

Insegnamento di **Progetto di Infrastrutture viarie**

Opere in terra

*Caratteristiche di un terreno
Compressibilità e costipamento delle terre
Portanza sottofondi e fondazioni stradali
Instabilità del corpo stradale*

Gallerie

Soprastrutture

*Materiali stradali
Soprastruttura flessibili
Cenni di calcolo delle soprastrutture*

Intersezioni e Impianti stradali

*Intersezioni a raso e a livelli sfalsati
Aree di sosta*

Progetto di Infrastrutture viarie **Gallerie (1)**

Le gallerie sono utilizzate quotidianamente dalle popolazioni dei paesi più industrializzati e tale utilizzo è destinato in futuro ad aumentare con il crescere delle necessità della società moderna. Dalle gallerie ferroviarie realizzate nella seconda metà del XIX secolo, a quelle stradali che hanno contraddistinto lo sviluppo mondiale delle reti autostradali del XX secolo e, ai giorni nostri e in un prossimo futuro, alle lunghe gallerie ferroviarie sotto le Alpi che interconetteranno le nuove direttrici ferroviarie europee.

Già gli antichi Romani avevano introdotto tecniche di scavo in sotterraneo, solo negli ultimi 200 anni però si può parlare di ingegneria delle gallerie: durante questo periodo infatti sono andati affinandosi i metodi di scavo, i calcoli delle opere di sostegno e di rivestimento, il controllo dei fattori ambientali.

Per arrivare ai giorni nostri dove i diversi aspetti della progettazione e realizzazione delle gallerie si sono ormai codificati attraverso consolidati metodi progettuali e processi produttivi.

Tutto questo è stato reso possibile dallo sviluppo delle scienze della terra ed ingegneristiche e dalle nuove e flessibili tecnologie che contraddistinguono i moderni macchinari utilizzati che hanno reso possibile anche l'impiego di materiali innovativi.

(1) M. Bringiotti " Guida al tunnelling - L'arte e la tecnica ", Edizioni PEI, Parma, 1996.

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),

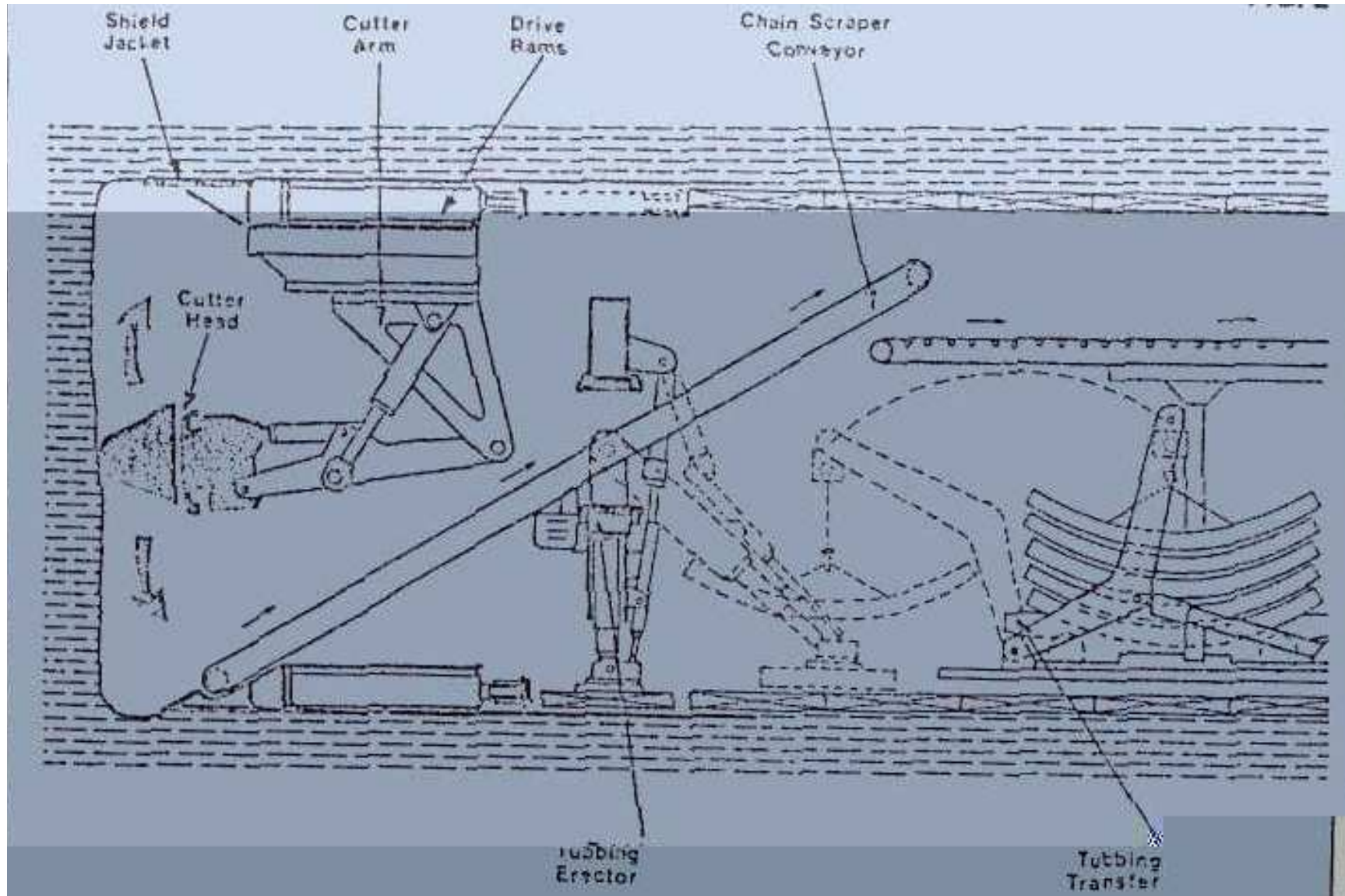
2) La coda è la parte terminale dello scudo e permette alle maestranze la messa in opera dell'anello prefabbricato (conci) in condizioni di sicurezza (per questo motivo la sua larghezza è pari a circa 1,5 volte la larghezza del concio).

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.

In figura 4 è schematizzato uno scudo che utilizza bracci fresanti.

Scudo di tipo aperto a bracci fresanti



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.

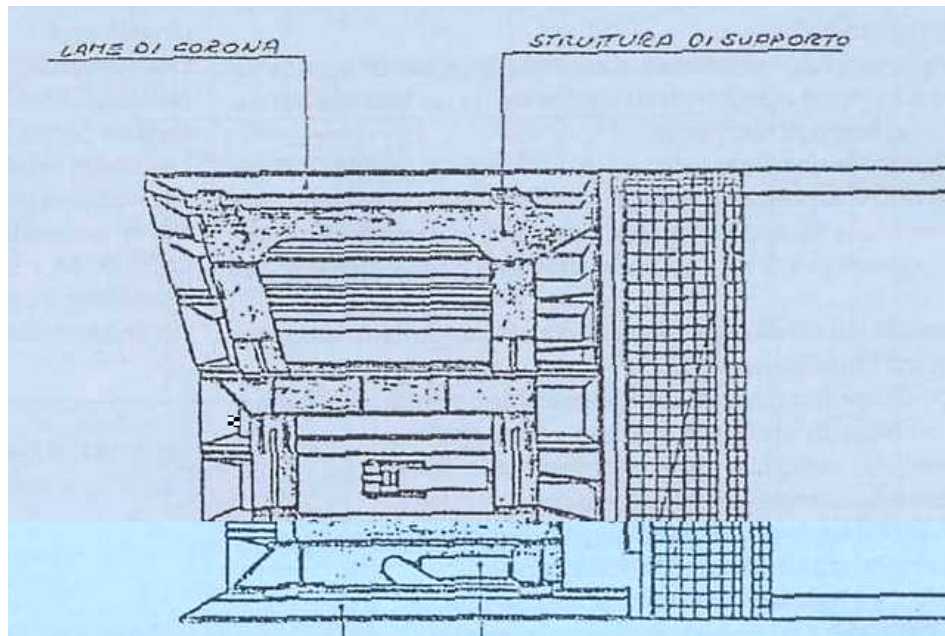
I vantaggi di tale sistema sono così riassumibili:

- 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.).

In figura 6 è riportato un esempio di scudo a lame con cucchiaia.

Progetto di Infrastrutture viarie

Schema di scudo a lame



Funzionamento
dello scudo a lame

Scudo a lame
con cucchiaia

Spingitubo

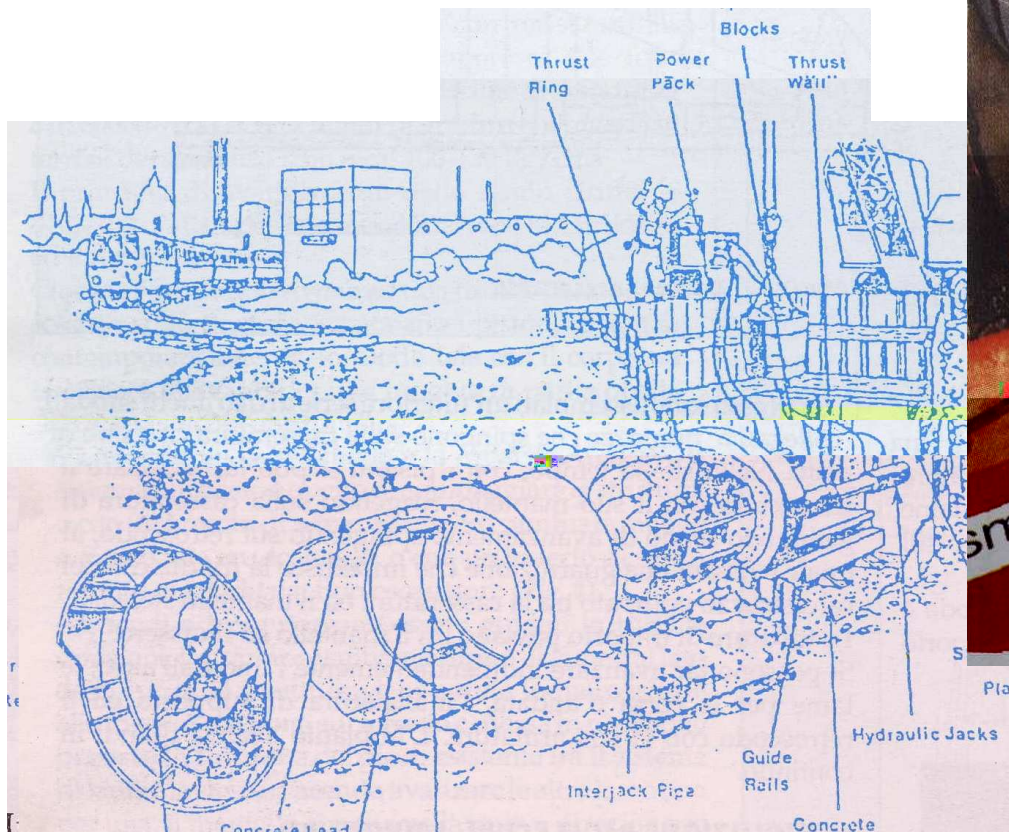
Questo metodo utilizza un impianto oleodinamico per spingere tubi nel sottosuolo. Il diametro minimo di tali tubazioni è di circa 800 mm, quello massimo è solo legato al loro trasporto in cantiere (non sussiste se costruiti in cantiere). Con una sola stazione di spinta è possibile mettere in opere tubi di lunghezza sino a 1500 m; per la lunghezza complessiva non si hanno praticamente limiti. E' possibile inoltre mettere in opera tubazioni non solo rettilinee, ma anche curve, di diversi materiali attraversando terreni sia coerenti che incoerenti ed interessati da strati freatici.

Lo scudo, munito di attrezzature di scavo e guida, protegge la prima sezione di condotta penetrando nel terreno sul fronte, può essere guidato nella direzione voluta (per mezzo di pistoncini idraulici di guida) ed il materiale scavato è caricato dalla testa fresante, trasportato tramite catena convogliatrice e successivamente scaricato sui mezzi di trasporto. Come è indicato in figura 7, il marino è scavato, caricato e trasportato all'interno della tubazione.

Quando la prima sezione di tubo è stata completamente infilata nel terreno, dopo aver represso i pistoncini idraulici di spinta, si cala nel pozzo una seconda sezione di tubo. Per evitare una eccessiva pressione sulle parti terminali delle condotte, si installano stazioni intermedie di spinta.

Progetto di Infrastrutture viarie

Attrezzatura per spingitubo



Microtunnelling

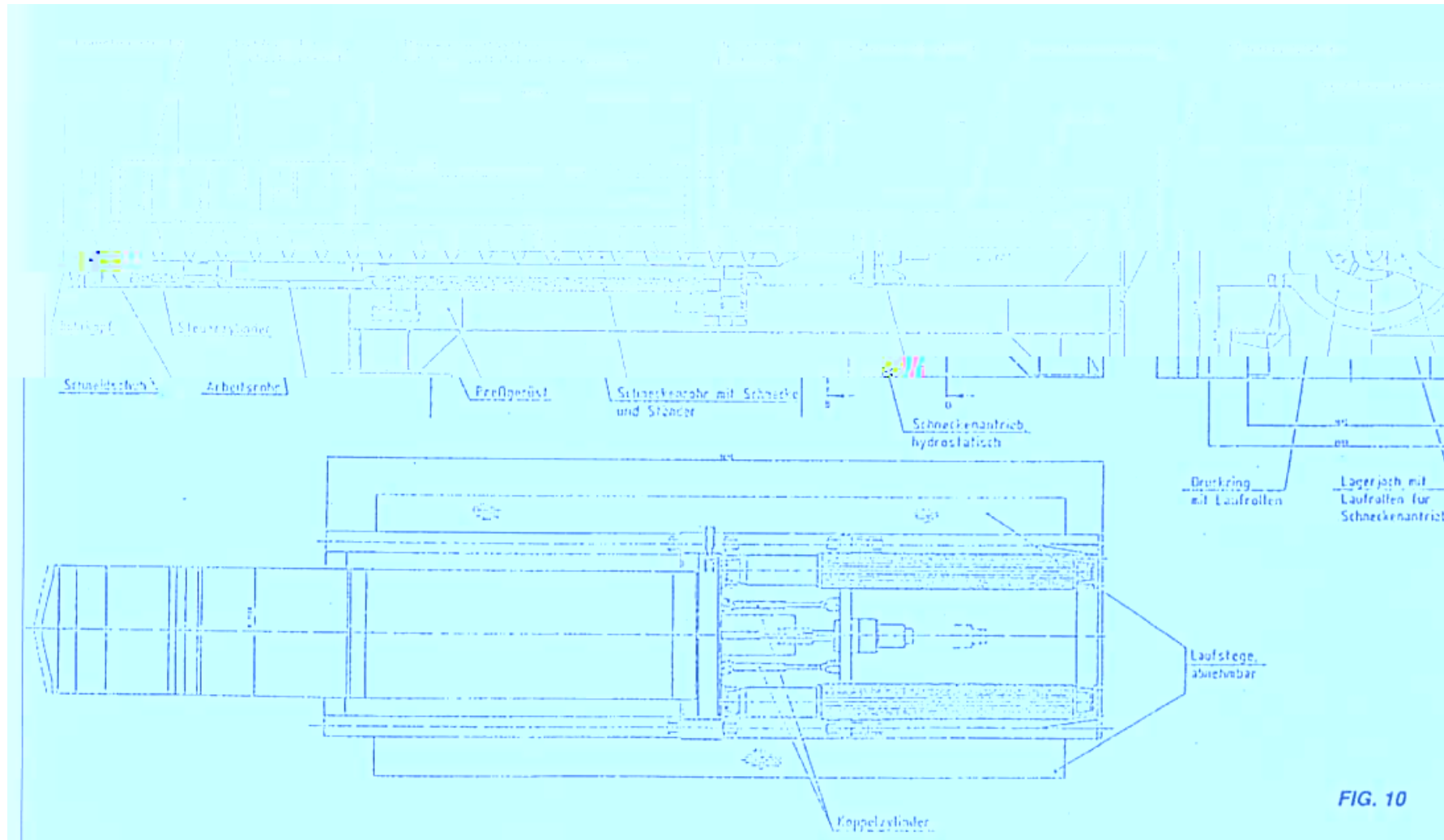
In particolari situazioni di scavo è richiesta la messa in opera di tubazioni di piccolo diametro (diametri compresi tra DN 250 e DN 800) che non consentono l'accesso agli operatori. In questo caso il sistema è completamente automatizzato: la testa di scavo è azionata da un'unità motrice integrata nel sistema ed il sistema di trasporto del marino è costituito da un convogliatore a coclea azionato separatamente.

I campi d'impiego riguardano:

- possibilità d'impiego per diversi tipi di terreni: da materiali di riporto alle rocce più compatte.
- richiesta di un solo pozzo di spinta per tratti lunghi sino a circa 150 m,
- l'impiego di sistemi di guida (laser) e di direzionamento (automatico) consentono di mantenere le deviazioni rispetto all'asse prefissato entro limiti prestabiliti (± 30 mm).
- il diametro del pozzo per la spinta delle tubazioni dipende dal loro diametro e lunghezza(per esempio: per tubazioni di diametro di 500 mm e lunghezza di 2 m, il diametro del pozzo è di 3 m),
- è inoltre possibile utilizzare tale tecnologia anche in presenza di falda.

In figura 8 viene riportato uno schema di microtunnelling WBM-L.

Schema di microtunnelling WBM-L



EPB - Earth Pressure Balance

Sono impianti di scavo meccanizzati a pressione bilanciata per materiali incoerenti; in figura 9 è riportato uno schema di EPB. E' un'evoluzione dello scudo ad aria compressa che con l'introduzione della fanghificazione del fronte di scavo porto nel 1974 i giapponesi ad applicare un nuovo metodo di scavo di gallerie denominato appunto *Earth Pressure Balance*.

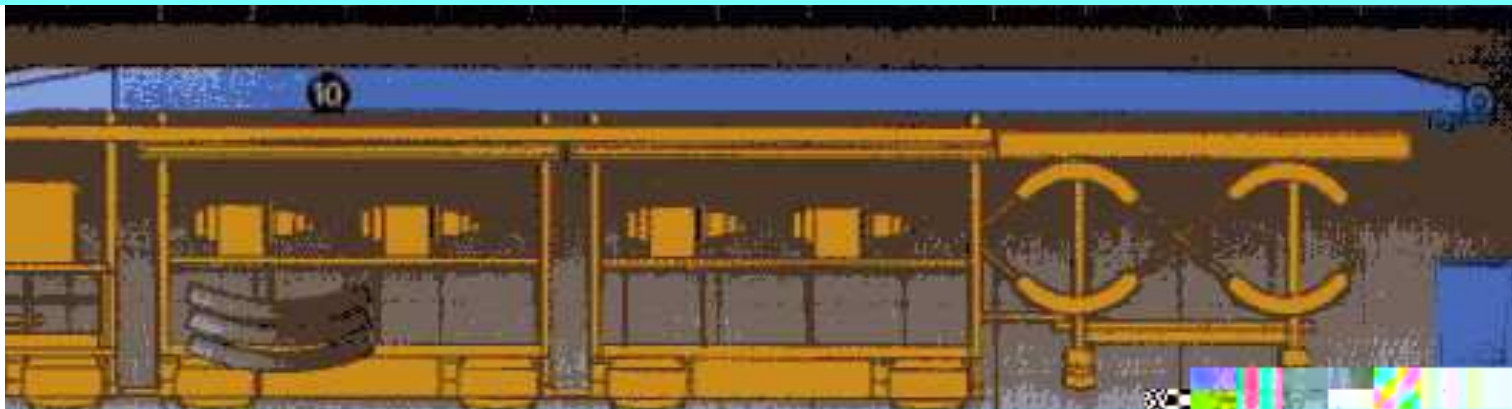
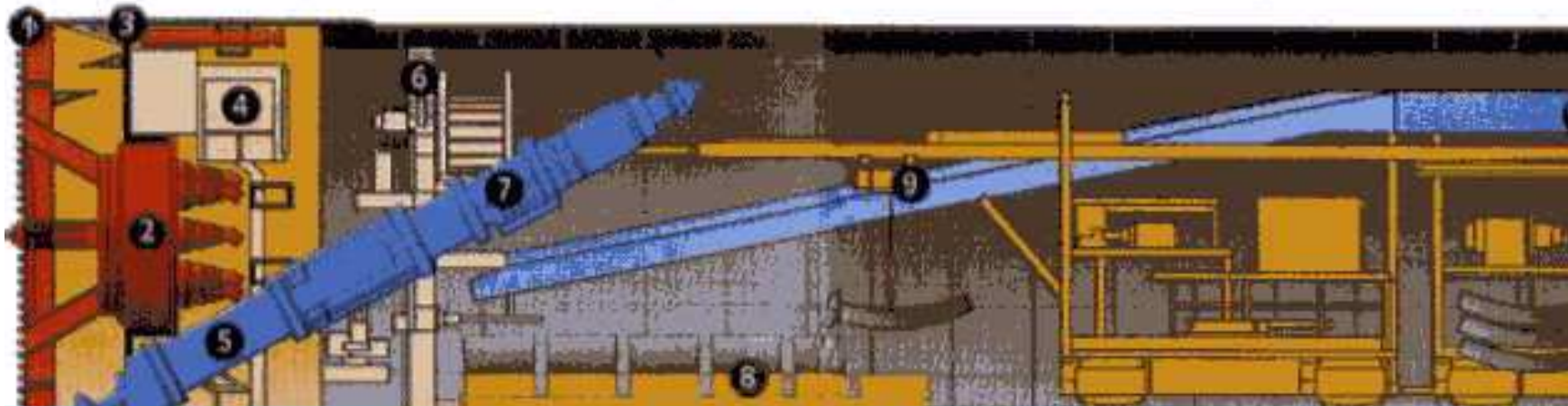
Il sistema attualmente ritenuto il più avanzato (tra i sistemi a pressione bilanciata) è il metodo di scavo D.K. che è un sistema a pressione bilanciata di fanghificazione al fronte. Con questo sistema sino al 1994 si sono realizzate gallerie per complessivi 180 km di gallerie scavate e relative a 216 progetti. Il più grande diametro realizzato (metropolitana di Tokio) presenta un diametro di 8,21 m.

I terreni su cui di solito si utilizza tale sistema sono costituiti da ghiaie, argilla, limi e combinazioni di quest'ultimi; talvolta questi impianti lavorano incontrando anche infiltrazioni d'acqua con battenti $>$ di 2 kg/cm².

Per questo motivo vale la pena di illustrare separatamente i principi di funzionamento dello scavo di gallerie con scudi a pressione bilanciata e di quelli a pressione bilanciata di fanghificazione al fronte (D.K.)

Progetto di Infrastrutture viarie

Schema di EPB



Tecnologie di scavo in terreni medio-teneri con frese

In presenza di materiali medio-teneri le macchine di scavo più usate sono le frese ad attacco puntuale, la cui prerogativa principale è quella di eseguire lo scavo mediante una testa rotante sulla cui superficie sono assemblati utensili di forma conica chiamati picchi. In figura 10 è riportato uno schema di fresa. Possono essere poste all'interno di uno scudo o montate su un carro cingolato; in entrambi i casi sono equipaggiate con sistemi di carico e nastri trasportatori.

Le frese ad attacco puntuale di solito utilizzano due tipi di teste rotanti:

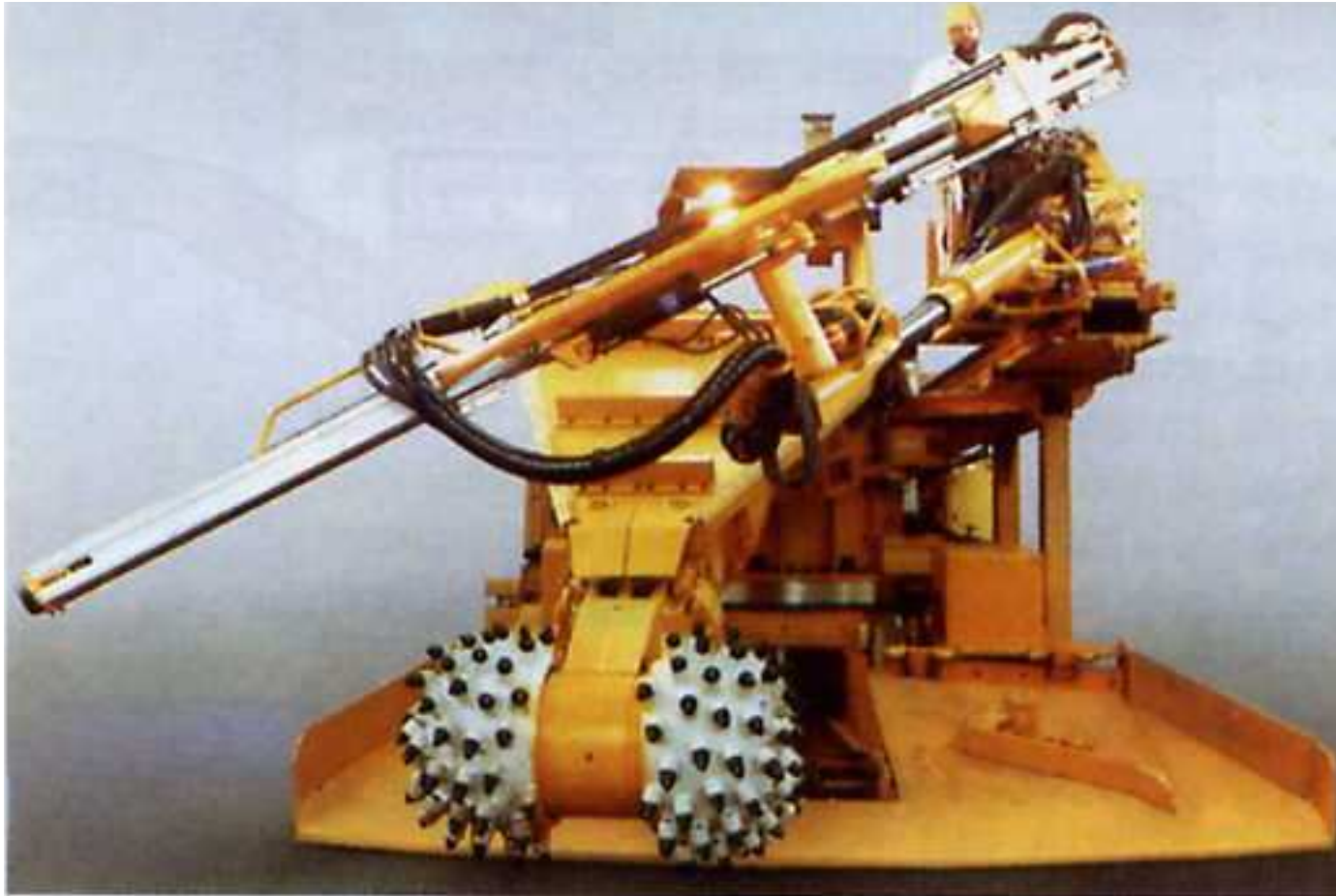
coniche: in cui l'asse di rotazione coincide con l'asse del braccio della fresa, in tal modo il momento torcente e la forza tangenziale della testa hanno la stessa direzione e la traiettoria dell'utensile è cicloidale; i picchi della parte sommitale sono disposti in modo tale da permettere il recupero del materiale scavato.

a tamburo: sono costituite da due semisfere il cui asse di rotazione è disposto ortogonalmente all'asse del braccio e la traiettoria dell'utensile è elicoidale; la disposizione dei picchi sui vertici delle due semisfere non richiedono particolari disposizioni.

L'azione fresante può essere incrementata aumentando il peso della macchina in quanto questo è proporzionale alla forza d'attrito. Inoltre il peso della macchina influisce diversamente sulla capacità di abbattimento in funzione del tipo di testa di taglio.

Progetto di Infrastrutture viarie

Schema di fresa puntuale Eickoff ET 450



Tecnologie di scavo in rocce dure o in stato di media autoportanza con TBM - Tunnel Boring Machine

Ciò che contraddistingue una EPB (per materiali incoerenti) da una TBM (per rocce dure) è la tipologia della testa di taglio e soprattutto il tipo di utensili idonei all'attacco del fronte di scavo. In figura 11 è riportata una TBM aperta Robbins.

Un impianto TBM si caratterizza per la direzione di spinta, per sistema di grippaggio, per la possibilità di realizzare anche il rivestimento e per la presenza o meno di uno scudo protettivo. Quindi, a parte l'assenza o la presenza dello scudo, possiamo distinguere una TBM "aperta" o una TBM "scudata" dalla direzione di spinta e dalla copia di taglio della testa fresante.

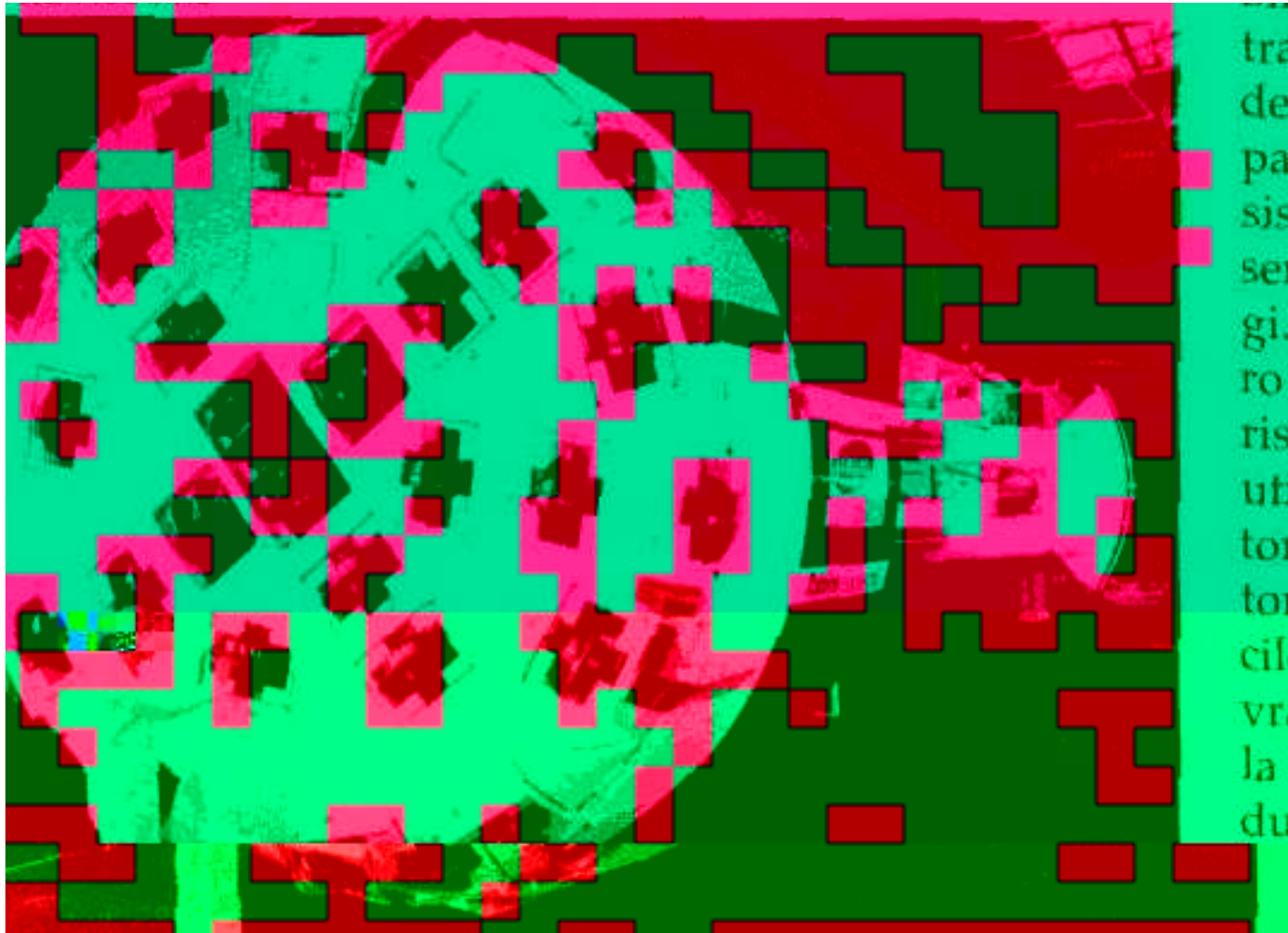
La TBM aperta lavora (azione di scavo e spinta) sfruttando la reazione radiale di grippaggio di uno o più cilindri ortogonali al corpo macchina. In figura 12 sono indicate le diverse fasi di un ciclo TBM.

La TBM scudata lavora sfruttando l'azione di spinta assiale provocata dai cilindri periferici contrastati dagli elementi prefabbricati del rivestimento (realizzato nel precedente ciclo).

La TBM doppio scudata unisce i vantaggi dei due precedenti sistemi: l'azione di scavo è prodotta dal grippaggio radiale, mentre la spinta di avanzamento della macchina è provocata dai cilindri periferici contrastati dagli elementi prefabbricati del rivestimento.

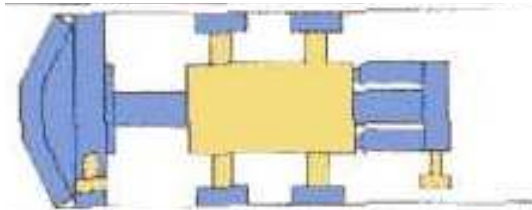
Progetto di Infrastrutture viarie

TBM aperta Robbins



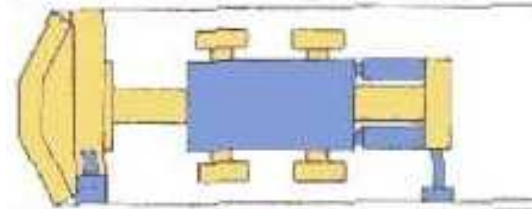
TBM: fasi del ciclo di fresatura

2



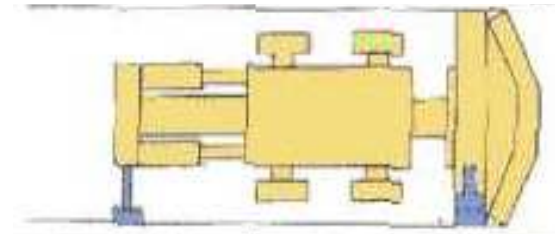
Termina il ciclo di scavo:
cilindri di spinta a fine corsa

3



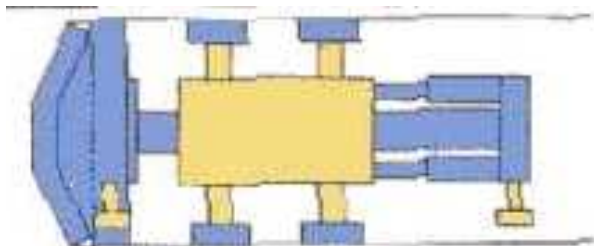
Fase di avanzamento corpo trave:
retrazione grippaggi ed appoggio TBM
sul supporto posteriore e frontale

4



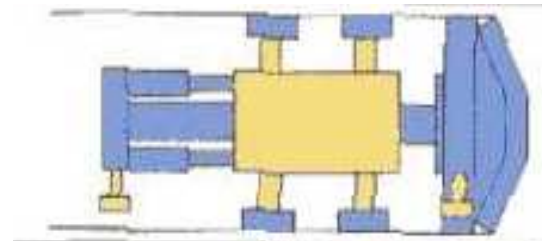
Avanzamento corpo trave

1



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

5



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

Utensili da taglio

Si vuole qui accennare alla fondamentale funzione degli utensili da taglio (*cutters*) che, a partire dal 1950 (Robbins), hanno caratterizzato i taglienti circolari (*disc cutters*) delle frese e che hanno determinato il successo dello scavo meccanizzato a piena sezione. I moderni taglienti circolari in abbinamento a punte a bottone risultano così resistenti da poter scavare lunghi tratti senza dover essere sostituiti.

La testa fresante è equipaggiata con una serie di utensili la cui scelta è funzione delle caratteristiche del materiale da scavare:

- in presenza di rocce tenere ed in particolare in terreni dalle caratteristiche plastiche si preferisce utilizzare picchi (disponibili in diverse sagome e dimensioni) che fratturano la roccia in pezzature più grandi rispetto a quelle ottenibili utilizzando *disc cutters*,
- per materiali aventi resistenza alla compressione molto limitata si utilizzano lame (denti) di taglio,
- per materiali ad alta resistenza a compressione vengono invece impiegati i dischi abbattendo in tal modo l'usura dell'utensile.

In figura 13 sono riportati alcuni esempi di picchi, di denti e di dischi, mentre in figura 14 viene evidenziato il loro impiego.

Particolari di utensili da taglio

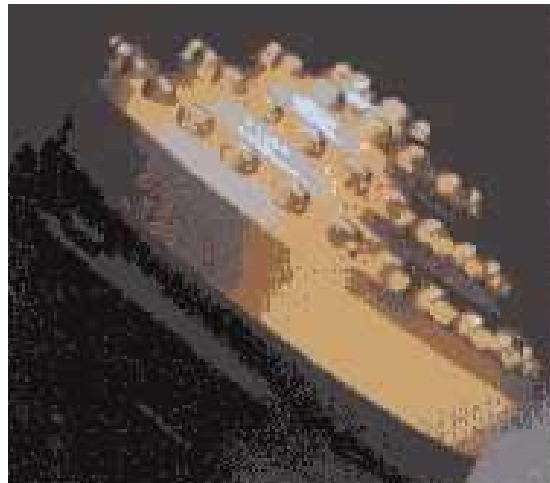


Picchi



Denti

Cutter per microtunnelling



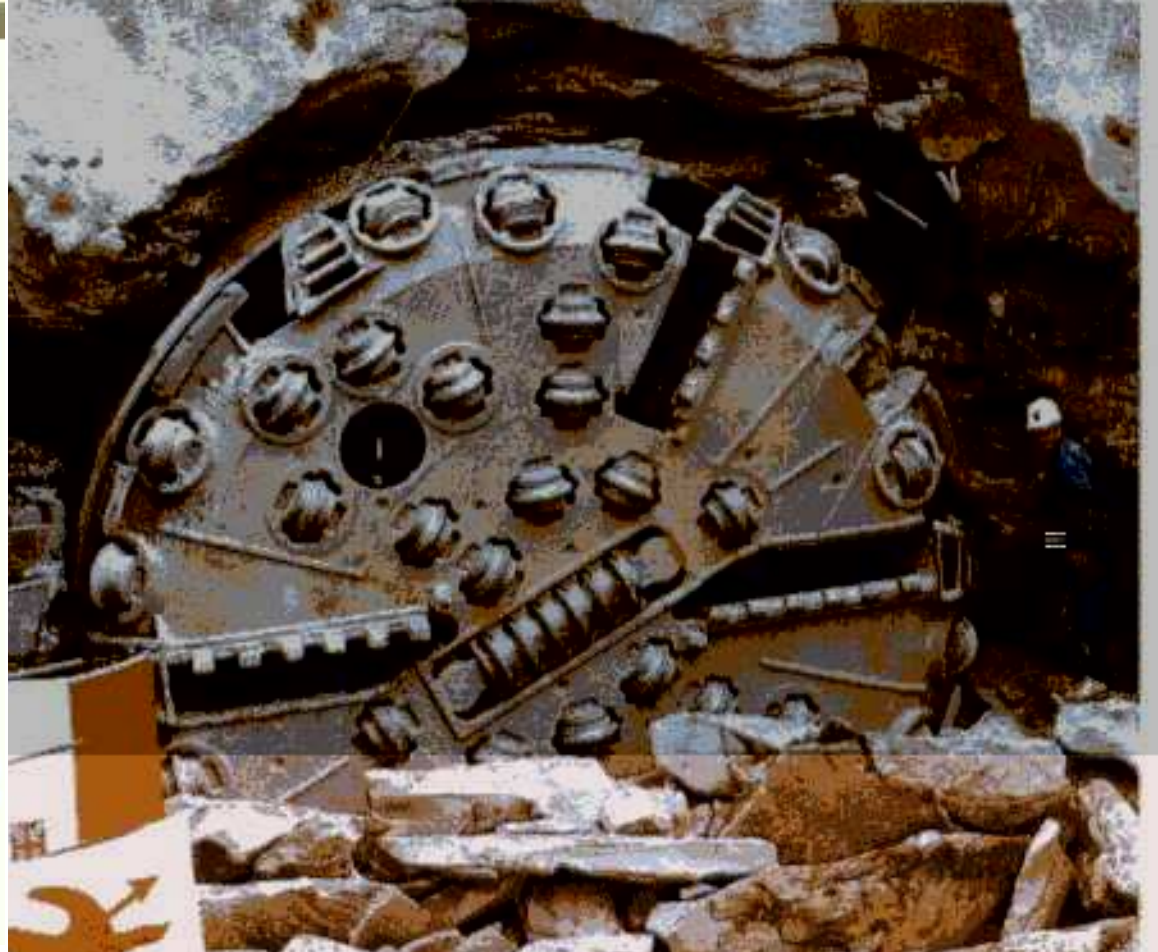
Cutter a bottoni



Impieghi di utensili da taglio



Denti al lavoro



Testa di taglio con cutters

Perforazione e sparo (*Drill & Blast*): generalità

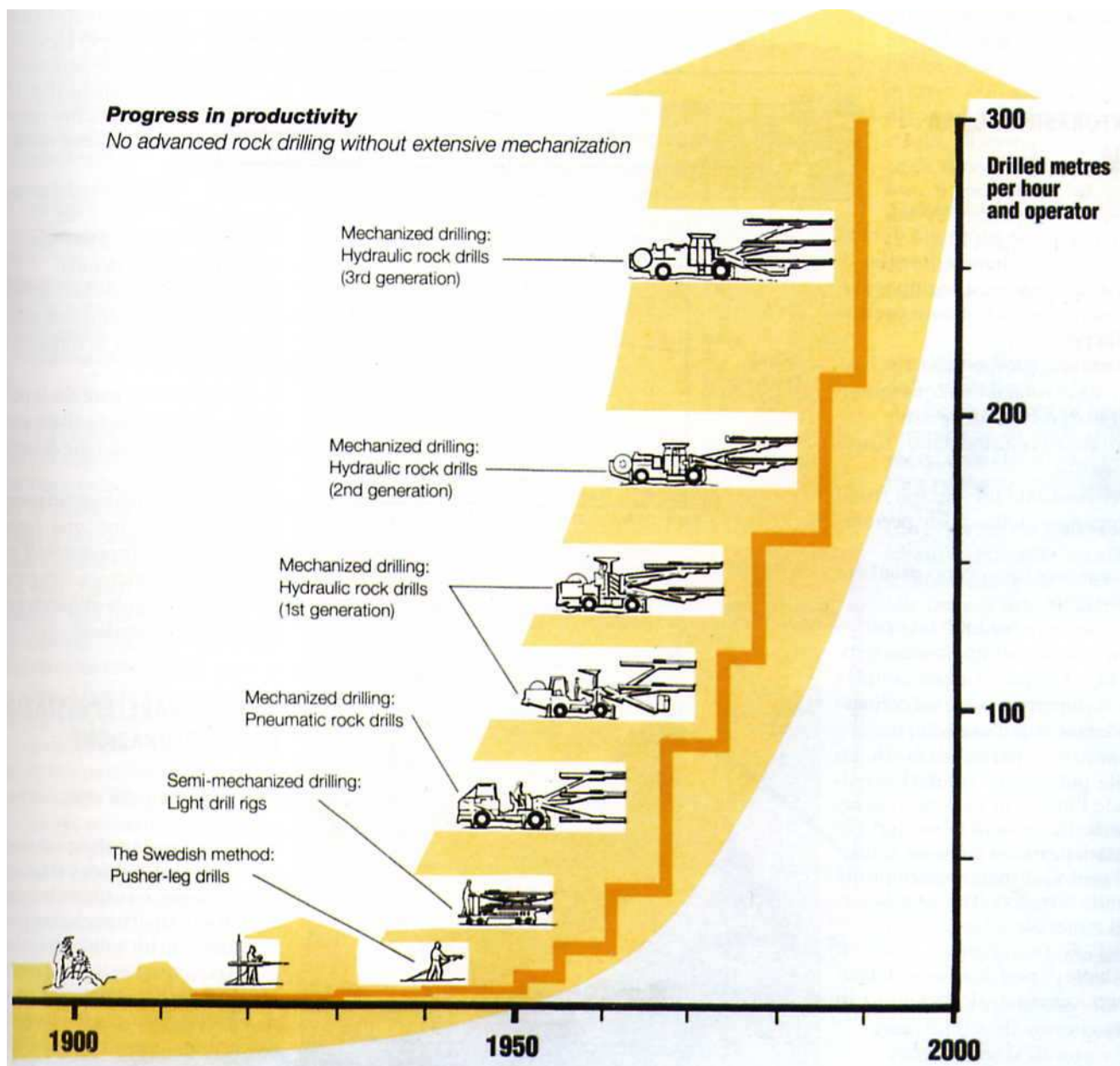
La tecnica tradizionale di perforazione e sparo ancor oggi, pur in presenza di moderne tecniche di scavo senza l'uso di esplosivo, è il metodo ancora più diffuso per lo scavo delle gallerie in ammassi rocciosi in quanto è flessibile ed economico, in particolare se le gallerie sono di limitata lunghezza. L'attrezzatura, evoluzione dei metodi moderni che si sono utilizzati a partire dal 1950 (metodo svedese: carro ponte per coprire tutta la sezione di scavo con una perforatrice per minatore, sostenuta da sevosostegno), è chiamata "Jumbo". I primi "Jumbo" (1965) erano attrezzature semoventi dotate di bracci meccanici ciascuno dotato di perforatrici pneumatiche "pesanti" che per competere con il Metodo Svedese doveva disporre di 6-8 bracci. A partire da 1974 con l'introduzione della perforatrice idraulica si è avuto un incremento esponenziale della produttività (metri per ora e per operatore) come illustrato in figura 16. Per arrivare ai giorni nostri alle perforatrici idrauliche automatizzate (1984), superveloci (1986) e robotizzate (1992).

Tre sono i tipi principali di macchine di perforazione: montate su carrelli ferroviari a piccolo scartamento per gallerie di sezione inferiore a 20 m², a portale su rotaie per permettere il passaggio dei mezzi necessari alle operazioni di smarino e su veicoli gommati che sono le più utilizzate per lo scavo di gallerie di media e grande sezione.

In figura 17 è riportata una perforatrice gommata COP 1838 ME.

Progetto di Infrastrutture viarie

Evoluzione nel tempo della produttività di perforazione



Progetto di Infrastrutture viarie

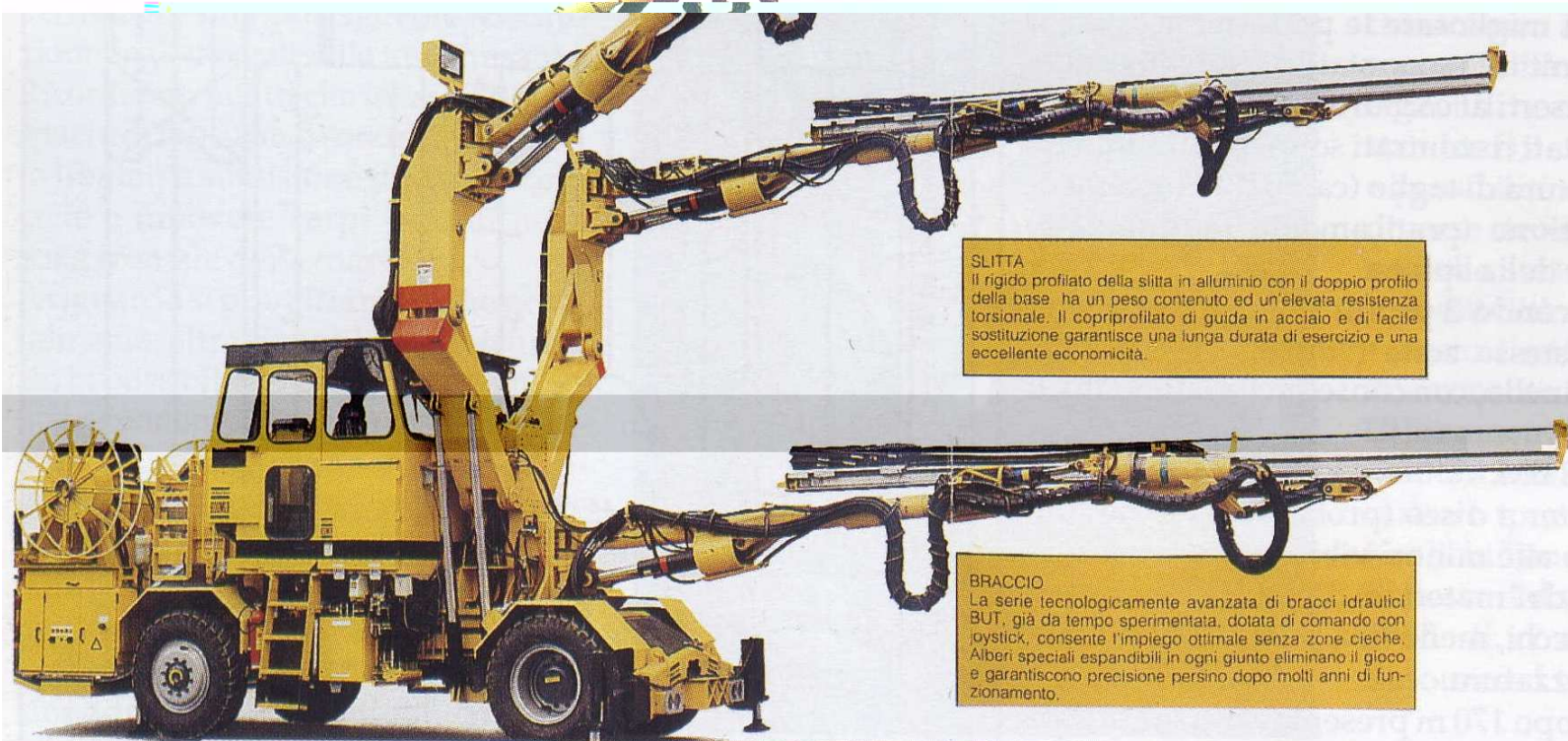
Perforatrice gommata COP 1838 ME



COP 1838

PERFORATRICE

La perforatrice COP 1838ME con il dispositivo di comando ECS 18 unisce alta velocità di perforazione con elevata efficienza, lunga durata di esercizio e notevole economia. Un nuovo sistema di smontamento reflex assicura il contatto con la roccia della punta di perforazione. Si ottiene così non solo maggiore velocità di perforazione, ma anche una maggiore durata dell'asta di perforazione, riduce l'eccessiva sollecitazione della batteria di perforazione, della perforatrice, slitta e braccio, e di conseguenza anche la loro usura.



SLITTA

Il rigido profilato della slitta in alluminio con il doppio profilo della base ha un peso contenuto ed un'elevata resistenza torsionale. Il copripilato di guida in acciaio e di facile sostituzione garantisce una lunga durata di esercizio e una eccellente economicità.

BRACCIO

La serie tecnologicamente avanzata di bracci idraulici BUT, già da tempo sperimentata, dotata di comando con joystick, consente l'impiego ottimale senza zone cieche. Alberi speciali espandibili in ogni giunto eliminano il gioco e garantiscono precisione persino dopo molti anni di funzionamento.

- ECS 18 con COP 1838 garantisce il controllo della batteria di perforazione.
- Il nuovo sistema "dumping system" fa una maggiore economia della batteria di perforazione.
- La lubrificazione delle superfici di contatto della perforatrice garantisce una lunga durata.
- La forza di avanzamento azionata, la pressione di rotazione (RPCF) e la percussione azionata dalla pressione di rotazione (RPCI) evitano l'incaglio e aumentano la velocità di penetrazione e proteggono la batteria di perforazione.
- Le funzioni automatiche consentono il riassetto del foro dolce ed un funzionamento più semplice.
- Vasta gamma di misure, dalla piccola media e grande (fino alla misura Eagle) permette di trovare il giusto Rockwell per ogni lavoro.

Perforazione: concetti e materiali

La perforazione avviene per mezzo di aste, sulla cui estremità è installato un utensile di taglio e vengono azionate per mezzo di perforatrici idrauliche (anche pneumatiche) a cui viene impresso un moto roto-percussivo. In figura 18 è riportata una moderna perforatrice idraulica.

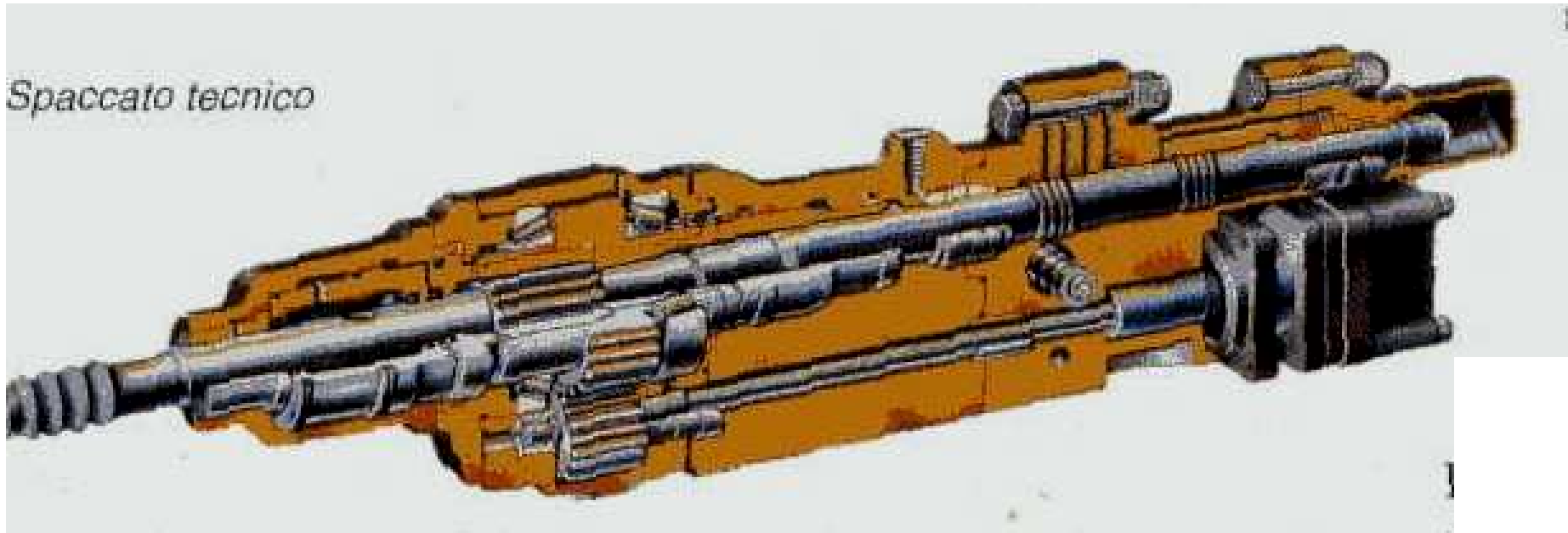
Tutto il sistema di perforazione (asta e perforatrice) è assemblato su una slitta che è portata da un braccio idraulico orientabile che permette di

Progetto di Infrastrutture viarie

Particolare della perforatrice idraulica



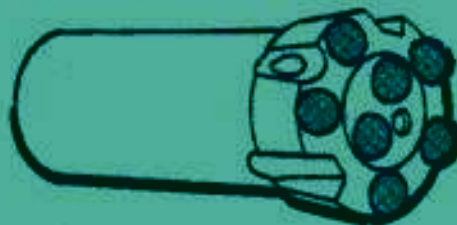
Spaccato tecnico



Punte di taglio per perforazioni in galleria



Design: 2-wing
Rock formations: Medium to hard 02 .. 40



Design:
 Flat front, round 2-wing,
Rock formations: Soft to hard — high penetration,
 spherical buttons, large gauge buttons 04 .. 40
 05 .. 39
 Soft to medium — high penetration
 ballistic buttons, 04 .. 67



Design: Flat front, round 3-wing,
Rock formations:
 Soft to medium — spherical buttons 77 .. 40
 Soft and easily drilled — ballistic buttons 77 .. 67

*All insert bits of
 Solid Centre design*



Normal — Cross bit 10
Heavy Duty — Cross bit 13/14

Utilizzo di esplosivi in sottosuolo

La detonazione di una carica in un foro in un ammasso roccioso determina all'intorno un'onda di tensioni che modifica totalmente lo stato di sollecitazione originario preesistente allo sparo. Conseguentemente attorno al foro possono distinguersi tre zone di fratturazione, come indicato in figura 20: *zona di polverizzazione* (intorno al foro), *zona di transizione* e *zona fratturazione radiale* e quest'ultima (raggio R) dipende dal diametro (ϕ_c) della carica.

I materiali richiesti per effettuare una carica sono: esplosivi: sono sostanze atte a subire una velocissima e fortemente esotermica trasformazione chimica con forte aumento di pressione se l'espansione è impedita. Si distinguono in *deflagranti* con combustione piuttosto veloce (qualche centinaia di m/s) e *detonanti* con elevata velocità esplosiva (1000/8000 m/s) a cui appartengono gli esplosivi industriali, come riportato in figura 21; micce: possono essere *micce a lenta combustione* (0,5 m/ min) per detonatore comune o per polvere nera e *micce detonanti* (6000 m/s) impiegata per propagare la detonazione alle cariche di esplosivo; detonatori: sono mezzi d'innescio per provocare la detonazione delle cariche esplosive e si distinguono in *ordinari*, *elettrici (istantanei e ritardati)* e *NONEL* come riportato in figura 22; esploditori: è una sorgente d'elettricità portatile e può essere a dinamo o a condensatore.

Il metodo più semplice per collegare una volata in galleria è a mezzo di raccordi a mazzo (doppio cappio di miccia detonante incorporato in un connettore che a sua volta collegato con NONEL all'esploditore, come illustrato in figura 23 e 24.

Progetto di Infrastrutture viarie

Zone di fratturazione



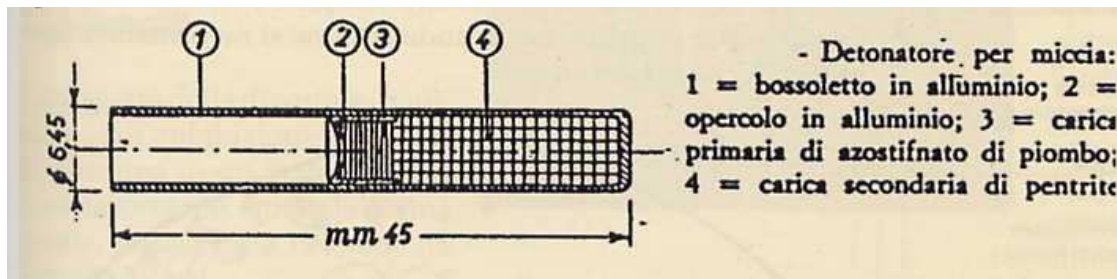
Progetto di Infrastrutture viarie

Esplosivi in commercio

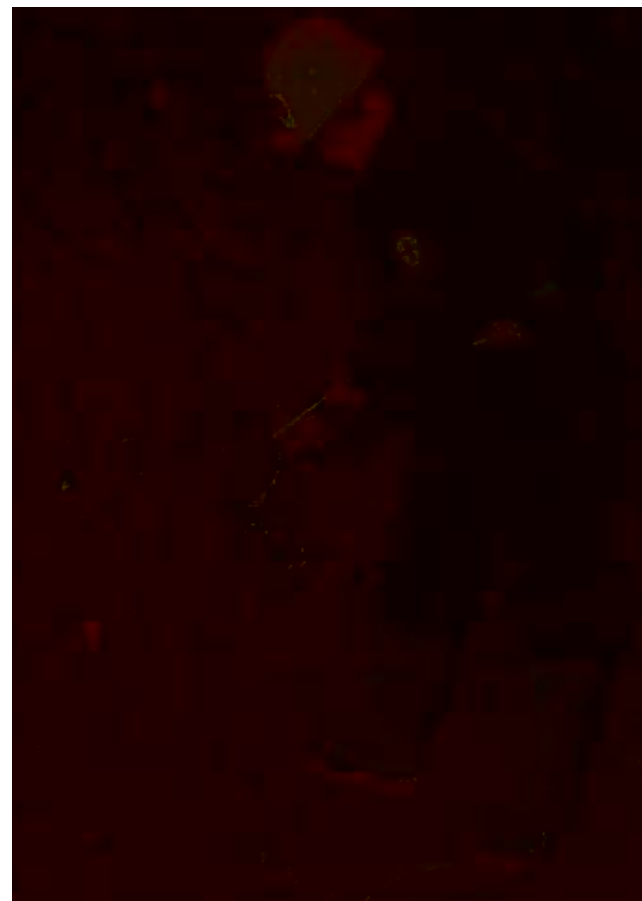
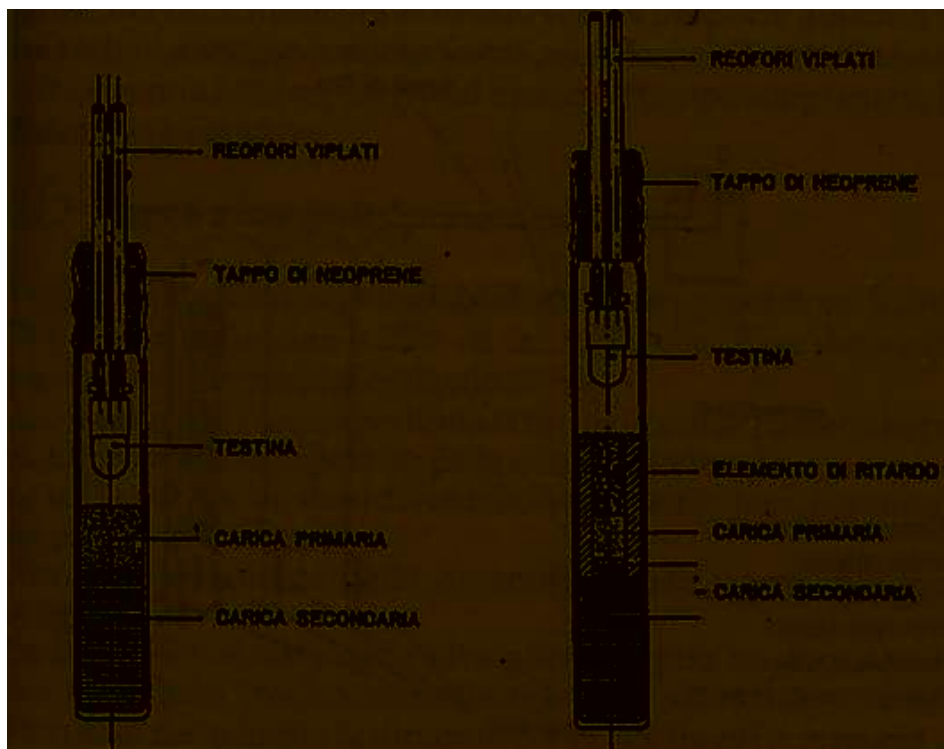
ESPLOSIVI Inaloplosivi / S.E.I. Esplosivi NOME	Density kg/mc	Specific Strength MJ/kg	Velocity m/s	Specific Pressure MPa	Oxygen Balance T% - %
GELATINA 1/ GEL A6	1450/1300-1450	4,52/4,61	6550/>6500	1007/1024	T/1,05 %
GELATINA 2/ GEL A5	1420/1300-1450	4,47/4,52	6100/>5500	950/982	T/1,23 %
SISMIC 2/ GEL A3 SISMIC	1350/1400-1500	4,00/4,12	6600/>6700	975/935	N/2,24 %
PROFIL 1/ PROFIL Charge	1200/1000-1100	3,66/3,5	3240/>2000	3,75/3,77	T/1,34 %
TUTAGEX 210/ SIGMA 605	1130/1150-1300	3,37/3,09	4200/>5000	120/572	0,1T/0,62 %
TUTAGEX 110/ SIGMA 600	1150/1150-1300	3,79/3,63	4000/>5300	630/610	0,1T/0 %
CATA 2/ BRUCIA 2	1050/1000-1180	4,31/3,72	4550/>3900	960/869	N/1,69 %
CATA 1/ BRUCIA 1	1000/1000-1180	4,16/3,79	3800/>3700	530/554	N/2,80 %
ANFO BRUNO 73	800/>750	3,50/3,11	2300/>2600	610/755	1,5T/5,6 %

Tipi di detonatori

Detonatore ordinario



Detonatori elettrici



Detonatori NONEL

No di tempo	Ritardo ms	Intervallo ms	Lunghezza standard di tubo, m
0	25	-	-
14, 16, 18, 20	1400-2000	200	6.0, 7.8
25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60	2500-6000	500	-

Predisposizione di volata in galleria

Fori da mina sono simbolizzati come punti neri



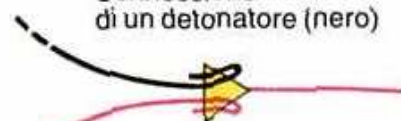
Un connettore singolo GT 1



Un connettore doppio GT2



Connessione di un detonatore (nero)



ed un connettore successivo (rosso)



ed un connettore successivo (rosso)



Punto d'innesco con un detonatore a miccia od elettrico



Progetto di Infrastrutture viarie

Volata in galleria



Altre tecnologie di scavo

Esistono ulteriori tecniche di scavo in galleria e tre queste:

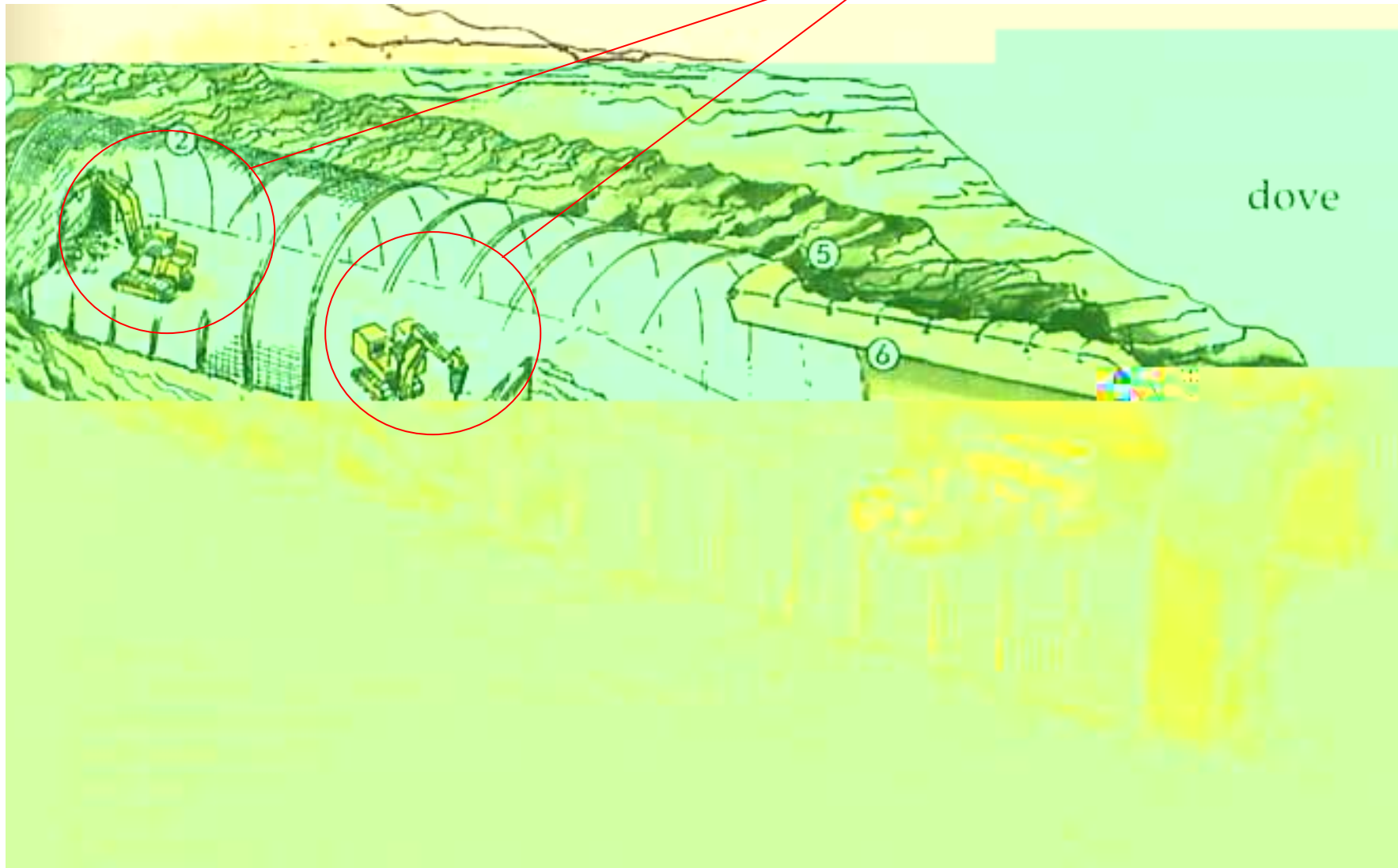
- con *martelli demolitori oleodinamici*: il martellone idraulico demolitore è uno strumento molto versatile che può essere montato sul braccio di un escavatore convenzionale. In figura 25 è schematizzato un ciclo di scavo calotta-strozzo utilizzando demolitori idraulici.

- 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). In figura 26 se ne illustrano alcuni.

- *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. In figura 27 si illustrano alcune di tali tecniche .

Schema di utilizzo di demolitori idraulici



Progetto di Infrastrutture viarie

Demolitore idraulico



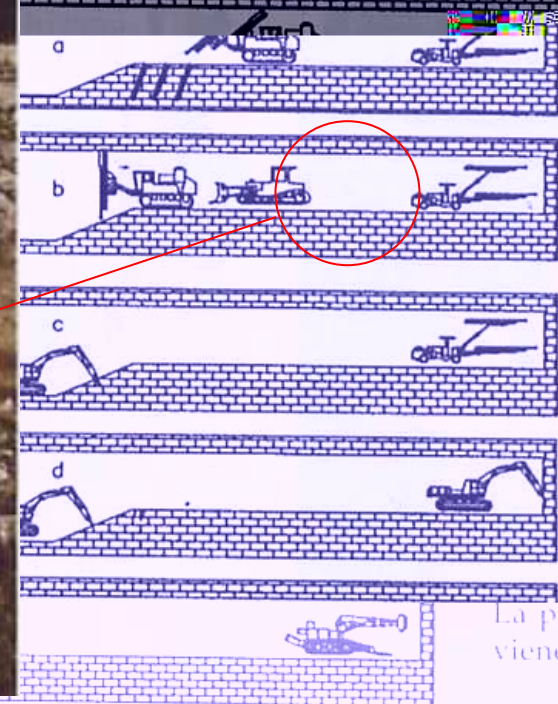
Progetto di Infrastrutture viarie

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



Pozzi: attrezzature ALIMAK (raise climber)

