

6 PROVE SULLE FONDAZIONI

6.1 PROVA DI CARICO STATICA SU PALI DI FONDAZIONE

Il comportamento di un palo di fondazione è influenzato in maniera determinante dalla tecnologia esecutiva (palo battuto prefabbricato, palo battuto gettato in opera, palo trivellato, ecc.) in relazione alla natura ed alle caratteristiche dei terreni attraversati.

Le caratteristiche sono anche fortemente influenzate dalla qualità del materiale impiegato e da eventuali riprese di getto.

All'atto della costruzione di una palificata, inoltre, una serie di fattori in gran parte casuali assumono un grande rilievo. Fra questi la variabilità dei terreni nell'ambito delle dimensioni dell'opera in progetto ed il verificarsi di difetti, o comunque di variazioni, in un certo numero di pali per effetto di difficoltà o comunque difformità esecutive.

La risposta in portata di un palo è quindi in gran parte influenzata da aspetti esecutivi, non controllabili dal progetto.



Da queste prime osservazioni, ne deriva che la verifica della capacità portante del palo deve essere basata su osservazioni sperimentali relative alle specifiche condizioni in esame.

Un primo tipo di prova è la *prova di progetto* o pilota, normalmente spinta a rottura o ad un carico massimo di prova pari ad almeno tre volte il carico di esercizio. La prova di progetto è quindi una prova distruttiva, e deve essere eseguita su un palo appositamente realizzato, non appartenente alla palificata in progetto e detto, appunto, palo pilota. La sua finalità è quella di determinare il carico limite del palo e di studiarne la curva carico-cedimento.

Se il palo è opportunamente strumentato, consente lo studio separato della resistenza laterale, della resistenza alla punta e delle relative funzioni di trasferimento.

La prova di collaudo, al contrario, viene eseguita su pali scelti a caso nell'ambito della palificata, durante o dopo la costruzione di quest'ultima o al massimo sull'1÷2% del totale, e comunque su almeno due pali. Il numero delle prove e le loro modalità devono essere precisati nel contratto di appalto. La prova non può essere distruttiva, e quindi il carico di prova viene limitato ad 1,5 volte il carico di esercizio. La sua finalità è essenzialmente quella di controllare la corretta esecuzione e quindi la buona riuscita del palo, nonché di verificare che non vi sia eccessiva disomogeneità di comportamento tra i vari pali di una palificata; in linea secondaria, può fornire indicazioni indirette sul coefficiente di sicurezza del palo.

In generale occorre tener presente i seguenti elementi:

- le modalità esecutive del palo di prova, nel caso di palo pilota, devono essere le stesse previste per i pali della palificata, in modo che i risultati della prova siano significativi; per lo stesso motivo il palo pilota deve essere ubicato all'interno o nelle immediate adiacenze della palificata;
- le prove pilota debbono essere eseguite in prossimità di sondaggi e/o prove in sito, in modo che i relativi risultati siano riferiti ad una precisa situazione stratigrafica;
- i pali da sottoporre a prova di collaudo devono essere scelti dopo la costruzione, in modo da evitare che vengano realizzati con cura particolare e da indurre l'esecuzione ad esplicare per tutti i pali la massima cura;
- i pali battuti in terreni coesivi non devono essere sottoposti a prova prima che siano sostanzialmente dissipate le sovrappressioni neutre indotte dalla battitura. L'intervallo di tempo necessario a tal fine varia fra alcune settimane ad alcuni mesi.

6.1.1 Attrezzature di prova

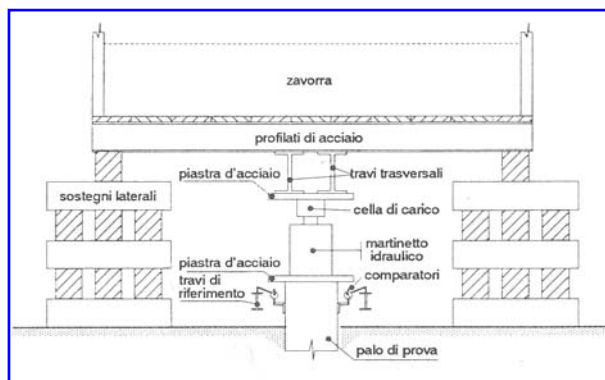
L'applicazione del carico al palo viene fatta con un martinetto idraulico azionato da una centralina oleodinamica. Per sistemare il martinetto, si costruisce in testa al palo un dado in cemento armato, la cui faccia superiore viene accuratamente spianata. Per i pali di grande diametro è sufficiente spianare la base superiore, arricchendo l'armatura di cerchiaggio nella parte estrema del palo e/o disponendo uno spezzone di tubo metallico per il contenimento laterale. Fra il martinetto ed il palo si interpone una piastra di acciaio con spessore generalmente compreso tra 1 e 2 cm.

Per i carichi più elevati è talvolta necessario disporre più di un martinetto; in questo caso è buona norma evitare di usarne due, ma ricorrere alla disposizione a tre martinetti, condizione molto più stabile. Sono disponibili martinetti con fondo scala da 1 a 10 MN.

La corsa del pistone deve essere sufficiente ad evitare interruzioni della prova e successive riprese previa l'interposizione di spessori; per le prove pilota, quindi, il martinetto deve avere una corsa pari ad almeno il 10÷20% del diametro del palo.

Per prove di lunga durata, inoltre, il sistema oleodinamico sarà munito di un automatismo che mantenga costante il carico applicato man mano che si sviluppa il cedimento.

Il martinetto può essere contrastato da una zavorra, realizzata con una orditura



di travi principali in acciaio su cui poggia una piattaforma di putrelle d'acciaio (orditura secondaria) poggiante su sostegni laterali realizzati con cataste di travi di legno o con blocchi di calcestruzzo. Sulla piattaforma si dispongono blocchi di calcestruzzo.

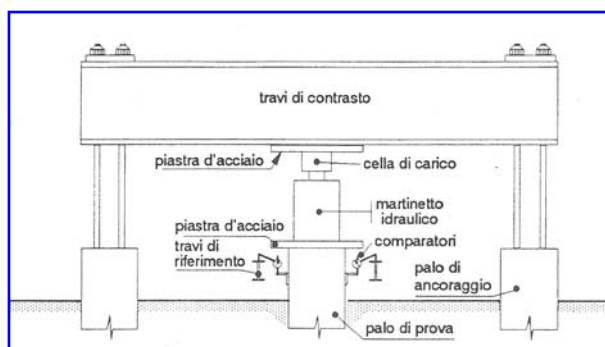
L'intero sistema deve essere accuratamente dimensionato, disposto in maniera tale da evitare la possibilità di movimenti relativi tra i vari elementi e con baricentro quanto più possibile prossimo all'asse del palo. Inoltre, per evitare problemi di instabilità del sistema di contrasto, è preferibile che il suo peso totale ecceda del $10\div 20\%$ il massimo carico di prova.

L'area di base dei sostegni laterali deve essere tale da evitare problemi di carico limite in presenza di terreni in superficie particolarmente scadenti.

I sostegni devono essere disposti ad una distanza del palo di prova di almeno $3\div 4$ volte il diametro del palo stesso (e comunque non minore di 1,5 m), allo scopo di limitare le interferenze.

In alternativa al sistema con zavorra, il martinetto può contrastare contro una trave ancorata a due o più pali di ancoraggio che lavorano a trazione.

In questo caso è importante che la distanza tra i pali sia tale da limitare i fenomeni di interazione tra i pali di ancoraggio e quello di prova. L'interazione, infatti, determina una riduzione del cedimento misurato sotto il generico carico applicato e comporta una sovrastima delle capacità del palo di prova. Poiché il fenomeno dipende fortemente dalle proprietà meccaniche dei terreni e dei pali nonché dalla geometria degli stessi, il problema andrebbe studiato di caso in caso. In genere si può ritenere accettabile una distanza tra il palo di prova ed i pali di ancoraggio non minore di 4 volte il diametro dello stesso palo di prova (e comunque non inferiore a 2 m).



La configurazione del martinetto e della trave di contrasto può essere adattata per prove a trazione.

La scelta del dispositivo di reazione discende da considerazioni di natura assai varia. Ad esempio, laddove vi sia carenza di spazio, si può pensare di adottare uno schema pali di ancoraggio e travi di contrasto. Tale scelta però può essere ostacolata dalla scarsa capacità degli stessi pali di resistere per solo attrito laterale ai massimi carichi agenti durante la prova; inoltre, laddove si preveda l'esecuzione di un gran numero di prove, potrebbe essere vantaggioso sotto il profilo puramente economico adottare un sistema con zavorra da utilizzare ripetute volte.

6.1.2 Misura del carico e degli spostamenti

Il carico viene generalmente misurato determinando, mediante un manometro posto sul circuito idraulico in prossimità del martinetto, la pressione dell'olio nel circuito e moltiplicandola per l'area del pistone del martinetto. Per quanto precisa possa essere la misura di pressione (si ricorda in tal caso che il manometro deve essere corredato da un certificato di taratura rilasciato da non oltre un anno da un laboratorio ufficiale), essa è comunque affetta dagli attriti fra cilindro e pistone, che dipendono in maniera del tutto casuale da fattori quali l'usura del martinetto, la perfetta centratura del carico, ecc..

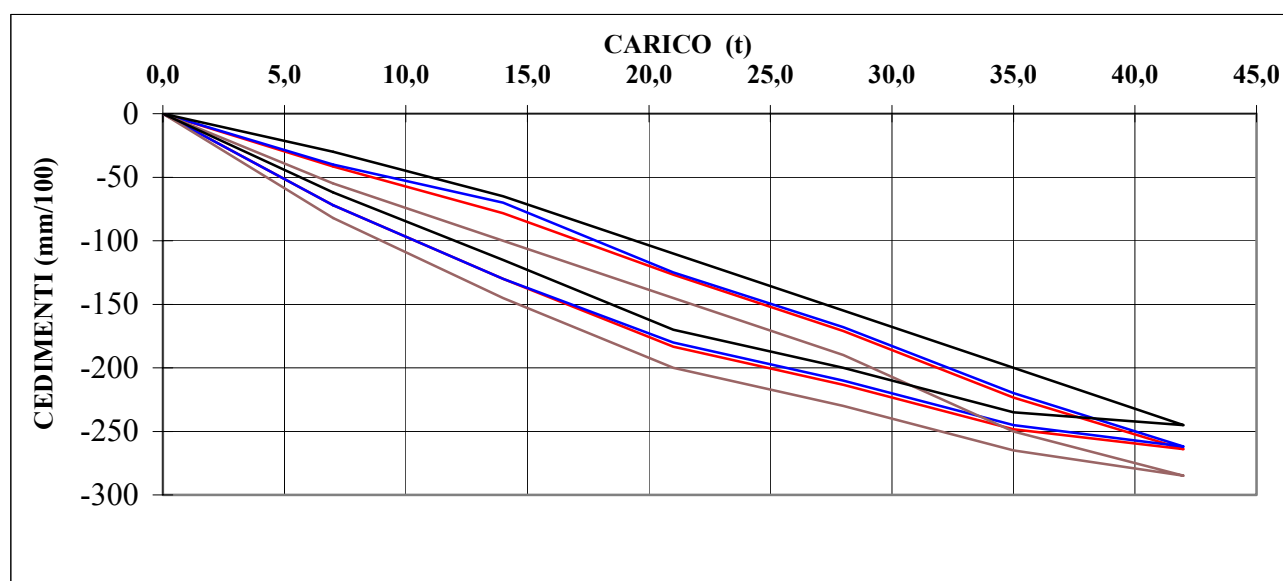
Per tale motivo è preferibile effettuare la misura della forza applicata utilizzando una cella di carico.

La misura degli abbassamenti della testa del palo viene eseguita mediante sensori di spostamento elettronici, con risoluzione 0,001 mm, interposti tra la testa del palo ed apposite travi poggianti sul terreno tramite supporti sufficientemente lontani dal palo di prova e dai sostegni laterali della zavorra o dai pali di ancoraggio.

I supporti devono essere saldamente immorsati nel terreno e disposti ad una distanza dal palo di prova pari almeno a 3 volte il diametro del palo.

Le travi portasensori devono essere dotate di elevata rigidezza flessionale ed avere un estremo libero di scorrere per consentire la dilatazione termica. E' inoltre importante schermare i sensori e le aste dai raggi solari.

I sensori di misura devono essere almeno in numero di tre, onde controllare eventuali rotazioni della testa del palo, devono avere una corsa non minore di 50 mm ed essere facilmente riposizionabili.



Oltre al carico applicato ed allo spostamento verticale della sommità del palo, è possibile eseguire misure di spostamenti e/o deformazioni a diverse profondità lungo il fusto del palo. Questo tipo di misure consente di ottenere informazioni sullo sviluppo delle resistenze alla punta e laterale, e pertanto accrescono significativamente l'utilità delle prove di carico, specie quelle di progetto. Per quanto si tratti di misure delicate è opportuno eseguirle quanto più spesso è possibile.

Le misure delle deformazioni in profondità vengono effettuate tramite l'applicazione di uno spezzone d'armatura strumentato, con estensimetri elettrici, fissato alla gabbia di armatura del palo e quindi annegata nel getto di calcestruzzo. La misura è riportata all'esterno tramite cavi collegati ad una unità di acquisizione dati.

6.1.3 Modalità di prova

Esistono numerose modalità con le quali sottoporre un palo a prova di carico, che si distinguono essenzialmente in base alle velocità di applicazione del carico e dello spostamento. Di conseguenza esse possono essere raggruppate in:

- 1) prove a carico controllato;
- 2) prove a deformazione controllata.

Nella prima categoria rientrano le procedure più largamente utilizzate, per le quali i vari incrementi vengono via via applicati sul palo e mantenuti per un periodo più o meno lungo.

Della seconda categoria, invece, fanno parte quelle procedure per le quali il palo è costretto a penetrare nel terreno ad una assegnata velocità di movimento.

La procedura più utilizzata è quella a carico controllato. Essa consiste nell'applicare il carico ad incrementi discreti. Ciascun incremento è pari al 25% del carico di esercizio. In tal modo si ottengono sei incrementi di carico (tenuto conto che si arriva a 1,5 volte il carico di esercizio) e sei di scarico. Questo consente una definizione sufficientemente accurata della curva carico-cedimento e del carico limite. La durata è generalmente di 20 minuti ma comunque va attesa la stabilizzazione del cedimento.

Per le prove pilota, è opportuno che si raggiunga il massimo cedimento possibile anche dopo che sia avvenuta la rottura, ed è comunque necessario rilevare la curva di scarico.