

INDAGINI DINAMICHE SU PALO DI FONDAZIONE
PALIFICATA GRANAROLO SPA
CADRIANO - BOLOGNA

PROVA N° 4431/BO

27 dicembre 2010

Committente: **XXXXXXXXXXXXXXXXXX**

Consulenti: **XXXXXXXXXXXXXXXXXX**

Relatore: **ing. Settimo Martinello**
ing. Thomas Pavan



Rif: BO-134-10

Bolzano, 10 gennaio 2011

INDICE

1. PREMESSA	3
1. PROVA DINAMICA AD ALTA DEFORMAZIONE	4
1.1. Metodologia di prova	4
1.2. Procedura di prova.....	5
1.3. Descrizione della strumentazione.....	6
1.4. Risultati della prova	9

1. PREMESSA

La Società *4 EMME Service Spa*, specializzata nell'esecuzione di prove sperimentali su strutture in sito, è stata incaricata dalla **XXXXXXXXXXXXXXXXXX** di eseguire una indagine dinamica ad alta deformazione su un palo di fondazione presso lo stabilimento Granarolo Spa in via Cadriano a Bologna.

La prova è stata eseguita il 27 dicembre 2010 sul palo n. 1 della fondazione composta da 4 pali.

L'entità del carico da applicare è stata concordata con la Direzione Lavori.

Le prove sono state effettuate nel rispetto del NTU - DM 14.1.2008 punto 6.4.3.7.2.

All'esecuzione hanno assistito:

ing. XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

ing. XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

e per la *4 EMME Service S.p.A.*:

ing. Settimo Martinello

ing. Thomas Pavan

ing. Thomas Vassalli

1. PROVA DINAMICA AD ALTA DEFORMAZIONE

Il metodo “Case”, conformemente alle ASTM D4945-08, è conosciuto come prova dinamica ad alta deformazione (*Dynamic Load Test*) e rappresenta la tecnica per la verifica della portanza delle fondazioni profonde in condizioni limite e di esercizio così come indicato nel NTU - DM 14.1.08 ai paragrafi 6.4.3.7.1-2.

1.1. Metodologia di prova

La prova dinamica ad alta deformazione si esegue sollecitando la testa del palo con un carico assiale attraverso l’impatto di una massa di peso noto, fatto cadere da diverse altezze, fino a raggiungere l’energia necessaria a far entrare in gioco le resistenze del sistema palo-terreno.

I dati di forza ed accelerazione indotti sul palo vengono registrati e successivamente elaborati da un software denominato CAPWAP (*Case Pile Wave Analysis Program*).

Tale metodo permette il confronto dei dati sperimentali con un modello numerico del sistema palo-terreno. Nell’analisi, il terreno viene schematizzato come un mezzo plastico ed il palo viene idealizzato come un insieme di elementi finiti perfettamente elastici ed uguali. Introducendo i valori di forza e velocità misurate sulla testa del palo, si può calcolare la resistenza totale (R_t) dalla seguente relazione:

$$R_t(t^*) = \frac{1}{2} \left[F_m(t^*) + F_m\left(t^* + \frac{2L}{c}\right) \right] + \frac{Mc}{2L} \left[v_m(t^*) - v_m\left(t^* + \frac{2L}{c}\right) \right]$$

dove :

t^* = istante temporale dopo l’impatto in cui la resistenza del sistema è massima;

F_m = forza verticale misurata dagli strumenti all’istante t^* ;

v_m = velocità delle particelle misurata sperimentalmente;

c = velocità di trasmissione delle onde meccaniche;

M = massa del palo;

L = Lunghezza del palo.

Al fine di fornire un modello sufficientemente rappresentativo della realtà, si procede alla suddivisione della resistenza totale in una componente statica (R_s) ed una componente dinamica (R_d) attraverso la seguente relazione:

$$R_t = R_s + R_d$$

La componente dinamica può essere calcolata ipotizzando una costante di smorzamento viscoso del terreno J ricavata da tabelle sperimentali presenti in letteratura. La relazione che permette di determinare tale componente è la seguente:

$$R_d = J \cdot v_t$$

dove v_t è la velocità sul fondo del palo.

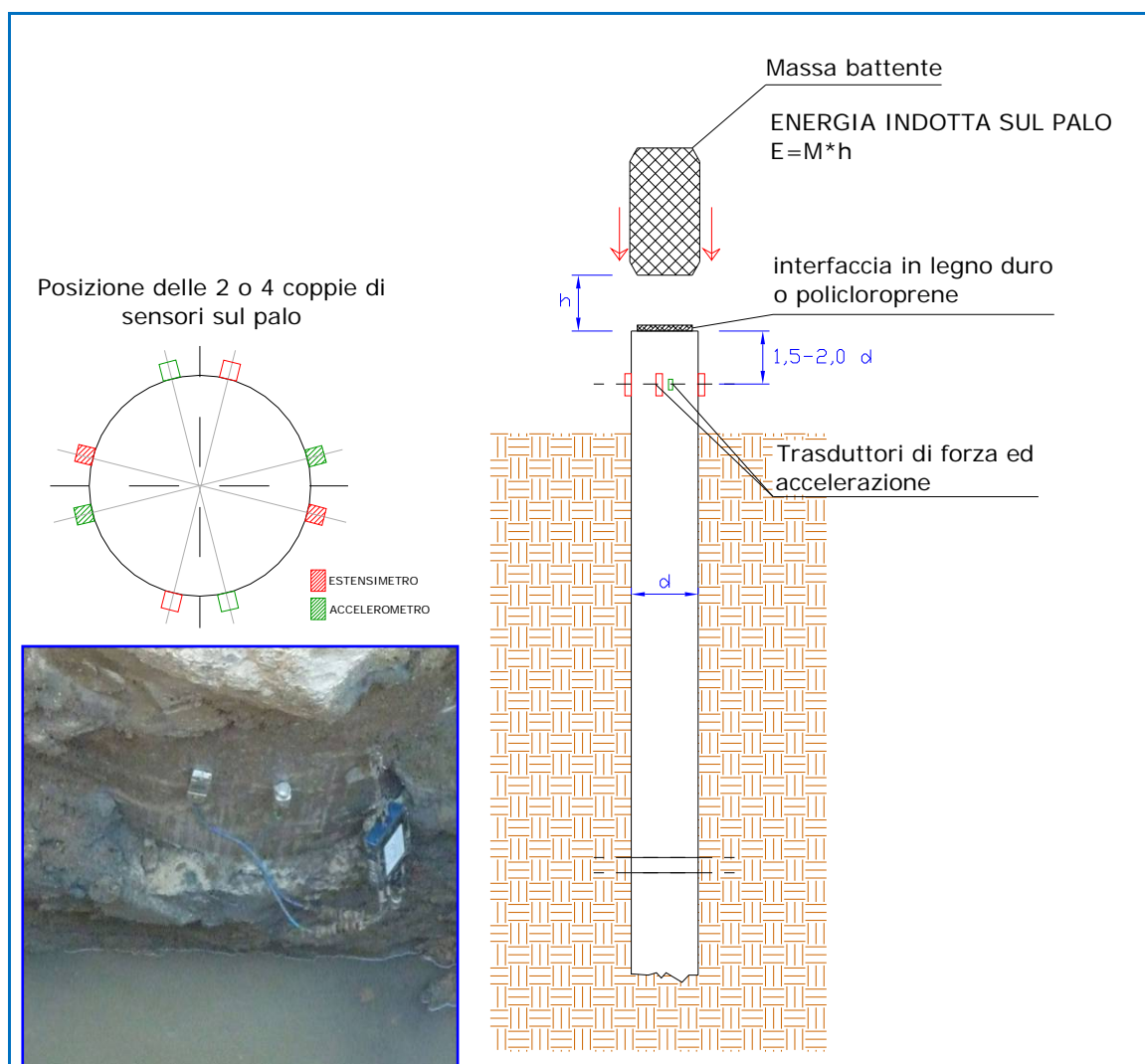
Dalle suddette relazioni è quindi possibile risalire alla resistenza statica R_s del manufatto.

Il Metodo Case, attraverso il programma di elaborazione CAPWAP, fornisce, quando la forza applicata in prova è analoga al carico di esercizio, una stima delle resistenze ultime del palo con una confidenza, rispetto ai risultati di una prova statica, nell’ordine del 10%.

La metodologia, ampiamente in uso negli Stati Uniti, ha una estesa bibliografia riportata nel sito www.pile.com/Reference e su www.4emme.it/pali.htm.

1.2. Procedura di prova

- Preparazione del palo creando sulla testa una superficie piana e regolare dove poter applicare la sollecitazione;
- installazione di due coppie di sensori (accelerometri ed estensimetri) diametralmente opposti, su un'area spianata di palo ad una profondità di circa 1,5 volte il diametro del palo;
- misura della velocità di propagazione del suono nel materiale attraverso sonde ultrasoniche poste tra le due superfici spianate;
- configurazione dell'apparecchiatura di acquisizione ed inserimento dei parametri geometrici e meccanici del palo;
- sollecitazione del palo con una serie di impulsi mediante la caduta della massa da altezze crescenti di 20 in 20 cm fino ad indurre sul palo una sollecitazione assiale superiore a quella di verifica;
- creazione attraverso il sistema CAPWAP di un modello numerico palo-terreno e calibrazione dei valori analitici con quelli ottenuti sperimentalmente.



Schema di prova

1.3. Descrizione della strumentazione

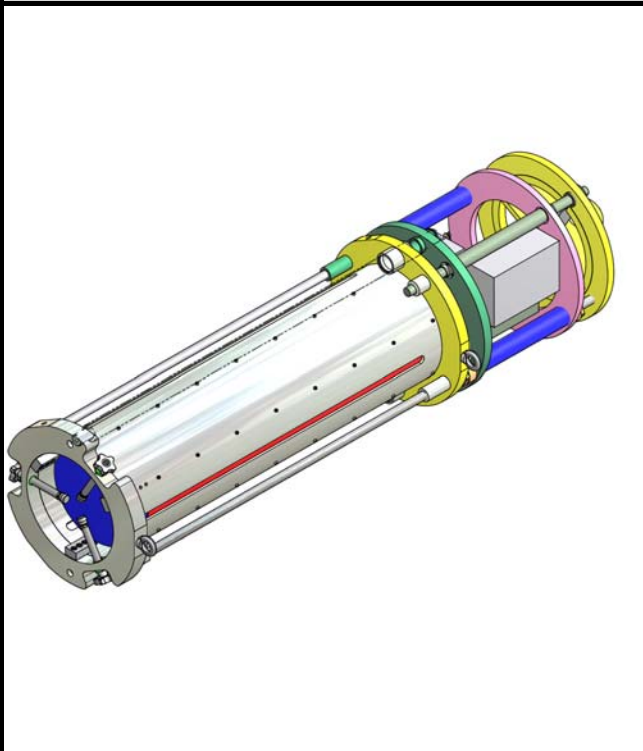

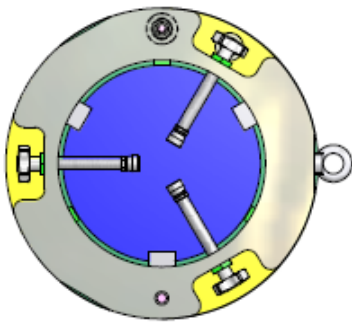
3.3.1. Maglio oleodinamico M200

Per indurre le sollecitazioni assiali sul palo è utilizzato un maglio oleodinamico che consente la movimentazione e rilascio istantaneo di una massa d'acciaio.

L'apparecchiatura consente di far cadere la massa cilindrica da diverse altezze fino ad un massimo di 125 cm.

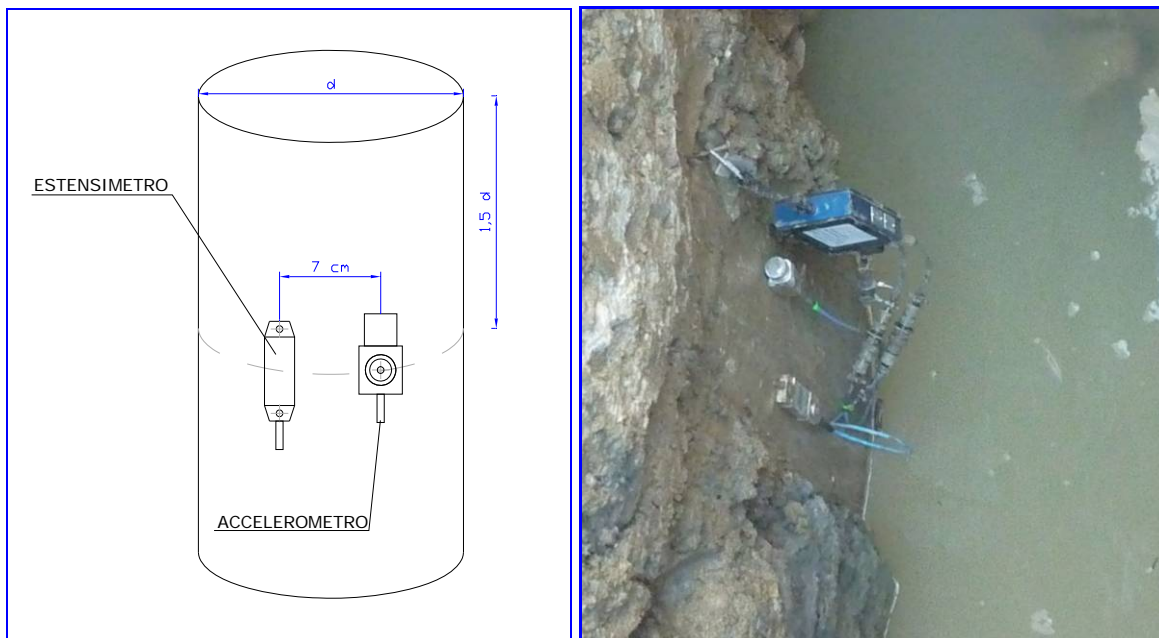
Il sistema viene controllato con un dispositivo a distanza che ne rende pratico e sicuro l'utilizzo.

Per una trasmissione uniforme dell'impatto sulla testa del palo è posizionato un disco in policloroprene dello spessore di 3 cm tra la massa e la superficie in cls.

Caratteristiche del Maglio M200													
													
		<table border="1"> <tr> <td>Massa battente</td> <td>13.000 N</td> </tr> <tr> <td>Peso complessivo</td> <td>18.500 N</td> </tr> <tr> <td>Altezza max di caduta</td> <td>125 cm</td> </tr> <tr> <td>Dimensione impronta</td> <td>35 cm</td> </tr> <tr> <td>Diametro ingombro</td> <td>80 cm</td> </tr> <tr> <td>Altezza a chiuso</td> <td>240 cm</td> </tr> </table>	Massa battente	13.000 N	Peso complessivo	18.500 N	Altezza max di caduta	125 cm	Dimensione impronta	35 cm	Diametro ingombro	80 cm	Altezza a chiuso
Massa battente	13.000 N												
Peso complessivo	18.500 N												
Altezza max di caduta	125 cm												
Dimensione impronta	35 cm												
Diametro ingombro	80 cm												
Altezza a chiuso	240 cm												

1.3.2. Sistema di misura

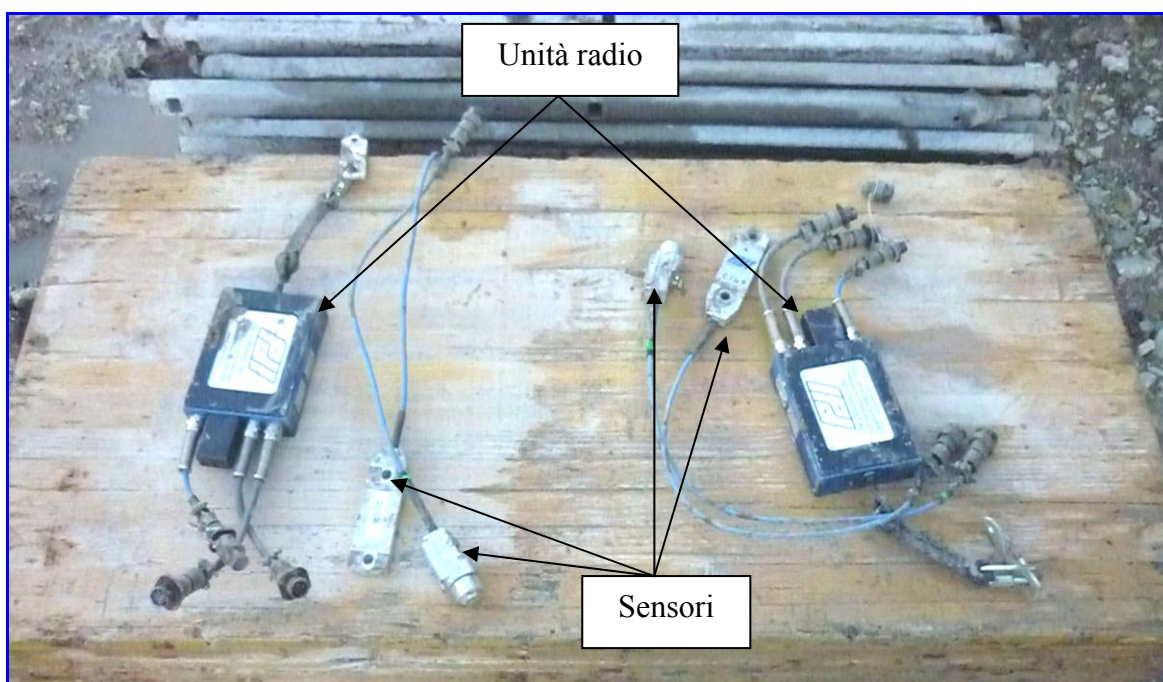
Per la misura della forza e delle accelerazioni indotte sul palo sono installati una coppia di estensimetri e una coppia di accelerometri diametralmente opposti.



Schema posizione sensori

Sono installati:

- 2 sensori accelerometrici piezoresistivi (*range di misura* 1,0 ÷ 5000 g);
- 2 sensori estensimetrici a 8 estensimetri a ½ ponte in serie;
- 2 unità di trasmissione wireless.



Sensori accelerometrici, estensimetrici e due stazioni di trasmissione wireless

Gli estensimetri e gli accelerometri comunicano con l'unità di acquisizione mediante le stazioni wireless.

L'unità di acquisizione è costituita da un personal computer dotato del software CAPWAP. Tale sistema permette di comunicare con i sensori installati sul palo e di registrare ed elaborare i segnali trasmessi fornendo in tempo reale i parametri di output:

- forza massima trasmessa al palo;
- spostamento massimo della testa del palo;
- valore indicativo di resistenza totale del sistema palo-terreno mobilitata durante la sollecitazione, calcolata con il Metodo Case.

1.3.3. Determinazione delle proprietà meccaniche del cls

Prima dell'esecuzione delle prove di carico dinamiche sono state eseguite delle misurazioni del tempo di passaggio di onde ultrasoniche sulla testa del palo.

Le indagini hanno lo scopo di determinare sperimentalmente la velocità del suono nel materiale.

Le misurazioni sono state eseguite con l'apparecchiatura ultrasonica *Cms55*, con tensione di eccitazione del trasmettitore di 1,6 kV e costituita da:

- trasduttore piezoelettrico con frequenza 55KHz;
- ricevitore preamplificato;
- computer Palmare HP IPAQ 2210 per la gestione dei segnali.



Apparecchiatura sonica

Il rilievo consiste nel propagare nel materiale dei treni di impulsi ultrasonici nel campo delle frequenze 15 ÷ 200 kHz e, posta la sonda trasmittente a contatto su un lato e la sonda ricevente sull'altro, si misura il tempo di transito del segnale.

La velocità di trasmissione delle onde, peculiarità di ogni materiale in base alle sue caratteristiche meccaniche, si ottiene dividendo la distanza delle sonde per il tempo misurato.

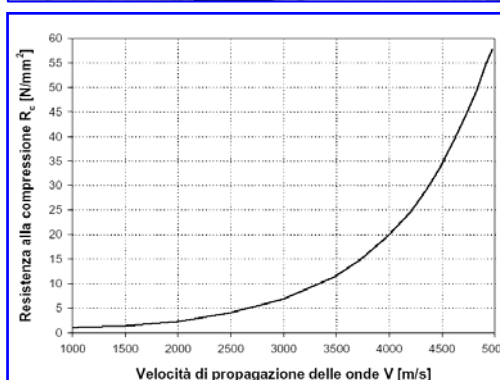
Il valore sperimentale della velocità di trasmissione delle onde migliora la precisione delle elaborazioni che saranno eseguite per la valutazione delle capacità portanti del palo.

Dalla velocità del suono nel materiale è possibile stimare anche la Resistenza R_{mc} del calcestruzzo sulla base di una correlazione sperimentale.

Dalla resistenza a compressione si potrà risalire ad una stima del Modulo Elastico sulla base della formula di normativa:

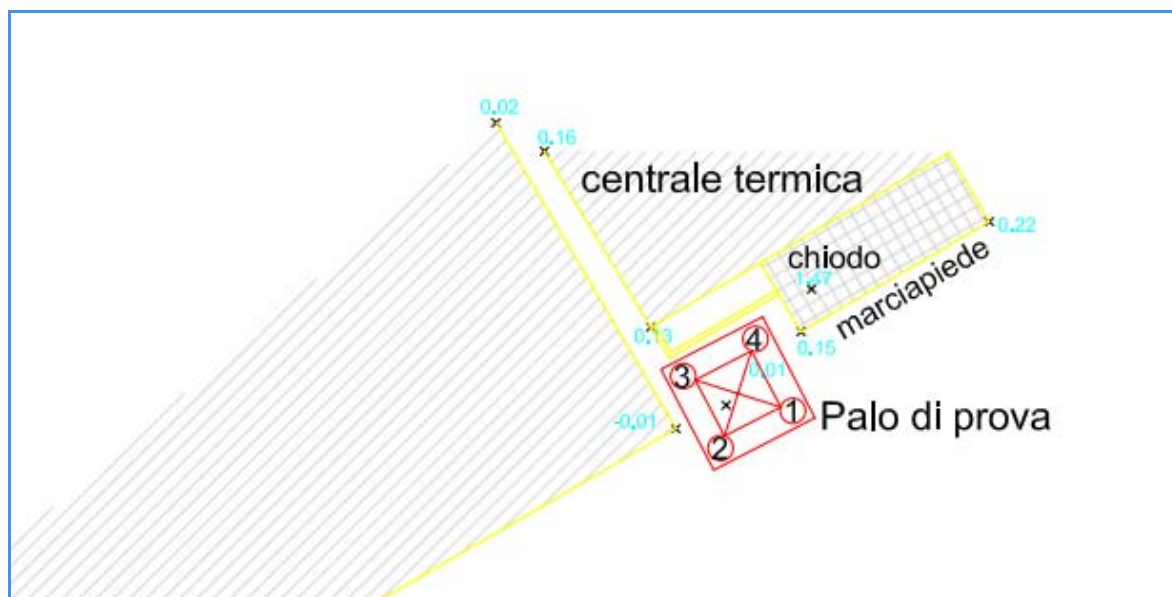
$$E = 22000 (R_{cm}/10)^{0,3} \text{ [MPa]}$$

A seguito sono riportati i tempi di passaggio dell'impulso ultrasonico, il calcolo della velocità del suono e la stima della Resistenza e del Modulo Elastico.



1.4. Risultati della prova

Il rapporto di prova allegato indica tutte le caratteristiche del palo ed i risultati ottenuti dalla prova eseguita sul palo n. 1.



Schema di posizione dei pali

+

Committente: XXXXXXXXXXXXXXX
Cantiere: Granarolo Spa
Località: Bologna – via Cadriano
Data: 27/12/2010
Referente: XXXXXXXXXXXXXXX

Sede operativa: 4 Emme Service Spa - Bologna
Tecnico prova: ing. Thomas Pavan
Sviluppo dati: ing. Settimo Martinello
Strumento: PDA Model Pax-8
Calibrazione: 15/11/2010

Caratteristiche del palo

Palo N.: 01
 Tipo: trivellato
 Materiale: calcestruzzo
 $C_e = 850$ kN
 $L = 19,5$ m
 $D = 80$ cm
 $L_E = 17,5$ m
 $L_P = 17,0$ m

Sensori utilizzati

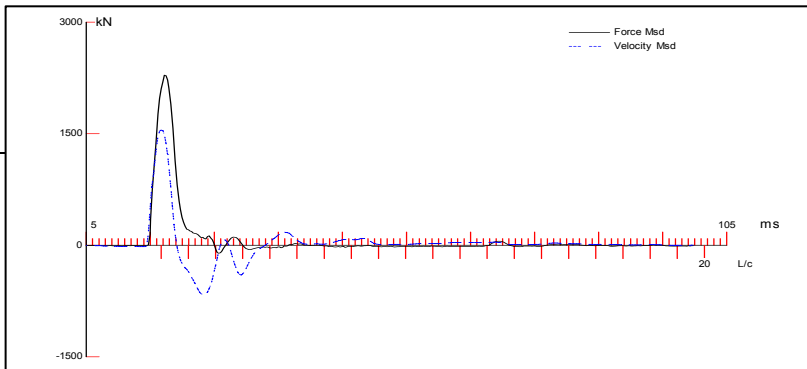
N. Estensimetri: 2
 N. Accelerometri: 2
 Posizione: diametricale
 Collegamento: wireless

Maglio utilizzato

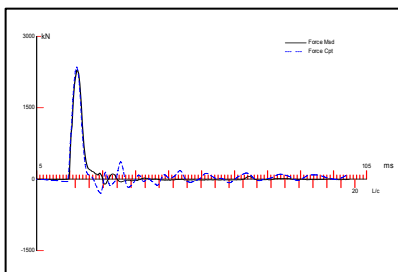
Modello: M200
 Massa: 1.300 N
 h massima: 120 cm
 D impronta: 35 cm
 D ingombro: 60 cm
 Comandi: radio

Misure

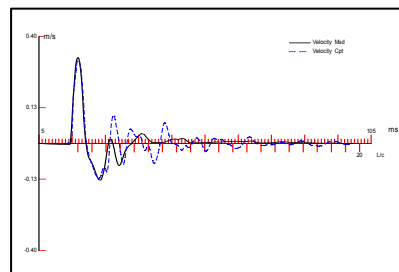
Tempo transito: 190 μ s
 Velocità suono: 4200 m/s
 $R_{mc} = 25,1$ MPa
 $E = 29.000$ MPa



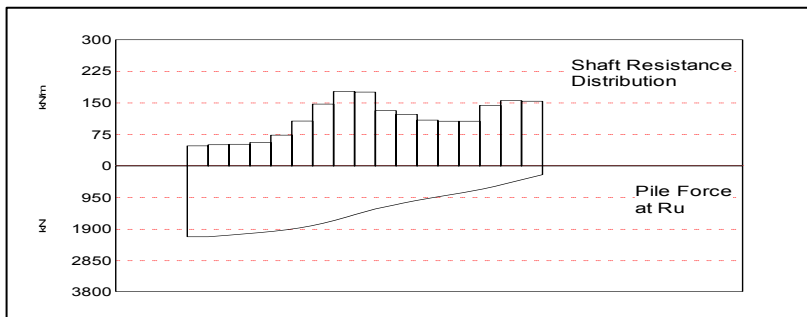
Forza – Velocità/Tempo



Calibrazione Forza



Calibrazione Velocità



Distribuzione della Resistenza

Prova dinamica			
Fase	h [cm]	Δ [mm]	F_{MX} [kN]
1	20	0,14	250
2	40	0,31	614
3	60	0,49	1.229
4	80	0,87	1.990
5	90	0,92	2.150
-	-	-	-

Risultati

$F_{MX} = 2.150$ kN
 $R_s = 1.893$ kN

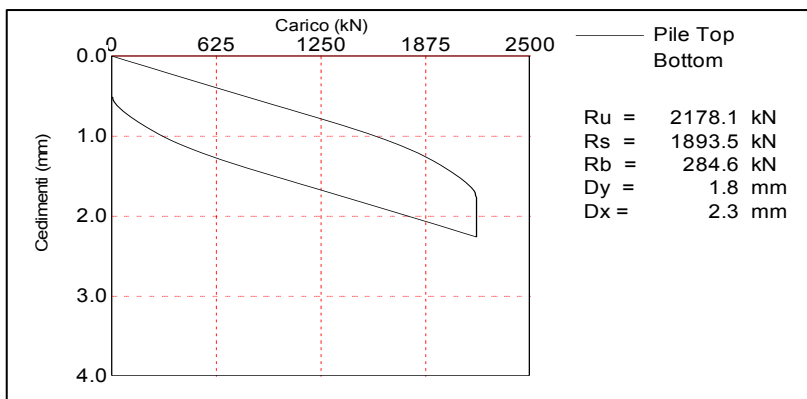


Diagramma Carico – Cedimenti

$R_u = 2178.1$ kN
 $R_s = 1893.5$ kN
 $R_b = 284.6$ kN
 $D_y = 1.8$ mm
 $D_x = 2.3$ mm

Bolzano, 10 gennaio 2011

Dott. Ing. Settimo Martinello

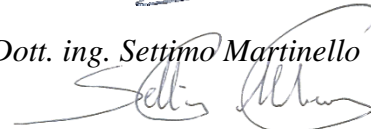
A seguire si riporta la simbologia dei parametri della prova Case:

Ce = carico di esercizio
L_E = distanza quota sensori - fondo palo
L_{p=} = distanza piano di scavo - fondo palo
h = altezza di caduta della massa
Δ = deformazione massima rilevata
R_{mc} = resistenza media del calcestruzzo stimata
E = modulo elastico del calcestruzzo stimato
F_{MX} = forza verticale applicata
R_u = resistenza totale ultima stimata del palo
R_S = resistenza statica ultima stimata del palo
R_b = carico di punta stimato

Bolzano, 10 gennaio 2011

U.EMME Service S.p.A
Dott. Ing. Thomas Pavan


Dott. ing. Settimo Martinello



Relazione revisionata da

Dott. ing. Roberto Bruson

