

RELAZIONE FINALE PER IL PROGRAMMA SHORT TERM MOBILITY

Proponente e fruitore: Giovanni Caruso

In questa relazione si presenta il lavoro svolto presso l'LCPC di Parigi nell'ambito del programma "Short Term Mobility" a cui ha preso parte il sottoscritto Giovanni Caruso.

La visita presso l'istituzione estera sopra menzionata si è svolta dall'11 maggio al 1 giugno 2009; in tale periodo ho collaborato con il professor Frederic Bourquin, direttore della divisione DMI (metrologia e strumentazione) dell'LCPC, alla realizzazione di misure su un modello in scala ridotta di ponte strumentato con un attuatore elettromeccanico pendolo-alternatore ed alla relativa modellazione teorica. Il modello di ponte studiato, riportato in fig. 1, rappresenta un ponte reale in una fase intermedia del processo di costruzione. In tale situazione, quando manca la continuità strutturale lungo l'impalcato, la struttura è maggiormente esposta a problemi di vibrazioni ed è quindi di assoluta importanza poter disporre di metodologie efficaci atte a diminuire le oscillazioni strutturali indotte dal vento o da altre azioni esterne.



Fig. 1: Modello di ponte in fase di costruzione.

In questa ricerca si propone l'utilizzo di un attuatore di tipo innovativo per ottenere un controllo delle vibrazioni di tipo passivo. Tale attuatore, illustrato in fig. 2, è costituito da un pendolo incernierato all'estremità dell'impalcato e connesso tramite un albero e un riduttore ad un alternatore, fissato solidalmente all'impalcato. Le vibrazioni del ponte pongono in oscillazione il pendolo che, con il suo moto, aziona l'alternatore che produce una differenza di potenziale alternata ai suoi morsetti; collegando una carico dissipativo (costituito ad esempio da una semplice resistenza elettrica) ai morsetti dell'alternatore si ottiene una dissipazione di energia per effetto Joule ed un

conseguente smorzamento delle vibrazioni del ponte. L'alternatore ha quindi la funzione di trasdurre l'energia vibrazionale in energia elettrica, che può quindi essere facilmente dissipata attraverso semplici resistenze elettriche. Ovviamente il pendolo deve essere scelto in modo da avere la frequenza propria molto prossima alla frequenza del modo strutturale su cui si vuole agire. Tale dispositivo, come tutti i dispositivi risonanti, è efficace solo su un singolo modo proprio di vibrazione.

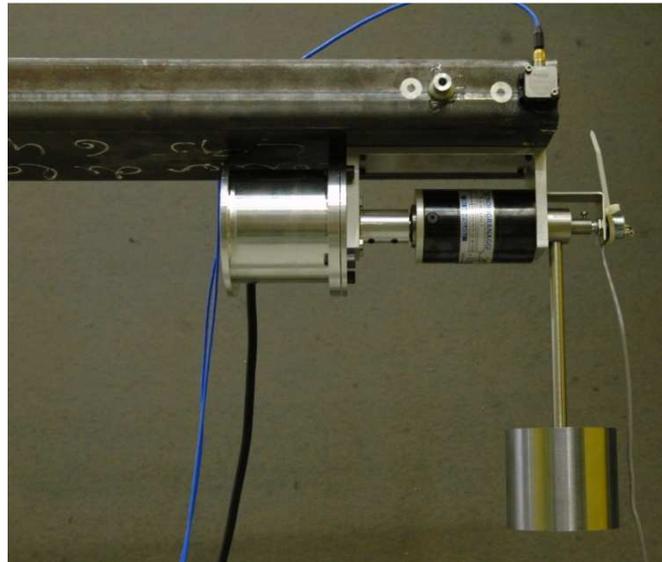


Fig. 2: Attuatore pendolo-alternatore.

Ovviamente per resistenze troppo piccole o troppo grandi l'effetto di smorzamento delle vibrazioni diventa irrisorio, in quando nel primo caso manca l'elemento capace di produrre dissipazione e nel secondo caso la corrente che scorre nel circuito diventa trascurabile. Esiste allora un valore di resistenza ottimale al fine di massimizzare lo smorzamento delle vibrazioni ottenibile.

In tale ricerca si è valutata sperimentalmente l'efficacia dell'attuatore al variare della resistenza collegata ai suoi morsetti, in modo da individuare il valore ottimale di resistenza. A tale proposito la struttura è stata posta in vibrazione in regime permanente tramite un eccitatore a massa rotante eccentrica. Le misure sono state effettuate al variare della frequenza di eccitazione ed impiegando resistenze elettriche di diverso valore. Le vibrazioni strutturali sono state misurate tramite un accelerometro posizionato all'estremità dell'impalcato; i risultati sono presentati in fig. 3, dove le varie curve di ampiezza in funzione della frequenza della forzante sono state normalizzate in modo da rendere costante l'ampiezza della forzante in ingresso.

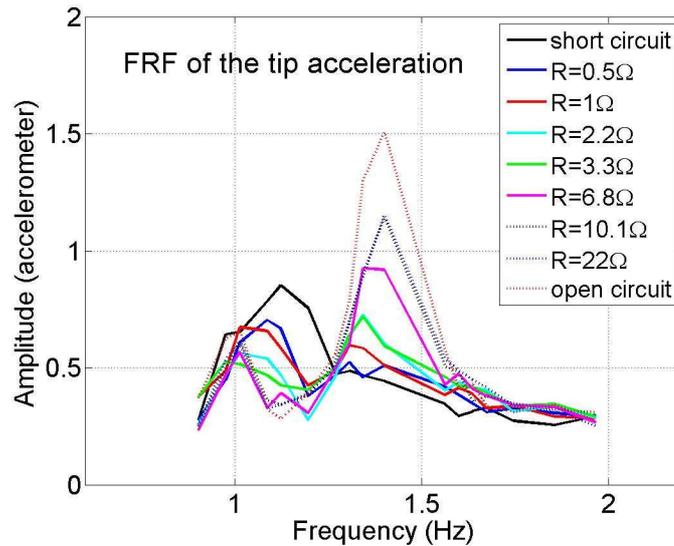


Fig. 3: Risposta in frequenza sperimentale del ponte strumentato con l'attuatore elettromeccanico al variare della resistenza elettrica connessa ai morsetti dell'alternatore.

Dalla fig. 3 si possono trarre considerazioni interessanti; si può dapprima osservare la curva relativa a circuito aperto (cioè resistenza infinita) che presenta due picchi di risonanza, il primo intorno a 1 Hz ed il secondo intorno a 1.4 Hz. Tali risonanze sono originate dall'interferenza tra il modo proprio della struttura intorno a 1.2 Hz sul quale il pendolo è sintonizzato ed il modo proprio del pendolo, che si ottiene quando il pendolo viene accoppiato alla struttura. Si può poi osservare che inserendo una resistenza sempre più piccola il picco intorno a 1 Hz si innalza mentre il picco intorno a 1.4 Hz si riduce; per resistenze trascurabili (corto circuito) il secondo picco non è più visibile mentre il primo picco è più accentuato. Si evince dunque che esiste un valore ottimale di resistenza per il quale il massimo della risposta in frequenza nella banda considerata assume valore minimo; tale valore è intorno a 1 Ohm, in corrispondenza del quale i due picchi di risonanza hanno valore confrontabile.

Si è poi voluta considerare la possibilità di effettuare un recupero energetico tramite il sistema pendolo-alternatore, allo scopo di trasformare parte dell'energia vibrazionale della struttura in energia elettrica che può quindi essere utilizzata per alimentare delle utenze in modo da renderle energeticamente indipendenti. Tali utenze possono ad esempio essere dei sensori wireless montati sulla struttura del ponte e capaci di fornire in modo continuo misure di parametri fisici utili per valutare lo stato di funzionamento della struttura in esercizio.

A tale scopo, mantenendo lo stesso tipo di eccitazione in regime permanente al variare della frequenza e normalizzando onde mantenere l'ampiezza della forzante costante, si è misurata la differenza di potenziale V ai capi della resistenza R collegata ai morsetti dell'alternatore, che simula il carico elettrico offerto dall'eventuale utilizzatore, provando diversi valori di resistenza. La

potenza elettrica prodotta dal sistema vibrante è quindi pari a V^2/R . In fig. 4 sono riportate le curve che rappresentano la potenza media prodotta dal sistema al variare della frequenza in corrispondenza a diversi valori di resistenza. I valori di potenza media sono stati ottenuti integrando il valore della potenza istantanea in un certo arco di tempo comprensivo di circa 10 oscillazioni complete strutturali, e dividendo quindi il valore di tale energia per la durata complessiva di tali oscillazioni, ottenendo quindi una stima della potenza media generata.

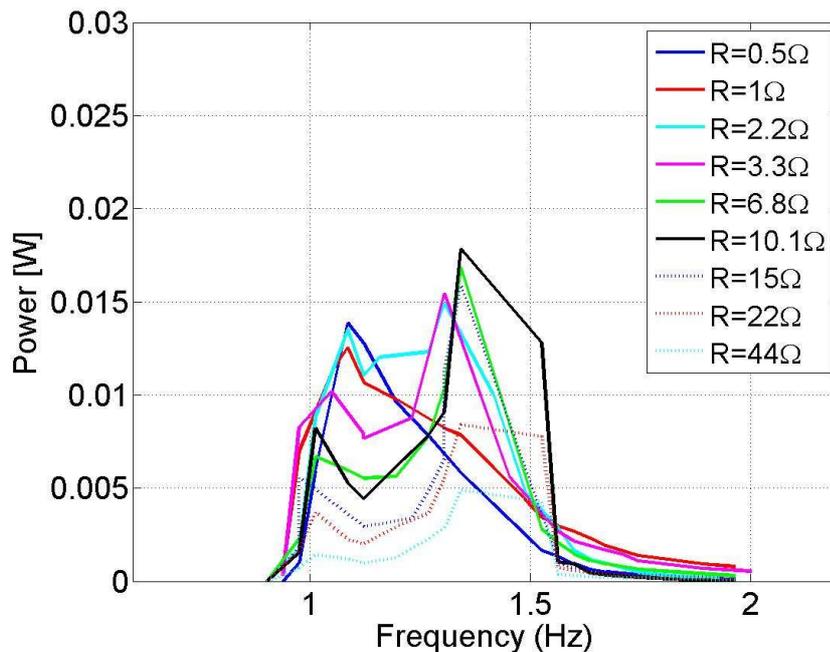


Fig. 4: Potenza media prodotta in funzione della frequenza al variare della resistenza elettrica connessa ai morsetti dell'alternatore.

Dai risultati presentati in fig. 4 si evince subito che è possibile estrarre potenza massima quando la vibrazione esterna ha frequenza pari alle due risonanze a 1 Hz e 1.4 Hz; in tali condizioni infatti le oscillazioni della struttura sono massime, come risulta dal grafico in fig. 3, e dunque risulta anche massimizzato l'azionamento dell'alternatore.

In particolare per valori di resistenza bassi prevale la prima frequenza di risonanza; aumentando la resistenza la potenza estratta alla prima risonanza diminuisce mentre aumenta la potenza estratta alla seconda risonanza, che risulta massima per un valore di resistenza pari a circa 10 Ohm raggiungendo il valore di circa 20mW. Aumentando ulteriormente la resistenza la potenza estratta comincia a diminuire a tutte le frequenze, mantenendo un picco più accentuato alla seconda risonanza.

Ovviamente i valori di potenza estratta in condizioni reali possono essere di gran lunga più grandi di quelli ottenuti in questa analisi sperimentale, dove è stato utilizzato un modello di ponte in scala

ridotta a cui sono state applicate sollecitazioni piuttosto contenute rispetto a quelle che possono agire su una struttura reale in normali condizioni operative.

Confrontando i risultati in fig. 3, relativi allo smorzamento delle vibrazioni, con quelli in fig. 4, relativi alla produzione di potenza elettrica, risulta che le condizioni di ottimalità per massimo smorzamento delle vibrazioni e per massima estrazione di potenza elettrica sono differenti tra loro, risultando la resistenza ottimale per il secondo scopo circa 10 volte più grande della resistenza ottimale per il primo scopo.

Volendo dunque utilizzare l'attuatore in questione per entrambi gli scopi è necessario effettuare una scelta di compromesso tra le due differenti condizioni di ottimalità onde ottenere entrambi gli effetti allo stesso tempo.

Gli sviluppi successivi di tale ricerca saranno volti ad aumentare ulteriormente la potenza estratta facendo uso di induttanze e capacità elettriche da applicare in serie alle resistenze ai morsetti dell'alternatore. Le induttanze e capacità saranno scelte in modo da risultare risonanti alla frequenza principale del segnale elettrico, che ha una forma temporale piuttosto complessa risultando pari al prodotto tra la velocità angolare del pendolo ed un termine sinusoidale di argomento pari all'angolo istantaneo di rotazione del pendolo moltiplicato per il rapporto di trasmissione. La scelta di tali componenti elettrici sarà prima valutata mediante l'ottimizzazione di un modello matematico che tiene conto del comportamento non lineare del sistema pendolo-alternatore.