
F1 depends on parallelism between joints and slope face strikes. Its range is from 1.00 (when both are near parallel) to 0.15

$$F2 = \text{tg}^2 \beta_j$$

β_j = joint dip angle. For the toppling mode of failure
F2 remains 1.00

F3 reflects the relationship between the slope face and joint dip. In the planar mode of failure *F3* refers to the probability that joints 'daylight' in the slope face. Conditions are fair when slope face and joints are parallel. When the slope dips 100 more than joints, very unfavourable conditions occur.

F4 is the Adjustment Rating for Methods of Excavation

Method	Natural Slope	Presplitting	Smooth blasting	Blasting or mechanical	Deficient blasting
F_4	+ 15	+ 10	+ 8	0	- 8

RMR per classificazione gallerie (luce-stand up time)

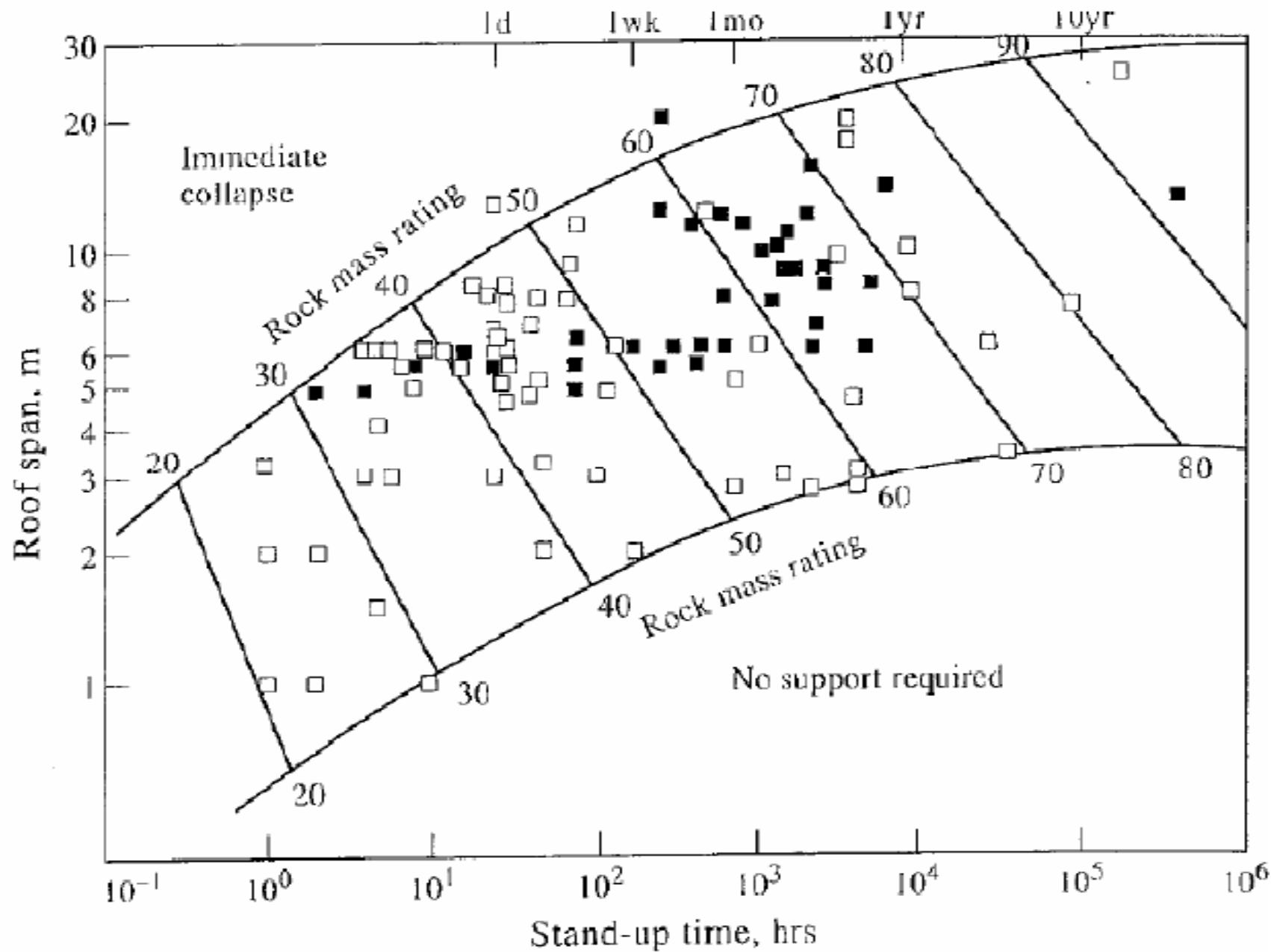

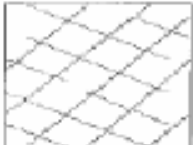
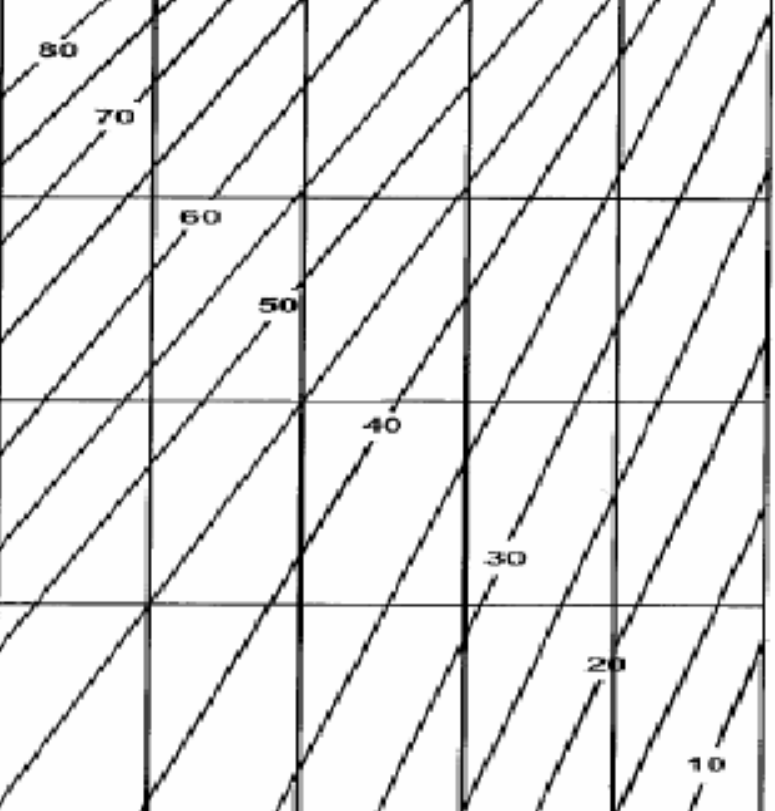





Table 11.6: Estimate of Geological Strength Index GSI based on geological descriptions.

<p>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX</p> <p>From the letter codes describing the structure and surface conditions of the rock mass (from Table 4), pick the appropriate box in this chart. Estimate the average value of the Geological Strength Index (GSI) from the contours. Do not attempt to be too precise. Quoting a range of GSI from 36 to 42 is more realistic than stating that GSI = 39.</p>		<p>SURFACE CONDITIONS</p> <p>VERY GOOD Very rough, fresh, unweathered surfaces</p> <p>GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces</p> <p>FAIR Smooth, moderately weathered or altered surfaces</p> <p>POOR Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings of angular fragments</p> <p>VERY POOR Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings</p>				
<p>STRUCTURE</p>		<p>DECREASING SURFACE QUALITY </p>				
	<p>BLOCKY - very well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three orthogonal discontinuity sets</p>					
	<p>VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed rock mass with multifaceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets</p>					
	<p>BLOCKY/DISTURBED - folded and/or faulted with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets</p>					
	<p>DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with a mixture of angular and rounded rock pieces</p>					

CLASSIFICAZIONE DI RABCEWICZ

Costituisce una sintesi delle esperienze maturate con il metodo **NATM** (se ne parlerà dopo)

Classi di roccia	Descrizione del comportamento della roccia	Scavo				Misure di sicurezza e di sostegno	
		Sezione	Lunghezza volate	Metodo	Tempo di autosostegno	Intervento	Tempo di posa in opera
I Stabile	Roccia sana massiva. Lo scavo si autosostiene e le tensioni al contorno non superano la resistenza della roccia.	Sezione piena	Dipende dalle condizioni locali	Con esplosivo	Settimane in calotta, illimitato in parete	Ancoraggi locali + rete in calotta o calcestruzzo proiettato	Senza limiti, a scavo avvenuto in caso di rilasci locali
II Leggermente fratturata	Roccia stratificata e leggermente fratturata. Nella fase di decompressione le tensioni tangenziali in calotta superano la resistenza della roccia con conseguenti distacchi. Sono necessarie opere di sostegno sistematiche in calotta. Le pareti dello scavo si mantengono stabili salvo possibili distacchi locali.	Sezione piena	max 3 m	Con esplosivo	Giorni in calotta, settimane in parete	Ancoraggi sistematici in calotta + rete + calcestruzzo proiettato (anche in parete per bloccare rilasci locali)	Ultimazione a 40 m max dal fronte scavo
III a Fratturata	Roccia da fratturata a molto fratturata. Il limite di resistenza della roccia viene raggiunto in parete e superato in calotta. Sono necessarie opere di sostegno sistematiche e l'inserimento dell'arco rovescio per la possibilità di rottura del fondo dello scavo.	Sezione piena con volate brevi. Preferibilmente sezione parzializzata (calotta più 1 strozzo)	Max 1,5 m per scavo a sezione piena. Max 3 m per scavo a sezione parzializzata	Esplosivi con cautela localmente a macchina	Ore in calotta giorni in parete	Ancoraggi sistematici + rete + calcestruzzo proiettato in calotta e in parete. Arco rovescio	Inizio subito dopo lo scavo e completamento a 20 m max dal fronte scavo
III b Poco spingente							
IV Spingente	Roccia alterata, scisota, fagliata. La resistenza della roccia viene superata su tutto il contorno dello scavo. Sono necessarie opere di sostegno sistematiche, l'inserimento dell'arco rovescio e la protezione del fronte dello scavo.	Sezione parzializzata (calotta con più di 1 strozzo)	da 1 m a 1,5 m in calotta	a macchina	Molto breve, in calotta, alcune ore in parete	Ancoraggi sistematici + rete + calcestruzzo proiettato + centine metalliche in calotta e in parete Arco rovescio e protezione del fronte dello scavo con calcestruzzo proiettato	Inizio subito dopo lo scavo parziale. Il getto dell'arco rovescio a breve scadenza in funzione delle condizioni locali (misure in sito)
V Molto spingente	Roccia molto alterata, completamente milonitizzata. L'apertura dello scavo provoca l'insorgere di forti pressioni in tutte le direzioni. L'anello di roccia intorno allo scavo è completamente plasticizzato e tende verso l'interno con sensibile riduzione della sezione.	È necessaria una suddivisione in diverse sezioni parziali in funzione anche della stabilità del fronte dello scavo	da 0,5 a 1,0 m in calotta	a macchina	Nessuno in calotta, fino a poche ore in parete e sul fronte	Ancoraggi sistematici + rete + calcestruzzo proiettato + centine metalliche in calotta e in parete Arco rovescio e protezione del fronte dello scavo con calcestruzzo proiettato	Tutte le superfici devono essere sostenute non appena aperto lo scavo. La successione delle operazioni e l'inserimento dell'arco rovescio devono essere definiti in funzione delle condizioni locali (misure in sito)
VI Materiale sciolto	Questa classe comprende tutti i terreni sciolti, franosi, per i quali lo scavo non può essere affrontato con i metodi convenzionali.	Lo scavo si regola in funzione dei metodi di sostegno				Misure speciali quali congelamento, iniezioni di miscele chimiche ecc.	

CARATTERIS- TICHE DEL- L' AMMASSO ROCCIOSO	INDAGINI PRELIMINARI	INDAGINI DI DETTAGLIO	
		CUNICOLO PILOTA	NUOVE TECN. GEOFISICHE
litologia	rilievo geolo- gico zonale sondaggi	rilievo dal cunicolo	rilievo geologico di dettaglio sondaggi
geometria	estrapolazione dai rilievi geologici e geognostici rilievi geofisici	misura diretta dei litotipi	rilievi geofisici di dettaglio estrapolaz. da sondaggi
struttura	rilievo strutturale fotointerpreta- zione	rilievo str. lungo il cu- nicolo	ril. geofis. (sismici , tomografici) ril. strutt. di dettaglio
idrologia	rilievo idrogeologico	esame diretto	sondaggi strumentati
R.Q.D.	sondaggi	sondaggi	sondaggi ril. sismici
$\sigma = \text{res. compr.}$	prove di laboratorio	prove di laboratorio	prove di laboratorio
E=mod.ela. Coeff. di Poisson	prove di laboratorio	prove di laboratorio	prove di laboratorio ril. sismici
K=permeab.	prove di laboratorio	sondaggi	sondaggi
stato tensionale		misure di convergenza e pressione	rilievi sismici

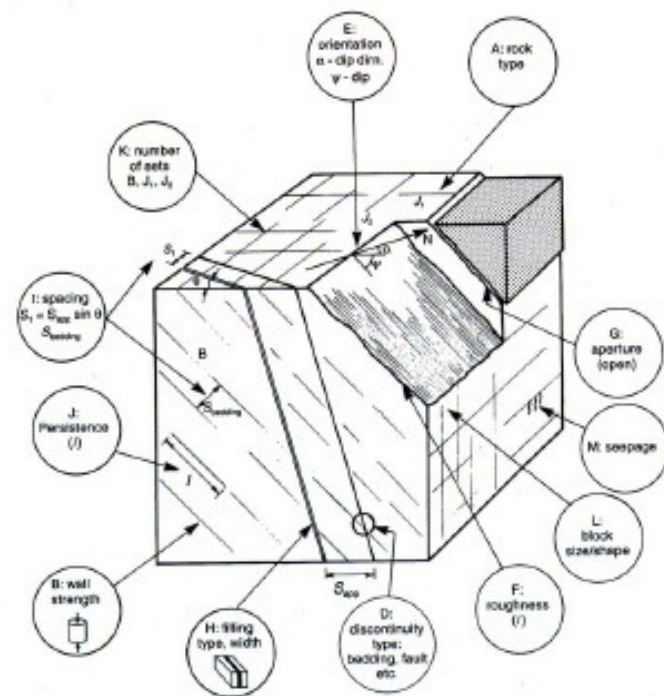


Figure 2-1
Illustration of Geologic/Structural Mapping Terms (After Wyllie, 1999)

CLASSE	I Stabile
DESCRIZIONE COMPORTAMENTO ROCCIA	Roccia sana massiva . Lo scavo si auto_sostiene e le tensioni al contorno non superano la resistenza della roccia .
SEZIONE DI SCAVO	Tutta sezione .
TEMPO DI AUTOSOSTEGNO	Settimane in calotta , illimitato in parete .

CLASSE	II Leggermente fratturata
DESCRIZIONE COMPORTAMENTO ROCCIA	Roccia stratificata e leggermente fratturata . Nella fase di decompressione le tensioni tangenziali in calotta superano la resistenza della roccia con conseguenti distacchi . Sono necessarie opere di sostegno sistematiche in calotta. Le pareti dello scavo si mantengono stabili salvo possibili distacchi locali .
SEZIONE DI SCAVO	Tutta sezione .
TEMPO DI AUTOSOSTEGNO	Giorni in calotta , settimane in parete .

CLASSE	IIIa Fratturata IIIb Poco spingente
DESCRIZIONE COMPORTAMENTO ROCCIA	Roccia da fratturata a molto fratturata Il limite di resistenza della roccia viene raggiunto in parete e superato in calotta . Sono necessarie opere di sostegno sistematiche e l'inserimento dell'arco rovescio per la possibilità di rottura del fondo dello scavo .
SEZIONE DI SCAVO	Tutta sezione con volate brevi . Preferibilmente sezione parzializzata .
TEMPO DI AUTOSOSTEGNO	Ore in calotta , giorni in parete .

CLASSE	IV Spingente
DESCRIZIONE COMPORTAMENTO ROCCIA	Roccia alterata , scistosa , fagliata . La resistenza della roccia viene superata su tutto il contorno dello scavo . Sono necessari opere di sostegno sistematiche , l' inserimento dell' arco rovescio e la protezione del fronte dello scavo .
SEZIONE DI SCAVO	Sezione parzializzata . (Calotta con più di 1 strozzo)
TEMPO DI AUTOSOSTEGNO	Ore in calotta , giorni in parete .

CLASSE	Va Molto spingente
DESCRIZIONE COMPORTAMENTO ROCCIA	Roccia molto alterata , completamente milonizzata . L' apertura dello scavo provoca l' insorgere di forti pressioni in tutte le direzioni . L' anello di roccia attorno allo scavo è completamente plasticizzato e tende verso l'interno con sensibile riduzione della sezione .
SEZIONE DI SCAVO	E' necessaria una suddivisione in diverse sezioni parziali in funzione anche della stabilità del fronte dello scavo.
TEMPO DI AUTOSOSTEGNO	Nessuno in calotta , fino a poche ore in parete e sul fronte

CLASSE	Vb Materiale sciolto
DESCRIZIONE COMPORTAMENTO ROCCIA	Questa classe comprende tutti i terreni sciolti , franosi , per i quali lo scavo non può essere affrontato con i metodi convenzionali .
SEZIONE DI SCAVO	Lo scavo si regola in funzione dei metodi di sostegno .
TEMPO DI AUTOSOSTEGNO	Praticamente nullo .

Galleria

sezione

- forma
- dimensione

estensione lotto

- copertura
- raggi di curvature

rivestimento

- rigido
- deformabile

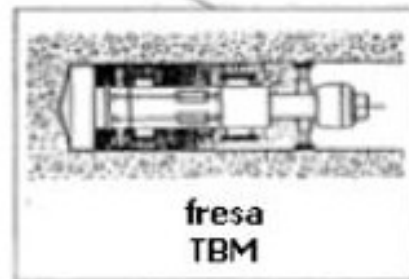
tutela ambientale

- rumore
- vibrazioni

Rocce dure e sciolte

senza presenza di acque

in presenza di acque



- sezione parziale
- ruspe

- sezione totale
- sezione parziale

Scavo in tradizionale

Scavo meccanizzato

Le metodologie di scavo sono molto diverse e con esse le relative tecnologie. Tuttavia comune ad ogni tecnica di scavo è il complesso di operazioni eseguite in sotterraneo che si possono riassumere in:

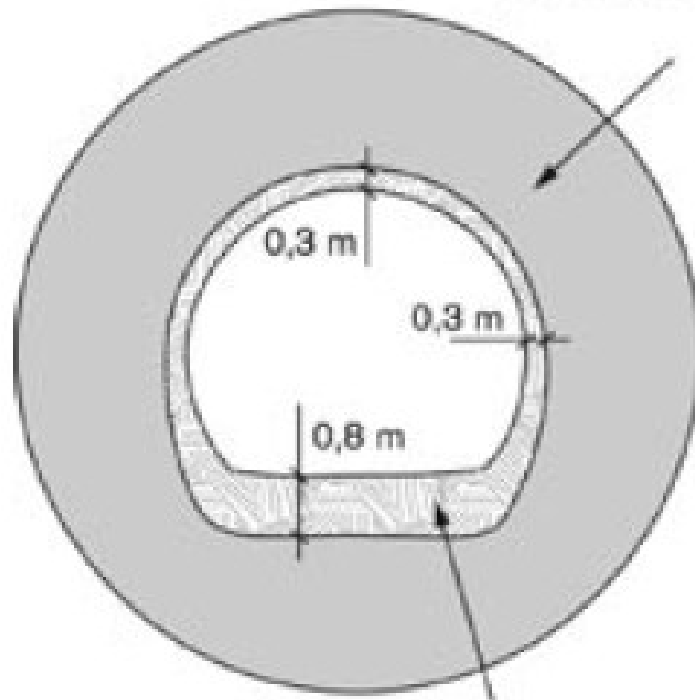
- scavo;
- consolidamento;
- smarino.

Un valore indicativo della velocità media di avanzamento giornaliero in gallerie stradali e ferroviarie è riportato nella tabella che segue.

Tipo di roccia	Velocità m/giorno
Rocce molto tenere e friabili	7-10
Rocce mediamente dure compatte. Poco fratturate e non acquifere.	5-8
Rocce mediamente dure ma molto fratturate	3-4
Rocce durissime e compatte	4-6
Rocce scistose, degradate e spingenti	2-3
Rocce non acquifere ma spingenti	0,5-1,5
Rocce incoerenti ed acquifere	0,2-0,5

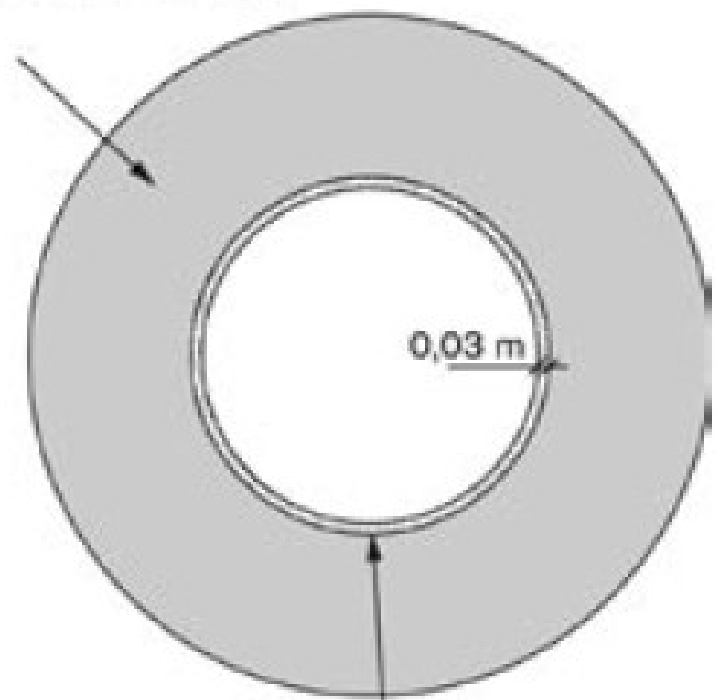
Disturbance independent of excavation method
No damage to the rock (no new fractures)
Stress redistribution
Mainly elastic movements
Only small changes in permeability
No measurable changes in seismic velocity

Blasted tunnel



Excavation-induced fracturing
Increased permeability (1-2 orders of magnitude)
Decreased seismic velocity
Micromovements (acoustic emissions,
10 times more than in bored tunnel)

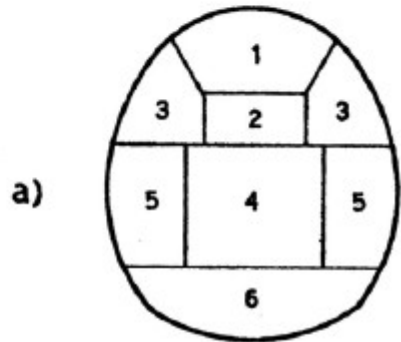
Bored tunnel



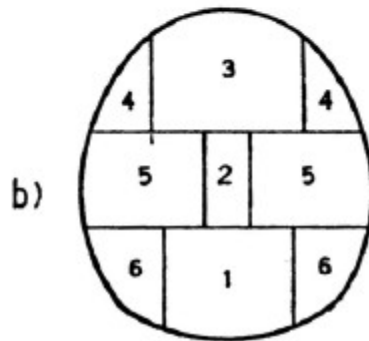
Excavation-induced fracturing
Increased permeability (?)
Decreased seismic velocity (?)
Only few micromovements

Metodi tradizionali

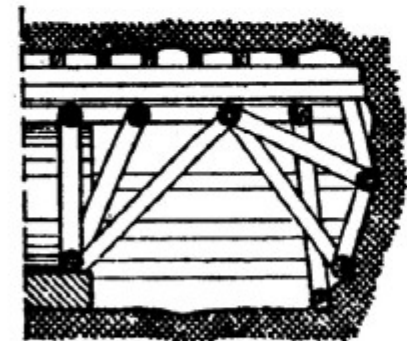
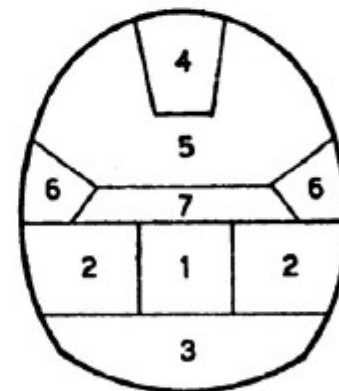
- I sistemi adottati fin dalla fine del 1800 per la costruzione delle gallerie ferroviarie, si distinguevano in **scavo parziale** (sistema belga ed italiano) o **scavo a sezione piena** (sistema austriaco o inglese)
- Il **sistema belga permetteva facilità di esecuzione, buona** distribuzione dei cantieri e discreta velocità di avanzamento ma necessitava di terreni poco spingenti
- Il rivestimento si iniziava sempre dalla **calotta, scavando il** cunicolo in alto (1); quindi lo scavo si allargava allo **strozzetto (2) ed ai larghi di calotta (3)**
- Eseguito lo scavo nelle zone 1, 2 e 3 e la relativa armatura per una certa lunghezza, si completava tutto l'arco della calotta e solo dopo si cominciava l'attacco della cosiddetta **zona di strozzo (4) e dei larghi di strozzo (5)**. In ultimo si scavava l'**arco rovescio**



Metodo belga



Metodo italiano

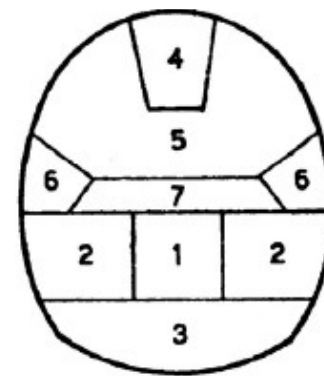
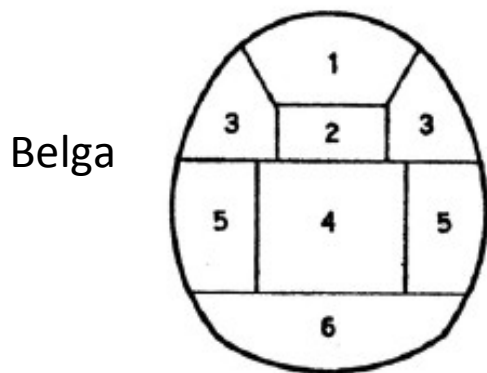


Il metodo italiano, nel caso di attraversamenti su terreni spingenti prevedeva la formazione del cunicolo di base(1), **opportunamente armato** quindi si completava lo scavo delle zone **(2) puntellando e** sbatacchiando opportunamente

Successivamente si scavava la zona **(3) dell'arco rovescio e**, quindi, si costruivano i piedritti e l'arco rovescio, togliendo man mano i lunghi puntelli e sostituendoli con altri più corti e poggianti sulla muratura già costruita. Eseguito un certo avanzamento in cunetta si incominciava ad attaccare la calotta, scavando prima un cunicolo **(4) che si allargava** successivamente **(5)**. Con gli scavi **(6) si scoprono le murature dei piedritti e si prolungano** per impostarvi sopra la calotta. In ultimo si scavava il nucleo centrale **(7) ed infine si eseguiva la** costruzione della calotta

Con il metodo Belga, su terreni molto spingenti, la muratura della **calotta, per effetto delle spinte, tendeva ad abbassarsi, mentre le** imposte si avvicinavano.

Il metodo italiano consisteva quindi nell'avere **cantieri molto ristretti e nell'iniziare le operazioni di rivestimento dal basso in modo da evitare la chiusura della galleria per** effetto delle spinte sulle imposte della calotta prima ancora che potessero essere **completate le murature dei piedritti**



Metodi di scavo tradizionale e meccanizzato a piena sezione

E' il metodo normalmente adottato in rocce dure e comunque quando lo scavo può rimanere aperto senza richiedere opere di sostegno. I mezzi moderni di cui oggi dispone la tecnica consentono rapidità di avanzamento per cui le rocce restano esposte all'azione dell'aria per breve tempo. Ciò permette la sostituzione dei vecchi e lenti metodi di scavo con il rapido metodo a piena sezione.

Per l'avanzamento possono essere utilizzati sia esplosivi sia macchine di grande potenza, come la macchina scudata (*Tunnel Boring Machine system*). Le tecnologie di scavo meccanizzato integrale sono in continuo sviluppo. Le TBM sono sempre più potenti, in grado di spingere sul fronte con pressioni sempre più elevate, sono costruite in modo da poter essere agevolmente montate, smontate e trasportate. Soprattutto sono sempre più versatili in grado di operare con successo su fronti di scavo in condizioni di ammassi rocciosi eterogenei (mixedface conditions) ed in condizioni difficili.

Lo scavo meccanizzato integrale è tuttavia caratterizzato da una minor flessibilità del sistema macchina-galleria rispetto al sistema di scavo in tradizionale (esplosivo) il che si traduce in una maggiore esigenza di indagini, prospezioni e specifici studi. In sostanza, in una più approfondita progettazione d'insieme dello scavo.

Metodo NATM

- Ha l'obiettivo di rendere la roccia o il terreno, incontrati durante lo scavo, **collaboranti: parte del carico che graverebbe sulla gallerie è assorbito dalla massa circostante che viene così ad assumere una funzione di struttura portante.**
- La stabilizzazione della superficie di scavo avviene mediante la messa in opera di **centine, bulloni e l'applicazione** pneumatica di miscele di cemento e sabbia con acceleranti (**shot-crete, gunita**) **proiettate ad alta velocità.**
- Il rivestimento che si viene a formare costituisce una parte integrale del processo di scavo e realizza il **rivestimento primario (al posto dei tradizionali metodi di supporto temporaneo).**
- Proprio per queste necessità di rapido intervento sui giunti della roccia, lo shot-crete vede indispensabile l'aggiunta di **sostanze chimiche acceleranti la presa della miscela.**
- I **vantaggi: è un metodo molto adattabile e flessibile purché** non ci sia la presenza di forti **flussi d'acqua verso l'interno** del cavo; inoltre è da sottolineare che richiede un **rivestimento di dimensioni ridotte.**
- Tra gli **svantaggi si può annoverare che esige l'impiego di** minatori qualificati e tecniche molto specializzate. Inoltre, è un metodo molto **costoso.**
- Ruolo svolto dalla misurazione dello stato deformativo e tensionale all'intorno della galleria: lo scopo è quello di ottenere dall'esperienza nella costruzione dei primi tratti le informazioni relative al comportamento dell'ammasso roccioso e, quindi, di **aggiornare in modo continuo il dimensionamento delle strutture di sostegno.**

Avanzamento con esplosivo

Viene impiegato soprattutto nel caso di rocce di **resistenza medio-alta**

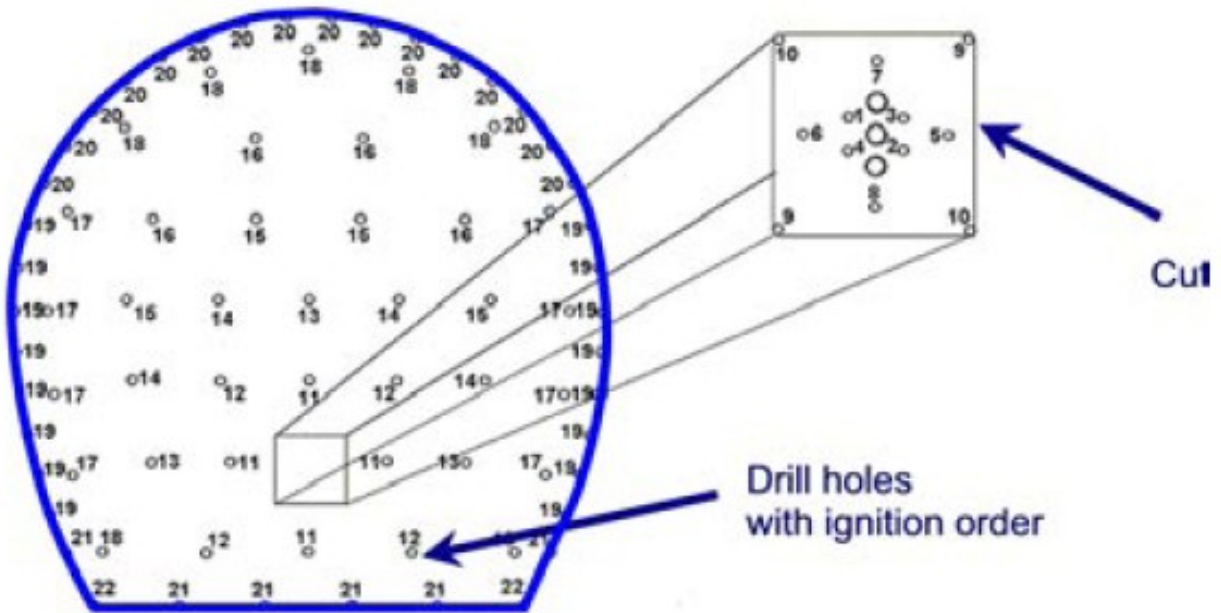
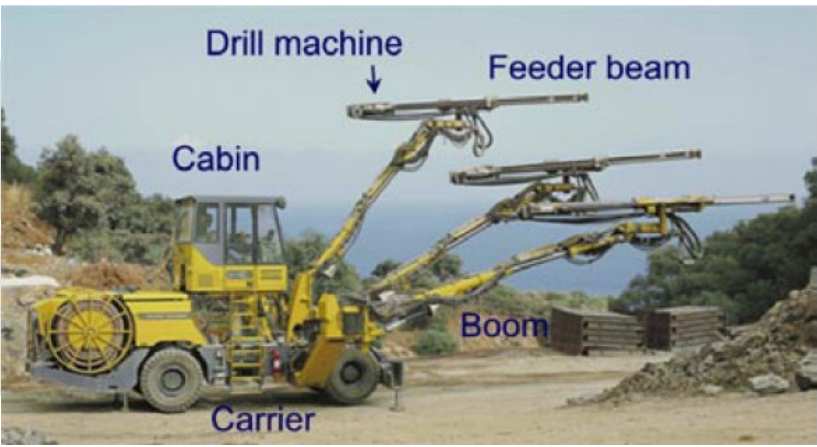
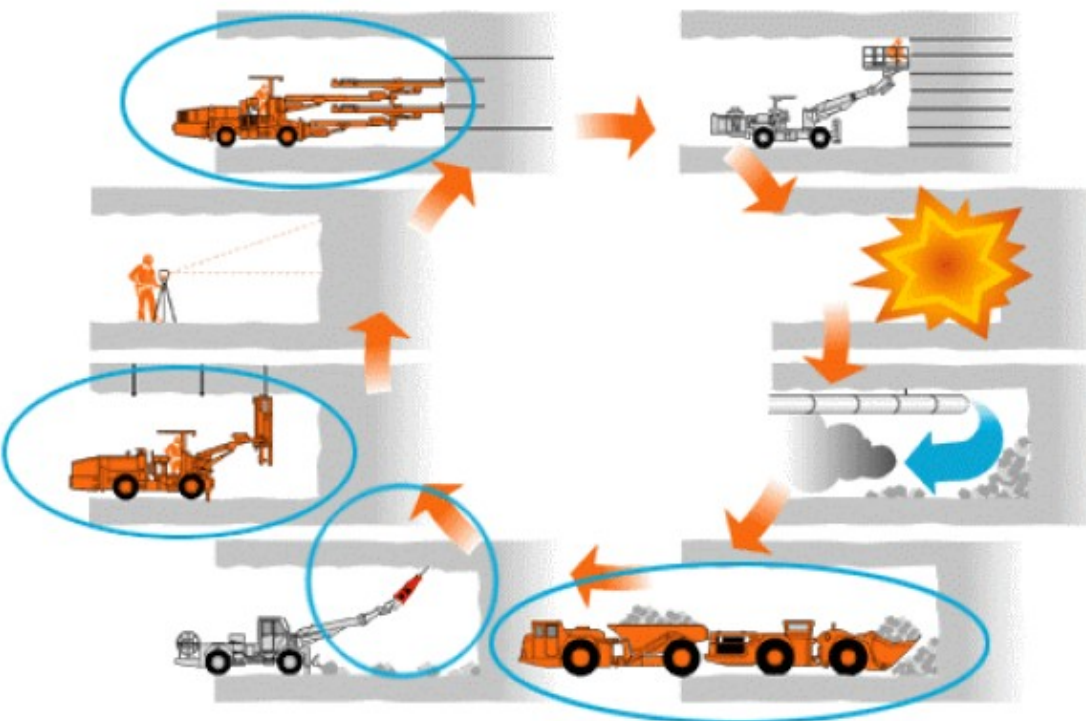
In caso di elevata presenza di minerali abrasivi, l'avanzamento con esplosivo può risultare più idoneo ed **economico** rispetto all'impiego di macchinari di scavo tipo TSM o TBM

Il materiale di scavo risulta migliore per la produzione di **inerti per calcestruzzo**

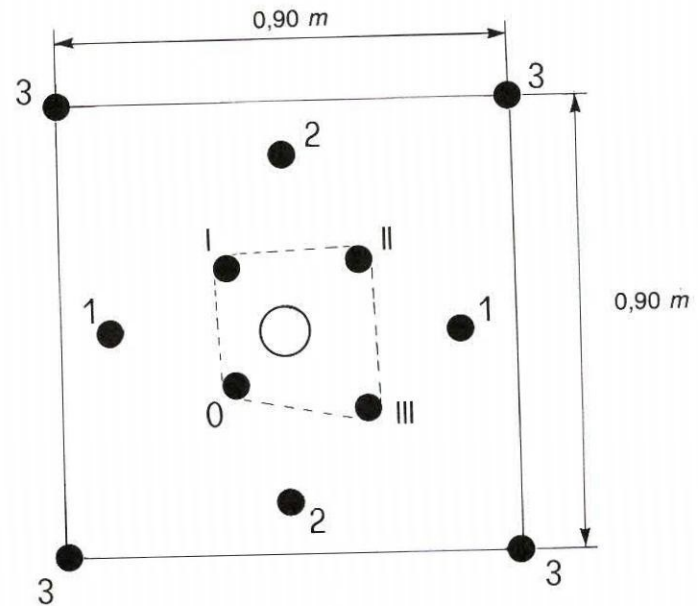
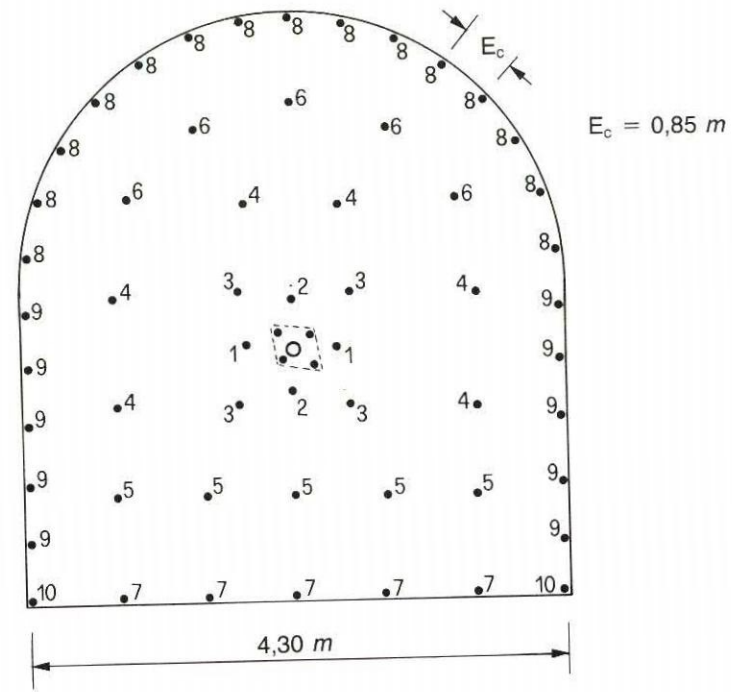
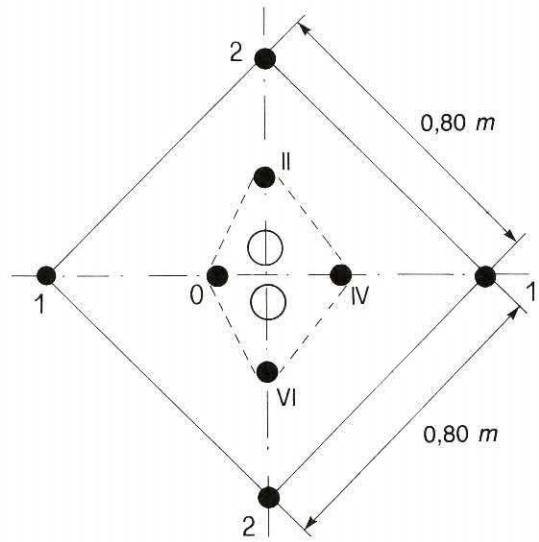
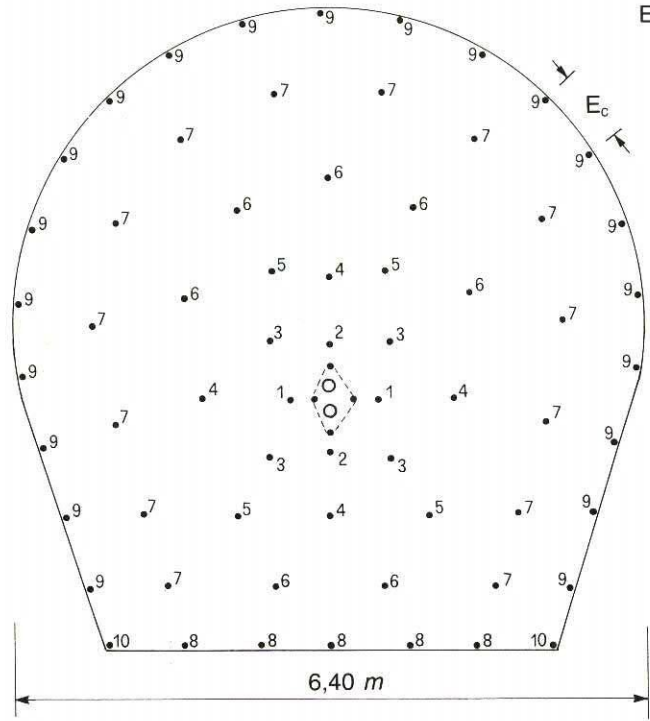
L'avanzamento con esplosivo è caratterizzato da **cicli di lavoro ripetitivi e discontinui**, consistenti in perforazione, caricamento, intasamento, brillamento, aerazione, protezione e allontanamento del materiale di smarino • Sono particolarmente importanti la **precisione dei fori** e la **carica**, specialmente nella delimitazione della sezione di scavo

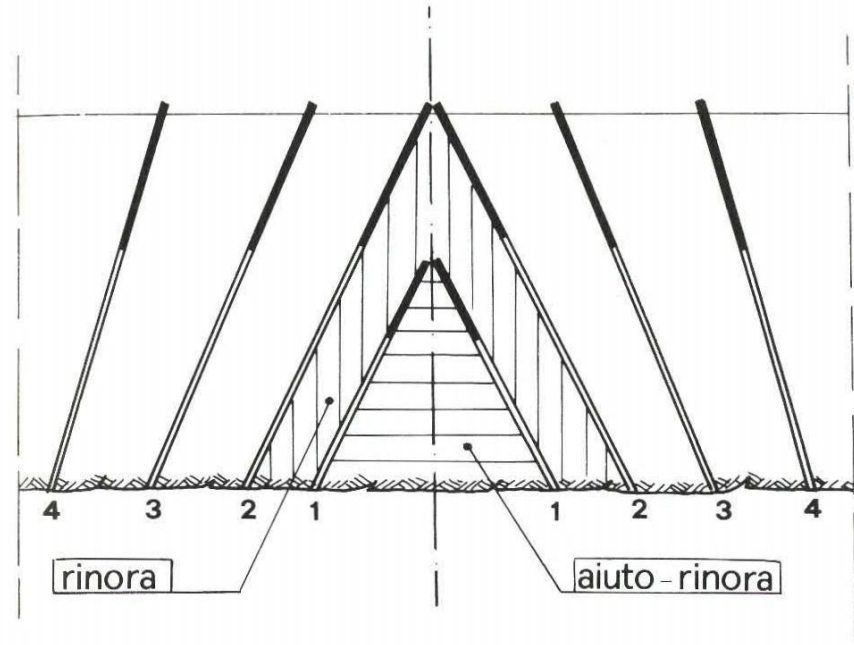
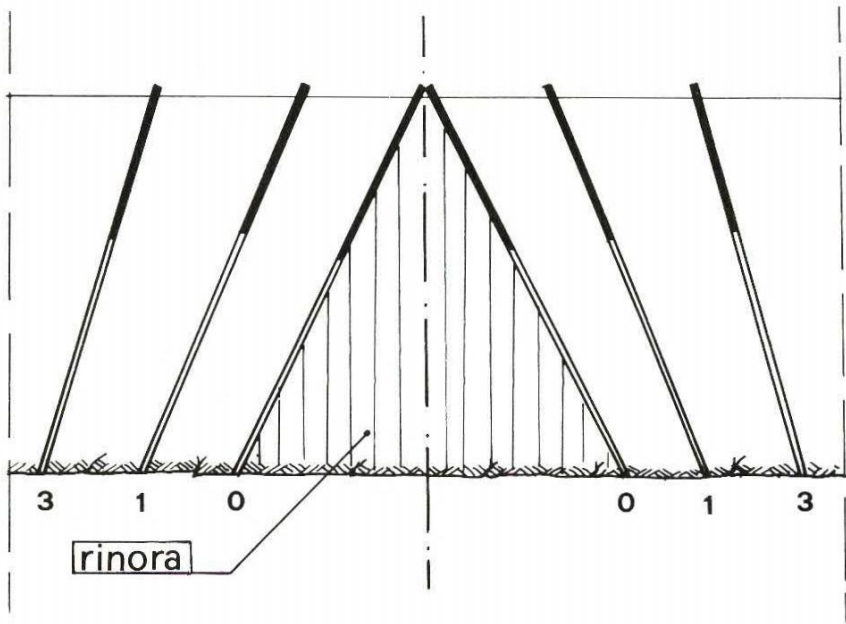
In base alle condizioni locali, quali le dimensioni della sezione e le caratteristiche della roccia, si determinano le **lunghezze delle volate**, il numero di **fori**, la **quantità di carica** di esplosivo e le **sequenze di scoppio**, anche mediante brillamenti di prova

I fori al contorno della sezione di scavo devono essere realizzati, per quanto possibile, **parallelamente** alla direzione dello scavo



2.5





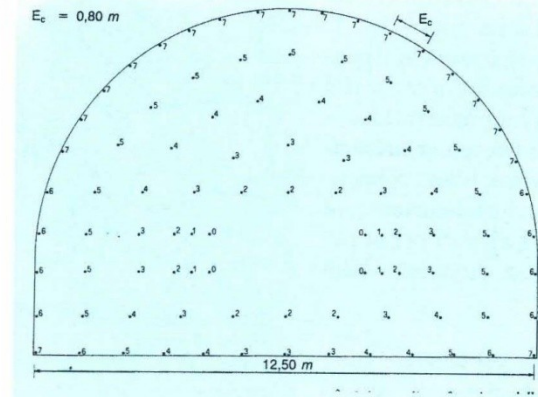
Avanzamento con esplosivo

Gli esplosivi impiegati nella costruzione di gallerie sono costituiti generalmente da **gelatina in cartucce** con diametri variabili da 22 a 50 mm

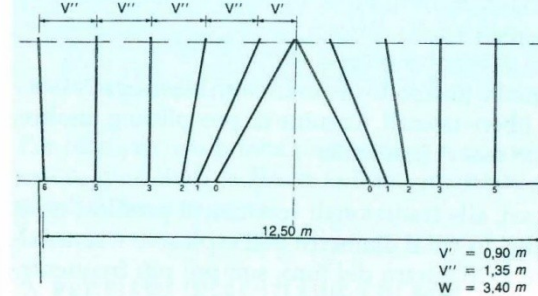
Il diametro della cartuccia più comunemente impiegato è di circa **38 mm** perciò con le attuali macchine perforatrici, impiegate nella costruzione di gallerie vengono in genere eseguiti **fori di brillamento di 45-52 mm** di diametro con **lunghezze dei fori che** variano, a seconda della sezione della galleria, tra **3 e 5 m** circa

I fori vengono realizzati con **diametri variabili da 20 a 120 mm**, in relazione al tipo di macchina perforatrice (manuale, pneumatica o meccanica) e di esplosivo impiegato

In prossimità di **edifici** è necessario controllare le **vibrazioni** dovute alle esplosioni mediante un'apposita campagna di misure



Galleria con sezione di 89 m². Schema di perforazione della volata



Galleria con sezione di 89 m². Sezione del piano di rinora

MINE DI PROFILATURA

Esplosivo: Profil X Ø 25 × 460 mm

— $\varnothing_c = 0,025 \text{ m}$

— $P_s = 343 \text{ MPa}$

— $\Delta_e^s = 1,2$

Diametro di perforazione: $\varnothing_f = 0,051 \text{ m}$

Roccia: calcare

— $\sigma_{tr} = 6 \text{ MPa}$ (valutato)

$$E_c = 0,051 + \left[\left(\frac{0,025}{0,051} \right)^2 \cdot \frac{1,2 \cdot 0,051 \cdot 343}{6} \right] = 0,89 \text{ m}$$

$$V_c = \frac{0,89}{0,8} = 1,11 \text{ m}$$

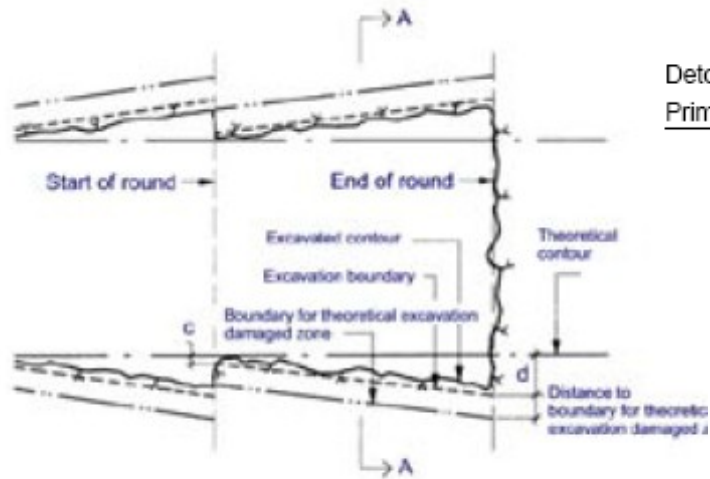
Realizzazione delle mine

$E_c = 0,8 \text{ m}$

$V_c = 1,0 \text{ m}$

Carica: 1 cartuccia di Gelatina 1 Ø 40 × 400 mm +
6 cariche di Profil X Ø 25 × 460 mm

Explosives	Components	Charge dimensions (mm)	Density (kg/m ³)	VOD ¹ (m/s)	Water resistance	Application
Dynamites	Nitro glycol, Ammonium Nitrate	22–85	1,400	2,500–6,500	Good	Cut, stoping, floor
Small diameter pipe charges	Nitro glycol	17–32	1,000–1,200	1,400–2,400	Less good	Contour
Emulsions	Ammonium nitrate, oil, wax, gassing comp, micro-balloons	17–90 Bulk	750–1,250	5,000	Good	Cut, slashing, floor, contour
ANFO	Ammonium nitrate, fuel oil	Bulk	700–900	2,500–3,000	Poor	Cut, slashing
Detonating cord	PETN	Bobbin	1,100	6,500–7,000	Less good	Contour
Primer	Mixture	15–65	1,500	> 6,000	Very good	Initiating



Smooth blasting

Smooth blasting is carried out by drilling the contour holes with a short hole spacing 0.3–0.6 m and using weaker explosives.

A common way to reduce the strength of the charge is to use decoupled charges (charging diameter < hole diameter). Normally the contour holes are charged with small diameter plastic tube charges like “Gurit” (now called Dynotex) or Kimulux.

Avanzamento con esplosivo

L'avanzamento su un fronte di scavo in direzione grosso modo perpendicolare agli assi delle strutture principali ed in condizioni opposte all'immersione rappresentano condizioni favorevoli (ammassi rocciosi scadenti vengono dapprima intercettate in corrispondenza della platea, alla quota galleria).

Diversamente, l'avanzamento in condizioni di sub-parallelismo e/o su un fronte di scavo in condizioni in direzione dell'immersione rappresentano condizioni sfavorevoli (ammassi rocciosi scadenti si presentano dapprima in calotta con maggiori probabilità di avere di condizioni di instabilità).

In questo secondo caso assumono una grande importanza i sondaggi esplorativi in avanzamento (di appropriata lunghezza ed inclinazione verso l'alto) nonché l'approntamento di una adeguata organizzazione di pronto intervento per fronteggiare improvvise venute d'acqua o interventi di trattamento e consolidamento del fronte e dell'intera sezione di scavo.

IL SISTEMA DI RIMOZIONE ED EVACUAZIONE DELLO SMARINO

Le operazioni di evacuazione del materiale di risulta possono essere distinte in due momenti principali.

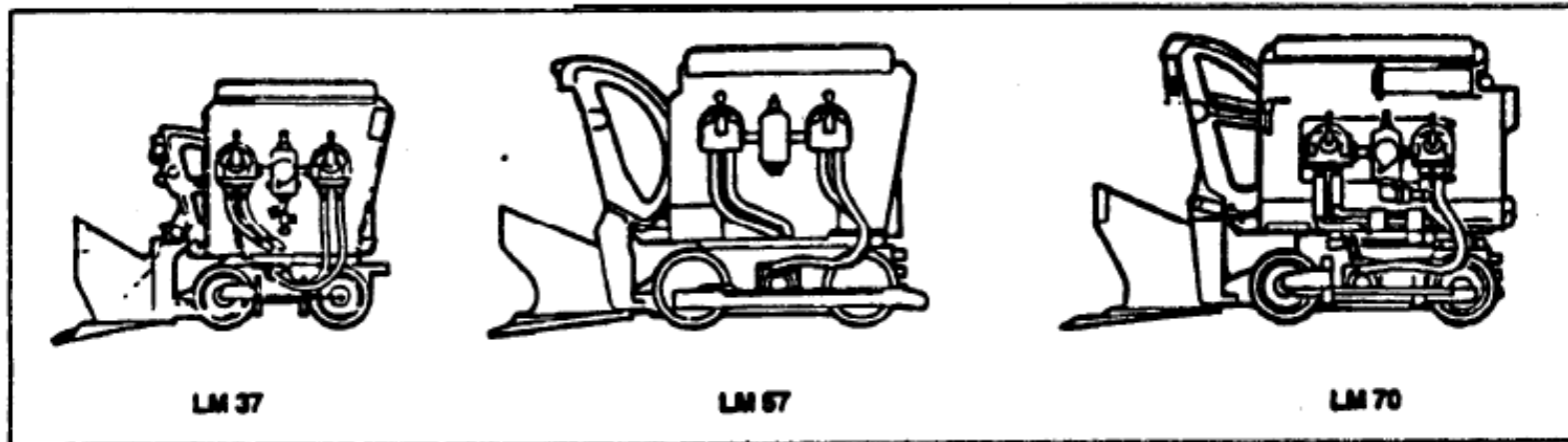
La raccolta ed il caricamento della materiale roccioso derivato dall'abbattimento del fronte roccioso.

Il trasporto del materiale di risulta dal fronte di scavo direttamente fuori della galleria per poter essere poi successivamente riutilizzato come inerte o direttamente smaltito presso appropriate aree di stoccaggio.

Le suddette operazioni vengono eseguite con diverse tipologie di mezzi meccanici.

Escavatori, pale gommate o cingolate caricatori, dumpers, nastri trasportatori, locomotori e vagoni su rotaie, sistemi combinati Hagglunds-Shuttletrain (pala caricatrice Hagg-loader associata a nastro trasportatore e vagoni di trasporto).

Il carico del marino viene effettuato con escavatori, pale cariatrici, ed autocaricatori. Delle pale cariatrici vengono forniti in figura alcuni dati caratteristici. La motorizzazione di queste può essere anche ad aria compressa.

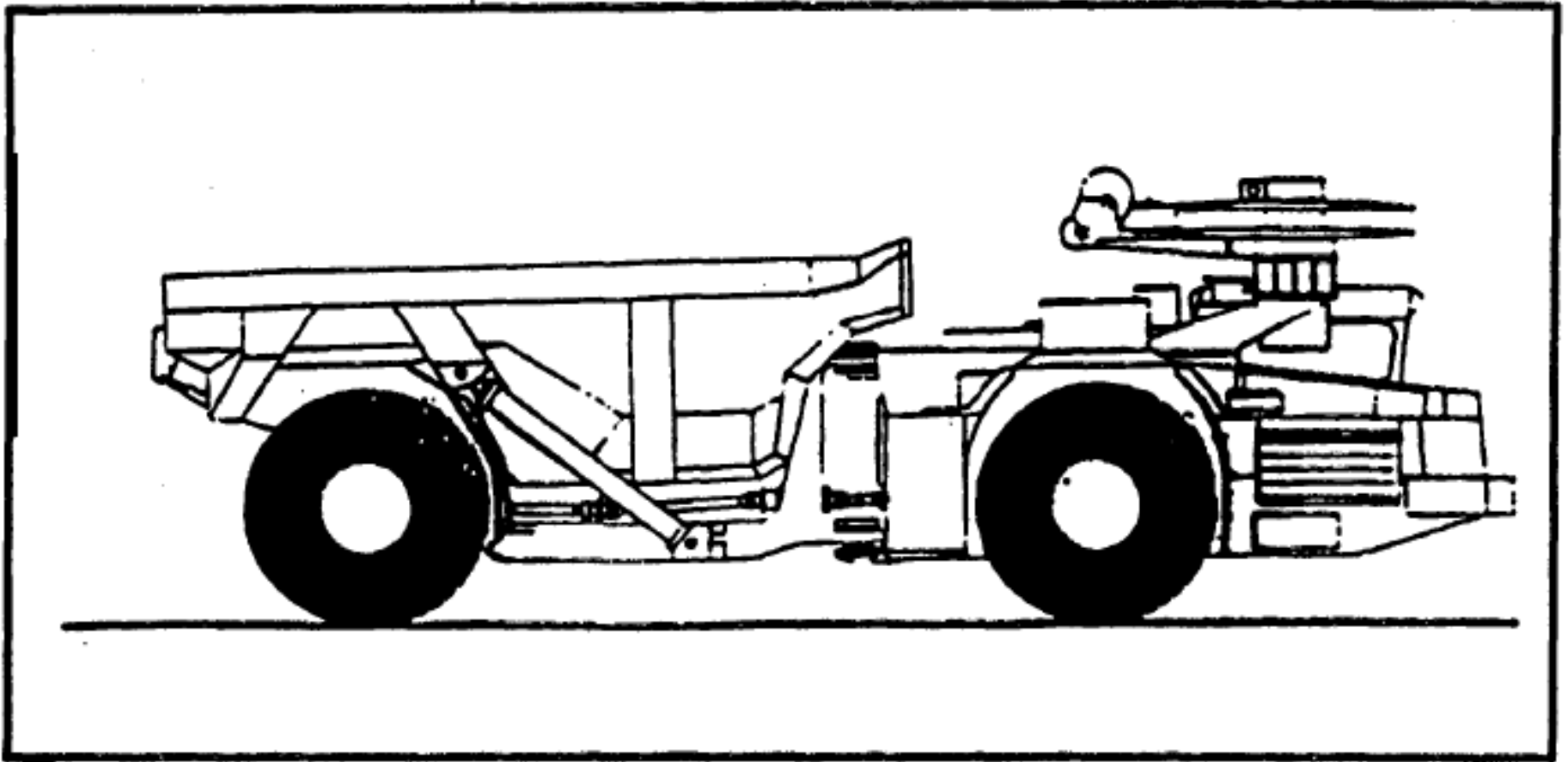


Data

	Potenza motore di trazione		Potenza motore Bucket		Capacità standard Bucket		Capacità di carico al minuto		Peso netto		Consumo aria		Pressione di esercizio	
	kW	hp	kW	hp	m ³	cu.ft	m ³	cu.ft	kg	lb	l/s	cfm	bar	psi
LM 37	6.5	8.5	7.5	10	0.14	5.0	0.6	21	1950	4300	100	210	4.5-7	65-102
LM 37H	6.5	8.5	7.5	100	0.14	5.0	0.6	21	2100	4630	100	210	4.5-7	65-102
LM 57	10.0	13.5	17.5	24.0	0.26	9.2	1.0	35	2700	5950	133	280	4.5-7	65-102
LM 57H	10.0	13.5	17.5	24.0	0.26	9.2	1.0	35	2900	6400	133	280	4.5-7	65-102
LM 70	10.0	13.5	2 x 11	2 x 15	0.40	14.0	1.5	53	4300	9480	167	350	4.5-7	65-102
LM 70H	10.0	13.5	2 x 11	2 x 15	0.40	14.0	1.5	53	4600	10140	167	350	4.5-7	65-102

Di norma per i lavori di ingegneria civile vengono utilizzati mezzi gommati, *dumpers* (fig. 20), aventi il cassone ribaltabile, lasciando il sistema a rotaia con scartamento ridotto per i lavori di tipo minerario.

Il caricamento sui *dumpers* avviene generalmente per mezzo di pale cingolate a scarico frontale o laterale azionate da motore ad aria compressa o diesel. In quest'ultimo caso devono essere previste particolari precauzioni per lo scarico dei gas di combustione. Il mezzo può anche essere elettrico.



Avanzamento meccanico

- Gli **escavatori idraulici** possono essere equipaggiati con **benne profonde**
- Per lo scavo di banchi rocciosi stratificati possono essere impiegati anche **martelli o scalpelli idraulici**, applicabili al braccio dell'escavatore
- Per lo scavo di rocce **poco compatte** possono essere impiegati – oltre a escavatori idraulici muniti di ripper – anche escavatori idraulici pesanti con **martellone**
- La potenzialità di scavo di tali macchine non è tuttavia confrontabile con quella di una **fresa puntuale (TSM)**
- Inoltre il materiale deve essere rimosso con una fase operativa **separata**
- La potenzialità di scavo (per m^3 di materiale compatto) nel caso di rocce di media resistenza ($30 - 80 \text{ N/mm}^2$) può variare da **200 a 1000 m^3/h** con una macchina di ca. 400 KW di potenza

Altre tecnologie di scavo

Esistono ulteriori tecniche di scavo in galleria e tre queste:

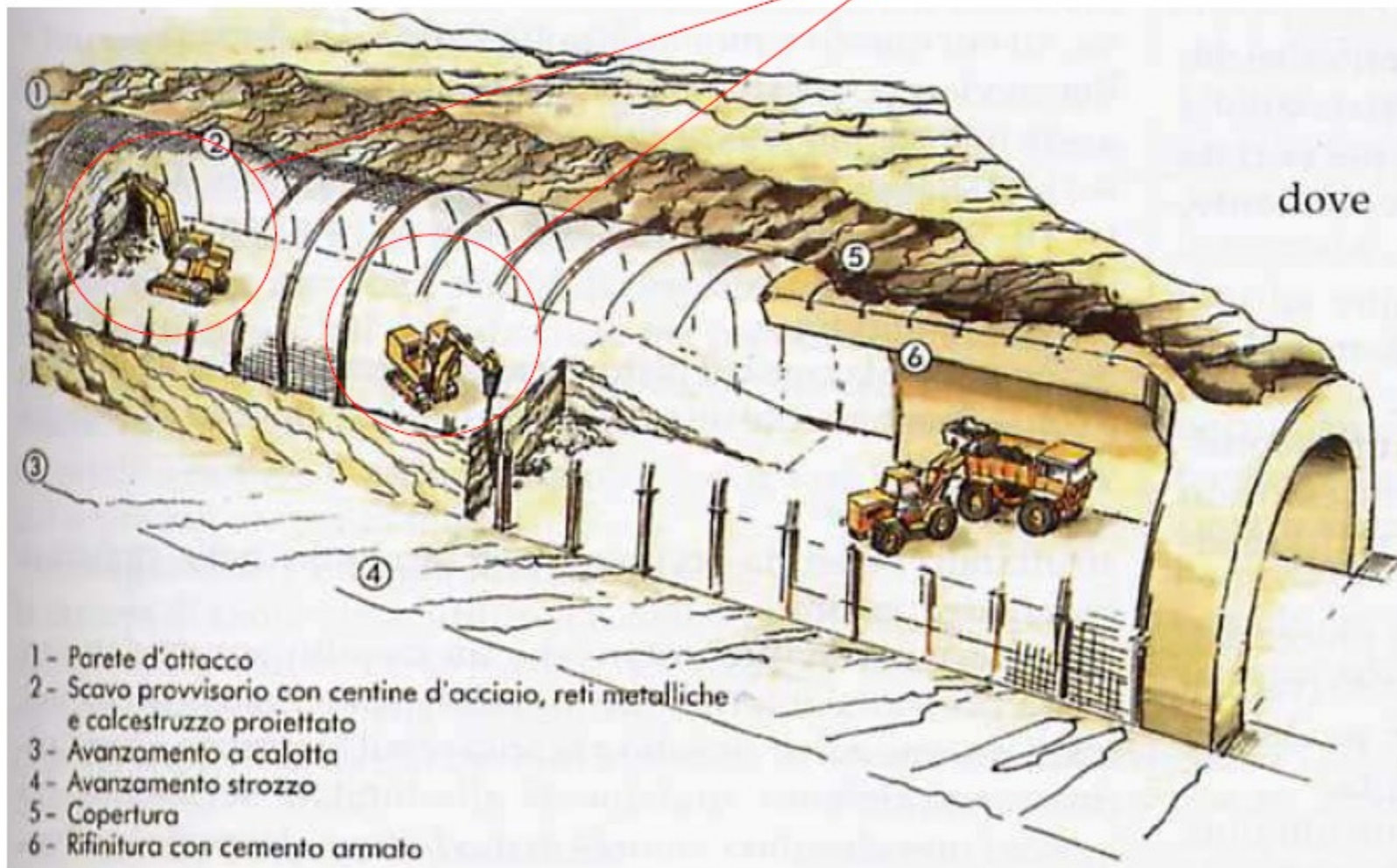
- con *martelli demolitori oleodinamici*: il martellone idraulico demolitore è uno strumento molto versatile che può essere montato sul braccio di un escavatore convenzionale.

- con *sistemi non convenzionali di scavo*: *rippaggio* (dello strozzo in presenza di sezioni parzializzate), *agenti demolitori non esplosivi*: *Bristar* (cemento ad espansione lenta e dirompente) e *Cardox* (rapida espansione prodotta dall'anidride carbonica liquida), e *rock splitter*: strumento demolitore idraulico per fratturare la roccia (DARDA).

- *pozzi verticali ed inclinati*: tali opere possono riguardare possono rendersi necessarie in fase costruttiva per aprire fronti intermedi di scavo e in fase d'esercizio per la ventilazione e la sicurezza dei tunnel. Le operazioni di scavo avvengono normalmente tramite la perforazione e l'esplosione solo per grandi pozzi si può prevedere una pista di collegamento elicoidale. Nella totalità dei casi la movimentazione del personale, delle piattaforme di lavoro e delle macchine operatrici e del marino sono affidate ad attrezzature ad argani.

Esistono particolari attrezzature specializzate: *Alimak* pensate per lo scavo di pozzi dal basso verso l'alto (*raise climber*) o dall'alto verso il basso (*whinch & shaft mucker*), *Raise boring* sistema di scavo più impiegato per perforare ed alesare pozzi in roccia dura e *Down reaming* per alesare un foro pilota dall'alto verso il basso.

Schema di utilizzo di demolitori idraulici



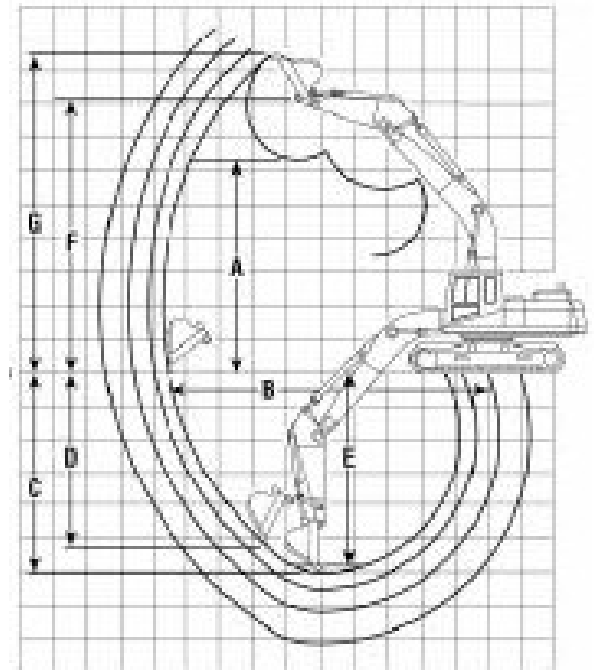
Demolitore idraulico



Escavatori

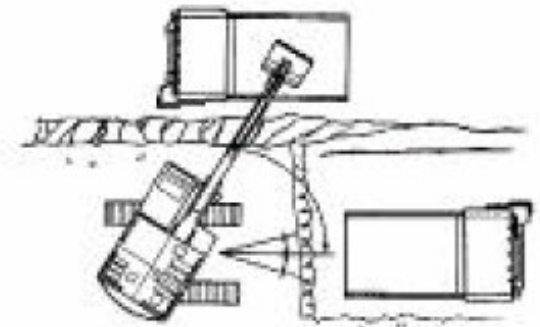
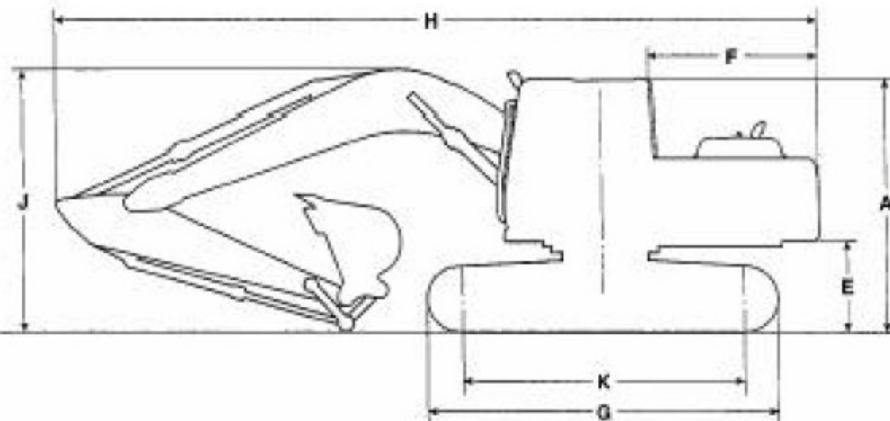
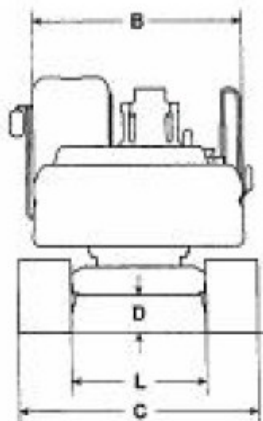
- sistema di locomozione (su cingoli o su pneumatici);
- braccio di scavo (a braccio rovescio, a benna frontale, con braccio a polipo, CON MARTELLONE);
- La capacità nominale: che corrisponde al carico massimo per lo sbraccio minimo.
- Il carico di ribaltamento: rispetto al massimo sbraccio a pieno carico o rispetto a una altezza stabilita.
- Lo sforzo di strappo: è il massimo sforzo ascendente sopportato dalla macchina.
- Il peso della macchina fa da contrappeso allo sforzo di strappo della benna; da questa caratteristica operativa si ricava una suddivisione in classi di peso che caratterizzano la capacità operativa del mezzo.

- A altezza massima a benna carica;
- B sbraccio massimo al livello del suolo;
- C profondità massima di scavo;
- D profondità massima per ottenere una parete verticale.
- E profondità massima per ottenere un fondo piano;
- F altezza massima del perno di fissaggio della benna;
- G altezza massima della benna scarica;



Escavatori

	Massa (t)	Capacità del cucchiaio (m ³)	Profondità massima di scavo (m)	Sollevamento (t)
Escavatore a braccio rovescio	Mezzi su pneumatici			
	Da 6 a 32 (17)	Da 0,950 a 1,8 (1)	Da 3,60 a 8,10 (da 6 a 7)	=13
	Mezzi cingolati			
	Da 8 a 840	Da 0,325 a 35	Da 2,5 a 15	=95
Escavatore a braccio frontale	Mezzi cingolati			
	Da 8 a 840	Da 0,325 a 35	Da 2,5 a 15	=95
Minipala su cingoli	Da 0,75 a 7 (= 4)	Da 30 a 700 l (150 l) (*)	3,8 (2,5)	-
(*) con larghezza massima pari a 0,45 m				

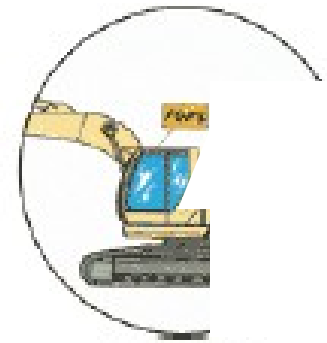
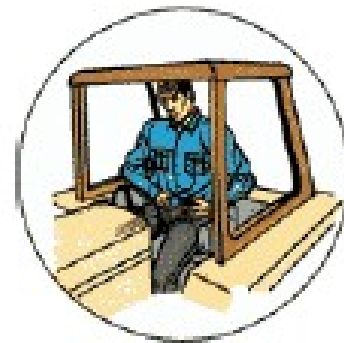


Con l'entrata in vigore della "Direttiva macchine", le macchine movimento terra devono essere dotate di cabina di sicurezza ROPS e/o FOPS.

Per cabina ROPS (Roll Over Protective Structure) si intende una cabina progettata e costruita con una struttura atta a resistere a piú ribaltamenti completi del mezzo.

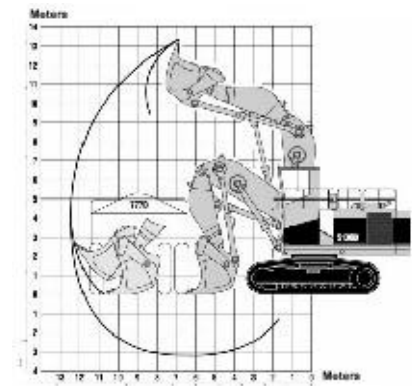
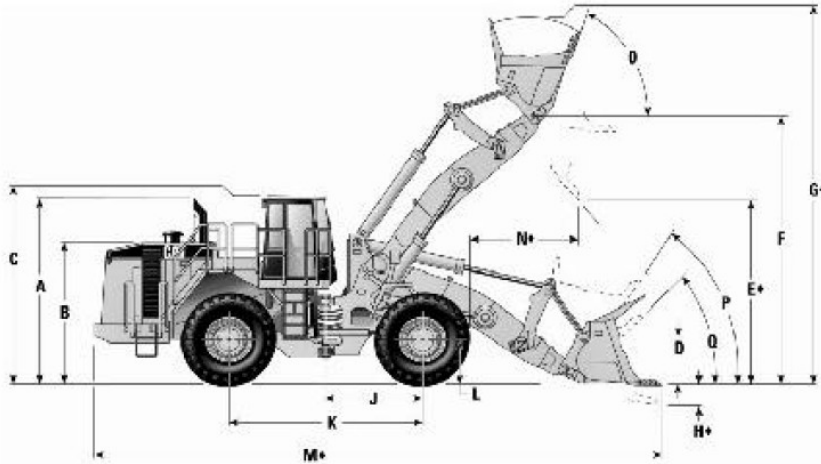
Per cabina FOPS (Falling Objects Protective Structure) si intende una cabina progettata e costruita con una struttura atta a resistere alla caduta di materiali durante il lavoro per il quale la macchina é stata costruita (sassi, frammenti di roccia, ecc).

L'operatore é quindi protetto dalla struttura speciale della cabina contro il pericolo di schiacciamento, dovuto al ribaltamento del mezzo e contro la caduta di materiale. Nel caso del ribaltamento é necessario però che l'operatore sia allacciato con le cinture di sicurezza. In tal modo non verrà proiettato all'esterno e non correrá il rischio di rimanere schiacciato dal mezzo.



Escavatore a Braccio Frontale

Pala caricatrice



Una pala caricatrice è una macchina da movimento terra, montata su cingoli o su gomme, equipaggiata con una pala frontale montata su due bracci idraulici che consentono di caricare la benna mediante avanzamento con i bracci abbassati, ruotare e sollevare la benna in posizione di trasporto e trasportare il carico al punto di scarico.

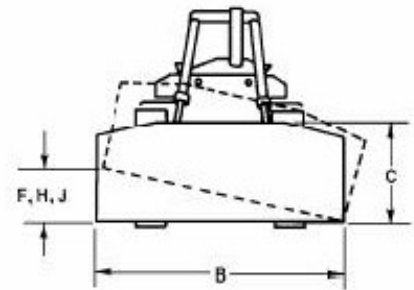
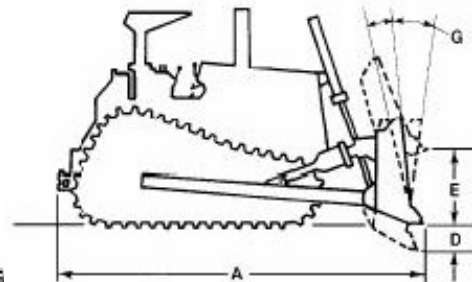
Viene utilizzato come una pala caricatrice cingolata: la differenza è relativa al ciclo carico/scarico; la pala cingolata si pone in posizione di scarico per mezzo di una manovra indietro, una sterzata con avanzamento e successivo scarico.

L'escavatore a braccio frontale elimina il tempo di trasporto eseguendo solo una rotazione sulla ralla prima di scaricare. Condizione frequente di impiego è in posizione di fronte cava; l'operazione di carico del braccio viene eseguita mediante un movimento in avanti, dal basso verso l'alto. Caratteristica di rilievo di questa macchina è la versatilità d'uso, dovuta alla gamma di accessori disponibili per numerose operazioni

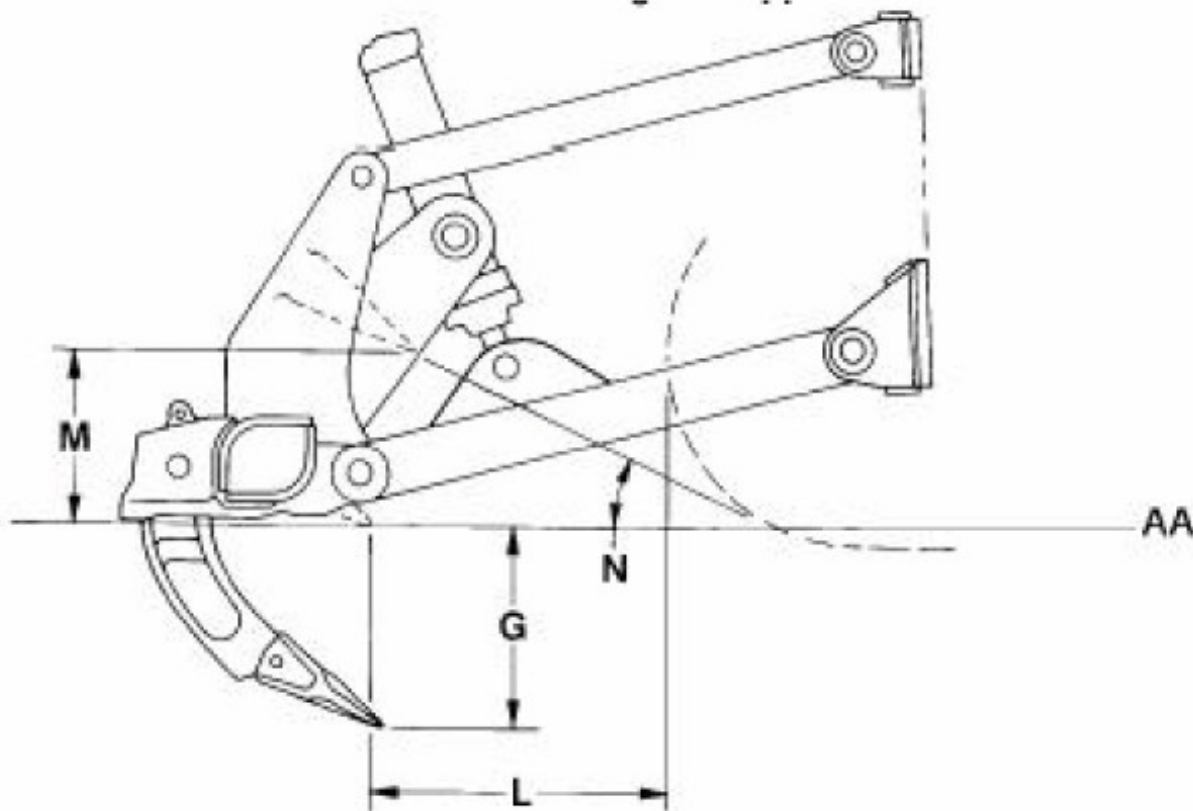
Apripista

Vengono utilizzati modelli di grande potenza nello scavo di materiale non roccioso con il trasporto a distanze non superiori ai 150÷200 m. Nel lavoro di scavo la macchina spinge la lama montata e affondata parzialmente nel terreno. All'avanzamento dell'apripista il materiale si "avvolge" con un moto elicoidale in avanti che riduce la resistenza alla di spinta ed è favorito dalla geometria della lama. Agli apripista sono spesso preferite in edilizia macchine con maggiore manovrabilità e buon livello di specializzazione, i modelli più potenti sono utilizzati per:

- aprire piste;
- scavare a mezzacosta;
- la preparazione del materiale al carico di altri mezzi;
- sgomberi, dissodamenti;
- sfondamenti, rippaggi: di materiali trattati con esplosivo che possono essere frantumati e rimossi da queste macchine di grande potenza;
- rimorchiare grossi carichi a bassa velocità su terreni a forte pendenza o per brevi distanze.



Ripper



Favoriscono la scarificazione

- rocce con bassa resistenza a compressione,
- rocce che presentano fratture, faglie, piani di spacco preferenziale,
- rocce cristalline di elevata fragilità,
- rocce finemente stratificate,
- arenarie cementate con grani di grande dimensione.

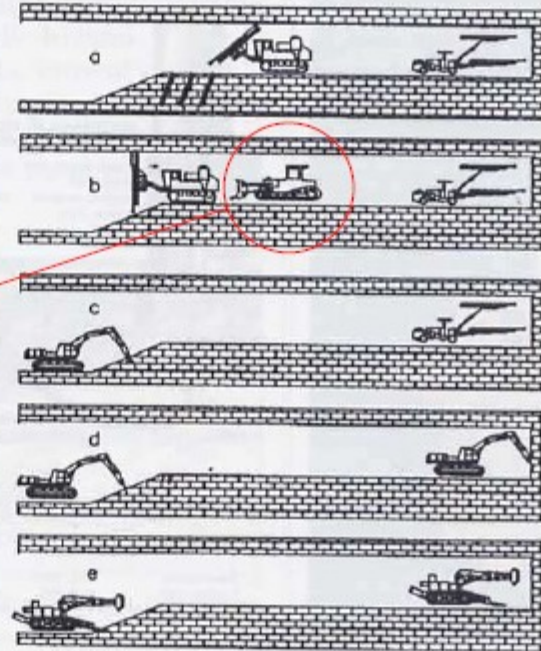
Ostacolano la scarificazione

- roccia massiva e omogenea,
- roccia non scistosa,
- roccia non cristallina,
- argille plastiche e umide,
- arenarie cementate con grani di piccole dimensioni,

Sistemi non convenzionali: rippaggio

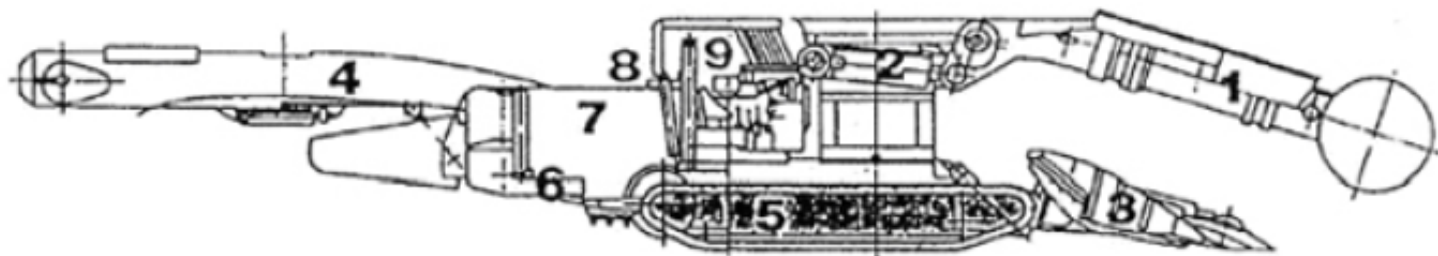


Scavo parzializzato calotta/strozzo. La figura evidenzia alcune tecniche di largo impiego, a) volate, b) volata e preminaggio-rippaggio, c) volata e demolitore idraulico, d) demolitori idraulici, e) frese puntuali



TSM – fresa puntuale

- È strutturata in modo da effettuare **sia lo scavo** meccanico della roccia sul fronte di avanzamento, **sia la rimozione** del materiale scavato, sollevandolo meccanicamente e quindi caricandolo, mediante trasportatori continui, sui mezzi di trasporto
- La TSM, dato il suo notevole peso e le condizioni molto impegnative in cui opera, è montata su un **carrello cingolato**



1. Braccio fresatore

2. Meccanismo di orientamento

3. Attrezzatura di carico

4. Trasportatore a catena

5. Carrello cingolato

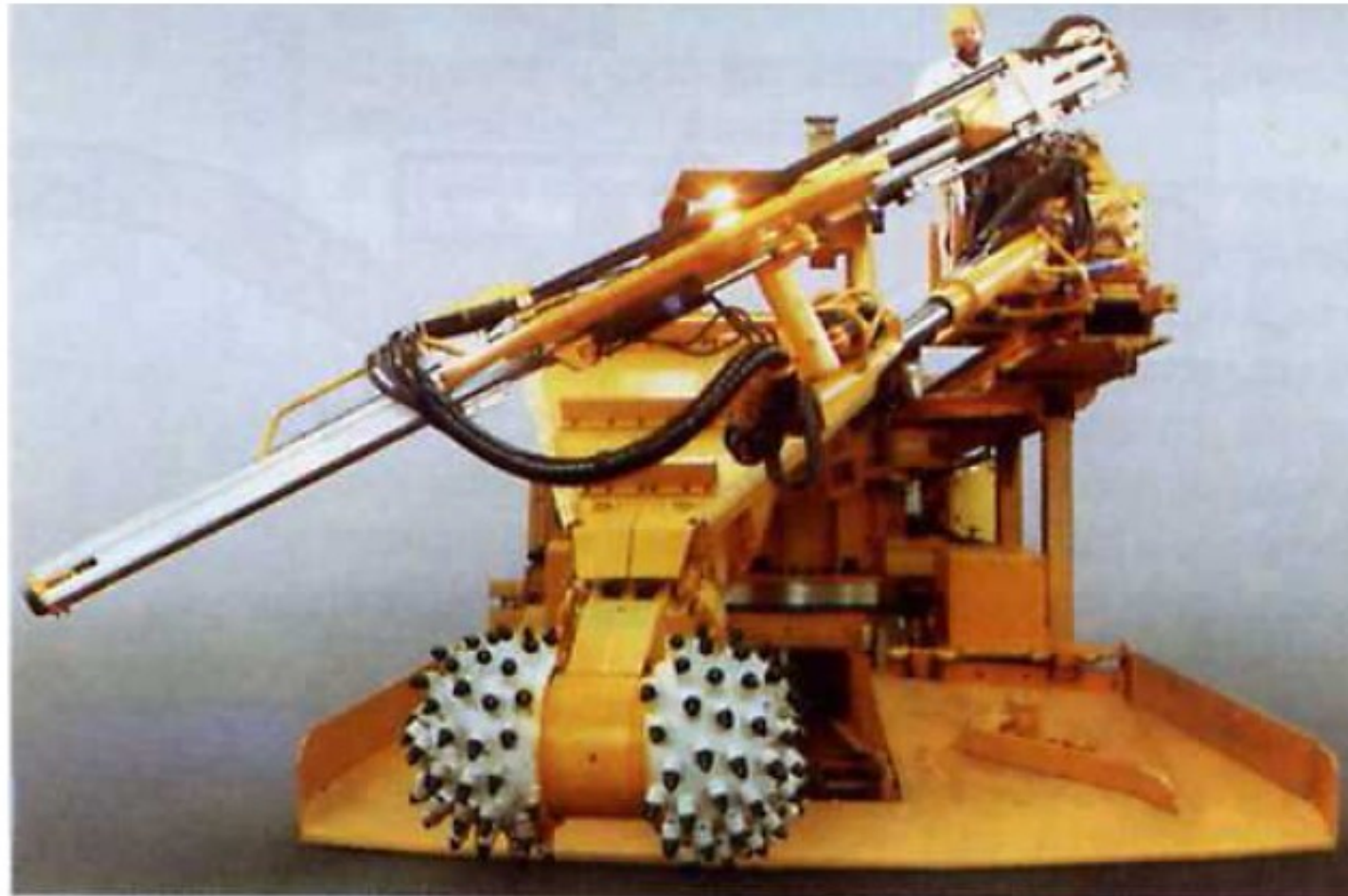
6. Telaio

7. Apparato elettrico

8. Apparato idraulico

9. Posto di guida

Schema di fresa puntuale Eickoff ET 450





Campo di impiego della TSM

- In caso di rocce con caratteristiche di **resistenza medie** (50 – 80 N/mm²) le macchine **fresatrici puntuali** possono essere impiegate con buoni rendimenti di scavo, soprattutto se le rocce sono caratterizzate da discontinuità dovute, per esempio, a strati e fessurazioni
- Le condizioni di impiego ottimali sotto il profilo economico per una macchina TSM sono le seguenti:
 - lunghezza della galleria **medio-corta** (ca. < 3 km) in **rocce tenere**
 - galleria con **sezioni variabili**
 - progetti con termini di avvio piuttosto **rapidi** (tempi di cantierizzazione abbastanza brevi)
 - progetti in cui, a causa delle **vibrazioni**, non è consentito l'avanzamento con esplosivo e in cui la lunghezza della galleria è troppo ridotta per l'impiego di una fresa TBM

TSM – Vantaggi e svantaggi

- **Vantaggi:**

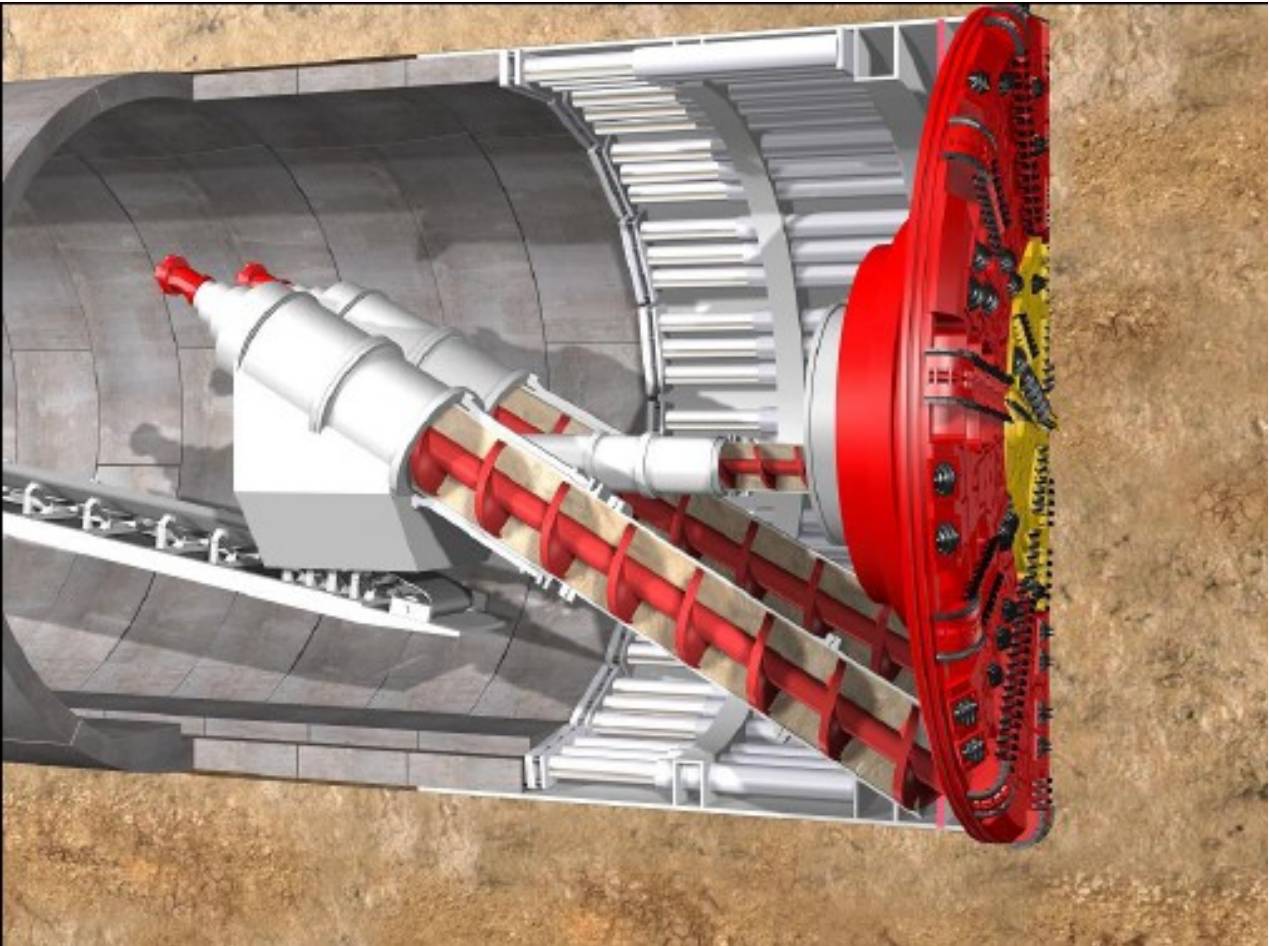
- **basse vibrazioni** durante lo scavo
- possibilità di adattamento a **variazioni di sezione** e di caratteristiche delle **rocce**
- accessibilità al fronte di scavo per **ulteriori interventi** di sostegno e di educazione delle acque
- **continuità del ciclo di lavoro**: scavo, rimozione, trasporto
- **precisione** del profilo di scavo (minori quantità di materiali di scavo rispetto all'avanzamento con esplosivo)
- **limitato disturbo** dell'assetto dell'ammasso roccioso (rispetto all'avanzamento con esplosivo)

- **Svantaggi:**

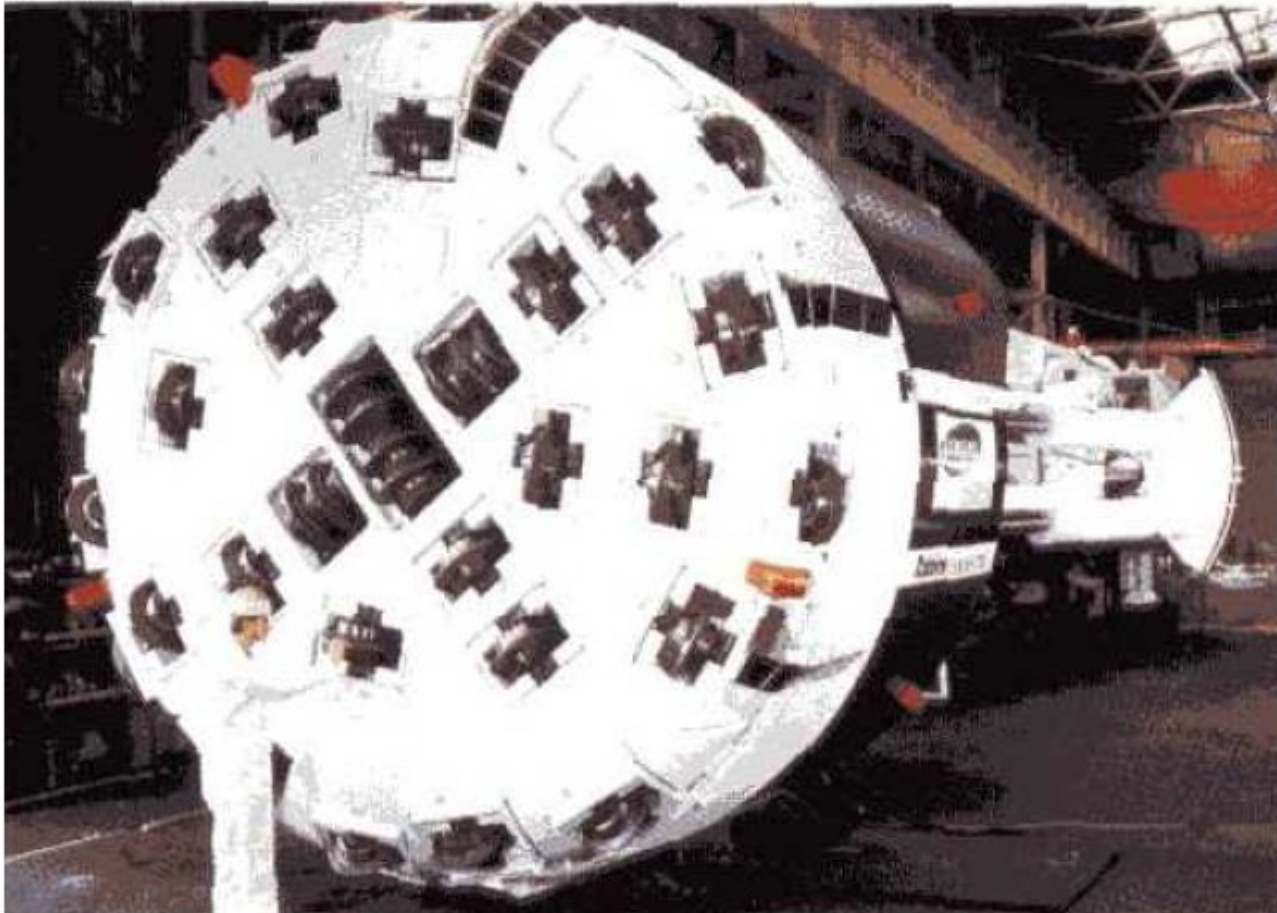
- possibilità di scavo economico **solo per rocce di bassa-media durezza**
- elevato **consumo** degli utensili di taglio
- avanzamento in generale **più lento** rispetto all'avanzamento con esplosivo

Frese a piena sezione (TBM)

- L'impiego delle macchine TBM è economicamente sensato a partire da lunghezze di galleria **superiori a 2 km**
- Comporta un **notevole investimento iniziale** ed inoltre una flessibilità limitata in relazione alla **variabilità delle rocce**
- Le macchine TBM sono idonee per lo scavo di rocce di **resistenza medio-alta** (50–300 N/mm²) e **non abrasive**
- Si possono scavare **solo sezioni circolari**
- Lo scavo non comporta eccessivi disturbi della stabilità dell'ammasso roccioso e permette **profili precisi**
- Attualmente vengono impiegate macchine TBM con diametri variabili da ca. 2,5 a 12 m e oltre

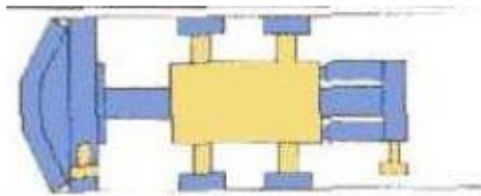


TBM aberta Robbins



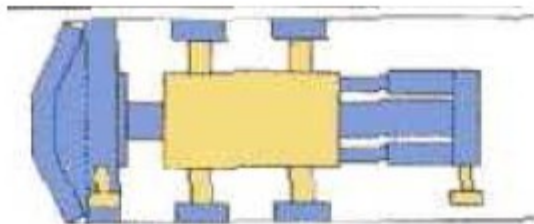
TBM: fasi del ciclo di fresatura

2



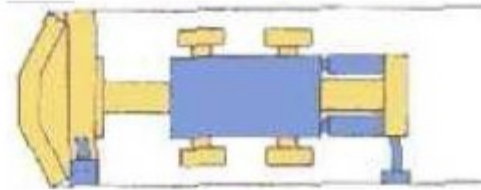
Termina il ciclo di scavo:
cilindri di spinta a fine corsa

1



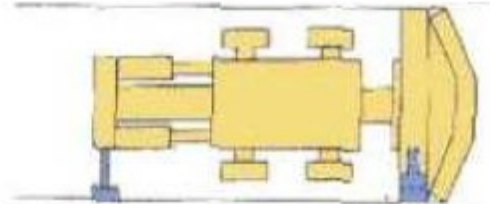
Inizio del ciclo di fresatura: TBM
grippata e supporti frontale e posteriore
retratti

3



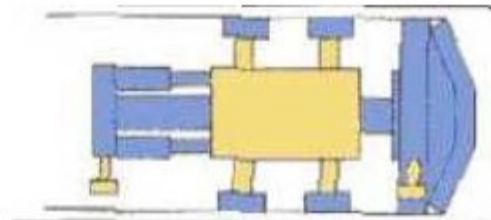
Fase di avanzamento corpo trave:
retrazione grippaggi ed appoggio TBM
sul supporto posteriore e frontale

4



Avanzamento corpo trave

5



Retrazione appoggi posteriore frontale e cilindri
di grippaggio in azione: la TBM è pronta per un
nuovo ciclo di scavo

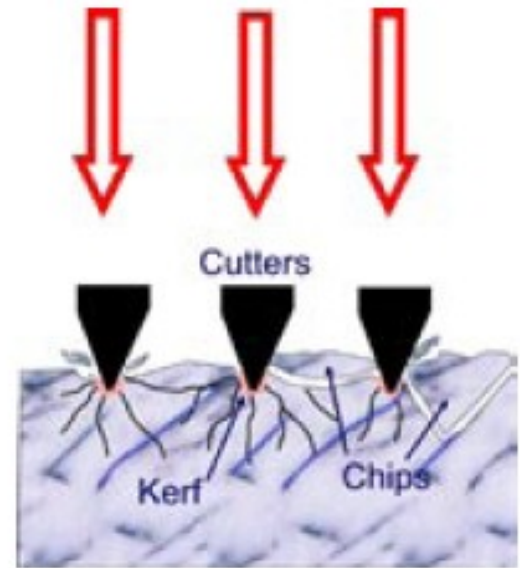
Impieghi di utensili da taglio

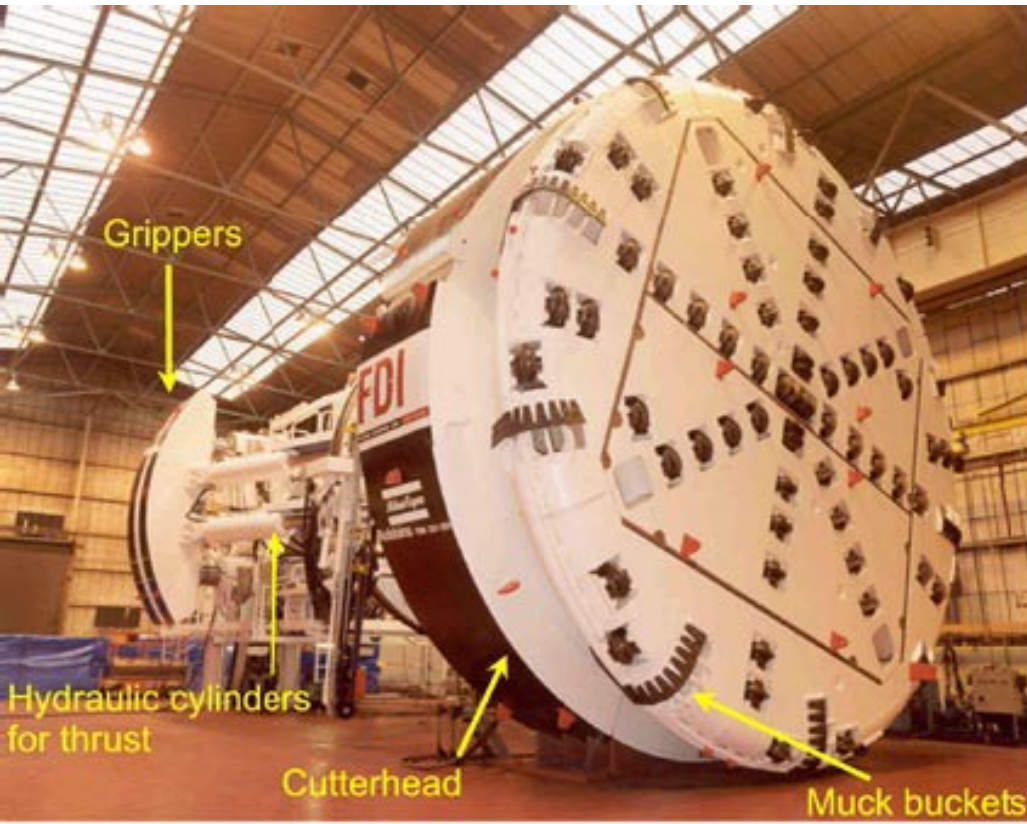
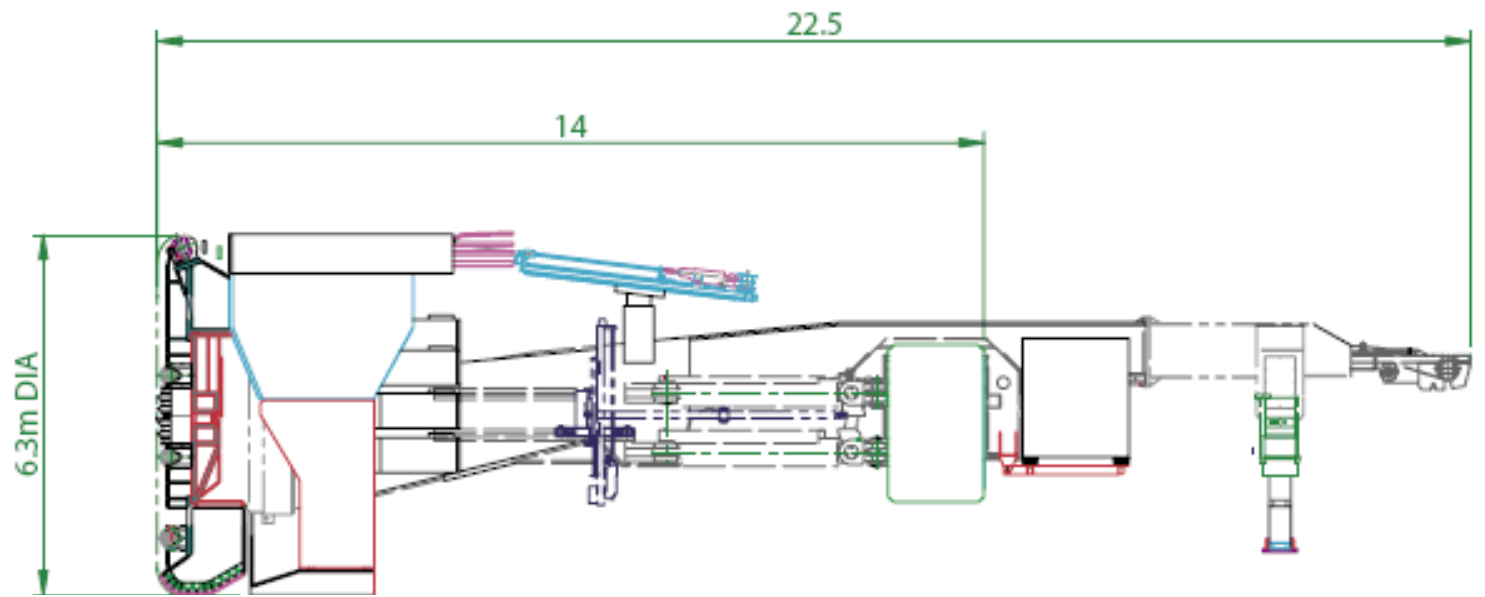


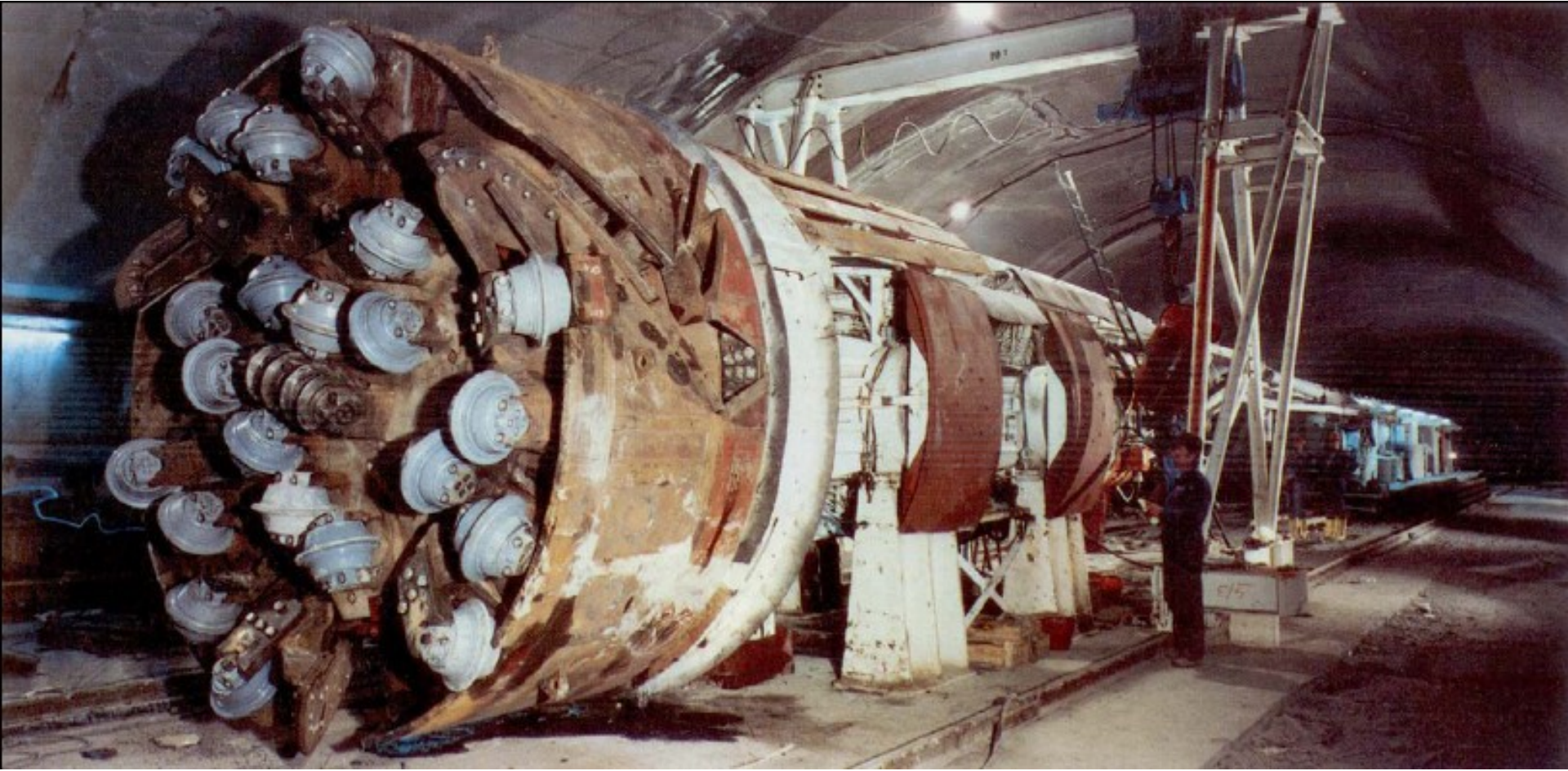
Denti al lavoro



Testa di taglio con cutters









Nell'impiego di una TBM per la realizzazione di gallerie lunghe e con elevati carichi litostatici ed in condizioni geologiche strutturalmente complesse, (es. il Tunnel di Base) diventa fondamentale l'esecuzione di prospezioni in avanzamento.

Un'accurata analisi dei rischi rappresenta un punto fondamentale del progetto.

Una TBM correttamente approntata dovrà essere equipaggiata per poter eseguire perforazioni esplorative in avanzamento al fine di poter identificare e posizionare condizioni geologiche sfavorevoli.

Seppur difficoltosa dovrebbe essere eseguita una caratterizzazione dei parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso sui fronti di scavo e delle pareti durante i tempi di fermo macchina.

Condizioni critiche e difficili in cui una TBM non può operare secondo prestazioni ottimali e dove, al contrario, potrebbe rimanere intrappolata, sono rappresentate da:

- Forti convergenze e/o instabilità delle pareti della galleria;
- Instabilità del fronte di scavo
- Attraversamento di faglie e fasce milonitizzate
- Ingenti venute d'acqua
- Ammassi rocciosi scadenti, intensamente fratturati, presenzadi intercalazioni di terreni scadenti
- Condizioni di eterogeneità degli ammassi rocciosi sul fronte d'avanzamento (mixedface conditions).
- Presenza di gas, acque ed ammassi rocciosi.

Esistono diverse tipologie di macchine TBM a seconda che siano costruite per realizzare gallerie in ammassi rocciosi duri oppure in terreni poco coesivi.

Le TBM per rocce dure possono essere aperte, a scudo singolo (SS-TBM, Single ShieldTBM) oppure doppio-scudate (DS-TBM DoubleShieldTBM).

Le macchine per terreni si differenziano da quelle per rocce dure in quanto l'avanzamento avviene con sostegno del fronte. L'azione di sostegno può essere realizzata attraverso soluzioni meccaniche, con aria compressa, con fango in pressione o con terra in pressione.

Tecnologie di scavo in terreni incoerenti

In presenza di materiali con tempi di autosostentamento molto brevi, si richiede l'impiego di sistemi di avanzamento più efficienti anche per garantire condizioni di lavoro più sicure.

Tali sistemi comprendono:

- *scudi a pressione atmosferica in terreni sciolti*: limitano i fenomeni di subsidenza, *scudi a pressione atmosferica o ad aria compressa in terreni plastici*: evitano i rigonfiamenti delle argille a contatto con l'aria ed eventuali collassi del fronte di scavo, *scudi a pressione ad aria compressa in terreni sotto battente idraulico* e *scudi a lama*.
- *spingitubi*: per la messa in opera di condutture sotterranee, evitando così d'intralciare il traffico di superficie o altre interferenze con la superficie.
- *microtunnelling*: quando la sezione ridotta delle tubazioni non consente al suo interno l'accesso degli operatori addetti ai lavori.
- *EPB - Earth Pressure Balance*: impianti di scavo meccanizzati.

Scudi

Scopo dello scudo è quello di rendere sicuro il fronte di scavo (sostentamento), permettendo altresì la rimozione del marino e la messa in opera del rivestimento. Principali vantaggi:

- la galleria viene scavata a piena sezione,
- il rivestimento finale è messo in opera evitando il prerivestimento (centine, spritz beton e bullonature),
- l'azione dei carichi (esercitati dall'ammasso) sono limitati dalla rapidità delle operazioni.

Lo scudo si compone di tre parti principali:

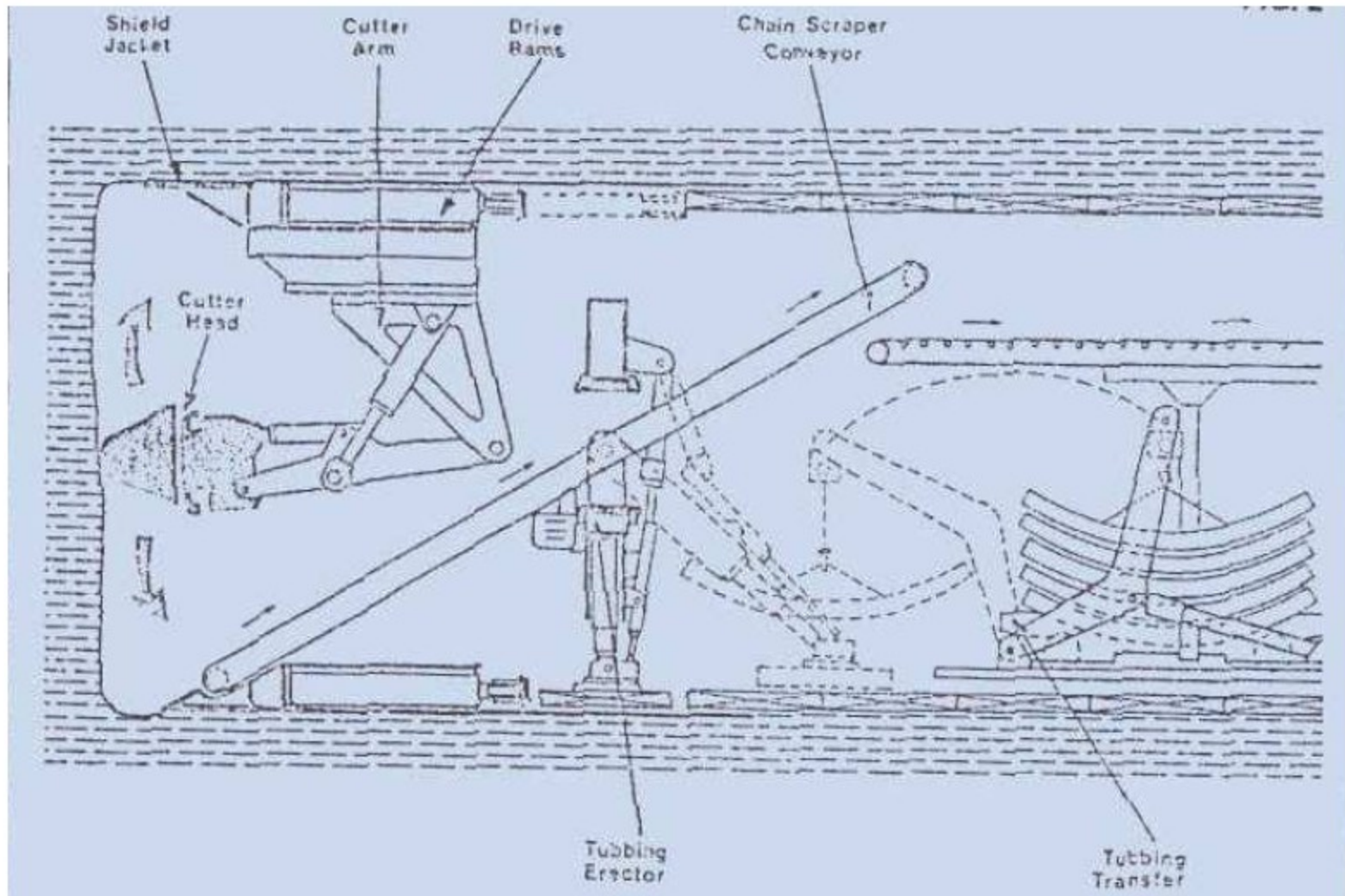
1) Il corpo è costituito da un elemento cilindrico in carpenteria metallica, dotato di un sistema idraulico per il suo avanzamento e di lunghezza standard di circa 2-3 m (dipende dal diametro della galleria),

2) La coda è la parte terminale dello scudo e permette alle maestranze la messa in opera dell'anello prefabbricato (conci) in condizioni di sicurezza (per questo motivo la sua larghezza è pari a circa 1,5 volte la larghezza del concio).

3) La visiera di taglio rappresenta la parte frontale dello scudo; è una struttura particolarmente robusta e rivestita di piastre antiusura per resistere alle forti sollecitazioni d'avanzamento.

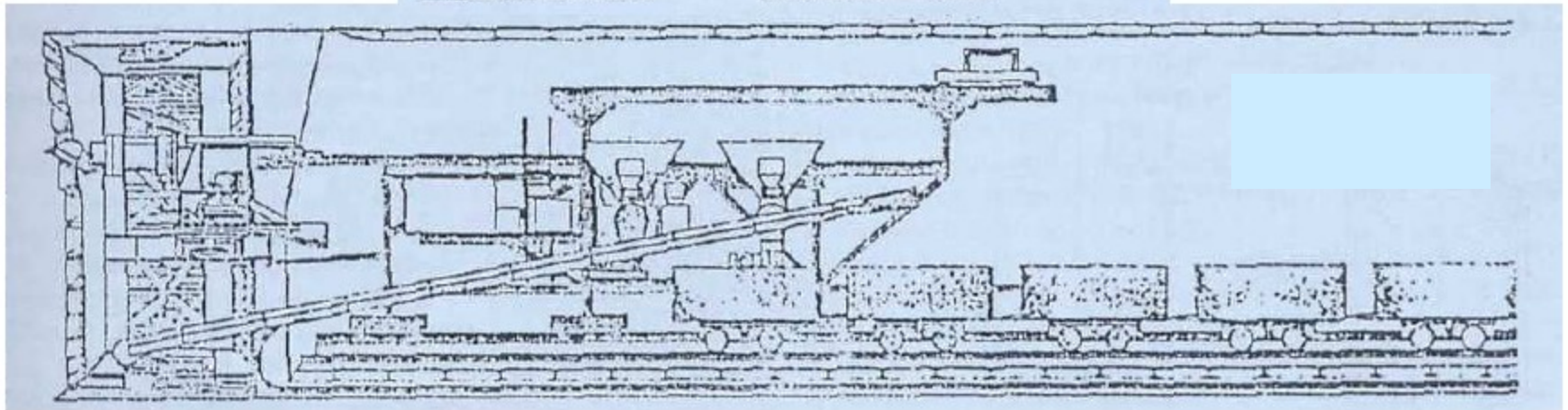
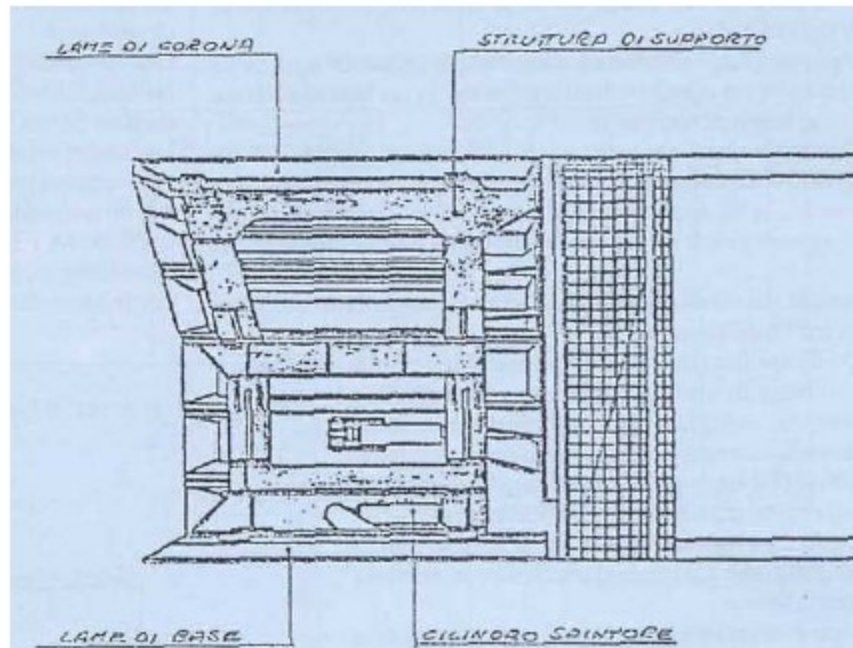
La macchina dispone di cilindri di spinta (circa 700 kN) per il suo avanzamento.

Scudo di tipo aperto a bracci fresanti



Schema di scudo a lame

Funzionamento
dello scudo a lame



Scudi ad aria compressa

Quando si lavora sotto battente idraulico è possibile turbare l'equilibrio delle falde presenti e quindi innescare fenomeni più o meno accentuati di subsidenza.

Occorre quindi mantenere all'interno dello scudo una pressione pari o maggiore di quella esercitata dal battente idraulico con un sistema ad aria compressa.

Ciò comporta l'adozione di sistemi di trattenuta quali:

- trattamento del terreno circostante al tratto scavato per limitarne la permeabilità,
- guarnizioni tra i rivestimenti.
- porte stagne che separino il fronte di scavo dalla restante parte di galleria.

Tale sistema crea non trascurabili rischi per la salute degli operatori, costretti a lavorare a pressioni superiori alle 2-3 atm; per limitare tali danni fisici, i turni di lavoro non superano mai le 3-4 ore giornaliere ed è prevista la presenza di camere iperbariche.

Scudi a lame

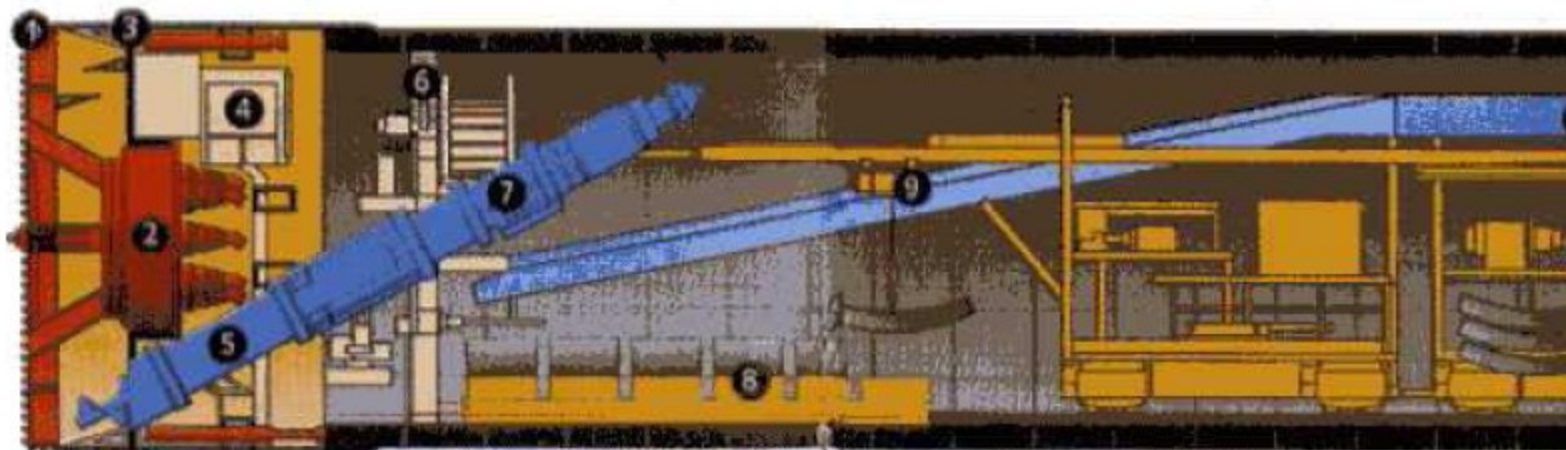
In tali sistemi il mantello dello scudo è composto anteriormente da lame che scorrono longitudinalmente per mezzo di cilindri idraulici (vedi figura 5). Quando sono state spinte tutte le lame e dopo aver scavato ed asportato il terreno per il volume corrispondente all'infissione, si fa avanzare la struttura di sostegno e contemporaneamente si ritirano tutte le lame. Il campo di applicazione di tali sistemi risulta ottimale in suoli e rocce con resistenza alla compressione sino a circa 100-120 kg/cm².

Gli scudi a lame possono essere guidati in tutte le direzioni permettendo in tal modo di eseguire scavi in curva.

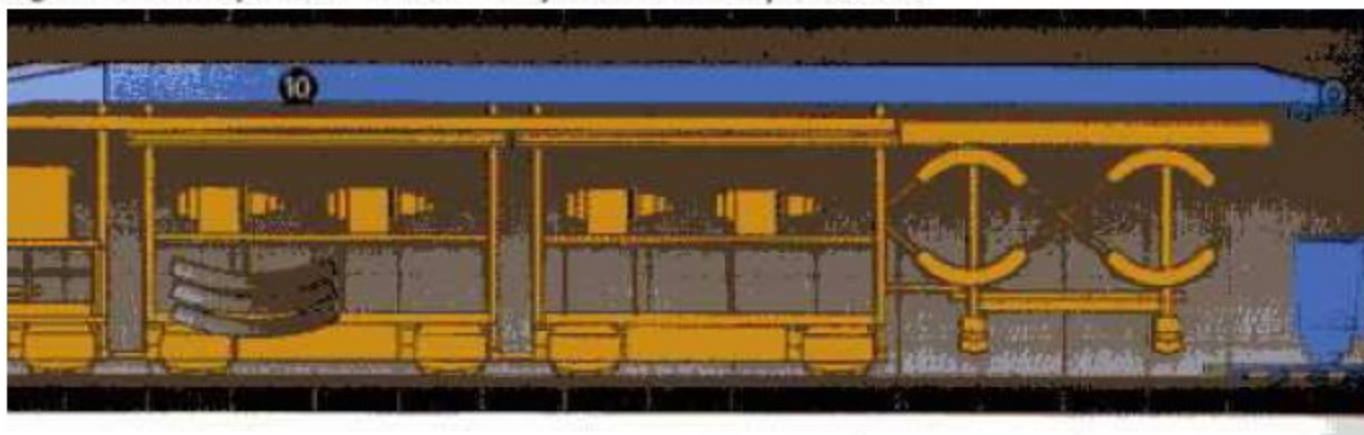
I vantaggi di tale sistema sono così riassumibili:

- non vi è la necessità di un contrasto dato dal rivestimento della galleria (non viene sollecitato dalle pressioni per l'avanzamento dello scudo ed inoltre risulta protetto dalla visiera di taglio dello scudo stesso),
- l'avanzamento parziale delle lame evita il formarsi di onde superficiali (dovute alla compressione del terreno davanti allo scudo) e ciò consente di scavare in prossimità delle fondazioni di edifici esistenti senza danneggiarle,
- la geometria può essere scelta a piacere (circolare, a ferro di cavallo, ovoidale, ecc.).

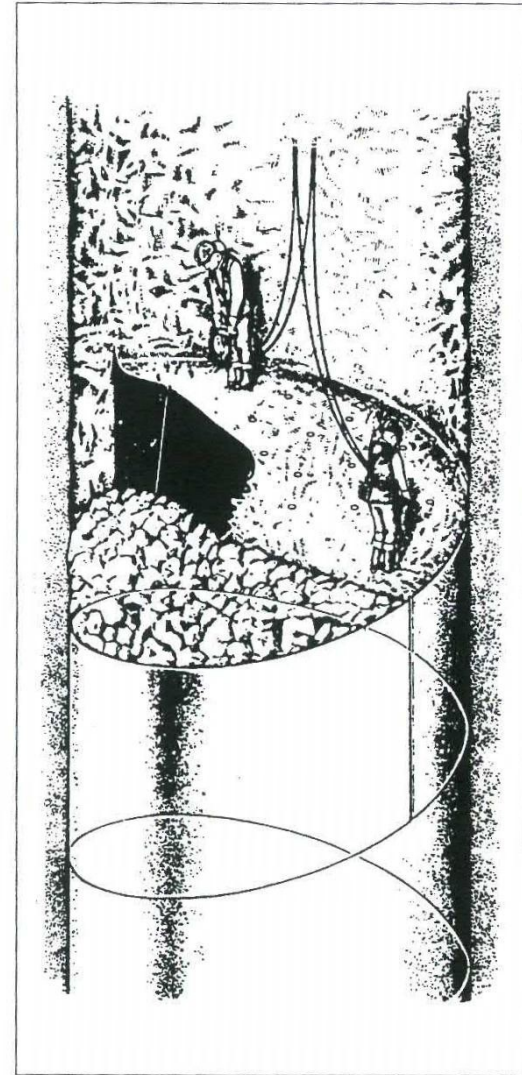
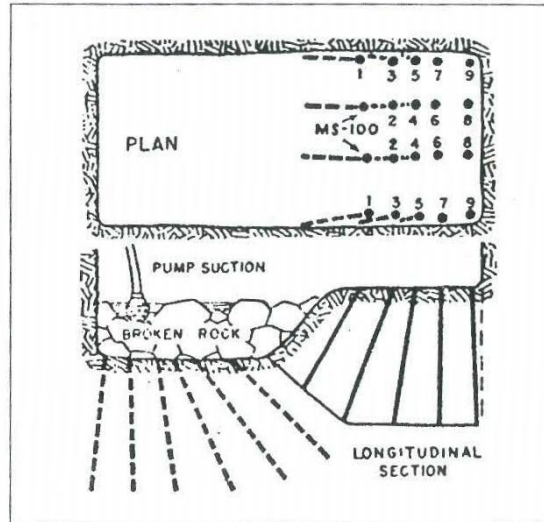
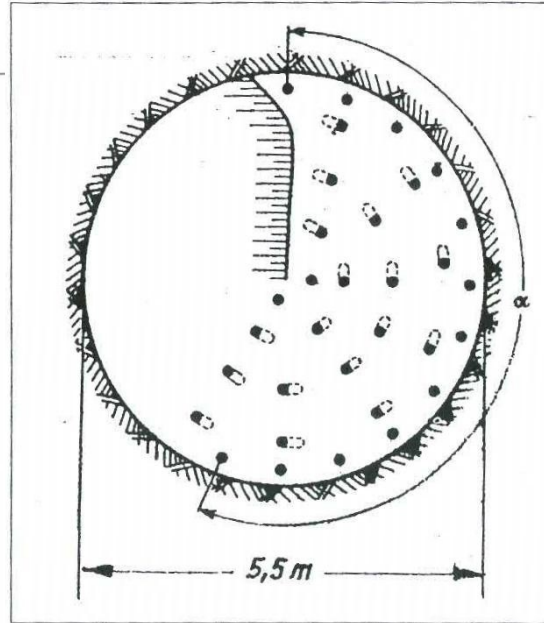
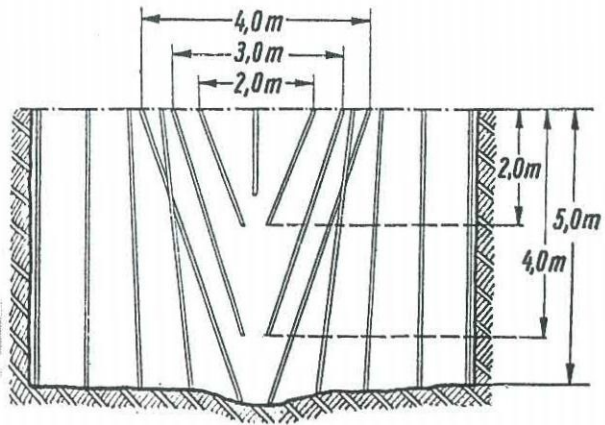
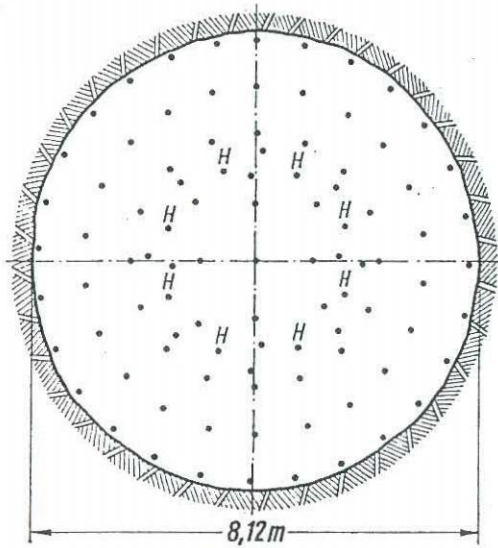
Schema di EPB

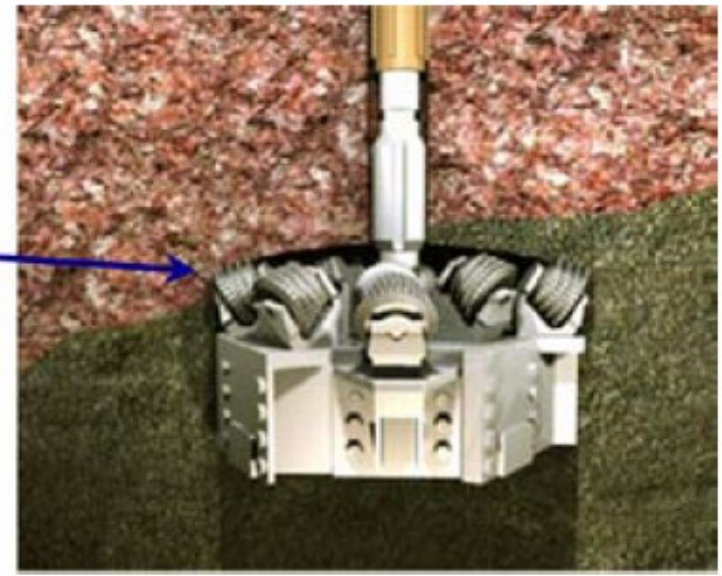
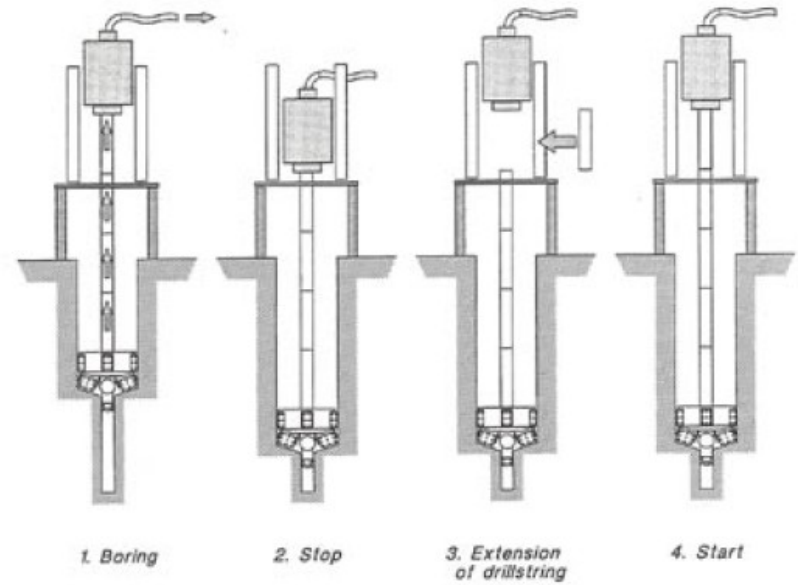
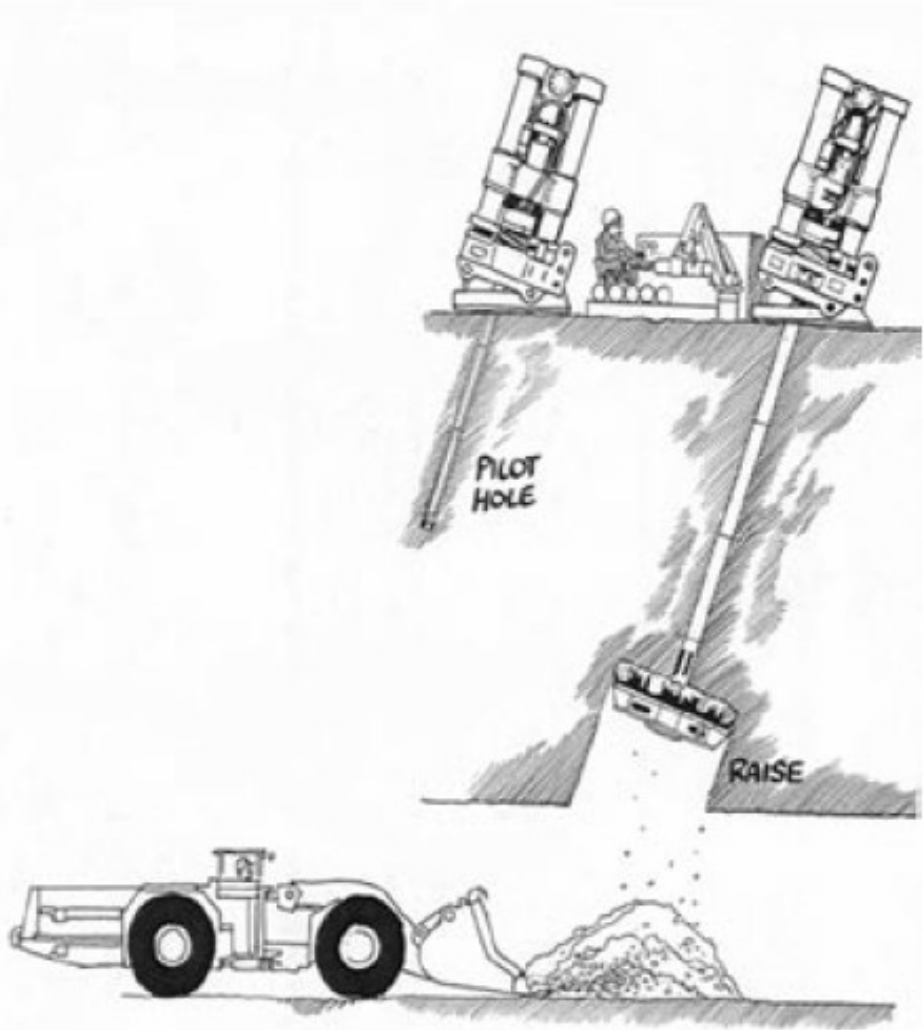


- 1) Testa di taglio - 2) Corpo motore - 3) Cilindro di spinta -
7) Scarico Coclea - 8) Posizionatore conci prefabbricati -
a - 4) Camera pressurizzata - 5) Coclea di smarino - 6) Erettore conci prefabbricati -
- 9) Argano conci prefabbricati - 10) Nastro trasportatore



POZZI





AMBITO CIVILE:

Opere Edili

***(ad es. strutture in
c.a., ponti, ecc)***

La demolizione è costituita da una successione temporale di operazioni atte al raggiungimento di un risultato voluto nel modo qualitativamente migliore ed efficace ossia, a seconda dei casi, la demolizione parziale o totale, lo smontaggio, o la decostruzione di un manufatto costruito secondo i principi della scienza e tecnica delle costruzioni.

L'intero processo di demolizione viene dedotto applicando uno schema che ha lo scopo di individuare le fasi operative e progettuali da seguire per l'esecuzione dell'intervento e definire in modo completo le loro interazioni.

Indipendentemente dalla tipologia di manufatto da demolire, i diversi livelli di progettazione di un intervento di demolizione possono essere suddivisi in tre fasi: fase pre-progettuale; fase progettuale e fase operativa.

Ancor prima di scegliere il metodo di demolizione da adottare sarà necessario CARATTERIZZARE il sito (contesto dell'intervento) e il manufatto da demolire.

L'analisi dell'ambiente esterno al manufatto deve essere rivolta principalmente alla corretta valutazione e quantificazione degli spazi che lo circondano, mettendo in evidenza eventuali vincoli architettonici o altri punti sensibili (strade, proprietà private, sottoservizi ecc..) che potrebbero essere danneggiati o disturbati dalla demolizione: tale aspetto rappresenta una delle condizioni al contorno che porteranno alla scelta del metodo di abbattimento.

Il risultato di queste prime analisi è una mappatura dei punti sensibili e una quantificazione degli spazi utili disponibili per l'allestimento del cantiere e l'esecuzione dell'intervento.

In questa fase si deve prevedere anche la raccolta sistematica di tutte le informazioni e di tutto il materiale che possa interessare il manufatto da demolire;

per strutture particolarmente datate, ove può essere difficile reperire i progetti originali, con conseguente difficoltà di ricostruzione delle condizioni statiche originarie, si dovrà prevedere una campagna di indagini conoscitiva che porti alla definizione dell'**età dello stabile**, delle **dimensioni**, delle **masse**, dei **materiali impiegati** nella costruzione, della presenza di **amianto**, degli **elementi portanti**, degli **elementi prefabbricati**, dei **tipi di armatura** utilizzati ed infine, ma non ultimo per importanza della **posizione e armatura dei corpi scala e ascensori**, in quanto sempre realizzati con criteri diversi dalle restanti parti strutturali.

Attenta analisi strutturale globale del manufatto da demolire e di tutti gli elementi che lo compongono.

La fase pre-progettuale deve portare all'acquisizione di tutte le informazioni sul sito e sul manufatto da demolire caratterizzando il contesto della demolizione per il quale andrà definito il metodo migliore da utilizzare.



Abbattimento meccanico

Abbattimento con esplosivo

La scelta dipende da una serie di fattori che interagiscono tra loro portando alla definizione del miglior metodo disponibile in funzione dei costi e dei benefici legati al caso in esame e delle tecnologie applicabili.

I più importanti parametri che interverranno nella scelta del metodo della demolizione sono:

- **i tempi di esecuzione dell'intervento;**
- **lo schema statico della struttura da demolire;**
- **i costi legati all'impiego di mezzi, attrezzature e manodopera;**
- **il contesto nel quale si inseriscono i manufatti da demolire;**
- **i disturbi prodotti dall'intervento di demolizione;**
- **la sicurezza e la tutela degli addetti ai lavori.**

Nella fase progettuale verranno individuate: le **attrezzature ed i mezzi da impiegare**, siano essi mezzi meccanici o mezzi chimici (esplosivi, malte, etc.), le operazioni di bonifica (ove necessarie), le **misure di sicurezza** e di tutela da adottare in tutte le sequenze lavorative, gli **impatti ambientali** prodotti dall'intervento ed il **piano di smaltimento/recupero dei rifiuti** prodotti.

La fase operativa consiste **nell'allestimento del cantiere e nell'esecuzione di tutte le operazioni individuate e quantificate nelle fasi precedenti**, ed ha lo scopo di portare al risultato voluto che, a seconda dei casi, può essere una demolizione totale, una demolizione parziale o un semplice smontaggio.

Alla demolizione vera e propria seguiranno tutte le operazioni di rimozione, smaltimento e recupero delle macerie.

METODI MECCANICI

Queste tecniche utilizzano per la demolizione escavatori cingolati, eventualmente di tipo “speciale” (con braccio più lungo 1 o 2 snodi), muniti di:

Martelloni demolitori,
Pinze,
Cesoie,
Frantumatori,
Polipi,
Sfere di acciaio.

montati su bracci idraulici da demolizione;

l'escavatore viene affiancato alla struttura da demolire ed inizia le operazioni di smantellamento le parti non strutturali e poi quelle strutturali ad esse collegate, mantenendo un'opportuna distanza dalle pareti perimetrali del manufatto per non essere nell'area di caduta di eventuali detriti.

L'ordine da tenersi nelle demolizione in genere è l'inverso di quello utilizzato nella costruzione dell'edificio in modo da evitare problemi di instabilità e crolli imprevisti durante la lavorazione.

METODI MECCANICI

Nel caso più semplice di un edificio multipiano a travi e pilastri l'escavatore procederà dall'alto al basso, frantumando gli elementi portanti (travi, pilastri, solette e rampe delle scale) e facendo cadere a terra le macerie risultanti.

In particolari contesti operativi, laddove non sussistano gli spazi operativi per la movimentazione dei mezzi d'opera oppure quando sia necessario preservare alcune parti strutturali di un manufatto si procede ad una vera e propria decostruzione strutturale, operando direttamente con i mezzi d'opera posti al di sopra della struttura.

METODI MECCANICI

La demolizione dei solai e delle strutture portanti verticali avviene anche mediante l'utilizzo di miniescavatori portati in quota con autogrù ed operanti direttamente sui solai della struttura, nell'eventualità preventivamente puntellati in funzione del peso dei mezzi d'opera.

In questi contesti è frequente l'uso di tecniche demolitive mediante taglio a disco o filo diamantato per la demolizione delle parti strutturali in aderenza a quelle da preservare; gli elementi sezionati vengono poi calati a terra a mezzo di attrezzature per sollevamento.

Il materiale di risulta viene allontanato a mezzo di opportuni scivoli oppure utilizzando, laddove presenti ed utilizzabili, i vani ascensore.

PINZE

re e accedere in

er che entra
tenza quando si

sec,

raffreddare l'olio

e la penetrabilità

nite aperte.

Rotazione libera

Per consentire un auto-posizionamento durante il lavoro.

Rotation libre

Afin d'autoriser un auto-positionnement en cours de travail.

RCO**

Sistema che preserva l'impianto idraulico.

*RCO***

Système protégeant le circuit hydraulique.

Twin Booster**

Sistema per l'incremento

automatizzato della forza.

*Twin Booster***

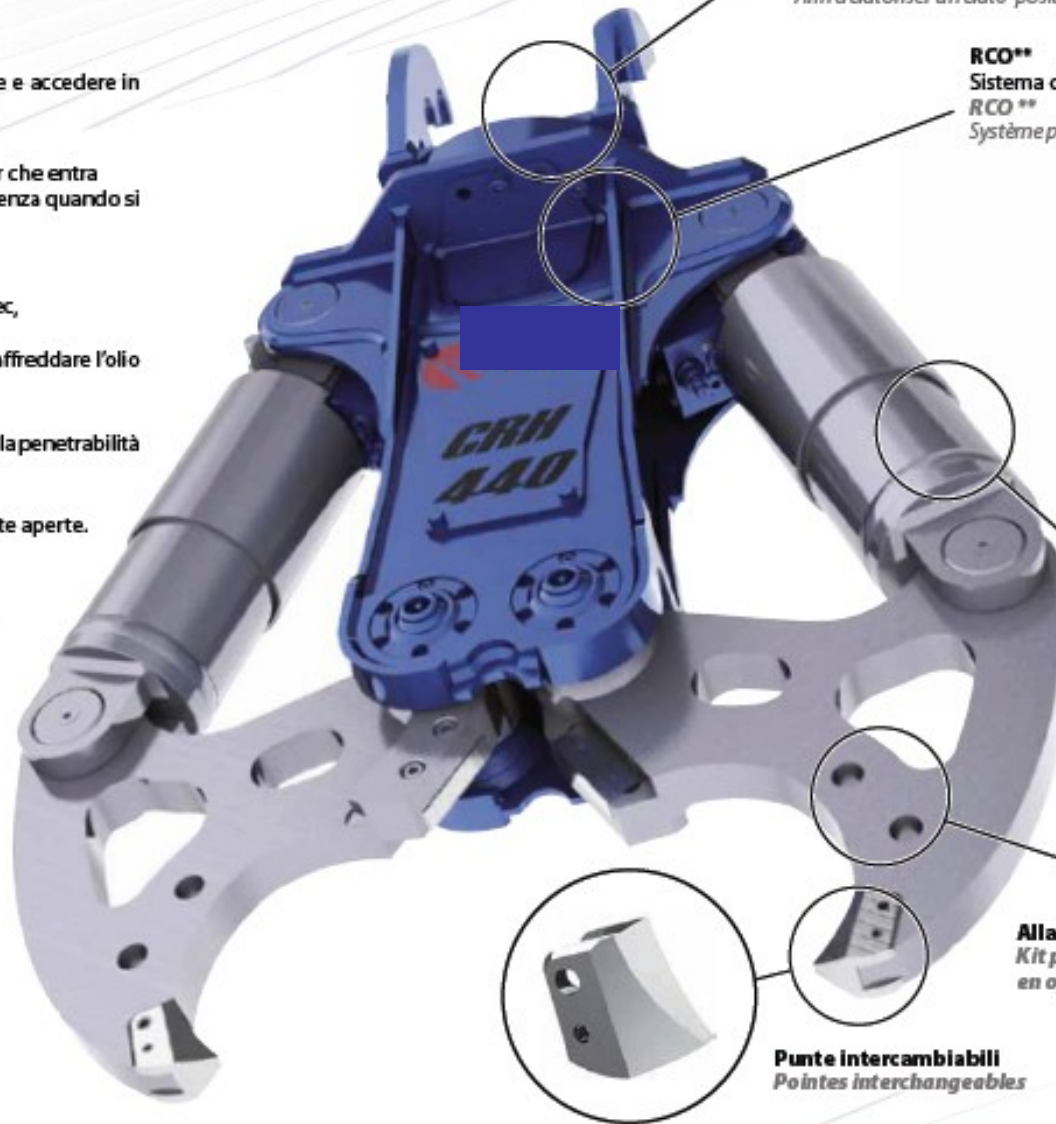
*Système pour l'augmentation
automatisée de la force de serrage.*

Allargatori opzionali

*Kit patins broyeurs
en option.*

Punte intercambiabili

Pointes interchangeables





DATI TECNICI - CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

		ROTAZIONE MECCANICA - ROTATION MÉCANIQUE						ROTAZIONE 360° IDRAULICA - ROTATION HYDRAULIQUE 360°					
MODELLO/MODÈLE		CR2*	CR5	CR15	CR20	CR26	CR35	CR15R	CR20R	CR26R	CR35R	CR80R	CR100R
Peso escavatore <i>Poids du porteur (pelle)</i>	t	2-4	5-14	14-18	18-24	24-35	35-50	14-18	18-24	24-35	35-50	70-90	90-130
Peso attrezzatura** <i>Poids de l'outil**</i>	Kg	240	530	1320	1860	2700	4000	1450	2040	2850	4400	8250	11000
Apertura <i>Ouverture</i>	mm	360	450	700	920	1000	1280	700	920	1000	1280	1750	2000

FRANTUMATORI

Il Frantumatore fisso MCP300 e MCP480 è l'attrezzatura ideale per la demolizione secondaria ovvero, l'opera di riduzione e frammentazione del materiale precedentemente demolito per facilitarne lo smaltimento ed il riciclaggio, separando il ferro di armatura dal calcestruzzo.

Grande potenza

I frantumatori mini MCP sono di piccole dimensioni, ma dotati di grandissima potenza.

Alta produttività

il design della bocca e la conformazione del corpo permettono un'alta produttività.



Ottima precisione

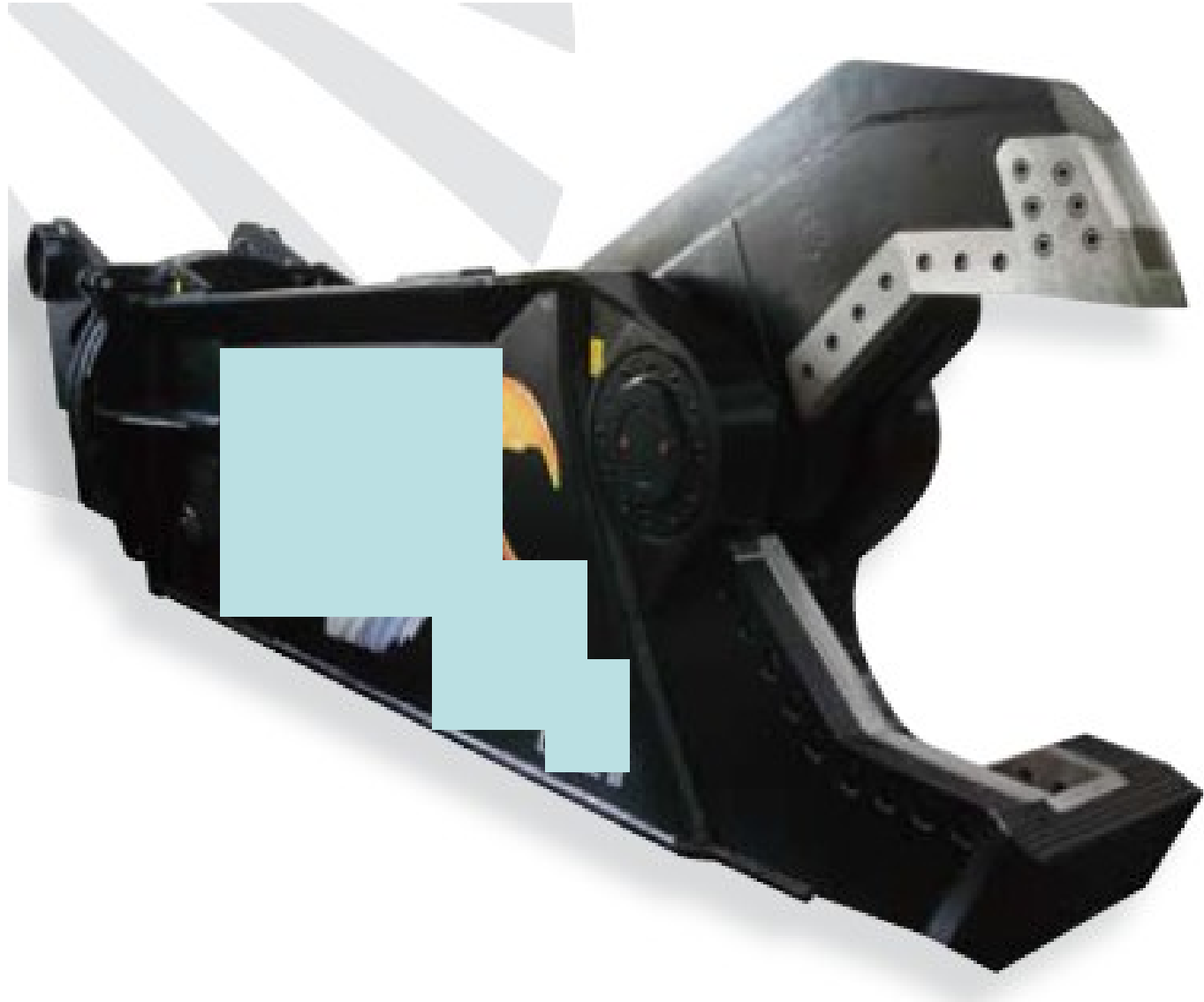
Il profilo della bocca è studiato per ottimizzare la demolizione secondaria e garantire grande precisione anche nella separazione del materiale.



	Peso Escavatore [t]	Peso Attrezzatura [Kg]	Pressione di esercizio cilindri [bar]	Portata olio cilindri [l/min]	Apertura tra le punte (A) [mm]
MCP300	1,5 - 4	150	250	40	300
MCP480	4 - 10	490	280	80 - 100	480

Il peso dell'attrezzatura è comprensivo di attacco standard Mantovanibenne.

CESOIE



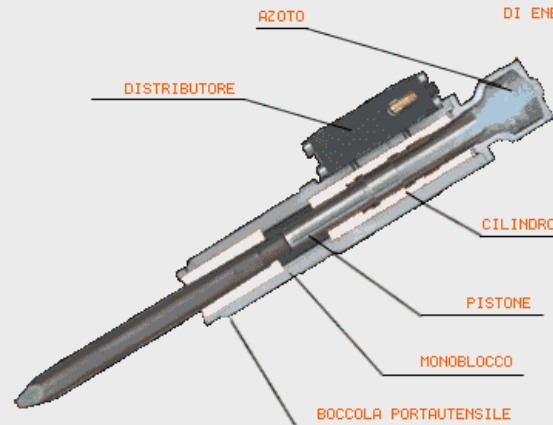
CESOIE



DATI TECNICI - CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

		ROTAZIONE 360° IDRAULICA - ROTATION HYDRAULIQUE 360°									SENZA ROTAZIONE - SANS ROTATION					
MODELLO/MODÈLE		SH25R	SH50R	SH100R	SH180R	SH310R	SH410R	SH550R	SH700R	SH900R	SH180	SH310	SH410	SH550	SH700	SH900
Peso escavatore SH posto benna <i>Poids du porteur (pelle) avec SH en bout de balancier</i>	t	4-5	5,5-6,5	9-17	18-27	28-37	38-50	51-65	66-90	91-110	15-27	25-37	35-50	45-60	55-80	80-110
Peso escavatore SH posto braccio <i>Poids du porteur (pelle) avec SH en bout de flèche</i>	t	2-3	3,5-4,5	7-10	13-20	20-28	26-38	38-45	45-60	60-80	9-20	15-28	22-38	28-45	36-60	60-80
Peso attrezzatura* <i>Poids de l'outil*</i>	Kg	380	650	1100	2100	3300	4700	5750	7700	10100	1700	2900	4000	5000	6500	8500
Apertura <i>Ouverture</i>	mm	195	240	350	445	565	670	760	830	965	445	565	670	760	830	965

MARTELLI DEMOLITORI



CORPO MONOBLOCCO
SENZA TIRANTI
CON RECUPERO
DI ENERGIA AD AZOTO

TUTTI I MODELLI SONO
DISPONIBILI CON PIASTRA
PER FISSAGGIO ATTACCO
RAPIDO.



TUBAZIONI PROTETTE
DALLA STRUTTURA
DELLA CARCASSA



MODELLO	S65	S85	S130	S170	S230	S330	S400	S550	S800
PESO OPERATIVO Kg.	65	85	130	170	230	330	400	550	800
PORTATA OLIO Lt/min.	10/ 25	20/ 28	27/ 35	30/ 45	35/ 55	45/ 70	60/ 100	65/ 110	80/ 135
PRESSIONE RICHIESTA Bar	70/ 80	75/ 90	90/ 110	125/ 135	130/ 150	135/ 160	120/ 130	120/ 135	120/ 140
COLPI AL MINUTO Colpi/min.	625/ 1250	750/ 1000	700/ 950	650/ 900	600/ 850	600/ 900	550/ 850	450/ 750	400/ 700
ENERGIA DEL COLPO Joule	155	285	360	420	640	820	1040	1450	1800
DIAMETRO PUNTA Mm.	40	45	48	57	65	75	80	90	95
CONTROPRES- SIONE MAX, Bar	20	25	25	20	25	20	20	20	20
PESO ESCAVATORE Ton.	0,7/ 1,2	1,2/ 1,8	1,8/ 2,8	2,8/ 4,5	4/ 5	4,5/ 7	7/ 10	10/ 12	12/ 16
TERNE Ton.	--	2/ 3	3/ 4	3/ 4	6/ 7	7/ 8	8/ 11	--	--

POLIFI

MPOS - PH



PALA PIENA "C"



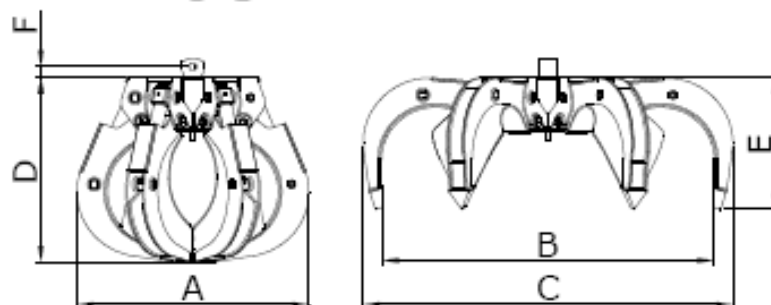
PALA MEDIA "M"



PALA STRETTA "S"

MPOS - PH

	
MAX-BAR	L/min
300	130-100



MODELLO MODEL MODÈLE MODELL	CAPACITA' CAPACITY CAPACITÉ INHALT	PESO WEIGHT POIDS GEWICHT		DENTI TEETH DENTS ZÄHNE	DIMENSIONI (mm) SIZES (mm) DIMENSIONS (mm) ABMESSUNGEN (mm)						MACCHINA MACHINE MACHINE MASCHINE
		kg	kg S		A	B	C	D	E	F	
MPOS 350/4 PH	350	540	500	4	1260	1740	1930	1000	760	70	12-14
MPOS 350/5 PH	350	600	560	5	1260	1740	1930	1000	760	70	12-14
MPOS 350/6 PH	350	660	620	6	1260	1740	1930	1000	760	70	12-14
MPOS 450/4 PH	450	580	530	4	1280	1840	2050	1050	770	70	14-18
MPOS 450/5 PH	450	670	620	5	1280	1840	2050	1050	770	70	14-18
MPOS 450/6 PH	450	740	690	6	1280	1840	2050	1050	770	70	14-18
MPOS 550/4 PH	550	620	550	4	1360	1940	2170	1110	790	70	18-22
MPOS 550/5 PH	550	720	650	5	1360	1940	2170	1110	790	70	18-22
MPOS 550/6 PH	550	810	740	6	1360	1940	2170	1110	790	70	18-22

ESCAVATORI SPECIALI





CAROTAGGI



SEGA A DISCO



3.7 Procedura per le opere di demolizione



(vedi figura 2)

Figura 2 - Disco circolare della sega diamantata

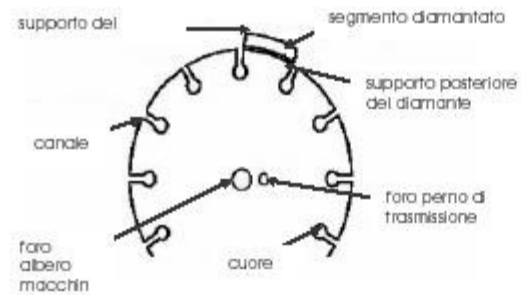
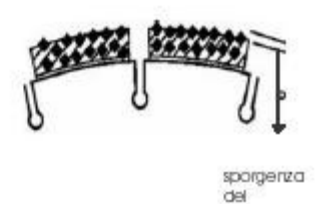


Figura 3 - Particolare dei segmenti diamantati



FILO DIAMANTATO



ESPLOSIVO

PROCEDURA DI RILASCIO CONGRUITA QUANTITATIVI MATERIALI ESPLODENTI (Art. 57 T.U.L.L.P.S.) PER L'IMPIEGO NELLE ATTIVITÀ NON ESTRATTIVE

L'utente presenta istanza di **autorizzazione all'uso** di materiale esplodente (**sparo mine**) all'Autorità locale di PS (Questura, Commissariato, Comune se le funzioni di PS sono svolte dal Comune stesso). Qualora la richiesta di autorizzazione all'uso sia contestuale a quella per l'acquisto, l'autorità di PS (Questura, Commissariato, Comune) rilascia le autorizzazioni, previo parere di congruità sui quantitativi espresso dalla ASL.

L'utente inoltra contestualmente le seguenti **istanze**:

al Comune (Comune dove territorialmente è ubicato il sito lavorativo), l'invio di certificazione dell'avvenuta autorizzazione ai lavori con indicati i termini di scadenza.

all'ASL il rilascio della attestazione di congruità dei materiali esplodenti necessari allegando un progetto e un elenco addetti esplosivo (artt. 317- 305 DPR 128/59) che deve essere sottoscritto dal Direttore dei lavori dal Legale Rappresentante e, per accettazione dell'incarico, dal Fochino.

all'Autorità di PS (Questura o Commissariato a seconda dell'ubicazione della cava) il rilascio dell'Autorizzazione all'acquisto dei materiali esplodenti.

La ASL :

formula il parere di congruità dalla richiesta dell'Utente, previa :
verifica d'ufficio dei quantitativi richiesti dalla Ditta e se necessario tramite sopralluogo conoscitivo da parte dei tecnici della U.O.I.M. nella cava stessa. Nel caso di abbattimenti di tipo civile, vista la loro specificità, è sempre richiesta una relazione di progetto (che nel caso di cave viene richiesta espressamente in caso di operazioni ripetitive o per volate di particolare entità e importanza)

Il parere di congruità, corredato dell'elenco addetti utilizzo esplosivo presentato dalla ditta, viene trasmessa a :

- all'Autorità di PS (Questura o Commissariato a seconda dell'ubicazione della cava) che rilascia l'autorizzazione all'acquisto di materiale esplosivo al richiedente e lo trasmette, per conoscenza, alla Prefettura nel cui territorio di competenza ricade la cava.
- alla Prefettura nel cui territorio di competenza ricade la cava, per i successivi N.O. ed Autorizzazioni al trasporto dell'esplosivo (Il nullaosta al trasporto di materiale esplodente è rilasciato dalla Prefettura/e interessata/e dal transito dell'esplosivo, su istanza del fornitore, o dell'utilizzatore qualora disponga di mezzi idonei, ai sensi di legge, per il trasporto di materiale esplodente).
- alla Ditta richiedente, la quale la consegnerà al fornitore che potrà richiedere alla Prefettura il Nulla Osta al trasporto.

Le demolizioni con esplosivo sono il metodo di demolizione non convenzionale più utilizzato.

Nella demolizione con esplosivo si produce l'indebolimento della struttura, modificandone lo schema statico, mediante la detonazione di cariche di materiale esplodente collocate in punti strategici della struttura; il cedimento o l'abolizione di alcuni degli elementi portanti, crea un cinematismo che evolve in crollo per azione della forza peso.

Le procedure e le tecniche di demolizione con esplosivo dipendono da diversi fattori; tra i più discriminanti si citano il tipo di manufatto, la sua altezza, le sue caratteristiche geometriche ed il contesto in cui si inserisce.

Nel caso più semplice di edifici con naturale sviluppo verticale, il compito dell'esplosivo è quello di "mettere a terra" l'edificio, provocandone il crollo, agendo sulla base di appoggio.

Per esempio, nel caso di una costruzione realizzata con elementi che non resistono a trazione, basterà eliminare una parte della sezione resistente basale abbastanza estesa da far sì che la proiezione verticale del baricentro della struttura cada fuori dall'area di nocciolo di detta sezione, ed abbastanza alta da garantire che l'instabilità sussista anche dopo che l'intaglio si è richiuso, affinché l'azione della gravità completi l'abbattimento.

Se sono presenti elementi capaci di resistere a trazione, la riduzione della sezione resistente dovrà assicurare che questi o cadano a trazione o, caso più comune, che passino dalla funzione di incastro alla funzione di cerniera per disgregazione del calcestruzzo tra i ferri ad opera di cariche esplosive o del sovraccarico indotto dalla riduzione della sezione resistente. In qualche caso si ricorre anche, previa verifica statica, al taglio meccanico di indebolimento di parte dei ferri, per maggior sicurezza di effetto, o all'asportazione meccanica (senza esplosivo) di elementi "non portanti" o comunque di marginale importanza ai fini della stabilità.

Formula speditiva
per buckling ferri

$$h[m] = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{EJ}{P}}$$

dove:

E [kg/m²]

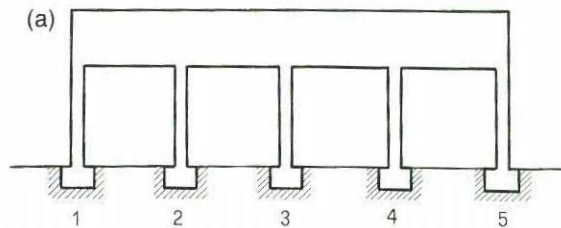
J [m⁴]

P [Kg]

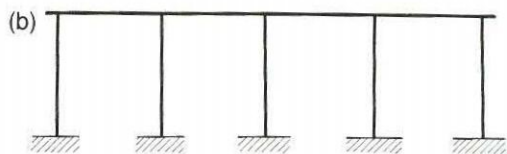
modulo elastico del tondino

momento di inerzia del tondino (J = 0,491 d⁴ con d diametro tondino)

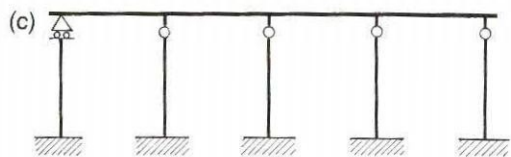
carico gravante sul singolo tondino



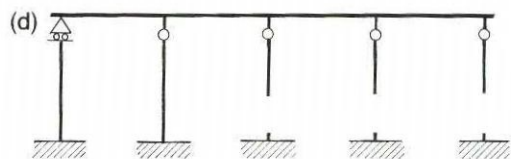
(a) Telaio equivalente



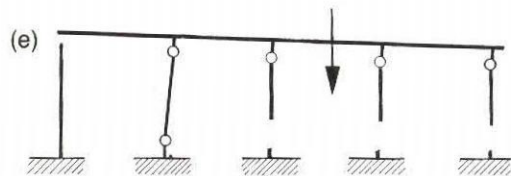
(b) Schema strutturale del telaio equivalente



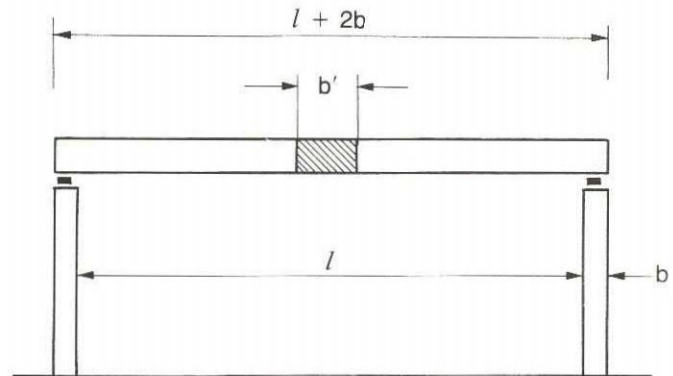
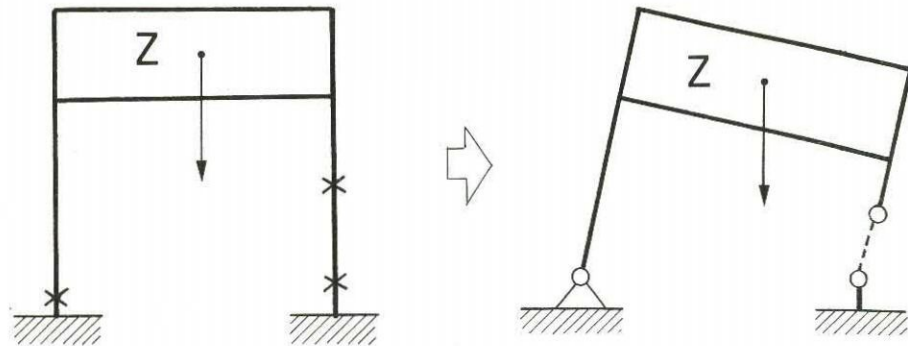
(c) Telaio equivalente indebolito con mezzi meccanici e termici



(d) Telaio equivalente reso labile con piccole cariche esplosive



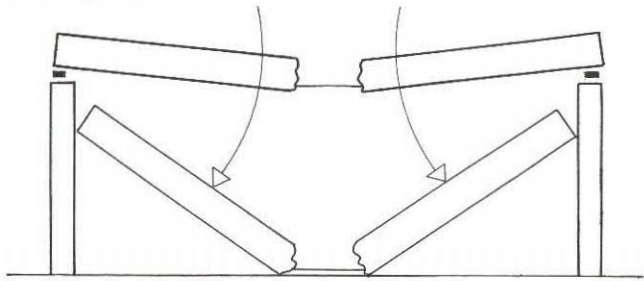
(e) Telaio equivalente in fase di disarticolazione per il peso della struttura.

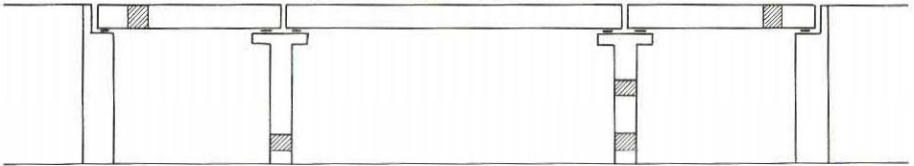


▨ carica esplosiva

Fig. VIII.4 *Trave appoggiata e posizione consigliata della carica esplosiva per effettuarne il taglio.*

Fig. VIII.5 *Cinematismo della caduta di una trave appoggiata che sia stata tagliata in mezz'era.*





▨ carica esplosiva

Fig. VIII.8 Ponte a 3 campate di travi appoggiate e posizione consigliata delle cariche esplosive per la loro disarticolazione.

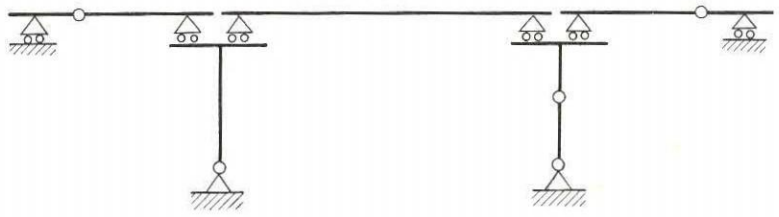
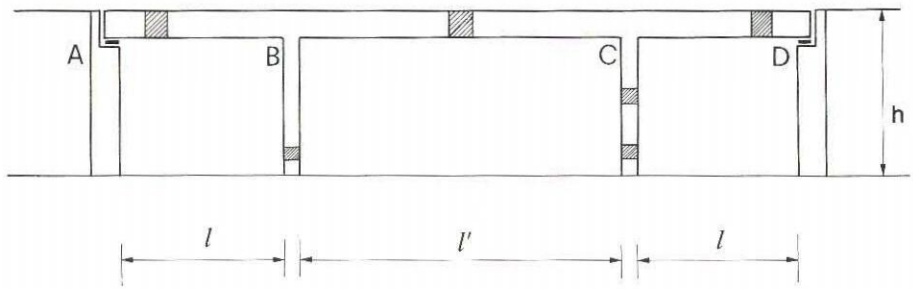


Fig. VIII.9 Sistema vincolare della struttura schematizzata in Fig. VIII.8 disarticolazione avvenuta.



▨ carica esplosiva

Fig. VIII.6 Trave continua e posizione consigliata delle cariche esplosive per effettuarne la disarticolazione.

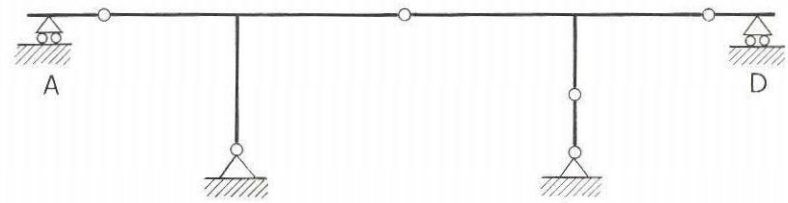
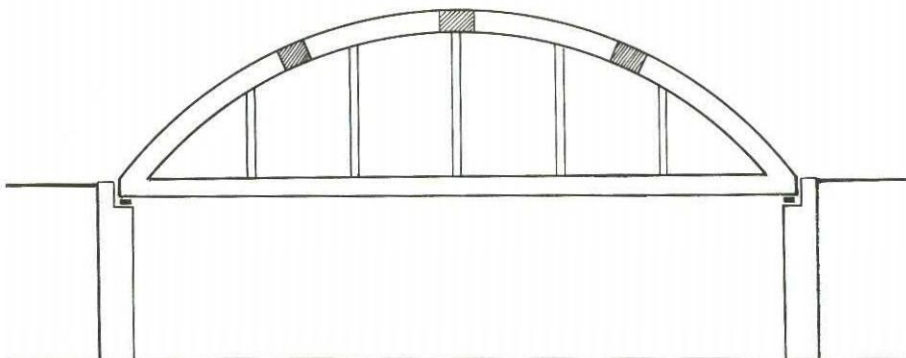


Fig. VIII.7 Sistema vincolare di una trave continua disarticolata per mezzo di cariche esplosive.



▨ carica esplosiva

Fig. VIII.10 *Ponte ad arco con spinta eliminata e posizione consigliata delle cariche esplosive per la sua demolizione.*

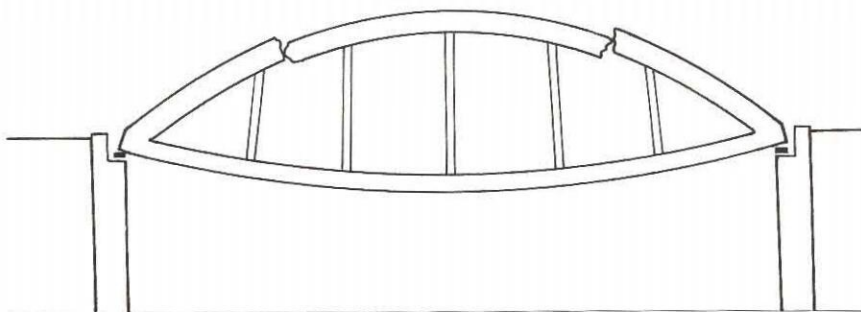
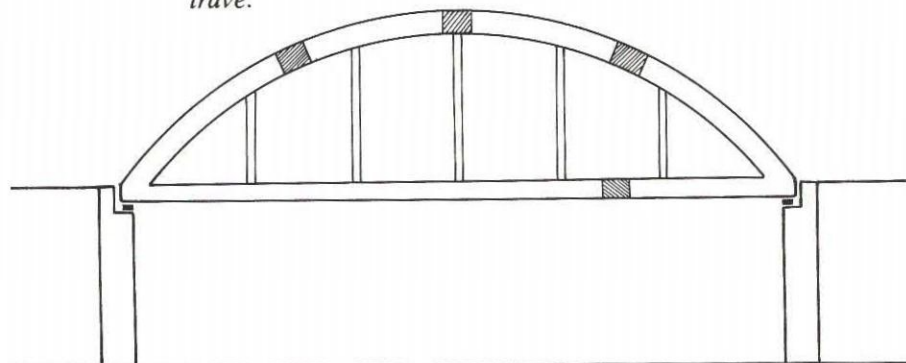
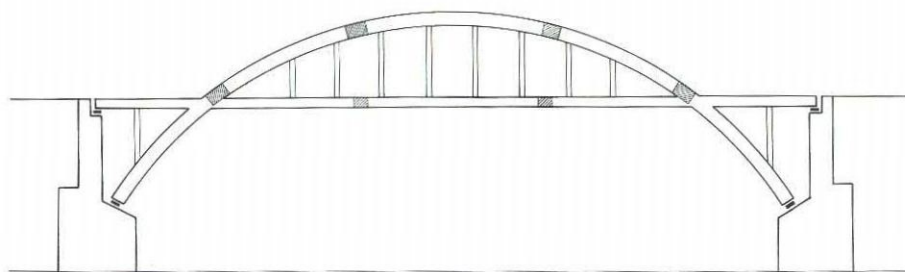


Fig. VIII.11 *Ponte ad arco ancora in equilibrio a causa della simmetria punti di taglio.*

Fig. VIII.12 *Ponte ad arco con punti di taglio previsti sia sull'arco che s trave.*



▨ carica esplosiva

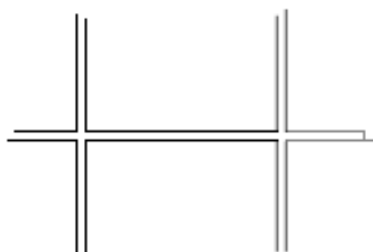


▨ carica esplosiva

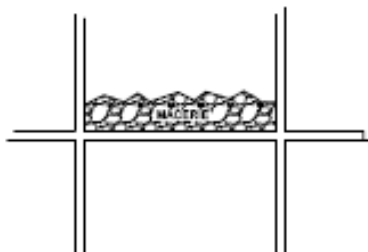
Fig. VIII.13 *Ponte ad arcotrave e posizione consigliata delle cariche esplosive per la sua demolizione.*

SITUAZIONE REALE

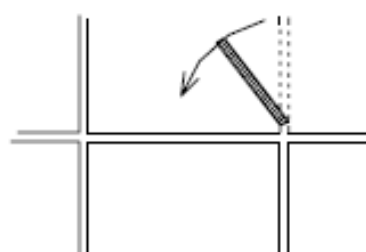
Solaio soggetto al peso proprio



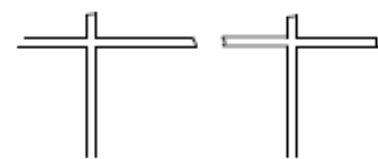
Solaio soggetto al peso proprio e a quello delle macerie derivanti dalla demolizione del solaio superiore



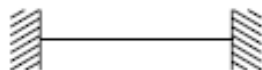
Solaio soggetto al peso proprio caricato sollecitato dal crollo di un setto



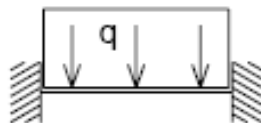
Solaio soggetto al peso proprio nelle prime fasi di demolizione con asportazione di una sezione in mezzzeria

SCHEMA STATICO
CORRISPONDENTE

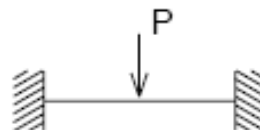
Trave a doppio incastro



Trave a doppio incastro con carico uniforme distribuito



Trave a doppio incastro con carico puntuale maggiorato

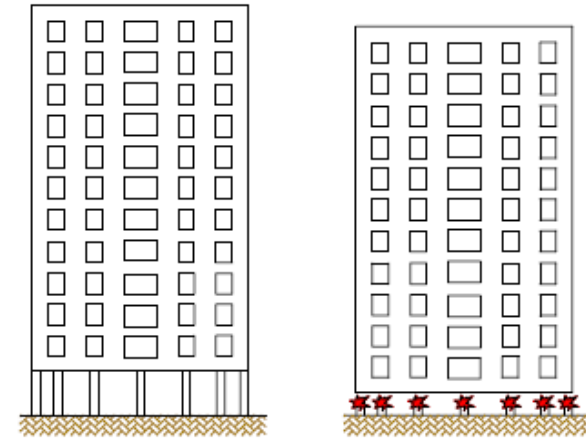


Trave a mensola

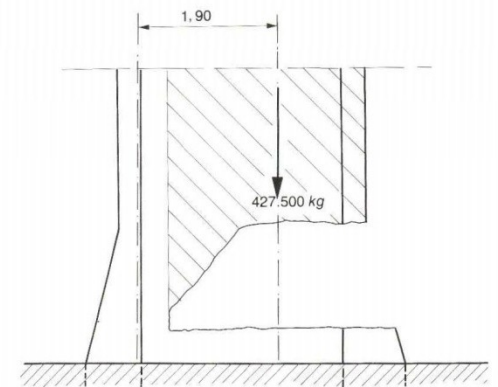
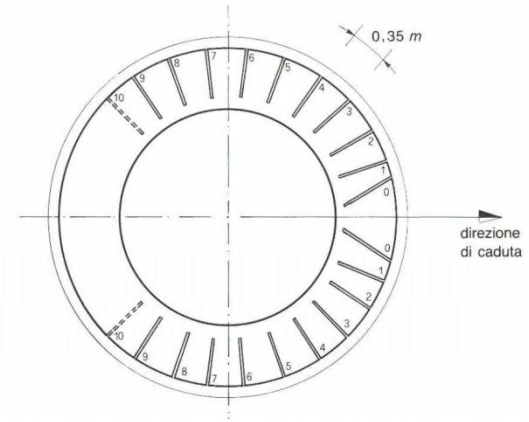
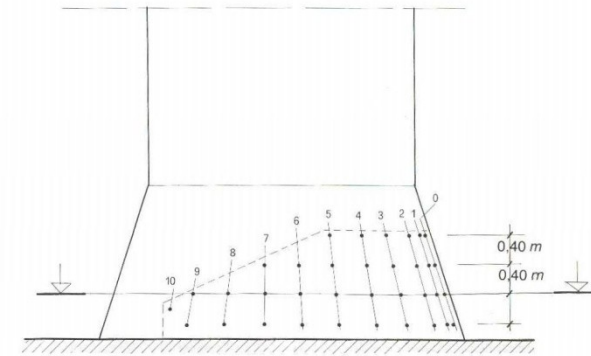
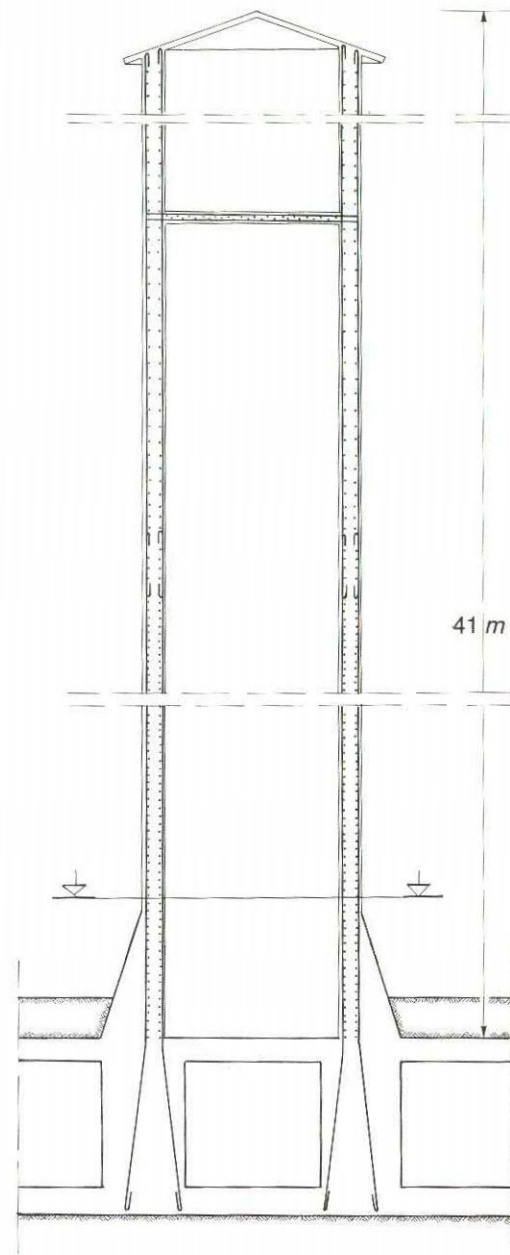
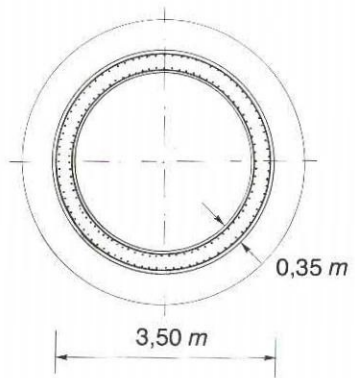


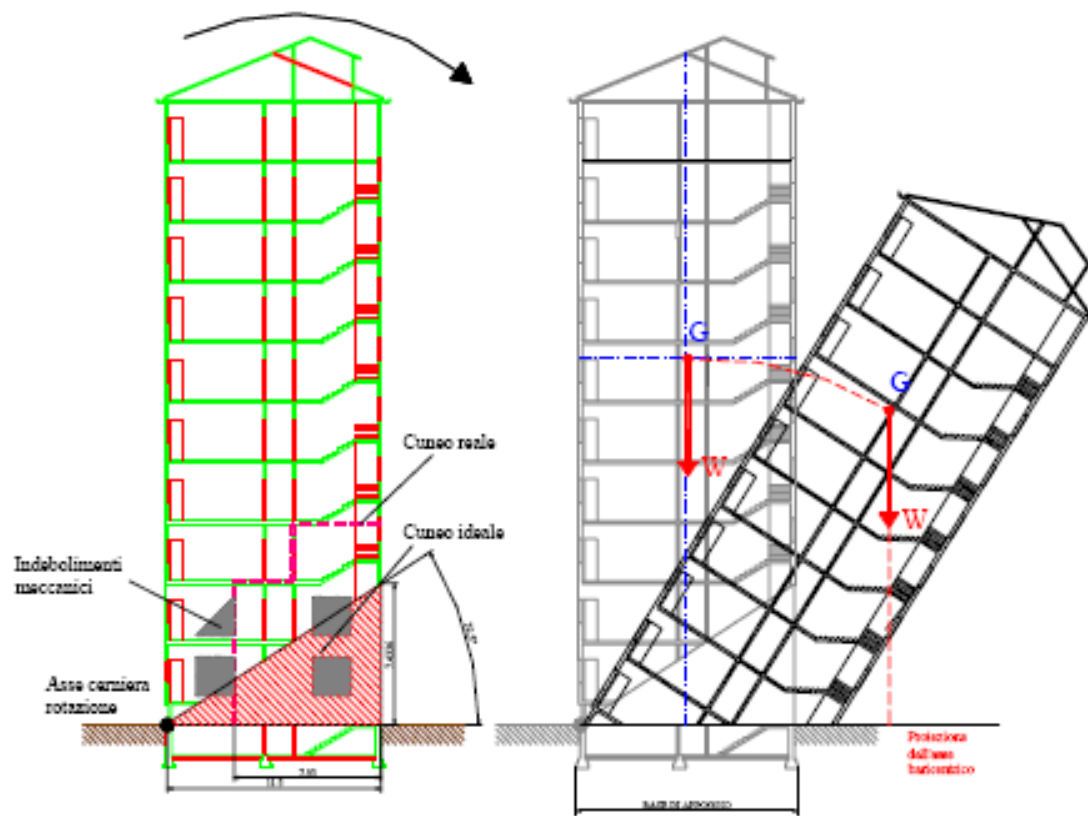
In ogni caso, la parte della costruzione effettivamente distrutta dalle cariche esplosive è solo una piccola frazione del totale, e il grosso dell'azione di disgregazione è fornito dall'energia gravitazionale della costruzione, ossia dalla caduta. L'edificio deve quindi acquisire una certa velocità di caduta, e a questo riguardo si distinguono schematicamente tre casi:

- Ribaltamento o caduta laterale
- Caduta verticale, con o senza "accorciamenti".
- Implosione



- Ribaltamento o caduta laterale (con o senza “accorciamenti”). E' la soluzione più comune, almeno per costruzioni snelle, e consiste nel provocare la rotazione dell'edificio (integro, o intagliato a diverse altezze, simultaneamente o quasi all'intaglio di base, da tagli di accorciamento) rispetto ad un'ideale cerniera materializzata dalla parte risparmiata della sezione di base. In questo caso l'edificio impatta su un letto di caduta o direttamente sul suolo con una velocità notevole, trasformandosi in energia cinetica la quasi totalità dell'originaria energia gravitazionale, e subisce nell'impatto sollecitazioni dinamiche che lo disintegrano completamente. I tagli di accorciamento hanno la funzione di ridurre, ove necessario, la lunghezza del cumulo di macerie.





- Caduta verticale, con o senza “accorciamenti”. In questo caso si abolisce completamente, per una certa altezza, la sezione resistente di base, e l’edificio cade verticalmente (integro o intagliato a diverse altezze dai tagli di accorciamento), acquisendo al momento dell’impatto una velocità dipendente dall’altezza del taglio di base. Questa altezza di caduta deve essere sufficiente a determinare sollecitazioni dinamiche idonee a disgregare la struttura nella parte venuta in contatto col substrato (terreno di fondazione). Gli impatti successivi delle parti soprastanti non avviene più contro il substrato ma contro le macerie dei piani inferiori, che tendono ad attutirli. I tagli di accorciamento hanno la funzione di accrescere l’altezza di caduta libera, ravvivando il trasferimento di energia dalla originaria forma gravitazionale al lavoro di rottura man mano che il crollo procede; un’insufficiente altezza di caduta potrebbe infatti lasciare integra parte dell’edificio sul cumulo di macerie.

-Implosione: la vera e propria “implosione” implica la caduta convergente verso il centro della struttura da demolire, e può essere ottenuta abolendo totalmente per una certa altezza, come nel caso precedente, la base di appoggio, ma temporizzando le esplosioni in modo che tale effetto distruttivo avvenga con un certo anticipo nella parte centrale rispetto alle parti periferiche; lo scopo che si intende raggiungere è il contenimento completo del volume di macerie nell’area di base.

Riuscire a contenere le macerie della struttura completamente all’interno del volume di controllo dipende anche dalla percentuale di vuoti che può contenere l’edificio che sta implodendo.

La tecnica dell’implosione viene utilizzata per gli edifici che si inseriscono in aree altamente antropizzate, quando non esistono superfici ove far adagiare l’edificio senza causare danni; in questi casi si procede alla demolizione facendo restare il più possibile le macerie all’interno del volume di controllo.

PROGETTO

In particolare il progetto di una demolizione con esplosivo consisterà in una serie di elaborati e relazioni tecniche che costituiscono il progetto vero e proprio della demolizione.

In tali relazioni verranno scelte le tecniche di demolizione, il dimensionamento della volata ed il piano esecutivo dei lavori.

Nel progetto verranno previste

la cinematica del crollo,
le pressioni in aria,
le sollecitazioni sismiche causate sia dalla detonazione delle cariche, sia dall'impatto delle macerie al suolo sugli oggetti circostanti,
l'area occupata dalle macerie ad abbattimento avvenuto.

La cinematica di caduta deve essere scelta fra quelle ritenute possibili in modo da minimizzare gli effetti vibratorii dell'impatto della struttura con il suolo.

Se nelle vicinanze del manufatto da demolire si trovano altre strutture, l'intervento di demolizione dovrà lasciarle indenni, prevedendo nel progetto i possibili corridoi di caduta del manufatto e la direzione di caduta migliore.

Nel progetto dovranno essere altresì inseriti eventuali piani di protezione o evacuazione, definendo un'area di sicurezza entro la quale raccogliere tutti gli addetti ai lavori e tutte le persone presenti al momento della detonazione e del crollo dell'edificio.

Considerati i molteplici aspetti di pubblica sicurezza ed il grado di rischio connesso con le operazioni che comportano l'utilizzo di esplosivo, nella fase progettuale verranno descritte tutte le precauzioni durante il trasporto, l'impiego e il brillamento degli esplosivi, fornendo piani di lavoro dettagliati e le prescrizioni da adottare secondo le vigenti normative in materia.

Rischi per i lavoratori:

- Quelli tipici dei cantieri temporanei e mobili (operazioni preparatorie di tipo edile e operazioni successive per lo sgombero e l'abbattimento secondario) con valutazione specifica circa la stabilità del manufatto in ogni fase (o sotto-fase) del processo che prevede lo stazionamento di lavoratori.
- Rischi specifici legati al trasporto, manipolazione, caricamento e brillamento di esplosivi.

Il PROGETTO ESECUTIVO deve dunque comprendere tutti i dettagli, le verifiche puntuali sulla struttura, la definizione degli indebolimenti, gli eventuali controlli da eseguire in corso d'opera, ecc.

Si raccomanda sempre di:

Verificare la corrispondenza degli elaborati di progetto alle effettive dimensioni dell'edificio tramite un rilievo.

Individuare deterministicamente (eventualmente con il georadar) i ferri presenti nei setti in c.a.

Effettuare le prime verifiche calcolando il peso proprio e andando a vedere, dato lo svuotamento dell'edificio da tutti i carichi, quali sono le sezioni resistenti con l'edificio "a vuoto".

Come verifica calcolare l'area di influenza di ogni singola parte gravante sulle sezioni resistenti che rimangono dopo i tagli: le geometrie vengono corrette facendo in modo che ogni singola porzione rimasta sia sufficiente a sopportare le parti gravanti su di essa minimizzando le parti di cls lasciate in modo da usare meno esplosivo possibile.

Predisporre puntellature o consolidamenti temporanei nelle zone indebolite nel momento in cui si sono rimossi i pezzi di setti in cls che si sono tagliati e soprattutto tutti i fori per la dinamite vengono realizzati prima di eseguire i tagli in modo da ridurre al minimo pesi e vibrazioni sopra la struttura indebolita.

In particolare il progetto dovrebbe essere sviluppato comprendendo anche le seguenti fasi:

- Caratterizzazione del contesto socio-urbanistico entro il quale saranno eseguiti i lavori.
- Indicazione delle possibili interferenze per l'esecuzione dei lavori (presenza di forti campi elettromagnetici per antenne o linee elettriche, presenza di cavidotti, di condutture per gas o combustibili, di impianti sensibili alle vibrazioni quali strumentazioni di analisi, turbine, ecc., scarpate in condizioni di equilibrio precario, ecc.).
- Caratterizzazione sismica.
- Descrizione dei manufatti e degli impianti da salvaguardare.
- Indicazione dell'approccio che si intende seguire per la quantificazione degli effetti indotti all'intorno (formule empiriche, misure, ecc.), delle normative e dei valori limite a cui sarà fatto riferimento (ad es. per le vibrazioni indotte)

- Sistemi di protezione per il lancio di frammenti d'abbattuto.
- Sistemi di contenimento delle vibrazioni.
- Sistemi di contenimento per le polveri.
- Indicazione delle attività da seguire affinché siano garantite, in modo rigoroso, condizioni di tollerabilità e sicurezza per il personale addetto ai lavori, per i manufatti e gli impianti entro l'area dello stabilimento, per le persone ed i manufatti all'esterno.
- Piano di monitoraggio strumentale con descrizione delle caratteristiche tecniche del sistema di misura che sarà impiantato.
- Schema di brillamento della volata (piani di tiro), con disegni e tabelle di caricamento ed indicazione della successione d'innesco della cariche.
- Verifica del circuito di tiro, sia esso elettrico che non elettrico.
- Schede di dati di sicurezza degli esplosivi e dei detonatori che saranno impiegati