

EFFETTI DEL DETENSIONAMENTO DEI TIRANTI ATTIVI

Claudia Ventrella, Piero Bongio, Maria Elena D'Effremo

(claudia.ventrella@tecneautostrade.it, piero.bongio@autostrade.it, mariaelena.deffremo@tecneautostrade.it)

Tecne Gruppo Autostrade per l'Italia S.p.A

ABSTRACT. Nel presente articolo si esamina il fenomeno della perdita tensionale dei tiranti attivi. In particolare, al fine di valutare l'influenza di diversi fattori sul detensionamento, sono riportati i confronti sperimentali tra l'azione di pre-tiro di progetto e il corrispondente valore letto dalla cella di carico. Inoltre, sono state eseguite analisi di interazione terreno-struttura utilizzando il software *ParatiePlus* al fine di valutare gli effetti della riduzione del pre-tiro in termini di spostamenti indotti dallo scavo. Le stesse analisi sono state condotte variando le caratteristiche di rigidità del terreno, e i risultati sono riportati in un grafico di sintesi in cui si apprezza la variazione dei cedimenti al variare del pre-tiro e del modulo di Young. La modellazione ha previsto uno scavo tipo sostenuto da una berlinese di micropali con tiranti attivi a trefoli.

1. INTRODUZIONE

I criteri da seguire nella progettazione e verifica dei tiranti di ancoraggio vengono indicati nella normativa vigente (NTC2018, EN 1997-1, 1997-2) e nelle raccomandazioni AICAP-AGI sugli ancoraggi nei terreni e nelle rocce. Sulla base di tali riferimenti si definiscono i parametri definitivi di progetto.

Tuttavia, la realizzazione in sito degli ancoraggi risente di problematiche connesse alle operazioni di esecuzione, per i tiranti attivi a trefoli tali difficoltà riguardano l'incuneamento dei trefoli. Dalle evidenze dei risultati in sito si evidenzia che risulterebbe importante tenere conto della perdita di carico sul tirante già in fase di progettazione, in modo da evitare nuove tesature e garantire l'applicazione del carico definito dal progettista.

Nell'articolo si riporta una stima del rapporto tra valore di progetto del tiro e quello rilevato dalla lettura di 160 celle di carico e si propone un'analisi degli effetti dovuti alla perdita tensionale dei tiranti in termini di cedimenti verticali indotti dall'esecuzione dello scavo.

2. ANALISI SPERIMENTALE: CONFRONTO TRA VALORI DI PROGETTO E LETTURE DI CELLA

Al fine di valutare il detensionamento dei tiranti attivi, sono stati eseguiti dei confronti tra l'azione di trazione di pre-tiro di progetto, T_p , e l'azione di trazione rilevata dalla lettura della cella di carico entro le prime 24 ore dall'installazione, T_{cc} . Si è disposto di 160 letture di celle, 125 delle quali hanno mostrato un valore di T_{cc} inferiore a T_p del 40%, mentre in 35 casi la differenza è risultata più contenuta, ovvero pari al 5%.

In Tabella 1 sono riportate le grandezze scelte nelle analisi sperimentali di confronto tra T_p e T_{cc} . In aggiunta a tali grandezze, è stata analizzata l'influenza della natura geologica delle formazioni rocciose e dei terreni interessati dalla porzione del bulbo di fondazione, in particolare si sono considerate formazioni di tipo argillitico e siltitico e terreni di natura coesiva e/o detritica. In Figura 1 si osserva che la quasi totalità dei punti sperimentali ricade tra le rette $T_p=T_{cc}$ e $T_p=1.31T_{cc}$.

Tabella 1. Grandezze considerate nei confronti sperimentali.

Grandezze	Valori
Lunghezza libera tirante, L_L	7.0÷22.5 (m)
Lunghezza bulbo tirante, L_B	12.0÷22.0 (m)
Numero di trefoil, N_{tref}	2÷6
Inclinazione asse tirante, α	5÷30 (°)
Pre-tiro di progetto, T_p	120÷750 (kN)

Dall'analisi della dispersione dei punti sperimentali di confronto tra T_p e T_{cc} si evince una modesta influenza dell'inclinazione dell'asse del tirante rispetto all'orizzontale, mentre non vi è particolare dipendenza dalle altre grandezze analizzate. Il rapporto tra T_p e T_{cc} tende mediamente ad aumentare al crescere di α .

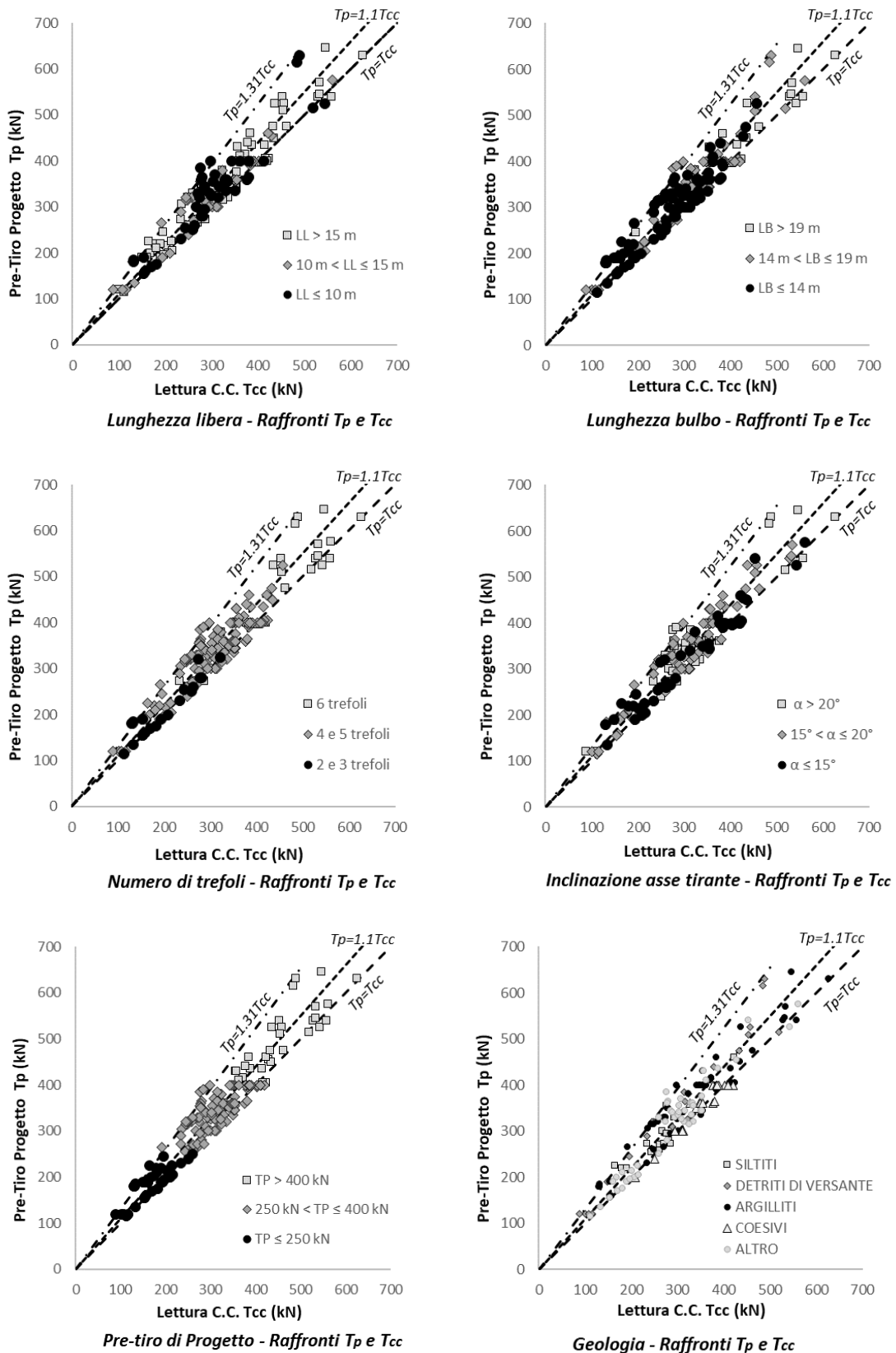


Figura 1. Confronti sperimentali tra azione di pre-tiro di progetto e letture di cella al variare delle grandezze in Tabella 1 e della geologia.

3. ANALISI NUMERICHE

3.1 Descrizione del modello

L'analisi di interazione terreno-struttura è stata svolta con l'ausilio del codice di calcolo *ParatiePlus*, in cui l'opera di sostegno viene modellata come opera flessibile in condizioni di simmetria piana nelle deformazioni 2D.

Si è considerato un terreno a comportamento puramente attritivo con inviluppo di rottura di Mohr Coulomb e i cui coefficienti di spinta sono stati calcolati automaticamente dal software in funzione dell'angolo di attrito efficace. In Tabella 2 si riportano i parametri di resistenza del terreno considerato e i dettagli geometrici del modello di calcolo.

Tabella 2. Dettagli del modello di calcolo.

Grandezze	Valori
Coesione efficace terreno, c'	0 (kPa)
Angolo di attrito efficace terreno, ϕ'	27 ($^{\circ}$)
Altezza di falda da piano campagna	5 (m)
Altezza di scavo finale	5 (m)
Lunghezza totale paratia	12 (m)
Lunghezza libera tirante, L_L	7 (m)
Lunghezza bulbo tirante, L_B	10 (m)
Inclinazione tirante, α	15 ($^{\circ}$)
Passo tiranti	2 (m)

3.2 Descrizione e finalità delle analisi

Sono stati sviluppati due diversi set di modelli:

- modelli di tipo 1: sono stati assunti parametri meccanici invariati aumentando progressivamente il valore di pretiro ($T_p=100, 110, 120, 130\text{kN}$), al fine di valutare l'effetto del detensionamento dei tiranti in termini di cedimenti verticali indotti dallo scavo a monte della paratia;

- modelli di tipo 2: sono stati assunti i valori di pre-tiro invariati aumentando progressivamente il valore del modulo di Young del terreno ($E=10, 20, 30, 40\text{ MPa}$), al fine di valutare l'effetto della variazione delle caratteristiche di rigidezza del terreno in termini di cedimenti verticali indotti dallo scavo a monte della paratia.

In Tabella 3 si riportano i dettagli delle analisi svolte con *ParatiePlus*.

Tabella 3. Dettagli analisi svolte.

Analisi N.ro	Pre-tiro (kN)	Modulo di Young (MPa)
Analisi 1÷4	100	10÷40
Analisi 5÷8	110	10÷40
Analisi 9÷12	120	10÷40
Analisi 13÷16	130	10÷40

3.3 Risultati

In Figura 2 si mostrano i risultati delle analisi in termini di cedimenti verticali (secondo la teoria di Boone & Westland, 2005) subiti dal terreno posto a monte della paratia ad una distanza di 1.5m dall'opera stessa.

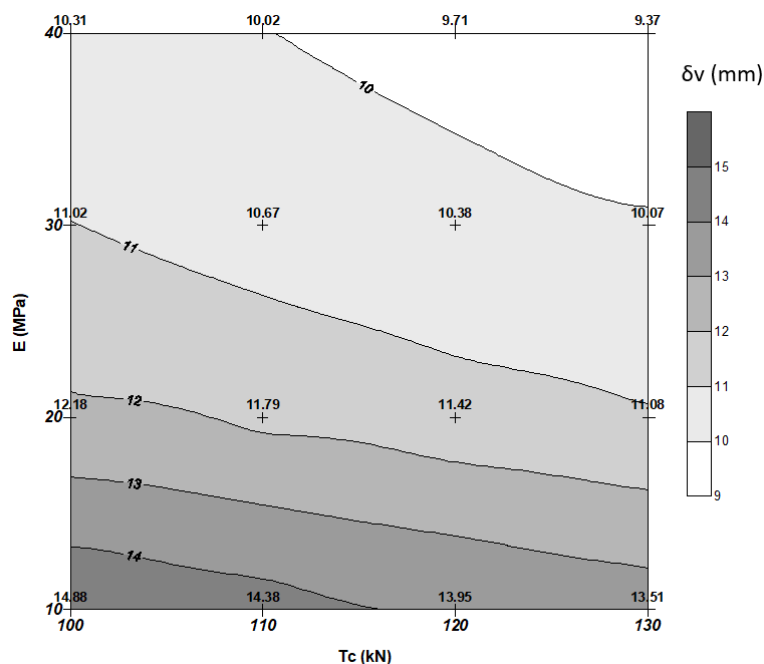


Figura 2. Risultati della modellazione in ParatiePlus in termini di cedimenti verticali.

I risultati delle analisi mostrano che la riduzione dell'azione di pre-tiro determina un aumento di cedimenti verticali del terreno a monte dell'opera e che tale effetto è tanto più grande quanto minore è la rigidezza del terreno.

4. CONCLUSIONI

Al fine di valutare gli effetti del fenomeno di detensionamento dei tiranti attivi e relativi cedimenti indotti su eventuali manufatti posti a monte dell'opera di sostegno, in questo articolo sono stati analizzati i risultati provenienti da 160 letture di celle ed è stata eseguita una modellazione 2D con il software *ParatiePlus*. Dalle analisi sperimentali si evince che la quasi totalità dei punti sperimentali ricade tra le rette $T_p = T_{cc}$ e $T_p = 1.31T_{cc}$ e la grandezza che influisce maggiormente sul rapporto tra T_p e T_{cc} risulta essere l'inclinazione del tirante, α . Dalle analisi numeriche risulta che la riduzione dell'azione di pre-tiro determina un aumento di cedimenti verticali del terreno a monte dell'opera e che tale effetto è tanto più grande quanto minore è la rigidezza del terreno.

Infine, i risultati mostrano l'importanza di considerare già in fase progettuale il valore di pre-tiro maggiorato rispetto a quello di progetto, in modo da superare gli effetti legati al detensionamento e all'incertezza nella determinazione del valore del modulo di Young del terreno. In conclusione, risulta evidente l'importanza di calibrare il pretiro e di ricostruire un modello geotecnico affidabile sia in termini di parametri di resistenza che di deformabilità.

5. BIBLIOGRAFIA

- Boone S. J, Westland J., (2005). Estimating displacements associated with deep excavations. *Proc. of the 5th Int. Symp. TC28 Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. Amsterdam, the Netherlands, 15-17 June 2005*, pp. 817-822, Taylor&Francis.
- Decreto Ministeriale (17 Gennaio 2018). *Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni, supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale" n.42, 20 Febbraio 2018.*
- Circolare (21 Gennaio 2019), n. 7. *Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni", di cui al D.M. 17 gennaio 2018.*
- Eurocodice 7, EN (1997). *Geotechnical Design.*
- Raccomandazioni AICAP - AGI (2012). *Ancoraggi nei terreni e nelle rocce.*