FDP un prezioso valore aggiunto

Gli elevati valori di capacità portante per i pali sono tra le richieste prestazionali più ambite da parte dei progettisti di opere di ingegneria. Se unite ad una velocità esecutiva elevata, all'assenza di vibrazioni, all'assenza di materiale di scavo, l'FDP acquisisce un valore aggiunto molto prezioso.

di Stefano Arrigoni

Rispondere alle esigenze che la nostra società impone, richiede scelte di responsabilità tecnico-politica importanti. Il tema delle infrastrutture è parte del dibattito decisionale, con risonanza sia a livello locale che nazionale. Scelta del tracciato a livello plani altimetrico, integrazione con le infrastrutture esistenti, necessità di mitigazione degli impatti ambientali, limitazione delle interferenze in fase di cantierizzazione, abbattimento delle emissioni in atmosfera, sono alcune delle richieste prestazionali da soddisfare e coniugare allo stesso tempo. In tale ambito il ruolo delle costruzioni in sotterraneo assume un valore importante. Amministratori, tecnici progettisti ed imprese sono così coinvolti, ciascuno in fasi e tempistiche differenti, nella pianificazione, progettazione, costruzione, gestione e manutenzione dell'opera. Le soluzioni tecniche da adottare richiedono competenza ed esperienza da parte dei progettisti unite alla tradizione ed innovazione da parte delle imprese esecutrici. L'FDP (Full Displacement Piles) è una tecnologia esecutiva di palo di fondazione che bene riassume le caratteristiche sopra descritte. In questo articolo illustriamo il suo utilizzo da parte di Edrasis Construct Group srl (branch di Edrasis - C. Psallidas SA-Grecia) che con l'FDP costruito da SIP&T ha realizzato pali per delle wind farms in Calarasi-Romania.

Senza asportazione di materiale

Rispetto ai pali battuti, la trivellazione di pali ha il problema del possibile cedimento delle pareti del foro. La soluzione a tale inconveniente prevede l'impiego di tubi di rivestimento, bentonite e polimeri. Con la tecnologia dei pali a costipamento, l'utensile penetra nel terreno, lo smuove e lo spinge contro le pareti del foro; la condizione ottenuta è molto simile a quella dei pali battuti, ma senza materiale di risulta e, di conseguenza, un cantiere pulito. Utilizzata da anni soprattutto in nord Europa, questa tipologia di pali ha conosciuto un notevole sviluppo nel recente periodo dato il costo sempre più elevato dello smaltimento dei detriti. I pali di fondazione diametro 600mm – profondità 20m del cantiere di Calarasi hanno visto l'utilizzo del metodo Soil Displacement, cioè a costipazione laterale del terreno. Si tratta di una metodologia eseguita senza asportazione di terreno e quindi alternativa ai pali trivellati. Il terreno viene costipato grazie alla roto-infissione di un apposito utensile che, in relazione al progetto, può essere di differenti diametri. L'operazione di infissione e la contemporanea compattazione del terreno migliorano lo stato di addensamento del suolo rispetto alle condizioni iniziali con un sostanziale miglioramento della resistenza laterale e di punta del palo di fondazione. L'assenza di asportazione di materiale di fatto impone che il volume del terreno venga spinto lateralmente e in profondità, garantendo un miglioramento delle resistenze geotecniche. Edrasis esegue pali FDP in diametri compresi fra 300 e 800mm fino a profondità di 40m utilizzando calcestruzzo di consistenza fluida, eventualmente additivato per ottenere l'opportuna

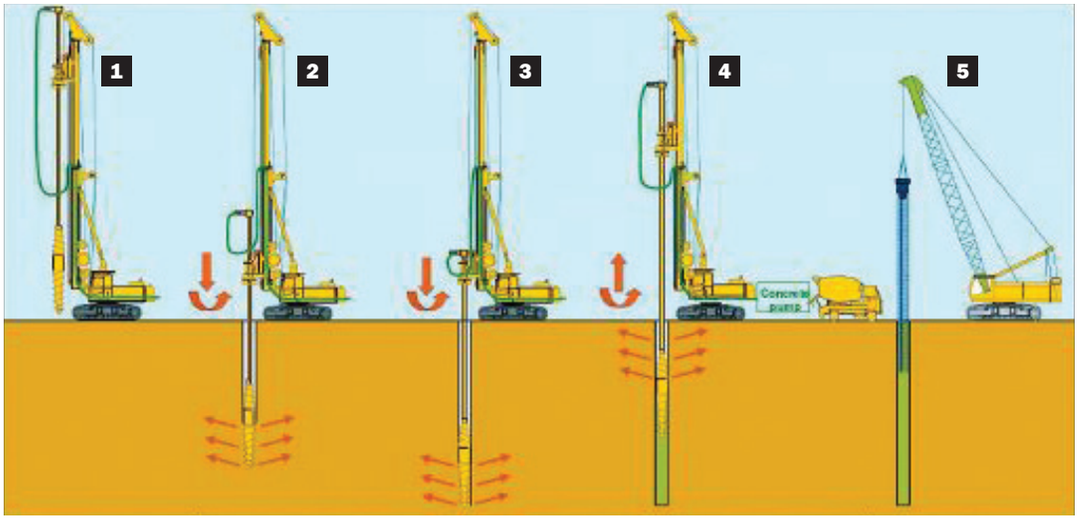
CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dall'opera, sono stati utilizzati i risultati delle indagini geognostiche effettuate in situ (prove CPTU, sondaggi, posa piezometri e prove Lefranc) e delle prove di laboratorio. I dati acquisiti hanno permesso di delineare le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni costituenti l'area d'intervento. Al di sotto dello strato di terreno vegetale superficiale di spessore trascurabile, si incontra, sino a 4.80m dal piano campagna, un livello abbastanza uniforme di sabbia medio fine limosa. Dalla profondità di circa 4.80m dal piano campagna sino a 7.20m, la situazione risulta meno omogenea: i terreni di natura argilloso–limosa mediamente consistenti presentano numerose intercalazioni sabbiose. Successivamente, si individua uno strato, di spessore pari a 1.40m, di sabbia medio fine debolmente limosa. Dalla profondità di circa 8.60m sino a 11.20m il materiale è prevalentemente coesivo (argilla limosa) con frequenti intercalazioni sabbiose. Al di sotto del livello coesivo si riscontra uno strato di spessore 8.00m di sabbia medio fine debolmente limosa. Infine, dalla profondità di 19.20m sino a 35.00m si rilevano nuovamente terreni di natura argilloso–limosa mediamente consistenti con frequenti intercalazioni sabbiose.

PROVE DI CARICO

I pali FDP, diametro 600 mm, sono stati armati lungo tutto il loro fusto, di lunghezza utile 20 m. Le prove di carico a trazione eseguite sino a valore pari a circa 2,5 volte il carico massimo di esercizio hanno confermato la bontà del dimensionamento per il quale era richiesto uno spostamento massimo del palo, per carico a trazione, non superiore a 2 mm. Le prove di carico sotto rappresentate hanno evidenziato una grande rigidezza del comportamento del palo per attrito laterale, nell'ambito dei carichi di esercizio. Questo è funzione della tecnologia esecutiva che non prevede meccanismi di "rottura" durante la formazione del palo.

lavorabilità. Questa tecnologia trova applicazione in terreni di qualsiasi natura con scarsa o media resistenza, l'eventuale presenza d'acqua di falda non è elemento di controindicazione. Può essere utilizzata anche in terreni instabili senza uso di tubi di rivestimento giacché il metodo non implica alcuna situazione di "scavo aperto". Operativamente la procedura di esecuzione prevede, dopo il piazzamento della macchina, lo scavo con l'utensile in rotazione e avanzamento continuo. Il suolo viene reso sciolto dall'elica rotante e costipato dall'apposito utensile connesso ad una batteria di aste di perforazione che permettono di raggiungere la profondità di progetto. Raggiunta la quota prevista si getta il palo iniettando calcestruzzo che attraversa le aste di perforazione (che sono cave al loro interno) e l'utensile provvisto di una apposita apertura per far defluire e



Procedura di esecuzione

1. Posizionamento della unta dell'utensile al centro del palo e livellamento della trivella e del suo mast;
2. Inizio scavo con l'utensile in rotazione ed avanzamento continuo ed automatico. Il suolo viene così reso "sciolto" dall'elica rotante e costipato (grazie alla forma dell'utensile stesso) all'intorno del foro dall'apposito "displacement body";
3. Prolungando le aste di perforazione si può estendere lo scavo ad elevate profondità (si può arrivare anche a 40 m, chiaramente in funzione della tipologia di macchina base);
4. Raggiunta la profondità finale si comanda l'apertura della punta dell'utensile e si procede al getto del palo, sempre con sistema automatico computerizzato di risalita: durante la fase di getto il calcestruzzo viene immesso attraverso l'asta cava e va a riempire il volume precedentemente occupato dal terreno. L'immissione del calcestruzzo avviene in modo continuo e controllato contemporaneamente al graduale sollevamento (estrazione) dell'utensile. Nel palo FDP non si ha quindi una fase di foro aperto da riempire con calcestruzzo, ma è lo stesso calcestruzzo che si crea lo spazio da colmare, spingendo sempre verso l'alto con una pressione positiva la base dell'utensile;
5. Terminato il getto si procede dopo un'accurata pulizia della testa del palo con la posa in opera (se richiesta) dell'armatura metallica (eventualmente tramite l'ausilio di un apposito vibratore) o si introducono per gravità idonee gabbie o profilati di acciaio.

distribuire il calcestruzzo. Il getto avviene contemporaneamente all'estrazione dal terreno delle aste di perforazione e dell'utensile. L'operazione è gestita dell'operatore della macchina con l'ausilio di un sistema computerizzato che automatizza la operazione di risalita dell'utensile. In questo modo, il calcestruzzo riempie il volume precedentemente occupato dal terreno ora costipato, andando a formare il palo. L'immissione del calcestruzzo avviene in modo continuo e controllato contemporaneamente al graduale sollevamento dell'utensile. Di conseguenza nel palo non si ha una fase di foro aperto da riempire, ma è lo stesso calcestruzzo che si crea lo spazio da colmare, spingendo sempre verso l'alto, con una pressione positiva, la base dell'utensile. Terminato il getto si procede, alla posa in opera dell'armatura metallica del palo.

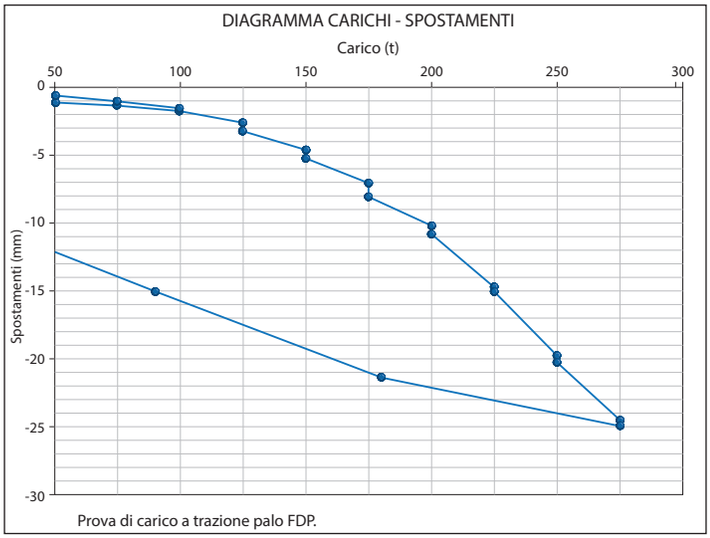
I vantaggi del Soil Dislacement

Questa tecnologia presenta l'innegabile vantaggio di non produrre alcun residuo di lavorazione. Il piano di lavoro del cantiere resta pulito e non asportando materiale viene completamente a mancare il conferimento in discarica, inoltre anche la spesa per i fanghi bentonitici, che i pali FDP non prevedono, è un ulteriore vantaggio per l'impresa. Ma i benefici non finiscono qui perché questa tecnica garantisce un aumento tra il 30% ed il 40% dell'attrito laterale del palo rispetto ai pali trivellati con altre tecniche e, di conseguenza, una maggiore capacità portante. Rispetto ad altre tecniche il Soil Displacement assicura un ridotto consumo di calcestruzzo (circa il 10% in meno rispetto alla tecnica CFA) e non presenta fenomeni di sovra scavo che, a fine lavoro, possono portare al decadimento delle caratteristiche meccaniche del terreno in prossimità alla palificata. Un altro aspetto da non sottovalutare specie operando in aree urbane, è che l'utensile penetra nel terreno gradualmente senza provocare vibrazioni e rumori. In ultimo la sequenza esecutiva garantisce una produzione giornaliera più elevata e rende il palo economicamente vantaggioso rispetto a tutti gli altri tipi di pali trivellati. La mancata asportazione di terreno permette inoltre di lavorare in aree contaminate quali raffinerie, aree industriali, discariche.

La trivella e l'utensile impiegati da Edrasis

La trivella Liebherr, che in questo caso è in versione FDP, è una macchina multifunzione, cioè in grado di eseguire molteplici tecnologie di palificazione. In particolare la LRB 155 può eseguire pali trivellati a secco o con fanghi bentonitici, pali trivellati con rivestimento, pali CFA, pali FDP, pali con rotary doppia testa, twin mix e può infiggere palancole e profilati di ferro a sezione circolare a mezzo vibratore alta frequenza. La macchina è dotata di un process data recording system che certifica il lavoro svolto ed emette un report grafico per ogni palo eseguito in grado di certificare l'assenza di interruzioni del getto o fratture. Con un peso

operativo fino a 68 t (la massa varia in base alla tecnologia utilizzata), può raggiungere una massima profondità di 25 m con configurazione FDP e si caratterizza per un momento torcente della rotary di 220 kNm. Il motore diesel è Liebherr da 450 kW (603 hp) a 1900 rpm e si avvale di un impianto idraulico proporzionale load sensing e cross sensing. La perforatrice è disponibile con sistema di argano pull-dow. Dotata di un argano principale con tiro da 160 kN, presenta un tamburo di elevate dimensioni per l'avvolgimento della fune su un unico strato che assicura una forza di sollevamento costante e limitata usura della fune. Il carro cingolato è allargabile idraulicamente per le fasi di lavoro e ritraibile per ridurre le dimensioni in fase di trasporto. L'utensile FDP della SIP&T è costruito su una robusta asta centrale cava che convoglia il calcestruzzo fino alla punta; l'elemento sottostante di perforazione e quello superiore di compattazione possono essere di lunghezze diverse per meglio adattare l'utensile alle condizioni del terreno, conseguentemente la lunghezza dell'utensile può variare da un minimo di 3-3.5 m ad un massimo di 6-7 m. Le punte di perforazione possono essere intercambiabili e usare diversi tipi di equipaggiamento al fine di massimizzare le prestazioni dell'utensile stesso. SIP&T ha fornito ad Edrasis le prolunghe cave per il getto di calcestruzzo e l'utensile FDP in due diversi



Prova di carico a trazione palo FDP.

modelli, quello a fusto cilindrico tradizionale e quello innovativo modulare. Entrambi sono studiati per ridurre la richiesta di coppia/spinta, aumentare la produttività e assicurare costi di trasporto e di smaltimento contenuti.
Il primo modello si compone di quattro sezioni:

- una punta di perforazione su cui viene installato l'equipaggiamento più adatto alla consistenza del terreno da attraversare. Come per gli utensili CFA, l'utensile di costipamento è dotato di passaggio cavo e portella apribile centrale o laterale per l'iniezione del calcestruzzo.
- una sezione inferiore conica spiralata con elica destrorsa che porta il terreno in superficie ed inizia il costipamento
- una sezione centrale cilindrica di stabilizzazione che stabilizza appunto il terreno lateralmente e realizza il diametro effettivo di costipamento
- una sezione superiore conica spiralata con elica sinistrosa che smuove i detriti che cadono, spingendoli contro le pareti e la sezione di stabilizzazione dell'utensile

Garantisce una ottima penetrazione in terreni densi incoerenti (soprattutto terreni sabbiosi con densità relativa fino al 65%; oltre questo limite il costipamento dei terreni incoerenti diventa difficoltoso) e coesivi duri (con coesione non drenata inferiore a 120 kPa ed anche in questo caso oltre questo limite il costipamento dei terreni diventa difficoltoso).
Il secondo modello, quello innovativo modulare, assicura una migliore prenotazione in terreni consolidati, anche se il passo delle eliche deve essere adattato alla natura del terreno stesso, per consentire la risalita e il costipamento dei detriti contro le pareti del foro. Esso presenta diverse punte di perforazione/compattazione da montare sulla stessa sezione di stabilizzazione. Oltre alla forma conica che facilita la penetrazione nel terreno, l'elica intermedia a passo lungo agevola il trasporto dei detriti e il costipamento progressivo di terreni argillosi duri e incoerenti mediamente densi.
La versione a passo corto è preferibile per sabbie organiche fini e molto incoerenti, mentre quella a passo medio è adatta a sabbie e argille medie.

Conclusioni

Il progetto iniziale prevedeva pali trivellati di diametro φ1000mm ma in sede di costruzione si è optato per l'utilizzo di pali armati tipo FDP φ600. La produzione si è attestata su 8-9 pali al giorno, con tempi di perforazione di circa 25-30 minuti. Le prove di carico eseguite hanno confermato l'ottimo comportamento per attrito laterale di questi pali, anche in virtù del tipo di sollecitazione (trazione) e della natura dei terreni presenti, caratterizzati quasi in prevalenza da mediocri caratteristiche meccaniche di resistenza. Si tratta pertanto di un palo caratterizzato da ottime caratteristiche sia esecutive che prestazionali.

Numero strato	Profondità da	Profondità a	γ [kN/m³]	γ' [kN/m³]	ϕ [°]	c' [kPa]	Descrizione stratigrafica
1	0	5.0	18.50	8.50	36	0	Sabbia medio fine limosa
2	5.0	7.0	19.00	9.00	28	5	Argilla limosa
3	7.0	8.5	18.50	8.50	38	0	Sabbia medio fine limosa
4	8.5	11.0	19.0	9.00	28	5	Argilla limosa
5	11.0	19.0	19.0	9.00	39	0	Sabbia medio fine debolmente limosa
6	19.0	35.0	20.00	10.00	32	10	Argilla limosa e limi argillisi con intercalazioni sabbiose, intercalati a strati sabbiosi

© RIPRODUZIONE RISERVATA