



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

“Caratterizzazione dinamica di dispositivi elastomerici ad alto smorzamento per la protezione sismica di strutture mediante Tuned Mass Damper”



Facoltà di Ingegneria
Corso di Laurea in Ingegneria Edile – polo di Rieti
Cattedra di Scienza delle Costruzioni

Laureando:
Andrea Valenzi
matricola n° 1161922

Relatore:
Prof. Ing. Maurizio De Angelis

a.a. 2010-2011

INDICE

<i>Prefazione</i>	VI
1 INTRODUZIONE	1
2 FONDAMENTI TEORICI	3
2.1 I DISPOSITIVI CONVENZIONALI	3
2.1.1 Molla	4
2.1.1.1 Disposizione delle molle	5
2.1.2 Massa	8
2.1.3 Smorzatore (damper).....	8
2.2 MODELLAZIONE DI UN SISTEMA AD UN GRADO DI LIBERTÀ	9
2.3 IDENTIFICAZIONE STRUTTURALE	12
2.3.1 Esempi di sistemi in parallelo.....	15
2.3.2 Esempi di sistemi in serie.....	17
2.4 OSCILLAZIONI LIBERE	18
2.4.1 Oscillatore semplice smorzato.....	18
2.4.1.1 Sistema criticamente smorzato.....	22
2.4.1.2 Sistema sovra-smorzato.....	23
2.4.1.3 Sistema sotto-smorzato	24
2.5 OSCILLAZIONI FORZATE	27
2.5.1 Oscillatore semplice eccitato armonicamente	27
2.5.2 Trasmissibilità della forza.....	35
2.6 VIBRAZIONI INDOTTE	36
2.6.1 Moto impresso al supporto di un oscillatore elementare	36
2.6.2 Trasmissibilità degli spostamenti.....	40
2.6.3 Estensione al caso del sisma	42
2.7 ISOLAMENTO DELLE VIBRAZIONI	47
2.8 FUNZIONI DI TRASFERIMENTO	50
2.9 SMORZAMENTO E METODI PER LA SUA DETERMINAZIONE	53
2.9.1 Introduzione e tipi di smorzamento	53
2.9.2 Smorzamento viscoso	54
2.9.3 Metodi per determinare lo smorzamento	55
2.9.3.1 Decremento logaritmico	56

2.9.3.2	Ampiezza di banda	59
2.9.3.3	Equivalenza energetica	61
3	IL DISPOSITIVO ELASTOMERICO	64
3.1	CARATTERISTICHE E PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO	64
3.2	COSTI	69
4	Un impiego del dispositivo elastomerico: il TUNED MASS DAMPER.....	72
4.1	PROTEZIONE SISMICA E CONTROLLO STRUTTURALE.....	72
4.2	TUNED MASS DAMPER	76
5	CAMPAGNA SPERIMENTALE.....	80
5.1	APPARATO DI PROVA	80
5.2	DESCRIZIONE DEL SISTEMA.....	82
5.3	STRUMENTI DI MISURA	84
5.3.1	Posizionamento degli strumenti di misura	86
5.4	PROGRAMMA DEI TEST	88
6	ANALISI ED ELABORAZIONE DEI DATI.....	90
6.1	DATI SPERIMENTALI	90
6.1.1	Prove Sine	90
6.1.2	Prove SineSweep.....	94
6.1.3	Valutazione dello smorzamento	100
6.2	MODELLO LINEARE	109
6.2.1	Definizione del modello lineare	109
6.2.2	Elaborazione dei dati attraverso il modello lineare	113
6.3	CONFRONTO COMPORTAMENTO TEORICO-SPERIMENTALE	117
7	CONCLUSIONI.....	121
	<i>Bibliografia</i>	123
	<i>Sitografia</i>	124

Prefazione

Il lavoro che in seguito verrà esposto rappresenta il risultato dello studio condotto nell'ambito dell'elaborazione della tesi finale in Scienza delle Costruzioni, la quale in un certo senso corona il mio percorso di studi. La scelta della disciplina di riferimento non è casuale, infatti il corso di Scienza delle Costruzioni, tenuto dal prof. Maurizio De Angelis, è stato uno di quelli che più mi ha appassionato, sia per i contenuti ma anche per la preparazione e chiarezza nell'espone gli argomenti del docente.

Il lavoro di tesi, nel corso del tempo, si è articolato in varie fasi ed ha visto lo svolgimento di diverse attività, tra cui:

- seguire il corso di *"Dinamica delle strutture"*, tenuto dallo stesso prof. Maurizio De Angelis nel Corso di Laurea Magistrale in *"Ingegneria delle Costruzioni Edili e dei Sistemi Ambientali"* della Facoltà di Ingegneria, Università *"La Sapienza"* di Roma - polo di Rieti. Tale corso, iniziato in data 04/03/2010 e della durata di 30 ore complessive, è stato indispensabile per acquisire le conoscenze teoriche di base utili per poter affrontare poi l'analisi di dati derivanti da una sperimentazione; lavoro, questo, che costituisce la seconda parte della tesi.
- partecipare al *"7° Congresso Nazionale per Operatori degli Uffici Tecnici"* svoltosi a Rieti nei giorni 24-25-26/06/2010. Nell'ambito di tale congresso, tra i principali temi trattati distacca: *"Necessità di innovazione tecnologica e strutturale: problemi endemici del territorio nelle problematiche degli eventi sismici"*. In questa sessione (la terza del congresso) significativi sono stati gli interventi dei proff. Salvatore Perno e Franco Bontempi dell'Università *"La Sapienza"*, circa il *"progetto e analisi di ospedali come costruzioni strategiche: visione di sistema, norme tecniche, azione sismica, robustezza strutturale"*.

Dopo l'acquisizione delle conoscenze teoriche è stato possibile affrontare la seconda parte del lavoro di tesi, ossia iniziare con l'analisi di dati sperimentali riguardanti le prove eseguite in laboratorio necessarie per la caratterizzazione dinamica di dispositivi elastomerici ad alto smorzamento. Tale analisi, condotta attraverso il codice MATLAB 7.0 (linguaggio di programmazione matematico e potente strumento per il calcolo numerico), ci ha permesso di capire il comportamento dei dispositivi sopra citati

una volta sottoposti ad una azione esterna, rappresentata nel caso specifico da uno spostamento impresso alla base ottenuto con la tavola vibrante, situata presso il centro ENEA di Casaccia vicino a Roma. Fondamentalmente si è visto come variavano gli spostamenti e la rigidità orizzontale al variare dell'azione esterna in ampiezza e in frequenza. In seguito è stato poi valutato, attraverso l'applicazione di vari metodi, lo smorzamento proprio dei dispositivi.

Colgo qui l'occasione per esprimere la profonda stima che nutro nei confronti del mio collega, nonché amico, Maurizio Giorgi, con il quale abbiamo avuto modo di condividere questo percorso, appoggiandoci e sostenendoci a vicenda.

Prima di concludere, credo sia doveroso da parte mia ringraziare chi, con continui sacrifici, mi ha permesso di intraprendere gli studi universitari, ovvero mio Padre e mia Madre. Vorrei perciò dedicare questo lavoro, che come già detto rappresenta per me un importante traguardo, alla mia Famiglia.

Andrea Valenzi

1 Introduzione

In questo capitolo introduttivo spiegheremo com'è strutturato e concepito il lavoro di tesi, in modo tale da poter avere ben chiaro il filo logico seguito dall'inizio alla fine senza però allontanarci dal nostro obiettivo, e cioè riuscire a descrivere il comportamento di dispositivi elastomerici sottoposti a prove dinamiche su tavola vibrante.

Nel capitolo 2 verranno esposti gli argomenti teorici indispensabili per poter comprendere i concetti fondamentali della dinamica e vibrazione delle strutture. Il primo passo è stato quello di capire come schematizzare un caso reale, e dunque definire il modello reologico di riferimento. Successivamente lo studio teorico è stato condotto riferendoci a sistemi ad un grado di libertà, dei quali si è analizzata la risposta sia nel caso di oscillazioni libere che forzate. In entrambe i casi si è ricavata la legge analitica che ci definisce lo spostamento in funzione del tempo. Infine, come ultimo caso analizzato, si è ricercata la risposta del sistema anche nel caso di moto impresso alla base, considerando come forza eccitante un'accelerazione alla base di natura sinusoidale. Un ultimo passo è stato quello di capire come poter considerare il caso dell'azione sismica. Sempre dal punto di vista teorico si sono poi studiati vari metodi per la determinazione del fattore di smorzamento proprio del sistema.

I contenuti del capitolo 3 ci hanno permesso di presentare il dispositivo elastomerico in sé. Infatti, sono stati trattati in maniera generale temi riguardanti le caratteristiche e i principi di funzionamento di tali oggetti. In ultimo sono state date, in maniera molto orientativa, delle informazioni circa i costi per l'isolamento sismico di strutture attraverso questi dispositivi.

Nel capitolo 4, dopo una generale introduzione alla protezione sismica di strutture, si è trattato brevemente uno dei metodi di controllo passivo realizzabile attraverso gli isolatori elastomerici, il Tuned Mass Damper. In maniera molto indicativa si è parlato del principio di funzionamento di tale sistema e di come può essere realizzato.

Il capitolo successivo, ossia il quinto, è una sorta di presentazione dello studio di un caso reale. È stata infatti qui presentata la "campagna sperimentale" finalizzata allo studio di un sistema costituito da massa-isolatori (TMD). Si è parlato delle prove

dinamiche eseguite in laboratorio, iniziando con la descrizione del modello oggetto di studio (il TMD appunto), parlando degli strumenti di misura utilizzati ed infine schematizzando i sistemi di riferimento adottati per la registrazione dei dati.

L'ultimo capitolo della tesi, il sesto, racchiude sostanzialmente tutta la parte relativa all'analisi ed elaborazione dei dati derivanti dalle prove sperimentali presentate nel capitolo precedente. Questo capitolo può essere suddiviso in due grandi parti. Una prima parte dove si sono ricavati i parametri caratterizzanti il sistema dai dati sperimentali; si sono dapprima analizzate le risposte del sistema in termini di spostamenti ed accelerazioni e si è valutato il campo delle deformazioni a cui erano soggetti i dispositivi elastomerici. In seguito, attraverso le curve di risposta in frequenza, si sono valutate le frequenze proprie di vibrazione del sistema. Infine si è valutata sia la rigidità orizzontale che, attraverso l'applicazione di vari metodi, lo smorzamento dei dispositivi elastomerici. Nella seconda parte, invece, si è sviluppato un modello lineare semplificato del reale comportamento dei dispositivi oggetto di studio, e sostanzialmente si sono elaborati i medesimi dati in input delle prove dinamiche con tale modello. Ciò è stato fatto poiché l'assunzione di un modello lineare per i dispositivi elastomerici è permesso dalla normativa di riferimento.