

TEST DI INTEGRITÀ SU PALI DA FONDAZIONE

METODO ECOMETRICO



1. PREMESSA

L'impiego di fondazioni su pali comporta l'esigenza da parte dei progettisti, dei committenti e delle imprese costruttrici di verificare che il prodotto finito sia conforme ai dati di progetto ed esente da difetti che possano pregiudicarne la funzionalità.

Per soddisfare tale esigenza è possibile utilizzare il metodo ecometrico (test di integrità a bassa intensità di energia) che sfrutta la propagazione delle onde elastiche all'interno del calcestruzzo, al fine di stimare la lunghezza del palo e valutare l'eventuale presenza di difetti al suo interno. I difetti più comuni possono essere strozzature, sbulbature, interruzioni del fusto del palo o tratti in cui le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo sono più scadenti.

2. QUADRO NORMATIVO

In assenza di uno specifico quadro normativo nazionale si può fare riferimento alla Norma americana **ASTM D 5882**

“Standard Test Method for Low Strain Integrity Testing of Piles” o alla Norma francese **AFNOR NF P 94-160-2** “Auscultation d'un élément de fondation Partie 2: Méthode par réflexion”.

3. STRUMENTAZIONE

L'apparecchiatura per il test comprende una centralina di acquisizione dati dotata di display alla quale viene collegato un accelerometro e un martello per generare un'onda di compressione all'interno del fusto del palo. I dati raccolti vengono successivamente trasferiti a computer per la loro elaborazione tramite l'utilizzo di un software dedicato.

4. CAMPO DI APPLICABILITÀ DEL TEST

Il test si può applicare a tutti i pali di fondazione di cemento armato, sia del tipo costruito in opera o infisso, a sezione circolare o meno, inclinato o dritto, ove la testa sia accessibile.

La snellezza dell'elemento, definita come il rapporto tra la lunghezza (L) e il diametro (Φ) del palo, è preferibile che sia compresa tra 10 e 30.

5. MODALITÀ DI ESECUZIONE

Il metodo consiste nel:

- generare un'onda d'urto mediante l'utilizzo di un martello;
- misurare contestualmente la velocità prodotta alla testa del palo dal moto vibratorio mediante l'utilizzo di un accelerometro;
- riportare il segnale della velocità registrato nel dominio del tempo;
- analizzare il riflessogramma ottenuto misurando la distanza tra due picchi per ricavare in maniera indiretta la lunghezza del palo.

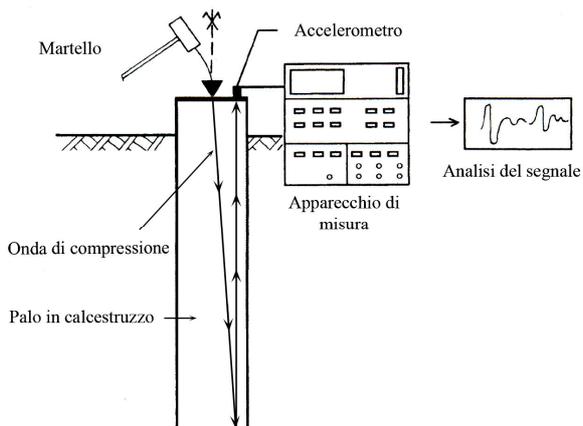


Figura 1: schematizzazione del metodo ecometrico.

6. QUADRO TEORICO

Il principio fisico della prova di integrità ecometrica è quello della propagazione dell'onda di compressione in un mezzo elastico.

Il palo è messo in vibrazione con una forza impulsiva assiale esercitata mediante l'impiego di un martello. L'onda di compressione generata dal colpo del martello sull'estremità superiore del palo si propaga verso il basso all'interno del

palo. Giunta alla base del palo, in assenza di discontinuità, l'onda viene riflessa verso l'alto e rilevata alla testa del palo dal sensore accelerometrico. L'intervallo di tempo trascorso tra l'impulso e la sua ricezione da parte dell'accelerometro, avendo fissato con buona approssimazione la velocità di propagazione dell'onda, consente di risalire alla lunghezza del palo mediante l'espressione

$$l = \frac{C_0 \cdot \Delta t}{2}$$

dove C_0 (velocità dell'onda) è fissata a priori in base alla qualità del calcestruzzo o meglio stimata sperimentalmente su un elemento di lunghezza nota.

L'intervallo di tempo Δt registrato è quello necessario all'onda a percorrere due volte il palo (in discesa dopo il colpo, ed in risalita dopo esser stata riflessa dal fondo).

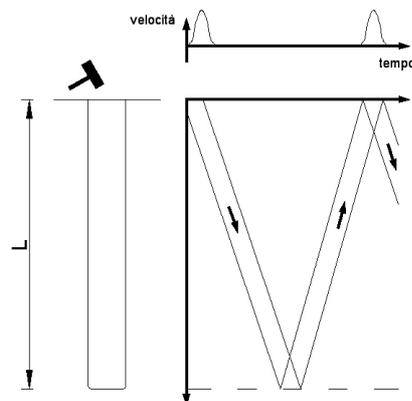


Figura 2: palo integro.

Il diagramma ideale del segnale registrato in assenza di terreno, è simile al seguente:

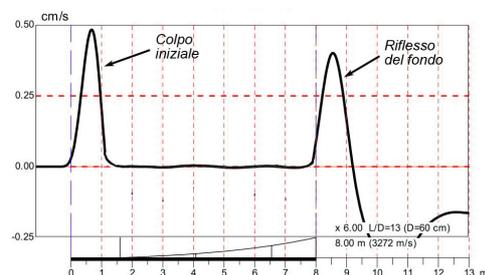


Figura 3: riflessogramma in condizioni ideali.

In realtà un classico diagramma ecometrico risulta essere diverso da quello sopra riportato in quanto influenzato dalla presenza del terreno. Questo produce una parziale riflessione delle onde elastiche. Un tipico diagramma ecometrico risulta essere dunque il seguente:

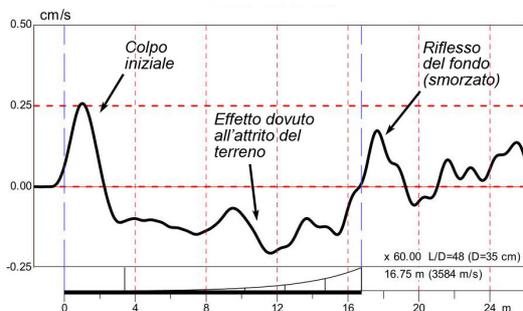


Figura 4: riflessogramma reale.

In caso di difetto, ad esempio in presenza di una strizione, l'onda di compressione è parzialmente riflessa secondo lo schema seguente.

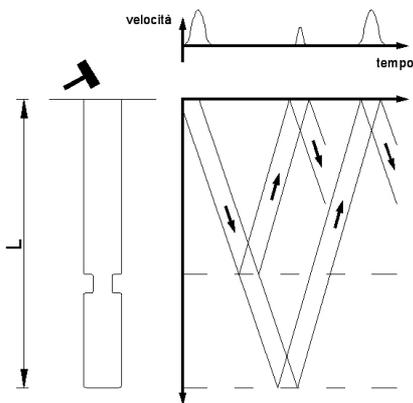


Figura 5: palo con difetto.

In un caso del genere sono registrate più onde di compressione in arrivo all'accelerometro posizionato sulla testa, che ci consentono di comprendere anche a che profondità è situato il difetto.

Se esiste invece un'interruzione netta, ci si troverà di fronte ad un diagramma con un picco iniziale ed uno finale, ma la cui distanza risulterà essere inferiore alla lunghezza del palo.

7. INDIVIDUAZIONE DEI DIFETTI

Da un punto di vista teorico si può affermare che un palo è difettoso se il riflessogramma presenta dei picchi prima del riflesso di base.

I difetti comunque sono di varia natura, possono esserci degli allargamenti localizzati delle sezioni (sbulbature), dei restringimenti (strizioni), vespai, fratture, ...

Il riflessogramma atteso in caso di sbulbatura è del tipo seguente:

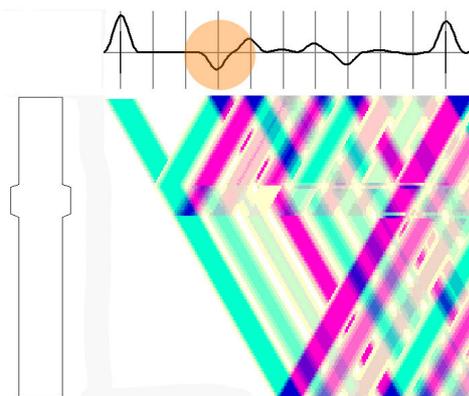


Figura 6: riflessogramma di un palo con sbulbatura.

Il difetto in questione si denuncia se nel riflessogramma compaiono due picchi ravvicinati: il primo è di verso opposto al picco iniziale, ed il secondo di verso concorde. La distanza tra il picco positivo e quello negativo creati dal difetto, può dare delle informazioni sulla lunghezza dello stesso.

In maniera analoga, ma opposta, si presenta il riflessogramma di un palo affetto da strizione.

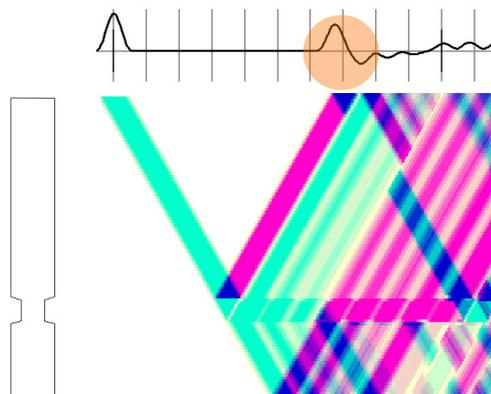


Figura 7: riflessogramma di un palo con strizione.

Ad una prima analisi potrebbe sembrare che il palo sia più corto del previsto, ma la comparsa di un riflesso positivo successivo a quello negativo denuncia la presenza di una strizione, con relativa attenuazione del riflesso proveniente dal piede del palo. È bene però tener presente che eventuali riflessioni intermedie, più o meno accentuate, possono essere dovute anche a variazioni litologiche che modificano la capacità vibratoria del palo. In caso di dubbio è utile verificare se un dato riflesso si presenta anche nei pali presenti nella stessa zona del palo testato.

8. CONDIZIONI NECESSARIE IN SITO

Oltre al fatto che i pali siano facilmente accessibili agli operatori, per ottenere i migliori risultati possibili è fondamentale che la superficie sia priva d'acqua e che la testa del palo sia perfettamente liscia nelle aree di battuta e di posizionamento dell'accelerometro. Infatti, se le misure in cantiere non sono significative, ogni successiva interpretazione risulterà priva di fondamento.

A tal fine è bene che siano seguite le seguenti indicazioni:

1. Eliminare l'acqua presente sulla superficie della testa del palo;
2. Rimuovere eventuali porzioni di calcestruzzo fratturate e che suonano a vuoto;
3. Legare fra loro le barre longitudinali e rimuovere il ferro a spirale dell'armatura per evitare interferenze nel segnale;
4. Preparare due aree per il posizionamento della strumentazione: una per il martello al centro del palo, e un'altra per consentire invece il posizionamento dell'accelerometro all'interno del perimetro della testa del palo.

9. INFORMAZIONI UTILI

È bene che l'operatore che esegue la prova reperisca i seguenti dati:

- geometria di progetto dei pali da testare;
- caratteristiche meccaniche dei materiali utilizzati;
- data del getto di ogni elemento;
- tecnologia adottata per la loro realizzazione;
- eventuali problemi sorti durante l'esecuzione.



Figura 8: fase di esecuzione della prova.

10. LIMITI DI APPLICABILITÀ

I metodi vibrazionali a bassa intensità di energia sono metodi di indagine indiretta. Essi valutano la lunghezza fisica dell'elemento di palo interessato dalla propagazione delle vibrazioni indotte in sommità.

Tali metodi devono essere usati per individuare, nell'ambito di una palificata, il palo o i pali suscettibili di anomalie costruttive o comunque caratterizzati da un comportamento anomalo rispetto al comportamento medio dei pali della palificata.

Le indicazioni così ottenute possono essere utilizzate per esprimere giudizi d'idoneità di una palificata o per indirizzare opportunamente eventuali indagini dirette supplementari.

Cambi di sezione dell'ordine del 10% possono essere non individuati. Variazioni litologiche importanti possono creare riflessi che disturbano l'analisi del riflessogramma.

Questo test non dà informazioni sulla resistenza ultima del palo testato, e dunque sulla sua capacità portante, ma solo sulla presenza o meno di difetti meccanici lungo il fusto del palo.