

# **Metodi dinamici per il monitoraggio e la valutazione della sicurezza sismica di opere strategiche**

Uno strumento a disposizione delle amministrazioni locali  
per la gestione del loro patrimonio

- Programma e sommari -

Udine, 21 marzo 2019 – Sala Tomadini  
Polo economico Università degli Studi di Udine

# Programma

- 8.30 - 9.00 Registrazione
- 9.00 - 9.30 Saluti e benvenuto  
A. Ciani, Assessore edilizia privata – Comune di Udine  
G. Morandini, Presidente. Fondazione Friuli  
A. Montanari, Prorettore Vicario Università degli Studi di Udine  
M. Pezzetta, Presidente A.N.C.I. F.V.G.  
G. Napoli, Presidente Federsanità A.N.C.I. F.V.G.
- 9.30 - 9.45 Introduzione  
M. Fedele Dell’Oste, Asp La Quiete - Udine
- 9.45 - 10.15 Il ruolo delle indagini dinamiche per il controllo delle strutture e la verifica sismica  
F. Vestroni, Università di Roma “La Sapienza”
- 10.15 - 10.45 La sperimentazione dinamica delle strutture mediante prove di vibrazione forzata. Applicazioni pratiche  
P. Panzeri, P&P Consulting Engineers (BG)
- 10.45 - 11.15 Prove dinamiche e identificazione strutturale del padiglione Hofmann dell’A.s.p. “La Quiete” - Udine  
M. Dilena, Università degli Studi di Udine
- 11.15-11.30 Pausa caffè
- 11.30 - 12.00 Un approccio sostenibile alla conservazione di torri e campanili storici: il monitoraggio dinamico  
C. Gentile, Politecnico di Milano
- 12.00 - 12.30 Esempi di sperimentazione dinamica e identificazione strutturale  
A. Morassi, Università degli Studi di Udine
- 12.30 - 13.00 Conclusioni  
G. Pizzimenti, ass. alle infrastrutture e territorio – Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia
- 13.00 Aperitivo

## **Il ruolo delle indagini dinamiche per il controllo delle strutture e la verifica sismica**

Le caratteristiche dinamiche di una struttura sono intrinsecamente legate alle sue proprietà di rigidezza, massa e dissipazione. La variazione delle proprietà di rigidezza e di smorzamento dipende dall'evoluzione delle caratteristiche meccaniche degli elementi strutturali, dalla modificazione dei vincoli, dal degrado dei materiali. In questa prospettiva, la valutazione sperimentale delle caratteristiche dinamiche di una struttura esistente consente di avere informazioni importanti dello stato di salute della struttura stessa. Inoltre, nel nostro paese interessato da elevato rischio sismico, la caratterizzazione dinamica della struttura è un elemento fondamentale per affrontare la valutazione dell'adeguatezza sismica del patrimonio edilizio esistente nei confronti del terremoto. Si intende presentare con semplicità le procedure per dedurre le caratteristiche dinamiche di una struttura dalla misura della sua risposta ad eccitazioni prodotte dall'uomo o ambientali, e successivamente utilizzare queste caratteristiche per una valutazione delle reali proprietà meccaniche della struttura. Si illustra un'esperienza di caratterizzazione dinamica del Colosseo in Roma.

**prof. Fabrizio Vestroni**

Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica  
Università di Roma La Sapienza

## **La sperimentazione dinamica delle strutture mediante prove di vibrazione forzata. Applicazioni pratiche**

Il comportamento dinamico sperimentale di un'opera esistente, in linea di principio, può essere rilevato utilizzando tecniche differenti. Vi sono tecniche basate sull'analisi della risposta dinamica misurata a fronte di cause eccitanti normalmente presenti nell'ambiente circostante, quali forzanti indotte dal vento, dal traffico, da microtremiti, anche dovuti ad attività industriali o di cantiere. Esistono poi metodi basati su azioni di tipo impulsivo, tipicamente con l'analisi delle oscillazioni libere misurabili dopo l'azzeramento delle forzanti transitorie, quali azioni indotte dal transito di veicoli con ostacolo interposto lungo il percorso, oppure prodotte artificialmente con la tecnica del "tiro e rilascio rapido", o anche attraverso l'impiego di attrezzature di carico "impulsivo" con analisi della fase immediatamente successiva allo shock. Infine, c'è la sperimentazione dinamica con eccitazione forzata artificiale indotta da carichi appositamente applicati nella fase sperimentale, e quindi di entità e andamento controllabile. In funzione delle attrezzature di eccitazione utilizzate e delle finalità della sperimentazione l'andamento del carico dinamico può essere sinusoidale, random oppure transient. La tecnica della sperimentazione dinamica mediante vibrazione forzata verrà illustrata attraverso la presentazione di casi applicativi relativi a differenti tipologie strutturali e condizioni operative.

## **Prove dinamiche e identificazione strutturale del padiglione Hofmann dell'A.s.p. "La Quiete" - Udine**

Il padiglione Hofmann, composto da tre corpi strutturalmente indipendenti, è stato realizzato negli anni '60 ed è stato oggetto di un intervento di adeguamento sismico nei primi anni '90. Sono state eseguite prove dinamiche con la tecnica stepped sine. La struttura è stata messa in vibrazione per mezzo di una forza armonica prodotta da un generatore elettro-meccanico (vibroдина) e la risposta strutturale è stata acquisita da un set di accelerometri disposti ai vari livelli di piano. Sulla base delle misure di forza ed accelerazione sono state determinate sperimentalmente le funzioni di risposta in frequenza tra il punto di applicazione della sollecitazione e i vari punti di acquisizione della risposta strutturale. Per l'interpretazione delle prove sperimentali sono stati sviluppati modelli di calcolo agli elementi finiti del padiglione. Particolare attenzione è stata rivolta alla ricostruzione della geometria della struttura, alla stima della rigidità globale degli elementi resistenti, all'interazione terreno-struttura, alla collaborazione tra telai/setti in c.a. e pareti in muratura. Estese analisi parametriche sulla rigidità degli elementi resistenti alle azioni orizzontali, sulle proprietà inerziali e meccaniche dell'impalcato, hanno condotto ad una calibrazione ottimale dei modelli numerici. Un confronto con i risultati delle prove dinamiche ha mostrato che gli errori di modellazione nella stima delle frequenze naturali sono contenuti per i primi modi di vibrare della struttura, mentre l'accordo tra i modi di vibrare è molto buono.

**ing. Michele Dilena**

Dipartimento Politecnico di Ingegneria e Architettura  
Università degli Studi di Udine

## **Un approccio sostenibile alla conservazione di torri e campanili storici: il monitoraggio dinamico**

Le caratteristiche dinamiche di torri e campanili storici e la loro evoluzione nel tempo, oltre a poter essere determinate in modo totalmente non distruttivo, rappresentano l'ideale complemento (alla conoscenza della geometria, all'indagine storica e stratigrafica ed alle ispezioni dirette), sia per valutare la condizione strutturale, sia per individuare l'insorgere di anomalie e danneggiamenti indotti dalle azioni d'esercizio e/o da eventi eccezionali. Nell'intervento, attraverso l'esemplificazione ad alcune torri, si mostra che l'installazione permanente di essenziali sistemi di monitoraggio (3-4 sensori posti in sommità alla struttura) unitamente all'estrazione delle frequenze proprie mediante procedure automatiche di identificazione modale consente di individuare l'insorgere di danneggiamenti molto lievi e non facilmente riscontrabili anche all'ispezione visiva; inoltre, viene evidenziato che l'utilizzo di un numero limitato di accelerometri o sismometri può consentire l'individuazione e la classificazione di un numero di modi principali sufficiente alla calibrazione di modelli strutturali, in particolare di Livello 1. La possibilità di utilizzare un numero contenuto di sensori sia per caratterizzare dinamicamente una torre, sia per monitorarne il comportamento a lungo termine, sia per sviluppo di sintetici modelli strutturali apre prospettive di grande interesse per la sostenibile applicazione alla scala territoriale dei principi di salvaguardia e conservazione della tipologia strutturale in esame.

**prof. Carmelo Gentile**

Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito  
Politecnico di Milano

## **Esempi di sperimentazione dinamica e identificazione strutturale**

Il monitoraggio dinamico consente di controllare l'evoluzione temporale di parametri intrinseci del sistema strutturale in esame, quali le prime frequenze di risonanza e i corrispondenti modi di vibrare. Sulla base di queste informazioni, nelle applicazioni pratiche è di interesse risalire alle corrispondenti variazioni di alcuni parametri fisici che, tipicamente, sono difficili da stimare per via analitica. Questi possono essere, per esempio, le rigidzze elastiche di membrature oppure i coefficienti di flessibilità di condizioni al contorno. La corrispondenza tra la variazione dei parametri modali e la variazione dei parametri fisici non è banale e, addirittura, a volte non è univoca. Per queste ragioni, non è esagerato affermare che proprio in questo passaggio si nascondono le maggiori difficoltà delle applicazioni dei metodi dinamici come strumenti diagnostici e di identificazione strutturale. Qui si affrontano alcuni di questi aspetti con riferimento a studi condotti su edifici e infrastrutture situate in Regione. Complessivamente, la nostra esperienza ci porta ad affermare che l'identificazione per via dinamica di grandi strutture dell'ingegneria civile deve essere considerata allo stato attuale come una Scienza complessa che incrocia discipline differenti e richiede competenze trasversali, piuttosto che un insieme di procedure automatiche funzionanti a scatola chiusa, come invece si era portati a pensare ottimisticamente negli Anni '80.

**prof. Antonino Morassi**

Dipartimento Politecnico di Ingegneria e Architettura  
Università degli Studi di Udine

Organizzato da:



**UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE**  
hic sunt futura



**La Quiete**  
*Azienda Pubblica di  
Servizi alla Persona*

In collaborazione con:

**ComPA fvg**  
Centro di Competenza per  
la Pubblica Amministrazione



**A.N.C.I.  
FRIULI V.G.**

Con il patrocinio di:



**FONDAZIONE  
FRIULI**

