

Fondazioni: Prova di Integrità - Metodo di prova a bassa deformazione.

p.i. Michele Massaccesi - DRC srl Ancona - Italy

Introduzione Fondazioni

La fase di progettazione di un'opera di fondazione implica la valutazione di una serie di parametri legati alle esigenze di carico della struttura sovrastante ed alle condizioni del terreno.

Il progettista in fase di scelta della tipologia di fondazione dovrà considerare anche il metodo di indagine più idoneo per la verifica della stessa in corso d'opera ed in post-istallazione.

Le fondazioni profonde per loro natura sono inserite nel terreno e pertanto non possono essere testate e verificate come le strutture che supportano. Valutare una fondazione richiede quindi l'interpretazione di informazioni derivanti da controlli diretti ed indiretti, ottenibili sia in fase di realizzazione (registrazioni in fase di getto per pali gettati in opera – log) che in fase di controllo.

Ogni fondazioni deve essere controllata con la tecnica di indagine più appropriata selezionabile tra il range di metodi disponibili che soddisfino gli obbiettivi prefissati.

Difetti ed anomalie riscontrati successivamente alla fase di realizzazione comportano azioni di recupero e ripristino laboriose e dispersive in termini di tempo e con aggravio di costi dell'intera opera.

Le tecniche di indagine Non-Distruttive sono una soluzione ottimale per fornire informazioni necessarie a comprendere la qualità del sistema fondazione.

Introduzione ai metodi di indagini

Negli ultimi decenni l'esigenza sempre maggiore da parte degli operatori del settore di avere conferme sulla qualità della realizzazione di opere di fondazione ha spinto ad un forte sviluppo ed affinamento delle metodologie di indagine con l'obbiettivo di renderli veloci, affidabili ed economici in modo da poter estendere i controlli alle diverse tipologie di fondazione e ad un numero maggiore di elementi in sito.

Le caratteristiche che identificano questa tipologia di prove, quali velocità e costi ridotti rispetto al costo dell'opera ha comportato, in molti casi ed in accordo con la direzioni lavori, l'inserimento all'interno dei capitolati di progetto.

Le tecniche di indagine oggi disponibili per la verifica delle fondazioni profonde sono classificate in:

Metodi Diretti che consistono in una analisi visiva o attraverso la misura di parametri meccanici.

Esse sono classificate in:

- Metodi Visivi
- Prove di Carico
- Sondaggi e perforazioni

Metodi Indiretti che consistono nella acquisizione di grandezze non direttamente legate alle caratteristiche meccaniche dei materiali, come proprietà acustiche, elettriche le quali, adeguatamente interpretate, forniscono informazioni sulla stato qualitativo dell'elemento.

Esse possono essere classificate in:

- Interne
- Esterne
- Remote



Le tecniche di indagine *indirette* hanno generalmente costi inferiori rispetto a quelle *dirette*. Tali metodologie vengono spesso usate per controlli di routine, controlli qualitativi o come indagini “preliminari” qualora sorgano dubbi legati alla fase di realizzazione.

Tecniche dirette ed indirette sono entrambi soggette ad un certo grado di interpretazione. Le tecniche dirette forniscono indicazioni circa l'abilità dell'elemento di sostenere il carico di progetto, quantomeno nel breve tempo, mentre le prove indirette forniscono indicazioni significative sulle caratteristiche strutturali come integrità e qualità del materiale. Queste ultime comportano una maggiore esperienza da parte dell'operatore nell'eseguire l'interpretazione.

E' buona norma non basarsi mai solo su tecniche indirette al fine di accettare o rifiutare un elemento di fondazione.

I controlli non distruttivi su pali di fondazione vengono richiesti nella maggior parte dei casi perché:

- Inseriti nei capitolati di progetto
- Controllo quando possibili difetti possono essere sorti in fase di realizzazione.

La scelta del metodo di controllo, indipendentemente dalla natura della richiesta, deve considerare inoltre:

- Necessità di una pre-pianificazione della prova (esempio prova di carico – pali laterali per contrasto)
- Quando la prova potrà essere eseguita (subito dopo il getto, a maturazione del cls etc..)
- Tipologia e caratteristiche fisico meccaniche del palo, effetti della sua lunghezza
- Possibili cause di difetti o anomalie che possono incorrere in fase di realizzazione
- Numero delle prove eventualmente da eseguire
- Abilità ed affidabilità del metodo nell'individuare l'eventuale difetto, limiti del metodo
- Costo della prova
- Facilità di interpretazione dei risultati

La scelta delle prove da eseguire sulle fondazioni profonde dovrebbero essere parte della fase di progettazione dell'opera, allo stesso modo del tipo di fondazione, del terreno dove verranno eseguiti, del metodo di realizzazione.

In questo documento tratteremo la metodologia nota come **Prova di Integrità** che risulta essere la più nota tra le tecniche indirette.

Strumentazione di prova

La strumentazione per l'esecuzione di una prova di integrità consiste generalmente in:

1. Unità Centrale per l'acquisizione, registrazione ed analisi del segnale
2. Software di analisi del segnale e reportistica
3. Martello che può essere *non-strumentato* e *strumentato*. Nel caso di utilizzo del martello strumentato, ossia un martello dotato di un sensore per la misura della forza (accelerometro o cella di carico) possiamo acquisire anche il segnale della Forza fornendoci un valore per il calcolo della Mobilità o meglio noto come prova di Ammettenza Meccanica.
4. Sensore di acquisizione del segnale quale Accelerometro o Geofono

Caratteristiche differenti del sistema di acquisizione, del sensore e del martello permetteranno di ottenere dati più o meno attendibili, facilitando le successive operazioni di interpretazione.

L'utilizzo di un martello con differenti dimensioni e caratteristiche (materiale) genera delle onde con ampiezza dell'impulso differente. Lunghezze d'onda differenti forniranno segnali di risposta



differenti. Nella figura 1 viene mostrato come due martelli con pesi e dimensioni diversi danno risposte in termini di impulso differenti.

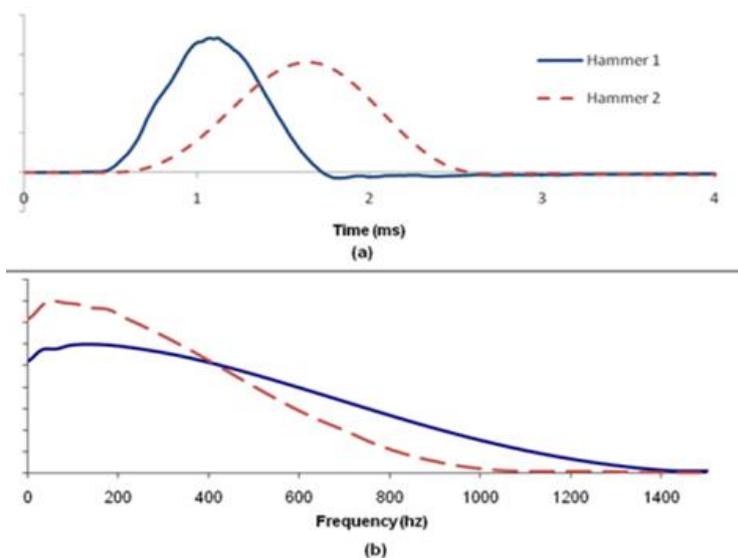


Figura 1) Ampiezza dell'impulso generato da due martelli con peso e materiale differente (illustration courtesy of Pile Dynamics Inc)

Prova di Integrità – Low Strain Method

L'obiettivo principale della tecnica di indagine nota come PIT Pile Integrity Test (Metodo Ecometrico) è quella di localizzare i pali che presentano “seri” difetti. Definiamo difetti seri quelle anomalie costruttive che possono compromettere le prestazioni dell'elemento sotto le azioni portanti della struttura. Difetti di entità minore, quindi non determinanti ai fini delle prestazioni, possono essere “invisibili” a tale tecnica di indagine.

La prova di integrità a bassa deformazione ha un costo relativamente basso e può essere eseguita in fase di installazione – realizzazione dell'elemento o successivamente senza necessità di una pre-pianificazione. Tali caratteristiche permettono quindi un utilizzo su larga scala, sino al raggiungimento del 100% degli elementi.

La verifica di un numero significativo di elementi fornisce all'operatore un segnale “medio” che potrà essere utilizzato come “standard” di paragone nella valutazione degli elementi successivi nella stessa palificata.

Teoria del metodo

La prova di integrità o prova ecometrica a bassa deformazione consiste nel colpire la testa del palo con un piccolo martello portatile e misurare la risposta del palo a questa sollecitazione attraverso un sensore piezoelettrico (accelerometro) o un sensore di velocità (geofono).

Il colpo generato sulla testa del palo induce all'interno dello stesso delle onde meccaniche di compressione (compressive stress-wave) le quali attraversano l'intero fusto del palo e riflesse verso l'alto in tutto o in parte in funzione della variazione di “impedenza”.

In un palo “ideale” (ossia senza interazioni esterne) variazioni di impedenza possono essere causate dal piede del palo, da discontinuità della sezione o da modifiche delle caratteristiche del materiale - palo (Figura 2)



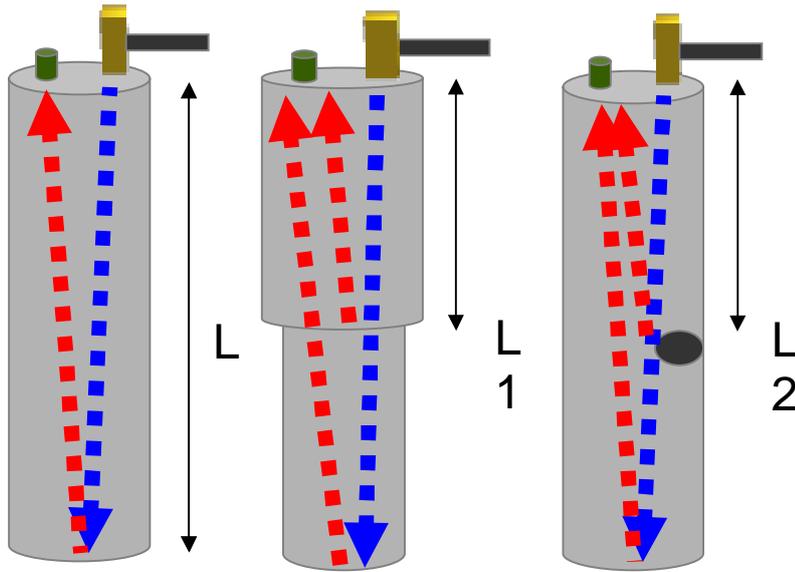


Figura 2: Riflessione del piede del palo, riflessione dovuta alla riduzione della sezione, riflessione dovuta a difetto interno.

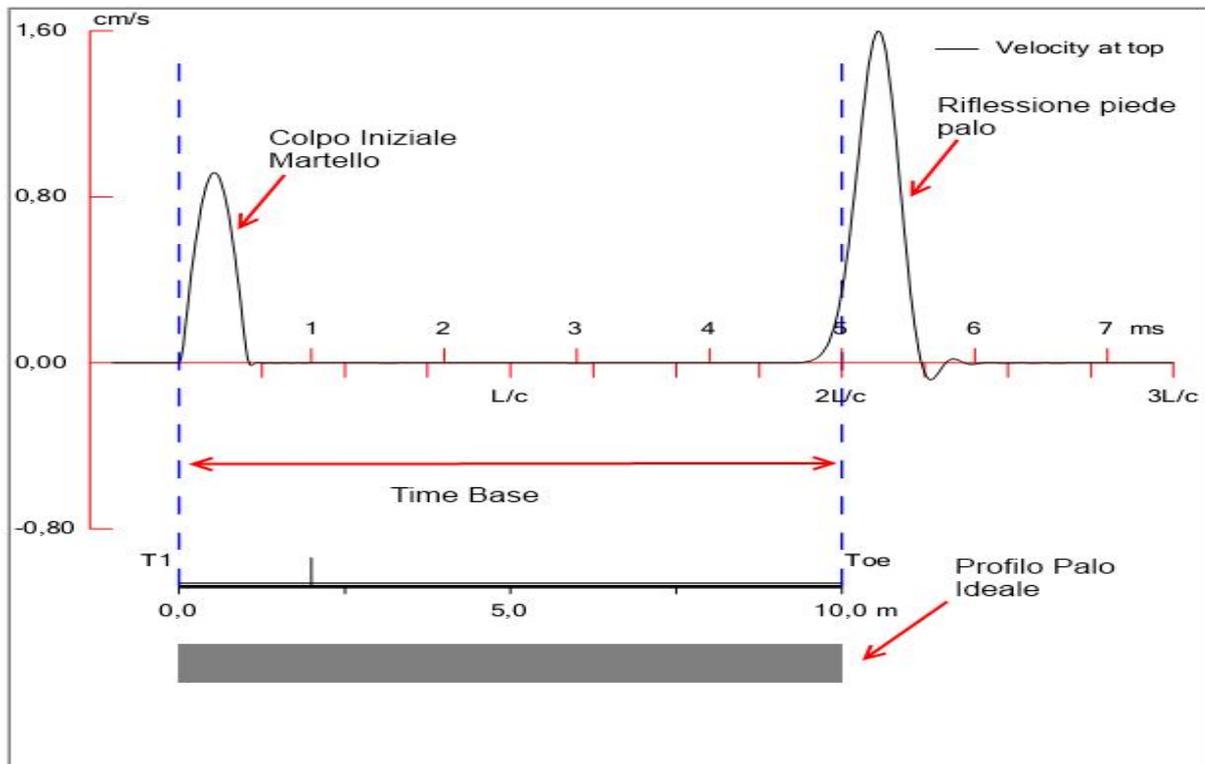


Figura 3 : Segnale di risposta di un palo ideale. Entrambe le onde di sollecitazione iniziale e Riflessione finale sono orientate nella parte positiva del grafico – segnale.

Le onde meccaniche generate attraverseranno il fusto del palo ad una data velocità c (velocità delle onde piane di compressione nel materiale) in un tempo t compreso tra la sollecitazione iniziale e le onde di riflessione provenienti dal piede del palo secondo la relazione

$$t = \frac{2L}{c} \quad (1)$$



dove L rappresenta la distanza dell'elemento che ha generato la riflessione. Si considera 2 volte la lunghezza del palo in quanto le onde compiono un tragitto doppio: andata e ritorno. La distanza L sarà quindi misurabile attraverso la relazione

$$L = \frac{c * t}{2} \quad (2)$$

Pertanto nota la velocità c che può essere stimata entro certi limiti e noto il tempo t , misurabile attraverso il sensore posto sulla testa del palo, tra l'impatto iniziale e le onde di riflessione sarà possibile stimare la lunghezza della fondazione o localizzare la profondità della riflessione che verrà generata dalla variazione di impedenza.

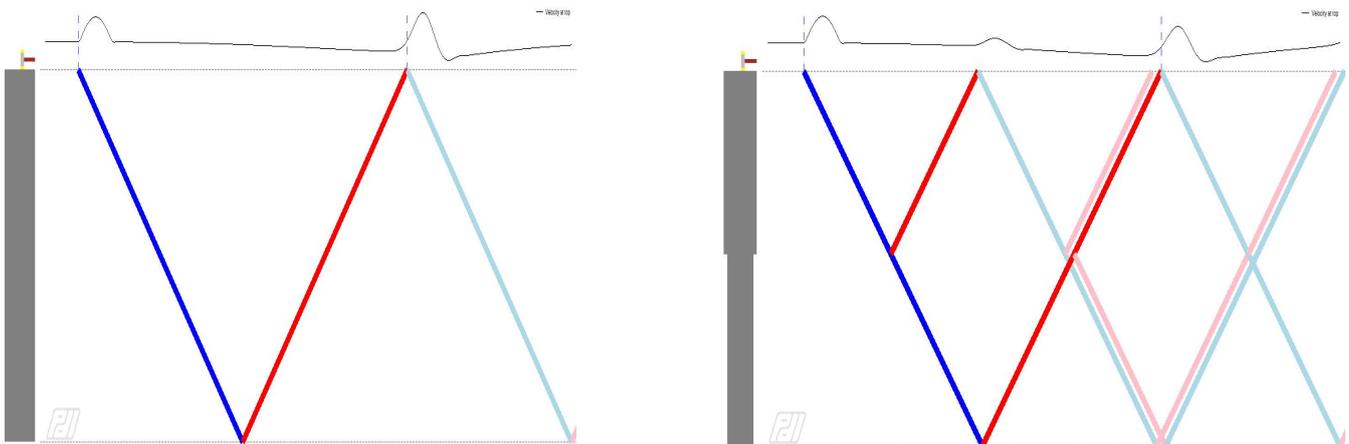


Figura 4: a) il palo presenta una omogeneità costante lungo tutta la sua lunghezza, le onde non subiscono nessuna variazione; b) il palo presenta una disomogeneità lungo il fusto; si andranno a generare delle onde di riflessione che raggiunta la testa del palo verranno acquisite e successivamente interpretate.

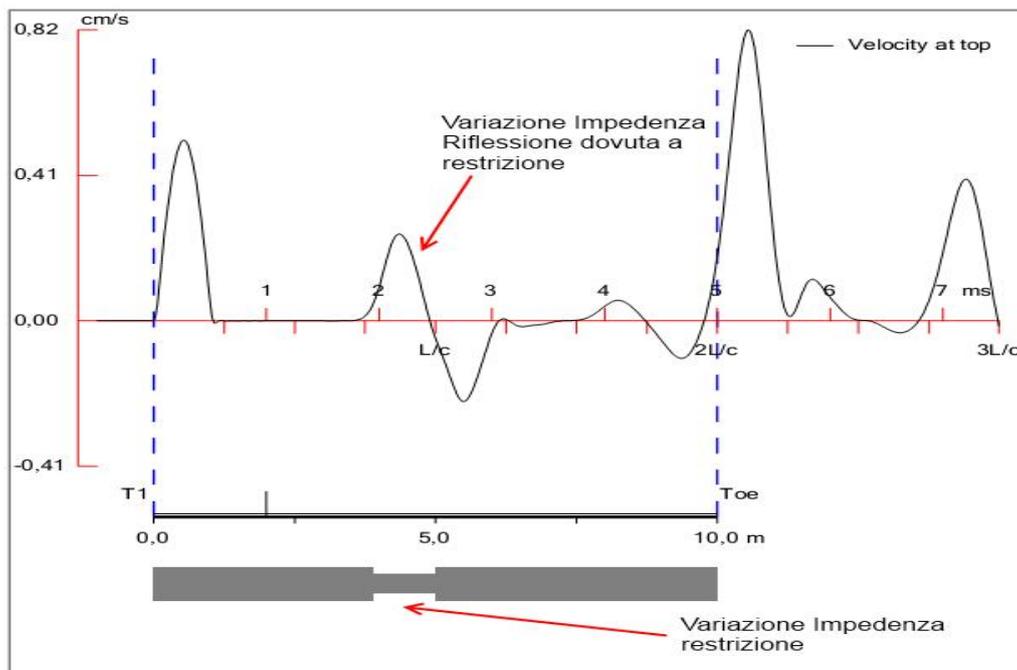


Figura 5): Segnale di risposta di un palo con una riduzione della sezione localizzata a circa 4 metri dalla sommità. Si genera un segnale di riflessione generato da una riduzione di impedenza. Risulta ben visibile il segnale del piede del palo.



Principio del Metodo

Gli esempi sopra riportati sono relativi ad una situazione riferita ad un palo “ideale-sospeso”. Nella realtà la risposta rilevabile dal sensore posto sulla testa del palo sarà in funzione di una serie di parametri, quali:

- Forza di Eccitazione in funzione del martello
- Caratteristiche del palo
- Caratteristiche del terreno

Sollecitando la testa del palo con una forza impulsiva, attraverso un martello portatile, le onde meccaniche di compressione si propagano lungo il fusto del palo sino a raggiungere il piede. Le onde interagendo con il materiale subiscono riflessioni quando le proprietà del palo iniziano a variare. In funzione dell'entità (magnitudine) delle variazioni incontrate le onde in parte vengono riflesse verso la testa del palo ed in parte proseguono il loro viaggio verso il piede del palo dove verranno a loro volta riflesse.

Il sensore posto sulla testa del palo registrerà i segnali emessi e riflessi.

I cambiamenti delle proprietà meccaniche del materiale – elemento vengono espressi in termini di variazione di impedenza, indicata con Z .

Maggiore è il cambiamento del valore Z maggiore sarà l'entità della riflessione.

Il concetto di impedenza è fondamentale nell'interpretazione della prova di integrità. Diverse sono le formule che esprimono l'impedenza. Nel campo delle prove a bassa deformazione viene comunemente utilizzata la seguente espressione:

$$Z = \rho * c * A \quad (3)$$

dove ρ è la densità del materiale

c è la velocità di propagazione delle onde piane nel mezzo

A è la sezione dell'elemento

essendo la velocità e la densità legate al modulo elastico del materiale E possiamo esprimere l'impedenza anche attraverso l'espressione comunemente utilizzata nella prove ad alta deformazione (ASTM 4549), quale:

$$Z = \frac{E * A}{c} \quad (4)$$

Considerando l'espressione (3) risulta evidente che variazioni delle proprietà meccaniche del materiale (ρ e c) e/o variazioni della sezione dell'elemento inducono una variazione di Z .

Risulta altresì evidente che la riflessione prodotta dal piede del palo avviene in modo “evidente” quanto in quel punto otterremo la maggiore variazione di impedenza. Identico risultato otterremmo qualora il palo risulta interrotto ad un determinato punto.

Il valore di impedenza Z è direttamente proporzionale alla densità del materiale, alla velocità di propagazione ed alla sezione A . In pratica variazioni di densità e velocità, legate alle proprietà meccaniche del materiale avranno effetti inferiori su Z rispetto a variazioni della sezione. Esiste una relazione logaritmica tra velocità e resistenza meccanica del calcestruzzo, dove a variazioni importanti della resistenza meccanica non corrispondono variazioni significative della velocità c (Figura 6).



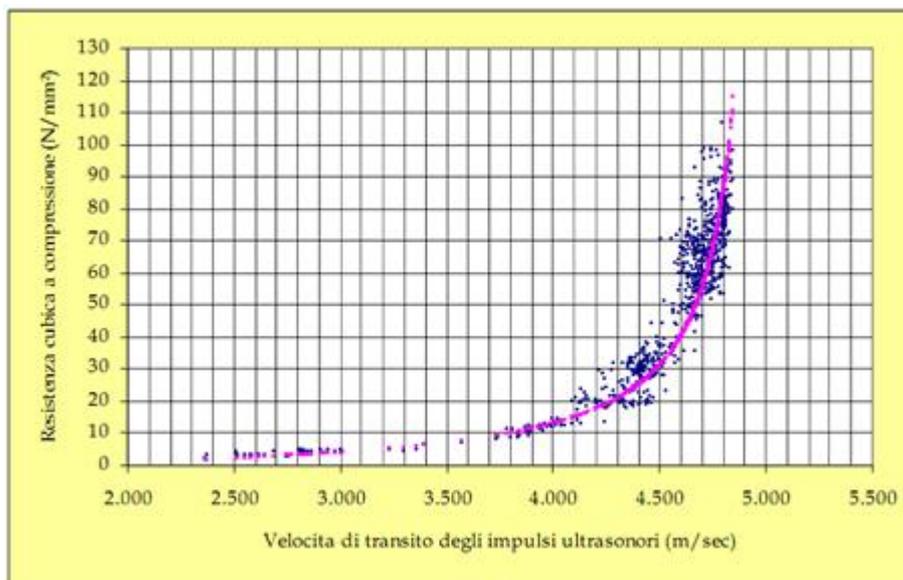


Figura 6): Curva correlazione velocità onde meccaniche piane e resistenza meccanica del calcestruzzo

Nella pratica esistono anche altri parametri da considerare durante l'esecuzione ed interpretazione della prova che possono provocare variazioni di impedenza, quali:

- piede del palo
- inclusioni all'interno del palo di materiale esterno
- discontinuità, fessure/giunzioni (riprese di getto)
- variazioni dimensionali
- variazioni delle proprietà del calcestruzzo
- sovrapposizione delle barre di armatura
- variazioni della rigidità del terreno circostante – sistema palo-terreno

Essendo l'elemento di fondazione inserito interamente in un altro mezzo, questo potrà produrre effetti consistenti ai fini del risultato della prova. La figura 7 mostra segnali nel dominio del tempo di un palo uniforme (icona – rettangolo grigio) inseriti in due terreni differenti (rettangolo rosso e nero).

Entrambi i pali non presentano difetti interni o variazioni di impedenza, ma il segnale che otteniamo è completamente differente. Il terreno indicato con stratigrafia nera, essendo più consistente (roccia) influenza il segnale prodotto dal piede del palo.

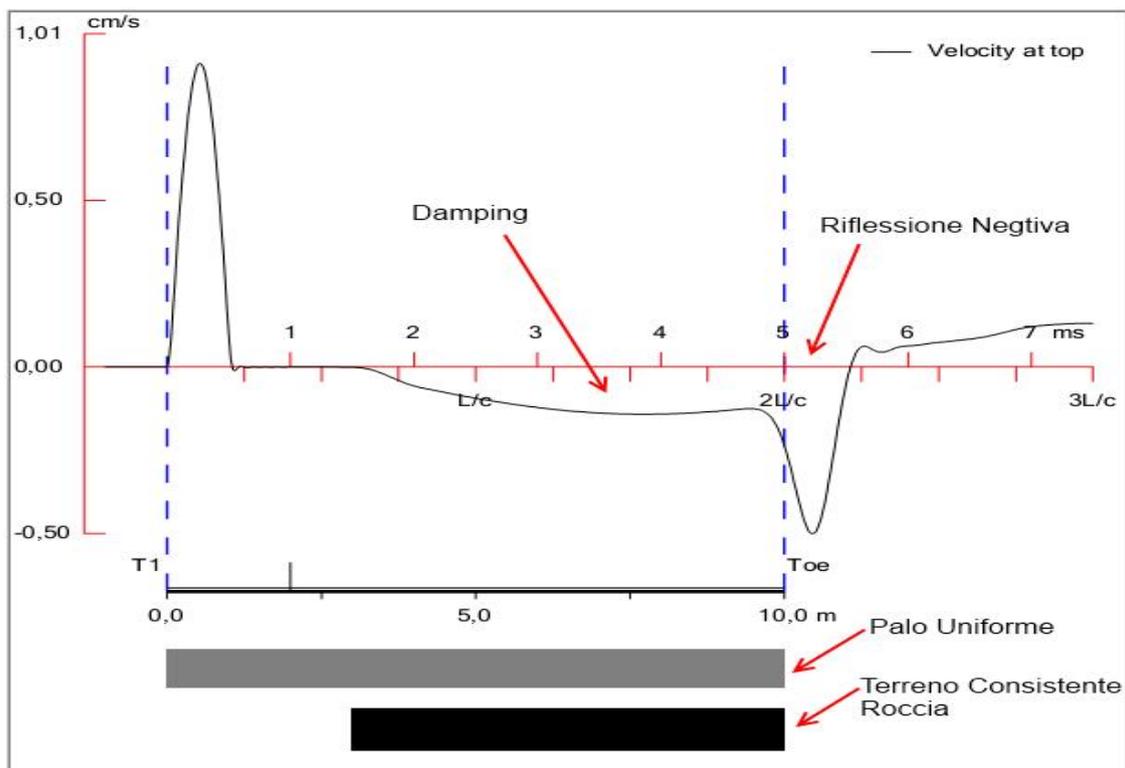
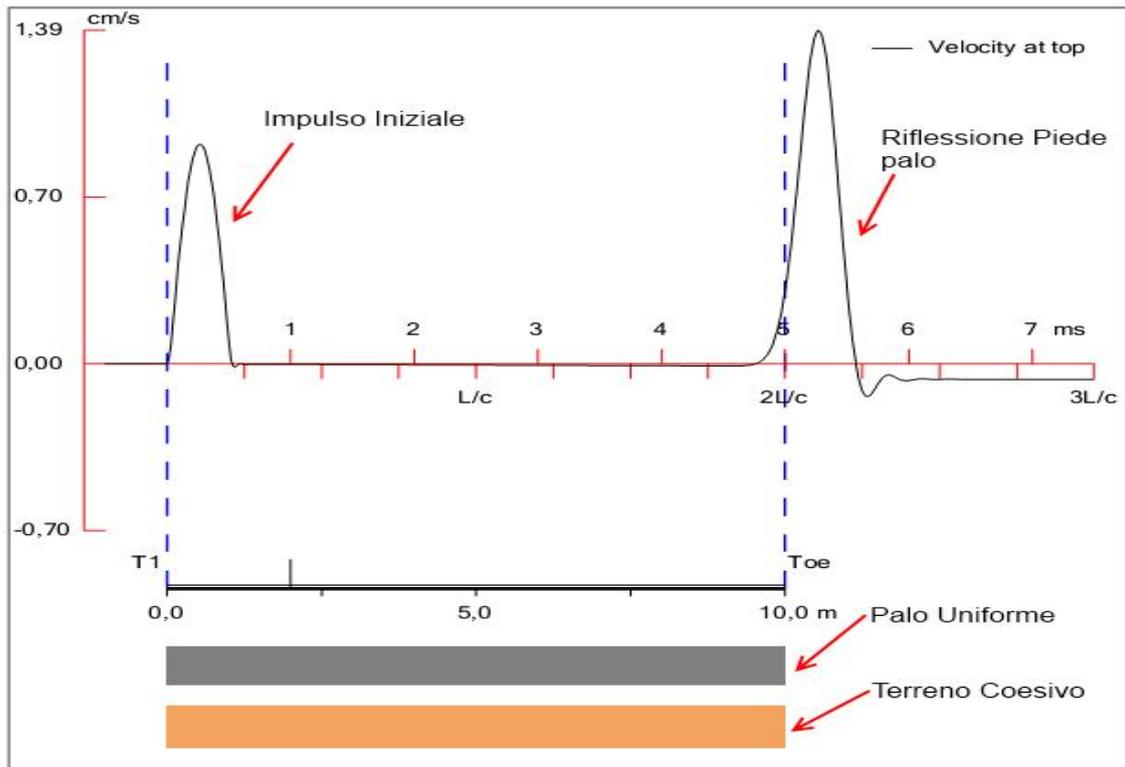


Figura 7: Il segnale del piede del palo è visibile nella figura in alto, mentre nel segnale sotto risulta una risposta completamente differente; la risposta del piede è legata ad un aumento di impedenza.

Risulta particolarmente importante ai fini di una corretta esecuzione della prova di integrità e relativa interpretazione dei dati conoscere la stratigrafia del terreno.

Un palo incastrato di punta su un materiale “duro” difficilmente produrrà una risposta chiara del del piede del palo. Le onde meccaniche non rileveranno significative variazioni di impedenza e quindi

sarà impossibile determinare l'esatta lunghezza della fondazione (Le onde meccaniche risponderanno all'interazione con il materiale "roccia" come un allargamento della fondazione – aumento valore impedenza)

Visualizzazione dei segnali

I segnali acquisiti durante l'esecuzione della prova di integrità a bassa deformazione – prova ecometrica - possono essere visualizzati:

- nel dominio del tempo
- nel dominio delle frequenze

Nel primo caso il comportamento del palo è visto in termini di "ritardo" tra l'impulso attribuibile all'impatto del martello (sollecitazione) e quello generato dall'eco di riflessione dovuto alla variazione di impedenza del fondo palo o eventuali riflessioni lungo il fusto del palo. Essendo le valutazioni legate al ritardo tra i vari "echi - riflessioni" e quindi in termini di tempo, il risultato della prova in questa modalità viene definita Prova di integrità nel dominio del tempo.

Conoscendo la velocità di propagazione delle onde meccaniche nel mezzo e misurando il tempo intercorso tra il primo eco prodotto dalla sollecitazione iniziale e quello prodotto dalla riflessione del piede sarà possibile stimare con una discreta affidabilità la distanza percorsa dall'onda secondo la relazione (1) ossia:

$$L = \frac{c * t}{2} \quad (1)$$

Nell'analisi nel dominio delle frequenze il comportamento del palo è visualizzato in termini di ampiezza delle componenti delle frequenze contenute fra l'impulso generato dal martello e l'onda di riflessione prodotta dalla variazione di impedenza o piede del palo.

Sollecitando il palo con il martello questo indurrà nel corpo del palo delle onde meccaniche con un spettro di frequenze entro le quali sarà contenuto quello proprio. Il palo andrà in risonanza ad una frequenza che dipenderà essenzialmente dalla effettiva capacità del palo di vibrare e quindi legate alle proprie caratteristiche fisico-meccaniche.

La prova ecometrica che fornisce informazioni sul palo attraverso l'analisi delle frequenze prende il nome di Prova di integrità nel dominio delle frequenze.

La visualizzazione del segnale di una prova ecometrica nel dominio delle frequenze non è una prova di Ammettenza Meccanica; si tratta esclusivamente di una restituzione del segnale in termini di frequenze. La prova di Ammettenza Meccanica o meglio nota come Mobilità necessita l'acquisizione del valore di forza relativo alla sollecitazione indotta nella fondazione. La prova di ammettenza meccanica potrà essere visualizzata a sua volta nel dominio del tempo o nel dominio delle frequenze come mostrato nella figura 8 e 9 che segue.



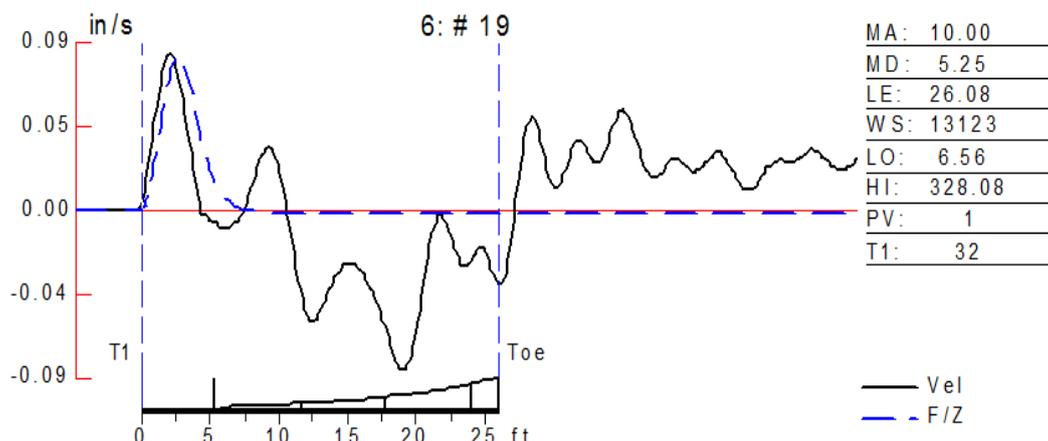


Figura 8): Segnale di risposta di un palo con difetto nel dominio del tempo relativa ad una prova di ammettenza meccanica. La linea nera rappresenta il segnale della velocità, la linea tratteggiata in blue rappresenta il segnale della forza.

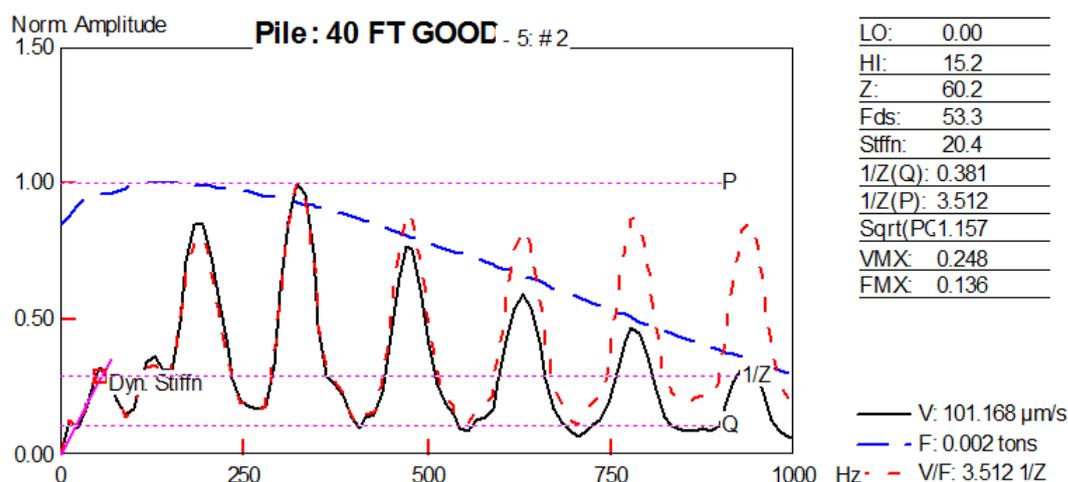


Figura 9) Segnale di risposta di un palo nel dominio delle frequenze relativo ad una prova di ammettenza meccanica. Con la linea nera è rappresentata il segnale della velocità, con la linea blue tratteggiata è rappresentata il segnale della forza.

La lunghezza della fondazione o di variazioni di impedenza nel dominio delle frequenza viene calcolata attraverso l'espressione:

$$L = \frac{c}{(2 * \Delta f)} \quad (6)$$

dove L rappresenta la lunghezza della prima riflessione o piede del palo
 c la velocità di propagazione delle onde nel mezzo
 Δf è intervallo di frequenza tra due picchi di risonanza

I due metodo di prova sono quindi complementari, in quanto i dati in ingresso sono identici. La differenza consiste nella visualizzazione finale del risultato. Poter processare i dati acquisiti in



cantiere contando su entrambi i metodi può risultare molto utile ai fini della interpretazione dei dati. Alcune anomalie che non possono risultare evidenti nell'analisi nel dominio del tempo, possono essere individuate e/o confermate nell'analisi nel dominio frequenze e viceversa. Prendendo l'espressione (1) relativa alla misura della lunghezza della fondazione che correla velocità tempo e lunghezza, abbiamo:

$$L = \frac{c * t}{2}$$

sostituendo al posto del tempo il valore della frequenza, attraverso la relazione

$$t = \frac{1}{f}$$

dove la frequenza si esprime come l'inverso del tempo, e sostituendola nella relazione (1) otteniamo

$$L = \frac{c}{(2 * \Delta f)}$$

di seguito viene mostrato come il segnale verrà rappresentato nelle due diverse modalità, relativo ad un palo ideale sospeso:

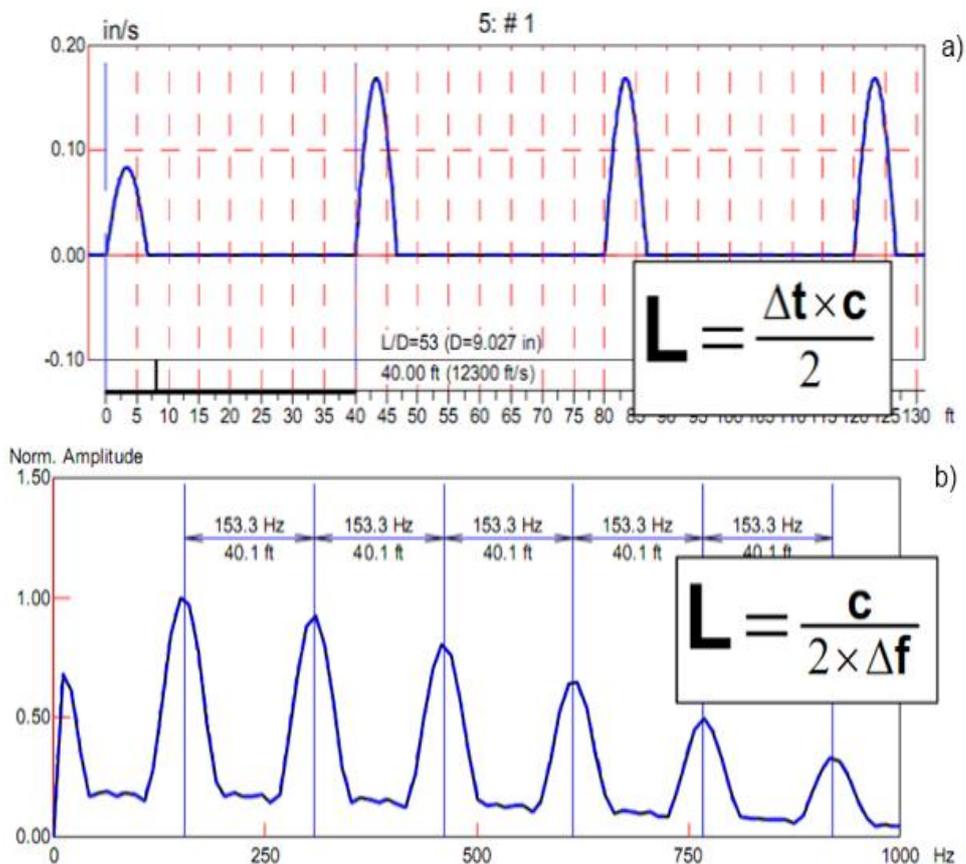


Figura 10: Segnale nel dominio del tempo per palo ideale a); Segnale dominio delle frequenze per palo ideale b).

Nella figura a) vengono visualizzati gli echi delle riflessioni tra la sollecitazione iniziale ed il piede del palo. Il tempo tra un eco ed il suo successivo è funzione della lunghezza della fondazione e la



velocità di propagazione delle onde nel mezzo. Nella figura b) la distanza tra i picchi delle frequenze acquisite è dato dalla relazione (6). Nella successiva figura 11 rappresentazione dei segnali relativi a pali reali nella modalità dominio del tempo e dominio delle frequenze di prove di integrità.

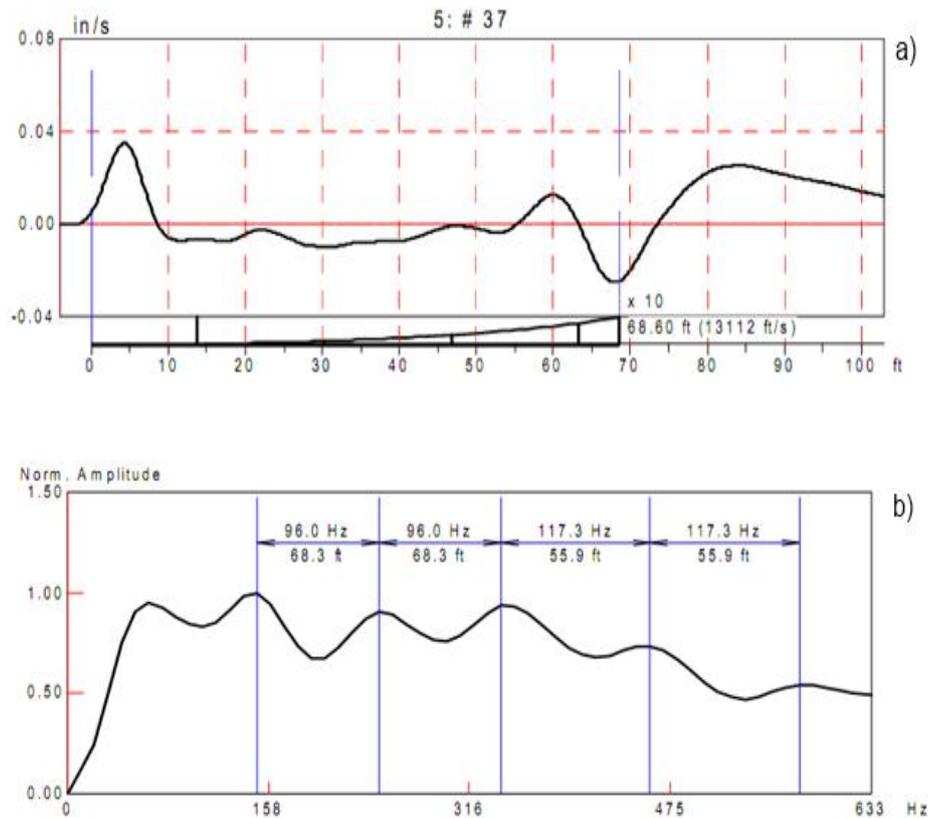


Figura 11: Segnale di risposta prova ecometrica nel dominio del tempo; il piede del palo è ben visibile a); Segnale di risposta prova ecometrica nel dominio delle frequenze b). Le lunghezze sono comparabili.

Limiti del metodo

La prova di integrità a bassa deformazione può essere considerata la metodologia di indagine Non Distruttiva maggiormente utilizzata nel controllo della fondazioni profonde grazie alla rapidità di esecuzione, alla possibilità di eseguirla senza una pre-programmazione ed infine grazie ai costi ridotti.

Come in tutte le tecniche di indagine Non Distruttive, anche la prova di integrità presenta dei limiti che devono essere sempre considerati onde evitare di incorrere in errori di valutazione, quali:

- Le onde meccaniche subiscono una attenuazione progressiva dovuta alla interazione con il materiale che costituisce il palo ed alla influenza del terreno confinante con il fusto del palo. L'attenuazione influenza sia le onde legate alla sollecitazione iniziale che a quelle di riflessione. La conseguenza è che in situazioni dove il palo è molto lungo ed il terreno dove si trova inserito è molto rigido, l'ampiezza del segnale di ritorno può presentarsi molto ridotto o non essere visibile
- L'elevata rigidità del terreno e improvvise variazioni delle consistenza possono causare delle riflessioni simili a quelle prodotte da variazioni di impedenza legate al cambiamento delle proprietà meccaniche del materiale – elemento
- L'interpretazione del segnale diventa complessa ed inaffidabile nel caso si verifichino numerose e successive variazioni di impedenza all'interno del palo



- Variazioni di impedenza progressive lungo il fusto del palo sono difficilmente individuabili; inoltre risulta molto difficile stabilire se la variazione di impedenza sia legata a fattori dimensionali (A) o modifiche delle proprietà meccaniche del materiale (ρ e c)
- Variazioni di impedenza che hanno lunghezza sensibilmente inferiore alla ampiezza dell'impulso (1-2) indotto nel palo sono difficilmente rilevabili. L'utilizzo di differenti martelli con materiali e pesi differenti può aiutare le operazioni di localizzazione del difetto
- Difetti ed anomalie che si trovano in prossimità della testa del palo (generalmente profondità compresa 2 volte il diametro) possono risultare complesse da individuare con il metodo ecometrico. La prova di integrità mediante martello strumentato (misura Forza e Velocità), nota come ammettenza meccanica o TRM Transient Response Method permette di individuare anomalie in prossimità della testa del palo.

Visualizzazione dei risultati e Relazione di prova

La relazione di prova deve contenere tutte le informazioni relative al cantiere, strumentazione utilizzata, caratteristiche fisico-meccaniche del palo, il segnale acquisito in sito e relative informazioni sugli indici di filtraggio del segnale utilizzati come riportato nella norma di riferimento ASTM 5882-07.

La corretta risposta sonica di un palo deve indicare una chiara riflessione del piede del palo con una possibile riduzione della ampiezza del segnale causata da una attenuazione del segnale.

La risposta sonica di un palo che presenta una riflessione con segno “negativo”, indica un aumento del valore di impedenza che è da attribuirsi solitamente ad un allargamento della sezione del palo (Bulges) o all’attraversamento di uno strato di terreno particolarmente resistente; La presenza di terreno soffice permette al cemento di espandersi allargando il diametro del palo. Una riduzione del valore di impedenza causata da restringimento della sezione del palo o scarsa qualità del materiale causa una riflessione con segno positivo che verrà registrato prima della risposta del piede del palo.

Questo può quindi indicare sia una forte riduzione della sezione, intrusioni di materiale esterno, crepe, rottura, deformazione (curva) del palo. Può anche dipendere da una riduzione del valore del modulo elastico e quindi scarsa qualità del materiale, del terreno od intrusione del terreno/acqua durante la fase di realizzazione.

Spesso non è possibile determinare se la causa di riduzione di impedenza sia causata da variazioni dimensionale dell’elemento o scarsa qualità del materiale. La strumentazione PIT permette di misurare solo una variazione di Z (impedenza).

A seguito di una indagine ecometrica per la verifica della integrità di una fondazione possiamo classificare la fondazione nel seguente modo:

Classificazione – Indice	Descrizione
A	Chiara risposta del piede del palo; nessuna indicazione significativa di difetti e quindi chiara risposta sonica dell'elemento
B	Chiara indicazione di difetto significativo; si evidenzia una forte riflessione legata a riduzione di impedenza rilevata prima della prevista riflessione del piede. Risposta del piede del palo non apparente
C	Riflessione del piede del palo non ben visibile; Si intende che la risposta del piede del palo si somma ad una evidente variazione di impedenza
D	Nessuna risposta dal piede del palo e/o complesso segnale non permette una precisa conclusione sulla integrità dell'elemento, quantomeno su una porzione del palo. Dati imprecisi dipendono da una scarsa qualità



	del calcestruzzo nella parte superiore, elevata resistenza del terreno, eccessiva lunghezza del palo, scarsa resistenza del calcestruzzo; Riflessione dal piede del palo non ben visibile; Si intende che la risposta del piede del palo si somma ad una evidente variazione di impedenza
--	---

Conclusioni

La prova di integrità a bassa deformazione (Low Strain) nota come Pile Integrity Tester PIT ha lo scopo principale di localizzare i maggiori difetti presenti nel fusto del palo. L'entità di questi difetti possono essere causa di cedimenti successivi alla installazione della struttura sovrastante. Difetti di entità inferiore (e di minore importanza ai fini della sicurezza dell'opera) comportano una maggiore difficoltà nella loro individuazione che è comunque legata alla esperienza del tecnico operatore. Considerato che la prova di integrità PIT è economica e non prevede una pre pianificazione è possibile applicarla a tutti i pali dell'opera come attività di controllo qualitativo in corso d'opera. Analisi più approfondite possono essere eseguite attraverso il metodo noto come Ammettenza Meccanica o Mobilità che consiste nel misurare i valori di forza e velocità attraverso l'utilizzo di un martello strumentato portatile. La visualizzazione del risultato potrà essere fornito nel dominio del tempo o nel dominio delle frequenze. Analisi Beta ed analisi in Profilo sono possibili con l'esecuzione della prova di Mobilità.

Riferimenti:

Integrity Testing in piling practice – CIRIA Report 144, 1997

Pile Integrity Testing and analysis – F.Rausche, G. Likins, Shen Ren Kung _ Rausche, F., Likins, G. E., Ren-Kung, S., September, 1992. *Pile integrity testing and analysis*. Proceedings of the Fourth International Conference on the Application of Stress-Wave Theory to Piles: The Netherlands; 613-617.

Advances in the evaluation of pile and shaft quality – F. Rausche, GRL Engineers Inc, Brent Robison, Pile Dynamics Inc. SAGEEP 2010 : Rausche, F., Robinson, B., April, 2010. *Advances in the Evaluation of Pile and Shaft Quality*. Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Environmental and Engineering Problems (SAGEEP): Keystone, CO; 325-334.

