



MINISTERO DELL'ISTRUZIONE, DELL'UNIVERSITA' E DELLA RICERCA

Programmi di ricerca cofinanziati - Modello E Relazione scientifica conclusiva sui risultati di ricerca ottenuti - ANNO 2007 prot. 20073XF3R4

1. Area Scientifico Disciplinare principale	08: Ingegneria civile ed Architettura
2. Coordinatore Scientifico del programma di ricerca	VESTRONI Fabrizio
- Università	Università degli Studi di ROMA "La Sapienza"
- Facoltà	Facoltà di INGEGNERIA
- Dipartimento/Istituto	Dip. INGEGNERIA STRUTTURALE E GEOTECNICA
3. Titolo del programma di ricerca	Comportamento dinamico di strutture in campo lineare e nonlineare: dalla modellazione alla sperimentazione
4. Settore principale del Programma di Ricerca:	ICAR/08
5. Costo originale del Programma:	415.000 €
6. Quota Cofinanziamento MIUR:	170.700 €
7. Quota Cofinanziamento Ateneo:	94.767 €
8. Finanziamento totale:	265.467 €
9. Durata:	24 mesi

10. Obiettivo della ricerca eseguita

I principali obiettivi del progetto hanno riguardato l'affinamento degli strumenti per lo studio della risposta dinamica delle strutture e l'approfondimento di specifiche problematiche, quali la modellazione delle interazioni con l'ambiente, lo studio degli effetti delle incertezze insite nella modellazione e nella realizzazione delle opere, lo sviluppo di modelli teorici o numerici, il monitoraggio dell'integrità strutturale, l'impiego di materiali innovativi, il controllo della risposta.

Al fine di trattare rigorosamente queste problematiche, gli strumenti classici della meccanica strutturale e della dinamica nonlineare sono stati integrati con conoscenze provenienti da diverse aree tematiche quali, ad esempio, la meccanica dei materiali, la statistica, la teoria dei sistemi, la sismologia e la fluidodinamica. In tali ambiti il gruppo di ricerca proponente ha concentrato la sua attenzione da anni e ha sviluppato competenze in molti problemi di interesse ingegneristico, traendo vantaggio anche da una vasta rete di contatti e collaborazioni con enti esterni, centri di ricerca e università straniere. La caratterizzazione delle azioni ambientali dovute al vento e al sisma, la dinamica nonlineare di tipologie strutturali classiche, il monitoraggio nondistruttivo di opere monumentali ed infrastrutturali, l'esame di nuove tipologie strutturali e la loro modellazione, il controllo della risposta strutturale, l'ulteriore sviluppo delle tecniche analitiche e numeriche di soluzione sono stati i principali temi di indagine del gruppo di ricerca. Queste tematiche, già oggetto di precedenti progetti di cofinanziamento da parte del MIUR, sono state approfondite e arricchite dall'esame di nuovi problemi concreti dell'ingegneria strutturale.

Gli obiettivi di ordine generale del programma di ricerca sono, da un lato, una verifica dei modelli e dei metodi proposti attraverso un continuo confronto con le evidenze sperimentali e, dall'altro, un arricchimento degli strumenti teorici con contributi innovativi. I principali campi di indagine sono stati raggruppati in tre aree tematiche; in ciascuno di tali ambiti si elencano nello specifico i temi di ricerca che le singole unità si erano proposte:

A. MODELLAZIONE DI AZIONI, MATERIALI E STRUTTURE

Modellazione deterministica ed aleatoria delle azioni sismiche ed eoliche (GE, ME, MI)

Modellazione della dinamica nonlineare e della fluidodinamica di tunnel flottanti in alveo (MI)

Modelli di continui monodimensionali con struttura affine e geometria complessa (cavi con smorzatori d'estremità, travi sandwich con anima viscoelastica, travi nonlineari con warping) (AQ, ME, RM)

Dinamica lineare e nonlineare di strutture periodiche (RM)

Modellazione di materiali dissipativi (fragili a matrice cementizia, leghe a memoria di forma, polimerici) (RM, AQ)

B. ANALISI DELLA RISPOSTA STRUTTURALE

Interazioni fluido-struttura, aerodinamica ed aeroelasticità di cavi e travi (AQ, MI, GE, RM, ME)

Risposta a carichi mobili, studio delle interazioni veicolo-struttura e pedoni-struttura (ME, RM, GE, MI), sviluppo di modelli disaccoppiati (MI)

Biforcazioni di sistemi continui e di sistemi tempo-periodici, modi normali nonlineari (RM, AQ)

Biforcazioni dinamiche e transizioni al caos di sistemi nonlineari (AQ, RM)

Riduzione dello spazio di stato di sistemi dinamici (RM, AQ)

Mitigazione e controllo della risposta dinamica di strutture flessibili (RM, ME) e di oggetti monolitici monumentali (AQ)

Risposta sismica di strutture nonlineari mediante spettro di risposta e analisi aleatoria (ME)

Sicurezza e affidabilità strutturale in strutture soggette ai carichi eolici (GE).

C. SPERIMENTAZIONE E IDENTIFICAZIONE SU MODELLI E STRUTTURE REALI

Realizzazione, collaudo ed avviamento della galleria del vento (GE)

Sperimentazione su modelli (AQ, MI, RM)

Analisi modale in condizione operative di tensostrutture e strutture marittime (AQ)

Identificazione e monitoraggio di strutture reali: Torre Faro di Vado Ligure, pompe centrifughe per impianti di dissalazione (GE)

Tecniche di re-analysis ai fini dell'identificazione e del monitoraggio strutturale (ME)

Identificazione del danno su elementi strutturali semplici, sistemi di travi in acciaio, travi in cemento armato, archi, pannelli murari, catene, cavi (RM, AQ), facendo contestuale uso di tecniche di FE updating (AQ, RM)

Studio analitico sperimentale della trasmissione di onde ad alta frequenza attraverso discontinuità (RM), anche in vista del loro impiego per il rilievo di un danno

locale.

Nel seguente Punto 11, si descriveranno in dettaglio i principali risultati ottenuti nell'ambito dei diversi temi.

11. Descrizione della Ricerca eseguita e dei risultati ottenuti

Alla fine del biennio, tutte le UR hanno sostanzialmente raggiunto gli obiettivi che si erano prefissati, contribuendo attivamente al raggiungimento degli obiettivi del progetto; a tale scopo ciascuna unità operativa ha sviluppato le proprie attività sia in modo autonomo che collaborando con le altre unità nonché con ricercatori italiani e stranieri. Ciò è dimostrato dal gran numero di pubblicazioni su riviste internazionali, per il cui elenco completo si rimanda ai modelli C delle singole UR. Inoltre, come è documentato dai moduli delle unità locali, le ricerche hanno portato allo sviluppo di numerosi codici di calcolo nonché all'avviamento di fruttuose collaborazioni con enti esterni, centri di ricerca ed università straniere.

La descrizione dell'attività svolta e dei risultati ottenuti verrà svolta nel seguito in base ai tre principali temi d'indagine elencati al Punto 10.

A. MODELLAZIONE DI AZIONI, MATERIALI E STRUTTURE

Modellazione di azioni sismiche ed eoliche

Nell'ambito della modellazione aleatoria dell'azione sismica, è stata proposta una tecnica per la definizione della densità spettrale di potenza equivalente stazionaria di registrazioni locali a partire dal loro spettro di risposta medio. Tale approccio è risultato particolarmente efficace nell'analisi nel dominio della frequenza di strutture a comportamento lineare. Si sono poi estesi i modelli spettro compatibili al caso in cui si voglia modellare l'azione sismica tenendo conto sia della non stazionarietà in frequenza dell'evento sismico che della variabilità spaziale: ciò permette di effettuare l'analisi di affidabilità di strutture di grande luce o di strutture rigide. Nell'ambito delle azioni sismiche, si è inoltre proposto un modello isteretico non-lineare per modellare il comportamento meccanico dei terreni sottoposti carichi ciclici.

Nel campo della modellazione del vento, si è affinata una procedura basata sull'uso congiunto dell'analisi statistica e delle simulazioni numeriche dei campi di vento. Queste tecniche sono state diffusamente applicate allo studio della sicurezza delle linee ferroviarie ad alta velocità nonché alla realizzazione di mappe eoliche di nuova generazione. Si è aperta infine una nuova linea di ricerca sulla simulazione Monte Carlo di storie temporali di lungo periodo della velocità del vento.

Modellazione di tunnel flottanti in alveo

Per quanto riguarda il comportamento dinamico dei tunnel flottanti in alveo (SFT), si è realizzato un progetto sino-italiano che ha portato a termine la progettazione di un prototipo di SFT da installare nel Lago di Qiandao in Cina. In tale studio si è evidenziata la problematica del distacco di vortici, con particolare riferimento alla situazione degli elementi di ancoraggio (aste o cavi) in acque profonde. La necessità di analizzare il fenomeno con modelli completi della struttura ha portato allo sviluppo di un modello di elemento semplificato ad "oscillatore fluido"; il modello si distingue da quelli disponibili in letteratura per essere formulato "al continuo", con successiva discretizzazione mediante funzioni di forma.

Modellazione di continui monodimensionali

In quest'ambito l'attenzione è stata rivolta alla modellazione dei cavi, delle travi sandwich e degli effetti nonlineari in travi a sezione sottile. Per quanto riguarda la dinamica dei cavi con dissipatori alle estremità, si è proposto un modello che consente di cogliere in maniera corretta il comportamento agli estremi del cavo anche nel caso di vincolo di incastro, che necessiterebbe un notevole sforzo computazionale. Inoltre sono stati studiati gli effetti dei dissipatori viscosi rotazionali sulle vibrazioni degli stralli, evidenziandone i vantaggi e i limiti. Per quanto riguarda le travi, è stato proposto un modello di trave doppia che può essere utilizzato per studiare le vibrazioni trasversali di pannelli sandwich e di altre strutture composte utilizzando il modello di Maxwell generalizzato per rappresentare il comportamento dinamico delle molle viscoelastiche che collegano le due travi. Tale approccio è stato poi perfezionato e adattato al caso delle pale di turbine eoliche. Infine, attraverso una sperimentazione condotta su una mensola con sezione a C e numerose simulazioni numeriche, si è validato il modello di trave nonlineare a sezione aperta in grado di cogliere gli effetti nonlineari del warping e dell'elongazione delle fibre longitudinali dovuti alla torsione. In tal modo, si è riusciti ad interpretare e valutare l'importanza dei contributi legati agli effetti nonlineari del warping. Il risultato più interessante è legato allo studio dell'instabilità flessione-torsionale che ha fornito valori critici sensibilmente diversi da quelli di letteratura, ma più vicini a quelli forniti da modelli numerici.

Modellazione di strutture periodiche

Nell'ambito dei sistemi periodici, sono stati formulati modelli per l'analisi dinamica non lineare di catene di oscillatori con comportamento nonlineare: questi possono rappresentare modelli discreti adeguati per studiare la dinamica di sistemi meccanici di interesse ingegneristico sia microscopici che macroscopici.

Modellazione di materiali dissipativi

Lo studio di modelli costitutivi con dissipazione è stato affrontato per l'analisi del comportamento dei materiali fragili a matrice cementizia, delle leghe a memoria di forma, di elementi strutturali danneggiati per usura e di materiali polimerici. Per quanto riguarda i materiali a matrice cementizia e le leghe, gli approcci seguiti si riferiscono a modelli costitutivi, termodinamicamente compatibili. In particolare, è stato eseguito uno studio teorico dettagliato sull'influenza dei diversi parametri del modello costitutivo. Sono stati individuati degli indicatori sintetici che consentono, a partire dalla sola conoscenza dei parametri del modello, di stimare le caratteristiche dei cicli di isteresi più importanti ai fini della risposta dinamica non lineare.

Si è poi sviluppato un modello teorico-numerico per gli elementi strutturali monodimensionali multistrato, sollecitati da carichi monotoni e ciclici, in grado di descrivere efficacemente il danneggiamento in termini di usura superficiale e di degrado di alcune proprietà meccaniche. Si sono implementati dei legami costitutivi a danneggiamento per la descrizione della dissipazione per danneggiamento strutturale e all'interfaccia tra strati. I risultati ottenuti sono in accordo con alcuni dati sperimentali presenti in letteratura. I modelli costitutivi proposti costituiscono un punto di partenza per la previsione del livello di usura e della vita utile degli elementi strutturali studiati. Infine, sulla base di una campagna sperimentale su materiali poliuretanici, si sono calibrati i parametri costitutivi di modelli di letteratura per formulare un modello continuo monodimensionale di struttura pneumatica a contatto con pareti rigide in movimento in grado di descrivere il comportamento meccanico di parabordi nautici, apparecchiature mediche e guarnizioni, in regime di grandi deformazioni.

B. ANALISI DELLA RISPOSTA STRUTTURALE

Interazione fluido-struttura

Per quanto riguarda l'interazione fluido-struttura, le ricerche hanno indagato l'analisi della risposta di cavi sospesi in fluidi a riposo e di cavi in aria. Per cavi sospesi in fluidi a riposo, partendo dalla caratterizzazione delle proprietà dinamiche lineari di un cavo inclinato rispetto a quelle del cavo in aria, con particolare riferimento alle modificazioni indotte dal fluido in termini di massa e smorzamento, si è individuato un idoneo modello ridotto per lo studio (attraverso il metodo delle scale multiple) del comportamento debolmente nonlineare del sistema accoppiato cavo-fluido in presenza di nonlinearietà strutturali (dovute ad ampiezze di vibrazione del cavo moderatamente grandi) e di nonlinearietà associate a condizioni di continuità della velocità all'interfaccia mobile fra fluido e struttura. L'obiettivo generale della ricerca, tuttora in corso, è quello di cogliere gli effetti essenziali della viscosità del fluido sul sistema accoppiato, e di caratterizzarne i relativi fenomeni di interazione modale nonlineare.

Si è poi studiato il galloping multi-modale di cavi sospesi sottoposti a vento stazionario, mediante l'utilizzo di un modello consistente di cavo-trave in grado di cogliere gli effetti torcenti. Si è osservato che le condizioni di risonanza interna possono condurre a interazioni, in campo nonlineare, tra i vari modi; in particolare il classico modo di galloping nel piano può diventare instabile a favore di moti accoppiati di tipo periodico o quasi-periodico.

Inoltre, si è studiata la dinamica di un cavo inclinato, tipicamente usato nei ponti strallati, soggetto a vento stazionario e a moto periodico su un appoggio per simulare il traffico veicolare sull'impalcato. Si sono osservati fenomeni di interazione tra l'auto-eccitazione, dovuta al vento, e alle eccitazioni di tipo esterno e parametrico, dovute al moto dell'appoggio.

Particolare attenzione, infine, è stata rivolta ai problemi di aeroelasticità: nell'ambito delle tecniche di soluzione in forma analitica, sono stati discussi gli effetti di alcune non-linearità di origine aerodinamica nella risposta alla turbolenza atmosferica. Inoltre è stato proposto, e numericamente validato, un nuovo modello analitico per l'analisi della risposta di sezione da ponte soggette al fenomeno del flutter. L'analisi è effettuata nel dominio del tempo dove le forze aeroelastiche autoeccitanti sono modellate come combinazioni lineari delle corrispondenti variabili interne.

Carichi mobili

Per quanto riguarda i carichi mobili indotti dai pedoni sui ponti pedonali, prendendo in esame condizioni realistiche di traffico, sono stati analizzati scenari rappresentativi di gruppi di pedoni che attraversano il ponte in risonanza o liberamente. Sono state successivamente definite due procedure semplificative per valutare la massima risposta dinamica di ponti pedonali a scenari realistici di carico, con l'identificazione dei parametri adimensionali governanti la dinamica del sistema.

Nel caso dei ponti soggetti a carico veicolare, l'interazione dinamica veicolo-struttura ha importanza sia per la determinazione dei fattori di amplificazione dei carichi statici previsti dalle norme che per la valutazione della resistenza a fatica. A tale scopo, si è proposta una formulazione che prevede il disaccoppiamento delle equazioni del moto del sistema veicolo-struttura; la procedura è applicata a un modello 3D di un ponte in c.a./c.a.p., attraversato da alcuni modelli di veicolo e caratterizzato da diversi profili di rugosità.

Infine è stata messa a punto una metodologia che consente di valutare istantaneamente, in funzione della posizione assunta dal veicolo, la risposta sia del ponte che del veicolo, includendo in maniera appropriata la rugosità del contatto. La formulazione è stata applicata ai ponti sospesi ed è stata utilizzata per derivare le equazioni del moto di una trave continua percorsa da oscillatori mobili.

Biforcazioni e modi normali nonlineari

In questo ambito, si è sviluppato un metodo numerico-perturbativo in grado di costruire il diagramma di stabilità lineare in sistemi dinamici multi-parametro. L'algoritmo realizzato fornisce le combinazioni critiche dei parametri, le quali danno luogo a biforcazioni multiple, di tipo statico, dinamico o misto. Esso, inoltre, permette di costruire i luoghi, nello spazio dei parametri, in cui si realizzano biforcazioni semplici. Il metodo è stato applicato a casi di biforcazioni di codimensione-2 presenti in sistemi strutturali discreti ed in sistemi continui discretizzati. Si è poi sviluppato un metodo perturbativo per l'analisi di sensitività di sistemi Hamiltoniani lineari internamente quasi-risonanti e un algoritmo, basato sul metodo perturbativo delle scale multiple, per l'analisi delle biforcazioni multiple statiche, dinamiche e statico-dinamiche di sistemi autonomi finito-dimensionali. Si è infine sviluppato un metodo perturbativo per l'analisi dei modi normali nonlineari di un sistema a due gradi di libertà, che modella una trave con rigidità bilineare, causata dalla formazione di una lesione, capace di richiudersi. Si sono determinati i rami fondamentali dei modi, e la regione di instabilità che eccita la nascita di modi sovrabbondanti.

Risposte caotiche

Sul fronte dell'analisi della risposta dinamica nonlineare, con particolare riferimento ai moti caotici, è stato implementato il Metodo delle Wandering Trajectories su oscillatori termo-meccanici a memoria di forma. Con questo metodo sono state ottenute carte di comportamento in diversi spazi dei parametri di controllo. L'analisi di tali carte ha evidenziato la presenza di fenomeni caotici di considerevole robustezza. Successivamente il suddetto metodo è stato esteso in modo tale da ottenere informazioni non solo sulla possibilità di utilizzare modelli minimi (che non tengono conto dei modi e delle non linearità di ordine più elevato) ovvero indicazioni sul diverso livello di caoticità delle soluzioni non-regolari. In questo modo è stato possibile identificare diverse tipologie di soluzioni caotiche caratterizzate da attrattori più o meno estesi nello spazio delle fasi.

Sempre su questo tema, si è studiata la dinamica di un pendolo di lunghezza variabile, quale modello semplice di altalena. Si sono ottenute le espressioni asintotiche per le frontiere d'instabilità, vicino alle frequenze di risonanza, e si sono confrontati i risultati ottenuti con metodi numerici. Nel piano dei parametri, si sono ottenuti i domini di oscillazione, rotazione e moto caotico.

Modelli ridotti

Nell'ambito dell'analisi della risposta di modelli ridotti, si è utilizzata una tecnica basata sulla individuazione di una (o più) variabili "master", che descrivono gli aspetti salienti della dinamica nonlineare di un sistema continuo, e delle restanti variabili "slave", che ne descrivono aspetti non trascurabili di ordine superiore: in questo modo si è riusciti a portare in conto l'influenza dei modi naturali più elevati all'interno di un modello ridotto basato sull'impiego delle sole variabili principali. Tale tecnica è stata applicata: (i) alla determinazione delle orbite omocline di travi instabilizzate in assenza di smorzamento e di carico, analizzando l'influenza delle condizioni al contorno della trave sulla possibilità di utilizzare modelli minimi (che non tengono conto dei modi e delle non linearità di ordine più elevato) ovvero sulla necessità di formulare modelli ridotti più sofisticati (che portino in conto tali effetti); (ii) alla caratterizzazione delle biforcazioni omocline di varietà stabili ed instabili di selle hilltop che caratterizzano l'instaurarsi di una dinamica caotica del sistema in presenza di eccitazione e smorzamento; (iii) allo studio dell'affidabilità del relativo controllo effettuato con riferimento a modelli ridotti ad un g.d.l. ottenuti con una proiezione modale alla Galerkin.

Mitigazione e controllo della risposta dinamica

Di rilevante interesse è stata l'analisi dell'instabilità e l'integrità dinamica di sistemi discreti di interesse meccanico e/o strutturale, ed il relativo controllo. E' stata effettuata la comparazione sistematica di diverse misure di integrità dinamica di un sistema, volte a caratterizzarne quantitativamente la perdita di sicurezza in modo affidabile, in relazione ai fenomeni di erosione dei relativi bacini di attrazione. Sono state effettuate applicazioni a diversi modelli ad un grado di libertà, rappresentativi di differenti sistemi meccanici o strutturali. E' inoltre iniziato lo studio dell'instabilità e della risposta globale di sistemi a due g.d.l., con l'obiettivo di pervenire a valutazioni della relativa integrità dinamica e di implementare procedure di controllo della risposta basate sul comportamento globale del sistema, già efficacemente sperimentate per sistemi ad un g.d.l.

E' stato poi sviluppato ed implementato sperimentalmente un algoritmo di controllo della dinamica forzata del cavo sospeso forzato parametricamente dal moto dei supporti; il modello e l'algoritmo di controllo sono stati validati da una campagna sperimentale condotta su un modello di laboratorio. Infine, si è studiato il comportamento di un'opera d'arte monolitica, modellata come corpo rigido isolato alla base ed è stata anche considerata l'efficacia di un dispositivo di sicurezza che limitasse gli spostamenti della base isolata.

Risposta sismica e analisi aleatoria

Si è proposta una nuova tecnica di combinazione modale, denominata DAC (Damping Adjusted Combination), per il progetto di strutture dotate di isolatori sismici. Il risultato è quello di migliorare notevolmente l'accuratezza dei risultati, soprattutto per isolatori con rapporto di smorzamento superiori al 10%.

Nell'ambito della dinamica non lineare di strutture soggette a forzanti aleatorie, è stato poi presentato un nuovo approccio per la valutazione della funzione densità di probabilità di una variabile aleatoria a partire dalla conoscenza dei suoi primi momenti statistici. Il metodo è stato applicato a problemi di ingegneria sperimentale, come la modellazione statistica della resistenza del calcestruzzo armato, della velocità massima dei venti e di parametri rappresentativi degli eventi sismici nella regione dello Stretto di Messina.

Sicurezza in strutture soggette ai carichi eolici

Le ricerche hanno in particolare riguardato la traduzione delle formulazioni teoriche in una metodologia ingegneristica e la convalida dei risultati teorici in corrispondenza di un'ampia casistica di danni e di crolli. E' stata poi sviluppata una ricerca sul ruolo delle incertezze nei riguardi della sicurezza strutturale all'azione del vento. Sono state aperte nuove linee di ricerca relative al ruolo della stratificazione termica dell'atmosfera e della correlazione temporale su lunghi periodi del processo di tensione.

C. SPERIMENTAZIONE E IDENTIFICAZIONE SU MODELLI E STRUTTURE REALI

Galleria del vento

Si è progettata e realizzata una nuova galleria del vento per prove di tipo civile, ambientale ed industriale, in grado di generare una velocità massima del flusso superiore a 40 m/s. Dall'inizio del 2010 la galleria lavora regolarmente su progetti di base e applicata i cui risultati saranno presto sottoposti a riviste per la pubblicazione.

Sperimentazione su modelli

Si è realizzata la modellazione e l'analisi sismica di una struttura 3D in c.a. provata su tavola vibrante: analisi parametriche, confrontate con i dati sperimentali, hanno consentito la messa a punto della modellazione dell'interazione con la tavola vibrante e la determinazione dei parametri di smorzamento in campo lineare. Uno studio parallelo è stato condotto sui segnali relativi alle accelerazioni assolute registrate sulla superficie della tavola, per verificare la presenza di componenti in frequenza legate alla struttura, indice di un'interazione elevata tavola-provino.

La sperimentazione su modelli ha riguardato anche sistemi con danno. In particolare, è stato realizzato un sistema a 2 g.d.l. con forze di richiamo bilineari; questo sistema è una semplice rappresentazione discreta di una trave con fessura. Su questa base, si sono analizzati sperimentalmente i più significativi scenari biforcativi quali duplicazioni di periodo e risonanze interne e si è verificata la presenza dei modi normali nonlineari e la loro influenza sulla risposta forzata, a conferma degli scenari previsti dal modello numerico.

Per sistemi cavo-massa, è stata poi completata la caratterizzazione sperimentale sistematica di meccanismi di transizione al caos.

Sperimentazione su strutture reali

Come è documentato nelle relazioni delle singole unità, prove sperimentali sono state condotte per la caratterizzazione della risposta dinamica di strutture al vero: ponti, edifici storici e industriali, edifici civili in c.a. e muratura. In particolare, si è effettuata un'indagine sperimentale al vero su un ponte in c.a. soggetto a danneggiamento progressivo in modo da ottenere un'adeguata interpretazione della fenomenologia indotta dal danneggiamento.

Si è inoltre investigata, mediante un approccio numerico-sperimentale, l'efficacia di due interventi di miglioramento sismico delle costruzioni murarie: (i) la sostituzione dell'esistente copertura in legno con un solaio in legno cemento; (ii) il rinforzo dei pannelli murari attraverso nastri in FRP.

Altre strutture reali analizzate sono: una torre-faro sita nell'area portuale di Vado Ligure e una serie di pompe centrifughe impiegate negli impianti di dissalazione. Il

monitoraggio della torre-faro è stato analizzato in una ricerca proponente una tecnica di identificazione modale nel dominio della frequenza che può essere vista come un miglioramento della tecnica di decomposizione nel dominio della frequenza (FDD). Relativamente alle pompe di dissalazione, sono state eseguite estese campagne di misura al fine di indagare le vibrazioni indotte dalle oscillazioni del campo di pressione.

Monitoraggio e identificazione

Nell'ambito dell'identificazione su modelli e strutture reali è stata proposta una procedura di identificazione nel dominio del tempo che, avvalendosi di un approccio ai minimi quadrati a variabili limitate, consente la definizione della funzione obiettivo basata sulle statistiche del secondo ordine del processo risposta. Le applicazioni numeriche svolte hanno dimostrato l'efficienza della tecnica proposta per la caratterizzazione dei parametri meccanici e per l'individuazione del danneggiamento del sistema strutturale.

Sono inoltre stati affrontati alcuni aspetti teorici che riguardano l'impiego di onde ad alta frequenza per la caratterizzazione del danno ed è stata confrontata la sensibilità di metodi basati sulla variazione delle frequenze con i metodi basati sulla dinamica ondosa. Per il caso di una barra rettilinea e alle basse frequenze è stata studiata la posizione del problema inverso della caratterizzazione del danno mediante la risposta in termini di onde viaggianti, mostrando la necessità di operare ad alta frequenza per determinare danni di piccola estensione. Sul tema dell'uso di onde ad alta frequenza per l'identificazione del danno è stata attivata una collaborazione con l'Università della California San Diego con la quale si sta affrontando il problema dell'identificazione dello stato tensionale in solidi soggetti ad uno stato di pre-tensione e predeformazione iniziale.

Infine si è affrontato il problema dell'identificazione e del monitoraggio di importanti strutture monumentali come il Colosseo, la Colonna Traiana, le Mura Aureliane e la Basilica di Massenzio.

12. Problemi riscontrati nel corso della ricerca

Durante questo biennio non sono emersi particolari problemi che abbiano condizionato negativamente la realizzazione del programma di ricerca. Tutte le unità hanno sostanzialmente conseguito gli obiettivi che si erano prefissati, in molti casi con una maggiore ampiezza di risultati rispetto alle previsioni.

13. Risorse umane complessivamente ed effettivamente impegnate (da consuntivo)

	(mesi uomo)
TOTALE	327
da personale universitario	327
altro personale	236
Personale a contratto a carico del PRIN 2007	38

14. Modalità di svolgimento (dati complessivi)

Partecipazioni a convegni:

	Già svolti (numero)	Da svolgere (numero)	Descrizione
in Italia	40	0	Per i dettagli, si rimanda ai moduli delle singole unità.
all'estero	72	0	Per i dettagli, si rimanda ai moduli delle singole unità.
TOTALE	112	0	

Per ogni campo di testo max 8.000 caratteri spazi inclusi

Articoli pertinenti pubblicati:

	Numero	Descrizione
su riviste italiane con referee	2	Per i dettagli, si rimanda al modulo della UR-AQ.
su riviste straniere con referee	62	Per l'elenco dettagliato, si rimanda ai moduli delle singole unità.
su altre riviste italiane	0	
su altre riviste straniere	0	
comunicazioni a convegni/congressi internazionali	85	Per i dettagli, si rimanda ai moduli delle singole unità.
comunicazioni a convegni/congressi nazionali	22	Per i dettagli, si rimanda ai moduli delle singole unità.
rapporti interni	7	Per i dettagli, si rimanda ai moduli delle singole unità.
brevetti depositati	0	
TOTALE	178	

Per ogni campo di testo max 8.000 caratteri spazi inclusi

Data 21/06/2011 18:34

Firma

Si autorizza alla elaborazione e diffusione delle informazioni riguardanti i programmi di ricerca presentati ai sensi del D. Lgs. n. 196/2003 del 30.6.2003 sulla "Tutela dei dati personali". La copia debitamente firmata deve essere depositata presso l'Ufficio competente dell'Ateneo.