

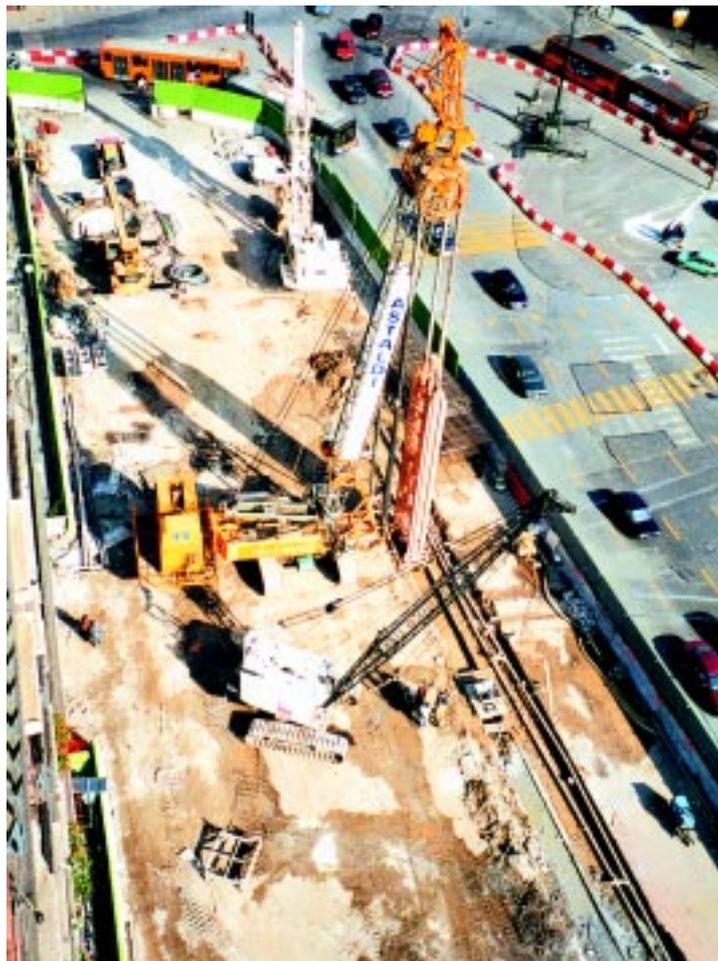
TECNOLOGIA VINCENTE PER IL PASSANTE FERROVIARIO DI TORINO

DR. ING. MASSIMILIANO BRINGIOTTI, DR. GEOL. MARCO DOSSI - GEOTUNNEL - GENOVA

1. Introduzione

Un raggruppamento di imprese formato da Astaldi, Impresa Rosso ed Italstrade (riunite in una società consortile denominata Susa Dora Quattro) si è aggiudicata nel 2000 la realizzazione della prima tranche del II lotto dei lavori per la costruzione del passante ferroviario della città di Torino. La realizzazione esecutiva del progetto ha comportato la scelta di tecnologie innovative, essendo necessario lo scavo di una trincea ove passeranno treni e metro molto vicino a palazzi e costruzioni, mediante realizzazione di paratie, successivamente tirantate, che presentassero gli aspetti propri di una costruzione definitiva, portante. Inoltre, l'estensione lineare di tali paratie ed i tempi ristretti di esecuzione richiedevano l'utilizzo di tecnologie sicure ed ad alta produttività. Inoltre, ancora alcune limitazioni tecniche venivano fornite dalla situazione geologica in cui si andava ad operare. La scelta è stata così orientata verso l'utilizzo delle idrofresche progettate e costruite dalla società tedesca Bauer Maschinen GmbH.

Per la complessità dell'opera e la conseguente ampiezza della trattazione, la pubblicazione è stata organizzata in due parti, di cui la presente illustra gli aspetti generali della realizzazione, mentre nel prossimo numero della rivista si parlerà di cantieri, di macchine e del loro impiego.



2. Il secondo tratto del Passante Ferroviario di Torino

Il Passante, la più grande infrastruttura realizzata a Torino dal dopoguerra, è una linea ferroviaria di nuova concezione, prevalentemente sotterranea, che attraversa

la città dal Lingotto alla stazione Stura, permettendo di differenziare il traffico locale e regionale da quello a lunga percorrenza. Sette stazioni, di cui due nuove e tre completamente ricostruite, consentiranno una più efficiente integrazione della ferrovia con altri sistemi di trasporto: tram, metropolitana ed autobus (fig. 1).

La nuova progettazione degli spazi di superficie, inclusa nelle opere del Passante, sanerà la frattura fra la zona est e la zona ovest della città, creata all'inizio del secolo dai binari della ferrovia.

L'inserimento del tracciato ferroviario nel tessuto urbano determinò un diverso grado di sviluppo tra le due zone. Sopra i tratti ferroviari del Passante che corrono in galleria (ben 7 dei 12 Km complessivi) verrà realizzato un viale alberato dotato di vaste aree verdi, piste ciclabili, parcheggi e soluzioni di viabilità che renderanno più scorrevole la circolazione.

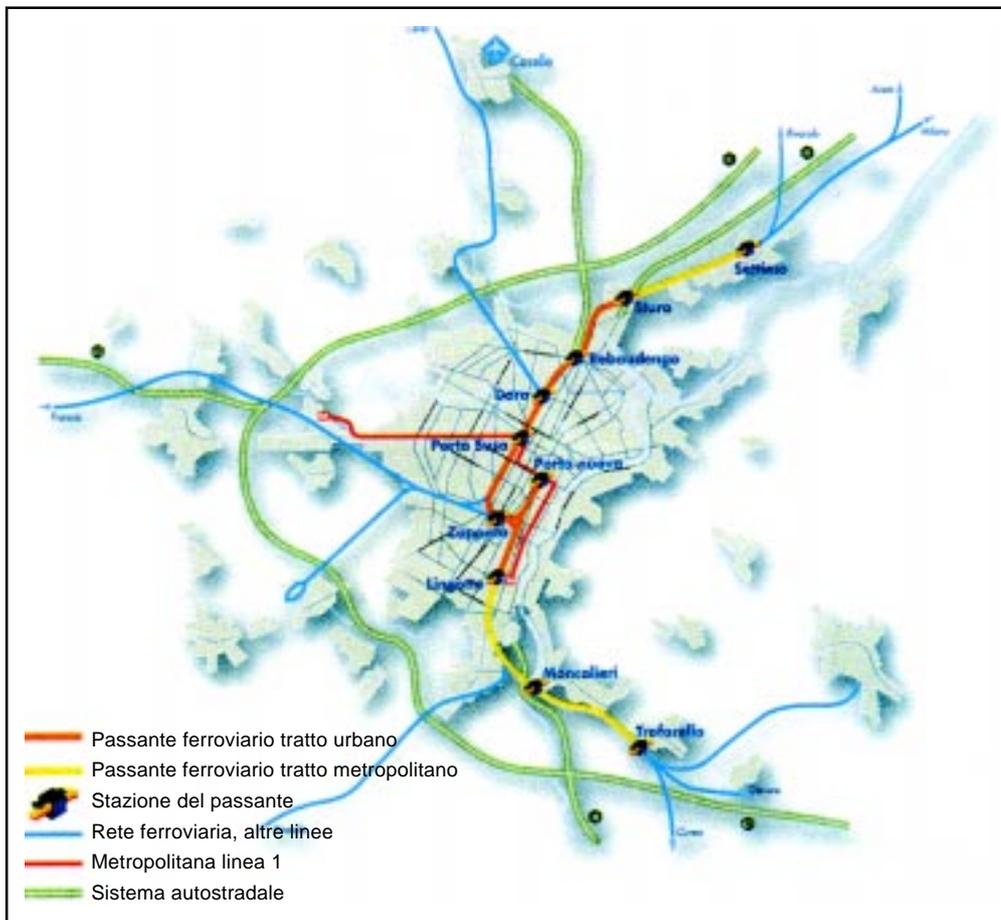


Figura 1 - Schema delle linee ferroviarie e metropolitana della città di Torino

Molte zone urbane potranno così essere riqualificate. Inoltre, la copertura del tratto che attraversa il cuore della città consentirà di valorizzare la cosiddetta “spina centra-

le”, un’area di tre milioni di metri quadrati, fino ad oggi condizionata dai binari, che verrà destinata ad uso residenziale ed alle attività produttive, di ricerca, sociali, cultu-

rali e commerciali (fig. 2).

2.1 Primo tratto: dalla stazione Lingotto a Corso Vittorio Emanuele II

I treni circolano in galleria (fig. 3) già dal 26 Settembre 1999 mentre la sistemazione di viali, giardini, piste ciclabili e arredo urbano di superficie è ancora in corso e precisamente:

- Da Corso Turati a Largo Orbassano (lotto A): si stanno ricoprendo i binari, con ultimazione prevista per Gennaio 2003, mentre la sistemazione dello spazio pubblico è tuttora in corso di progettazione definitiva e sarà finanziata entro il 2002 ed ultimata entro il 2004.

- Da Largo Orbassano a Corso Peschiera (lotto B): sono già state sistemate le alberature e l’illuminazione pubblica mentre la sistemazione delle carreggiate e dei percorsi pedonali è praticamente ultimata.

- Da Corso Peschiera a Corso Vittorio Emanuele II (lotto C): i binari sono già stati coperti e sono avviate le opere di sistemazione delle aree di superficie. Il progetto è stato predis-

posto dalle Ferrovie dello Stato in collaborazione con il Comune, come previsto dalla convenzione stipulata nel Febbraio del 1993, poiché la sua realizzazione è

- | | | | | |
|--|---|--|--|---|
| <p>Area di Trasformazione Lingotto
 Centro Polifunzionale del Lingotto
 Nuova Piazza Galimberti
 Villaggio Media 2
 Sottopasso Corso Spezia</p> | <p>Area di Trasformazione Spina 1
 Nuovo Palazzo della Regione</p> | <p>Area di Trasformazione Spina 2
 Raddoppio del Politecnico
 Nuova Biblioteca Civica e Teatro
 Palazzo di Giustizia
 Sistemazione Piazza Statuto</p> | <p>Area di Trasformazione Spina 3
 Environment Park
 Centro Polifunzionale Dora
 Villaggio Olimpico</p> | <p>Area di Trasformazione Spina 4
 Nuova Stazione Rebaudengo</p> |
|--|---|--|--|---|

Figura 2 - Planimetria in cui è stato evidenziato il percorso, le stazioni del Passante e le Aree di trasformazione (Spine)



Moncalieri La copertura di tutte le linee che attraversano il cuore della città consente la valorizzazione di quelle aree di trasformazione urbana individuate dal Piano Regolatore Generale approvato nel 1996 e chiamate, nel loro complesso, “Spina Centrale”: circa 3.000.000 di metri quadrati di territorio, fino ad oggi condizionato dai binari, da recuperare per diverse destinazioni: residenziali, produttive e di ricerca, sociali, culturali e commerciali.

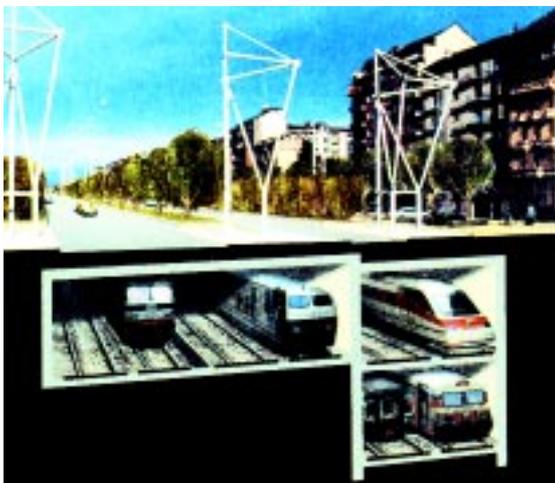


Figura 3 - Sezione del nuovo viale in corrispondenza delle Via Bobbio e Caboto. In basso a destra trova spazio la linea passante per il traffico regionale, in alto a destra la linea Porta Nuova-Porta Susa per il traffico nazionale e internazionale ed a sinistra la ricollocazione delle linee esistenti

strettamente connessa con le opere di copertura delle trincee ferroviarie. Il tratto coinvolto dal progetto costituisce il lotto C del piano che prevede la copertura del passante ferroviario da Corso Turati a Corso Vittorio Emanuele II. Per i lotti A (da Corso Turati a Largo Orbassano) e B (tra Largo Orbassano e Corso Peschiera) i lavori si concluderanno tra il 2001 ed il 2004. Quando sarà ultimato, il viale unificherà Corso Mediterraneo, Corso Leone e Corso Castelfidardo e, in futuro, anche Corso Inghilterra e Corso Prin-

cipe Oddone. Un lungo rettilineo collegherà la stazione Dora con una nuova piazza, in costruzione, all'incrocio tra Corso Mediterraneo e Corso Leone all'altezza di Via Torricelli (Piazza Grande), mentre una larga curva andrà da questa piazza a Largo Orbassano.

Il progetto del lotto C prevede la realizzazione (come per tutto il Viale della Spina) di un viale centrale a tre corsie per ogni senso di marcia (una riservata ai mezzi pubblici) separate da una banchina centrale con un filare di alberi e con due banchine laterali alberate larghe 9 m (fig. 4). Sul lato est del viale

saranno ricavati un controviale in acciottolato con parcheggi "a pettine", un marciapiede, una pista ciclabile ed un giardino che si estenderà su tutto il viale da Largo Orbassano a Corso Vittorio Emanuele. Uno specifico progetto (coerente con le caratteristiche del Viale della Spina Centrale) sarà invece elaborato per il collegamento tra l'attuale Politecnico e la futura nuova sede.

La spesa complessiva prevista per i lavori di sistemazione tra Corso Peschiera

e Corso Vittorio Emanuele II è di ca. 26 milioni di Euro.

2.2 Secondo tratto: da Corso Vittorio Emanuele II alla stazione Dora I

I lavori iniziati alla fine di Settembre 2000 termineranno entro il 2005. Nel luglio 1999 è stata firmata tra il Comune e le Ferrovie dello Stato la convenzione per la realizzazione del II° lotto del passante ferroviario cittadino, che collegherà la stazione di Porta Susa (a partire dall'asse di Corso Vittorio Emanuele II) alla stazione Dora.

La convenzione prevede la ricostruzione, in sotterraneo ed a quattro binari, della ferrovia e la realizzazione del viale alberato della Spina Centrale tra corso Vittorio Emanuele II e Via Savigliano. Le risorse finanziarie che i due Enti hanno messo a disposizione per il progetto ammontano a ca. 360 milioni di Euro, 250 dei quali da parte del Comune di Torino ed il rimanente da parte delle Ferrovie dello Stato. Il finanziamento del Comune proviene per 210 milioni di Euro dallo Stato (Legge 194 del 18/6/1998) e per 40 milioni da risorse proprie.

L'intervento approvato è conforme alle prescrizioni del P.R.G.C. e comprende



Figura 4 - Rendering del progetto del nuovo viale da Corso Peschiera all'incrocio tra Via Cristoforo Colombo e Corso Ferrucci. Legenda:

1. Il viale è delimitato dal fronte continuo degli edifici di Corso Mediterraneo
2. Il giardino lineare si sviluppa lungo tutto il viale; o ha una larghezza di circa 11 m con sentieri, alberi ornamentali, panchine, chioschi e percorsi ciclabili. Tra il giardino ed il controviale ci saranno parcheggi alternati ad un filare di alberi
3. I controviali laterali pavimentati in acciottolato permetteranno il traffico a scorrimento più lento e l'accesso ai parcheggi ed agli edifici
4. Due banchine alberate larghe 9 m con un doppio filare di tigli separeranno i controviali dalle carreggiate centrali
5. La sezione centrale del viale è divisa in tre corsie per ogni senso di marcia
6. La due carreggiate centrali sono separate da una banchina centrale larga 3 m, occupata da un filare di querce
7. Il giardino Cefalonia ospiterà opere di artisti contemporanei
8. Grandi tralici in metallo colorato di bianco sosterranno cavi in acciaio inox cui saranno appesi i proiettori che illumineranno le carreggiate centrali
9. I controviali, le aree pedonali ed i percorsi ciclabili saranno illuminati con coppie di pali, anchesse in metallo colorato di bianco, che sosterranno i pannelli in cui saranno inseriti i proiettori

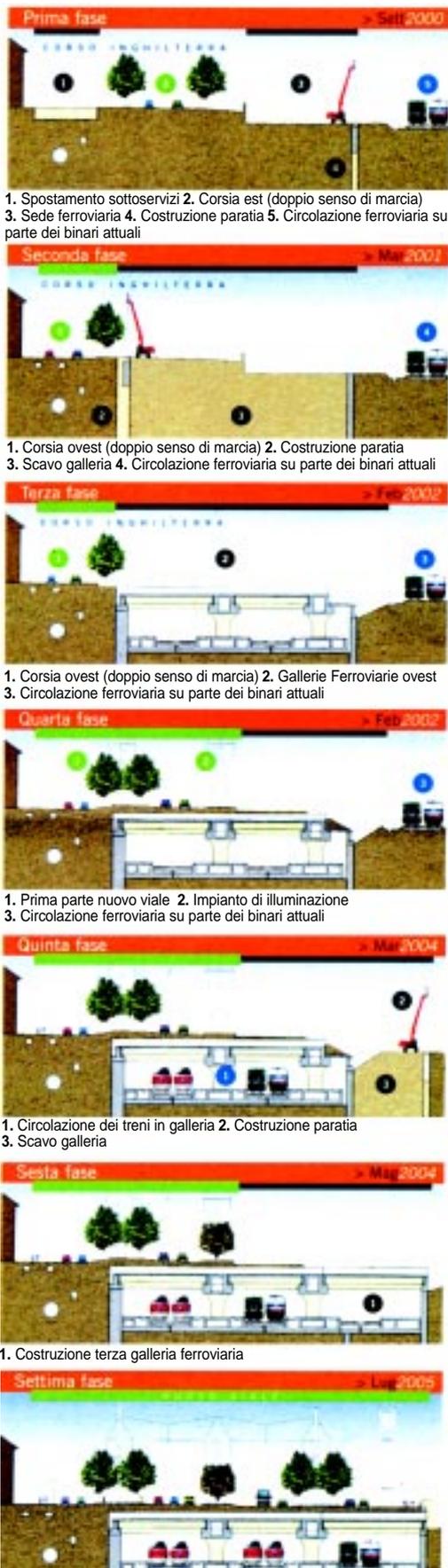


Figura 5 - Fasi di realizzazione del secondo tratto del Passante

le opere necessarie per attivare il servizio a quattro binari tra Corso Vittorio Emanuele II e la stazione Dora e per aprire al traffico veicolare e pedonale un primo tratto del Viale della Spina centrale lungo lo stesso percorso quadruplicato.

Il progetto, redatto in stretta collaborazione tra il Comune e le Ferrovie per mezzo della Società di ingegneria del gruppo FS, Italferr S.p.A., prevede che i binari e tutti gli impianti ferroviari che costituiscono la stazione di Porta Susa vengano ricostruiti ad un livello inferiore a quello attuale. Sopra la ferrovia sarà realizzata una soletta di copertura. La superficie così ottenuta sarà utilizzata per ridisegnare la viabilità e l'assetto urbanistico della zona. La stazione di Porta Susa diventerà il principale nodo d'interscambio di tutto il sistema di trasporto della Città di Torino: vi si fermeranno i treni del servizio regionale ma anche quelli a media e lunga distanza e quelli ad alta velocità e la stazione sarà collegata con la fermata della linea 1 di metropolitana, con la stazione delle autolinee extraurbane e con le linee del servizio di trasporto urbano. Per quanto riguarda Piazza Statuto, il progetto prevede che la nuova linea venga costruita a lato della piazza ma ad una quota inferiore, spostando in basso anche quella esistente.

Per effetto dell'abbassamento del piano dei binari, tra il piano stradale e la sede ferroviaria, si verrà a crea-

re un vano di dimensioni tali da consentire il suo utilizzo per un sottopasso stradale che correrà sull'asse Corso Inghilterra - Corso Principe Oddone, liberando la piazza da una parte del traffico che oggi la percorre (fig. 5 e 6).

Dopo aver superato Piazza Statuto, la ferrovia oggi procede al centro della carreggiata di Corso Principe Oddone, nella prima parte in trincea, in seguito allo stesso livello della strada per poi elevarsi e tornare ad un livello di poco superiore a quello stradale in corrispondenza dell'attraversamento della Dora Riparia. La nuova costruzione ferroviaria si svilupperà lungo lo stesso tracciato ma interamente in sotterranea fino a poco prima del fiume. La sede del corso sarà così lasciata totalmente all'uso stradale e la scomparsa della ferrovia consentirà di riqualificare notevolmente l'aspetto della zona e di migliorarne la viabilità, con la costruzione di nuovi collegamenti tra i due settori prima separati dalla ferrovia.

Tra le opere principali di questo tratto figurano la realizzazione della sede dei binari, dei marciapiedi e dei sottopassaggi della stazione di Porta Susa da collocare nel sottosuolo nelle adiacenze di Corso Inghilterra e della sede dei binari del tratto di linea a quattro binari tra la stazione di Porta Susa ed il fiume Dora da realizzare in sotterranea lungo il tratto finale di Corso Inghilterra, poi sotto Piazza Statuto e lungo Corso Principe Oddone.

Sono inoltre previsti l'inserimento in corrispondenza della stazione Dora del-

Figura 6 - Le sei aree di cantiere in cui è stato suddiviso il secondo tratto del Passante



la linea Torino-Ceres sulla rete FS per il collegamento rapido tra la città e l'aeroporto di Caselle, la predisposizione dell'interconnessione con la stazione della Linea 1 di metropolitana a Porta Susa, l'attraversamento della Linea 1 di metropolitana in corrispondenza di Piazza Statuto, il sottopassaggio veicolare sotto la stessa piazza, il nuovo ponte sulla Dora da utilizzare in parte come sede ferroviaria ed in parte come sede stradale, un viale alberato da Corso Vittorio Emanuele II a Via Don Bosco con annessa pista ciclabile. Il viale, che poggerà sulla copertura della ferrovia, si collegherà con il tratto che parte da largo Orbassano e segue la direttrice dei Corsi Mediterraneo e Castelfilardo per arrivare ad innestarsi nella rotonda posta sulla stazione Dora formando un nuovo incrocio con i Corsi Vigevano e Mortara.

Proseguirà poi lungo Corso Venezia terminando in una grande rotonda su cui confluiranno Corso Grosseto e la superstrada per Caselle. All'incrocio di questa nuova arteria con Regina Margherita sarà collocato un sottopasso.

Da ultimo saranno predisposti nuovi sottopassaggi veicolari della nuova sede ferroviaria per Corso Ciriè e Strada Fortino, costruito un fabbricato viaggiatori provvisorio della stazione di Porta Susa e sistemate alberature, zone verdi, pavimentazioni, impianti di irrigazione ed arredo urbano delle nuove strade.

Due aree di cantiere rimarranno fisse per tutta la durata dei lavori. In quella a nord, presso lo scalo di Valdocco, sono ubicati gli impianti di betonaggio e vi saranno svolte le lavorazioni più importanti; nell'area a sud, ubicata nel piazzale delle autolinee di corso Inghilterra, trovano spazio gli uffici, la mensa ed il dormitorio per gli operai.

2.3 Terzo tratto: dalla stazione Dora a Corso Grosseto

Il progetto è ultimato e la durata dei lavori, non ancora iniziati, è prevista in cinque anni.

2.4 Variante

In questi ultimi mesi FS e Comune di Torino stanno studiando la fattibilità di

una variante al progetto del Passante ferroviario, nel tratto tra C.so Regina Margherita ed il fiume Dora. Nel progetto approvato ed in corso di esecuzione i treni provenienti da Porta Susa viaggiano nelle gallerie sotterranee fino all'altezza di C.so Regina Margherita, per poi risalire in superficie e raggiungere il livello di C.so Principe Oddone, passando sopra il fiume Dora.

La variante allo studio prevede invece di proseguire le gallerie ferroviarie sotto il fiume Dora, con una serie di vantaggi per questa parte di città: limitato impatto visivo nell'ultimo tratto di C.so Principe Oddone, possibilità di estendere il viale della spina centrale fino all'area della Stazione Dora, ruqualificazione delle aree circostanti liberate dalla ferrovia, demolizione della sopraelevata di C.so Vigevano e conseguente facilitazione dei collegamenti tra la parte ovest ed est della città.

Si tratta tuttavia di una soluzione molto complessa poiché richiede la messa a punto di tecnologie ad hoc per la costruzione delle gallerie al di sotto dell'alveo fluviale e per il loro mantenimento in esercizio.

I vari tecnici coinvolti nel prendere una decisione, compresa la Bauer GmbH che sta studiando lo scavo dei diaframmi in alveo, stanno attualmente lavorando a questa soluzione ...

2.5 Le Imprese di costruzione

L'appalto per l'esecuzione del secondo lotto del Passante è stato aggiudicato alla Società consortile Susa Dora Quattro, composta dalle imprese Italiane Astaldi S.p.A. (Roma), Italstrade SpA (Roma) e l'impresa di costruzioni Rosso Geom. Francesco e Figli SpA (Torino). I lavori, che prevedono un importo di 168 milioni di Euro, saranno in parte subappaltati ad aziende specializzate.

2.6 L'opera in numeri

Costo complessivo dell'opera: 1.188 milioni di Euro

Percorso ferroviario

Stazioni (2 nuove e 3 ricostruite)	7 in città
Lunghezza del percorso (da Lingotto a Stura)	12 Km
Copertura complessiva delle vecchie trincee ferroviarie	260.000 mq
Calcestruzzo impiegato	1.200.000 mc
Acciaio impiegato	180.000 t
Interramento max rispetto la strada (nuova fermata Zapata)	18 m
Scavi all'aperto	2.000.000 mc

In superficie

Lunghezza del viale alberato (da Corso Turati a Corso Grosseto)	7,5 Km
Larghezza massima del nuovo viale	90 m

Il trasporto

Passeggeri trasportati in un anno	50.000.000
Treni in transito giornalmente	520
Frequenze giornaliere dei treni nelle ore di punta	1 ogni 5 min.

3. La tecnologia dei diaframmi idrofresati

3.1 Breve storia

Nessun'altra innovazione metodologica è stata in grado di cambiare in tale maniera i procedimenti costruttivi di para-



tie da quando negli anni '80 ha incominciato a svilupparsi la tecnologia dell'idrofresa.

Anche se le tecniche 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 tecnologia.

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 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; le innovazioni principali furono 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. Nel 1987 fu sviluppata una macchina compatta per essere utilizzata specificamente in aree urbane ristrette; questo modello, chiamato BC 15, ebbe subito un grande successo.

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 che utilizza una ruota avvolgicavi orizzontale. Un nuovo sistema di recupero delle tubazioni, chiamato HDS, 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 soli 2 cm ad una profondità di 100 m.

Il 1994 vide il progetto e la costruzione del modello BC50, avente una coppia di 135 kNm per ogni ruota, che fu utilizzata per la prima volta su una nave adibita all'esplorazione oceanografica per la ricerca di diamanti in Sud Africa.

Nel 1995 Bauer presentò la BC 33 assemblata sulla macchina base orientabile CBC; successivamente fu sviluppato un modello intermedio che ha avuto un enorme successo, chiamato BC 40.

Nel 1998 fu costruito il nuovo modello CBC 25.

Nel 1999 Bauer ha lanciato sul mercato un nuovo sistema computerizzato chiamato B-Tronic in grado di garantire una deviazione massima dello 0,1%.

Nel 2002 Bauer ha presentato un nuovo modello di idrofresa in grado di lavorare come cutter e come macchina per palificazioni ...

Essendo ora numerosi i modelli proponibili e le soluzioni tecnologiche previste, vari sono i casi ove tale metodologia avanzata di lavoro può essere utilizzata.

3.2 I vantaggi

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), nei seguenti aspetti:

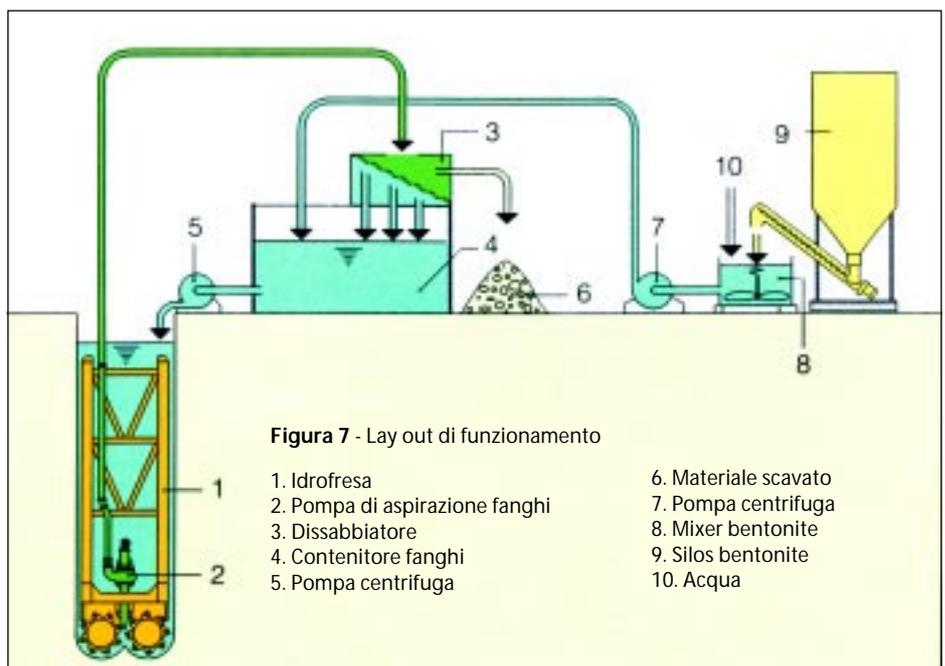
- economia
- produzione
- accuratezza
- flessibilità
- impatto ambientale
- sicurezza

In sintesi, l'idrofresa rimuove in maniera continua il materiale dal fondo dello scavo riducendolo in una pezzatura pompabile, mescolandolo con la sospensione bentonitica presente nello scavo. Il fango, caricato di particelle solide di materiale, viene pompato all'unità di dissabbiamento dove è pulito e rinviato in circolazione.

Il lay out di funzionamento è illustrato in fig. 7.

Il processo dell'installazione dei rinforzi in acciaio e del riempimento con calcestruzzi o materiali analoghi è simile alle tecnologie di scavo con benna mordente.

Mediante tale impianto è possibile mettere in opera qualsiasi tipologia di giunti. Oltre a quelli convenzionali quali walter stop, fuko o tubi di intercettazione,



si possono eseguire giunti per sovrapposizione. Durante lo scavo dei pannelli secondari, alcuni centimetri dei pannelli primari vengono solitamente fresati dalle ruote di taglio al fine di permettere una totale compenetrazione dei getti. Le lavorazioni tramite idrofresa avvengono in assenza totale di vibrazioni; non è più necessario procedere ad operazioni di scalpellatura pesante in presenza di formazioni rocciose resistenti. In tale maniera è possibile scavare diaframmi nelle immediate vicinanze di fondazioni che potrebbero risultare sensibili ad operazioni eseguite nei loro pressi.

3.3 La testa di taglio

Il cuore del sistema è la testa fresante di taglio, chiamata generalmente "cutter", schematizzata in fig. 8; consiste di una pesante struttura in acciaio avente due ruote fresanti installate nella zona inferiore che permette la rotazione delle stesse, in direzioni opposte, attorno ad un asse orizzontale. Le ruote di taglio, espressamente progettate in funzione del materiale da scavare, sono direttamente installate a coppie su due riduttori. Ogni riduttore presenta un circuito idraulico indipendente in modo da poter comandare le teste fresanti anche singolarmente ed a velocità differenti. Durante la loro rotazione il materiale di fronte alle ruote viene rimosso in maniera continua, mescolato con la sospensione bentonitica presente nel diaframma, avente la principale funzione di sorreggere le pareti scavate e

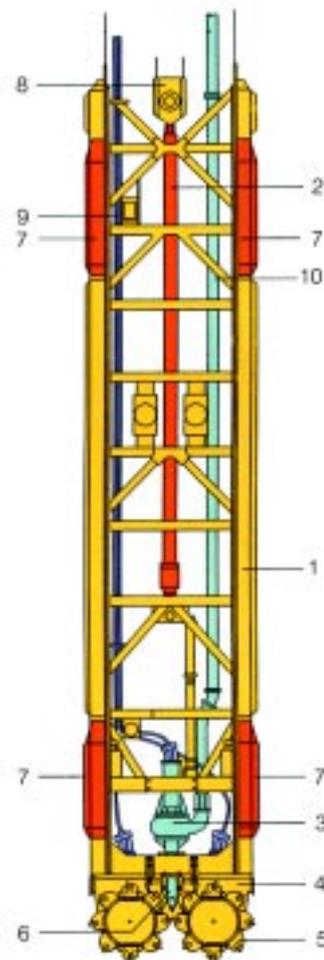


Figura 8 - Schematizzazione del "cutter"

1. Struttura dell'idrofresa
2. Cilindro di spinta (opzionale)
3. Pompa fanghi
4. Riduttore
5. Ruote di taglio
6. Scatola di aspirazione
7. Pattini di sterzata
8. Puleggia
9. Tubi idraulici
10. Tubazione fanghi

vimentato attraverso le aperture praticate nella scatola di aspirazione (suction box).

Per la costruzione di differenti larghezze di diaframma, le ruote di taglio possono essere o estese o sostituite con un nuovo set; la scatola di aspirazione ed il telaio devono venire modificati al fine di essere adattati alle dimensioni incrementate.

Piastre di rottura (ejector plates) assemblate alla scatola di aspirazione garantiscono il passaggio della pezzatura massima consentita, permettono di coprire gli spazi ciechi ed hanno la funzione di frantumare le pezzature maggiori.

Al fine di resistere agli urti causati dall'impatto del materiale da scavare con la struttura di taglio, i riduttori sono protetti tramite speciali assorbitori elastici d'urto (elastic shock absorber) che si trovano 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 (flipper tooth) brevettati dalla Bauer (fig. 9).

Le teste di taglio sono generalmente equipaggiate con lunghi porta utensili; questi ultimi permettono lo scavo in tutte le tipologie di materiali, comprese le argille plastiche, senza l'impaccamento delle ruote. Il taglio prodotto dall'utensile, che presenta un inserto in carburo di tung-

steno, copre l'intera larghezza del porta utensile. In funzione della tipologia di materiale possono essere utilizzati differenti modelli, che possono essere denti per materiali argillosi, denti percussivi per rocce e trovanti, picchi

o utensili rotanti a bottoni. 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 60 m³/ora. In formazioni molto dure, aventi resistenze superiori a 100 N/mm², le teste fresanti devono essere equipaggiate con speciali utensili di taglio ruotanti provvisti di inserti a bottone. Al fine di prevenire intasamenti nelle tubazioni dei fanghi di scavo, le aperture nella scatola di aspirazione sono ridotte al 50% del diametro della tubazione. I vari modelli di idrofresa possono ridurre il materiale nelle seguenti frazioni:



Figura 9 - Dente basculante (flipper tooth)

- 40 mm per la BC 20

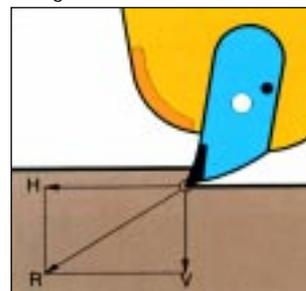
- 80 mm per la BC 30 e BC 40

- 120 mm per la BC 50

Le prestazioni e la produttività di un'idrofresa sono in stretta relazione con (fig. 10):

- la forza di impatto V che è in funzione del peso della macchina e
- la coppia torcente H generata dal riduttore.

Figura 10 - Principio meccanico di taglio



Entrambe queste componenti si influenzano mutuamente. Sebbene nel caso di un elevato rapporto H/V la coppia disponibile potrebbe essere adeguata, il dente potrebbe

semplicemente scalfire il terreno lungo la superficie di scavo senza generare alcuna produzione. Diversamente, se il rapporto H/V è troppo limitato, allora il dente di taglio potrebbe colpire troppo duramente la roccia con il conseguente stallo della rotazione.

Le idrofresce Bauer, oltre ad avere una buona riserva di potenza, vengono equipaggiate con sistemi di controllo delle forze H e V al fine di ottimizzare in continuo le caratteristiche di scavo.

Fresare la roccia con ruote di taglio munite di utensili fissi ad inserti di carburo di tungsteno può diventare non economico quando la resistenza a compressione del materiale supera i 50-80 MN/m² e l'idrofresa può anche raggiungere un punto di stallo lavorando a resistenze pari a 100 MN/m² o superiori.



Figura 11 - Testa fresante munita di roller bits

Per risolvere tale problema la Bauer ha sviluppato ruote fresanti munite di utensili rotanti a bottoni (roller bit) in grado di scavare in roccia dura (fig. 11) come il granito o il basalto che possono raggiungere resistenze sino a 250 MN/m².

La conformazione dei taglienti rotanti a bottoni unitamente alle teste fresanti in versione da roccia dura, assicura che l'intera sezione rettangolare del pannello venga tagliata. Anche in questo caso è previsto un sistema basculante su alcuni degli utensili centrali al fine di tagliare la roccia su ogni piano verticale. Al fine di aumentare la spinta di penetrazione il corpo idrofresa può essere corredato di una zavorra aggiuntiva; tramite tale sistema è possibile realizzare

diaframmi aventi una larghezza sino a 1.200 mm.

In caso di formazioni geologiche non coesive che presentano blocchi in roccia, quali alcuni depositi alluvionali, le ruote fresanti munite di taglienti rotanti raggiungono produzioni analoghe a quelle che avrebbero se fossero installati utensili di taglio fissi, con il vantaggio che non sussiste più la necessità di profondi prescavi o di opere di demolizione di tali blocchi, frequentemente di tipo percussivo ad utensile battente, tramite altre macchine.

Dopo una lunga serie di prove, tale tecnologia è stata utilizzata con successo per la prima volta nel 1990 in andesite vulcanica avente una resistenza uniassiale superiore a 200 MN/m² nella diga di Shiokawa in Giappone.

3.4 Sistema di controllo della penetrazione

L'idrofresa viene abbassata ed estratta dallo scavo mediante un argano (winch) assemblato sul carro cingolato (base machine). L'avanzamento dell'idrofresa, comunque, alcune volte non può venire controllato da un argano convenzionale perché potrebbe non essere sufficientemente sensibile. In funzione della resistenza del terreno è necessario controllare sia l'avanzamento dell'idrofresa, nei materiali teneri, che la forza peso applicata alle ruote di taglio trovandosi in presenza di materiali duri. Ciò può essere risolto utilizzando un cilindro spintore che si trova assemblato nel telaio

dell'idrofresa oppure un argano ad elevata sensibilità. Entrambi questi sistemi vengono controllati elettronicamente e possono, pertanto, venire facilmente regolati dall'operatore.

3.5 Pompa fanghi

Installata immediatamente al di sopra delle ruote di taglio, una pompa centrifuga (fig. 12) aspira il fango bentonitico carico del materiale di risulta e lo invia all'impianto di trattamento. In presenza di materiali sciolti e quando vengono utilizzati fanghi pesanti, la media di scavo viene determinata dalla capacità della pompa.

Pompe da 5", 6" e 8" con una portata nominale di 250, 400 e 700 m³/ora sono disponibili per essere applicate sull'idrofresa.



Figura 12 - Pompa di aspirazione

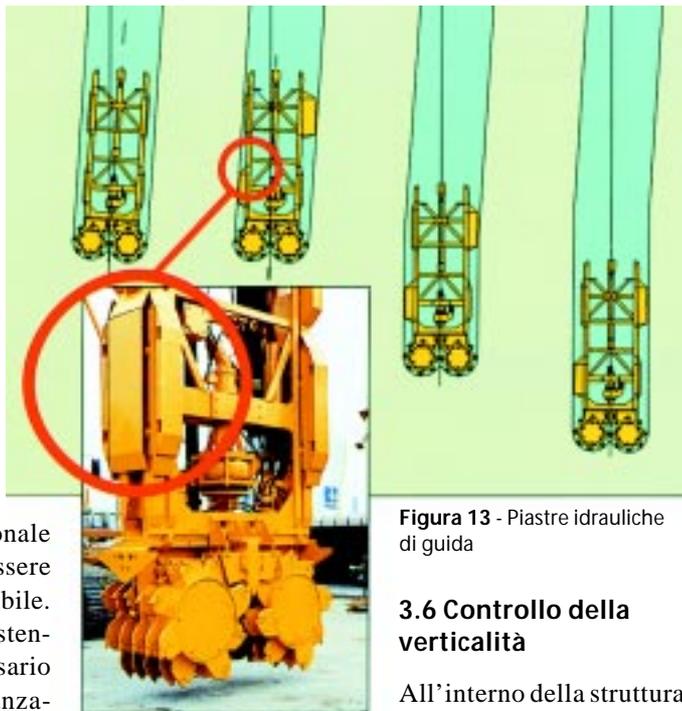


Figura 13 - Piastre idrauliche di guida

3.6 Controllo della verticalità

All'interno della struttura dell'idrofresa è installato un inclinometro che misura la deviazione verticale su entrambi i piani; questo dato viene indicato sul monitor di controllo, installato in cabina, in maniera continua, fornendo misure in distanze

Figura 14 - Sistema HTS di tensionamento dei tubi (Metro Napoli)



(cm) ed angolazioni (°).

Se l'idrofresa devia dal suo asse verticale, la posizione relativa può essere regolata con l'ausilio delle piastre (o pattini) idrauliche di guida (fig. 13).

3.7 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. Il sistema classico (fig. 14) a tubazioni guidate ed argani a tensione costante, ove la profondità raggiungibile è pari a due volte la corsa delle ruote di avvolgimento (HTS Hose Tensioning System), può risultare non economico affrontando lavori ad elevate profondità per la necessità di una gru cingolata pesante e munita di un braccio molto lungo.

Per pannelli profondi oppure in lavori urbani in presenza di spazi ristretti, le tubazioni possono essere avvolte a speciali avvolgitori ad asse orizzontale o verticale a tamburo (HDS: Hose Drum System); questa soluzione ha reso possibile il mantenere dimensioni estremamente ridotte, ad esempio per il mo-

dello compatto MBC 30, ed ottenere un minimo di profondità pari a 53 m.

La possibilità di rendere solidali le tubazioni idrauliche e dei fanghi aspirati tramite uno speciale dispositivo di trattenimento al fine di diminuire la tensione sull'intero sistema, unitamente all'utilizzo di tamburi orizzontali o verticali, ha permesso lo scavo a profondità superiori ai 150 m mantenendo ingombri assolutamente accettabili.

3.8 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 (fig. 15), sfruttando uno speciale cinematismo (parallelogramma articolato o rotazione delle tubazioni na-

strate), al fine di poter scavare i pannelli con una qualsiasi angolazione del carro rispetto al cutter (ad esempio per i pannelli d'angolo).

strate), al fine di poter scavare i pannelli con una qualsiasi angolazione del carro rispetto al cutter (ad esempio per i pannelli d'angolo).

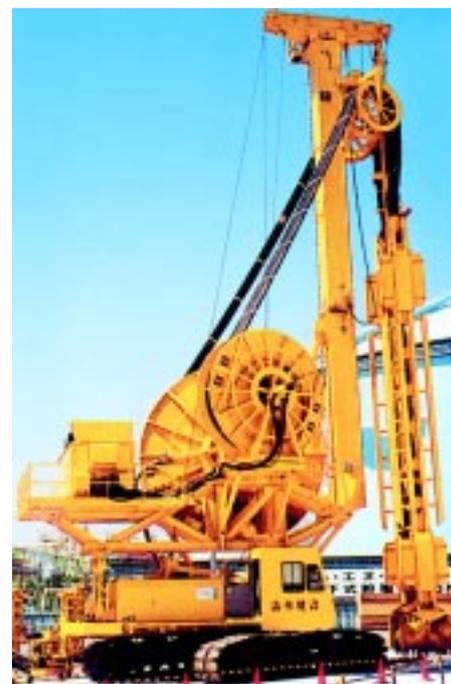


Figura 16 - Power pack esterno e sistema HDS

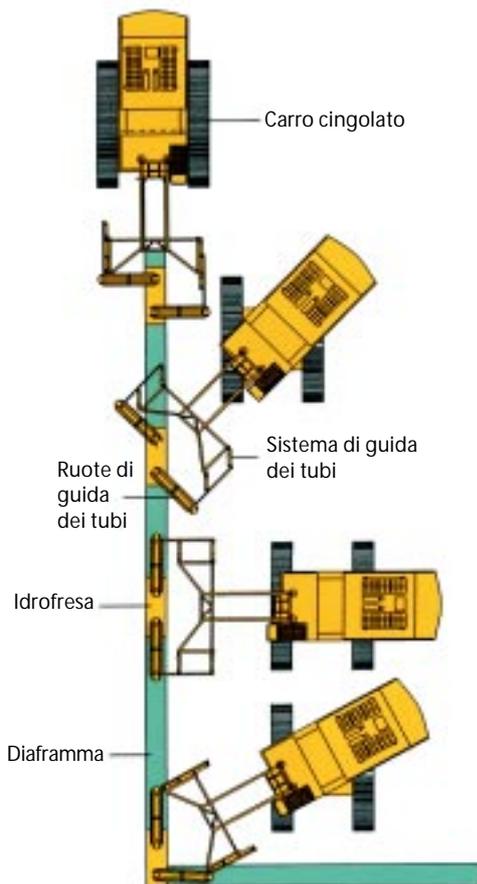


Figura 15 - Sistema di posizionamento idrofresa

3.9 Il carro cingolato ed il sistema idraulico

Grazie all'evoluzione del gruppo oleodinamico di potenza (power pack) ed ai sistemi speciali di guida delle tubazioni, è ora possibile assemblare un'idrofresa a quasi tutti i sottocarri cingolati standard di adeguata capacità (fig. 16).

A seconda della capacità idraulica richiesta dall'impianto è 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.

Alcuni dati idraulici sono:

Per il modello BC 25, tubazioni 5":

- Tamburo tubazioni, 100 l/min, 42 kW
- Cilindro spintore, 110 l/min, 40 kW

- Pompa fanghi, 200 l/min, 100 kW
 - Ruote di taglio destre, 200l/min, 100kW
 - Ruote di taglio sinistre, 200l/min, 100kW
- Per il modello BC 30 e BC 40, tubazioni 6":
- Tamburo tubazioni, 120 l/min, 50 kW
 - Cilindro spintore, 110 l/min, 40 kW
 - Pompa fanghi, 300 l/min, 150 kW
 - Ruote di taglio destre, 300l/min, 130kW
 - Ruote di taglio sinistre, 300l/min, 130kW
- Per il modello BC 50, tubazioni 8":
- Tamburo tubazioni, 120 l/min, 50 kW
 - Cilindro spintore, 110 l/min, 40 kW
 - Pompa fanghi, 550 l/min, 300 kW
 - Ruote di taglio destre, 300l/min, 160kW
 - Ruote di taglio sinistre, 300l/min, 160kW

Questi dati illustrano i principali circuiti con i valori di funzionamento ottimali per le operazioni di scavo. A causa del fatto che la pompa di aspirazione e le ruote di taglio vengono raramente utilizzate a pieno regime contemporaneamente, è possibile ridurre le potenze impegnate installando un apposito limitatore di carico.

3.10 L'operazione di scavo

L'intera unità viene controllata da un unico operatore all'interno della cabina di comando.

Tutte le informazioni relative alle procedure di scavo e della macchina in generale vengono riportate in maniera continua sul monitor di controllo, quali:

- pressioni idrauliche
- profondità del diaframma
- velocità di rotazione di entrambe le ruote di taglio
- portata e velocità di rotazione della pompa di aspirazione
- pressione degli utensili di taglio sul materiale da scavare
- deviazione verticale sugli assi x e y
- tempo di scavo

Un processore elettronico monitorizza costantemente detti parametri e li rende visibili all'operatore.

3.11 Impianto fanghi

Il fango bentonitico carico del materiale di risulta dallo scavo è inviato all'unità di dissabbiamento

to ove tutte le particelle solide vengono rimosse e la bentonite così ripulita può essere rimessa in circolo nello scavo. Dopo l'idrofresa, il sistema di dissabbiatura rappresenta il componente principale facente parte l'intero impianto tecnologico. Portata e capacità di dissabbiamento devono essere dimensionate in accordo al materiale da scavare ed alla macchina specificatamente utilizzata. La Bauer ha sviluppato una tecnologia modulare espressamente dedicata per mescolare e rigenerare i fanghi, che comprende unità meccaniche diverse tra di loro ma interconnesse, quali vagli, cicloni, tavole a scosse e separatori centrifughi.

Gli impianti di dissabbiamento sono stati specificatamente progettati per la tecnologia dell'idrofresa. Le principali peculiarità sono:

- Costruzione modulare (fig. 17) dell'intero impianto che permette di adattare le unità di dissabbiamento alla capacità dell'idrofresa.
- Possibilità di una separazione secondaria tramite dissabbiatori convenzionali o centrifughi.
- Unità compatte per volumi di ingombro limitati.
- Corti tempi di assemblaggio e smontaggio di tutte le unità.

- Tutte le dimensioni sono standardizzate per un trasporto in container.

Inoltre: per produrre un fango bentonitico lavorabile, la bentonite in polvere deve essere propriamente miscelata con acqua. Ciò può essere ottenuto sia mediante mescolatori pompanti (pump mixers) o mescolatori colloidali (colloidal mixers). Le miscele a fase singola per diaframmi possono comprendere componenti differenti quali rocce in polvere, cemento, bentonite ed acqua e vengono prodotte da mescolatori continui che possono raggiungere una capacità sino a 50 m³/ora per ogni singola unità.

Ringraziamenti

Ing. Bernardini, Ing. Danese, Geom. Pisano, Geom. Angelini, Geom. Mascellini - Astaldi S.p.A.

Ing. Cavallaro - FFSS

Dr. Palmieri, Ing. Annibaldi, Sig. Brodella - TPM S.r.l., Ing. Di Vincenzo, Geom. Domenico - SIPES S.p.A..

Prof. Pelizza e Ing. Grasso, Ing. Fornari, Dr. Carrieri, Dr. Barovero - Geodata S.p.A.

Ing. Merkl, Ing. Stözer, Ing. Heinecker, Ing. Gress, Ing. Frohlich, Dr. Ruby & Mr. Wolfgang - Bauer GmbH ■

Figura 17 - Impianto modulare in fase di montaggio a Napoli

