

Prove dinamiche e metodi sonici per la determinazione della capacità portante e la verifica in sito dell'integrità del materiale costitutivo di diaframmi in c.a.

La descrizione seguente dettaglia sulle tecniche di prova non distruttive utilizzabili per il controllo di integrità dei pali / diaframmi ad integrazione e a parziale sostituzione delle tradizionali prove di carico statico prescritte dalla normativa nazionale. L'interesse applicativo è legato all'efficacia, economicità e rapidità di esecuzione di queste tecniche che consentono di esaminare una percentuale di elementi superiore a quella strettamente richiesta dalla norma. I metodi di controllo si distinguono in metodi diretti (tipicamente il cross hole) e metodi dinamici (Pile Echo Test, Ammettenza meccanica). A tali metodi si possono aggiungere per completezza le prove vibrazionali per la caratterizzazione dell'impedenza del sistema fondazionale (palo-terreno). I metodi diretti consentono di raccogliere informazioni di estremo dettaglio ma limitate alle caratteristiche della colonna, mentre i metodi indiretti sono in grado di fornire informazioni globali relative al sistema palo-terreno. La combinazione anche di più tecniche di indagine può ovviamente essere concordata in sede di definizione del programma di prova di dettaglio.

METODI DINAMICI

Rientrano in questa categoria i seguenti metodi:

- *Pile Echo Test o Low Strain Test*
- *Ammettenza meccanica*

Il **Pile Echo Test** si basa sulla determinazione del tempo di percorrenza dell'elemento in prova da parte di un disturbo meccanico generato in sommità del palo. Più in dettaglio la prova consiste nell'applicare alla testa del palo un impulso mediante un martello di massa opportuna. L'impulso così applicato genera un'onda elastica che si propaga lungo il corpo del palo fino a raggiungere l'estremità inferiore (punta del palo) dove, per effetto della differente impedenza meccanica del terreno e del palo, si generano un'onda rifratta ed un'onda riflessa. Quest'ultima (chiamata eco) percorre nuovamente il palo per giungere in sommità; un accelerometro posto sulla testa del palo misura l'onda generata e ne registra l'eco. A partire dalla registrazione accelerometrica, è quindi possibile individuare l'istante di partenza dell'onda e l'istante di arrivo dell'eco e, conseguentemente, il tempo ΔT necessario per percorrere lo spazio $2*L$ (con $L =$

lunghezza del palo); questo dato ci permette di ricavare L una volta nota la velocità v di propagazione dell'onda lungo il palo:

$$L = \frac{v * \Delta T}{2}$$

Essendo peraltro la velocità di propagazione dell'onda elastica data da:

$$v = \sqrt{\frac{g * E}{\gamma}}$$

dove E è il modulo elastico del calcestruzzo, γ la densità del calcestruzzo e g l'accelerazione di gravità. La determinazione della lunghezza L è dunque una misura indiretta e la sua precisione è legata principalmente alla precisione con cui è nota v e alla precisione con cui si determina ΔT . Di norma, quando è possibile, v viene determinata sperimentalmente su di un provino di calcestruzzo prelevato in fase di getto del palo, oppure mediante prova sonica condotta con apposita attrezzatura sulla parte sommitale raggiungibile dell'elemento in prova. Il metodo ecometrico consiste quindi nel registrare mediante un apposito sistema di acquisizione il segnale dell'accelerometro posto sulla testa palo / diaframma e visualizzarlo successivamente (Figura 1) mediante un apposito software per le successive elaborazioni.

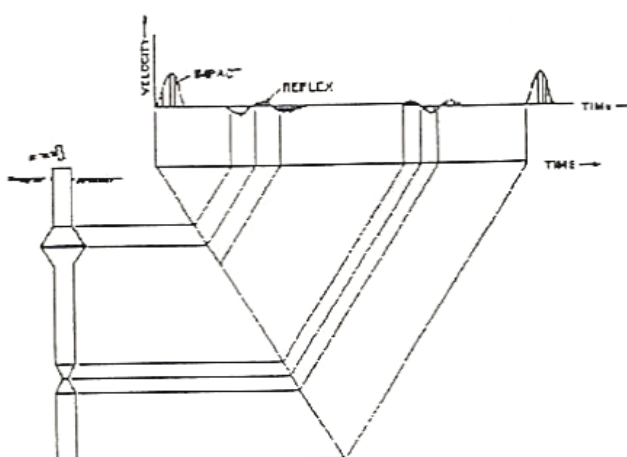


Fig. 1 – Esempio di misura ecometrica

Come sinteticamente illustrato in Fig. 1, il metodo consente anche di visualizzare eventuali discontinuità presenti nel palo. La successiva Fig. 2 mostra un tipico risultato fornito dalla tecnica di indagine ecometrica:

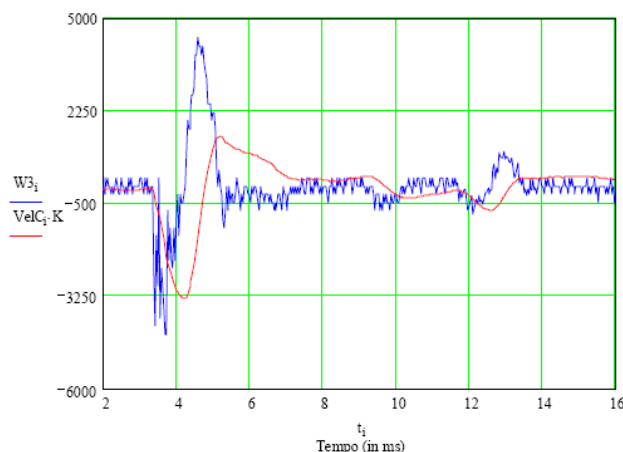


Fig. 2 – Esempio di risultato fornito dalla tecnica di indagine ecometrica

Il metodo dell'**Ammetenza meccanica** consiste nell'applicazione di una forza dinamica longitudinale in corrispondenza della testa della colonna rilevando la risposta del palo mediante uno o più accelerometri. La forzante, applicata mediante un eccitatore elettrodinamico con segnale di potenza di tipo sinusoidale, viene mantenuta in genere costante in ampiezza e variabile in frequenza all'interno di un range predefinito (indicativamente sino a 1 KHz). Il range di frequenza deve comprendere la frequenza fondamentale della struttura esaminata ed alcune sue armoniche, in corrispondenza delle quali le curve di risposta dinamica della struttura presentano asintoti. Mediante un apposito sistema di acquisizione vengono registrati i segnali della forza F generata e della risposta in velocità V rilevata (ottenuta eseguendo un'integrazione dell'accelerazione); viene quindi calcolato il rapporto delle trasformate di Fourier di V e di F (velocità su forza). Tale rapporto chiamato curva di ammettenza, mostrato in Fig. 3, viene visualizzato mediante un apposito software utilizzato per l'elaborazione dei dati.

L'eccitatore elettromeccanico da utilizzare può essere di tipo leggero (200 N) o pesante (1000 N) in funzione anche della massa e delle prestazioni meccaniche dell'elemento strutturale in prova (si vedano le fotografie di seguito riportate).

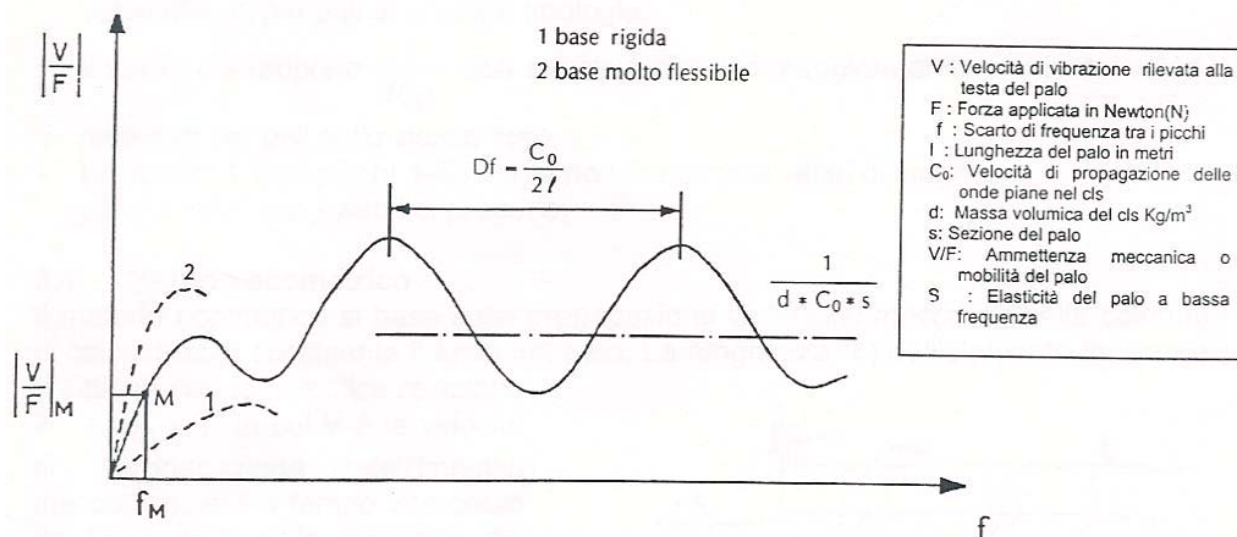


Fig. 3 - Curva di ammettenza meccanica

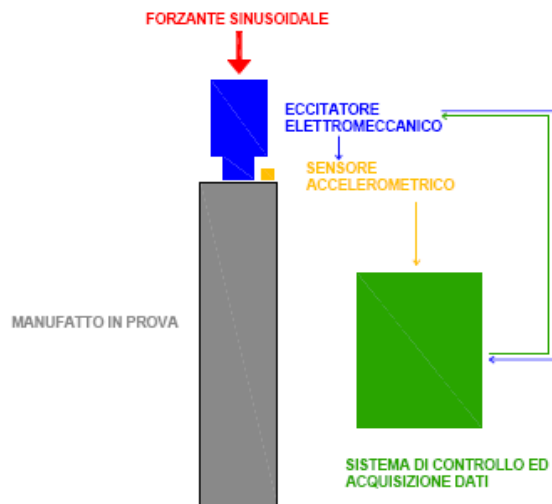
Dall'esame di queste funzioni a partire da modellazioni del sistema colonna – terreno si ottengono informazioni sia di natura meccanica che geometrica relative al palo indagato. I metodi dinamici fanno riferimento alla propagazione delle onde longitudinali nelle strutture cilindriche e, tenuto conto del basso livello di eccitazione del palo, mettono generalmente in conto il comportamento in campo elastico lineare considerando nella modellazione strutture equivalenti vincolate lateralmente e alla base; la modellazione analitica del palo viene sviluppata nel dominio delle frequenze in modo da tener conto anche delle possibili non omogeneità del terreno e della colonna. In generale la metodologia di indagine consente di ricavare informazioni circa:

- lunghezza del palo
- area della sezione della colonna
- interazione struttura / terreno (rigidezza e smorzamento del sistema palo suolo)
- presenza di discontinuità
- fattore di punta
- cedimento elastico del palo

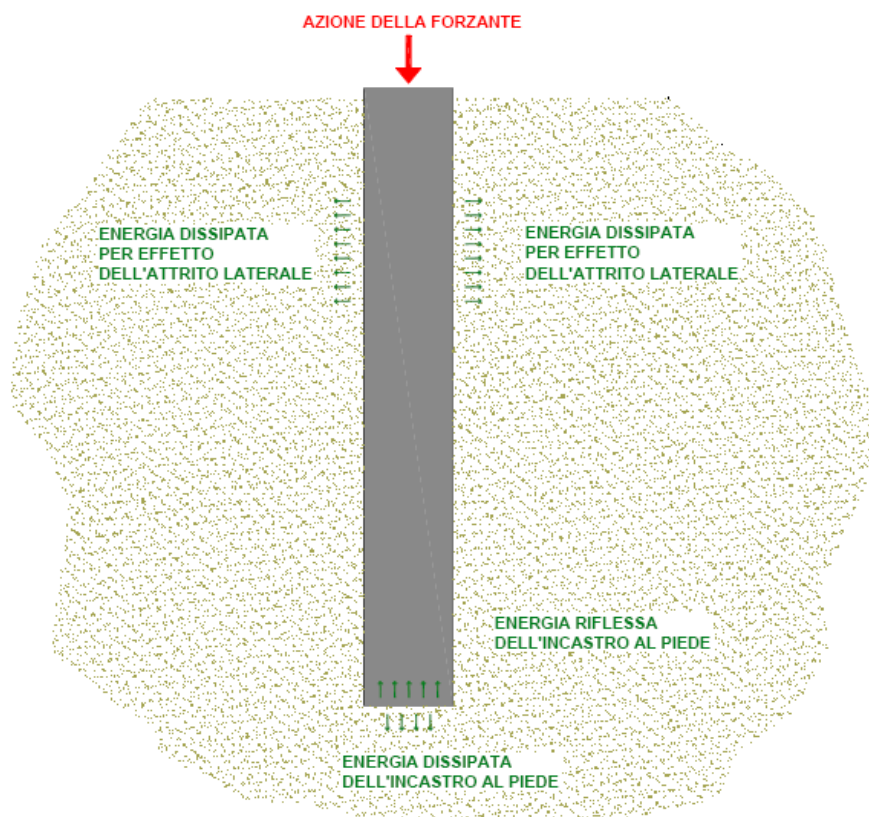
In alternativa il metodo prevede anche la possibilità di esecuzione di prove di impatto facendo cadere sulla testa della colonna una massa di opportuna entità sempre in relazione alle

dimensioni e caratteristiche dell'elemento in prova. Nell'esecuzione di tale prova risulta importante valutare l'altezza di caduta della massa che unitamente all'entità della massa contribuisce a determinare gli sforzi indotti nel manufatto in prova. In generale è opportuno eseguire più ripetizioni della prova impulsiva e, compatibilmente con gli sforzi ai quali può essere assoggettato il manufatto, per vari livelli di energia, in modo tale da estrapolare un quantitativo di dati il più significativo possibile. Le Figg. 5 e 6 di seguito riportate, che illustrano e confrontano curve di ammettenza fornite da indagini vibrazionali stazionarie con eccitatore elettrodinamico (Fig. 5) e trasformate di Fourier fornite da indagini di impatto (Fig. 6), mostrano come le funzioni di ammettenza siano meglio definite e come possano quindi consentire una migliore interpretazione dei dati. Occorre infine tenere presente che tipicamente vi sono limitazioni connesse alla metodologia di prova sopra descritta, tra cui si segnalano:

- Profondità di penetrazione: a causa di aspetti connessi con l'assorbimento del segnale causati dal palo e dal terreno circostante in funzione della sensibilità della strumentazione a rilevare piccole riflessioni, non è generalmente possibile spingere l'interpretazione dei dati acquisiti in prova per una lunghezza dell'elemento in prova superiore a 30-40 diametri del palo; analogamente non è operativamente possibile esaminare pali troppo tozzi per effetto delle interazione generate dalle riflessioni indotte dalle onde trasversali.
- Variazione graduale dell'impedenza: se uno dei parametri legati all'impedenza varia gradualmente con la profondità, l'individuazione delle riflessioni ad esso associate risulta di difficile valutazione.
- Fratture o disomogeneità parallele all'asse dell'elemento in prova: dato che le onde di compressione viaggiano parallele all'asse dell'elemento in prova, fratture o disomogeneità nella direzione di propagazione possono non costituire efficace ostacolo alle onde e quindi non sempre possono essere evidenziate. Di seguito vengono sinteticamente illustrati lo schema di prova e di modellazione del sistema palo – terreno (Fig. 4).



SCHEMATIZZAZIONE GENERALE
ATTREZZATURA DI PROVA



BILANCIO DEI CONTRIBUTI DI ENERGIA
DI UN MANUFATTO SOTTOPOSTO A
FORZANTE NOTA SINUSOIDALE

Fig. 4 - Schema di prova dinamica e di modellazione del sistema palo – terreno



Eccitatore elettrodinamico da 200 N



Eccitatore elettrodinamico da 1000 N

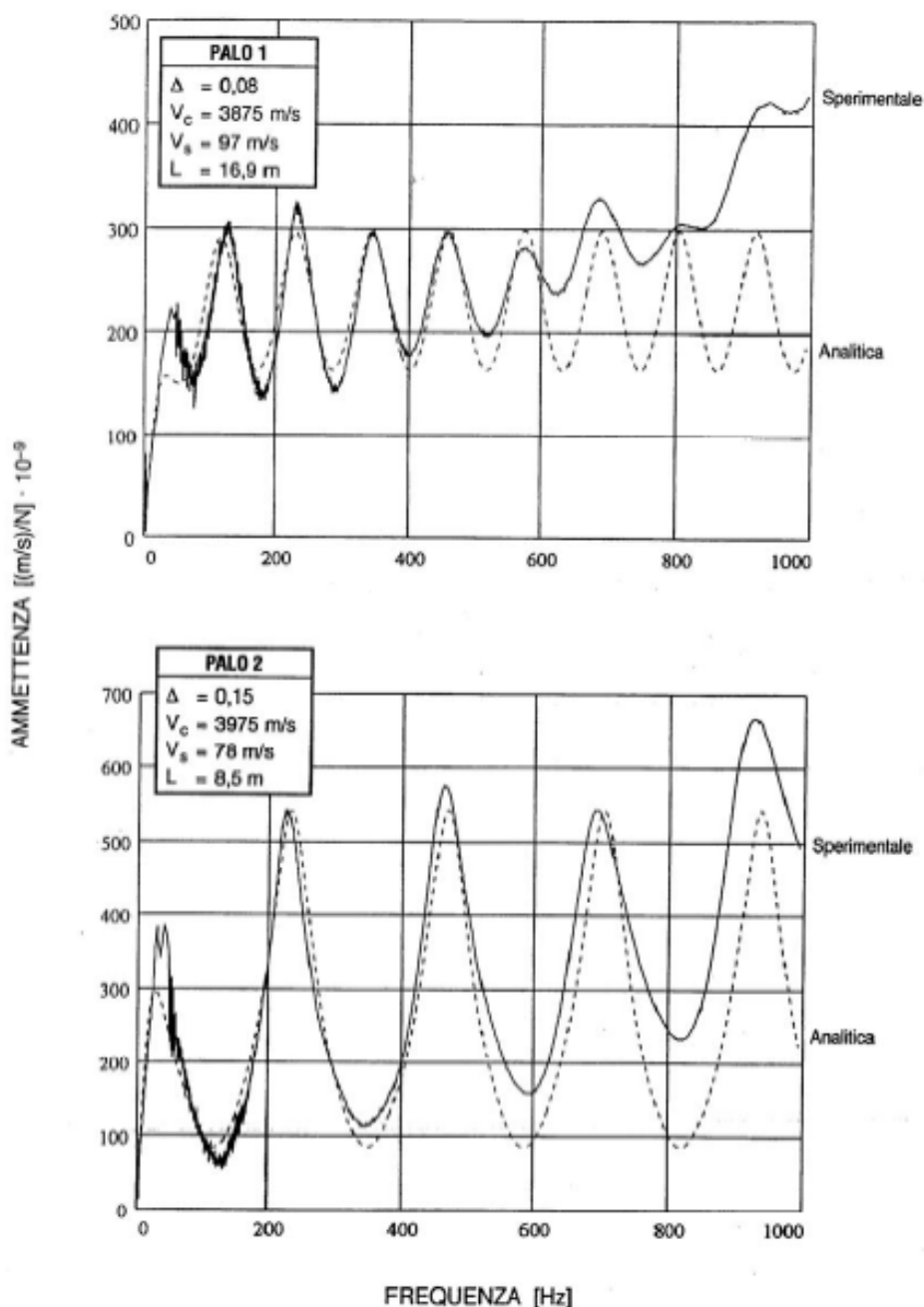


Fig. 5 – Curve di ammettenza fornite da indagini vibrazionali stazionarie con eccitatore elettrodinamico

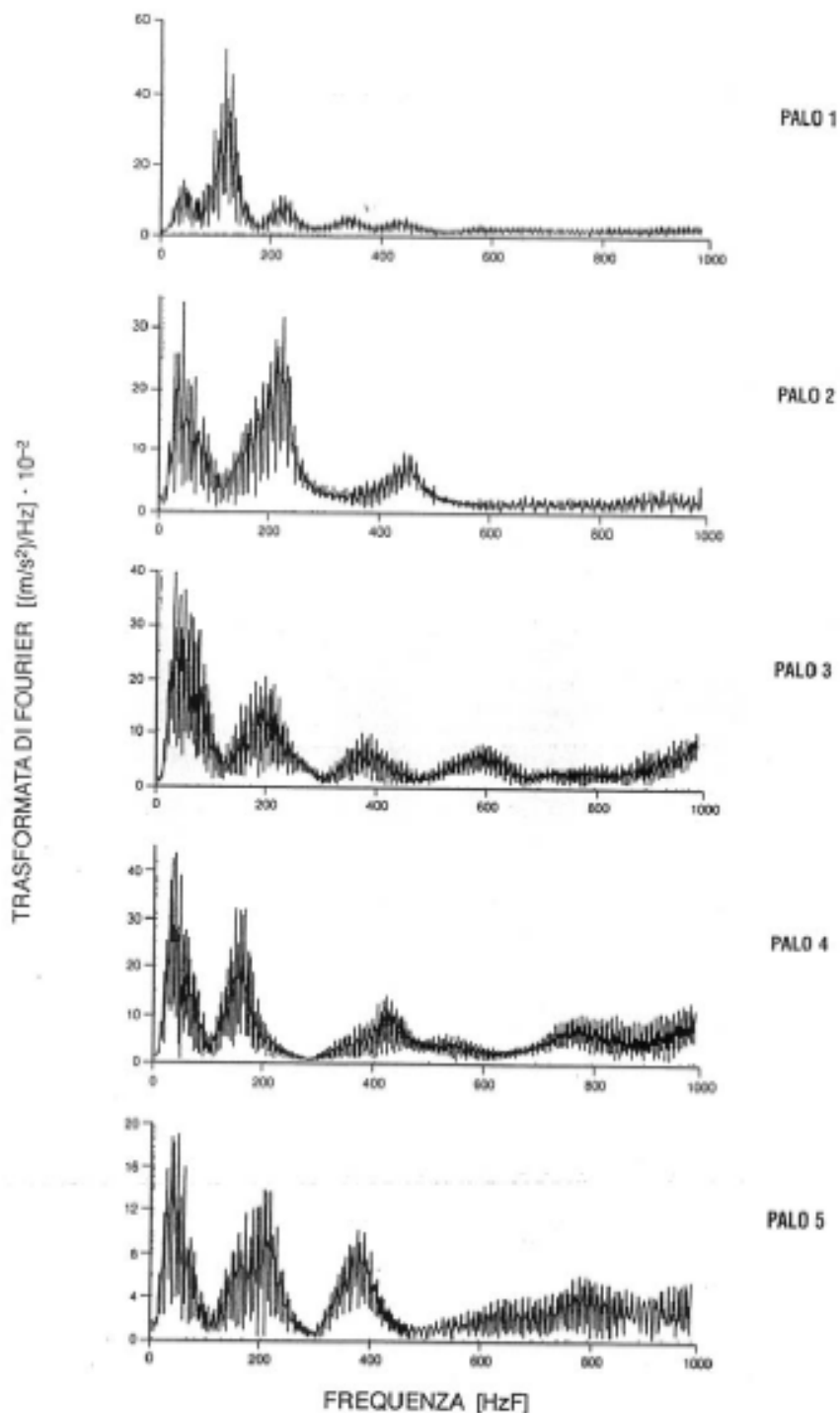


Fig. 6 – Trasformate di Fourier fornite da indagini di impatto

Si segnala infine la possibilità di esecuzione di prove dinamiche a bassa frequenza (tipicamente fino a 50 Hz) condotte su pali singoli o su gruppi di pali con vibrodina meccanica

a masse rotanti, oppure con vibrodina idraulica (in funzione dell'effettivo campo di frequenza di interesse e dell'entità delle forze da applicare) finalizzate a determinare la risposta del sistema colonna – terreno nel dominio delle frequenze, e quindi a calibrare modelli di calcolo che includono la presenza della sovrastruttura impostata sul sistema fondazionale. La Fig. 7 di seguito riportata illustra a titolo esemplificativo tipiche curve sperimentali di impedenza assiale di un palo sottoposto a prova in funzione della frequenza. A tali curve, espresse in termini di impedenza (forza / spostamento), sono state sovrapposte le corrispondenti curve teoriche ottenute applicando il classico modello visco elastico lineare. Secondo tale modello i coefficienti della parabola che descrive la parte reale (M , K) ed il coefficiente (B) che definisce la retta della parte immaginaria, rappresentano i parametri dinamici equivalenti del sistema palo – terreno (massa M , smorzamento viscoso B e rigidità K). La Fig. 8 mostra l'esecuzione di una prova dinamica a bassa frequenza.

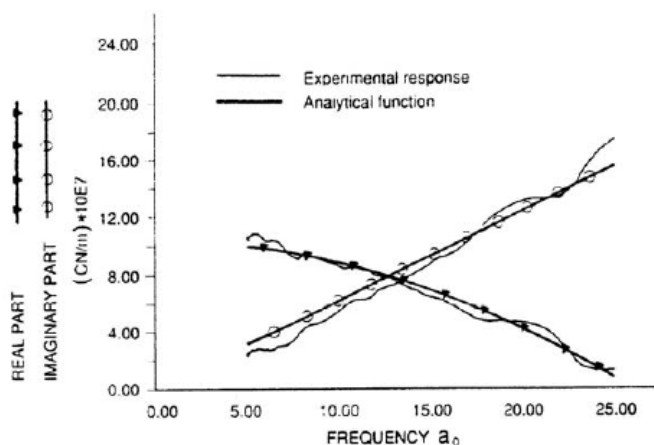


Fig. 7 – Funzioni di impedenza



Fig. 8 – Prova dinamica a bassa frequenza con vibrodina meccanica

CROSS HOLE

Il controllo di strutture di fondazione in calcestruzzo con il metodo ad ultrasuoni è ampiamente applicato nel campo dei controlli non distruttivi. Esso consiste nel generare un segnale ultrasonico e riceverlo ad una certa distanza nota. Il tempo di percorso, la forma e l'ampiezza del segnale ricevuto sono indicativi delle caratteristiche elastiche del materiale interessato dal percorso di misura e consentono di definire le caratteristiche fisico – meccaniche del materiale, appurare la presenza di difetti o alterazioni quali fessurazioni, riduzioni della sezione trasversale resistente o presenza di materiale con differenti caratteristiche elastiche.

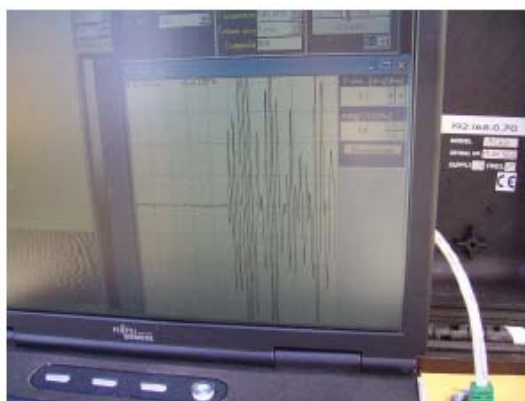
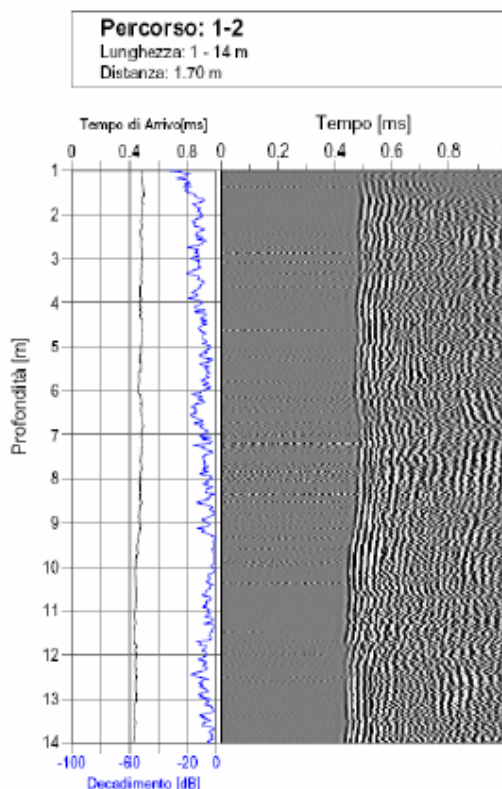
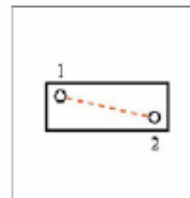
Poiché in Italia non è ancora stata emessa una normativa su tali tipi di controlli le prove vengono eseguite in conformità con la Norma Francese NF P 94-160-1 (ottobre 2000) "Méthode par transparence", comunemente adottata in campo internazionale. Il rilievo viene effettuato tra due tubi mediante due trasduttori (uno di generazione e l'altro di ricezione del segnale sonico) posti ad uguale profondità. Le misure vengono eseguite facendo scorrere con continuità entrambi i trasduttori lungo i due tubi. Il segnale emesso da un trasduttore viene quindi ricevuto a pari quota dall'altro trasduttore, registrato e visualizzato sul monitor del Personal Computer. Per garantire l'accoppiamento acustico del trasmettitore e del ricevitore con il materiale costitutivo la struttura le misure sono generalmente eseguite con i tubi pieni di acqua. I segnali acquisiti concorrono alla realizzazione della diagrafia sonica, ovvero una rappresentazione del segnale sonico in funzione della profondità. Nella parte iniziale, per il tratto corrispondente al tempo di percorso dei segnali, la diagrafie hanno tonalità uniforme in quanto non c'è modulazione delle tracce. Se le caratteristiche del calcestruzzo esplorato sono costanti ed i fori paralleli, le diagrafie soniche si presentano poi come delle strisce verticali alternativamente chiare (semionde negative) e scure (semionde positive) rettilinee ed uniformi. Se nel calcestruzzo sono presenti dei difetti si hanno delle variazioni della sequenza dei segnali, come ad esempio inflessioni delle strisce chiare o scure in conseguenza di variazioni della velocità di propagazione, oppure attenuazioni od annullamento della modulazione come conseguenza rispettivamente dell'attenuazione o del completo assorbimento dei segnali trasmessi.

CROSS-HOLES SONICI

In accordo con gli Standard ASTM D6760-02

Diaframma n° 79

Data Test: 07/09/2007
Sito: Milano
Committente: ICEIN
Operatore: Casari



Esempio di diaframa e fasi di acquisizione ed elaborazione dati