

L'impiego dell'idrofresa in cantieri complessi con riferimento alla Pedemontana Lombarda

M. Bringiotti⁽¹⁾, A. Bertoli⁽¹⁾, W. Ruby⁽²⁾

⁽¹⁾GeoTunnel S.r.l., Genoa, Italia

⁽²⁾Bauer Maschinen GmbH, Schrobenhausen, Germany

ABSTRACT: La tecnologia dell'idrofresa, nel campo della realizzazione dei diaframmi, è stata una di quelle innovazioni che realmente hanno contribuito a cambiare la storia delle costruzioni e gli obiettivi che i Progettisti si sono potuti porre in merito ai lavori di fondazioni. I diaframmi così realizzati vengono utilizzati non solo per risolvere problemi di natura idraulica e di impermeabilità, ma anche e soprattutto con funzioni statiche di sostegno del terreno, sia che si tratti di eseguire uno scavo in un centro urbano oppure che si tratti di proteggere un'arteria stradale o ferroviaria da un movimento franoso sia per opere provvisorie che definitive. Molto spesso tali opere vengono utilizzate anche come strutture portanti di fondazione. Nel primo lotto della Tangenziale di Como, Autostrada Pedemontana Lombarda, sono stati realizzati diaframmi con idrofresa per la galleria artificiale che passerà al di sotto di una Strada Statale. Il terreno, in alcuni tratti particolarmente duro ed ostico con resistenze > 200 MPa, ha obbligato all'utilizzo di teste fresanti speciali per la prima volta in Italia. La tecnologia Bauer ha risposto brillantemente a questa situazione, garantendo una produzione adeguata e rispetto delle tempistiche di esecuzione.

1 Introduzione

L'applicazione della metodologia di scavo mediante idrofresa per la costruzione di paratie profonde offre elevati vantaggi rispetto all'utilizzo di tecniche convenzionali, quali le benne mordenti (kelly grab), principalmente nei seguenti aspetti:

- Alta produzione (rapida esecuzione)
- Elevata accuratezza (verticalità garantita)
- Flessibilità di impiego (in funzione della variabilità delle caratteristiche geomeccaniche dello scavo)
- Impatto ambientale (recupero e trattamento in situ del materiale scavato)
- Sicurezza

Molto spesso la sintesi di questi vantaggi si tramuta anche in una economia nell'esecuzione del lavoro, soprattutto se si valutano le garanzie di riuscita in quanto a tempi, consumi e qualità del lavoro.

2 Storia dello sviluppo tecnologico delle idrofrese

Nessun'altra innovazione metodologica è stata in grado di cambiare in tale maniera i procedimenti costruttivi delle paratie da quando negli anni '80 ha incominciato a svilupparsi la tecnologia dell'idrofresa. Anche se le metodologie di scavo tramite benna mordente avevano già dimostrato il potenziale enorme per la costruzione di muri per diaframmi (diaphragm wall), la sempre più crescente richiesta nel raggiungimento di profondità elevate e di impermeabilizzazione dell'opera ha presto indicato i limiti di tale tecnica.

Il concetto della costruzione di paratie per diaframmi, legato al processo di scavo continuo tramite un'idrofresa, è un'idea che proviene dal Giappone ove è stata sviluppata la prima macchina nei primi anni '80. Quando nel 1984 nacque l'esigenza di eseguire paratie per il bacino di Brombach, parte del progetto del canale Rhein-Main-Donau, la Bauer Maschinen GmbH progettò la prima idrofresa BC 30

in solo 6 mesi. Questo prototipo lavorò con successo nella costruzione di pannelli profondi 40 m in arenaria moderatamente dura. Durante gli anni successivi la macchina fu continuamente migliorata attraverso alcune innovazioni importanti quali ad esempio la progettazione di un sistema di assorbimento degli urti tra le ruote di taglio ed i riduttori e lo sviluppo di un sistema a denti basculanti. Le frontiere tecnologiche vennero ulteriormente ampliate quando nel 1989 si effettuarono i primi lavori in roccia dura, installando taglienti rotanti a bottoni al posto di utensili di taglio fissi. La profondità raggiunse nuovi record nel 1990 quando fu consegnata in Giappone una macchina in grado di raggiungere gli 80 metri. Un concetto completamente nuovo, che non prevedeva l'utilizzo di una pesante gru cingolata, fu introdotto nel 1991 con lo sviluppo dell'unità compatta MBC 30 (**Fig. 1**) che prevedeva l'utilizzo di un tamburo avvolgicavi orizzontale. Un nuovo sistema di recupero delle tubazioni, chiamato HDS (Hose Drum System), utilizzabile sia per i tubi idraulici che per le condotte dei fanghi, fu progettato nel 1991 per una profondità di 60 m e nel 1992 di 80 m per un lavoro in Austria. Lo sviluppo nel 1993 di uno speciale trattenitore di tutte le tubazioni permise di raggiungere i 150 m, mentre l'introduzione nel telaio dell'idrofresa di piastre idrauliche di guida permise di limitare la deviazione verticale a 2 cm ad una profondità di 100 m! Il 1994 vide il progetto e la costruzione del modello BC 50, avente una coppia di 135 kNm per ogni ruota, che fu utilizzata per la prima volta su una nave oceanografica per la ricerca di diamanti in Sud Africa. Nel 1999 fu lanciato sul mercato un nuovo sistema computerizzato, chiamato B-Tronic, in grado di garantire il non superamento di una deviazione massima dello 0,1%. Nel 2007 è stata ingegnerizzata la prima idrofresa montata su gru cingolata MC 64 e nel 2010 su MC 128, macchina in grado di raggiungere i 160 m di profondità con un modulo fresante BC 50. Attualmente si stanno sperimentando macchine ed impianti in grado di superare la barriera dei 250 m.



Figura 1. La "compatta" MBC 30

3 Il funzionamento in breve

L'idrofresa rimuove in maniera continua il materiale dal fondo dello scavo riducendolo in una pezzatura pompabile, tramite la miscelazione con la sospensione bentonitica presente nello scavo. Il fango, caricato di particelle solide di materiale, è pompato all'unità di dissabbiamento dove viene pulito e rinvio in circolazione (**Fig.2**).

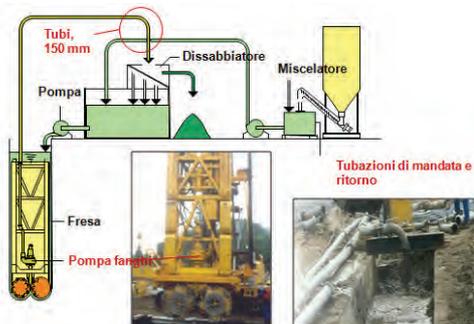
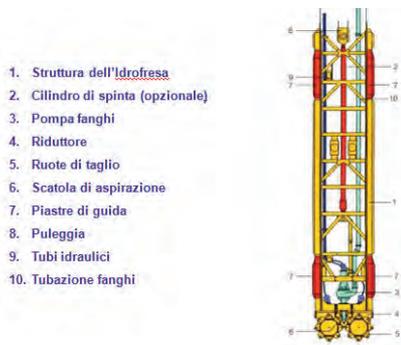


Figura 2. Lay out di funzionamento della fase di preparazione e rigenerazione dei fanghi bentonitici

Oltre alle tipologie convenzionali quali water stop, fuko o tubi di intercettazione, nella maggior parte dei casi si eseguono giunti per sovrapposizione (over-cutting) ed è questa possibilità che maggiormente ha garantito, dal punto di vista tecnico, lo sviluppo e l'utilizzo in maniera così importante di tale tecnologia. Durante lo scavo dei pannelli secondari, alcuni centimetri (generalmente 10-20) dei pannelli primari vengono fresati dalle ruote di taglio al fine di permettere una totale compenetrazione dei getti. Il processo di installazione dei rinforzi in acciaio e del riempimento con calcestruzzi o materiali analoghi è simile alle tecnologie di scavo con benna mordente.

4 Il corpo idrofresa

Il cuore del sistema è la testa fresante di taglio, chiamata “cutter”, schematizzata in **Fig. 3**; consiste di una pesante struttura in acciaio avente due coppie di ruote fresanti installate nella zona inferiore che possono ruotare attorno ad un asse orizzontale.



Il peso del cutter dipende essenzialmente dal modello, passando da circa 30 ton per il BC 32 per arrivare alle 50 ton nel modello BC 50.

4.1 Le ruote di taglio

Le ruote di taglio, espressamente progettate in funzione del materiale da scavare, vengono installate a coppie su due riduttori, con un circuito idraulico indipendente in modo da poterle comandare anche singolarmente ed a velocità e verso di rotazione differenti. Durante la loro rotazione il materiale a contatto con le ruote viene rimosso in maniera continua, mescolato con la sospensione bentonitica presente nello scavo e movimentato attraverso le aperture praticate nella scatola di aspirazione (suction box), posta sotto la pompa fanghi; da qui tramite apposita tubazione il materiale viene convogliato al dissabbiatore. Le ruote taglienti possono girare con velocità massime di ca. 30 giri/minuto e sviluppano una torsione pari a 100 kN/m per il modello BC 40. Per la costruzione di differenti larghezze di diaframma (generalmente da 640 fino a 1.500 mm, ma si è arrivati a 3.000 mm), le ruote di taglio possono essere sostituite con un idoneo set di perforazione; la scatola di aspirazione ed il telaio devono venire modificati per adattarsi alle dimensioni variate. Apposite piastre di rottura (ejector plates), assemblate attorno alla scatola di aspirazione, garantiscono il passaggio della pezzatura massima consentita e presentano la funzione di frantumare, tramite urto, le pezzature maggiori, oltre a pulire le ruote di scavo quando lavorano nei terreni soffici o argillosi. Al fine di resistere agli urti causati dall’impatto del materiale da scavare con la struttura di taglio, i riduttori vengono protetti tramite speciali assorbitori elastici d’urto (elastic shock absorber) che sono installati tra le ruote di taglio ed i riduttori stessi. La parte di materiale che si trova tra le due ruote assemblate sullo stesso riduttore viene rimossa tramite una serie di denti basculanti, chiamati “flipper teeth”. In funzione della tipologia di materiale vengono utilizzati differenti modelli di utensili, che possono essere denti (teeth), picchi o scalpelli (chisel) o taglienti rotanti a bottoni (roller bit). Paragonando l’idrofresa ai metodi convenzionali di scavo, questo sistema permette di ottenere elevate prestazioni in quasi tutte le formazioni geologiche. Sono state realizzate produzioni sino a 80 m³/ora in terreni sciolti. In formazioni molto dure, aventi resistenze superiori a 100 N/mm², le teste fresanti vengono frequentemente equipaggiate con speciali utensili di taglio ruotanti provvisti di inserti a bottone. In **Fig. 4** si possono vedere diverse tipologie di teste fresanti, da utilizzare in base alla resistenza del terreno:

- a sinistra a denti standard (fino a 50-70 MPa),
- al centro a picchi (fino a 100-120 MPa) ed
- a destra a utensili rotanti a bottoni (da 70 MPa fino a 250 MPa)

Figura 4. Tipologie di utensili per le ruote di taglio



Ruote standard, denti SB



Ruote a picchi, denti RSM



Ruote a roller bits, utensili HRC



Fresare la roccia con ruote di taglio munite di utensili fissi ad inserti di carburo di tungsteno può diventare problematico quando la resistenza a compressione del materiale supera i 70-100 MN/m². Sono state sviluppate quindi ruote fresanti munite di utensili rotanti a bottoni, in grado di scavare in roccia dura, come il granito o il basalto, che possono raggiungere resistenze sino a 250 MN/m². Nella miniera canadese di diamanti di Diavik, sono state utilizzate brillantemente ruote a roller bits e picchi. Generalmente, per applicazioni "normali", vengono comunque utilizzati i denti standard, la cui tipologia può variare a seconda del tipo di terreno e delle prestazioni attese.

4.2 Pompa fanghi

Installata immediatamente al di sopra delle ruote di taglio, una pompa centrifuga aspira il fango bentonitico carico del materiale di risulta e lo invia all'impianto di dissabbiamento. In presenza di materiali sciolti e quando vengono utilizzati fanghi pesanti, la produttività media di scavo è chiaramente determinata anche dalla capacità della pompa. Pompe da 5", 6" e 8" con una portata nominale di 250, 450 e 700 m³/ora sono disponibili per essere applicate sull'idrofresa a seconda dei casi.

4.3 Controllo della verticalità

Nel caso dell'idrofresa, l'utensile di perforazione si trova agganciato ad una fune immersa nel fango bentonitico di stabilizzazione; per l'operatore ciò significa controllare le operazioni come se fosse in "volo cieco". L'efficienza della macchina e dell'intero sistema dipende pertanto dal controllo ottimale di tutti i parametri che sono coinvolti nel processo produttivo. Le idrofresse vengono equipaggiate con un sistema elettronico chiamato B-Tronic, in grado di monitorare e visualizzare tutti i processi associati allo scavo di un diaframma, quali la profondità, la posizione verticale, le pressioni idrauliche e la velocità di rotazione. L'intera unità viene controllata da un unico operatore dalla cabina di comando.

Se l'idrofresa devia dal suo asse verticale, la posizione può essere regolata con l'ausilio delle piastre idrauliche di guida, presenti generalmente in numero di 12 su 2 livelli del cutter (Fig. 5), tramite controllo da parte dell'operatore e pressione sullo schermo touch screen del relativo elemento da muovere.

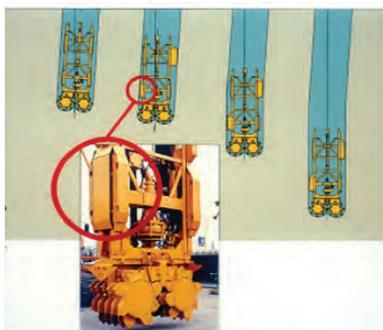


Figura 5. Piastre idrauliche di guida utilizzate per correggere la verticalità di uno scavo

Il sistema indica sul video la posizione del cutter, lo scostamento dalla verticalità, la direzione tendenziale e suggerisce all'operatore come correggere la rotta intervenendo sui deflettori idraulici. La correzione, che può avvenire manualmente o automaticamente, viene monitorata in continuo sul video e memorizzata dalla macchina, che fornisce una stampa per ogni pannello. Il computer centrale, con tutti i sensori periferici, è infatti in grado di restituire le informazioni elaborate informaticamente tramite file di dati e/o direttamente stampando report grafici. Tutti i dati generati dal B-Tronic possono essere trasmessi via radio ad un computer installato in Cantiere o direttamente alla sede del Costruttore per essere controllati e verificati. In entrambi i casi è perciò possibile intervenire in tempo reale sul processo di scavo producendo notevoli vantaggi sia in quanto a controllo e monitoraggio che in merito alla prevenzione di eventuali malfunzionamenti mediante manutenzioni espressamente programmate.

4.4 Sistema di guida delle tubazioni

Sia le tubazioni idrauliche che quelle di pompaggio dei fanghi devono seguire tutti i movimenti dell'idrofresa mantenendosi con una tensione costante. Attualmente esistono quattro tipologie di

sistemi di guida delle tubazioni, in relazione al tipo di macchina base utilizzato ed alla profondità di scavo (Fig. 6).



Figura 6. I quattro tipi di tensionatori delle manichette idrauliche

4.4.1 HTS

Il sistema classico è chiamato HTS (Hose Tensioning System). L'idrofresa viene alzata ed abbassata tramite uno speciale argano che può essere installato sul carro base o sul braccio tralicciato. Le tubazioni, idrauliche e dei fanghi, vengono guidate tramite due argani a tensione costante. Questi argani sono sincronizzati con quelli dell'idrofresa, per cui se l'operatore lavora in funzione automatica deve solo gestire la salita o la discesa della fresa. La profondità raggiungibile è pari a due volte la corsa delle ruote di avvolgimento. Con questo sistema si possono generalmente raggiungere profondità di scavo fino a circa 60-70 m (Fig.7).

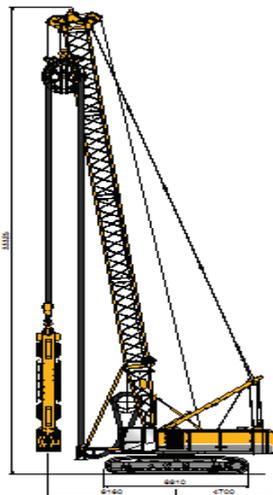


Figura 7. Sistema HTS di tensionamento montato su MC 64



Figura 8. Sistema HSS montato su BG 40

4.4.2 HSS

Nel caso di carro base dotato di mast (serie BG) i tubi, passanti in appositi tamburi, vengono sincronizzati meccanicamente tramite una speciale slitta che scorre sul mast, movimentata dall'argano principale. In questo caso il sistema prende il nome dall'acronimo di Hose Synchronization System, cioè HSS. In Fig. 8 si vede un cantiere realizzato in pieno centro cittadino con una macchina molto compatta (Astaldi S.p.A., Passante di Torino). Tale sistema permette di raggiungere profondità di scavo fino a 40-50 metri, in funzione della tipologia di attrezzatura che viene utilizzata.

4.4.3 HDS e HWS

Per pannelli molto profondi oppure in lavori urbani in presenza di spazi ristretti, le tubazioni possono essere avvolte su avvolgitori ad asse orizzontale o verticale a tamburo.

I sistemi vengono chiamati:

- HDS Hose Drum System e
- HWS Hose Winch System

Quest'ultima soluzione ha permesso di mantenere dimensioni estremamente ridotte, ad esempio per il modello compatto MBC 30, ed ottenere profondità superiori ai 60 m. Il modello HDS si presta più per lavorazioni "massive" o per profondità molto elevate (si superano senza particolari difficoltà i 100 m).



Figura 9. In primo piano sistema HDS



Figura 10. CBC 32 e sistema HWS

In **Fig. 9** riportiamo l'immagine di un cantiere ove è visibile, in primo piano, una CBC 33 con sistema HDS; dietro si può notare una BG 40 al lavoro con il sistema HSS. Nel più recente sistema di tensionamento HWS il cutter è movimentato da cavi integrati nei tubi idraulici, che vengono avvolti in un argano-tamburo, azionato da 8 motori idraulici; il tubo fanghi viene "arrotolato" su un tamburo separato (**Fig. 10**).

4.5 Posizionamento della macchina

Generalmente la gru cingolata e l'idrofresa corrono paralleli alla linea di scavo dei diaframmi. In situazioni particolari è possibile ruotare l'idrofresa, sfruttando uno speciale cinematismo (parallelogramma articolato o rotazione delle tubazioni nastrate), al fine di poter scavare i pannelli con una qualsiasi angolazione del carro rispetto al cutter ad esempio per i pannelli d'angolo o per quelli che presentano difficoltà logistiche di esecuzione (**Fig. 11**).



Figura 11. Possibili posizionamenti dell'idrofresa rispetto alla posizione del pannello

4.6 Il carro cingolato e la capacità idraulica

Grazie all'evoluzione dei gruppi oleodinamici di potenza (power pack) ed ai sistemi speciali di guida delle tubazioni, è ora possibile assemblare un'idrofresa su quasi tutti i sottocarri cingolati standard di adeguata capacità, anche se non appositamente equipaggiati, dal punto di vista della potenza, per il funzionamento del modulo idrofresa. A seconda della capacità idraulica richiesta dall'impianto è pertanto possibile scegliere 3 sistemi alternativi:

- Potenza idraulica generata interamente dal gruppo integrato al sottocarro cingolato.
- Potenza idraulica parzializzata tra il carro cingolato (ad es. le ruote di taglio) ed una unità esterna.
- Potenza idraulica completamente generata da un gruppo oleodinamico di potenza esterna.

5 Impianto trattamento fanghi

Dopo l'idrofresa, il sistema di dissabbiatura rappresenta il componente principale facente parte l'intero impianto tecnologico. Il fango bentonitico carico del materiale di risulta dallo scavo viene inviato all'unità di dissabbiamento ove le particelle solide sono rimosse e la bentonite così ripulita può essere rimessa in circolo nello scavo.

Portata e capacità di dissabbiamento devono essere dimensionate in accordo:

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

A tal proposito sono state sviluppati varie macchine che fanno parte di una tecnologia modulare (**Fig. 12**) espressamente dedicata per mescolare e rigenerare i fanghi, che comprende unità meccaniche diverse tra di loro ma interconnesse, quali vagli, cicloni, tavole vibranti, desilter e separatori centrifughi.



Figura 12. Impianto di dissabbiamento, BE500 con una capacità di trattamento 500 mc/h, provvisto di centrifughe (Icotekne, Metro Tessalonica)

Per produrre un fango lavorabile, la bentonite in polvere deve essere propriamente miscelata con acqua; una volta prodotti, i fanghi bentonitici vengono immagazzinati in idonei contenitori, normalmente silos verticali atti non solo al contenimento delle miscela fresca ma anche allo stoccaggio ed alla gestione:

- della bentonite di lavoro, che è la miscela con la quale si sorregge il diaframma mentre si scava e si veicola il materiale fresato all'impianto di dissabbiamento, e
- della miscela bentonitica che si utilizza durante la fase di getto del calcestruzzo per il riempimento del perforazione eseguita.

La bentonite, ripulita dai solidi, viene re-immessa in circolo mediante una pompa centrifuga molto potente (**Fig. 13**); tale pompa è normalmente controllata tramite un sistema di comando a distanza e lavora, generalmente, sotto regolatore di frequenza al fine di poter garantire un infinito grado di variabilità di portata.



Figure 13. Pompa KBKT per il rilancio della bentonite nello scavo, in questo caso collegata alla vasca con agitatore per il ricircolo, posto sotto l'impianto di dissabbiamento (Metro C – Saos, Roma)

6 Metodologia operativa

Lo scavo di un diaframma tramite idrofresa viene effettuato, generalmente, tramite una procedura abbastanza standardizzata.

6.1 Costruzione delle corree e prescavo

Prima delle fasi di prescavo viene realizzato un muro guida (correa) in calcestruzzo, armato, con una larghezza leggermente superiore a quella del pannello che si desidera scavare.

Questo potrà essere o gettato in opera o prefabbricato (**Fig.14**) e serve a fornire un corretto "invito" alla struttura dell'idrofresa nelle fasi iniziali di scavo, oltre a contenere le spinte del terreno dovute al carico indotto dal carro base ed a sostenere temporaneamente le gabbie di rinforzo quando sono assemblate in più parti direttamente nello scavo. Viene quindi realizzato il prescavo mediante una scavatrice a cucchiaio rovescio o con benna mordente (**Fig. 15**) ad una profondità di ca. 3-3,5 m (dipende dai modelli di fresa), utilizzando le corree come guida. Ciò serve per intestare l'idrofresa sino al livello di pescaggio della pompa centrifuga di aspirazione dei fanghi di scavo.



Figura 14. Realizzazione e schema tipo delle corree Fig. 15 – Prescavo mediante roto benna mordente

6.2 Guida meccanica della fresa e posizionamento

Si prosegue con il posizionamento della struttura metallica di invito e guida della testa fresante. Questa è sostenuta, durante le fasi di movimentazione, dal corpo fresa tramite semplici catene che vengono sganciate durante le fasi di scavo ed un sistema prevede un cinematismo di ancoraggio alla correa di tipo idraulico. Si verifica nel frattempo il corretto posizionamento delle due tubazioni principali:

- la linea di pompaggio della bentonite pulita e
- la linea di aspirazione dei fanghi,

utilizzando speciali attacchi rapidi per velocizzare i tempi di eventuale movimentazione ed installazione.

6.3 Scavo del pannello primario

Si realizza quindi il pannello primario, eventualmente con più “discese” della fresa se di dimensioni maggiori della larghezza di taglio. In Fig. 16 sono sintetizzate le possibilità realizzative dei pannelli, con configurazioni che possono essere:

1. pannelli singoli,
2. pannelli multipli,
3. pannelli d'angolo e
4. pannelli a T.

Terminata la perforazione, la fresa mantiene in azione le pompe di aspirazione e mandata della bentonite per il tempo necessario (in funzione delle dimensioni del pannello e della capacità della pompa) a sostituire la bentonite nello scavo con una il più possibile pulita per non creare problematiche di inquinamento durante il getto del calcestruzzo. Ci si sposta in seguito su un'altra verticale, previo controllo dello stato degli utensili di taglio, che saranno sostituiti se consumati o danneggiati.

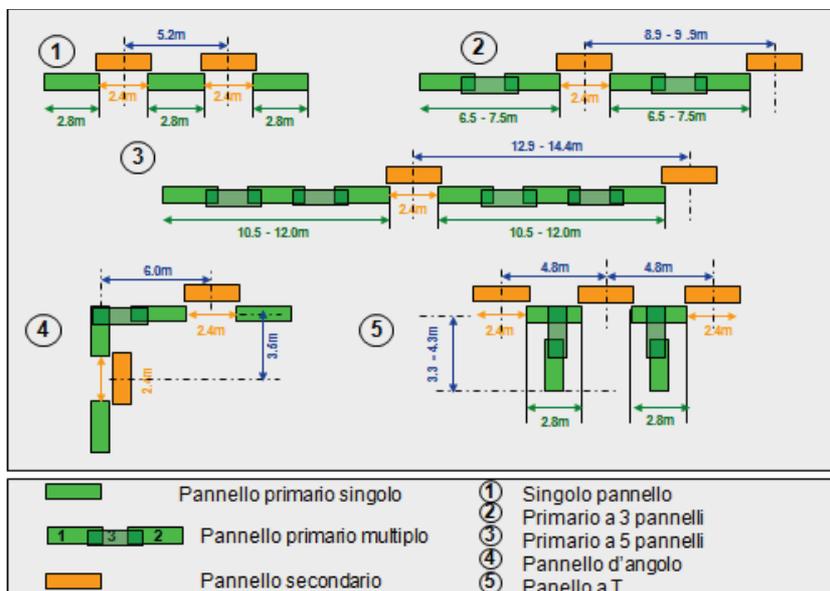


Figura 16. Possibili configurazioni dei pannelli

6.4 Posa della gabbia di armatura e getto

Nel foro appena scavato si provvede all'inserimento della gabbia di armatura, generalmente realizzata in più elementi per facilità di trasporto e messa in opera; in **Fig. 17** si può vedere l'operazione di sollevamento e posa di una gabbia in vetroresina.

Durante la fase di annegamento della gabbia è di fondamentale importanza l'inserimento di opportuni distanziatori (spacer) affinché quest'ultima sia centrata all'interno del pannello scavato; la procedura è comunque analoga a quella che si utilizza nella fase di posa delle gabbie nei diaframmi scavati con benna mordente.

Varie possono essere le soluzioni che vanno dal posizionamento solidale sugli estradossi lato gabbia di blocchetti in calcestruzzo, dall'installazione di un tubo in materiale plastico in mezzera dell'estradosso o l'inserimento di un profilo di guida in acciaio (H-beam) sul lato corto della sezione del pannello, che dovrà essere rimosso durante la fase di getto del diaframma. Tali distanziatori forzeranno la gabbia ad assumere una posizione verticale e centrata rispetto alle pareti del pannello al fine di non rischiare, nella fase di fresatura del pannello secondario compenetrante, di dover tagliare i ferri di armatura primaria con un dispendio di tempo e di utensili di taglio. La fase di getto rappresenta un'operazione che per essere correttamente eseguita necessita di alcuni accorgimenti, peraltro analoghi alle operazioni che si effettuano per il getto dei diaframmi scavati con sistemi tradizionali (o dei pali in bentonite). E' opportuno seguire la seguente sintetica procedura:

1. utilizzare tubi di getto componibili ad attacco rapido, facili da movimentare,
2. inserire l'intera tubazione di getto comprensiva di tramoggia ed
3. è raccomandabile utilizzare una palla di getto a perdere che, installata nella tubazione durante la prima fase di getto, ha la funzione di mantenere il calcestruzzo separato dai fanghi bentonitici sino al suo arrivo a fondo foro; in tale maniera si evita di inquinare ulteriormente la bentonite e/o di mescolare i due materiali.
4. Durante la fase di getto sarà necessario estrarre le putrelle distanziatrici ma non prima di avere verificato che il piede del pannello sia sufficientemente riempito di calcestruzzo al fine di non rischiare uno spostamento repentino della gabbia all'interno del foro con conseguente perdita di allineamento e possibili problematiche durante lo scavo dei pannelli secondari.

Durante la fase di getto è necessario recuperare la bentonite che esce dallo scavo via via che viene sostituita dal calcestruzzo; si utilizza generalmente una pompa peristaltica posta in vicinanza del pannello in fase di getto, che invia la bentonite ai contenitori dell'impianto per essere riutilizzata in altri scavi. In **Fig. 18** è ben schematizzata la procedura di getto di un pannello multiplo primario, effettuato con 3 tubi getto contemporaneamente.



Figura 17. Sollevamento e posa di una gabbia in VTR

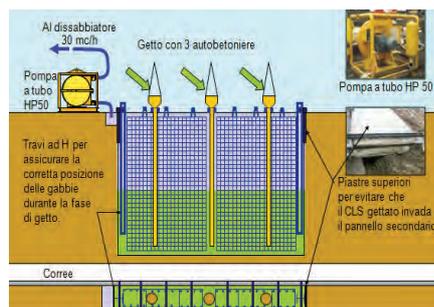


Figura 18. Getto di un pannello multiplo primario

6.5 Pannelli secondari

A completamento di una paratia si effettuano gli scavi dei pannelli secondari di chiusura; è di fondamentale importanza che lo scavo si sovrapponga in modo tale che i due lati verticali adiacenti del pannello primario già realizzato siano scavati internamente di qualche centimetro al fine di permettere una ottimale compenetrazione dei getti. Tale "overcutting" dipende anche dalla profondità dei pannelli, per via della tolleranza sulla verticalità che aumenta con la profondità, e da esigenze progettuali, arrivando a circa 20 cm per pannelli profondi oltre i 40 m. Si inserisce la gabbia secondaria e si effettua il getto del pannello come nel caso del primario, ovviamente senza necessità dei distanziatori.

7 Macchine speciali e novità

Nel corso degli anni sono state ideate, progettate e realizzate alcune tipologie di cutter speciali, per consentire l'utilizzo della tecnologia dei pannelli idrofresati in condizioni particolari. In particolare l'assemblaggio di macchine molto compatte, con ingombri estremamente ridotti, ha consentito l'esecuzione di paratie idrofresate all'interno di tunnel o di edifici difficilmente accessibili ad altre tipologie di macchinari. Ad esempio, la CBC 25, definito "low head cutter", montata su carro base BS 120 e con lo speciale attacco MBC 30, è stata utilizzata all'interno di una galleria per lo scavo di pannelli idrofresati in Cina (vedi **Fig. 19**). Al fine di limitare l'altezza di ingombro la ruota avvolgicavi (manichette idrauliche e tubo fanghi) si trova posizionato nella parte posteriore della macchina base ed il modulo cutter presenta dimensioni molto ridotte in altezza.



Figura 19. La CBC 25 è alta solo 5 m da terra!

Altra macchina speciale è la nuova CBC 32, detta "Compact BMA Cutter system", dotata di una fresa BC 32 montata su una macchina base particolarmente compatta e performante; è infatti in grado di raggiungere profondità superiori ai 75 m con un'altezza complessiva di soli 15 m (**Fig. 20**).



Figura 20. CBC 32 al lavoro come idrofresa per lo scavo dei pannelli primari in combinazione ad una MC 32 per lo scavo dei pannelli secondari con "benna intelligente" DHG

Il cutter viene movimentato da funi che sono integrate in una speciale banda metallica integrata ai tubi idraulici, montati su appositi tamburi di avvolgimento degli stessi; il tubo fanghi viene arrotolato in un tamburo separato e nella puleggia di rimando, posizionata in testa, passa in mezzo a due bande di tubi idraulici e di funi di sostegno. Inoltre, il tamburo per il tubo fanghi è elettronicamente basculante, per cui la sua inclinazione viene automaticamente regolata per assicurare il miglior angolo di entrata nella puleggia in testa; quindi, tutti i tubi e i cavi sono comandati da questi tamburi e non necessitano di ulteriori organi. L'intero sistema di avvolgimento dei tubi idraulici e delle funi di sostegno è comandato da 8 motori idraulici. Appena questa attrezzatura è stata introdotta sul mercato, in Italia nello stesso anno ha realizzato due lavori prestigiosi quali lo scavo di una stazione della Metro C a Roma (Icotekne) ed, a Torino, la realizzazione del Grattacielo Banca Intesa (Icop).

8 La Metro C a Roma

La linea B della Metropolitana di Roma (ca. 10 km) è in fase realizzativa da alcuni anni; diverse idrofresche hanno lavorato su questo tracciato. La linea D (ca. 20 km) un giorno partirà (project financing e Promotore approvato, si è in attesa della gara ...). La linea C è in pieno progresso; si estende per più di 40 km con 42 stazioni. Attualmente è praticamente terminata quella che viene definita "Parte Fondamentale" (da T2 a T7), con una lunghezza di 25,5 km - 17,6 km in sottosuolo - e 30 stazioni delle quali 3 di interscambio con le altre linee metropolitane. La tratta T3 è appena stata finanziata e transiterà per alcuni dei siti più famosi dell'Urbe, quali il Colosseo, San Pietro e P.zza Venezia. La

linea scorre anche al di sotto del Tevere e si estende oltre il GRA. I "numeri" di questo lavoro sono impressionanti:

- 4.300.000 m³ di terreno da rimuovere
- 600.000 m³ di scavi archeologici
- 1.600.000 m³ di CLS
- 270.000.000 kg di acciaio
- 30 treni (108 m) per 24.000 uomini/h per senso
- 150 ascensori, 250 scale mobili, 88 cabine di trasformazione, 1.500 telecamere, 200 ventilatori (ove è stato scelto come Fornitore la spagnola Zitron) ...

In questo progetto si è raggiunto il record di vedere 7 idrofese lavorare contemporaneamente (**Fig. 21**):

1. MetroC/Saos, LH885+HTS50+BC32+BE500, Stazione Teano
2. Sicos, LH885+HTS50+BC40+BE500, Stazione Parco di Centocelle
3. Trevi, BS6100+HTS50+BC32+BE500, Centocelle
4. Sif, HS883+HTS50+BC30+BE500, Piazza Pigneto
5. Sif, HS883+HTS50+BC32+BE500, Piazza S. Felice
6. Else, BG28/HD460+HSS36+BC32+BE500, Stazione Giglioli
7. Icotekne, BS100+HWS75+BC32+BE500, Torrespaccata



Figura 21. Estensione della Linea C della Metropolitana di Roma con evidenziate le Stazioni

Classiche dimensioni dei pannelli sono (**Fig. 22**): profondità 40-55 m, larghezza da 800 a 1.200 mm in formazioni geologiche che comprendono tufi, pozzolane, sabbie, limi ed argille.

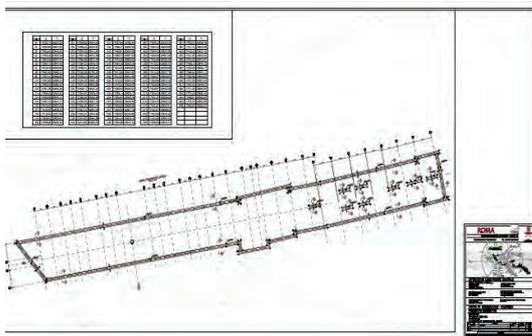


Figura 22. Lay out esemplificativo di una Stazione della Linea C



Figura 23. La Stazione Colosseo

A breve verranno affrontati gli scavi per la realizzazione della Stazione Colosseo, con pannelli particolarmente profondi e complicati ... e, dal punto di vista architettonico, alcune Stazioni del down town saranno particolarmente estese ma completamente nascoste nel sottosuolo (**Fig. 23**).

9 La Pedemontana Lombarda

L'“autostrada urbana” della Pedemontana Lombarda è caratterizzata da un'alta frequenza di svincoli: attraverserà da Est a Ovest il sistema insediativo del Nord di Milano sulla linea pedemontana, contraddistinto da un'urbanizzazione quasi senza soluzione di continuità. La lunghezza del tracciato è di ca. 160 km, di cui 14 in galleria e 31 km in trincea. Nel 2010 vi è stata l'apertura dei primi cantieri sulla tratta di 15 km compresa fra la A8 e la A9, affidata ad un Contraente Generale. L'anno scorso è stato scelto l'altro Contraente Generale per la realizzazione delle ulteriori 4 tratte, riunite in un unico appalto: da Lomazzo allo svincolo terminale di Osio Sotto. Si può affermare che tale Opera rappresenta una delle maggiori infrastrutture in costruzione oggi in Italia (valore complessivo 5 miliardi).

Nell'ambito di questo progetto, per la galleria di Grandate, al di sotto della SS 35 Strada Statale dei Giovi, sono state progettate paratie definitive realizzate mediante idrofresa; l'impresa Sipes-Di Vinzenzo Dino & C. S.p.A. si è occupata della loro esecuzione utilizzando un'idrofresa BG40-BC32-40. Il tunnel artificiale prevedeva ca. 400 pannelli (**Fig. 24**) di differenti profondità (16-20 m), 1 m di spessore, in materiali particolarmente eterogenei, composti di banchi di argille, gonfoliti e trovanti in granito, aventi resistenze anche superiori ai 160 MPa (**Fig. 25**).

Dopo aver provato gli utensili standard ed aver rilevato elevati consumi e basse produttività ed aver testato sistemi di predrilling, sono state installate nuove teste fresanti correate di speciali utensili di taglio a picchi “chiesel” (**Fig. 26**).

Le medie di perforazione per pannello sono passate ad 8 h, con punte massime di 15 ore e minime di 3,5 ore in funzione della percentuale di trovanti (contro a volte l'impossibilità di realizzare lo scavo). I consumi sono passati da una media di 100 utensili standard a 10 picchi per pannello (con punte di 50 picchi/pannello sempre in funzione della percentuale di trovanti granitici). La sovrapposizione dei pannelli di progetto è stata pari a 5 cm.



Figura 24. Paratia idrofresata



Figura 25. Trovanti granitici



Figura 26. Ruote a “picchi”

10 Bibliografia

- Bringiotti M., Dossi M., *Tecnologia vincente per il Passante Ferroviario di Torino*, Maggio e Giugno 2002, I° e II° parte, Quarry & Construction, Edizioni PEI, Parma
- Bringiotti M., *Guida al Tunnelling: l'Evoluzione e la sfida*, 2003, Edizioni PEI, Parma
- Bringiotti M., Bottero D., *Consolidamenti & Fondazioni*, 2003 Edizioni PEI, Parma
- Bringiotti M., *Dal Cutter Soil Mix al Triple Auger*, I° e II° parte, Settembre e Dicembre 2004, Quarry & Construction, Edizioni PEI, Parma
- Bringiotti M., *Recenti Cantieri innovativi in Italia*, 2006, Quarry & Construction, Geofluid, Edizioni PEI, Parma
- Bringiotti M., *Geotecnica e Macchine da Perforazione – Metodologie ed Innovazioni*, 2010 Edizioni PEI, Parma
- Bringiotti M., Dalle Coste A., *Moderne macchine ed impianti per la realizzazione di diaframmi tramite idrofresa – la tecnologia mecatronica Bauer Maschinen*, 2010, Convegno: Tecnologia dell'idrofresa per la realizzazione di diaframmi profondi in terreni difficili, Politecnico TO
- Bringiotti M., Dossi M., *Sviluppo tecnologico delle idrofresate: dagli albori alla realizzazione di scavi profondi e complessi in ambienti “impossibili”*, 2011, XXIV Convegno Nazionale di Geotecnica, AGI, Napoli