

Bauer Maschinen GmbH

FDP® Full Displacement Piles *Pali a spostamento laterale*

Dr. Ing. Ak. Massimiliano Bringiotti – GeoTunnel
Dr. Ing. Renato Fiorotto – Bauer Maschinen GmbH
Dr. Geol. Marco Dossi – GeoTunnel
Dr. Davide Nicastro – GeoTunnel



Quanto di seguito riportato persegue lo scopo di illustrare in maniera sintetica una tecnologia innovativa, nel campo delle attrezzature e metodologie operative inerenti l'ingegneria geotecnica e le opere di fondazione. Tale novità è stata ideata, sviluppata e realizzata dalla Bauer Maschinen GmbH ed applicata con grande successo in Italia per la realizzazione di pali di fondazione (o di ancoraggio) in alcuni importanti progetti. Questa metodologia prende il nome di FDP® (Full Displacement Pile), cioè Palo a Spostamento Laterale; essa può essere del tipo standard, ove cioè l'armatura, se prevista, viene posta in opera per gravità nel foro già gettato ma con l'asta di perforazione estratta, e del tipo a "Lost Bit", "Punta a Perdere", ove i profili di armatura vengono inseriti all'interno dell'asta con contestuale "sacrificio" della punta di perforazione. Il successo di tale lavorazione è normalmente rappresentato da una buona simbiosi tra: 1) gli Ingegneri responsabili della definizione del progetto; 2) l'Impresa Generale o Specializzata che, in collaborazione con il Costruttore delle attrezzature, può mettere a punto tutti i particolari operativi; 3) una macchina progettata per gestire una elevata coppia torcente alla testa di rotazione; 4) un'asta speciale in grado di trasferire tale momento senza creare dispersioni energetiche ed... 5) in grado di gestire i fluidi ed i materiali di iniezione e di getto così come di... 6) gestire, tramite la variante "Lost Bit", le gabbie di rinforzo dei pali; 7) unitamente a speciali utensili di scavo efficienti, resistenti e durevoli ed... 8) ad un buon operatore

I. Il palo a spostamento laterale e l'FDP di Bauer

I pali a spostamento laterale vengono eseguiti mediante rotazione e spinta, evitando gli eccessivi rumori e vibrazioni generalmente indotti da altre forme di palificazioni. Inoltre producono poco materiale di risulta.

Tali pali sono stati sviluppati nel 18mo e 19mo secolo come tecniche per aumentare le capacità dei pali in legno a sostenere maggiori carichi di spinta e di trazione. Il loro utilizzo, comunque, era limitato a causa delle grandi coppie necessarie per infiggerli nelle sabbie e ghiaie di media ed alta densità. Venivano utilizzati quindi nei lavori marini, nei limi ed argille debolmente addensate.

In seguito allo sviluppo di teste di rotazione ad elevata coppia, il loro impiego venne anche esteso a terreni maggiormente addensati ed attualmente, tali pali, sono installati sempre più frequentemente nei terreni laddove gli stessi presentano contaminazioni o sono sconvenienti da asportare.

Figura 1
Principio di funzionamento di un palo normale vs. un palo FDP

Il Full Displacement Pile (FDP) è una metodologia realizzativa, sviluppata da Bauer, per opere di fondazione e consolidamento; tale tecnologia rappresenta l'ottimizzazione del principio del "palo a spostamento laterale" e rappresenta anche la migliore (e più economica) alternativa ai classici pali trivellati o ai pali CFA - Continuous Flight Auger (Fig. 1).

In sostanza si sfrutta un apposito utensile (Fig. 2), che può presentare differenti diametri, il quale viene inserito nel terreno per rotazione e spinto da una asta Kelly montata su un apposito must e fatta ruotare da una testa di rotazione.

Figura 2
L'utensile di perforazione standard

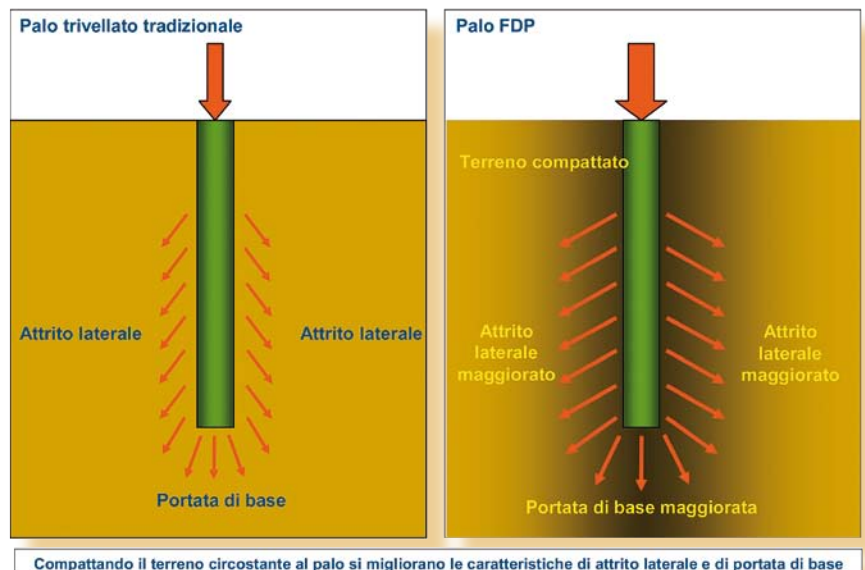
L'utensile FDP standard della Bauer è costruito su una robusta asta centrale progettata per convogliare il calcestruzzo, definito frequentemente in seguito "cls", fino alla punta. L'elemento sottostante di perforazione e quello superiore

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 ca. 3 m ad un massimo standard di 6-7 m.

I diametri possono essere differenti; il più frequente è di 620 mm, altri diametri spesso utilizzati sono 360, 420, 510 mm ed oltre.

Le punte di perforazione sono pure intercambiabili e predisposte per diversi tipi di denti e di configurazioni delle flangie, al fine di massimizzare le prestazioni dell'utensile stesso. La tipica procedura di esecuzione standard è la seguente (Fig. 3):

- 1) Posizionamento dell'attrezzatura da perforazione.
- 2) Inizio scavo con l'utensile in rotazione continua ed avanzamento. Il suolo viene così reso "sciolto" dall'elica rotante e costipato all'intorno del foro dall'apposito "displacement body" (corpo dislocante).



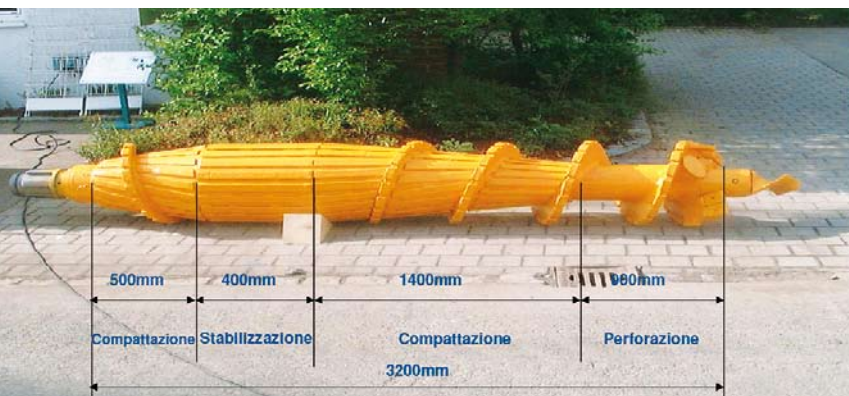
3) Attraverso una Kelly bar si può estendere lo scavo ad elevate profondità (si può arrivare a 40 m, chiaramente in funzione della tipologia di macchina base).

4) Una volta raggiunta la profondità finale, l'utensile viene estratto e, contemporaneamente, il calcestruzzo viene pompato attraverso l'interno delle aste cave, uscendo dall'apposito ugello posto in prossimità della punta.

5) Ad utensile estratto si installa, se richiesto, la gabbia di rinforzo nel calcestruzzo (eventualmente tramite l'ausilio di un apposito vibratore) o si introducono per gravità idonee gabbie o profilati in acciaio.

L'asta Kelly per l'utensile "Lost Bit" presenta un diametro molto più grande di quella dell'utensile standard; è progettata per permettere, oltre al getto del calcestruzzo a gravità, anche l'inserimento delle gabbie di armatura in fondo al palo. Le superfici interne sono di conseguenza completamente lisce.

L'elemento sottostante di perforazione, dotato di una punta a perdere che incorpora il pilota, e l'elemento di compatta-



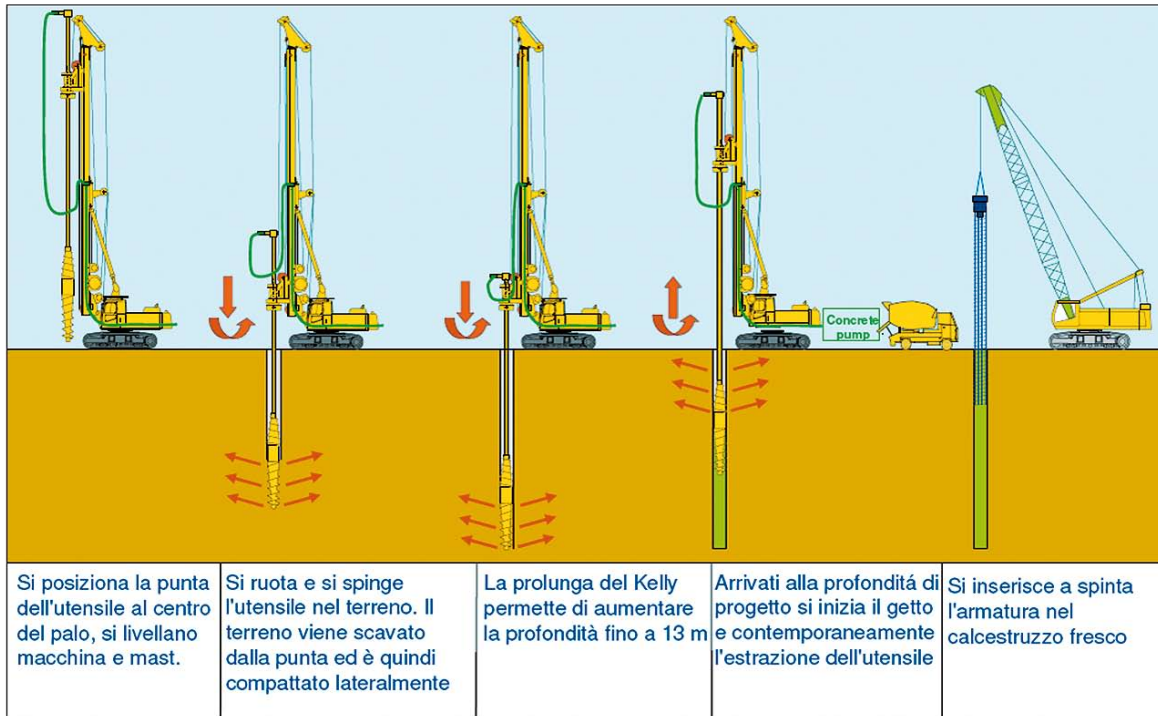


Figura 3
Procedura standard

zione superiore possono venire allungati per permettere la perforazione degli strati di terreno più consistenti.

Anche in questo caso i diametri variano da 360 mm a, generalmente, un massimo di 710 mm.

Le punte di perforazione sono intercambiabili, con due configurazioni delle flangie, e predisposte per diversi tipi di denti al fine di migliorare le prestazioni dell'utensile.

Pertanto, nel caso di procedura "Lost Bit", una volta raggiunta la quota di progetto, si solleva leggermente l'asta, e quindi l'utensile di costipamento, e si inserisce la gabbia all'interno della stessa, lasciandola cadere in modo che stacchi la punta a perdere (Fig. 4); successivamente si inizia a pompare cls e si risollewa l'asta con l'utensile.

I vantaggi della tecnologia lost bit su quella standard sono:

- Facile installazione dell'armatura di qualsiasi forma.
 - Facile installazione dell'armatura anche a grande profondità.
 - Armatura sempre centrata nel palo.
 - Procedura del getto facilitata.
 - Alta produttività.
- Pertanto, le controindicazioni sono:
- Costo della "Punta a Perdere".
 - Maggiore coppia e spinta necessarie per infiggere l'utensile.

2. Vantaggi

I vantaggi nell'utilizzo della tecnologia FDP, quando confrontati alle tecnologie classiche, possono venire sinteticamente descritti come di seguito riportato:

- *Elevata capacità portante*
- Lo spostamento del suolo nell'intorno 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 (Fig. 5).*
- Il terreno viene totalmente costipato all'intorno del palo.

Figura 4
Utensile Lost Bit



Utensile per pali di diametro:
360 mm
440 mm
510 mm
620 mm
710 mm





Figura 5
Si noti il minimo materiale di risulta prodotto da un palo FDP da 620 mm a 28 m di profondità

- L'evitare di asportare materiale dal terreno è ideale, ad esempio, per i lavori in aree contaminate.
- Comunque, praticamente, nessun onere 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.

Generalmente parlando, sappiamo che 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

Per cui, in condizioni favorevoli di utilizzo, cioè in terreni aventi caratteristiche idonee all'addensamento, i ridotti costi di produzione sono garantiti per le seguenti considerazioni:

- Il consumo di calcestruzzo è ridotto rispetto alle altre tecniche che utilizzano utensili a rotazione con asportazione di materiale, poiché tramite tale sistema i volumi di getto vengono controllati in automatico e non sussistono pericoli di "sovrascavi" o cedimenti del palo.
- La combinazione dell'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 personale addetto ne abbassano i costi al metro lineare.
- Il costo per tonnellata di carico applicato è basso; ciò è dovuto all'incremento della capacità portante che rappresenta il risultato della redistribuzione e compattazione del suolo.

Nel caso di terreni aventi caratteristiche quali:

- suolo granulare molto addensato (sabbia, ghiaia);
- suolo coesivo molto consistente (argilla, argilla limosa);
- roccia degradata o fratturata.

Tale tecnica può venire utilizzata anche nel caso ci si debba "ancorare" (cioè il palo non lavora solo per attrito laterale ma anche per portanza di punta) ad un substrato più resistente; infatti, la conformazione dell'utensile, con possibilità di inserimento di prolunghe ad elica fino a 5 m (**Fig. 6**), è tale da essere in grado di scavare per qualche metro in questo materiale e portarlo frantumato verso gli strati superiori, dove può venire costipato lateralmente (**Fig. 7**).



3. La progettazione ed il valore "alfa"

Genericamente parlando, la conoscenza dei risultati di prove di carico statiche assimilabili (eventualmente portate fino al carico limite) sono alla base di una buona progettazione. Importanti sono anche i risultati delle prove penetrometriche statiche e/o dinamiche, al fine di derivare le caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati e definire gli eventuali orizzonti in cui "immorsare" i pali.

Tali informazioni dovrebbero essere conosciute per gestire i calcoli e prima di iniziare la costruzione dei pali operativi; chiaramente, come metodo di controllo, si possono anche eseguire prove di carico su pali sacrificali... situazione che, come sappiamo, accade molto raramente in Italia!

Per quanto riguarda la progettazione della capacità portante, ricordiamo sinteticamente che tale valore è limitato dalla:

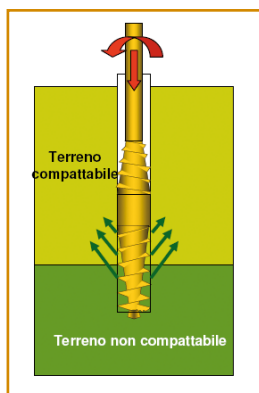


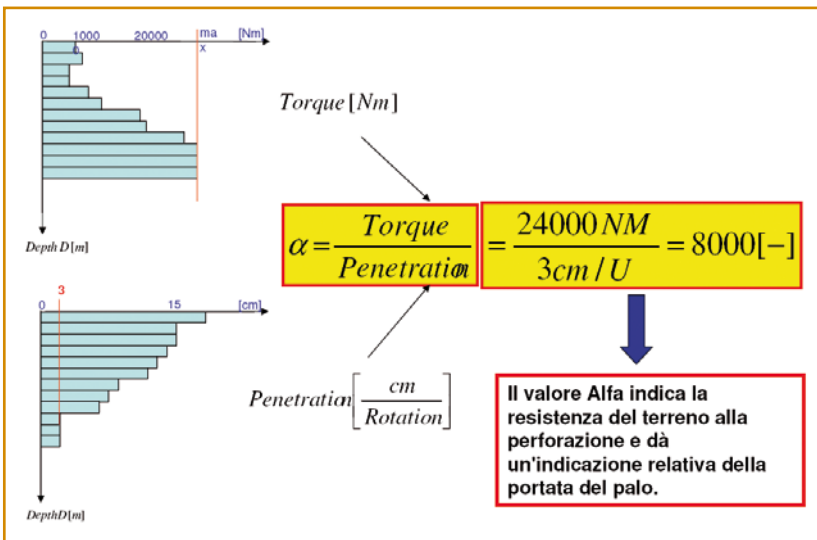
Figura 7
Principio dell'ancoraggio in terreni resistenti

- capacità di carico interna (stress sulla sezione di cls) e
 - capacità di carico esterna (trasferimento del carico dalla superficie esterna e dalla base del fondo palo al suolo).
- La capacità di carico interna dipende dal cls (materiali di cui è composto, mix design, norme vigenti nel paese dove si esegue l'opera, ecc.), mentre la capacità di carico esterna dipende dalle tecniche utilizzate, funzione della esperienza del Progettista e delle normative in uso nel paese di ubicazione del sito (in Germania il metodo di calcolo è in accordo con le DIN 4014).

Chiaramente tutti i materiali ed i parametri in gioco dovranno essere testati in rispetto alle norme vigenti ed alle caratteristiche del sito ma, durante la fase sia di scavo che di getto del palo, grazie al sistema Bauer B-Tronic (Fig. 8), saranno visibili sul display della macchina e registrati tutti



Figura 8
Vista della "sala di controllo" installata a bordo macchina



4. Specifiche tecniche di un'opera in FDP

Di seguito riportiamo come può essere definito un capitolato esecutivo comprendente lavori in FDP. Le presenti specifiche tecniche costituiscono un esempio di riferimento per il completamento delle indicazioni e prescrizioni contenute negli elaborati grafici di progetto, relativamente ai materiali da impiegare, alle norme da rispettare, alle metodologie da adottare nell'esecuzione ed i criteri di accettazione dei Pali trivellati di fondazione con tecnologia FDP (Full Displacement Pile).

Figura 9
Valore "alfa"

Figura 10
Variazione della profondità dei pali in relazione al valore "alfa"

i dati necessari alle verifiche di qualità, quali:

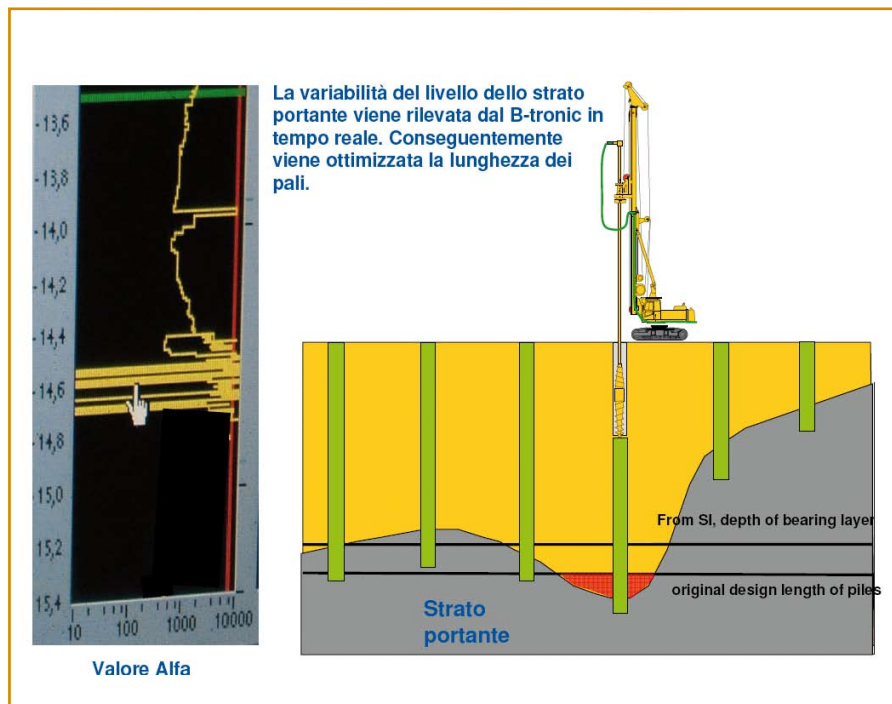
- Profondità.
- Coppia e forza di spinta.
- Velocità di penetrazione.
- Deviazione.
- Pressione del cls e volume.
- Valore "alfa".

Il valore "alfa" è una misura dell'energia utilizzata durante il processo di perforazione (Fig. 9).

In sintesi, tale dato fornisce un'indicazione della consistenza dei vari strati del terreno ed un'indicazione relativa della portata del palo.

Il valore alfa viene visualizzato sul "monitor" dell'operatore in tempo reale.

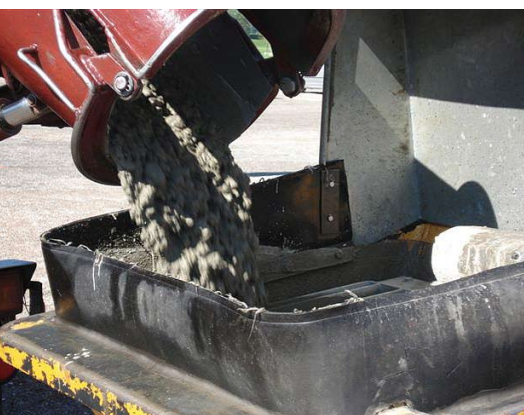
In base a tale valore è eventualmente possibile modificare la lunghezza del palo poichè, realizzando dei pali prova, misurando il valore "alfa" ed eseguendo prove di carico (per valutare la capacità portante), è possibile programmare l'allungamento o l'accorciamento dei pali "esecutivi" in tempo reale, in relazione del dato valore "alfa" definito in precedenza, che si incontra durante la perforazione (Fig. 10).



4.1 Materiali

Figura 11 4.1.1 Conglomerato cementizio

Tipica consistenza di un cls per getto di un palo FDP (CH)



Qualora l'Appaltatore decida di predisporre un proprio impianto di produzione di calcestruzzo, interno all'area di cantiere, egli dovrà preventivamente, all'inizio dei lavori, procedere alle certificazioni dell'impasto stesso mediante prove di laboratorio e qualifica del prodotto ottenuto.

La dimensione massima degli aggregati dovrà essere inferiore al valore minimo di interspazio tra le armature e comunque non superiore a 32 mm.

Il conglomerato cementizio dovrà risultare di classe di resistenza bassa o media (D.M. 25/09/2005), comunque con resistenza caratteristica pari a 30 MPa, salvo diverse indicazioni prescritte negli elaborati di progetto.

Il rapporto acqua/cemento non dovrà superare il valore di 0,60 nella condizione di aggregato saturo a superficie asciutta, con un quantitativo minimo di cemento pari a 360 kg/m³.

In accordo con le norme UNI-EN206, il calcestruzzo dovrà essere di classe maggiore o uguale a S4; si raccomanda un «slump» al cono di Abrahams S >18 (Fig. 11).

Figura 13
Giunzione in opera di gabbie FDP

Per le modalità da seguire nello «Slump Test», per la determinazione dell'abbassamento, si richiama espressamente quanto prescritto nella norma UNI EN 9418:1998.

Il calcestruzzo dovrà essere fornito con dichiarazione di conformità del prodotto e dei certificati di conformità (marchiatura CE) per i materiali impiegati nel suo confezionamento.

Figura 12
Gabbie utilizzate al Passante di Mestre

Per soddisfare i requisiti sopra indicati potrà essere aggiunto all'impasto un idoneo additivo superfluidificante non aerante; è ammesso altresì l'uso di ritardanti di presa o superfluidificanti con effetto ritardante (UNI EN 934-2:2001).



I prodotti commerciali che l'Appaltatore si propone di usare dovranno essere sottoposti all'esame ed all'approvazione preventiva della Direzione Lavori.

4.1.2 Armature metalliche

Nel caso di utilizzo di armature metalliche, queste ultime dovranno soddisfare le prescrizioni di legge vigenti ed essere conformi al progetto; in particolare si prevede l'utilizzo di un acciaio Fe44K controllato.

Le armature verranno pre-assemblate fuori opera in "gabbie" (Fig. 12); i collegamenti saranno ottenuti con legatura in filo di ferro oppure mediante punti di saldatura elettrica oppure con appositi morsetti.

La quantità e la tipologia di armatura prevista risulta dagli elaborati grafici di progetto.

Le armature trasversali dei pali saranno costituite da staffe in tondino esterne ai ferri longitudinali, aventi diametro minimo pari a 10 mm e passo come previsto dagli elaborati grafici. Le gabbie di armatura dovranno essere perfettamente pulite ed esenti da ruggine; queste ultime verranno messe in opera prima dell'inizio del getto, nel caso dell'utilizzo della tecnologia "FDP lost bit", per gravità ed eventualmente vibrare, nel caso di utilizzo della tecnologia "FDP standard".

In caso di gabbie composte da più elementi verticali, la giunzione verrà realizzata con adeguata sovrapposizione (Fig. 13).



4.2 Esecuzione delle opere

4.2.1 Soggezioni geotecniche, idrogeologiche ed ambientali

L'esecuzione dei pali presuppone da parte dell'Appaltatore la conoscenza, oltre che delle prescrizioni di progetto circa le caratteristiche degli elementi, anche delle informazioni inerenti il terreno da attraversare.

In particolare si dovrà valutare con attenzione i seguenti

particolari aspetti:

- presenza di strati altamente permeabili ($D_{10} > 4 \text{ mm}$);
- presenza di terreni che possono essere causa di instabilità dello scavo;
- presenza di livelli piezometrici artesiani;
- chimica dei materiali da attraversare e dell'acqua di falda, con presenza di componenti che possono avere effetti negativi sui materiali utilizzati nelle varie fasi di costruzione del palo.

Dove sono previste condizioni di stretta interferenza con strutture confinanti alla zona di costruzione si presuppone da parte dell'Appaltatore la conoscenza dello stato in essere. In particolare, normalmente, esiste l'obbligo per l'Appaltatore di verifica e collaborazione nella realizzazione di tutte le lavorazioni atte al presidio delle opere interrato, dando luogo alla preparazione dei piani di lavoro tali da garantire la corretta esecuzione dei lavori in condizioni di sicurezza, al fine di evitare possibili inconvenienti a cose o persone.

I sottoservizi, sottostrutture, tubazioni e cavi elettrici, eventualmente presenti nel volume di terreno interessato dagli scavi, dovranno essere preventivamente individuati e devianti in modo da evitare che risultino danneggiati, o provochino danni, a seguito delle lavorazioni.

In presenza di terreni superficiali instabili (per esempio zone di riporto) o nelle zone di risanamento di strutture esistenti interrate, eventualmente preventivamente demolite, dovranno essere realizzate tutte le azioni preventive per la protezione del tratto di scavo instabile.

Per gli aspetti e le problematiche esecutive relative a temi ambientali, quali presenza d'inquinanti nel terreno o restrizioni nella destinazione dei materiali di risulta, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente ed alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale (DM n.152, Norme in Materia Ambientale, 3 Aprile 2006).

Inoltre, durante l'esecuzione dovrà essere posta attenzione alle lavorazioni in adiacenza a strade aperte al traffico, o edifici abitati, che dovranno essere eseguite con tutte le segnalazioni e le precauzioni idonee ad evitare danni a persone o cose.

Si avrà, chiaramente, cura di non provocare inquinamenti di superficie o della falda per incontrollate discariche dei detriti; il materiale di risulta, benché minimo, dovrà essere sistematicamente portato alla discarica a meno di riutilizzi progettati preventivamente.

4.2.2 Preparazione del piano di lavoro

Il piano di lavoro dovrà avere idonee caratteristiche di portanza e capacità drenante, in modo tale da garantire le condizioni di sicurezza per la movimentazione e per le operazioni a cui sono adibite le attrezzature utilizzate per le lavorazioni in oggetto.

4.2.3 Tracciamento

Prima di iniziare la perforazione, generalmente a cura e spese dell'Appaltatore, si dovrà indicare sul terreno la

posizione dei pali (**Fig. 14**) mediante appositi picchetti sistemati in corrispondenza dell'asse di ciascun palo.

Su ciascun picchetto dovrà essere riportato il numero progressivo del palo quale risulta dalla pianta della palificata. Tale pianta, redatta e presentata alla Direzione Lavori dall'Appaltatore, dovrà indicare la posizione di tutti i pali.



Figura 14
Tracciamento laser pali FDP (CH)

4.2.4 Perforazione

Il tipo, la potenza e la capacità operativa delle attrezzature dovranno in ogni caso essere adeguate alla consistenza del terreno da attraversare, alle caratteristiche ed alle dimensioni dei pali da eseguire nei tempi previsti.

Le attrezzature impiegate dovranno essere conformi alle norme EN996.

L'attrezzatura di scavo dovrà essere dotata di opportuni sistemi meccanici e/o elettronici per il controllo della profondità di scavo.

Durante la fase di scavo saranno visibili sul display della macchina e registrati su apposito sistema elettronico tutti i dati necessari alle verifiche di qualità quali:

- Profondità
- Coppia e forza di spinta
- Velocità di penetrazione
- Velocità di estrazione
- Deviazione
- Volume del cls gettato
- Pressione del cls nel palo durante la fase di getto
- Fattore "alfa" (**Fig. 15**).

Figura 15
Vista di una schermata tipo del B-Tronic

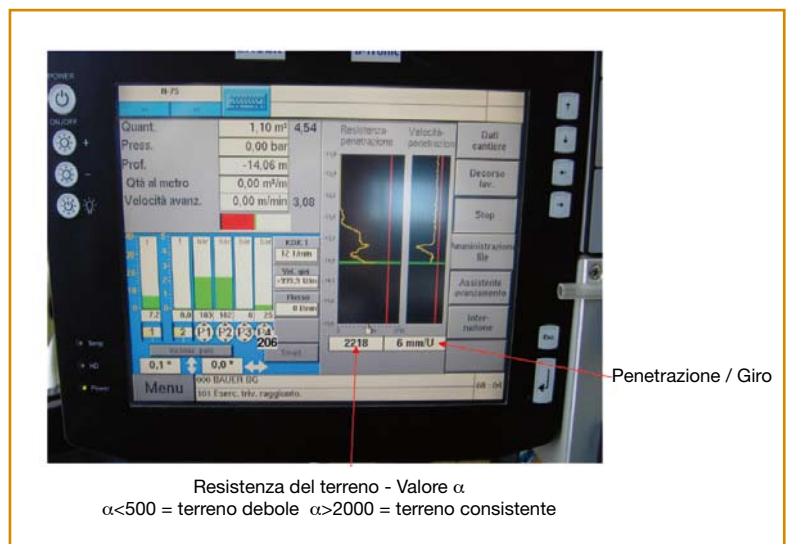




Figura 16
Pompaggio cls
per palo FDP

un ritmo tale da consentire di completare il getto del palo senza soluzione di continuità e nel più breve tempo possibile (Fig. 16). In ogni caso ciascun getto dovrà venire alimentato con una cadenza effettiva, inclusi tutti i tempi morti, non inferiore a 20 m³/h e, in ogni caso, con un'interruzione mai superiore ai 20 minuti. Il getto di un palo dovrà comunque essere completato in un tempo tale che il calcestruzzo rimanga sempre lavorabile.

Figura 18
Vista in cabina
del sistema di
controllo della
fase di getto

La centrale di confezionamento dovrà quindi consentire l'erogazione nell'unità di tempo di volumi di conglomerato cementizio almeno doppi di quelli teorici richiesti, secondo le prescrizioni di cui al punto seguente. I mezzi di trasporto del conglomerato cementizio dovranno essere tali da evitare segregazioni dei componenti.

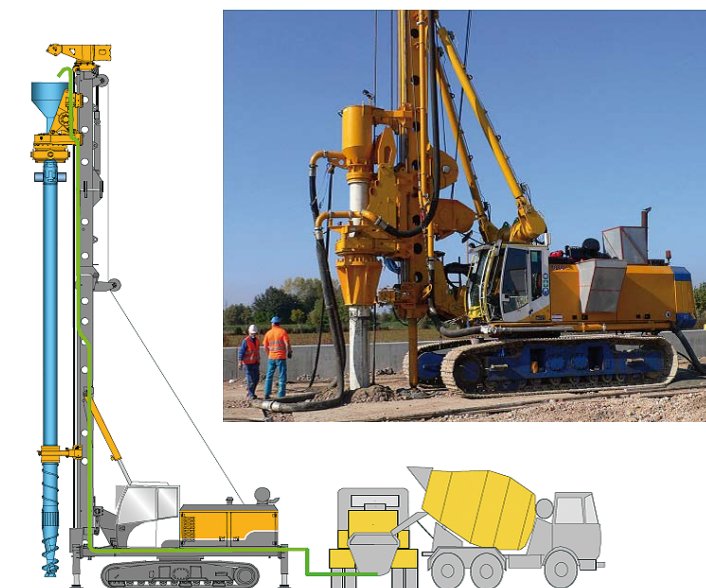
4.2.6 Posa in opera del conglomerato cementizio

Il getto del conglomerato cementizio avverrà impiegando l'asta di perforazione (Fig. 17).

L'interno di tale tubo dovrà essere pulito, privo di irregolarità e strozzature.

Figura 17
Schema di
funzionamento
della fase di getto

Nel caso di tecnologia "FDP lost bit", il tubo sarà provvisto, all'estremità superiore, di una tramoggia di carico, avente una capacità di 0.4÷0.6 m³, il cui stato e volume viene tenuto sotto



4.2.5 Preparazione e trasporto del conglomerato cementizio

Il conglomerato cementizio dovrà avere le caratteristiche richiamate dalla presente Specifica Tecnica.

Il conglomerato cementizio dovrà essere confezionato e trasportato con

controllo tramite una apposita telecamera a CC installata in idonea posizione sulla perforatrice; tale sistema dovrà essere sotto il controllo dell'operatore in cabina (Fig. 18).

All'inizio del getto si dovrà disporre di un volume di conglomerato cementizio pari a quello del tubo di convogliamento e di almeno 3 o 4 m di palo.



Telecamera e schermo separato per visualizzare la tramoggia ed il livello del calcestruzzo

Telecamera: vista della tramoggia

4.3 Documentazione dei lavori

L'esecuzione di ogni singolo palo dovrà comportare la registrazione su apposita scheda, normalmente compilata dall'Appaltatore in contraddittorio con la Direzione Lavori, dei seguenti dati:

- identificazione del palo;
- data di inizio perforazione e di fine getto;
- profondità effettiva raggiunta dalla perforazione;
- "slumps" del conglomerato cementizio (UNI EN 12350-2);
- assorbimento totale effettivo del conglomerato cementizio e volume teorico del palo.

Nella documentazione generale dovrà inoltre comparire una scheda con le caratteristiche dei componenti del conglomerato cementizio.

Tale scheda dovrà essere riportata su apposito modello che dovrà essere trasmesso dall'Appaltatore alla Direzione Lavori.

Nel caso di utilizzo del "fattore alfa" quale elemento di scelta delle profondità di lavoro, la Direzione Lavori potrà richiedere la restituzione grafica, generata dal sistema B-tronic, di tale parametro.

4.4 Controlli

La Direzione Lavori controllerà, in fase di esecuzione del foro, la rispondenza delle stratigrafie di progetto con quelle effettive.

A richiesta della Direzione Lavori, alla fine della perforazione si misurerà, in contraddittorio, la profondità del foro tramite uno scandaglio e si verificherà tale valore con il dato riferito dal sistema di controllo elettronico installato sull'attrezzatura; l'operazione verrà effettuata anche all'inizio ed al termine di eventuali interruzioni prolungate della lavorazione, in corrispondenza dei turni di riposo o per altri motivi.

Nel caso di misura delle deviazioni, i dati monitorati dovranno essere restituiti mediante opportuni diagrammi riportanti

l'andamento dell'asse palo con la profondità, nelle due direzioni trasversali.

Durante la formazione del fusto del palo, si dovrà provvedere alla esecuzione di:

- una serie di prove di carico a rottura su provini di conglomerato cementizio prelevati in numero e modalità conformi a quanto prescritto nel presente "Capitolato Speciale di Appalto" ed inoltre quando richiesto dalla Direzione Lavori;
- una prova con il cono per ogni giornata o 80 m³ di conglomerato cementizio impiegato (abbassamento al cono UNI EN 12350-2);
- il rilievo della quantità di conglomerato cementizio impiegato per ogni palo.

4.5 Prove sui pali eseguiti

Le prove di carico sono prove di comportamento dell'opera sotto le azioni di esercizio.

Le prove di carico saranno effettuate con le modalità di cui al capitolo 8 del D.M. 14/9/2005.

Il numero dei pali da sottoporre alla prova di carico deve essere stabilito in base all'importanza dell'opera ed al grado di omogeneità del sottosuolo; tale numero deve essere pari ad almeno il 1% del totale del numero dei pali.

La scelta dei pali di prova sarà affidata alla Direzione Lavori e comunque si dovrà tenere presente la necessità di interessare le diverse situazioni del sottosuolo, evitandone la concentrazione.

La prova deve essere eseguita fino ad un carico pari a 1,5 volte il carico di esercizio.

Al momento della prova, il conglomerato cementizio del palo dovrà avere almeno ventotto giorni di stagionatura. Le modalità di applicazione, la durata del carico e così pure la successione dei cicli di carico e di scarico saranno prescritti dalla Direzione Lavori anche in funzione della natura dei terreni di fondazione.

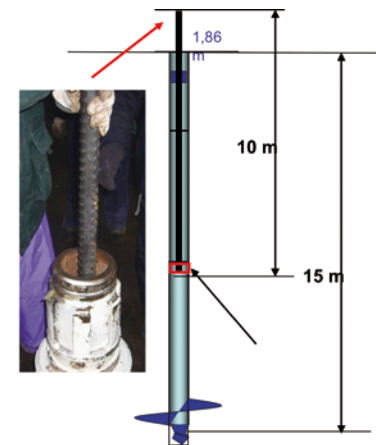
Il carico sarà applicato tramite un martinetto, che trova contrasto mediante un'adeguata zavorra o pali di reazione (**Fig. 19**), il cui manometro (o cella di carico) dovrà essere corredato da un certificato di taratura di data non anteriore ad un mese.

Le misure dei cedimenti dovranno essere rilevate mediante tre micrometri centesimali, disposti a 120° attorno al palo, interposti al terreno in punti sufficientemente distanti dal palo di prova e dal sistema di contrasto, così da evitare l'influenza delle operazioni di carico e scarico.

I supporti di tale struttura devono distare non meno di 3,0 m e non meno di 3 diametri dal palo di prova ed infine non meno di 2,0 m dalla impronta della zavorra o da eventuali pali di reazione (**Fig. 20**).



Perforazione del palo di contrasto



Principio di funzionamento e di installazione della barra di tensione

La struttura portamicrometri dovrà essere protetta da vibrazioni ed urti accidentali e schermata dai raggi solari per minimizzare le deformazioni di natura termica. Di ciascuna prova dovrà essere redatto apposito verbale, controfirmato dalle parti, nel quale saranno riportati tra l'altro: data e ora di ogni variazione di carico, entità del carico, le letture ai micrometri ed il diagramma carichi-cedimenti. Al verbale verranno allegati i certificati di taratura del manometro (o cella di carico).

In taluni casi la Direzione Lavori potrà richiedere l'esecuzione di prove di carico orizzontali; date le peculiarità della prova, le modalità esecutive ed il programma di carico dovranno essere di volta in volta stabiliti dalla Direzione Lavori e riportati sul verbale di prova.

Figura 19
Sistema Bauer per la realizzazione dei pali di contrasto

Figura 20
"Castello" di carico



4.6 Controlli non distruttivi sui pali eseguiti

Scopo dei controlli non distruttivi è quello di verificare le caratteristiche geometriche e meccaniche dei pali, non compromettendone l'integrità strutturale.

A tale scopo potrà essere richiesta l'esecuzione di:

- prove geofisiche e
- carotaggio continuo meccanico.

4.6.1 Prove geofisiche

Possono essere eseguite mediante emissione di impulsi direttamente lungo il fusto, entro fori precedentemente predisposti.

Il numero dei controlli sarà di volta in volta stabilito dal Collaudatore in corso d'opera e dalla Direzione Lavori anche in relazione al tipo di palo, alle caratteristiche geotecniche ed idrogeologiche dei terreni di fondazione ed alle anomalie riscontrate durante l'esecuzione dei pali.

I pali da sottoporre a controllo mediante prove geofisiche, anche nel numero e posizione, saranno prescelti dal Collaudatore in corso d'opera e dalla Direzione Lavori.

Sui pali prescelti per tali prove, lungo il fusto, dovrà essere predisposta, prima delle operazioni di getto, l'installazione di tubi estesi a tutta la lunghezza del palo, entro cui possono scorrere le sondine di emissione e ricezione degli impulsi. Nei fori si dovranno inoltre eseguire delle misure inclinometriche, al fine di ricavare la distanza tra foro trasmittente ed il foro ricevente.

I tubi, nel numero di 4, saranno solidarizzati alla gabbia di armatura, resi paralleli tra loro e protetti dall'ingresso di materiali.

Le prove dovranno essere eseguite alternando, entro i fori, le posizioni delle sonde trasmittente e ricevente.

Le prove d'integrità verranno eseguite non prima di 28 giorni dal termine delle operazioni di getto. Il Collaudatore in corso d'opera e la Direzione Lavori potranno richiedere la ripetizione delle prove con un tempo di maturazione anche superiore

I percorsi di misura verranno eseguiti per tutte le combinazioni possibili di allineamento fra i tubi presenti nel palo.

4.6.2 Carotaggio continuo meccanico

Il carotaggio dovrà essere eseguito con utensili ed attrezzature tali da garantire la verticalità del foro e consentire il prelievo continuo allo stato indisturbato del conglomerato e, se richiesto, del sedime d'imposta.

Allo scopo saranno impiegati doppi carotieri provvisti di corona diamantata aventi diametro interno minimo non inferiore a 1,2 volte il diametro massimo degli inerti e comunque non inferiore a 60 mm.

Nel corso della perforazione dovranno essere rilevate le caratteristiche macroscopiche del conglomerato e le discontinuità eventualmente presenti, indicando in dettaglio la posizione ed il tipo delle fratture, le percentuali di carotaggio e le quote raggiunte con ogni singola manovra di avanzamento.

Su alcuni spezzoni di carota saranno eseguite prove di laboratorio atte a definire le caratteristiche fisico-meccaniche e chimiche.

All'interno del foro potrà essere richiesta la predisposizione e l'esecuzione di prove di permeabilità.

Al termine del carotaggio si provvederà a riempire il foro mediante boiaccia di cemento immessa dal fondo foro.

Il carotaggio si eseguirà, quando ordinato dalla Direzione Lavori, in corrispondenza di quei pali ove si fossero manifestate inosservanze rispetto alle disposizioni dei Capitolati d'Appalto.

4.7 Tolleranze geometriche

Saranno accettate le seguenti tolleranze sull'assetto geometrico del palo (**Fig. 21**):

- sulla lunghezza: uguale a $\pm 1\%$;
- deviazione dell'asse del palo rispetto all'asse di progetto: $< 2,5\%$;
- errore rispetto alla posizione planimetrica: $\pm 0,15$ m in tutte le direzioni.

Si osservi che per la definizione delle tolleranze geometriche, si assume che alla testa il centro del palo corrisponda al centro geometrico delle armature longitudinali.

Le tolleranze sul diametro nominale D , verificate in base ai volumi di conglomerato cementizio assorbito e rilevate con la frequenza indicata successivamente, sono:

- per ciascun palo, in base all'assorbimento complessivo, si ammette uno scostamento dal diametro nominale compreso tra « $-0,01D$ » e « $+0,1D$ »;
- per ciascuna sezione dei pali sottoposti a misure dell'assorbimento dose per dose, si ammette uno scostamento dal diametro nominale compreso tra « $-0,01D$ » e « $+0,1D$ ».

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire, a suo esclusivo onere e spesa, tutte le opere sostitutive e/o complementari che a giudizio della Direzione Lavori, sentito il Progettista, si rendessero necessarie per avviare all'esecuzione di pali in posizione e/o con dimensioni non conformi alle tolleranze qui stabilite, compresi pali aggiuntivi ed opere di collegamento.

Figura 21
Si noti, lavoro Ikea a PD, che mentre la perforatrice sta lavorando in FDP (dx) sono già iniziate le operazioni di montaggio delle strutture prefabbricate (sn): in questo caso, la precisione è realmente fondamentale!



5. La prima referenza in Italia

Stiamo parlando del progetto TAV, nodo di Modena, lotto gestito dalla Pizzarotti & C. S.p.A., ove l'Impresa Ariola S.r.l. ha brillantemente proposto e sperimentato l'FDP a 30 metri di profondità. Tale sistema è stato installato su di una Bauer BG24. La tecnologia in uso durante le prove comparative era un classico CFA a 30 m di profondità, diametro 500 mm, colonne ad interasse di ca. 2 m, in argilla.

In **Fig. 22** è visibile il materiale di risulta del CFA, mentre in **Fig. 23** si può vedere l'insignificante quantità prodotta dal palo FDP eseguito nella stessa area, a pochi metri di distanza.

È chiaro che il terreno è



stato compattato senza praticamente asportazione dello stesso, provocando il costipamento laterale delle pareti del foro, con i seguenti vantaggi comparativi, rispetto alla tecnologia CFA, riscontrati in cantiere:

- maggior capacità portante a parità di profondità;
- minor sfrido in cls;
- minor materiale di risulta da smaltire e, non da sottovalutare;
- maggior velocità di esecuzione a parità di profondità e diametro.

Una colonna in FDP, 30 metri di profondità, 500 mm di diametro, viene realizzata in un tempo medio di 15 minuti. È stata mantenuta una produzione media industriale di ca. 20 colonne al giorno, con punte di 28 colonne a turno.

6. Cantiere di Benken, Svizzera

Questa esperienza è stata molto interessante per il "mercato" italiano, avendo avuto il pregio di mostrare operativamente il funzionamento di un lavoro in FDP ed una applicazione pratica di "prodotto finale" realizzato rapidamente ed in tempi certi...

L'Impresa svizzera, specializzata in FDP, ha utilizzato in questo caso una BG18, le cui peculiarità principali sono:

• Peso macchina (operativo):	58,0 t
• Coppia massima:	176 kNm
• Spinta "Pull-down"	260 kN
• Altezza massima:	25,5 m
• Profondità massima:	21,0 m
• Diametro FDP:	420 mm
• Lunghezza (trasporto):	19,40 m
• Larghezza (trasporto):	3,00 m
• Altezza (trasporto):	3,35 m
• Peso macchina (trasporto):	48,0 t

Si trattava delle opere di fondazione finalizzate all'allargamento di un sito operativo già esistente; dal punto di vista progettuale era necessario eseguire 750 pali, del diametro 420 mm, a 14 metri di profondità. Dal punto di vista litologico, i primi 7 metri da attraversare erano rappresentati da sabbie e ghiaie molto consistenti ed i successive 7 metri da sabbie limose e ghiaiose di media consistenza.

L'elevata resistenza dello strato superiore aveva obbligato, in un primo momento, ad una pre-perforazione mediante una lunga elica disagratrice; successivamente, una prolunga dell'utensile FDP (**Fig. 24**) ha permesso di attraversare lo strato consistente senza la pre-perforazione, migliorando notevolmente le prestazioni precedenti.

La produttività industriale in cantiere, infatti, si è in seguito attestata sui 30 pali/giorno, con punte di 40 perforazioni compreso getto e posa dell'armatura.

In ca. 15 minuti un palo veniva perforato e gettato; l'infissione della gabbia era eseguita con l'ausilio dell'escavatore (**Fig. 25**), mentre la macchina Bauer operava su un palo successivo.

La squadra di lavoro, molto affiatata, era composta da solo 4 persone:

- 1 operatore capo cantiere;
- 1 escavatorista (dedicato alla pulizia ed all'infissione delle gabbie di rinforzo);
- 1 operatore alla pompa di getto;
- 1 manovale.



Figura 22
CFA, materiale di risulta ...

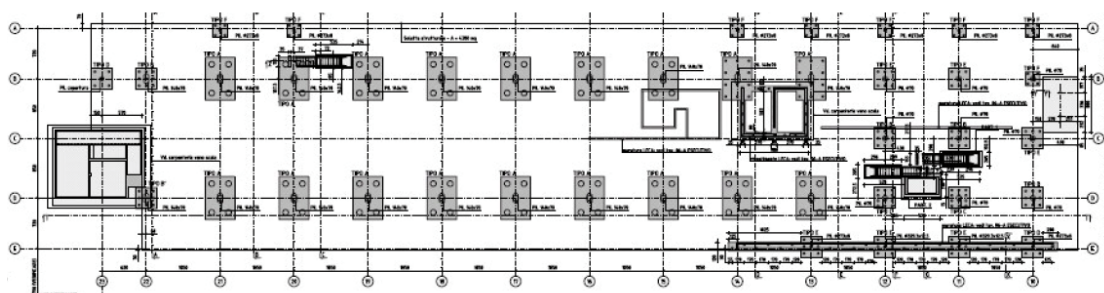
Figura 23
FDP, materiale di risulta... stesso sito e profondità della figura precedente (in CFA)

Figura 24
Prolunga disagratrice

Figura 25
Rudimentale ma efficace!

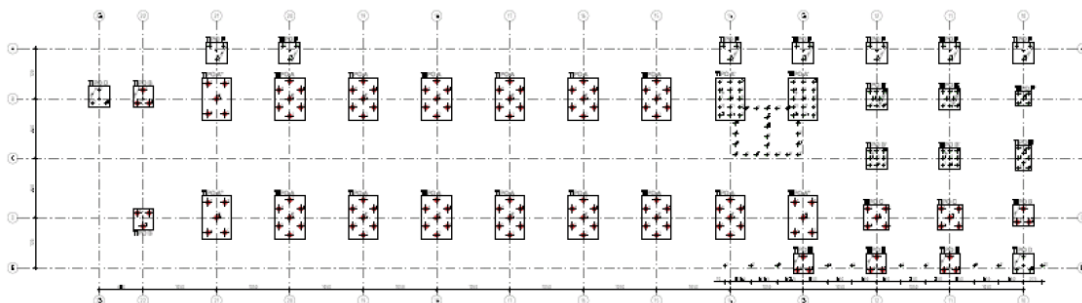
PROGETTO ORIGINALE - Pali diametro 800 mm rivestiti. Micropali diametro 250 mm

Figura 26
Schema
fondazioni



PROGETTO ALTERNATIVO - Pali FDP diametro 610 mm. Micropali diametro 250 mm

Figura 27
BG28 allestita
ad FDP
al lavoro



7. VIPP, Porto di Venezia

Nel porto di Venezia, sulla Banchina Isonzo, sono state progettate fondazioni profonde costituite da pali di medio diametro per la realizzazione di edifici per servizi portuali; il progetto iniziale prevedeva 80 pali da 800 mm di diametro, lunghezza 21,3 m da p.c. e 225 micropali diametro 250 mm e lunghezza 21 m, con un volume previsto di materiale di risulta pari a circa 1.000 mc e 93 tonnellate di gabbie di rinforzo.

Il progetto alternativo effettivamente eseguito (**Fig. 26**) ha utilizzato invece la tecnologia FDP, con 134 pali del diametro 610 mm e lunghezza 21,3 m da p.c. e 136 micropali diametro 250 mm e lunghezza 21 m, con un volume di materiale di risulta di soli 200 mc e un peso di gabbie di rinforzo di 79 tonnellate.

I tempi stimati di realizzazione sono passati dai 37 giorni del progetto originario ai 22 giorni del progetto eseguito con tecnologia FDP.

L'intero sistema FDP è stato montato su un carro base Bauer BG28 (**Fig. 27**), i cui dati tecnici principali sono:

• Peso macchina (operativa):	83,3 t
• Coppia massima:	233 kNm
• Spinta "Pull-down"	330 kN
• Altezza totale:	35,7 m
• Profondità massima:	30,2 m
• Diametro FDP:	510 mm
• Lunghezza (trasporto):	20,56 m
• Larghezza (trasporto):	3,00 m
• Altezza (trasporto):	3,60 m
• Peso macchina (trasporto):	66,5 t

La tecnologia sfruttata è stata l'FDP del tipo a lost bit.

La produzione si è attestata a 8 pali al giorno, in materiali

argilloso-limosi di medio bassa consistenza con falda salmastra a p.c..

Su alcuni pali eseguiti sono state effettuate prove di carico che hanno fornito i risultati attesi; infatti, con un carico di esercizio di 130 tonnellate, la massima deformazione del palo è stata di 2,46 mm (con deformazione elastica di 1,7 mm), mentre a 1,5 volte il carico di esercizio, ossia 195 tonnellate, la massima compressione è stata di 4,5 mm, di cui 2,6 mm di deformazione elastica.

8. Ariola, Ikea di Padova

Per l'ampliamento del punto vendita e nuovo parcheggio multipiano Ikea a Padova, sono state progettate fondazioni profonde su pali per evitare cedimenti della struttura in fase di esercizio, in quanto i terreni presenti (costituiti in gran parte da argille e limi soffici e compressibili, immersi in falda da ca. -2 m dal p.c.) non garantivano una adeguata capacità portante.

Il progetto originario delle fondazioni prevedeva 216 pali trivellati con diametro 800 mm e 446 micropali con diametro 250 mm, entrambi a profondità di 23,5 m dal p.c.; il materiale di risulta, in questa configurazione, sarebbe stato di circa 3.000 mc, con circa 225 tonnellate di acciaio, ed una tempistica esecutiva di circa 75 giorni.

Il progetto alternativo, utilizzando l'FDP con carro base Bauer BG24H, ha comportato l'esecuzione di 372 FDP con



diametro 610 mm (**Fig. 28**) e profondità 24 m dal p.c. e nessun micropalo, con un volume di risulta di soli 400 mc ed un peso totale di acciaio di 150 tonnellate.

Per quanto riguarda la tempistica esecutiva, quest'ultima è stata di soli 47 giorni, con punte di produzione di 13 pali al giorno (circa 45 minuti tra posizionamento, perforazione, inserimento gabbia di rinforzo e getto).

Figura 28
Pali realizzati prima della costruzione del plinto



Figura 29
Si noti il well point a sinistra e la BG 28 al lavoro

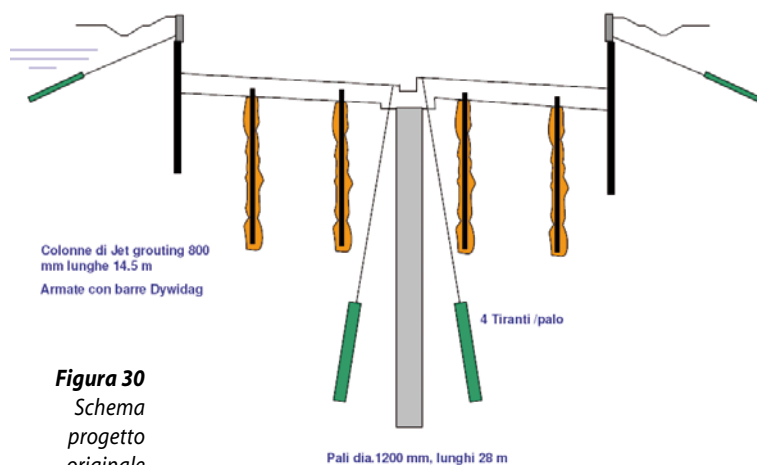


Figura 30
Schema
progetto
originale

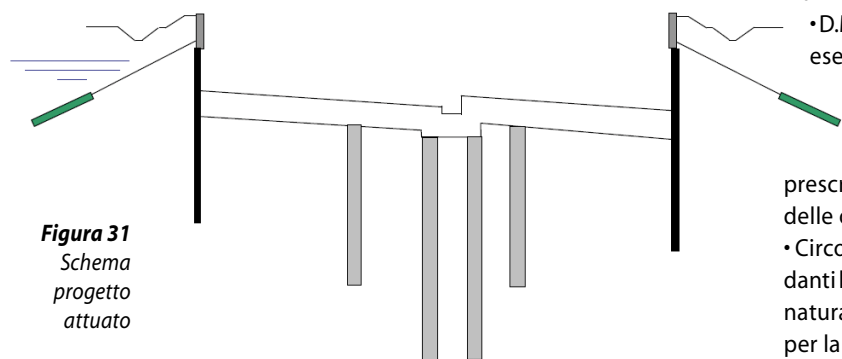


Figura 31
Schema
progetto
attuato

9. Dolomiti Rocce, Passante di Mestre

Per il passante autostradale di Mestre, a Dolo in Località Caltana, sono state progettate opere di ancoraggio della soletta inferiore del sottopassaggio finalizzate a resistere alle spinte idrostatiche ed alle azioni dei terreni "rigonfianti".

Tali terreni sono costituiti da strati di argille e argille limose, intercalati da locali lenti limoso-sabbiose e falda a 2,5 m da p.c.; questa situazione idrogeologica ha reso necessario il ricorso alla tecnologia well point per deprimere la falda fino a una quota di sicurezza per gli scavi previsti intorno ai 5 m. (Fig. 29).

Il progetto originario prevedeva colonne di Jet Grout da 800 mm, rinforzate da barre Dywidag e pali trivellati da 1200 mm di diametro e lunghezza 28 m, con 4 tiranti per palo (Fig. 30).

Il progetto alternativo realizzato ha invece fatto ricorso alla tecnologia FDP con pali da 610 mm lunghi circa 24 m, utilizzando il carro base Bauer BG28 (Fig. 31).

La produzione si è attestata su 8-9 pali al giorno, con tempi di perforazione di circa 20-25 minuti, a causa della presenza di due livelli addensati in profondità che hanno richiesto maggiore tempo per attraversarli.

10. Principali normative di riferimento

Tutti i materiali, manufatti, attrezzature, sistemi di prova e collaudo, modalità esecutive (Fig. 32) e di messa in opera ecc. dovranno sottostare ai dettami di Leggi, Decreti, Regolamenti e Circolari Ministeriali vigenti, nonché alle normative UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione) e successive aggiunte, modificazioni ed aggiornamenti che verranno rese pubbliche dall'UNI, anche se non espressamente richiamate.

Di seguito si richiamano, in maniera indicativa e non necessariamente esaustiva, le principali norme applicabili prescrivendo un'opera di fondazione che utilizzi la tecnologia del FDP.

- Legge 5 novembre 1971, n° 1086: "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso e a struttura metallica".

- Legge 2 febbraio 1974, n° 64: "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".

- D.M. 3 dicembre 1987: "Norme tecniche per progettazione, esecuzione e collaudi delle costruzioni prefabbricate".

- D.M. 11 marzo 1988: "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di fondazione".

- Circolare LL PP N° 30483 del 24/09/1988 "Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".

- Circolare Min. LL.PP: 16 marzo 1989: "Istruzioni relative al D.M. 3/12/87, Norme tecniche per progettazione, esecuzione e collaudi delle costruzioni prefabbricate".

- D.M. 9 gennaio 1996: "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche".

- D.M. 16 gennaio 1996: "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".

- Circ. Min. LL.PP. 4 luglio 1996, n.° 156AA.GG/STC.: "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996".

- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20.3.2003 – Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica – G.U. n.72 del 8.5.2003, Supplemento Ordinario n.105.

- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3316 del 2.10.2003 – Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 Marzo 2003.

- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3431 del 3.5.2005 – Ulteriori modifiche ed integrazioni all'Ordin-

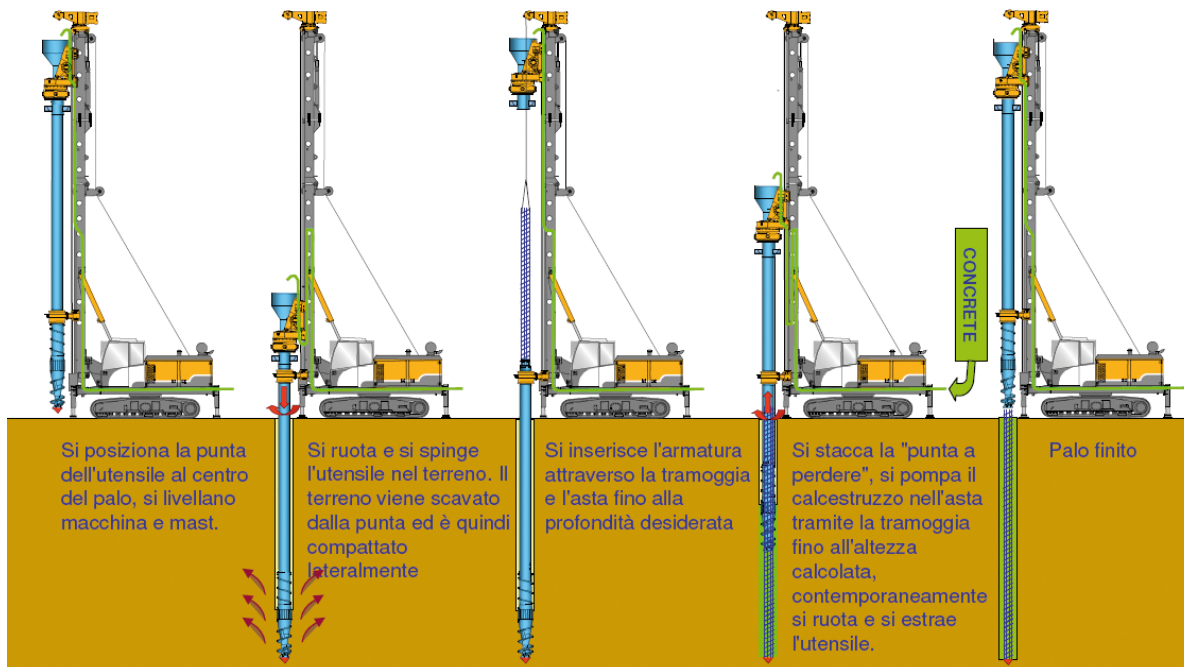


Figura 32
Modalità
esecutive del
FDP del tipo
a "Lost Bit"

nanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

- Decreto Ministeriale del 14.09.2005 – Norme Tecniche per le Costruzioni – G.U. n.222 del 23.9.2005, Supplemento Ordinario n.159.
- Eurocodice 0 – Criteri generali di progettazione strutturale – UNI EN 1990 del Maggio 2004.
- Eurocodice 7.1 – Progettazione geotecnica – Parte 1:Regole generali – UNI EN 1997-1 del Febbraio 2005.
- Eurocodice 8.1 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici – UNI EN 1998-1 del Marzo 2005.
- Eurocodice 8.5 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici – UNI EN 1998-5 del Gennaio 2005.
- CNR-UNI 10011/88: "Costruzioni di acciaio: istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione".
- UNI-EN 197-1 Cemento, parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni.
- UNI-EN 206-1 Concrete-part 1: Specification, performance, production and conformity.
- UNI-EN 791:1997, Macchine perforatrici-sicurezza.
- UNI-EN 996:1995, Apparecchiature di palificazione – Requisiti di sicurezza.
- UNI-EN 1536: "Esecuzione di lavori geotecnici speciali – Pali trivellati (1999).
- EN 10080: Steel for the reinforcement of concrete welded ribbed reinforcing steel: general.
- UNI EN 15609:2006, Specificazione e qualificazione di saldature per materiali metallici – specificazione delle procedure di saldatura – parte 1 – saldature ad arco.
- ASTM D 1143-81, Standard Test Method for Piles Under

Static Axial Compressive Load, 1987.

- API American Petroleum Institute – Spec 13 A Specification for Oil-Well Drilling Fluid Materials.
- API American Petroleum Institute – Spec RP 13 B Standard Procedure for Field Testing drilling Fluids.

Bibliografia

- Bringiotti M., Bottero D., *Consolidamenti & Fondazioni*, Edizioni PEI, Parma, 2003.
- Bringiotti M., *Dal Cutter Soil Mix al Triple Auger, I° parte*, Quarry & Construction, Edizioni PEI, Parma, settembre 2004.
- Bringiotti M., *Dal Cutter Soil Mix al Triple Auger, II° parte*, Quarry & Construction, Edizioni PEI, Parma, dicembre 2004.
- Bringiotti M., *CLS*, Edizioni PEI, Parma, 2005.
- Bringiotti M., *Recenti Cantieri innovativi in Italia*, Quarry & Construction, Edizioni PEI, Parma, Geofluid 2006, Piacenza.
- Fiorotto R., *FDP – Some interesting projects & results*, 2. Western Marketing Conference Edinburgh, 18/X/2007.
- Carraro S., *Ampliamento area self-deposito enuovoparcheggi multipiano Ikea store di Padova: Proposta di variante in FDP alla classica tecnologia esecutiva dei pali di fondazione*, Sogen Srl, 06/X/2007.
- Fiorotto R., *Metodi innovativi Bauer nelle fondazioni*, Agordo, Istituto Tecnico Industriale Minerario Umberto Follador, 30 Novembre 2007.

Ringraziamenti

- Ing. Franco Baldassi e l'intero staff della Dolomiti Rocce, per la professionalità e simpatia sempre dimostrata.
- Famiglia Ariola, papà Luigi e Carletto, per averci creduto ed essere stati i "primi" in Italia.
- Ing. Filippo Rettondini e Francesco Ambrosini della Vipp, per l'ottimo lavoro a Venezia.
- Ing. Simone Carraro della Sogen, per la preziosa collaborazione tecnica.

La GeoTunnel Srl è l'Agente esclusivo per il "territorio" italiano della Bauer Maschinen GmbH e della sua branch italiana Bauer Macchine Srl, normalmente conosciuti in Italia semplicemente con il nome "Bauer" => info@geotunnel.it – www.geotunnel.it – www.bauer.de

Entusiasti per il progresso



- **Perforatrici per pali trivellati di grande diametro**
- **Piccole perforatrici**
- **Idrofres**
- **Benne idrauliche**
- **Battipali ed attrezzature per infissione di palancole**
- **Impianti di trattamento fanghi**
- **Sottocarri**
- **Metodologie e soluzioni ingegnerizzate**



Agenzia in Italia:
GEOTUNNEL S.r.l. -
Tunnelling & Foundation Equipment
Molo Ponte Morosini, 13 - 16126 - Genova, Italy
Tel.: +39(0)10-752701, +39(0)10-2091755
Fax: +39(0)10-750603
e-mail: info@geotunnel.it, www.geotunnel.it

BAUER Maschinen GmbH
Schrobenhausen, Germany
Tel.: +49 8252 97 1221
Fax: +49 8252 97 1135
e-mail: BMA@bauer.de
www.bauer.de