

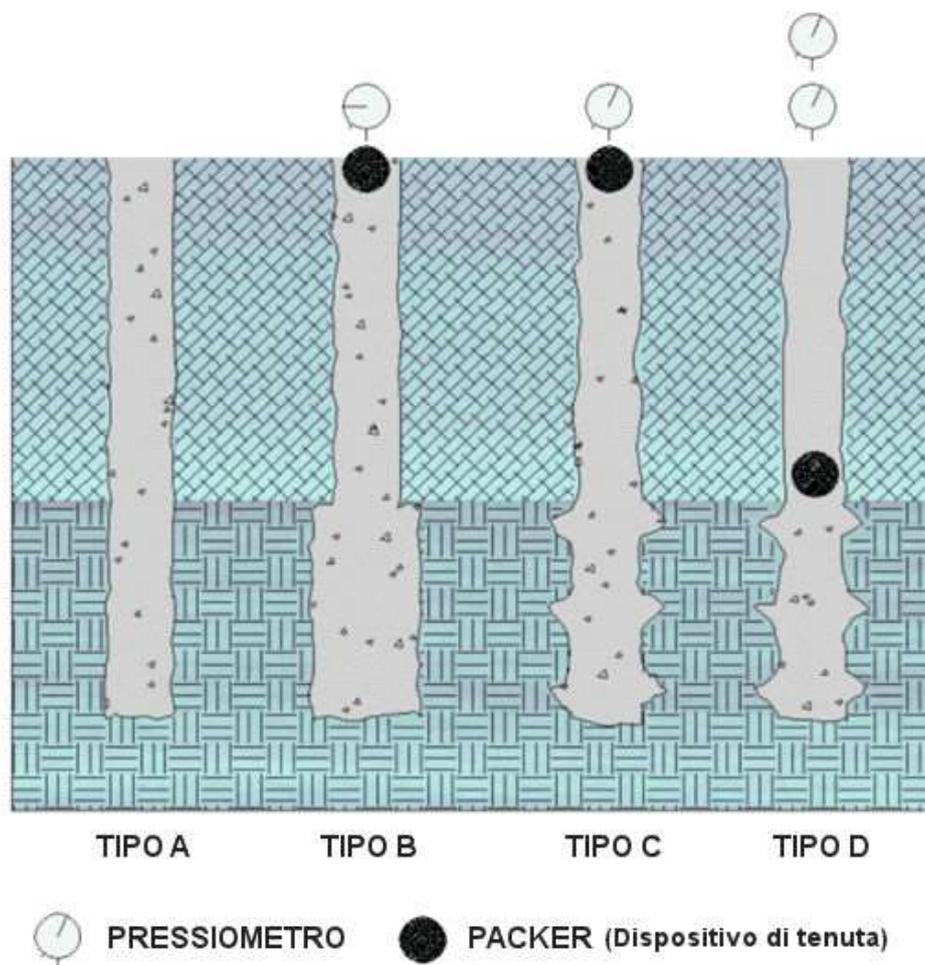
Capacità portante di micropali: una problematica attuale

Luca Testone e Paola Marchiò - CDM DOLMEN

L'utilizzo di micropali è sempre più significativo nella pratica professionale; prestazioni, velocità di esecuzione, maneggevolezza della strumentazione per realizzarli sono solo alcuni dei benefici che spingono il progettista a sceglierli per un intervento, sia esso ex novo o di recupero dell'esistente.

Tuttavia, data la loro recente introduzione, non si è ancora sviluppata una estesa letteratura accademica e tecnica sulle prestazioni che possono offrire: spesso la portata viene stimata dal progettista in base alla propria esperienza, o con regole qualitative ed empiriche. Inoltre sono nate moltissime tipologie di micropalo, caratterizzate da tecnologie e tecniche di esecuzione variegata: questo non permette di trattare in maniera univoca il calcolo della capacità portante, che va specializzato caso per caso. Oltre a ciò le Imprese adottano un proprio modus operandi, declinando ulteriormente le già numerose tipologie standard di micropalo.

Primo passo fondamentale dell'iter progettuale, quindi, è l'inquadramento del tipo di micropalo che verrà realizzato. In un contesto tipologico esso può essere classificato, come segue, secondo la normativa americana FHWA NHI-05-039 (lavoro autorevole sulla progettazione e costruzione dei micropali, a cui si rimanda per i dettagli).



Tipo A, gettato senza eccesso di pressione

Il foro può essere non rivestito, rivestito temporaneamente o permanentemente (il tubolare svolgerà funzione di rinforzo del micropalo completato).

La malta (tipicamente con rapporto acqua/cemento tra 0,45 e 0,5 se solo cemento, o fino a 0,6 se la proporzione tra sabbia e cemento varia nell'intervallo 1:1 e 2:1) viene messa in opera dal fondo del foro, riempiendolo senza applicare nessuna pressione supplementare, utilizzando un tubo convogliatore. Il getto viene interrotto quando malta della stessa qualità di quella posta in opera esce liberamente dalla testa del foro.

Tipo B, malta pressurizzata durante l'estrazione del rivestimento (palo Radice)

Il foro deve essere necessariamente rivestito: dopo la prima fase di getto, eseguita come per il tipo A e caratterizzata da una malta di simile qualità, si applica una testa a tenuta al rivestimento e si immette aria compressa per pressurizzare la malta e forzare il calcestruzzo contro il terreno mentre si estrae il rivestimento. La pressione è tipicamente nel range 0,5 MPa - 1 MPa. La massima pressione può essere stimata come 20 kPa per metro in caso di terreni sciolti e 40 kPa per metro in caso di terreni densi.

Il rivestimento può essere sfilato anche in modo parziale per ancorare il micropalo solo agli strati competenti.

Tipo C, iniezione di malta una sola volta con l'uso di valvole (IGU)

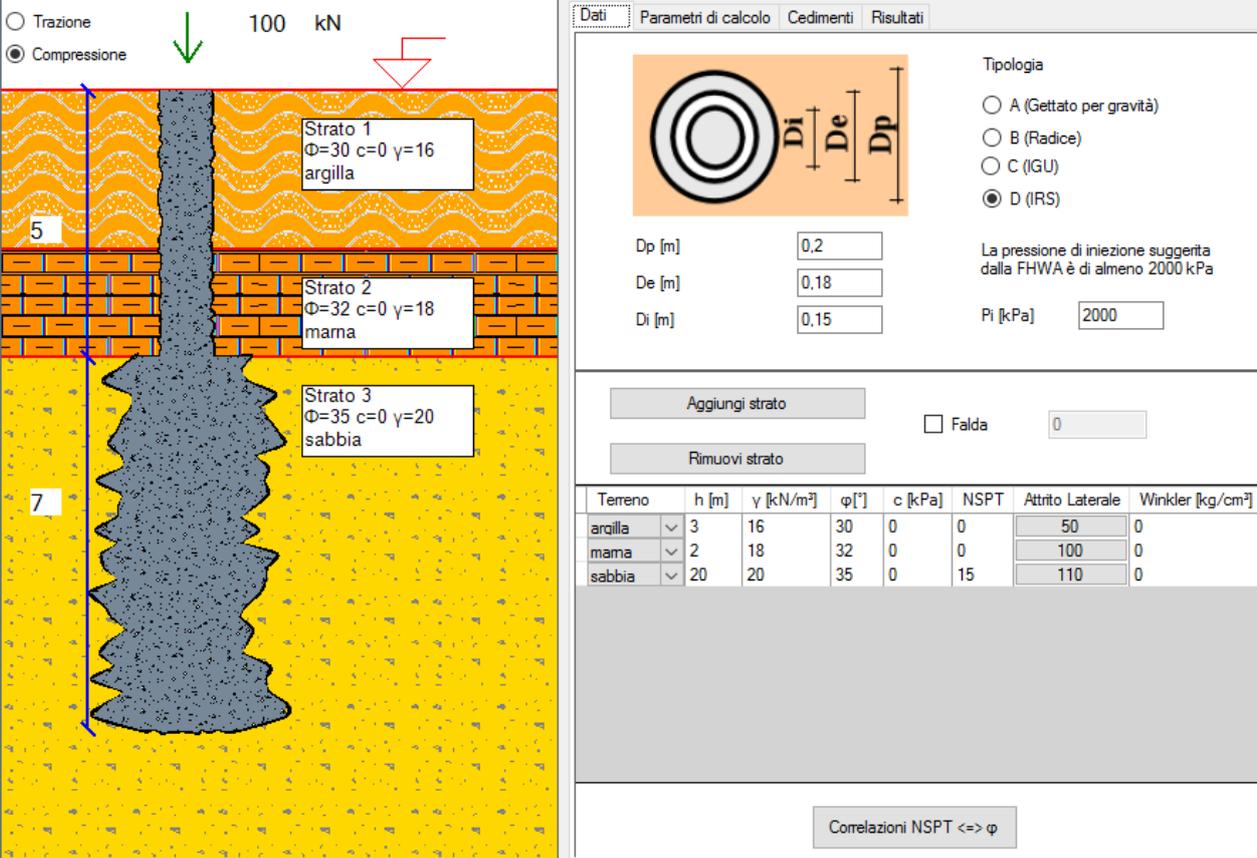
Di solito il foro è rivestito temporaneamente o non rivestito. La malta (tipicamente con rapporto acqua/cemento tra 0,5 e 0,75 per garantire una buona fluidità) è applicata in un primo momento come per il tipo A. Pochi minuti dopo questa prima fase, tramite valvole di non ritorno viene iniettata malta in pressione, permettendo di formare delle sbulbature; la pressione di iniezione è maggiore di 1 MPa.

Tipo D, iniezione di malta multiple volte con l'uso di valvole (IRS o Tubfix)

Questo tipo di micropalo riesce a garantire le portate più significative. Nella prima fase la malta viene posta in opera come per il tipo A. Per la fase di iniezione, le Imprese hanno sviluppato diverse tecniche esecutive, attrezzando il foro in vari modi. In ogni caso c'è la presenza di un rinforzo e di valvole di non ritorno, tramite cui viene iniettata malta in pressione (tipicamente con rapporto acqua/cemento tra 0,5 e 0,75 per garantire una buona fluidità). L'iniezione avviene qualche ora dopo la prima fase di getto ed è caratterizzata da pressioni molto alte (da 2 MPa a 8 MPa), affinché il calcestruzzo primario si rompa e si formino le sbulbature. Questa operazione viene ripetuta diverse volte, tante quante necessarie per raggiungere l'ancoraggio del micropalo, attendendo 24 ore tra le diverse iniezioni.

L'iniezione in pressione garantisce generalmente una migliore capacità portante del micropalo, così come dei minori cedimenti, ma comporta anche dei costi (così come difficoltà esecutive) maggiori; si vuole rimarcare che per la corretta esecuzione dei getti in pressione (soprattutto per i tipi C e D) sia infatti fondamentale curare ogni operazione, in quanto a piccoli errori dell'Impresa corrispondono importanti perdite prestazionali del micropalo. Tra gli errori più frequenti in cantiere si riscontrano: pressimetri per l'iniezione mal tarati, packer confinante di qualità scadente, mancato rispetto dei tempi tra un'iniezione e la successiva, posa imprecisa dell'armatura di rinforzo, scelta di una malta non idonea, disattenzioni delle maestranze, etc. La Direzione Lavori deve essere quindi molto scrupolosa per assicurare che venga effettivamente realizzata, con le tecniche prescritte, la tipologia di micropalo prevista in sede progettuale.

Quanto detto finora è solo un breve inquadramento di un argomento molto vasto e in costante evoluzione: CDM DOLMEN ha seguito attivamente l'innovazione di questo settore e, in seguito a una collaborazione con il Politecnico di Torino, ha sviluppato un software applicativo per il calcolo geotecnico dei micropali.



The screenshot displays the software interface for micropile calculation. On the left, a cross-section shows a micropile with a diameter of 30 cm, embedded in three soil layers: Strato 1 (argilla, 5m thick), Strato 2 (marna, 2m thick), and Strato 3 (sabbia, 7m thick). A load of 100 kN is applied in compression. On the right, the 'Parametri di calcolo' (Calculation Parameters) panel is shown, including a diagram of the micropile with dimensions D_i , D_e , and D_p . The selected micropile type is 'D (IRS)'. The injection pressure P_i is set to 2000 kPa. Below this, there are buttons for 'Aggiungi strato' and 'Rimuovi strato', and a 'Falda' (water table) input set to 0. At the bottom, a table lists soil properties and a button for 'Correlazioni NSPT <=> ϕ '.

Terreno	h [m]	γ [kN/m ³]	ϕ [°]	c [kPa]	NSPT	Attrito Laterale	Winkler [kg/cm ³]
argilla	3	16	30	0	0	50	0
marna	2	18	32	0	0	100	0
sabbia	20	20	35	0	15	110	0

Il programma IS microPali è uno strumento che, una volta definito il micropalo e le caratteristiche meccaniche-stratigrafiche del sito di costruzione, offre al progettista una raccolta di valori di capacità portante calcolati con le varie formulazioni tratte dalla letteratura. Il software esegue il calcolo usando le sole formulazioni compatibili con le condizioni specifiche del problema in esame. Tra le varie disponibili ricordiamo quella di Bustamante e Doix (1985), basata sui valori ottenuti da una prova penetrometrica SPT del terreno, quella di Mammino (1994), basata sull'angolo di attrito del terreno, e la formulazione della normativa spagnola "Guida per il progetto e l'esecuzione di micropali per opere stradali" (2005), basata sull'angolo di attrito del terreno e sui valori della pressione di iniezione della malta di calcestruzzo. È anche presente un metodo empirico tabulare, proposto nella già citata norma FHWA NHI-05-039, che permette di definire direttamente i parametri attritivi all'interfaccia terreno-malta. Si suggerisce, in caso si disponga di una prova SPT, di attribuire al risultato calcolato secondo Bustamante e Doix un peso maggiore, in quanto è la formulazione più utilizzata e raccomandata in letteratura in virtù dell'ampio numero di situazioni in cui è stata validata.

Il programma calcola sempre la capacità portante con le formule per pali standard di medio-grosso diametro, per fornire al progettista un valore di riferimento che può essere considerato come un limite inferiore della portata del micropalo gettato in pressione.

Tramite l'utilizzo del software si può vedere come, ripetendo l'analisi per diversi scenari e confrontando i risultati forniti dalle diverse formulazioni, vi sia uno scarto nei valori di capacità portante calcolati, che può essere ampio. Questo perché ciascuna delle formulazioni proposte è stata ottenuta in modo empirico a partire da numerose prove di carico ed esplorando molti tipi di deposito, tipologie di micropalo, condizioni al contorno (falda, metodologie della prova etc.), senza tuttavia poter esaurire tutte le situazioni possibili. Non è quindi ragionevole un approccio teorico unitario e in grado di adattarsi ad ogni caso.

È proprio per questa ragione che si è scelto di fornire all'utente un'ampia raccolta di valori di capacità portante consistenti con il problema in esame, lasciando che sia questi a scegliere se mantenersi a favore di sicurezza o se considerare le capacità più elevate.

Per lo stesso motivo il programma fornisce un significativo numero di tabelle di supporto alle scelte del progettista, diverse correlazioni tra i parametri di input e svariate modalità di calcolo; in particolare si rispettano le specifiche delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, permettendo all'utente di scegliere l'approccio di calcolo tra DA1 e DA2.

È anche possibile calcolare una stima dei cedimenti con la teoria di Randolph e Wroth, soluzione elastica molto sfruttata per via della sua semplicità ed immediatezza. Il programma permette inoltre di verificare il carico critico dell'instabilità di punta del micropalo con la teoria di Timoshenko e Gere, che considera il micropalo (caricato assialmente) vincolato lateralmente ad un mezzo elastico.

Si tiene comunque a ricordare che, durante il percorso di sviluppo, CDM DOLMEN si è posta l'obiettivo di offrire una base (costituita da tutti i modelli di calcolo che appartengono allo stato dell'arte) da cui il progettista possa trarre in modo proficuo le proprie conclusioni, senza prevaricarne la sensibilità e la capacità decisionale. La scelta progettuale, stimolata dai risultati del calcolo, resta sempre nelle mani dell'utente e in nessun modo il software si sostituisce a lui, filosofia che si trova in tutti i moduli software della ditta.

IS microPali è disponibile gratuitamente per tutti coloro che visiteranno lo stand CDM DOLMEN alle fiere Geofluid (dal 4 all'8 ottobre a Piacenza, stand 291 corsia E) e SAIE (dal 19 al 22 ottobre a Bologna, Pad. 32 Stand A50). Potete scaricare il manuale di IS microPali dal seguente indirizzo:

http://www.cdmdolmen.it/manuali/mp_manuale.pdf