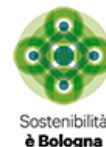


Dipartimento Lavori Pubblici, Verde, Mobilità

Settore Strade e Cura della Città

A.Q. Servizi di Ingegneria ed Architettura

Capitolato speciale parte tecnica
Fondazioni profonde



Dipartimento Lavori Pubblici, Verde, Mobilità
Settore Strade e Cura della Città
U.O. Ponti e Tombinamenti
P.zza Liber Paradisus 10, Torre B - 40129 Bologna

ACCORDO QUADRO PER LAVORI DI MANUTENZIONE ORDINARIA E STRAORDINARIA DI OPERE D'ARTE STRADALI QUALI CAVALCAVIA, PONTI, TOMBINAMENTI E OPERE D'ARTE MINORI, FACENTI PARTE DEL PATRIMONIO STRADALE DEL COMUNE DI BOLOGNA.

SPESA COMPLESSIVA EURO 6.000.000

**CAPITOLATO SPECIALE
PARTE TECNICA**

-- 0 --

FONDAZIONI PROFONDE

INDICE

1	PREMESSA	1
2	CLASSIFICAZIONE	2
2.1	DIAFRAMMI E PALANCOLE	2
2.2	PALI E MICROPALI	2
2.3	FONDAZIONI A POZZO	3
3	CARATTERISTICHE, MODALITA' DI ESECUZIONE E CONTROLLI DI ACCETTAZIONE ...	3
3.1	DIAFRAMMI E PALANCOLE	3
3.1.1	DIAFRAMMI	3
3.1.2	PALANCOLE	7
3.1.3	MATERIALI DA UTILIZZARE	8
3.2	PALI E MICROPALI	8
3.2.1	PALI TRIVELLATI	9
3.2.2	PALI INFISSI	12
3.2.3	PALI FDP (FULL DISPLACEMENT PILES)	15
3.2.4	MICROPALI O PALI TRIVELLATI DI PICCOLO DIAMETRO	17
3.2.5	CONTROLLI IN FASE ESECUTIVA SU MICROPALI.....	18
3.2.6	MATERIALI DA UTILIZZARE	19
3.3	POZZI DI FONDAZIONE	20
3.3.1	CONTROLLI IN FASE ESECUTIVA SUI POZZI	21
4	PROVE DI CARICO SU PALI E MICROPALI	21
4.1	PROVE DI CARICO	21
5	MISURAZIONE E CONTABILIZZAZIONE	22
5.1	NORME GENERALI	22
5.2	CRITERI DI MISURA	23
5.2.1	DIAFRAMMI E PALANCOLATE	23
5.2.2	PALI.....	23
5.2.3	POZZI	24
6	NON CONFORMITA'	25
7	COLLAUDO	26
8	MANUTENZIONE	26
9	NORMATIVE E RIFERIMENTI.....	26
10	APPENDICE	27
10.1	CONTROLLI SUI FANGHI.....	27
10.1.1	CONTROLLO DEL FANGO BENTONITICO	27
10.1.2	CONTROLLO DEL FANGO BIODEGRADABILE	28

10.1.3	CONTROLLO DEL FANGO POLIMERICO	28
10.2	TECNICA DI PROVE DI CARICO SU PALI E MICROPALI.....	28
10.2.1	PROVE SU PALI DI GRANDE DIAMETRO	28
10.2.2	PROVE DI CARICO SU MICROPALI	37

1 PREMESSA

Le strutture che si andranno ad esaminare in questo capitolato hanno particolare importanza per la loro interazione con il terreno e sono utilizzate per trasmettere i carichi al terreno al fine di fornire stabilità e rigidità alle strutture in elevazione, o per contrastare le spinte del terreno. Prioritariamente quando è necessario trasmettere i carichi a strati più resistenti o comunque trasferirli principalmente in profondità, si ricorre a fondazioni su pali, cioè elementi allungati, generalmente in calcestruzzo o in acciaio.

In questo tipo di fondazione il carico è trasmesso al terreno per attrito e/o adesione laterale lungo il fusto ed in parte per pressione al di sotto della punta.

La scelta di optare per una fondazione su pali è dovuta in genere alla presenza di terreni di scarse caratteristiche geotecniche (in termini di capacità portante e cedimenti) in superficie.

In linea generale i pali si dividono in infissi, trivellati e con tubo forma infisso e successivo getto di cls in opera. Solo nel caso dei trivellati, durante la realizzazione si ha asportazione del terreno.

La scelta della tipologia di pali da impiegare dipende da alcuni fattori come:

- natura del terreno;
- entità dei carichi da trasmettere al terreno;
- modifiche indotte dalla realizzazione dei pali (funzione della tecnologia);
- attrezzature disponibili in relazione agli spazi di manovra;
- effetti sulle costruzioni adiacenti (se presenti).

Questi vincoli infatti comportano che:

- i pali infissi non sono adatti in terreni ad alta resistenza od in terreni eterogenei con trovanti;
- l'infissione comporta benefico addensamento solo se eseguito in terreni incoerenti; nei terreni coesivi saturi, l'infissione infatti incrementa solo le pressioni neutre senza addensare (agli eccessi può liquefare il terreno);
- l'infissione comporta l'impiego di attrezzature di grandi dimensioni e determina trasmissione di vibrazioni;
- la realizzazione di pali, specie se realizzati in opera (e non prefabbricati) richiede maestranze specializzate.

Conseguentemente la scelta operata dal progettista relativamente a queste strutture di fondazione risulta fondamentale per la corretta esecuzione dell'opera sovrastante.

Il presente Capitolato intende fornire le caratteristiche, i criteri di controllo ed accettazione sui materiali da utilizzarsi per la corretta esecuzione delle opere in argomento.

Pur nella consapevolezza della responsabilità del progettista dell'opera nella scelta tipologica delle strutture di sottofondazione, nel prosieguo vengono analizzate le tipologie che si ritiene tecnicamente e più comunemente oggi utilizzate.

2 CLASSIFICAZIONE

2.1 DIAFRAMMI E PALANCOLE

Per diaframma si intende un'opera costituita da una serie di pannelli in calcestruzzo semplice o armato, gettati in opera o prefabbricati, collegati tra di loro mediante vincoli di vario genere, per la difesa di fondazioni di opere preesistenti o da costruire, per pareti di contenimento, per difese fluviali e traverse in alveo.

Con palancola si definisce un diaframma realizzato mediante infissione nel terreno di profilati metallici, di sezione generalmente a forma di U aperta, i cui bordi laterali, detti gargami, sono sagomati in modo da realizzare una opportuna guida all'infissione del profilato adiacente disposto in posizione simmetricamente rovesciata.

In genere le palancole metalliche vengono utilizzate per realizzare opere di sostegno provvisorio di scavi di modesta profondità, con particolare riferimento alla necessità di garantire l'impermeabilità delle opere medesime all'acqua (scavi sotto falda, scavi in alveo, ecc.).

2.2 PALI E MICROPALI

Con la denominazione di "pali" si intendono le sottofondazioni cilindriche aventi diametro > 300 mm; per diametri inferiori si parla di "micropali".

Dal punto di vista esecutivo, i pali si suddividono in:

- Pali trivellati;
- Pali infissi.

I pali trivellati sono ottenuti mediante l'asportazione di terreno e sua sostituzione con conglomerato cementizio armato, con l'impiego di perforazione a rotazione o rotopercolazione, eseguiti in materiali di qualsiasi natura e consistenza (inclusi muratura, calcestruzzi, trovanti, strati cementati e roccia dura), anche in presenza di acqua e/o in alveo con acqua fluente.

I pali infissi vengono realizzati mediante battitura di manufatti prefabbricati o gettati in opera. L'adozione di pali infissi è condizionata da una serie di fattori geotecnici ed ambientali tra i quali:

- vibrazioni, rumori, spostamenti verticali e/o orizzontali del terreno causati dall'infissione;
- eventuali interferenze con i pali adiacenti.

Con micropali o pali trivellati di piccolo diametro si identificano i pali trivellati realizzati con perforazioni di piccolo diametro (D_{max} 250 mm) ed armatura metallica, connessi al terreno mediante:

- riempimento a gravità;
- riempimento a bassa pressione;
- iniezione ripetuta ad alta pressione.

2.3 FONDAZIONI A POZZO

Dove particolari esigenze impongano il raggiungimento di strati consistenti a notevole profondità per la formazione di manufatti, o di opere a difesa della sede stradale, con l'attraversamento di terreni in frana o comunque di scarsa stabilità, è previsto l'impiego di pozzi, a pianta circolare od ellittica ed eventualmente poligonale a seconda delle indicazioni di progetto.

3 CARATTERISTICHE, MODALITA' DI ESECUZIONE E CONTROLLI DI ACCETTAZIONE

3.1 DIAFRAMMI E PALANCOLE

3.1.1 DIAFRAMMI

Preliminarmente alla esecuzione dei lavori l'Impresa sarà tenuta a presentare alla Direzione dei Lavori una dettagliata relazione nella quale saranno descritte modalità ed attrezzature necessarie alla corretta esecuzione dei lavori, il tutto assicurando di non eccedere le tolleranze previste dal progetto per quanto riguarda gli scavi e l'esecuzione dei cordoli guida (corree). Parimenti, la relazione dovrà contenere lo studio preliminare dei conglomerati cementizi che l'appaltatore intende utilizzare nonché un crono-programma delle attività dal quali si evincano chiaramente le singole fasi di esecuzione dei pannelli di diaframma da realizzare.

La tecnica di perforazione sarà di norma basata sull'impiego di fanghi bentonitici.

Nel caso di terreni argillosi da mediamente consistenti a molto consistenti, esenti da intercalazioni incoerenti e non interessati da falde che possano causare ingresso di acqua nel foro, la perforazione potrà essere eseguita anche a secco.

Potrà essere autorizzato dalla Direzione Lavori, in particolari situazioni geotecniche e previa esecuzione di un campo prova, l'utilizzo di idrofresa per l'esecuzione dello scavo.

3.1.1.1 CONTROLLI IN FASE ESECUTIVA

Durante l'esecuzione di ogni elemento di diaframma, si dovrà registrare su apposita scheda, compilata dall'Impresa in contraddittorio con la DL, il riscontro delle tolleranze ammissibili:

- posizione planimetrica dei diaframmi entro le tolleranze indicate nel progetto;
- la verticalità dovrà essere assicurata con tolleranza del 2%;
- la tolleranza ΔS sullo spessore, verificata in base ai volumi di conglomerato cementizio assorbito, per ciascun elemento, in base al suo assorbimento globale dovrà essere contenuta nel seguente intorno: $- 0,01 S < \Delta S < + 0,10 S$;
- la profondità "L", dovrà risultare conforme al progetto ± 20 cm.

e di seguenti dati:

-
- identificazione del diaframma;
 - successione stratigrafica dei terreni attraversati;
 - data di inizio perforazione e di fine getto;
 - valore degli "slump" del calcestruzzo, effettuato per ogni betoniera o 10 m³ di conglomerato cementizio impiegato;
 - profondità prima del getto;
 - il numero di campioni prelevati secondo le modalità e prescrizioni previste;
 - i controlli su ogni lotto di fango bentonitico impiegato;
 - caratteristiche geometriche costruttive degli eventuali giunti;
 - le caratteristiche degli additivi utilizzati;
 - la quantità di conglomerato cementizio impiegato per ogni elemento di diaframma.

3.1.1.2 CONTROLLI NON DISTRUTTIVI

I controlli non distruttivi sono:

- prove geofisiche;
- carotaggio continuo meccanico;
- scavi attorno al fusto dell'elemento di diaframma.

L'Impresa provvederà a sottoporre alla Direzione Lavori, per approvazione, il programma e le specifiche tecniche di dettaglio.

3.1.1.3 PROVE GEOFISICHE

Prima delle operazioni di getto, l'impresa provvederà all'installazione di tubi estesi a tutta la profondità dell'elemento, entro cui possano scorrere le sondine di emissione e ricezione; le tubazioni saranno predisposte per il 15% dello sviluppo totale dei diaframmi.

Gli elementi di diaframma da sottoporre a controllo (almeno il 5% del numero totale degli elementi di diaframma con un numero minimo di 2) ed il numero dei controlli sarà stabilito dalla Direzione Lavori anche in relazione all'importanza dell'opera, alle caratteristiche geotecniche e idro-geologiche dei terreni di fondazione e alle anomalie riscontrate durante l'esecuzione dei diaframmi.

Le prove dovranno essere eseguite non prima di 28 giorni dal termine delle operazioni di getto. Le misure dovranno essere eseguite ogni 10 cm di avanzamento della sonda nelle tubazioni predisposte.

L'esito della prova sarà registrato con apparecchiatura digitale a cura del laboratorio incaricato dall'impresa.

Nel caso si identifichino anomalie, le misure saranno ripetute con le sonde a quote diverse tra loro, al fine di stabilire se l'anomalia riscontrata è dovuta ad un piano di discontinuità oppure è provocata da cavità o inclusioni nel getto di calcestruzzo.

I risultati di tali prove saranno riportati su apposita scheda in cui verrà indicato:

- i dati identificativi del pannello, rispetto alla planimetria;
- la data di esecuzione della prova;
- le registrazioni effettuate ad ogni avanzamento della sonda;
- caratteristiche della centralina di registrazione e della sonda.

3.1.1.4 CAROTAGGIO CONTINUO MECCANICO

Tale prova si eseguirà, a cura e spese dell'Impresa e su ordine della D.L., in corrispondenza di quegli elementi di diaframma ove si fossero rilevate inosservanze durante la fase di getto.

Il carotaggio dovrà essere eseguito con doppi carotieri provvisti di corona diamantata aventi diametro interno minimo pari a 60 mm.

Ad ultimazione della perforazione l'impresa fornirà un report su cui siano evidenziate le caratteristiche macroscopiche del conglomerato e le discontinuità eventualmente presenti oltre che la mappatura di eventuali discontinuità e/o fratture riscontrate.

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

Scavi attorno al fusto del diaframma.

Ove fossero rilevate dalla D.L. difformità rispetto al progetto in merito alla verticalità e regolarità della sezione nell'ambito dei primi 4,0 - 5,0 metri di diaframma, su ordine della D.L. si procederà alla messa a nudo e pulizia con un violento getto d'acqua del fusto del diaframma al fine di verificare visivamente se sussistono effettivi problemi.

Successivamente si provvederà a riempire lo scavo con materiali e modalità di costipamento tali da garantire il ripristino della situazione primitiva.

3.1.1.5 PROVE DI CARICO PER I SOLI ELEMENTI DI DIAFRAMMA CON FUNZIONE PORTANTE VERTICALE

In generale, tutte le prove di carico da effettuarsi saranno studiate dall'Impresa esecutrice, con il supporto del progettista strutturale dell'opera, proposte ed approvate dalla D.L.

Modalità e caratteristiche delle prove saranno preventivamente approvate dalla Direzione dei lavori, strumenti di misura e gli apparati di prova – di proprietà del laboratorio incaricato dall'impresa – saranno sempre corredati di certificato di taratura e controllo.

Nel caso di strutture particolarmente complesse o in situazioni geologiche particolari, prima delle usuali prove di carico, il progetto potrà prevedere delle prove di carico limite per accertare i

carichi che producono il collasso del complesso pannello-terreno. Questo tipo di prove dovrà essere effettuato su pannelli opportunamente predisposti, all'esterno del diaframma, ed in una situazione geotecnica analoga.

Il numero di elementi da sottoporre alla prova di carico ordinaria verrà stabilito in base all'importanza dell'opera ed al grado di omogeneità del sottosuolo; comunque è previsto un minimo del 2% del totale del numero degli elementi (con un minimo di 2 elementi).

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 e il diagramma di carichi-cedimenti.

3.1.1.6 PROVE DI CARICO LATERALE

Tali tipologie di prove saranno effettuate su quei pannelli indicati dal progettista e/o preventivamente concordati con la DL.

Essa sarà unicamente del tipo non distruttivo, e verranno eseguite con l'ausilio di pannelli di con-trasto posti almeno a 3 m di distanza dal pannello di prova.

Per le prove di carico laterale valgono le indicazioni delle prove di carico assiale.

3.1.1.7 PROVE SU PANNELLI STRUMENTATI

Ove i pannelli siano di tipo strumentato, oltre alle prove di carico assiale e laterale, per cui valgono i controlli descritti ai precedenti punti, si dovrà procedere subito dopo il getto del pannello, ai controlli di funzionalità della strumentazione installata.

Successivamente verranno effettuate le letture alle seguenti scadenze:

1° controllo: a 7 giorni;

2° controllo: a 14 giorni;

3° controllo: a 28 giorni;

4° controllo: immediatamente prima della prova di carico.

La lettura al 4° controllo fungerà da origine per le successive letture in fase di prova di carico.

Per quanto riguarda la prova di carico laterale, questa avverrà con l'ausilio del tubo inclinometrico e con gli estensimetri elettrici già predisposti.

Il controllo delle deformazioni avverrà con l'ausilio di tubi inclinometrici annegati nel getto di calcestruzzo.

Le misure saranno effettuate con una sonda inclinometrica di tipo biassiale.

La frequenza delle misure verrà stabilita dalla D.L., in relazione ai programmi di scavo del pannello ed alla messa in trazione degli eventuali tiranti di ancoraggio. L'esito delle prove sarà registrato in una apposita scheda in cui sarà indicato, per ogni pannello:

- i dati identificativi del pannello rispetto alla planimetria;
- la data di esecuzione delle varie operazioni di prova;
- il tipo di sonda inclinometrica impiegata;
- i dati sulla torsione iniziale dei tubi guida;
- le registrazioni dei dati inclinometrici rilevati.

3.1.2 PALANCOLE

Le palancole vengono utilizzate quasi esclusivamente come opera provvisoria.

L'Impresa comunicherà preventivamente alla Direzione dei lavori le modalità esecutive che intende adottare per le infissioni nonché il programma cronologico di infissione di tutte le palancole.

L'Impresa dovrà eseguire a sua cura e spese misure vibrazionali di controllo per verificare se vengono o meno superati i limiti di accettabilità imposti dalle norme DIN 4150. Nella eventualità di superamento di tali limiti, la stessa impresa dovrà sottoporre alla Direzione Lavori, per la necessaria approvazione, i provvedimenti che intende adottare per proseguire le lavorazioni nel rispetto del range di accettabilità.

3.1.2.1 CONTROLLI IN FASE ESECUTIVA

Durante la realizzazione del palancolato, si dovrà registrare su apposita scheda, compilata dall'Impresa in contraddittorio con la DL, il riscontro delle tolleranze ammissibili:

- posizione planimetrica dell'asse mediano del palancolato: ± 3 cm;
- verticalità : ± 2 %;
- quota testa : ± 5 cm;
- profondità : ± 25 cm.

Qualora l'infissione risultasse ostacolata, l'Impresa, previo accordo della Direzione Lavori e previa verifica della congruità progettuale dell'opera, potrà limitare l'infissione a quote superiori, provvedendo al taglio della parte di palancola eccedente rispetto alla quota di testa prevista in progetto.

Per ciascun elemento infisso mediante battitura o vibrazione, l'Impresa oltre al controllo delle tolleranze, dovrà redigere una scheda indicante:

- numero progressivo della palancola, riportato sulla planimetria di progetto;
- dati tecnici della attrezzatura;
- tempo necessario per l'infissione;
- informazioni relative alla locale stratigrafia;
- tabella dei colpi per l'avanzamento (ove applicabile);
- note aggiuntive su eventuali anomalie o inconvenienti.

In presenza di anomalie o differenze rispetto alla stratigrafia prevista, di mancato raggiungimento della quota di progetto e qualsiasi altra anomalia, l'Impresa è tenuta a comunicare ciò alla Direzione lavori, concordando l'eventuale riesame della progettazione o gli opportuni provvedimenti.

Per la fase di estrazione si compilerà un'analogha scheda, a quella descritta precedentemente.

3.1.3 MATERIALI DA UTILIZZARE

3.1.3.1 CONGLOMERATO CEMENTIZIO

Sarà conforme a ciò che è prescritto nel progetto e nella sezione tecnica del Capitolato relativa ai "calcestruzzi".

3.1.3.2 ARMATURE METALLICHE

Le armature metalliche dovranno essere realizzate in conformità a ciò che è prescritto in progetto e nella sezione tecnica del Capitolato relativa alle "armature".

3.1.3.3 PALANCOLE METALLICHE

Dovranno essere utilizzati profilati aventi forma, sezione, spessore, lunghezza, conformi a quanto previsto dal progetto.

Usualmente, e salvo differenti prescrizioni progettuali, l'acciaio delle palancole dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- tensione di rottura $f_t = 550 \text{ N/mm}^2$;
- limite elastico $f_y = 390 \text{ N/mm}^2$.

La superficie delle palancole dovrà essere convenientemente protetta con una pellicola di bitume o altro materiale protettivo. I bordi di guida dovranno essere perfettamente allineati e puliti.

3.2 PALI E MICROPALI

Indipendentemente dalla tipologia di palo da realizzare, prima di iniziare la perforazione e/o l'infissione, l'impresa provvederà a segnare fisicamente sul terreno la posizione dei pali mediante appositi picchetti sistemati in corrispondenza dell'asse di ciascun palo.

Su ciascun picchetto dovrà essere riportato il numero progressivo del palo indicato sulla pianta della palificata.

Tale pianta, redatta e presentata dall'impresa alla Direzione Lavori, dovrà indicare la posizione di tutti i pali, inclusi quelli di prova, contrassegnati con numero progressivo.

Per i pali infissi, l'Impresa esecutrice dovrà presentare un programma cronologico di infissione elaborato in modo da minimizzare gli effetti negativi dell'infissione stessa sulle opere vicine e sui pali già installati (in genere interasse non inferiore a 3 diametri).

L'Impresa avrà cura di non provocare inquinamenti di superficie o della falda per incontrollate di- scariche dei detriti e/o dei fanghi bentonitici (ove utilizzati).

3.2.1 PALI TRIVELLATI

Trattasi di pali ottenuti mediante l'asportazione di terreno e sua sostituzione con conglomerato cementizio armato, con l'impiego di perforazione a rotazione o rotopercolazione, eseguiti in materiali di qualsiasi natura e consistenza (inclusi muratura, calcestruzzi, trovanti, strati cementati e roccia dura), anche in presenza di acqua e/o in alveo con acqua fluente.

Sulla scorta delle previsioni progettuali potranno essere adottate diverse tipologie di pali trivellati:

3.2.1.1 PALI TRIVELLATI CON RIVESTIMENTO PROVVISORIO

L'infissione della tubazione di rivestimento sarà ottenuta attuando un movimento rototraslatorio applicando, in sommità un vibratore di adeguata potenza (essenzialmente in terreni poco o mediamente addensati, privi di elementi grossolani e prevalentemente non coesivi).

Al termine della perforazione verrà calata la gabbia di armatura all'interno del foro con successivo getto del conglomerato mediante tubo di convogliamento.

3.2.1.2 PALI TRIVELLATI CON FANGHI (BENTONITICI O BIODEGRADABILI O POLIMERICI) LE CARATTERISTICHE SPECIFICHE DEI FANGHI SARANNO ESPlicitATE IN APPENDICE

Il livello del fango nel foro dovrà in ogni caso essere più alto della massima quota piezometrica delle falde presenti nel terreno lungo la perforazione.

La distanza minima fra gli assi di due perforazioni attigue in corso appena ultimate o in corso di getto, dovrà essere tale da impedire pericolosi fenomeni di interazione e comunque non inferiore ai 5 diametri.

Se nella fase di completamento della perforazione fosse accertata l'impossibilità di eseguire rapidamente il getto (sosta notturna, mancato trasporto del conglomerato cementizio, etc.), sarà necessario interrompere la perforazione alcuni metri prima ed ultimarla solo nell'imminenza del getto. Il materiale portato in superficie dovrà essere sistematicamente portato a discarica.

Completata la perforazione, si procederà alla sostituzione del fango sino al raggiungimento dei prescritti valori del contenuto in sabbia, ed alla pulizia del fondo foro.

3.2.1.3 PALI TRIVELLATI AD ELICA CONTINUA

Con tale denominazione si identificano i pali realizzati mediante infissione per rotazione di una trivella ad elica continua e successivo getto di calcestruzzo, fatto risalire dalla base del palo attraverso il tubo convogliatore interno all'anima dell'elica, con portate e pressioni controllate. La tecnica di perforazione è adatta a terreni di consistenza bassa e media, con o senza acqua di falda.

Nel caso di attraversamento di terreni compressibili, nelle fasi di getto, dovranno essere adottati i necessari accorgimenti atti ad evitare sbulbature.

L'estrazione dell'elica avviene contemporaneamente alla immissione del calcestruzzo. I pali potranno essere armati prima o dopo il getto di calcestruzzo.

La perforazione sarà eseguita mediante una trivella ad elica continua, di lunghezza e diametro corrispondenti alle caratteristiche geometriche dei pali da realizzare.

L'anima centrale dell'elica deve essere cava, in modo da consentire il successivo passaggio del calcestruzzo. All'estremità inferiore dell'anima sarà posta una punta a perdere, avente lo scopo di impedire l'occlusione del condotto.

In ogni caso il volume di terreno estratto per caricamento della trivella deve essere non superiore al volume teorico della perforazione.

Qualora si riscontrassero rallentamenti della perforazione in corrispondenza di livelli di terreno intermedi o dell'eventuale strato portante inferiore, l'Impresa, sentito il progettista e previa autorizzazione della Direzione Lavori, potrà:

- eseguire prefori di diametro inferiore al diametro nominale di pali;
- ridurre la lunghezza di perforazione.

Il fusto del palo verrà formato pompando pneumaticamente entro il cavo dell'asta di perforazione che verrà progressivamente estratta, di norma senza rotazione.

Nel caso di armatura da posizionare dopo il getto, la gabbia verrà posta in opera mediante l'ausilio di un vibratore.

Dovranno essere adottati tutti gli accorgimenti atti ad assicurare il centramento della gabbia entro la colonna di calcestruzzo appena formata.

Se necessario, la gabbia dovrà essere adeguatamente irrigidita per consentirne la infissione.

L'operazione di infissione dovrà essere eseguita immediatamente dopo l'ultimazione del getto, prima che abbia inizio la presa del calcestruzzo.

Nel caso di armatura da posizionare prima del getto, la gabbia verrà inserita entro l'anima della trivella elicoidale, il cui diametro interno deve essere congruente con il diametro della gabbia di armatura.

All'interno della gabbia dovrà essere inserito un adeguato mandrino, da tenere contrastato sul dispositivo di spinta della rotary per ottenere l'espulsione del fondello a perdere, con effetto di precarica alla base del palo.

La gabbia dovrà essere costruita in conformità con il disegno di progetto.

3.2.1.4 CONTROLLI IN FASE ESECUTIVA SU PALI TRIVELLATI

Controlli di accettazione saranno mirati a verificare che ogni lotto di armatura posto in opera, sia accompagnato dai relativi certificati del fornitore, e comunque essere conforme alle prescrizioni di progetto e capitolato previste per tale materiale.

Per quanto riguarda il calcestruzzo e l'eventuale rivestimento in acciaio, dovrà essere controllata la provenienza e la coerenza con gli studi preliminari condotti dall'Impresa, sulla scorta delle indicazioni progettuali, ed approvati preventivamente dalla DL.

Per ciascun palo l'Impresa dovrà fornire alla DL una scheda dove verranno riportati sia i risultati dei controlli delle tolleranze e sia i risultati dei seguenti controlli:

- numero progressivo del palo così come riportato nella planimetria di progetto;
- informazioni relative alla locale stratigrafia;
- dati tecnici dell'attrezzatura;
- data di inizio e fine perforazione, nonché di inizio e fine getto;
- eventuali impieghi dello scalpello o altri utensili per il superamento di zone cementate o rocciose e corrispondente profondità di inizio e fine tratta;
- profondità di progetto;
- profondità effettiva raggiunta dalla perforazione, e la stessa prima di calare il tubo getto;
- risultati dei controlli eseguiti sull'eventuale fango di perforazione e della presenza dell'eventuale controcamicia;
- additivi usati per il fango;
- caratteristiche dell'eventuale rivestimento metallico;
- il rilievo della quantità di calcestruzzo impiegato per ogni palo. Il rilievo dose per dose (dose = autobetoniera) dell'assorbimento di calcestruzzo e del livello raggiunto dallo stesso entro il foro in corso di getto, sarà fatto impiegando uno scandaglio a base piatta, su almeno i primi 10 pali e sul 10% dei pali successivi. In base a questo rilievo potrà essere ricostituito l'andamento del diametro medio effettivo lungo il palo (profilo di getto);
- misura dello "slump" (per ogni betoniera o per ogni 10 m³ di materiale posto in opera);
- numero dei prelievi per il controllo della resistenza a compressione e valori della stessa, così come indicato nel presente Capitolato, ed inoltre quando richiesto dalla Direzione Lavori;
- geometria delle gabbie di armatura;
- risultati delle eventuali prove effettuate e richieste dalla DL;
- caratteristiche dei materiali costituenti il manufatto e lotto di appartenenza dello stesso;
- I risultati dell'operazione di scapitozzatura e dell'eventuale ripristino del palo sino alla quota di sottoplinto.

Per quanto riguarda le tolleranze che potranno essere ammesse, la DL sarà tenuta a controllare che:

- la posizione planimetrica dei pali non dovrà discostarsi da quella di progetto più del 5% del diametro nominale del palo salvo diversa indicazione della Direzione Lavori.
- la verticalità dovrà essere assicurata con tolleranza del 2%.
- per ciascun palo, in base all'assorbimento complessivo, si ammette uno scostamento dal diametro nominale compreso tra "- 0,01 D" e "+ 0,10 D";

La Direzione Lavori procederà pertanto alla contabilizzazione dell'opera tenendo conto della sola misura nominale prevista in progetto.

Per quanto riguarda verifiche e controlli sui fanghi eventualmente utilizzati in corso di perforazione, si rimanda agli specifici paragrafi in APPENDICE.

3.2.2 PALI INFISSI

Con tale denominazione si identificano i pali infissi nel terreno realizzati mediante battitura di manufatti prefabbricati o gettati in opera.

Lo studio preventivo condotto da parte dell'impresa, con l'ausilio del progettista, dovrà prevedere tutti gli accorgimenti e le provvigioni utili a contenere le vibrazioni entro i limiti di accettabilità imposti dalle norme DIN 4150. Nella eventualità di superamento di tali limiti, la stessa impresa dovrà sottoporre alla Direzione Lavori, per la necessaria approvazione, i provvedimenti che intende adottare per proseguire le lavorazioni nel rispetto dell'intervallo di accettabilità.

In particolari condizioni di natura geotecnica e/o stratigrafica, in relazione all'importanza dell'opera, l'idoneità delle attrezzature dovrà essere verificata mediante l'esecuzione di prove tecnologiche preliminari.

Tali verifiche dovranno essere condotte in aree limitrofe a quelle interessanti la palificata in progetto e comunque tali da essere rappresentative dal punto di vista geotecnico ed idrogeologico.

Le caratteristiche geometriche dei rivestimenti in acciaio, sia provvisori che definitivi, dovranno essere conformi alle prescrizioni di progetto.

Nel caso di pali battuti con rivestimento definitivo, da realizzare in ambienti aggressivi la superficie esterna del palo dovrà essere rivestita con materiali protettivi adeguati, da concordare con la Direzione lavori.

Nel caso di pali battuti gettati in opera con tubo forma estraibile, l'espulsione del fondello, occludente l'estremità inferiore del tubo-forma, potrà essere eseguita con un pistone rigido di diametro pari a quello interno del tubo forma collegato, tramite un'asta rigida, alla base della testa di battuta.

Potrà essere impiegato un tubo-forma dotato di fondello incernierato recuperabile. In base a come viene costruito il fusto, i pali trivellati si distinguono in pali infissi gettati in opera e pali infissi prefabbricati.

3.2.2.1 PALI INFISSI PREFABBRICATI

I pali verranno prefabbricati fuori opera (in stabilimenti di produzione oppure direttamente in cantiere). L'Impresa presenterà uno studio preliminare sui calcestruzzi e sugli acciai da utilizzarsi per la prefabbricazione oltre che una dettagliata descrizione sulla tecnica di infissione, corredata dalle schede di controllo da compilarsi durante le operazioni di infissione, ai fini del controllo dei parametri sensibili.

La DL avrà cura di far eseguire prove di controllo della geometria del fusto del palo e delle armature e delle caratteristiche di resistenza dei materiali impiegati, il tutto a carico dell'Impresa. Il giunto dovrà essere realizzato con un anello di acciaio con armatura longitudinale, solidale con ciascuno degli spezzoni di palo da unire.

Gli anelli verranno saldati tra loro e protetti con vernici bituminose o epossidiche. L'infissione si realizzerà tramite battitura, senza asportazione di materiale.

Nel caso di attraversamento di strati granulari addensati, si potrà facilitare l'infissione con iniezioni di acqua.

Prima di essere infisso, il fusto del palo dovrà essere suddiviso in tratti di 0,5 m, contrassegnati con vernice di colore contrastante rispetto a quello del palo.

Gli ultimi 2,0 - 4,0 m del palo dovranno essere suddivisi in tratti da 0,1 m, onde rendere più precisi la rilevazione dei rifiuti nella parte terminale della battitura.

L'arresto della battitura del palo potrà avvenire solo dopo aver raggiunto:

- la lunghezza minima di progetto;
- il rifiuto minimo specificato.

Dove con il termine rifiuto minimo, si intende, quando l'infissione corrispondente a 10 colpi di battipalo efficiente è inferiore ai 2,5 cm.

Precisazioni dettagliate concernenti il rifiuto minimo saranno contenute nella relazione preliminare predisposta dal progettista per conto dell'impresa.

In condizioni geotecniche particolari (forti sovrappressioni interstiziali, etc.) la Direzione Lavori potrà richiedere la ribattitura di una parte dei pali già infissi per un tratto in genere non inferiore a 0,3.-0,5 m.

In questo caso si dovranno rilevare i "rifiuti" per ogni 0,1 m di penetrazione, evidenziando in modo chiaro nei rapporti che si tratta di ribattitura.

3.2.2.2 PALI INFISSI GETTATI IN OPERA

Tali pali vengono realizzati riempiendo con calcestruzzo lo spazio interno vuoto di un elemento tubolare metallico fatto penetrare nel terreno mediante battitura o per vibrazione, senza asportazione del terreno medesimo.

I pali infissi gettati in opera si distinguono in:

- Pali con rivestimento definitivo in lamiera d'acciaio, corrugata o liscia, chiusi alla base con un fondello d'acciaio. I pali vengono realizzati infiggendo nel terreno il rivestimento tubolare. Dopo l'infissione e la eventuale ispezione interna del rivestimento, il palo viene completato riempiendo il cavo del rivestimento con calcestruzzo armato.
- Pali realizzati tramite infissione nel terreno di un tubo forma estraibile, in genere chiuso alla base da un fondello a perdere. Terminata l'infissione, il palo viene gettato con calcestruzzo, con o senza la formazione di un bulbo espanso di base. Durante il getto, il tubo-forma viene estratto dal terreno.

L'adozione della tipologia di esecuzione sarà conforme a quanto esposto in progetto e dichiarato nella relazione preliminare.

3.2.2.3 CONTROLLI IN FASE ESECUTIVA SU PALI INFISSI

Valgono le stesse prescrizioni indicate nei controlli relativi ai pali trivellati precedentemente esposte.

Per ciascun palo l'Impresa dovrà redigere una scheda dove verranno riportati i risultati dei controlli delle tolleranze:

- sul perimetro: uguale al $\pm 2\%$;
- deviazione dell'asse del palo rispetto all'asse di progetto (verticalità): $\leq \pm 3\%$ (2% nel caso di pali infissi gettati in opera);
- errore rispetto alla posizione planimetrica: $\leq 15\%$ del diametro nominale in testa;

ed inoltre dovrà essere riportato:

- numero progressivo del palo così come riportato nella planimetria di progetto;
- data di infissione;
- dati tecnici dell'attrezzatura;
- informazioni relative alla locale stratigrafia;
- tempo di infissione;
- rifiuto ogni 0,10 m negli ultimi 4 m, e ogni 1 m nel tratto precedente;
- profondità di progetto;
- rifiuti per eventuale ribattitura;
- eventuale strumentazione e posizione della stessa per il controllo dell'efficienza del battipalo e della velocità terminale del maglio;
- controllo delle vibrazioni (DIN - 4150);

- risultati delle eventuali prove richieste dalla D.L.;
- caratteristiche dei materiali costituenti il manufatto e lotto di appartenenza dello stesso.

Nel caso di pali battuti gettati in opera, oltre ai precedenti controlli:

- data del getto;
- tipo di tappo impiegato;
- quantità di calcestruzzo posto in opera nella formazione dell'eventuale bulbo e fusto;
- misura dello "slump" (per ogni betoniera o per ogni 10 m³ di materiale posto in opera);
- numero dei prelievi per il controllo della resistenza a compressione e valori della stessa, così come indicato nel presente Capitolato, ed inoltre quando richiesto dalla Direzione Lavori;
- geometria delle gabbie di armatura;
- eventuali ulteriori prove richieste dalla Direzione Lavori.

3.2.3 PALI FDP (FULL DISPLACEMENT PILES)

La metodologia di esecuzione di questo palo di fondazione prevede la dislocazione del terreno posto a diretto contatto con l'utensile di perforazione nell'intorno del volume immediatamente adiacente.

La scelta delle attrezzature di scavo e gli associati dettagli esecutivi e di posa in opera del palo, dovranno essere comunicati dall'impresa alla Direzione dei Lavori preliminarmente all'esecuzione dei pali FDP per mezzo di una apposita relazione redatta dal progettista strutturale, corredata dalle schede di controllo da compilarsi durante le fasi esecutive.

L'utilizzo di tale tecnologia di scavo potrà essere avviato solo dopo un approfondito studio delle formazioni geologiche da attraversare.

L'attrezzatura di scavo dovrà essere dotata di un opportuno sistema di rilevamento, controllo e restituzione grafica di tutti i parametri che concorrono alla fase di perforazione (sistema B-Tronic o similari).

Il conglomerato cementizio da utilizzare dovrà rispettare le caratteristiche previste in progetto co- sì come riportate nella relazione di studio preliminare prodotta dall'impresa.

Durante l'esecuzione del palo, la Direzione dei Lavori provvederà a redigere un apposito verbale, controfirmato dall'impresa, recante:

- l'identificazione del palo;
- l'ora e la data dell'inizio della perforazione e di fine del getto, inclusi i tempi parziali di ogni betoniera;
- i risultati di una prova al cono di Abrams eseguita ogni 10 m³ di conglomerato cementizio impiegato;
- il rilievo della quantità di conglomerato cementizio impiegato per ogni palo.

Successivamente alla realizzazione di ogni palo FDP, inclusi i pali FDP pilota, dovranno essere trasmessi alla Direzione dei Lavori tutti i dati di output (anche in forma di diagrammi) del sistema di rilevamento, fra cui a titolo non esaustivo si citano:

- Tempo e profondità;
- Deviazione dalla verticale;
- Pressione e portata idraulica;
- Forza centrifuga e coppia torcente;
- Profondità raggiunta;
- Coppia e forza di spinta;
- Velocità di penetrazione;
- Pressione di getto del calcestruzzo;
- Volume di calcestruzzo assorbito dal palo rispetto al teorico previsto;
- Rapporto tra la coppia torcente applicata sulla trivella e la misura della penetrazione.

Nel caso di utilizzo di armature metalliche, queste ultime verranno pre-assemblate fuori opera.

3.2.3.1 CONTROLLI IN FASE ESECUTIVA SU PALI FDP

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

Fra i controlli da eseguirsi, su richiesta della Direzione Lavori, si contemplano anche:

- prove geofisiche (da eseguirsi con 4 tubi);
- carotaggio continuo meccanico (da eseguirsi con doppio carotiere).

Le tolleranze geometriche ammesse impongono che alla testa, il centro del palo corrisponda al centro geometrico delle armature longitudinali.

Sull'assetto geometrico del palo si dovrà rilevare:

- lunghezza: uguale a $\pm 1\%$;
- deviazione dell'asse del palo rispetto all'asse di progetto: $\leq S 2,5\%$;
- errore rispetto alla posizione planimetrica: $\pm 10,05$ m in tutte le direzioni.

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 nell'intervallo di estremi $- 0,01 D$ e $+0,10 D$;

- per ciascuna sezione dei pali sottoposti a misure dell'assorbimento dose per dose, si ammette uno scostamento dal diametro nominale compreso nell'intervallo di estremi $- 0,01 D$ e $+0,10 D$.

3.2.4 MICROPALI O PALI TRIVELLATI DI PICCOLO DIAMETRO

Premesso che preventivamente all'inizio delle attività, l'impresa dovrà, come d'obbligo, presentare uno studio preliminare completo ed esaustivo sulla tecnica di perforazione ed iniezione, mezzi da utilizzare e miscele da iniettare, i micropali possono essere classificati in:

3.2.4.1 MICROPALI A INIEZIONI RIPETUTE AD ALTA PRESSIONE

La perforazione sarà eseguita mediante sonda a rotazione o rotopercolazione, con rivestimento continuo e circolazione di fluidi, fino a raggiungere la profondità di progetto.

Per la circolazione del fluido di perforazione saranno utilizzate pompe a pistoni con portate e pressioni adeguate.

Si richiedono valori minimi di 200 l/min e 25 bar, rispettivamente.

Nel caso di perforazione a roto-percolazione con martello a fondo-foro si utilizzeranno compressori di adeguata potenza; le caratteristiche minime richieste sono:

- portata $\geq 10 \text{ m}^3/\text{min}$;
- pressione 8 bar.

Completata la perforazione si provvederà quindi ad inserire l'armatura tubolare valvolata, munita di centratori, fino a raggiungere la profondità di progetto.

Di norma si procederà immediatamente alla cementazione del micropalo (guaina), Si utilizzerà una miscela cementizia conforme a quanto indicato in progetto.

Non appena completata la messa in opera del tubo valvolato di armatura, si provvederà immediatamente alla formazione della guaina cementizia, iniettando attraverso la valvola più profonda un quantitativo di miscela sufficiente a riempire l'intercapedine tra le pareti del foro e l'armatura tubolare.

Trascorso un periodo di 12 ÷ 24 ore dalla formazione della guaina, si procederà, valvola per valvola, a partire dal fondo, tramite un packer a doppia tenuta collegato al circuito di iniezione, con l'esecuzione delle iniezioni selettive per la formazione del bulbo di ancoraggio.

Anche in relazione alle caratteristiche del terreno, non saranno eseguite iniezioni nei 5-6 m più superficiali del micropalo, per evitare la fratturazione idraulica degli strati superficiali.

3.2.4.2 MICROPALI CON RIEMPIMENTO A GRAVITÀ O A BASSA PRESSIONE:

Nella conduzione della perforazione ci si atterrà alle prescrizioni indicate al paragrafo precedente.

Completata la perforazione e rimossi i detriti si provvederà ad inserire entro il foro l'armatura che dovrà essere conforme ai disegni di progetto.

La cementazione potrà avvenire con riempimento a gravità o con riempimento a bassa pressione. Nel primo caso il riempimento del foro, dopo la posa delle armature, dovrà avvenire tramite un tubo di alimentazione disceso fino a 10-15 cm dal fondo, collegato alla pompa di mandata o agli iniettori.

Il riempimento sarà proseguito fino a che la malta immessa risalga in superficie senza inclusioni o miscele con il fluido di perforazione. Si dovrà accertare la necessità o meno di effettuare rabocchi, da eseguire preferibilmente tramite il tubo di convogliamento.

Nel secondo caso, il foro dovrà essere interamente rivestito; la posa della malta o della miscela avverrà in un primo momento, entro il rivestimento provvisorio, tramite un tubo di convogliamento come descritto al paragrafo precedente.

Successivamente si applicherà al rivestimento una idonea testa a tenuta alla quale si invierà aria a bassa pressione mentre si solleverà gradualmente il rivestimento fino alla sua prima giunzione. In relazione alla natura del terreno potrà essere sconsigliabile applicare la pressione d'aria agli ultimi 5-6 m di rivestimento da estrarre, per evitare la fratturazione idraulica degli strati superficiali.

3.2.5 CONTROLLI IN FASE ESECUTIVA SU MICROPALI

Per ciascun micropalo l'Impresa dovrà redigere una scheda dove verranno riportati i risultati dei controlli delle tolleranze:

- la posizione planimetrica non dovrà discostarsi da quella di progetto più di 5 cm, salvo diverse indicazioni della DL;
- la deviazione dell'asse del micropalo rispetto all'asse di progetto non dovrà essere maggiore del 2%;
- la sezione dell'armatura metallica non dovrà risultare inferiore a quella di progetto;
- il diametro dell'utensile di perforazione dovrà risultare non inferiore al diametro di perforazione di progetto;

Ogni micropalo non conforme alle tolleranze stabilite dovrà essere idoneamente sostituito a cura e spese dell'Impresa.

Oltre alle tolleranze sopra indicate, la D.L. dovrà effettuare i seguenti controlli.

Ciascun lotto, posto in opera, di armature metalliche, nonché di tubi e di profilati di acciaio, dovrà essere accompagnato dai relativi certificati del fornitore ed essere conforme alle indicazioni di progetto.

Per quanto riguarda le malte e le miscele cementizie, le stesse dovranno essere pre-qualificate a carico dell'impresa

Nel caso si impieghino come fluidi di perforazione dei fanghi bentonitici, questi dovranno essere assoggettati ai medesimi controlli riportati in appendice.

Il controllo della profondità dei prefori, rispetto alla quota di sottopinto, verrà effettuato in doppio modo:

- in base alla lunghezza delle aste di perforazione immerse nel foro al termine della perforazione, con l'utensile appoggiato sul fondo;
- in base alla lunghezza dell'armatura.

In corso di iniezione si preleverà un campione di miscela sul 10% dei micropali, sul quale si verificherà la rispondenza alle previsioni progettuali per la resistenza delle malte.

Con il campione di miscela dovranno essere altresì confezionati dei provini da sottoporre a prove di compressione monoassiale, nella misura del 10% dei micropali.

L'esecuzione del singolo micropalo sarà documentata mediante la compilazione da parte dell'Impresa in contraddittorio con la Direzione Lavori di una apposita scheda sulla quale si registreranno i dati seguenti:

- rilievi stratigrafici del terreno;
- identificazione del micropalo;
- dati tecnici dell'attrezzatura di perforazione;
- data di inizio perforazione e termine getto (o iniezione);
- fluido di perforazione impiegato;
- profondità di progetto;
- profondità effettiva raggiunta dalla perforazione;
- profondità del foro all'atto della posa in opera dell'armatura;
- geometria e tipologia dell'armatura;
- volumi di miscele per la formazione della guaina (per micropali ad iniezioni multiple selettive);
- assorbimento totale effettivo di miscela di iniezione;
- risultati delle prove di controllo sulla miscela di iniezione (peso di volume, essudazione, etc.), numero di campioni prelevati e loro resistenza a compressione monoassiale.
- risultati di ulteriori prove condotte o ordinate dalla Direzione Lavori.

3.2.6 MATERIALI DA UTILIZZARE

I calcestruzzi, le malte e le armature metalliche dovranno essere realizzati in conformità a ciò che è prescritto in progetto e nel Capitolato sezione "calcestruzzi" ed "armature".

Per le armature tubolari dei micropali, si useranno tubi di acciaio SE 275 – SE 355, con o senza saldatura longitudinale con attestato di qualificazione con le modalità e le procedure indicate nelle NTC Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17/01/2018.

Nel caso i tubi di armatura siano anche dotati di valvole per l'iniezione, essi dovranno essere scovolati internamente dopo l'esecuzione dei fori di uscita della malta (fori $d = 8$ mm) allo scopo di asportare le sbavature lasciate dal trapano.

Le valvole saranno costituite da manicotti di gomma di spessore minimo $s = 3,5$ mm, aderenti al tubo e mantenuti in posto mediante anelli in fili di acciaio (diametro 4 mm) saldati al tubo in corrispondenza dei bordi del manicotto.

La valvola più bassa sarà posta subito sopra il fondello che occlude la base del tubo. Per quanto riguarda i fanghi, si rimanda al paragrafo in APPENDICE.

3.3 POZZI DI FONDAZIONE

L'esecuzione del pozzo può interessare materie di qualsiasi natura e consistenza, anche in presenza di acqua; dovrà avvenire garantendo durante le fasi di lavoro la stabilità delle pareti dello scavo in modo tale da evitare frammenti e da minimizzare la riduzione delle caratteristiche meccaniche del terreno circostante.

Il sostegno delle pareti di scavo dovrà essere affidato ad interventi di sottomurazione o ad elementi prefabbricati affondati progressivamente con l'avanzare dello scavo, nonché a coronelle di pali o micropali affiancati.

Raggiunta la quota di base del pozzo, la parte strutturale dovrà risultare realizzata in modo conforme a quanto stabilito in progetto, in dipendenza della funzione assegnata al pozzo e delle condizioni geotecniche e idrogeologiche del sottosuolo.

Il materiale di risulta, proveniente dallo scavo, se ritenuto non idoneo al suo reimpiego, dovrà essere portato a discarica

Le modalità ed i principali dettagli esecutivi dovranno essere conformi ai progetti ed approvati dalla Direzione lavori prima dell'inizio dei lavori.

Dopo ogni fase di scavo verrà posta in opera una centinatura metallica o un anello in c.a. ed un eventuale pre-rivestimento in conglomerato cementizio spruzzato armato con rete in acciaio elettrosaldato, di tipologie e dimensioni come riportate negli elaborati progettuali.

Qualora ricorra la possibilità che possano derivare danni alle proprietà limitrofe, il benessere della Direzione lavori all'impiego di esplosivo è subordinato ai risultati di misure vibrazionali e di controllo che l'Impresa dovrà eseguire a sua cura e spese secondo schemi e metodologie approvate dalla stessa Direzione lavori.

Nel corso dello scavo del pozzo l'Impresa dovrà registrare su scheda la natura dei materiali attraversati.

Prima del getto del conglomerato cementizio magro di regolarizzazione del fondo dello scavo, ciascun pozzo dovrà essere ispezionato dalla Direzione Lavori, cui compete il benessere al getto.

Dovrà essere sempre assicurato l'emungimento di venute d'acqua per cui l'impresa provvederà a indicare alla Direzione Lavori gli opportuni mezzi di esaurimento ed abbattimento della falda. Qualora durante le fasi di scavo si manifestino rilasci o cavità lungo le pareti, l'Impresa dovrà provvedere tempestivamente a sua cura e spese, ad eseguire iniezioni di intasamento con le modalità che saranno via via indicate dalla Direzione lavori.

3.3.1 CONTROLLI IN FASE ESECUTIVA SUI POZZI

L'esecuzione di ciascun pozzo comporterà la registrazione delle seguenti indicazioni su apposita scheda compilata dall'Impresa in contraddittorio con la Direzione Lavori:

- dimensioni e caratteristiche del pozzo;
- modalità esecutive;
- caratteristiche della falda;
- stratigrafia dettagliata dei terreni attraversati corredata, dove richiesto, da documentazione fotografica;
- descrizione delle eventuali situazioni anomale e dei relativi provvedimenti adottati (iniezione di intasamento, descrizione delle eventuali opere di drenaggio poste in opera.

Per quanto riguarda i materiali impiegati valgono le indicazioni riportate nei Capitolati specifici: "Calcestruzzi", "Acciai", "Movimenti di terra" ecc.

4 PROVE DI CARICO SU PALI E MICROPALI

4.1 PROVE DI CARICO

Le prove di carico saranno effettuate con le modalità di cui al D.M. 14.01.2008 e s.m.i. a cura e spese dell'appaltatore.

Le prove di carico hanno principalmente lo scopo di:

- accertare eventuali deficienze esecutive nel palo;
- verificare i margini di sicurezza disponibili nei confronti della rottura del sistema palo-terreno;
- valutare le caratteristiche di deformabilità del sistema palo-terreno.

Si definiscono:

- **prove di carico assiale e/o prove di verifica** le prove effettuate su pali e micropali facenti parte della fondazione, dei quali non bisogna compromettere l'integrità; il carico massimo da raggiungere nel corso della prova (P_{max}) è in generale pari a 1,5 volte il carico di esercizio (P_{es});
- **prove a carico limite o prove di progetto** su pali pilota le prove effettuate su pali e micropali appositamente predisposti all'esterno della palificata, spinte fino a carichi di rottura

del sistema palo-terreno o prossimi ad essi; il carico massimo da raggiungere nel corso della prova (P_{max}) è in generale pari a $2,5 \div 3,0$ volte il carico di esercizio (P_{es});

Il numero e l'ubicazione dei pali e micropali da sottoporre a prova di carico devono essere stabiliti in funzione dell'importanza dell'opera, dell'affidabilità, in termini quantitativi, dei dati geotecnici disponibili e del grado di omogeneità del terreno.

I pali soggetti a prova di carico assiale potranno, a discrezione della Direzione Lavori, essere sottoposti anche a prova di ammettenza meccanica per valutare, tramite correlazione, la capacità portante statica di pali soggetti solo a prove dinamiche; la prova di ammettenza meccanica non è prevista per i micropali.

Le caratteristiche dei pali o micropali di prova (lunghezza, diametro, modalità esecutive, caratteristiche dei materiali, ecc.) dovranno essere del tutto simili a quelle dei pali o micropali dimensionati in fase di progetto.

Tutte le prove di carico dovranno essere studiate dal progettista strutturale incaricato dall'Impresa appaltatrice; il progetto delle prove di carico dovrà essere concordato ed approvato dalla Direzione dei Lavori prima della loro esecuzione. Per l'organizzazione delle prove l'Impresa dovrà avvalersi di un Laboratorio specializzato che fornirà tutta la tecnologia necessaria alle misure e test previsti nel progetto delle prove comprese le schede di rilevamento dei dati che dovranno essere assunti in contraddittorio con la Direzione dei lavori.

In Appendice vengono esplicitate le metodologie di conduzione delle prove di carico sopra individuate.

5 MISURAZIONE E CONTABILIZZAZIONE

5.1 NORME GENERALI

Resta stabilito, innanzitutto, che, sia per i lavori compensati a corpo che per quelli compensati a misura, l'Appaltatore ha l'onere contrattuale di predisporre in dettaglio tutti i disegni contabili delle opere realizzate e delle lavorazioni eseguite con l'indicazione (quote, prospetti e quant'altro necessario) delle quantità, parziali e totali, nonché con l'indicazione delle relative operazioni aritmetiche e degli sviluppi algebrici necessari alla individuazione delle quantità medesime, di ogni singola categoria di lavoro attinente l'opera o la lavorazione interessata.

Detti disegni contabili, da predisporre su supporto magnetico e da tradurre, in almeno duplice copia su idoneo supporto cartaceo, saranno obbligatoriamente consegnati tempestivamente alla Direzione Lavori per il necessario e preventivo controllo e verifica da effettuare sulla base delle misurazioni, effettuate in contraddittorio con l'Appaltatore, durante l'esecuzione dei lavori.

Tale documentazione contabile è indispensabile per la predisposizione degli Stati di Avanzamento Lavori e per l'emissione delle relative rate di acconto, secondo quanto stabilito in merito per i pagamenti.

La suddetta documentazione contabile resterà di proprietà dell'Amministrazione committente. Tutto ciò premesso e stabilito, si precisa che:

- I lavori compensati "a misura" saranno liquidati secondo le misure geometriche, o a numero, o a peso, così come rilevate dalla Direzione dei Lavori in contraddittorio con l'Appaltatore durante l'esecuzione dei lavori.
- I lavori, invece, da compensare "a corpo" saranno controllati in corso d'opera attraverso le misure geometriche, o a peso, o a numero, rilevate dalla Direzione dei Lavori in contraddittorio con l'Appaltatore, e confrontate con le quantità rilevabili dagli elaborati grafici facenti parte integrante ed allegati al Contratto di Appalto.

Per la predisposizione degli Stati di Avanzamento Lavori e per l'emissione delle relative rate d'acconto il corrispettivo da accreditare negli S.A.L. è la parte percentuale del totale del prezzo a corpo risultante da tale preventivo controllo, effettuato a misura, oltre le prescritte trattenute di Legge e le eventuali risultanze negative (detrazioni) scaturite a seguito del Collaudo in corso d'opera.

A completamento avvenuto di tutte le opere a corpo, risultante da apposito Verbale di constatazione redatto in contraddittorio con l'Appaltatore, la Direzione dei Lavori provvederà, con le modalità suddette, al pagamento del residuo, deducendo le prescritte trattenute di Legge e le eventuali risultanze negative scaturite dalle operazioni e dalle verifiche effettuate dalla Commissione di Collaudo in corso d'opera.

5.2 CRITERI DI MISURA

5.2.1 DIAFRAMMI E PALANCOLATE

Si rimanda alle norme sulle misurazioni relative alle singole lavorazioni che compongono l'opera e/o parte di opera (es. Scavi, Pali, micropali, calcestruzzi, ecc.) da realizzare.

5.2.2 PALI

La lunghezza dei pali prefabbricati, ai fini della valutazione, comprende anche la parte appuntita; per la misura del diametro, si assume quello delle sezioni a metà lunghezza.

Quando, stabilita la lunghezza dei pali da adottare, il palo avesse raggiunto la capacità portante prima che la testa sia giunta alla quota stabilita, il palo verrà reciso, a cura e spese dell'Impresa, ma nella valutazione verrà tenuto conto della sua lunghezza originaria.

Nel prezzo a metro sono comprese, oltre la fornitura del palo, anche la fornitura e applicazione della puntazza in ferro e della ghiera in testa, la posa in opera a mezzo di idonei battipali, tutta l'attrezzatura, la mano d'opera occorrente e le prove di carico da eseguire con le modalità e gli oneri previsti dal presente CSA.

Per i pali in c.a. costruiti fuori opera, ferme restando le suddette norme per la loro valutazione e messa in opera, si precisa che il prezzo comprende, oltre la fornitura, l'armatura metallica, la puntazza metallica robustamente ancorata al calcestruzzo, le cerchiature di ferro, i prismi in legno a difesa della testata e le prove di carico da eseguire con le modalità e gli oneri previsti nel presente CSA.

La lunghezza per tutti i pali costruiti in opera, compresi i pali trivellati, sarà quella determinata dalla quota di posa del plinto (riportata in prossimità dell'opera con apposita modina esterna riferita ad opportuni capisaldi topografici) alla quota di fondo palo (ricavata con la classica strumentazione topografica).

La lunghezza dei pali dovrà essere accertata in contraddittorio tra Direzione Lavori ed Appaltatore con stesura di apposito verbale di misurazione al termine della fase di perforazione.

Qualora dovessero riscontrarsi lunghezze superiori rispetto a quelle previste in progetto e non autorizzate dal D.L., la parte di palo eccedente non verrà riconosciuta all'appaltatore. Qualora dovessero riscontrarsi lunghezze inferiori rispetto a quelle di progetto, il Direttore dei lavori, una volta accertato che la minore quantità eseguita non pregiudica l'accettabilità dell'opera, effettuerà la detrazione contabile delle quantità non realizzate.

Nei relativi prezzi di Elenco si intendono compresi e compensati:

l'infissione del tuboforma, la fornitura del calcestruzzo, il suo getto e costipamento con mezzi idonei, la formazione di eventuali bulbi di base ed espansioni laterali, il ritiro graduale del tuboforma, gli esaurimenti d'acqua, l'eventuale impiego di scalpello, la rasatura e la sistemazione delle teste per l'ammorsamento nei plinti/cordoli/ecc, l'eventuale foratura a vuoto del terreno, la posa in opera, ove occorre, di un'idonea controcamicia di lamierino per il contenimento del getto nella parte in acqua, le prove di carico che saranno ordinate dalla

Direzione dei Lavori con le modalità e gli oneri previsti dal seguente capitolato; esclusa l'eventuale fornitura e posa in opera dell'armatura metallica che verrà compensata con il relativo prezzo di Elenco.

Nei prezzi di tutti i pali eseguiti in opera, sia di piccolo che di grande diametro, è sempre compreso l'onere dell'estrazione e del trasporto a rifiuto delle materie provenienti dall'escavazione del foro entro la distanza di 5 km dal confine del lotto in direzione della discarica.

5.2.3 POZZI

Si considera scavo a pozzo quello che si esegue con l'adozione di rivestimento costruito per sottomurazione e che ha, in sezione corrente, un'area teorica esterna non superiore a mq. 80; scavi aventi un'area teorica superiore agli 80 mq. saranno considerati scavi di fondazione a sezione obbligata.

Lo scavo in pozzo a cielo aperto verrà compensato con gli appositi prezzi di Elenco. Tali prezzi verranno applicati solo quando i pozzi superino la profondità di 3,00 m dal piano di campagna o di sbancamento; per pozzi profondi fino a 3,00 m lo scavo verrà contabilizzato e pagato come scavo di fondazione.

Verrà valutato come scavo di sbancamento quello eseguito al di sopra del piano orizzontale passante per la sommità del primo anello del pozzo, qualunque siano le cautele e gli accorgimenti da adottare in relazione alla acclività delle pendici ed alla natura geologica dei terreni costituenti le pendici stesse.

La contabilizzazione dello scavo dei pozzi sarà fatta in base all'area teorica ed all'altezza misurata, per zone di profondità, dal piano di posa del calcestruzzo di fondo fino alla sommità. Lo scavo degli eventuali allarghi di base sarà compensato con lo stesso prezzo dello scavo dei pozzi.

A ciascuna zona di profondità sarà applicato il relativo compenso previsto nell'Elenco Prezzi.

Le altre categorie di lavori (calcestruzzi, ferro di armatura, casseri) saranno valutate con le modalità valevoli per i normali lavori di opere d'arte, con le maggiorazioni previste dall'Elenco Prezzi.

Il rivestimento dei pozzi sarà contabilizzato come calcestruzzo in elevazione, il fondello e il riempimento dei pozzi sarà contabilizzato come calcestruzzo di fondazione; in ogni caso la eventuale armatura di ferro sarà compensata a parte.

Qualora l'Impresa, per ragioni di propria convenienza od in relazione alle caratteristiche dei terreni, eseguito lo scavo di un tratto del pozzo e prima di procedere alla costruzione dell'anello in calcestruzzo rivestisse le pareti di scavo con calcestruzzo spruzzato a pressione, tale strato di calcestruzzo verrà contabilizzato unitamente a quello costituente l'anello di rivestimento e pagato con lo stesso prezzo.

L'eventuale esaurimento di acqua di falda o vena, meccanico o non, è a cura e spese dell'Impresa fin quando lo scavo venga eseguito ad una profondità minore di 20 (venti) cm sotto il livello costante cui si stabiliscono le acque. Per profondità maggiori verrà corrisposto all'Impresa il compenso stabilito nell'Elenco dei Prezzi.

6 NON CONFORMITÀ

La Direzione dei Lavori, sulla scorta dei controlli e delle prove eseguite sulle singole lavorazioni, così come sopra descritte, provvederà, in caso di esito negativo, ad aprire delle non conformità rendendone edotto l'appaltatore.

La risoluzione delle non conformità, che coinvolgerà sempre anche il progettista nel caso di opere strutturalmente rilevanti, dovrà essere proposta dall'appaltatore e concordata con la Direzione

dei Lavori. A insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori, potranno essere comminate penalizzazioni economiche sulle lavorazioni oggetto di non conformità.

7 COLLAUDO

La competenza del collaudo tecnico delle strutture in c.a. viene in generale attribuita dalla legge al Collaudatore Statico. La norma (N.T.C. 2008) prevede che il Collaudatore Statico, è tenuto a controllare che siano state messe in atto tutte le prescrizioni progettuali e siano stati eseguiti tutti i controlli sperimentali contemplati dalla legge e dal contratto di appalto.

In particolare, il Collaudatore statico dovrà eseguire un controllo sui verbali e sui risultati delle prove di carico ordinate dal Direttore dei lavori su componenti strutturali e/o sull'opera complessiva.

Conseguentemente, nel caso delle sottofondazioni che stiamo trattando nel presente capitolato, il Direttore dei lavori sarà tenuto, oltre che ad effettuare e registrare puntualmente tutti i controlli e prove precedentemente indicati, a tenere informato il Collaudatore statico soprattutto in merito alla programmazione ed esecuzione delle prove di carico sia in caso di prove di progetto sia in caso di prove di verifica.

8 MANUTENZIONE

Come già più volte ripetuto, le strutture analizzate nel presente capitolato permettono alle strutture sovrastanti (ponti, viadotti, muri, etc.) di trasmettere i carichi in profondità nel terreno di fondazione verso strati più resistenti.

Ovviamente non può ipotizzarsi una manutenzione diretta di tali strutture interrato; occorrerà quindi valutare, nel corso delle verifiche periodiche previste dal piano di manutenzione delle strutture in elevazione sovrastanti, se le medesime presentino lesioni e/o dissesti direttamente riconducibili a fenomeni correlati alle fondazioni profonde (rotazioni, cedimenti, etc.); in tal caso si dovrà procedere con indagini mirate ad accertare le cause del cedimento.

9 NORMATIVE E RIFERIMENTI

I lavori saranno eseguiti in accordo, ma non limitatamente, alle seguenti normative:

- D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008 e succ. mod. ed integrazioni.
- Circolare 02 Febbraio 2009 n.617/C.S.LL.PP.
- Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 11/03/1988.
- Circolare LL.PP. n° 30483 del 24/09/1988;
- Norme UNI di riferimento
- ASTM DII43-81 "Standard Test Method for piles under static and compressive load".

- DIN 4150
- Associazione Geotecnica Italiana, Raccomandazioni sui pali di fondazione, Dic. 1984

10 APPENDICE

10.1 CONTROLLI SUI FANGHI

Ove il progetto preveda l'utilizzo di fanghi durante lo scavo per l'esecuzione delle sottofondazioni, l'Impresa dovrà presentare alla DL uno studio preliminare in cui siano dettagliatamente specificate le caratteristiche dei materiali da utilizzare, i corretti dosaggi e le metodologie di utilizzo.

10.1.1 CONTROLLO DEL FANGO BENTONITICO

Per il controllo della qualità del fango si eseguiranno, a cura e spese dell'Impresa e in contraddittorio con la Direzione Lavori, determinazioni sistematiche delle seguenti caratteristiche:

- a) peso di volume;
- b) viscosità MARSH;
- c) contenuto in sabbia;

ripetendo le misure con la frequenza e le modalità di prelievo sotto indicate.

Fanghi freschi maturati (determinazione delle caratteristiche a e b):

- prelievo nella vasca di maturazione con frequenza quotidiana, per ogni impianto di preparazione fanghi.

Fanghi in uso, nel corso della escavazione (determinazione della caratteristica a):

- prelievo entro il cavo, mediante campionatore, alla profondità sovrastante di 50 cm quella raggiunta dall'escavazione al momento del prelievo, con frequenza di un prelievo per ogni elemento (palo o pannello di diaframma) al termine dell'attraversamento degli strati più sabbiosi o al termine delle operazioni di scavo.

Fanghi prima dell'inizio del getto del conglomerato cementizio (determinazione delle caratteristiche a e c):

- prelievo mediante campionatore, alla profondità di 80 cm sopra il fondo dello scavo con frequenza di prelievo per ogni elemento da eseguire dopo che le armature metalliche ed il tubo di convogliamento sono già stati posti in opera.

La Direzione lavori potrà richiedere ulteriori controlli delle caratteristiche dei fanghi bentonitici impiegati, in particolare nella fase iniziale di messa a punto delle lavorazioni.

L'Impresa dovrà disporre in cantiere di una adeguata attrezzatura di laboratorio per il controllo del peso specifico o di volume, della viscosità, del contenuto in sabbia, del pH, dell'acqua libera, e dello spessore del "cake"; mentre per la constatazione delle seguenti caratteristiche:

- residui al setaccio n. 38 della serie UNI n.2331 - 2332;
- tenore di umidità;
- limite di liquidità;
- decantazione della sospensione al 6%;

si ricorrerà, a cura e spese dell'Impresa, al Laboratorio Ufficiale.

10.1.2 CONTROLLO DEL FANGO BIODEGRADABILE

Per il controllo di qualità del fango, a cura dell'Impresa e in contraddittorio con la Direzione Lavori, si eseguiranno determinazioni sistematiche delle seguenti caratteristiche:

- densità del fango biodegradabile fresco;
- densità del fango biodegradabile e viscosità del fango pronto per l'impiego;
- prova di decadimento.

I suddetti controlli verranno effettuati con frequenza quotidiana, per ogni impianto di preparazione fanghi, tranne che la prova di decadimento, che dovrà essere eseguita con frequenza settimanale, presso il laboratorio di cantiere.

La formula prevista e studiata dall'Impresa, potrà essere assoggettata ad ulteriori prove se richieste dalla Direzione Lavori.

10.1.3 CONTROLLO DEL FANGO POLIMERICICO

Per il controllo di qualità del fango, a cura dell'Impresa e in contraddittorio con la Direzione Lavori, si eseguiranno determinazioni sistematiche delle seguenti caratteristiche:

- densità del fango polimerico fresco;
- densità e viscosità del fango polimerico pronto per l'impiego.

I suddetti controlli verranno effettuati con frequenza quotidiana, per ogni impianto di preparazione fanghi.

La formula prevista e studiata dall'Impresa, potrà essere assoggettata ad ulteriori prove se richieste dalla Direzione Lavori.

10.2 TECNICA DI PROVE DI CARICO SU PALI E MICROPALI

10.2.1 PROVE SU PALI DI GRANDE DIAMETRO

10.2.1.1 PROVE DI CARICO ASSIALE E/O PROVE DI VERIFICA

I carichi di prova saranno definiti di volta in volta dal progettista, in relazione alle finalità della prova stessa.

Devono essere eseguite prove di carico statiche di verifica per controllarne principalmente la corretta esecuzione e il comportamento sotto le azioni di progetto. Tali prove devono pertanto essere spinte ad un carico assiale pari a 1,5 volte l'azione di progetto utilizzata per le verifiche SLE.

In presenza di pali strumentati per il rilievo separato delle curve di mobilitazione delle resistenze lungo la superficie e alla base, il massimo carico assiale di prova può essere posto pari a 1,2 volte l'azione di progetto utilizzata per le verifiche SLE.

Il numero e l'ubicazione delle prove di verifica devono essere stabiliti in base all'importanza dell'opera e al grado di omogeneità del terreno di fondazione; in ogni caso il numero di prove non

deve essere inferiore a:

- 1 se il numero di pali è inferiore o uguale a 20;
- 2 se il numero di pali è compreso tra 21 e 50;
- 3 se il numero di pali è compreso tra 51 e 100;
- 4 se il numero di pali è compreso tra 101 e 200;
- 5 se il numero di pali è compreso tra 201 e 500;
- il numero intero più prossimo al valore $5 + n/500$, se il numero n di pali è superiore a 500.

Il numero di prove di carico di verifica può essere ridotto se sono eseguite prove di carico dinamiche, da tarare con quelle statiche di progetto, e siano effettuati controlli non distruttivi su almeno il 50% dei pali.

Di ciascuna prova dovrà essere redatto apposito verbale, controfirmato dalle parti, nel quale saranno riportati tra l'altro: data ed ora di ogni variazione del carico, le corrispondenti letture dei flessimetri ed il diagramma carichi-cedimenti.

10.2.1.2 ATTREZZATURA E DISPOSITIVI DI PROVA

Il carico sarà applicato mediante uno o più martinetti idraulici, con corsa ≥ 200 mm, posizionati in modo da essere perfettamente centrati rispetto all'asse del palo.

I martinetti saranno azionati da una pompa idraulica esterna. Martinetti e manometro della pompa saranno corredati da un certificato di taratura recente (≈ 3 mesi).

Nel caso di impiego di più martinetti occorre che:

- i martinetti siano uguali;
- l'alimentazione del circuito idraulico sia unica.

La reazione di contrasto sarà di norma ottenuta tramite una zavorra la cui massa M dovrà essere non inferiore a 1,2 volte la massa equivalente al massimo carico di prova:

$M \geq 1,2 \times P_{prova} / g = 0,12 P_{prova}$

La zavorra sarà sostenuta con una struttura costituita da una trave metallica di adeguata rigidità sul cui estradosso, tramite una serie di traversi di ripartizione, vanno posizionati blocchi di calcestruzzo o roccia.

In alternativa la zavorra potrà essere sostituita con:

- pali di contrasto, dimensionati a trazione;
- tiranti di ancoraggio collegati ad un dispositivo di contrasto.

In questi casi si avrà cura di ubicare i pali o i bulbi di ancoraggio dei tiranti a sufficiente distanza dal palo di prova (minimo 3 diametri).

L'Impresa, nel caso di prove di carico con pali di contrasto, dovrà redigere un progetto dettagliato delle prove di carico indicando numero, interassi, dimensioni, e lunghezza dei pali;

Qualora sia richiesto l'uso di una centralina oleodinamica preposta a fornire al/ai martinetti la pressione necessaria, questa dovrà essere di tipo sufficientemente automatizzato per poter impostare il carico con la velocità richiesta, variarla in caso di necessità e mantenere costante il carico durante le soste programmate.

Per misurare il carico applicato alla testa del palo si interporrà tra il martinetto di spinta ed il palo una cella di carico del tipo ad estensimetri elettrici di opportuno fondo scala.

Nel caso non fosse disponibile tale tipo di cella, il carico imposto al palo verrà determinato in base alla pressione fornita ai martinetti misurata con un manometro oppure, dove previsto, misurata con continuità da un trasduttore di pressione collegato al sistema di acquisizione automatico e, in parallelo, con un manometro.

Il manometro ed il trasduttore di pressione, se utilizzati, dovranno essere corredati da un rapporto di taratura rilasciato da non più di 3 mesi da un laboratorio ufficiale.

Lo strumento di misura dovrà avere fondo scala e precisione adeguati e non inferiore al 5% del carico applicato per i manometri e del 2% per le celle di carico.

Se viene impiegato soltanto il manometro, il relativo quadrante dovrà avere una scala adeguata alla precisione richiesta.

E' raccomandato l'inserimento di un dispositivo automatico in grado di mantenere costante (± 20 kN) il carico applicato sul palo, per tutta la durata di un gradino di carico ed indipendentemente dagli abbassamenti della testa del palo.

Per la misura dei cedimenti, saranno utilizzati tre comparatori centesimali, con corsa massima non inferiore a 50 mm, disposti a $\approx 120^\circ$ intorno all'insieme palo-terreno.

Il sistema di riferimento sarà costituito da una coppia di profilati metallici poggianti su picchetti infissi al terreno ad una distanza di almeno 3 diametri dal palo.

Il sistema sarà protetto dall'irraggiamento solare mediante un telo sostenuto con un traliccio di tubi innocenti.

Preliminarmente all'esecuzione delle prove saranno eseguiti cicli di misure allo scopo di determinare l'influenza delle variazioni termiche e/o di eventuali altre cause di disturbo. Dette misure, compreso anche il rilievo della temperatura, saranno effettuate per un periodo di 24 ore con frequenze di 2 ore circa.

10.2.1.3 PREPARAZIONE ED ESECUZIONE DELLA PROVA

I pali prescelti saranno preparati mediante regolarizzazione della testa previa scapitozzatura del calcestruzzo e messa a nudo del fusto per un tratto di ≈ 50 cm.

Nel tratto di fusto esposto saranno inserite n.3 staffe metalliche, a 120° , per la successiva apposizione dei micrometri.

Sopra la testa regolarizzata si stenderà uno strato di sabbia di circa 3 cm di spessore, oppure una lastra di piombo.

Si provvederà quindi a poggiare una piastra metallica di ripartizione del carico di diametro adeguato, in modo da ricondurre la pressione media sul conglomerato a valori compatibili con la sua resistenza a compressione semplice.

La zavorra sarà messa a dimora dopo avere posizionato la trave di sostegno su due appoggi laterali, posti a circa 3 diametri dall'asse del palo.

L'altezza dei due appoggi deve essere sufficiente a consentire il posizionamento dei martinetti e dei relativi centratori e del sistema di riferimento per la misura dei cedimenti ($h_{\min} = 1,5$ m).

Tra i martinetti e la trave sarà interposto un dispositivo di centramento del carico, allo scopo di eliminare il pericolo di ovalizzazione del pistone.

Gli stessi accorgimenti saranno adottati anche nel caso in cui la trave o struttura di contrasto farà capo a pali o tiranti di ancoraggio.

10.2.1.4 PROGRAMMA DI CARICO

Il programma di carico sarà definito di volta in volta, in relazione alla finalità della prova.

Di norma si farà riferimento al seguente schema, che prevede due cicli di carico e scarico, da realizzarsi come di seguito specificato.

1° CICLO

- a) Applicazione di "n" ($n \geq 4$) gradini di carico successivi, di entità pari a $\square P$, fino a raggiungere il carico Pes.
- b) In corrispondenza di ciascun gradino di carico si eseguiranno misure dei cedimenti con la seguente frequenza:
 - $t = 0$ (applicazione del carico)
 - $t = 2'$

- $t = 4'$
- $t = 8'$
- $t = 15'$

Si proseguirà quindi ogni 15' fino a raggiunta stabilizzazione, e comunque per non più di 2 ore. Il cedimento è considerato stabilizzato se, a parità di carico, è soddisfatta la condizione tra due misure successive ($t = 15'$):

$$\delta s \leq 0.025 \text{ mm.}$$

Per il livello corrispondente a Pes il carico viene mantenuto per un tempo minimo di 4 ore; quindi si procede allo scarico mediante almeno 4 gradini, in corrispondenza dei quali si eseguono misure a:

- $t = 0$
- $t = 5'$
- $t = 10'$
- $t = 15'$

Allo scarico le letture verranno eseguite anche a:

- $t = 30'$
- $t = 45'$
- $t = 60'$

2° CICLO

- a) Applicazione di "m" ($m \geq 9$) gradini di carico δP fino a raggiungere il carico Pprova (o Plim).
- b) In corrispondenza di ogni livello di carico si eseguiranno misure di cedimento con la stessa frequenza e limitazioni di cui al punto "b" del 1° Ciclo.
- c) Il carico Pprova, quando è minore di Plim, sarà mantenuto per un tempo minimo di 4 ore; quindi il palo sarà scaricato mediante almeno 3 gradini (di entità $3 \delta P$) con misure a:
 - $t = 0$
 - $t = 5'$
 - $t = 10'$
 - $t = 15'$

A scarico ultimato si eseguiranno misure fino a $t = 60'$; una lettura finale sarà effettuata 12 ore dopo che il palo è stato completamente scaricato.

Si considererà raggiunto il carico limite Plim, e conseguentemente si interromperà la prova, allorquando risulti verificata una delle seguenti condizioni:

- cedimento (P_{lim}) ≥ 2 cedimento ($P_{lim} - \delta P$)
- cedimento (P_{lim}) $\geq 0,10$ diametri.

10.2.1.5 RISULTATI DELLA PROVA

Le misure dei cedimenti saranno registrate utilizzando moduli contenenti:

- il numero del palo con riferimento ad una planimetria;
- l'orario di ogni singola operazione;
- la temperatura;
- il carico applicato;
- il tempo progressivo di applicazione del carico;
- le corrispondenti misure di ogni comparatore;
- i relativi valori medi;
- le note ed osservazioni.

Le tabelle complete delle letture tempo-carico-cedimento costituiranno il verbale della prova.

Le date e il programma delle prove dovranno essere altresì comunicati alla Direzione Lavori con almeno 7 giorni di anticipo sulle date di inizio.

La documentazione fornita dall'esecutore della prova dovrà comprendere i seguenti dati:

- tabelle complete delle letture tempo-carico-cedimento che le indicazioni singole dei comparatori e la loro media aritmetica; (Sono richieste anche le fotocopie chiaramente leggibili della documentazione originale di cantiere - "verbale");
- diagrammi carichi-cedimenti finali per ciascun comparatore e per il valore medio; diagrammi carichi-cedimenti (a carico costante) per ciascun comparatore e per il valore medio;
- numero di identificazione e caratteristiche nominali del palo (lunghezza, diametro);
- stratigrafia del terreno rilevata durante la perforazione (pali trivellati);
- geometria della prova (dispositivo di contrasto, travi portamicrometri, etc.);
- disposizione, caratteristiche e certificati di taratura della strumentazione;
- scheda tecnica del palo, preparata all'atto dell'esecuzione.
- relazione tecnica riportante l'elaborazione dei dati e l'interpretazione della prova medesima nonché l'individuazione del carico limite con il metodo dell'inverse pendenze.

10.2.1.6 PROVE DI CARICO SU PALI STRUMENTATI

Quando richiesto, le prove di carico assiali, oltre che per definire la curva carico-cedimento alla testa del palo, avranno lo scopo di valutare l'entità e la distribuzione del carico assiale e della curva di mobilitazione dell'attrito lungo il palo. Pertanto, dovranno essere predisposte una serie di sezioni strumentate nel fusto del palo, e anche alla base del palo stesso. I dispositivi indicati nel presente paragrafo sono pertanto da considerarsi aggiuntivi rispetto a quanto sopra descritto

Per i pali strumentati, ad ultimazione del getto verrà eseguito un controllo generale della strumentazione per verificare l'integrità a seguito delle operazioni di realizzazione del palo. Ulteriori controlli con registrazione dei dati verranno eseguiti a 7, 14 e 28 giorni ed immediatamente prima della prova di carico. Quest'ultima costituirà la misura di origine per le successive letture.

10.2.1.7 ATTREZZATURE E DISPOSITIVI DI PROVA

Lungo il fusto del palo saranno predisposte delle sezioni strumentate il cui numero e la cui ubicazione sarà stabilito di volta in volta in accordo con la Direzione Lavori. In ogni caso dovranno essere previste almeno 4 sezioni strumentate.

Indicativamente la sezione strumentata superiore sarà ubicata esternamente al terreno in prossimità della testa del palo.

Qualora non fosse possibile realizzare la sezione strumentata di testa al di sopra del piano lavoro, dopo l'esecuzione del palo si procederà ad isolare il palo dal terreno circostante fino alla quota della sezione strumentata di testa, in questo caso la sezione strumentata di testa sarà posizionata il più vicino possibile al piano lavoro.

Le dimensioni geometriche di questa sezione strumentata dovranno essere accuratamente misurate prima delle prove.

Tale sezione consentirà di avere indicazioni sul modulo del calcestruzzo in corrispondenza dei vari gradini di carico e sarà di riferimento per il comportamento di tutte le altre.

Ogni sezione strumentata sarà costituita da almeno 3 estensimetri elettrici disposti su di una circonferenza, a circa 120° l'uno dall'altro.

Le celle estensimetriche saranno fissate all'armatura longitudinale e protette dal contatto diretto con il calcestruzzo.

Esse saranno corredate di rapporto di taratura rilasciato da un laboratorio ufficiale. Per ogni sezione strumentata si ammetteranno tolleranze non superiori a 10 cm rispetto alla quota teorica degli estensimetri elettrici.

La punta del palo verrà strumentata mediante una cella di carico costituita da estensimetri elettrici.

La sezione verrà ubicata alla distanza di circa 1 diametro dalla base del palo.

La misura degli spostamenti alla base del palo verrà realizzata con un estensimetro meccanico a base lunga. Esso misurerà le deformazioni relative tra la base e la testa del palo.

L'ancoraggio dello strumento sarà posizionato alla quota degli estensimetri elettrici e la misura sarà riportata in superficie mediante un'asta di acciaio rigida avente coefficiente di dilatazione termica comparabile con quello del calcestruzzo.

Sarà eliminato il contatto con il calcestruzzo circostante mediante una tubazione rigida di acciaio di circa 1" di diametro esterno.

Particolare cura sarà posta nel rendere minimo l'attrito tra asta interna e tubazione esterna utilizzando, ad esempio, distanziali di materiale antifrizione e altri sistemi analoghi, prestando attenzione ad usarne un numero sufficiente, ma non eccessivo.

Occorrerà garantire una perfetta tenuta tra l'ancoraggio ed il tubo esterno al fine di evitare intrusioni di calcestruzzo nell'intercapedine asta-tubo di protezione all'atto del getto.

Come per gli altri tipi di tubazione anche questa sarà portata sino in superficie a fuoriuscire dalla testa del palo a fianco della piastra di ripartizione.

In questo punto verranno installati dei trasduttori di spostamento lineari con fondo scala di circa 20÷30 mm e precisione dello 0,2% del fondo scala, per la misura in continuo degli spostamenti relativi fra il tubo di protezione (testa del palo) e l'ancoraggio solidale alla base del palo.

La testa di questo strumento andrà adeguatamente protetta contro avverse condizioni atmosferiche, contro urti meccanici accidentali e contro le variazioni di temperatura.

Gli estensimetri andranno fissati alle staffe dell'armatura e saranno dotati di barre di prolunga in acciaio da entrambi i lati non inferiori a 50 cm.

Gli strumenti saranno adeguatamente protetti da possibili urti del tubo getto con rinforzi e protezioni in acciaio da definirsi sul posto.

Tutti i cavi elettrici provenienti dagli estensimetri dovranno essere protetti dal diretto contatto meccanico con i ferri d'armatura.

Normalmente si farà in modo che le tubazioni da inserire nella gabbia siano simmetricamente disposte all'interno della sezione.

L'uscita dei cavi dalla testa del palo non dovrà costituire un ingombro alle operazioni successive. Le modalità di installazione e protezione dei cavi saranno comunicate alla Direzione Lavori.

10.2.1.8 PREPARAZIONE ED ESECUZIONE DELLA PROVA

Si applicano integralmente le specifiche esposte in precedenza per i pali di grande diametro.

10.2.1.9 PROVE DI CARICO LATERALE

Queste prove dovranno essere effettuate nel caso in cui i pali di fondazione siano stati progettati per resistere a carichi orizzontali.

Il numero ed i pali da sottoporre a prova saranno definiti dal progettista e/o concordato con la Direzione Lavori in base all'importanza dei carichi di progetto.

Nella esecuzione delle prove ci si atterrà alle prescrizioni già impartite per le prove di carico assiale, salvo quanto qui di seguito specificato.

Il contrasto sarà di norma ottenuto utilizzando un palo di caratteristiche geometriche analoghe, distante almeno 3 diametri.

Il martinetto sarà prolungato mediante una trave di opportuna rigidità.

Gli spostamenti saranno misurati su entrambi i pali. Si utilizzeranno per ciascun palo 2 coppie di comparatori centesimali fissati alla stessa quota; la prima coppia sarà disposta in posizione frontale rispetto alla direzione di carico; la seconda coppia sarà disposta in corrispondenza dell'asse trasversale alla direzione di carico.

Per la misura delle deformazioni durante la prova di carico, la Direzione Lavori indicherà i pali nei quali posizionare, prima del getto, dei tubi inclinometrici.

Si utilizzeranno tubi in alluminio a 4 scanalature, diametro $d = 81/76$ mm, resi solidali alla gabbia di armatura a mezzo di opportune legature.

Le misure saranno effettuate con una sonda inclinometrica perfettamente efficiente, di tipo biassiale, previo rilevamento delle torsioni iniziali del tubo-guida.

Se richiesto dalla Direzione Lavori anche i pali sottoposti a prove di carico laterale potranno avere sezioni strumentate con estensimetri elettrici a varie profondità.

10.2.1.10 PROVE DI PROGETTO SU PALI PILOTA

I pali di prova, eventualmente strumentati (per la determinazione del carico limite), saranno eseguiti a cura e spese dell'Impresa, con le stesse modalità di cui ai precedenti paragrafi, in numero pari all'1% del totale dei pali con un minimo di 1 palo per opera d'arte e comunque secondo le indicazioni del progettista e/o le prescrizioni del Direttore dei lavori.

Le prove per la determinazione della resistenza del singolo palo (prove di progetto) devono essere eseguite su pali appositamente realizzati (pali pilota) identici, per geometria e tecnologia esecutiva, a quelli da realizzare. I pali di prova dovranno essere realizzati in corrispondenza dell'opera, e predisposti al di fuori della palificata ad una distanza tale da non interferire con l'area di influenza della stessa e ricadere nella medesima situazione geotecnica e/o stratigrafica della palificata in progetto.

L'intervallo di tempo intercorrente tra la costruzione del palo pilota e l'inizio della prova di carico deve essere sufficiente a garantire che il materiale di cui è costituito il palo sviluppi la resistenza richiesta e che le pressioni interstiziali nel terreno si riportino ai valori iniziali.

Se si esegue una sola prova di carico statica di progetto, questa deve essere ubicata dove le condizioni del terreno sono più sfavorevoli.

Le prove di progetto devono essere spinte fino a valori del carico assiale tali da portare a rottura il complesso palo-terreno o comunque tali da consentire di ricavare significativi diagrammi dei cedimenti della testa del palo in funzione dei carichi e dei tempi.

Il sistema di vincolo deve essere dimensionato per consentire un valore del carico di prova non inferiore a 2,5 volte l'azione di progetto utilizzata per le verifiche SLE.

La resistenza del complesso palo-terreno è assunta pari al valore del carico applicato corrispondente ad un cedimento della testa pari al 10% del diametro nel caso di pali di piccolo e medio diametro ($d < 80$ cm), non inferiori al 5% del diametro nel caso di pali di grande diametro ($d > 80$ cm).

Se tali valori di cedimento non sono raggiunti nel corso della prova, è possibile procedere all'estrapolazione della curva sperimentale a patto che essa evidenzi un comportamento del complesso palo-terreno marcatamente non lineare.

Per i pali di grande diametro si può ricorrere a prove statiche eseguite su pali aventi la stessa lunghezza dei pali da realizzare, ma diametro inferiore, purché tali prove siano adeguatamente motivate ed interpretate al fine di fornire indicazioni utili per i pali da realizzare. In ogni caso, la riduzione del diametro non può essere superiore al 50% ed il palo di prova deve essere opportunamente strumentato per consentire il rilievo separato delle curve di mobilitazione della resistenza laterale e della resistenza alla base.

Come prove di progetto possono essere eseguite prove dinamiche ad alto livello di deformazione, purché adeguatamente interpretate al fine di fornire indicazioni comparabili con quelle derivanti da una corrispondente prova di carico statica di progetto.

Tali pali dovranno essere eseguiti o posti in opera alla presenza della DL, cui spetta l'approvazione delle modalità esecutive da adottarsi per i pali in progetto.

In ogni caso l'Impresa dovrà provvedere, a sua cura e spese, all'esecuzione di tutte quelle prove di controllo non distruttive che saranno richieste dalla DL per eliminare gli eventuali dubbi sulla accettabilità delle modalità esecutive.

Nel caso in cui nel corso dei lavori l'Impresa proponga di variare la metodologia esecutiva sperimentata ed approvata inizialmente, la stessa Impresa provvederà, sempre a sua cura e spese, ad effettuare le prove precedentemente descritte che la Direzione Lavori riterrà opportuno ripetere.

Di tutte le prove e controlli eseguiti, l'Impresa si farà carico di presentare una relazione tecnica riportante le attività di prova, le metodologie adottate nonché i risultati delle prove stesse.

10.2.2 PROVE DI CARICO SU MICROPALI

10.2.2.1 PROVE DI CARICO ASSIALE

I carichi di prova saranno definiti di volta in volta dal progettista, in relazione alle finalità della prova stessa.

Di norma il massimo carico di prova P_{prova} sarà:

- $P_{prova} = 1,5 P_{esercizio}$

- $P_{prova} = P_{lim}$

ove con P_{lim} si indica la portata limite dell'insieme micropalo-terreno.

Il numero e l'ubicazione delle prove di verifica devono essere stabiliti in base all'importanza dell'opera e al grado di omogeneità del terreno di fondazione. In ogni caso il numero delle prove non deve essere inferiore a quanto riportato per i pali di grande diametro. Tutte le prove saranno eseguite a cura e spese dell'Impresa.

10.2.2.2 ATTREZZATURE E DISPOSITIVI DI PROVA

Le attrezzature ed i dispositivi per l'applicazione e per la misura del carico, ed i dispositivi per la misura dei cedimenti saranno conformi alle specifiche esposte per i pali di grande diametro.

È ammessa l'esecuzione di prove di carico a compressione mediante contrasto su micropali laterali, a condizione che:

- le armature tubolari e le eventuali giunzioni filettate dei micropali di contrasto siano in grado di resistere ai conseguenti sforzi di trazione;
- la terna di micropali sia giacente sullo stesso piano verticale o inclinato.

Nel caso di micropali inclinati dovranno essere adottati tutti gli accorgimenti atti ad evitare l'insorgere di carichi orizzontali e/o momenti flettenti dovuti ad eccentricità, che potrebbero influenzare i risultati della prova.

I risultati forniti dai micropali di contrasto potranno essere utilizzati quali valori relativi a prove di carico a trazione, se i carichi effettivamente applicati sono significativi a norma di quanto definito nel presente paragrafo.

I micropali prescelti saranno preparati mettendo a nudo il fusto per un tratto di ≈ 20 cm ed eliminando tutte le superfici di contatto e di attrito con eventuali plinti, solette, murature, etc.. Nel tratto di fusto esposto saranno inserite 3 staffe metalliche, a 120° , per il posizionamento dei micrometri.

Si provvederà quindi a fissare sulla testa del micropalo una piastra metallica di geometria adeguata ad ospitare il martinetto, ed a trasferire il carico sul micropalo.

La zavorra sarà messa a dimora dopo avere posizionato la trave di sostegno su due appoggi laterali, posti a circa 3 m dall'asse del micropalo.

L'altezza degli appoggi dovrà essere sufficiente a consentire il posizionamento del martinetto e del relativo centratore, e del sistema di riferimento per la misura dei cedimenti.

Tra il martinetto e la trave sarà interposto un dispositivo di centramento del carico, allo scopo di eliminare il pericolo di ovalizzazione del pistone.

Gli stessi accorgimenti saranno adottati anche nel caso in cui la trave di contrasto farà capo ad una coppia di micropali posti lateralmente al micropalo da sottoporre a prova di compressione.

10.2.2.3 PROGRAMMA DI CARICO

Il programma di carico sarà definito di volta in volta, in relazione alle finalità della prova.

Di norma si farà riferimento al seguente schema, che prevede 3 cicli di carico e scarico, da realizzarsi come di seguito specificato.

1° CICLO

a) Applicazione di "n" ($n \geq 4$) gradini di carico successivi, di entità pari a $\frac{1}{3}P$, fino a raggiungere il carico Pes.

b) In corrispondenza di ciascun gradino di carico si eseguiranno misure dei cedimenti con la seguente frequenza:

- $t = 0$ (applicazione del carico)
- $t = 2'$
- $t = 4'$
- $t = 8'$
- $t = 15'$

si proseguirà quindi ogni 15' fino a raggiunta stabilizzazione, e comunque per non più di 2 ore.

Il cedimento s è considerato stabilizzato se, a parità di carico, è soddisfatta la condizione tra due misure successive ($\delta t = 15'$): $s \leq 0,025$ mm.

c) Per il livello corrispondente a Pes il carico viene mantenuto per un tempo minimo di 4 ore; quindi si procede allo scarico mediante almeno 3 gradini, in corrispondenza dei quali si eseguono misure a $t = 0, t = 5', t = 10', t = 15'$.

Allo scarico le letture verranno eseguite anche a $t = 30', t = 45'$ e $t = 60'$.

2° CICLO

a) Applicazione rapida di un carico di entità $\frac{1}{3}$ Pes

b) Lettura dei cedimenti a $t = 0, 1', 2', 4', 8', 15'$

c) Scarico rapido e letture a $t = 0$ e $5'$

d) Applicazione rapida di un carico di entità $\frac{2}{3}$ Pes

e) Lettura dei cedimenti come in "b"

f) Scarico come in "c"

g) Applicazione rapida di un carico di entità pari a Pes

h) Lettura dei cedimenti come in "b"

i) Scarico con letture a $t = 0, 5', 10', 15'$ e $30'$.

3° CICLO

-
- a) Applicazione di "m" ($m \geq 9$) gradini di carico δP fino a raggiungere il carico Pprova (o Plim).
- b) In corrispondenza di ogni livello di carico si eseguiranno misure di cedimento con la stessa frequenza e limitazioni di cui al 1° ciclo, punto "b".
- c) Il carico Pprova, quando è $< P_{lim}$, sarà mantenuto per un tempo minimo di 4 ore; quindi il palo sarà scaricato mediante almeno 3 gradini con misure a $t = 0$, $t = 5'$ e $t = 10'$ e $t = 15'$.
A scarico ultimato si eseguiranno misure fino a $t = 60'$.

Si considererà raggiunto il carico limite Plim, e conseguentemente si interromperà la prova, allor- quando misurando il cedimento s risulterà verificata una delle seguenti condizioni:

- $s (P_{lim}) \geq 2 \times s (P_{lim} - \delta P)$
- $s (P_{lim}) \geq 0.2 d + sel$

ove:

d = diametro del micropalo

sel = cedimento elastico del micropalo.

10.2.2.4 RISULTATI DELLE PROVE

Le misure dei cedimenti saranno registrate con le stesse modalità indicate per i pali di grande diametro.