

PALI A SPOSTAMENTO LATERALE (F.D.P.)

1. DESCRIZIONE E PECULIARITÀ DEL PALO F.D.P.

I pali a spostamento laterale (*Full Displacement Piles*) vengono utilizzati, con grande successo, per la realizzazione di consolidamenti, pali di fondazione o di ancoraggio in particolar modo nei terreni compressibili anche laddove gli stessi presentino contaminazioni o sia comunque onerosa l'asportazione di terreno e il conseguente smaltimento.

I pali a spostamento laterale vengono eseguiti mediante rotazione e contemporanea spinta di un utensile compattatore, in assenza di vibrazioni e eccessivi rumori generalmente indotti da altre forme di palificazioni. Essi rappresentano una valida alternativa ai classici pali con la peculiarità che, essendo il nucleo completamente compresso, si incrementa la densità del terreno attiguo e pertanto l'attrito laterale è notevolmente maggiorato e di conseguenza la portata del palo è naturalmente incrementata.

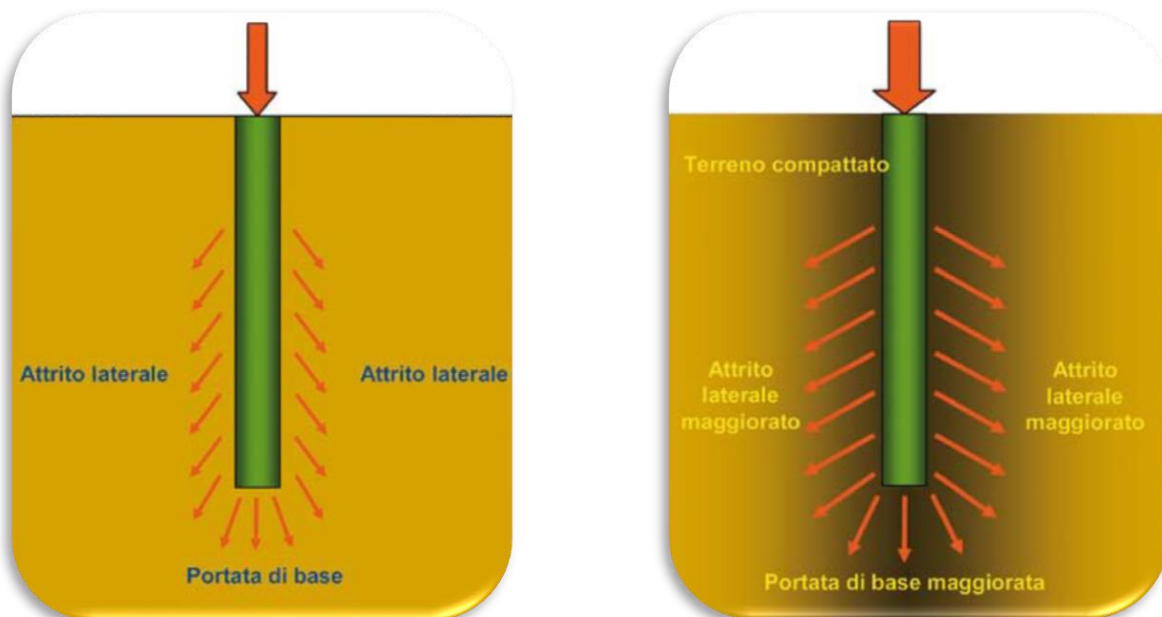
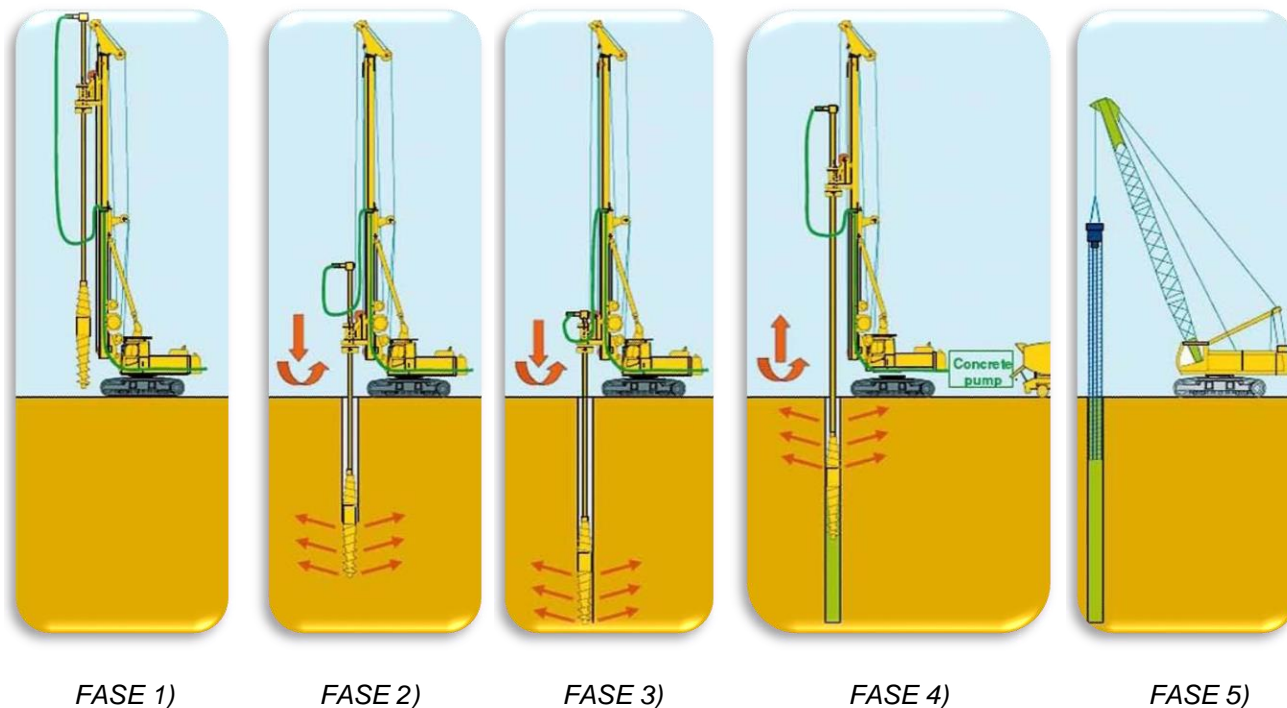


Fig. 1: Differenza tra un tradizionale palo trivellato (a sinistra) e un palo F.D.P. (a destra): grazie alla compattazione del terreno circostante migliorano le caratteristiche di attrito laterale e portata di base.

2. TECNICA ESECUTIVA DI REALIZZAZIONE DEL PALO F.D.P.

La procedura di esecuzione standard dei pali a spostamento laterale è schematicamente descritta e rappresentata di seguito:



FASE 1)

PREPARAZIONE DEL PIANO DI LAVORO E POSIZIONAMENTO

Prima di iniziare i lavori per l'esecuzione dei pali, si realizza un adeguato piano di lavoro, transitabile ai mezzi di perforazione ed ausiliari, e le piste di transito che devono essere mantenuti in stabili condizioni per tutta la durata dei lavori.

Resta normalmente a carico del Committente o dell'Impresa Appaltatrice l'individuazione di tubazioni, cavi elettrici interrati e/o aerei, manufatti sotterranei che, se incontrati dalla perforazione, possano recar danno alle attrezzature di scavo.

Una volta realizzati piani di lavoro e piste di accesso, sull'area di lavoro si posizionano i picchetti, conformemente alla planimetria di progetto, che individuano la posizione dei futuri pali.

FASE 2-3

AVVITAMENTO UTENSILE COMPATTATORE

Dopo attento controllo topografico (riportato nel documento di qualità SCS) ha inizio l'avvitamento ha inizio con l'utensile compattatore che opera in rotazione continua e contemporanea spinta mediante l'apposito organo (pull-down). Detto movimento di "rotoinfissione". si realizza ad opera della tavola rotary, montata su asta di guida (mast) e da appositi organi idraulici di tiro/spinta montati in accoppiamento alla testa di rotazione. L'altezza del mast e le caratteristiche della rotary (coppia, spinta) devono essere commisurate alla profondità da raggiungere.

La compattazione avviene mediante apposito utensile di lunghezza e diametro corrispondenti alle caratteristiche geometriche dei pali da realizzare.



Fig. 2: Tipico utensile di perforazione utilizzato.

L'utensile standard utilizzato per la realizzazione dei pali a spostamento laterale è costruito su una robusta asta centrale progettata per convogliare il calcestruzzo fino alla punta. L'elemento sottostante di perforazione (elica traente) e quello superiore di compattazione, possono essere di lunghezze diverse per meglio adattare l'utensile alle condizioni del terreno: la lunghezza dell'utensile può variare da un minimo di ca. 2 m ad un massimo di 5 m. Anche i diametri possono essere differenti: solitamente i più utilizzati sono 330mm, 420mm, 510mm, 620mm

Il terreno attraversato dall'elica traente viene reso "sciolto" e costipato all'intorno del foro dall'apposito corpo dislocante (displacement) roto-spinto dalla tavola rotary e dall'apposito organo idraulico. La punta traente, dotata di appositi inserti (denti o picchi) anche se necessario in acciaio speciale al widiyam, permette l'attraversamento anche di ostacoli occasionali o l'incastro in terreni più coerenti.

Attraverso ulteriori aste di prolunga kelly la profondità massima raggiungibile dallo scavo può essere aumentata fino a 35m, in funzione del tipo di macchina utilizzato.

L'anima centrale dell'utensile deve essere cava, in modo da consentire il successivo passaggio del calcestruzzo. All'estremità inferiore dell'anima sarà posto un tappo ad espulsione, avente lo scopo di impedire l'occlusione del condotto.

FASE 3)

GETTO DEL CALCESTRUZZO

Dopo controllo che la qualità del calcestruzzo in S5 o SCC SF2 o SF3 (a seconda delle profondità richieste e della conseguente (nei casi di pali armati) lunghezza della gabbia e all'effettivo raggiungimento della profondità di progetto, inizia la fase di pompaggio del calcestruzzo attraverso le aste cave, il quale esce dalla apposita valvola posta alla punta. Mediante un continuo controllo automatico della apposita strumentazione in dotazione alla attrezzatura avviene il contemporaneo sollevamento dell'utensile, in tempi determinati e automatizzati grazie alla strumentazione in dotazione (Data Recorder). Il pompaggio del calcestruzzo dovrà essere interrotto solo al raggiungimento del piano di lavoro. Il calcestruzzo dovrà essere di elevata lavorabilità (S5 con aggiunta di viscosizzanti o S.C.C. SF2 o SF3 a seconda delle lunghezze dei pali da realizzare).

FASE 5)

POSA DELLA GABBIA (nel caso di pali armati)

Quando l'utensile è stato estratto si rimuoverà dalla testata del palo le eventuali inclusioni terrose portate in superficie dall'elica traente e si procede con la posa della gabbia d'armatura nel calcestruzzo. Questa fase sarà preceduta dal controllo accurato delle saldature e i punti di attacco ai bilancieri di sollevamento mediante morsetti o altri rinforzi che volta per volta verranno individuati e approvati (vedi anche P.O.S.). Questa attività di controllo verrà riportata nel documento di qualità SCS) Le gabbie d'armatura, realizzate secondo Progetto e costituite in elementi modulari di lunghezza variabile tra 6m e 12m, verranno sollevate mediante l'organo di servizio della perforatrice o gru autonome. Qualora la lunghezza del palo sia superiore ai 12m verranno assemblati e congiunti in più elementi direttamente a boccaforo mediante morsetti.

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Calcestruzzo

Caratteristiche del calcestruzzo (nel caso di pali strutturali armati)

Il calcestruzzo deve essere conforme a ciò che è prescritto nei disegni di progetto. Il conglomerato viene confezionato in apposita centrale di preparazione atta al dosaggio a peso dei componenti. Le classi di aggregato da impiegare devono essere tali da soddisfare il criterio della massima densità (curva di Füller) per la loro granulometria. La dimensione massima degli inerti deve essere tale che $(D_{max}/2.5) > i_{min}$, dove i_{min} è il valore minimo del passo fra le barre longitudinali, e comunque non superiore ai 20 mm.

Il cemento impiegato deve soddisfare tutti i requisiti richiesti dalla vigente Legislazione (NTC 2018) e deve essere scelto anche in relazione alle caratteristiche ambientali, in particolare l'aggressività da parte dell'ambiente esterno.

Il conglomerato cementizio deve avere una resistenza caratteristica cubica (R_{ck}) così come indicato in Progetto, e comunque non inferiore a 30 MPa.

Il rapporto acqua/cemento non deve superare il limite di 0.5, nella condizione di aggregato saturo e superficie asciutta.

Per la lavorabilità in fase di getto, il calcestruzzo deve essere tale da dare uno slump al cono di Abrams (CNR UNI 7163-79) compreso fra 20 e 22 cm. per un S5 e ad un SF2 o in estremo dei casi in SF3 (pali di profondità superiore ai 24 metri) per un SCC

Per soddisfare questi requisiti, si può aggiungere all'impasto idonei additivi viscosizzanti/fluidificanti non aerante. È altresì ammesso l'uso di ritardanti di presa o di fluidificanti con effetto ritardante.

Trasporto e pompaggio

I mezzi di trasporto devono essere tali da evitare segregazione dei componenti. Il calcestruzzo deve essere confezionato e trasportato con un ritmo tale da consentire di completare il getto di ciascun palo, secondo le cadenze prescritte e rendendo minimo l'intervallo di tempo fra preparazione e getto.

Il calcestruzzo viene pompato pneumaticamente entro il cavo dell'asta di perforazione, progressivamente estratta dallo scavo di norma senza rotazione. La cadenza di getto deve assicurare la continuità della colonna di conglomerato. Pertanto l'estrazione dell'asta di trivellazione deve essere effettuata a una velocità

congruente con la portata di calcestruzzo pompato, adottando tutti gli accorgimenti necessari. Durante l'operazione si deve verificare il mantenimento della pressione entro l'intervallo di 50-150 kPa.

Il getto deve necessariamente essere prolungato fino al piano di lavoro della perforatrice, anche nei casi in cui la quota finita del palo sia prevista a quota inferiore.

Armature metalliche (nel caso di pali armati)

Le armature metalliche verticali sono costituite da barre in acciaio B450C ad aderenza migliorata. Le armature trasversali (staffe-spirali) saranno costituite da tondini esterni ai ferri longitudinali, posti generalmente in forma di spirale continua o, più raramente, ad anelli posti ad interasse costante.

Tutta la gabbia dovrà essere assemblata completamente saldata.

Le armature vengono pre-assemblate fuori opera a formare delle "gabbie"; i collegamenti si ottengono mediante punti di saldatura elettrica o mediante appositi morsetti.

Le gabbie di armatura vengono sollevate mediante l'argano di servizio della perforatrice e messe in opera, successivamente alla fase di getto del calcestruzzo, per semplice spinta verso il basso o anche con l'aiuto di una massa vibrante. Esse sono mantenute verticali e non vengono appoggiate sul fondo dello scavo.

4. CONTROLLI IN FASE DI ESECUZIONE

L'attrezzatura idraulica di perforazione è equipaggiata con un sistema automatico di registrazione in grado di monitorare e automatizzare tutte le fasi di esecuzione del palo. Il monitor dell'apparecchiatura dà all'operatore la possibilità di controllare costantemente la costruzione del palo e misurarne tutte le principali caratteristiche del processo di realizzazione, quali.

- Inclinazione del mast di perforazione;
- Il profilo del palo realizzato;
- la profondità e velocità di scavo;
- la coppia e la velocità di rotazione della trivella;
- la portata, il volume utilizzato e la pressione del getto di calcestruzzo;
- la quantità di calcestruzzo iniettato: consumo immediato e medio (sovracconsumo).

I dati acquisiti vengono registrati e memorizzati su scheda di memoria, per ottenere la scheda grafica del palo realizzato

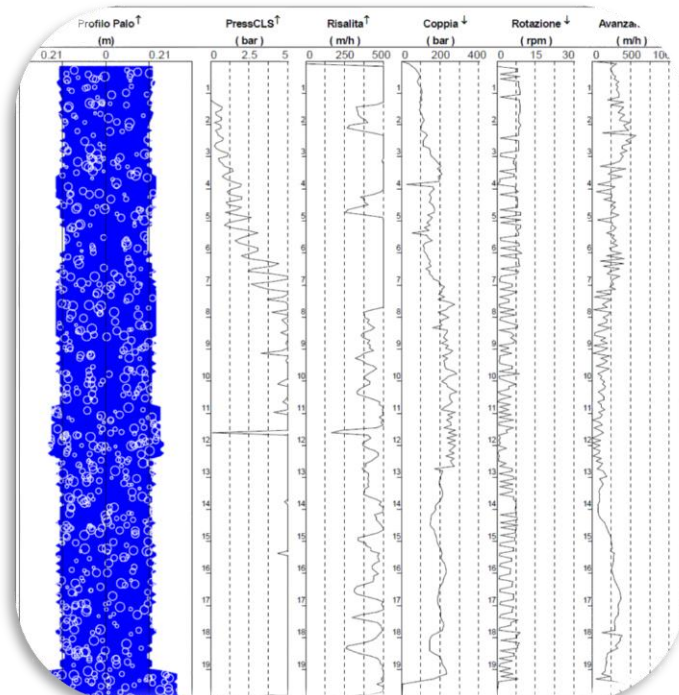


Fig. 3: Esempio di restituzione grafica di un palo realizzato.

5. CONTROLLI FINALI

Qualora previsti dalle specifiche tecniche o richiesti dalla D.L., vengono eseguiti controlli sui pali di medio e grande diametro già completati, prima della loro messa in esercizio. Questi sono suddivisi principalmente in tre tipi:

- 1- Prove di carico su palo (solo nel caso di pali armati soggetti a normativa NTC), per verificare la resistenza meccanica sotto sforzo dell'insieme palo-terreno;
- 2- Controlli non distruttivi di integrità del palo mediante prove di ammettenza meccanica (SIT);
- 3- Controlli non distruttivi di integrità del palo mediante prove di controllo sonico (CROSS HOLE).

Prove di carico (solo nel caso di pali armati soggetti a normativa NTC),

Le prove di carico assiale sui pali vengono eseguite, su pali scelti normalmente dalla D.L. o proposti dalla scrivente impresa, in accordo alle prescrizioni specificate nel Capitolato (preparazione del palo, strumentazione, piano di carico, entità del carico di collaudo, gradini di carico, ecc.) ed in numero definito in base alle NTC 2018.

Le prove di carico possono essere:

- 1- a carico limite: si porta a rottura il sistema palo – terreno. Queste prove, di tipo distruttivo, si effettuano su pali appositamente predisposti;
- 2- a carico di collaudo: prove generalmente eseguite mediante l'applicazione di un carico pari a 1.5 volte quello di esercizio indicato sugli elaborati di progetto.

Prove di ammettenza meccanica

Questo metodo di controllo non distruttivo, costituisce il sistema più rapido di accertamento della integrità del palo, permettendo di escludere la presenza di eventuali discontinuità fisiche. Queste prove vengono eseguite anche su pali da sottoporre a successiva prova di carico; la correlazione dei risultati delle due prove potrà consentire di valutare anche la capacità portante dei pali non soggetti a prova di carico assiale sui quali venga eseguita la prova di ammettenza meccanica.

Prove di controllo sonico

Le prove soniche vengono eseguite su pali precedentemente predisposti con appositi tubi in PVC, preliminarmente alle operazioni di getto, secondo quanto stabilito dal Capitolato o indicato dalla D.L. Esse consistono nel calare nei tubi in PVC un elemento trasmettitore di ultrasuoni ed un elemento ricevitore. Il risultato delle prove è una diagrafia a "densità variabile" che visualizza lo stato di integrità oppure la presenza di anomalie del calcestruzzo del fusto del palo.

6. VANTAGGI DELLA TECNOLOGIA F.D.P.

I vantaggi dell'utilizzo della tecnologia F.D.P., se confrontati con le altre metodologie esecutive, possono venire sinteticamente riassunti come segue.

Elevata capacità di costipazione e conseguente maggiore portata del palo

- lo spostamento del suolo all'interno dello scavo crea un notevole addensamento del suolo stesso;
- l'area di carico (dovuta al volume del suolo addensato) viene incrementata di circa il 30-40%;
- l'attrito laterale del palo acquisisce, di conseguenza, un incremento dello stesso ordine di grandezza.

Processo di installazione senza vibrazioni

- l'utilizzo di un utensile di questo tipo, unito alla tecnica di perforazione a rotazione, garantisce l'assenza di vibrazioni od urti verso le strutture adiacenti al sito di lavoro.

Minima quantità di materiale di risulta dovuta allo scavo

- il terreno viene quasi totalmente costipato all'interno del palo (evitare di asportare materiale dal terreno è ideale, ad esempio, per i lavori eseguiti in aree contaminate);
- quasi totale assenza di oneri di carico e trasporto del materiale di scavo;
- possibilità di utilizzare i parametri di scavo (coppia, penetrazione, valore "alfa" ...) per eseguire indagini di consistenza del terreno in tempo reale ed ottimizzare di conseguenza il lavoro.

La produzione in cantiere dipende principalmente dai seguenti fattori:

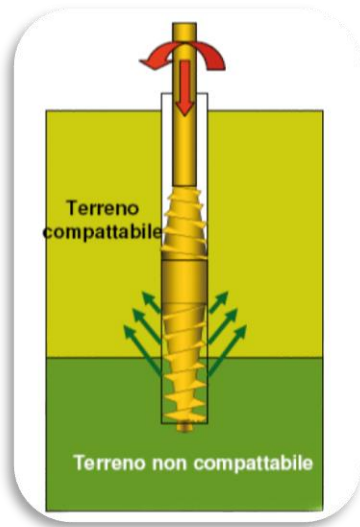
- diametro del palo;
- coppia e forza premente;
- densità del terreno;
- capacità di costipamento del suolo;
- capacità di pompaggio di cls da parte della pompa.

In condizioni favorevoli di utilizzo, vale a dire in terreni aventi caratteristiche idonee all'addensamento, i ridotti costi di produzione sono garantiti da:

- minor consumo di cls rispetto ad altre tecniche che utilizzano utensili a rotazione con asportazione del materiale, poichè tramite il sistema FDP i volumi di getto vengono controllati in automatico e non sussistono pericoli di sovrascavi o cedimenti del palo;
- la combinazione di alta velocità di perforazione, del breve tempo di getto del cls e della velocità di movimentazione (dovuta anche all'assenza di materiale di risulta) elevano notevolmente la produzione giornaliera rispetto ai convenzionali metodi di perforazione;
- l'alta produzione ed il minimo equipaggiamento e di personale addetto ne abbassano il costo al metro lineare;
- il costo del palo per tonnellata di carico applicato è contenuto grazie all'incremento della capacità portante che rappresenta il risultato della redistribuzione e compattazione del suolo.

I pali a spostamento laterale non trovano applicazione in terreni aventi le seguenti caratteristiche:

- suolo granulare molto addensato (sabbie ghiaiose compatte, ghiaia);
- suolo coesivo molto consistente (argilliti e terreni marnosi);
- roccia degradata o fratturata.



La tecnologia di costruzione dei pali a spostamento laterale può venire utilizzata anche nel caso ci si debba “ancorare”, cioè con il palo che non lavora solo per attrito laterale, ma anche per portanza di punta).

La conformazione dell’utensile, con la possibilità di inserimento di prolunghe ad elica, è tale da essere in grado di scavare per qualche metro anche in terreni non compressibili e portarlo frantumato verso gli strati superiori dove può venire costipato lateralmente.

Fig. 4: Principio dell’ancoraggio in terreni resistenti.





