

CRITERI D'IMPIEGO DELLE FORMULE DI PORTATA DEI PALI TRIVELLATI

GUGLIELMO MEARDI (*)

Premessa

Da una trentina d'anni ad oggi l'impiego dei pali trivellati, già conosciuti nella letteratura tecnica ma poco impiegati, hanno assunto in Italia una grande diffusione. Probabilmente questo è dovuto sia alla semplicità dell'attrezzatura occorrente, che pertanto con spesa limitata può adattarsi alle soggezioni dei vari casi anche se l'importo del lavoro è modesto, che ai pregi del tipo di palo che può raggiungere qualunque profondità, e, se eseguito con le dovute cure, non dà gravi disturbi alle costruzioni vicine.

Da principio le calcolazioni erano affidate principalmente alle imprese specializzate che, per conoscenza teorica e più ancora per esperienza pratica del loro lavoro, potevano arrivare ad una progettazione preventiva attendibile; tale progetto preventivo, tuttavia, veniva quasi sempre, non appena l'importo del lavoro lo permetteva, controllato con una prova di carico sui primi pali (prova di carico di progetto e non prova di collaudo).

Attualmente, diffusasi la letteratura tecnica sull'argomento, adoperando l'una o l'altra delle formule teoriche (molto usata ancora da noi quella di DÖRR), il calcolo della portata del palo viene talvolta eseguito direttamente dal progettista della costruzione, che non sempre provvisto dell'esperienza pratica sulle caratteristiche portanti del terreno sul quale va a costruire e sul particolare tipo di palo trivellato di cui dispone la sua Impresa, può arrivare a dei risultati più distanti del solito dalla portata reale.

Ritengo possa essere di qualche interesse indicare i principali criteri che in quindici anni di esperienza sui pali trivellati ho avuto occasione di dover impiegare nel calcolo: criteri dedotti dai risultati di numerose prove di carico e rettificati in varie discussioni tecniche.

Scelta dell'angolo di attrito e della coesione

Gli angoli di attrito e la coesione da impiegare nel calcolo sono in genere quelli determinati in laboratorio

con prove lente, dopo consolidamento (per le argille), poichè i pali nella generalità dei casi sono caricati lentamente dal peso permanente all'epoca della costruzione ed il peso accidentale, arrivando ad essi attraverso la distribuzione di tutte le strutture superiori, rappresenta una modesta percentuale del carico permanente. Talvolta il peso accidentale è applicato anche per breve durata.

In qualche caso si è verificata una scarsa rispondenza fra risultati dei calcoli e realtà e precisamente in presenza di sabbie fini sciolte, e in acqua. Per questi terreni, oltre all'alleggerimento del peso specifico per la presenza dell'acqua, ho avuto maggiori concordanze con le prove di carico tenendo presenti le considerazioni del TERZAGHI [1] e cioè applicando il criterio che egli consiglia per il calcolo delle fondazioni ordinarie su tali terreni: adottare un angolo φ' di attrito per cui $\text{tg } \varphi' = \frac{2}{3} \text{tg } \varphi$.

Altre discordanze ho trovato nel caso delle argille molli. Anche per queste TERZAGHI per le fondazioni ordinarie consiglia uguali riduzioni di c e di $\text{tg } \varphi$. Tuttavia nei casi di palificate da me studiate, tali riduzioni non sono risultate sufficienti.

Per le argille il problema è sempre più complesso che per le sabbie; poichè entrano in gioco più parametri con le loro variabilità: attrito, coesione, modalità delle prove di carico [2]. Non è certo consigliabile attenersi all'uso delle formule come quella di DÖRR che adottano un angolo di attrito « equivalente » comprendente anche la coesione, poichè un angolo simile dovrebbe variare continuamente col variare della pressione che genera l'attrito.

Per le argille molli le formule che hanno risposto meglio sono quelle che si basano sulla sola coesione, prendendo però per il valore di questa la metà della resistenza a pressione con espansione laterale libera: con terreni indisturbati per la base e con terreni rimaneggiati per il fusto; e senza tenere alcun conto della pressione laterale tra terreno e palo [3].

(*) Dott. Ing. Guglielmo MEARDI, Milano.

Terreni stratificati

In casi del genere occorre innanzi tutto tener presente che ogni strato contribuisce alla portata del palo con le sue proprie caratteristiche fisiche (attrito e coesione) e non con quelle degli strati soprastanti: è logico pensare che gli strati soprastanti influiscano quasi esclusivamente con il proprio peso: non si può negare totalmente l'influenza delle altre caratteristiche, ma questa non può essere che secondaria.

Questo in particolare per la portata della base, che dipende massimamente dalle qualità del terreno sul quale appoggia, che va per questo sondato ogni tanto in profondità.

In secondo luogo si deve tener presente la compressibilità relativa dei vari strati. Quando il palo ne attraversa uno molto più compressibile di quelli inferiori, esempio uno strato di torba soffice, tutti gli strati superiori a quello compressibile non contribuiscono che in modo trascurabile alla portata poichè viene a mancare loro l'appoggio. La torba si comprime ed il palo, rigido, deve scaricarsi direttamente sugli strati inferiori. Gli strati superiori vanno quindi trascurati nel calcolo salvo s'intende l'effetto del loro peso sulla portata degli strati inferiori.

Talvolta gli strati superiori, invece di contribuire alla portata dei pali, gravano su di essi: caso dei terreni di riporto in fase di assestamento, dei terreni compressibili circondanti il palo o il gruppo dei pali caricati indipendentemente (esempio pali di una spalla di ponte eseguiti attraverso terreno compressibile caricato lateralmente dal terrapieno di accesso al ponte). In questi casi la portata data dai terreni profondi meno compressibili viene diminuita dal carico che il terrapieno nel suo assestamento può trasmettere al palo o al gruppo di pali [1]. Si usano pertanto pali lisci il più possibile, avendo cura naturalmente di evitare le espansioni (esempio pali « lubrificanti » Rodio).

In altri casi invece la stratificazione può essere sfruttata per aumentare la portata del palo. Per esempio quando si hanno strati alternati di non grande spessore di argilla e sabbia. Si possono ad arte provocare durante la trivellazione piccoli frammenti della sabbia intorno al tubo forma: si producono piccoli vuoti che riempiti a pressione durante il getto formano delle espansioni che contribuiscono in modo notevole alla portata complessiva del palo.

Ripartizione della portata tra fusto e base

Talvolta viene calcolata la portata massima di un palo sommando le due portate massime del fusto e della base. Si dovrebbe invece tener conto dei cedimenti relativi a tali portate e siccome di solito non sono uguali, o considerare il massimo valore della somma delle portate relative allo stesso cedimento (ma non si conoscono facilmente), o attribuire diversi coefficienti alle due portate massime.

Così, avendo impiegato parecchie volte la formula di CAQUOT e MAJER nella forma riportata dal SANTARELLA [4], in base alla quale la portata di base risulta molto forte, solitamente raddoppiavo il coefficiente di sicu-

rezza della base, intendendo di sfruttare la massima resistenza del fusto; con terreni di base molto buoni invece, ho adottato un coefficiente normale per la base e maggiore per il fusto, che supponevo già sfilato.

Influenza dei metodi di esecuzione

I pali trivellati possono essere eseguiti con modalità assai diverse. Sulla portata influiscono specialmente le modalità di esecuzione del getto, pur non escludendo del tutto quelle delle operazioni di trivellazione: ne abbiamo accennato un esempio nel caso dei terreni stratificati.

Fra le modalità in uso e che ho personalmente sperimentato prendo in esame le tre più importanti:

a) *getto eseguito battendo il calcestruzzo con maglio, contemporaneamente al sollevamento della tubazione.*

Per eseguire il getto in questo modo bisogna aver anzi tutto provveduto ad asciugare la tubazione con trastando la eventuale pressione dell'acqua con un « tappo di fondo » in calcestruzzo. Se la pressione è tal da non poter eseguire tale tappo, si deve eseguire il getto in altro modo.

Il maglio, se il calcestruzzo è poco alto sopra il bordo inferiore della tubazione, produce una forte pressione contro il terreno, pressione che viene sfruttata dall'attrito, sempre che essa sia inferiore alla spinta passiva del terreno e venga mantenuta nel tempo dal calcestruzzo. E' necessario per questo impiegare del calcestruzzo piuttosto asciutto e non avere gabbie di armatura: queste ostacolano il movimento del maglio e vengono d'altra parte facilmente danneggiate dal maglio stesso.

L'armatura metallica disturba sempre l'esecuzione del getto anche senza la presenza del maglio, poichè ostacola se non altro la discesa e l'espansione del calcestruzzo. E' opportuno limitarsi a impiegarla soltanto quando e dove si hanno sforzi di taglio e flessione e non preoccuparsi del carico di punta che nei pali è negati nel terreno non si presenta [5] nemmeno con terreni cattivi, purchè non del tutto fluidi. Può essere invece necessaria con terreni di riporto recente, o comunque soggetti ad assestarsi più del palo ed in modo irregolare.

Con questo tipo di palo si possono ottenere discrete espansioni sia alla base che lungo il fusto, che contribuiscono tutte efficacemente alla portata aumentando l'area della base e il diametro del fusto.

b) *Getto eseguito comprimendo il calcestruzzo con aria compressa a 4 ÷ 6 atm. contemporaneamente all'estrazione del tubo.*

Con questo sistema (WOLFSHOLZ) è assai facile eseguire il getto all'asciutto con qualsiasi pressione d'acqua nel sottosuolo: la compressione, statica, controterra può aver luogo anche in presenza di armatura metallica, pur essendo da questa ostacolata. Il calcestruzzo deve essere di consistenza piuttosto fluida.

c) *Getto eseguito riempiendo parzialmente (di rado totalmente) la tubazione con calcestruzzo di consistenza fluida ed estraendo la tubazione.*

In questo caso la pressione contro terra viene data dalla pressione verticale dovuta all'altezza del calcestruzzo nella tubazione (fatta deduzione dell'attrito lungo le pareti che si cerca di ridurre con movimenti bruschi e di saliscendi della tubazione). Di solito, salvo che per pali corti, la tubazione non viene riempita completamente, per ridurre la resistenza al sollevamento del tubo, ed il calcestruzzo viene aggiunto poco per volta a mano a mano che si estrae la tubazione.

Influenza della profondità sulla portata unitaria del fusto

Era prevedibile da quanto sopra che non potessero rispondere alla realtà constatata con le prove di carico le formule che danno la portata unitaria del fusto proporzionale alla profondità del palo. Sono subito da escludere i pali in argilla per quanto detto alla fine del 2° paragrafo. Ma anche per i terreni per i quali si mette in conto l'attrito è chiaro che la profondità del palo ha la sua importanza, che possiamo ammettere anche legata alla portata unitaria con legge lineare, fino a quando la spinta passiva ha raggiunto il valore della spinta massima data dal maglio o dall'aria compressa o dal calcestruzzo fluido; dopo non produce più aumento di portata unitaria. Infatti la spinta del maglio o dell'aria che dovrebbero mettere in azione la spinta passiva non aumentano più e nemmeno può aumentare continuamente la spinta del calcestruzzo perchè ad un certo punto, quando aumentiamo il carico di calcestruzzo all'interno del tubo, la parte profonda del palo ha già cominciato a subire l'effetto della presa. E' da ricordare che per eseguire il getto di un palo trivellato occorrono diverse ore sia per le operazioni di

riempimento che per le manovre di sollevamento, pigiatura e svitamento degli elementi della tubazione; la presa ha quindi tutto il tempo per cominciare.

Nè d'altra parte, come sembrano indicare alcune formule basate sulla spinta attiva del terreno, questa spinta può salire con la seconda potenza fino a superare la spinta passiva di cui sopra, poichè a differenza di quanto avviene contro una parete piana il terreno intorno ad un tubo di piccolo diametro fa arco e a partire da profondità assai piccola non aumenta la sua pressione [5].

Le formule quadratiche di portata laterale dei pali valgono quindi fino alla profondità necessaria perchè la spinta passiva raggiunga i valori indicati; da quel punto in avanti la pressione in gioco contro le pareti del palo, pressione generante resistenza di attrito e quindi portata, rimane costante; l'incremento per ogni metro di profondità è quindi costante, a partire da quel punto.

Rappresentando la portata laterale con terreni uniformi con i comuni diagrammi profondità-portata, la curva, dapprima parabolica, va continuata, a partire dal punto indicato, con la tangente.

Bibliografia

- [1] TERZAGHI-PECK: *Soil Mechanics in Engineering Practice* - New York, 1948.
- [2] G. MEARDI: *Osservazioni su alcune prove di carico di pali trivellati in terreni argillosi plastici* - Comunicazione presentata al I Convegno di Geotecnica, Napoli 1953.
- [3] *Atti della Journées de Mécanique des Sols* - Parigi, 1952 ed in particolare la comunicazione di S. Rodin e J. Tomlinson.
- [4] L. SANTARELLA: *La tecnica delle fondazioni* - Hoepli, 1946.
- [5] K. TERZAGHI: *Theoretical Soil Mechanics* - New York, 1943.

Nella Rivista GEOTECNICA l'ingegnere e lo specialista possono trovare le più recenti notizie sulle novità tecniche inerenti al proprio ramo e possono così tenersi aggiornati sugli sviluppi della scienza e della tecnica applicate.