



PROVE IN SITO - LABORATORIO PROVE MATERIALI



4 EMME SERVICE S.p.A. - Via L. Zuegg, 20 - 39100 BOLZANO
Tel. 0471/543111 - Fax 0471/543110 - info@4emme.it - www.4emme.it

**INDAGINI SPERIMENTALI SULLE
STRUTTURE IN C.A. DEGLI IMMOBILI DELL'EX AREA
INDUSTRIALE "XXXXXXXXXXXXXX" – Corpo 153
XXXXXXXXXXXXXX - PALERMO**

**PROVE n° 2879/PA – 2880/PA
19 e 20 ottobre 2005**

Committente: **Arch. xxxxxxxxxxxx**
xxxxxxxxxxxxxx
PALERMO

Relatore: **Dott. Ing. xxxxxxxxx**



Ex area industriale "xxxxxxxxxxxxxxxxxx"

Rif.: Comm. 079/PA/05

Palermo, 19 e 20 ottobre 2005



INDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. PREMESSA..... | 3 |
| 2. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA..... | 4 |
| 3. PROVA 2879/PA - INDAGINI SUI MATERIALI..... | 5 |
| 3.1 <i>Prova di compressione su carote</i> | 5 |
| 3.2 <i>Il rilievo sulla carbonatazione</i> | 7 |
| 3.3 <i>Prelievo barre d'armatura</i> | 10 |
| 4. PROVA 2880/PA - CARATTERIZZAZIONE DINAMICA..... | 10 |
| 4.1 <i>Strumentazione impiegata</i> | 14 |
| 4.2 <i>Modalità di acquisizione ed elaborazione</i> | 15 |
| 4.3 <i>Analisi dei risultati</i> | 15 |

ALLEGATI

- *Certificato del DISeG prot n° 523/358 del 27/10/2005.*

- *Certificato del DISeG prot n° 524/358 del 24/10/2005.*



1. PREMESSA

La Società *EMMÉ Service S.p.A.* specializzata nell'esecuzione di prove sperimentali su strutture, avente sede in Bolzano Via L. Zuegg n. 20 e centro operativo anche in Palermo, Via Resuttana Colli 414, è stata incaricata dal Progettista Arch. xxxxxxxxxxxxxxxx, di eseguire alcune verifiche sperimentali sulle strutture del corpo di fabbrica di cui in epigrafe..

In particolare sono stati eseguiti i seguenti test:

- **Prelievo di n° 8** campioni cilindrici di calcestruzzo indurito e successiva compressione (norma di riferimento UNI EN 12504-1/2002 per il prelievo in sito – UNI EN 12390-3 per la compressione in laboratorio).
- **Rilievo colorimetrico** alla fenoltaleina per la determinazione della profondità di carbonatazione (norma di riferimento UNI 9944) eseguito sui campioni di cui al precedente punto subito dopo il prelievo degli stessi.
- **Prelievo** di barre d'armatura e successive prove di trazione.
- **Caratterizzazione dinamica** di alcune delle catene in materiale ferroso poste a quota imposta volta di copertura.

Le prove, preventivamente concordate nelle modalità operative e nella scelta tipologica con l'Arch. xxxxxxxxxxxxxxxx e con il consulente strutturale Prof. Ing. xxxxxxxx, sono state eseguite dal personale della *EMMÉ Service S.p.A.*, nelle persone dell'ing. xxxxxxxxxxxxxxxx e del geom. xxxxxxxxxxxxxxxx.



Prelievo di campione in cls.



Rilievo colorimetrico.



Indagini eseguite.

2. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

Il corpo di fabbrica oggetto del presente lavoro ha struttura mista in c.c.a. e muratura ed è costituita da tre ambienti distinti nel senso dell'asse longitudinale del fabbricato

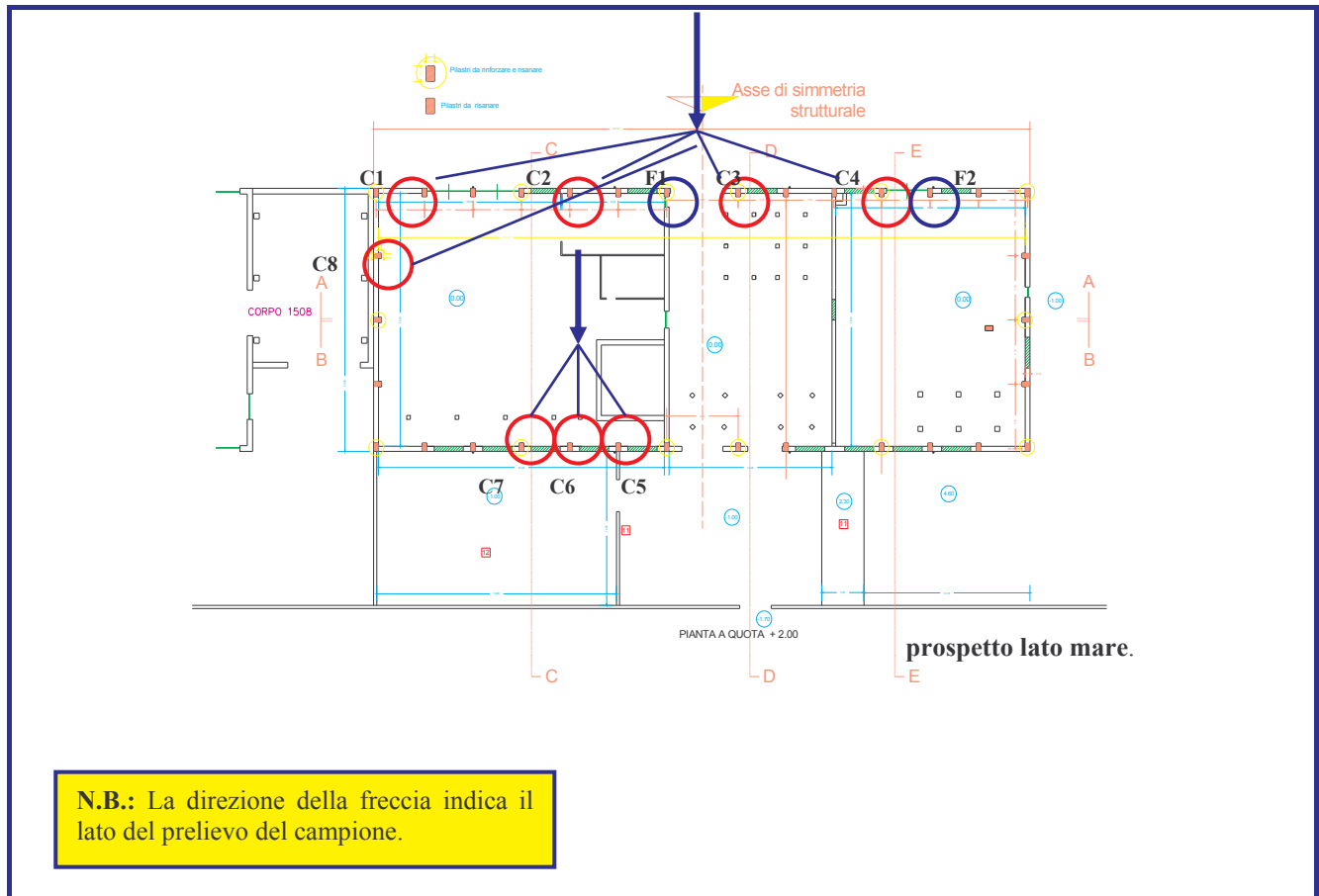
Ha pianta di forma rettangolare (*54,20 x 20,50 ml*) ed altezza in sommità eguale a ml 15,00

La copertura è a botte con elementi orizzontali posti a quota di imposta della stessa al fine di contrastarne la spinta (*catene*).



3. PROVA 2879/PA - INDAGINI SUI MATERIALI

Di seguito è innanzitutto riportato uno schema planimetrico nel quale sono riportati i siti di prelievo di ciascuna delle carote e delle barre d'armatura..



Planimetria edificio con indicazione dei siti di prova.

3.1 Prova di compressione su carote

L'operazione di estrazione delle carote di calcestruzzo è stata eseguita in rispetto delle norme UNI EN 12504-1/2002 (vedi foto allegate).

Le carote sono state tagliate e rettifiche presso il Laboratorio Sperimentale – Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica dell'Università di Palermo e sottoposte alla prova di compressione secondo normativa UNI EN 12390-3.

Sono stati eseguiti n. 8 carotaggi con corona \varnothing 100 mm nei pilastri oggetto d'indagine (identificati sui certificati come indicato nella copia planimetrica). Nella tabella di seguito si riportano i risultati. In allegato, il certificato n. 523/358 del 27/10/2005.



Il valore della resistenza cubica è ottenuta da quella cilindrica attraverso la relazione (Art. 4.0.2 del D.M. 9 gennaio 1996): $R_{cub} = R_{cil} / 0,83$ (per $h / d \geq 2$)

Per rapporti inferiori è introdotto un fattore di correzione F_c ricavabile dalle norme ASTM C 42:68 e la relazione diventa: $R_{cub} = F_c \times R_{cil} / 0,83$

| h/d | F_c |
|------|-------|
| 2 | 1,00 |
| 1,75 | 0,99 |
| 1,50 | 0,97 |
| 1,25 | 0,94 |
| 1,00 | 0,91 |

Tabella A: Risultati delle prove di compressione su carote

| Carota | Peso | h | d | R_{cil} | R_{cub} |
|--------|-------|--------|-------|------------------------|------------------------|
| | (kg) | (mm) | (mm) | (daN/cm ²) | (daN/cm ²) |
| C1 | 3.047 | 199,65 | 94,28 | 122 | 146,8 |
| C2 | 3.079 | 199,60 | 94,31 | 130 | 157,0 |
| C3 | 3.054 | 199,55 | 94,41 | 93 | 111,9 |
| C4 | 3.117 | 201,64 | 94,43 | 93 | 111,9 |
| C5 | 3.132 | 199,99 | 94,26 | 141 | 169,3 |
| C6 | 3.184 | 200,58 | 94,37 | 153 | 184,4 |
| C7 | 3.187 | 201,67 | 94,22 | 131 | 157,3 |
| C8 | 3.070 | 201,65 | 94,38 | 79 | 94,8 |



Prelievo campione C1.



Prelievo campione C2.





Prelievo campione C3.



Prelievo campione C4.



Prelievo campione C5.



Prelievo campione C6.



Prelievo campione C7.



Prelievo campione C8.



3.2 Il rilievo sulla carbonatazione

La carbonatazione è un fenomeno legato alla graduale penetrazione dell'anidride carbonica attraverso le microporosità e/o le fessurazioni superficiali.

La reazione relativa a questo fenomeno vede la formazione di carbonato di calcio che neutralizza la calce presente e abbassa il *pH* da circa il **13,0** al di sotto di *pH* **11**.

In queste condizioni l'ambiente passivante attorno le barre d'armatura si deteriora favorendo l'innescò dei fenomeni corrosivi.



Fattori acceleranti il processo sono l'umidità in range compresi tra il 50 e l'80 %, mentre i frequenti cicli di bagnazione aumentano la resistenza del calcestruzzo.

Si è addirittura riscontrato che i fenomeni di carbonatazione hanno una maggiore incidenza all'interno di edifici piuttosto che all'esterno.

Nella pratica si tratta di un test colorimetrico che utilizza una soluzione di fenolftaleina all'1% di alcool etilico che cambia colore passando da incolore a rosso.

- **Non vira al rosso** quando il *pH* vale circa 9 (*carbonatazione in corso*)
- **Vira al rosso** se il *pH* è compreso tra 12,5 e 9 (*carbonatazione assente*)

La determinazione della profondità di carbonatazione viene effettuata su coni di pull-out, su carote (*nel nostro caso*), subito dopo il prelievo, oppure dopo avere asportato piccole quantità di calcestruzzo e applicando all'interno della cavità realizzata piccole quantità della soluzione indicata sul campione.

La valutazione del risultato è del tipo a “*debole discriminazione*” nel senso che è semplice capire se il fenomeno di carbonatazione è in corso oppure se è assente, mentre è difficile quantificare il fenomeno (*vedi foto allegate*).

Campione C1

Data prelievo: 19/10/2005

Elemento: Pilastro.

Lunghezza: 28,0 cm.

Profondità di carbonatazione:
6,0 cm dal lato del prelievo.



Campione C2

Data prelievo: 19/10/2005

Elemento: Pilastro.

Lunghezza: 35,0 cm.

Profondità di carbonatazione:
7,0 cm dal lato del prelievo.





Campione C3

Data prelievo: 20/10/2005

Elemento: Pilastro.

Lunghezza: 35,0 cm.

Profondità di carbonatazione:
10,0 cm dal lato del prelievo.



Campione C4

Data prelievo: 20/10/2005

Elemento: Pilastro.

Lunghezza: 35,0 cm.

Profondità di carbonatazione:
7,0 cm dal lato del prelievo.



Campione C5

Data prelievo: 19/10/2005

Elemento: Pilastro.

Lunghezza: 34,5 cm.

Profondità di carbonatazione:
7,5 cm dal lato del prelievo.



Campione C6

Data prelievo: 19/10/2005

Elemento: Pilastro.

Lunghezza: 31,5 cm.

Profondità di carbonatazione:
10,0 cm dal lato del prelievo.





Campione C7

Data prelievo: 19/10/2005

Elemento: Pilastro.

Lunghezza: 28,0 cm.

Profondità di carbonatazione:
8,0 cm dal lato del prelievo.



Campione C8

Data prelievo: 19/10/2005

Elemento: Pilastro.

Lunghezza: 35,0 cm.

Profondità di carbonatazione:
12,0 cm dal lato del prelievo.



3.3 Prelievo barre d'armatura

Dietro esplicita richiesta del Committente, sono stati prelevati **n. 2 ferri d'armatura** da altrettanti pilastri (*vedi foto allegate*) e successivamente portati presso Laboratorio Sperimentale – Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica dell'Università di Palermo e sottoposte alle prove di cui all'allegato certificato n. 524/358 del 24/10/2005.



Prelievo barra F1.



Prelievo campione F2.



4. PROVA 2880/PA - CARATTERIZZAZIONE DINAMICA



Al fine di verificare lo stato tensionale delle catene prese in considerazione ed, in particolare, di determinarne l'attuale tensione di trazione (σ), si sfruttava la circostanza fisica che, per una corda di infinita lunghezza (*che si può ritenere essere il nostro caso allorché si immagini di rapportare la lunghezza della catena al suo diametro*) la prima frequenza propria è strettamente collegata alla tensione σ attraverso la formula (Odone Belluzzi, *Scienza delle Costruzioni – volume IV, pagina 338*):

$$f = 1/(2 \times l) \times \sqrt{(\sigma/\rho)}$$

l = lunghezza

σ = tensione = T (*sforzo di trazione*) / S (*superficie della sezione*)

ρ = densità del materiale = γ (*peso specifico*) / g (*accelerazione di gravità*)

che opportunamente elaborata fornisce:

$$T = 4 \times S \times \rho \times f^2 \times l^2$$

Misurata la frequenza e nota la geometria e le caratteristiche del materiale, è dunque calcolabile lo sforzo T .

Il metodo consiste dunque nel fissare un accelerometro sul tirante e nel produrre una vibrazione imprimendo un **leggero tiro manuale in senso orizzontale e nel successivo ed istantaneo rilascio**

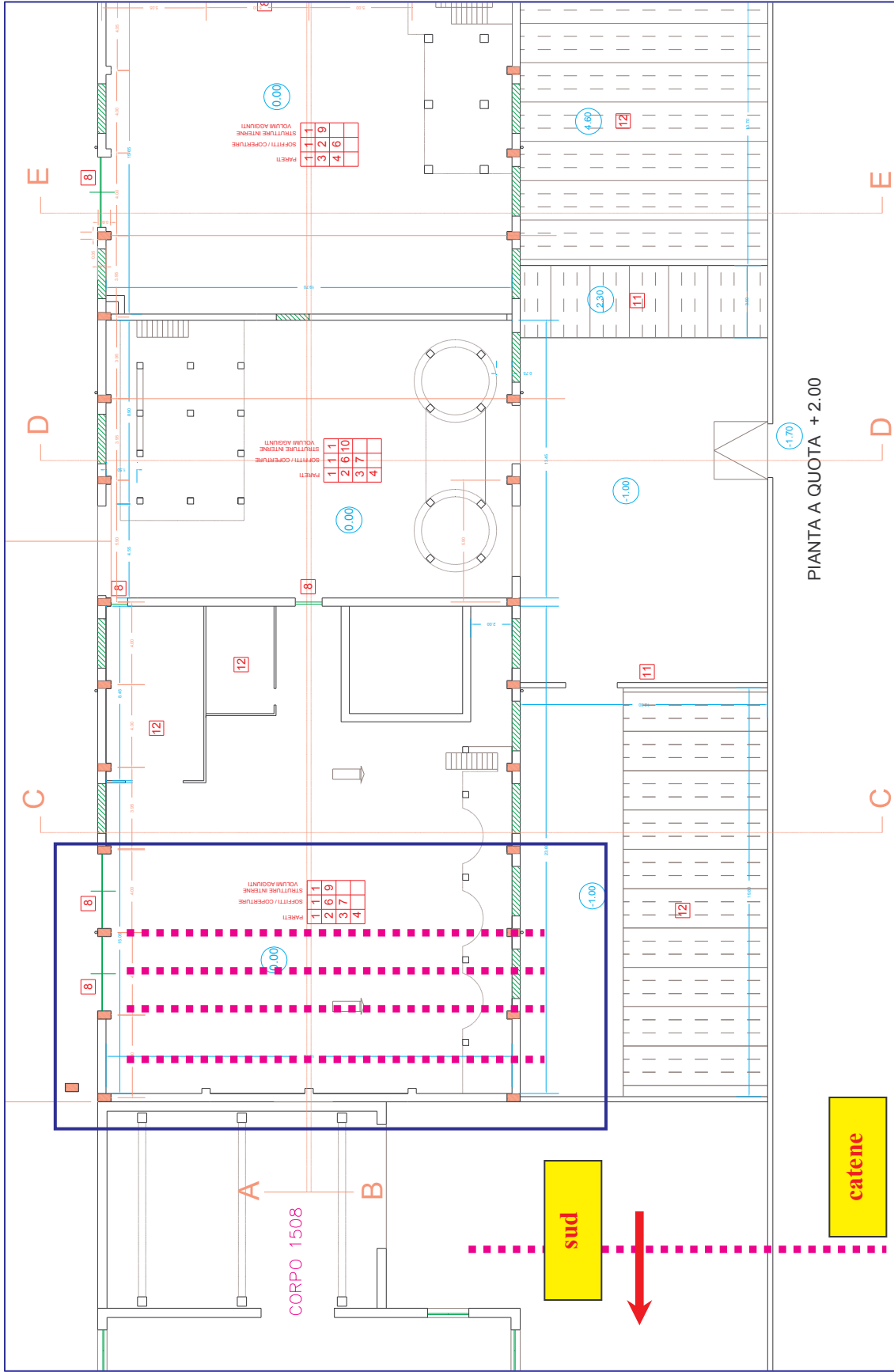
La registrazione del segnale è elaborata nel dominio dei tempi e delle frequenze, ottenendo un doppio controllo che permette di misurare il valore della frequenza fondamentale e constatare che rappresenti la frequenza del I modo di vibrare.

Le caratteristiche fisico meccaniche dei tiranti (*ubicati come riportato nello schema planimetrico che segue*) oggetto del presente studio sono le seguenti:

| Tipo tirante | ϕ [cm] sezione circolare | Material <i>e</i> | Peso specifico γ [daN/m ³] | L [cm] |
|--------------------|----------------------------------|----------------------|---|-------------|
| catena n. 1 da sud | 2,80 | ferroso | 7.800 | 2010 |
| catena n. 2 da sud | 3,10 | “ | “ | 2010 |
| catena n. 3 da sud | 3,10 | “ | “ | 2010 |



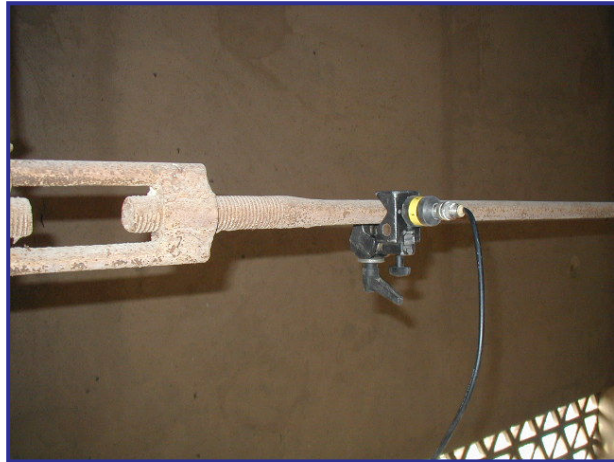
| Tipo tirante | ϕ [cm] sezione circolare | Material <i>e</i> | <i>Peso specifico</i> γ [daN/m³] | <i>L</i> [cm] |
|---------------------|---|------------------------------|--|--------------------------|
| catena n. 4 da sud | 3,10 | “ | “ | 2010 |



4.1 Strumentazione impiegata

La strumentazione utilizzata era composta da:

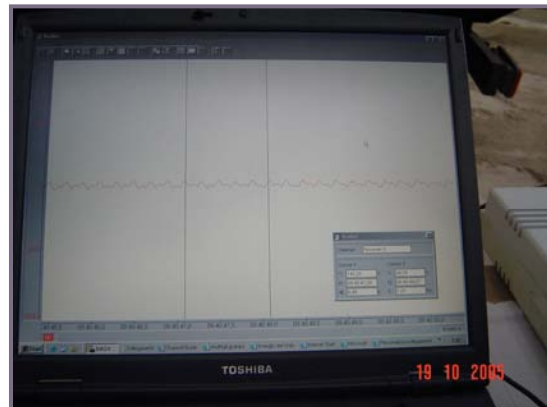
- **1 accelerometro** piezoelettrico 393A03:
 - o sensibilità: 1000 mV/g;
 - o campo: ± 8 g;
 - o risoluzione: 1×10^{-4} g;
 - o campo di frequenza: 0,025-800 Hz;
 - o unità di acquisizione Data Shuttle 16;
 - o Software di elaborazione DasyLab.



Accelerometro piezoelettrico 393A03



Unità di acquisizione Data Shuttle 16



Software di elaborazione DasyLab

La calibrazione della strumentazione è stata effettuata in data 03 ottobre '05 e documentata con il Certificato di Taratura n. 284/05.

Tutti gli strumenti sono stati tarati dal Laboratorio della *4 EMME Service S.p.A.* utilizzando dei sensori campione come previsto dalla procedura 7.6 del Manuale Qualità.



foto 13: esecuzione di una prova

4.2 Modalità di acquisizione ed elaborazione

Il segnale è stato acquisito senza nessuna preventiva elaborazione con frequenza di campionamento pari a 200 Hz.

I dati sono stati memorizzati sul disco rigido del nostro computer HP n. 224.

L'elaborazione è avvenuta utilizzando un software dedicato rispettoso delle indicazioni e delle formule riportate nelle norme UNI ISO 5347 e 5348.

La precisione delle misure sperimentali è pari a $\pm 0,05$ Hz.

4.3 Analisi dei risultati

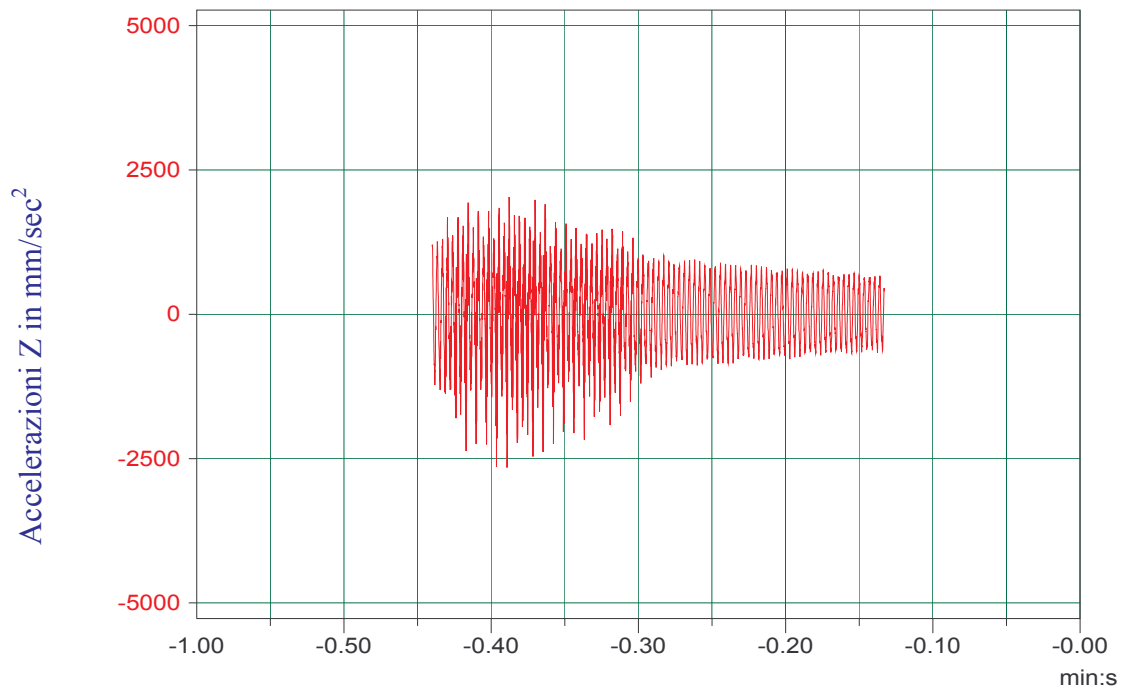
Nelle pagine seguenti sono riportati i grafici elaborati dai segnali acquisiti.

Per ogni acquisizione il primo grafico rappresenta l'oscillogramma del segnale (*in ascissa il tempo ed in ordinata l'accelerazione in mm/s^2*), o una sua finestra temporale e l'ultimo grafico lo spettro eseguito con la trasformata di Fourier

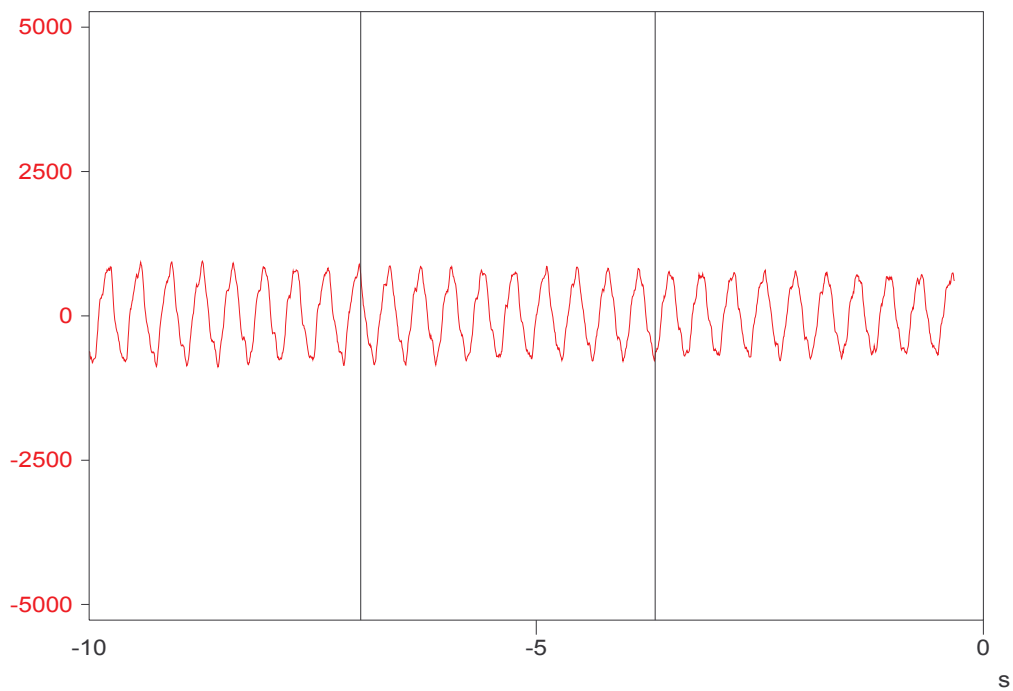
Dopo i grafici segue la tabella dei dati rilevati indicante il n° tirante, la frequenza rilevata, la luce del tirante, il diametro, il peso unitario, la forza T di trazione e in ultima colonna la tensione.



Catena 01 – oscillogramma file are01.ddf



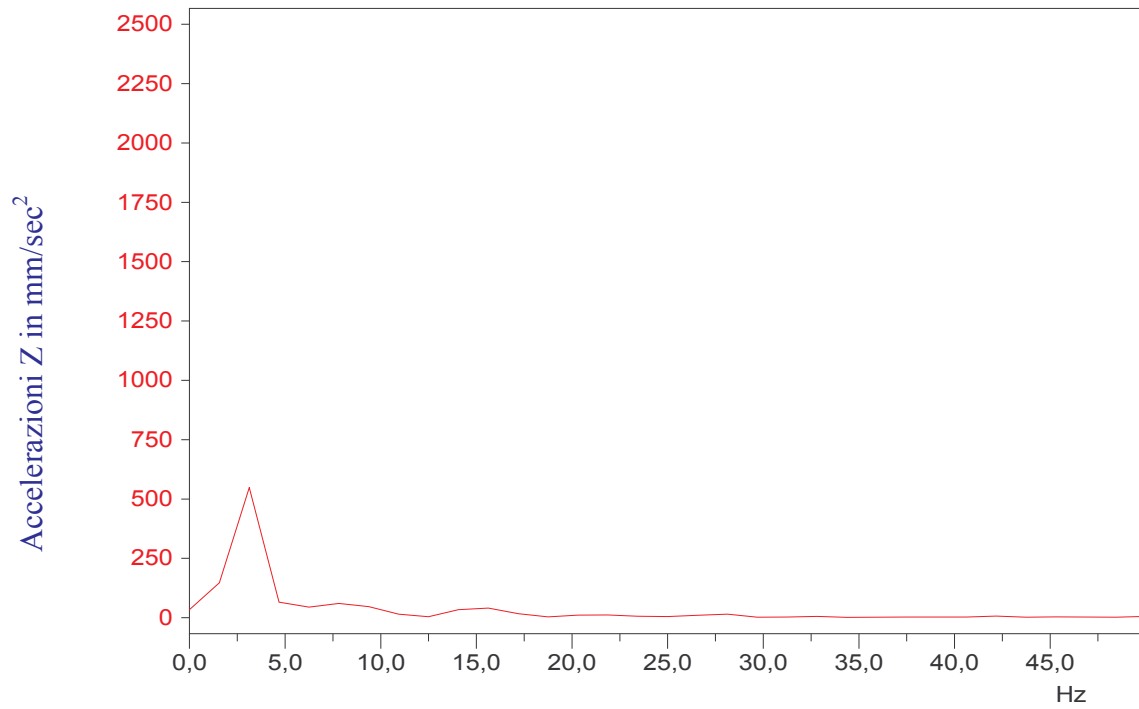
tempi



Catena 01 – oscillogramma – finestra temporale 3,29 sec nella quale si contano 10 oscillazioni per una frequenza calcolata nel dominio del tempo pari a $10/3,29 = 3,04$ Hz



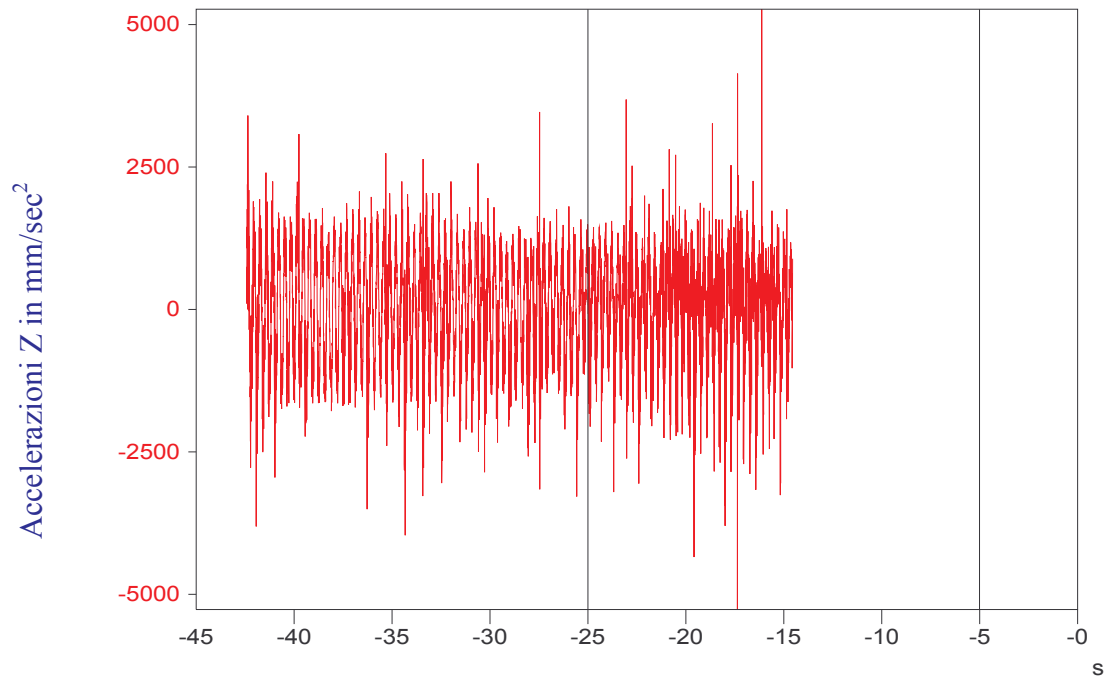
Catena 01 - Spettro del segnale



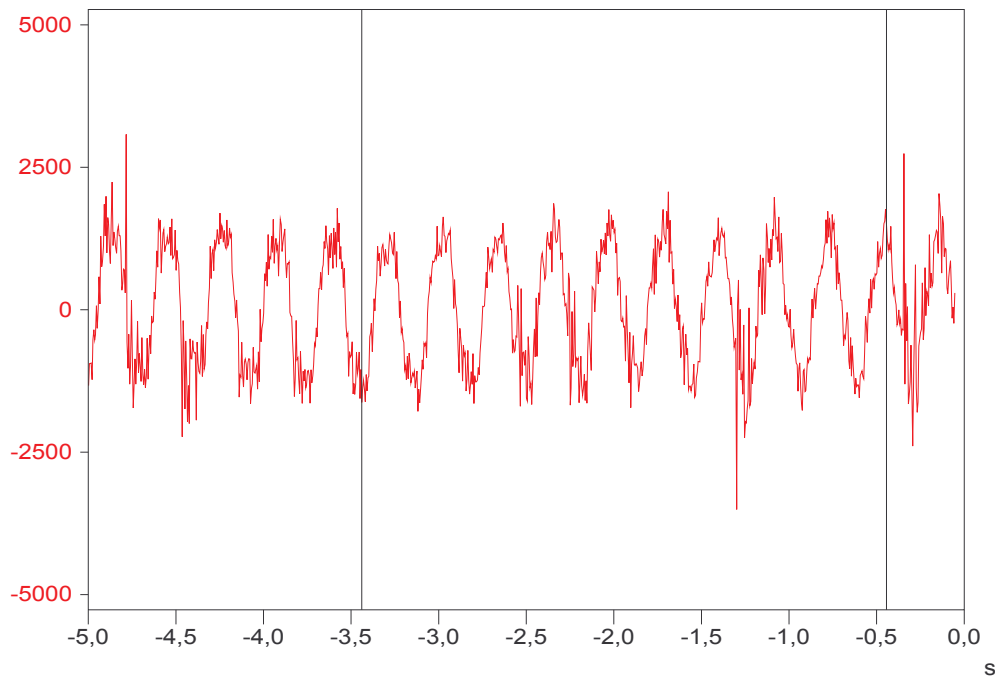
Frequenze - primo picco in corrispondenza del valore 3,13 Hz



Catena 02 – oscillogramma file are02.ddf



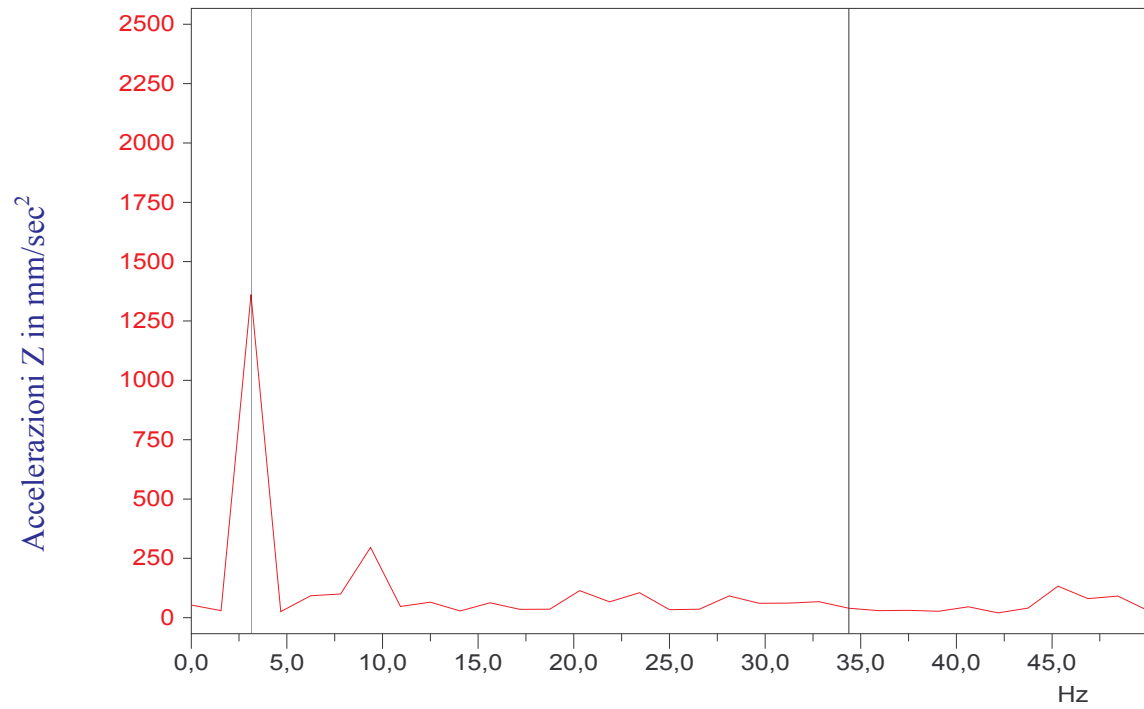
tempi



Catena 02– oscillogramma – finestra temporale 3,00 sec nella quale si contano 9,5 oscillazioni per una frequenza calcolata nel dominio del tempo pari a $9,5/3,00 = 3,16$ Hz



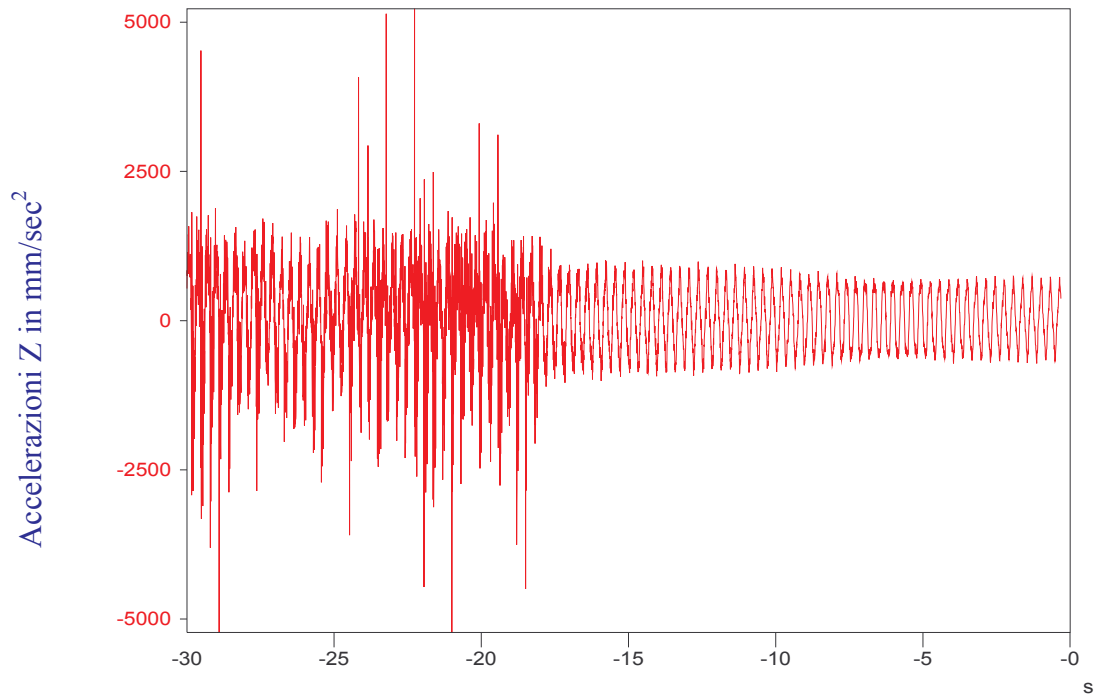
Catena 02 - Spettro del segnale



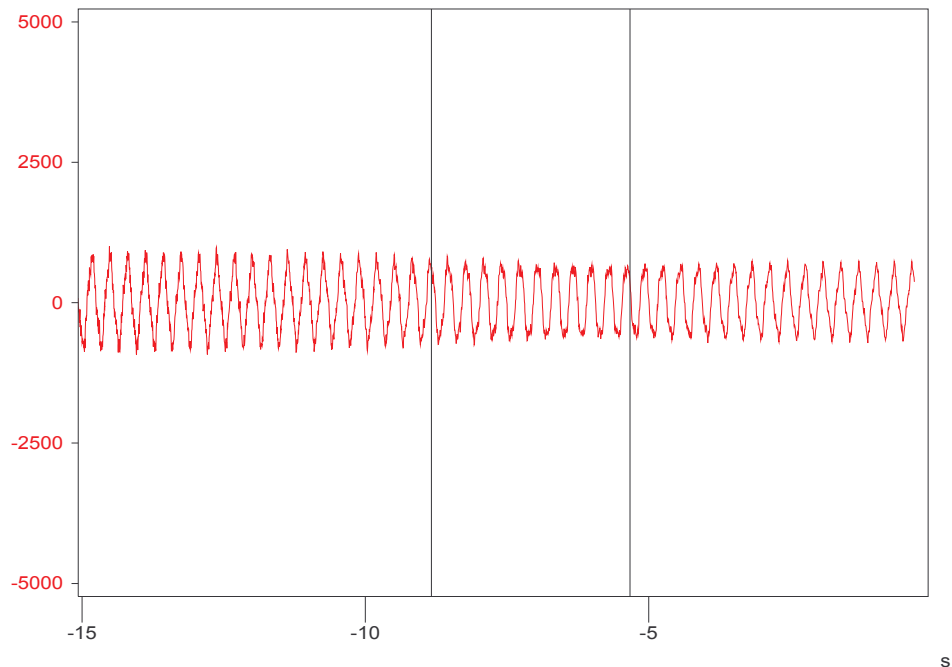
Frequenze - primo picco in corrispondenza del valore 3,13 Hz



Catena 03 – oscillogramma file are05.ddf



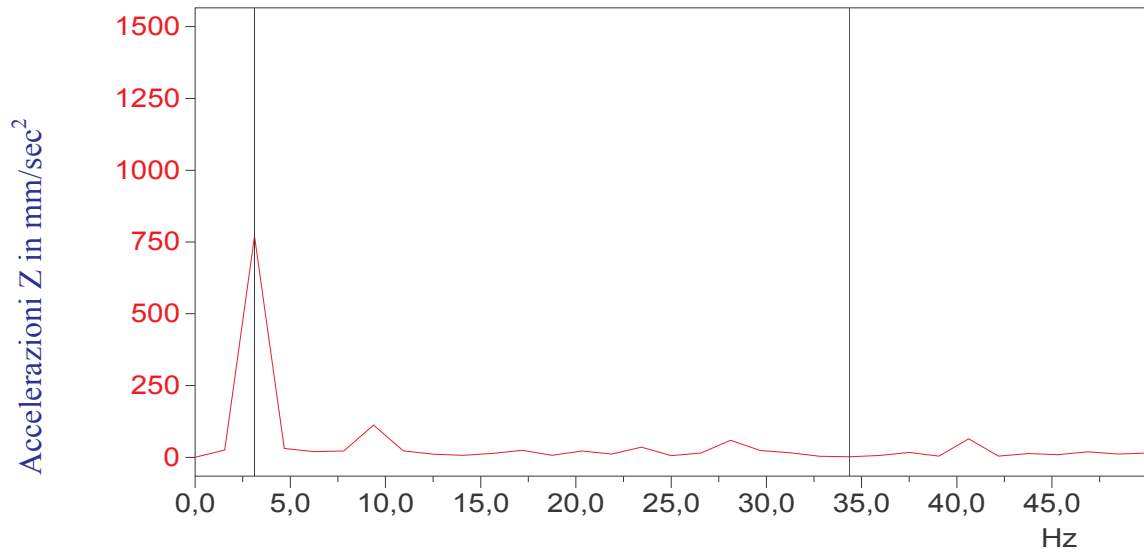
tempi



Catena 03– oscillogramma – finestra temporale 3,50 sec nella quale si contano 11,5 oscillazioni per una frequenza calcolata nel dominio del tempo pari a $11,5/3,5 = 3,28$ Hz



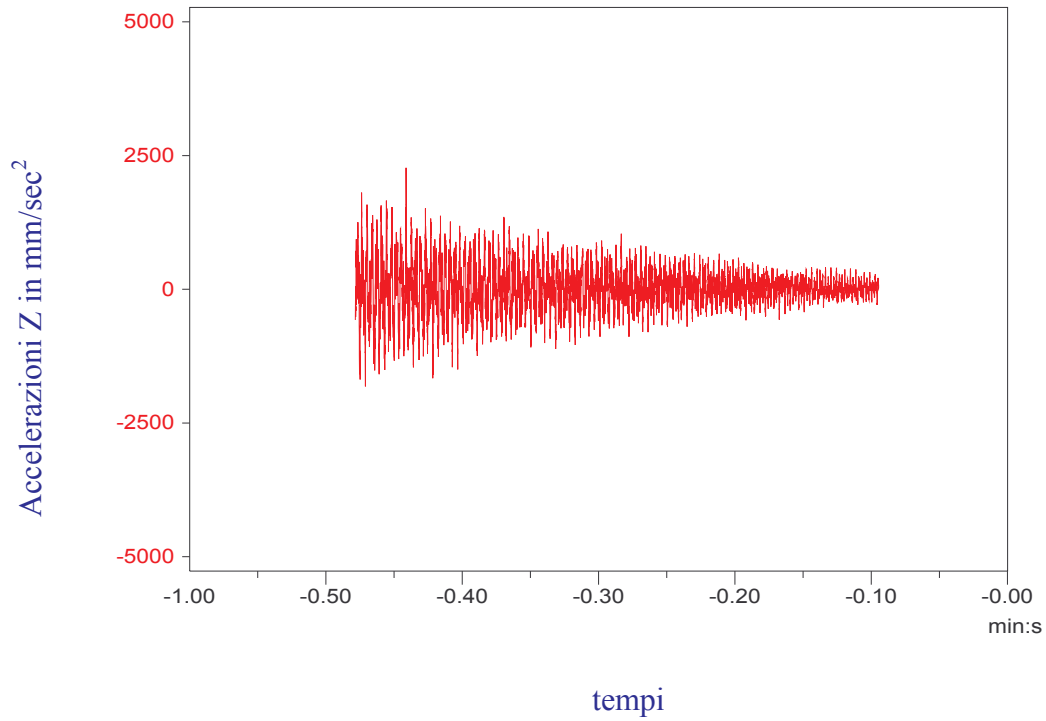
Catena 03 - Spettro del segnale



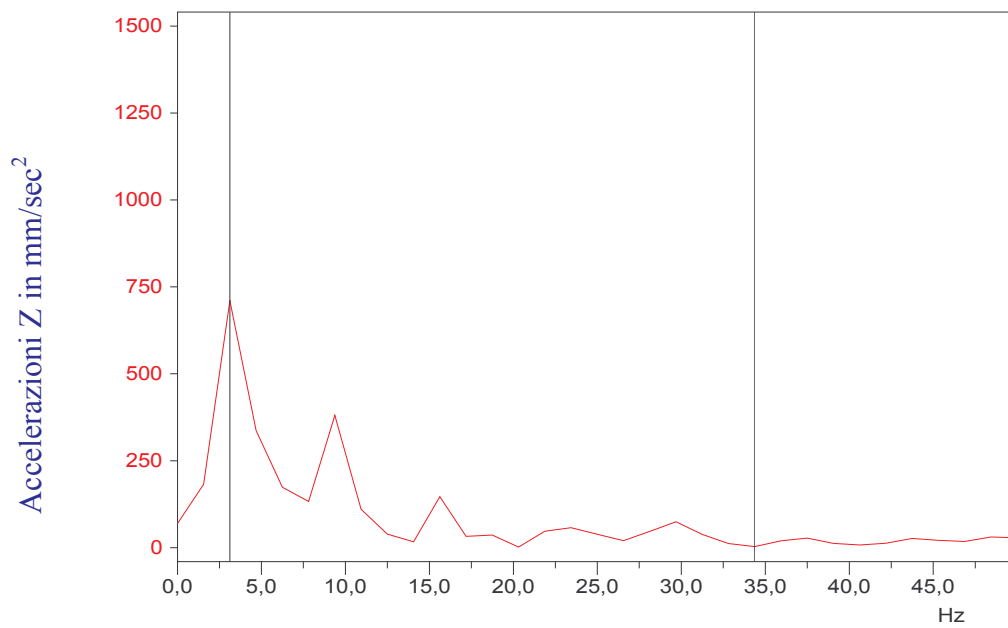
Frequenze - primo picco in corrispondenza del valore 3,13 Hz



Catena 04 – oscillogramma file are07.ddf



Catena 04 - Spettro del segnale





| Situazione attuale | | | | | | | |
|--------------------|-------|--------|----------------|--|------|--------------|---------------------|
| catena | l | ϕ | S | ρ | f | T | σ |
| n° | m | m | m ² | daN x sec ² /m ⁴ | Hz | daN | daN/cm ² |
| 1 | 20,10 | 0,028 | 0,000615 | 795 | 3,04 | 7.302 | 1187 |
| 2 | 20,10 | 0,031 | 0,000754 | 795 | 3,16 | 9.673 | 1283 |
| 3 | 20,10 | 0,031 | 0,000754 | 795 | 3,13 | 9.490 | 1259 |
| 4 | 20,10 | 0,031 | 0,000754 | 795 | 3,13 | 9.490 | 1259 |

$$\rho = \gamma/g = 7800/9,81 = 795 \text{ densità} \quad \text{daNxsec}^2/\text{m}^4$$

$$S = \text{area della sezione trasversale della catena m}^2$$

$$f = \text{variabile} \quad \text{frequenza rilevata dallo spettro} \quad \text{Hz}$$

$$T = \text{variabile} \quad \text{sforzo di trazione calcolato} \quad \text{daN}$$

$$\sigma = \text{variabile} \quad \text{tensione normale in sito} \quad \text{daN/m}^2$$

La società si assume la responsabilità per la precisione delle misurazioni effettuate. L'elaborazione dei dati invece rappresenta solamente un sussidio da verificare ed approvare dal committente.

4 EMMÉ Service S.p.A.

*Il responsabile delle prove:
Geom. xxxxxxxxxxxxxxxxx*

*Il Direttore del Centro di Palermo:
Ing. xxxxxxxxxxxxxxxxx*

Palermo,