



Via L. Camerini 16/1 35016 PIAZZOLA SUL BRENTA (PD) Tel. 0498725982 - Cel. 3482472823
Email: info@geocontrolli.it www.geocontrolli.it C.F. P.IVA 04706820281 CIAA PD REA 411709

**VALUTAZIONE DELL'IDONEITA' STATICA DI UN PALO DI FONDAZIONE
PROVA DINAMICA FORZATA AD ALTA POTENZA**

VALUTAZIONE DELL'IDONEITA' STATICA DI UN PALO DI FONDAZIONE MEDIATE PROVA DINAMICA FORZATA AD ALTA POTENZA

PROVA DINAMICA AD ELEVATA DEFORMAZIONE SU PALI DI FONDAZIONE

La prova ha lo scopo di fornire informazioni riguardanti le caratteristiche portanti del sistema palo-terreno, impiegando una forza in grado di generare tensioni (movimenti del sistema) di entità non trascurabile rispetto alla resistenza del calcestruzzo impiegato ed alla tensione limite del sistema palo-terreno; ciò consente di analizzare i risultati della prova alla luce dei modelli elastici-lineari per pianificare un criterio di accettabilità della reale portata del palo.

La prova consiste nel mettere in vibrazione la testa del palo con una forza sinusoidale di entità tale da interessare tutto il sistema palo-terreno. Cioè creare dei movimenti del palo tali da interessare il sistema palo/terreno nella sua globalità. Nel controllo si è ritenuto opportuno proporre un'indagine vibrazionale anziché ad impatto, in quanto la prima per le sue caratteristiche intrinseche si differenzia per la sua elevata affidabilità e perfetta ripetibilità delle prove con conseguente certezza delle grandezze fisiche rilevate.

La forzante (vibrazione forzata) sarà generata da una vibrodina, ancorata sulla testa del palo, in grado di generare una forza sinusoidale di 30-40KN ad una frequenza di eccitazione di 30 Hz e servo controllata da un sistema elettronico di generazione/acquisizione (precisione della frequenza di vibrazione migliore di 0.01Hz).

La risposta dinamica, in termini di accelerazione, velocità e spostamento verrà acquisita mediante due/tre trasduttori di vibrazione sismici disposti sulla testa del palo (la vibrodina verrà opportunamente ancorata sulla testa del palo o al tubolare d'armatura qualora trattasi di un micropalo). I trasduttori di vibrazione saranno collegati ad un sistema di acquisizione computerizzato con frequenza di campionamento globale pari a 100KHz.

FASI DI CONTROLLO

Per una più accurata acquisizione dei parametri dinamici di vibrazione, in riferimento al sistema palo-terreno esaminato, laddove possibile verrà eseguita una prova preliminare su un palo perfettamente integro e corrispondente alle caratteristiche di progetto (palo controllato precedentemente con la metodologia vibrazionale forzata a bassa potenza).

Sui pali campione, laddove possibile o richiesto dalla D.L., verrà anche eseguita una prova di carico statica, sia allo scopo di collaudo e verifica della capacità portante del palo, sia per estrapolare e correlare detti dati a tutti gli altri pali collaudati con la prova sperimentale proposta.

Portata a termine la fase preliminare, tutti i pali prescelti al controllo dalla Direzione Lavori, verranno sottoposti a controllo PDFAP.

I risultati delle prove potranno essere forniti sia in termini di ammettenza meccanica che di curva carico cedimenti (cedimenti dinamici).

Un'ulteriore analisi potrà essere condotta portando il sistema palo-terreno a regime alla massima forza di sollecitazione, rilevando durante l'arresto dell'eccitazione i parametri di smorzamento del sistema palo-terreno, il decremento logaritmico dello smorzamento, l'ampiezza max di vibrazione, il coefficiente di incremento dinamico, il cedimento elastico, l'efficacia dinamica ovvero il rapporto fra il massimo movimento ed il corrispondente cedimento statico. Infine lo studio finale e di correlazione delle rispettive prove dinamiche eseguite daranno un quadro generale sufficientemente preciso sia per un giudizio di accettabilità strutturale sia di portanza.

Come accennato, ogni singolo palo verrà anche sottoposto a vibrazione per un certo tempo con una forza iniziale di 5KN ed incrementato con step di 5KN sino a raggiungere la forza max di 30KN. In detto caso si potrà valutare la linearità dell'incremento dinamico, oltre a registrare tutti gli altri parametri dinamici. In particolare verrà determinata la frequenza di risonanza del sistema palo-terreno rilevando tutti i parametri dinamici in tale configurazione.

La risposta dinamica forzata verrà così analizzata in termini di cinematismo di un corpo rigido provvisto di vincolo visco-elasto-plastici sollecitato nel campo delle alte deformazioni (una forza anche piccola ma duratura nel tempo permette di mettere in vibrazione grosse masse - in tal caso avendo a disposizione circa 20KN, tutto il sistema palo-terreno entra in gioco permettendo di registrare interessanti informazioni sulla sua iterazione e sull'integrità e collaborazione del palo con il terreno nella sua globalità).

La vibrodina, qualora i pali da testare siano micropali, verrà bloccata sulla testa del palo con un sistema di martinetti idraulici. Pertanto i tubolari d'armatura dei pali dovranno sporgere dal terreno per circa 50cm. Nel caso di pali in calcestruzzo, l'ancoraggio verrà effettuato con opportuni tasselli direttamente sulla testa del palo (dado).

NB: la scelta della vibrodina rispetto al maglio utilizzato nella tecnica "CASE" consente di evitare:

- . inevitabili danneggiamenti delle teste dei pali, unitamente alla formazione di elevate tensioni di trazione durante la propagazione del colpo.

- . peso del maglio pari a circa 1/10 il peso del palo. Il peso del maglio è basilare per mettere in movimento il palo per tutta la sua lunghezza - un maglio di piccole dimensioni dato il tempo ridotto del corpo d'impatto non è insufficiente per muovere il palo per tutta la sua lunghezza e sino alla massima profondità.

- . La tecnica ad impatto, richiede che il palo sia scalzato dal terreno circostante per la profondità di circa 1.5-2 diametri, allo scopo di posizionare i sensori. Ciò significa sconvolgere l'area di ogni singolo plinto.

- . La prova ad impatto, per la difficoltà di posizionamento e caduta del maglio non restituisce sempre la medesima risposta - per avere una ripetibilità dei dati registrati la prova necessita di imprimere più colpi alla testa del palo e ciò oltre ad introdurre dei fattori di incertezza, comporta la possibile rottura delle teste dei pali.

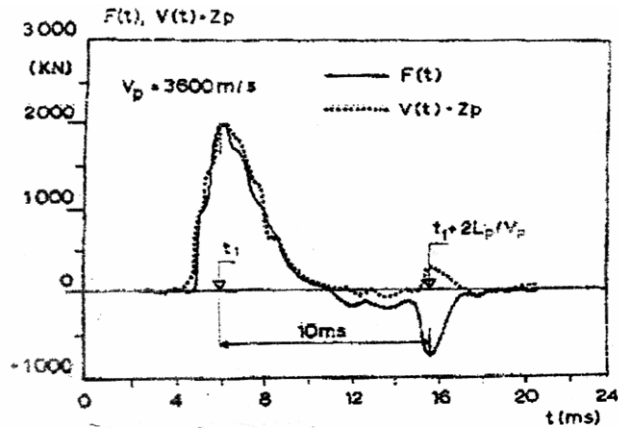


Fig 1: Prova dinamica su palo trivellato $\phi 600$ mm, rilievo del comportamento palo-terreno. Applicando il modello matematico si determina una resistenza dinamica totale di 1770 KN cui corrisponde una resistenza statica massima di 1000 KN

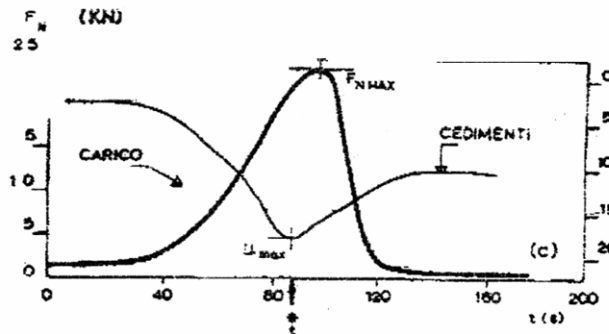


Fig 2: Graficizzazione della forza applicata e degli spostamenti acquisiti. Si rileva il massimo cedimento ad una frequenza di risonanza del palo di 16 Hz. Tale valore anomalo viene anche supportato da un elevato residuo in fase di scarico.

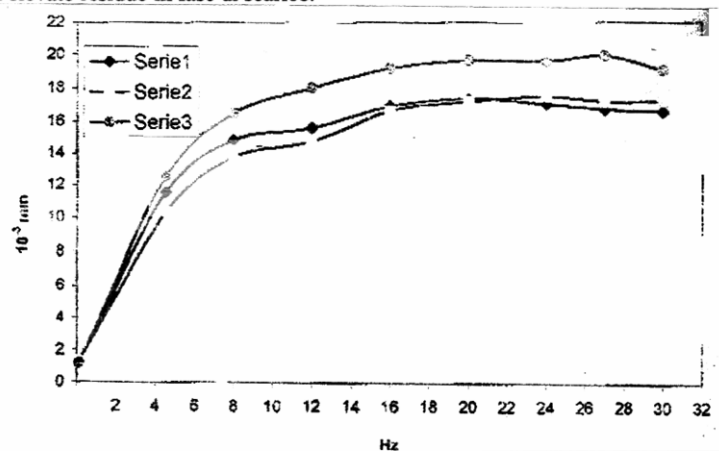


Fig 3: Ampiezza di spostamento in funzione della frequenza di eccitazione (spostamento non normalizzato) per i tre accelerometri.



Foto n.1 - vibrodina

La portanza del palo in condizioni statiche è dedotta dalla curva di carico in condizioni dinamiche attraverso la formulazioni di ipotesi di natura cinematica che caratterizzano i diversi contributi di resistenza associati al comportamento visco-elasto-plastico del terreno.

In particolare l'equazione utilizzata sarà del tipo

$$F_{Din}(t) = F_{Stat}(t) + F_{Visc}(t) \quad (1)$$

La curva dinamica viene quindi descritta dalla espressione:

$$F_{Statn}(t) = F_{Stat}(t) + F_{Visc}(t) + F_{Inerz}(t) \quad (2)$$

Durante le fasi di sollecitazione in campo lineare per l'equilibrio dinamico si ottiene:

$$F_{Statn}(t) = K_1 u(t) + C_2 du/dt + M d^2u/dt^2 \quad (3)$$

Nella prima fase di sollecitazione del palo è possibile determinare la rigidità elastica iniziale del palo sollecitato in campo elastico:

$$K_1 = F_1 / u_1 \quad (4)$$

Nelle successive fasi di sollecitazione del palo, il comportamento del terreno sarà del tipo visco-elasto-lineare in cui le forze elastiche, viscosi ed inerziali dissiperanno tutto il carico dinamico di prova. All'aumentare delle sollecitazioni ed in condizioni di risonanza il comportamento del terreno sarà in campo plastico aggiungendo il

massimo valore di cedimento u_{max} . All'esaurirsi della sollecitazione dinamica il palo manifesterà un ritorno elastico fino al valore di cedimento permanente u_{res} .

L'evoluzione nel tempo della curva di carico associata alla sola resistenza statica del terreno verrà valutata con l'espressione:

$$F_{Stat}(t) = F_{Statn}(t) - F_{Visc}(t) - F_{Inerz}(t) \quad (5)$$

Da cui, calcolati i valori del coefficiente viscoso, sia in campo lineare che plastico, dalla (3) è possibile rappresentare la progressione della forza statica con lo spostamento.

In figura 1 è rappresentata in forma grafica la risposta dinamica di un palo sottoposto a sollecitazione con una forza di circa 2000Kg, della lunghezza di 18m e del diametro di 600mm.

La curva, con tratto continuo, rappresenta la forza (KN) di sollecitazione del palo in cui nel punto $-t_1$ si ha il massimo della forza trasmessa alla testa del palo e nel punto $-t_2$ si ha il massimo della forza riflessa dal piede del palo.

La curva tratteggiata rappresenta l'impedenza del palo, definita dalla seguente formula.

$$I. \quad I = (E \times A) / C \quad (1)$$

Dove:

E = modulo elastico del calcestruzzo

A = sezione del palo

C = velocità delle onde elastiche di sollecitazione lungo il fusto palo

I = impedenza

La curva, oltre a fornire importanti informazioni sulla possibile portata del palo, permette di definire:

- la lunghezza del palo
- se il palo è del tipo sospeso o portante di punta.
- L' integrità - presenza di difetti.

$$t_2 - t_1 = (2 \times L) / C \quad (2)$$

dove:

C = velocità di propagazione delle onde di sollecitazione lungo il fusto del palo

L = lunghezza del palo.

La portata statica di un palo è data dalla formula:

$$II. \quad Q = R - D \quad (3)$$

Dove:

R = forza di reazione del sistema palo-terreno

D = smorzamento della forza di sollecitazione

Calcolando i valori di R e D dalle seguenti formule (4 e 5) e sostituendoli nella (3) si avrà la portata (Q) possibile del palo.

$$R = [F(t_1) + v(t_2) I] / 2 + [F(t_2) - v(t_2) I] / 2 \quad (4)$$

$$D = j [(F(t_1) + I v(t_2) - R)] \quad (5)$$

Dove:

F = forza massima trasmessa al palo negli istanti (t_1) e (t_2)

v = velocità di oscillazione della testa del palo negli istanti (t_1) e (t_2)

I = impedenza (1)

J = fattori di smorzamento

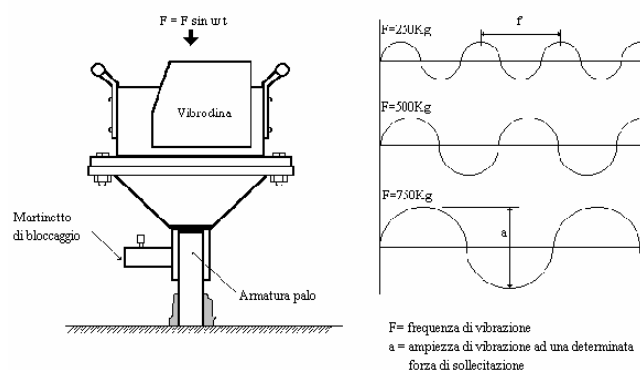
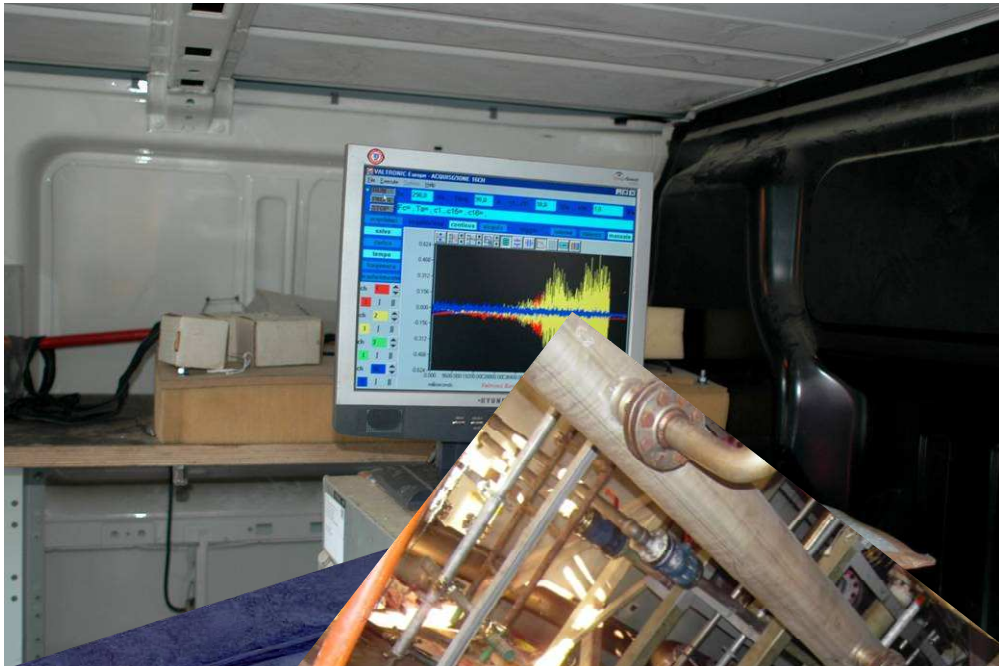




Foto n.2 - Centralina di controllo della vibrodina



Foto n.3 - posizionamento della vibrodina





CALCOLO DEL CARICO NORMALE PER SPOSTAMENTO AL PIEDE PARI AD 1MM

Carico normale: 1164 ton (282 kN/m² distribuiti sulla faccia di estradosso plinto)

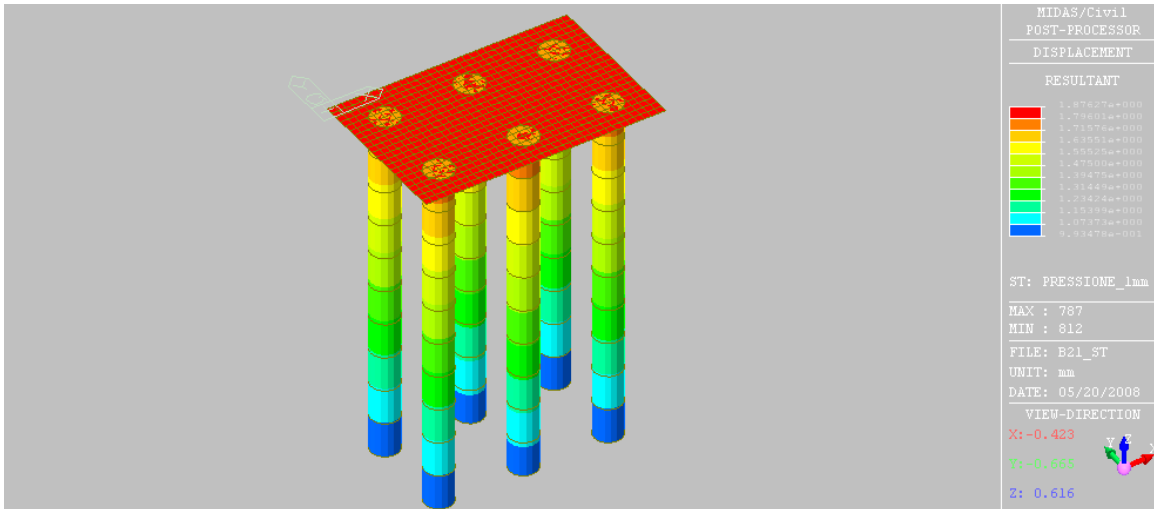


Figura 6 – Distribuzione degli spostamenti sotto l'azione di un carico di 1164 ton

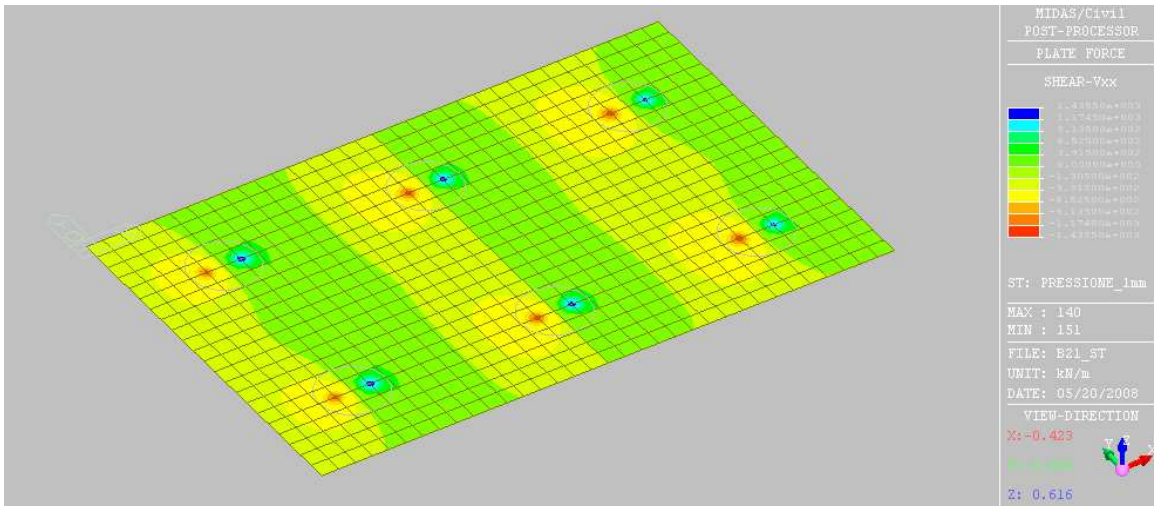


Figura 7 – Sollecitazione da taglio Vxx nel plinto sotto l'azione di un carico di 1164 ton

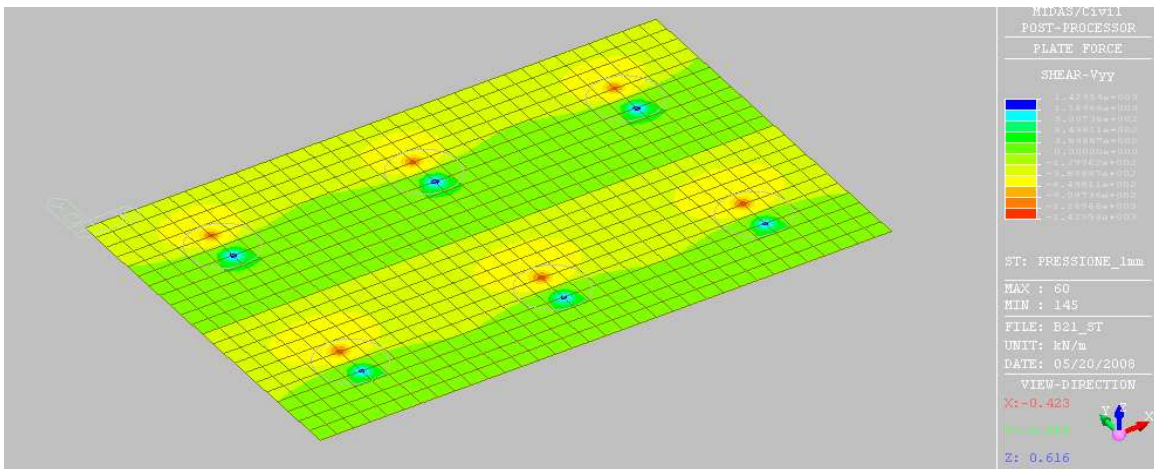
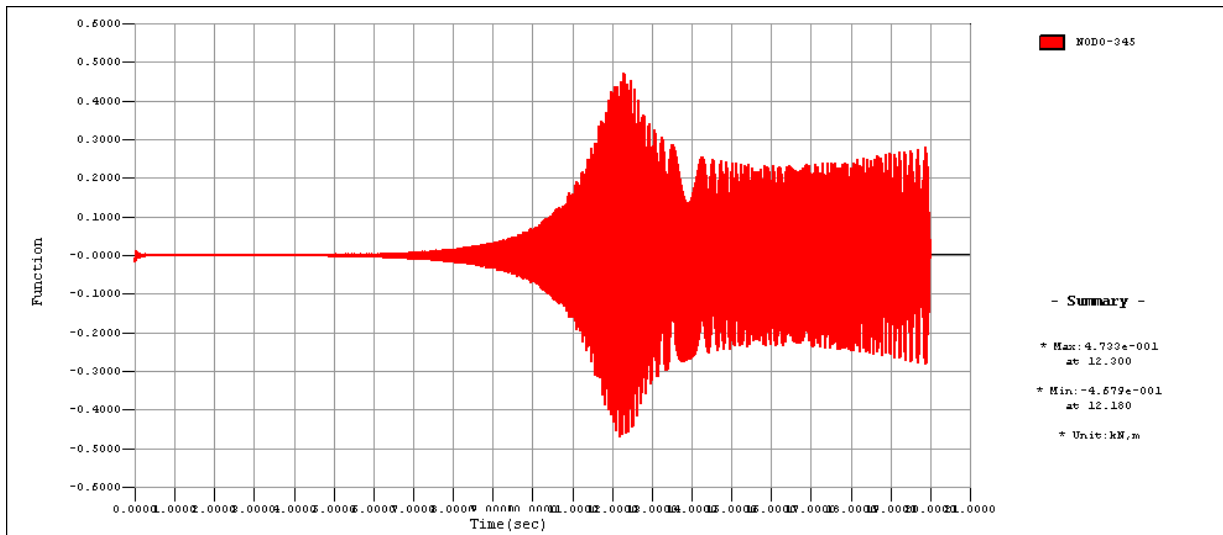
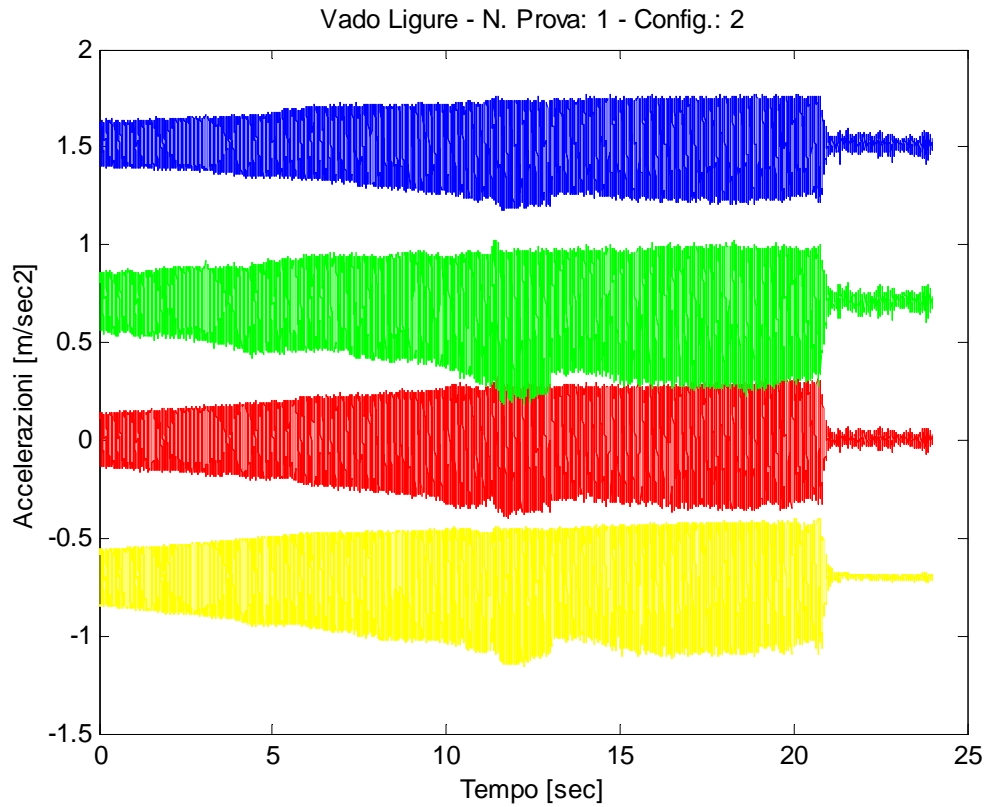


Figura 8 – Sollecitazione da taglio Vyy nel plinto sotto l'azione di un carico di 1164 ton



Risposta del sistema in termini di accelerazioni (nodo di controllo 1)