

DRILL PAC



www.drillpac.com

PACCHIOSI
DRILL

ROCK - SOIL TECHNOLOGY AND EQUIPMENTS

CONGELAMENTO



ROMA (ITALY)

CONSOLIDAMENTO ED IMPERMEABILIZZAZIONE DEI TERRENI CON LA TECNICA DEL CONGELAMENTO

PROGETTO:

Demolizione e ricostruzione dell'arco rovescio in CA della Galleria ferroviaria Cassia - Monte Mario, previo consolidamento ed impermeabilizzazione del terreno sottostante con la tecnica del congelamento.

PERIODO DI ESECUZIONE:

Febbraio 2004 – 2013

COMMITTENTE:

RFI - ITALFERR



Fig. 1. Panoramica della galleria Cassia - Monte Mario (Roma); congelamento in arco rovescio e piedritti.

Nell'ambito dei lavori di ristrutturazione e risagomatura della galleria ferroviaria Cassia - Monte Mario, durante le fasi di demolizione e ricostruzione dell'arco rovescio previste per una porzione di galleria, si è reso necessario impermeabilizzare e stabilizzare il terreno sottostante dopo gli eventi occorsi in galleria nel novembre 2004.

Infatti la presenza di terreni a grana fine, da sabbie fini ad argille, appartenenti a formazioni plio-pleistoceniche di origine marina, con elevati battenti idraulici, aveva provocato pericolose venute d'acqua con il trascinarsi di materiali fini in galleria innescando dissesti con la formazione di un fornello ed i conseguenti effetti in superficie.

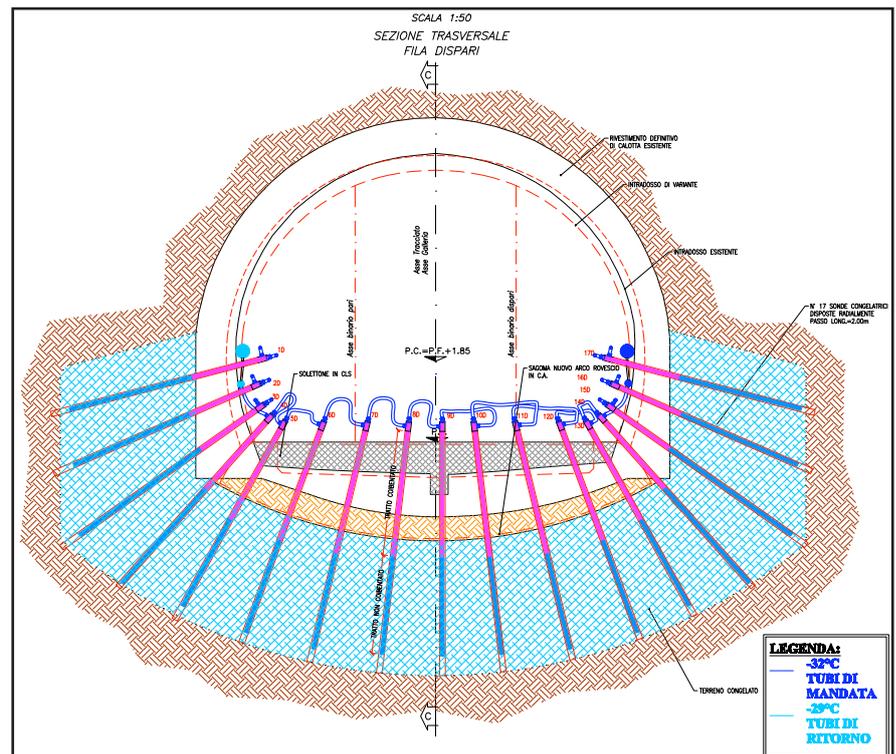


Fig. 3. Perforazioni eseguite nei piedritti l'installazione delle sonde congelatrici (e termometriche).

Fig. 2. Fase di perforazione per l'installazione delle sonde congelatrici (e termometriche) nei piedritti e nell'arco rovescio; perforatrice PACCHIOSI PRP 150.



Fig. 4. Schema tipico di raggiera di sonde congelatrici (e termometriche).



Dopo aver studiato varie possibilità per ottenere una fascia di terreno opportunamente consolidato ed impermeabile sufficiente a contrastare le sottospinte idrauliche generate dal forte battente idraulico al di sotto dell'arco rovescio da ricostruire, prendendo in esame le diverse tecnologie disponibili, si è individuato come ottimale il metodo del congelamento indiretto, che consiste nel congelare l'acqua presente nei pori del terreno fino a renderla ghiaccio; questo metodo si è dimostrato spesso risolutivo in contesti geotecnici quali quelli sopra descritti, potendo garantire uno schermo assolutamente

Fig. 5. Serbatoi di stoccaggio della salamoia non raffreddata.



Fig. 6. Serbatoi della salamoia fredda e gruppi pompe.

Fig. 7. Compressori containerizzati (8 gruppi).



impermeabile e staticamente efficiente una volta raggiunte le temperature di esercizio ottimali, sfruttando proprio la debolezza intrinseca degli ammassi di terreno interessati, vale a dire la presenza dell'acqua.

Naturalmente la migliore efficienza idraulica e statica si paga in termini di complessità tecnologica ed esecutiva degli interventi che devono essere attentamente programma-



Fig. 8. Gruppo di comando e controllo.

Fig. 9. Torri di evaporazione montate all'esterno della galleria.



ti da un punto di vista esecutivo e temporale, visto che i costi, oltre che alla potenzialità dell'impianto installato, sono proporzionali alle temperature che si debbono raggiungere ed alla durata delle fasi di congelamento vero e proprio e di mantenimento durante i lavori di demolizione e ricostruzione dell'arco rovescio per conci.

Per quanto attiene la scelta del metodo di congelamento si è optato per la soluzione di tipo indiretto mediante salamoia (soluzione di cloruro di calcio) sia perché il programma di risanamento della galleria è compatibile con i maggiori tempi richiesti dal metodo indiretto, sia per contenere i costi dell'intervento rispetto alla soluzione diretta con azoto liquido; si evitano inoltre i rischi connessi all'impiego dell'azoto liquido, da maneggiare con maggiore cautela.

Il metodo indiretto è definito tale in quanto il raffreddamento del terreno avviene con un doppio scambio termico: il primo scambio si ha all'interno della centrale frigorifera,



Fig. 10. Panoramica del tratto di galleria con i micropali pronti ad accogliere le sonde.

in cui la salamoia (soluzione di cloruro di calcio) viene raffreddata dall'evaporatore del fluido frigorifero, mentre il secondo scambio si ha nel terreno nell'intorno delle sonde congelatrici, con il conseguente raffreddamento del terreno stesso da parte della salamoia.

La centrale frigorifera tipica è costituita da quattro elementi principali: l'evaporatore, il compressore, il condensatore e un laminatore. All'interno di questi circola in un circuito chiuso il fluido frigorifero. Nel caso in esame sono stati impiegati ben 8 gruppi compressori con due torri di evaporazione, con una potenza complessiva di 500 kW. Tutti gli impianti sono stati installati all'interno della galleria, in prossimità della zona di

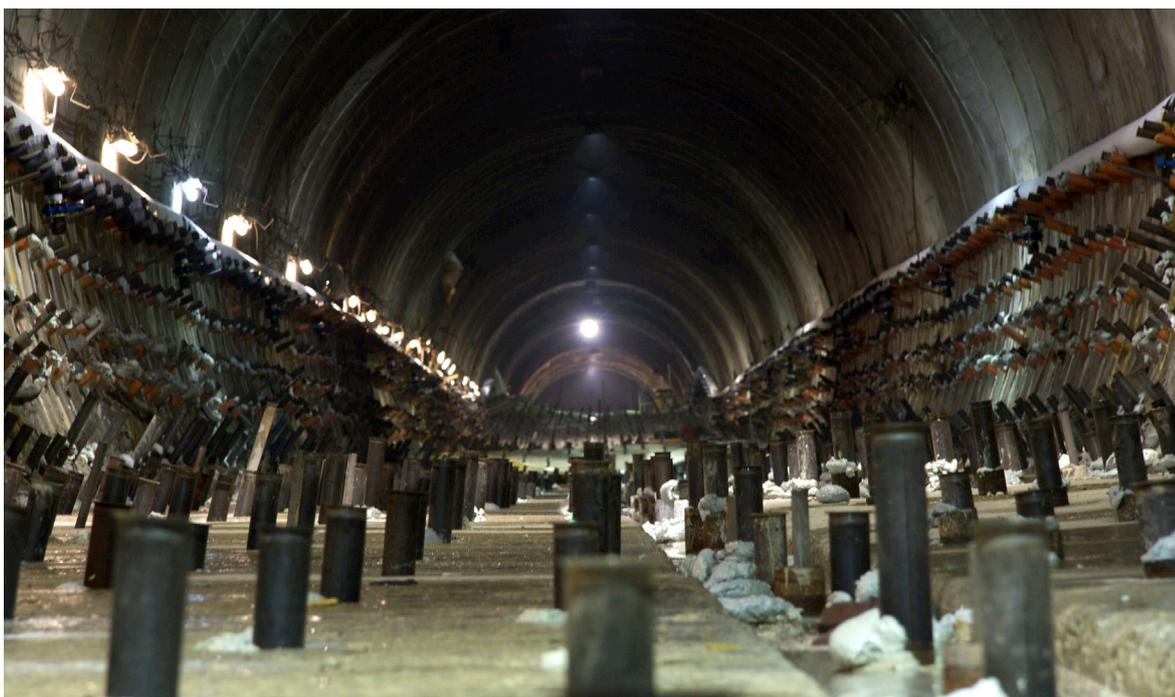


Fig. 11. Particolare delle teste dei micropali in arco rovescio.

intervento; solo le torri di evaporazione sono state posizionate all'esterno, alla distanza di oltre un chilometro dall'area da congelare.

Dopo l'allestimento delle complesse apparecchiature necessarie e la predisposizione di tutti gli accessori a contorno, in cantiere si è proceduto all'applicazione delle scelte operate per congelare i primi quattro campi di 12 metri e monitorando tramite sonde termometriche l'andamento delle temperature. Si è proceduto quindi alla ricostruzione dell'arco rovescio nel primo campo (per campioni di 4 m massimo), staccando il congelamento dal primo campo ed attivarlo sul quinto e così via. Quale ulteriore misura di sicurezza sono state mantenute attive, fino ad avvenuta demolizione/ricostruzione, le sonde congelatrici installate nei piedritti in posizione non interferente con i lavori di demolizione.

I dati acquisiti sono stati elaborati in appositi report giornalieri al fine di evidenziare le curve caratteristiche delle temperatura nello spazio, in funzione della distanza delle



Fig. 12. Panoramica dei campi attrezzati ma non ancora in congelamento.

Fig. 13. Panoramica dei campi ad inizio congelamento.





Fig. 14. Panoramica dei campi in fase di congelamento.

sonde termometriche rispetto alle sonde congelatrici. L'analisi e la gestione di tutti i dati acquisiti è stata condotta mediante un software appositamente sviluppato che permette di generarne la restituzione grafica secondo le modalità più pertinenti.

Per la validazione delle scelte tecniche si è proceduto al controllo delle caratteristiche del terreno prima e dopo il congelamento tramite carotaggi, al rilievo delle convergenze in galleria durante e dopo i lavori, alla misurazione delle tensioni sui rivestimenti di nuova realizzazione, al monitoraggio in corso d'opera e dopo i lavori del terreno superficiale e profondo sovrastante la zona di congelamento.



Fig. 15. Particolare delle testine con i manicotti di collegamento.



Fig. 16. Particolare delle testine con i manicotti di collegamento; campo in congelamento.

Le temperature di lavoro sono le seguenti:

- temperatura della salamoia circa -30°C ,
- salto termico, tra salamoia in uscita e salamoia in rientro nel gruppo frigorifero, di $3\div 4^{\circ}\text{C}$,
- 0°C posizionato suo profilo teorico dello scavo da eseguire,
- temperatura media di -10°C nella massa di terreno,

con le seguenti principali fasi esecutive:

- messa in opera dei tubi stand-pipe solidali all'arco rovescio esistente e successivo posizionamento dei tubi di attesa (micropali valvolati), operazione condotta con l'ausilio di preventer nei fori per impedire l'ingresso dell'acqua,
- esecuzione, attraverso i micropali valvolati, delle previste iniezioni di ricomprensione,
- allestimento di ciascun campo di 12 m con 210 sonde radiali alloggiare nei micropali di attesa, disposte a quinconce secondo una maglia di 1x1 m, ed opportunamente coibentate in modo da ottenere uno spessore di terreno congelato di circa 3 m,
- predisposizione similare delle necessarie sonde termometriche, dotate di opportune termocoppie di controllo,
- congelamento per un tempo variabile da 21 a 28 gg per campo,
- distacco congelamento e demolizione per conci di 4 m,
- montaggio armatura e getto del concio,
- ripetizione del ciclo in modo da garantire la sufficiente maturazione del calcestruzzo dei conci ricostruiti.

Il ciclo di demolizione e ricostruzione tipo prevede il completamento di un campo di 12 m in una settimana.

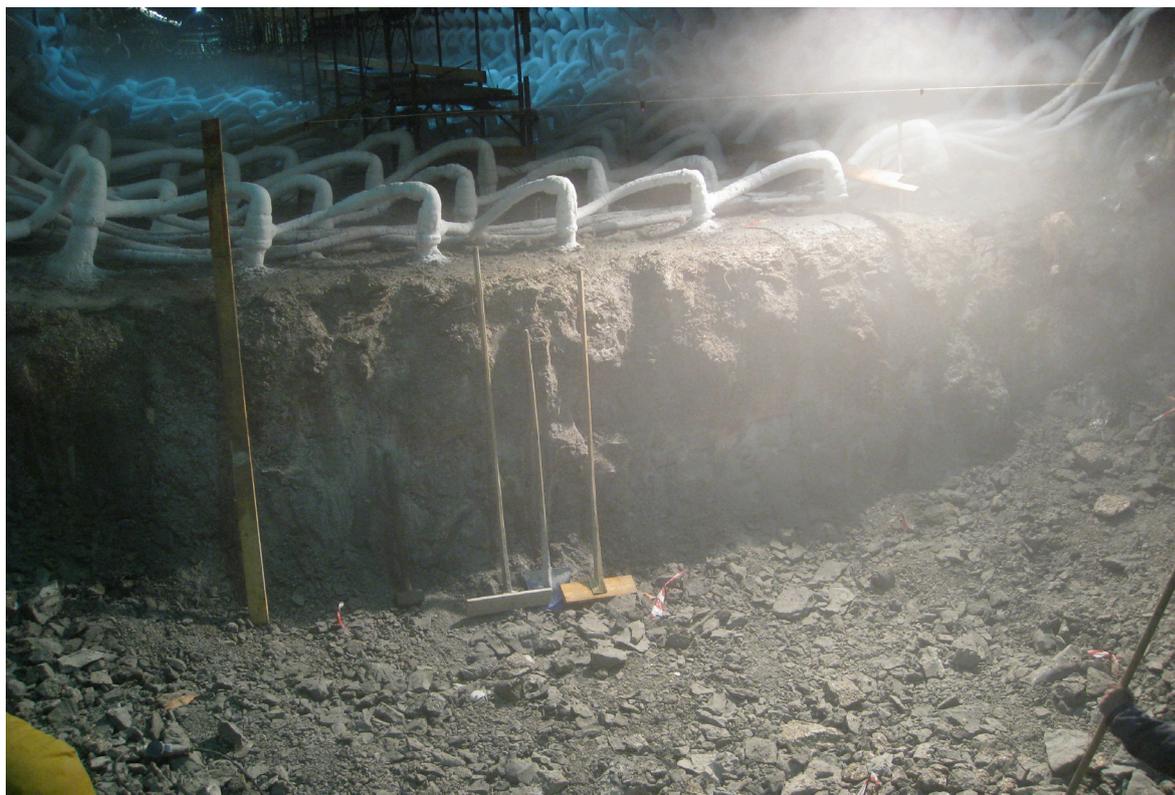


Fig. 17. Concio di arco rovescio demolito, con concio adiacente in mantenimento.



Fig. 18. Concio in ricostruzione; montaggio gabbia di armatura per il getto definitivo.

ROCK - SOIL TECHNOLOGY AND EQUIPMENTS



**COMPANY WITH
QUALITY SYSTEM
CERTIFIED BY DNV GL
= ISO 9001:2015 =**

Branches

AMERIQUE DU NORD PACCHIOSI INC, Canada

PACCHIOSI DRILL USA INC, USA

Drill Pac S.r.l. – Società soggetta a direzione e coordinamento di Ghella S.p.A
Sede Legale: Via Pietro Borsieri, 2/a - 00195 Roma (RM)
Tel. +39 06 45603.1 – Fax +39 06 45603040 – e-mail: info@drillpac.com
Sede Operativa: Frazione Borghonovo, 22 – 43018 Sissa Trecasali (PR)
Tel. +39 0521 379003 – Fax +39 0521 879922 - Sito web: www.drillpac.com