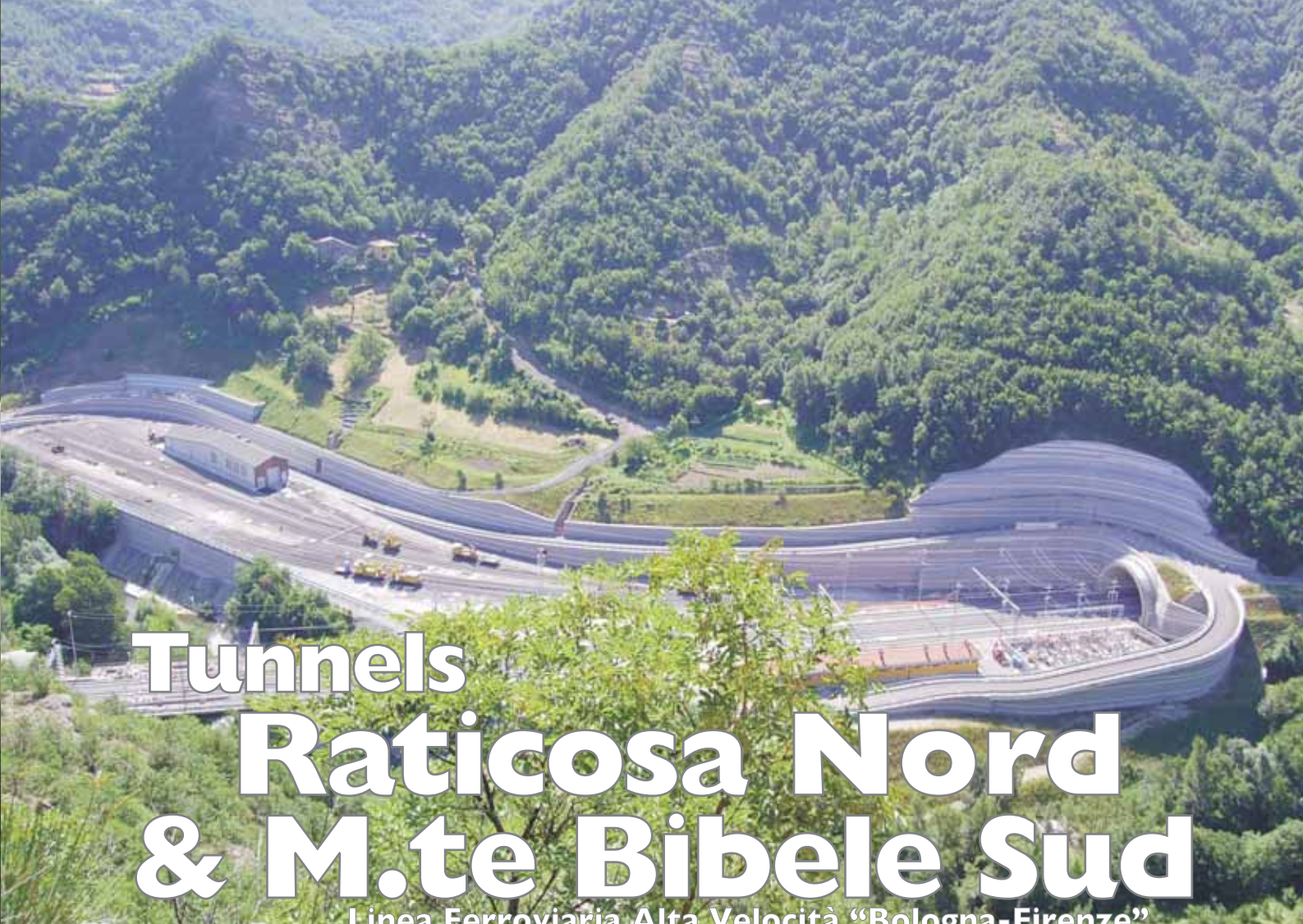


worldwide leader in the foundation engineering field



REFERENZA TECNICA - TECHNICAL REFERENCE



Tunnels Raticosa Nord & M.te Bibebe Sud

Linea Ferroviaria Alta Velocità "Bologna-Firenze"

Bologna, Italy



Tunnelling
Tunnelling

Cliente : Owner :	FF.SS. Ferrovie dello Stato
Contrattista principale : Main Contractor :	CAVET (Consorzio Alta Velocità Emilia-Toscana)
Durata dei lavori : Duration of work :	1997 - 2001

Introduzione

Le Gallerie Raticosa e Monte Bibele si inseriscono nel grande impegno del Gruppo Ferrovie dello Stato (RFI, TAV, ITALFERR) per costruire anche nel nostro Paese i collegamenti ferroviari ad alta velocità/alta capacità. Per dimensioni, complessità, impegno finanziario e dispiego di risorse tecniche e umane, la linea veloce Bologna Firenze è un'opera unica al mondo.

Sui 79 chilometri di sviluppo complessivo, la linea, per il 93% del suo tracciato (73 chilometri) è costruita in galleria.

Questo fa della Bologna - Firenze quasi un unico, lunghissimo tunnel che consentirà di percorrere la distanza tra i due capoluoghi in 30 minuti. Nei 25 cantieri aperti hanno operato 3.000 persone, tra tecnici, operai e dirigenti che si sono alternati in turni su 24 ore al giorno per 7 giorni su 7, utilizzando i macchinari e le tecnologie più moderne e sofisticate nell'ambito degli scavi di gallerie non meccanizzate.

Il territorio in cui corre il tracciato della nuova linea Bologna - Firenze presenta condizioni socio-ambientali particolarmente complesse, dalle aree urbanizzate a zone di delicato equilibrio ecologico e alto valore paesaggistico.

Per questo, la realizzazione della linea ha richiesto la messa a punto e il continuo affinamento di tecniche di monitoraggio ambientale, di interventi e di procedure di lavorazione estremamente sofisticate, sotto l'attenta supervisione dell'Osservatorio Ambientale.

Il progetto

Il progettista dell'intera opera (ROCKSOIL di Milano), stante la particolare variabilità delle condizioni geomeccaniche presenti, ha adottato l'approccio progettuale denominato ADECO-RS che, pur definendo nel dettaglio tutti gli aspetti del lavoro in sotterraneo, è in grado di adattarsi alle diverse caratteristiche geologiche, così come alle necessità costruttive poste dai vari cantieri che si trovano lungo il tracciato.

Questo metodo si è rivelato particolarmente utile per la costruzione di gallerie tradizionali in terreni difficili; la ragione del suo successo sta nella "industrializzazione" dell'attività di costruzione su questi terreni che aumenta molto la sicurezza e riduce al minimo gli incidenti. Il sistema ADECO permette di prevedere la deformazione del suolo quando si scava la galleria: se il livello risulta eccessivo è necessario provvedere a un'azione preliminare di contenimento attraverso un consolidamento/rinforzo del nucleo e/o a un lavoro di contenimento vicino al contorno. Il metodo ADECO-RS è diviso in due fasi cronologicamente distinte per quanto riguarda progettazione e costruzione: la prima comprende indagine, diagnosi e trattamento, la seconda è quella operativa e di monitoraggio della costruzione.

Inquadramento geologico

Lavori eseguiti

A TREVI (operante in Consorzio con la società ADANTI di Bologna) è stata affidata da CAVET, concessionario per l'esecuzione dell'intera linea, la realizzazione di una tratta che prevede lo scavo di 2.524 metri della galleria Monte Bibele (la cui lunghezza totale è di 9.243 metri), e di 1.583 metri della galleria Raticosa (di 10.437 metri). Nonostante le due gallerie siano adiacenti (gli imbocchi Monte Bibele nord e Raticosa sud sono separati dal fiume Idice), le due gallerie sono contraddistinte da una diversa geologia che impone tecniche di scavo e di consolidamento differenti tra loro.

Nella galleria Monte Bibele si riscontra infatti la presenza della cosiddetta "formazione di Monghidoro", costituita da una fitta alternanza di argilliti, marne argillose, calcari e calcareniti con spessore variabile da centimetrico a metrico fortemente tettonizzate. Questa galleria è caratterizzata inoltre dalla accertata presenza di gas metano (galleria grisutosa classe 2) per cui tutte le attrezzature e gli impianti avevano allestimento "antideflagrante" e le lavorazioni dovevano conformarsi alle specifiche norme di sicurezza per "ambienti grisutosi". La galleria Raticosa, nella parte affidata a TREVI, è invece

Introduction

Raticosa and Monte Bibele tunnels are part of a large project carried out by the Italian Railway Group (FS, RFI, TAV and Italferr) to build the high speed/high capacity railway system in Italy.

The Bologna - Florence line is a unique project for its dimensions and financial effort as well as technical and human resources deployed. The line is built in tunnels for 73 km of the 79 total (93% of the entire route).

The Bologna - Florence line is almost a single, extremely long tunnel which will allow connecting the two cities in about 30 minutes. A team of more than 3000 technicians, labourers and managers worked together 24 hours a day for 7 days a week in the 25 sites open at the same

time along the line, with very technologically advanced machinery and equipment for the excavation of non-mechanised tunnels. The area crossed by the new Bologna-Florence line is extremely complex from the socio-environmental point of view: from the highly urbanized areas to the pleasant hilly landscapes.

For this reason the railway construction required the setting up and the continuous development of particular environmental protection technologies and extremely sophisticated working procedures, carried out under the supervision of the local environmental protection agency.

The project

The project worked out by ROCKSOIL of Milan, following the approach known as ADECO-RS, sets out all details of the underground work, but, considering the variety of the geo-mechanical features, it can also be adapted to the different geological conditions, as well as to the different construction needs of the sites along the line.

This method has revealed to be particularly successful for traditional tunnelling in difficult soils; the result is to "industrialize" the construction activity for these kind of soils, strongly "increase" the safety and minimize the accidents.

ADECO allows to foresee the ground's deformation when the cavity is opened. If this deformation is excessive, it is necessary to control it through pre-confinement action operated by consolidation/reinforcement of the core in advance and/or confinement action near the face.

ADECO-RS approach, involves design and construction occurring in two distinctly different stages from a chronological viewpoint by means of: a survey phase, a diagnosis phase and a therapy phase at the design stage; an operational phase and a construction monitoring phase at the construction stage.

Geological situation

Work executed

CAVET, licensee for the construction of the whole line, awarded to TREVI (in Consortium with the company ADANTI of Bologna) the construction of a lot including the excavation of 2.524 meters of the Monte Bibele tunnel (which is 9.243 m long) and 1.583 m of the Raticosa tunnel (10437 m long). Even if the two tunnels are extremely close (the entrances of the two tunnels are separated only by the Idice River), the geology is very dissimilar, thus requiring different consolidation and excavation techniques.

In the Monte Bibele tunnel the so called "Monghidoro formation" was encountered, characterized by the close succession of argillite, clayey marl, limestone and calcarenite, with a diameter ranging from centimetres to meters and highly modified by their upper deposits. This tunnel is also characterized by the certain presence of methane gas (class 2 gassy tunnel) so that all equipment and installations were used in anti-explosive versions and the activities were carried out according to the special safety rules regarding "gassy environments". The section of the Raticosa tunnel entrusted to TREVI was instead characterized by the so called "Chaotic system", which is a mixed

caratterizzata dal cosiddetto “Complesso Caotico”, cioè da una formazione composta di cui fanno parte argille scagliose intensamente fratturate e tettonizzate di scarsa qualità geomeccanica contenenti elementi lapidei (generalmente marnosi o calcarei con possibile presenza di gas) di dimensioni variabili da frazioni di mc a decine di mc. Nei primi 500 m la situazione è ancora più complicata per la presenza di un detrito di Paleofrana, con circolazione idrica, derivante dal Caotico stesso.

Aspetti progettuali specifici

Sezioni tipo applicate

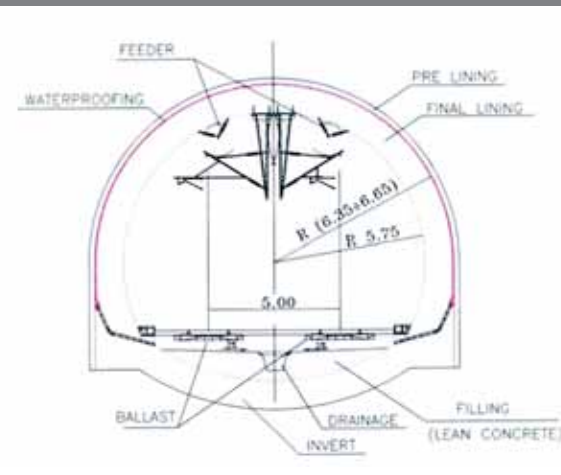
Il metodo ADECO-RS consiste quindi nel dividere il percorso sotterraneo in sezioni con un comportamento di deformazione per sollecitazione uniforme in funzione della stabilità prevista di nucleo e contorno senza

formation including extremely fractured scaly clay, highly modified by its upper deposits and with a poor geo-mechanical quality, containing stony elements (usually marl or limestone with a possible presence of gas) with size ranging from fractions of cubic meters to dozens of cubic meters. In the first 500 m the situation is even more complex due to the presence of prehistorical landslide detritus, with water circulation, coming from the same Chaotic.

Special design aspects

Typical sections applied

According to ADECO-RS approach, the underground route was therefore divided into sections with uniform stress-strain behaviour as a function of the predicted stability of the core-face in the absence of stabilisation



misure di stabilizzazione. Questo è stato fatto sulla base delle informazioni geologiche, geotecniche, geo-meccaniche e idrogeologiche acquisite, oltre che dei risultati dei calcoli svolti.

Le sezioni erano le seguenti:

- nucleo-contorno stabili (categoria A; fenomeni di deformazione a livello elastico, manifestazioni prevalenti di instabilità: terreno che cade davanti al contorno e intorno alla cavità);
- nucleo-contorno stabili a breve termine (categoria B; deformazione a livello elastico-plastico; manifestazioni prevalenti di instabilità: sfaldamento davanti e attorno al contorno);
- nucleo-contorno instabili (categoria C; fenomeni di deformazione a livello di cedimento: conseguenti manifestazioni di instabilità: cedimento del contorno e crollo della cavità).

I principi essenziali su cui si basava la progettazione della sezione delle gallerie erano dunque i seguenti:

1. avanzamento della galleria a contorno completo sempre,

measures. This was performed on the basis of the geological, geotechnical, geomechanical and hydrogeological information acquired and of the results of the calculations performed.

The sections were as follows:

- stable core-face (behaviour category A; deformation phenomena in the elastic range, prevailing manifestations of instability: falling ground at the face and around the cavity);
- core-face stable in the short term (behaviour category B; deformation in the elastic-plastic range; prevailing manifestations of instability: spalling at the face and around the face);
- core-face unstable (behaviour category C; deformation phenomena in the failure range: consequent manifestations of instability: failure of the face and collapse of the cavity).

The main principles on which the design of the tunnel section types was based were therefore as follows:

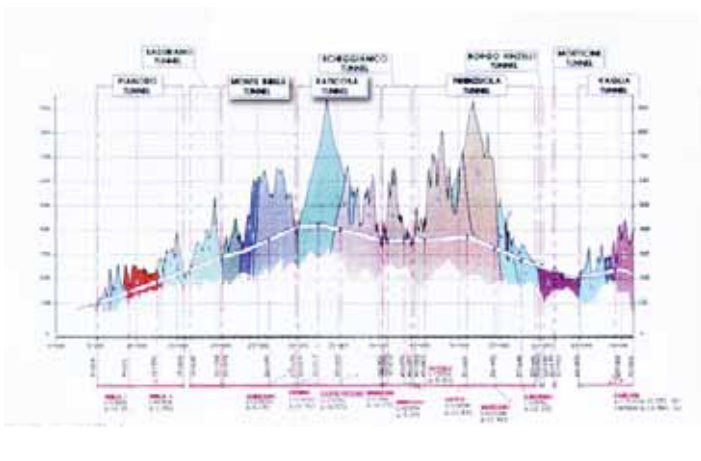
1. full face tunnel advance always, especially under difficult stress-strain

specialmente in condizioni difficili di deformazione per sollecitazione: considerati gli specifici vantaggi statici e dato che macchine grandi e potenti possono essere usate con buoni risultati negli ampi spazi disponibili, in effetti è possibile avanzare in sicurezza, e soprattutto a velocità costante anche nei terreni più complessi usando il contorno completo dopo un rinforzo nucleo-contorno se necessario;

2. contenimento, ove necessario, dell'alterazione e decompressione del suolo causate dagli scavi mediante l'applicazione immediata di pre-contenimento e/o contenimento della cavità (jet-grouting sub-orizzontale, elementi strutturali in vetroresina nel nucleo e/o in anticipo attorno alla cavità, munita, se necessario, di valvole per iniezioni di cemento a pressione, calcestruzzo spruzzato, ecc.) con dimensioni sufficienti, a seconda dei casi, da assorbire una quantità significativa della deformazione senza crollare ovvero da anticipare e neutralizzare tutti i movimenti del terreno all'inizio;

conditions: due to its peculiar static advantages and because large and powerful machines can be profitably used in the wide spaces available, it is in fact possible to advance in safety with excellent and above all constant advance rates even through the most complex ground by using full face advance after core-face reinforcement, when necessary;

2. confinement, where necessary, of the alteration and decompression of the ground that excavations cause by the immediate application of pre-confinement and/or confinement of the cavity (sub-horizontal jet-grouting, glass-fibre structural elements in the core and/or in advance around the cavity, fitted, if necessary, with valves for pressure cement injections, shotcrete, etc.) of dimensions sufficient, according to the different cases to absorb a significant proportion of the deformation without collapsing or to anticipate and neutralise all movement of the ground at the outset;



3. posa di un rivestimento finale in calcestruzzo, armato se necessario, col getto di un fondo di galleria a passi brevi subito dietro il contorno dove è stata riconosciuta la necessità di arrestare rapidamente i fenomeni di deformazione.

Altri dati e l'osservazione diretta sul campo in genere hanno confermato la validità delle specifiche di progetto definitive, mentre in fase di progettazione dettagliata sono state apportate le seguenti lievi correzioni:

- per gestire specificamente condizioni di deformazione per sollecitazione particolarmente delicate si è aggiunto un puntello in acciaio come variazione alle sezioni di tipo B2 e C4 in fondo alla galleria allo scopo di ottenere un contenimento molto più rapido della deformazione. Tale modifica al tipo di sezione B2 si è rivelato molto più versatile e adatto anche a molte situazioni di instabilità a livello di nucleo-contorno. L'uso dei tipi di sezione C più pesanti è stato quindi limitato alle condizioni di deformazione per sollecitazione più estreme.
- considerevole miglioramento dell'efficacia a livello del suolo di nucleo-contorno con elementi strutturali in vetroresina introducendo una miscela di cemento tra i chiodi.

3. placing a final lining in concrete, reinforced if necessary, complete with the casting of a tunnel invert in short steps immediately behind the face where the need to halt deformation phenomena promptly was recognised.

Additional survey data and direct observation in the field generally confirmed the validity of the final design specifications while the following minor refinements were made in the detailed design phase:

- *to deal specifically with particularly delicate stress-strain conditions a steel strut was introduced as a variation to section types B2 and C4 in the tunnel invert to produce much more rapid confinement of deformation. This modification of the B2 section type was found to be much more versatile and appropriate even for many situations where the core-face was unstable. Use of the heavier C section types was thus limited to the more extreme stress-strain conditions.*
- *the effectiveness of core-face ground improvement using glass-fibre structural elements was increased considerably by introducing an expansive cement mix to cement the fibre glass nails;*

Modalità di avanzamento

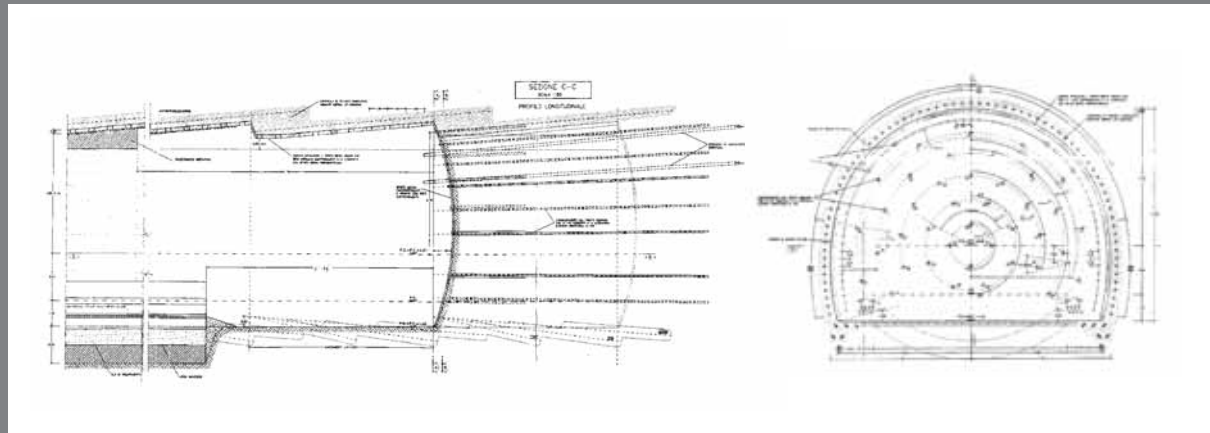
L'avanzamento implica una serie di lavorazioni concatenate che formano un ciclo lavorativo di cui il consolidamento del fronte è la prima fase.

A questa segue lo scavo per un metro lineare, lo smarino, la posa delle centine, e quindi l'applicazione del calcestruzzo proiettato fibro rinforzato.

La serie di lavorazioni è ripetuta per "campi" di lunghezza variabile da 6 a 15 (generalmente 12) metri lineari di avanzamento, eseguiti i quali si provvede poi alla realizzazione dell'arco rovescio.

Working sequence

The advancing requires a series of sequential activities constituting a working cycle where the front consolidation is the first phase. The next step is the excavation of one linear meter, the mucking, the framework placing and the spraying of fibre-reinforced concrete. This working sequence is repeated for "sections" with a length ranging from 6 to 15 (usually 12) linear meters, after which the inverted arch is carried out.



Consolidamento del Fronte

Le sezioni tipo più utilizzate (C4) prevedevano per ogni campo da 45 a 120 fori da 24 metri (2.880 metri lineari) attrezzati con elementi strutturali in vetroresina.

Le attività di consolidamento sono state eseguite in circa 60 ore operative utilizzando per ogni fronte un posizionatore SOILMEC SM-605 DT AV appositamente progettato per "battere" tutte le geometrie previste.

Precisione e produttività del posizionatore sono stati dunque fattori essenziali per il consolidamento, fase a cui sono vincolate tutte le altre, sia in termini qualitativi, sia da un punto di vista della tempistica e della logistica del cantiere.

Front Consolidation

In the typical section (C4), 120 holes 24 m long are drilled in each field, for a total of 2880 linear meters of structural reinforcement.

The consolidation work is usually completed in 60 working hours, using the SM-605DT/AV rig, properly designed to "beat" all the positions foreseen. Rig precision and productivity are of primary importance for the consolidation that is the first activity from which all the others are depending, both in terms of quality and in terms of time and site logistics.

Descrizione del posizionatore SOILMEC SM-605 DT AV

I posizionatori di prima generazione, classe "505", erano stati progettati sostanzialmente per eseguire infilaggi in gallerie fino a 75-90 mq di sezione scavate a mezza sezione.

Per tener conto dei nuovi orientamenti progettuali introdotti dal metodo "ADECO" (scavo a piena sezione previo consolidamento sul contorno e sul fronte della galleria) e degli incrementati standard dimensionali (sezioni di gallerie fino a 240 mq) nasce il modello SM 605 DT AV sviluppato a doppio braccio specificamente per risolvere le particolari esigenze di produttività e flessibilità operativa dei cantieri, come quello di cui riferiamo.

Description of the rig SOILMEC SM-605 DT AV

The tunnel consolidation rigs of the first generation, class "505", had been designed to carry out sub-horizontal micropiles in tunnels up to 75-90 m², excavated half-face.

Considering the new design trends of the "ADECO" method (full face excavation after consolidation of the tunnel outline and front) and the larger size standards (sections of tunnels up to 240 m²), the new model SM-605 DT AV has been designed with a double boom properly to solve the particular productivity and flexibility requirements, as in the site under examination.



Il posizionatore può essere allestito con una serie di optional, tra cui:

- allestimento totalmente o parzialmente antideflagrante
- un braccio opzionale corto che permette l'esecuzione di perforazioni con inclinazioni sull'orizzontale fino ad un massimo di 37°.
- caricatore per automatizzare la posa degli elementi strutturali in vetroresina
- sistema pneumatico di aspirazione ed abbattimento detrito di perforazione
- sistema di puntamento automatico dei bracci sul punto di perforazione
- prolunga antenna per corsa utile fino a 21 metri, ulteriormente estendibile a 24 metri con l'utilizzo di una rotary con morsa passante
- applicazione di top-hammer, vibro rotary, risalita jet
- sistema di registrazione speciale DMS SOILMEC
- allestimento antideflagrante per operare in presenza di gas

Una piattaforma di lavoro, azionata idraulicamente, consente agli addetti di raggiungere qualsiasi punto del fronte di scavo per eseguire

The rig can be equipped with various accessories, including:

- total or partial anti-explosive version;
- an optional short drill guide allowing to excavate holes with maximum inclination of 37°;
- automatic feeder of fibre-glass structural bars;
- pneumatic system for debris sucking and knocking down;
- automatic system to position the rods in the specific drilling design position;
- mast extension up to 21 m stroke, which can be further extended to 24 m using a through type rotary;
- application of top-hammer, vibro rotary, jet uplift;
- special recording system DMS SOILMEC;
- anti-explosion set-up to work where there is gas.

A hydraulic working platform allows the operator to reach any position of the excavation front to carry out all working and maintenance operations.

tutte le operazioni previste dal ciclo di lavoro e di manutenzione. Il posizionatore SM 605 DT AV ha un peso di 119 tonnellate, è azionato idraulicamente sia per i movimenti di traslazione e di posizionamento (fasi in cui il sistema idraulico è attivato da un motore termico) che per quelli relativi a tutti i movimenti di orientamento delle antenne e di rotazione ed avanzamento delle aste (fasi in cui le pompe idrauliche sono mosse da motori elettrici).

Il posizionatore, caratterizzato da movimenti estremamente veloci e precisi, permette di operare in un raggio di consolidamento a 0° compreso tra 3.600 e 6.600 mm e di raggiungere un'altezza del centro di rotazione delle ralle dal piano di lavoro compresa tra 1.000 e 3.500 mm.

Queste caratteristiche conferiscono una grande adattabilità alle più diverse esigenze operative.

The SM-605DT/AV is a 119 ton heavy hydraulic rig, powered by a diesel engine for shifting and positioning and powered by two electric engines for guides set up, rotation and drilling.

The rig movements are extremely fast and precise. It allows to operate in a working radius at 0° from 3600 and 6600 mm and to reach working heights from 1000 up to 3500 mm, thus satisfying the most different operating needs.



Quantità totali per le due Gallerie e Produttività a fine lavori
Total quantities of the two tunnels and productivity after work completion

Preconsolidamento / Preconsolidation

- Chiodi in Vetroresina al fronte ed al contorno / fibre-glass nails in the outline and in the face m 436.489
- Produttività compresa tra 40 a 60 ml/ora / productivity included between 40 and 60 lm/hour

Avanzamento di galleria finita	media generale	Advancing in tunnel	average
---------------------------------------	----------------	----------------------------	---------

RATICOSA TUNNEL	1.52 ml/gg	MONTE BIBELE TUNNEL	1.38 ml/gg
------------------------	------------	----------------------------	------------

Avanzamento di galleria finita	media ultimi 12 mesi	Advancing in tunnel	12 months average
---------------------------------------	----------------------	----------------------------	-------------------

RATICOSA TUNNEL	2.15 ml/gg	MONTE BIBELE TUNNEL	1.77 ml/gg
------------------------	------------	----------------------------	------------

• Scavo in avanzamento / Excavation	mc /cm	574.980
• Centine/Ribs	kg	15.139.840
• Spritz beton	mc/ cm	126.647
• Rivestimento ed arco rovescio / Lining and inverted arch	mc /cm	218.749



5819, via Dismano - 47522 **Cesena** (FC) - Italy
Tel. +39.0547.319311 - Fax +39.0547.318542
e-mail: intdept@trevispa.com
www.trevispa.com