

L'uso del TFEG per la stabilizzazione del rivestimento di prima fase di una galleria in una formazione flyschoidale con eterogeneità e anisotropia di stato tensionale

Valter Maria SANTORO

IGeS S.n.c., Roma

Nicola MAIONE

Jobsoil, S. Maria Capua Vetere (CE)

Il metodo TFEG® consente di migliorare le caratteristiche di trasferimento del carico da pali di fondazione, di piccolo, medio o grande diametro, o da tiranti di ancoraggio nel terreno circostante. Il miglioramento avviene attraverso l'estrusione di manicotti metallici nel terreno, preventivamente predisposti sia lungo il fusto sia alla punta e collegati all'armatura dell'elemento di fondazione. La tecnica TFEG® – acronimo per Thriving Friction by Extruded Gear o Trasferimento di Forze con Estrusione Guidata –, risponde all'esigenza che l'ingegnere geotecnico ha sempre avuto di aumentare l'efficienza del trasferimento dei carichi o di ridurre l'entità dei cedimenti richiesti per la mobilitazione della resistenza alla punta dei pali. Vengono presentati i risultati di un'applicazione del sistema su tiranti di ancoraggio del piede di centine di prerivestimento in una Galleria Stradale che attraversa materiali argillo-marnosi assai rigonfianti. Le osservazioni acquisite attraverso il monitoraggio, le analisi a posteriori dei sistemi di rinforzo e stabilizzazione delle centine hanno mostrato una soddisfacente prestazione del sistema, consentendo il raggiungimento di elevate reazioni dei tiranti al piede in tempi brevi con modeste lunghezze di ancoraggio delle relative fondazioni.

Premessa

La realizzazione della Galleria Stradale Santa Croce lungo la direttrice viaria di collegamento delle valli del Fortore e del Biferno, in Molise, comporta uno scavo di una sezione di circa 110 metri quadrati e 2000 metri di lunghezza, nelle formazioni del Flysch di Faeto e della Marne di Toppo Capuana. La tecnica di scavo seguita è di tipo tradizionale a piena sezione, con realizzazione di rivestimento di prima fase con centine, rete elettrosaldata e spritz-beton, e interventi di precontenimento e stabilizzazione al fronte costituiti da infilaggi in calotta e da cuciture del nucleo in barre anulari in VTR.

La sezione del rivestimento definitivo è costituita da un getto in calotta, reni e piedritto, completato da un arco rovescio. Lo scavo dei singoli campi, di 9 metri di lunghezza, ha comportato significativi fenomeni di rilassamento e rigonfiamento delle pareti del

cavo, che hanno richiesto, oltre alle misure descritte già previste in progetto, la realizzazione di micropali di fondazione delle centine, necessari per garantirne la stabilità prima della chiusura dell'arco rovescio, e la realizzazione di tiranti orizzontali ai piedritti delle centine.

I tiranti sono stati attrezzati con dispositivi TFEG in fondazione, richiesti dalla necessità di ridurre sia le lunghezze di perforazione, sia i tempi necessari per il pretensionamento richiesto per l'entrata in servizio degli ancoraggi. Le velocità di deformazione osservate facevano palesare, infatti, rapide richiuse del cavo, con progressive estensioni dei raggi plastici, fenomeni non facilmente controllabili nel corso di esecuzione. L'entrata in servizio degli ulteriori elementi di rinforzo, automatica per i micropali di fondazione delle centine, e anticipata per i tiranti grazie all'uso dei dispositivi di miglioramento dell'adesione nel tratto attivo,

ha consentito un rapido decremento delle chiusure di convergenza e una stabilizzazione dei fenomeni.

L'efficacia della reazione dei TFEG nei casi più critici è stata confermata dall'analisi a posteriori dello stato di plasticizzazione delle travi metalliche di ripartizione dei tiranti, che hanno permesso di valutare le reazioni applicate dagli ancoraggi, superiori alle più ottimistiche valutazioni teoriche della capacità portante di fondazioni di tiranti di lunghezza pari a 7 metri in materiali quali quelli interessati dallo scavo.

Inquadramento geologico e geotecnico

L'assetto geologico del territorio è caratterizzato da un'ampia sinclinale con asse all'incirca N-S formata da due principali Unità geologico-strutturali di natura flyschoidale, delle quali la più antica, di età Serravalliano sup. – Tortoniano sup., è assimilabile al Flysch di Faeto. Questo è costituito da un membro inferiore, rappresentato da calciduditi, brecciole e calcareniti, e da un membro superiore, di natura marnoso-argilloso-calcareo; il più recente, di età Tortoniano superiore, riconducibile alle marne argillose di Toppo Capuana, occupa il nucleo della sinclinale e costituisce il litotipo entro cui si sviluppa per gran parte della galleria di Santa Croce.

Da un punto di vista geostrutturale generale l'area è interessata da una serie di falde di ricoprimento appenniniche caratterizzate da un sistema di sovrascorrimenti solitamente con andamento NW-SE o WNW-ESE. La distribuzione delle principali litologie risulta condizionata da un assetto strutturale ca-

ratterizzato da pieghe e sovrascorimenti a vergenza appenninica, complicato da scaglie tettoniche fuori sequenza.

L'unità di Toppo Capuana, entro cui si sviluppa il tratto in galleria, è costituita prevalentemente da argille marnose grigio azzurre e da marne argillose. La parte sommitale di tale formazione, di spessore limitato (generalmente inferiore a 10 metri), è caratterizzata da un grado di fessurazione da medio ad intenso e si presenta alterata assumendo una colorazione avana o grigio avana con tonalità verdognole. Le argille avana sfumano nelle sottostanti argille marnose e marne argillose grigie, che talora presentano anch'esse tonalità verdognole e risultano meno intensamente fratturate, caratterizzate da livelli più argillosi ai quali sono intercalati strati di marne argillose dure.

I caratteri geologico-stratigrafici e strutturali dell'area interessata dalla galleria sono stati definiti nel dettaglio sulla base delle risultanze di un rilevamento geologico di superficie integrato da numerose campagne di indagine consistite nella realizzazione di 6 sondaggi geognostici spinti fino a profondità variabili tra 20 e 30 m. Dette indagini hanno confermato come gran parte della galleria interessi un'unità di natura *flyschioide* da marnoso-argillosa e argillo-marnosa a marnosa o marnoso-calcareo con interstrati marnoso-argillosi. Detta Unità, appartenente alla formazione delle Marne di Toppo Capuana, presenta al tetto una copertura di 10 - 16 metri di argille limose e argille siltose o marnose localmente sabbiose di medio-bassa consistenza.

Per quanto riguarda gli aspetti idrogeologici, l'area interessata dalla galleria non appare interessata da una significativa circolazione idrica sotterranea in relazione alle modeste permeabilità delle Unità geologiche affioranti. Orizzonti idrici di importanza limitata, in grado di dare origine a stillicidi o venute d'acqua limitate all'interno della galleria, interessano prevalentemente la coltre argillo-sabbiosa e argillo-marnosa di copertura del substrato. In figura 1 è riportato l'inquadramento geologico della zona interessata. Da un punto di vista geotecnico i due litotipi individuati possono essere caratterizzati dai seguenti parametri meccanici medi:

- peso di volume $\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$
- angolo di attrito $f = 22^\circ$

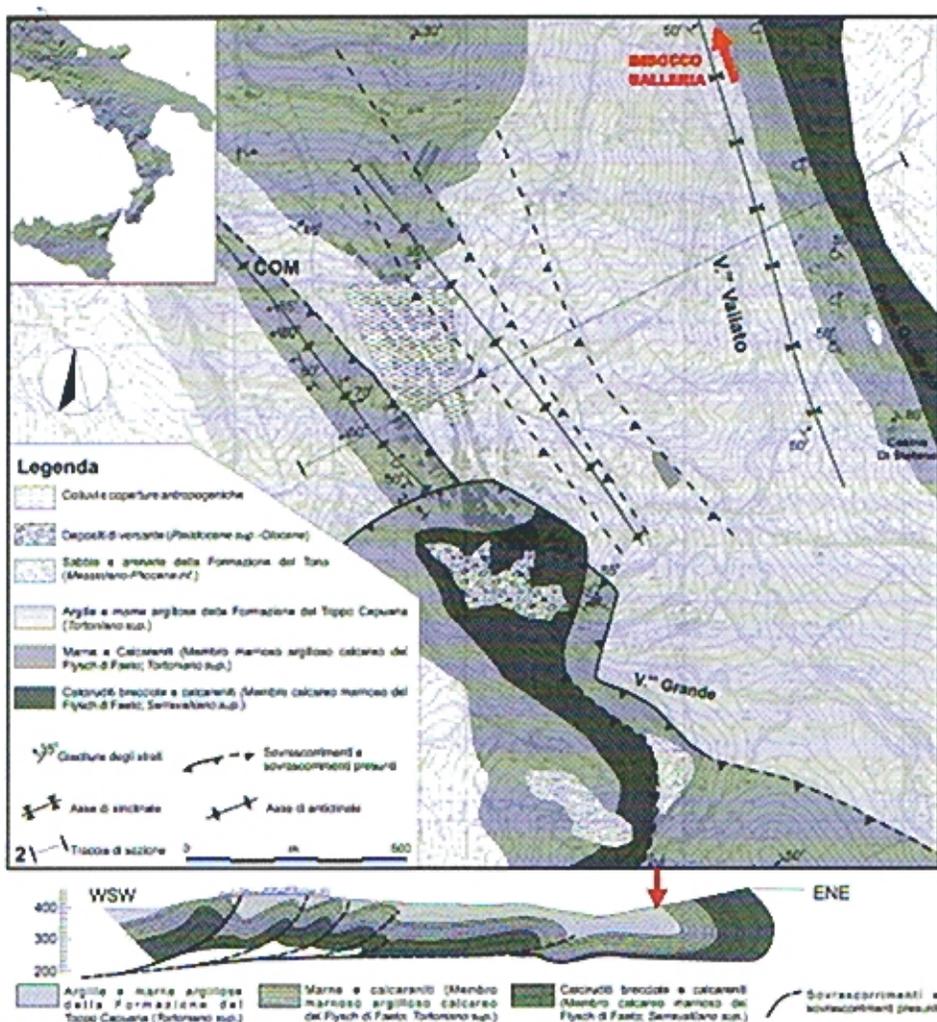


Fig. 1 - Inquadramento geologico.

- coesione $c' = 0-10 \text{ KPa}$
- argille marnose di base
- peso di volume $\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$
- angolo di attrito $f = 22^\circ$
- coesione $c' = 20 \text{ KPa}$

Il sistema TFEG

Il sistema consente nel migliorare le caratteristiche di trasferimento del carico da pali di fondazione, di piccolo, medio o grande diametro, o da tiranti di ancoraggio, al terreno circostante, sia lungo il fusto sia alla punta, attraverso l'estrusione di manicotti metallici nel terreno, preventivamente collegati all'armatura dell'elemento di fondazione. La tecnica TFEG (acronimo per *Thriving Friction by Extruded Gear* o Trasferimento di Forze con Estrusione Guidata), risponde all'esigenza che l'ingegnere geotecnico ha sempre avuto

di aumentare l'efficienza del trasferimento dei carichi lungo il fusto, o di ridurre l'entità dei cedimenti richiesti per la mobilitazione della resistenza alla punta del palo.

Nel passato, a tale istanza giungevano risposte consistenti in iniezioni di miscele più o meno in pressione, che creassero, oltre ad un miglioramento delle caratteristiche meccaniche del terreno circostante e quindi un miglioramento dei parametri su cui confidare per la resistenza del palo, anche una sorta di propaggine del fusto del palo, lungo la sua lunghezza o alla base. Nacquero così, a partire dagli anni '50 del secolo scorso, diversi brevetti, dal palo radice al tubfix, al prepacked e così via. Nel recente passato si sono affermati sistemi di presollecitazione alla base, finalizzati per lo più a semplificare e economizzare le procedure di prove di carico di sito, soprattutto per pali di grande diametro.

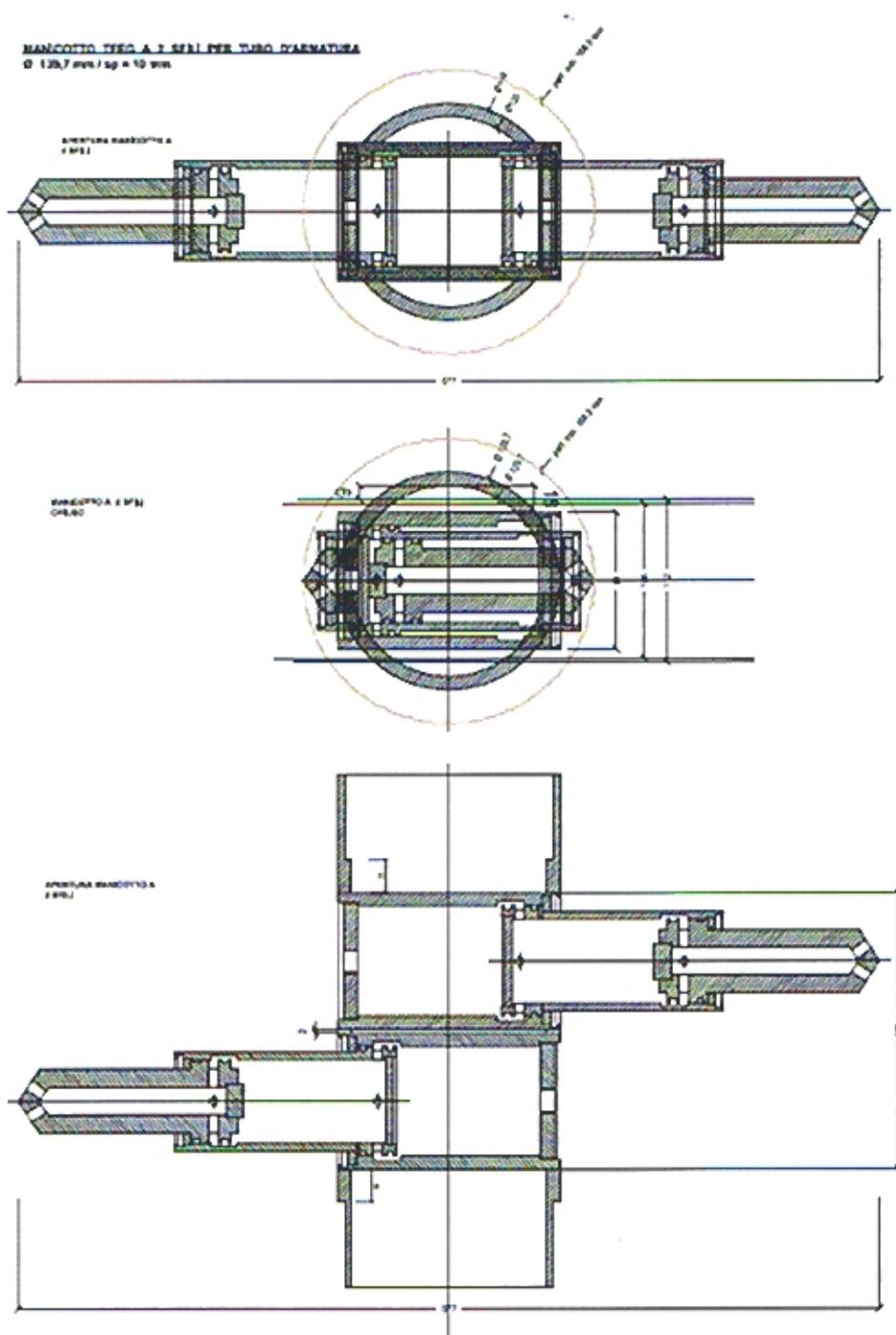


Fig. 2 - Dispositivo TFEG in fase chiusa ed espansa.

Il sistema TFEG, viceversa, oltre a rispondere alle suddette esigenze, si presta a migliorare effettivamente le prestazioni di risposta del palo o del tirante, mediante l'inserimento di propaggini meccaniche all'interno del terreno, in direzione orizzontale, verticale o inclinata. La flessibilità del sistema ne consente l'applicazione a qualsiasi tipo di fondazione profonda, sia ai pali trivellati, sia a quelli con parziale

asportazione di terreno (pali tipo CFA), sia a quelli infissi staticamente (*silent piles*) o dinamicamente (*driven piles*).

L'uso di tali dispositivi rientra, peraltro, nell'esigenza di rispondere alla necessità di migliorare le prestazioni delle fondazioni in ambiente urbano, a parità di dimensioni, riducendo l'impatto ambientale di opere, attrezzature e cantieri, limitando costi e tempi di lavorazione.

L'applicazione del metodo è stata oggetto di numerosi campi di sperimentazione e di sito che hanno consentito una messa punto di procedure di valutazione delle prestazioni meccaniche del sistema.

Il funzionamento del sistema

Il metodo TFEG® si basa sull'estrusione, dopo il getto del fusto del palo, di manicotti telescopici (figura 2), articolati in uno o più stadi, preventivamente disposti all'interno del palo e connessi all'armatura.

Le dimensioni dei manicotti e la conseguente elongazione è funzione delle geometrie degli elementi in cui sono inseriti. Le elongazioni massime per manicotti TFEG a due e tre stadi possono raggiungere, in accordo alle architetture disponibili, aumento di diametri anche superiori al metro.

L'apertura dei manicotti telescopici avviene, nel caso di tiranti o micropali, una volta realizzata la guaina esterna, mediante l'iniezione di miscela cementizia attraverso tubi di piccolo diametro connessi ad una pompa ad alta pressione. Al termine dell'estrusione dell'ultimo stadio del manicotto è altresì possibile procedere all'iniezione di miscela attraverso appositi orifizi predisposti all'estremità del manicotto (figura 3).

La particolare strutturazione degli interstizi all'interno di ciascuno stadio del manicotto telescopico fa sì che solo quando l'estrusione è completa avviene l'iniezione dall'orifizio terminale dell'ultimo stadio. Ciò rappresenta un controllo diretto dell'avvenuta completa estrusione del manicotto telescopico, evidenziata dal repentino abbattimento della pressione di iniezione. Completata l'estrusione, si realizza la fase finale di saturazione del nucleo di armatura. Nel caso dei pali, l'apertura dei manicotti avviene dopo il getto del fusto se i pali sono gettati in opera, o della loro infissione negli altri casi.

L'uso più diffuso del dispositivo prevede il posizionamento orizzontale dei manicotti lungo il fusto (S-TFEG - (*shaft*), foto 1 e figura 4) o alla base del palo (B-TFEG (*base*), figura 6), al fine di aumentarne la capacità portante per adesione laterale o alla base.

Analogamente, nel caso dei tiranti o degli ancoraggi, il contributo di capacità portante si esplica attraverso un incremento della resistenza allo sfilamento (figura 6).

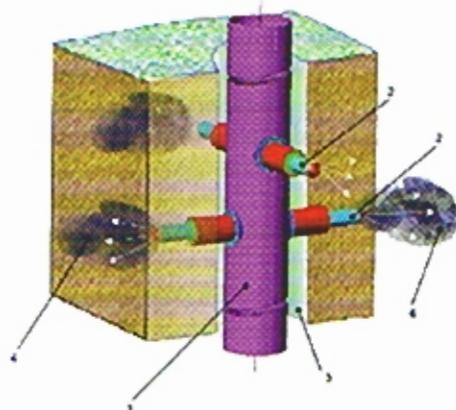


Fig. 3 - Schema di funzionamento del dispositivo TFEG.



Foto 1 - Micropalo con manicotti S- TFEG.

Applicazione sperimentale sul sito della galleria

Nell'ambito della realizzazione della Berlinese di imbocco della Galleria furono eseguite, fra l'altro, a mo' di confronto, alcune prove di carico su un tirante dotato di dispositivo TFEG e su un tirante identico, di tipo tradizionale.

I tiranti soggetti a prova erano di 13 metri di lunghezza, di cui 3 liberi e 10 di fondazione, inclinati di 45°, con armatura costituita da 3 trefoli 0.6" in perforazione di 180 mm. Il tirante S, di tipo tradizionale, è a fondazione con iniezioni da valvole poste ad interasse di 1 metro e ripetute, mentre il tirante SM è dotato di doppia sezione TFEG terminale a 2 manicotti a 2 stadi con diametro dell'involuppo delle aperture di 414.50 mm. Le prove erano previste fino a rottura. Nel caso del tirante SM, la prova, tuttavia, non ha raggiunto il valore di sfilamento, in quanto apparentemente superiore al valore massimo di resistenza della sezione dei trefoli. Essendo la prova condotta con usuale attrezzatura a martinetti simultanei, la rottura dei trefoli avrebbe comportato rischio per l'incolumità degli operatori.

I risultati delle due prove di carico sono riportati nella figura 7

Una prima analisi dei risultati sperimentali mostra come nel caso del tirante SM sembra non si siano verificati fenomeni di plasticizzazione, attesa la sostanziale linearità dell'andamento carico-spostamento dei trefoli. La presenza del TFEG nella configurazione adottata produce un aumento del

valore massimo assai significativo, superiore al 200%, confrontando un valore ancora in campo elastico del tirante SM con quello limite del tirante S.

L'analisi numerica a posteriori del comportamento dei tiranti con TFEG mostra che previsioni di progetto basate sulla somma del contributo del tratto di fondazione con diametro pari a quello della perforazione e di quello dei singoli perni inseriti nel terreno considerati come fondazioni isolate - il cosiddetto metodo della Fondazione Superficiale Equivalente (FSE) - conduce ad una valutazione eccessivamente conservativa.

Una possibile spiegazione di un tale incremento di prestazione sta nel fatto che il TFEG consente di mobilitare la resistenza lungo superfici all'interno del terreno e non al contatto malta di iniezione terreno, dove, come è noto, la resistenza disponibile è solo una modesta percentuale - 30-50% - della resistenza al taglio del terreno. L'altro contributo sostanziale all'aumento del carico limite sta nella geometria del meccanismo di rottura, che può ipotizzarsi di tipo prismatico con sezione trasversale legata comunque alle dimensioni del TFEG. Una back analysis della prova conduce a risultati che appaiono interessanti. Considerando che in corrispondenza del carico massimo di prova si ha una lunghezza elastica equivalente del tirante pari a 7 metri, ne consegue che la lunghezza del tratto reagente in fondazione è pari a 13-7-6 metri. In corrispondenza dell'ipotetico carico di rottura, che assumiamo cautelativamente pari a poco più del carico massimo raggiunto durante la prova (630 kN), ovvero a 700

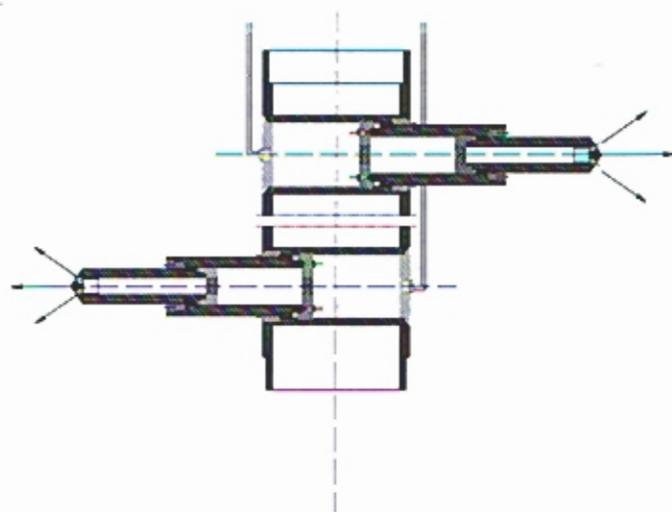


Fig. 4 - Manicotti S- TFEG.

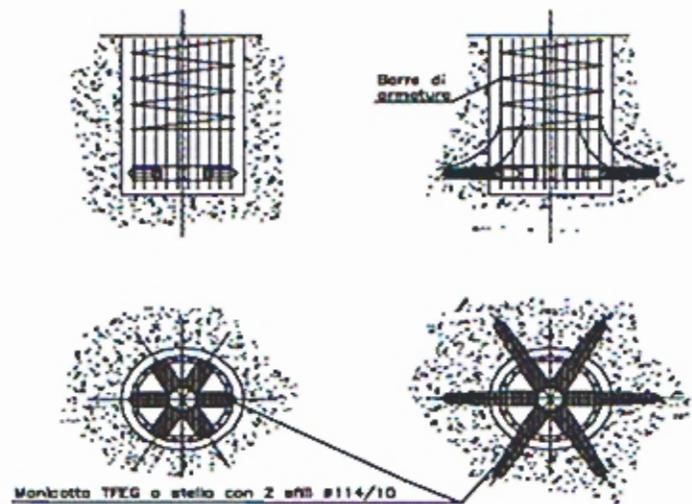


Fig. 5 - Dispositivi B-TFEG.

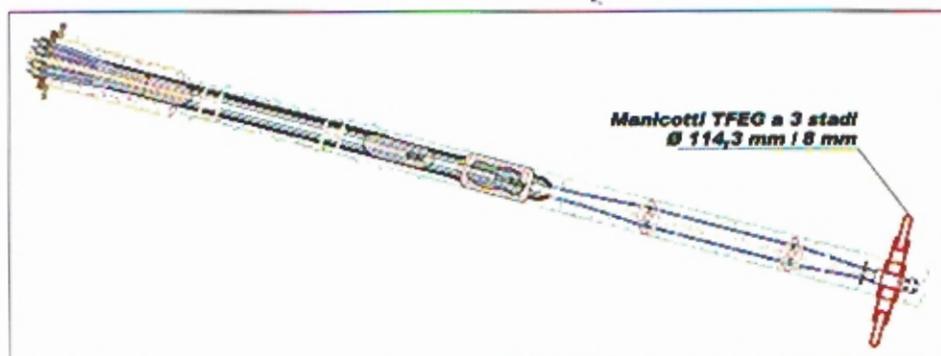


Fig. 6 - Applicazione TFEG per tiranti.

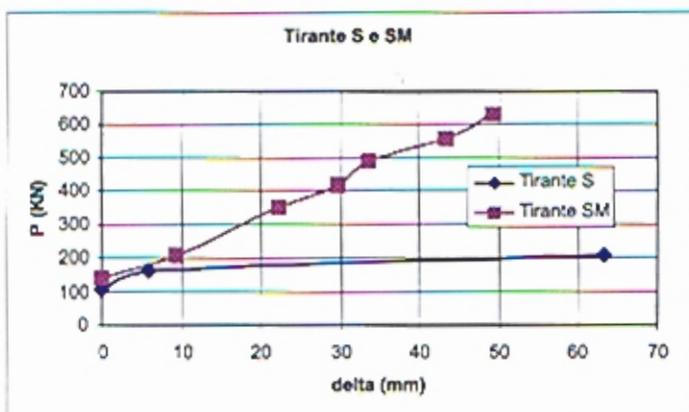


Fig. 7 - Prova di carico su tirante con dispositivo TFEG.

KN, viene mobilitata, lungo la superficie di rottura incognita, la resistenza al taglio disponibile del terreno. Questa, dalla caratterizzazione geotecnica, risulta pari a 100 KPa. Se assumiamo che tale superficie abbia forma cilindrica, il suo diametro risulta calcolabile semplicemente dalla formula:

$$D = T_{lim} / (C_u \cdot 3.14 \cdot L_s) = 700 / (100 \cdot 3.14 \cdot 6) = 0.4 \text{ m}$$

Considerando che il TFEG espanso genera una superficie involucro di circa 440 mm di diametro, il risultato della *back analysis* appare compatibile con il sopra descritto meccanismo di rottura.

Uso del TFEG per la stabilizzazione del rivestimento di prima fase

La sezione di scavo della Galleria, e gli interventi di preconsolidamento in calotta e al fronte, e del rivestimento di prima fase adottato, e la pianta dei campioni di avanzamento a piena sezione sono rappresentati nella figura 8 e figura 9.

In particolare, il rivestimento è costituito da coppie di centine IPE 180 disposte ad interasse di un metro con strato di calcestruzzo proiettato armato con rete di acciaio elettrosaldato. Il getto dell'arco rovescio avviene a circa 20 metri dal fronte, mentre la chiusura del definitivo con getto di piedritti e calotta si realizza a circa 60 metri.

Nel corso dello scavo si sono verificati

importanti fenomeni di rigonfiamento, in parte previsti in sede di Progettazione, che hanno richiesto l'adozione di misure supplementari tese al contrasto delle centine di rivestimento di prima fase sia in direzione orizzontale sia in quella verticale. Per limitare gli spostamenti in direzione orizzontale sono stati realizzati tiranti attrezzati con dispositivo TFEG, mentre al piede delle centine sono stati perforati micropali di fondazione secondo lo schema di figure 10.

Il tirante, di lunghezza 15 metri, presenta un tratto di fondazione di 7 metri con una doppia sezione TFEG di 139.7 mm a 2 stadi. L'uso del TFEG ha permesso una prima fase di tesatura del tirante prima del completamento delle iniezioni, favorendo l'immediata messa in carico dell'elemento di contrasto.

Sono state strumentate talune sezioni per la misura delle convergenze e degli abbassamenti verticali delle piede centine. Diagrammi significativi di questi ultimi sono riportati, associati all'andamento della progressiva del fronte, nella figura 11.

Appare evidente, dall'evoluzione dei cedimenti, l'effetto di stabilizzazione indotto dalla realizzazione dei rinforzi al piede delle centine che garantiscono l'esaurimento dei fenomeni di rilassamento già prima del getto dell'arco rovescio.

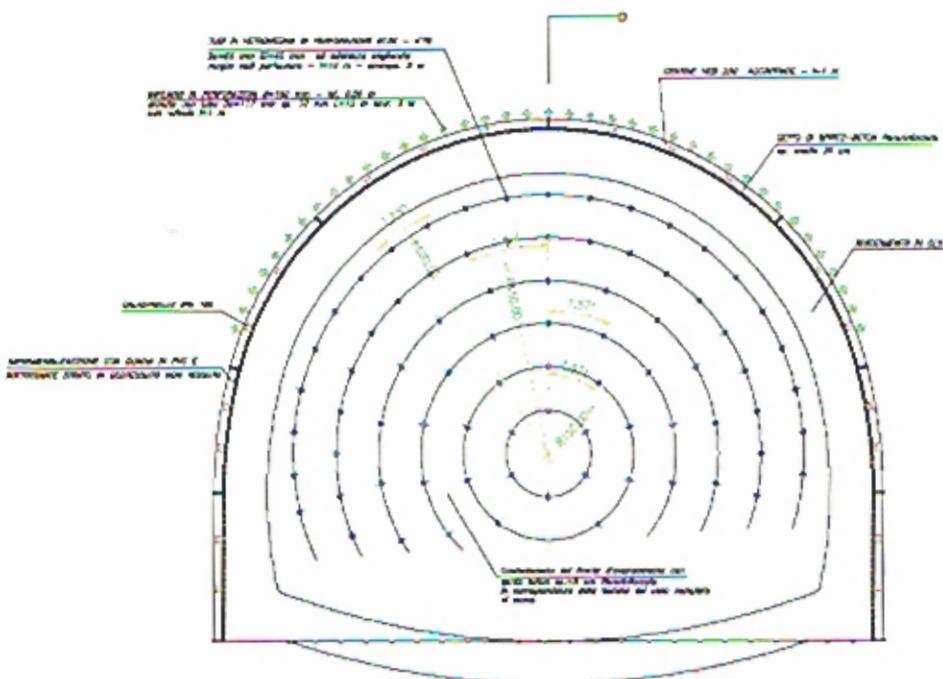


Fig. 8 - Consolidamento calotta.

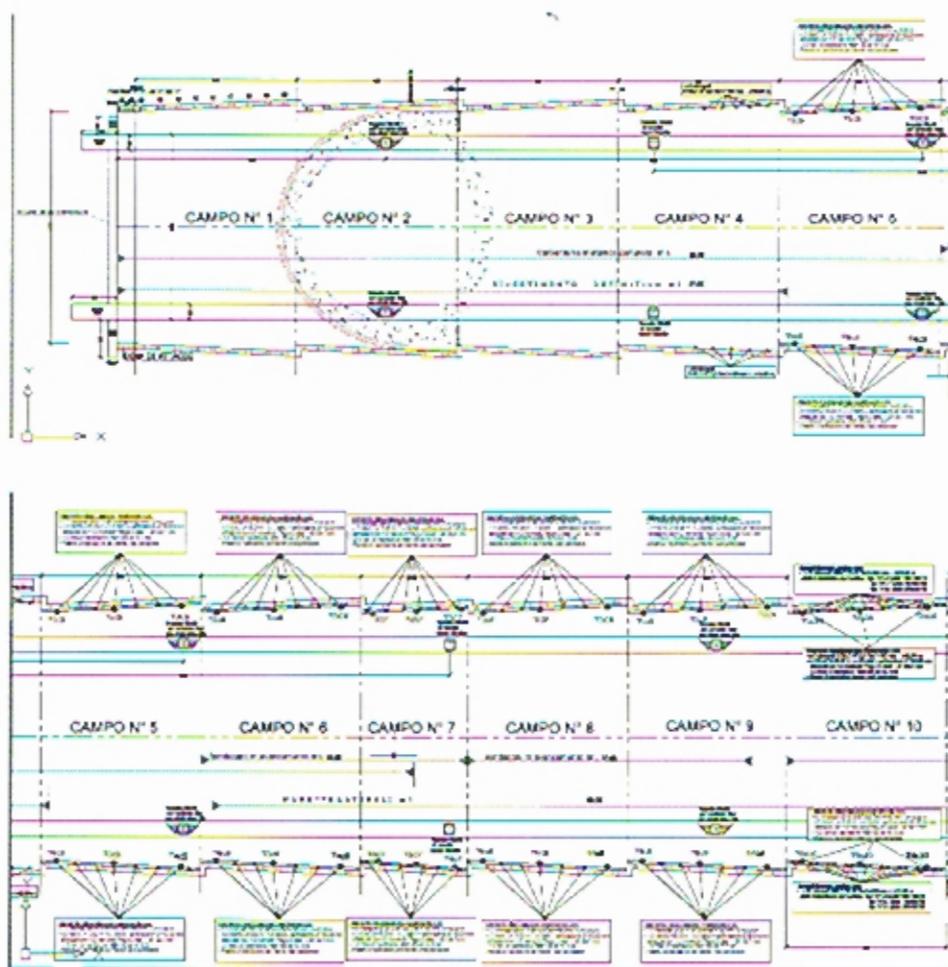


Fig. 9 - Campini di avanzamento.

In corrispondenza di alcuni campi, l'eccesso di deformazione ha condotto a fenomeni di plasticizzazione delle travi di acciaio di collegamento e di ripartizione delle teste di tiranti e micropali, che hanno raggiunto deformate per snervamento a causa della combinazione di azioni taglianti e flessotorsionali indotte dalle reazioni applicate e di rottura per punzonamento dell'anima del profilo della trave HEA200 (foto 2 e foto 3).

L'insieme dei dati a disposizione ha consentito di effettuare alcune interessanti analisi a posteriori indirizzate alla valutazione dell'effettiva mobilitazione degli sforzi negli elementi di rinforzo realizzati.

Analisi del comportamento degli elementi di rinforzo

Si è messo a punto un modello di simulazione dell'ammasso agli elementi finiti per la valutazione degli effetti dello scavo

e del conseguente rilassamento dell'ammasso sul rivestimento di prima fase, procedendo ad una taratura del modello costitutivo per un miglior best-fitting dei risultati acquisiti dal monitoraggio del quadro deformativo del cavo. L'analisi è stata condotta con l'utilizzo del codice di calcolo PLAXIS adottando un legame costitutivo del mezzo di tipo elasto-plastico perfetto con criterio di rottura di Mohr-Coulomb. È stato simulato l'effetto di rilassamento al fronte nella misura del 30% di perdita di stato tensionale originario, nonché la fase transitoria tra lo scavo e la posa dei rinforzi del rivestimento di prima fase. L'output in termini di stato deformativo e andamento delle zone di plasticizzazione è riportato in figura 12 e in figura 13

L'analisi conferma l'idoneità della progettazione dei tratti liberi dei tiranti di ancoraggio che risultano congruenti con lo sviluppo di raggi plastici pari a circa il doppio del raggio dello scavo. L'analisi che conduce al quadro deformativo risultato dalle misure di monitoraggio è quella conseguente all'assunzione di un modulo di deformazione medio di Young di 20 GPa. Da tale analisi le risultanze in termini di reazioni dei tiranti e dei micropali sono:

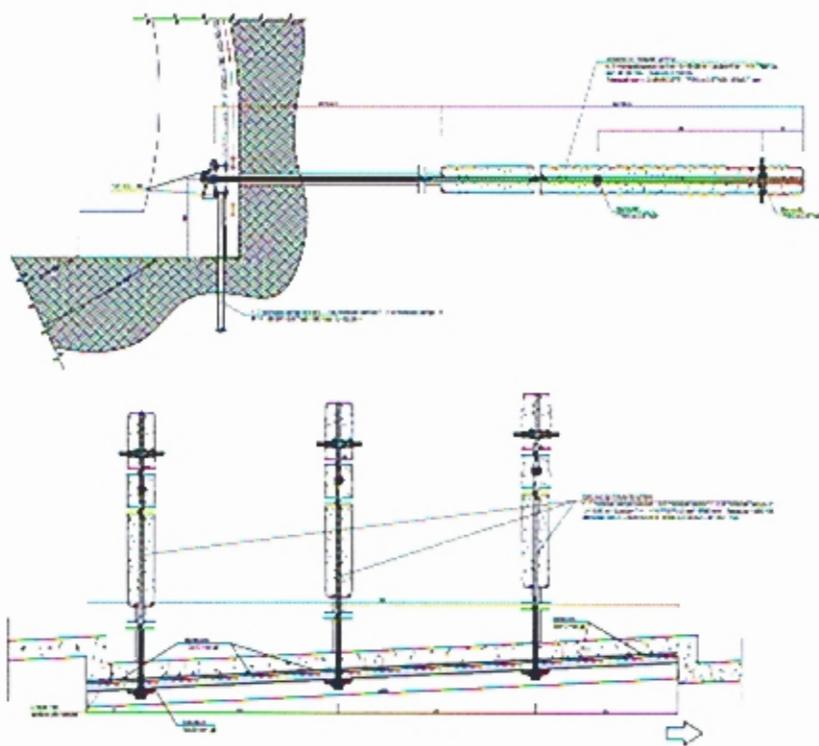


Fig. 10 - Intervento di stabilizzazione del rivestimento.

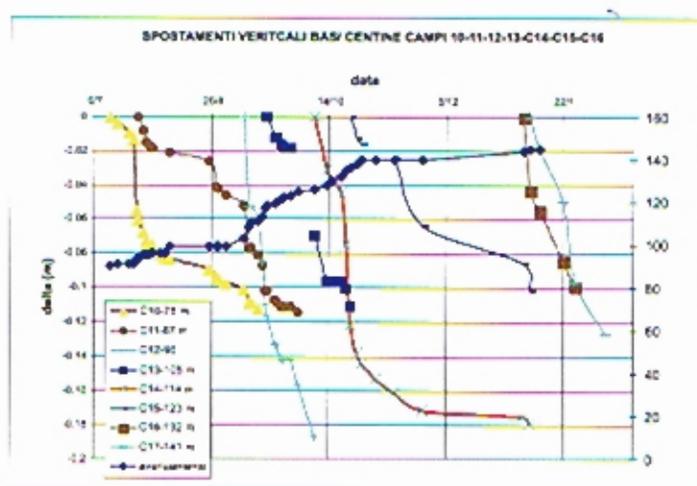


Fig. 11 - Diagramma cedimenti temporali.

tirante $R_0 = 645$ KN
micropalo $R_1 = 672$ KN

Un'analisi indipendente per la verifica del livello di reazione offerto dal micropalo è stato condotto con riferimento all'episodio di punzonamento dell'anima della trave di appoggio, la quale conduce ad un valore di forza pari a 575 KN.

Una terza analisi di verifica è stata effettuata simulando a posteriori la ricorrenza dei fenomeni di snervamento della trave di collegamento di micropali e tiranti, con riferimento al modello alla Saint Venant di figura 14 e sezione trasversale di figura 15.

Si è determinato il valore del carico uniformemente ripartito trasmesso dalle centine

Conclusioni

Si è presentato un *case-history* relativo allo scavo di una Galleria di grandi dimensioni in formazioni *flyschoidi* strutturalmente complesse, in ambiente geologico fortemente tettonizzato, caratterizzate da un'elevata propensione al rigonfiamento. L'instabilità dei fenomeni deformativi connessi al rilassamento post-scavo ha richiesto l'adozione di interventi di rinforzo al piede delle centine del rivestimento di prima fase mediante la realizzazione di micropali e tiranti attivi.

L'applicazione del TFEG come elemento di miglioramento dell'ancoraggio del tratto di

di rivestimento di prima fase alle travi di collegamento dei rinforzi, imponendo il raggiungimento della tensione di snervamento da parte della sigma ideale in corrispondenza delle membrature più sollecitate. Ne derivano i seguenti valori:

tirante $R_0 = 710$ KN
micropalo $R_1 = 596$ KN



Foto 2 - Deformazione flessione torsionale.



Foto 3 - Rottura per punzonamento dell'anima delle travi di ripartizione.

fondazione dei tiranti ha permesso l'immediata mobilitazione dell'effetto di ancoraggio e quindi dell'applicazione di un'efficace pressione di parete in tempi assai ridotti, nonché un incremento significativo della capacità di resistenza se confrontata con

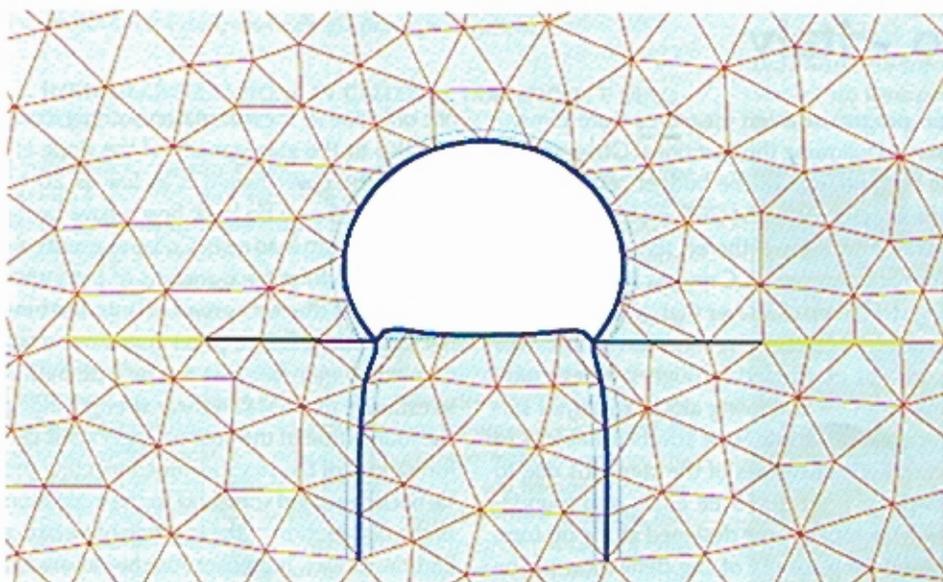


Fig. 12 - Configurazione deformata.

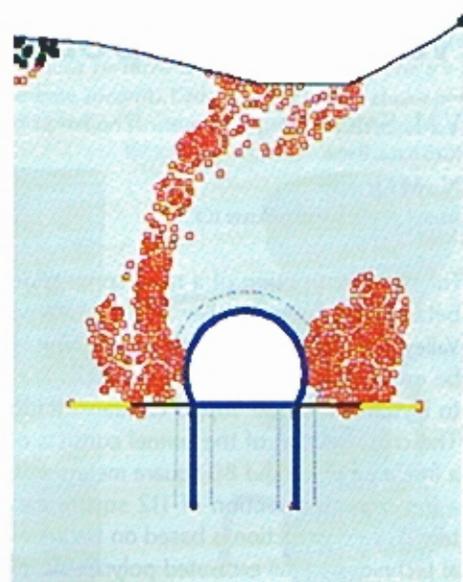


Fig. 13 - Area plasticizzata.

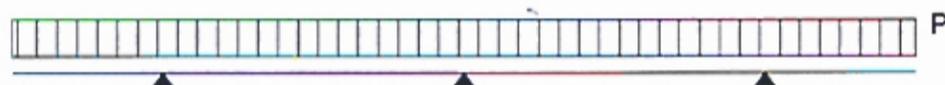


Fig. 14 - Schema statico.

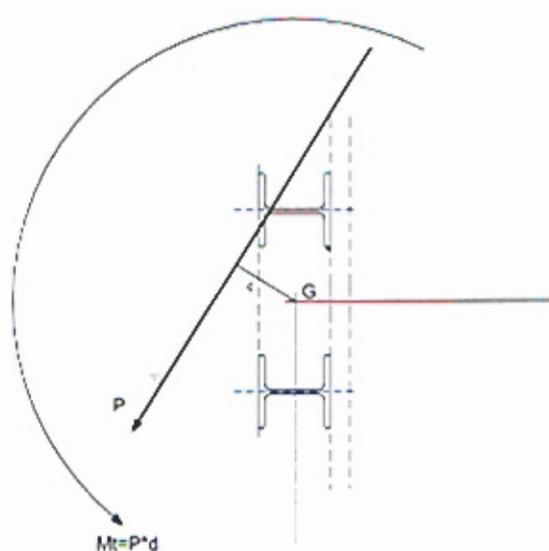


Fig. 15 - Sezione trasversale.

quella di tiranti tradizionali di uguali caratteristiche.

In una situazione in cui il fattore tempo gioca un ruolo a volte determinante per impedire il processo di estensione della zona plastica a ridosso dello scavo, il dispositivo adottato è risultato più che idoneo a limitare i fenomeni di instabilità osservati.

Le analisi condotte con diversi procedimenti analitici e numerici conducono, inoltre, alla convergenza dei valori ottenuti per le reazioni di micropali e tiranti al piede centine, evidenziando una piena mobilitazione dei rinforzi realizzati, nonché l'utilità delle misure di controllo e monitoraggio messe in campo.

Bibliografia

Maione N., Santoro V.M. (2007) - Il metodo TFEG[®] di miglioramento delle prestazioni delle opere di fondazione profonde - verifica di modelli previsionali per applicazioni su micropali - XXIII Convegno Nazionale di Geotecnica AGI - Padova - Abano Terme.

Summary of:

The effects of anisotropy of the stress state on the primary lining of a road tunnel in a Flysch formation of the Fortore Valley - Campobasso - Italy

V.M. SANTORO

IGeS S.n.c. Roma

N. MAIONE

Jobsoil, S. Maria Capua Vetere (CE)

For the construction of a road connection between the Fortore Valley and the Biferno Valley, a 2000 meter long tunnel is going to be excavated into the formation of the Fae-to Flysch and of the Toppo Capuana Marls, a swelling structured clay layer that produced heavy convergence rate. Stabilisation of the face core was performed through synthetic nailing, whilst a forepoling along a splayed surface allowed a safe 9 mt advance. In order to contrast settlements of the steel ribs due to swelling, prestressed tie backs and foundation micropiles were designed at the rib toes. Monitoring results of the deflection of the contour of excavated section clearly showed anisotropy of the behaviour of the formation

not only due to the material anisotropy itself, but also to the eterogeneity of the slope effect, as the cover height is as low as 20 to 30 meters. Some tie back heads have being monitored with load cells. Collapse events allowed to perform back-analysis of the stress levels and of the forces involved into the tunnel excavation. Failure phenomena occurred to a clayey marl block at the face permitted to estimate the available shear strength along the foundation of the fiber nailing. Plastic deformations of the steel beams connecting the tie back heads led somehow to the evaluation of the distribution of the reaction of tie backs and micropiles, moreover for the downward side, where the anisotropy effects caused the anticipated yielding of the structure.

not only due to the material anisotropy itself, but also to the eterogeneity of the slope effect, as the cover height is as low as 20 to 30 meters. Some tie back heads have being monitored with load cells. Collapse events allowed to perform back-analysis of the stress levels and of the forces involved into the tunnel excavation. Failure phenomena occurred to a clayey marl block at the face permitted to estimate the available shear strength along the foundation of the fiber nailing. Plastic deformations of the steel beams connecting the tie back heads led somehow to the evaluation of the distribution of the reaction of tie backs and micropiles, moreover for the downward side, where the anisotropy effects caused the anticipated yielding of the structure.