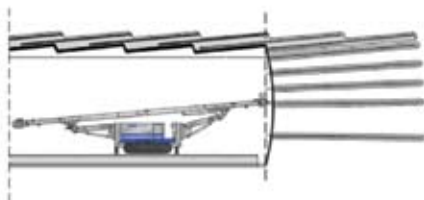


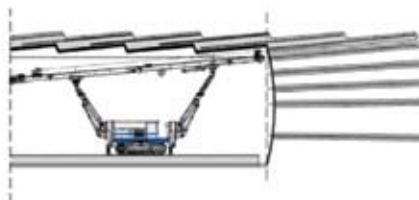
А. ФОКАРАЧЧИ,
«Прометеоинжиниринг ИТ»,
Рим, Италия

ТОННЕЛЕСТРОЕНИЕ: КУРС НА ИНДУСТРИАЛИЗАЦИЮ

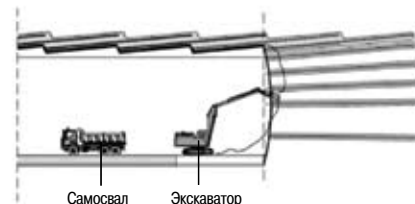
ЭТАП 1. Закрепление грунта в зоне лба забоя



ЭТАП 2. Цементация методом джет-граутинга и установка закреплений



ЭТАП 3. Проходка полным сечением



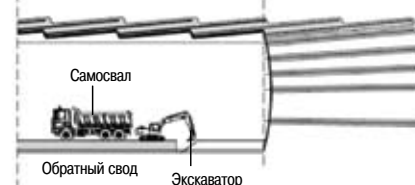
ЭТАП 4. Установка стальных арок



ЭТАП 5. Нанесение набрызг-бетона



ЭТАП 6. Проходка обратного свода



ЭТАП 7. Бетонирование обратного свода



ЭТАП 8. Укладка гидроизоляции ПВХ и бетонирование постоянной обделки



Этапы строительства тоннеля

В течение последних лет в области подземного строительства наблюдалась отчетливая тенденция к внедрению инноваций, что способствовало изменению подхода к проектированию и строительству тоннелей.

При использовании горного способа проходки появились новые подходы к руководству проектом, вызванные необходимостью придания промышленного характера всему процессу сооружения тоннеля вне зависимости от характера грунта; достижение этой цели было безусловно выгодно как для строительных компаний, так и для заказчика. Поставленной цели удалось достичь во многом благодаря методу проходки полным сечением с предварительным усилением грунта в зоне впереди забоя, разработанному в конце восьмидесятих годов.

Сооружение тоннелей с помощью щитовых тоннелепроходческих комплексов позволяет механизировать все операции по разработке грунта и устройству постоянной обделки из отдельных сборных элементов (сегментов) заводского изготовления. Следует, однако, учесть, что под воздействием различных видов нагрузки эти сегменты часто трескаются. Трещины возникают как по причинам геомеханического характера, так и вследствие несовершенства приемов монтажа элементов обделки, но само образование трещин обусловлено способом размещения арматуры внутри сегментов.

По этим причинам в настоящей статье мы сосредоточимся на основных аспектах сооружения тоннелей горным способом, обращая при этом особое внимание на технологии проходки, применяемые при строительстве в сложных грунтах, а также на время, затрачиваемое на проходку. Кроме этого, мы рассмотрим процесс образования трещин в сборных элементах обделки при механизированной проходке на примере строительства тоннеля с помощью одного из самых крупных в Европе, мощных и современных тоннелепроходческих комплексов диаметром 15,08 м.

Окончание следует

1. Горный способ

Известно, что разработка способов усиления грунтов в зоне впереди забоя или пристальное изучение проблемы, продолжавшееся в течение двадцати лет и включившее в себя лабораторные испытания, численное моделирование и экспериментальные исследования на месте строительства, проводились параллельно с осознанием необходимости придания промышленного характера всему процессу, как это случилось в ряде других инженерно-технических областей.

Благодаря правильной организации проектирования в настоящее время в обычную практику вошли следующие составляющие процесса:

- определение должного соотношения между жесткостями ядра проходки (естественного или усиленного путем улучшения параметров грунта), временной крепи и постоянной обделки;
- полное и однозначное описание каждого структурного компонента тоннеля с определением возможных вариантов, обусловленных реальными условиями проходки;
- определение всех строительных процессов, предусмотренных проектом;
- мониторинг всех строительных процессов и ответных реакций выработки, проявляющихся в виде развития напряжений на удерживающих конструкциях и деформаций выработки;
- планирование операций в соответствии со стандартами безопасности.

Последовательность операций и их правильное выполнение являются ключевыми элементами метода, основанного на контроле и управлении деформациями. Недостаточное владение информацией по этим аспектам может привести к катастрофическим практическим и экономическим последствиям; проект перейдет в разряд непродуктивных, кроме того, могут проявиться совершенно неожиданные деформационные явления, иногда неконтролируемые и чреватые возникновением опасных ситуаций.

В этой главе рассматривается один из показательных случаев строительства тоннеля, при котором индустриализация хода работ позволила применить проходку полным сечением при закреплении грунта впереди забоя. Проходка велась в сложных грунтах, где сочетание различных структурно-геологических, литостратиграфических и гидрогеологических особенностей в специфическом антропоном контексте, осложненное необходимостью учета функциональных свойств объекта, потребовали строжайшего соблюдения временных рамок всех этапов строительства, усложнили проектирование и последующее выполнение строительных работ.

Управление проектом предварительного закрепления грунта позволило превратить строительномонтажные работы в промышленный процесс, то есть индустриализировать его; правильное выполнение строительных операций стало необходимым условием для обеспечения устойчивости выработки не только в краткосрочной, но и в долгосрочной перспективе. Небрежное выполнение закрепления, значительный



Выполнение операций по закреплению лба забоя

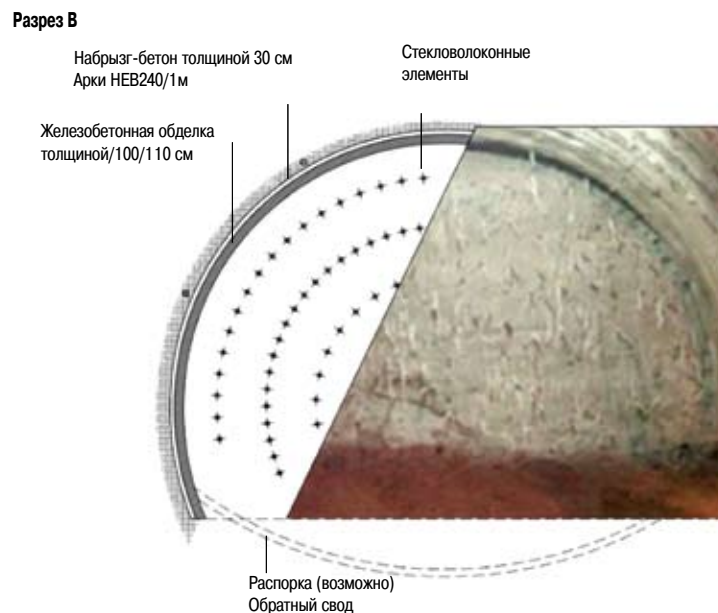
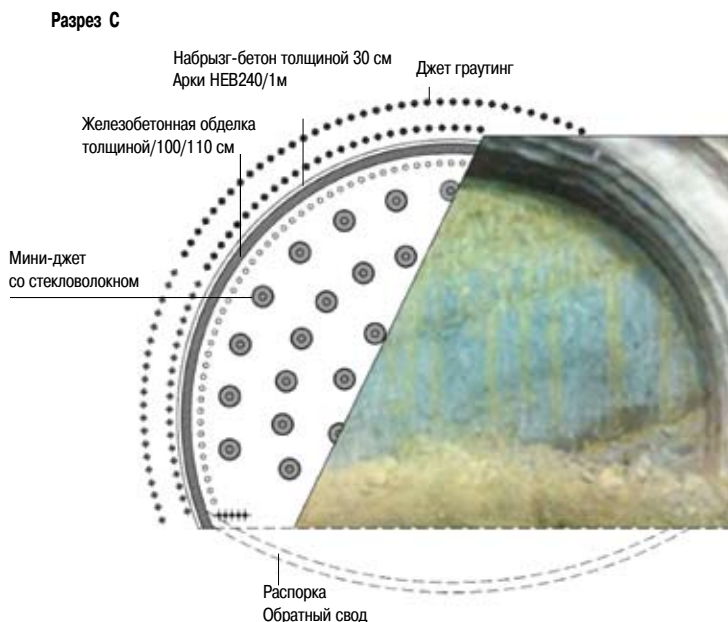
перебор при разработке грунта, неправильная установка арок и нанесения набрызг-бетона на контур, простои и задержки — все эти события негативно влияют на ответную деформацию забоя, снижают устойчивость в краткосрочной перспективе и в последующем приводят к повышению нагрузок на постоянную обделку.

Кроме того, следует отметить, что в грунтах, проявляющих реологические свойства, что характерно при наличии глинистой составляющей, — ответная реакция выработки заметно улучшается с увеличением среднесуточных темпов проходки, поскольку более высокая скорость позволяет компенсировать незначительные деформации массива.

Таким образом, на этапе доработки проекта временной фактор и его оценка имели решающее значение для нахождения правильного баланса между операциями по закреплению и последующими строительными работами, что было необходимо для увеличения производительности труда и обеспечения эффективного удерживания развития деформаций под контролем. Внесение изменений в определенные проектом технологии (их «подстройка»), вызывались конкретными ответными напряженно-деформированными реакциями грунта и проходило на основе анализа данных мониторинга зданий и хода операций, проводимых в зоне лба забоя. Этот процесс позволил удержать на постоянном уровне деформации выработки и ядра забоя. Особое внимание уделялось отслеживанию деформаций, развивающихся под зданиями и объектами, находящимися в зоне строительства. Зарегистрированная осадка не выходила за рамки миллиметрового диапазона, что соответствовало проектным значениям.

1.1. Проектирование операций по закреплению грунта и устройству временной крепи

В современной практике значительные пластические деформации грунтового массива не допускаются,



особенно в сложных геологических условиях, так как ослабление массива приводит к значительному снижению его геомеханических параметров (деформируемость и прочность) и к последующему увеличению деформаций и нагрузок на закрепляющие конструкции. Случаи проявления значительной неустойчивости и обрушений не были редкостью и привели к отказу от метода NATM (The New Austrian Tunnelling method) в большинстве стран мира. Достаточно вспомнить что в тоннелях, построенных этим методом в Италии на Апеннинах, давление набухающих глинистых грунтов оказывалось настолько высоким, что ломались уже установленные крепь и обделка, сжатие выработки превышало 1 м. Зачастую все заканчивалось повторной проходкой, тогда как в тоннелях высокоскоростной железной дороги Болонья-Флоренция, построенных в том же массиве методом проходки на полное сечение с предварительным усилением грунта впереди забоя, экструзия и конвергенция не превышали нескольких сантиметров.

При проходке полным сечением сооружение временной крепи (установка арок и нанесение армированного набрызг-бетона) происходит в тесном взаимодействии с выполнением консервационных (сохраняющих) операций, проводимых в зоне лба забоя. (Они нацелены предотвращение и удерживание деформаций в этой зоне, в то время как временная крепь предотвращает деформации, возникающие на пройденном участке выработки.) Консервационные операции и создание временной крепи сочетаются между собой, так что и при отсутствии непрерывного контроля за деформационными явлениями, развивающимися в массиве, вся последовательность работ по проходке разрабатывается таким образом, чтобы как можно меньше потревожить естественное состояние грунтового массива.

Выбор типа операций по закреплению грунтов производится на основании прогноза поведения земляного массива. На основании сделанных прогнозов выбираются тип действия, которое необходимо предпринять (предварительное удерживание или

Типовое сечение С (лоб забоя, видоизмененная глина) и В (лоб забоя, глина, сплошной слой)

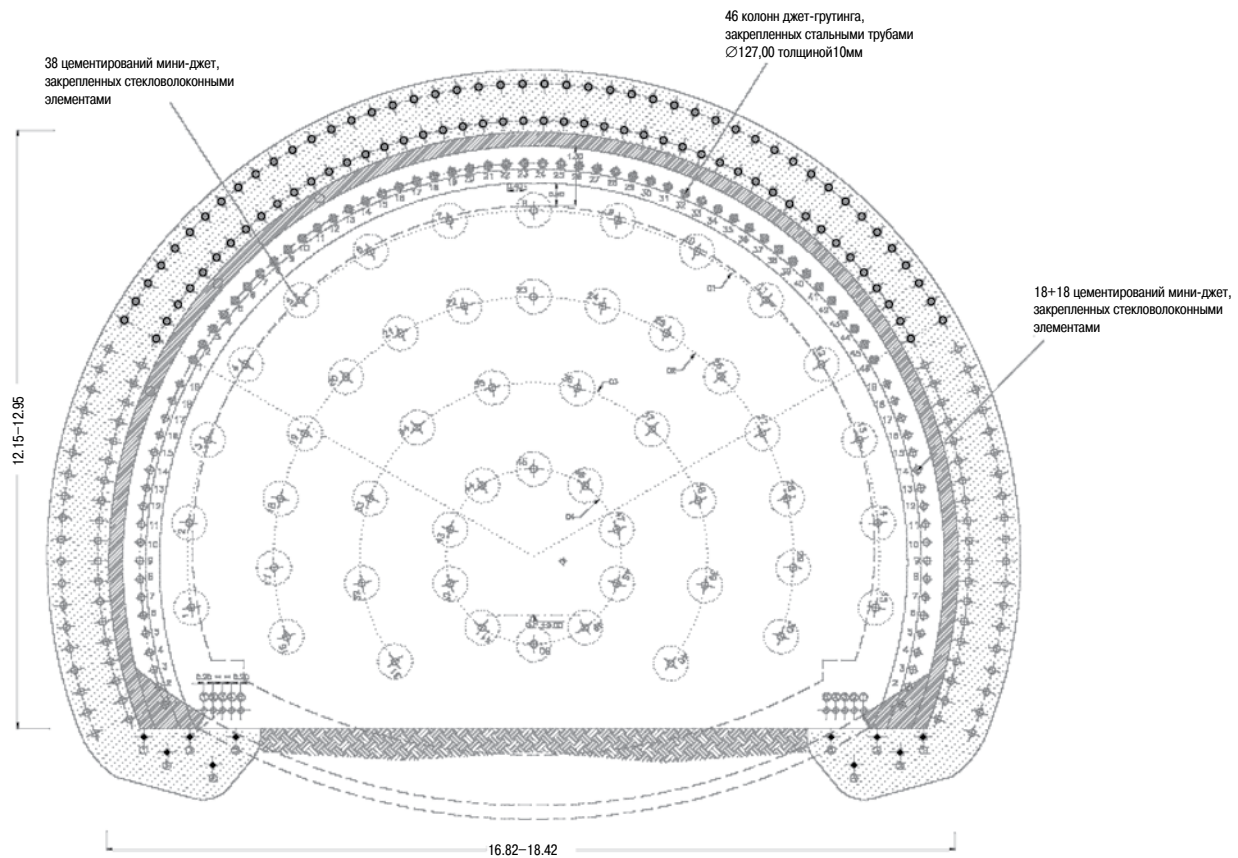
простое удерживание) и реализующие его операции; при этом учитывается поведение лба забоя. Целью всех этих мероприятий является обеспечение устойчивости тоннеля.

Так, например, на участках со сложными геологическими условиями, особенно при неглубоком заложении тоннеля, часто требуется сооружение арочной структуры для закрепления грунта по контуру, чтобы отвести напряжение от ядра забоя вовне, разгрузить зону лба забоя и уменьшить экструзию (типичное сечение С). По мере улучшения геомеханических условий грунта внутри массива достаточно использовать структурные стекловолоконные элементы, устанавливаемые в зоне лба забоя, при этом сокращается объем операций, выполняемых по контуру (типичное сечение В).

После того, как определен тип закрепления, первоочередное значение приобретает определение геометрии закрепления, методов бурения и установки закрепляющих элементов, а также конструктивные параметры самих элементов.

В качестве примера приведем реальный и показательный случай, а именно, типовое сечение С, включающее в себя 46 усилений методом струйной цементации (джет граунтинг) с закреплением стальными трубами диаметром 127 мм, толщиной 10 мм, длиной 18 м и нахлестом 12 м, устанавливаемыми на расстоянии 40 см друг от друга, и 38 усилений методом мини-джет с закреплением стекловолоконными элементами длиной 18 м, нахлестом 12 м, устанавливаемых для расширения закрепленной зоны вплоть до банкетов.

Закрепление лба забоя является существенной частью всего рабочего цикла (составляя примерно 1/3 от общего времени возведения сооружения), и, следовательно, любые меры, принимаемые в целях повышения эффективности этой операции существенно влияют на скорость строительства тоннеля. Отсюда следует, что операции бурения должны быть тщательно спланированы, так как в результате можно выиграть (или потерять) много ценных часов.



Геометрическое расположение вмешательств (разрез С)



Распорка в обратном своде

В рассматриваемом случае потребовалось 100 ч на выполнение 50 операций мини-джет и на создание 46 колонн струйной цементации в зоне лба забоя, то есть производительность составляла порядка 24 м закреплений в час. Кроме того, следует отметить, что после установки прибора для измерения экстрюзии, потребовались дополнительные три часа необходимые для снятия показаний, в результате чего время, затрачиваемое на выполнение измерений экстрюзии, достигло 6–8 ч.

Для того, чтобы сдерживать деформацию, развивающуюся в зоне лба забоя следовало обеспечить достаточную жесткость временной крепи и установку ее на максимально близком расстоянии от лба забоя. Необходимая жесткость не обеспечивается только лишь размерами компонентов временной крепи (арки, набрызг-бетон и т.д.), она зависит также, и в особенности, от геометрии операции (полицентричные арки) и от использования мер по максимально возможному удерживанию деформации, среди которых, например, установка распорки в обратном своде, бетонирование последнего в непосредственной близости от лба забоя и т.д.

В частности, установка распорки в обратном своде играет очень важную роль при контроле за деформацией (конвергенция и экстрюзия) и дает превосходные результаты, поскольку обеспечивает силу, противодействующую сжиманию арок (которое в данных грунтах обычно проявляется в виде значительного бокового давления и отрицательного изгиба калотты), частично предотвращает явление проседания основания арки и противостоит экстрюзии и выпиранию основания.

1.2. Рабочий цикл проходки

В однородных глинистых грунтах, аналогичных тем, которые мы рассматриваем, хорошие результаты дает применение риппера. При наличии включений твердых горных пород размером до нескольких метров, рекомендуется использовать гидромолот; для проход-

ки глинистых матриц применяют безударный способ, в случае скальных элементов — ударный.

Разработка и вывоз грунта в нашем случае выполнялись не одновременно, а последовательно, на что потребовалось в общей сложности 4 ч. Еще 4 ч понадобились для установки каждой арки временной крепи и последующего торкретирования. Весь цикл работ по разработке грунта и установке арки временной крепи с шагом 1 м, соответственно, занял около 8 ч.

1.3. Обратный свод

Этот конструктивный элемент тоннеля имеет фундаментальное значение для сдерживания деформационных явлений в сооружении. Последнее обеспечивается в том числе высокой жесткостью обратного свода в сочетании с приемом его бетонирования на небольшом расстоянии от лба забоя.

Кроме того, не следует упускать из виду, что в случае неблагоприятного развития событий этот элемент конструкции способен выдержать значительную нагрузку при малой деформации, и, следовательно, нивелировать значительную часть деформаций, возникающих в таких ситуациях.

Тем не менее, устройство обратного свода требует длительного времени, поэтому нужно искать оптимальное решение, обеспечивающее достаточный запас устойчивости без увеличения сроков строительства. В рассматриваемом случае время, необходимое для разработки грунта, зависело от длины заходки (9 м) и составило 6 ч; время, необходимое для бетонирования обратного свода, равнялось 8 ч, на установку готовых арматурных каркасов и опалубки потребовалось почти 15 ч, и еще 7 ч ушло на ожидание набора бетоном проектной прочности.

1.4. Постоянная обделка

В свете приведенных выше соображений о роли временной крепи и обратного свода, устройство постоянной обделки на этапе строительства играет вспомогательную роль, но ее значение многократно возрастает во время эксплуатации тоннеля. Расстояние от лба забоя следует выбрать так, чтобы во-первых избежать возникновения реологических явлений, способных привести к значительным деформациям, если обделка не достаточно жесткая; во-вторых, оно не должно мешать проведению операций рабочего цикла в зоне лба забоя.

1.5. Выводы

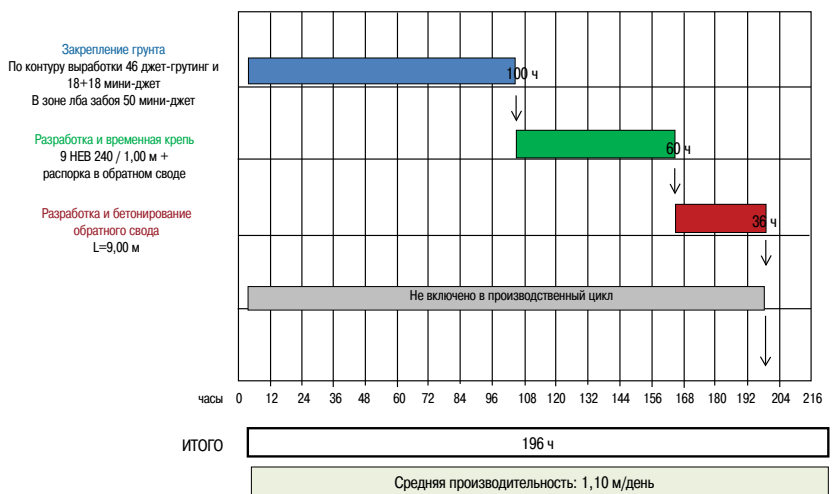
Управление проектом по усилению ядра забоя позволяет придать промышленный характер этапу строительства тоннеля в любых грунтах. При прокладке описанного здесь тоннеля, построенного в особо сложных условиях, скорость продвижения забоя оставалась постоянной. Это свидетельствует о том, что современный подход к проектированию в совокупности с надлежащим выполнением операций позволяет решать все необходимые задачи.



Разработка грунта у лба забоя



Оборка забоя и вывоз грунта



Время полного рабочего цикла

TECNICHE DI COSTRUZIONE DI GALLERIE

Negli ultimi anni, il settore delle costruzioni insotterraneo ha avuto una significativa tendenza innovativa che ha progressivamente cambiato l'approccio alla progettazione e costruzione di gallerie.

Per i metodi di scavo in tradizionale, l'evoluzione della gestione progettuale ha seguito la necessità di industrializzare le fasi di costruzione del tunnel in ogni tipo di terreno, con indubbi vantaggi sia per le imprese che per le amministrazioni. Ciò è stato reso possibile in larga misura dall'uso del metodo di scavo a piena sezione con miglioramento del terreno a monte del fronte di scavo sviluppata dalla fine degli anni ottanta.

Per mezzo di una fresa TBM è invece possibile meccanizzare completamente le operazioni di scavo e la realizzazione del rivestimento definitivo con conci prefabbricati. Tuttavia, durante le diverse condizioni di carico, i conci prefabbricati sono spesso soggetti a fenomeni di fessurazione che possono essere causati sia da fattori geomeccanici che dai metodi utilizzati per l'installazione e la messa in opera degli elementi prefabbricati, ma tutti dipendenti dalla distribuzione delle armature al loro interno.

Nel presente articolo saranno quindi trattati gli aspetti principali dello scavo in tradizionale, focalizzando l'attenzione sulle tecniche utilizzate durante la costruzione di una galleria in terreni difficili e sui tempi e velocità di avanzamento attese, e sarà affrontato il tema della fessurazione dei conci prefabbricati di rivestimento definitivo di gallerie scavate mediante TBM, analizzando il caso di una galleria scavata per mezzo di una tra le più grandi, potenti ed avanzate frese TBM realizzate in Europa, con un diametro di 15,08 m.

1. Scavo tradizionale

È noto che lo sviluppo della progettazione del miglioramento del terreno a monte del fronte di scavo, frutto di una ricerca continua e minuziosa fatta da prove di laboratorio, simulazioni numeriche e prove sperimentali in situ condotte nel corso degli ultimi venti anni, sono andati di pari passo con l'esigenza di industrializzare le operazioni di costruzione di gallerie, come è già avvenuto in altri settori dell'ingegneria.

Grazie ad una corretta gestione della progettazione, sia in fase di pianificazione che in fase di esecuzione delle diverse operazioni, sono ormai prassi consolidata:

- la definizione di rapporti adeguati tra la rigidità del nucleo d'avanzamento (naturale o aumentata dal miglioramento delle caratteristiche del terreno) e la rigidità del rivestimento preliminare e quella del rivestimento definitivo;
- la definizione completa e inequivocabile di ogni componente strutturale di una galleria, con indicazione delle variabilità per adattarsi alle reali condizioni incontrate durante gli scavi;
- la definizione di tutti i processi di costruzione previsti dal progetto;
- il monitoraggio di tali processi di costruzione e della risposta del cavo in termini di tensioni sulle opere di contenimento e di deformazioni del cavo;
- la pianificazione delle operazioni nel rispetto delle norme di sicurezza.

La successione delle operazioni e la loro corretta esecuzione sono elementi fondamentali per un metodo basato sul controllo e la regolamentazione dei fenomeni deformativi. Se la conoscenza di questi aspetti non è adeguata, le conseguenze possono essere disastrose in termini operativi ed economici, il cantiere diventa improduttivo e possono verificarsi fenomeni deformativi totalmente inaspettati, a volte incontrollabili, fino a raggiungere situazioni in cui i livelli di sicurezza non sono accettabili.

Nel presente capitolo si illustrerà un caso significativo di realizzazione di una galleria in cui l'industrializzazione delle operazioni di costruzione ha consentito l'utilizzo del metodo di scavo a piena sezione con miglioramento terreno a monte del fronte anche in un contesto particolarmente difficile in cui la concomitanza di diverse situazioni geologico-strutturali, litostratigrafiche, idrogeologiche, il particolare contesto antropico nonché la funzionalità dell'opera, ha richiesto il rispetto di stabilite fasi di realizzazione, rendendo complessa tutta la fase di progettazione e la successiva fase di esecuzione della galleria.

La gestione progettuale dei preconsolidamenti ha permesso l'industrializzazione delle operazioni di costruzione della galleria la cui corretta esecuzione è stata condizione necessaria per assicurare la stabilità del cavo non solo a breve termine, ma anche a lungo termine. Una cattiva esecuzione del consolidamento, eccessivi spessori di extrascavo, una non corretta posa delle centine e dello spritz

To be continued

beton al contorno, soste e rallentamenti, sono difatti tutti eventi che influenzano negativamente la risposta deformativa del cavo, con possibili instabilità nel breve periodo e con conseguenti maggiori carichi sul rivestimento definitivo nel lungo periodo.

Inoltre in particolare in terreni con un comportamento reologico, quali tutti i terreni che presentano una componente argillosa, va evidenziato che la risposta di una cavità migliora marcatamente con l'aumentare dei tassi medi di produzione giornaliera, in quanto velocità di avanzamento più elevate fanno scontare minori deformazioni nell'ammasso.

Di conseguenza, per la "Messa a Punto del Progetto", la valutazione dei tempi impiegati è stata fondamentale per poter bilanciare al meglio gli interventi e la successione delle fasi costruttive, in modo da conseguire tanto maggiori produzioni, quanto un più efficace controllo delle deformazioni. La taratura delle diverse tecnologie di progetto sulla base della risposta tenso-deformativa dell'ammasso, conseguente anche all'analisi dei dati di monitoraggio degli edifici e delle fasi operative al fronte, ha permesso di mantenere costanti sia le deformazioni del cavo che del nucleo di avanzamento. Particolare attenzione per il controllo delle deformazioni è stata posta nel sotto attraversamento degli edifici che hanno registrato abbassamenti millimetrici coerenti con le previsioni progettuali.

1.1. Progetto degli interventi di consolidamento e pririvestimento

Nella pratica corrente non si può accettare che l'ammasso subisca una deformazione di entità significativa, e che quindi si detensioni, specie in contesti geologici difficili, in quanto al detensionamento dell'ammasso segue un'importante caduta delle caratteristiche geomeccaniche dello stesso (deformabilità e resistenza), con conseguenti deformazioni e pressioni sulle opere di contenimento. Casi in cui si sono verificate notevoli instabilità e crolli non sono state infrequenti, e ciò ha comportato l'abbandono del metodo NATM nella maggior parte del mondo. Basti pensare che in Italia, nelle gallerie appenniniche realizzate con tale metodo, la pressione esercitata dal rigonfiamento dei terreni argillosi durante la costruzione è stata talmente elevata da rompere i rivestimenti e causare convergenze superiori ad 1 m, che hanno richiesto ripetute riprese di scavo, mentre le moderne gallerie per l'alta velocità ferroviaria Bologna-Firenze, realizzate attraverso gli stessi terreni con scavo a piena sezione e preconsolidamento del fronte di scavo, hanno invece evidenziato misure di estrusione e convergenza centimetriche.

Procedendo con le tecniche di scavo a piena sezione, il rivestimento di prima fase (centine e spritz beton fibrorinforzato) opera in stretta congiunzione con gli interventi conservativi a monte del fronte di scavo: questi hanno il compito di prevenire e regimare le deformazioni del nucleo di avanzamento, mentre il pririvestimento contiene le deformazioni che avvengono a valle del fronte. Interventi conservativi e pririvestimento si combinano così senza soluzione di continuità nel controllo dei fenomeni deformativi del terreno e l'intera sequenza delle operazioni di scavo viene elaborata al fine di produrre il minimo disturbo possibile sull'ammasso.



Realizzazione consolidamenti al fronte

La scelta tipologica degli interventi di stabilizzazione è consequenziale alla previsione di comportamento dell'ammasso. Sulla base delle previsioni fatte si opera la scelta del tipo di azione da esercitare (precontenimento o semplice contenimento) e degli interventi necessari, nell'ambito delle diverse categorie di comportamento del fronte, per ottenere la stabilità della galleria.

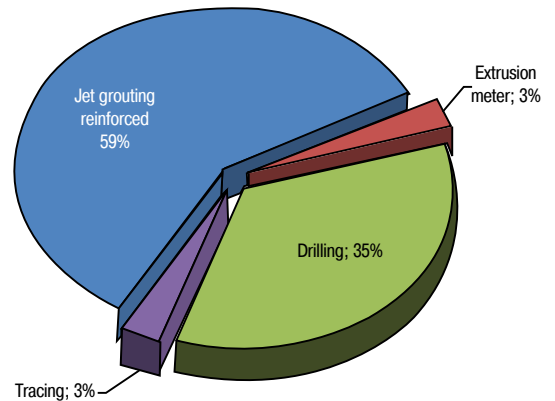
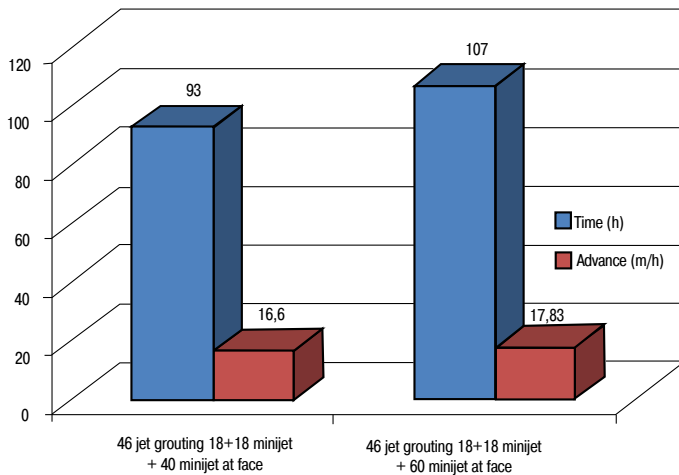
Ad esempio le tratte in cui si riscontrano difficili condizioni geologiche, specie se con basse coperture, spesso richiedono la realizzazione di un arco presostegno e di consolidamento al contorno tale da deviare le tensioni all'esterno del nucleo di avanzamento, alleggerire il fronte di avanzamento e ridurre i fenomeni di estrusione (sezioni C), mentre con il migliorare delle condizioni geomeccaniche verso l'interno dell'ammasso si può passare all'utilizzo dei soli elementi strutturali in VTR al fronte, riducendo gli interventi al contorno (sezione B).

Definita la tipologia di consolidamento necessaria è di primaria importanza la definizione della geometria, dei metodi per la perforazione e l'immissione degli elementi di consolidamento, nonché delle caratteristiche strutturali degli elementi stessi.

Con riferimento ad un esempio reale e particolarmente significativo, la sezione tipo C prevede la realizzazione di 46 trattamenti in jet grouting rinforzati con tubi in acciaio ($\varnothing 127.0$ mm, spessore 10 mm, L = Lunghezza 18,00 m, sovrapposizione 12.00 m ad intervalli di 40 cm) e 38 iniezioni di mini-jet rinforzato con elementi in fibra di vetro con una lunghezza di 18 metri e sovrapposizione di 12 m per completare il supporto in avanzamento fino ai piedritti.

Il rinforzo del fronte di scavo rappresenta una parte sostanziale dell'intero ciclo di lavoro (circa un terzo) e chiaramente eventuali misure adottate per migliorarne l'efficienza avranno un effetto considerevole sui tempi di realizzazione della galleria. Le procedure di perforazione devono quindi essere pianificate con cura dal momento che molte ore possono essere guadagnate o perse nell'esecuzione di questa operazione.

Nel caso presentato un totale di 100 ore è stato impiegato per effettuare 50 iniezioni miniJet e di creare 46 colonne di



jet grouting al fronte, pari a circa 24 m di trattamento per ora. Va inoltre considerato che quando è stato installato un misuratore di estrusione, questo ha richiesto tre ore oltre al tempo necessario per l'esecuzione delle letture, portando il tempo utilizzato per effettuare misurazioni di estrusione a 6-8 ore.

Tempi per i consolidamenti al fronte

Per contenere le deformazioni a valle del fronte di scavo è invece necessario assicurare che il rivestimento di prima fase deve essere sufficientemente rigido e deve essere posizionato il più vicino possibile al fronte. La rigidità adeguata non è raggiunta solo dalle dimensioni dei componenti del rivestimento preliminare (centine, calcestruzzo proiettato, etc.), ma anche e soprattutto dalla progettazione della geometria (centine policentriche) e dall'uso di misure finalizzate a contenere la deformazione il più possibile, ad es. mediante utilizzo di puntone nell'arco rovescio, getto dell'arco rovescio in prossimità del fronte di scavo, ecc.

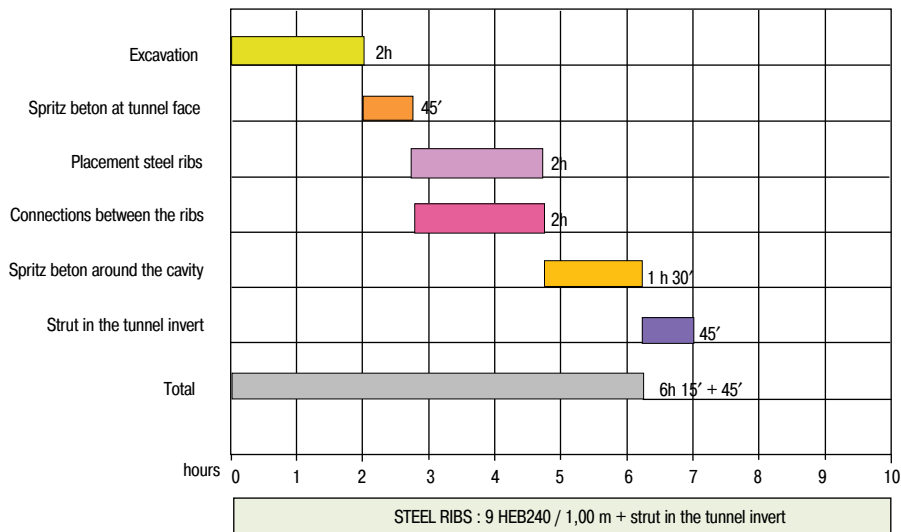
In particolare l'uso del puntone in arco rovescio ha una funzione molto importante nel controllo della deformazione (convergenza ed estrusione) ed ha prodotto risultati eccellenti in quanto fornisce una forza di contrasto alla chiusura delle centine (che nei terreni in esame,

stante l'elevato valore di K0, si manifesta solitamente con forti spinte laterali e flessione negativa in calotta), impedisce in parte fenomeni di punzonamento della base delle centine, e fornisce un punto di forza al fronte a contrastare fenomeni di estrusione e di sollevamento della platea.

1.2. Ciclo di Scavo

In terreni argillosi omogenei, analoghi al terreno attraversato, un ripper può essere efficacemente utilizzato. In presenza di inclusioni di roccia, di dimensioni anche di pochi metri, consiglia l'uso di un martellone, utilizzandolo senza percussione per scavare matrice argillosa e con percussione quando si riscontrano elementi rocciosi.

Scavo e smarino non sono stati normalmente eseguiti simultaneamente ma in sequenza, richiedendo un totale di 4 ore. Altre 4 ore sono state necessarie per collocare ogni centina nel rivestimento preliminare e per il successivo getto dello spritz-beton. L'intero ciclo di lavoro per lo scavo e l'installazione di una centina ad intervalli medi di 1 m, pertanto, ha richiesto circa 8 ore. Nella seguente immagine si evidenzia il tempo richiesto per le singole operazioni da effettuare per posizionare il rivestimento preliminare.



Tempi di scavo e realizzazione prerivestimento

1.3. Arco rovescio

L'arco rovescio è un elemento strutturale di fondamentale importanza nel controllo dei fenomeni deformativi in galleria. La sua elevata rigidità, insieme alla pratica di mantenere la distanza dal fronte entro limiti molto contenuti, permette di contenere efficacemente le deformazioni previste.

Inoltre non è da trascurare il fatto che, in caso di eventi imprevisti, l'arco rovescio è in grado di sopportare sollecitazioni notevoli con piccole deformazioni, e può dunque contenere una consistente quota di deformazioni che da tali eventi possono essere generate.

Tuttavia il getto dell'arco rovescio richiede tempi lunghi, pertanto bisogna sempre cercare la soluzione ottimale che fornisce adeguati margini di sicurezza per quanto riguarda la stabilità, ma che consente anche ritmi di produzione accettabili. Nel caso considerato, il tempo necessario per lo scavo, che dipende dalla lunghezza dei conci di arco

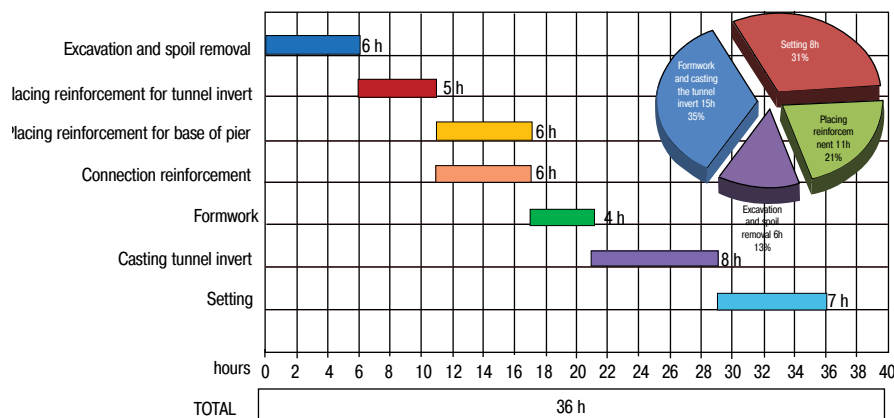
rovescio (9 m.), è stato di 6 ore, il tempo necessario per il getto è stato di 8 ore, il posizionamento dell'armatura (pre-assemblata all'esterno) e delle casseforme ha richiesto quasi 15 ore, ed è stato necessario attendere 7 ore perché il calcestruzzo offrisse resistenze compatibili con la ripresa delle operazioni.

1.4. Rivestimento definitivo

In conseguenza delle considerazioni fatte sul ruolo del rivestimento di prima fase e dell'arco rovescio, il rivestimento definitivo assume un'importanza e una criticità minore rispetto ai precedenti, nella fase di costruzione, rivestendo un ruolo fondamentale per la vita utile dell'opera nel suo complesso. La distanza dal fronte alla quale viene realizzato deve essere tale da evitare l'insorgere di fenomeni reologici, che possono generare notevoli deformazioni se il rivestimento non è adeguatamente rigido, ma al contempo deve essere tale da non interferire con il ciclo di lavoro, ossia non dovrebbe richiedere l'interruzione delle operazioni al fronte.

1.5. Conclusioni

La gestione progettuale del rinforzo del nucleo di avanzamento mediante interventi eseguiti a monte del fronte



Tempi di realizzazione arco rovescio

di scavo permette di industrializzare le fasi di costruzione di una galleria in ogni tipo di terreno. Durante la costruzione della galleria oggetto del presente articolo, realizzata in un contesto particolarmente complesso, i tassi di produzione sono stati costanti, il che dimostra come con un'avanzata gestione della progettazione ed una corretta esecuzione delle operazioni, la costruzione di una galleria può essere industrializzata in tutti i tipi di terreno con indubbi vantaggi sia per le imprese e per i clienti.



Messe München
Connecting Global Competence



Весь мир говорит на языке bauma. Присоединяйтесь!

Испытайте на себе тренды, инновации и воодушевление на важнейшем международном мероприятии отрасли. Там, где встречается весь мир, Вы не должны отсутствовать! Подготовьтесь к деловому успеху и встрече с:

- ▶ 3.400 участниками
- ▶ Более полумиллионом посетителей
- ▶ 605.000 м²

Купите билет прямо сейчас:
www.bauma.de/tickets/en

31-ая Ведущая мировая выставка строительной техники, машин для изготовления строительных материалов, горнодобывающей техники, строительных транспортных средств и оборудования

www.bauma.de  bauma Official

Контакт: ООО «Мессе Мюнхен Консалтинг» | info@messe-muenchen.ru | Тел. +7 495 697 16 70

THE HEARTBEAT OF OUR INDUSTRY

bauma 2016

11–17 апреля, Мюнхен