

Development of a new technology for production of SKEletons in composite materials for realization of pre-cast tunnel segments

Rita Afeltra, R&D Department - ATP



R. Afeltra



The technological and social development has set the necessity to realize long tunnels in urban area as quickly as possible, limiting the displacements in surface and ensuring the proper operation, the safety of work and the absence of damages to the existing structures near to it. Order to spond rapidly to actual requests, in recent decades the development and the diffusion of running equipment has been accelerated; this equipment shall sustain the front of excavation maintaining it to a tensional state similar to that unloading. These equipments are the Tunnels Boring Machines (TBM): their use is increasingly required. Atp s.r.l. is a Company that has worked

Fig. 1 Ring scheme with precast segment lining

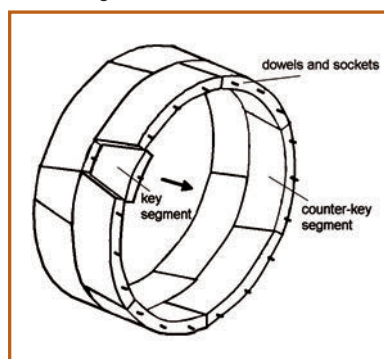


Fig. 1 Schema dell'anello del tunnel con conci prefabbricati

since 1968 with composite materials, it is always on the search for new products to satisfy the numerous market requirements in civil engineering and more, and to follow the evolution of trends and customer demands. Special emphasis is given to applications such as tunnels and underground works. Tunnel coating made by TBM is constituted by a set of curvilinear segments (tunnel segments), which joined, create a circular ring with thickness equal to that of the segments (Fig. 1).

These segments are usually made in precast concrete. The metallic reinforcement has a number of disadvantages both during the TBM advancement and during operational phase of the

Sviluppo di una nuova tecnologia per la produzione di gabbie di armatura in GFRP da utilizzare per i conci delle gallerie

Rita Afeltra, R&D Department - ATP



Lo sviluppo tecnologico e sociale ha posto la necessità di realizzare lunghe gallerie in area urbana nella maniera più rapida possibile, limitando gli spostamenti in superficie e assicurando il corretto funzionamento, la sicurezza dell'opera e l'assenza di danni alle strutture esistenti a essa vicine. Per rispondere alle richieste attuali, è stato accelerato lo sviluppo e la diffusione di macchine che eseguono lo scavo rapidamente, e che contemporaneamente sostengono il fronte di scavo mantenendolo a uno stato tensionale prossimo a quello indisturbato.

Queste attrezzature sono le Tunnel Boring Machines (TBM) il cui utilizzo è sempre più richiesto.

ATP S.r.l. è un'azienda che opera nel campo dei materiali compositi dal 1968 ed è sempre alla ricerca di prodotti capaci di soddisfare le molteplici esigenze di mercato nel campo dell'ingegneria civile e non solo, impegnandosi a seguire l'evoluzione delle tendenze e delle richieste dei clienti. Particolare enfasi viene posta alle applicazioni quali: gallerie e opere in sotterraneo.

Il rivestimento di una galleria realizzata

mediante TBM è costituito da un insieme di conci (segmenti di tunnel) curvilinei (Fig.1), che affiancati, realizzano un anello circolare di spessore uguale a quello dei conci.

Tali conci sono prevalentemente realizzati in calcestruzzo armato prefabbricato. L'armatura metallica presenta una serie di svantaggi sia durante la fase di avanzamento della TBM, che durante la fase di esercizio della galleria.

Durante la realizzazione di un tunnel con TBM, ci sono dei conci che saranno demoliti, ad esempio per far posto a tunnel di collegamento di emergenza (bypass) o per consentire la



tunnel. During the realization of a tunnel with TBM, there are the segments that will be demolished, for example to insert the emergency connection tunnel (bypass) or to allow the realization of fire niches or for the construction of underground stations. In these cases, the metal reinforcement is a major constraint, in fact, it cannot be demolished by the TBM, because the shield will be damaged and it is therefore necessary to operate the manual dismantling of the segments, which provides for an increase in costs, time and risks for those involved. During the operation phase of the segments, there are different problems because chemicals, which it is in contact, attack the metallic reinforcement. To date, there are solutions to create waterproofing but they are expensive and furthermore in some cases it is not possible to carry out maintenance. Another problem is the electrical insulation required in some metropolitan tunnel: it is very expensive getting it when there are metal reinforcements. Atp, to answer at any issues, devised the project COMPOSKE, COMPOsite SKEletons acronym, in collaboration with the University of Rome Tor Vergata. This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement N° 672267. The project develops an efficient solution to the problems presented by metallic reinforcement in the segments through the introduction of GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) reinforcement in the precast tunnel



realizzazione di nicchie antincendio o per la realizzazione di stazioni sotterranee. In questi casi l'armatura metallica è un grosso vincolo, essa infatti non può essere demolita dalla TBM, perché ne risulterebbe danneggiato lo scudo ed è quindi necessario procedere allo smantellamento manuale dei conci che prevede un aumento dei costi, dei tempi ed anche dei rischi per gli operatori coinvolti.

Altri problemi si presentano anche durante la fase di esercizio dei conci, durante la quale l'armatura metallica presente in essi è fortemente soggetta agli agenti chimici coi quali si trovano a contatto; esistono soluzioni per creare impermeabilizzazioni ma sono costose ed in alcuni casi non è possibile effettuare manutenzione. Inoltre, in alcuni tunnel metropolitani è richiesto un isolamento elettrico e per ottenerlo, in presenza di armature metalliche, si affrontano costi significativi.

Per rispondere a tutte queste problematiche ATP ha ideato il progetto COMPOSKE, acronimo di COMPOSite SKEletons, in collaborazione con l'Università di Roma Tor Vergata e finanziato dalla Comunità Europea nell'ambito di Horizon 2020, con un numero di progetto 672267 (Luglio 2015-Giugno 2017). Il progetto sviluppa una valida soluzione alle problematiche presentate dall'armatura metallica nei



segments (Fig. 2).

The Atp solution proposed is adoptable, for example, in the tunnels where: the request life cycle is greater or higher than 100 years, in all tunnel parts that must eventually be removed (typical problems in tunnel excavated with TBM). In these cases, the segments reinforced with GFRP can be easily dismantled and disposed of. The low shear strength allows the TBM to easily cross the diaphragm section reinforced with glass fiber, demolishing the segments and without any damage to the machine; it brings enormous security benefits, saving time and money.

An important aspect of fiberglass reinforcement is the small ecological impact. To dispose segments reinforced with GFRP is not necessary to separate the metal from the concrete; they will be disposed together with concrete. This aspect saves time and energy. Main applications for the product developed in the COMPOSKE project are precast segment to be demolished for the realization of by-pass, fire niches,

Fig. 2 Reinforcement scheme for precast tunnel segment

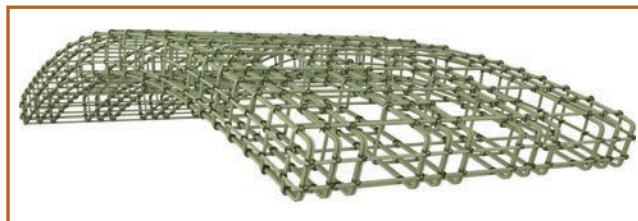


Fig. 2 Schema del rinforzo in vetroresina per conccio prefabbricato

Fig. 3 Bending Test Results for Steel and GFRP Reinforcement

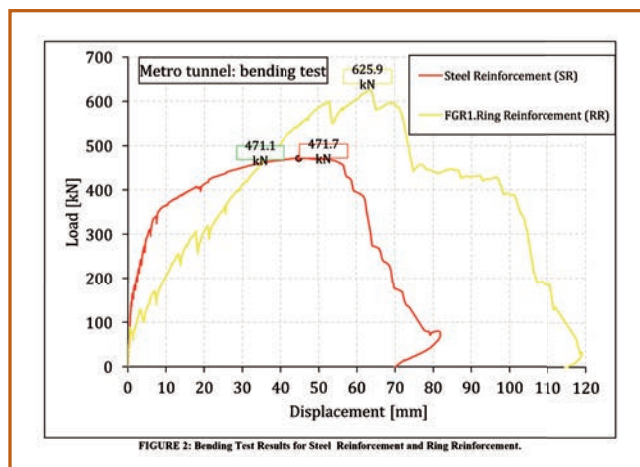


Fig. 3 Risultati dei test a flessione per il conccio rinforzato con acciaio e GFRP

expansion of existing tunnels, dielectric joints in metropolitan and railway tunnels, sewerage.

In order to identify the correct typology of reinforcement Atp designed various reinforcement solutions for segments. Each solution was made at the ATP research and development lab. The curve-geometry of the segments provides for the use of reinforcement following its curvature.

GFRP elements because of their elastic-fragile behaviour cannot be molded after polymerization, unlike steel that after its production can be folded according to the most varied needs. To solve this problem, ATP Research and Development Office developed an innovative production technology (prototypal). Such technology allows the realization of composite reinforcement, particularly in GFRP, of any form. Three different solutions for reinforcement are designed in order to identify the solution with the right balance between effectiveness in strength ease of assembly. The three solutions are



conci attraverso l'introduzione di una armatura in GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) nei segmenti prefabbricati per tunnel (Fig. 2).

La soluzione proposta da ATP è adottabile, ad esempio, nei tunnel dove la richiesta del ciclo di vita è maggiore o superiore ai 100 anni, in tutte le parti di tunnel che devono eventualmente essere rimosse (problemi tipici nei tunnel con TBM di cui sopra). In questi casi, i segmenti armati con GFRP potranno essere facilmente demoliti e smaltiti. La bassa resistenza al taglio permette alla TBM di attraversare facilmente la sezione di diaframma rinforzato con fibra di vetro, demolendo i concci e senza apportare danni alla macchina, con enormi vantaggi in termini di sicurezza, di risparmio di tempo e quindi anche economici. Altro aspetto preferibile dell'armatura in VTR è

legato al minore impatto ecologico. Infatti, per smaltire concci armati con GFRP non occorre procedere alla separazione dei metalli bensì potranno essere smaltiti insieme al calcestruzzo; questo aspetto per nulla secondario produce un importante risparmio di tempo e di denaro.

Le principali applicazioni per il prodotto sviluppato in questo progetto sono individuate in: Segmenti prefabbricati da demolire per la realizzazione di: by-pass, nicchie antiincendio e ampliamento di tunnel esistenti, giunti dielettrici in tunnel metropolitani e ferroviari; fognature.

Sono state progettate e testate diverse soluzioni di armatura per concci al fine di individuare la corretta tipologia. Ogni soluzione è stata prima opportunamente progettata e poi realizzata presso il laboratorio di Ricerca

e Sviluppo ATP. La geometria curva del conccio prevede l'impiego di armatura che segue la sua curvatura.

Gli elementi in GFRP, dato il loro comportamento elasto-fragile, non possono essere modellati dopo la polimerizzazione, a differenza dell'acciaio che dopo la sua produzione può essere piegato secondo le più svariate esigenze. Per risolvere questo problema è stata sviluppata dall'Ufficio Ricerca e Sviluppo di ATP una tecnologia innovativa di produzione (prototipale). Tale tecnologia consente la realizzazione di armatura in composito, in particolare in GFRP, di qualsiasi forma.

Sono state progettate tre soluzioni di armatura con l'obiettivo di scegliere quella con il giusto equilibrio tra efficacia nella resistenza e facilità nel montaggio.

Le tre soluzioni sono completamente diverse

Fig. 4a/4b Details of GFRP Reinforcement made by ATP



with project research (Fig. 4 a, b). This reinforcement produced the best test results. It has been further developed and modified to solve some of the defects found during the tests, for example, it was made with sandblasting to improve its adhesion and a more widespread cracking framework was obtained (Fig.5). This solution optimizes glass fibers properties and facilitates the industrialization process.

Fig. 4a/4b Dettagli del rinforzo in GFRP per conci realizzato da ATP



completely different from each other, in order to understand which of them have the best project requirements. To find the best solution, each typology was subjected to two different tests: a bending test to verify cracking and breaking behavior under bending action and a test simulating the TBM thrust on the segment (Point Load Test). All tests (both on hydraulic and metropolitan type) were carried out

at the University of Rome Tor Vergata. The values continually monitored during the Bending and TBM tests were: Applied Strength and cracks on the extrados and intrados of the segment. These value are necessary to describe the crack pattern of the segment (post test) and to draw Load-Displacement Curve (Fig. 3). Based on test results, the first typology (ring reinforcement) has been identified to develop the product together



"This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 672267". "This document reflects only the author's view and that the Agency is not responsible for any use that may be made of the information it contains".

Fig. 5a GFRP reinforcement with sandblasting

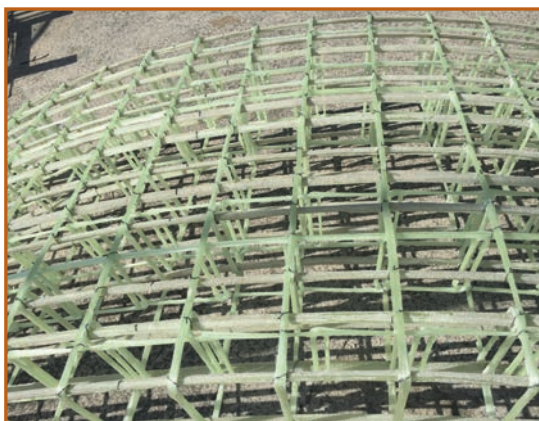


Fig. 5a Armatura in GFRP sabbiata

Fig. 5b Crack pattern of precast segment tunnel reinforced with sandblasting GFRP rebars and stirrups

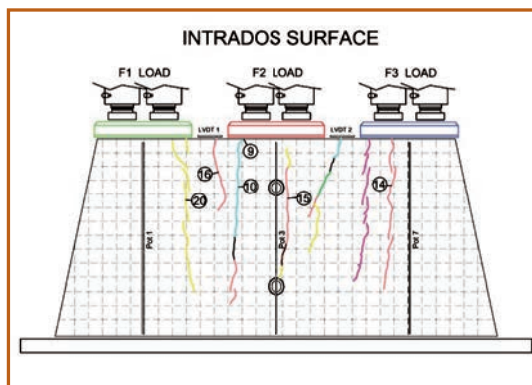


Fig. 5b Quadro Fessurativo del conico rinforzato con armature in GFRP sabbiata

ben descrivere il quadro fessurativo che presenta il conico post prova ottenendo il diagramma carico spostamento (Fig. 3). Sulla base dei risultati dei test è stata scelta come armatura prototipale da sviluppare unitamente al progetto di ricerca la prima tipologia. (Fig. 4 a, b).

Tale armatura è stata scelta come miglior compromesso in termini di risposta alle prove. Essa è stata ulteriormente sviluppata e modificata per risolvere alcuni dei difetti riscontrati durante le prove, ad esempio, è stata realizzata con sabbiatura per migliorarne l'aderenza e si è ottenuto un quadro fessurativo più diffuso (Fig.5). Tale soluzione sfrutta le proprietà delle fibre di vetro ed è anche la soluzione migliore per l'industrializzazione.



tra loro, questo per poter, attraverso il confronto dei diversi comportamenti, capire quale tra esse risponde meglio ai requisiti di progetto. Per individuare la soluzione più adeguata, ognuna è stata soggetta a due diverse prove: una prova a flessione per verificare il comportamento fessurativo ed a rottura sotto azioni flettenti ed una prova con carico concentrato, applicato

assialmente al conico, simulante l'effetto del martinetto in fase di spinta della fresa. Tali test sono stati effettuati presso l'Università degli studi di Tor Vergata, sia su conci di tipo idraulico che di tipo metropolitano. Durante le prova a flessione e a compressione sono state misurate costantemente, tra le altre, le seguenti grandezze: carico complessivo applicato e le lesioni sulle superfici di intradosso ed estradosso del conico, per poter