

TEST DI INTEGRITÀ SU PALI DA FONDAZIONE METODO DEL CROSSHOLE



1. PREMESSA

La prova di Crosshole Sonic Logging (CSL) fu sviluppata in Francia a cura del "Centre Experimental de Recherches d'Etudes du Batiment et des Travaux Publics" (CEBTP) nel 1960. Ancora oggi, tra le varie prove d'integrità non distruttive, risulta essere uno dei metodi che assicura maggiori certezze nella stima dell'integrità e omogeneità delle fondazioni profonde gettate in opera.

2. QUADRO NORMATIVO

In assenza di uno specifico quadro normativo nazionale si può fare riferimento ai documenti prodotti negli USA e in Francia. Essi, rispettivamente, sono:

- ASTM D6760-14: "Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundation by Ultrasonic Crosshole Testing";
- NFP 94-160-1 della AFNOR "Auscultation d'un élément de fondation – Partie 1: Méthode par transparence".

3. QUADRO TEORICO

La velocità di propagazione c delle onde ultrasoniche che viaggiano attraverso un mezzo omogeneo ed elastico di lunghezza L , è data da:

$$c = \frac{L}{t} \quad (1)$$

dove t è il tempo di transito, ed è legata alle costanti elastiche del mezzo tramite la seguente espressione:

$$c = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (2)$$

dove:

- E = modulo elastico del materiale;
- ρ = densità del materiale;
- ν = coefficiente di Poisson.

Sostituendo l'equazione (2) nella (1) si ottiene:

$$t = L \left[\frac{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}{E(1-\nu)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Dalla (3) si nota che se la distanza del percorso dell'onda è costante, il tempo t è funzione delle sole proprietà del materiale.

Il metodo Crosshole utilizza la relazione (3) per stimare le caratteristiche del calcestruzzo, misurando il tempo di transito di un impulso ultrasonico che viaggia tra la sonda emittente e quella ricevente che si spostano con la stessa velocità all'interno dei due tubi fra loro paralleli, generalmente in acciaio, riempiti d'acqua.

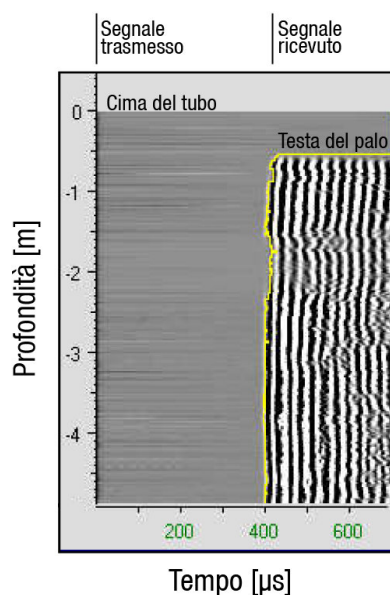


Figura 1: tipico segnale registrato che si ottiene con Crosshole test.

La velocità di trasmissione determinata mediante questa prova è usata come indicatore per valutare la qualità del calcestruzzo e l'integrità dell'elemento di fondazione; per una data distanza attraversata dall'onda di compressione, un maggiore tempo di trasmissione del segnale indica la presenza di zone di calcestruzzo di minore qualità.

4. ELABORAZIONE SEGNALE ACQUISITO

Il profilo in Figura 1 è stato ottenuto elaborando i dati registrati dalla sonda di ricezione. Come si può vedere in Figura 2, il grafico si ottiene recependo il segnale a intervalli regolari e assegnando all'onda un colore che varia in funzione della fase del segnale.

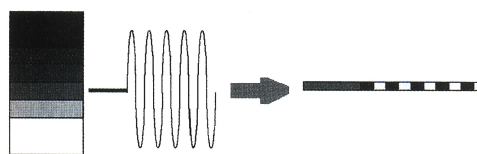


Figura 2: rimodulazione del segnale nella tecnica del crosshole.

Il palo sarà privo di difetti se le linee scure verticali si alternano con regolarità alle linee chiare, senza interruzioni di sorta.

5. STRUMENTAZIONE

L'apparecchiatura per il test comprende un generatore di impulsi, due sonde piezoelettriche (Figura 3), un verricello per il controllo della profondità raggiunta dalle sonde e la centralina di acquisizione dei dati che amplifica, mostra e memorizza i segnali ricevuti. La sonda trasmittente emette un impulso sonico con una frequenza variabile tra 50-60 kHz. In questo è possibile ricostruire il profilo dell'elemento con una risoluzione di circa 10-20 mm.



Figura 3: particolare delle sonde.

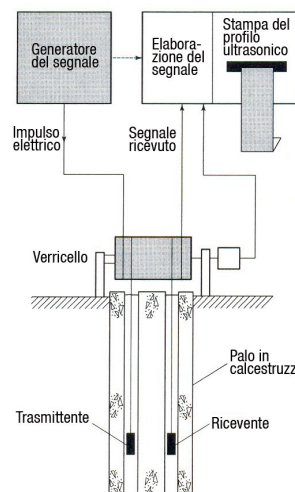


Figura 4: rappresentazione schematica della strumentazione.

6. DISPOSIZIONE DEI TUBI DI AUSCULTAZIONE

Il numero dei tubi di auscultazione da installare è funzione delle dimensioni della sezione dell'elemento da testare, secondo le seguenti linee guida:

- per tutti gli elementi di fondazione lo spazio tra due tubi deve essere compreso tra 0,30 m e 1,50 m;
- per un elemento di fondazione a sezione circolare di diametro D (Figura 5), così come suggerito dalle norme sopraccitate, è preferibile attenersi a quanto segue:
 - 2 tubi con $D < 60$ cm;
 - 3 tubi con $D < 100$ cm;
 - 4 tubi con $D \geq 100$ cm.

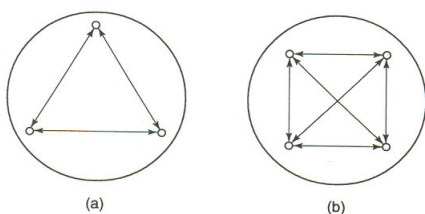


Figura 5: tipiche disposizioni per pali-prova (a) con 3 tubi (3 discese); (b) con 4 tubi (6 discese).

È bene che i tubi abbiano un diametro non superiore a 40 mm per evitare spostamenti relativi tra le sonde e devono proseguire oltre testa palo per 20-50 cm; è preferibile inoltre che siano legati all'armatura del palo in modo che si mantengano a una distanza costante durante il getto del calcestruzzo.

Il tubo di auscultazione è solitamente in acciaio, talvolta in PVC. Mentre il primo presenta un buon legame con il calcestruzzo, il secondo presenta un elevato rischio di danneggiamento durante l'installazione, con la conseguente impossibilità di ottenere informazioni al di sotto della porzione danneggiata; il vantaggio invece sta nel non creare interferenze al segnale, essendo la velocità di propagazione dell'impulso sonico nel PVC intermedia tra quella in acqua e nel calcestruzzo.

7. CONDIZIONI NECESSARIE IN SITO

Per poter effettuare il test in maniera ottimale è necessario che in cantiere si realizzino le seguenti condizioni:

- I tubi di auscultazione e l'area dove sono ubicati devono essere accessibili agli operatori; nelle immediate vicinanze deve trovarsi una zona sgombra dove sistemare il verricello e la centralina di acquisizione;
- I tubi devono essere perfettamente liberi in modo da poter essere attraversati dalle sonde senza alcun intoppo;
- I tubi devono essere riempiti d'acqua pulita fino alla loro sommità.

8. INFORMAZIONI UTILI

Deve essere cura dell'operatore che esegue la prova reperire presso il committente i seguenti dati:

- geometria di progetto dell'elemento/i da testare;
- caratteristiche meccaniche del calcestruzzo;
- data del getto di ogni elemento;
- tecnologia adottata per la realizzazione del manufatto;
- eventuali problemi sorti durante la realizzazione.

9. SVOLGIMENTO DELLA PROVA

Le sonde vengono calate fino al fondo dei tubi facendo attenzione che restino ben tese e non sfalsate. Adoperando il verricello vengono quindi fatte risalire lentamente alla velocità di circa 10-20 cm/s registrando i segnali. In caso di risalita troppo rapida, un segnale luminoso posizionato sul verricello avverte l'operatore che provvederà a rallentare.



Figura 6: un momento di esecuzione della prova.

La prova viene ripetuta per ogni coppia di tubi; in un sistema a tre tubi verranno quindi eseguite tre risalite, in un sistema a quattro tubi sei, così come illustrato in Figura 5.

10. ANALISI DEI RISULTATI

Se in un palo sono presenti tre tubi, otterremo tre profili sonici come quelli riportati ad esempio in Figura 7.

L'asse orizzontale riporta il tempo (μs), mentre quello verticale la lunghezza del palo (in m). Nella colonna in chiaro a destra dei profili sonici è riportata l'intensità del segnale. I diagrammi riportati non evidenziano particolari difetti nel palo: il segnale non si interrompe e la sua intensità rimane sufficientemente costante.

Nella Figura 8 viene invece mostrato il particolare di un difetto all'interno di un palo riscontrato nella visualizzazione del profilo ultrasonico.

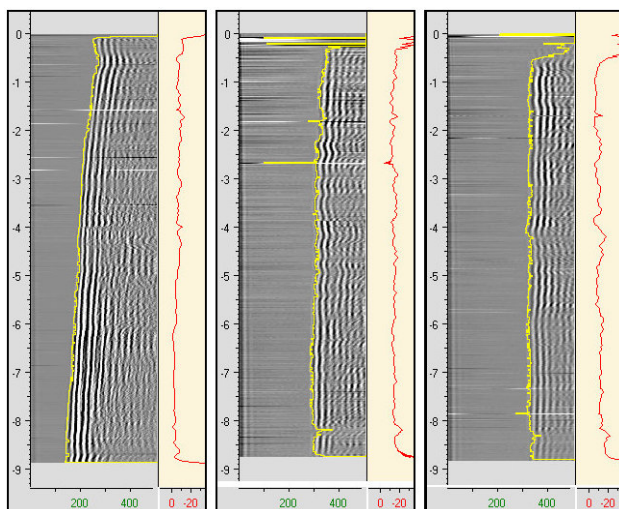


Figura 7: esempi di profili ultrasonici di un palo integro.

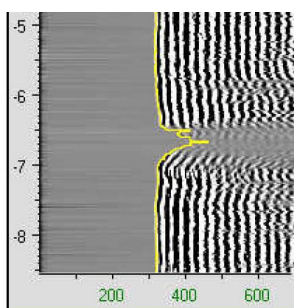


Figura 8: particolare di un difetto del palo.

11. LIMITI DEL CROSSHOLE

Utilizzando il metodo del Crosshole è possibile valutare l'integrità dell'elemento di fondazione determinando con precisione la quota cui si collocano eventuali difetti presenti tra i tubi di auscultazione. Se però il difetto è situato troppo vicino al perimetro del palo, esso potrebbe non essere individuato. Un altro limite del metodo è rappresentato dalla necessità di conoscere a priori i pali da testare per permettere il posizionamento dei tubi di auscultazione prima del getto di calcestruzzo. Solo in casi estremi, e per specifiche necessità, si può ricorrere a trivellazione del palo da testare.

Infine è bene ribadire che questo test non dà informazioni sull'interazione palo-terreno, e dunque sulla sua effettiva capacità portante, ma solo sulla presenza o meno di difetti lungo il fusto del palo.