



## 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. 2007PN93LY

<b>1. Area Scientifico Disciplinare principale</b>	<i>08: Ingegneria civile ed Architettura</i>
<b>2. Coordinatore Scientifico del programma di ricerca</b>	<i>AUGUSTI Giuliano</i>
- <b>Università</b>	<i>Università degli Studi di ROMA "La Sapienza"</i>
- <b>Facoltà</b>	<i>Facoltà di INGEGNERIA</i>
- <b>Dipartimento/Istituto</b>	<i>Dip. INGEGNERIA STRUTTURALE E GEOTECNICA</i>
<b>3. Titolo del programma di ricerca</b>	<i>Effetti del vento su strutture snelle: progettazione ottimale basata sulle prestazioni (Wi-POD)</i>
<b>4. Settore principale del Programma di Ricerca:</b>	<i>ICAR/08</i>
<b>5. Costo originale del Programma:</b>	<i>421.000 €</i>
<b>6. Quota Cofinanziamento MIUR:</b>	<i>180.000 €</i>
<b>7. Quota Cofinanziamento Ateneo:</b>	<i>84.900 €</i>
<b>8. Finanziamento totale:</b>	<i>264.900 €</i>
<b>9. Durata:</b>	<i>24 mesi</i>

## 10. Obiettivo della ricerca eseguita

L'obiettivo principale della ricerca eseguita è lo sviluppo di una procedura per l'ottimizzazione del progetto di strutture snelle soggette all'azione del vento. La procedura estende i principi della progettazione basata sulle prestazioni (Performance-Based Design) all'Ingegneria del Vento, e rientra nell'ambito della cosiddetta "Ingegneria del Vento basata sulle prestazioni" (Performance-Based Wind Engineering - PBWE).

Obiettivi specifici della ricerca sono stati:

- l'individuazione delle prestazioni rilevanti e degli stati limite corrispondenti per le strutture snelle soggette all'azione del vento. Le prestazioni e gli stati limite sono stati distinti per severità, anche in termini di conseguenze (prestazioni legate alla sicurezza o alla funzionalità in esercizio e stati limite ultimi, accidentali e di esercizio), per tipologia di struttura esaminata (ad esempio, edifici alti, ponti sospesi, turbine eoliche) e in base al fenomeno di interazione vento-struttura più rilevante (buffeting, vortex shedding, galloping, flutter);
  - la definizione di una metodologia per la caratterizzazione della pericolosità eolica del sito in cui sorge la costruzione. Si è riconosciuto che la scelta di parametri efficienti e sufficienti per caratterizzare la pericolosità eolica di un sito dipende da: la tipologia strutturale; la specificità del sito (per la possibile presenza d'interazioni tra il vento e altri agenti ambientali); la prestazione considerata. Sono stati quindi espressi in termini probabilistici i parametri da utilizzare per caratterizzare la pericolosità eolica di un sito nella valutazione del rischio eolico di una struttura. Si è mostrato che la pericolosità eolica deve essere definita impiegando una misura di intensità del vento di tipo vettoriale, e che solo in alcuni casi specifici può essere ritenuta sufficiente una misura di intensità scalare (in genere, il valore della velocità media del vento);
  - lo sviluppo di metodi per l'analisi della risposta strutturale mediante tecniche di dinamica aleatoria e di simulazione stocastica, che permettono di tenere conto anche della non stazionarietà dell'eccitazione e, conseguentemente, della risposta strutturale. In questo ambito è stato sviluppato, tra l'altro, un metodo che permette di determinare le correlazioni del processo di risposta di una struttura, con un buon livello di accuratezza e con un onere computazionale contenuto;
  - lo sviluppo di metodi per la valutazione della risposta strutturale attraverso modelli semplificati delle azioni del vento e della struttura. Questi metodi sono utili per la valutazione comparativa di soluzioni progettuali alternative (in genere definite a livello di progetto preliminare);
  - la definizione delle procedure per l'interpretazione e l'elaborazione delle misure effettuate nelle prove sperimentali eseguite in galleria del vento su modelli in scala di strutture reali;
  - lo sviluppo di una procedura di ottimizzazione basata sull'affidabilità per l'ottimizzazione delle dimensioni delle membrature di telai alti soggetti a vincoli probabilistici sulla resistenza delle membrature e sugli spostamenti di interpiano.
- Ulteriori obiettivi conseguiti con riferimento a strutture specifiche sono:
- la valutazione delle relazioni tra risposta strutturale - livello di danno - prestazioni rilevanti;
  - la stima dei carichi da vento aerodinamici su edifici alti di forma regolare e non regolare, attraverso l'impiego della bilancia aerodinamica ad alta frequenza e il confronto con le proprietà aleatorie delle forzanti ottenute attraverso l'integrazione del campo di pressioni derivato sperimentalmente;
  - lo sviluppo di procedure per l'ottimizzazione del progetto strutturale attraverso la riduzione del rischio eolico (misurato dalle probabilità di non soddisfacimento delle prestazioni attese);
  - lo sviluppo di un software per la determinazione dei modi del vento a partire da campi di forza misurati in galleria del vento, e di un software per la integrazione al passo delle equazioni del moto di un modello strutturale ridotto soggetto ad un campo di forze troncato ai primi  $n$  modi del vento;
  - lo sviluppo delle regole di combinazione delle azioni del vento a cui è soggetto un edificio alto per la determinazione della risposta massima (in termini di caratteristiche di sollecitazione o di spostamenti di piano);
  - l'analisi della possibilità di aumentare le prestazioni legate alla funzionalità in esercizio degli edifici alti attraverso smorzatori a massa accordata o a massa liquida.

## 11. Descrizione della Ricerca eseguita e dei risultati ottenuti

Nell'ambito della ricerca è stata sviluppata una procedura di progetto basata sulle prestazioni di strutture snelle soggette all'azione del vento (denominata procedura di Performance-Based Wind Engineering - PBWE). La procedura è basata sulla verifica, in termini probabilistici, del soddisfacimento delle prestazioni richieste alla struttura (il non collasso, l'incolumità delle persone, l'agibilità post-evento, la funzionalità in esercizio, ...), essendo ciascuna prestazione quantificata da una variabile decisionale (DV).

Nella procedura, la valutazione del rischio eolico della struttura, inteso come probabilità di violazione dei livelli prestazionali richiesti o attesi, è basata sulla definizione della pericolosità eolica del sito, sulla valutazione della risposta strutturale e del danneggiamento subito dalla costruzione, e sulla correlazione tra il livello di danneggiamento e la variabile decisionale assunta per rappresentare in termini misurabili la prestazione esaminata. L'ottimizzazione del progetto della struttura è conseguita applicando una strategia decisionale per la minimizzazione dei rischi corrispondenti al non soddisfacimento delle diverse prestazioni.

Nell'implementazione, sono state prese in conto in termini probabilistici le diverse fonti d'incertezza, che intervengono nella caratterizzazione dell'ambiente, della regione d'interazione e del sistema strutturale.

L'ambiente è la regione al cui interno è collocata la costruzione, ma nella quale il campo di vento viene definito come se la costruzione fosse assente. I parametri base del campo di vento, specifici del sito (il valor medio della velocità in ogni direzione, le direzioni dominanti dei venti estremi, l'intensità di turbolenza, la lunghezza di rugosità, ...) non sono influenzati dalla presenza della costruzione, mentre possono essere influenzati dall'interazione del vento con altri agenti ambientali.

La regione d'interazione è la parte dell'ambiente più prossima alla costruzione, in cui gli effetti della interazione tra vento e struttura e della presenza di altre costruzioni non possono essere trascurati.

Infine, il sistema strutturale è l'insieme costituito dalla costruzione, dalle azioni non ambientali agenti su di essa e dagli elementi che influenzano la risposta dinamica del sistema strutturale, poiché ne modificano la rigidità, lo smorzamento, la massa e l'aerodinamica.

I parametri incerti che caratterizzano il campo di vento nell'ambiente sono raggruppati nel vettore *IM* delle misure d'intensità; i parametri aerodinamici e aeroelastici che descrivono i fenomeni d'interazione vento-struttura nella regione d'interazione sono raggruppati nel vettore *IP*; i parametri che caratterizzano il sistema strutturale sono raggruppati nel vettore *SP*.

L'obiettivo della procedura consiste nella valutazione del rischio eolico della struttura mediante la descrizione probabilistica delle variabili decisionali DV.

Ogni DV è una misura quantitativa di una specifica prestazione strutturale e può essere definita in base agli interessi del proprietario o della società. Esempi di variabili decisionali sono: il numero di perdite di vite umane dovute a una tempesta di vento, le perdite economiche legate ai danni alla costruzione, la durata del periodo di mancato esercizio della costruzione a causa dei danni prodotti da una tempesta di vento, il superamento di stati limite ultimi o di esercizio, la mancanza di comfort per gli occupanti dovuta ad eccessive vibrazioni della costruzione anche in condizioni di regolare esercizio.

Con riferimento ad ogni prestazione, il rischio è convenzionalmente misurato attraverso la probabilità di superamento di un valore di soglia della corrispondente DV durante un periodo di riferimento fissato. Questa probabilità è valutata in termini di frequenza media o attraverso la funzione complementare della distribuzione di probabilità della DV, valutata tenendo conto della pericolosità eolica del sito, della risposta strutturale, dei danni corrispondenti e della correlazione tra i danni e la DV.

Infine, il progetto strutturale viene ottimizzato mediante l'applicazione di una strategia decisionale finalizzata alla minimizzazione del rischio totale.

La procedura proposta consiste in una successione di analisi finalizzate a:

a) definire la pericolosità eolica del sito in funzione dei parametri che caratterizzano il campo di velocità del vento;

b) definire i modelli dei fenomeni d'interazione tra vento e struttura e i parametri che li caratterizzano;

c) analizzare la risposta strutturale;

d) definire e valutare gli indicatori del danno strutturale (inteso come riduzione della capacità prestazionale), considerando prestazioni relative sia alla sicurezza strutturale sia alla funzionalità o al comfort;

e) definire le variabili decisionali corrispondenti a ciascuna prestazione, in termini di conseguenze del danno (danni a persone, costi di riparazione, costi dovuti alla perdita di funzionalità, mancanza di comfort degli utenti, ecc.);

f) valutare il rischio strutturale attraverso la caratterizzazione probabilistica delle variabili decisionali;

g) ottimizzare il progetto, cioè minimizzare il rischio, mediante la valutazione d'indicatori derivati dall'analisi decisionale.

La formulazione proposta permette quindi di disaggregare la valutazione del rischio nei seguenti elementi: analisi della pericolosità specifica del sito e della struttura in esame; analisi della risposta strutturale, condizionata ai parametri caratterizzanti il campo di vento e la struttura; analisi di danno, condizionata alla risposta strutturale; analisi delle perdite.

La definizione degli elementi in cui è stato disaggregato il problema rappresenta l'obiettivo principale degli studi svolti dall'Unità di Ricerca della Sapienza Università di Roma.

Si è rilevato che il vettore *IM* deve contenere un numero di parametri adeguato alla descrizione delle caratteristiche aleatorie del campo di vento nell'ambiente.

Parametri essenziali sono: la velocità media e la direzione dominante del vento con riferimento a diversi intervalli medi di ritorno; l'intensità e le scale integrali di turbolenza; la rugosità del terreno. La scelta dei parametri dipende dal problema esaminato, dal tipo di prestazione e dall'intervallo di tempo cui è riferita l'analisi.

La scelta dei parametri *SP* che caratterizzano la struttura dipende dalla tipologia strutturale e dal livello di azione. Parametri tipici sono: il coefficiente di smorzamento viscoso e il modulo elastico del materiale.

Tipici parametri d'interazione *IP* sono: i coefficienti aerodinamici, le derivate aeroelastiche, i numeri di Strouhal e Scruton, il fattore di picco che permette di valutare il massimo della risposta strutturale, lo smorzamento aerodinamico. La scelta dei parametri dipende dalla struttura e dalla prestazione esaminata, e dal fenomeno d'interazione predominante.

Le variabili decisionali DV sono distinte in funzione delle prestazioni considerate, che sono relative, rispettivamente, alla sicurezza strutturale e alla funzionalità in esercizio.

La progettazione ottimale è quella che corrisponde a rendere minimo il rischio, cioè massima una appropriata funzione di utilità, che viene scelta distinguendo i due casi, di interesse privato o pubblico.

In caso di investitori privati, la scelta tra le possibili alternative dell'investitore è effettuata considerando l'alternativa a cui corrisponde il valore massimo dell'utilità attesa nella vita utile di esercizio. La funzione di utilità corrisponde al valore economico della costruzione, definito dal rendimento netto dell'investimento.

Nel caso di interesse pubblico, come misura razionale della bontà di una scelta nel contesto della gestione del rischio, è stato sperimentato l'impiego dell'indice di qualità della vita, che tiene conto del prodotto interno lordo pro capite, dell'attesa di vita in buona salute della popolazione e del suo tempo libero e quantifica il benessere economico e sociale di una nazione.

I casi di studio presi in considerazione sono: un ponte sospeso di grande luce; le strutture di supporto di turbine eoliche offshore; un edificio alto (74 piani) con struttura portante in carpenteria metallica.

Gli studi svolti principalmente dall'Unità di Ricerca di Firenze e in parte dall'Unità di Ricerca di Perugia riguardano, tra l'altro, l'approfondimento e l'affinamento delle tecniche di misura delle azioni e della risposta di edifici snelli sottoposti all'azione del vento, mediante prove su modelli in galleria del vento. Parte della ricerca è stata quindi eseguita in ambito sperimentale, utilizzando la galleria del vento a strato limite sviluppato presente presso il Laboratorio di Ingegneria del Vento della sede di Prato dell'Università di Firenze, gestito dal CRIACIV, un Centro Interuniversitario al quale afferiscono quattro delle cinque unità di ricerca partecipanti al progetto.

Nello specifico sono stati definiti sperimentalmente i dati di input che sono serviti a supporto delle analisi numeriche svolte dalle altre unità. I dati sono stati ottenuti mediante la misura in galleria del vento (e la successiva analisi ed elaborazione) dei campi di pressione e delle risultanti di forza che s'instaurano su un edificio alto 74 piani, di geometria regolare, scelto come caso-studio.

A riguardo, è stato analizzato un primo modello di tipo "rigido", ossia nel quale il campo di pressione e le forze risultanti che si instaurano nell'edificio risultano indipendenti dalle sue caratteristiche dinamiche, di dimensioni tali da rappresentare un edificio di altezza complessiva pari a circa 300 m alla scala di 1:500. Il modello è stato montato su una base rotante che permette di variare la direzione del flusso incidente; le pressioni sono state misurate per diverse direzioni del vento incidente, e integrate per definire le storie temporali delle forze di piano. Le grandezze ottenute sono state introdotte in un data-base che è stato successivamente utilizzato da tutte le unità di ricerca. Poi è stato esaminato un modello aeroelastico dello stesso edificio, realizzato alla stessa scala e caratterizzato da una struttura interna composta da quattro lamine continue in alluminio e da un involucro esterno in plexiglas, non strutturale. Il modello è stato ancora equipaggiato con 126 prese di pressione, al fine di misurare le azioni indotte dal vento a varie velocità, e quindi in diverse condizioni di regime aeroelastico dell'edificio. Insieme alle misure di pressione, sono state effettuate misure con bilancia aerodinamica per la stima delle risultanti alla base e misure con laser e accelerometri per la determinazione degli spostamenti e delle accelerazioni. Le misure effettuate rappresentano, su scala internazionale, il primo tentativo di misura simultanea di pressioni, forze, spostamenti e accelerazioni su un modello aeroelastico di edificio alto in galleria del vento.

In aggiunta alla parte strettamente sperimentale, l'Unità di Ricerca di Firenze ha analizzato il problema della combinazione dei carichi derivanti dall'azione del vento su di un edificio alto. Si sono utilizzate le misure provenienti dalle prove in galleria per validare un approccio probabilistico, nuovo nel settore dell'ingegneria del vento, che consente di pervenire a una corretta combinazione delle tre componenti dell'azione per ottenere valori di progetto con la stessa probabilità di superamento. Si è operato utilizzando le copule, uno strumento probabilistico che consente di ricostruire le densità di probabilità congiunta di più variabili a partire dalle distribuzioni marginali.

Una parte degli studi svolti ha riguardato la mitigazione della risposta strutturale mediante l'utilizzo di smorzatori a massa accordata (TMD) o a massa liquida (TLD). Le proprietà smorzanti dei TLD sono state applicate nello studio dalla risposta di un edificio alto, la Torre Garibaldi, in fase di completamento nell'area

Porta Nuova di Milano. L'edificio era stato oggetto di una campagna sperimentale nella galleria del CRIACIV.

Nell'ambito della caratterizzazione probabilistica dei parametri di interazione IP, è stata condotta una campagna sperimentale nella galleria del vento del CRIACIV relativa alle derivate di flutter. L'ipotesi di distribuzione normale è risultata accettabile, mentre la correlazione fra le derivate si è rivelata minore delle aspettative, sebbene alcune coppie di derivate aeroelastiche abbiano mostrato valori elevati del coefficiente di correlazione ad alta velocità ridotta. È stato anche proposto un modello probabilistico della velocità critica di flutter: nel caso specifico di un modello sezione di un impalcato da ponte di geometria comune, si è ottenuta una distribuzione non Gaussiana con una leggera skewness positiva, un modesto coefficiente di variazione rispetto alla dispersione osservata per alcune derivate di flutter, e un valore medio prossimo a quello risultante calcolo deterministico.

L'attività svolta dall'Unità di Ricerca di Perugia ha riguardato, tra l'altro: la caratterizzazione dei campi di pressione esterna su edifici alti di forma prismatica e non, in termini di coefficienti di skewness, kurtosis e struttura di correlazione; la valutazione della risposta dinamica modale di edifici alti meccanicamente accoppiati e non accoppiati, dotati di profili geometrici prismatici oppure complessi; la descrizione probabilistica della risposta strutturale; la stima dei carichi da vento aerodinamici su edifici alti di forma regolare e non attraverso l'impiego della bilancia aerodinamica ad alta frequenza e il confronto con le proprietà aleatorie delle forzanti ottenute attraverso integrazione del campo di pressioni determinato sperimentalmente; la valutazione delle incertezze associate agli schemi di correzione modale più comunemente adottati nella pratica progettuale per la stima delle forze generalizzate e delle incertezze epistemiche sulla risposta strutturale; lo sviluppo di una procedura di ottimizzazione basata sull'affidabilità per il progetto di telai alti soggetti a vincoli probabilistici sulla resistenza delle membrature e sugli spostamenti di interpiano. Inoltre, le misure di pressione, ottenute attraverso le indagini sperimentali, sono state impiegate per ottenere stime dirette delle forze generalizzate, che sono state successivamente confrontate con quelle ottenute attraverso la bilancia aerodinamica e gli schemi di correzione modale. L'entità dell'errore introdotto dai diversi schemi è stata studiata nel dominio delle frequenze attraverso le densità spettrali delle forze generalizzate risultanti.

Inoltre, l'Unità di Ricerca di Perugia ha sviluppato un metodo per la combinazione rigorosa della direzionalità dell'aerodinamica degli edifici alti con quella di venti estremi nella stima della risposta con determinati periodi di ritorno. Il metodo è basato sulla costruzione di funzioni di stato limite tempo-indipendenti dove la intrinseca dipendenza dal tempo viene eliminata attraverso la definizione di accettabili livelli di vulnerabilità per le membrature del sistema strutturale. Questo approccio consente la stima rigorosa della probabilità di collasso del componente, e quindi dell'associato periodo di ritorno, attraverso la risoluzione di integrali di affidabilità tempo-indipendenti anche per quelli che, come si dimostra, sono stati limite fortemente non lineari. Il modello proposto è stato confrontato con quelli comunemente adottati nell'analisi di edifici alti soggetti all'azione del vento: in particolare con l'approccio non direzionale, adottato dalla maggior parte delle normative e dei codici, così come il più intuitivo approccio direzionale settore per settore. I risultati ottenuti indicano la significativa inadeguatezza dell'approccio settore per settore per la stima dei parametri di risposta con assegnato periodo di ritorno sia in termini di risposte globali, come ad esempio lo spostamento di interpiano, sia in termini di risposte locali, quali i rapporti di resistenza delle membrature. Per quanto riguarda i metodi non direzionali, sono state osservate importanti sottostime dei parametri di risposta con assegnati periodi di ritorno per alcune direzioni del vento; ciò testimonia l'importanza di identificare le direzioni del vento più significative.

La ricerca eseguita dall'Unità di Ricerca di Messina ha riguardato: a) la caratterizzazione aleatoria del processo forzante a partire dalle registrazioni in galleria del vento fornite dall'Unità di Ricerca di Firenze; b) il confronto fra i metodi presenti in letteratura per la valutazione della risposta aleatoria di strutture soggette a forzanti identificabili come processi aleatori stazionari multi-correlati; c) la messa a punto e la validazione di metodi alternativi a quelli presenti in letteratura per la valutazione diretta delle funzioni di correlazione della risposta di una struttura soggetta ai tipi di forzante citati; d) la messa a punto di un metodo originale di analisi aleatoria per eccitazioni non stazionarie multi-variate; e) la messa a punto di metodi di analisi di dimensioni limitate caratterizzate da parametri incerti. Con riferimento al punto a), assumendo l'ipotesi di ergodicità e quindi di stazionarietà del segnale e utilizzando le registrazioni delle forzanti di piano fornite dall'Unità di Ricerca di Firenze, si sono desunte le correlazioni del processo aleatorio che definisce le azioni sulla struttura; nota la matrice delle correlazioni, tramite le relazioni di Wiener-Khinchine, si è ricavata la matrice densità spettrale di potenza.

Con riferimento al punto b), sono stati identificati tre gruppi di metodi per la valutazione probabilistica della risposta di strutture soggette a forzanti aleatorie multi-correlate: quelli che si rifanno all'analisi classica nel dominio delle frequenze; quelli che si rifanno all'analisi classica nel dominio del tempo; quelli che si rifanno alla "Teoria dei filtri". Dal confronto di questi tre gruppi di metodi, è risultato che, se fosse stato possibile ridurre l'onere computazionale connesso alla risoluzione numerica del doppio integrale di convoluzione, i metodi basati sull'analisi nel dominio dei tempi e quindi sulla valutazione diretta delle correlazioni e cross-correlazioni della risposta, sono i più affidabili per la caratterizzazione probabilistica della risposta.

Quindi, con riferimento al punto c), si è affrontato il problema di determinare le correlazioni del processo di risposta, con un buon livello di accuratezza e con un onere computazionale contenuto. Si è messo a punto un approccio originale che si fonda sulla risoluzione delle equazioni differenziali governanti l'andamento di queste correlazioni. Per la risoluzione numerica di queste equazioni si è proposta una procedura di integrazione al passo che si è dimostrato essere incondizionatamente stabile. L'approccio proposto fornisce risultati accurati e richiede un onere computazionale non eccessivo; opera totalmente nel dominio dei tempi, richiedendo come input le correlazioni della forzante; fornisce come risultato le correlazioni del processo risposta, e non le sole varianze.

Con riferimento al punto d) si è rilevato che, per tenere conto della non stazionarietà dell'eccitazione e, conseguentemente, della risposta strutturale, si può procedere con la risoluzione di un certo numero di problemi stazionari corrispondenti, assumendo che le eccitazioni non stazionarie siano date dal prodotto di eccitazioni stazionarie e di funzioni modulanti del tempo.

Con riferimento al punto e) e quindi allo studio di sistemi meccanici a numero ridotto di gradi di libertà e caratterizzati da parametri meccanici incerti, si è evidenziato che utilizzando la maggior parte dei metodi di discretizzazione dei campi aleatori presenti in letteratura è sempre possibile esprimere le matrici di massa, rigidità e dissipazione della struttura come combinazione lineare di matrici deterministiche, essendo i coefficienti di combinazione variabili aleatorie le cui proprietà dipendono dal campo di partenza e dal tipo di discretizzazione. Fra i metodi presenti in letteratura per la caratterizzazione probabilistica della risposta di questi sistemi sono stati presi in considerazione quelli basati sulla perturbazione, che consentono di ottenere risultati sufficientemente accurati solo per livelli ridotti di incertezza, e quello basato sui modi principali di deformazione degli elementi finiti, messo a punto specificamente nell'ambito della ricerca eseguita. Quest'ultimo approccio consente di ottenere sia la soluzione esatta del problema, sia soluzioni approssimate, il cui livello di accuratezza aumenta al crescere dell'onere computazionale.

Sempre nell'ambito specifico della modellazione dell'azione eolica e della risposta strutturale mediante modelli ridotti, l'Unità di Ricerca di Chieti-Pescara si è occupata di sviluppare modelli di calcolo, utili in fase di progettazione preliminare, e in grado di cogliere gli aspetti salienti della risposta strutturale (modelli strutturali ridotti) sulla base di informazioni sommarie (ancorché sufficientemente rappresentative) sulle caratteristiche dell'azione agente (modelli ridotti della forzante). Questi modelli numerici, pur risultando molto semplificati rispetto a quelli che devono essere utilizzati nella progettazione esecutiva dell'opera, conservano una adeguata rappresentatività del comportamento strutturale e delle caratteristiche effettive (e dunque sperimentali) dell'azione eolica.

In particolare, sono state utilizzate le misure sperimentali di pressione ottenute dalle Unità di Ricerca di Firenze e di Perugia, e, considerato che i campi di pressione sperimentalmente rilevati erano stati preliminarmente ricondotti alle tre risultanti di piano significative, è stato messo a punto un algoritmo in ambiente Matlab per rappresentare al passo il campo di forze di piano e visualizzare la complessità dell'azione eolica per ciascuna delle direzioni di incidenza del vento simulate in galleria; quindi è stato messo a punto, sempre in ambiente Matlab, un algoritmo per la estrazione e rappresentazione grafica delle più significative componenti del campo di forze multivariato che è stato misurato, componenti che risultano costituite da campi correlati e monovariati (modi di spirare, o wind-modes) corrispondenti agli autovettori della matrice di correlazione delle forzanti sperimentalmente rilevate.

Per quanto riguarda la riduzione del modello strutturale, l'indagine condotta su edifici alti tramite modelli agli elementi finiti dettagliati ha consentito di riconoscere, viste le tipiche frequenze proprie di queste strutture, un comportamento dinamico dominato da pochi modi propri, per lo meno per quanto riguarda i parametri prestazionali di tipo globale (accelerazione di piano, spostamento massimo in sommità, sollecitazione massima al piede dell'opera). È apparso quindi naturale limitare lo studio della parte lineare della risposta strutturale a quella di modelli modali ridotti, opportunamente interfacciati con i descritti modi di spirare del vento ottenuti sperimentalmente.

Per quel che riguarda il numero di modi del vento che occorre includere al fine di ottenere un modello della forzante ridotto, ma sufficientemente accurato per riprodurre gli aspetti salienti della risposta dinamica di edifici alti, si è visto che, almeno nei casi presi in considerazione, il modello della forzante richiede di includere un numero di modi del vento almeno pari a 8-10. Le indagini condotte confermano invece la possibilità di cogliere gli aspetti salienti della risposta mediante un modello strutturale drasticamente ridotto, limitato per edifici alti a un esiguo numero di modi strutturali.

## 12. Problemi riscontrati nel corso della ricerca

I problemi sono correlabili alla riduzione dei fondi erogati rispetto al preventivo che hanno limitato l'impiego di risorse giovani, la mobilità internazionale e l'acquisto di strumentazione per le attività sperimentali.

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

	(mesi uomo)
<b>TOTALE</b>	<b>138</b>
<b>da personale universitario</b>	<b>138</b>
<b>altro personale</b>	<b>113</b>
<b>Personale a contratto a carico del PRIN 2007</b>	<b>57</b>

### 14. Modalità di svolgimento (dati complessivi)

#### Partecipazioni a convegni:

	Già svolti (numero)	Da svolgere (numero)	Descrizione
<b>in Italia</b>	18	0	<p>XVIII Convegno Italiano di Meccanica Computazionale GIMC2010, Siracusa, settembre 2010 (4 partecipazioni e 5 presentazioni citate nel seguito)</p> <p>XI Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento, IN-VENTO-2010. Spoleto (PG), luglio 2010 (8 partecipazioni e 8 presentazioni citate nel seguito)</p> <p>XIX CONGRESSO AIMETA, Ancona, settembre 2009 (2 partecipazioni e 2 presentazioni citate nel seguito)</p> <p>22° Congresso C.T.A., Padova, settembre 2009 (1 partecipazione e 1 presentazione citata nel seguito)</p> <p>Conferenza nazionale di Ingegneria del Vento - IN-VENTO2008, Cefalù (PA), giugno 2008 (2 partecipazioni e 2 presentazioni citate nel seguito)</p> <p>Meccanica Stocastica '08. Cefalù (PA), giugno 2008 (1 partecipazione e 2 presentazioni citate nel seguito)</p>
<b>all'estero</b>	19	0	<p>International Symposium on Reliability Engineering and Risk Management (ISRERM2010), Shanghai, Cina, settembre 2010 (1 partecipazione e 1 presentazione citata nel seguito)</p> <p>6th Computational Stochastic Mechanics Conference (CMS-6), Rodi, Grecia, giugno 2010 (2 partecipazioni e 3 presentazioni citate nel seguito)</p> <p>5th International Symposium on Computational Wind Engineering (CWE), Chapel Hill, UA, maggio 2010 (1 partecipazione e 1 presentazione citata nel seguito)</p> <p>12th biennial ASCE Aerospace Division International Conference (Earth &amp; Space 2010), Honolulu, USA, marzo 2010 (2 partecipazioni e 2 presentazioni citate nel seguito)</p> <p>ASME 2009 International Mechanical Engineering Congress &amp; Exposition (IMECE2009), Lake Buena Vista, USA, novembre 2009 (1 partecipazione e 1 presentazione citata nel seguito)</p> <p>Tenth International Conference On Structural Safety And Reliability (ICOSSAR'09), Osaka, Giappone, settembre 2009 (1 partecipazione e 2 presentazioni citate nel seguito)</p> <p>7th EUROMECH Solid Mechanics Conference, Lisbona, Portogallo, settembre 2009 (1 partecipazione e 1 presentazione citata nel seguito)</p> <p>VIII International Symposium on Cable Dynamics, Parigi, Francia, settembre 2009 (1 partecipazione e 1 presentazione citata nel seguito)</p> <p>5th EACWE, European &amp; African Conference on Wind Engineering, Firenze, luglio 2009 (2 partecipazioni e 4 presentazioni citate nel seguito)</p> <p>Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering (COMPDYN), Rodi, Grecia, giugno 2009 (1 partecipazione e 1 presentazione citata nel seguito)</p> <p>IABSE Annual Meetings and Congress, Chicago, USA, settembre 2008 (1 partecipazione e 1 presentazione citata nel seguito)</p> <p>4th International Conference on Advances in Wind and Structures, Jeju Island, Corea del Sud, settembre 2008 (1 partecipazione e 1 presentazione citata nel seguito)</p> <p>4th International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation (SEM), Jeju Island, Corea del Sud, settembre 2008 (1 partecipazione e 1 presentazione citata nel seguito)</p> <p>Reliability and Optimization of Structural Systems, Toluca, Messico, agosto, 2008 (1 partecipazione e 1 presentazione citata nel seguito)</p> <p>BBAA VI, 6th International Colloquium on Bluff Bodies Aerodynamics and Applications. Milano, luglio 2008 (2 partecipazioni e 2 presentazioni citate nel seguito)</p>
<b>TOTALE</b>	<b>37</b>	<b>0</b>	

Per ogni campo di testo max 8.000 caratteri spazi inclusi

#### Articoli pertinenti pubblicati:

	Numero	Descrizione
<b>su riviste italiane con referee</b>	0	
<b>su riviste straniere con referee</b>	18	<p>AUGUSTI G., CIAMPOLI M.; 2008; Performance-Based Design in Risk Assessment and Reduction; Rivista: Probabilistic Engineering Mechanics, vol. 23 No. 4; pp. 496-508.</p> <p>ARANGIO S., BONTEMPI F., CIAMPOLI M.; 2010; Structural integrity monitoring for dependability; Rivista: Structure and Infrastructure Engineering; vol. 6; pp. 1-18.</p> <p>PETRINI F., BONTEMPI F.; 2010; Estimation of fatigue life for long span suspension bridge hangers under wind</p>

		<p>action and train transit; Rivista: <i>Structure and Infrastructure Engineering</i>; pp. 1-17; ifirst article (online).</p> <p>PETRINI F., CIAMPOLI M.; 2010; <i>Performance-based Wind Engineering: Remarks on the Design of Tall Buildings</i>; Rivista: <i>Structure and Infrastructure Engineering</i>; accettato per la pubblicazione.</p> <p>PETRINI F., LI H., BONTEMPI F.; 2010; <i>Basis of Design and Numerical Modeling of Offshore Wind Turbines</i>; Rivista: <i>Structural Engineering Mechanics</i>; vol. 36 No. 5; pp. 599-624.</p> <p>PETRINI F., MANENTI S., GKOUKAS K., BONTEMPI F.; 2010; <i>Structural design and analysis of offshore wind turbines from a system point of view</i>; Rivista: <i>Wind Engineering</i>; Vol. 34; pp. 85-108.</p> <p>BARTOLI G., MANNINI C.; 2008; <i>A simplified approach to bridge deck flutter</i>; Rivista: <i>Journal of Wind Engineering And Industrial Aerodynamics</i>, vol. 96, No. 2; pp. 229-256.</p> <p>CLUNI F., GUSELLA V., BARTOLI G.; 2008; <i>Wind tunnel scale model testing of suspended cables and numerical comparison</i>; Rivista: <i>Journal of Wind Engineering And Industrial Aerodynamics</i>, vol. 96; pp. 1134-1140.</p> <p>BARTOLI G., CONTRI S., MANNINI C., RIGHI C.; 2009; <i>Toward an improvement in the identification of bridge deck flutter derivatives</i>; Rivista: <i>Journal of Engineering Mechanics</i>, vol. 135, No. 8; pp. 771-785.</p> <p>BARTOLI G., RICCIARDELLI F.; 2010. <i>Characterisation of pressure fluctuations on the leeward and side faces of rectangular buildings and accuracy of the quasi-steady loads</i>; Rivista: <i>Journal of Wind Engineering And Industrial Aerodynamics</i>, vol. 98 No. 10-11; pp. 512-519.</p> <p>BARTOLI G., BORRI C., MANNINI C.; in stampa; <i>Some Recent Advances in Bridge Aeroelasticity</i>; Rivista: <i>Wind Engineering</i>.</p> <p>MANNINI C., SODA A., SCHEWE G.; 2010; <i>Unsteady RANS modelling of flow past a rectangular cylinder: investigation of Reynolds number effects</i>; Rivista: <i>Computers and Fluids</i>; Vol. 39, No. 9; pp. 1609-1624.</p> <p>FALSONE G., SETTINERI D.; in stampa; <i>New differential equations governing the response cross-correlations of linear systems subjected to coloured loads</i>; Rivista: <i>Journal of Sound and Vibration</i>.</p> <p>FALSONE G., SETTINERI D.; in stampa; <i>An Euler-Bernoulli-like finite element method for Timoshenko beams</i>; Rivista: <i>Mechanics Research Communications</i>.</p> <p>FALSONE G., SETTINERI D.; in stampa; <i>A method for the random analysis of linear systems subjected to non-stationary multi-correlated load</i>; Rivista: <i>Probabilistic Engineering Mechanics</i>.</p> <p>LOMBARDO M., ZEMAN J., SEJNOHA M., FALSONE G.; 2009; <i>Stochastic Modeling of Chaotic Masonry via Mesosstructural Characterization</i>; Rivista: <i>International Journal of Multiscale Computational Engineering</i>, vol. 7; pp. 171-185.</p> <p>GIOFFRE' M., CAVALAGLI N., GUSELLA V.; 2008; <i>Movable guyed masts affected by wind loads: Buckling and stochastic response</i>; Rivista: <i>Structural Control &amp; Health Monitoring</i>, vol. 15, No. 3; pp. 299-314.</p> <p>CLUNI F., GUSELLA V., BARTOLI G.; 2008; <i>Wind tunnel scale model testing of suspended cables and numerical comparison</i>; Rivista: <i>Journal of Wind Engineering And Industrial Aerodynamics</i>, vol. 96, No 6-7; pp. 1134-1140.</p>
<b>su altre riviste italiane</b>	0	
<b>su altre riviste straniere</b>	0	
<b>comunicazioni a convegni/congressi internazionali</b>	23	<p>6th Computational Stochastic Mechanics Conference (CMS-6), Rodi, Grecia, giugno 2010 (3 comunicazioni)</p> <p>7th EUROMECH Solid Mechanics Conference, Lisbon Porogallo, settembre 2009 (1 comunicazione)</p> <p>BBAA VI, 6th International Colloquium on Bluff Bodies Aerodynamics and Applications. Milano, luglio 2008 (2 comunicazioni)</p> <p>IABSE Annual Meetings and Congress, Chicago, USA, settembre 2008 (1 comunicazione)</p> <p>5th EACWE, European &amp; African Conference on Wind Engineering, Firenze, luglio 2009 (4 comunicazioni)</p> <p>12th biennial ASCE Aerospace Division International Conference (Earth &amp; Space 2010), Honolulu, USA, marzo 2010 (2 comunicazioni)</p> <p>4th International Conference on Advances in Wind and Structures, Jeju Island, Corea del Sud, settembre 2008 (1 comunicazione)</p> <p>Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering (COMPDYN), Rodi, Grecia, giugno 2009 (1 comunicazione)</p> <p>4th International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation (SEM), Jeju Island, Corea del Sud, settembre 2008 (1 comunicazione)</p> <p>5th International Symposium on Computational Wind Engineering (CWE), Chapel Hill, UA, maggio 2010 (1 comunicazione)</p> <p>ASME 2009 International Mechanical Engineering Congress &amp; Exposition (IMECE2009), Lake Buena Vista, USA, novembre 2009 (1 comunicazione)</p> <p>International Symposium on Reliability Engineering and Risk Management (ISRERM2010), Shangai, Cina, settembre 2010 (1 comunicazione)</p> <p>Tenth International Conference On Structural Safety And Reliability (ICOSSAR'09), Osaka, Giappone, settembre 2009 (2 comunicazioni)</p> <p>VIII International Symposium on Cable Dynamics, Parigi, Francia, settembre 2009 (1 comunicazione)</p> <p>Reliability and Optimization of Structural Systems, Toluca, Messico, agosto, 2008 (1 comunicazione)</p>
<b>comunicazioni a convegni/congressi nazionali</b>	20	<p>22° Congresso C.T.A., Padova, Settembre 2009 (1 comunicazione)</p> <p>Conferenza nazionale di Ingegneria del Vento, IN-VENTO2008, Cefalù (PA), giugno 2008 (2 comunicazioni)</p> <p>Meccanica Stocastica '08, Cefalù (PA), giugno 2008 (2 comunicazioni)</p> <p>XI Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento, IN-VENTO-2010, Spoleto (PG), luglio 2010 (8 comunicazioni)</p> <p>XIX CONGRESSO AIMETA, Ancona, settembre 2009 (2 comunicazioni)</p> <p>XVIII Convegno Italiano di Meccanica Computazionale GIMC2010, Siracusa, settembre 2010 (5 comunicazioni)</p> <p>Reliability and Optimization of Structural Systems,</p>

<b>rapporti interni</b>	<i>1</i>	<i>Spence S.M.J.; 2009; High-Rise Database-Assisted Design 1.1 (HR_DAD_1.1): Concepts, Software, and Examples; NIST Building Science Series 181</i>
<b>brevetti depositati</b>	<i>0</i>	
<b>TOTALE</b>	<b>62</b>	

Per ogni campo di testo max 8.000 caratteri spazi inclusi

Data 11/01/2011 16:12

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.