

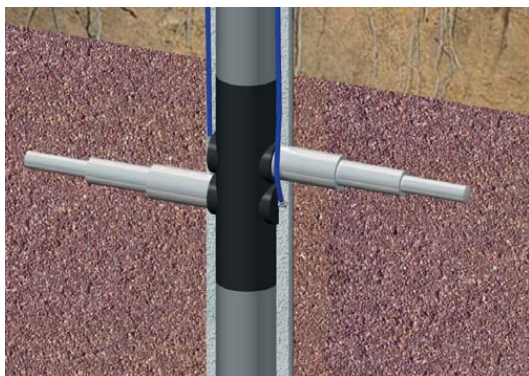


## Tiranti attivi attrezzati con sistema TFEG

Dott. Geol. Nicola MAIONE <sup>(\*)</sup>, Dott. Ing. Valter Maria SANTORO <sup>(\*\*)</sup>

### 1. Introduzione

Il sistema TFEG è un'applicazione meccanica che consente di migliorare le caratteristiche di trasferimento del carico da pali di fondazione, di piccolo, medio o grande diametro, o da tiranti di ancoraggio (attivi o passivi) nel terreno circostante. Il miglioramento avviene attraverso l'estrusione di manicotti metallici nel terreno, preventivamente predisposti lungo il fusto o alla punta e collegati all'armatura dell'elemento di fondazione.



Sistema TFEG per micropali.

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. Il presente report riporta una descrizione dettagliata di una reale applicazione tecnico-sperimentale del sistema TFEG su tiranti attivi, valutando i benefici indotti attraverso la realizzazione di opportune prove sperimentali, principale strumento di verifica dei vantaggi applicativi dati dal sistema.

(\*) Centro ricerche JobSoil.

(\*\*) Technical Support IGES.

L'esecuzione delle prove di carico su tiranti attivi attrezzati con sistema TFEG è stata eseguita in concomitanza alla costruzione di una galleria stradale presso il cantiere sulla strada di collegamento tra la FV Tappino-Riccia-Colletorto-San Giuliano di Puglia-SS 376 all'innesto con la strada in corso di realizzazione tra S. Croce di Magliano e la SS 87 (piano di Larino).

A seguire si riporta il sunto delle elaborazioni progettuali per poi approdare ai risultati di prove di carico sperimentali realizzate in sito con lo scopo di convalidare i primi ed ottenere risposte reali a quesiti oggetto di ricerca teorico-sperimentale.

### 2. Paratia di micropali S. Giuliano di Puglia

Si prevede la costruzione di una serie di paratie di micropali atte a contenere in maniera permanente lo scavo in prossimità dell'imbocco della galleria.

I parametri geotecnici dei terreni incontrati sono riportati nella seguente tabella:

Litologia	$\varphi'$ (°)	$c'$ (kpa)	$\bar{\sigma}$ (kN/mc)	Spessore (mt)
Terreno-vegetale	//	//	//	0-1.7mt
Sabbia-Siltosa Argillosa	30	10	18.4	1.7-15.1 mt
Marna-Calcareo	31	25	19.6	15.1-30 mt
Falda assente				

A seguire riportiamo per ognuna delle 4 paratie di progetto la lunghezza dei tiranti calcolata (Bustamante-Doix) in prima analisi senza utilizzo del sistema TFEG.

#### CONFIGURAZIONE TIRANTE SENZA TFEG

Tipo	N° Trefoli	Øperf. (mm)	Tiro (kN)	L (mt)
A	3	180	180	28
B	3	180	240	33
C/D	3	180	330	44



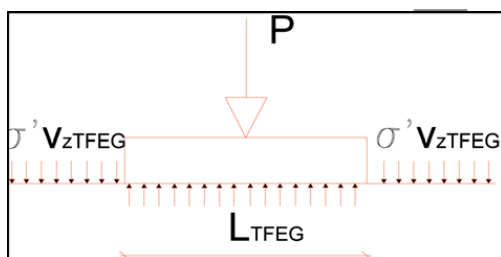
Paratie tirantate di contenimento imbocco galleria di S. Giuliano di Puglia.

Dalle elaborazioni di calcolo effettuate sono emerse le seguenti problematiche tecniche:

1) Lunghezze variabili tra 28-44 m
2) Tempi di realizzazione troppo elevati
3) Costi significativi

Con lo scopo di ottenere un'ottimizzazione economica nell'ottica della sicurezza, si è predisposto in sede di progettazione l'inserimento di una serie di coppie di manicotti TFEG lungo i tiranti, ottenendo quindi una sostanziale riduzione della lunghezza di ancoraggio degli stessi. Tale riduzione è stata quantificata utilizzando un appropriato modello di previsione del contributo di resistenza dei manicotti all'insieme ancoraggio-terreno, convalidato da analisi teorico-sperimentali.

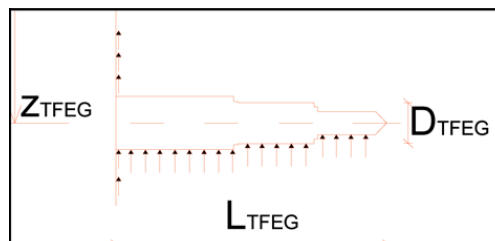
Il calcolo dell'incremento della capacità portante è stato effettuato equiparando il sistema TFEG a una fondazione superficiale come emerge dal seguente schema grafico:



Schema di calcolo secondo formulazione di Brinch-Hansen.

$$*Q_{lim} = N_q \times \sigma' v_{zTFEG} + N_c \times c' + N_\gamma \times \frac{D_{TFEG}}{2}$$

(\*rif. Formula di Brinch-Hansen - Fondazioni superficiali)



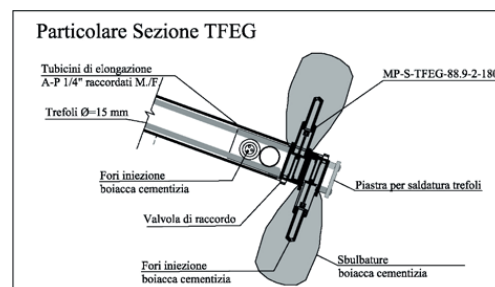
Modello equivalente di rappresentazione del sistema TFEG.

### 3. Sistema TFEG per tiranti attivi

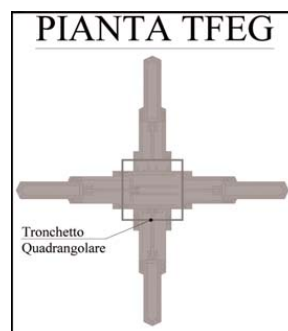
La tipologia di manicotto TFEG che è risultata più performante è la seguente:

CODICE	MTFEGMP-80,0-2-180
SOSTEGNO	Quadrangolare 80/80/8
N° STADI	2
Perforazione min	180 mm
Acciaio	Fe 510

Dalla figura che segue è possibile visionare lo schema in sezione e pianta del sistema TFEG sui tiranti attivi:



Particolare TFEG tiranti attivi.



Pianta sistema TFEG



Sistema TFEG - Applicazione su tirante attivo.

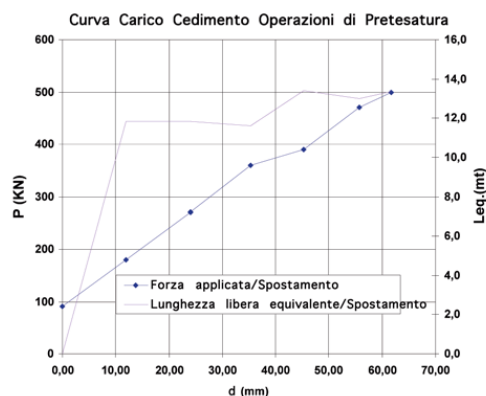
#### 4. Tiranti attivi attrezzati con sistema TFEG

L'utilizzo della tecnologia TFEG ha consentito un ridimensionamento delle lunghezze dei tiranti, come si evince dalla seguente tabella di sintesi:

Tipo	Tiro (kN)	L senza TFEG (mt)	L con TFEG (mt)	Riduzione (%)
A	180	28	15	-46%
B	240	33	20	-39%
C/D	330	44	25	-43%

In corso d'opera sono state effettuate le usuali operazioni di pretensionamento dei tiranti che hanno confermato la corrispondenza tra i valori progettuali e quelli sperimentali; si riporta a titolo esemplificativo il diagramma carico-cedimento e il relativo grafico:

L Tirante:	15 mt	Øperf:	180 mm
TIPO Prova:	Pretesatura	Tiro	500 kN
P (kN)	letture (cm)	d (mm)	Leq (m)
90	14,37	0,00	0,0
180	13,17	12,00	11,8
270	11,97	24,00	11,8
360	10,83	35,33	11,6
390	9,83	45,33	13,4
470	8,8	55,67	13,0
500	8,2	61,67	13,4



**Nota:** il valore di carico di pretesatura è risultato essere superiore a quello di progetto pari a 330 kN.

#### 5. Prove sperimentali

A completamento, è stato allestito un apposito campo prove sottoponendo a sfilo 2 tiranti realizzati fuori opera, dei quali 1 attrezzato con sistema TFEG ed 1 senza, ovviamente entrambi dalle medesime caratteristiche geometriche; le cui caratteristiche geometriche sono appresso evidenziate:

Lunghezza tirante	13 mt
Lunghezza tratto connesso	10 mt
Numero trefoli	3
Diametro trefoli	0,6"
Inclinazione	10°

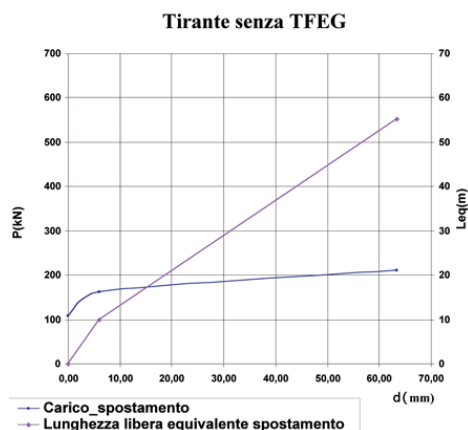
Durante il test abbiamo registrato l'allungamento corrispondente ai singoli gradini di carico che sono:

#### DATI DI CAMPAGNA:

TIRANTE SENZA TFEG	
P(kN)	d(mm)
108	0,00
162	6,00
210	63,33

Nei grafici di prova riportiamo anche il valore della lunghezza libera equivalente (linea rosa) che rappresenta il tratto strutturalmente mobilitato dal tiro agente in funzione dello spostamento.

Si noti che, nel caso di configurazione senza TFEG, il tratto del tirante mobilitato, per un valore di carico di 200 kN, supera il valore della lunghezza del tratto connesso;



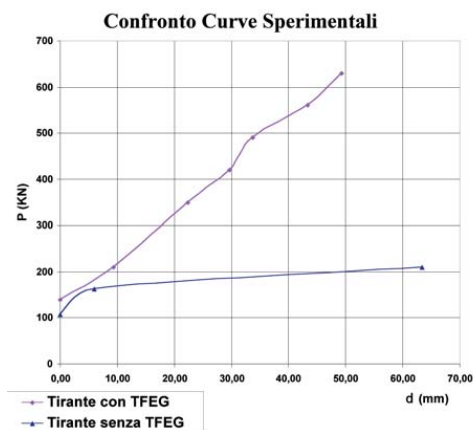
TIRANTE CON TFEG	
P(kN)	d(mm)
108	0,00
162	6,27
210	9,33
350	22,33
420	29,67
490	33,67
560	43,33
630	49,33



questo permette di asserire che, nel tirante con il sistema TFEG, superati i 200 kN, è il sistema stesso ad assorbire integralmente e ciò ha consentito di raggiungere, a parità di cedimento registrato, i 630 kN come riportati in grafico.

E' bene sottolineare che nella prova eseguita sul tirante con TFEG il test è stato interrotto non per il raggiungimento del carico limite della fondazione ma perchè si è raggiunto il valore massimo di resistenza strutturale della sezione dei trefoli.

Ne consegue, che la differenza tra le due configurazioni è certamente più elevata di quanto individuato dai test.



## 6. Sintesi progettuali

Le analisi evidenziano che, nella configurazione tirante+TFEG, non si sono verificati fenomeni di plasticizzazione, attesa la sostanziale linearità dell'andamento carico-cedimento dei trefoli. La presenza del TFEG nella configurazione adottata produce un aumento della resistenza al tiro assai significativo, superiore al 200%; ciò si evince confrontando un valore ancora in campo elastico nel tirante con TFEG(630kN) con quello limite del tirante senza TFEG(200kN).

La valutazione numerica a posteriori del comportamento del tirante con TFEG mostra altresì che le valutazioni di progetto risultano avere un carattere fortemente conservativo.

Ne consegue che l'inserimento del sistema TFEG ha generato i seguenti benefici:

- Incremento Capacità Portante  
<+200%>
- Riduzione Cedimento  
<-85%>

In sintesi, l'applicazione del sistema TFEG ha permesso di ottimizzare le performance dei tiranti nei seguenti aspetti:

VANTAGGI APPLICATIVI INDOTTI	
PERFORAZIONE	-44,5%
TEMPI	-45 %
TRASPORTO A DISCARICA	-55,4 %
OTTIMIZZAZIONE COSTI	-20%
AUMENTO DEL TIRO	+200%

### 7. Trattazione teorico-applicativa

Una possibile spiegazione di un tale incremento di prestazione sta nel fatto che il TFEG consente di mobilitare la resistenza lungo superfici maggiori di quelle al contat-

to malta di iniezione-terreno, dove, come è noto, la resistenza disponibile è solo una modesta percentuale (30-50%) della resistenza al taglio del terreno.

Considerando che il TFEG espanso si sviluppa su una lunghezza di 452,2 mm, è possibile ipotizzare che la superficie resistente possa essere di forma pseudo-cilindrica, che interessa sicuramente un volume di terreno maggiore rispetto a quello interessato dal singolo tirante.

L'incognita principale del problema, pertanto, in sede di progettazione del comportamento del tirante con TFEG nei terreni in questione, sarebbe la percentuale del tratto di fondazione cui estendere il meccanismo di rottura descritto da una superficie cilindrica di diametro correlato a quello di involuppo offerto dal TFEG.

### ERRATA CORRIGE

Nell'articolo "Nuovi orizzonti per il trasporto guidato a levitazione magnetica", pubblicato su Ingegneria Ferroviaria, n. 2, Febbraio 2008, la figura n. 3, pagina 109, è stata erroneamente riprodotta senza eliminare la dicitura "Scala 1:20", che va considerata come nulla.