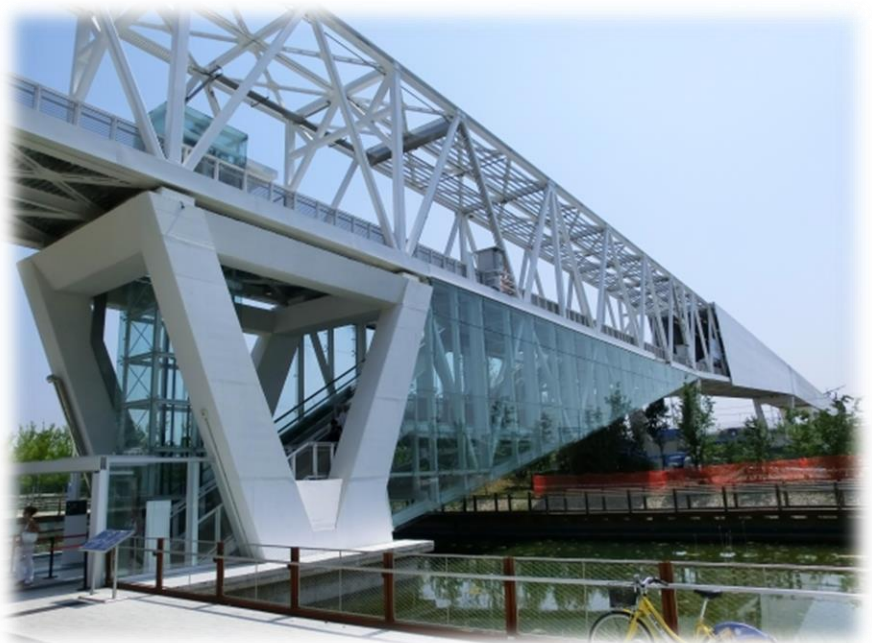


# Analisi Dinamica Passerella Pedonale

Collaudo Dinamico della Passerella  
Merlata Expo 2015



## ABSTRACT

Le strutture civili e in particolare i ponti e le passerelle, in fase di collaudo, devono essere verificati non solo punto di vista statico ma anche dinamico. GEA System è in grado di soddisfare i requisiti dinamici, in particolare per quanto riguarda l'analisi dei danni strutturali e il comfort umano. È molto adatto nei casi in cui è necessario monitorare le opere che hanno uno sviluppo lineare, grazie alla possibilità di utilizzare cavi molto lunghi e sincronizzare fino a 16 sensori con una sola unità centrale.

In questo caso vi era la necessità di andare a validare i dati provenienti dall'analisi FEM. Eseguire quindi un collaudo dinamico della struttura.



Figura 2 Sensore GEA II

## OMA – BASI TEORICHE

L'analisi modale operativa (OMA) è una tecnica complementare ai tradizionali metodi di analisi modale e si basa sulla misurazione della sola risposta della struttura di test.

La tecnica consente il monitoraggio delle strutture, quali quelle civili, che sono difficili o sconvenienti da eccitare tramite forzanti esterne controllate, a causa delle loro condizioni al contorno, o delle loro dimensioni notevoli. La qualità dei dati è migliorata, anche perché essi rappresentano le reali condizioni d'uso del sistema dinamico. Le misurazioni sono inoltre effettuate con condizioni al contorno reali garantite. Le strutture civili possono quindi essere testate in situ, senza comprometterne la destinazione d'uso (es. traffico per i ponti), evitando interferenze o interruzioni del loro uso quotidiano. Infine, per tutte le motivazioni addotte, il costo dell'analisi OMA risulta notevolmente inferiore dell'analisi di tipo EMA.

Tuttavia esistono alcune problematiche legate a questo tipo di analisi, come il fatto che sia necessario l'impiego di attrezzature molto sensibili per poter apprezzare la risposta, vista l'entità ridotta delle sollecitazioni, e la necessità di prestare particolare attenzione all'elaborazione dei dati, in quanto si è in possesso dei soli dati di output.

In generale la forza che eccita la struttura è costituita da un rumore bianco o una forza ignota alla quale si somma un rumore bianco. In ogni caso l'input è ignoto dal punto di vista analitico e va trattato esclusivamente in termini probabilistici. Si formulano quindi ipotesi di distribuzione statistica delle forze, e se ne deriva la teoria di identificazione dinamica.

## RIFERIMENTI NORMATIVI

Al momento prevalgono ancora le norme nazionali di ciascun paese europeo (ad es. ISO 2631, DIN 4150, ecc.).

Tuttavia, tre parti dell'Eurocodice riguardano i carichi pedonali o i requisiti strutturali:

- Eurocodice 0 (EN 1990: 2002 "Base di progettazione strutturale"): l'allegato A2.4.3.2 fornisce i criteri di comfort per i pedoni;
- Eurocodice 1 (EN 1991-2: 2003 "Azioni sulle strutture"): il paragrafo 5.7 riguarda i carichi pedonali sui ponti;
- Eurocodice 3 (EN 1993-2: 2006 "Progettazione di strutture in acciaio"): il paragrafo 7.9 tratta i criteri di prestazione per i ponti pedonali.

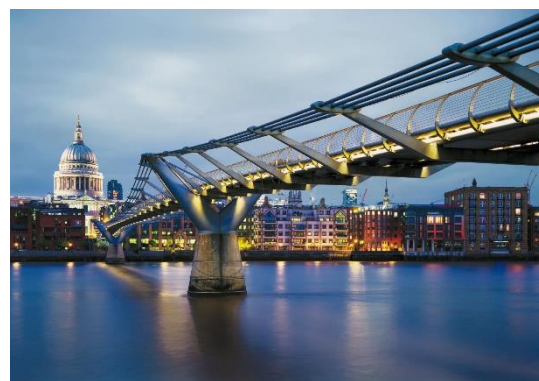


Figura 1 Millennium Bridge di Londra

## INTERAZIONE PEDONI - STRUTTURA

Il carico derivante dalla camminata è di difficile discretizzazione a causa delle numerose variabili che regolano il fenomeno: il peso dei pedoni, velocità della camminata, numero di pedoni, distribuzione dei pedoni sul ponte ecc.

Le vibrazioni di una passerella possono influenzare negativamente il comfort degli utilizzatori. Costringendoli a continue correzioni durante la camminata.

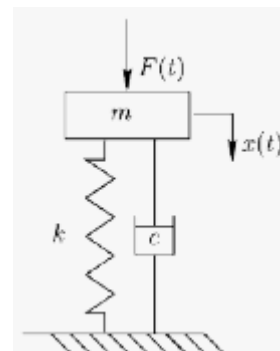


Figura 3 Oscillatore SDOF

### Discretizzazione

Una passerella può fungere da oscillatore solo se viene applicato un carico dinamico. Un carico dinamico è un carico che varia nel tempo, al contrario di un carico statico che rimane costante nel tempo.

Un oscillatore può avere uno o più gradi di libertà (DOF). Generalmente, un oscillatore con un DOF può essere rappresentato come mostrato in figura 2. Si comporta secondo la seguente equazione differenziale del secondo ordine, che è una formula importante per la dinamica:

$$m\ddot{x}(t) = c\dot{x}(t) + kx(t) = F(t)$$

Dove  $F(t)$  rappresenta la forza esterna sulla passerella

(ad es. i pedoni che camminano, il vento, ecc.) variabili nel tempo;  $m$  la massa della passerella;  $k$  la rigidità delle travi principali del ponte;  $c$  lo smorzamento della struttura e  $x(t)$  lo spostamento della massa nel tempo.

### Forzante

Il baricentro del corpo umano si trova a circa il 55% della sua altezza e rende il movimento di carattere sinusoidale durante la deambulazione, sia in direzione verticale che orizzontale. La forza così

ha tre componenti: una verticale, una longitudinale e una laterale. La componente verticale è la

più grande: fino al 40% del peso corporeo. Le altre due componenti, laterale e longitudinale, sono considerevolmente più piccole.

Camminare, correre o saltare si produce una curva di carico diversa nel tempo, nonché frequenze in cui possono verificarsi le oscillazioni.

Durante la deambulazione normale le forze verticali sono centrate su una frequenza compresa tra 1,3 e 2,4 Hz, corrispondente alla frequenza cardiaca. Per la corsa le frequenze si trovano nell'intervallo 2 - 3,5 Hz, secondo una ricerca di Matsumoto (1978).

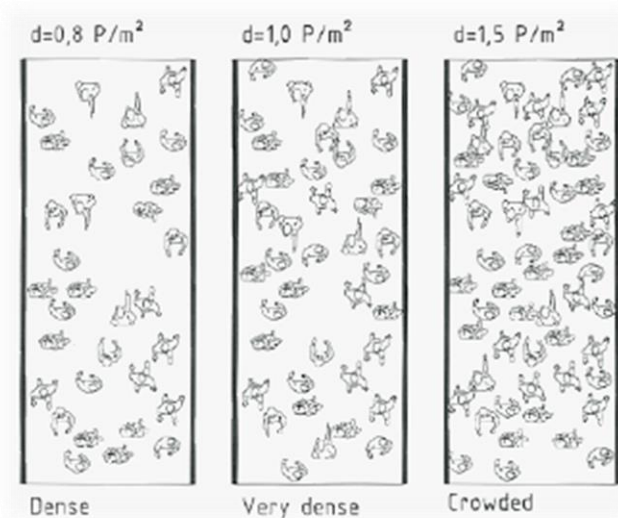


Figura 5 Densità di pedoni sulla Passerella

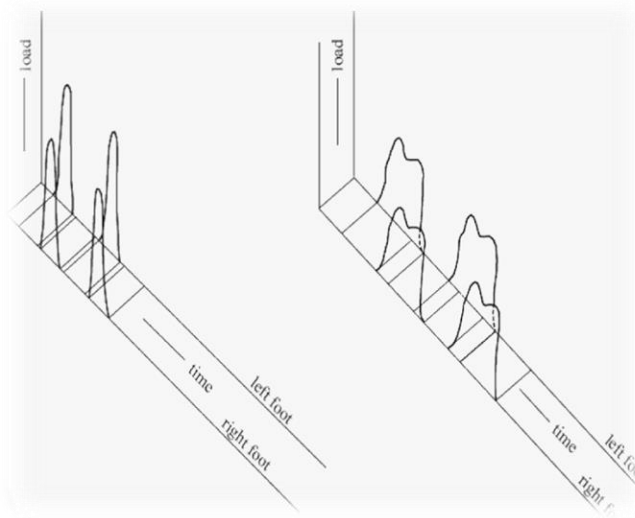


Figura 4 Distribuzione di carico dal camminamento

## Influenza Pedoni

Esiste una certa interazione tra i pedoni e la struttura. Si possono distinguere due fenomeni: uno riguarda il cambiamento delle proprietà della passerella quando è in uso; l'altro è il movimento in fase tra la camminata dei pedoni ed il movimento della struttura.

Un cambiamento nelle proprietà dinamiche è più probabile che accada alle strutture leggere in cui il carico derivante dal transito può avere un impatto significativo sulla struttura rispetto a una struttura non caricata: la massa e lo smorzamento possono aumentare e quindi questo può avere effetto sulla frequenza naturale di la passerella.

La sincronizzazione tra i pedoni dipende principalmente dalla densità dei pedoni su una passerella. A bassa densità i pedoni sono liberi di camminare senza ostacoli (altri pedoni). Quando il percorso diventa più denso, i pedoni sono meno liberi di scegliere il ritmo e adattarsi all'ambiente circostante.

Diventa chiaro che è più probabile che la sincronizzazione dei pedoni avvenga a densità più elevate, quando le persone non sono in grado di camminare liberamente e dipendono da altri pedoni.

## METODOLOGIA E STRUMENTAZIONE

I test di caratterizzazione dinamica sono stati eseguiti utilizzando le misure acquisite tramite l'accelerometro GEA. Usando quest'ultimi per eseguire l'OMA (Operational Modal Analysis).

I test di caratterizzazione dinamica sono stati utili per identificare le frequenze proprie, le forme modali e smorzamento della struttura in questione. I test sono stati eseguiti su due campate della passerella, evidenziata nella figura a destra.

- Le due campate sono state testate separatamente e indipendentemente.
- Su entrambe le campate, sono stati posizionati 6 accelerometri triassiali digitali GEA per fornire una chiara indicazione dei principali modi di vibrare.

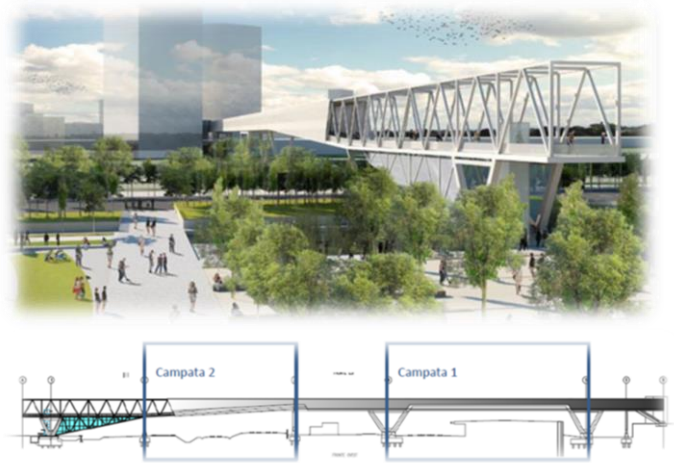


Figura 6 Identificazione delle Campate

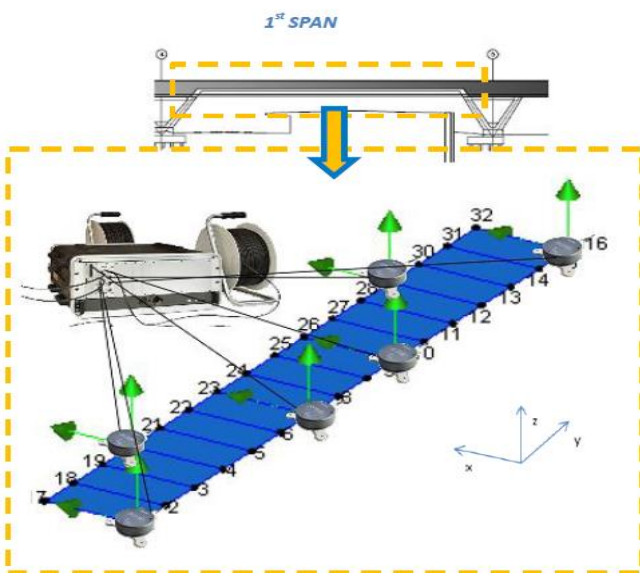


Figura 7 Configurazione Tipo

- Il campionamento del segnale nelle acquisizioni è stato effettuato a 1024 Hz,
- La struttura è stata da forzanti di tipo antropico;
- La sincronizzazione tra i sei sensori GEA (<5 microsecondi) è garantito dal sistema di misurazione che include il SynkHub;
- I sensori, che pesano più di 500 g, sono stati semplicemente posati sul pavimento della struttura;
- I sensori sono stati posizionati in punti ugualmente distanziati sull'asse longitudinale della campata e su entrambi i lati da prendere in conto delle possibili modalità torsionali. Vedi Figura 6.



## INTERPRETAZIONE

I dati rilevati sono stati trattati ed inseriti nel modello di calcolo avendo cura di mantenere la coerenza tra Sistema di Riferimento esterno, SR dei sensori e SR definiti nel modello.

Così facendo è stato possibile estrarre i principali modi di vibrare.

Possiamo osservare come i risultati ottenuti ricalchino i modi di una trave appoggio-appoggio.

Modello struttura al quale si può ricondurre la passerella analizzata.

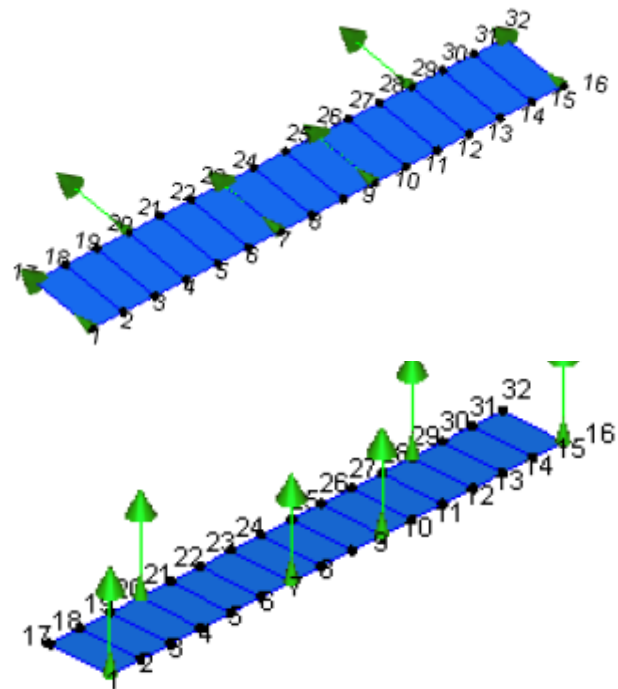


Figura 8 Definizioni Valori d'accelerazione sul Modello

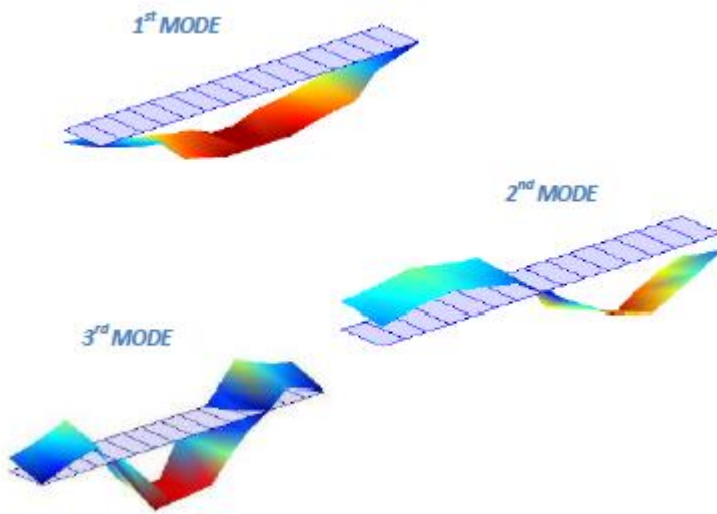


Figura 9 Primi 3 Modi di Vibrare della Passerella

Sequoia IT s.r.l.

Via Einaudi, 25 -10024 Moncalieri (TO) – ITALY

t.+39 011 640.2992 f.+39 011 640.2985 capitale sociale € 110.000,00 i.v.

[www.sequoia.it](http://www.sequoia.it)