



ASSOCIAZIONE NAZIONALE
PER L'INGEGNERIA DEL VENTO
Sezione Italiana della IAWE

*International Association
for Wind Engineering*

IN-VENTO-2004

8° Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento

Arcacne



DIPARTIMENTO DI
MECCANICA E MATERIALI
Università Mediterranea
di Reggio Calabria

IN-VENTO-2004

8° Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento

Reggio Calabria, 21-23 Giugno 2004



PROGRAMMA E SOMMARI





Associazione Nazionale per l'Ingegneria del Vento

Sezione Italiana della IAWE – International Association for Wind Engineering

IN-VENTO-2004

8° CONVEGNO NAZIONALE DI INGEGNERIA DEL VENTO

Reggio Calabria, 21-23 Giugno 2004

PROGRAMMA E SOMMARI

Con il contributo di



Regione Calabria



Provincia
di Reggio Calabria



Comune
di Reggio Calabria



Università
Mediterranea di
Reggio Calabria



Facoltà di
Ingegneria

Con la partecipazione di



Lombard & Marozzini



FUTURA
computers e assistenza

Con il patrocinio di



Ordine degli ingegneri della
Provincia di Reggio Calabria



DIPARTIMENTO DI
MECCANICA E MATERIALI

Dipartimento di Meccanica e Materiali
Università Mediterranea di Reggio Calabria



COMITATO SCIENTIFICO

Giuliano AUGUSTI, Roma
Gianni BARTOLI, Firenze
Claudio BORRI, Firenze
Guido BURESTI, Pisa
Piero D'ASDIA, Pescara
Giorgio DIANA, Milano
Mario DI PAOLA, Palermo
Gaetano GAUDIOSI, Enea-Erg
Vittorio GUSELLA, Perugia
Annibale L. MATERAZZI, Perugia
Salvatore NOE', Trieste
Giuseppe PICCARDO, Genova
Corrado RATTO, Genova
Francesco RICCIARDELLI, Reggio Calabria
Vincenzo SEPE, Pescara
Giovanni SOLARI, Genova
Paolo SPINELLI, Firenze (Presidente)
Francesco TAMPIERI, Imga-Cnr
Alberto ZASSO, Milano

ORGANIZZAZIONE

Francesco RICCIARDELLI (Presidente)
Enrico T. DE GRENET
Rosario PIETROPAOLO
A. David PIZZIMENTI
Raffaele PUCINOTTI

SEGRETERIA SCIENTIFICA

Dipartimento di Meccanica e Materiali
Università Mediterranea di Reggio Calabria
Via Graziella, Loc. Feo di Vito
89060 Reggio Calabria
Tel 0965.875267-223 Fax 0965.875201
e-mail invento2004@ing.unirc.it

SEGRETERIA ORGANIZZATIVA

TITAN congressi
Via degli Arconti 24
89127 Reggio Calabria
Tel 0965.332899-331999
Fax 0965.898979
e-mail titantour@titantour.it

SEDE DEL CONGRESSO

Aula Magna
Facoltà di Ingegneria
Università "Mediterranea" di Reggio Calabria
Via Graziella, Loc. Feo di Vito
Reggio Calabria

Edizione a cura della
Aracne editrice S.r.l.
Customer care
06 93781065
info@aracne-editrice.it
www.aracne-editrice.it
redazione
via R. Garofalo. 133 ab
00173 Roma
amministrazione
via Gramsci, 264, pal. 6
00040 Lanuvio (RM)

Domenica 20		Lunedì 21		Martedì 22		Mercoledì 23		
9.00-15.30	Battuta di pesca nello stretto di Messina	8.30-10.30	- Registrazione - Apertura del Convegno - Saluto delle Autorità Relazione ad invito <i>Prof. Chris Baker</i> Sessione A Ponti	Relazione ad invito <i>Dr. Gity Larose</i> Sessione E Campi di vento	Relazione ad invito <i>Prof. Francesco Mallamace</i> Sessione I Dinamica			
		10.30-11.00	Coffee break					
		11.00-13.00	Sessione B Aeroelasticità	Sessione F Energia eolica Diffusione in atmosfera	Sessione L Ponti			
		13.00-14.30		Pranzo				
		14.30-16.15	Sessione C Coperture	Sessione G Dinamica	Sessione M Metodi numerici per l'ingegneria del vento			
		16.15-16.45	Coffee break					
17.30-18.30	Visita al museo della Magna Grecia di Reggio Calabria	16.45-18.30	Sessione D Il vento in ambiente urbano	Sessione H Dominare il rischio eolico ed assicurare il funzionamento di impianti ed infrastrutture	Chiusura del Convegno			
19.00-20.30	- Registrazione - Cocktail di benvenuto Salone dei Lampadari Palazzo San Giorgio	18.30		Assemblea dei soci ANIV				
21.00		21	Cena Direttivo ANIV Ristorante Glauco – Scilla	Cena Sociale Castello Altafiumara				

PROGRAMMA

DOMENICA 20 GIUGNO

19.00-20.30 Registrazione al Convegno, Cocktail di benvenuto
Salone dei Lampadari, Palazzo San Giorgio

LUNEDÌ 21 GIUGNO

8.30-10.30 **Presiedono** *P. Spinelli e F. Ricciardelli*

8.30-9.00 Inaugurazione del convegno

Saluto delle autorità

9.00-9.45 Relazione ad invito

Chris Baker, The overturning of road and rail vehicles in high winds

9.45-10.30 **Sessione A - Ponti**

- A.1) *Lazzari M., Saetta A., Vitaliani R.* Analisi aeroelastica di ponti nel tempo: i ponti a nastro teso
- A.2) *Palmeri A., Milicia R.* Una formulazione nello spazio degli stati per la stabilità aeroelastica di sezioni da ponte
- A.3) *Zalthen W., Salvatori L., Borri C.* Indicial Functions or Flutter Derivatives: An Evaluation for Time Domain simulations

10.30-11.00 **Coffee Break**

11.00-13.00 **Presiedono** *M. Majowiecki e V. Sepe*

Sessione B - Aeroelasticità

- B.1) *Camarri S., Salvetti M.V., Buresti G.* Large-eddy simulations of the flow around a finite-length triangular prism
- B.2) *Carassale, L., Freda A., Piccardo G.* Un modello quasi statico per l'analisi di cilindri circolari comunque inclinati rispetto al vento
- B.3) *de Grenet E.T., Ricciardelli F.* Effetto del regime di vibrazione sulla correlazione longitudinale delle pressioni su un prisma a sezione rettangolare
- B.4) *Pastò S., Noè S., Bartoli G., Fathi S.* Oscillazioni across-wind di un cilindro circolare in condizioni di flusso turbolento
- B.5) *Bartoli G., Righi M.* Some results on flutter behaviour of rectangular prisms in smooth and turbulent wind flow
- B.6) *Fossati F., Zasso A.* Analisi delle caratteristiche del flusso per prove di imbarcazioni a vela in galleria del vento su modello in scala
- B.7) *Malavasi S., Vanali M.* Effetti di parete sullo Strouhal di un cilindro rettangolare

13.00-14.30 **Pranzo**

14.30-16.15 **Presiedono** *C. Baker e V. Gusella*

Sessione C - Coperture

- C.1) *Betti M., Borri C., Facchini L., Volpi S.* Caratterizzazione e simulazione del campo di pressioni su una copertura aperta di grande luce (nuovo stadio di Manfredonia)
- C.2) *Biagini P., Borri C., Majowiecki M., Orlando M., Procino L.* Prove sperimentali e carichi di progetto della copertura del nuovo stadio olimpico del Pireo
- C.3) *Bocciolone M., Collina A., Diana G., Rocchi D. Tosi M.* Azioni ed effetti del vento sulla copertura dello stadio di Braga: prove in galleria del vento su modello deformabile
- C.4) *Borri C., Majowiecki M., Ossola F., Bartoli G., Orlando M., Procino L.* Prove sperimentali in galleria del vento ed azioni dinamiche di progetto sulla nuova copertura dello stadio delle Alpi di Torino
- C.5) *Cosentino N., Majowiecki M.* Analisi e mitigazione della risposta all'azione del vento di una copertura di grande luce
- C.6) *Lazzari M., Rossi R., Majowiecki M., Saetta A.* Aeroelastica di una grande copertura sospesa
- C.7) *Zasso A., Giappino S., Muggiasca S.* Effetto del vento su strutture architettoniche complesse: influenza del numero di Reynolds

16.15-16.45 **Coffee Break**

16.45-18.30 **Presiedono** *C. Ratto e A. L. Materazzi*

Sessione D - Il vento in ambiente urbano

- D.1) *Pagnini L.C.* Modellazione dei parametri dinamici degli edifici per lo studio della sicurezza strutturale all'azione del vento
- D.2) *Ciampoli M., Imbrenda A., Paulotto C., Procino L.* Analisi del confort pedonale: confronto tra i risultati forniti dalla visualizzazione del flusso con film d'olio e quelli ottenuti mediante l'impiego della tecnica PIV
- D.3) *Paulotto C., Ciampoli M., Augusti G.* Azione del vento in ambiente urbano: analisi teorica e sperimentale
- D.4) *Pucinotti R., Ricciardelli F.* Influenza delle caratteristiche del vento a bassa quota sul progetto di elementi di arredo urbano a struttura metallica
- D.5) *Ricciardelli F., Polimeno S.* Analisi delle caratteristiche dei campi di vento a bassa quota in ambiente urbano
- D.6) *Sepe V., D'Asdia P., Carusi P.* Rilievo sperimentale dei campi di vento in ambiente urbano
- D.7) *D'Asdia P., Sepe V., Cavallari L.* Rilevanza delle azioni eoliche sulla progettazione di abitazioni di emergenza

MARTEDÌ 22 GIUGNO

8.30-10.30 **Presiedono** *G. Buresti e A. Zasso*

8.30-9.15 Relazione ad invito

Guy Larose, On the Reynolds number sensitivity of the aerodynamics of bluff bodies with sharp edges

9.15-10.30 **Sessione E** - Campi di vento

- E.1) *Carassale L., Pagnini L.C., Solari G.* Modellazione della coerenza atmosferica per la valutazione del carico da vento su strutture di grande luce
- E.2) *Carassale L., Solari G.* Simulazione Monte Carlo della velocità del vento su strutture complesse
- E.3) *de Franceschi M., Zardi D.* Caratterizzazione della turbolenza atmosferica in valli Alpine
- E.4) *Falsone G.* Caratterizzazione dei filtri corrispondenti al processo aleatorio multivariato della velocità del vento
- E.5) *Mammarella I., Tampieri F., Maurizi A.* Spettri longitudinali del vento nello strato superficiale dell'atmosfera

10.30-11.00 **Coffee Break**

11.00-13.00 **Presiedono** *G. Gaudiosi e F. Tampieri*

Sessione F – Energia eolica – Diffusione in atmosfera

- F.1) *Azzoni A., Morganti E.* Approccio Enel nella progettazione degli impianti eolici
- F.2) *Battisti L., Brighenti A., Dal Savio S., Dell'Anna S.* A method for the evaluation of anti-icing energy requirement for wind turbines in cold climates
- F.3) *Borri C., Mirto F.* Problemi strutturali dei generatori eolici di grandi dimensioni
- F.4) *Capobianco D., Cenedese A., Serafini G.* Simulazione numerica dello strato limite convettivo
- F.5) *Carpentieri M., Corti A., Procino L.* Studio della dispersione di traccianti gassosi emessi da modelli in scala ridotta di discariche
- F.6) *Donateo A., Contini D., Belosi F.* Flussi verticali turbolenti di traccianti passivi e PM2.5 nello Strato Limite Superficiale
- F.7) *Georgieva E., Canepa E., Ratto C.* Modification of the SAFE_AIR II dispersion code for urban applications

13.00-14.30 **Pranzo**

14.30-16.15 **Presiedono** *M. Di Paola e G. Solari*

Sessione G - Dinamica

- G.1) *Materazzi A.L., Venanzi I.* Progettazione ottimale di strutture flessibili esposte all'azione del vento
- G.2) *Mazza F., Vulcano A.* Analisi comparativa della risposta dinamica di strutture in acciaio con dissipatori viscoelastici soggette ad azioni eoliche o sismiche
- G.3) *Occhiuzzi A., Spizzuoco M., Serino G.* Controllo delle vibrazioni indotte sulle passerelle dal traffico pedonale attraverso TMD semi-attivi

- G.4) *Palmeri A., Ricciardelli F.* Lo stato limite di fatica nelle strutture a comportamento viscoelastico soggette all'azione del vento
- G.5) *Pizzimenti A.D., Ricciardelli F.* La sincronizzazione: le lezioni dell'ingegneria del vento e la loro applicazione all'interazione folla-struttura
- G.6) *Spina G., Ramundo F.* Un sistema ottimale di controllo delle vibrazioni
- G.7) *Gattulli V., Martinelli L., Perotti F., Vestroni F.* Non-linear dynamic response of suspended cables under turbulent wind excitation: analytical and numerical approaches

16.15-16.45 Coffee Break

16.45-18.30 Sessione Tematica H: Dominare il rischio eolico ed assicurare il funzionamento di impianti ed infrastrutture

16.45-17.40 **Presiede C. Borri**

C. Borri Introduzione

G. Bartoli I sistemi ad estensione verticale

F. Ricciardelli I sistemi orizzontali ed i cavi

V. Sepe Il vento in ambiente urbano

Discussione

17.40-18.20 **Moderatore P. D'Asdia**

Tavola Rotonda su "Aspetti normativi ed impatto professionale della ricerca in Ingegneria del vento"

Intervengono: *G. Solari*

M. Majowiecki

P. Spinelli

Discussione plenaria e considerazioni conclusive, *G. Augusti*

18.20-19.30 Assemblea dei soci ANIV

MERCOLEDÌ 23 GIUGNO

8.30-10.30 **Presiedono** *G. Augusti e G. Piccardo*

8.30-9.15 Relazione ad invito

Francesco Mallamace, Il vento nel contesto della fisica dei sistemi complessi

9.15-10.30 **Sessione I - Dinamica**

- I.1) *Bartoli G., Cluni F., Gusella V., Procino L.* Dinamica del cavo sotto l'azione del vento: analisi sperimentale in galleria del vento
- I.2) *Gioffrè M., Gusella V., Materazzi A.L., Venanzi I., Morbidoni S. Frontoni A.*, Modelli e verifiche sperimentali per l'ottimizzazione di strutture removibili per reti di telefonia
- I.3) *Borri C., Costa C.* Numerical simulation of buffeting forces in bridge deck aerodynamics via indicial function
- I.4) *Repetto M.P., Robertson A.P., Solari G.* Experimental full-scale validation of alongwind-induced fatigue bi-modal method
- I.5) *Sepe V., Bartoli G.* Il ruolo delle misure di vento nell'identificazione strutturale

10.30-11.00 **Coffee Break**

11.00-13.00 **Presiedono** *G. Larose e G. Bartoli*

Sessione L - Ponti

- L.1) *Diana G., Resta F., Belolli M., Rocchi D.* Un modello numerico atto a riprodurre il forzamento da distacco di vortici su impalcati di ponti sospesi
- L.2) *Noè S., Sepe V., Sibilio E., Ciampoli M.* A vortex-shedding model for free and controlled oscillations of bridges
- L.3) *Recupero A., Ricciardi G.* Comportamento non lineare degli stralli da ponte nello studio dei fenomeni di fatica
- L.4) *Resta F., Belolli M., Tosi A., Muggiasca S.* Sul comportamento aerodinamico del Ponte sullo Stretto di Messina in presenza di traffico
- L.5) *Salvatori L., Spinelli P.* Influenza delle non-linearità strutturali sulla risposta dei ponti sospesi all'azione eolica: simulazioni numeriche su strutture semplificate
- L.6) *Zasso A., Rocchi D., Tosi A.* Effetto Reynolds in prove in galleria del vento su modelli sezionali di ponte
- L.7) *Hernández S., Jurado J.A.* Computer Animations of the Aeroelastic Behaviour of the Proposed Messina Bridge

13.00-14.30 **Pranzo**

14.30-16.15 **Presiedono** *F. Mallamace e S. Noè*

Sessione M - Metodi numerici per l'Ingegneria del Vento

- M.1) *Bruno L., Tubino F., Solari G.* Determinazione delle funzioni di ammettenza aerodinamica di corpi aerodinamici: l'approccio indiciale via CWE
- M.2) *Bruno L., Tubino F., Solari G.* Determinazione delle funzioni di ammettenza aerodinamica di impalcati da ponte attraverso la CWE
- M.3) *Biagini P., Facchini L.*, Analisi dell'affidabilità di strutture non lineari mediante il metodo della riduzione modale- il caso di una torre di raffreddamento sotto carico da vento

- M.4) *Facchini L., Orlando M., Pastò S.* Caratterizzazione statistica del carico eolico e analisi dinamica non lineare della risposta di una torre di raffreddamento in c.a.
- M.5) *Salvatici E., Camarri S., Salvetti M.V.* Towards the numerical simulation of bluff-body flows through POD reduced-order models
- M.6) *Ricciardelli F., de Grenet E.T.* Considerazioni sull'applicazione della Decomposizione Ortogonale ai carichi da vento
- M.7) *Noè S., Fathi S., D'Asdia P.* Modello analitico per la stima della ampiezza di oscillazione per distacco dei vortici

16.15-16.45 **Presiedono** *P. Spinelli e F. Ricciardelli*

Chiusura del convegno

Sessione poster

- [a] *Barbaro G., Fiamma V., Piscopo R.*
Il calcolo della forza massima prodotta dalle onde di mare sulle strutture marittime
- [b] *Bartoli G., Belardi P., Bonci A., Gioffrè M., Gusella V., Procino L.*
Integrazione della componente ventosa nella costruzione dell'ambiente: tecniche PIV e visualizzazioni di superficie
- [c] *Bartoli G., Borri C., Pastò S.*
Vortex-induced vibrations of slender structures with circular cross-section: numerical model and fatigue assessment
- [d] *Bocciolone M., Cheli F., Corradi R., Muggiasca S., Tomasini G.*
Approccio numerico-sperimentale per la stima degli effetti del vento trasversale sulla dinamica di un veicolo ferroviario ad assetto variabile
- [e] *Brigante M., Fabbrocino F., Pasquino M.*
Semi- Active Control of Structures with Piezoelectric Actuators and Sensors
- [f] *Cambuli F., Fuliotto R., Mandas N.*
Simulazione numerica del flusso su un impalcato da ponte per la valutazione delle derivate aerodinamiche
- [g] *Carril C.F. Jr., Jabardo P.J.S., Nader G., Pereira M.T.*
Study of the wind forces on the Sports and Cultural Events Centre Pe. Vitor Coelho
- [h] *Casella L., Bellecci C., Colacino M., Federico S.*
Test of a methodology for wind climate estimates in Calabria region
- [i] *Castellani F., Franceschini, G.*
Una metodologia per l'elaborazione della mappa eolica della Regione Umbria
- [l] *Cavacece M., Valentini P., Vita L.*
Indagine su una ciminiera multicanale di una centrale termoelettrica mediante un approccio dinamico sperimentale ed un metodo analitico
- [m] *Como M., del Ferraro S., Grimaldi A.*
Sulla valutazione di sintesi della velocità di flutter per i ponti di grande luce
- [n] *Contini D., Donateo A., Belosi F.*
Valutazione dell'accuratezza delle misure di vento e turbolenza mediante anemometri ultrasonici
- [o] *Di Paola M., Sofi A.*
Continuous Version of AR Model for Simulating Time-Histories of Wind Actions
- [p] *Facchini L.*
Filtri AR non lineari per la simulazione di carichi da vento non Gaussiani
- [q] *Praticò F.G.*
Combinazioni di carico vento-irregolarità ed interazione pneumatico-pavimentazione: indagine teorico-sperimentale

- [r] *Procino L., Contini, D.*
Comparazione fra campo di moto e mappe di concentrazione degli inquinati emessi da gallerie stradali in zona collinare
- [s] *Taddei D., Giuliano F.*
Valutazione con modelli numerici della risposta aerodinamica ed aeroelastica di ponti di grande luce

INDICE

INDICE

Parte I: Relazioni ad invito

<i>Chris Baker</i> The overturning of road and rail vehicles in high wind	3
<i>Guy Larose</i> On the Reynolds number sensitivity of the aerodynamics of bluff bodies with sharp edges	5
<i>Francesco Mallamace</i> La fisica del vento nel contesto dei sistemi complessi	7

Parte II: Memorie scientifiche

<i>Azzoni A., Morganti E.</i> Approccio Enel nella progettazione degli impianti eolici	11
<i>Barbaro G., Fiamma V., Piscopo R.</i> Il calcolo della forza massima prodotta dalle onde di mare sulle strutture marittime	13
<i>Bartoli G., Belardi P., Bonci A., Gioffrè M., Gusella V., Procino L.</i> Integrazione della componente ventosa nella costruzione dell'ambiente: tecniche PIV e visualizzazioni di superficie	15
<i>Bartoli G., Borri C., Pastò S.</i> Vortex-induced vibrations of slender structures with circular cross-section: numerical model and fatigue assessment	17
<i>Bartoli G., Cluni F., Gusella V., Procino L.</i> Dinamica del cavo sotto l'azione del vento: analisi sperimentale in galleria del vento	19
<i>Bartoli G., Righi M.</i> Some results on flutter behaviour of rectangular prisms in smooth and turbulent wind flow.	21
<i>Battisti L., Brighenti A., Dal Savio S., Dell'Anna S.</i> A method for the evaluation of anti-icing energy requirement for wind turbines in cold climates	23
<i>Betti M., Borri C., Facchini L., Volpi S.</i> Caratterizzazione e simulazione del campo di pressioni su una copertura aperta di grande luce (nuovo stadio di Manfredonia)	25
<i>Biagini P., Borri C., Majowiecki M., Orlando M., Procino L.</i> Prove sperimentali e carichi di progetto della copertura del nuovo stadio olimpico del Pireo	27
<i>Biagini P., Facchini L.</i> Analisi dell'affidabilità di strutture non lineari mediante il metodo della riduzione modale - il caso di una torre di raffreddamento sotto carico da vento	29

<i>Bocciolone M., Cheli F., Corradi R., Muggiasca S., Tomasini G.</i> Approccio numerico-sperimentale per la stima degli effetti del vento trasversale sulla dinamica di un veicolo ferroviario ad assetto variabile	31
<i>Bocciolone M., Collina A., Diana G., Rocchi D., Tosi A.</i> Azioni ed effetti del vento sulla copertura dello stadio di Braga: prove in galleria del vento su modello deformabile	33
<i>Borri C., Costa C.</i> Numerical simulation of buffeting forces in bridge deck aerodynamics via indicial functions	35
<i>Borri C., Majowiecki M., Ossola F., Bartoli G., Orlando M., Procino L.</i> Prove sperimentali in galleria del vento ed azioni dinamiche di progetto sulla nuova copertura dello stadio delle Alpi di Torino	37
<i>Borri C., Mirto F.</i> Problemi strutturali dei generatori eolici di grandi dimensioni	39
<i>Brigante M., Fabbrocino F., Pasquino M.</i> Semi- Active Control of Structures with Piezoelectric Actuators and Sensors	41
<i>Bruno L., Tubino F., Solari G.</i> Determinazione delle funzioni di ammettenza aerodinamica di corpi aerodinamici: l'approccio indiciale via CWE	43
<i>Bruno L., Tubino F., Solari G.</i> Determinazione delle funzioni di ammettenza aerodinamica di impalcati da ponte attraverso la CWE	45
<i>Camarri S., Salvetti M.V., Buresti G.</i> Large-eddy simulations of the flow around a finite-length triangular prism	47
<i>Cambuli F., Fuliotto R., Mandas N.</i> Simulazione numerica del flusso su un impalcato da ponte per la valutazione delle derivate aerodinamiche	49
<i>Capobianco D., Cenedese A., Serafini G.</i> Simulazione numerica dello strato limite convettivo	51
<i>Carassale L., Freda A., Piccardo G.</i> Un modello quasi statico per l'analisi di cilindri circolari comunque inclinati rispetto al vento	53
<i>Carassale L., Pagnini L.C., Solari G.</i> Modellazione della coerenza atmosferica per la valutazione del carico da vento su strutture di grande luce	55
<i>Carassale L., Solari G.</i> Simulazione Monte Carlo della velocità del vento su strutture complesse	57
<i>Carpentieri M., Corti A., Procino L.</i> Studio della dispersione di traccianti gassosi emessi da modelli in scala ridotta di discariche	59

<i>Carril C.F. Jr., Jabardo P.J.S., Nader G., Pereira M.T.</i> Study of the wind forces on the Sports and Cultural Events Centre Pe. Vitor Coelho	61
<i>Casella L., Bellecci C., Colacino M., Federico S.</i> Test of a methodology for wind climate estimates in Calabria region.	63
<i>Castellani F., Franceschini G.</i> Una metodologia per l'elaborazione della mappa eolica della Regione Umbria	65
<i>Cavacece M., Valentini P., Vita L.</i> Indagine su una ciminiera multicanale di una centrale termoelettrica mediante un approccio dinamico sperimentale ed un metodo analitico	67
<i>Ciampoli M., Imbrenda A., Paulotto C., Procino L.</i> Analisi del confort pedonale: confronto tra i risultati forniti dalla visualizzazione del flusso con film d'olio e quelli ottenuti mediante l'impiego della tecnica PIV	69
<i>Como M., del Ferraro S., Grimaldi A.</i> Sulla valutazione di sintesi della velocità di flutter per i ponti di grande luce	71
<i>Contini D., Donateo A., Belosi F.</i> Valutazione dell'accuratezza delle misure di vento e turbolenza mediante anemometri Itrasonici	73
<i>Cosentino N., Majowiecki M.</i> Analisi e mitigazione della risposta all'azione del vento di una copertura di grande luce	75
<i>D'Asdia P., Sepe V., Cavallari L.</i> Rilevanza delle azioni eoliche sulla progettazione di abitazioni di emergenza	77
<i>de Franceschi M., Zardi D.</i> Caratterizzazione della turbolenza atmosferica in valli Alpine	79
<i>de Grenet E.T., Ricciardelli F.</i> Effetto del regime di vibrazione sulla correlazione longitudinale delle pressioni su un prisma a sezione rettangolare	81
<i>Di Paola M., Sofi A.</i> Continuous Version of AR Model for Simulating Time-Histories of Wind Actions	83
<i>Diana G., Resta F., Belolli M., Rocchi D.</i> Un modello numerico atto a riprodurre il forzamento da distacco di vortici su impalcati i ponti sospesi	85
<i>Donateo A., Contini D., Belosi F.</i> Flussi verticali turbolenti di traccianti passivi e PM2.5 nello Strato Limite Superficiale	87
<i>Facchini L., Orlando M., Pastò, S.</i> Caratterizzazione statistica del carico eolico e analisi dinamica non lineare della risposta di una torre di raffreddamento in c.a.	89
<i>Facchini L.</i> Filtri AR non lineari per la simulazione di carichi da vento non Gaussiani	91

<i>Falsone G.</i> Caratterizzazione dei filtri corrispondenti al processo aleatorio multivariato della velocità del vento	93
<i>Fossati F., Zasso A.</i> Analisi delle caratteristiche del flusso per prove di imbarcazioni a vela in galleria del vento su modello in scala	95
<i>Gattulli V., Martinelli L., Perotti F., Vestroni F.</i> Non-linear dynamic response of suspended cables under turbulent wind excitation: analytical and numerical approaches	97
<i>Georgieva E., Canepa E., Ratto C.</i> Modification of the SAFE_AIR II dispersion code for urban applications	99
<i>Gioffrè M., Gusella V., Materazzi A.L., Venanzi I., Morbidoni S., Frontoni A.</i> Modelli e verifiche sperimentali per l'ottimizzazione di strutture removibili per reti di telefonia	101
<i>Hernández S., Jurado J.A.</i> Computer Animations of the Aeroelastic Behaviour of the Proposed Messina Bridge	103
<i>Lazzari M., Rossi R., Majowiecki M., Saetta A.</i> Aeroelastica di una grande copertura sospesa	107
<i>Lazzari M., Saetta A., Vitaliani R.</i> Analisi aeroelastica di ponti nel tempo: i ponti a nastro teso	109
<i>Malavasi S., Vanali M.</i> Effetti di parete sullo Strouhal di un cilindro rettangolare	111
<i>Mammarella I., Tampieri F., Maurizi A.</i> Spettri longitudinali del vento nello strato superficiale dell'atmosfera	113
<i>Materazzi A.L., Venanzi I.</i> Progettazione ottimale di strutture flessibili esposte all'azione del vento	115
<i>Mazza F., Vulcano A.</i> Analisi comparativa della risposta dinamica di strutture in acciaio con dissipatori viscoelastici soggette ad azioni eoliche o sismiche	117
<i>Noè S., Fathi S., D'Asdia P.</i> Modello analitico per la stima della ampiezza di oscillazione per distacco dei vortici	119
<i>Noè S., Sepe V., Sibilio E., Ciampoli M.</i> A vortex-shedding model for free and controlled oscillations of bridges	121
<i>Occhiuzzi A., Spizzuoco M., Serino G.</i> Controllo delle vibrazioni indotte sulle passerelle dal traffico pedonale attraverso TMD semi-attivi	123
<i>Pagnini L.C.</i> Modellazione dei parametri dinamici degli edifici per lo studio della sicurezza strutturale all'azione del vento	125

<i>Palmeri A., Milicia R.</i> Una formulazione nello spazio degli stati per la stabilità aeroelastica di sezioni da ponte	127
<i>Palmeri A., Ricciardelli F.</i> Lo stato limite di fatica nelle strutture a comportamento viscoelastico soggette all'azione del vento	129
<i>Pastò S., Noè S., Bartoli G., Fathi S.</i> Oscillazioni across-wind di un cilindro circolare in condizioni di flusso turbolento	131
<i>Paulotto C., Ciampoli M., Augusti G.</i> Azione del vento in ambiente urbano: analisi teorica e sperimentale	133
<i>Pizzimenti A.D., Ricciardelli F.</i> La sincronizzazione: le lezioni dell'ingegneria del vento e la loro applicazione all'interazione folla-struttura	135
<i>Praticò F.G.</i> Combinazioni di carico vento-irregolarità ed interazione pneumatico-pavimentazione: indagine teorico-sperimentale	137
<i>Procino L., Contini D.</i> Comparazione fra campo di moto e mappe di concentrazione degli inquinati emessi da gallerie stradali in zona collinare	139
<i>Pucinotti R., Ricciardelli F.</i> Influenza delle caratteristiche del vento a bassa quota sul progetto di elementi di arredo urbano a struttura metallica	141
<i>Recupero A., Ricciardi G.</i> Comportamento non lineare degli stralli da ponte nello studio dei fenomeni di fatica	143
<i>Repetto M.P., Robertson A.P., Solari G.</i> Experimental full-scale validation of alongwind-induced fatigue bi-modal method	145
<i>Resta F., Belolli M., Tosi A., Muggiasca S.,</i> Sul comportamento aerodinamico del Ponte sullo Stretto di Messina in presenza di traffico	147
<i>Ricciardelli F., de Grenet E. T.</i> Considerazioni sull'applicazione della Decomposizione Ortogonale ai carichi da vento	149
<i>Ricciardelli F., Polimeno S.</i> Analisi delle caratteristiche dei campi di vento a bassa quota in ambiente urbano	151
<i>Salvatici E., Camarri S., Salvetti M.V.</i> Towards the numerical simulation of bluff-body flows through POD reduced-order models	153
<i>Salvatori L., Spinelli P.</i> Influenza delle non-linearità strutturali sulla risposta dei ponti sospesi all'azione eolica: simulazioni numeriche su strutture semplificate	155

<i>Sepe V., Bartoli G.</i> Il ruolo delle misure di vento nell'identificazione strutturale	157
<i>Sepe V., D'Asdia P., Carusi P.</i> Rilievo sperimentale dei campi di vento in ambiente urbano	159
<i>Spina G., Ramundo F.</i> Un sistema ottimale di controllo delle vibrazioni	161
<i>Taddei D., Giuliano F.</i> Valutazione con modelli numerici della risposta aerodinamica ed aeroelastica di ponti di grande luce	163
<i>Zahlten W., Salvatori L., Borri C.</i> Indicial Functions or Flutter Derivatives: An Evaluation for Time Domain simulations	165
<i>Zasso A., Giappino S., Muggiasca S.</i> Effetto del vento su strutture architettoniche complesse: influenza del numero di Reynolds	167
<i>Zasso A., Rocchi D., Tosi A.</i> Effetto Reynolds in prove in galleria del vento su modelli sezionali di ponte	169

PARTE I
RELAZIONI AD INVITO

The overturning of road and rail vehicles in high winds

Chris Baker^a

^a School of Engineering, University of Birmingham, Edgbaston, Birmingham, United Kingdom
B15 2TT

ABSTRACT

This paper gives an overview of recent research to investigate the problem of road and rail vehicles overturning in high winds. This problem is becoming of some importance, with a significant number of road vehicle overturning accidents each year in most developed countries in temperate regions, and an increasing concern about the stability of the new generation of lightweight high speed trains in high crosswinds. There are four major aspects of work involved in the study of this problem, and these will be considered briefly below and in greater detail in the full paper. These aspects are as follows.

- Risk calculation – the assessment of the likelihood of a wind induced accident, usually expressed in probabilistic terms, in order that the need for remedial measures of some sort can be assessed.
- Vehicle aerodynamics – the determination of the cross wind aerodynamic characteristics of road and rail vehicles, which are required in any risk calculation.
- Wind characteristics – the determination of the exposure of the route over which the vehicles will run, which can range from a few hundred metres of exposed bridge deck to a complete highway or railway route of several hundred kilometres.
- Alleviation methods – the specification of methods for reducing accident risk to an acceptable level, either through vehicle control methods (closure of route, reduction of speed etc) or through various types of wind shielding.

When considering the problem of train overturning, it is usually necessary to obtain some sort of assessment of the risk of an accident occurring, before suitable alleviation methods can be specified. As trains only usually overturn at high gust speeds (>40m/s approximately) annual predicted risks are usually quite low in absolute terms, and it is necessary to consider extreme wind conditions. The usual approach adopted for the determination of the risk of overturning accidents of trains is firstly to determine the accident wind speed for the train for a variety of wind speeds and directions, usually on the basis of wind tunnel measurements and a mechanical model of the train system that allows for cant, curvature etc. Then the route is divided up into a number of topographically homogeneous sections. For the normal train operating speed at each site, the probability that accident wind speed is exceeded is given by the sum, over all wind directions, of the probability that wind speed is greater than the accident wind speed. The probability of an accident at each site is then given by the probability that the accident wind speed is exceeded, multiplied by the probability that the train is in the section. The total probability is then obtained from the sum of accident probabilities at each site. Wind induced road vehicle accidents occur at significantly lower wind speeds than rail vehicle overturning accidents. Because these accident wind speeds are around 20m/s, then a consideration of extreme wind speeds is not appropriate, and the risk has to be estimated from lower wind speed statistics. In general the assessment of accident risk begins with some sort of mechanical model of the vehicle / wind systems, which takes into account tyre and suspension dynamics Aerodynamic

force and moment coefficient data from wind tunnel tests is used in this model, and sometimes a model of driver behaviour is also used. The model can then be used to predict overturning wind speed for a variety of vehicle speeds and wind directions. For the prediction of course deviation accidents, calculations have to be carried out in the time domain and the nature of the driver behaviour model is critical. An assessment can then be made as to how often this accident wind speed will be exceeded, usually based on the use of the parent wind speed distribution for hourly mean wind speeds for the site concerned, (the Weibull distribution) together with a relationship between mean and gust velocity. This gives an indication as to whether or not remedial action is required.

For the calculation of train overturning wind speed, only one aerodynamic parameter is actually required – the rolling moment coefficient about the lee rail. However in the determination of this parameter it is usual to determine the side and lift force coefficients, and the moment about the centre of the wind tunnel balance, and to use these parameters to derive the lee rail rolling moment coefficient. Road vehicle calculations by contrast require all six aerodynamic force and moment coefficients to be specified. Different types of wind tunnel test can be used to determine these coefficients. The simplest are static low turbulence tests, where the vehicle model is mounted statically within an aeronautical wind tunnel and the forces measured with a conventional wind tunnel balance. These tests have the advantage of simplicity and low cost, but make no attempt to model atmospheric conditions. More complex tests can be carried out with static models mounted in an environmental wind tunnel in which a simulation of the atmospheric turbulence has been set up. Strictly static tests such as these only represent static full scale vehicles. However the wind tunnel velocity and direction can be taken to represent the wind velocity and direction relative to the moving vehicle to a first approximation. The proper simulation of the movement of vehicles over the ground requires the use of a moving model experiment, which are both complex and costly and have not often been carried out.

In the calculation of reference wind speeds required for the calculation of accident risk, it is normal to use methods such as those outlined in wind loading codes of practice. These usually take the form of a base wind speed multiplied by a number of factors. At any one particular site it is not always straightforward to assign accurate values to each of the above parameters, and, even if the base wind speed from meteorological data can be taken to be accurate (which is regrettably not always the case), then the final wind speed that is calculated may be in significant error.

In high winds it is usual to either impose speed limits on vehicles (which is the normal situation for high speed trains), such that the risks are brought down to an acceptable level, or to restrict vehicle movement altogether, which is usually the case for exposed highways or bridges. The first method in particular requires a robust signalling system that can be guaranteed to function in high wind speed conditions, coupled with an accurate prediction of future wind speeds. The latter is far from straightforward, and a delicate balance must be struck between a system that always identifies dangerous wind conditions, and one that does not give too many false alarms. The method of controlling whether or not traffic can pass over exposed sites is more straightforward, and has been implemented on a large number of bridges. The effects of cross winds can also be significantly reduced through the use of wind fences to protect the trains or lorries. Essentially the vehicle operates in the low speed wake of the fences. It has been found by many experimenters that 50% porous wind fences offer the greatest protection. Such fences produce the greatest extent of reduced velocity in their wake, and also minimise any large scale wake unsteadiness that might otherwise cause problems.

As well as addressing the above issues, the full paper will also include a full survey of current work around the world and a discussion of outstanding issues, and recommendations will be made for future work.

On the Reynolds number sensitivity of the aerodynamics of bluff bodies with sharp edges

Guy L. Larose^a and Annick D'Auteuil^b

^a Aerodynamics Laboratory, National Research Council Canada, Ottawa, CANADA

^b Department of Civil Engineering, University of Ottawa, Ottawa, CANADA

KEYWORDS: Wind-structure interactions, Reynolds number, Bluff body

ABSTRACT

The Reynolds number is a similitude parameter that generally needs to be respected for a model-scale laboratory experiment involving fluid mechanics to be representative of full-scale conditions. It expresses the ratio of the inertia force to the viscous force of a particle of fluid on an element. At high Reynolds number, inertia forces dominate over the fluid viscous forces. At low Reynolds number, viscous forces can play a determinant role on the aerodynamics. However, the general belief is that bluff bodies with sharp edges such as bridge decks and towers, buildings and many structural members can have aerodynamic characteristics almost insensitive to Reynolds number as reported by Prandtl and Tietjens (1934) as long as a Reynolds number of a few thousand is reached. It is believed that the sharp edges define well the onset of the flow separation, and flow re-attachment may or may not occur but if it does, it might not be affected by Reynolds number.

This similitude parameter is thus generally relaxed in wind engineering studies where the effects of wind on buildings and bridges are investigated on models at Reynolds number one or two orders of magnitude lower than in full scale. Recent experiments at high Reynolds number and comparisons between full-scale and model-scale experiments have indicated that there can be several limitations to this belief (for bridge decks see Schewe and Larsen, 1998; Kubo *et al.*, 1999; Matsuda *et al.*, 2001 and for a low-rise building see Hoxey *et al.*, 1998). The aerodynamic characteristics of a body tested at low Reynolds numbers such as its drag and lift coefficient or its Strouhal number have been shown to be different from the high Reynolds number values defining what is called *Reynolds number effects*. It is argued that the presence or the extent of the re-attachment regions is a function of Reynolds number as well as a function of the turbulence in the flow. Depending on the Reynolds number regime, the static force coefficients, the characteristic shedding frequency and the patterns of unsteady surface pressures could be affected.

As a consequence, the issue of Reynolds number sensitivity is now often raised in the planning of the aerodynamic studies carried out to support the design of bridge decks and other components of cable-supported structures, see for example Larose *et al.*, 2003 for the deck of the Stonecutters Bridge (Figure 1). Of particular interest is the accurate prediction of the Strouhal number for the cross-section investigated. This is important since a vortex-shedding mitigation strategy could consist to push, using aerodynamic appendages, the critical velocity for potential lock-in to higher wind speed having lower probability of occurrence. The possible influence of Reynolds number on the amplitude of vibrations during lock-in is also of interest.

Experiments specifically aimed at studying Reynolds number effects for bluff bodies with sharp edges have been carried out at the National Research Council Canada. They have been done on large sectional models in a large wind tunnel or on smaller models in a pressurised wind tunnel. One of the latter studies (Larose and D'Auteuil, 2004) focussed on the depiction of Reynolds number effects for cross-sectional shapes used in civil engineering structures and for which Reynolds number similitude would normally be relaxed. Rectangular prisms with fineness ratio (width-to-depth ratio) of 2, 3 and 4 were studied in smooth and turbulent flow for Reynolds number ranging from $0.15 \cdot 10^6$ to $4 \cdot 10^6$. Reynolds number effects were observed as shown in Figure 2.

This paper presents a review of the issues described above and follows with the presentation of a compendium of experimental results that could help define for which cross-sections Reynolds number sensitivity is important and help determine if a minimum Reynolds number exist in some instances.

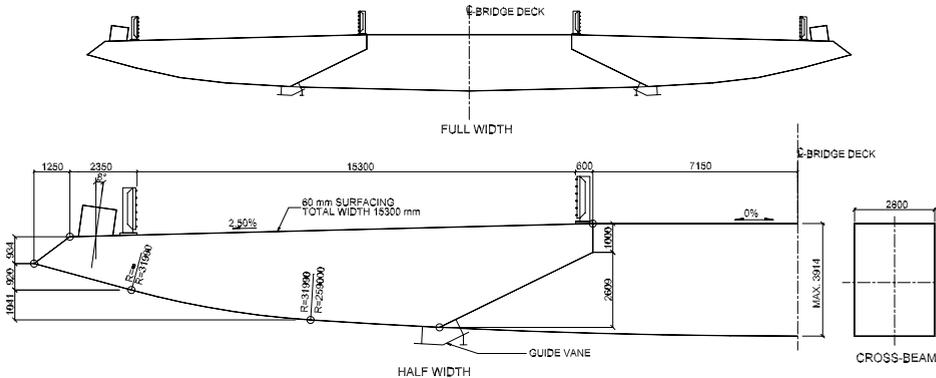


Figure 1. Proposed deck cross-section for the Stonecutters Bridge (dimensions: mm).

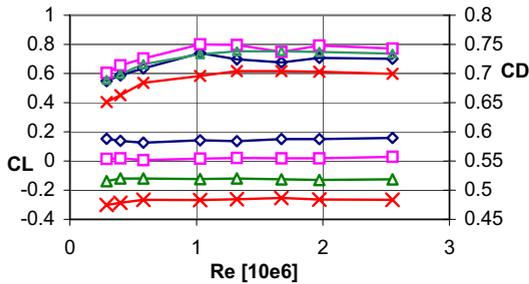


Figure 2. Variations of drag coefficient C_D and lift coefficient C_L with Reynolds number and angle of incidence for a rectangular prism with sharp edges and fineness ratio of 2, Mach no: 0.15, in smooth flow: \diamond : -2° \square : 0° \triangle : 2° \times : 4° .

REFERENCES

- Prandtl L. and O.G. Tietjens (1934). *Applied Hydro and Aeromechanics*, New York, McGraw-Hill.
- Schewe, G. and A. Larsen (1998). Reynolds number effects in the flow around a bluff bridge deck cross section, *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **74-76**, 829-838.
- Matsuda K., K.R. Cooper, H. Tanaka, M. Tokushige and T. Iwasaki (2001). An investigation of Reynolds number effects on the steady and unsteady aerodynamic forces on a 1:10 scale bridge deck model, *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **89**, 619-632.
- Kubo Y., C. Nogami, E. Yamaguchi, K. Kato, Y. Niihara, K. Hayashida (1999). Study on Reynolds number effect of a cable-stayed bridge girder, *Wind Engineering into the 21st Century*, Larsen, Larose & Livesey (eds), Balkema, Rotterdam, Vol. 2, pp. 935-940.
- Hoxey R.P., A.M. Reynolds, G.M. Richardson, A.P. Robertson and J.L. Short (1998). Observations of Reynolds number sensitivity in the separated flow region on a bluff body, *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **73**, 231-249.
- Larose, G.L., S.V. Larsen, A. Larsen, M. Hui and A.G. Jensen (2003). Sectional model experiments at high Reynolds number for the deck of a 1018 m span cable-stayed bridge, in *Proc. of 11th International Conference on Wind Engineering*, Lubbock, Texas, pp. 373-380.
- Larose G. L. and A. D'Auteuil (2004). Experiments on 2-D rectangular prisms at high Reynolds number in a pressurized wind tunnel, to be presented at *5th International Symposium on Bluff Body Aerodynamics and Applications*, Ottawa, Canada, July 11-15.

La fisica del vento nel contesto dei sistemi complessi

Francesco Mallamace

Dipartimento di Fisica della Università di Messina & Department of Nuclear Engineering,
Massachusetts Institute of Technology, Cambridge USA.

PAROLE CHIAVE: Sistemi complessi, turbolenza, frattali, fenomeni critici.

SOMMARIO

I sistemi complessi identificano un nuovo campo di ricerca che intende spiegare in maniera unitaria processi e fenomeni appartenenti a differenti aree quali la fisica, la chimica, la biologia, la matematica, la meteorologia, la medicina, la scienza dei nuovi materiali, l' economia, il caos deterministico, i processi di turbolenza, etc (Mallamace & Stanley 1997,2004). Rivestono quindi un ruolo importante sia nella ricerca pura quanto nella tecnologia. Tali fenomeni in apparenza diversi fra di loro possono essere descritti in maniera unitaria utilizzando gli algoritmi della recente fisica statistica. Per essere più precisi una tale idea si è sviluppata negli ultimi venti anni facendo riferimento al successo ottenuto nello studio dei fenomeni critici o dei sistemi fuori dall' equilibrio termodinamico. I pilastri di tale descrizione sono basati su due concetti: la similarità nelle strutture (o simmetria di scala) e la universalità.

Questi pilastri supportano la concettualizzazione del variegato mondo dei sistemi complessi su di una unica comune rubrica. Mentre la simmetria di scala ha permesso di fare riferimento ad una unica "matematica" (quella dei frattali), la universalità (sia nelle dinamiche quanto nelle strutture) ha permesso una loro descrizione tramite semplici leggi di potenza. Queste leggi descrivono in maniera semplice tutte le diverse fenomenologie a mezzo di variabili che identificano unitariamente i parametri di controllo del processo dinamico e le correlazioni fra le proprietà fondamentali del sistema portando, quindi, a chiare spiegazioni.

Daremo una descrizione delle principali fenomenologie del vento facendo riferimento a questo nuovo approccio statistico utilizzando proprietà dei processi di turbolenza e della dinamica dei sistemi vincolati. Nello specifico, utilizzeremo il concetto matematico del "Levy flight" (o diffusione generalizzata) e mostreremo come le interrelazioni fra vortici e diffusione determinino le sue caratteristiche fondamentali.

Mallamace F. and H.E. Stanley (1997). "The physics of complex systems" IOS press Amsterdam; (2004-in press) "The physics of complex systems (new advances and perspectives)" IOS press Amsterdam.

PARTE II
MEMORIE SCIENTIFICHE

Approccio Enel nella progettazione degli impianti eolici

Elisabetta Morganti, Alessandro Azzoni

Enel - Divisione Generazione ed Energy Management

Sviluppo progetti energie rinnovabili, Bergamo

PAROLE CHIAVE: **Eolico, paesaggio**

SOMMARIO

L'energia eolica sta attraversando una fase di forte espansione in tutto il mondo. Le caratteristiche del territorio italiano sono molto diverse da quelle di altri paesi ed ogni confronto diretto sui criteri di progettazione di impianti eolici spesso si dimostra vano. Molte aree di interesse anemologico, infatti, presentano condizioni estremamente vincolanti per la progettazione di parchi eolici, quali, in primo luogo, l'alta densità abitativa, il valore paesaggistico e la diffusa presenza di beni storico-ambientali da tutelare. Si aggiungono a questi fattori problematiche di tipo geo-morfologico (siti localizzati su stretti crinali, spesso inaccessibili, con poca possibilità di scelta per il posizionamento delle macchine) e un'anemologia in generale estremamente complessa da valutare. La sola rinnovabilità di una fonte energetica non può essere certo sinonimo di compatibilità ambientale. A fronte di un incontestabile beneficio ambientale globale, derivante dall'utilizzo di una sorgente energetica non inquinante in sostituzione dei combustibili fossili, l'impatto locale, anche di una fonte come quella eolica, può essere rilevante e dipende fortemente dalle scelte progettuali.

Le centrali eoliche costituiscono un'opportunità irrinunciabile per fronteggiare i cambiamenti climatici e per valorizzare economicamente le risorse energetiche esistenti sul territorio.

Gli operatori del settore e le Autorità competenti si stanno muovendo su diversi fronti per attuare le azioni adatte a mitigare i risvolti negativi e garantire uno sviluppo armonico della tecnologia eolica.

Tra gli imprenditori industriali Enel, leader mondiale per le rinnovabili, dedica particolare attenzione al corretto inserimento degli impianti eolici sul territorio, consapevole che la sfida per dare continuità allo sviluppo eolico sia strettamente connessa con l'impatto paesaggistico. La progettazione di Enel trova fondamento sia su principi derivati dall'esperienza di anni nel settore della ricerca eolica, sia da una viva apertura verso proposte che arrivano anche al di fuori del mondo eolico.

Il calcolo della forza massima prodotta dalle onde di mare sulle strutture marittime

Barbaro Giuseppe^a, Fiamma Vincenzo^a, Piscopo Riccardo^a

^aDipartimento di Meccanica e Materiali, Via Graziella, Località Feo di Vito, 89100 Reggio Calabria

PAROLE CHIAVE: onda, spettro, forza, struttura.

SOMMARIO

In base alla teoria degli stati di mare generati dal vento (Longuet-Higgins, 1963; Phillips, 1967; Borgman, 1972), l'elevazione d'onda ed il potenziale di velocità in mare aperto possono essere espressi nella seguente forma analitica, al primo ordine di Stokes:

$$\eta(x, y, t) = \sum_{i=1}^N a_i \cos(k_i x \sin \theta_i + k_i y \cos \theta_i - \omega_i t + \varepsilon_i), \quad (1)$$

$$\Phi(x, y, z, t) = g \sum_{i=1}^N a_i \omega_i^{-1} \frac{\cosh[k_i(d+z)]}{\cosh(k_i d)} \sin(k_i x \sin \theta_i + k_i y \cos \theta_i - \omega_i t + \varepsilon_i). \quad (2)$$

Nelle Eq.1 e 2 si è indicato con g l'accelerazione di gravità e con d la profondità del fondo. Inoltre si ipotizza che il numero N delle componenti elementari sia infinitamente grande, le ampiezze a_i siano infinitesime, le frequenze ω_i siano diverse tra loro, le fasi ε_i siano distribuite in modo puramente casuale e gli angoli θ_i siano tali da formare uno spettro direzionale $S(\omega, \theta)$:

$$S(\omega, \theta) \delta\omega \delta\theta \equiv \sum_i \frac{1}{2} a_i^2, \quad (3)$$

per i tale che $\omega < \omega_i < \omega + \delta\omega$ e $\theta < \theta_i < \theta + \delta\theta$.

La forma dello spettro dipende dalla storia della generazione dello stato di mare. Una forma molto caratteristica di spettro per onde di vento su alti fondali è la seguente:

$$S(\omega, \theta) = E(\omega) D(\theta; \omega), \quad (4)$$

dove $E(\omega)$ è lo spettro JONSWAP di frequenza esprimibile nella forma

$$E(\omega) = Ag^2 \omega^{-5} \exp\left[-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^4\right] \exp\left\{\ln \chi_1 \exp\left[-\frac{(\omega - \omega_p)^2}{2\chi_2^2 \omega_p^2}\right]\right\}, \quad (5)$$

e $D(\theta, \omega)$ è la dispersione direzionale

$$D(\theta; \omega) = \left[\int_0^{2\pi} \cos^{2n} \frac{1}{2} \theta d\theta \right]^{-1} \cos^{2n} \left[\frac{1}{2} (\theta - \theta_p) \right], \quad (6)$$

dove

$$n \begin{cases} = n_p (\omega / \omega_p)^5 & \text{se } \omega \leq \omega_p \\ = n_p (\omega / \omega_p)^{-2.5} & \text{se } \omega > \omega_p \end{cases}, \quad (7)$$

ω_p e θ_p sono rispettivamente la frequenza di picco e la direzione dominante dello spettro, A è un parametro dipendente dalle caratteristiche di generazione: estensione del fetch \mathfrak{F} e velocità del vento u

$$A = 0.076 \left(\frac{g\mathfrak{F}}{u^2} \right)^{-0.22}. \quad (8)$$

Come valori tipici di forma dello spettro si possono assumere (Hasselmann et al., 1973; Mitsuyasu, et al., 1975):

$$\chi_1 = 3.3; \quad \chi_2 \begin{cases} = 0.07 & \text{se } \omega \leq \omega_p \\ = 0.09 & \text{se } \omega > \omega_p \end{cases}; \quad n_p = 7.5 \cdot 10^{-3} \left(\frac{g\mathfrak{F}}{u^2} \right)^{0.825}. \quad (9)$$

Ad esempio il calcolo della forza orizzontale istantanea su una trave verticale in mare può essere effettuato per integrazione della forza unitaria (fornita dalla formula di Morison et al., 1950) tra il fondo e la superficie dell'acqua. Il massimo di tale forza si realizza per un istante compreso tra l'istante dello zero up-crossing e l'istante della cresta dell'onda, vale a dire nella fase in cui la componente di inerzia e la componente di drag hanno verso concorde.

BIBLIOGRAFIA

- Borgman L.E. 1972, Statistical models for ocean waves and wave forces, *Advances in Hydroscience*, 8.
- Hasselmann K. et al., 1973, Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP), *Deut. Hydrogr. Zeit*, A-8.
- Longuet-Higgins M.S., 1963. The effects of non linearities on statistical distributions in the theory of sea waves, *J. Fluid Mechanics*, 17.
- Mitsuyasu H. et al., 1975. Observation of directional spectrum of ocean waves using a clover-leaf buoy, *Journal Phys. Oceanogr.*, 5, 750-760.
- Morison J.R. et al., 1950. The forces exerted by surface waves on piles, *Petroleum Trans.*, 189, 149-156.
- Phillips G.M., 1967. The theory of wind generated waves, *Advances in Hydroscience*, 4, 119-149. E., Scanlan R. (1996). *Wind effects on Structures*. John Wiley & Sons, New York

Integrazione della componente ventosa nella costruzione dell'ambiente: tecniche PIV e visualizzazioni di superficie

G. Bartoli^a, P. Belardi^b, A. Bonci^b, M. Giofrè^b, V. Gusella^b, L. Procino^a

^aCRIACIV-DIC Boundary-Layer Wind Tunnel, Prato

^bDipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Perugia, Perugia

PAROLE CHIAVE: comfort pedonale, parcheggi, piazze, galleria del vento, visualizzazioni, PIV

SOMMARIO

Il vento è sempre storicamente intervenuto nella costruzione delle città, degli spazi aperti come degli edifici. A partire dagli esempi delle città etrusche, passando per le indicazioni esplicite dei trattati di Vitruvio, L. B. Alberti, A. Palladio, i salutari benefici della circolazione dell'aria e la prevenzione dei disagi causati dai venti forti, contribuiscono alla costruzione consapevole dell'ambiente, insieme con l'illuminazione solare e le condizioni meteorologiche generali [1].

E' probabilmente con l'avvento del modernismo, segnato negli epigoni dalla generica disattenzione alle particolarità locali e l'incontrastata fiducia nel potere delle risorse energetiche passive e nei rimedi correttivi, che il clima locale comincia ad influire meno drasticamente nella costruzione dell'architettura e delle città.

Grazie ad una sensibilità crescente nei confronti della sostenibilità ambientale, al progresso della tecnologia e parallelamente allo sviluppo di modelli matematici affidabili in grado di simulare efficacemente il comfort ambientale negli spazi aperti, la galleria del vento diventa un ottimo strumento per la valutazione delle problematiche legate alla costruzione di spazi ospitali [2,3,4].

Il presente studio è stato condotto integrando diverse specificità disciplinari e si riferisce alla realtà urbana di Todì. L'area in esame è una piazza adiacente alle mura medievali e a ridosso di una zona piuttosto ripida e scoscesa, particolarmente esposta a raffiche di vento. Nella progettazione della piazza si sono voluti ottimizzare tutti gli aspetti legati alla vivibilità del sito.

Si è quindi scelto di procedere attraverso l'esecuzione di prove in galleria del vento per poter stimare l'effettivo livello di disagio nel sito (a livello pedonale) e per valutare l'efficacia delle soluzioni architettoniche fin dalle fasi iniziali del progetto.

La sperimentazione in galleria del vento è stata effettuata su un modello che riproduce in scala 1:75 l'area di interesse (Fig. 1). Questo fattore di scala si è reso necessario per riuscire a riprodurre la zona da investigare senza perdere troppo dettaglio e ottenere la possibilità di effettuare misurazioni di buona qualità. Il flusso incidente pertanto non rispecchia correttamente le regole di scalatura con lo strato limite reale. E' da notare comunque che difficilmente sarebbe possibile riprodurre tale condizione data la complessa orografia del sito. Le prove sono state condotte in condizioni di flusso laminare e turbolento omogeneo. Quest'ultima configurazione è stata realizzata posizionando delle griglie di turbolenza a monte del modello. Per arrivare a definire il campo di moto, sono state effettuate delle visualizzazioni di flusso al suolo ed in aria (Fig. 2) utilizzando varie tecniche fra le quali la PIV, l'anemometria a filo caldo e la pellicola viscosa sul suolo della zona di interesse.

I risultati mostrano come tali tecniche possano individuare un metodo avanzato a supporto dell'architettura perché recuperi l'attenzione alla componente ventosa nella costruzione dell'ambiente nel rispetto dell'ospitalità del sito.



Figura 1. Vista del modello in galleria del vento.

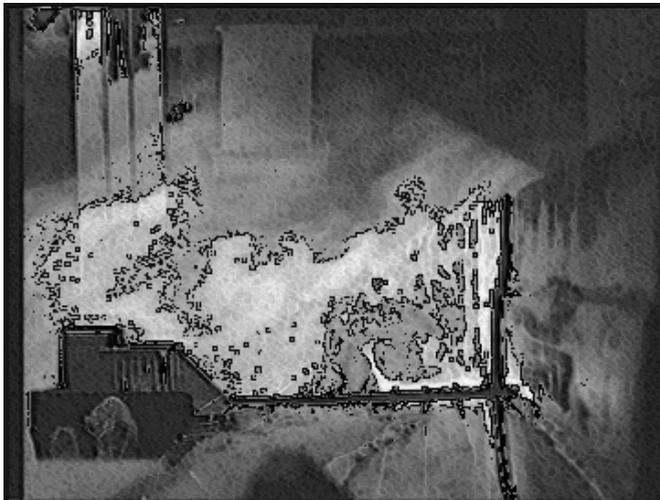


Figura 2. Elaborazione di un fotogramma delle visualizzazioni di flusso.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Buono M. (1998). *L'architettura del vento. Soluzione tecnologiche di raffrescamento passivo*, CLEAN; Napoli
- [3] Dezsö- Weidinger G., M. Massini, van Beeck J. (2003). *Pedestrian wind comfort, approach by PIV and sand erosion*, Physmod
- [2] Cataldo J., Durañona V. (2003). *Wind comfort technique study*, Physmod
- [4] Simiu E., Scanlan R. (1996). *Wind effects on Structures*. John Wiley & Sons, New York

Vortex-Induced Vibrations of Slender Structures with Circular Cross-Section: Numerical Model and Fatigue Assessment

Gianni Bartoli , Claudio Borri & Stefano Pastò

CRIACIV¹, c/o Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Firenze, Firenze

PAROLE CHIAVE: Lock-In, Across-Wind Oscillations, Slender Structures, Fatigue

SUMMARY

The dynamic response of slender structures with circular cross sections immersed into the atmospheric boundary layer involves complex fluid-structure interactions. Usually, it's convenient to treat the response in the along-wind and across-wind directions separately. In the former case, the theory for calculating response has been relatively well developed, since the dominant source of excitation concerns the buffeting mechanism. In comparison, a theory for the across-wind response has proved to be more difficult to develop, because several mechanisms play a significant role in defining across-wind forces. The principal source of excitation arises from vortex shedding, but if the structures is allowed to vibrate, a complex resonance behaviour, involving a frequency band close to structural frequency, leads to additional self-induced and self-limited forces. In particular, when vortices are shed alternately from a flexible or elastically mounted cylinder, it is subjected to an across-wind oscillation. For a range of shedding frequency close to the mechanical frequency of the body, these oscillations are quite large, self-limited and appear to dominate vortex shedding process. The phenomenon is named lock-in or synchronization.

The present work deals with the definition of a semi-empirical model, based on a modified Van der Pol equation, capable of estimate across-wind response of slender structures with circular cross-section. The discussions concerns a rigid, elastic-suspended, constant-diameter cylinder vibrating in the across-wind direction with a constant amplitude and subject to smooth and turbulent flow.

As during lock-in the vortex shedding frequency is tuned to the cylinder one, the linear Strouhal relation does not hold true anymore. Outside this range the Strouhal relation is abruptly satisfied and the vortex shedding frequency jumps from its locked value to that governed by Strouhal law. The extent of the lock-in range and the maximum amplitudes of oscillations attained by the body vary with the amount of mechanical damping of the system. The spanwise correlation of vortex formation and shedding is increased remarkably since the transverse oscillation of the body at the natural frequency of the vortex wake induces coherence of the separation points along the span. However, the amplitude of oscillations decreases when the oncoming flow is turbulent since the coherence decreases while longitudinal and lateral component of turbulence increases.

Several mathematical models which attempted to duplicate the experimental observations has been postulated. As pointed out from these studies, it's generally known that the non-linear oscillator effect occurs in the periodic vortex wake, so that a Van der Pol type of solution for the lift forces leads to a complete mathematical solution for the vortex shedding process.

The paper finally reports further developments of the above model necessary to extend result to full-scale applications, with regard to the problem of fatigue. This extension essentially involves the buffeting force arising from longitudinal and lateral component of turbulence, the variation with height of diameter, mode shape and flow properties.

Experimental tests has been performed in C.R.I.A.C.I.V. (Inter-University Research Centre on Building Aerodynamics and Wind Engineering) boundary layer wind tunnel.

¹ Centro di Ricerca Interuniversitario di Aerodinamica delle Costruzioni ed Ingegneria del Vento, Univ. Di Firenze, Roma "La Sapienza", Perugia e Trieste

REFERENCES

- Ehsan, F., and Scanlan R. H., (1990). Vortex-induced vibration of flexible bridges, *J. Engrg. Mech., ASCE*, Vol. 116(6), pp. 1392-1411
- Fathi S. (2002). Vibrazioni Strutturali across-wind per distacco di vortici. Tesi di Dottorato, Università “G. d’Annunzio” di Chieti
- Feng C. C., (1968). The measurement of vortex-induced effects in flow past stationary and oscillating circular and D-section cylinder, MSc thesis, University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada.
- Goswami I., Scanlan R.H., Jones N. P., (1993). Vortex-induced vibrations of circular cylinder. I: Experimental data. *J. Engrg. Mech, ASCE*, Vol 119, pp 2270-2287
- Goswami I., Scanlan R.H., Jones N. P., (1993). Vortex-induced vibrations of circular cylinder. II: New model. *J. Engrg. Mech, ASCE*, Vol 119, pp 2288-2302
- Hartlen R. T., Currie I. G., (1970). A lift-oscillator model of vortex-induced vibration. *J. Engrg. Mech. Div., ASCE*, Vol. 95(5), pp. 577-591
- Iwan W. D., Blewins R. D. (1974). A model for vortex-induced oscillation of structures. *J. Appl. Mech, ASME*, Vol. 41(3), pp 581-585
- Scanlan R. H., (1998). Bridge Flutter Derivatives at Vortex Lock-In, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 124(4), pp. 450-458
- Vickery B. J., Basu R. I., (1983). Across-Wind Vibrations of structures of Circular Cross-section. Part I. Development of a Mathematical Model For Two Dimensional Conditions. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn*, Vol. 12, pp 49-73
- Vickery B. J., Basu R. I., (1983). Across-Wind Vibrations of structures of Circular Cross-section. Part II. Development of a Mathematical Model For Full -Scale Application. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn*, Vol. 12, pp 75-97

Dinamica del cavo sotto l'azione del vento: analisi sperimentale in galleria del vento

G. Bartoli^a, F. Cluni^b, V. Gusella^b, L. Procino^a

^aCRIACIV-DIC Boundary-Layer Wind Tunnel, Prato

^bDip. Ingegneria Civile Ambientale, Università Perugia, Perugia

PAROLE CHIAVE: Dinamica dei cavi, Vibrazioni indotte dal vento, Sperimentazione in galleria

SOMMARIO

Uno dei problemi di maggiore interesse nella valutazione della sicurezza di strutture realizzate mediante cavi, è la stima della vita a fatica per accumulo di danno sotto vibrazioni ripetute indotte dall'azione del vento.

Questa stima richiede:

- la descrizione della velocità del vento in termini di velocità media e campo stocastico delle componenti turbolente,
- la comprensione degli aspetti principali dell'interazione vento-cavo attraverso prove su modello e/o su prototipo,
- la realizzazione e la verifica di un metodo di analisi analitico e/o numerico,
- uno specifico approccio per la valutazione del danno ripetuto.

In tale contesto è stato attivato un programma di ricerca che ha previsto, come prima fase, la realizzazione di prove su modello. Tali prove sono state condotte presso la Galleria del Vento del CRIACIV-DIC a Prato.

Il modello del cavo

Il modello di cavo è stato realizzato mediante filo, con spessore di 0.7 mm, di acciaio con modulo $E=165000$ MPa. Per ottenere adeguati valori di massa e resistenza aerodinamica, al filo sono stati collegati coassialmente opportuni elementi in legno di forma cilindrica con lunghezza 40 mm, diametro 40 mm e peso 36 g. Tali elementi sono stati opportunamente distanziati (circa 8 mm) in modo da non interagire fra loro, anche in grandi spostamenti, e quindi non modificare la rigidità flessionale del filo di acciaio che assume valore trascurabile rispetto a quella assiale.

Il modello del cavo è stato sospeso all'interno della sezione della galleria (di dimensioni 240 m x 1.60 m) con una freccia in mezzera pari a 1/10 della luce (Fig.1).



Figura 1. Il modello sperimentale del cavo in galleria del vento

Sistemi di supporto e misura

I due estremi del modello del cavo sono stati supportati, al di fuori della sezione di prova, mediante un sistema di caratterizzato da una cella di carico (con intervallo di misura 0-120N) per la misura del tiro (Fig. 2 (a)). Questo supporto, durante una seconda serie di prove, è stato modificato introducendo una seconda cella di carico per la valutazione della forza complessiva di drag. Durante le prove, in regime laminare, è stato stimato lo spostamento medio della mezzeria del cavo mediante un sistema costituito da due laser incidenti (Fig. 2 (b)).

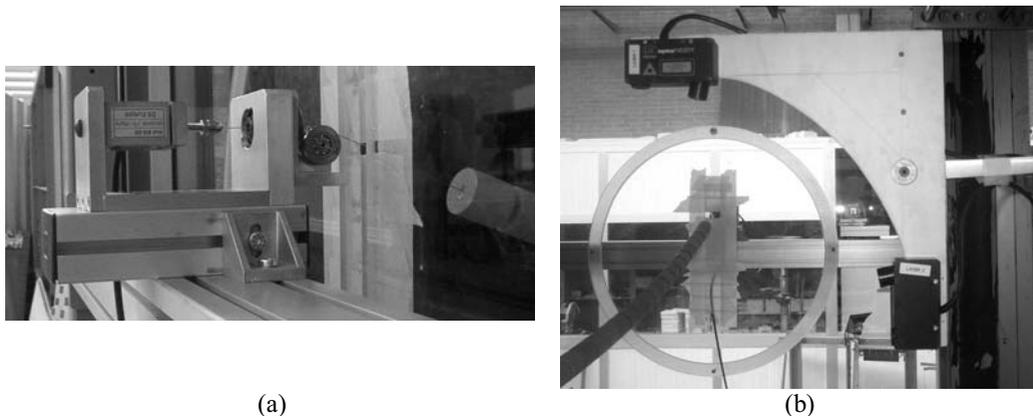


Figura 2. Sistema di supporto del modello del cavo e laser per la misura dello spostamento

Prove sperimentali e risultati

Dapprima sono state condotte prove in regime laminare variando la velocità media del flusso. Analoghe prove sono state condotte, previa l'installazione di opportune griglie a monte del modello, in regime turbolento [3]. In entrambi i casi, il campo di flusso è stato misurato attraverso anemometri a filo caldo.

I risultati ottenuti, in termini di forza di drag, tiro nel cavo e spostamento medio, sono stati trattati in modo statistico. I valori medi sono stati verificati attraverso i modelli analitici presenti in bibliografia [2]. È stato inoltre trovato un buon accordo con i risultati numerici di un modello agli elementi finiti, con elementi biella in grandi spostamenti [1], specificatamente realizzato nell'ambito del programma di ricerca.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bathe, K.-J (1996). *Finite Elements Procedures*. Prentice-Hall, New York
- [2] Irvine, M. (1981). *Cable Structures*. Dover Publications, Inc., New York
- [2] Righi M. (2003). *Aeroelastic stability of long span suspended bridges: flutter mechanism on rectangular cylinders in smooth and turbulent flow*. Tesi di dottorato, DIC – Università di Firenze, Firenze

Some results on flutter behaviour of rectangular prisms in smooth and turbulent wind flow

Gianni Bartoli, Michele Righi

DIC-CRIACIV⁽¹⁾ – Università di Firenze, via Santa Marta, 3, 50139 Firenze

PAROLE CHIAVE: System identification methods, Long span bridges, Sectional deck model, Aeroelastic derivatives, Wind tunnel test, Flat plate.

ABSTRACT

In the recent years the long process leading to an appropriate bridge design has become more complex; in fact, beside the mere structural and economical points of view, matters such as aesthetic, comfort and environmental impact had to be taken into account as the integration of an infrastructure in the built in environment has become crucial.

Modern bridges must be attractive, stylish and light which leads to a gradual and constant increment in span length likewise the use of always stronger and lighter building materials resulting in a significant decrease in their natural frequencies and the ratio between the fundamental torsional and vertical mode frequencies. This makes long span bridges very susceptible to the actions of strong wind flow, rendering the wind the most critical external loads that has to be considered when designing them.

The aim of the present work is to clarify the flutter mechanism for suspended long span bridges via a parametric analysis on flutter instability for a set of given deck profiles. Several wind tunnel tests in the DIC-CRIACIV Boundary Layer Wind Tunnel (BLWT) have been carried out on spring suspended section models such as rectangular cylinders of diverse slenderness with $B/D=5$ and $B/D=12.5$, where B is the longitudinal length of the prism and D is the height of the prism.

The main experimental parameters needed for examining whether a given bridge profile is flutter-prone below a certain mean wind velocity are the flutter derivatives, so a system identification procedure called Combined System Identification Method (CSIM) [Righi, 2003; Contri, 2003; Sarkar, 1992] has been developed to extract simultaneously all flutter derivatives from 2DOF section model test results. In order to evaluate the reliability, robustness, efficiency and performances of CSIM several numerical simulations of mechanical systems in free decay have been carried out, where to a mathematical system of known characteristics a random white gaussian noise has been added.

Once the method has been properly tested and tuned, it has been applied to experimental data extracting all flutter derivatives in turbulent and smooth flow; to validate the identification system procedure a comparison with results from other authors [Matsumoto, 1996] has been made exhibiting a satisfactory accordance.

The parametric analysis includes the investigation on the effects of model characteristics on BLWT test results. Tests have been repeated in different dates and conducted on models with different dynamic properties (varying the model mass, inertia, vertical and torsional stiffness) immersed either in turbulent or smooth flow, in order to verify reliability and repeatability of BLWT outputs. Excellent agreement on experimental results has been demonstrated

⁽¹⁾ DIC-Civil Engineering Department; CRIACIV - Interuniversity research centre in building aerodynamics and wind engineering

Somehow researchers and designers do not take in the due consideration the turbulent component of the incoming wind and what is found in literature is inadequate; then some investigation is required. In order to fill this gap the effects of grid generated turbulence on flutter derivative, bridge performances and stability are also investigated. The theory of the Thin Airfoil or Flat Plate certainly constitutes an important tool in understanding the aeroelastic phenomena [Frandsen, 1966]; the comparison between the behaviour of a given section deck under wind action and the Equivalent Flat Plate⁽²⁾ (EFP), is a very useful device in identifying whether a profile is flutter prone or not. From a mere design point of view, it would be very useful to have a tool able to give a first approximation of the critical flutter wind speed, as a function of the geometry of the section only.

An Aerodynamic Stability Performance Index (ASPI) β can be introduced, defined as the ratio between the critical flutter wind speed U_c of the given section (to be estimated by wind tunnel tests) and the critical flutter wind speed for the EFP U_{fp} , which can be estimated either by the classical approach or by using some semi-empirical approximations [see e.g. Selberg, 1961]. The Aerodynamic Stability Performance Index ($\beta=U_c/U_{fp}$) is an index of the aerodynamic stability of the bridge deck's section, and its value is normally within the range [0.4÷0.8] for bluff bodies and [0.8÷1.1] for streamlined sections; larger values of β (up to 1.25 and higher) can be reached for streamlined slotted profiles (that is aerodynamic profiles with some openings on the deck).

Some results are summarized in Table 1, where the expected better performance of R12.5 (prism with B/D=12.5) is emphasized by a β mean value of 0.81 to be compared to $\beta=0.33$ valid for R5. Conclusively then R12.5 is about 2.4 (on average) times more stable than R5.

Table 1. Aerodynamic Stability Performance Index β

Cnfg	Udiv/Ufp	ASPI -- β							
		smooth flow				turbulent flow			
		flutter criterion				flutter criterion			
		Coup	Div	RMS	Eig	Coup	Div	RMS	Eig
R12.5	1.38	0.83	0.90	0.69	0.80	N/R	N/R	0.69	N/R
R5	1.14	0.34	0.37	0.29	0.30	N/R	N/R	0.29	N/R
Ratio		2.44	2.43	2.38	2.67	-	-	2.38	-

REFERENCES

- Chen, X., and Kareem, A. (2001). Nonlinear response analysis of long span bridges under turbulent winds. *J. Wind. Eng. Ind. Aerodyn.*, 89(14–15), 1335–1350.
- Contri, S. (2003). Il flutter negli impalcati da ponte: identificazione delle derivate aeroelastiche in galleria del vento. *Master thesis dissertation*, University of Florence, Italy (in Italian).
- Frandsen, A.G. (1966). Wind stability of suspension bridges Application of theory of 'thin airfoils'. *Proc. Int. Symposium on Suspension Bridges*, Lisbon.
- Matsumoto M., Kobayashi Y., Shirato H., (1996). The influence of aerodynamic derivatives on flutter. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 60, 227-239.
- Righi M.(2003). Aeroelastic Stability of Long Span Suspended Bridges: Flutter Mechanism on Rectangular Cylinders in Smooth and Turbulent Flow. *PhD dissertation to the University of Florence*, Florence, Italy.
- Sarkar P. P.(1992). New Identification methods Applied to the Response of Flexible bridges to Wind. *PhD dissertation to the John Hopkins University*, Baltimore Maryland.
- Selberg E., Hjorth-Hansen (1961). Aerodynamic stability and related aspects of suspension bridges. *Paper n. 20*.

⁽²⁾The EFP is a FP with identical dynamic properties and width B of a generic given profile or bridge

A method for the evaluation of anti-icing energy requirement for wind turbines in cold climates

L. Battisti, A. Brighenti, S. Dal Savio, S. Dell'Anna

Universita' di Trento, Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Strutturale, Trento, Italia

PAROLE CHIAVE: wind energy, cold climate, anti-icing, Weibull distribution, icing events

SOMMARIO

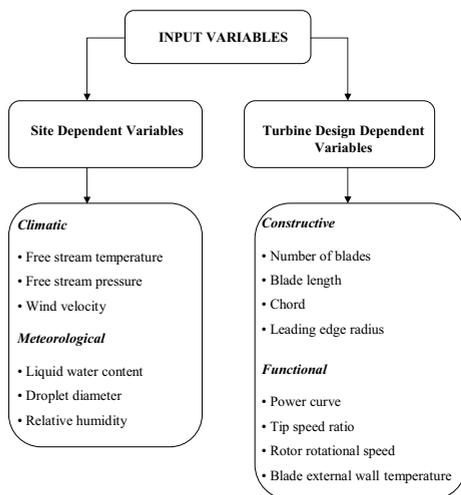
The interest in the icing problems of wind turbines and in predicting the icing effect on power production has increased significantly in the very latest years. Inland sites and especially sites in mountainous and northern regions as well as large turbines will be affected by ice during idle, standstill and operation. More and more power plants are planned to be installed in the far north, at inland and mountainous sites in Europe. Cold climate and severe icing problems have to be faced when erecting wind turbines at mountainous or hilly inland sites at regions like northern Spain, Apennine in Italy, Southern France, Alps, mountainous areas in Germany, Scotland, large regions in the eastern Europe and the Nordic countries. Hostile site is often used to describe sites which often exhibit both extreme loading conditions and high energy yield and hence an improved ability to exploit them will provide significant benefits. Without any heating systems at these types of sites, the turbine would be accreted of ice over a long period, just at the time when the goods winds are blowing. How future large offshore plants will be affected by icing events is not clear at the moment. It is also predicted that a significant part, 10-20% of the wind power plants erected to fulfill the demand of 40000 MW installed wind power in Europe by the year 2010 will be at regions where icing has to be taken into account in design of the wind turbines and their components.

Although many developers and manufacturers are beginning to gain more cold weather operating experience, much of the information is not publicly available and in any case, not all of the issues that have been encountered have been completely resolved. The wind farm developer is therefore confronted with a lack of information when planning wind farms in a cold weather environment.

One of the major issues is the prediction of the icing events occurring on given site and their impact

on the energy consumption and the required installed power for their operation. This prediction is of practical importance for competitive design of WECs, because it furnishes a basic input for break even analysis. This operation is quite complex because of the dependency of the anti-icing heat requirement on a wide range of variables as climatic, meteorological, and machine depending (constructive and functional). In figure 1 an educated scheme of these variables is presented.

A simple but reliable model is here presented for estimating the anti-icing heat requirement and on board maximum installed power for the operation of ice prevention systems equipped on wind turbines installed in hostile climates. This model enable



straight forth calculation to be carried out without specialist knowledge on icing physical mechanisms and ice prevention systems.

The model evaluates the yearly energy required for heating the blades, and the maximum power on the basis of the Weibull probability distributions of site wind velocity and temperature. Representative site velocity and temperature during icing events, calculated by means of the Weibull k-c parameters are input in a simplified relationship accounting for the thermal model which evaluates the heat fluxes, which has been specifically developed for the design of anti-icing systems for wind turbines. The model has been validated with a detailed calculation by means of the integration of the elementary anti-icing power events for a wide range of Weibull k-c parameters. A further validation has been carried out by comparing the results of the simplified method with data of sites in hostile climates. A typical output of the procedure is shown in figure 2. The intensity charts indicate the specific power (per unity of blade surface) needed for each representative wind speed and temperature of the given site ($k=2$ and $c=7$ m/s), the icing hours of the site and, as third graph, the energy required for each wind and temperature. This simulation has been obtained for a full variable wind turbine.

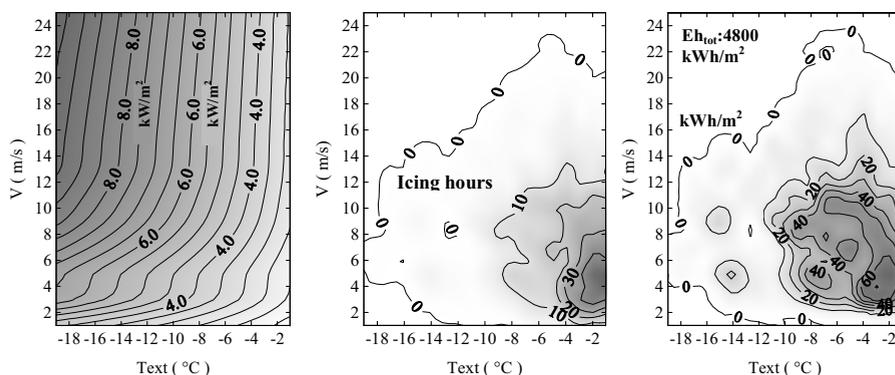


Fig. 2 – Intensity charts of anti-icing specific power, icing hours and energy for a site with $k=2$ and $c=7$ m/s and a full variable wind turbine.

In conclusion the model allows handling very different site conditions, and as velocity and temperature distributions are known, together with a few pre-design machine data, the anti-ice heat requirement and the thermal power duration curve are easily inferred.

BIBLIOGRAFIA

- Laakso T., Holttinen H., Ronsten G., Horbaty R., Lacroix A., Peltola E., Tammelin B. (2003). State-of-the-art of wind energy in cold climates, <http://arcticwind.vtt.fi>
- Peltola E., Marjaniemi M., Stiesdal H. (1999) An ice prevention system for the wind turbine blades, In Proc. of 1999 European Wind Energy Conference, 1-5 March 1999, Nice, France, pp. 1034-1037
- Sherif S. A., Pasumarthi N., Bartlett C. S. (1997). A semi-empirical model for heat transfer and ice accretion on aircraft wings in supercooled clouds, Cold Regions Science and Technology, Vol.26, pp.165-179
- Seifert H. (2003) Technical requirements for rotor blades operating in cold climate. DEWI, Deutsches Windenergie-Institut GmbH
- Tammelin B., Cavaliere M., Holttinen H., Morgan C., Seifert H. (2000). Wind Energy in Cold Climate, Final Report WECO (JOR3-CT95-0014) ISBN 951-679-518-6, Finnish Meteorological Institute, Helsinki.
- L. Battisti "Relevance of Ice Prevention Systems for Wind Energy Converters", Presented at the IV Italian-German Colloquium for Science, Trento, 16-18 January 2003
- L. Battisti, S. Dal Savio "Sistema antighiaccio per pale di turbine eoliche. Parte I: Valutazione del fabbisogno energetico" 58° CONGRESSO ATI 2003 – 12-18 Settembre 2003- Padova
- L. Battisti, G. Soraperra "Sistema antighiaccio per pale di turbine eoliche. Parte II: sistemi a circolazione di aria" 58° CONGRESSO ATI 2003 – 12-18 Settembre 2003- Padova.

Caratterizzazione e simulazione del campo di pressioni su una copertura aperta di grande luce (nuovo stadio di Manfredonia)

M. Betti^a, C. Borri^a, L. Facchini^a, S. Volpi^a

^aCRIACIV/DIC, Via S. Marta 3, Firenze

PAROLE CHIAVE: Processi non Gaussiani, trasformazione statica non lineare, carichi di progetto, analisi dinamica non lineare.

SOMMARIO

Oggetto del seguente lavoro è la simulazione dei processi non gaussiani gaussianizzati del campo di velocità/pressioni indotte dal vento (mediante un filtro digitale autoregressivo) per l'analisi dinamica della copertura dello stadio di Manfredonia (FG). La struttura portante di tale copertura è realizzata mediante tre archi in legno lamellare, incernierati agli appoggi, di luce 76 m circa e posti ad un interasse 6.50 m.

Dell'intera copertura è stato realizzato un modello in scala 1:200 per effettuare delle prove nella galleria del vento a strato limite del CRIACIV con sede a Prato. Nel modello sono state alloggiate 112 prese di pressione sul manto di copertura: 56 prese all'intradosso e 56 all'estradosso, allo scopo di rilevare le pressioni nette agenti sulla copertura. Sono state adottate due differenti classi di rugosità superficiale (una corrispondente a zone urbane, l'altra ad orografie piatte) per simulare le condizioni adiacenti lo stadio. Sono state determinate le storie temporali dei coefficienti di pressione netti agenti sulla copertura per 8 differenti direzioni di incidenza del vento. Il campionamento è stato effettuato ad una frequenza di 250 Hz per un tempo di 30 sec, ottenendo singole storie temporali dei C_p netti formate da 7504 campioni. Le misurazioni sono state filtrate mediante un filtro digitale passa-basso di Butterworth con una frequenza di taglio di 50 Hz, per eliminare disturbi indotti da cause esterne.

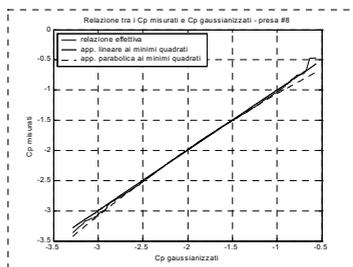


Figura 1. Confronto tra C_p misurati e gaussianizzati

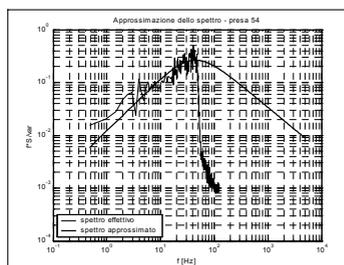


Figura 2. Approssimazione dell'autospettro

Le storie temporali dei coefficienti netti di pressione sono state caratterizzate statisticamente mediante una trasformazione statica non lineare applicata ad un processo Gaussiano multi-variato monodimensionale stazionario di opportune caratteristiche di media e covarianza (v. Gioffrè *et al.*, 2000, Grigoriu, 2000, Gurley *et al.*, 1996, e Kumar & Sthopoulos, 1997 e 2000). Tale procedura di caratterizzazione prevede diversi passi. Si perviene alla definizione di una nuova variabile che viene riportata alla media ed alla deviazione standard proprie del corrispondente C_p rilevato mediante la definizione della seguente:

$$C_g = \mu_{C_p} + \sigma_{C_p} \cdot C_{g,01} \quad (1)$$

dove $C_{g,01}$ è una variabile stocastica distribuita all'interno dello stesso intervallo dei C_p rilevati, che ha distribuzione normale con media nulla e varianza unitaria. La generazione delle storie di pressione è stata quindi condotta sulla variabile C_g (vedi Fig. 1).

Sia nel diagramma di Fig. 1 che in Fig. 2 si notano, nelle due zone estreme, delle differenze tra i C_p misurati e quelli del processo gaussianizzato; tuttavia tali valori possono essere trascurati in quanto agli estremi della distribuzione la stima della CDF risulta affetta da errori abbastanza significativi. Perciò, anche in considerazione della concentrazione della maggioranza dei dati nella zona centrale, la stima della funzione di trasferimento viene effettuata in tale zona. Nel particolare caso in esame è stato usato il criterio di escludere tutti i valori che differiscono dalla media per più di 2.5 volte la deviazione standard, sia in positivo che in negativo. Con tale procedimento gli errori complessivamente commessi nel valutare i C_p rilevati con una approssimazione lineare, sono inferiori al 6%, e comunque mai superiori al 9% (con la sola esclusione di 4-5 prese).

Noti i coefficienti di pressione gaussianizzati si è passati all'analisi in frequenza degli stessi privati del loro valore medio, e si è proceduto a fornire un'approssimazione dello spettro di tipo analitico in modo tale da poterlo estendere oltre la frequenza di taglio di 50 Hz, in relazione alle caratteristiche dinamiche della struttura ed al tipo di analisi effettuate. In particolare per gli auto-spettri sono state ricercate approssimazioni nella forma (vedi Fig. 2)

$$\frac{f \cdot S(f)}{\sigma^2} = \frac{A \cdot f}{(1 + B \cdot f^\beta)^{5/3\beta}} \quad (2)$$

La funzione di coerenza viene approssimata nella forma:

$$Coh_{hk}(f) \cong e^{-c_{hk} \cdot f} \quad (3)$$

I coefficienti di tale approssimazione sono stati determinati con una stima ai minimi quadrati effettuata per frequenze $0 \leq f \leq 40$ Hz. Oltre circa 50 Hz l'andamento della funzione di coerenza tende ad essere crescente, fatto che indica la possibile presenza di disturbi. L'angolo di fase fra le diverse misurazioni è stato approssimato con una funzione lineare della frequenza ($\varphi(f) \cong C_\varphi \cdot f$), pertanto le approssimazioni analitiche delle cross-densità spettrali sono fornite dalla relazione:

$$S_{hk}^E = \sqrt{S_{hh}^E \cdot S_{kk}^E} \cdot Coh(f) \cdot e^{i \cdot \varphi(f)} \quad (4)$$

Il passo finale della procedura è stata la simulazione dei processi gaussianizzati mediante un filtro digitale autoregressivo e la loro trasformazione per ottenere le simulazioni desiderate. Infine è stato così realizzato un modello numerico non lineare della struttura per la valutazione del comportamento dinamico sotto l'azione del vento.

BIBLIOGRAFIA

- Bartoli G., Borri C., Facchini L. (2002). Simulation of non-Gaussian wind pressures on a 3-D bluff body and estimation of design loads, *Computer and Structures*, vol. 80, pp. 1061-1070
- Gioffré M., Gusella V., Grigoriu M. (2000). Simulation of non-Gaussian field applied to wind pressure fluctuations, *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 15, pp. 339-345.
- Grigoriu M. (2000). Non-Gaussian models for stochastic mechanics, *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 15, pp. 15-23.
- Gurley K.R., Kareem A., Tognarelli M.A. (1996). Simulation of a class of non normal random processes, *International Journal of Nonlinear Mechanics*, Vol. 31, n° 5, pp. 601-617.
- Kumar K.S., Stathopoulos T. (1997). Computational simulation of fluctuating wind pressures on low building roofs, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 69-71, pp. 485-495.
- Kumar K.S., Stathopoulos T. (2000). Discussion of digital generation of surface fluctuations with spiky features, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 84, 257-260.

Prove sperimentali e carichi di progetto della copertura del nuovo stadio olimpico del Pireo

P. Biagini*, C. Borri*, M. Majowiecki**, M. Orlando*, L. Procino*

* CRIACIV c/o Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Firenze, Via di S. Marta, 3, 50139 Firenze, Italy, Firenze

** Dipartimento di Costruzione dell'Architettura - IUAV Venezia, Santa Croce 191 Tolentini, 30135 Venezia, Italy

PAROLE CHIAVE: Galleria del vento, coefficienti di pressione, analisi dinamica non lineare.

SOMMARIO

Si presentano i risultati delle prove sperimentali condotte nella galleria del vento del CRIACIV sul modello della copertura del nuovo stadio olimpico del Pireo, in Grecia, per i giochi olimpici del 2004. Come mostrato in Fig. 1, la copertura copre tutte le tribune dello stadio ed è sostenuta da 14 strutture reticolari di acciaio, ognuna con uno sbalzo di circa 33 m.



Figura 1: vista aerea del modello architettonico dello stadio.

A causa della vicinanza del sito al mare, il carico del vento è il carico dominante per il progetto della copertura, la cui forma particolare lascia alcuni dubbi sulla effettiva distribuzione delle pressioni eoliche.

Pertanto è stata condotta una campagna di prove sperimentali sul modello di tutto lo stadio nella galleria del vento del CRIACIV a Prato. Il modello (in scala 1:250) include anche gli edifici vicini fino ad una distanza di 250 m dal centro dello stadio. Il modello della copertura è stato strumentato con 252 prese di pressione (126 coppie), delle quali la metà poste all'estradosso e l'altra metà all'intradosso.

In questo modo, è stato possibile misurare la pressione netta in ogni punto strumentato. La distribuzione dei coefficienti di pressione sull'intera copertura e la loro area di influenza è mostrata in Fig. 2, per un'assegnata direzione del vento (Nord-Sud).

Le prove sono state eseguite per 20 diverse direzioni del vento in tre set di misura; in ogni set solo la metà delle prese è stata strumentata (nel primo set solo quelle posizionate sul lato Nord della

copertura e nel secondo quelle sul lato Sud, mentre il terzo set comprendeva prese poste su tutti e quattro i lati della copertura per eseguire misure incrociate).

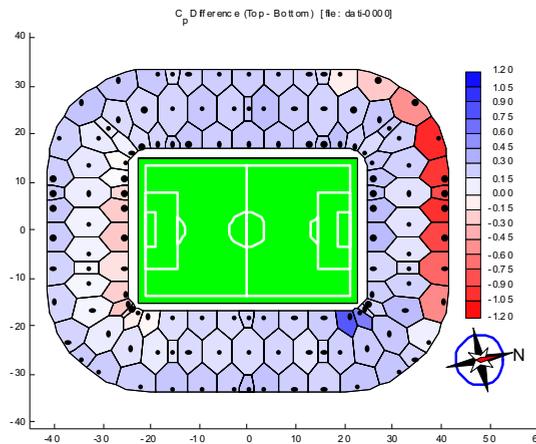


Figura 2: distribuzione del coefficiente di pressione.

I dati si riferiscono alle pressioni nette misurate nelle 126 coppie di prese. Le storie temporali delle pressioni registrate sono state suddivise per la pressione dinamica alla quota media della copertura (103 mm nella scala del modello, circa 25 m in scala reale) per ottenere i coefficienti di pressione. Successivamente i dati sono stati filtrati con un filtro passa basso fino a 40 Hz in modo da pulire i processi dai disturbi della galleria (motore, ventilatore, ecc.).

Per la valutazione dei valori massimi e minimi dei coefficienti di pressione, è stata eseguita un'analisi alla Gumbel, suddividendo le storie temporali in intervalli, ognuno corrispondente a 10 minuti in scala reale.

Per ogni direzione del vento, sono state valutate le seguenti quantità:

1. i valori medi dei coefficienti aerodinamici c_p ,
2. la deviazione standard dei c_p ,
3. i massimi valori dei c_p ,
4. i minimi valori dei c_p .

Infine, tutti i dati registrati sono stati utilizzati per generare storie temporali del carico del vento con le quali è stata eseguita la simulazione numerica della risposta dinamica della copertura nel dominio del tempo.

BIBLIOGRAFIA

J.K. Galsworthy, B.J. Vickery, M.J. Mikiutiuk, L. Kong, D. Surry (2002). The Athens Olympic Stadium Roof and Velodrome Roof Athens, Greece, Alan G. Davenport Wind Engineering Group.

Analisi dell'affidabilità di strutture non lineari mediante il metodo della riduzione modale – il caso di una torre di raffreddamento sotto carico da vento

Paolo Biagini*, Luca Facchini*

*Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Firenze, Firenze

PAROLE CHIAVE: Analisi di affidabilità, processi non gaussiani, analisi dinamica non lineare, riduzione modale.

SOMMARIO

Le torri di raffreddamento costituiscono una tipologia di strutture molto sensibile all'azione del vento, infatti questo induce delle asimmetrie locali nella distribuzione di carico che possono portare a distribuzioni di tensioni molto pericolose nella struttura di calcestruzzo.

Negli ultimi tempi è stata avviata una estesa campagna di prove sperimentali nella galleria del vento del CRIACIV a Prato, su di una torre isolata, allo scopo di analizzare questo tipo di effetti.

Le pressioni sono state registrate in corrispondenza di 96 prese di pressione, installate sulla superficie esterna del modello in scala 1:300 di una torre di raffreddamento, esistente nei pressi di Arezzo, ed è stata determinata la distribuzione dei coefficienti di pressione.

Il coefficiente di pressione è stato modellato attraverso una rete neurale di funzioni a base radiale (Broomhead & Lowe, 1988, Poggio & Girosi, 1990, Haykin, 1996, Gotovac & Kozulic, 1999), la quale è in grado di simulare il coefficiente di pressione in qualsiasi posizione sulla superficie della torre.

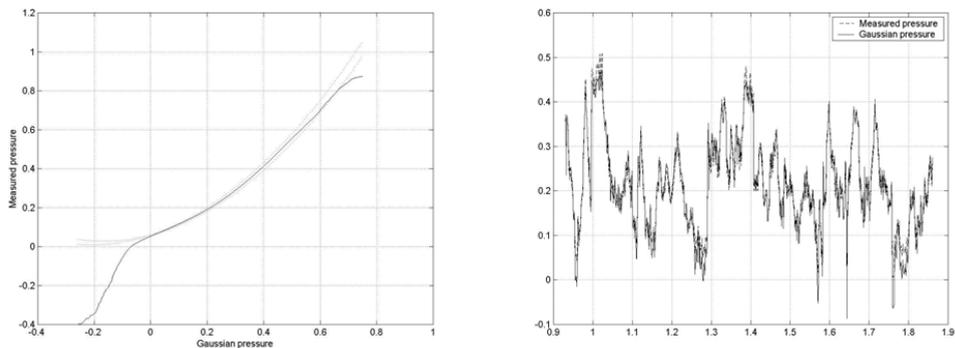


Figura 1: a sinistra, relazione tra pressione misurata e pressione gaussianizzata; a destra, il grafico dei due processi.

Sono state inoltre analizzate le caratteristiche statistiche del campo di pressione non gaussiana ed è stato elaborato un algoritmo, basato su una trasformazione statica non lineare, in grado di fornire una simulazione digitale del carico da vento indotto il più affidabile possibile (Gioffré *et al.*, 2000, Grigoriu, 2000, Puig *et al.*, 2002 e in fase di stampa).

Infine, il coefficiente di pressione è stato modellato con una funzione non lineare (v. Figura 1) di un processo gaussiano: questa funzione non lineare è stata stimata attraverso una procedura riportata dettagliatamente in Bartoli *et al.*, 2002.

Dopo aver caratterizzato il carico da vento è stato realizzato un modello numerico della struttura per la valutazione del comportamento dinamico della stessa nei confronti del carico da vento.

In particolare è stata adottata una procedura agli elementi finiti, sviluppata all'interno del Dipartimento di Ingegneria Civile, che consente un'analisi dinamica non lineare (A.F. Vakakis *et al.*, Wiley), per materiale, basata sul metodo della riduzione modale (Bucher, 2001, Y. Lee & Chung-Fai Ng, 2001).

L'approccio consiste nella proiezione delle equazioni di moto, non lineari, sullo spazio generato da un numero limitato delle forme modali calcolate per la struttura linearizzata in un intorno della posizione di equilibrio media.

Ciò permette una drastica riduzione dei tempi di calcolo e, parallelamente, riesce a contenere l'errore commesso entro tolleranze accettabili, permettendo in tal modo un'analisi dell'affidabilità anche per strutture a marcato comportamento non lineare e caratterizzate da un comportamento assai complesso.

Essendo la struttura portante costituita da un guscio di calcestruzzo molto sottile (mediamente 15 cm), questo tipo di analisi ci permette di valutarne la risposta alle vibrazioni indotte dal carico da vento, valutandone anche il quadro fessurativo generale

Questo approccio è molto importante per strutture di questo tipo in cui, a distanza di decine di anni, cominciano ad intravedersi gli effetti dei fenomeni di fatica a cui sono state sottoposte nel tempo. Oggi, la condizione principale per il loro utilizzo è quindi la verifica dell'effettivo grado di affidabilità strutturale, relativamente ai carichi di progetto attualmente vigenti, e ciò può essere effettuato soltanto attraverso le tecniche di modellazione numerica appena viste, associate a campagne di indagine sperimentale sugli effettivi carichi indotti.

BIBLIOGRAFIA

- Bartoli G., Borri C., Facchini L. (2002). Simulation of non-Gaussian wind pressures on a 3-D bluff body and estimation of design loads, *Computer and Structures*, vol. , pp.
- Broomhead D.S., Lowe D. (1988). Multi-variable Functional Interpolation and Adaptive Networks, *Complex Syst.*, Vol. 2, pp. 269-303.
- Gioffré M., Gusella V., Grigoriu M. (2000). Simulation of non-Gaussian field applied to wind pressure fluctuations, *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 15, pp. 339-3.
- Gotovac B., Kozulic, V. (1999). On a selection of basis functions in numerical analyses of engineering problems, *International Journal for Engineering Modelling*, Vol. 12, pp. 17-24.
- Grigoriu M. (2000). Non-Gaussian models for stochastic mechanics, *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 15, pp. 15-23.
- Haykin, S. (1996). *Adaptive Filter Theory*, Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Poggio T., Girosi F. (1990). Networks for approximation and learning, *Proc. IEEE*, Vol. 78, pp. 1481-1497.
- Puig B., Poirion F., Soize C. (2002). Non-Gaussian simulation using Hermite polynomial expansion: convergence and algorithms, *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 17, pp. 253-264.
- Puig B., Akian J.L. (in fase di stampa). Non-Gaussian simulation using Hermite polynomials expansion and maximum entropy principle, *Probabilistic Engineering Mechanics*.
- Yiu-Yin Lee, Chung-Fai Ng (2001). Nonlinear response of composite plates using the finite element modal reduction method, *Engineering Structures*, Vol. 23 (2001), pp. 1104-1114.
- C. Bucher (2001). Stabilization of explicit time integration by modal reduction, *Trends in computational structural mechanics*, Barcelona (Spain) 2001, pp. 429-437.
- A. F. Vakakis, L. I. Manevitch, Y. V. Mikhlin, V. N. Pilipchuck, A. A. Zevin (1996). *Normal Modes and localization in nonlinear systems*, Wiley series in nonlinear science, John Wiley & Sons Inc. (1996).

Approccio numerico-sperimentale per la stima degli effetti del vento trasversale sulla dinamica di un veicolo ferroviario ad assetto variabile

Marco Bocciolone ^a, Federico Cheli ^a, Roberto Corradi ^a, Sara Muggiasca ^a,
Gisella Tomasini ^a

^a Politecnico di Milano, Dipartimento di Meccanica, Milano

PAROLE CHIAVE: veicolo ferroviario, assetto variabile, vento trasversale, coefficienti aerodinamici, funzione di ammettenza aerodinamica, curve critiche del vento.

SOMMARIO

Nell'ambito della ricerca sulla stima degli effetti del vento trasversale sui veicoli ferroviari (Bocciolone *et al.*, 2002), negli ultimi due anni, il Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano ha realizzato una campagna sperimentale in galleria del vento su modelli di treni in scala 1:20 in differenti configurazioni di prova (Bocciolone *et al.*, 2003). Sulla base dei risultati sperimentali così ottenuti, è stato messo a punto un modello numerico che permette di simulare la risposta dinamica di un veicolo ferroviario soggetto a reali condizioni di vento turbolento nelle effettive condizioni di esercizio (Cheli *et al.*, 2002). Lo scopo ultimo della ricerca è quello di valutare, al variare della velocità di avanzamento del veicolo (in rettilineo) o al variare dell'accelerazione non compensata (in curva), le condizioni limite per la sicurezza del veicolo, in termini di velocità critica del vento.

In questo lavoro si descrive, in particolare, un'evoluzione dell'algoritmo numerico di simulazione rispetto al codice sviluppato in Cheli *et al.*, 2002, modificato al fine di riprodurre la dinamica di marcia di un veicolo ferroviario ad assetto variabile, soggetto al vento trasversale, tenendo conto degli effetti aerodinamici dovuti sia alla rotazione di assetto cassa, sia alla sopraelevazione del binario (in curva).

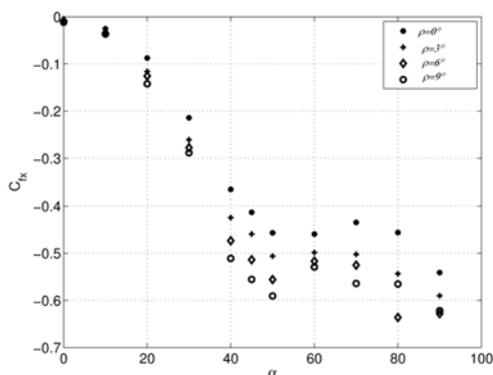


Figura 1. Treno *Pendolino* ETR480, viadotto, vento laminare: coefficiente aerodinamico di lift (portanza), al variare dell'angolo di incidenza (α) e per diversi angoli di rotazione cassa.

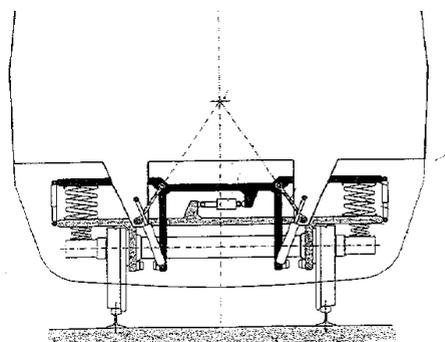


Figura 2. Modello multi-body treno *Pendolino* ETR480: particolare del collegamento cassa-carrello.

La ricerca si è articolata in due fasi principali:

- prove sperimentali in galleria del vento, per la stima dei coefficienti aerodinamici e della funzione di ammettenza (Simiu & Scanlan, 1996) del treno ad assetto variabile *Pendolino* ETR480;
- implementazione di un algoritmo numerico modificato per la simulazione delle forzanti aerodinamiche agenti sul veicolo, all'interno del codice di calcolo multi-body che simula la dinamica del treno *Pendolino*.

Le prove in galleria del vento sono state realizzate sul modello di treno *Pendolino* in scala 1:20, con differenti angoli di assetto cassa e differenti valori di sopraelevazione del binario, in condizioni di vento laminare e turbolento.

Nella seconda fase è stata simulata la dinamica del treno *Pendolino* soggetto a differenti condizioni di vento trasversale. In particolare, l'algoritmo numerico modificato permette ora di tener conto, nel calcolo delle forze aerodinamiche, degli effettivi angoli di assetto cassa e della sopraelevazione del binario, calcolati istante per istante durante la simulazione.

Il modello di simulazione della dinamica del veicolo ferroviario ad assetto variabile *Pendolino* è stato sviluppato presso il Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano (Cheli *et al.* 1999): il codice riproduce le effettive caratteristiche cinematiche del collegamento cassa - travi oscillanti - carrelli ed utilizza la reale logica di controllo che governa la corrispondente rotazione relativa cassa - carrelli durante la marcia in curva (fig. 2).

L'obiettivo finale dell'intera metodologia numerico - sperimentale proposta è la valutazione delle curve critiche del vento, nelle diverse condizioni di esercizio. In particolare, le velocità limite sono state identificate, a partire dai risultati delle simulazioni dinamiche, mediante quattro indici di sicurezza, come suggerito dal progetto della normativa europea "Technical Specification of Interoperability". Dalle analisi effettuate è emerso che la rotazione di assetto cassa ha notevole influenza sull'aerodinamica del treno ed in particolare sul coefficiente aerodinamico di lift o coefficiente di portanza (fig. 1): per questa ragione risulta fondamentale, ai fini del calcolo delle CWCs, considerare l'effettiva rotazione di assetto cassa sia per l'identificazione dei coefficienti aerodinamici, sia per la simulazione della dinamica del veicolo.

BIBLIOGRAFIA

- Simiu E., Scanlan R. (1996). *Wind effects on Structures*. John Wiley & Sons, New York
- Bocciolone M., Cheli F., Corradi R., Diana G., Tomasini G., Roberti R. (2002). *Caratterizzazione delle forze aerodinamiche associate al vento trasversale su convogli ferroviari tramite misure in galleria del vento*. VII Convegno Nazionale di Ingegneria del vento, IN-VENTO, Milano, Italy
- Bocciolone M., Cheli F., Corradi R., Diana G., Tomasini G. (2003). *Wind tunnel tests for the identification of the aerodynamic forces on rail vehicles*. 11th ICWE – International Conference on Wind Engineering, 2-5 June, Lubbock, Texas
- Cheli F., Corradi R., Diana G., Tomasini G. (2003). *A Numerical-Experimental Approach to Evaluate the Aerodynamic Effects on Rail Vehicle Dynamics*. 18th IAVSD Symposium 24-30 August, Atsugi, Japan
- Cheli F., Collina A., Diana G., Resta F. (1999). *A dynamic model of a tilting body railway vehicle*. XIV Congresso AIMETA di Meccanica Teorica e Applicata

Azioni ed effetti del vento sulla copertura dello stadio di Braga: prove in galleria del vento su modello deformabile

M.Bocciolone^a, A.Collina^a, G.Diana^a, D.Rocchi^a, A.Tosi^a

^a Politecnico di Milano – Dipartimento di Meccanica – Campus Bovisa, Milano

KEYWORDS: galleria del vento, misure, modello aeroelastico, instabilità, smorzamento

ABSTRACT

I sistemi di copertura delle tribune degli stadi, oltre ad essere una tipologia di strutture di grande complessità costruttiva ed architettonica, risentono in maniera sensibile delle azioni dinamiche dovute al vento. Sorge dunque la necessità sia durante il progetto sia dopo che quest'ultimo è stato realizzato, di disporre di dati che consentano di quantificare il fenomeno, in maniera da evidenziare se esistano o meno pericoli nel lungo termine per l'integrità della struttura. La progettazione di tali opere, è difficilmente inquadrabile all'interno di normative a causa delle particolarità geometriche e costruttive con cui vengono realizzate, e quindi spesso si ricorre a studi condotti su modelli in scala in galleria del vento. Risulta poi di fondamentale importanza la conoscenza delle condizioni climatiche e orografiche del sito di realizzazione della struttura per poter effettuare una stima affidabile del comportamento al vero.

In questo lavoro vengono presentate le attività relative alle sperimentazioni svolte presso la Galleria del Vento del Politecnico di Milano su un modello dello stadio di Braga di recente realizzazione per i campionati europei di calcio UEFA EURO 2004 (Figura 1).



Figura 1. Modello 1:70 dello stadio di Braga completo dell'orografia in galleria del vento

Tale impianto risulta atipico per morfologia e collocazione geografica: è infatti privo di curve e le due tribune sono costruite sui due lati lunghi del terreno di gioco; uno dei due lati rimanenti è aperto mentre l'altro è chiuso dalla montagna circostante. Le coperture delle gradinate sono realizzate in calcestruzzo (spessore 245 mm) e sono sostenute da 34 coppie di cavi in acciaio (lunghezza 200 m, diametro variabile da 80 a 86 mm) che collegano tra loro le coperture e le vincolano alle tribune. Il tiro delle funi varia dai 2621 kN della coppia di cavi più a nord ai 2230 kN di quella più a sud per ottenere una differente freccia statica necessaria per lo scarico delle acque piovane.

La scala 1:70 è stata decisa, a partire dalle dimensioni della sezione della camera di prova (14 m x 4 m), in base alla necessità di riuscire a modellare contemporaneamente la struttura e una parte significativa dell'orografia circostante limitando lo scostamento dai numeri di Reynolds reali. Il modello è aeroelastico e riproduce in similitudine la dinamica dei primi modi propri di vibrare della copertura; la scala geometrica garantisce inoltre la corretta riproduzione delle condizioni al contorno del flusso incidente sulla copertura.

La stabilità della copertura è stata valutata mediante prove condotte in regime di flusso

laminare ($it < 2\%$) ed in assenza di orografia considerando condizioni operative di vento del 10% superiori alla velocità di raffica di progetto pari a 47 m/s in scala reale.

La risposta della struttura al vento turbolento è stata valutata considerando otto differenti direzioni di provenienza utilizzando un tavolo girevole di grande diametro (13 m) sul quale è stato montato il modello completo dell'orografia; la generazione della turbolenza con caratteristiche analoghe a quelle del sito reale, è stata ottenuta passivamente mediante spires.

Le prove hanno consentito di verificare e quantificare la risposta della struttura in termini di: 1) accelerazione in otto diversi punti per ciascuna delle due coperture; 2) spostamento di un vertice della copertura; 3) forze di drag trasferite da ciascuna copertura sulla struttura sottostante; 4) deformazione della copertura in uno dei punti maggiormente sollecitati.

A titolo di esempio in figura 2 si mostra un diagramma che riporta in funzione dell'angolo di provenienza del vento i valori rms di spostamento dello spigolo sopravvento della copertura lato ovest, che evidenzia la maggior sensibilità della struttura per venti che soffiano dal quadrante NE (si veda anche figura 1).

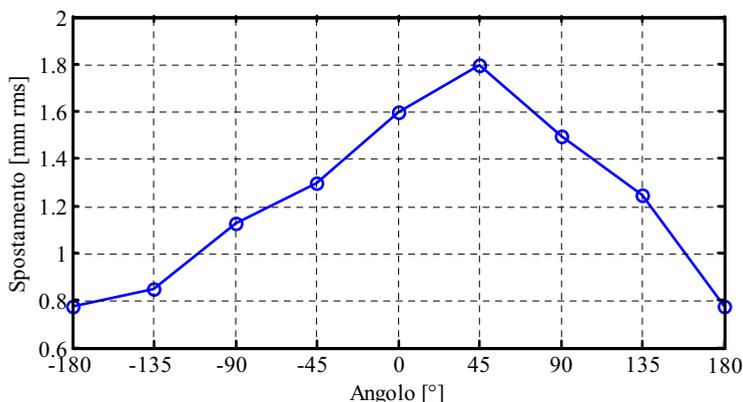


Figura 2 Valore rms dello spostamento dello spigolo sopravvento della copertura lato ovest al variare della direzione di provenienza del vento

I valori misurati hanno consentito una valutazione del comportamento della struttura soggetta a vento turbolento e rappresentano la base per la verifica progettuale dell'intera opera. A riguardo risulta particolarmente critica la conoscenza dello smorzamento effettivo della struttura al vero, in quanto difficilmente stimabile con il calcolo e potenzialmente diversa da quella del modello aeroelastico. Sono state quindi effettuate prove sperimentali in cui è stato aggiunto al modello un sistema di smorzatori in grado di elevare al 7-8% il valore di smorzamento adimensionale dei primi modi (in scala reale il valore di smorzamento di ciascun elemento smorzante è stato stimato in 100-150 kNs/m). L'adozione di tali sistemi ha consentito una attenuazione del livello di vibrazione del 50% rispetto ai valori ottenuti in loro assenza ed una riduzione dell'incidenza del primo modo torsionale di un fattore 3 sul valore complessivo di vibrazione. Tale soluzione, tecnicamente realizzabile anche in scala reale, è stata proposta nel caso la verifica dei parametri strutturali al vero risultasse penalizzante dal punto di vista della sensibilità della copertura al forzamento eolico.

REFERENCES

- Simiu E., Scanlan R. (1996). *Wind effects on Structures*. John Wiley & Sons, New York
- Danish Maritime Institute, DMI (2002). Aeroelastic model test for the design of the Braga Stadium.
- Borri C., Majowiecky M., Spinelli P. (1992). Wind response of a large tensile structure: the new roof of the Olympic Stadium in Rome. *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 42 (1-3), pp. 1435-1446

Numerical simulation of buffeting forces in bridge deck aerodynamics via indicial functions

Claudio Borri^a, Carlotta Costa^a

^aCRIACIV¹, c/o Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Firenze, Firenze

KEYWORDS: buffeting, flutter, indicial functions, time-domain forces.

SUMMARY

Time-domain models are currently addressed for the simulation of dynamic behavior of bridges under the wind flow action. For long span bridges the wind load is conventionally split in two parts, a self-excited component affecting stability and a buffeting fraction acting upon wind turbulence response. To model the wind action in thin airfoil aerodynamics, aerodynamic functions like Wagner's function and Sears' function have been employed to describe, respectively, the self-excited lift and the lift due to a sinusoidal gust. The analogous actions on bridges can be represented through *indicial functions* [Lin & Ariaratnam, 1980; Bucher & Lin, 1986; Borri & Höffer, 2000; Borri *et al.*, 2001]. In particular, these functions seem a quite practical tool to simulate aeroelastic self-excited forces and represent the time-domain counterpart of the well-known frequency-dependent aeroelastic derivatives [Simiu & Scanlan, 1996]. The buffeting forces can be modeled, in the simplest way, through a quasi-steady formulation once the turbulence components are known. This formulation is adapted to the empirical results through a corrective aerodynamic admittance function that accounts for frequency dependence. The admittance function corresponds to the to the Sears' function for thin airfoil. But, exactly like Wagner' function, the bridge function is not analytically defined and depends on geometrical characters of the bridge section.

The aim of this paper is to formulate a complete model that utilizes frequency-independent coefficients to model the wind load, also for turbulent flows. Indicial functions have then to be obtained for laminar and turbulent flow. The gust is assumed sinusoidal. A similar approach has been successfully proposed by Hatanaka & Tanaka [2002], by using aeroelastic derivatives to predict aerodynamic admittance function for lift and moment. In that case, only two different indicial functions are used, one for the lift force and one for the aerodynamic moment. In this paper, a set of two indicial functions for each force component is adopted: each indicial function attains a more physical explanation. Diana *et al.* [2002] adopt a similar formulation with two admittance functions, but using a complex expression to include amplitude and phase to reproduce the admittance functions measured in wind tunnel. An interesting approach to interpret the buffeting forces and the aerodynamic admittance function is also proposed by Scanlan [1974], then investigated by Scanlan & Jones [1999], and further discussed by Scanlan [2000, 2002]. A set of six aerodynamic admittance functions is suggested to express the relationship among the different turbulence components. In this paper admittance functions are derived and numerical simulation are performed with both self-excited and wind turbulence effects. Numerical results are compared with the experimental tests in free vibration conducted at the CRIACIV wind tunnel for a rectangular section with ratio $B/D = 12.5$ and $B/D = 5$.

¹ Centro di Ricerca Interuniversitario di Aerodinamica delle Costruzioni ed Ingegneria del Vento, Univ. Di Firenze, Roma "La Sapienza", Perugia e Trieste

BIBLIOGRAPHY

- Lin Y.K., Ariaratnam S.T. (1980). Stability of bridge motion in turbulent wind. *J. Struct. Mech.*, Vol. 8 No. 1, pp. 1-15.
- Bucher C.G., Lin Y.K. (1988). Stochastic stability of bridges considering coupled modes. *J. Eng. Mech.*, Vol. 114 No. 12, pp. 2055-2070.
- Borri C., Höffer R. (2000). Aeroelastic wind forces on flexible bridge girders. *Meccanica*, Vol. 35, pp.1-15
- Borri C., Costa C., Zahltén W. (2002). Non-stationary flow forces for the numerical simulation of aeroelastic instability of bridge decks. *Comp. Struct.*, Vol. 80, pp. 1071-1079
- Simiu E., Scanlan R. (1996). *Wind effects on Structures*. John Wiley & Sons, New York
- Hatanaka A., Tanaka H. (2002). New estimation method of aerodynamic admittance function. *J. Wind. Eng. Ind. Aerodyn.*, Vol. 90, 2073-2086.
- Diana G., Bruni S., Cigada A., Zappa E. (2002). Complex aerodynamic admittance function role in buffeting response of a bridge deck. *J. Wind. Eng. Ind. Aerodyn.*, 90, 2057-2072
- Scanlan R.H. (1984). Role of indicial functions in buffeting analysis of bridges. *J. Struct. Eng.*, Vol. 110 No. 7, pp. 1433-1446.
- Scanlan R.H., Jones N.P. (1999). A form of aerodynamic admittance for use in bridge aeroelastic analysis. *J. Fluids Struct.*, Vol. 13, pp. 1017-1027.
- Scanlan R.H. (2000). Motion related body-force functions in two-dimensional low-speed flow. *J. Fluids Struct.*, 14, 49-63.
- Scanlan R.H. (2002). Reexamination of sectional aerodynamic force functions for bridges, *J. Wind. Eng. Ind. Aerodyn.*, Vol. 89 No. 14-15, 1257-1266.

Prove sperimentali in galleria del vento ed azioni dinamiche di progetto sulla nuova copertura dello Stadio delle Alpi di Torino

C. Borri^{*}, M. Majowiecki^{**}, F. Ossola^{***},
G. Bartoli^{*}, M. Orlando^{*} & L. Procino^{*}

^{*} CRIACIV¹ c/o Dip.to di Ing. Civile, Università di Firenze,
Via di S. Marta 3, 50139 Firenze, Italy

^{**} Dip.to di Costruzione dell'Architettura - IUAV Venezia,
Santa Croce 191 Tolentini, 30135 Venezia, Italy

^{***} Dip.to di Ing. dei Sist. Edilizi e Territoriali, Politecnico di Torino,
c.so Duca degli Abruzzi 24, 10129, Torino, Italy

PAROLE CHIAVE: Galleria del vento, coefficienti di pressione, analisi dinamica non lineare, visualizzazioni di flusso.

SOMMARIO

1. Si presentano i risultati delle prove sperimentali condotte nella galleria del vento del CRIACIV¹ sul modello della nuova copertura dello stadio delle Alpi di Torino. Come mostrato in Fig. 1, la nuova copertura si inserisce al di sotto di quella esistente, e se ne distacca in aggetto (variabile) per ca. 22 m .



Figura 1: vista simulata del modello architettonico della nuova struttura all'interno della struttura esistente.

La sezione trasversale di cui alla Fig. 2 mostra come l'interazione fra le due strutture sia di grande importanza. A causa di tale forte interazione e data la leggerezza ed i carichi in gioco, l'azione dinamica del vento diviene dominante per il progetto della copertura, la cui forma così particolare fa nascere molti interrogativi circa la effettiva distribuzione delle pressioni: dalle varie Normative esistenti nessuna utile indicazione può essere efficacemente desunta.

¹ Centro di Ricerca Interuniversitario di Aerodinamica delle Costruzioni ed Ingegneria del Vento (fra le Univ. di: Firenze, Sede ammm.va, Chieti-Pescara, Perugia, Roma "La Sapienza", Trieste ed IUAV di Venezia)

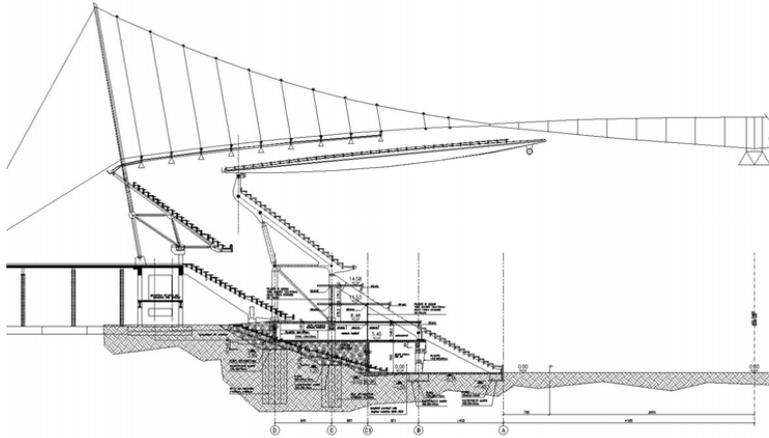


Figura 2: Semi-sezione longitudinale lungo l'asse maggiore (per simmetria)

È stata pertanto decisa ed è in corso di esecuzione (Aprile-Maggio 2004) una campagna di prove sperimentali sul modello integrato (struttura esistente più struttura nuova) nella galleria del vento del CRIACIV. Il modello (in scala 1: 250) include anche gli edifici vicini fino ad una distanza di ca. 250 m dal centro dello stadio. Il modello della copertura è stato strumentato con 260 prese di pressione (130 coppie), delle quali la metà sono poste all'estradosso e le restanti all'intradosso. In questo modo, è stato possibile misurare la pressione netta in ogni punto strumentato.

Le prove saranno eseguite per 10 diverse direzioni del vento in tre set di misura; in ogni set solo la metà delle prese è stata strumentata (nel primo set solo quelle posizionate su un lato della copertura e nel secondo quelle sul lato opposto, mentre il terzo set comprende prese poste su tutti e quattro i lati della copertura per eseguire misure incrociate).

I dati ottenuti forniranno le pressioni nette misurate nelle 130 coppie di prese. Le storie temporali delle pressioni registrate saranno adimensionalizzate dividendo per la pressione dinamica alla quota media della copertura per ottenere i coefficienti di pressione. Successivamente i dati saranno filtrati con un filtro passa basso fino a ca. 40 Hz in modo da pulire i processi dai disturbi della galleria (motore, ventilatore, ecc.).

Per la valutazione dei valori massimi e minimi dei coefficienti di pressione, è prevista un'analisi alla Gumbel, suddividendo le storie temporali in intervalli, ognuno corrispondente a ca. 10 minuti in scala reale. Per ogni direzione del vento, saranno valutate le seguenti quantità:

1. i valori medi dei coefficienti aerodinamici c_p ,
2. la deviazione standard dei c_p ,
3. i massimi valori dei c_p ,
4. i minimi valori dei c_p .

Tutti i dati registrati ed elaborati (ed in particolare le funzioni di auto- e cross-densità spettrale) potranno essere utilizzati per generare storie temporali delle pressioni del vento per la simulazione numerica della risposta dinamica nel dominio del tempo.

2. È inoltre stato stabilito di individuare, per le configurazioni misurate, le zone esposte a maggior rischio per il comfort degli spettatori tramite l'individuazione dei campi di moto locali del vento sui due piani verticali passanti per gli assi principali della struttura. Tali misurazioni verranno effettuate per le 8 direzioni principali di provenienza del flusso (più quelle coincidenti con gli assi principali dello stadio). I risultati saranno illustrati nella forma di mappe bidimensionali dei vettori velocità disposti su una griglia a maglia quadrata variabile da (192 x 192) a (24 x 24) settori. Le dimensioni dell'area investigata per ogni campo di moto saranno variabili in base alle esigenze di set-up; saranno individuate altresì le mappe contenenti le linee di flusso e la distribuzione della vorticità.

Problemi strutturali dei generatori eolici di grandi dimensioni

C. Borri^a, F. Mirto^a

^aDIC/CRIACIV¹, c/o Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Firenze

PAROLE CHIAVE: **generatore eolico, stabilità, analisi dinamica**

SOMMARIO

Le forme rinnovabili di produzione di energia stanno diventando una imprescindibile via per il mantenimento di una accettabile qualità della vita: tra esse l'energia eolica ha trovato un posto rilevante sia per tradizione (basti pensare ai mulini a vento), sia per l'importante possibilità di avere fonti di energia dislocate sul territorio.

La risorsa eolica, che è così intensamente utilizzata nei paesi del nord Europa, negli ultimi dieci anni ha suscitato l'interesse anche dei paesi dell'area mediterranea. Uno dei parametri base per la valutazione della bontà di un sito di produrre energia eolica è la disponibilità di vento che abbia una velocità media utilizzabile dal generatore eolico: questo in Italia limita la possibilità per generatori di medie dimensioni alle creste ed alle vallate appenniniche, nonché ad alcuni tratti di costa in Sicilia ed in Sardegna.

In questo lavoro gli Autori presentano un modello ad un grado di libertà per studiare il comportamento di strutture line-like; viene quindi esaminato il comportamento dinamico, il problema di stabilità ed i problemi collegati alla fatica per la torre dei generatori eolici. Viene inoltre illustrato un algoritmo che minimizzi il peso strutturale della torre e che utilizzi come parametri di controllo il primo moltiplicatore critico e la frequenza propria della torre.

Durante il dimensionamento strutturale della torre una particolare attenzione deve essere posta alla frequenza propria dell'intera struttura (dalla fondazione alle pale) perché non vi siano problemi di risonanza rispetto a tre fattori esterni: la turbolenza del vento, l'eccitazione periodica dovuta alla rotazione della turbina e quella dovuta alla pala del rotore.

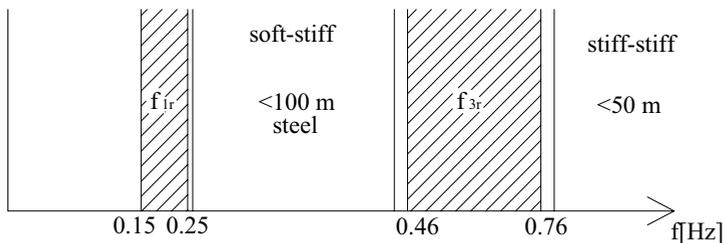


Figura 1. Interazione tra frequenze proprie delle pale, della turbina e del fusto di un generatore eolico

In Fig.1 è riportato un esempio di interazione per un tipico generatore e tre pale; la scelta del campo in cui far ricadere la frequenza propria della struttura dipende dall'altezza del fusto, ovvero dalle dimensioni delle pale del rotore e quindi, in ultima analisi dalla potenza richiesta alla macchina. Per generatori eolici fino ad una potenza di 5-600 kW ed una altezza della torre fino a 50 m, si parla di "stiff-stiff structure", ovvero con una frequenza propria non minore di 0.8 Hz. Se la potenza fornita è 1-2 MW allora la scelta ricade su "soft-stiff structure", ovvero torri in acciaio di altezza fino a 100 m e frequenza propria compresa tra 0.3-0.6 Hz. Per le nuove macchine di potenza superiore ai

¹ CRIACIV: Centro di Ricerca Interuniversitario di Aerodinamica delle Costruzioni ed Ingegneria del Vento – Università di Firenze, Università di Roma "La Sapienza", Università di Perugia, Università di Trieste

3MW, si prediligono strutture in calcestruzzo precompresso poiché la frequenza propria deve nuovamente essere superiore a 0.8 Hz.

Il modello sviluppato è stato applicato ad un generatore eolico a struttura in acciaio di 45 m e di 1MW di potenza, costruito in Grecia sul parco eolico del monte Kalogerovouni: Lavassas I. (2003); Papadimitriou (2002) ed i risultati vengono esposti e commentati nel lavoro.

BIBLIOGRAFIA (TNR grassetto 12, spazio dopo 6 pt, prima 1 rigo vuoto, interlinea esatta 13 pt)

Borri C., Mirto F. (2004). Wind energy: wind turbine structural problems, *Submitted in CostAction C14*

Harte R. (2004). Structural aspects of wind energy turbine, *Submitted in SEMC2004*

Lavassas I., Nikolaidis G., Zervas P., Efthimiou E., Doudomis I.N., Baniatopoulos C.C. (2003). Analysis and design of the prototype of a steel 1-MW wind turbine tower, *Engineering Structures*, Vol. 25, pp. 1097-1106

Papadimitriou L.S., Bazeos N., Karabalis D.L. (2002). Stability analysis and structural optimisation of a prototype wind turbine steel tower, *4th National Conference on Steel Structures Greece*, pp. 221-229

Winterstetter Th.A., Schmidt H. (2002). Stability of circular cylindrical steel shells under combined loading, *Thin-Walled Structures*, Vol. 40, pp. 893-909

Semi- Active Control of Structures with Piezoelectric Actuators and Sensors

Brigante Michele, Fabbrocino Francesco, Pasquino Mario

Department of Scienza delle Costruzioni, University of Naples Federico II – Napoli

Key words: semi-active control, piezoelectric sensors and actuators, parametric vibrations, continuous system

ABSTRACT

The beams can serve as a basic model for a number of structures used in the aeronautical, aerospace as well as in other fields of the advanced technology.

Depending on their magnitude and location, drastic reduction of natural eigenfrequencies and modification of the eigenmodes are experienced. These modifications can result in a deterioration of the dynamic response to time-dependent excitations and can also precipitate the occurrence of the flutter instability.

As important or strategic buildings, robot manipulator arms, space booms or antennas operating in space, they are required to be lightweight, strong and of high precision in their mission. Uncontrolled vibrations can result in drastic reductions of the accuracy and precision of their operations.

In order to control the dynamic response of these structures under time-dependent external excitations and inhibit the damaging effects of vibrations without weight penalties, new technologies have to be implemented.

This paper illustrates the difficulties in creating a plant which rolls of in such a way that it is suitable for local control using only strain actuators and sensor. The first difficulty is the impedance match problem using piezoelectric actuators and sensors. Since the piezoelectric couples both stress and strain with charge and electric field, it is difficult to decouple the strain information from the stress information. The second problem is the difficulty of weighting the actuators and sensors on a structure. The piezoelectric ceramics used in assembling the plate experiments were all of constant thickness, so that it was not possible to apply a true weighting to either the actuator or the sensor.

In this paper for solving structural analysis Matlab and Simulink software is used. The solutions presented are obtained using the features of Matlab utilizing any common specialized Matlab toolboxes.

The end result of these problems is that the rolloff achieved with piezoelectric actuators and sensors is not significant, and that alternate actuator and sensor pairs must be devised to simplify local control design.

REFERENCES

- C.E. Crede and J.E. Ruzicka, 1996. *Shock and Vibration Handbook* (C.M. Harris, editor) New York: McGraw-Hill. Ch.30 Theory of vibration isolation
- L. Meirovitch, 1990, *Dynamics and control of structures*, John Wiley & Sons, Inc.
- C.R. Fuller, S.J. Elliott and P.A. Nelson, 1996, *Active control of vibration*, Academic Press.

- D. Hrovat and M. Hubbard, 1981, *Journal of Dynamic systems, Measurement, and Control*, Vol. 103, 228-236, Transactions of the ASME, Optimal Vehicle suspensions minimizing RMS rattlespace, sprung-mass acceleration and jerk.
- A. Hac, 1986, *Journal of Dynamic systems, Measurement, and Control*, Vol. 108, 106-110, Transactions of the ASME, Stochastic optimal control of vehicles with elastic body and active suspension
- M.J. Balas, 1979, *Journal of Guidance and Control*, Vol. 2, 252-253, Direct velocity feedback control of large space structures
- D. Karnopp, M.J. Crosby and R.A. Harwood, 1974, *Journal of Engineering Industry*, pp. 619-626, Vibration control using the semi-active force generators
- M. Serrand, 1998, MSc Dissertation, University of Southampton, Active isolation of base vibration
- S. Skogestad and I. Postlethwaite, 1996, *Multivariable feedback control; Analysis and design*, John Wiley & Sons, Inc.
- M. Morari and E. Zafriou, 1989, *Robust process control*, Prentice-Hall, Inc.
- S.M. Kim and M.J. Brennan, 1999, *Journal of Sound and Vibration*, (223), pp.97-113, A compact matrix formulation using the impedance and mobility approach for the analysis of structural-acoustic systems
- S.M. Kim 1998, PhD Thesis, University of Southampton, Active control of sound in structural-acoustic coupled systems
- K. Ogata, 1970, *Modern control engineering*, Prentice-Hall
- F.S. Tse, I.E. Morse and R.T. Hinkle, 1978, *Mechanical Vibrations: Theory and Applications*, Allyn and Bacon, Inc.
- D.J. Mead, 1999, *Passive vibration control*, John Wiley & Sons Ltd.
- M.Z. Ren, K. Seto and F. Doi, 1997, *Journal of Sound and Vibration*, 205, 57-80, Feedback structural-borne sound control of a flexible plate with an electromagnetic actuator: the phase lag problem
- A. Tylikowski. Stabilization of Parametric Vibrations of a Nonlinear Continuous System, *Meccanica* 38: 659-668, 2003
- Shahnam Navace, Nirmal K. Das. Utilization of Matlab in Structural Analysis, *Georgia Southern University – ASEE 2002*
- Roland Kasper, Wolfgang Heinemann, Andreas Wagner. Modeling and Control of piezoelectric actuators for high speed applications, *Otto-von- Guericke – Universität Magdeburg*, Germany, 2003
- Dunant Halim, S. O. Reza Moheimani. Spatial Resonant Control of Flexible Structures – Application to a Piezoelectric Laminate Beam, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 9, No. 1, January 2001
- Kevin Poulin, Rimas Veicaitis. Vibration of Stiffened Composite Panels with Smart Materials, *15 th ASCE Engineering Mechanics Conference Columbia University*, New York, June 2002
- T. E. Prince, Mohsen Shaake. Dynamic Responce of a Long Discretely Supported Beam, *15 th ASCE Engineering Mechanics Conference Columbia University*, New York, June 2002
- Piotr M. Przybyłowicz. Active Stabilization of a Rotating Shaft Transmitting Static Torque, *Meccanica* 38: 763-770, 2003
- Chin-Hsiung Loh, L. Y. Wu and P. Y. Lin. Displacement control of isolated structures with semi-active control devices, *Journal of Structural Control 2003*; 10:77-100

Determinazione delle funzioni di ammettenza aerodinamica di corpi aerodinamici: l'approccio indiciale via CWE

L. Bruno^a, F. Tubino^b, G. Solari^b

a Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Torino

b Università di Genova, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica; Genova

PAROLE CHIAVE: Ammettenza aerodinamica, Approccio indiciale, Computational Fluid Dynamics, Corpi aerodinamici.

SOMMARIO

La memoria presenta i risultati di uno studio rivolto a valutare la possibilità di calcolare l'ammettenza aerodinamica (operatore funzionale che lega le forze che nascono su un sistema lineare alle fluttuazioni della corrente incidente) di un corpo bidimensionale con l'uso di un solutore delle equazioni di Navier-Stokes e attraverso l'approccio indiciale.

La difficoltà nell'uso di un solutore numerico basato su tecniche di discretizzazione risiede principalmente nel rendere accettabile l'onere computazionale di simulazioni non stazionarie sufficientemente accurate per flussi ad alto numero di Reynolds. Questo obiettivo risulta difficilmente raggiungibile trasponendo all'approccio computazionale i metodi attualmente utilizzati in sede sperimentale. Risulta infatti oneroso imporre al contorno storie temporali delle componenti della velocità con il medesimo contenuto in frequenza della turbolenza atmosferica e protrarre la simulazione on-line su una finestra temporale sufficientemente estesa da essere statisticamente rappresentativa (Larose 1999). Analogamente risulta difficile attuare la scomposizione della turbolenza atmosferica nelle sue componenti armoniche, imporre le corrispondenti condizioni al contorno periodiche in simulazioni distinte e quindi ricostruire la funzione di ammettenza frequenza per frequenza (Cigada et al 2002).

Una significativa riduzione dell'estensione temporale della simulazione può essere ottenuta applicando allo strumento computazionale l'approccio indiciale (Fung 1993). Questo metodo è stato storicamente introdotto nello studio delle forze aeroelastiche e aerodinamiche su ali infinitamente sottili, in moto relativo non uniforme e flusso potenziale. In particolare la funzione di Wagner esprime la portanza che nasce su una lastra sottile per effetto di una variazione a gradino della velocità trasversale della lastra stessa (Fung 1993), la funzione di Kussner rappresenta invece la portanza che nasce su una lastra sottile per effetto della sua transizione in una variazione a gradino della componente trasversale del campo di velocità in cui è immersa (Von Karman & Sears 1938). In generale, l'approccio indiciale consiste nella determinazione delle forze generalizzate (resistenza, portanza e momento) che nascono su un corpo per effetto di variazioni a gradino delle componenti di moto del corpo stesso (velocità longitudinale, trasversale e angolare) o a causa della sua transizione in campi di velocità soggetti a variazioni a gradino (turbolenza longitudinale e trasversale). Nota la forza generalizzata che nasce per effetto di una variazione a gradino di un parametro, la forza dovuta ad una variazione temporale generica del parametro stesso può essere derivata, in virtù della linearità del sistema, attraverso un integrale di Duhamel. Le funzioni di ammettenza aerodinamica, necessarie per una rappresentazione delle forze aerodinamiche nel dominio della frequenza, vengono ottenute a partire dalle funzioni indiciali attraverso operazioni di trasformazione di Fourier. L'approccio indiciale consente quindi di ottenere le funzioni di ammettenza aerodinamica attraverso una sola simulazione.

D'altro canto, a fronte dei vantaggi elencati, due principali elementi di difficoltà sono rilevabili nell'applicazione del metodo indiciale via CFD.

La prima difficoltà risiede nel generare una variazione a gradino della variabile di ingresso senza incorrere in oscillazioni numeriche della soluzione (gradienti infiniti a fronte di passi di tempo

finiti) o in soluzioni non fisiche dovute all'imposizione di una variazione istantanea nel campo di velocità incidente quale dato arbitrario di input invece che frutto dei fenomeni di convezione e diffusione della raffica stessa lungo il flusso indisturbato a monte dell'ostacolo (Turbelin 2000). Le modalità di generazione dell'impulso in ingresso per un solutore di Navier-Stokes sono state investigate nel caso del problema di Wagner applicato in campo aeronautico a flussi comprimibili (Ballhaus e Goozjian 1978, Lesieutre et al 1994, Parameswaran e Baeder 1997).

In secondo luogo, lo studio numerico di fenomeni aerodinamici evolutivi con elevati gradienti di alcune delle variabili, come nel caso delle componenti di velocità in corrispondenza del fronte d'onda della raffica, richiede ottime caratteristiche computazionali del modello in termini di qualità della griglia di calcolo e di accuratezza degli schemi di discretizzazione nello spazio e nel tempo (Tamura 1990).

La presente memoria propone, nell'ambito dell'approccio computazionale, una procedura di generazione della raffica incidente che assicuri la rispondenza del suo contenuto in frequenza con quello della turbolenza atmosferica e l'adeguata simulazione dell'evoluzione nel flusso indisturbato a monte del profilo.

Gli effetti dispersivi e diffusivi introdotti nella soluzione dai parametri numerici del modello (densità della griglia di calcolo, passo di avanzamento, schemi di discretizzazione temporale e spaziale) sono oggetto di uno studio di sensitività preliminare attraverso la simulazione della convezione e diffusione di una raffica in assenza di ostacoli. La taratura dei parametri di modello è in seguito verificata rispetto a soluzioni analitiche disponibili per fenomeni analoghi a quello di interesse (Batchelor 1967).

La metodologia proposta, benché finalizzata allo studio della risposta dinamica all'azione del vento di impalcato da ponte con sezioni semi-profilate (Bruno et al. 2004), è applicata in questa memoria ad una lastra infinitamente sottile e ad un profilo alare simmetrico per differenti modelli di flusso al fine di consentire il confronto della funzione di ammettenza ottenuta con la soluzione in forma chiusa di Von Karman e Sears (1938). I risultati ottenuti mettono in luce la relazione tra le modalità di generazione e propagazione della raffica a gradino, l'andamento del transitorio della forzante aerodinamica e la funzione indiciale.

BIBLIOGRAFIA

- Ballhaus W.F., Goozjian P.M. (1978), Computation of unsteady transonic flow by the indicial method, *AIAA Journal*, Vol. 16(2).
- Batchelor G.K. (1967), *An introduction to Fluid Dynamics*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Bruno L., Tubino F. and Solari G. (2004), Determinazione delle funzioni di ammettenza aerodinamica di impalcato da ponte attraverso la CWE, IN-VENTO 2004, Reggio Calabria.
- Cigada A., Diana G., Zappa E. (2002), On the response of a bridge deck to turbulent wind: a new approach, *J. Wind Engng and Ind. Aerodynamics*, Vol. 90, pp. 1173-1182.
- Fung Y.C. (1993), *An introduction to the theory of aeroelasticity*, Dover Publications, New York, U.S.A.
- Larose G.L. (1999), Experimental determination of the aerodynamic admittance of a bridge deck section, *J. Fluids and Structures*, Vol. 13, pp. 1029-1040.
- Lesieutre D.J., Reischel P.H., Dillenius M.F.E. (1994), A practical approach for calculating Aerodynamic indicial functions with a Navier-Stokes solver, AIAA 94-0059, *32nd Aerospace Sciences Meeting & Exhibit*.
- Parameswaran V., Baeder J.D. (1997), Indicial Aerodynamics in Compressible flow – Direct calculations, *AIAA J. Aircraft*, Vol. 34, pp. 131-133.
- Sears W.R. (1941), Some aspects of Non-Stationary Airfoil Theory and Its Practical Application, *Journal of Aeronautical Science*, Vol. 3(8).
- Tamura T. (1990), On the reliability of two-dimensional simulation for unsteady flows around a cylinder-type structure, *J. Wind Engng. Ind. Aerodyn.*, Vol. 35, pp. 275-298.
- Turbelin G. (2000), *Modélisation de la turbulence atmosphérique en vue de l'étude du chargement aérodynamique des structures soumises aux effets du vent*, PhD Thesis, Université d'Evry Val d'Essonne, France.
- Von Karman T. and Sears W.R. (1938), Airfoil Theory for Non-Uniform Motion, *Journal of Aeronautical Science*, Vol. 10(5).

Determinazione delle funzioni di ammettenza aerodinamica di impalcati da ponte attraverso la CWE

L. Bruno^a, F. Tubino^b, G. Solari^b

a Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Torino

b Università di Genova, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Genova

PAROLE CHIAVE: Ammettenza aerodinamica, Approccio indiciale, Computational Fluid Dynamics, Impalcati da ponte.

SOMMARIO

La componente aerodinamica delle azioni fluttuanti del vento (forze di buffeting) sui ponti è espressa in funzione della turbolenza indisturbata attraverso le funzioni di ammettenza aerodinamica (Davenport 1962, Chen et al. 2000). Queste funzioni forniscono una misura della variazione del contenuto armonico della turbolenza indisturbata per effetto della presenza del corpo stesso all'interno del campo di flusso atmosferico.

Il concetto di ammettenza aerodinamica è stato introdotto in ambito aeronautico: Sears (1941) ha definito una funzione di trasferimento tra la componente verticale di turbolenza e la portanza che nasce su una lastra infinitamente sottile. In questo caso, grazie all'ipotesi di flusso potenziale, la funzione di ammettenza è stata determinata analiticamente.

Nel caso delle forze di buffeting sui ponti, l'ammettenza aerodinamica è definita da sei funzioni che legano le forze in direzione longitudinale e trasversale e il momento torcente alle componenti di turbolenza longitudinale e verticale.

Poiché le sezioni degli impalcati da ponte sono corpi tozzi, l'ipotesi di flusso a potenziale non è ammissibile e le funzioni di ammettenza non possono essere determinate analiticamente. Queste vengono determinate sperimentalmente attraverso prove in galleria del vento (Walshe and Wyatt 1983, Kumarsena et al 1991, Kawatani and Kim 1992, Sankaran and Jancauskas 1992, Larose 1999, Matsuda et al 1999). Tuttavia, in galleria del vento non è possibile generare indipendentemente le due componenti di turbolenza; è quindi impossibile separare i loro contributi alle forze di buffeting e determinare l'insieme completo delle funzioni di ammettenza aerodinamica. Inoltre, i risultati delle prove in galleria del vento sono in termini di spettri di potenza e consentono quindi di determinare il modulo quadrato della funzione di ammettenza aerodinamica, non fornendo informazioni sulla sua fase.

Recentemente è stato introdotto un metodo sperimentale, basato sulla generazione di variazioni sinusoidali a frequenza variabile della componente verticale di turbolenza (Cigada et al. 2002), che consente di costruire per punti in frequenza le funzioni di ammettenza relative alla componente verticale di turbolenza; tuttavia questo metodo richiede l'esecuzione di numerose prove e non fornisce indicazioni sulle funzioni di ammettenza legate alla componente longitudinale di turbolenza.

Una possibilità alternativa, proposta recentemente in letteratura, è quella di ricavare le funzioni di ammettenza aerodinamica dalle derivate di flutter (Scanlan and Jones 1999, Tubino 2004): tuttavia, l'impossibilità di valutare in galleria del vento l'insieme delle funzioni di ammettenza aerodinamica non consente di validare sperimentalmente le relazioni proposte; inoltre le funzioni di ammettenza aerodinamica così ottenute non tengono conto della non perfetta correlazione delle componenti di turbolenza attorno al profilo.

Pertanto, in assenza di misure sperimentali, gran parte della letteratura sul calcolo della risposta all'azione dei ponti di grande luce, utilizza la funzione di Sears (Katsuchi et al 1999, Boonyapinyo et al. 1999, Chen et al. 2000).

L'ingegneria del vento computazionale (CWE) offre l'opportunità di determinare l'insieme completo delle funzioni di ammettenza in quanto consente di generare separatamente condizioni di flusso in cui sia presente una sola componente di turbolenza. La generazione di variazioni armoniche delle componenti di turbolenza per costruire le funzioni di ammettenza aerodinamica richiederebbe però la realizzazione di numerose simulazioni e comporterebbe quindi un elevato onere computazionale. La propagazione di raffiche a gradino (Turbelin 2000) secondo la procedura proposta da Bruno et al (2004), permette, adottando l'approccio indiciale (Fung 1993), di determinare ciascuna funzione di ammettenza aerodinamica in modulo e fase attraverso una sola simulazione stazionaria.

La procedura, validata da Bruno et al (2004) calcolando la funzione di ammettenza aerodinamica per una piastra sottile, è utilizzata in questa sede per definire le funzioni di ammettenza aerodinamica per sezioni di impalcati da ponte di varia forma. I risultati ottenuti sono confrontati qualitativamente con le funzioni di ammettenza aerodinamica valutate in galleria del vento.

BIBLIOGRAFIA

- Boonyapinyo V., Miyata T., Yamada H. (1999), Advanced aerodynamic analysis of suspension bridges by state-space approach, *J. Struct. Engng ASCE*, Vol. 125(12), pp. 1357-1366.
- Bruno L., Tubino F., Solari G. (2004), Determinazione delle funzioni di ammettenza aerodinamica di corpi aerodinamici: l'approccio indiciale via CFD, IN-VENTO 2004, Reggio Calabria,
- Chen X., Matsumoto M., Kareem A. (2000), Aerodynamic coupling effects on flutter and buffeting of bridges, *J. Engng Mech. ASCE*, Vol. 126(1), pp. 17-26.
- Cigada A., Diana G., Zappa E. (2002), On the response of a bridge deck to turbulent wind: a new approach, *J. Wind Engng and Ind. Aerodynamics*, Vol. 90, pp. 1173-1182.
- Davenport A.G. (1962), Buffeting of a suspension bridge by storm winds, *J. Struct. Division ASCE*, Vol. 88-3, pp. 233-268.
- Fung Y.C. (1993), *An introduction to the theory of aeroelasticity*, Dover Publications, New York, U.S.A.
- Katsuchi H., Jones N.P. and Scanlan R.H. (1999), Multimode coupled flutter and buffeting analysis of the Akashi-Kaikyo bridge, *J. Struct. Engng ASCE*, Vol. 125(1), pp. 60-70.
- Kawatani M., Kim H. (1992), Evaluation of aerodynamic admittance for buffeting analysis, *J. Wind Engng and Ind. Aerodynamics*, Vol. 41-44, pp. 613-624.
- Komatsu S., Kobayashi H. (1978), Experimental identification of aerodynamic forces, *J. Engng Mech. Division ASCE*, Vol. 104(EM4), pp. 921-938.
- Larose G.L. (1999), Experimental determination of the aerodynamic admittance of a bridge deck section, *J. Fluids and Structures*, Vol. 13, pp. 1029-1040.
- Matsuda K., Hikami Y., Fujiwara T., Moriyama A. (1999), Aerodynamic admittance and the 'strip theory' for horizontal buffeting forces on a bridge deck, *J. Wind Engng and Ind. Aerodynamics*, Vol. 83, pp. 337-346.
- Sankaran R., Jancauskas E.D. (1992), Direct measurement of the aerodynamic admittance of two-dimensional rectangular cylinders in smooth and turbulent flows, *J. Wind Engng and Ind. Aerodynamics*, Vol. 41-44, pp. 601-611.
- Scanlan R.H., Jones N.P. (1999), A form of aerodynamic admittance for use in bridge aeroelastic analysis, *J. Fluids and Structures*, Vol. 13, pp. 1017-1027.
- Sears W.R. (1941), Some aspects of non-stationary airfoil theory and its practical application, *J. Aero. Sci.*, Vol. 8(3), pp. 104-108.
- Tubino F. (2004), Aerodynamic and aeroelastic actions on long-span bridges, *J. Wind Engng and Ind. Aerodynamics*, sottoposto.
- Turbelin G. (2000), *Modélisation de la turbulence atmosphérique en vue de l'étude du chargement aérodynamique des structures soumises aux effets du vent*, PhD Thesis, Université d'Evry Val d'Essonne, France.
- Walshe D.E., Wyatt T.A. (1983), Measurement and application of the aerodynamic admittance function for a box-girder bridge, *J. Wind Engng and Ind. Aerodynamics*, Vol. 14, pp. 211-222.

Large-Eddy simulations of the flow around a finite-length triangular prism

S. Camarri^a, M.V. Salvetti^a, G.Buresti^a

^aDipartimento di Ingegneria Aerospaziale, Università degli Studi di Pisa

KEY-WORDS: bluff-bodies, triangular prisms, large-eddy simulation

ABSTRACT

Investigations to improve the present understanding of the flow around bluff-bodies of moderate aspect ratio are of interest for many engineering applications as, for instance, the evaluation of the mean and unsteady wind loads on buildings.

In the experimental activity documented in Buresti & Lombardi, 2002 and in Buresti *et al.*, 1998, the flow around finite-length triangular prisms mounted vertically on a wall with their apex edge against the incoming flow was investigated. Prisms with both equilateral and isosceles triangular cross-sections were considered, with aspect ratios h/w (where h is the prism height and w the length of its cross-section base) varying from 1 to 3. In all cases, an alternate vortex-shedding was observed, with intensity and regularity decreasing with the aspect ratio. Moreover, two streamwise counter-rotating vortices were found near to the prism tip. Finally, a clear peak in the velocity fluctuation spectra was found downstream of the prisms, both above and aside the upper wake, at a frequency slightly lower than $1/3$ of the vortex shedding frequency (denoted as the LF frequency in the following) and the velocity fluctuations at this frequency, measured simultaneously in opposite sides of the flow symmetry plane, were found to be in phase. On the basis of these observations, in Buresti & Lombardi, 2002 it was suggested that the LF frequency might be related to oscillations of the tip vortices. However, the available experimental data were not sufficient for a definite confirmation of this scenario.

In the present work, numerical simulation is used to obtain a more detailed information on the wake dynamics and, in particular, on the physical origin of the LF frequency. To this purpose, among all the configurations tested in Buresti & Lombardi, 2002, the prism with an equilateral base and with an aspect ratio $h/w = 3$ is considered here, this being the configuration in which all the phenomena described above are more clearly detectable and less intermittent.

The large-eddy simulation (LES) numerical approach is used in the present work. This approach consists into filtering the Navier-Stokes equations in space and in simulating only the large spatial scales of the flow, while the effect of the small scales eliminated by the filter is modeled. This method is particularly suited for simulating bluff-body flows, which are dominated by large vortical structures whose dynamics is directly simulated in LES at computational costs definitely lower than in direct numerical simulation.

The space-filtered compressible Navier-Stokes equations are considered here, together with two closure models, viz. the Smagorinsky model and its dynamic version. Due to the complexity of the geometry, an unstructured grid made of tetrahedral elements is generated and a mixed finite-element/finite-volume formulation is used for the spatial discretization of the equations. Finite elements (P1 type) and finite volumes are used to discretize the diffusive and the convective fluxes, respectively. The Roe scheme is the basic upwinding component of the numerical convective fluxes, and the MUSCL reconstruction technique is adopted in order to increase the accuracy of the resulting scheme, which is 2nd order accurate. Moreover, the MUSCL reconstruction is designed

with particular attention to the numerical viscosity, this being a key point for the reliability of the LES results, as discussed in Camarri *et al.*, 2004. Finally, the simulations are advanced in time with an implicit second-order backward differencing scheme. The present numerical approach has already been successfully used in the simulation of bluff body flows (Camarri *et al.*, 2002).

Two grids, a coarse one made of about 10^5 nodes and a more refined one with about $3.7 \cdot 10^5$ nodes, have been used to discretize the same computational domain. The simulations carried out on the coarse grid have already been validated against the experimental results as discussed in Camarri & Salvetti, 2003, where it is shown that the main characteristics of the flow are simulated and that numerical results are at least in qualitative agreement with the experiments. These preliminary numerical simulations indicate that the axial vortices at the tip, although rapidly falling into the wake downstream of the prism, are very stable and do not seem to significantly oscillate in time, at least in the immediate proximity of the prisms. Conversely, the LF frequency seems to be related to a phenomenon of interaction between the axial vortices and the transverse vorticity released from the rear part of the tip, which occurs slightly more downstream and is apparently associated with a contraction/expansion of the wake. The main results of the above analysis will be described in more detail in the final paper.

The same analysis will be repeated on the results obtained with the refined grid in order to ascertain if the mechanisms highlighted above are still present and may be better defined. Furthermore, the numerical data will be quantitatively and qualitatively compared with new available experimental measurements of the velocity fluctuations carried out in several positions inside the wake of the prism. In particular, the power spectra and wavelet maps of the experimental and numerical velocity signals will be compared, in order to try to associate the different detected frequencies with the various physical phenomena taking place in the wake field.

BIBLIOGRAPHY

- Buresti G., Lombardi G. (2002). Experimental analysis of the free-end and upper wake flow fields of finite triangular prisms, Atti del 7° Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento, In-Vento-2002, (Diana G., Cheli F., Zasso A., Eds), pp. 375-382, SGEEditoriali, Padova, 2003.
- Buresti G., Lombardi G., Talamelli A. (1998). Low aspect-ratio triangular prisms in cross-flow: measurement of the wake fluctuating velocity field, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., Vol. 74-76, pp. 463-473
- Camarri S., Salvetti M.V., Koobus B., Dervieux A. (2002). Large-Eddy simulation of a bluff-body flow on unstructured grids, Int. J. Num. Meth. Fluids, Vol. 40, pp.1431-1460.
- Camarri S., Salvetti M.V., Koobus B., Dervieux A. (2004). A low-diffusion MUSCL scheme for LES on unstructured grids, to be published in Computers & Fluids.

Simulazione numerica del flusso su un impalcato da ponte per la valutazione delle derivate aerodinamiche

F. Cambuli^a, R. Fuliotto^b, N. Mandas^a,

^aDipartimento di Ingegneria Meccanica, Università degli Studi di Cagliari, Cagliari

^bIngegnere, collaboratore esterno

PAROLE CHIAVE: Computational Fluid Dynamics, Derivate aerodinamiche, Vortex shedding

SOMMARIO

In questo studio è stata svolta una serie di simulazioni numeriche bidimensionali del flusso su un impalcato da ponte, volta alla valutazione dei parametri aerodinamici (derivate aerodinamiche) necessari per la valutazione della velocità del vento critica per i fenomeni di *flutter*.

Per la valutazione della velocità critica di *flutter* possono essere utilizzate diverse metodologie, alcune delle quali [Scanlan & Tomko, 1971; Larsen, 1997] prevedono il calcolo delle cosiddette derivate aerodinamiche. Esse compaiono nella espressione delle forze aerodinamiche, espresse dalle (1), agenti sul corpo investito da un flusso e dotato di un moto oscillatorio, con pulsazione ω , di traslazione ortogonale alla direzione del vento e di rotazione [Larsen, 1997]:

$$\begin{aligned} M &= \rho U^2 B^2 \left[KA_1^*(K) \frac{h'}{U} + KA_2^*(K) \frac{B\alpha'}{U} + K^2 A_3^*(K) \alpha + K^2 A_4^*(K) \frac{h}{B} \right] \\ L &= \rho U^2 B \left[KH_1^*(K) \frac{h'}{U} + KH_2^*(K) \frac{B\alpha'}{U} + K^2 H_3^*(K) \alpha + K^2 H_4^*(K) \frac{h}{B} \right] \end{aligned} \quad (1)$$

dove M e L sono il momento e la portanza aerodinamica, U è la velocità del vento che investe il corpo, B è la lunghezza del corpo nella direzione del vento, $K = \omega B/U$ è la frequenza ridotta, h è lo spostamento in direzione perpendicolare a quella del vento e h' è la sua derivata temporale, α e α' sono le analoghe grandezze riferite al movimento di rotazione, mentre i termini contrassegnati con l'asterisco rappresentano le derivate aerodinamiche che, in generale, sono funzioni della frequenza ridotta.

La procedura per il calcolo delle derivate aerodinamiche, che si basa sulle ipotesi di movimento sinusoidale della sezione e di processi aerodinamici lineari, prevede di sottoporre il corpo ad un movimento armonico di rotazione o di spostamento perpendicolare al vento, e di valutare le forze aerodinamiche funzioni del tempo. In questo studio è stato impiegato un codice di calcolo fluidodinamico a volumi finiti, impostato per la simulazione di un flusso bidimensionale, incomprimibile, viscoso e non stazionario attorno alla sezione retta del ponte.

La geometria scelta per le simulazioni è quella dell'impalcato utilizzato per il ponte Great Belt East, recentemente realizzato in Danimarca, di cui sono noti i risultati di diverse indagini sperimentali.

Particolare attenzione è stata dedicata alla scelta del modello di turbolenza adeguato alla risoluzione dei fenomeni fluidodinamici di interesse. A tal fine sono state effettuate alcune simulazioni con la geometria del ponte fissa, impostando il modello di turbolenza Large Eddy Simulations (LES), che hanno permesso di risolvere correttamente il distacco dei vortici e di ottenere valori del numero di Strouhal in buon accordo con i risultati sperimentali. Per i numeri di Reynolds analizzati, invece, il modello di turbolenza $\kappa - \varepsilon$ non ha dato risultati soddisfacenti (fig.1), confermando i risultati numerici ottenuti da [Iaccarino, 2001].

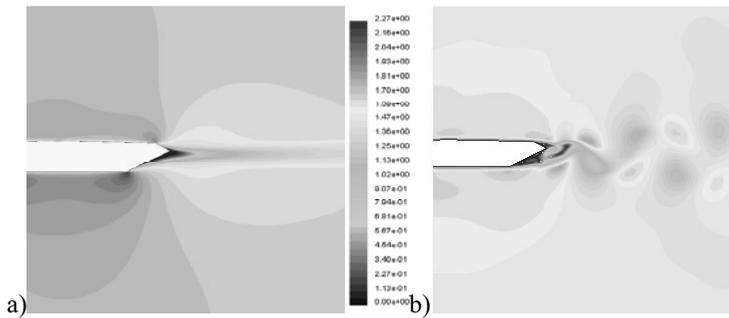


Figura 1.: Mappe di isovelocità del flusso attorno alla sezione del ponte Great Belt Eastern, a) Simulazione con modello di turbolenza $\kappa - \varepsilon$, b) simulazione LES

Dopo aver validato il modello per i casi statici, sono state effettuate delle simulazioni con sezione sottoposta ad un movimento armonico di pura traslazione e di pura rotazione. Per permettere il movimento oscillatorio, sono state utilizzate le tecniche, implementate nel codice di calcolo, note come *sliding mesh* e *dynamic mesh*. Il codice permette di valutare gli andamenti tempo-varianti dei coefficienti di portanza, resistenza e momento sulla sezione dai quali, mediante determinazione dello sfasamento rispetto il movimento armonico della sezione (fig.2), possono essere ricavati i valori delle derivate aerodinamiche, col procedimento descritto da [Larsen & Walther, 1998].

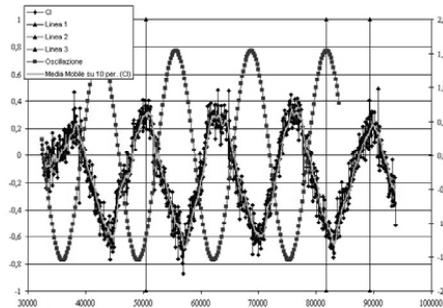


Figura 2.: Determinazione grafica dello sfasamento tra movimento oscillatorio forzato e andamento del coefficiente di portanza della sezione.

I risultati ottenuti sono in buon accordo con quelli di altri sperimentatori, confermando come il procedimento messo a punto sia effettivamente applicabile per il calcolo delle derivate aerodinamiche e per la successiva valutazione della velocità del vento critica di *flutter*.

BIBLIOGRAFIA

- Scanlan R., Tomko J.J. (1971). Airfoil and bridge deck flutter derivatives, *J. Mech. Div., EM6, Proc. ASCE, December 1971*
- Larsen A. (1997). Prediction of aeroelastic stability of suspension bridges during erection, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, Vol. 72, pp. 265-274
- Iaccarino G., (2001). Predictions of a turbulent separated flow using commercial CFD codes, *J. Fluid Engineering*, Vol. 123, pp. 819-828
- Larsen A., Walther J. H. (1998). Discrete vortex simulation of flow around five generic bridge deck sections, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, Vol. 77 & 78, pp. 591-602

Simulazione numerica dello strato limite convettivo

D. Capobianco, A. Cenedese, G. Serafini.

Dipartimento di Idraulica Trasporti e Strade Università “La Sapienza”, Roma.

PAROLE CHIAVE: atmosfera, convezione, diffusione, strato limite, turbolenza

SOMMARIO

Uno dei problemi ancora aperti nell'uso dei modelli matematici per lo studio dello strato limite atmosferico è quello legato alla schematizzazione della turbolenza per le piccole scale. I più noti modelli utilizzati nelle analisi a mesoscala permettono risoluzioni massime di qualche chilometro e non sono quindi idonei a simulare fenomeni locali quali i regimi di brezza e l'evoluzione dello strato limite convettivo. Per superare i limiti ancora presenti, presso il National Center of Atmospheric Research (NCAR), si sta mettendo a punto un nuovo modello WRF (Weather Research and Forecasting) in grado di arrivare a risoluzioni di qualche centinaio di metri (Chen & Dudhia 2000; Skamarock & Klemp & Dudhia 2001). In analogia a quanto viene proposto nella LES le equazioni di bilancio considerate in WRF sono filtrate alla scala su cui si intende analizzare il fenomeno, la turbolenza è dunque schematizzata solo per le scale non risolte. Per la valutazione dei coefficienti di diffusione turbolenta sono possibili differenti opzioni:

- costanti: associati ad una chiusura del primo ordine.
- in funzione dell'energia cinetica turbolenta (modelli TKE) associati ad una chiusura di ordine uno e mezzo (Moeng 1984).
- in funzione della velocità di deformazione (Smagorinsky 1963).

Lo studio dello strato limite convettivo, la cui evoluzione è dovuta a convezione pura generata da scambi termici con il terreno, è stato effettuato utilizzando un modello TKE. Alle equazioni di bilancio di massa, quantità di moto ed energia è stata aggiunta l'equazione di bilancio dell'energia cinetica turbolenta.

Il dominio considerato ha dimensioni orizzontali di 6,4 Km e verticali di 2,4 Km; la risoluzione orizzontale è di 160 m quella verticale è di 50 m. Le condizioni al contorno imposte sono:

- condizioni periodiche sulle superfici verticali.
- flussi di calore assegnati sulle superfici orizzontali.

La risoluzione temporale è di un secondo, le condizioni di quasi stazionarietà sono raggiunte dopo circa 10000 iterazioni temporali; nelle successive iterazioni sono effettuate statistiche per ottenere risultati sintetici confrontabili con quelli di letteratura; la simulazione prevede in totale circa 12000 iterazioni.

I risultati ottenuti mettono in luce alcune caratteristiche tipiche dello strato limite convettivo:

- il profilo del flusso cinematico di calore (Fig.1) presenta andamento lineare in corrispondenza del mixing layer, a cui è associato un profilo costante della temperatura potenziale (Fig.1);
- il profilo del flusso cinematico di calore assume valori negativi in prossimità della zona di inversione mettendo in evidenza il fenomeno della convezione penetrativa, responsabile della crescita dello strato limite;
- il profilo della varianza della velocità verticale (Fig.2) presenta un massimo a circa un terzo della quota di inversione;
- il profilo della varianza della velocità orizzontale presenta un massimo in prossimità del terreno (Fig.2).

I risultati ottenuti sono in accordo con quelli di letteratura (Nieuwstadt & Mason & Moeng & Schumann 1992). Diminuendo la risoluzione si osserva una progressiva perdita di informazione poiché alcune strutture vorticoshe non vengono rappresentate, come previsto dal modello, in quanto risultano di dimensioni inferiori alle celle del dominio.

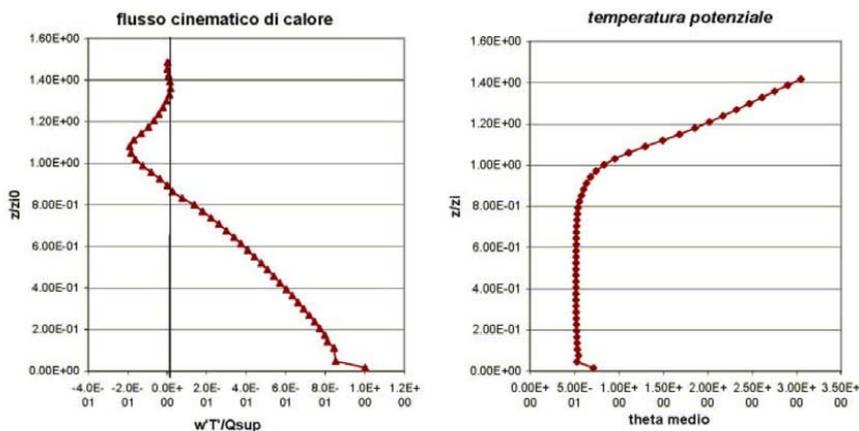


Figura 1: profili del fusso cinematico di calore(sinistra) e della temperatura potenziale (destra).

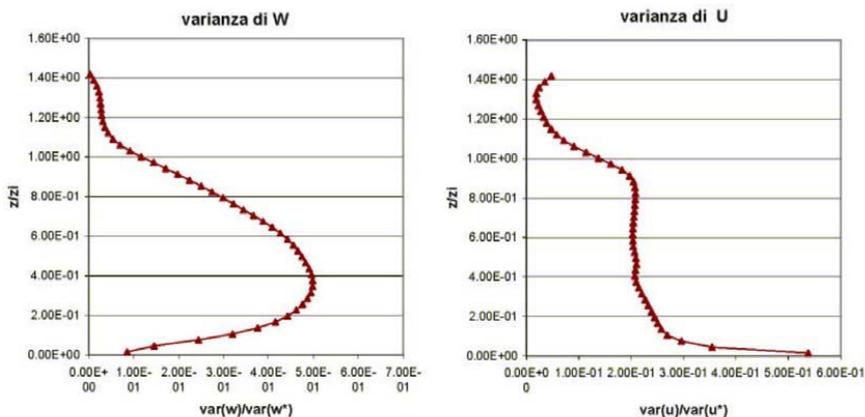


Figura 2: profili della varianza della velocità verticale (sinsitra) e della varianza della velocità orizzontale (destra).

BIBLIOGRAFIA

- Chen S-h, Dudhia J. (2000). Annual Report: WRF Physics. (rapporto interno NCAR)
- Moeng C-H. (1984). A Large-Eddy-Simulation Model for the Study of Planetary Boundary-Layer Turbulence *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 41(13), pp. 2052-2062.
- Nieuwstadt F.T.M., Mason P.J., Moeng C-H., Schumann U. (1992). Large Eddy Simulation of the Convective Boundary Layer: A Comparison of Four Computer Code. *Turbulent Shear Flows 8, Dust H. et al., Ens, Springer-Verlag, Berlin*, pp. 343-367.
- Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J. (2001). Prototypes for the WRF (Weather Research and Forecasting) Model. (rapporto interno NCAR)
- Smagorinsky J. (1963). General circulation experiments with the primitive equations: I. The basic experiment. *Monthly Weather Review*, Vol. 91(3), pp. 99-164.

Un modello quasi statico per l'analisi di cilindri circolari comunque inclinati rispetto al vento

L. Carassale, A. Freda, G. Piccardo

DISEG – Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica – Università di Genova

PAROLE CHIAVE: instabilità aeroelastica, galoppo, teoria quasi-statica, yaw angle.

SOMMARIO

La teoria quasi-statica è largamente impiegata per la rappresentazione della forza eolica agente su elementi strutturali snelli disposti ortogonalmente alla direzione del vento. Le forze aerodinamiche sono espresse mediante una funzione nonlineare della velocità del flusso (eventualmente variabile nel tempo a causa della turbolenza) e della velocità della struttura posta in vibrazione dall'azione del vento. Le caratteristiche geometriche ed aerodinamiche del cilindro sono assegnate attraverso opportuni coefficienti derivabili mediante una semplice prova in galleria del vento con modello statico e flusso laminare.

Dallo studio dell'espressione delle forze aeroelastiche predette dalla teoria quasi-statica si è giunti alla definizione di criteri per la previsione delle condizioni critiche di instabilità di cilindri rigidi montati su vincoli visco-elastici. Tali criteri sono stati poi generalizzati per l'applicazione al caso di strutture flessibili quali cavi o elementi strutturali snelli.

In alcune applicazioni ingegneristiche l'ipotesi di flusso ortogonale all'asse del cilindro è senz'altro inadeguata. Un tipico esempio è costituito dai cavi dei ponti strallati: quando il vento spirava in direzione non ortogonale all'impalcato, i cavi sono investiti da un flusso inclinato rispetto al loro asse. L'asse del cavo e la direzione del vento formano un angolo nel piano orizzontale detto deviazione (yaw); esso provoca una distorsione del flusso, con perdita delle caratteristiche di bidimensionalità e nascita di un flusso secondario in direzione assiale. Tali fenomeni sono stati evidenziati per la prima volta da Matsumoto *et al.* (1990) ed imputati come responsabili della nascita di moti instabili peculiari. In particolare, in contrasto con la trattazione teorica e con le risultanze sperimentali per cilindri con asse ortogonale al flusso, sono stati osservati moti instabili simili ad oscillazioni galoppanti su cilindri circolari asciutti.

Recenti esperienze effettuate presso il National Research Council of Canada (Larose *et al.*, 2003; Cheng *et al.*, 2003a) hanno confermato situazioni di instabilità per opportune combinazioni degli angoli di inclinazione e di deviazione. Il problema tuttora aperto è come tali fenomeni di instabilità possano essere colti o predetti attraverso modelli matematici. L'unica formula previsionale esistente è un criterio di Den Hartog modificato su base empirica (Cheng *et al.*, 2003b).

La formulazione matematica della forza aerodinamica agente su cilindri comunque inclinati rispetto al flusso comporta notevoli difficoltà concettuali. Strømmeren e Hjørth-Hansen (1995) hanno proposto una trattazione basata sulla teoria quasi-statica linearizzata nella quale l'angolo di deviazione è preso in conto proiettando la velocità del vento lungo la normale al cilindro secondo la "regola del coseno". Tale approccio fornisce valori delle forze aerodinamiche numericamente accettabili per piccole deviazioni ed a sufficiente distanza da condizioni di instabilità. Il modello, essendo una semplice scalatura della teoria quasi-statica tradizionale, non è in grado di riprodurre l'instabilità di cilindri circolari asciutti osservata sperimentalmente.

Il presente lavoro propone una generalizzazione della teoria quasi statica al caso di cilindro comunque orientato rispetto al flusso eolico, fornendo un modello capace di rappresentare i risultati sperimentali presentati in Larose *et al.* (2003) e Cheng *et al.* (2003a). Sono state dapprima modellate le forze agenti su un cilindro fisso immerso in un flusso laminare avente velocità U orientata rispetto al cilindro di un angolo di attacco α e di un angolo di inclinazione \downarrow (Figura 1). Successivamente la trattazione è stata estesa al caso cilindro mobile immerso in flusso turbolento.

Questa situazione equivale a considerare una velocità istantanea relativa fluido-cilindro U^* , esprimibile attraverso i due angoli istantanei α^* e \Downarrow^* (Figura 1). La forza istantanea agente sul cilindro è espansa in serie di McLaurin per piccoli valori di fluttuazione della velocità relativa, espressa in forma polinomiale ed incorporata nell'equazione del moto del cilindro pervenendo ad un modello a due gradi di libertà avente una matrice di smorzamento modificata da termini dovuti alle forze aerodinamiche. L'efficacia del modello proposto è stata verificata replicando la prova sperimentale eseguita da Cheng *et al.* (2003a, 2003b). La Figura 2a mostra il coefficiente di portanza ottenuto mediante prova statica e l'interpolazione utilizzata per la presente analisi. Lo studio numerico delle condizioni critiche di instabilità del cilindro evidenzia come una coppia di autovalori incontri l'asse immaginario per una velocità pari a circa 32 m/s (Figura 2b), valore sorprendentemente vicino a quello rilevato sperimentalmente. Pur con la necessità di una più ampia validazione sperimentale, il modello proposto sembra adeguato per riprodurre il comportamento dinamico di elementi cilindrici circolari comunque inclinati rispetto al vento.

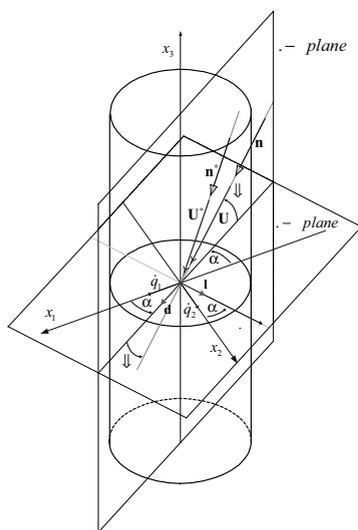


Figura 1. Schematizzazione del vento inclinato rispetto all'asse del cilindro.

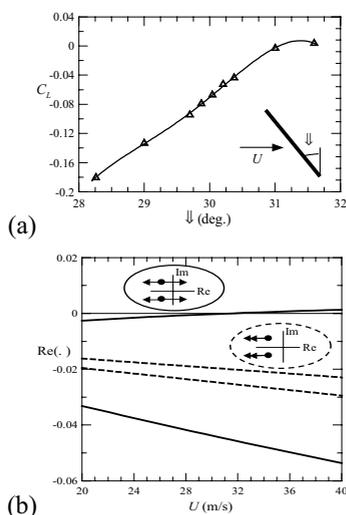


Figura 2. (a) Coefficiente di lift modello statico. (b) Parte reale degli autovalori del sistema.

BIBLIOGRAFIA

- Cheng S., Irwin P.A., Jakobsen J.B., Lankin J., Larose G.L., Savage M.G., Tanaka H., Zurell, C. (2003a). Divergent motion of cables exposed to skewed wind, *Proc., Fifth Int. Symposium on Cable Dynamics*, S. Margherita Ligure (Italy), September 15-18, 2003, pp. 271-278.
- Cheng S., Larose G.L., Savage M.G., Tanaka H. (2003b). Aerodynamic behaviour of an inclined circular cylinder, *Wind and Structures*, 6, pp. 197-208.
- Larose G.L., Jakobsen J.B., Savage M.G. (2003). Wind-tunnel experiments on an inclined and yawed stay cable model in the critical Reynolds number range, *Proc., Fifth Int. Symposium on Cable Dynamics*, S. Margherita Ligure (Italy), September 15-18, 2003, pp. 279-286.
- Matsumoto M., Shiraishi N., Kitazawa M., Knisely C., Shirato H., Kim Y., Tsujii M. (1990). Aerodynamic behavior of inclined circular cylinders – cable aerodynamics, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 33, pp. 63-72.
- Strømmen E., Hjorth-Hansen E. (1995). The buffeting wind loading of structural members at an arbitrary attitude in the flow, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 56, pp 267-290.

Modellazione della coerenza atmosferica per la valutazione del carico eolico su strutture di grande luce

Luigi Carassale, Luisa Carlotta Pagnini, Giovanni Solari

Diseg - Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica dell'Università di Genova

PAROLE CHIAVE: coerenza atmosferica, carico eolico

SOMMARIO

La valutazione degli effetti del vento sulle strutture richiede la scelta di un modello di carico adeguato e una corretta stima dei parametri del modello.

La velocità del vento viene tradizionalmente modellata come la somma di una componente media \bar{u} , e tre componenti fluttuanti a media nulla, la turbolenza longitudinale u' , laterale v' e verticale w' . Esse sono trattate come processi stocastici stazionari gaussiani le cui proprietà spazio-temporali sono espresse, nel dominio della frequenza, mediante le funzioni di densità spettrale incrociata:

$$S_{\varepsilon\varepsilon}(M, M'; n) = \sqrt{S_{\varepsilon}(M; n) S_{\varepsilon}(M'; n)} \text{Coh}_{\varepsilon}(M, M'; n) \quad (\varepsilon = u, v, w) \quad (1)$$

dove n è la frequenza, $S_{\varepsilon\varepsilon}$ e Coh_{ε} sono rispettivamente la funzione di densità spettrale e la funzione di coerenza di ε' , che caratterizza la cross correlazione tra le componenti della turbolenza in due punti separati della struttura di coordinate M e M' in un sistema di riferimento cartesiano assunto convenzionalmente con l'asse z verticale e diretto verso l'alto e l'asse x orientato secondo la direzione della velocità media del vento.

Il concetto di coerenza della turbolenza atmosferica fu introdotto da Davenport (1961) che propose un'espressione caratterizzante la coerenza di componenti della turbolenza longitudinale tra punti allineati lungo la direzione y o z ; successive analisi portate avanti da numerosi autori portarono ad espressioni per ciascuna componente lungo qualunque direzione del tipo:

$$\text{Coh}_{\varepsilon}(M, M'; n) = \exp \left\{ - \frac{2nC_{re} |r - r'|}{\bar{u}(z) + \bar{u}(z')} \right\} \quad (r = x, y, z) \quad (2)$$

dove C_{re} è il coefficiente di decadimento esponenziale della componente della turbolenza $\varepsilon' = u', v', w'$ nella direzione $r=x, y, z$.

Espressioni del tipo riportato in Eq. 2 mostrano una serie di incongruenze: 1) quando la frequenza tende a zero l'Eq. 2 prevede una perfetta correlazione indipendentemente dalla distanza di separazione che è fisicamente irrealistica; 2) l'Eq. 2 è stata calibrata su misure corrispondenti a valori moderati della velocità del vento e tende a sovrastimare la coerenza atmosferica quando applicata in corrispondenza di velocità elevate; 3) sono stati riscontrati errori significativi in relazione alle componenti v' e w' (Characteristics... 1991).

La letteratura è peraltro ricca di contributi relativi all'Eq. 2. Solari e Piccardo (2001) hanno proposto un modello derivato da misure nello strato limite atmosferico in condizioni neutrali le cui stime dei coefficienti di decadimento esponenziale sono corredate dalla distribuzione delle incertezze. Espressioni alternative sono fornite ad esempio da ESDU (1991).

Si può ancora osservare che le funzioni impiegate per descrivere la coerenza atmosferica di strutture alte sulla terra ferma sono solitamente inadeguate per applicazioni a strutture ubicate in ambienti oceanici o in cui la distanza tra punti differenti supera lunghezza integrale di scala della

turbolenza. In questo ambito Kareem (1987) ha proposto una espressione della coerenza che include al suo interno una misura della scala integrale.

La figura 1 pone a confronto alcuni modelli della coerenza atmosferica di u' per punti allineati lungo l'asse y .

Quando si affronta lo studio di strutture importanti la rappresentazione del campo di vento si può avvalere di valutazioni statistiche sperimentali. Questo consente di avere rappresentazioni della velocità media di una certa precisione; la rappresentazione della turbolenza a partire dai risultati inerenti un singolo sensore di velocità del vento può essere già ottenuta in relazione alle proprietà delle fluttuazioni in un solo punto. A questo livello possono essere definite tutta una serie di proprietà quali l'intensità della turbolenza e la funzione di autocorrelazione che consentono di passare alla descrizione della funzione di densità spettrale e alla scala integrale della turbolenza. Al contrario, per ciò che concerne la definizione della coerenza atmosferica, si hanno solitamente informazioni carenti; misure sperimentali provenienti da più sensori sono oltremodo rare soprattutto quando la struttura è ubicata in ambienti marini o comunque difficilmente raggiungibili. In questo caso può essere importante portare avanti analisi di sensibilità a differenti modelli e a differenti definizioni dei parametri.

Il presente lavoro prende in esame diversi modelli della coerenza atmosferica per la rappresentazione delle azioni e degli effetti del vento su strutture di grande luce. Il confronto è operato in termini di opportuni indicatori spettrali ottenuti pesando le diverse componenti della turbolenza con i modi lineari della struttura. Analisi preliminari svolte su un modello del ponte sullo Stretto di Messina mostrano una sensibilità notevole ai modelli di coerenza adottati e alla scelta dei parametri (Figura 2).

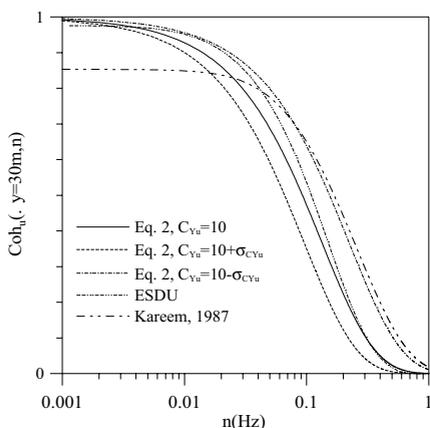


Figura 1. Funzione di coerenza della turbolenza u' .

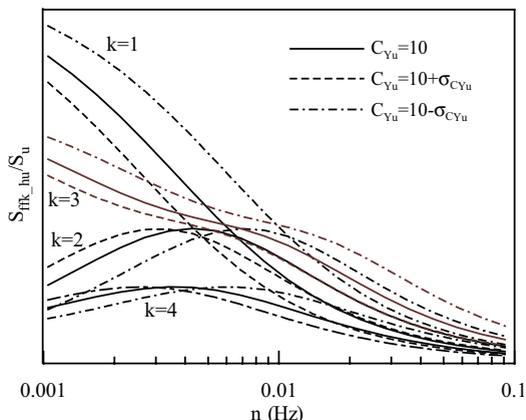


Figura 2. Potenza spettrale delle forze modali associate alla turbolenza u' e ai modi orizzontali di ordine $k=1, \dots, 4$.

BIBLIOGRAFIA

- Davenport, A.G. (1961). The spectrum of horizontal gustiness near the ground in high winds. *Quart J Roy Meteorol Soc*; 87, pp. 194-211;
- Characteristics of atmospheric turbulence near the ground. Part III: Variation in space and time for strong winds (neutral atmosphere). ESDU 86010. London: Engineering Sciences Data Unit, 1991;
- Kareem, A. (1987). Wind effects on structures: a probabilistic viewpoint. *Probabilistic Engineering Mechanics*, 2, pp. 166-200.
- Solari, G., Piccardo, G. (2001). Probabilistic 3-D turbulence modeling for gust buffeting of structures, *Probabilistic Engineering Mechanics*, 16(1), pp. 73-86.

Simulazione Monte Carlo della velocità del vento su strutture complesse

L. Carassale, G. Solari

DISEG – Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica – Università di Genova

PAROLE CHIAVE: simulazione Monte Carlo

SOMMARIO

L'uso della simulazione Monte Carlo nell'ambito dell'ingegneria del vento è ormai ben consolidato e sta diventando un importante strumento nella progettazione di strutture importanti e complesse. Un'applicazione ricorrente riguarda l'analisi dinamica di strutture esposte all'azione del vento modellate mediante sistemi nonlineari a molti gradi di libertà per i quali le tecniche probabilistiche dirette non sono praticabili a causa di difficoltà analitiche e/o computazionali. La metodologia di calcolo può essere suddivisa secondo lo schema di Fig. 1. 1 – assegnata la rappresentazione probabilistica della velocità del vento indisturbato in prossimità della struttura sono generate delle storie temporali di velocità in corrispondenza di un opportuno numero di nodi (in genere un sottoinsieme dei nodi utilizzati nella discretizzazione della struttura). 2 – le storie temporali di velocità sono convertite in storie temporali di forza attraverso modelli analitici o numerici basati su studi aerodinamici effettuati a priori. 3 – la risposta strutturale del sistema modellato ad elementi finiti (FEM) è ottenuta mediante tecniche di integrazione di tipo tradizionale; in alcuni casi, la risposta può essere utilizzata per aggiornare il modello di forza applicato al punto 2 allo scopo di simulare la presenza di forze aeroelastiche. 4 – le grandezze probabilistiche che identificano la risposta sono stimate attraverso l'analisi statistica dei risultati ottenuti da numerose ripetizioni delle operazioni 1 – 3. La presente memoria si concentra sulla simulazione delle storie temporali di velocità del vento, spesso riconosciuta come il passaggio computazionalmente più impegnativo della procedura sopra delineata.

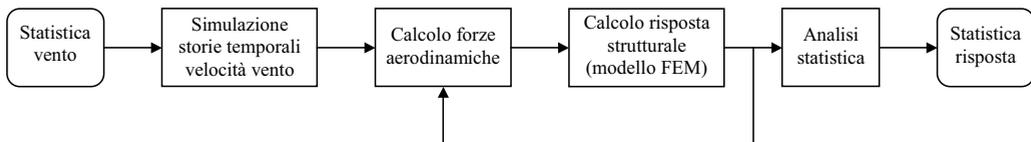


Figura 1. Schema analisi Monte Carlo di struttura eccitata dal vento.

La velocità del vento è usualmente idealizzata come la somma di due contributi: una parte media, assunta costante all'interno di intervalli temporali di lunghezza convenzionale, e una parte fluttuante, identificata con la turbolenza atmosferica, modellata mediante un processo aleatorio stazionario Gaussiano. Nella metodologia di analisi sopra delineata, le caratteristiche statistiche del campo di vento (velocità media e caratteristiche spettrali della turbolenza) sono assegnate. All'interno di un'analisi affidabilistica, tali grandezze sono rappresentate mediante variabili aleatorie e le statistiche della risposta devono essere riguardate come statistiche condizionate (Solari e Piccardo 2001).

La simulazione digitale di realizzazioni di un processo aleatorio stazionario Gaussiano non comporta alcun problema teorico, esistendo numerose tecniche sviluppate a tale scopo. Le difficoltà, viceversa, sono di natura computazionale e logistica essenzialmente legate alla dimensione del problema. La modellazione strutturale è spesso effettuata mediante grandi modelli FEM tridimensionali, pertanto la simulazione deve essere effettuata in un gran numero di nodi distribuiti nello spazio includendo le tre componenti di turbolenza.

Il presente lavoro descrive una procedura di simulazione sviluppata per la generazione delle storie temporali di velocità del vento da impiegare per il calcolo della risposta di ponti di grande luce. Il caso del ponte sullo Stretto di Messina è trattato come esempio. La procedura è composta di tre moduli: il pre-processore definisce il vettore delle velocità medie e la matrice di densità di potenza spettrale (PSD) della turbolenza sulla base di modelli assegnati o di dati provenienti da simulatori a grande scala; il simulatore genera le storie temporali di velocità in accordo con i modelli probabilistici definiti dal pre-processore; un modulo di verifica esamina la convergenza statistica della simulazione.

La simulazione è effettuata adottando la classica tecnica della rappresentazione spettrale (Shinozuka e Jan 1972) che, oltre agli indubbi vantaggi legati alla semplicità della formula di simulazione, garantisce la generazione di storie temporali ergodiche. L'efficienza della procedura è fortemente incrementata dall'impiego congiunto di tre tecniche: la classica formula per la sovrapposizione delle armoniche è sostituita della Fast Fourier Transform (FFT) come mostrato da Yang (1973); la fattorizzazione della PSD è ottenuta in termini di autovalori e autovettori mediante la Proper Orthogonal Decomposition (POD) (Solari e Carassale 2000); la procedura è implementata utilizzando un algoritmo di calcolo parallelo per trarre vantaggio dall'uso di computers con architettura multi-processore. La scelta della fattorizzazione basata sulla POD in luogo della più tradizionale Cholesky è decisiva per due distinte ragioni: la convergenza della decomposizione spettrale della PSD consente il troncamento modale della rappresentazione del processo conducendo ai vantaggi computazionali descritti in Di Paola 1998; la regolarità degli autovalori e degli autovettori rispetto alla frequenza permette la loro stima attraverso opportune regole di interpolazione riducendo enormemente il numero delle operazioni necessarie per la simulazione.

Il codice sopra descritto è stato impiegato per la simulazione del vento incidente sull'impalcato, i piloni e i cavi di sospensione del ponte sullo Stretto di Messina utilizzando modelli comprendenti oltre 1000 storie temporali correlate (Fig. 2). Il problema della complessità computazionale e l'adozione di possibili strategie per la riduzione del tempo di elaborazione sono discussi nei dettagli sulla base di tali esperienze.

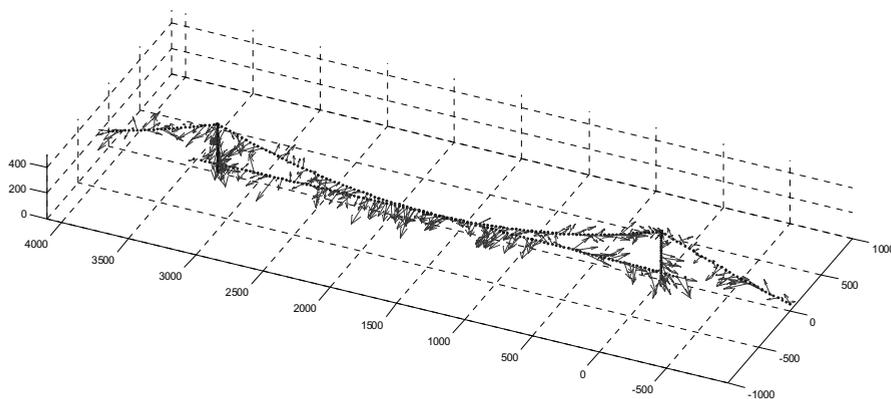


Figura 2. Turbolenza atmosferica simulata sul ponte sullo Stretto di Messina.

BIBLIOGRAFIA

- Di Paola, M. (1998). Digital simulation of wind field velocity, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 74-76, pp 91-109.
- Shinozuka M., Jan C.M. (1972). Digital simulation of random processes and its applications, *Journal of Sound and Vibration*, 25(1), pp 111-128.
- Solari, G., Carassale, L. (2000). Modal transformation tools in structural dynamics and wind engineering, *Wind & Structures*, 3(4), pp 221-241.
- Solari, G., Piccardo, G. (2001). Probabilistic 3-D turbulence modeling for gust buffeting of structures, *Probabilistic Engineering Mechanics*, 16, pp 73-86.
- Yang, J.N. (1973). On the normality and accuracy of simulated random processes, *Journal of Sound and Vibration*, 26(3), pp 417-428.

Studio della dispersione di traccianti gassosi emessi da modelli in scala ridotta di discariche

Matteo Carpentieri^a, Andrea Corti^a, Lorenzo Procino^b

^a Dipartimento di Energetica “S.Stecco”, Università degli Studi di Firenze

^b CRIACIV –Boundary Layer Wind Tunnel, Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Firenze

PAROLE CHIAVE: Diffusione, Galleria del vento, Discarica, Effetto downwash

SOMMARIO

In questo lavoro vengono analizzati gli aspetti significativi dei risultati relativi ad una serie di esperimenti svolti in galleria del vento sulla dispersione di un tracciante emesso da sorgenti inquinanti di tipo areale, rappresentate da discariche di RU di prima categoria costruite in rilevato. Le prove sono state effettuate nella galleria del vento ambientale a strato limite sviluppato del Centro di Ricerca Interuniversitario di Aerodinamica delle Costruzioni ed Ingegneria del Vento (CRIACIV) di Prato, usando un rapporto di scalatura geometrica di 1:200 e condizioni atmosferiche neutre.

L'approccio di tipo modellistico, oltre ad essere previsto dalla normativa europea e nazionale (D.Lgs. 351/99), presenta notevoli vantaggi, sia in termini temporali che economici, rispetto alle misure effettuate sul campo. Negli ultimi anni tale tipo di approccio risulta quindi sempre più valido ed utilizzato per applicazioni di diffusione di inquinanti in atmosfera.

Nonostante il notevole numero di modelli matematici esistenti per applicazioni diffusionali nelle più diverse condizioni di utilizzo (orografia, meteorologia, tipologia e caratteristiche della sorgente, inquinanti emessi), risulta per niente banale la scelta e la validazione dei codici di calcolo più adatti ad un caso di studio particolare, soprattutto quando esso presenta condizioni non facilmente simulabili. Il presente caso di studio si presenta come estremamente complesso da rappresentare per i modelli matematici, sia a causa delle caratteristiche di alterazione del flusso determinato dal corpo discarica in rilevato, sia per la difficoltà dei modelli classici a modellare sorgenti areali.

Per tale ragione, come sottolineato da numerosi studi negli ultimi anni (v. ad es. Schatzmann et al., 1997), l'utilizzo di risultati di esperimenti in galleria del vento risulta di notevole utilità per la validazione, comparazione e taratura di codici di calcolo numerici.

L'obiettivo principale di questa ricerca è quindi quello di costruire un data-set sperimentale utile per la comprensione del fenomeno diffusivo e per la taratura dei modelli matematici in casi applicativi analoghi.

La galleria del vento del CRIACIV è del tipo a circuito aperto “ibrido” (poiché collocata in un ambiente chiuso) con propulsione in aspirazione. La sezione di lavoro è larga 2,4 m, alta 1,6 m e lunga circa 4 m (Augusti et al., 1990). Un azionamento del ventilatore a giri variabili mediante inverter permette di ottenere velocità del flusso in galleria comprese tra 0,5 e 30 m/s.

Le misure di velocità del flusso all'interno della galleria del vento, utili per la verifica della corretta riproduzione in scala dello strato limite (PBL), sono state effettuate mediante tubi di Pitot e anemometri a filo caldo singolo, che permettono di misurare anche le caratteristiche di turbolenza.

Il sistema di rilevazione della concentrazione di tracciante, ripotenziato rispetto a quello sviluppato ed utilizzato in passato in diversi esperimenti (v. ad es. Contini, 1998; Corti et al., 2000; Manfrida et al., 2001), è basato su due rilevatori a ionizzazione di fiamma (FID) che operano a valle di un sistema di campionamento a 24 sonde direttamente operante in galleria.

I modelli di scarica utilizzati negli esperimenti hanno una forma a tronco di piramide a base quadrata, con due diverse altezze dal suolo. Le emissioni da scarica avvengono normalmente a temperature di poco superiori a quella atmosferica, per cui è possibile considerare un'emissione passiva. Il tracciante utilizzato negli esperimenti è stato quindi etilene puro, avente una densità molto simile a quella dell'aria ambiente.

Essendo pressoché nulla la velocità di uscita del tracciante non si hanno particolari restrizioni per la scalatura delle emissioni (Robins, 1977; Obasaju & Robins, 1998) facendo sì che la relazione adimensionale descritta dall'eq.1 rimanga valida per ogni velocità del flusso (U_{ref}).

$$\frac{CU_{ref}H_{ref}^2}{Q} = \left(\frac{CU_{ref}H_{ref}^2}{Q} \right)_{MODELLO} \quad (1)$$

Tale regola di scalatura è stata comunque verificata eseguendo gli esperimenti a diverse velocità del flusso in galleria.

I risultati degli esperimenti, oltre alla caratterizzazione anemometrica del flusso, comprendono diversi profili di concentrazione, longitudinali, trasversali e verticali a varie distanze dal corpo di scarica. Inoltre sono state effettuate diverse prove di ripetibilità degli esperimenti che hanno evidenziato, nonostante elementi critici quali la presenza della scarica come elemento disturbatore del flusso e le basse concentrazioni di tracciante misurate, una buona riproducibilità dei risultati, conferma della validità del set-up sperimentale utilizzato.

L'analisi dei risultati ha permesso di valutare vari parametri di dispersione, i quali mostrano come a valle della scarica si instauri un flusso turbolento dovuto alla scia della scarica che tende a portare verso il basso il tracciante emesso incrementandone quindi la concentrazione al suolo. Questo fenomeno appare del tutto analogo a quelli caratterizzati come "downwash". Data la bassa quota di emissione e l'assenza di galleggiamento si hanno fenomeni non trascurabili di riflessione al suolo.

Di notevole interesse, nell'ottica del miglioramento delle "performance" dei codici di calcolo esistenti è l'individuazione del fenomeno dell'effetto-scia dovuto alla presenza della scarica, che risulta del tutto predominante, con conseguente aumento delle concentrazioni a terra nelle immediate vicinanze della sorgente.

BIBLIOGRAFIA

- Augusti G., Borri C., Giordano S., Spinelli P., Niemann H. (1990). Il progetto della galleria del vento a strato limite sviluppato dell'Università di Firenze, *Atti del 1° Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento*, pp. 287-302, Firenze.
- Contini D. (1998). *Studio di diffusione di inquinanti gassosi su modelli in scala ridotta in galleria del vento*, Tesi di Dottorato di Ricerca in Energetica, XI ciclo, Università degli Studi di Firenze.
- Corti A., Contini D., Manfrida G., Procino L. (2000). Environmental wind tunnel study on a municipal waste incinerator, *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 65(1-2), pp. 191-199.
- Manfrida G., Corti A., Contini D. (2001). Comparison between different dispersion models using wind tunnel small-scale measurements, *International Journal of Environment and Pollution*, Vol. 16(1-6), pp. 216-226.
- Obasaju E.D., Robins A.G. (1998). Simulation of pollution dispersion using small scale physical models – an assessment of scaling options, *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 52, pp. 239-254.
- Robins A.G. (1977). *Wind tunnel modelling of plume dispersal*, Central Electricity Generating Board, Research Division, Marchwood Engineering Laboratories, Report R/M/R247.
- Schatzmann M., Rafailidis S., Pavageau M. (1997). Some remarks on the validation of small-scale dispersion models with field and laboratory data, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 67&68, pp. 479-492.

Study of the wind forces on the Sports and Cultural Events Centre Pe. Vitor Coelho.

C. F. Carril Jr.^a, P. J. S. Jabardo^b, G. Nader^b M. T. Pereira^b

^a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brazil

^b Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, SP, Brazil

KEYWORDS: Wind forces on structures, pressure distribution on roof.

ABSTRACT

This paper presents the results of a study of wind action over the roof of the Sports and Cultural Events Centre Pe. Vitor Coelho, that is being built at Aparecida do Norte, Sao Paulo, Brazil. It is a curved roof with some protuberances, oval shaped, approximately 150 m long, 100 m wide and 37 meters high. The tests were carried at the Boundary Layer Wind Tunnel (TUC) of the Institute for Technological Research (IPT). The wind was simulated according to the terrain around the building, with a power law exponent $\alpha=0.23$, witch corresponds to a terrain between categories III and IV of the Brazilian Standards Code NBR6123, 1988. The building and the surroundings were modelled at a scale of 1:250. 151 pressure taps were installed in the model, 145 on the external surface and 6 inside. Mean, maximum, minimum and rms values of static pressure were measured every 10° interval of wind incidence angle, resulting in 5436 pressure registration. The building was tested with two configurations with different openings to determine the influence of internal pressures. The measured pressures coefficients were within the expected values on the aerodynamic point of view of the building shape.

Larger levels of reliability and safety are reached when wind effects are considered in a discerning way during the stage of structure conception. This preventive process is usually of smaller cost and larger reliability. Therefore, wind tunnel tests were conducted in the boundary layer wind tunnel (TUC) of the Centre of Metrology of Fluids of the Technologic Research Institute of Sao Paulo (IPT).

Similarity requirements for the aerodynamic coefficients were reached in a scale 1:250 of the building and the surroundings (fig. 1).

EXPERIMENTAL TECHNIQUE AND RESULTS

The boundary Layer Wind Tunnel TUC has a test section 3,0 meters wide, 2,0 meter high (variable) and the ratio length/height is larger than 10. This tunnel was designed for static and dynamic tests allowing the simulation of the natural wind, witch is a basic requirement for applications in civil engineering.

The boundary layer was partially simulated using a modified Counihan, 1969, Method. The determination of the model scale factor in wind tunnel was done according to Cook, 1978.

The main characteristics of the simulated wind were presented: velocity profile in percentage of the mean velocity at the longitudinal axis of the tunnel, V_{ref} (theoretical and experimental curve), intensity (I) and macro-scale (L) of the longitudinal component of turbulence.

The pressure time series were registered using DSA 3017 Sensor Digital Array from Scanivalve Corp., allowing 16 simultaneous pressure measurements.

From the measurements of pressure time series, the internal and external pressure coefficients were calculated.

Although the peak pressures do not act simultaneously over the whole structure, the mean pressures can be integrated to supply the mean values of global forces and moments.

For some wind incidences, high values of external suction appear in restricted areas of the building near the borders. These suction are used only for cladding design or for secondary structure elements within these zones.

The aerodynamic coefficients for some wind incidence angles are presented in form of graphs and tables (fig. 2).



Figure 1. Model and exposure

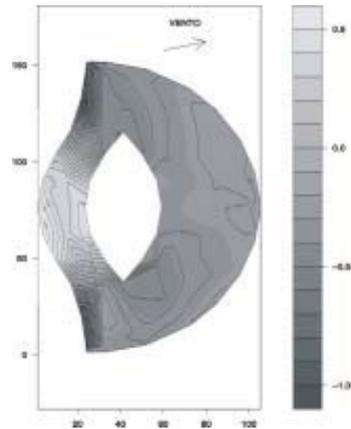


Figure 2. Pressure distribution over the roof for wind at 150°)

CONCLUSIONS

Surface pressure distributions on the roof of the building were presented for some wind incidence angle. The measured pressures coefficients were within the expected values on the aerodynamic point of view of the building shape.

The mean pressure coefficients measured were mostly very low in the order of -0.4 , although for some wind incidence angle and near the roof border, -1.8 was found. Peak suction of the order of -3 at that same position was found.

REFERENCES

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. "Forças devidas ao vento nas edificações - NBR 6123". Rio de Janeiro, 1988.
- Cook, N. J., (1977,1978) Determination of the model scale factor in wind tunnel simulation of the adiabatic atmospheric boundary layer. *Journal of Industrial Aerodynamics*, 2, 311-32.
- Cook, N.J. (1990) *The designer's guide to wind loading of building and structures*. London, Butterworths, Part 2: Static structures.
- Counihan, J. (1969), An improved method of simulating an atmospheric boundary layer in a wind tunnel. *Atmospheric Environment Pergamon Press*, Vol. 3, pp. 197-214.
- Davenport, A. G. (1964) Note on the distribution of the largest value of a random function with application to gust loading. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 28, 187-196.

Test of a methodology for wind climate estimates in Calabria region

Livio Casella^a, Carlo Bellecci^{a,b}, Michele Colacino^c, Stefano Federico^b

^aINFM-Università di Roma “Tor Vergata”, Dept .S.T.F.E., via del Politecnico n.1, Roma

^bCRATI S.c.r.l., Università della Calabria, cubo 17b, Rende (CS)

^cCNR-ISAC, Via Fosso del Cavaliere 100, Roma

KEY WORDS: Wind climate, meso-scale circulation, WASP, power production

ABSTRACT

The aim of this paper is to verify a methodology to estimate wind climate and wind power production in candidate sites in Calabria. Calabria is a mountainous peninsula located in Southern Italy with climatic features typical of the Mediterranean area. Summer season is mainly characterised by large-scale calm conditions, while winter is characterised by weather system coming from northern quadrants. During calm large-scale conditions, wind fields are determined by meso-scale circulations. Particularly, the thermal contrast between sea-land and mountain-valley are important in order to determine winds fields. This also emerges from some studies performed with numerical meso-scale model, resulting that this local breeze winds in some areas can reach velocities larger than 5 m/sec, as also confirmed by ground stations data (Federico *et al.*,2000a). Besides, under synoptic calm conditions, the peculiar orography of Calabria forces meso-scale flows toward specific directions (Federico *et al.*,2000b; Federico *et al.*,2001). The methodology considered uses the WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) which includes a complex terrain flow model, a roughness and a sheltering obstacle models. The basic idea is to clean local experimental wind climatology, characterised by a Weibull statistical distribution (Fig.1), from local effects such as orography, surface roughness changes and obstacles around the anemometer (Fig.2) in order to estimate a regional geostrophic wind climatology. WASP uses regional climatology to estimate wind climatology in another site in the area at any height, by reintroducing local effects. In this work, we use time-series wind data available for the sites of Crotona and Isola di Capo Rizzuto collected using WMO standards. We perform a reciprocal comparison between pair of stations using one as predictor and the other as predicted and we compare the experimental and modelled Weibull distribution parameters.

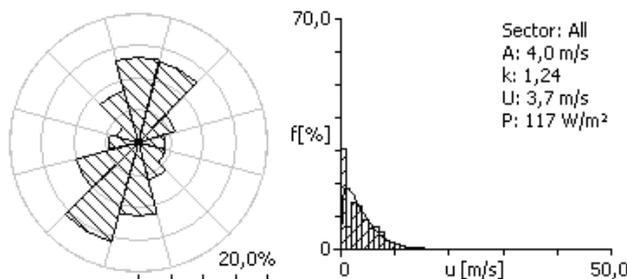


Figure1. Wind statisitic and Weibull distribution for Crotona surface station

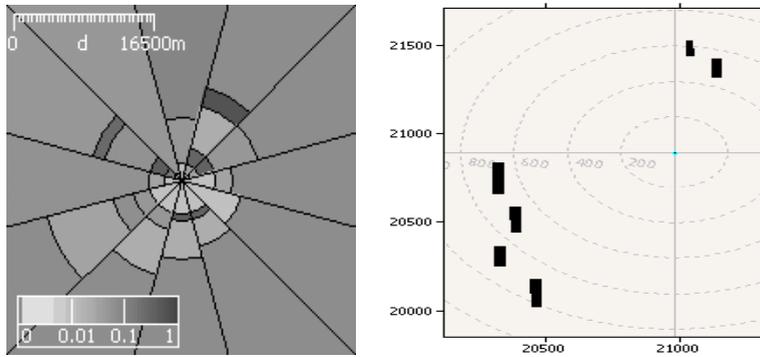


Figure2. Surface roughness changes and x-y cross section of obstacles around the anemometer

REFERENCE

- Federico S., Bellecci C., Casella L., Colacino, M.(2000a). An energetic evaluation in the sea breeze and mountain valley flows over a mountainous peninsula, *Atti del 6° Convegno di Ingegneria del Vento IN-VENTO-2000*, 2000, pp-85-92.
- Federico S., Dalu G.A., Bellecci C., Colacino, M. (2000b). Mesoscale energetics and flows induced by the sea-land and mountain-valley contrast, *Ann Geophys*, 18, pp.235-246.
- Federico S., Dalu G.A., Bellecci C., Casella L., Colacino M. (2001). Atmospheric convergence generated in the CBL over a mountainous peninsula, *Il Nuovo Cimento*, 024C, pp.223-244.

Una metodologia per l'elaborazione della mappa eolica della Regione Umbria.

Francesco Castellani^a, Giordano Franceschini^b

^{a,b}Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Perugia, Via Duranti 67, Perugia

PAROLE CHIAVE: Mappa eolica, modellazione numerica, gestione database, dati anemometrici.

SOMMARIO

Il crescente interesse nei confronti dello sfruttamento delle fonti di energia rinnovabili ha fatto nascere la necessità di caratterizzare vaste aree dal punto di vista della disponibilità della risorsa eolica al fine di individuare i siti maggiormente idonei per la realizzazione degli impianti.

Per sua natura la densità di potenza eolica è caratterizzata da un forte grado di variabilità sia in termini temporali, con l'alternarsi dei cicli stagionali, che in termini spaziali in relazione alle condizioni orografiche (che possono amplificare o attenuare il livello di ventosità) ed alla rugosità superficiale definita generalmente dalla vegetazione.

Per questo motivo per una caratterizzazione quantitativa della risorsa eolica generalmente non si può prescindere dalle misure anemometriche effettuate in punti significativi.

In via preliminare una prima valutazione della distribuzione della risorsa eolica sul territorio può essere effettuata con un'opportuna analisi del contesto orografico contestualmente alla osservazione di determinati segni del vento sulla vegetazione (Castellani & Franceschini, 2002).

Successivamente i dati anemometrici maggiormente significativi possono essere utilizzati per una valutazione quantitativa della risorsa eolica effettuata attraverso dei modelli numerici; parallelamente allo sviluppo delle forme di sfruttamento dell'energia eolica sono state infatti messe a punto diverse tipologie di modelli numerici per il calcolo della distribuzione del vento su un determinato dominio.

I modelli più utilizzati, che si basano su principi fisici generalmente differenti sono i seguenti:

- I modelli lineari, che si basano sulle equazioni di equilibrio dello strato limite e sono particolarmente idonei su terreni ad orografia poco complessa (Troen & Petersen, 1989);
- I modelli mass-consistent che si basano sulla continuità del campo di moto sul dominio definito (Burlando *et al.*, 2002) ;
- I modelli aerodinamici (di seguito CFD) che risolvono le equazioni di Navier-Stokes e sono particolarmente idonei in terreni ad orografia complessa (Schaffner & Gravidahl, 2003).

Nel presente lavoro è stata definita la metodologia più idonea per l'elaborazione della mappa eolica della Regione Umbria; oltre alla scelta del modello numerico più idoneo sono stati elaborati dei programmi di preparazione del database dei dati anemometrici e di definizione del dominio di calcolo.

I dati anemometrici da fornire in input al modello numerico devono essere in grado di rappresentare il livello di ventosità di un punto del dominio di calcolo per cui devono includere omogeneamente dati relativi ai diversi periodi stagionali.

Per tale motivo è stato sviluppato un programma di calcolo che, per ogni stazioni

anemometrica, sia in grado di elaborare il database relativo all'anno medio. In caso di carenza di dati è stata inoltre utilizzata la tecnica di correlazione tramite reti neurali (Castellani *et al.*, 2003) in modo da avere a disposizione per ogni stazione un archivio significativo.

Vista la complessità del contesto orografico del territorio in esame la mappa eolica è stata ottenuta con il modello numerico CFD WindSim 4.3.

I risultati ottenuti si sono dimostrati più attendibili di quelli desunti dai modelli classici (modelli lineari); la mappa eolica elaborata potrà essere utilizzata come guida nella scelta dei siti eolici da sviluppare in relazione ai vincoli sul territorio.

BIBLIOGRAFIA

Castellani F, Franceschini G. (2002). Advanced aerodynamics methods for wind site selection, *21st AIAA/ASME Wind energy symposium* (AIAA-2002-0060) – 14-17 January 2002 Reno, Nevada.

Troen I., Petersen E.L. (1989). *European Wind Atlas*, Risø National Laboratory.

Burlando M., Podestà A., Castino F., Ratto C.F., Alabiso M., Botta G., Casanova M., Lembo E., Lusso C. (2002). The Italian Wind Atlas, *In-Vento-2002*, 15-18 Settembre, Milano

Schaffner B., Gravidahl A.R. (2003). Wind Modeling in Mountains: Intercomparison and Validation of Models, *European Wind Energy Conference & Exhibition*, 16-19 June – Madrid

Castellani F., Faina N., Malerba M., Franceschini G. (2003). A neural network based method for estimating wind speed and direction in mountainous areas, *European Wind Energy Conference & Exhibition*, 16-19 June – Madrid

Indagine su una ciminiera multicanale di una centrale termoelettrica mediante un approccio dinamico sperimentale ed un metodo analitico

Massimo Cavacece^a Pier Paolo Valentini^b Leonardo Vita^b

^aDipartimento di Strutture Meccanica Ambiente e Territorio, Università di Cassino, Cassino

^bDipartimento di Ingegneria Meccanica, Università di Tor Vergata, Roma

SOMMARIO

Gli Autori descrivono una procedura sperimentale ed un metodo analitico per l'analisi dinamica di una ciminiera multicanale di una centrale termoelettrica. L'approccio sperimentale è basato sull'acquisizione della risposta dinamica della struttura mediante una catena di misura accelerometrica. Differenti segnali, ottenuti mediante un'eccitazione forzata della struttura in esame, sono stati confrontati con quelli ottenuti per via analitica nel dominio delle frequenze. In particolare, il confronto è stato eseguito per i primi quattro modi di vibrare registrando una soddisfacente convergenza tra i metodi rispettivamente, sperimentale ed analitico. Testato il modello, il metodo analitico ha consentito di dedurre la risposta dinamica della ciminiera sotto l'azione forzata del vento. Un'ottima convergenza è emersa tra i risultati analitici e quelli sperimentali.

Analisi del confort pedonale: confronto tra i risultati forniti dalla visualizzazione del flusso con film d'olio e quelli ottenuti mediante l'impiego della tecnica PIV

Marcello Ciampoli^a, Andrea Imbrenda^b, Carlo Paulotto^a, Lorenzo Procino^c

^aUniversità degli Studi di Roma "La Sapienza", Roma

^bLibero professionista

^cCRIACIV, Prato

PAROLE CHIAVE: galleria del vento, visualizzazioni, confort pedonale, PIV.

SOMMARIO

Negli ultimi decenni le problematiche connesse ai possibili disagi per i pedoni provocati dal vento in prossimità del suolo sono state oggetto di una crescente attenzione. Mentre le prime analisi di questo tipo erano limitate allo studio del flusso intorno ad edifici di straordinaria importanza, la diffusione dei mezzi e dei metodi di indagine sperimentale e le maggiori conoscenze acquisite hanno posto le premesse per l'estensione di questo tipo di analisi a situazioni che si possono incontrare con maggior frequenza in ambito urbano. Questa tendenza è anche favorita da una maggiore sensibilità da parte dei progettisti agli aspetti legati alla ottimizzazione delle prestazioni della struttura in fase di esercizio.

Il presente lavoro ha come oggetto lo studio del confort pedonale intorno all'edificio che ospita il Palazzo di Giustizia di Firenze. In particolare si prevede di confrontare i risultati forniti dalla visualizzazione del flusso intorno ad un modello rigido dell'edificio (scala 1:300) mediante film d'olio con quelli prodotti dall'impiego della PIV (Particle Image Velocimetry).

La tecnica PIV consente sia di visualizzare le linee di corrente in flussi non-stazionari sia di ottenere una descrizione quantitativa del campo di velocità. Essa valuta il campo delle velocità istantanee confrontando la posizione delle particelle di un tracciante (generalmente gocce d'olio minerale vaporizzato) in due immagini successive acquisite mediante una telecamera CCD e realizzate illuminando il flusso mediante una lama di luce laser pulsata.

Rispetto alla PIV, le visualizzazioni mediante film d'olio colorato sono più semplici da realizzare e richiedono una attrezzatura meno costosa ma forniscono esclusivamente informazioni di carattere qualitativo. Questa tecnica di visualizzazione consiste nello stendere intorno al modello un film d'olio con uno spessore il più uniforme possibile. Una volta avviata la galleria del vento si attende che il flusso d'aria eserciti la sua azione di trascinamento sulla superficie del film d'olio disegnando l'involuppo delle linee di corrente.

L'obiettivo del presente lavoro è quello di verificare la congruenza dei risultati forniti dalle due tecniche e sondare la possibilità di ottenere qualche informazione quantitativa sul confort pedonale dall'impiego di una tecnica a basso costo come la visualizzazione mediante film d'olio.

BIBLIOGRAFIA

- Melbourne W.H. (1978). Criteria for environmental wind conditions, *J. Ind. Aerodyn.*, Vol. 3, pp. 241-249.
ASCE (1987) ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice – Wind tunnel model studies of buildings and structures.
Simiu E., Scanlan R. (1996). *Wind effects on Structures*. John Wiley & Sons, New York

- F.H. Durgin (1997). Pedestrian level wind criteria using the equivalent average, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, Vol. 66, pp. 215-226.
- Dezso-Weidinger G., Massini M., van Beeck J.P.A.J. (2003). Pedestrian wind comfort – approached by PIV and sand erosion, *International Workshop on Physical Modelling of Flow and Dispersion Phenomena, Physmod 2003*, Firenze University Press, 2003.

Sulla valutazione di sintesi della velocità di flutter per i ponti di grande luce

Mario Como^a, Simona Del Ferraro^a, Antonio Grimaldi^a

^aDipartimento di Ingegneria Civile - Università di “Tor Vergata” - Roma

PAROLE CHIAVE: ponti di grande luce, velocità di flutter, derivate di flutter

Come è noto è il comportamento aerodinamico che caratterizza in modo decisivo il progetto di un ponte di grande luce, sia esso strallato o sospeso: sono infatti l'instabilità aerodinamica e l'entità delle oscillazioni a condizionare il limite tecnico della luce dei grandi ponti. La ricerca di formule di sintesi in grado di esprimere la velocità di flutter, almeno per alcune tipologie di sezioni della travata, in funzione dei parametri meccanici ed aerodinamici più significativi del ponte, può essere di grande aiuto nella fase preliminare di progetto del ponte. In questo contesto, in linea con studi già precedentemente affrontati dagli AA. nell'ambito di una ricerca finanziata dal MIUR, il lavoro che si intende presentare al Convegno, ha lo scopo di esaminare anzitutto le varie formulazioni attualmente disponibili e di svilupparne una ad hoc per una particolare classe di sezioni di travata adottata frequentemente nei moderni ponti sospesi.

L'analisi sviluppata è basata su un modello analitico continuo di ponte sospeso o strallato. Partendo dall'espressione di Scanlan delle forze aerodinamiche non stazionarie e risolvendo le equazioni del moto di oscillazione del ponte sospeso si perviene a una semplice formulazione della velocità di flutter del ponte.

In tale formulazione compaiono i principali parametri che influenzano il fenomeno come il rapporto Φ fra le frequenze di oscillazione torsionale e verticale, la derivata di flutter A_3^* , che rappresenta la rigidità torsionale aerodinamica, il rapporto fra le derivate H_1^* e A_2^* che rappresentano i parametri di smorzamento aerodinamico relativi alle oscillazioni verticali e torsionali del ponte.

La classe di sezioni di travata presa in considerazione è quella classe per cui H_1^* e A_2^* possono essere approssimate, nell'ambito di elevati valori della velocità ridotta, con funzioni lineari della stessa velocità ridotta V_R mentre A_3^* con una funzione parabolica in V_R . A tale classe appartengono due noti esempi di ponti sospesi come l'East Bridge e l'Akashi Bridge.

La formulazione ottenuta è stata applicata a vari tipi di ponti sospesi e strallati. I risultati ottenuti, in termini di velocità critica di flutter, sono stati confrontati con i test effettuati alle gallerie del vento e con i risultati numerici a disposizione. Il confronto mostra un buon accordo fra la formulazione analitica proposta ed i risultati sperimentali.

Si effettuano infine confronti con la formula semiempirica di Selberg.

VALUTAZIONE DELL'ACCURATEZZA DELLE MISURE DI VENTO E TURBOLENZA MEDIANTE ANEMOMETRI ULTRASONICI

D. Contini^(a), A. Donato^(a, b), F. Belosi^(a)

^(a) CNR-ISAC, Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima Sezione di Lecce, Str. Prov. Lecce-Monteroni km 1,200, c/o Polo Scientifico Universitario, 73100 Lecce

^(b) Facoltà di Scienze Ambientali, Università degli Studi di Urbino "Carlo BO" c/o Campus Scientifico Sogesta, loc. Crocicchia, Urbino

KEYWORDS: Flussi turbolenti, Anemometri Sonici, Accuratezza Sperimentale, Eddy-Correlation, Allineamento Anemometri

ABSTRACT

L'analisi dei fenomeni turbolenti nello strato limite planetario (PBL) ed in particolare nello Strato Limite Superficiale (SBL) è spesso eseguita sfruttando dati sperimentali ottenuti con anemometri ultrasonici tridimensionali. Questo tipo di anemometri costituisce ormai lo strumento base di molte stazioni di misura micro-meteorologiche e permette l'acquisizione del vettore velocità del vento e della temperatura sonora Sozzi & Favaron, 1996 ad alta frequenza: 100 Hz nei dati riportati in questo lavoro misurati con anemometri dell'ultima generazione Gill R3. La loro risposta rapida, dovuta essenzialmente all'assenza di parti mobili, permette di misurare le caratteristiche turbolente del flusso e di valutare gli scambi di momento e calore sensibile tra superficie ed atmosfera attraverso il metodo della "eddy-correlation". Altre caratteristiche che lo rendono utile nelle campagne di misura "full-scale" sono la possibilità di funzionare per periodi medio-lunghi senza bisogno di operatore e la capacità di eseguire misure assolute senza la necessità di calibrazioni periodiche. Infatti la calibrazione degli anemometri sonici è essenzialmente legata soltanto ai parametri di progettazione dell'anemometro stesso. Alle misure ottenute con questo tipo di anemometri sono associati gli effetti di diverse fonti di errore sperimentale: la modifica del flusso da parte dell'anemometro stesso Wieser et al, 2001, i ritardi dell'elettronica dei sensori, gli errori di allineamento verticale dell'anemometro stesso Foken & Wichura, 1996; Wilczak et al, 2001, l'effettivo angolo di attacco del flusso che può essere elevato in condizioni di forte turbolenza Gash & Dolmen, 2003 e l'influenza di altri rivelatori veloci spesso posizionati in prossimità dell'anemometro per le valutazioni dei flussi di massa dei traccianti. Alcuni di questi errori sono parzialmente corretti da procedure di elaborazione dati che utilizzano particolari rotazioni, come il sistema "streamlines" McMillen, 1988 oppure la tecnica del "planar-fit" Wilczak et al, 2001, oppure rotazioni basate su misure con inclinometri, per ridurre gli effetti di allineamento verticale. Gli effetti di ostruzione sono invece parzialmente corretti, almeno negli anemometri Gill, da coefficienti di correzione valutati in galleria del vento. In questo lavoro si utilizzano i dati di alcune campagne sperimentali svolte presso il campo sperimentale della Sezione di Lecce dell'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC-CNR) per analizzare l'accuratezza delle misure ottenibili con un anemometro sonico sfruttando una procedura statistica. La procedura, utilizzata per l'analisi di dati sodar Contini et al, 2003, si basa sul confronto delle misure ottenute simultaneamente da due anemometri identici posizionati in modo da essere essenzialmente influenzati dalle stesse masse d'aria.

Con tale metodologia di confronto si riesce a valutare le differenze negli errori sistematici fra i due anemometri ed a dare una stima dell'incertezza casuale, sulla misura dei vari parametri micro-meteorologici, che sia rappresentativa del sistema nelle varie condizioni di utilizzo trovate durante le campagne di misura "full-scale". I dati permetteranno di valutare l'incertezza sperimentale come funzione del tempo di media e di stimare le prestazioni di varie procedure di elaborazione dati sviluppate per limitare gli effetti dovuti all'allineamento verticale non sempre corretto. Utilizzando due campagne di misura, una eseguita solo con gli anemometri ed un'altra eseguita installando anche sensori aggiuntivi, si fornisce una stima degli effetti della presenza di tali sensori sull'accuratezza sperimentale. A titolo di esempio si riporta in figura 1 due scatter-plot fra le misure ottenute nelle due postazioni (senza la presenza di sensori aggiuntivi) per quanto riguarda la velocità del vento ed il flusso di momento $\langle u'w' \rangle$ valutato nel sistema streamlines (allineato con il flusso medio) e con un detrending lineare su periodi di media di 30 minuti. I risultati mostrano un ottimo accordo fra le misure delle due postazioni indicativo di una bassa incertezza sia sistematica che casuale.

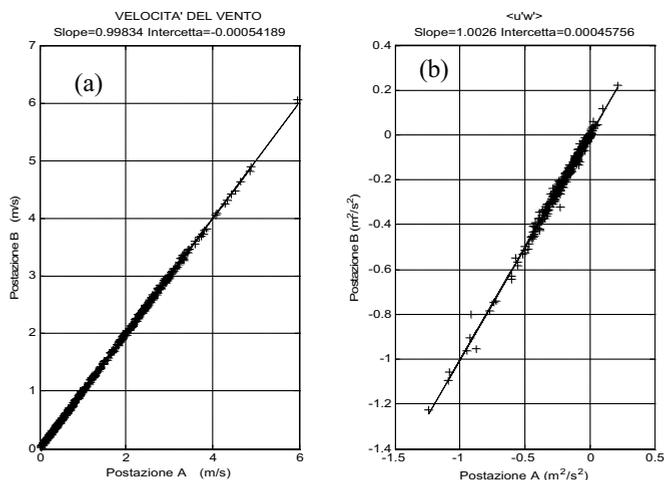


Figura 1) (a) Scatter-plot della misura di velocità del vento ottenuta con le due postazioni di misura e fit lineare dei risultati. (b) Scatter-plot del flusso di momento con fit lineare

BIBLIOGRAFIA

- Contini D, Mastrantonio G., Argentini S., Viola A. (2003). Mean Vertical Motion in the PBL Measured by a Doppler Sodar: Accuracy, Ambiguities, Possible Improvements, submitted to JTECH.
- Foken Th., Wichura B., 1996, "Tools for quality assessment of surface-based flux measurements, Agricultural and Forest Meteorology 78, pp. 83-105.
- Gash J. H. C., Dolman A. J., 2003, "Sonic (co)sine response and flux measurement I. The potential for (co)sine error to affect anemometer-based flux measurements", Agricultural and Forest Meteorology 119, pp. 195-207.
- McMillen R. T., 1988, "An eddy correlation technique with extended applicability to non-simple terrain", Boundary-Layer Meteorology 43, pp. 231-245.
- Sozzi R., Favaron M., 1996, "Sonic anemometry and thermometry: theoretical basis and data-processing software", Environmental Software 11 (4), pp. 259-270.
- Wieser A., Fiedler F., Corsemeier U., 2001, "The Influence of the Sensor Design on Wind Measurements with Sonic Anemometer Systems", J. Atmos. Oceanic Technol. 18, pp. 1585-1608.
- Wilczak J. M., Oncley S. P., Stage S. A., 2001, "Sonic anemometer tilt correction algorithms", Boundary-Layer Meteorology 99, pp. 127-150.

Analisi e mitigazione della risposta all'azione del vento di una copertura di grande luce

Nicola Cosentino^a, Massimo Majowiecki^b.

^a Dipartimento DISTART - Università di Bologna - Bologna
^b Dipartimento DCA - IUAV Università di Venezia - Venezia

PAROLE CHIAVE: Coperture sospese, vento, cavi, POD, smorzamento vibrazioni.

SOMMARIO

Un'applicazione particolarmente interessante di recenti tecniche di analisi dell'azione del vento, di valutazione della risposta e di mitigazione di quest'ultima è stata avviata relativamente alla copertura del costruendo Stadio di Braga (Portogallo). Tale copertura è costituita da due lastre in c.c.a. sostenute da una serie di cavi tesi tra le due estremità delle tribune. In fase di progettazione sono state eseguite prove sperimentali in galleria del vento, sia su modello rigido (dalla canadese RWDI) misurando i campi di pressione, sia su modello aeroelastico (presso la galleria del vento del Politecnico di Milano - Figura 1) misurando accelerazioni e spostamenti nei punti più significativi.



Figura 1. Sperimentazione su modello aeroelastico presso la galleria del vento del Politecnico di Milano.

E' stata analizzata la forzante eolica con le tecniche di decomposizione ortogonale dei segnali, al fine di semplificare la rappresentazione della stessa forzante e caratterizzarla nei domini spazio-tempo-frequenza. Successivamente è stata valutata numericamente la risposta della struttura con diverse tecniche semplificate nel dominio delle frequenze e con analisi completa nel dominio del tempo. Le varie soluzioni numeriche sono state confrontate tra loro e con le risposte registrate in galleria del vento sul modello aeroelastico, mettendo in luce anche alcuni limiti della modellazione in scala su modelli aeroelastici. Attualmente la costruzione della copertura è completa e si sta mettendo a punto un sistema di monitoraggio sul campo dell'azione eolica (mediante misure di pressioni, accelerazioni e velocità del vento). Le misurazioni che ne conseguiranno saranno utilizzate per la validazione dei modelli numerici e sperimentali. E' in corso di studio e preparazione anche l'esecuzione di prove dinamiche sul campo per la caratterizzazione dei modi di vibrare e dello smorzamento strutturale reale. Nel presente lavoro saranno anche presentate le valutazioni preliminari finalizzate alla progettazione di un sistema di smorzamento delle oscillazioni indotte dall'azione del vento.

Rilevanza delle azioni eoliche sulla progettazione di abitazioni di emergenza

Piero D'Asdia ^a, Vincenzo Sepe ^a, Luigi Cavallari ^b

^a Università degli Studi di Chieti-Pescara "G. D'Annunzio"- Dipartimento di Progettazione, Riabilitazione e Controllo delle Strutture Architettoniche – V.le Pindaro, 42 – 65127 Pescara

^b Università degli Studi di Chieti-Pescara "G. D'Annunzio"- Dipartimento di Tecnologie per l'Ambiente Costruito – V.le Pindaro, 42 – 65127 Pescara

PAROLE CHIAVE: abitazioni di emergenza, carichi da vento

SOMMARIO

Gli eventi sismici ed altre calamità naturali, purtroppo ricorrenti nel nostro Paese nonostante i continui sforzi di prevenzione, rendono sempre molto attuale l'esigenza di disporre, in tempi brevi, di abitazioni di emergenza da destinare alle popolazioni colpite. Peraltro, in conseguenza della cosiddetta "globalizzazione" del mercato economico, dei mezzi di trasporto e dei mezzi di comunicazione, ma anche delle strutture di soccorso operanti a livello internazionale, sempre più spesso società italiane sono chiamate, direttamente o tramite gli organi di protezione civile, a fornire assistenza in occasione di calamità in località anche molto lontane.

E' sempre più sentita pertanto l'esigenza di disporre, in tempi brevi ed a costi contenuti, di sistemi abitativi di facile montaggio e trasporto, già pronti in numero adeguato nel momento in cui si rendono necessari, ma al tempo stesso in grado di soddisfare le necessarie esigenze di comfort e sicurezza in condizioni ambientali e sociali anche molto diverse, e pertanto non prevedibili in dettaglio in fase di progetto e di realizzazione.

Tutto ciò sta motivando uno sforzo di ripensamento di insediamenti di questo tipo, a partire dalla realizzazione dei singoli moduli abitativi, con i relativi dettagli costruttivi e di montaggio, fino a riguardare le alternative di assemblaggio di tali moduli in sistemi abitativi anche piuttosto complessi, fortunatamente sempre più diversi dai "container" ormai tante volte utilizzati.

Tale sforzo di riprogettazione è necessariamente un processo interdisciplinare, che investe aspetti di tecnologia avanzata, di industrializzazione innovativa ed anche, ovviamente, di tradizionali verifiche di sicurezza statica rispetto a tutte le azioni ragionevolmente prevedibili; tra queste, proprio per la relativa leggerezza dei manufatti in questione, il vento gioca un ruolo essenziale, tanto da discriminare la stessa possibilità di realizzare o meno, con i citati limiti di rapidità e trasportabilità, aggregazioni più o meno articolate.

La presente memoria si ripropone appunto di evidenziare la rilevanza delle azioni eoliche sulla progettazione, l'assemblaggio e più in generale la realizzazione di manufatti di questo tipo, e riferisce su alcuni degli aspetti strutturali e tecnologici di una collaborazione di più vasta portata da qualche tempo in corso su tali temi tra il Dipartimento di Progettazione, Riabilitazione e Controllo delle Strutture Architettoniche ed il Dipartimento di Tecnologie per l'Ambiente Costruito dell'Università di Chieti-Pescara.

Caratterizzazione della turbolenza atmosferica in valli Alpine

Massimiliano de Franceschi ^a, Dino Zardi ^a

^aDipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Trento, Trento

PAROLE CHIAVE: Turbolenza atmosferica, terreno complesso, deviazioni standard adimensionalizzate, teoria della similarità.

SOMMARIO

Nel campo dell'ingegneria, sono molteplici le applicazioni per le quali si rende necessario studiare in modo dettagliato le dinamiche dello strato limite atmosferico, rivolgendo particolare attenzione alla valutazione delle caratteristiche della turbolenza. In letteratura è possibile reperire molte informazioni che sulla base di campagne sperimentali, studi teorici e simulazioni numeriche descrivono con dovizia di particolari tali caratteristiche con particolare riferimento al caso di terreni piani ed omogenei. Recentemente è andato via via crescendo il numero di tali studi che rivolgono l'attenzione al caso di terreno complesso (Al-Jiboori et al., 2001). In tale contesto le valli Alpine sono un esempio che raccoglie in sé sia la complessità strettamente orografica dovuta alla presenza delle catene montuose ed un andamento planimetrico solitamente tutt'altro che rettilineo, sia alla più o meno marcata disuniformità della copertura superficiale dovuta alla presenza ed alternanza di aree urbane, coltivazioni, ecc.

In questo ambito si sono svolte negli scorsi anni diverse campagne di monitoraggio meteorologico condotte presso aree obiettivo nella Valle dell'Adige, nei pressi di Trento e Bolzano, proprio con lo scopo di valutare e caratterizzare le dinamiche atmosferiche che si realizzano in tale contesto orografico con particolare riferimento alla dispersione di sostanze inquinanti (de Franceschi, 2004). Le campagne si sono svolte in diverse stagioni ed in due distinte località lungo l'asse della valle rappresentando un ampio spettro di scenari atmosferici sufficientemente generali da permettere di svincolare i risultati dal singolo specifico sito in esame. L'utilizzo di un anemometro ad ultrasuoni ha permesso di misurare le fluttuazioni di velocità del vento e di temperatura e valutare quindi i momenti statistici di tali variabili.

La teoria della similarità di Monin-Obukhov (Monin e Obukhov, 1953) consente di introdurre una lunghezza scala L (di Monin-Obukhov) che dipende dal rapporto tra le forze d'inerzia e di galleggiamento, consentendo così di trattare in modo adeguato i moti stratificati. In tale contesto si è puntata l'attenzione sulle deviazioni standard delle componenti di velocità opportunamente adimensionalizzate con la velocità di attrito ed esaminate in funzione del rapporto tra la quota di misura e la lunghezza di Monin-Obukhov.

Nella scelta della funzione test con cui rappresentare sinteticamente i dati sperimentali, si è cercata un'espressione unica che permettesse di coprire l'intero dataset e tutte e tre le componenti di velocità. Per evitare di aumentare il numero di possibili funzioni di similitudine suggerite in letteratura e spesso adatte solo per uno specifico sottoinsieme di un dataset, in questo lavoro si è fatto ricorso ad una semplice funzione definita come

$$\frac{\sigma_i}{u_*} = \alpha_i \left(1 + \beta_i \left| \frac{z}{L} \right| \right)^{1/3} \quad (1)$$

in cui i coefficienti α_i e β_i devono essere determinati sperimentalmente. L'Equazione (1) si riduce alla nota espressione riportata da Panofsky e Dutton (1984) per le componenti verticali con $\alpha_v = 1.25$ e $\beta_w = 3$. Spesso il termine di paragone con cui confrontare nuove misure sperimentali è dato dal valore quasi neutrale, ovvero per $z/L \rightarrow 0$. In questo caso tale valore è stato ottenuto dall'espressione analitica della curva interpolante (1), preferendo tale metodo alla scelta di un "opportuno" range di valori di z/L all'interno del quale calcolare un valore medio rappresentativo appunto di condizioni di quasi-neutralità. I risultati di tale valutazione per i venti longitudinali alla valle, considerati come valore medio delle diverse campagne di misura, sono riportati in Tabella 1 unitamente ai valori più comunemente citati in letteratura (Panofsky e Dutton, 1984; Trombetti e Tagliazuca, 1994).

Tabella 1. Confronto tra le deviazioni standard adimensionalizzate per condizioni quasi neutrale secondo ^a Panofsky e Dutton (1984), ^b Trombetti e Tagliazuca (1994) e ^c la media dei valori sperimentali ricavati in questo lavoro.

	σ_u / u_*	σ_v / u_*	σ_w / u_*
Terreno piano ed uniforme ^a	2.39	1.92	1.25
Terreno ondulati ^a	2.65 – 4.50	2.00 – 3.80	1.20 – 1.24
Varie stime ^b	1.9 – 2.7	1.6 – 2.2	1.1 – 1.5
Venti along-valley ^c	2.19	2.13	1.55

I dati raccolti evidenziano come, rispetto al caso di terreno piano ed uniforme ampiamente documentato in letteratura, vi sia una diversa ridistribuzione dell'energia turbolenta tra le componenti orizzontali, mentre la componente verticale appare comportarsi in modo sostanzialmente analogo al caso omogeneo. Da un'ampia varietà di condizioni meteorologiche, orografiche e di uso del suolo, che ha caratterizzato le campagne ed i siti di misura, si ricavano risultati riconducibili a caratteristiche proprie dell'ambiente vallivo, in cui la presenza dei versanti costituisce un importante fattore che influisce sul campo turbolento e sulla meteorologia locale.

BIBLIOGRAFIA

- Al-Jiboori M.H., Yumao X., Yongfu Q. (2001). Turbulence characteristics over complex terrain in west china. *Boundary-Layer Meteorol.*, 101:109-126.
- de Franceschi M. (2004). Investigation of Atmospheric Boundary Layer in Alpine Valleys. *Monographs of the School of Doctoral Studies in Environmental Engineering*, Università di Trento, ISBN 88-8443-052-6.
- Monin A.S., Obukhov A.M. (1953). Dimensionless characteristics of turbulence in the atmospheric surface layer. *Doklady AN SSSR* 93, 2:223-226.
- Panofsky H.A., Dutton J.A. (1984). *Atmospheric turbulence. Models and methods for engineering applications*. Wiley-Interscience Publication.
- Trombetti F., Tagliazuca M. (1994). Characteristic scales of atmospheric surface layer. Technical report, FISBAT C.N.R.

Effetto del regime di vibrazione sulla correlazione longitudinale delle pressioni su un prisma a sezione rettangolare

Enrico T. de Grenet^a e Francesco Ricciardelli^b

^aDipartimento di Ingegneria Civile, Università di Firenze, Firenze

^bDipartimento di Meccanica e Materiali, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Reggio Calabria

PAROLE CHIAVE: Galleria del vento, Sezione rettangolare, Correlazione longitudinale, Misure di pressione.

SOMMARIO

Nelle prove in galleria del vento di modelli sezione degli impalcati da ponte si fa riferimento ad un comportamento bidimensionale, sia dal punto di vista strutturale che fluidodinamico. Un approccio di questo tipo, sicuramente semplificativo, generalmente non consente di valutare l'incoerenza longitudinale delle forze aerodinamiche, e la variazione di questa con il regime di vibrazione dell'impalcato. La conoscenza della coerenza longitudinale dell'azione aerodinamica, tuttavia, è un dato determinante al fine del calcolo della risposta del sistema tridimensionale.

Nella presente memoria si intende investigare le variazioni della correlazione longitudinale dell'azione aerodinamica, al variare del regime di moto dell'impalcato, ed in condizioni di flusso sia laminare che turbolento. I risultati che vengono riportati sono relativi ad una sezione rettangolare con rapporto di allungamento pari a 5:1.

Le prove sperimentali sono eseguite nella galleria a strato limite del CRIACIV di Prato su un modello in fibre di carbonio di dimensioni 30x6x232 cm, montato su bracci reticolari in alluminio, che consentono la variazione del rapporto tra le frequenze verticale e torsionale in un ampio intervallo. Il modello è strumentato con un sistema di prese manometriche disposte in sette file da 30 prese ciascuna. La disposizione delle file lungo l'impalcato è stata scelta tale da massimizzare le possibili distanze a cui valutare la correlazione. Le prese in ciascuna fila sono state disposte in maniera uniforme facendo tuttavia attenzione a disporne una immediatamente sottovento al punto di distacco della vena fluida ed una nel punto di stagnazione. Nelle prove è possibile registrare le distribuzioni di pressione contemporaneamente in quattro file (per un totale di 120 prese).

In una prima fase sono state eseguite delle prove statiche (figura 1), registrando, oltre le pressioni, anche le forze totali (resistenza, portanza e momento) attraverso un sistema di sei celle di carico. Nelle prove dinamiche (figura 2), invece, oltre le pressioni, vengono registrati anche gli spostamenti

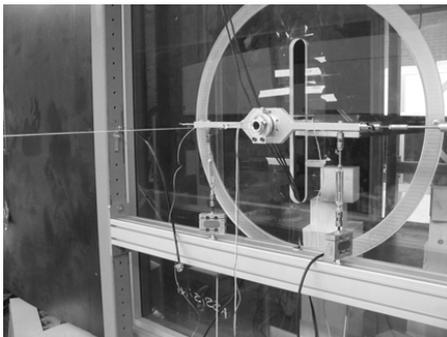


Figura 1. Set-up delle prove statiche



Figura 2. Set-up delle prove dinamiche



Figura 3. Griglia di legno utilizzata per la generazione della turbolenza

(attraverso un sistema di tre trasduttori laser) e le accelerazioni (attraverso un sistema di tre accelerometri ceramici).

Durante le prove statiche sono stati provati tredici angoli d'attacco (0° - 12°), e le pressioni sono state misurate in 4 sezioni, scelte in modo da fornire la correlazione longitudinale per le distanze di 20, 60, 80 100 e 160 cm. Le prove sono state condotte sia in flusso laminare che turbolento. La turbolenza è stata generata mediante l'uso di una griglia di legno, costituita da doghe di 14 cm di lato, disposte ad interasse di 55 cm. La griglia è stata disposta 412 cm sopravento la sezione di prova del modello (figura 3). La turbolenza indotta da tale griglia è stata caratterizzata, ad una velocità media del flusso di 15 m/s con una scala integrale di turbolenza di 0.2 m ed un indice di turbolenza di $I=0.17$, entrambi misurati nella sezione prova.

Le prove dinamiche vengono condotte utilizzando molle di diverse rigidità, al fine di investigare i diversi regimi di comportamento dinamico di *lock-in*, oscillazioni forzate e *flutter* (Ricciardelli *et Al.* 2002), posizionate con diverse eccentricità, in modo da variare il rapporto tra la prima frequenza verticale e la prima frequenza torsionale. Anche in questo caso le prove vengono effettuate sia in regime di flusso laminare che turbolento.

BIBLIOGRAFIA

Ricciardelli F., de Grenet E.T. e Hangan H. 2002 Pressure distribution, aerodynamic forces and dynamic response of box bridge sections *J.Wind Eng. Ind. Aero.* 90-(10) pp 1135-1150

Continuous Version of AR Model for Simulating Time-Histories of Wind Actions

Mario Di Paola^a, Alba Sofi^b

^aDipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Palermo

^bDipartimento di Costruzioni e Tecnologie Avanzate, Messina

KEYWORDS: Digital simulation, auto-regressive model, non-Gaussian process, Lèvy white noise, wind pressure.

ABSTRACT

Several physical phenomena, such as atmospheric turbulence, ground acceleration, etc..., are commonly represented as Gaussian stochastic processes, mainly because of the desirable properties possessed by the normal model. In the literature, well-established techniques for the analysis of linear or non-linear systems driven by Gaussian random excitations are available. In some cases, e.g. when strong non-linearities are involved, Monte Carlo simulation method represents the only accurate and versatile tool so far available for the probabilistic characterization of the response. Basically, two classes of techniques are used for simulating time-histories of Gaussian processes with given spectral density distribution: the wave-superposition-based methods (see e. g., Shinozuka, 1971; Shinozuka & Deodatis, 1996) and the time series approaches, which include the auto-regressive (AR) and auto-regressive moving average (ARMA) algorithms (see e. g., Spanos & Mignolet, 1986; Naganuma *et al.*, 1987). Though the Gaussian model provides considerable advantages, many natural phenomena, such as wind pressure on structures, exhibit remarkable deviations from the normal distribution and have to be modelled as non-Gaussian random processes. This implies the necessity of efficient techniques for the digital simulation of non-Gaussian processes.

This paper presents a novel procedure based on the classical AR model, which allows both the digital simulation of non-Gaussian stochastic processes and the evaluation of the response to the simulated time-histories. According to the so-called autoregressive continuous model (ARC), recently proposed (Di Paola & Pisano, 2001) for simulating normal stochastic processes, the target process is approximated as the output of a stochastic differential equation with time delay. In order to reproduce the non-Gaussian nature of the target process, the input of the aforementioned stochastic differential equation is supposed to be a Lèvy white noise (Samorodnitsky & Taquq, 1994). Such a choice is justified by the inherent characteristics of the Lèvy white noise, among which the capability of describing large fluctuations of certain physical phenomena should be mentioned. In the paper, the above described model is employed for generating time-histories of wind loads, which should be more appropriately modelled as non-Gaussian processes. Furthermore, it has to be mentioned that the joint application of the ARC model driven by a Lèvy white noise and the filter theory allows to pursue the response of wind-excited structures.

BIBLIOGRAFIA

- Di Paola M., Pisano A. A. (2001). Digital simulation using stochastic differential calculus. *Monte Carlo Simulation*, Schüeller & Spanos (eds), Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5809 188 0, pp. 167-174.
- Naganuma T., Deodatis G. and Shinozuka M. (1987). ARMA model for two dimensional processes. *J. Engng. Mech. ASCE*, Vol. 113(2), pp. 234-251.

- Samorodnitsky G. & Taqqu M. S. (1994). *Stable Non-Gaussian Random Processes. Stochastic Models with Infinite Variance*. Chapman and Hall, London.
- Shinozuka M. (1971). "Simulation of multivariate and multidimensional random processes. *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 49(1), pp. 357-367.
- Shinozuka M. and Deodatis G. (1996). Simulation of multi-dimensional Gaussian stochastic fields by spectral representation. *Appl. Mech. Rev. ASME*, Vol. 49(1), pp. 29-53.
- Spanos P. D. and Mignolet M. P. (1986). Z-transform modeling of P-M wave spectrum. *J. Engng. Mech. ASCE*, Vol. 192(8), pp. 745-759.

Un modello numerico atto a riprodurre il forzamento da distacco di vortici su impalcato di ponti sospesi

Giorgio Diana, Ferruccio Resta, Marco Belloli, Daniele Rocchi

Dipartimento di Meccanica, Politecnico di Milano, Milano

PAROLE CHIAVE: Ponti sospesi, Distacco di vortici, Analisi sperimentale e numerica

SOMMARIO

Il problema delle vibrazioni indotte da distacco di vortici è uno degli aspetti significativi nell'analisi dell'interazione fluido struttura che si verifica quando l'impalcato di un ponte sospeso è investito dal vento, perché l'insorgere di questo tipo di forzamento può portare l'impalcato a raggiungere livelli di vibrazione molto elevati, inaccettabili dal punto di vista dell'integrità strutturale e della sicurezza di marcia dei veicoli in transito. Si veda a questo proposito il caso del Great Belt Bridge che è stato sottoposto a interventi dopo la realizzazione atti a eliminare un forzamento da distacco della vena sotto il cassone, Larsen et al. 1999.

Allo scopo di mettere in luce il legame esistente tra la forma dell'impalcato e il forzamento indotto da distacco di vortici, è stata effettuata una campagna di prove sperimentali presso la Galleria del Vento del Politecnico di Milano sulla sezione del Ponte sullo Stretto di Messina, durante la quale si è analizzata la risposta dell'impalcato al distacco di vortici, in relazione alle diverse configurazioni e appendici aerodinamiche adottate, quali trip-wire, splitter, ali frangi-vortice e barriere frangivento. Per tale attività di ricerca si è fatto uso di un modello in scala 1:60 con il relativo il set-up di misura (Diana et al. 2003, Belloli et al. 2003), che permette lo svolgimento di prove a moto imposto, per la definizione dei coefficienti aerodinamici e delle flutter derivatives, e di prove a moto libero.

L'utilizzo del modello dinamometrico in prove libere permette di rivolgere l'attenzione all'analisi delle vibrazioni autoeccitate indotte dal distacco di vortici e la determinazione sperimentale delle forze indotte dal distacco stesso.

La caratterizzazione del fenomeno aeroelastico è stata effettuata tramite prove a moto libero: a differente velocità incidente l'analisi del build-up permette di valutare l'energia introdotta in funzione dell'ampiezza di vibrazione del ciclo limite raggiunto, i campi di sincronismo, in cui il fenomeno di autoeccitazione viene a verificarsi, e le massime ampiezze raggiunte e correlare tali risultati alle tipologie di appendici aerodinamiche installate.

Tali dati sono stati inoltre confrontati con i risultati ottenuti in termini di derivate aerodinamiche (flutter derivatives) ottenute mediante prove a moto imposto. In particolare sono state valutate le flutter derivatives a bassa velocità ridotta (fino a 0.5) imponendo diverse ampiezze di moto. E' stato così messo in evidenza come le derivate aerodinamiche sono indipendenti dall'ampiezza del moto imposto tranne che per quei valori di velocità ridotta ai quali il fenomeno del forzamento del distacco di vortici si manifesta.

I risultati sperimentali raccolti durante la campagna di prove hanno come ulteriore obiettivo la messa a punto di un modello numerico atto a riprodurre le forze che il distacco di vortici esercita sulla struttura. Il modello, detto oscillatore equivalente, è un'estensione di quanto utilizzato per simulare la risposta dinamica a distacco di vortici su strutture sottomarine e conduttori aerei, Resta et al. 2003.

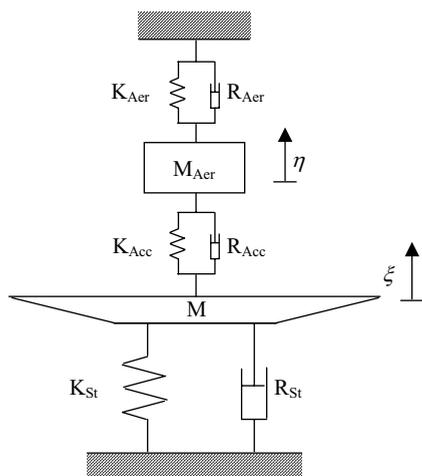


Figura 1. Schematizzazione del modello sezionale dell'impalcato e dell'oscillatore equivalente

In figura 1 viene riportata una schematizzazione del modello sezionale del ponte accoppiato al modello equivalente del forzamento. Esso consiste in un sistema vibrante ad 1 grado di libertà accordato alla frequenza del distacco di vortici: gli elementi elastici introdotti sono non lineari e garantiscono la dipendenza non lineare con l'ampiezza e il raggiungimento di un ciclo limite. Gli elementi viscosi vengono definiti in modo da permettere l'introduzione di energia nel sistema (in particolare l'elemento smorzante R_{Aer} negativo) quando ci si trova in situazioni di sincronismo. Una procedura basata sul Filtro di Kalman Estesio permette l'identificazione dei parametri numerici del modello sulla base dei dati sperimentali ottenuti dalle prove a moto libero. Tale modello, una volta identificato, è stato validato mediante il confronto con le forze misurate sia durante le prove libere sia durante le prove a moto imposto. L'oscillatore equivalente, identificato e validato sperimentalmente, può quindi essere applicato ai nodi di una schematizzazione ad elementi finiti della struttura completa permettendo così di simulare il comportamento al distacco di vortici di ponti sospesi.

BIBLIOGRAFIA

- Larsen A., Eisdahl S., Andresen J.E., Vejrum T., Hauge Jacobsen H. (1999), Vortex shedding excitation of the Great Belt suspension bridge, 10th Int. Conf. on Wind Engineering, Copenhagen, Denmark
- Diana G., Resta F., Zasso A., Belloli M., Rocchi D. (2003), Wind effects on suspension bridges: The case of the Messina Strait Bridge, 5th International Symposium on Cable Dynamics, Santa Margherita Ligure, Italy.
- Belloli, M., Bocciolone M., Resta F., Tosi A. (2003) Forced motion and free motion aeroelastic tests on a new concept dynamometric section model of the Messina suspension bridge, 11th Int. Conf. on Wind Engineering, Lubbock, Texas
- Resta F., Fossati F., Belloli M., Guaita P. (2003), A numerical model to reproduce the dynamic behaviour of steel catenary risers, 5th International Symposium on Cable Dynamics, Santa Margherita Ligure, Italy

Flussi verticali turbolenti di traccianti passivi e PM_{2.5} nello Strato Limite Superficiale

A. Donateo^{a, b}, D. Contini^a, F. Belosi^a

^a CNR-ISAC, Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima Sezione di Lecce, Str. Prov. Lecce-Monteroni km 1,200, c/o Polo Scientifico Universitario, 73100 Lecce

^b Facoltà di Scienze Ambientali, Università degli Studi di Urbino "Carlo BO" c/o Campus Scientifico Sogesta, loc. Crocicchia, 61029 Urbino (PU)

PAROLE CHIAVE: Flussi turbolenti, Eddy Correlation, CO₂, H₂O, PM_{2.5}, Deposizione secca

SOMMARIO

Ad oggi è ampiamente documentato il continuo aumento della concentrazione di CO₂ atmosferica iniziato nella prima metà del diciannovesimo secolo (Houghton et al., 1996). L'utilizzo di combustibili fossili e il processo di deforestazione riesce a spiegare in gran parte questo aumento a lungo termine, anche se i processi che determinano le dinamiche del ciclo dell'anidride carbonica globale sono ancora sconosciute. Per esempio, circa la metà della produzione antropogenica di anidride carbonica non è compensata dalla quantità stimata di CO₂ imprigionata nelle foreste (Houghton et al., 1998). Dunque risulta di particolare importanza studiare gli scambi di CO₂ tra superficie terrestre ed atmosfera per approfondire le conoscenze del ciclo della CO₂ ed anche per valutare, almeno in ambiente urbano, gli effetti delle emissioni del traffico veicolare e dei sistemi di riscaldamento. La maggior parte dei lavori pubblicati vertono, tuttavia, sullo studio dei grandi serbatoi di anidride carbonica, rappresentati soprattutto dalle foreste. Poca importanza si è dedicata tuttora allo studio dei flussi di CO₂ in canopy urbana o suburbana. Tra l'altro in questi contesti la presenza di CO₂ si accompagna spesso a concentrazioni significative di particolato con effetti dannosi sulla salute (Dokery et al., 1993). Alcuni studi riguardanti gli andamenti del flusso di particolato fine ed ultrafine in zone urbane evidenziando alcune relazioni tra la velocità di emissione del particolato e la stabilità atmosferica nonché correlazioni (più evidenti in zone urbane) con l'attività del traffico veicolare (Dorsey et al, 2002).

Questo lavoro riguarda la messa a punto di un sistema di acquisizione dati per la valutazione simultanea dei flussi verticali turbolenti di momento, energia e massa di traccianti gassosi quali H₂O e CO₂ e particolato fine (PM 2.5) – la frazione di particolato con diametro aerodinamico inferiore a 2.5 micrometri. La valutazione dei flussi turbolenti è ottenuta con il metodo della "eddy-correlation" sfruttando anemometri ultrasonici e rivelatori veloci. Le campagne di misura sono state eseguite nel campo sperimentale dell'ISAC-CNR sez. di Lecce nella cittadella universitaria, una zona che definiremo di tipo suburbano. Tutta la strumentazione è stata posizionata su due pali pneumatici ad una quota di 10m posti a breve distanza uno dall'altro. Su una postazione (B) è stato sistemato un anemometro sonico (GILL R3), simmetrico con campionamento a 100 Hz accoppiato con un rivelatore Li-Cor (LI-7500) "open-path" di CO₂-H₂O con misura della concentrazione istantanea di entrambe le grandezze (banda passante pari a 20Hz). Sulla seconda postazione (A) è stato posizionato un rivelatore ottico, MIE-PDR 1200, di PM_{2.5} (acquisizione a 1Hz) con un altro anemometro sonico ed un termoisgrometro lento Rotronic. La strumentazione utilizzata è riportata in figura 1.

I risultati permettono di ottenere informazioni sull'andamento temporale delle concentrazioni e, inoltre, la caratterizzazione delle zone o dei periodi di pozzo/sorgente rispetto al particolare tracciante preso in esame. Le misure dei flussi verticali turbolenti svolte simultaneamente alle misure dei parametri di umidità, temperatura, velocità e direzione del vento, possono fornire, attraverso lo studio delle correlazioni tra le varie grandezze, informazioni utili a formulare e/o verificare delle parametrizzazioni (generali o a carattere locale) che sono alla base di molti codici di dispersione. In questo lavoro si riporta inoltre una verifica della qualità dei dati ottenuta confrontando alcune delle grandezze misurate con i risultati di una terza postazione di misura situata sempre all'interno del sito sperimentale e completamente indipendente dalle due descritte. Verranno inoltre evidenziati i cicli giornalieri dei flussi turbolenti verticali di CO₂ ed H₂O evidenziando il loro andamento sfasato nel tempo. L'andamento della concentrazione di PM_{2.5} evidenzia un certo ciclo giornaliero con forti oscillazioni di concentrazione durante la giornata. Il flusso verticale turbolento è caratterizzato da un andamento più complesso che non evidenzia cicli giornalieri stabili, durante il periodo di misura, in quanto si registrano alcuni giorni in cui il sito in esame si comporta da sorgente ed altri in cui si comporta da pozzo di PM_{2.5}.

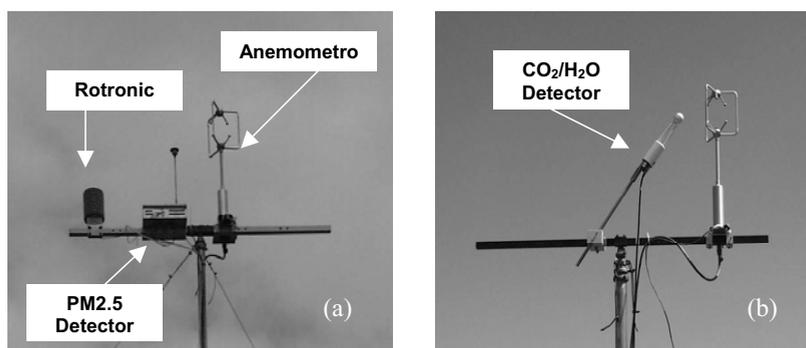


Figura 1. (a) Postazione di misura del flusso turbolento di PM_{2.5}. (b) Postazione di misura dei flussi verticali turbolenti di CO₂/H₂O.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia l'Amministrazione Provinciale di Lecce che ha fornito parte della strumentazione utilizzata in questo lavoro.

BIBLIOGRAFIA

- Houghton J.J., Meiro F.L.G., Callander B.A., Harris N., Kattenberg A., Maskell K. (1996). *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge
- Houghton R.A., Davidson E.A., Woodwell, G.M. (1998). Missing sinks, feedbacks, and understanding the role of terrestrial ecosystems in the global carbon balance, *Global Biogeochem.Cycles* Vol.12, pp. 25–34
- Dorsey J. R., Nemitz E., Gallagher M. W., Fowler D., Williams P. I., Bower K. N., Beswick K. M. (2002). Direct measurements and parametrisation of aerosol flux, concentration and emission velocity above a city, *Atm. Env.* Vol.36, pp. 791-800
- Dokery D.W., Arden Pope III C., Xiping XU, Spengler J.D., Ware J.H., Fay M.E., Ferris B.G., Spezier F.E. (1993). An association between air pollution and mortality in six U.S. cities, *New England Journal of Medicine* Vol. 329(24), pp. 1753-1759.

Caratterizzazione statistica del carico eolico e analisi dinamica non lineare della risposta di una torre di raffreddamento in c.a.

Luca Facchini^a, Maurizio Orlando^a, Stefano Pastò^a

^aDipartimento di Ingegneria Civile, Università di Firenze, Firenze

PAROLE CHIAVE: Processi non Gaussiani, Metodo Monte Carlo, trasformazione statica non lineare, carichi di progetto, analisi dinamica di strutture non lineari.

SOMMARIO

In virtù della loro forma particolare a guscio di rivoluzione a doppia curvatura, unita solitamente ad uno spessore assai ridotto, le torri di raffreddamento trovano la condizione ottimale di esercizio sotto carichi simmetrici, che inducono un funzionamento strutturale a doppio arco, e di conseguenza un regime membranale.

Per le stesse ragioni, sono strutture assai sensibili all'azione di carichi, come quello eolico, che possono presentare marcate asimmetrie – basti pensare al distacco alternato dei vortici in scia alla torre stessa.

A causa dell'aleatorietà del carico eolico, la risposta strutturale non può essere trattata in maniera deterministica, ma occorre utilizzare un approccio probabilistico (Bartoli *et al.*, 1992, Sun, 1992, Zahlten & Borri, 1998, Choi & Noh, 1999, Bartoli *et al.*, 2002a). In questo ambito l'analisi nel dominio delle frequenze della risposta strutturale di una torre di raffreddamento di cemento armato è stata eseguita usando i dati registrati nel corso di una campagna sperimentale nella galleria del vento del C.R.I.A.C.I.V. (Centro di Ricerca Interuniversitario di Aerodinamica delle Costruzioni ed Ingegneria del Vento). Visto che l'analisi dinamica è molto onerosa in termini computazionali (Bartoli *et al.*, 2002b), alcuni metodi quali l'LRC (Kasperski & Niemann, 1992, Borri *et al.*, 2002) e il GRF (Davenport, 1961) sono stati sviluppati allo scopo di definire un carico statico equivalente utile nel progetto e che massimizza gli sforzi interni.

I carichi da vento vengono descritti mediante coefficienti di pressione definiti dal rapporto fra la sovrappressione misurata ad ogni istante nelle prese di pressione disposte sul modello e la pressione dinamica media alla stessa quota ma in assenza di modello. Si vengono così a formare dei coefficienti di pressione variabili nel tempo in maniera aleatoria, le cui storie temporali mostrano caratteristiche di stazionarietà ma deviano sensibilmente dalla gaussianità.

La loro caratterizzazione statistica viene effettuata mediante una trasformazione statica non lineare, o in altre parole mediante una funzione non lineare di trasferimento, che applicata ad un campo aleatorio Gaussiano di determinate media e covarianza, fornisce un campo non Gaussiano di caratteristiche compatibili con quelle riscontrate per il campo dei coefficienti di pressione.

La distribuzione log-normale è stata estensivamente utilizzata per modellare campi di pressione (v. ad esempio i lavori di Gioffré *et al.*, 2000, Grigoriu, 2000), ma nel presente lavoro si propone un'espressione quadratica fra il campo Gaussiano e quello degli effettivi coefficienti di pressione, riallacciandosi alla discussione sulla possibilità di impiegare una trasformazione polinomiale fornita dai lavori di Kumar e Stathopoulos, 1997 e di Gurley *et al.*, 1996.

La caratterizzazione prevede quindi diversi passi, riassumibili di seguito:

- La definizione del campo medio dei coefficienti di pressione, non dipendente dal tempo, e della loro fluttuazione;
- La definizione della funzione di trasferimento;

- La definizione della struttura di covarianza o, equivalentemente, della struttura spettrale, del campo Gaussiano di base.

Una volta caratterizzati completamente, i coefficienti, e quindi il campo di pressioni sulla torre, vengono simulati numericamente ed usati come ingresso dal programma per l'analisi dinamica strutturale.

Lo scopo finale del lavoro è quello di valutare i carichi di progetto agenti su una torre di raffreddamento in c.a. investita dal vento, tenendo conto della non linearità meccanica del materiale. Gli effetti non lineari sono in gran parte legati alla fessurazione del calcestruzzo, che gioca un ruolo importante nell'analisi dinamica. Difatti la formazione delle fessure modifica l'ammittenza meccanica della struttura, e una valutazione accurata della risposta richiede un'analisi nel dominio del tempo. A questo scopo un modello agli elementi finiti è stato realizzato con il codice DIANA, considerando la reale distribuzione delle armature nella torre.

BIBLIOGRAFIA

- Bartoli G., Borri C., Pastò S., (2002a). Frequency domain dynamic response of RC cooling tower shells under turbulent wind, *International Journal of Fluid Mechanics Research*, 29
- Bartoli G., Borri C., Pastò S. (2002b). "Indagini sperimentale e numerica per la valutazione dei carichi di progetto agenti su una torre di raffreddamento soggetta all'azioni del vento", *Proceedings, ANIV 7rd National Conference on Wind Engineering*, 15-18 September 2002, Milano, Italia, pp. 105-112.
- Borri C., Bartoli G., Facchini L. (2002). "Simulation of non-Gaussian wind pressure on a 3-D bluff body and estimation of design loads", *Computer & Structures*, 80, pp. 1061-1070
- Bartoli G., Borri C., Zahltén W. (1992). Nonlinear dynamic analysis of cooling tower under stochastic loading, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 41-44.
- Choi C.K., Noh H.C. (1999). Simulation of wind process by spectral representation method and application to cooling tower shell, *Wind and Structures*, vol. 2, n° 2, pp. 105-117.
- Davenport A.G., (1961). "The application of statistical concepts to wind loading of structures". *Proceedings, Institution of Civil Engineers (UK)*, 19, pp. 449-472.
- Gioffré M., Gusella V., Grigoriu M. (2000). Simulation of non-Gaussian field applied to wind pressure fluctuations, *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 15, pp. 339-345.
- Grigoriu M. (2000). Non-Gaussian models for stochastic mechanics, *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 15, pp. 15-23.
- Gurley K.R., Kareem A., Tognarelli M.A. (1996). Simulation of a class of non normal random processes, *International Journal of Nonlinear Mechanics*, Vol. 31, n° 5, pp. 601-617.
- Kasperski M., Niemann H.-J., (1992). "The L.R.C. (load-response-correlation) – method. A general method for estimating unfavourable wind load distribution for linear and nonlinear structural behaviour". *J. Wind Eng. And Ind. Aerodyn.*, 41-44, pp. 1753-163.
- Kumar K.S., Stathopoulos T. (1997). Computational simulation of fluctuating wind pressures on low building roofs, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 69-71, pp. 485-495.
- Niemann H.J. (1984). Modeling of windloads with regard to gust effects, *Engineering Structures*, vol. 6, pp. 274-280.
- Sun T.F., Gu Z.F., Zhou L.M., Li P.H., Cai G.L. (1992). Full-scale measurement and wind-tunnel testing of wind loading on two neighbouring cooling towers, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 41-44, pp. 2213-2224.
- Zahlten W., Borri C. (1998). Time-domain simulation of the non-linear response of cooling tower shells subjected to stochastic wind loading, *Engineering Structures*, vol. 20, n° 10, 881-889.

Filtri AR non lineari per la simulazione di carichi da vento non Gaussiani

Luca Facchini^a

^aDipartimento di Ingegneria Civile, Università di Firenze, Firenze

PAROLE CHIAVE: Metodo Monte Carlo, processi non Gaussiani, filtri digitali non lineari, reti neurali.

SOMMARIO

I carichi indotti dal vento sulle strutture di ingegneria civile spesso esibiscono interessanti caratteristiche non Gaussiane, quali ad esempio una marcata asimmetria della distribuzione marginale di probabilità. Inoltre, data la complessità dei sistemi strutturali investiti dal vento, una delle più importanti risorse per il ricercatore ed il progettista è costituita dalla simulazione numerica alla Monte Carlo.

È quindi ormai generalmente riconosciuta l'importanza di riprodurre fedelmente tutte le caratteristiche statistiche delle storie temporali dei carichi indotti dal vento, come discusso per esempio in Ditlevsen *et al.*, 1996; la simulazione digitale di processi non Gaussiani viene generalmente impostata mediante tre differenti tecniche alternative.

La prima, detta metodo di trasferimento o trasformazione statica non lineare, prevede la definizione di una funzione non lineare che viene applicata ad un segnale con ben determinate caratteristiche e lo trasforma nel processo non Gaussiano desiderato. La trasformazione (v. ad esempio Grigoriu, 2000) può essere senza memoria, ed in tal caso viene generalmente applicata ad un processo Gaussiano, oppure con memoria, ed allora il processo non Gaussiano scaturisce dalla soluzione di una equazione differenziale stocastica il cui ingresso consiste in un rumore bianco Gaussiano e di Levy. Questo metodo è usato abbastanza estensivamente ed affonda le sue origini addirittura nel XIX secolo, con i lavori pionieristici di Galton, 1879 e McAlister, 1879. La fine del XX secolo e l'inizio del XXI hanno visto la pubblicazione di importanti contributi di Gioffré *et al.*, 2000, Grigoriu, 2000, e di Puig *et al.*, 2002, e in fase di stampa. In genere la soluzione del problema di calibrazione della funzione di trasferimento – sia essa senza memoria oppure un'equazione differenziale – non è unica, e il processo non Gaussiano risultante risente – negativamente – del fatto che il processo Gaussiano originario è perfettamente caratterizzato dalla sua media e dalla sua struttura di covarianza, per cui risulta difficoltoso controllare la capacità del metodo di riprodurre le caratteristiche statistiche del processo target di ordine superiore al secondo.

La seconda consiste in una correzione sulla fase del processo sorgente ed una successiva applicazione di una trasformata di Fourier. Da ricordare a questo proposito è ad esempio il lavoro di Seong e Peterka, 1997. La tecnica riesce a generare storie temporali di rumori non Gaussiani mantenendo la forma della distribuzione di probabilità, conservando al tempo stesso la forma della densità spettrale. Anche in questo caso non vengono messe bene in luce le conseguenze sulle statistiche di ordine superiore al secondo.

La terza consiste nella definizione di un filtro lineare autoregressivo il cui ingresso è costituito da un rumore bianco non Gaussiano di determinate caratteristiche. Questa metodologia viene utilizzata ad esempio in Gaver e Lewis, 1980, ma risulta di difficile applicazione, specialmente quando si tratta di riprodurre processi caratterizzati da distribuzioni marginali che presentano forti asimmetrie e le cui storie temporali presentano di conseguenza picchi abbastanza frequenti. Infine, anche in questo caso diventa estremamente difficoltoso controllare le statistiche di ordine superiore al secondo.

Il metodo proposto si differenzia da questi approcci e si basa sull'osservazione che, date M osservazioni di un processo stocastico stazionario, è possibile costruire, a partire dalla distribuzione di probabilità del processo stesso, la migliore stima, nel senso dei minimi quadrati, del prossimo valore che verrà osservato. Tale stima è ovviamente una funzione – non lineare se il processo non è Gaussiano, ma lineare in caso di gaussianità – delle osservazioni effettuate (v. ad esempio Kailath, 1981). Raggruppando nel vettore $y_t = [x_{t-1} \dots x_{t-M}]^t$ le osservazioni precedenti del processo da simulare, la stima è data dall'espressione

$$E[x_t | y_t] = \int_{-\infty}^{\infty} x_t p_{x_t | y_t}(x_t | y_t) dx_t \quad (1)$$

Dove la probabilità condizionale può essere calcolata mediante la relazione

$$p_{x_t | y_t}(x_t | y_t) = \frac{p_{x_t, y_t}(x_t, y_t)}{\int_{-\infty}^{\infty} p_{x_t, y_t}(x_t, y_t) dx_t} \quad (2)$$

Nel caso di un processo Gaussiano, l'equazione (2) conduce alla tradizionale stima lineare usata nella previsione e nella simulazione dei processi Gaussiani. L'evidente difficoltà di ricalcolare gli integrali (1) e (2) ad ogni passo della procedura di simulazione ovviamente scoraggia la sua implementazione in un codice di calcolo. Per ovviare a ciò si propone un algoritmo che sfrutta le reti neurali a base radiale (Broomhead e Lowe, 1988, Haykin, 1996, Poggio e Girosi, 1990, Gotovac e Kozulic, 1999) per costruire un'approssimazione dell'espressione (1).

BIBLIOGRAFIA

- Broomhead D.S., Lowe D. (1988). Multi-variable Functional Interpolation and Adaptive Networks, *Complex Syst.*, Vol. 2, pp. 269-303.
- Ditlevsen O., Mohr G., Hoffmeyer P. (1996). Integration of non-Gaussian fields, *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 11, pp. 15-23.
- Galton F. (1879). The geometric mean, in vital and social statistics, *Proc. Roy. Soc. London*, Vol. 29, pp. 365-367.
- Gaver D.P., Lewis P.A.W. (1980). First-order autoregressive Gamma sequences and point processes, *Adv. Appl. Prob.*, Vol. 12, pp. 727-745.
- Gioffrè M., Gusella V., Grigoriu M. (2000). Simulation of non-Gaussian field applied to wind pressure fluctuations, *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 15, pp. 339-3.
- Gotovac B., Kozulic, V. (1999). On a selection of basis functions in numerical analyses of engineering problems, *International Journal for Engineering Modelling*, Vol. 12, pp. 17-24.
- Grigoriu M. (2000). Non-Gaussian models for stochastic mechanics, *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 15, pp. 15-23.
- Haykin, S. (1996). *Adaptive Filter Theory*, Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Kailath T. (1981), *Lectures on Wiener and Kalman Filtering*, Springer Verlag, Wien – New York.
- McAlister D. (1879). The law of the geometric mean, *Proc. Roy. Soc. London*, Vol. 29, pp. 367-376.
- Poggio T., Girosi F. (1990). Networks for approximation and learning, *Proc. IEEE*, Vol. 78, pp. 1481-1497.
- Puig B., Poirion F., Soize C. (2002). Non-Gaussian simulation using Hermite polynomial expansion: convergence and algorithms, *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 17, pp. 253-264.
- Puig B., Akian J.L. (in fase di stampa). Non-Gaussian simulation using Hermite polynomials expansion and maximum entropy principle, *Probabilistic Engineering Mechanics*.
- Seong S.H., Peterka J.A. (1997). Computer simulation of non Gaussian multiple wind pressure time series, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, Vol. 72, pp. 95-105.

Caratterizzazione dei filtri corrispondenti al processo aleatorio multivariato della velocità del vento

Giovanni Falsone

Dipartimento di Costruzioni e Tecnologie Avanzate (DiCTA), Università di Messina, Messina

PAROLE CHIAVE: filtri, processo multivariato, velocità del vento.

SOMMARIO

La corretta determinazione della risposta di una struttura soggetta all'azione del vento necessita di una corretta caratterizzazione analitica dell'eccitazione. In particolare, per quelle strutture in cui l'azione prevalente è rappresentata dalla pressione del vento, è fondamentale una corretta caratterizzazione della velocità dei filetti fluidi. Comunemente tale velocità è definita, in un punto, come la somma di una quantità deterministica, che rappresenta la velocità media, e di una quantità fluttuante aleatoria, definita analiticamente tramite un processo aleatorio Gaussiano a media nulla, a sua volta caratterizzato dalla corrispondente densità spettrale di potenza (Simiu & Scanlan, 1996; Kareem, 1987). Se la struttura soggetta al vento non può essere considerata puntiforme, la parte fluttuante della velocità deve essere definita, nei vari punti della struttura, come un processo aleatorio che, oltre a essere Gaussiano e a media nulla, è anche multivariato (Shinozuka et al., 1990; Di Paola & Gullo, 2001). Ciò implica che deve essere definito attraverso una matrice di densità spettrale di potenza. Tale matrice, che risulta Hermitiana, presenta, sulla diagonale principale, le densità spettrali di potenza relative alla velocità del vento in ciascuno dei punti; i termini fuori diagonale rappresentano, invece, le densità spettrali di potenza incrociate corrispondenti a due punti.

Nell'ambito della determinazione analitica della risposta strutturale, spesso risulta utile introdurre, per caratterizzare la velocità del vento, i cosiddetti filtri, cioè delle batterie di equazioni differenziali lineari nella variabile temporale, poste in serie e/o in parallelo, tali che, eccitate da un rumore bianco Gaussiano, presentano come risposta il processo Gaussiano che caratterizza la velocità del vento. Ciò consente di accoppiare le equazioni del moto del sistema strutturale con le equazioni di filtro, ottenendo un sistema di equazioni differenziali nel dominio del tempo, complessivamente eccitato da un rumore bianco. Il fatto che l'eccitazione sia un rumore bianco semplifica notevolmente la determinazione della risposta, potendo sfruttare tutte le proprietà connesse al calcolo stocastico di Ito (Ito, 1961). Tale trattazione risulta l'unica percorribile nel caso di sistemi strutturali non lineari, per i quali una trattazione nel dominio delle frequenze non è praticabile.

Con riferimento alla velocità del vento definita in un punto, in letteratura esiste la caratterizzazione del filtro relativo al processo aleatorio corrispondente (Benfratello et al., 1996). Si tratta, in particolare, di una semplice equazione differenziale lineare del secondo ordine. Nulla invece esiste con riferimento al processo multivariato.

In questo lavoro viene definita la tipologia del filtro che caratterizza il processo aleatorio multivariato corrispondente alla velocità del vento definita in vari punti. In particolare, viene mostrato quale debba essere la batteria di filtri atta a definire la coerenza della velocità del vento in un punto rispetto alla velocità in un altro qualunque punto. Varie applicazioni hanno consentito di mettere in evidenza la bontà di tale caratterizzazione.

BIBLIOGRAFIA

Benfratello S., Falsone G., Muscolino G. (1996). Influence of the quadratic term in the alongwind stochastic response of SDOF structures, *Engineering Structures*, Vol. 18 (9), pp. 685-695.

- Di Paola M., Gullo I. (2001). Digital generation of multivariate wind field processes, *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 16, pp. 1-10.
- Ito K. (1961). *Lectures on Stochastic Processes*, Tata Institute Fundamental Research, Bombay.
- Kareem A. (1987). Wind effects on structures: a probabilistic viewpoint, *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 2, pp. 166-200.
- Shinozuka M., Yun C.-B., Seya H. (1990). Stochastic methods in wind engineering, *J. Wind Engng. Ind. Aerodynam.*, pp. 36-49.
- Simiu E., Scanlan R. (1996). *Wind effects on Structures*. John Wiley & Sons, New York

ANALISI DELLE CARATTERISTICHE DEL FLUSSO PER PROVE DI IMBARCAZIONI A VELA IN GALLERIA DEL VENTO SU MODELLO IN SCALA

Fabio Fossati ^a, Alberto Zasso ^b

^aDipartimento di Ingegneria Industriale e Meccanica – Università degli Studi di Catania, Catania

^bDipartimento di Meccanica – Politecnico di Milano, Milano

PAROLE CHIAVE: Imbarcazioni a vela, prove in galleria del vento, twisted flow, turbolenza.

SOMMARIO

Il presente lavoro si inserisce nell'ambito delle attività di ricerca svolte presso la galleria del vento del Politecnico di Milano per effettuare prove dell'attrezzatura velica su modelli in scala di imbarcazioni da regata e da crociera. Oggetto della memoria è un'analisi critica delle caratteristiche fondamentali del flusso che è necessario realizzare in Galleria del Vento al fine di simulare correttamente il vento visto da un'imbarcazione a vela in navigazione alle diverse andature.

La motivazione risiede nel fatto che le forze aerodinamiche che il piano velico sviluppa risultano essere funzioni della velocità relativa (che in campo velico viene chiamata velocità del vento apparente) data dalla combinazione del vento naturale, che normalmente aumenta con l'altezza dalla superficie del mare a causa del gradiente presente nello strato limite terrestre, ed il moto dell'imbarcazione. Ipotizzando che l'imbarcazione sia in condizioni di moto definito e costante nel tempo, la combinazione vettoriale della velocità del vento reale e della velocità dell'imbarcazione fa sì che la velocità del vento apparente vista dall'imbarcazione risulti variabile con l'altezza sia in modulo che in direzione (fig.1).

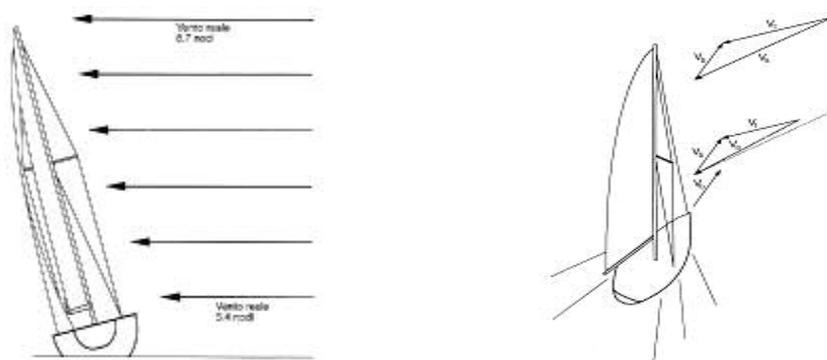


Figura 1 Il gradiente del vento reale ed il twist lungo l'albero dell'imbarcazione

Occorre inoltre considerare che tali variazioni sono funzione oltre che del tipo di andatura anche della velocità raggiunta dall'imbarcazione rispetto a quella assoluta del vento incidente. In generale si può dire che le variazioni del vento apparente con la quota sono maggiormente sensibili con le andature al lasco specie per quanto riguarda le variazioni di direzione.

Passando a considerare la turbolenza del vento, è noto che essa ha due implicazioni fondamentali dal punto di vista aerodinamico. Innanzitutto essa favorisce i fenomeni di transizione dello strato limite laminare ed è quindi importante modellarla correttamente in modo da riprodurre il

comportamento dello strato limite nei casi di flussi regolari. Inoltre essa ha importanti conseguenze sullo sviluppo della scia e ciò diviene molto importante nel caso delle vele per andature portanti che lavorano in un regime di forte separazione.

Il lavoro si articola in due parti fondamentali. La prima, di carattere essenzialmente sperimentale, è incentrata sul progetto e sulla verifica di un dispositivo atto alla realizzazione di “twisted flow” nella camera di prova a bassa velocità in corrispondenza della zona di misura in cui è tipicamente localizzato il modello di imbarcazione a vela. In particolare, allo scopo di mettere a punto su prototipo in scala i parametri geometrici fondamentali per il successivo progetto di dettaglio dell’attrezzatura, è stato realizzato un modello in scala 1:9 del dispositivo ed è stato provato nel modello in scala 1:9 della Galleria del Vento.

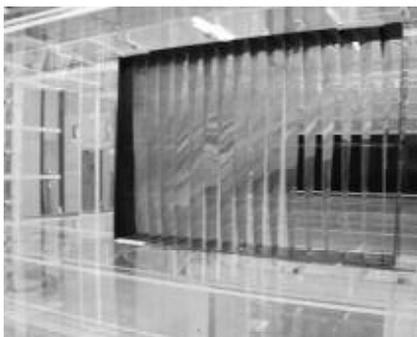


Figura 2. Il modello in scala del dispositivo per la realizzazione del “twisted flow”

Le misure, effettuate mediante sonda di pressione multiforo, hanno permesso di mappare il campo di velocità a valle del dispositivo, dimostrando la adeguatezza del sistema proposto e mettendo in luce le relazioni fondamentali che legano i parametri geometrici del dispositivo con le caratteristiche del flusso realizzato a valle.

La seconda parte del lavoro riguarda l’analisi teorica delle caratteristiche del vento visto da un sistema di riferimento mobile all’interno dello strato limite terrestre. In particolare è stata analizzata la dipendenza del profilo di velocità medio e delle caratteristiche della turbolenza al variare dell’intensità del vento, della velocità dell’imbarcazione e della sua andatura. Tale analisi è stata effettuata a valle di una approfondita ricerca bibliografica che ha consentito di sviluppare la ricerca a partire dall’attuale stato dell’arte nel settore. In particolare sono stati implementati dei codici di calcolo che consentono di ricavare le principali caratteristiche del flusso turbolento che è necessario realizzare in galleria al fine di effettuare misure di forza sul piano velico in condizioni di similitudine con l’effettiva distribuzione del vento apparente incidente sul piano velico al reale.

Le analisi effettuate hanno permesso di evidenziare la maggiore criticità del problema nella corretta rappresentazione della lunghezza di scala integrale associata allo spettro del vento reale nella scala del modello: sono stati quindi individuati gli accorgimenti che possono essere utilizzati per garantire una adeguata condizione di similitudine dello spettro del vento nel campo di frequenze di interesse.

BIBLIOGRAFIA

- Fossati F., Belloli M., Zasso A. (2002). Prove in galleria del vento su modelli di imbarcazioni a vela, *XII Convegno nazionale Ingegneria del vento, Milano 2002*
- Cooper K.R. (1991) The Wind Tunnel Simulation of Wind Turbulence for Surface Vehicle Testing, *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, Vol. 38 78-81*

Non-linear dynamic response of suspended cables under turbulent wind excitation: analytical and numerical approaches

Vincenzo Gattulli^a, Luca Martinelli^b, Federico Perotti^b, Fabrizio Vestroni^c

^a Dip. di Ingegneria delle Strutture, Acque e Terreno, Università di L'Aquila, L'Aquila

^b Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Politecnico di Milano, Milano

^c Dip. di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Università di Roma "La Sapienza", Roma

KEY WORDS: Non-linear dynamics, Galerkin method, wind excitation, finite-element method, numerical integration.

ABSTRACT

The dynamic behaviour of suspended cables has received a great deal of attention from several research groups in the last two decades; the occurrence of a large variety of phenomena related to the cable nonlinear behaviour have been highlighted by means of both experimental and theoretical/numerical studies. Theoretical approaches generally rely on reduced order models for the cable discretization, while recent numerical studies are based on finite-element modelling and step-by-step integration; in a previous research (Gattulli *et al*, 2004) a thorough comparison between the response under harmonic loading obtained by the two approaches for different suspended cables was performed and discussed.

In the work here presented the dynamic response to wind excitation is studied; aim of the research is mainly to investigate the effect of some of the hypotheses and criteria which are adopted, both for the dynamical system and for the excitation models, in developing reduced order analytical procedures.

In this light, the influence, on the cable response, of some aspects of the turbulent wind field was preliminarily analysed by means of a finite-element based numerical procedure (Martinelli & Perotti, 2001); more precisely, the effects of the coupled in-plane and out-of-plane turbulence, of the dimensionality of the wind field (1D vs 3D) and of the turbulence coherence were characterized. To this aim the excitation field was artificially simulated, starting from a stochastic model (Solari & Piccardo, 2001), by means of the Shinozuka method; to investigate the effect of reduced-order modelling of the excitation, the generated time-histories ("complete" wind model CWM) were also projected, at each time, onto the eigenvectors of the linearized cable. Subsequently the components along the first two modes were retained, leading to a "reduced" wind model (RWM).

In the numerical procedure the cable was modelled by means of three-node isoparametric elements and the wind drag forces were introduced in the full nonlinear form, including both aerodynamic non linearities and the "follower" effect due to the configuration change. Structural damping was introduced by means of a damping matrix that was computed on the basis of assigned modal damping factors and of the cable normal modes; these were in turn obtained upon linearisation in the neighbourhood of the static configuration under weight forces and mean wind velocity (taken as 30 m/s). The equation of motion were integrated by means of a step-by-step procedure based on the Newmark method and on the Newton-Raphson iterative scheme; the latter was developed by neglecting non-symmetric terms (aerodynamic stiffness and damping) in the iteration matrix.

The results obtained in this phase suggest the following considerations.

- In-plane turbulence excites out-plane as well as in-plane oscillations, due to nonlinear coupling, with amplitudes of the same order.
- When out-of-plane turbulence is only applied, the cable motion contains both components with out-of-plane amplitudes about twice the in-plane ones, for an examined case, as anticipated by simpler models (Pasca *et al*, 1998).
- When both turbulence components are applied simultaneously, response is larger than the one computed by superposition of individual responses, showing the importance of non-linear effects.

- The difference between the response to 1D (horizontal) and 3D turbulence can be appreciated only in the vertical oscillations and are very limited in all cases.
- On the contrary, the discrepancy between the response to complete and reduced wind models is appreciable only in the horizontal response and is always limited as well.

Based on these investigations, the numerical results were subsequently compared to those obtained by a refined semi-analytical procedure, under a reduced wind model of 1D horizontal turbulence. The procedure is based on the Galerkin method for the cable discretization, where the adopted shape functions are the eigenfunctions of the linearized cable equations; the number of degrees of freedom ranges from two (first in-plane and out-of-plane modes) and eight (4 in-plane and 4 out-of-plane modes). The wind forces are here applied in linearized form; within this context the derivation and the properties of aerodynamic damping are discussed in some detail. The discretized equations, showing quadratic and cubic nonlinearities, were numerically integrated in the examples here shown.

For comparison purposes the nodal response of the FE model (see above) was projected upon the same eigenspace as adopted in the semi-analytical procedure. In this representation the response is practically described by a few in-plane and out-of-plane modes, that suggests the convenient use of reduced models.

The results obtained by means of the numerical and semi-analytical procedures generally show a good agreement, even though the critical role played by the aerodynamic damping is clearly highlighted.

BIBLIOGRAFIA

- Gattulli V., Martinelli L., Perotti F., Vestroni F. (2004), Nonlinear oscillations of cables under harmonic loading using analytical and finite element models, *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* **193**, pp. 69-85.
- Martinelli, L., Perotti, F. (2001), Numerical analysis of the non-linear dynamic behaviour of suspended cables under turbulent wind excitation, *Int. J. of Struct. Stab. & Dyn.* **1**, pp. 207-233.
- Solari, G., Piccardo, G. (2001), Probabilistic 3D turbulence modeling for gust buffeting of structures, *Prob. Eng. Mech.* **16**, pp. 73-86.
- Pasca, M., Vestroni, F., and Gattulli, V. (1988), Active longitudinal control of wind-induced oscillations of a suspended cable, *Meccanica* **33**, pp. 255-266.

Modification of the SAFE_AIR II dispersion code for urban applications

Emilia Georgieva ^{a,b}, Elisa Canepa ^c, Corrado Ratto ^c

^a Department of Physics, University of Genoa

^b Institute of Geophysics, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, BULGARIA

^c INFN – Department of Physics, University of Genoa

KEYWORDS: meteorological preprocessor, urban roughness sublayer, air pollution

ABSTRACT

The paper focuses on Urban Boundary Layer (UBL) parameterisations and their implementation in the meteorological pre-processor ABLE of the SAFE_AIR II code, developed at the University of Genoa for local to regional scale air pollution simulations.

The lower part of the UBL - the urban surface layer - is of particular interest for air pollution modelling, since almost all emission sources are situated within the lowest tens of meters, where we live. In contrast to rural areas the urban surface layer is much more complex and strongly influenced by irregularly spaced tall roughness elements. The surface layer in urban areas is usually divided into two sublayers: the roughness sublayer (RSL) and the inertial sublayer (ISL) above it. The roughness sublayer can occupy a significant part of the surface layer – from ground level up to several times the average building height and is composed of individual street canyons and other roughness elements. Boundary layer similarity parameterisations, used widely in meteorological pre-processors, are strictly valid for the ISL, but not for the RSL, where the turbulent fluxes of momentum, energy, moisture and pollutants are height dependent, Rotach, 2001.

The meteorological pre-processor ABLE, Georgieva *et al.*, 2000, is based on the surface energy balance method and simulates hourly mean values of sensible heat flux, mixing height, friction velocity, Monin-Obukhov length, turbulent temperature scale and convective velocity scale. An interesting feature of ABLE is its coupling with the mass-consistent flow model WINDS in order to simulate the horizontal distribution of the above variables. Previous validation exercises Georgieva *et al.*, 2001, Georgieva *et al.*, 2003, have been carried out using the Kincaid data set, and using data from measuring campaigns in Peru and in the Po Valley, Italy.

We present here a modification of ABLE for urban applications related to the following key items: a) wind profile according the RSL parameterisations, b) urban energy budget scheme using recent parameterisations (i.e. LUMPS-scheme by Grimmond & Oke, 2002) and c) blending height approach for the mixing height, Gryning & Batchvarova, 2002.

The new, urban version of the meteorological pre-processor ABLE is incorporated into the dispersion package SAFE_AIR II and is applied to available data from the Copenhagen data set. This data set comprises 10 tracer (SF₆) releases performed under both unstable and neutral conditions. Previous validation exercise using this data set, Acoron *et al.*, 2002, was focused on sigma functions parameterisations.

Here we present simulation results for the experiments of the Copenhagen data set using the model with and without the urban option. Simulated concentrations have been compared to measured ones. The effect of certain urban scheme parameters is examined and discussed.

REFERENCES

- Acordon V., Canepa E., Georgieva E., Ratto C. (2002), The SAFE_AIR II code: A validation exercise. *Ingegneria del vento in Italia 2002. Atti del 7° Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento IN-VENTO-2002, Milano, 15-18 settembre 2002*. Eds. G. Diana, F. Cheli, A. Zasso, pp. 153-160.
- Georgieva E., Canepa E., Ratto C. (2000). An extension of the SAFE_AIR dispersion model: the determination of the mixing height, *Ingegneria del vento in Italia 2000. Atti del 6° Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento IN-VENTO-2000, Genova, 18-21 giugno 2000*. Eds. G. Solari, L.C. Pagnini, G.Piccardo, pp. 167-175.
- Georgieva E., Canepa E., Ratto C. (2001). The determination of the mixing height: an extended version of the SAFE_AIR dispersion model. *Air pollution modelling and its application*, Vol. 14, pp. 719-720, Kluwer Academic/ Plenum Publisher, New York.
- Georgieva E., Canepa E., Bonafè G., Minguzzi E. (2003). Evaluation of ABL mixing height algorithms against observed and modelled data for the Po Valley, Italy. *26th NATO/CCMS ITM on Air Pollution Modelling and Its Application Istanbul-Turkey, 26-30 May. Preprints*,
- Grimmond C.S.B., Oke T.R.(2002). Turbulent heat fluxes in urban areas: Observations and a local-scale urban meteorological parameterization scheme (LUMPS), *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 41(7), pp. 792–810.
- Gryning S.E., Batchvarova E. (2001). Mixing heights in urban areas: will ‘rural’ parameterisations work? *Extended Abstracts COST 715 Workshop on urban boundary layer parameterisations, Zurich, 24-25 May, 2001*, EUR 20355, Luxembourg, 2003., pp. 99-109.
- Rotach M.(2001). Simulation of Urban scale dispersion using a Lagrangian stochastic dispersion model, *Boundary Layer Meteorology*, Vol.99, pp. 379-410.

Modelli e verifiche sperimentali per l'ottimizzazione di strutture removibili per reti di telefonia

M. Giofrè^a, V. Gusella^a, A.L. Materazzi^a, I. Venanzi^a, S. Morbidoni^b, A. Frontoni^b

^aDipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Perugia, Perugia

^bElettromontaggi s.r.l., Massa Martana, Perugia

PAROLE CHIAVE: antenne strallate, prove sperimentali, identificazione strutturale.

SOMMARIO

Il rapido sviluppo delle tecnologie di comunicazione, supportato da una sempre crescente richiesta di dispositivi per la telefonia mobile, rende necessaria una rete capillare di stazioni che garantisca la copertura del segnale su tutto il territorio nazionale. Queste stazioni sono costituite in generale da tre componenti principali: la struttura portante, le antenne e/o le parabole per la trasmissione del segnale, ed i dispositivi tecnologici per il controllo ed il corretto funzionamento degli apparati per la trasmissione. Spesso, per fronteggiare un volume di traffico variabile nei periodi dell'anno nelle varie zone geografiche, si rende necessario fare ricorso a stazioni removibili che devono soddisfare dei requisiti particolari quali le ridotte dimensioni in pianta, il peso limitato dei vari componenti per facilitare il trasporto, la semplicità e velocità di installazione e rimozione. Ne segue che i sistemi strutturali utilizzati, in genere pali strallati, sono anch'essi molto leggeri e dotati di bassa rigidità agli spostamenti orizzontali dovuta soprattutto alla elevata inclinazione degli stralli. Se a questo si aggiunge che le stazioni removibili vengono localizzate in zone che, nella maggior parte dei casi, sono anche caratterizzate da forti venti non è difficile immaginare come i carichi indotti dal vento finiscano per rappresentare la principale azione di progetto sia per gli stati limite di esercizio che per gli stati limite ultimi [1,2].

In questo contesto è stato avviato un progetto di ricerca per l'analisi dei problemi di progetto legati alle azioni del vento. In particolare, risulta di notevole interesse la taratura dei modelli numerici attraverso il contributo delle informazioni acquisibili da prove sperimentali sia su prototipi che su modelli utilizzando sia gallerie del vento che campagne in situ. L'obiettivo finale della ricerca è da riguardarsi nella ottimizzazione dei sistemi strutturali nei confronti della sicurezza e delle condizioni di esercizio che assicurino un'adeguata trasmissione del segnale. I risultati di una prima ricerca sperimentale sui coefficienti aerodinamici (coefficienti di drag e di lift) determinati su porzioni di struttura in scala 1:1 sono stati presentati in [3] alla quale si rimanda anche per una descrizione dettagliata del modello strutturale.

In questa memoria la campagna di prove sperimentali viene indirizzata su una modifica della stazione removibile precedentemente analizzata nella quale sono stati introdotti dei particolari rinvii per gli stralli (Fig. 1) che permettono di incrementare la rigidità laterale del palo e di ottenere una distribuzione dei momenti flettenti più uniformi lungo l'altezza del palo stesso. Le prove sperimentali in galleria consentono di valutare le variazioni dei coefficienti aerodinamici rispetto alla configurazione originaria mentre le prove in situ permettono di identificare i principali parametri dinamici del complesso sistema strutturale da utilizzare per affinare e rendere più affidabili i modelli numerici per il progetto.



Figura 1. Vista della struttura portante con la nuova configurazione per gli stralli.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Simiu E., Scanlan R.H.(1996), *Wind Effects on Structures: fundamentals and application to design*, Wiley Interscience, New York, 3rd edition.
- [2] Kolousek V., Piner M., Fischer O., Naprstek J. (1984), *Wind Effects on Civil Engineering Structures*, Elsevier.
- [3] Gioffrè M., Gusella V., Materazzi A.L., Venanzi I. (2004). *Removable guyed mast for mobile phone networks: wind load modeling and structural response*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, in print.

Computer Animations of the Aeroelastic Behaviour of the Proposed Messina Bridge

S. Hernández, J.A. Jurado

School of Civil Engineering, University of Coruña, Campus de Elviña, Coruña, Spain

PAROLE CHIAVE: Aeroelastic analysis, long span suspension bridges, computer animations, strait crossing, Messina bridge.

SOMMARIO

An important issue during the design process of long suspension bridges is to make sure that the structure will behave properly when subjected to high wind speed. In other words, the aeroelastic response of the bridge becomes one of the main characteristics of long span bridges. In fact, a lack of understanding of wind loads led to the collapses of the Brighton Chain Pier (U.K) in 1836 and the Wheeling Bridge (USA) in 1854. But the failure of the Tacoma Narrows Bridge in 1940 made civil engineers seriously consider aeroelastic studies when tackling this problem and thus opening the era of aerodynamic studies in civil engineering.

The main approaches to identify the aeroelastic behaviour of long span bridges are:

EXP approach: Experimental testing in boundary layer wind tunnel.

EXPCOM approach: Experimental testing in an aerodynamic wind tunnel followed by computer based aeroelastic analysis.

The EXP approach was the first technique to be used in aeroelastic studies and has roots fifty years ago when most of the efforts were directed to experimental procedures and the behaviour of the bridge under different wind speeds was tested by constructing reduced models of the whole structure and carrying out tests in boundary layer wind tunnels.

These facilities are expensive and require a large amount of space and power supply. A significant quantity of money and time is needed to produce the reduced model. On the other hand, several classes of responses can be measured during experiments, including the values of structural reactions or structural displacements.

This type of experiment provides a direct view of the deformation of the model. Therefore the designer can observe its behaviour for different wind speeds.

On the other hand, the EXPCOM approach tries to overcome to some degree this inconvenient by using a mixed methodology: only a reduced model of a segment of the bridge deck is tested in an aerodynamic wind tunnel, which is a smaller facility than the boundary layer wind tunnel.

The objective of testing the reduced model of deck segment is to identify a set of parameters, commonly called flutter coefficients, that relate wind forces with deck displacements and their derivatives along the time.

After that, an aeroelastic analysis is carried out in the computer aimed to obtain the wind speed U_f that will initiate an instability known as flutter. Therefore the main turn out of this approach is just this numerical value of wind speed U_f , but no information about bridge deformation when the incipient instability occurs is provided.

Nevertheless, the cost of this approach is much cheaper than the EXP technique so it has been used for aeroelastic studies of quite a few recently built bridges.

An approach developed by the authors at the University of La Coruña tries to contain most of the advantages of the previously mentioned EXP and EXCOM, while eliminating their inconvenients. Doing that requires to take use of the present day capabilities of the best computer graphic techniques. For instance, advanced visualization which is an application of computer graphics aimed to produce realistic models of objects. In the engineering field, this technique allows to represent digital models of engineering design very accurately. This approach has been widely used in the conceptual design phase and also in the detailing part of the design process.

But advanced visualization not only can be applied to represent the undeformed geometry of the bridge. It can be also used to describe the structural behaviour under different loads. For doing that information on the structural responses provided by structural analysis codes need to be incorporated into the visualization model.

To represent the deformation of a structure, it is necessary to modify the location of all the vertices that are to be moved in the model.

Visualization models can not only represent simple pictures corresponding to structural deformation under static loads. They can describe time varying response of the bridges as natural vibration modes or aeroelastic deformation in the presence of wind loads. For doing that simple pictures are enchainned to a rate of 25 per second to produce computer animations which allow to visualize the same class of information provided by the actual boundary layer wind tunnel testing.

An application to this techniques to the collapsed Tacoma Narrows and the suspension bridge over the Great Belt was presented by the authors in the IN-VENTO 2002 Conference.

In this new paper some computer animations showing the aeroelastic behaviour of the proposed Messina bridge under different wind speeds will be presented. Two pictures are included to describe the level of accuracy of the computer models worked out.



Figure 1. Bridge over the Messina Strait.

REFERENCES

- 1 Ito, M. 21st Century super long span bridges in Japan, in *Bridge Aerodynamics*, pp 145-152, A. Larsen & Esdall (eds.), Balkema, 1998.
- 2 Hernández, S. The Rias Altas link. A challenging crossing, in *Strait Crossing*, pp 407-414, J. Krokeborg (ed.), Balkema 2001.
- 3 Jones, N.P. & Scanlan, R.H.: "Advances (and challenges) in the prediction of long-span bridge response to wind" in *Bridge Aerodynamics*, Proceedings of the *International Symposium on Advances in Bridge Aerodynamics*, Copenhagen, Denmark, May 10-13, 1998, pp. 59-85, A. Larsen & S. Esdahl (eds.), A.A. Balkema, 1998.
- 4 Watt, A. and Watt, M.; *Advanced Animation and Rendering Techniques, Theory and Practice*, Addison-Wesley, 1992.
- 5 Maya; Users Manual, 3.0 Version, Alias Wavefront, 2000.
- 6 Hernández, S., Jurado, J.A., Hernández L.A. & Antón A. "A joint formulation of structural analysis and visualization of the aeroelastic response of long-span bridges". 4th International Symposium on Bluff Body Aerodynamics and Applications, Bochum (Germany), 2000.
- 7 Hernández, S., Jurado, J.A., Mosquera A. "Multidisciplinary and multiobjective approach to aeroelastic design of long span bridges". International Workshop on Long Span Bridge Aerodynamics, IN-VENTO, 2000, Milan (Italia).

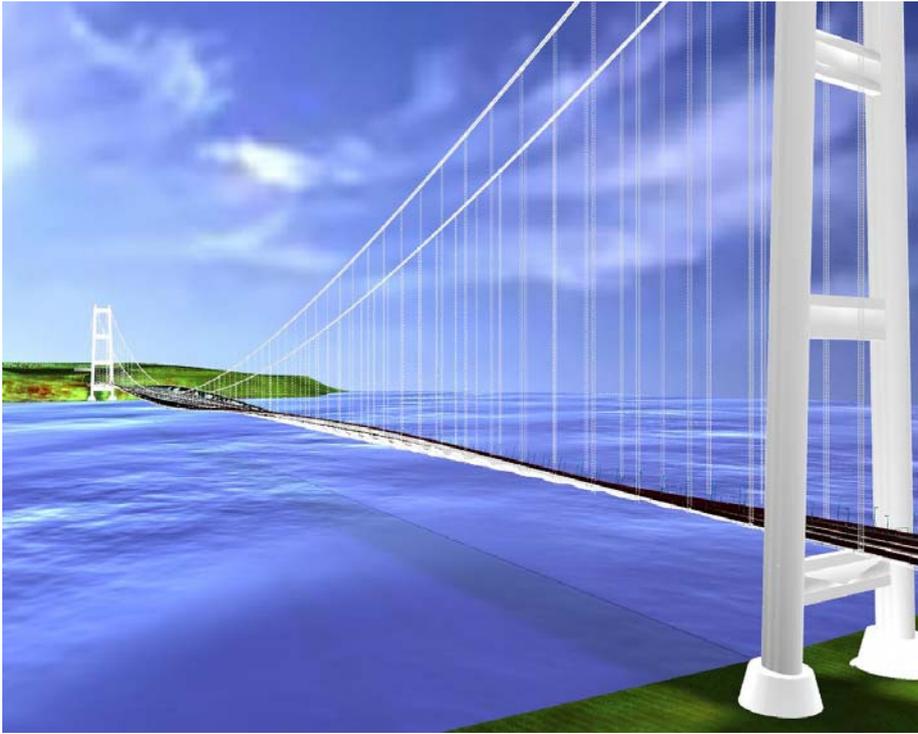


Figure 2. Deformation of the Messina strait bridge in natural vibration mode.

Aeroelastica di una grande copertura sospesa

Massimiliano Lazzari^a, Riccardo Rossi^a, Majowiecki Massimo^b, Anna Saetta^b

^a Dip. di Costruzioni e Trasporti, Università di Padova - via Marzolo 9, 35131 Padova

^b Dip. di Costruzione dell'Architettura, IUAV, Tolentini 191, 30135 Venezia

PAROLE CHIAVE: aeroelastica, fluido-struttura, coperture di grande luce, dominio del tempo

SOMMARIO

Il lavoro descrive lo studio aeroelastico di una copertura di grande dimensione dal comportamento strutturale inusuale. La struttura di riferimento è la copertura del nuovo stadio di calcio realizzato in occasione dei campionati europei del 2004 Fig. 1. Lo stadio è costituito da due tribune poste parallelamente al lato lungo del campo, mentre i due lati corti uno è chiuso dal lato della montagna mentre l'altro è aperto verso la valle.

La struttura è costituita da un letto di funi di grande diametro disposte a passo regolare irrigidite lateralmente mediante pannelli di cemento armato di spessore variabile. Nella Fig. 1 si riportano lo schema principale della copertura di dimensioni pari a $(57 + 88 + 57) = 202$ m x 129 m con freccia in mezzeria di circa 7.5 m. Il letto di funi è fissato ai corpi laterali in cemento armato che costituiscono le gradinate dello stadio e rappresentano un vincolo rigido. La pretensione nelle funi viene introdotta per effetto del peso permanente agente sui cavi. I pannelli di cemento armato sono fatti scorrere sulle funi fino a posizionarli nella configurazione finale e poi collegati tra di loro mediante dei getti di completamento. La struttura viene ulteriormente irrigidita mediante l'impiego di una reticolare di bordo disposta alla fine delle due lastre di cemento armato.

Il funzionamento strutturale della copertura risulta simile a due nastri tesi con bassa rigidezza flessionale concentrata nelle zone laterali. Da un punto di vista aerodinamico la struttura corrisponde a due lamine immerse in un fluido.



Fig. 1: (a) lo stadio di Braga – (b) schema della copertura

La singolarità della struttura legata alla forma strutturale innovativa, alla bassa rigidezza flessionale e torsionale ed alla sua intrinseca predisposizione ad un comportamento aeroelastico porta ad indagare la risposta all'azione del vento. In particolare si studia il comportamento della struttura considerando un vento incidente nella direzione ortogonale alle gradinate e descrivendo l'aeroelastica mediante lo studio del moto contenuto nel piano della struttura stessa (modello piano).

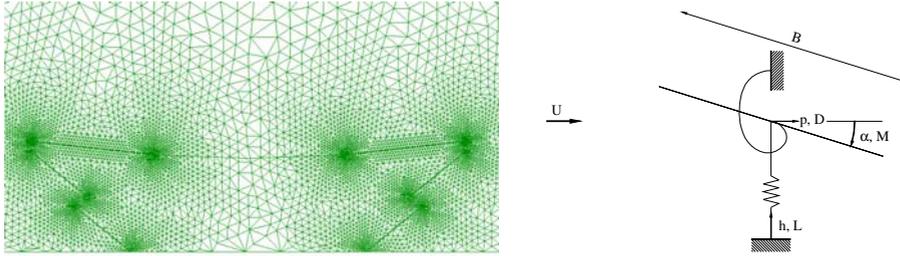


Fig. 2: (a) CFD- discretizzazione fluido struttura, (b) modello sezione aeroelastica

La risposta aerodinamica ed in particolare quella aeroelastica della struttura è stata studiata numericamente mediante due approcci:

- A) *analisi accoppiata fluido – struttura in non linearità geometrica*. Tale procedura si sviluppa tramite un accoppiamento della risposta strutturale e di quella fluida passando attraverso una aggiornamento della mesh del dominio Fig. 2(a).
- B) *analisi aeroelastica mediante la similitudine con i ponti*. Questa trattazione si basa sull'impiego delle formulazioni tipiche dei ponti di grande luce per lo studio della risposta al flutter e al buffeting Fig. 2(b).

I risultati delle due formulazioni sono confrontati sia in termini quantitativi e qualitativi per la ricerca della velocità del vento che porta alla nascita di effetti aeroelastici come il flutter.

Analisi accoppiata fluido – struttura. L'analisi sviluppa la simulazione numerica accoppiata della struttura e del fluido. Per la struttura si assume una descrizione in ambito non lineare tramite la classica formulazione Lagrangiana Totale. Per la simulazione del campo di fluido si impiega una formulazione ALE (Arbitrary Lagrangian Eulerian) dove si tiene in conto la deformazione della mesh del fluido. Tale deformazione avviene considerando la mesh come un solido e usando una tecnica a due fasi con lo scopo di dare un quasi uniforme stato di deformazione per effetto della distorsione.

Analisi aeroelastica - similitudine con i ponti. Lo studio impiega due similitudini fondamentali: la prima è tra la copertura ed una lamina sottile immersa in un fluido mentre la seconda avviene tra il comportamento aeroelastico della copertura ed un ponte. Lo sviluppo della risposta aerodinamica viene trattato nel dominio del tempo utilizzando le due formulazioni fondamentali: B1 la formulazione “*quasi statica*” (include sia la non linearità dell'angolo d'incidenza sia la non linearità geometrica dell'intera struttura ma trascura la dipendenza dalla frequenza del sistema) B2 formulazione basata sulla “*estensione delle derivate aeroelastiche al dominio temporale*” (considera la dipendenza frequenziale delle forze aeroelastiche ma deriva da una sovrapposizione lineare di impulsi)

Entrambe le formulazioni introducono ipotesi semplificative nelle espressioni di forza aeroelastica. Il dominio di validità di una formulazione o dell'altra deve essere valutato di volta in volta [2].

BIBLIOGRAFIA

- [1] S.Piperno, C.Farhat, B. Larroutorou (1995), Partitioned Procedures for the transient solution of coupled aeroelastic problems - Part2 - energy transfer analysis and three dimensional applications, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 124, 1995, 79-112.
- [2] M. Lazzari, A. Saetta, R. Vitaliani (2003 – 2004), Aeroelastic Forces and Dynamic Response of Long-Span Bridges, Journal for Numerical Methods in Engineering, accepted for the publication 2004

Analisi aeroelastica di ponti nel tempo: i ponti a nastro teso

Massimiliano Lazzari^a, Anna Saetta^b, Renato Vitaliani^b

^a Dip. di Costruzioni e Trasporti, Università di Padova - via Marzolo 9, 35131 Padova

^b Dip. di Costruzione dell'Architettura, IUAV, Tolentini 191, 30135 Venezia

PAROLE CHIAVE: aeroelastica, ponti, dominio del tempo

SOMMARIO

Lo scopo dell'articolo è descrivere, sviluppare e confrontare le formulazioni delle forze aerostatiche nel dominio del tempo per lo studio aerodinamico dei ponti. In particolare si considera la formulazione quasi statica e quella derivata dall'estensione delle derivate aeroelastiche al dominio temporale con l'impiego dell'espressione ricorsiva per il termine di memoria. Entrambe le formulazioni sono applicate allo studio delle passerelle a nastro teso, aerodinamicamente simili ad una lamina sottile immersa in un fluido. Si riporta un confronto delle formulazioni e dei risultati ottenuti con tutti i dati d'input del problema analizzato da impiegare come possibile benchmark per altre formulazioni.

ANALISI NEL DOMINIO TEMPORALE

Lo studio della risposta dinamica all'azione del vento può svolgersi nel dominio del tempo o in quello frequenziale. Il dominio temporale permette di rimuovere alcune delle ipotesi fatte per il dominio frequenziale e quindi in generale consente uno sviluppo più rigoroso della trattazione. Le due formulazioni fondamentali per l'analisi nel dominio del tempo sono:

- **A:** la formulazione "quasi statica" include sia la non linearità dell'angolo d'incidenza (angolo di incidenza effettivo tra il vento e l'impalcato) sia la non linearità geometrica dell'intera struttura ma trascura la dipendenza dalla frequenza del sistema. Con riferimento al moto relativo del fluido:

$$\frac{2L_{ss}(t)}{\rho U^2} = B \left(C_L + (C_D + C'_L) \frac{-\dot{h} + m_B \ddot{h}}{U} + C'_L \alpha - 2C'_L \frac{\dot{p}}{U} + (C_D + C'_L) \frac{w}{U} + 2C'_L \frac{u}{U} \right) \quad (1)$$

- **B:** la formulazione basata sulla "estensione delle derivate aeroelastiche al dominio temporale" considera la dipendenza frequenziale delle forze aeroelastiche ma deriva da una sovrapposizione lineare di impulsi e dall'approssimazione delle derivate aeroelastiche. Il termine integrale, memoria del sistema, può essere sviluppato allo scopo di ricavare una espressione di tipo ricorsivo che faciliti l'integrazione numerica:

$$\frac{2L_{seh}(t)}{\rho U^2} = a_0 h(t) + a_1 \frac{B}{U} \dot{h}(t) + a_2 \left(\frac{B}{U} \right)^2 \ddot{h}(t) + \sum_{g=3}^{m+2} \int_{-\infty}^t a_g e^{-\frac{d_g U}{B}(t-\tau)} \dot{h}(\tau) d\tau = a_0 h(t) + a_1 \frac{B}{U} \dot{h}(t) + a_2 \left(\frac{B}{U} \right)^2 \ddot{h}(t) + \sum_{g=3}^{m+2} \Gamma_{L,gh}(t) \quad (2)$$

dove: p, h, α sono i tre gradi di libertà della sezione, B la corda della sezione, U la velocità media, ρ la densità, $C_{D,L,M}$ e $C'_{D,L,M}$ sono le polari statiche e le relative derivate, a_0, a_1, a_2, a_g, d_g con $g=3, m+2$ sono i coefficienti per l'approssimazione razionale complessa delle coppie di derivate aeroelastiche ($H'_+ + iH'_+$ per la forza di Lift). Entrambe le formulazioni introducono ipotesi esemplificative nelle espressioni di forza aeroelastica. Il dominio di validità di una formulazione o dell'altra deve essere valutato di volta in volta.

Le due trattazioni sono applicate allo studio dei ponti a “nastro teso” Fig. 1(a), progettati da Jiri Straski & C.. Questi ponti sono realizzati mediante un sistema di conci in cemento armato precompresso sospesi in fase di montaggio da un sistema di funi. Il comportamento aerodinamico risulta simile a quello di una lamina sottile immersa in un fluido descritta dalla funzione di Theodorsen. Da tale funzione teorica è possibile ricavare tutte le polari statiche, necessari per lo sviluppo A, e ricavare tutti le derivate aeroelastiche necessarie per la formulazione delle forze aeroelastiche allo Scanlan Fig. 1(b).

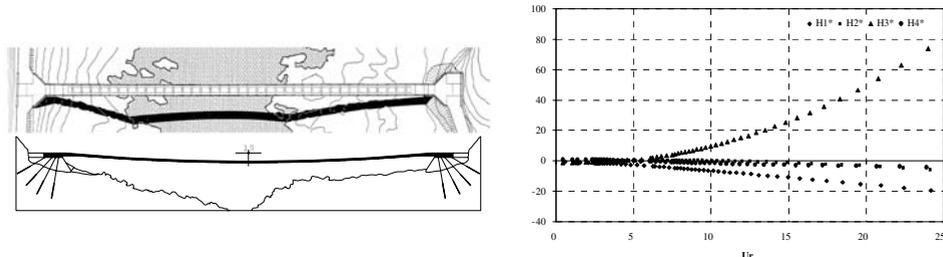


Fig. 1: (a) Ponte a nastro teso – (b) derivate aeroelastiche ottenute dalla teoria della lamina sottile

Il confronto avviene sia in termini di analisi delle frequenze proprie del sistema modificato (sistema aeroelastico) sia in termini di integrazione temporale (evoluzione della risposta). In Fig. 2 si riportano i risultati per entrambe le formulazioni (A e B) e si osserva come i risultati siano simili tra loro e con la soluzione in forma chiusa ($U_r = 88$ m/s). In particolare la trattazione B permette di avere un migliore accordo derivante dal considerare la dipendenza dalla frequenza (dipendenza non considerata per il modello A).

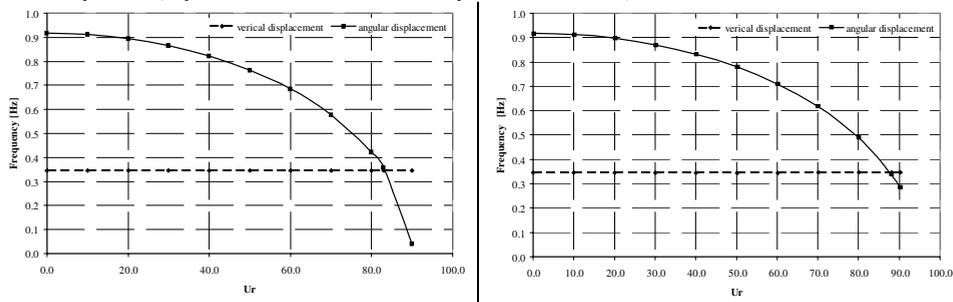


Fig. 2: Analisi frequenziale del problema aeroelastico con il modello A e B.

Lo sviluppo teorico completo delle due trattazioni (quasi statica ed estensione delle derivate aeroelastiche) permette di descrivere in modo esteso i campi di validità delle stesse e le ipotesi introdotte. Il confronto teorico e numerico tra le due permette di sviluppare un esempio che evidenzia le difficoltà degli sviluppi necessari per l’impiego delle formulazioni e di effettuare una valutazione comparativa dei risultati ottenuti.

I risultati e le formulazioni possono diventare riferimento per possibili altre formulazioni e quindi svolgere il compito di benchmark.

BIBLIOGRAFIA

Lazzari M., Saetta A., Vitaliani R. (2003). *Non linear dynamic response of long-span bridges*, accepted for the publication in the International Journal for Numerical Methods in Engineering.

Lazzari M., Vitaliani R. (2004). *Aeroelastic Analysis Of Bridges In Time Domain: The Stress Ribbon Bridge*, submitted for the publication in the International Journal for Numerical Methods in Engineering.

Effetti di parete sullo Strouhal di un cilindro rettangolare

Stefano Malavasi¹, Marcello Vanali²

¹DIIAR Politecnico di Milano, Milano

²Dipartimento di Meccanica, Politecnico di Milano, Milano

PAROLE CHIAVE: Strouhal, Cilindro rettangolare, Flusso Confinato, Galleria del Vento.

SOMMARIO

Il presente lavoro fa parte di un più ampio studio sperimentale, tuttora in corso, riguardante gli effetti di una parete rigida piana sull'interazione tra una corrente stazionaria e un cilindro di sezione rettangolare, in relazione sia alla struttura del campo di moto sia agli effetti dinamici indotti sull'ostacolo. Lo studio comprende una serie di campagne sperimentali svolte sia in galleria del vento, sia in canaletta idraulica, al fine di agevolare lo studio dei numerosi parametri che influenzano il fenomeno. Nonostante la semplicità della geometria considerata e la sua affinità con problemi di interesse pratico, ponti e edifici posti in prossimità di ostacoli rigidi, in letteratura si trovano pochi lavori in proposito. La maggior parte dei lavori sui cilindri a sezione rettangolare riguarda la condizione di flusso non confinato o con confinamento simmetrico, che può essere vista come caso limite a cui riferire i risultati nel caso della presenza di un confinamento del flusso.

I principali studi eseguiti su cilindri a sezione rettangolare trovati in letteratura (Okajima 1982, Shimada 2002, Noda 2003, Deniz and Staubli 1997) sono dunque presi come riferimento per analizzare i risultati da noi riscontrati nella campagna di prove condotta.

In questo articolo in particolare si esamina l'effetto della vicinanza di una parete rigida sul distacco di vortici in scia al cilindro, studiandolo attraverso la misura delle forze agenti su di esso. I risultati sono stati analizzati in termini di densità di potenza spettrale delle forze ed in termini di variazione del numero di Strouhal per diverse altezze del cilindro rispetto alla parete e per diversi numeri di Reynolds.

Le prove sono state svolte in una galleria a camera aperta, delle dimensioni di $0.9 \times 0.9 \text{ m}^2$, utilizzando un cilindro dinamometrico in grado di misurare le forze agenti su di esso mediante due sistemi estensimetrici separati (Cigada *et al.* 2001). Il sistema è così in grado di fornire indicazione sulle forze di portanza, resistenza e sulle coppie agenti sul cilindro immerso nella vena fluida.

Il set-up di misura è stato completato da un tubo di pitot e da un anemometro a filo caldo per la misura della velocità del fluido nella camera di prova.

Nella prima parte del lavoro si descrive dettagliatamente il set-up di misura (Figura 1) utilizzato e viene caratterizzata la camera di prova in termini di profili di velocità e indice di turbolenza della corrente in funzione della posizione e del numero di Reynolds.

La verifica seguente ha riguardato la rigidità del cilindro dinamometrico utilizzato per la misura delle forze, scelto un intervallo di velocità di prova si è verificato mediante un accelerometro che la frequenza propria di vibrazione del cilindro fosse sufficientemente elevata da non sovrapporsi alle frequenze del distacco di vortici oggetto dello studio. Un'ulteriore verifica è stata eseguita utilizzando l'anemometro a filo caldo per misurare il distacco di vortici in scia al cilindro, e confrontare le densità di potenza spettrale della velocità misurata con l'anemometro (Figura 2) con quelle misurate utilizzando i dinamometri. Si è proceduto a questo punto con le prove a diversi numeri di Reynolds per diverse distanze della parete rigida dal cilindro. Le prove sono state condotte a velocità comprese tra 3 e 15 m/s corrispondenti a numeri di Reynolds compresi tra 7.95×10^3 e 3.97×10^4 , ed altezze del cilindro comprese tra 2 cm (rapporto $hb/s=0.5$, dove hb è l'altezza del cilindro dal fondo e s il suo spessore) e 20 cm (rapporto $hb/s=5$).

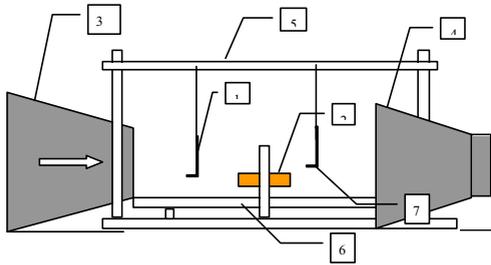


Figura 1. Schema del set-up sperimentale: 1) Tubo di Pitot 2) Cilindro Rettangolare; 3 e 4) Galleria del vento; 5) struttura di supporto; 6) Parete di confinamento; 7) Anemometro a filo caldo

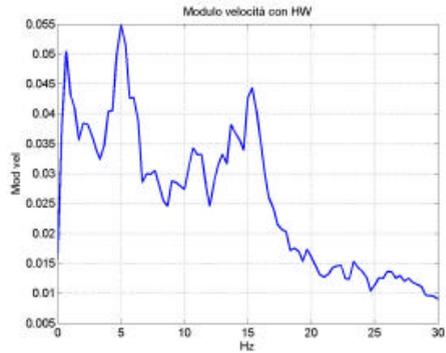


Figura 2 Densità di potenza spettrale di una misura di velocità eseguita con anemometro a filo caldo ($V_{med} = 5 \text{ m/s}$ $hb/s = 5$).

Per ogni prova si sono elaborate le densità di potenza spettrale delle forze di lift: un esempio di elaborazione è riportato nelle Figure 3 e 4, per una velocità media di 5 m/s e due differenti altezze del cilindro.

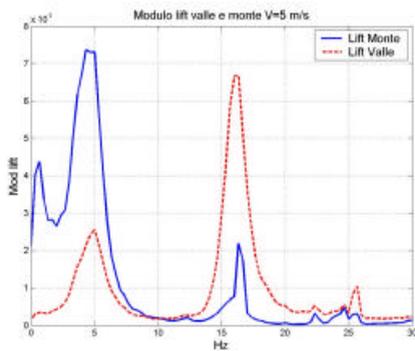


Figura 3. Densità di potenza spettrale delle componenti di portanza ($V_{med} = 5 \text{ m/s}$ $hb/s = 5$)

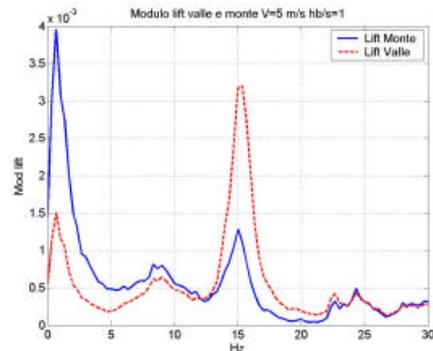


Figura 4. Densità di potenza spettrale delle componenti di portanza ($V_{med} = 5 \text{ m/s}$ $hb/s = 1$)

Il confronto tra le figure 2 e 3 evidenzia la corrispondenza tra frequenze dominanti nell'evoluzione del campo di moto e frequenze di eccitazione della struttura. Dalle figure 3 e 4 si può invece osservare come la vicinanza della parete influenzi la formazione dei vortici sia sul bordo di attacco che su quello di uscita del cilindro.

BIBLIOGRAFIA

- Deniz S., Staubli Th. (1997): "Oscillating rectangular and octagonal profiles: integration of leading- and trailing-edge vortex formation" *Journal of Fluids and Structures* n° 11(1), pp. 3-31
- Cigada A., Falco M., Zasso A. (2001) Development of new systems to measure the aerodynamic forces on section models in wind tunnel testing, *J. of Wind Eng. and Ind. Aero.* Vol 89/7-8, June, pp 725-746.
- Okajima A. (1982), Strouhal number of rectangular cylinder, *J. Fluid Mech.* vol.123, pp.379-398.
- Noda H; Nakayama A (2003) Free-stream turbulence effects on instantaneous pressure and forces on cylinder of rectangular cross section. *Exp. In Fluids* 34, pp.332-344
- Shimada K; Ishihara T (2002) Application of modified k-e model to the prediction of aerodynamic characteristics of rectangular cross section cylinders. *J. of Fluids and Structures*, 16(4), pp.465-485

Spettri longitudinali del vento nello strato superficiale dell'atmosfera

I.Mammarella^a, F.Tampieri^b, A.Maurizi^b

^aFMI, Helsinki, Finlandia

^bISAC CNR, Bologna

PAROLE CHIAVE: Strato limite atmosferico, turbolenza, terreno complesso

SOMMARIO

Vengono presentate misure di turbolenza nello strato superficiale atmosferico, in condizioni pressoché neutrali, ottenute da anemometri sonici posti a 2 e 10 m sul suolo. Si analizzano tre posizioni: la prima localizzata su terreno piatto ed uniforme, la seconda sulla cresta di un ostacolo ripido, la terza sottovento l'ostacolo stesso. La distanza tra la prima e la terza posizione di misura è di circa 10 km. Una prima descrizione delle misure è riportata da Tampieri *et al.*, 2003.

Vengono analizzate alcune proprietà statistiche ed in particolare gli spettri longitudinali.

Sul terreno piatto sopravvento si possono osservare uno 'scaling' di grandi numeri d'onda k , caratteristico dell'intervallo inerziale, ed uno di piccoli numeri d'onda. La lunghezza di scala per il secondo caso è ricavata dall'integrazione dello spettro piuttosto che dalla correlazione. Si osserva l'esistenza di un intervallo spettrale con pendenza k^{-1} per le componenti del vento parallele al suolo, ma non per quella perpendicolare.

Sottovento compare una pendenza $k^{-3/2}$ a sinistra del numero d'onda minimo che ci si aspetta caratterizzare l'intervallo inerziale, sempre per le componenti parallele al suolo.

Sulla cresta dell'ostacolo si sovrappongono comportamenti caratteristici del terreno piatto, per numeri d'onda sufficientemente grandi, ed effetti legati alla topografia, a bassi numeri d'onda.

I risultati vengono discussi in termini di teoria di similarità (Kader & Yaglom, 1989; Nikora, 1999), e confrontati con la letteratura (Katul & Chu, 1998). Sono inoltre brevemente analizzate le implicazioni di questi risultati sull'applicazione di modelli di dispersione.

BIBLIOGRAFIA

- Kader B.A., Yaglom A.M. (1989) Spectra and correlation functions of surface layer turbulence in unstable thermal stratification, in Metais & Lesieur (eds): *Turbulence and coherent structures*, pp. 388-412, Kluwer, Dordrecht.
- Katul G.G., Chu C.R. (1998) A theoretical and experimental investigation of energy-containing scales in the dynamic sublayer of boundary layer flow, *Boundary Layer Meteorol.*, Vol. 86, pp. 279-312.
- Nikora V. (1999) Origin of the "-1" spectral law in wall-bounded turbulence, *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 83, pp. 734-736.
- Tampieri F., Mammarella I., Maurizi A. (2003) Turbulence in complex terrain, *Boundary Layer Meteorol.*, Vol. 109, pp. 85-97

Progettazione ottimale di strutture flessibili esposte all'azione del vento

Annibale Luigi Materazzi^a, Ilaria Venanzi^a

^aDipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Perugia

PAROLE CHIAVE: Ottimizzazione strutturale, azioni dinamiche, antenne strallate.

SOMMARIO

Nel caso delle strutture molto deformabili, per le quali l'azione del vento costituisce di norma la condizione di carico principale, la individuazione della configurazione strutturale più conveniente, sia dal punto di vista della sicurezza, che dal punto di vista della efficienza funzionale in servizio, può costituire un problema complesso.

Qualora, come peraltro è la regola nella maggioranza dei casi, i requisiti di progetto debbano essere soddisfatti garantendo anche il contenimento del costo di costruzione, il problema si complica ancora.

Certamente l'esperienza del progettista, unitamente alla osservazione del comportamento in servizio delle strutture esistenti, costituisce un supporto utile nella fase delle scelte preliminari e del predimensionamento, ma può non essere sufficiente alla individuazione della soluzione ottimale.

Nella presente comunicazione il problema viene affrontato utilizzando la tecnica matematica della ottimizzazione, con specifico riferimento ad una tipologia strutturale molto diffusa sul territorio e che è stata anche oggetto di studi precedenti (Gioffrè *et al.*, 2003): quella delle antenne strallate rimovibili utilizzate nelle reti di telefonia mobile come sostegno per gli impianti di ricetrasmisione.

In particolare l'attenzione viene fissata sulla scelta delle caratteristiche geometrico/meccaniche del palo principale e sulla posizione degli attacchi degli stralli di irrigidimento.

Quali vincoli alla progettazione vengono considerati il contenimento degli spostamenti orizzontali, tenuti in conto mediante un opportuno indice quadratico, e la minimizzazione del costo complessivo, nel rispetto, naturalmente, della sicurezza allo stato limite ultimo.

Il corrispondente problema di ottimizzazione multi-obiettivo viene risolto in campo dinamico, applicando ad un opportuno modello matematico della struttura storie artificiali di vento spettro-compatibili.

I risultati ottenuti vengono confrontati con alcune configurazioni strutturali utilizzate nella pratica professionale, consentendo così di discutere criticamente la grandezza delle approssimazioni che comunemente vengono accettate ed il ruolo degli effetti dinamici, che di norma non vengono considerati esplicitamente.

BIBLIOGRAFIA

Gioffrè M., Gusella V., Materazzi a.L., Venanzi I. (2003). Optimal design of raw land sites for mobile phone networks, 12th International Conference on Wind Engineering (11 ICWE), Lubbock, USA.

Analisi comparativa della risposta dinamica di strutture in acciaio con dissipatori viscoelastici soggette ad azioni eoliche o sismiche

Fabio Mazza, Alfonso Vulcano

Dipartimento di Strutture, Università della Calabria, Arcavacata di Rende (Cosenza)

PAROLE CHIAVE: Controllo delle vibrazioni, dissipazione di energia, vento, sisma, strutture in acciaio, controventi.

SOMMARIO

La progettazione degli edifici con struttura intelaiata in acciaio esposti alle azioni del vento è tradizionalmente condotta in modo da conferire alle parti strutturali una resistenza ed una rigidità tali da assicurare un comportamento elastico. D'altra parte, per effetto di terremoti di forte intensità si accetta che anche gli elementi strutturali possano essere danneggiati, escludendo comunque l'eventualità di fenomeni di collasso parziale o totale e confidando nelle risorse di duttilità della struttura. Inoltre, occorre controllare che non si verifichino fenomeni di instabilità e la deformabilità non risulti eccessiva.

L'irrigidimento dovuto ad aste metalliche di controvento si rivela efficace per il controllo degli spostamenti di piano, ma non sempre adeguato per il controllo delle accelerazioni indotte dal vento - da contenere entro limiti tali da garantire un adeguato "comfort" abitativo (Simiu & Scanlan, 1986) - e degli sforzi normali indotti nei pilastri dalle azioni sismiche. Nei casi in cui detto irrigidimento non risultasse sufficientemente adeguato, si può prevedere l'inserimento di dispositivi dissipativi montati su aste di controvento ("controventi dissipativi"). Le capacità smorzanti di tali dispositivi possono dipendere da differenti forme di dissipazione dell'energia (per es., viscoelasticità di elastomeri o fluidi, isteresi per plasticizzazione di metalli o per attrito).

Progettare una struttura in un'area classificata come sismica ed in cui non sia trascurabile l'azione del vento richiede, in generale, la ricerca di soluzioni che risultino ottimali nei riguardi sia delle azioni sismiche che di quelle eoliche. L'obiettivo principale del presente lavoro è quello di studiare la risposta dinamica di strutture in acciaio munite di "controventi dissipativi", soggette ad azioni eoliche ovvero sismiche (d'intensità talmente elevata da produrre deformazioni plastiche), al fine di formulare un criterio di progetto degli stessi "controventi dissipativi" che sia ottimale nei riguardi di entrambi i tipi di azione. L'attenzione è rivolta all'uso di controventi provvisti di dispositivi viscoelastici, che, a differenza dei dispositivi isteretici, dissipano energia anche nel caso di vibrazioni di piccola ampiezza, risultando, per questa loro caratteristica, idonei sia nel caso di vibrazioni dovute al vento che in occasione di terremoti di forte intensità.

Per fissare le idee si fa riferimento ad un edificio simmetrico di quindici piani, la cui struttura in acciaio, in origine costituita da telai a maglie ortogonali in cui sono inseriti controventi a K concentrici (BF: "Braced Frame"), è progettata in assenza di dispositivi dissipativi rispettando le prescrizioni previste dall'Eurocodice 3. Le azioni del vento vengono valutate in accordo all'Eurocodice 1 (velocità di riferimento, $v_{ref}=28\text{m/s}$). Per quanto riguarda le azioni sismiche si fa riferimento a quelle relative ad una zona a bassa sismicità (picco di accelerazione al suolo, $PGA=0.05g$), allo scopo di evidenziare, nel presente studio, gli effetti di terremoti d'intensità relativamente elevata. Ai fini del controllo della risposta eolica e di quella sismica viene previsto l'inserimento di aste diagonali aggiuntive, mentre, per quanto riguarda i dissipatori viscoelastici, vengono considerate le seguenti soluzioni alternative: assenza di dissipatori (AB: "Added Braces"); dissipatori montati sulle aste anzidette (DAB: "Damped Added Braces"); dissipatori montati in testa ai controventi a K della struttura originaria in assenza (DKB: "Damped K-Braces") o in presenza delle aste diagonali aggiuntive (AB+DKB).

Per quanto riguarda il dimensionamento dei controventi aggiuntivi e dei dispositivi dissipativi, viene seguito il "criterio della rigidità proporzionale" (Mazza & Vulcano, 2002), assumendo la legge di distribuzione della loro rigidità laterale di piano affine a quella relativa alla struttura originaria, BF. Questa soluzione è preferibile in problemi di adeguamento, poiché comporta che i modi di vibrare del telaio controventato coincidano praticamente con quelli del telaio con "controventi dissipativi". Inoltre, per il progetto dei dispositivi viscoelastici, viene utilizzato il "metodo dell'energia di deformazione modale" (Chang *et al.*, 1995), assegnando il parametro di rigidità $K'_D(=G'A/h)$ e quello legato alle capacità dissipative $K''_D(=G''A/h)$ in modo tale da ottenere un prefissato valore per il fattore di smorzamento viscoso equivalente aggiuntivo (ξ_D). A tal fine, i moduli di carico (G') e di perdita (G'') vengono valutati, per un'assegnata temperatura ambiente, in corrispondenza della frequenza fondamentale dell'intero sistema strutturale.

Il comportamento dei dissipatori viscoelastici viene simulato mediante un modello a più componenti, ottenuto come combinazione in parallelo di due modelli tipo Maxwell (ognuno costituito da una molla elastica ed una cella viscosa disposte in serie) e di un modello tipo Kelvin (costituito da una molla elastica ed una cella viscosa disposte in parallelo). In tal modo, è possibile mettere in conto, per un'assegnata temperatura ambiente, l'influenza che la frequenza di vibrazione esercita sulle proprietà meccaniche di un materiale viscoelastico, ossia sui moduli G' e G'' . Una legge elastico-lineare viene assunta per i controventi esistenti e per quelli aggiuntivi, ipotizzando che siano scongiurati fenomeni di instabilità.

La modellazione delle forzanti eoliche in termini di pressioni, generate dalla velocità del vento e supposte agenti orizzontalmente a livello degli impalcati, viene condotta utilizzando la tecnica dello spettro del vento equivalente (Solari, 1988): il vento viene schematizzato come un processo stocastico stazionario gaussiano, caratterizzato da un profilo di velocità media su cui è sovrapposta una fluttuazione turbolenta equivalente, perfettamente coerente nello spazio. La fluttuazione della velocità del vento viene messa in conto generando, in corrispondenza di ogni piano dell'edificio e per una direzione assegnata, delle storie di velocità per la sola componente longitudinale; in tal modo si suppongono trascurabili i fenomeni relativi alla direzione trasversale e al distacco di vortici. Inoltre, vengono presi in considerazione due periodi di ritorno degli eventi eolici (10 e 50 anni).

Per quanto riguarda le azioni sismiche, vengono considerate quelle orizzontali corrispondenti a tre accelerogrammi generati artificialmente, che riproducono in media lo spettro di risposta elastico previsto dall'Eurocodice 8 per un suolo di media consistenza (cat. C; fattore che tiene conto del tipo di suolo, $S=1.25$) ed una magnitudo $M_s \geq 5.5$. Inoltre, vengono assunti valori del picco di accelerazione del suolo (PGA) anche maggiori di quello previsto nella progettazione della struttura test originaria, BF.

Le analisi (in campo non lineare nel caso di azioni sismiche di forte intensità) vengono condotte utilizzando un codice di calcolo che utilizza una procedura "step-by-step", basata su di uno schema d'integrazione nel tempo di tipo implicito, a due parametri, e su di una procedura iterativa del tipo "initial-stress". Ad ogni passo dell'analisi, le condizioni di plasticità sono controllate nelle sezioni di estremità di ciascun elemento della parte intelaiata, considerando un legame momento-curvatura bilineare. Inoltre, viene considerata l'influenza che lo sforzo normale esercita sul momento di plasticizzazione dei pilastri (interazione M-N), mentre la deformazione a taglio e l'effetto P- Δ vengono trascurati.

BIBLIOGRAFIA

- Chang K.C., Soong T.T., Oh S.-T., Lai M.L. (1995). Seismic behaviour of steel frame with added viscoelastic dampers. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 121(10), pp. 1418-1426.
- Mazza F., Vulcano A. (2002). Controllo della risposta eolica di edifici con struttura in acciaio mediante dispositivi dissipativi. *Atti 7° Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento, IN-VENTO-2002*, Milano, pp. 137-144.
- Simiu E., Scanlan R.H. (1986). Wind effects on structures. *John Wiley & Sons*, New York, pp 448-453.
- Solari G. (1988). Equivalent wind spectrum technique: theory and applications. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 114(6), pp. 1303-1323.

Modello analitico per la stima della ampiezza di oscillazione per distacco di vortici

S. Noè^a, S. Fathi^a, P. D'Asdia^b

^aDipartimento di Ingegneria Civile – Università di Trieste

^bDipartimento di Progettazione, Riabilitazione e Controllo delle Strutture Architettoniche –
Università di Chieti

SOMMARIO

La memoria presenta alcuni risultati ottenuti con un modello analitico per la previsione della massima ampiezza di oscillazione di un corpo cilindrico snello a sezione circolare soggetto a distacco di vortici. Viene trattato il caso di un sistema ad un grado di libertà sospeso elasticamente e smorzato meccanicamente. Il sistema è ipotizzato in condizioni di lock-in, ovvero di sincronizzazione tra la frequenza di distacco dei vortici e la frequenza di oscillazione del corpo.

Viene dapprima fatto un breve richiamo sui termini generali del problema, ponendo particolare accento sulle grandezze che concorrono a determinare il carico eolico globale e conseguentemente la risposta della struttura, quali: a) l'intensità locale della forzante, espressa tramite i coefficienti di lift e di drag, b) la sua frequenza dominante, c) la correlazione spaziale che la caratterizza e d) la fase tra la forza globale ed il moto della struttura, che risulta determinante nel processo di scambio di energia tra il sistema oscillante e il fluido in movimento.

Successivamente viene presentato il modello analitico della risposta in lock-in. Esso nasce da un lavoro di analisi e sintesi dei risultati di ricerche sperimentali e analitiche condotte da diversi autori sull'argomento. Il modello si basa su una serie di relazioni empiriche di tipo aeroelastico che legano il moto del cilindro con il carico eolico.

Le relazioni forniscono, in funzione dell'ampiezza ridotta di oscillazione Y/D e del rapporto n_e/n_{St} tra la frequenza di oscillazione del corpo cilindrico e quella di distacco dei vortici prevista dalla legge di Strouhal, i valori di frequenza, intensità e sfasamento rispetto al moto del corpo della forzante, identificando le possibili situazioni di sincronizzazione del distacco.

Ognuna di tali relazioni dipende da una serie di coefficienti sperimentali (definiti parametri di frequenza, di fase e di intensità del carico) i cui valori possono essere determinati tramite prove in galleria del vento.

L'ampiezza di oscillazione relativa al generico valore della velocità del vento corrisponde al contemporaneo soddisfacimento di tre condizioni imposte: a) alla differenza di fase moto-forzante, b) alla frequenza della forzante e c) alla sua intensità.

Il modello prevede che, entro un determinato intervallo di velocità del vento, possano presentarsi due soluzioni diverse, potendo così modellare anche forme di isteresi della risposta.

La memoria presenta infine una serie di confronti analitico-sperimentali relativi a prove in galleria del vento. I risultati ottenuti dimostrano la capacità del modello di riprodurre i risultati sperimentali al variare della velocità del vento non solo in termini di ampiezza massima delle oscillazioni, come tipico di approcci classici come ad esempio quello di Vickery e Basu, ma anche in termini di frequenza, intensità e di sfasamento della forzante con il moto del corpo.

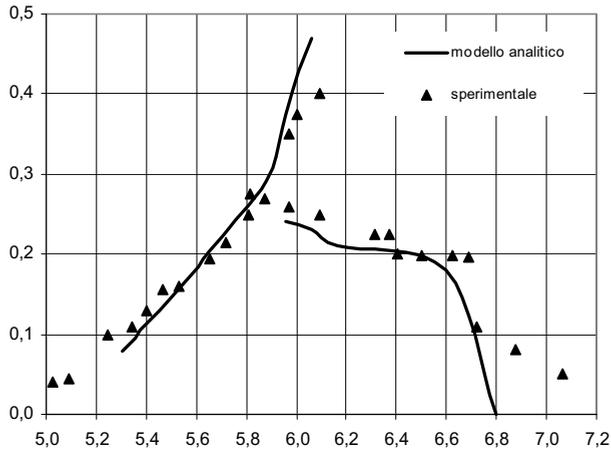


Figura 1 Esempio di confronto analitico-sperimentale con i risultati di Feng (1968). In ascissa la velocità ridotta del vento ed in ordinata l'ampiezza di oscillazione ridotta

BIBLIOGRAFIA

- Feng C.C. (1968): "The measurement of vortex induced effects in flow past stationary and oscillating circular and D-section cylinders", Master Dissertation, University of British Columbia (USA).
- Fathi S. (2002): "Vibrazioni strutturali across-wind per distacco di vortici", Tesi di Dottorato, Università "G. d'Annunzio" di Chieti.
- Fathi S., Noè S., D'Asdia P., Comisso S., Visintin A. (2002). Il carico aeroelastico nelle vibrazioni across-wind per distacco di vortici. 7° Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento - IN-VENTO-2002. settembre. Milano

A vortex-shedding model for free and controlled oscillations of bridges

Salvatore Noè ^a, Vincenzo Sepe ^b, Enrico Sibilio ^c, Marcello Ciampoli ^d

^aUniversità degli Studi di Trieste, Dipartimento di Ingegneria Civile, Trieste

^bUniversità degli Studi di Chieti-Pescara “G. D’Annunzio”, Dipartimento di Progettazione, Riabilitazione e Controllo delle Strutture Architettoniche, Pescara

^cPhD Student in “Risk Management on the Built Environment”, Universities of Florence, Italy, and Braunschweig, Germany

^dUniversità degli Studi di Roma “La Sapienza”, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Roma

KEY WORDS: vortex-shedding, control devices, bridges.

ABSTRACT

The across-wind oscillations due to vortex-shedding from the deck are often of concern in the design of suspension and cable-stayed bridges. This kind of oscillations may cause cumulated damage to the structural elements due to fatigue and discomfort to the users, also because the vortex-shedding can arise for wind velocities usually lower, and therefore more likely to occur, than those corresponding to other aeroelastic phenomena, like flutter or torsional divergence.

In a previous paper (Sibilio *et al.*, 2003), the control of vortex-induced oscillations of a suspension bridge by Tuned Mass Dampers (TMDs) has been dealt with, focusing the attention more on the characteristics of the control system than on the modelisation of vortex-shedding induced loads; namely, a procedure for the design and location of the control devices has been implemented and applied, as a case example, to a suspension footbridge with a span of 252 m. The evaluation of the structural response has been obtained in time domain by a finite element model, that allows the optimal location of the TMDs, according to the modal shapes involved in the vortex-shedding excitation, as well as the calibration of their characteristics; however, the vortex-shedding induced loads have been represented as simply harmonics with a given frequency.

In this paper the proposed FE procedure is extended to include a more refined model of vortex shedding and is applied to different collocations of single (TMD) and multiple (MTMD) tuned mass damper devices.

Namely, the model used for vortex shedding is the one originally proposed for chimneys by D’Asdia and Noè (1998) and recently successfully extended to bridges (D’Asdia *et al.*, 2003).

The model, which operates in the time domain, schematically reproduces the load effect on the structure, due to the vortex-shedding, as an alternating force per unit length, with variable direction, frequency and phase, as a function of the relative wind velocity. The lock-in phenomenon is simulated by imposing the instantaneous correspondence of the excitation frequency with the oscillation frequency of the structure in a pre-selected range. Outside this interval, the frequency of the pulsating force is calculated through the Strouhal’s Law. The limited number of aerodynamic parameters that are required can be obtained from the usual section model tests. The results of the numerical investigation reported in D’Asdia *et al.* (2003) for non-controlled oscillations show a very good agreement with both experimental results reported in the scientific literature for section-model tests on the 1:80 section model of the Great Belt Bridge (Larsen, 1993) (cf. Fig.1a, from D’Asdia *et al.*, 2003) and full-scale measurements on the Great Belt Bridge (Larsen *et al.*, 2000) (cf. Fig.1b, from D’Asdia *et al.*, 2003).

The model for vortex-shedding has been implemented in an ad hoc nonlinear F.E.M. code (Tenso), already used by the writers in other studies. The program allows for finite-element analysis in the time domain of suspension bridges and other large structures, simulated by one-dimensional

elements, taking into account the geometrical nonlinearities of the elements. The other aerodynamic forces acting on deck, towers and cables are evaluated through the static coefficients; the effective angle of attack is evaluated at each time instant by combining the effects of the wind speed, bridge deformation and motion, in accordance with the quasi-stationary method.

Any configuration of the wind field (mean value, correlation functions and turbulence) can be introduced to evaluate the wind speed on each element (deck, hangers, cables, towers, etc.). The dynamical integration is performed through a total Lagrangian approach by means of the Newmark step-by-step method; mechanical damping is described through the Rayleigh method, in terms of mass and stiffness matrices.

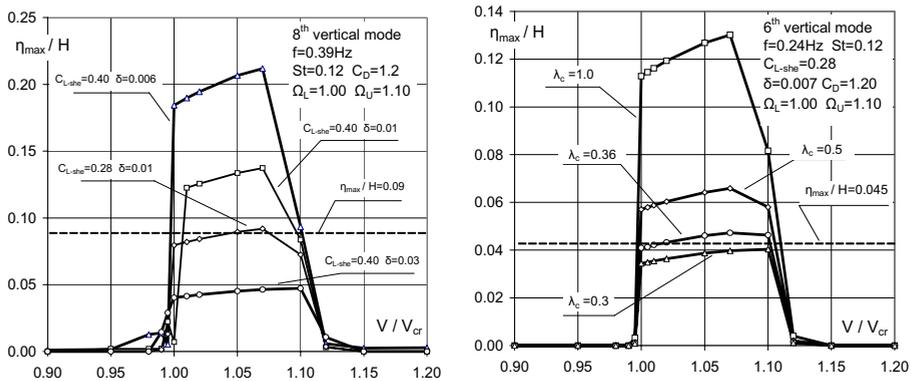


Figure 1 – From D’Asdia *et al.* (2003). a) Lock-in curve for the 1:80 section model of the Great Belt Bridge; b) Lock-in curve for the Great Belt Bridge

REFERENCES

- Sibilio E, Ciampoli M, Sepe V., (2003). “Control of vortex-induced oscillations of a suspension footbridge by Tuned Mass Dampers”. ISEC-02 - 2nd Int. Struct. Eng. and Construction Conf. Sept. 2003. (vol. 3, pp. 2331-2336). ISBN/ISSN: 90-5809-630-0. Rome
- D’Asdia P., Noè S., (1998). “Vortex induced vibration of reinforced concrete chimneys: in situ experimentation and numerical previsions”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 74-76, 765-776.
- D’asdia P, Sepe V., Caracoglia L, Noè S., (2003). “A model for vortex-shedding induced oscillations of long-span bridges”. ISEC-02 - 2nd Int. Struct. Eng. and Construction Conf. Sept. 2003. (vol. 3, pp. 2029-2035). ISBN/ISSN: 90-5809-630-0. Rome
- Larsen, A. (1993). “Aerodynamic aspects of the final design of the 1624 m suspension bridge across the Great Belt”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 48, 261-285.
- Larsen, A., Eisdahl, S., Andersen, J.E. & Vejrum, T., (2000). “Storebalt suspension bridge - vortex shedding excitation and mitigation by guide vanes”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 88, 283-296.

Controllo delle vibrazioni indotte sulle passerelle dal traffico pedonale attraverso TMD semi-attivi

Antonio Occhiuzzi, Mariacristina Spizzuoco, Giorgio Serino

Dipartimento di Analisi e Progettazione Strutturale, Università di Napoli Federico II, Napoli

PAROLE CHIAVE: Passerella pedonale, smorzatori a massa accordata, controllo semi-attivo, smorzatori magnetoreologici.

SOMMARIO

Le passerelle pedonali sono solitamente progettate come strutture snelle, sia per il basso valore dei carichi di progetto (carichi pedonali), sia per motivi estetici di cui è necessario tener conto quando si costruisce una struttura in ambito urbano. Per questo tipo di struttura, la riduzione delle vibrazioni indotte dal vento e dai pedoni rappresenta un problema di rilevanza significativa in fase di progetto ([1], [2], [3]).

Lo smorzatore a massa accordata (TMD) è ormai riconosciuto come uno strumento efficace per ridurre le vibrazioni indotte dal vento sui ponti di grande luce. Esso è costituito da una massa vibrante addizionale 'accordata' ad una frequenza molto vicina ad una delle frequenze naturali della struttura principale, generalmente la frequenza fondamentale ([4], [5]). In questo modo, il sistema considerato è in grado di ridurre la componente risonante della risposta strutturale applicando una forza in opposizione di fase rispetto all'eccitazione. Il progetto di un TMD deve essere preceduto dalla caratterizzazione sperimentale della struttura da controllare, al fine di riuscire ad accordare in modo opportuno la massa ausiliaria alla sua frequenza naturale.

Nelle passerelle pedonali, la massa dei carichi pedonali è piuttosto variabile e può rappresentare una frazione significativa della massa totale dell'impalcato, per cui le frequenze naturali possono essere abbastanza più basse di quelle attese. Per questo motivo, un TMD semi-attivo può rappresentare una soluzione perché è in grado di modificare in tempo reale i suoi parametri (ossia la rigidità e la costante di smorzamento del suo legame alla struttura principale) secondo una logica di controllo appositamente progettata, allo scopo di perseguire l'accordatura desiderata in ogni istante. I dispositivi magnetoreologici (MR) [6] possono essere utilizzati nei TMD semi-attivi, essendo caratterizzati dalla possibilità di modificare le proprietà reologiche del fluido in essi contenuto, e quindi le proprietà meccaniche degli smorzatori stessi, attraverso variazioni dell'intensità del campo magnetico secondo l'algoritmo di controllo applicato ([7], [8]).



Figura 1. Passerella di Forchheim, in Germania

Il lavoro proposto mostra i risultati di un'accurata indagine numerica realizzata su una passerella pedonale strallata, recentemente costruita a Forchheim (Figura 1), in Germania, e caratterizzata da un'elevata sensibilità alle vibrazioni verticali indotte anche da una sola persona che corre lungo la struttura. Nell'ambito del progetto di ricerca SPACE (Semi-active and Passive Control of the Dynamic Behaviour of Structures subjected to Earthquakes, Wind and Vibrations) finanziato dalla Commissione Europea (Quinto Programma Quadro 1998-2002), la passerella di Forchheim è stata oggetto di un'estesa campagna di prove sperimentali: un TMD semi-attivo costituito da uno smorzatore a fluido magnetoreologico "intelligente" è stato installato in un punto critico della struttura allo scopo di controllarne le vibrazioni indotte dal passaggio dei pedoni. Le analisi numeriche mostrano l'entità della riduzione delle vibrazioni al variare delle caratteristiche e del funzionamento dello smorzatore che costituisce il TMD (viscoso lineare passivo, ad attrito passivo, magnetoreologico passivo, e magnetoreologico semi-attivo). Viene inoltre spiegato come una strategia di controllo semi-attivo agisce sul funzionamento globale del sistema TMD.

BIBLIOGRAFIA

- Bachmann H. *et al.* (1997). *Vibration problems in structures – Practical guidelines*, 2nd Edition Birkhauser Verlag, Basel Berlin Boston
- Bachmann H. (2002). “Lively” footbridges – a real challenge, *Proc. of Footbridge 2002 – Design and Dynamic Behaviour of Footbridges*, Paris, France
- Occhiuzzi A., Spizzuoco M., Serino G. (2003). Dynamic stress analysis due to moving loads on footbridges, *Proc. of XXXII Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana per l'Analisi delle Sollecitazioni*, Salerno, Italy
- Den Hartog J. P. (1940). *Mechanical vibrations*, McGraw-Hill, New York
- Luft R. W. (1979). Optimal Tuned Mass Dampers for Buildings, *Journal of the Structural Division ASCE*, Vol. 105, pp. 2766-2772.
- Occhiuzzi A., Spizzuoco M., Serino G. (2003). Experimental analysis of magnetorheological dampers for structural control, *Smart Materials and Structures*, Vol. 12(5), pp. 703-711
- Occhiuzzi A., Spizzuoco M., Serino G. (2002). Semi-active MR dampers in TMD's for vibration control of footbridges, Part I: Numerical modeling and control algorithm, *Proc. of Footbridge 2002 – Design and Dynamic Behaviour of Footbridges*, Paris, France

Modellazione dei parametri dinamici degli edifici per lo studio della sicurezza strutturale all'azione del vento

Luisa Carlotta Pagnini

Diseg - Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica dell'Università di Genova

PAROLE CHIAVE: frequenza, smorzamento, risposta al vento

SOMMARIO

La frequenza di vibrazione degli edifici viene solitamente valutata a partire dagli elementi strutturali e dalle masse; tuttavia il contributo associato ad alcuni elementi non strutturali, peraltro difficilmente quantificabile, può dare luogo ad errori significativi quando viene trascurato. Stime approssimate si possono ottenere in funzione dei principali parametri geometrici e della tipologia.

Lo smorzamento strutturale è una grandezza intrinsecamente incerta. Essa è associata a svariate concause dissipative quali la dissipazione intrinseca del materiale strutturale e non, ai macroscorrimenti nei giunti, alla dissipazione di natura aerodinamica, alla dissipazione associata al terreno. Stime approssimate si ottengono applicando leggi empiriche formulate a partire da misure di smorzamento ottenute su strutture reali. La letteratura è ricca di modelli di previsione che forniscono questa grandezza in funzione della frequenza di vibrazione e della tipologia strutturale (Davenport e Hill-Carroll, 1986, Jeary, 1986, Damping..., 1991, Lagomarsino e Pagnini, 1995, Tamura e Jeary, 1996).

L'autore della presente memoria ha già lavorato alla messa a punto di un modello di previsione della frequenza e dello smorzamento di edifici elaborando misure sperimentali inerenti 70 edifici in c.a., 52 in acciaio, 40 in struttura mista (Lagomarsino e Pagnini, 1995). A differenza degli altri modelli, questo era corredato degli indici di variabilità statistica.

La presente memoria illustra un modello di previsione della frequenza e dello smorzamento che, da un lato, riprende in parte gli stessi principi che avevano ispirato il modello già formulato, pur con alcune revisioni sostanziali, dall'altro si avvale di una base dati sperimentali molto più ampia e dei successivi avanzamenti della ricerca. Dopo avere definito gli indici di variabilità statistica associati al modello, viene valutato il ruolo delle incertezze sulla risposta all'azione del vento.

La prima fase del lavoro riguarda la messa a punto della nuova base dati. Essa viene costituita aggiornando i dati già raccolti da Lagomarsino e Pagnini (1995) fino al 1993 con misure recenti eseguite in Giappone. I dati sperimentali vengono selezionati secondo criteri opportuni al fine di possedere i requisiti di omogeneità e affidabilità adeguati e sono inseriti in un archivio informatico facilmente consultabile e idoneo a essere trattato mediante elaborazioni statistiche. Complessivamente la base dati comprende 86 edifici in c.a., 130 edifici in acciaio, 69 in struttura mista acciaio-c.a.

Le leggi di previsione del periodo sono formulate in funzione dell'altezza dell'edificio; le leggi di previsione dello smorzamento vengono formulate in funzione della frequenza di vibrazione per le tre diverse tipologie strutturali prese in esame; esse sono elaborate per lo smorzamento relativo al primo modo di vibrazione e sono corredate degli intervalli statistici per consentire valutazioni avanzate sulla sicurezza strutturale. Per ciò che concerne i modi di vibrazione superiori, si può qualitativamente affermare che i coefficienti di smorzamento seguono le stesse leggi formulate per il primo modo. Le Figure 1 e 2 mostrano le leggi di previsione del primo periodo T_1 in funzione della altezza H e dello smorzamento ξ_1 in funzione del periodo formulate per gli edifici in acciaio insieme con gli intervalli di confidenza al 50 e all'80%.

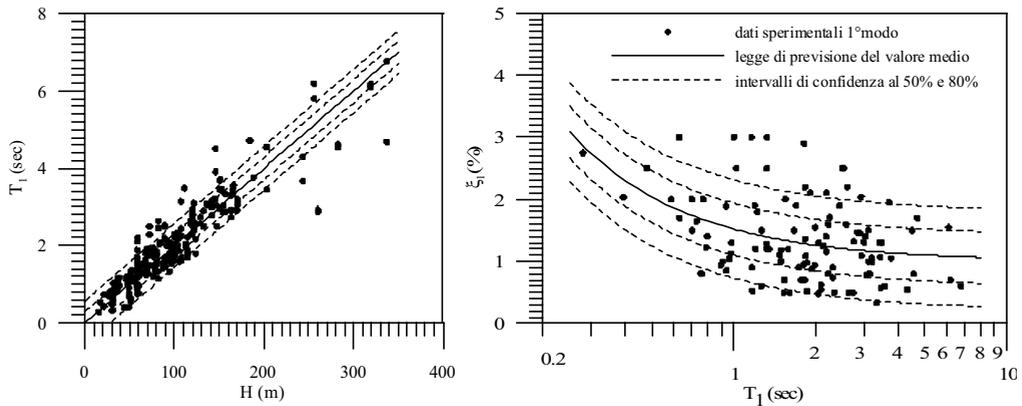


Figura 1. Modello di previsione del periodo e dello smorzamento strutturale.

La frequenza e lo smorzamento possono condizionare fortemente lo stato vibratorio indotto dall'azione eolica e la valutazione della sicurezza strutturale. La ricerca prosegue andando a valutare la propagazione delle incertezze inerenti la frequenza e lo smorzamento sulla risposta all'azione del vento. La propagazione delle incertezze sulla risposta è studiata utilizzando un procedimento in forma chiusa della risposta strutturale applicata in concomitanza di tecniche di propagazione opportune già messe a punto in altri lavori (Pagnini e Solari, 2002), oppure in concomitanza della casistica sperimentale di edifici già utilizzata per la messa a punto del modello di previsione ed utilizzando la legge di previsione e i frattili superiori ed inferiori come un generatore Monte Carlo di valori di frequenza e smorzamento. Le analisi di sicurezza sono eseguite in relazione a soglie di tollerabilità fisiologica della accelerazione strutturale oppure in relazione a stati deformativi.

BIBLIOGRAFIA

- Davenport AG e Hill-Carroll P. (1986). Damping in tall building: Its variability and treatment in design. ASCE Spring Convention, Seattle;
- Jeary AP. (1986). Damping in tall buildings - a mechanism and a predictor. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*;14; pp.733-750;
- Damping of structures. Part I: Tall Buildings. ESDU 38009, Engineering Sciences Data Unit, London, UK, 1991;
- Lagomarsino, S. e Pagnini, L.C. (1995). Criteria for modelling and predicting dynamic parameters of buildings, *Atti Interni dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni dell'Università di Genova*, n°1 (II), Genova;
- Tamura, Y e Jeary, A.P. (Eds) (1996). Selected papers presented at the IWEF Meeting on Structural Damping, Atsugi, Japan *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*.,59; pp.103-398;
- Pagnini, L.C. e Solari, G. (2002). Gust buffeting and turbulence uncertainties, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90 (4-5), 2002.

Una formulazione nello spazio degli stati per la stabilità aeroelastica di sezioni da ponte

Alessandro Palmeri, Rosa Milicia

Dipartimento di Costruzioni e Tecnologie Avanzate, Università degli Studi di Messina

PAROLE CHIAVE: Derivate di Flutter, Funzioni Indiciali, Spazio degli Stati, Stabilità Aeroelastica.

SOMMARIO

La comunità scientifica ha cominciato a studiare il fenomeno del flutter nelle strutture da ponte a partire dal 1940, allorquando il crollo del Tacoma Narrows Bridge mise in evidenza la necessità di modellare correttamente le forze dinamiche che si destano sull'impalcato per effetto della velocità del flusso eolico.

Attualmente, la tecnica più utilizzata per verificare la stabilità aeroelastica delle sezioni da ponte prevede che la rigidezza e la dissipazione dovute all'interazione tra vento ed impalcato siano descritte, nel dominio delle frequenze, attraverso le *derivate di flutter*, valutate sperimentalmente in galleria del vento (Simiu & Scanlan, 1996). In alternativa, le forze aeroelastiche si possono esprimere nel dominio del tempo come convoluzione tra le derivate temporali delle componenti di spostamento dell'impalcato e le corrispondenti funzioni di impulso aerodinamico, dette *funzioni indiciali* (Caracoglia & Jones, 2003). Rispetto alle derivate di flutter, le funzioni indiciali si prestano ad essere utilizzate anche in campo non lineare; di contro, l'equilibrio dinamico è espresso mediante un sistema di equazioni integro-differenziali, la cui soluzione non può essere perseguita con tecniche standard (Borri *et al.*, 2002).

La stessa struttura matematica si ritrova nel caso di sistemi vibranti dotati di memoria viscoelastica. Con perfetta analogia formale, infatti, le forze di richiamo viscoelastiche si possono esprimere come convoluzione tra le derivate temporali delle componenti di spostamento e le corrispondenti *funzioni di rilassamento*. La soluzione del problema si può ottenere nello spazio degli stati, approssimando gli integrali di convoluzione come combinazioni lineari di un opportuno numero di variabili interne aggiuntive, la cui evoluzione nel tempo è governata da equazioni differenziali. Complessivamente, dunque, la risposta dinamica è governata da un sistema di equazioni differenziali di ordine superiore, la cui soluzione, tuttavia, risulta più agevole rispetto all'originario sistema di equazioni integro-differenziali (Palmeri *et al.*, 2003).

Sfruttando l'analogia formale tra viscoelasticità ed aeroelasticità, si presenterà una tecnica approssimata per valutare la velocità critica di flutter. La tecnica richiede unicamente la risoluzione del problema agli autovalori associato alla matrice dinamica delle variabili di stato di un'assegnata sezione da ponte, una volta che le funzioni indiciali siano state convenientemente approssimate. Le differenze concettuali e formali per sezioni reali e lamina sottile saranno enfatizzate.

BIBLIOGRAFIA

- Borri C., Costa C., Zahlten W. (2002). Non-stationary flow forces for the numerical simulation of aeroelastic instability of bridge decks, *Computer and Structures*, Vol. 80, pp. 1071-1079.
- Caracoglia L., Jones N.P. (2003). Time domain vs. frequency domain characterization of aeroelastic forces for bridge deck sections, *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 91, pp. 371-402.
- Palmeri A., Ricciardelli F., Muscolino G., De Luca A. (2003). Effects of viscoelastic memory on the buffeting response of tall buildings, *Wind and Structures*, Vol. 6 (6).
- Simiu E., Scanlan R.H. (1996). *Wind effects on Structures*. John Wiley & Sons, New York.

Lo stato limite di fatica nelle strutture a comportamento viscoelastico soggette all'azione del vento

Alessandro Palmeri^a, Francesco Ricciardelli^b

^aDipartimento di Costruzioni e Tecnologie Avanzate, Università degli Studi di Messina

^bDipartimento di Meccanica e Materiali, Università degli Studi "Mediterranea" di Reggio Calabria

PAROLE CHIAVE: Dinamica Stocastica, Dissipatori viscoelastici, Vita a fatica.

SOMMARIO

Danneggiamenti e crolli di molte strutture esposte al vento sono imputabili a fenomeni di fatica. Le vibrazioni indotte dall'azione del vento, infatti, possono determinare un progressivo accumulo di danno nelle membrature resistenti, e se il danno cumulato supera il valore massimo ammissibile in uno o più componenti, viene compromessa la funzionalità del sistema. Si raggiunge così uno stato di crisi per la struttura, anche se gli effetti derivanti dall'azione del vento non hanno mai superato la soglia massima prevista in fase di progetto.

Il vita a fatica di una struttura, ossia il tempo in cui essa permane in servizio senza che si manifestino crisi per fatica, è per sua natura una grandezza aleatoria, in quanto aleatorie sono le caratteristiche dell'azione eolica e aleatoria è la resistenza dei componenti. Per valutare correttamente la vita a fatica di una struttura, dunque, occorre fare ricorso agli strumenti propri della Dinamica Stocastica. Nel condurre questo tipo di analisi si adottano comunemente le seguenti ipotesi: (i) processo forzante gaussiano; (ii) sistema lineare; (iii) dissipazione viscosa; (iv) danno cumulato linearmente, secondo la regola di Palmgren e Miner (Repetto & Solari, 2001; Ricciardelli, 2001).

Nella realtà, quasi mai tali ipotesi sono perfettamente verificate: (i) le forzanti eoliche sono processi aleatori non gaussiani; (ii) spesso le strutture si discostano dal comportamento lineare; (iii) i meccanismi dissipativi sono di natura non viscosa; (iv) l'accumulo del danno avviene secondo leggi non lineari. Ciononostante, è sufficientemente accurata la stima della vita a fatica attesa per strutture ordinarie.

Una delle tecniche più utilizzate per ridurre l'ampiezza delle vibrazioni causate dal vento consiste nell'introdurre nella struttura appositi dispositivi per la dissipazione di energia, e tra questi i dispositivi viscoelastici sono quelli maggiormente utilizzati nelle applicazioni pratiche. L'introduzione di questi dispositivi modifica sostanzialmente il comportamento dinamico della struttura. I dissipatori viscoelastici, infatti, sono dispositivi con memoria, nel senso che la risposta ad un generico istante non dipende unicamente dai valori di deformazione e velocità di deformazione in quell'istante, bensì, almeno in principio, è funzione di tutta la precedente storia di deformazione. Questa memoria si manifesta anche nell'insieme struttura-dissipatori, ed in molti casi l'errore che si commette trascurandola non è ingegneristicamente accettabile (Palmeri *et al.*, 2003).

In questo lavoro si studia la vita a fatica di oscillatori dotati di memoria viscoelastica forzati dall'azione del vento, al fine di evidenziare l'effetto di uno smorzamento viscoelastico aggiuntivo e di quantificare l'errore che si commette adottando nell'analisi dinamica uno smorzamento viscoso, privo di memoria, in qualche modo equivalente a quello viscoelastico.

BIBLIOGRAFIA

- Palmeri A., Ricciardelli F., Muscolino G., De Luca A. (2003). Effects of viscoelastic memory on the buffeting response of tall buildings, *Wind and Structures*, **6** (6)
- Repetto M.P., Solari G. (2001). Dynamic alongwind fatigue of slender vertical structures, *Eng. Struct.*, **23**, 1622–1633
- Ricciardelli F. (2001). On the amount of tuned mass to be added for the reduction of the shedding-induced response of chimneys, *J. Wind Eng. Ind. Aero.*, **89**, 1539-1551

Oscillazioni across-wind di un cilindro circolare in condizioni di vento turbolento

S.Pastò^a, S.Noè^b, G.Bartoli^a, S.Fathi^b

^aDipartimento di *Ingegneria Civile – Università di Firenze*

^bDipartimento di *Ingegneria Civile – Università di Trieste*

SOMMARIO

La memoria presenta i risultati di una serie di prove sperimentali eseguite su un modello in galleria del vento, dedicate allo studio delle vibrazioni strutturali across-wind per distacco di vortici sincronizzato (lock-in) in condizioni di vento turbolento. Le prove sono state realizzate presso la galleria del vento a strato limite del CRIACIV di Prato.

Scopo delle prove è quello di studiare l'interazione aeroelastica tra la struttura oscillante ed il fluido nelle due condizioni di flusso laminare e turbolento. Se da un lato il lock-in [1] di cilindri circolari in vento laminare è stato ampiamente analizzato nel corso degli ultimi decenni, vi sono tuttavia alcuni aspetti, tra i quali ad esempio l'isteresi della risposta in funzione della storia di vento, che non sono ancora del tutto chiariti. L'influenza della turbolenza sulla risposta è anch'esso un aspetto del problema che necessita di ulteriori approfondimenti di tipo sperimentale.

Il modello utilizzato per le prove, di tipo aeroelastico, è costituito da un cilindro di 0.16 m di diametro, lungo 2.4 m, disposto orizzontalmente, perpendicolare alla direzione del vento e libero di oscillare solo in direzione verticale, vincolato ad un sistema di molle. Il cilindro è stato realizzato in fibra di carbonio in modo da ridurre la massa oscillante a fronte di una elevata rigidità. La massa oscillante del sistema è di 7.5 kg e lo smorzamento meccanico è pari al 0.1% del critico. La frequenza propria del sistema è di circa 4.8 Hz. La velocità critica è di circa 3.8 m/s ($St=0.2$; $Re=3.9 \times 10^4$). Sono stati rilevati gli spostamenti e le reazioni vincolari in direzione verticale alle due estremità, i valori della pressione sulla superficie del cilindro, le velocità medie del flusso a monte e la turbolenza del vento sia a monte che nella scia dello stesso.

La turbolenza del vento è stata generata tramite griglie in legno disposte a monte del cilindro. L'intensità di turbolenza massima è pari al 17%. Le acquisizioni sono state condotte sia al crescere che al diminuire della velocità del vento. I dati raccolti permettono di analizzare, al variare della velocità del vento, l'effetto del moto del cilindro sulla frequenza di distacco dei vortici, sui coefficienti aerodinamici di lift e di drag, sulla correlazione del carico sulla lunghezza del cilindro, sulla fase tra il moto ed il carico.

I risultati delle prove sono stati confrontati con quelli ottenuti in analoghe prove sperimentali [2], confermando come l'interazione tra la struttura oscillante ed il flusso influenzi la frequenza di distacco dei vortici ed il carico che agisce sul cilindro. Le prove condotte con vento turbolento dimostrano che tra i vari aspetti legati a tale condizione di vento vi sia sicuramente l'annullarsi dell'isteresi della risposta. L'origine di ciò è con tutta probabilità nell'esistenza di due possibili condizioni di oscillazione del cilindro, una stabile e l'altra aerodinamicamente instabile. Le misure di pressione superficiale aiutano a confermare tale ipotesi.

La figura presenta l'ampiezza ridotta delle oscillazioni al variare della velocità ridotta nelle condizioni di vento laminare e di vento turbolento a parità di smorzamento meccanico. La turbolenza impedisce al sistema di giungere alla condizione di grandi oscillazioni osservata con vento laminare e velocità crescente. La risposta inoltre non è isteretica in quanto vi è una buona corrispondenza tra i valori di ampiezza di oscillazione misurati con vento crescente e decrescente.

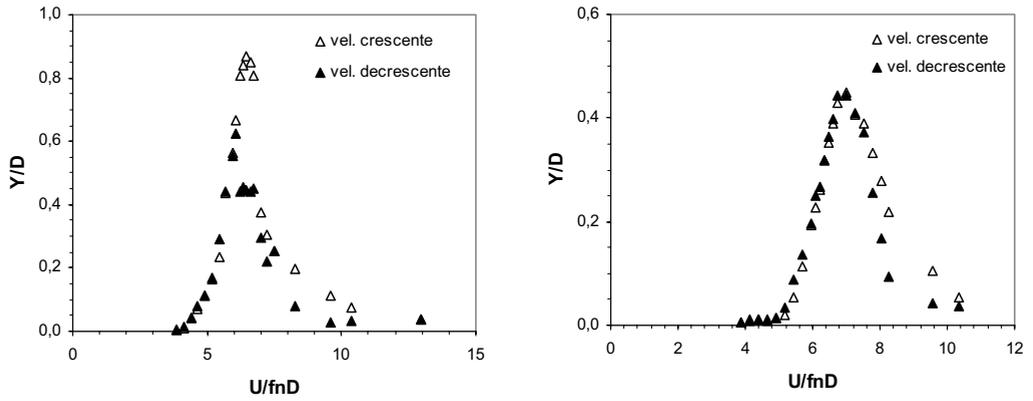


Figura 1 Ampiezza ridotta delle oscillazioni in funzione della velocità ridotta in vento laminare (sinistra) ed in vento turbolento $I=17\%$ (destra)

BIBLIOGRAFIA

- Sarpkaya T. (1979): "Vortex-induced oscillations. A selective review.", *Journal of Applied Mechanics*, **45**, p. 241.
- Fathi S. (2002): "Vibrazioni strutturali across-wind per distacco di vortici", Tesi di Dottorato, Università "G. d'Annunzio" di Chieti.

Azione del vento in ambiente urbano: analisi teorica e sperimentale

Carlo Paulotto, Marcello Ciampoli, Giuliano Augusti

Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Roma

PAROLE CHIAVE: galleria del vento, lunghezza di rugosità, ambiente urbano, arredo urbano.

SOMMARIO

Il crescente interesse per lo studio dell'azione eolica in ambiente urbano ha motivazioni sia di tutela della pubblica incolumità sia economiche. Dall'analisi dei dati relativi alle perdite socio-economiche legate alle tempeste di vento emerge come queste siano state caratterizzate, negli ultimi decenni, da un andamento crescente, le cui cause sono molteplici e non sempre facilmente individuabili. Una delle possibili cause è il fatto che, in ambito urbano, alcuni dettagli costruttivi degli edifici ed oggetti di arredo urbano non sono progettati tenendo debitamente conto dell'azione del vento. Le stesse normative nazionali ed internazionali mostrano in questo particolare settore evidenti lacune.

Allo scopo di contribuire a colmare queste lacune si è intrapresa, presso la Galleria del Vento a Strato Limite Sviluppato del CRIACIV, sita a Prato, una serie di prove sperimentali volte da un lato ad identificare le caratteristiche dello strato limite al di sopra del tessuto urbano e dall'altro a determinare l'entità dell'azione eolica su di un cartellone stradale inserito tra un gruppo regolare di edifici.

Per quanto riguarda il primo aspetto, è stato affrontato il problema della descrizione del profilo verticale del vento incidente su una costruzione in termini di velocità media. Tale descrizione è basata sull'usuale legge di tipo logaritmico, all'interno della quale compare un termine, la lunghezza di rugosità aerodinamica (z_0), che serve a parametrizzare la rugosità della zona di generazione del vento. Tuttavia, la possibilità di parametrizzare la rugosità con z_0 è fondata sull'ipotesi che la zona di generazione sia sufficientemente lunga ed omogenea in termini di rugosità, in modo tale che all'interno dello strato limite atmosferico, in cui tutti gli edifici si trovano immersi, si possa sviluppare un particolare substrato, detto substrato inerziale; la legge logaritmica è infatti a rigore valida solamente all'interno di questo substrato. Poiché invece l'ambiente urbano è caratterizzato da frequenti cambiamenti di rugosità, è possibile che il substrato inerziale non abbia mai la possibilità di svilupparsi.

Nelle prove sperimentali eseguite in galleria del vento sono state quindi misurate alcune caratteristiche degli strati limite generati al di sopra di tre superfici caratterizzate da una diversa rugosità. In tutti e tre i casi esaminati si è osservata l'assenza del substrato inerziale, l'omogeneità sui piani orizzontali dello strato limite in termini di velocità media ed intensità di turbolenza e la disomogeneità in termini di sforzi di Reynolds. Sulla scorta di alcuni recenti risultati ottenuti da altri studiosi, che propongono di caratterizzare la rugosità mediando spazialmente le caratteristiche del flusso, si è deciso di valutare la lunghezza di rugosità aerodinamica interpolando semplicemente il profilo medio spaziale mediante la legge logaritmica. Assumendo l'omogeneità del flusso in termini di velocità media, il metodo seguito per la valutazione del valore di z_0 coincide con quello normalmente impiegato nella galleria del CRIACIV.

I risultati ottenuti mostrano un buon accordo con quelli proposti in letteratura per prove simili, dimostrando inoltre in questo modo la ripetibilità delle misure.

I risultati sperimentali sono stati anche confrontati con quelli dedotti dall'applicazione di alcuni metodi morfometrici, cioè metodi che si propongono di valutare il valore di z_0 a partire dalla geometria della rugosità stessa. Si è infine operato un confronto tra i valori della velocità di frizione ottenuti dall'interpolazione dei dati sperimentali mediante la legge logaritmica, con quelli ricavati mediando spazialmente i valori misurati degli sforzi di Reynolds: si è osservato che nel primo caso i valori della velocità di frizione sono più grandi che nel secondo. Poiché alcuni metodi di impiego corrente legano la valutazione di z_0 direttamente alla forza di trascinamento che il flusso esercita sulla superficie da esso lambita, invece che alla misura degli sforzi di Reynolds all'interno del flusso, dal buon accordo con i risultati sperimentali ottenuti direttamente scaturiscono la conferma della validità dell'ipotesi che la valutazione del valore della velocità di frizione a partire dagli sforzi di Reynolds porti ad una sottostima dello stesso e la conferma della validità del metodo adottato per la valutazione del valore di z_0 .

Il secondo aspetto è incentrato sulla caratterizzazione dell'azione eolica su di un cartellone stradale disposto tra un gruppo di edifici. Preliminarmente, per valutare l'efficienza del modello sperimentale, si è studiato l'effetto del vento sul modello di cartellone isolato, confrontando i risultati ottenuti in termini di coefficiente di forza normale (C_f) con quelli reperiti in letteratura e con quelli forniti dall'ENV-1991-2-4. Si è osservato un buon accordo nel caso di vento incidente normalmente la superficie del cartellone. Al contrario si sono osservati valori più bassi di quelli di letteratura per vento incidente con un angolo di 45° rispetto alla normale alla superficie. Questa differenza può essere attribuita sia al valore più elevato del rapporto tra lo spessore e le altre due dimensioni del pannello del modello di cartellone effettivamente realizzato, sia all'effetto aerodinamico dei montanti del cartellone. Dopo tale studio preliminare, si è indagato il caso del cartellone immerso in un gruppo regolare di edifici, con l'obiettivo di valutare la sensibilità del campo di pressioni che si instaura sulla superficie del cartellone stesso alla variazione delle caratteristiche dello strato limite incidente il gruppo di edifici. Si è osservato che per la dimensione del quartiere esaminato (un intorno circolare del cartellone di 75 m di raggio in scala reale, pari a 5 volte l'altezza degli edifici), questa sensibilità non è trascurabile. Si è osservato inoltre che il valore del coefficiente C_f è più basso di quello relativo al cartellone isolato ed è meno sensibile alla direzione di provenienza del vento.

BIBLIOGRAFIA

- Cheng, H., Castro I.P. (2002). Near wall flow over urban-like roughness, *Boundary-layer Meteorology*, Vol. 104, pp. 229-259
- Cheng H., Castro I.P. (2002). Near wall flow development after a step change in surface roughness. *Boundary-layer Meteorology*, Vol. 105, pp. 411-432
- Counihan J. (1971). Wind-tunnel determination of the roughness length as a function of the fetch and the roughness density of three-dimensional roughness elements, *Atmospheric Environment*, Vol. 5, pp. 637-642
- Hall D.J., Macdonald R., Walker S., Spanton A.M. (1996). Measurements of dispersion within simulated urban arrays – A small scale wind tunnel study. BRE Client Report CR 178/96. Garston, Watford: Building Research Establishment
- Jackson P.S. (1981). On the displacement height in the logarithmic velocity profile, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 111, pp. 15-25
- Jia Y., Sill B.L., Reinhold T.A. (1998). Effects of surface roughness element spacing on boundary-layer velocity profile parameters, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 73, pp. 215-230
- Letau H. (1969). Note on aerodynamic roughness parameter estimation on the basis of roughness element description, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 8, pp. 828-832
- Macdonald, R.W., Griffiths, R.F. & Hall, D.J. 1998. An improved method for the estimation of surface roughness of obstacle arrays. *Atmospheric Environment* 11: 1857-1864.
- Letchford C.W. (2001). Wind loads on rectangular signboards and hoardings, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 89, pp. 135-151

La sincronizzazione: le lezioni dell'Ingegneria del Vento e la loro applicazione all'interazione folla-struttura

A. David Pizzimenti, Francesco Ricciardelli

Dipartimento di Meccanica e Materiali, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Reggio Calabria

PAROLE CHIAVE: Sincronizzazione, Distacco dei vortici, Passerelle pedonali, Interazione folla-struttura.

SOMMARIO

Il concetto di sincronizzazione è ben noto agli Ingegneri del Vento. Il distacco alternato dei vortici dalle strutture allungate, quali gli impalcati dei ponti, i cavi e le ciminiere, innesca un fenomeno di sincronizzazione quando la frequenza di distacco è circa uguale alla frequenza di oscillazione della struttura. La sincronizzazione è in generale un comportamento proprio degli oscillatori non lineari, e viene osservato in diversi campi della scienza, dalla Fisica alla Chimica, dalla Biologia alla Sociologia (Pikovsky *et al.*, 2001, Strogatz, 2003). In Ingegneria del Vento, la necessità di condurre analisi quantitative in maniera agevole ha portato alla formulazione di modelli semplificati, tra cui si ricordano quello di Skop e Griffin, basato sull'accoppiamento di un oscillatore lineare (struttura) con un oscillatore non lineare (forzante), e quello fenomenologico di Vickery, in cui la natura non lineare del problema viene persa, a favore di una semplice stima ingegneristica della risposta strutturale (Simiu & Scanlan, 1996).

Di recente, l'interazione dinamica folla-struttura osservata sul Millennium Bridge a Londra (Dallard *et al.*, 2001) ha portato alla chiusura della passerella solo due giorni dopo l'apertura. Il fenomeno era già stato osservato in passato su una passerella pedonale in Giappone e sulla passerella Solferino a Parigi (Dallard *et al.*, 2001), ma non aveva richiamato l'attenzione della comunità tecnica.

In generale, la folla procede impartendo un'azione dinamica la cui risultante orizzontale è nulla, in quanto i pedoni non interagiscono tra loro e procedono alla propria andatura, e le loro fasi sono distribuite in maniera casuale. Nel giugno 2000 a Londra si osservarono dapprima delle piccole oscillazioni del ponte, innescate dalla formazioni di piccoli nuclei di sincronia nella folla, questi piccoli gruppi, inoltre, interagivano tra loro a causa della densità di pedoni presenti sull'impalcato. Il gruppo, impartendo un'azione laterale coerente è in grado di aumentare il livello di sincronizzazione della folla in quanto è in grado di innescare una transizione di fase. L'oscillazione laterale dell'impalcato viene infatti avvertita dai pedoni, i quali sono costretti a modificare il ciclo del passo per ricercare l'equilibrio. Il pedone si sincronizza assumendo una frequenza laterale del ciclo del passo identica alla frequenza di oscillazione laterale dell'impalcato, che è la causa della retroazione positiva nella quale l'aumento dell'oscillazione del ponte porta ad un aumento delle forze laterali trasmesse, e viceversa. Le forze laterali trasmesse nella deambulazione aumentano a causa della transizione da una andatura con una normale fase di appoggio a una andatura nella quale si antepone il movimento laterale ondulatorio del corpo all'oscillazione dell'impalcato.

L'analogia fisica con il fenomeno del distacco dei vortici è stata recentemente avvertita, ed è stato proposto di utilizzare, come misura della capacità di sincronizzazione folla-struttura, un parametro adimensionale, da definirsi quale numero di Scruton dei pedoni (McRobie *et al.*, 2003).

Il lavoro che si presenta è basato su una campagna sperimentale volta alla misurazione delle forze laterali impartite da un pedone ad un suolo in movimento, al variare della frequenza e dell'ampiezza del moto del suolo. A tal fine è stato realizzato un apposito *tapis roulant*, strumentato con celle di carico in grado di rilevare la forza laterale trasmessa dall'individuo nella fase di cammino. Nella scelta delle dimensioni si è fatto riferimento a vari studi condotti nel settore della biomeccanica (Belli *et al.*, 2001) che suggeriscono la lunghezza ottimale del dispositivo in funzione della velocità di deambulazione, mentre per la larghezza si è cercato di realizzare un dispositivo più largo

possibile, compatibilmente con la potenza necessaria per tenerlo il movimento. Tra le varie tecniche a disposizione per la misura delle forze di reazione al suolo trasmesse nella deambulazione, l'utilizzo del *tapis roulant* (figura 1) rappresenta un'ottima scelta quando è necessario registrare più passi di un individuo. E' stato infatti mostrato che le differenze, in termini di forze di reazione, tra la deambulazione sul *tapis roulant* e sul suolo sono trascurabili (Masani *et al.*, 2002), purchè la superficie di appoggio sia sufficientemente rigida.

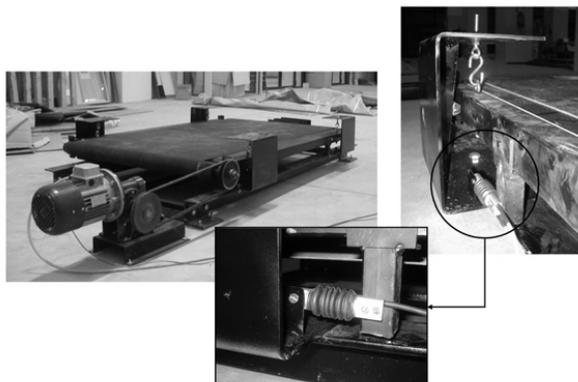


Figura 1. *Tapis roulant* e particolare di una cella di carico

Nella prima fase sperimentale sono state campionati dodici minuti di cammino di 75 individui a ognuno dei quali è stato richiesto di compilare una scheda contenente informazioni relative alle proprie caratteristiche fisiche, alle abitudini personali e agli eventuali incidenti occorsi agli arti inferiori. Dalle registrazioni temporali è stata fornita una caratterizzazione statistica nel dominio delle frequenze dell'azione dinamica laterale del singolo pedone su suolo fisso. Nella seconda fase ci si pone l'obiettivo di osservare e quantificare il comportamento del pedone nel caso in cui il *tapis roulant* venga messo in oscillazione trasversale.

Le misurazioni sono mirate a definire l'ampiezza degli intervalli di sincronizzazione, o lingue di Arnold, della forza laterale impartita dal pedone al variare della frequenza e dell'ampiezza di oscillazione dell'impalcato, e l'obiettivo ultimo del lavoro è quello di tarare i parametri dei modelli utilizzati in Ingegneria del Vento per l'analisi della sincronizzazione del distacco dei vortici, affinché questi possano essere utilizzati per analizzare il fenomeno di sincronizzazione folla-struttura. In una seconda fase, invece, si intende arrivare alla formulazione di un nuovo modello non lineare, che consenta di trattare in maniera unitaria i due problemi di sincronizzazione citati.

BIBLIOGRAFIA

- Simiu E., Scanlan R. (1996). *Wind effects on Structures*. John Wiley & Sons, New York.
- Dallard P., Fitzpatrick T., Flint A., Low A., Ridsill Smith R., Willford M., Roche M., (2001). London Millennium Bridge: pedestrian-induced lateral vibration, *Journal of Bridge Engineering ASCE*, Vol. 6 (6), pp. 412-417.
- Pikovskiy A., Rosenblum M., Kurths J. (2001). *Synchronization: A Universal Concept in Nonlinear Science*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Strogatz S. (2003). *Sincronia: I ritmi della natura, I nostri ritmi*. Rizzoli Editore.
- McRobie A., Morgenthal G., Lasenby J., Ringe M. (2003). Section model tests on human-structure lock-in, *Bridge Engineering*, Vol.156 Issue BE2, pp. 71-79.
- Belli A., Bui P., Berger A., Geysant A. H., Lacour J.H. (2001). A treadmill ergometer for three-dimensional ground reaction forces measurement during walking, *Journal of Biomechanics*, Elsevier, Vol.34, pp. 105-112.
- Masani K., Kouzaki M., Fukunaga T., (2002). Variability of ground reaction forces during treadmill walking, *J.Appl. Physiol.* Vol. 92, pp. 1885-1890.

Combinazioni di carico vento-irregolarità ed interazione pneumatico-pavimentazione: indagine teorico-sperimentale

Filippo Giammaria Praticò

Dip.DIMET, Facoltà di Ingegneria, Università Mediterranea di Reggio Calabria

PAROLE CHIAVE: *pneumatico, pavimentazione, vento, irregolarità, aderenza, velocità.*

SOMMARIO

Come ben noto, uno dei presupposti fondamentali per la sicurezza della locomozione su gomma consiste nella sussistenza adeguati franchi di sicurezza anche a fronte di sollecitazioni aerodinamiche. Ciò può divenire di fondamentale importanza specie nel caso di azioni al trasverso, tanto per aeromobili in decollo od atterraggio che per veicoli stradali.

Tale problema acquisisce rilievo assai peculiare specie qualora, condizione invero frequente, le condizioni di regolarità della pista aeroportuale o del nastro stradale non siano ottimali, a causa di fenomeni di irregolarità localizzate o diffuse. Ulteriore congiunzione sfavorevole, ma ricorrente, è, inoltre, costituita dalle condizioni dinamiche del mezzo, velocità di percorrenza in primis, le quali influiscono contestualmente sul potenziale di aderenza e sul regime delle reazioni.

Per effetto dei sopra citati problemi, le statistiche di incidentalità registrano, tanto per il caso “velivolo” che per i veicoli, un’ apprezzabile incidenza del vento al trasverso sulle occorrenze accidentali, tanto in probabilità che in magnitudo.

In particolare, l’area dello Stretto si caratterizza per la sussistenza di sollecitazioni aerodinamiche talvolta di cospicua entità, nonché per la presenza o previsione di numerose importanti arterie di grande comunicazione poste in condizione orograficamente sfavorevole nei confronti delle sollecitazioni aerodinamiche.

Alla luce di tali avvertite esigenze, allora, nella presente memoria, si è effettuata una specifica indagine teorico-sperimentale finalizzata alla individuazione di tecniche per la mitigazione del rischio di occorrenze accidentali a seguito di sollecitazioni aerodinamiche, in ambiti in cui queste ultime si caratterizzano per frequenze di sollecitazione, magnitudo e probabilità in grado di porre in essere scenari di crisi per insufficiente aderenza, ribaltamento, imbardata o fenomeni congiunti.

La contestualità di azioni aerodinamiche ed azioni forzanti normali al piano di via ha reso necessarie particolari ipotesi di lavoro, atte a rendere possibile una modellizzazione del problema sufficientemente completa ma, in uno, tali da consentire inferenze di pratica utilità. Schematizzato il veicolo/velivolo quale particolare sistema vibrante, l’azione aerodinamica è stata ricondotta ad azioni dinamiche sullo stesso, così pervenendo, per sovrapposizione di effetti, ad interessanti deduzioni inerenti ad azioni correttive e preventive sull’infrastruttura e/o sulla comportamentistica nell’ottica della minimizzazione dei rischi di occorrenze incidentali.

A tal fine si è resa necessaria una specifica indagine sperimentale inerente alla individuazione dei livelli più probabili di sollecitazioni aerodinamiche e da irregolarità in relazione alle condizioni orografiche e regionali, nonché per effetto dello status quo (funzione delle procedure costruttive e di gestione manutentiva) del patrimonio infrastrutturale.

I risultati raggiunti hanno consentito di porre in evidenza e specificare una pleiade di azioni correttive e preventive utili per la minimizzazione dei rischi.

Comparazione fra campo di moto e mappe di concentrazione degli inquinati emessi da gallerie stradali in zona collinare

Lorenzo Procino^a, Daniele Contini^b

^a CRIACIV, Boundary-Layer Wind Tunnel, Prato

^b CNR-ISAC, Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima, Sezione di Lecce

PAROLE CHIAVE: Diffusione, Galleria del vento, Tunnel stradale, PIV

ABSTRACT

In questo lavoro si analizzano le relazioni che intercorrono fra diffusione di inquinanti gassosi in prossimità dei portali di una galleria stradale ed il campo di moto agente in tale posizione misurato con tecnica PIV. Per tale studio ci si è avvalsi della modellistica in galleria del vento in condizioni di atmosfera neutra. L'analisi è svolta su di un modello (1:200) di una galleria a doppia canna con ventilazione longitudinale, un senso di marcia per canna, ed a due corsie per senso di marcia scavata alla base di una collina costruita in accordo alle formule EPA. Le prove sono state condotte nel caso particolare in cui siano presenti all'uscita dei portali sottovento, delle barriere longitudinali di varia dimensione, atte a contenere gli inquinati in prossimità della sede stradale. I risultati mettono in evidenza come la presenza delle barriere condizioni fortemente la mappa delle concentrazioni al suolo e il relativo campo di moto. Si è cercato inoltre di relazionare il campo di moto con le mappe di concentrazione con una analisi comparativa fra le linee di isoconcentrazione con le streamlines del flusso.

BIBLIOGRAFIA

Bellasio R., "Modelling traffic pollution in road tunnels", Atmospheric Environment, Vol.31, n.10, pp.1539-1551, 1997.

Carr E.L., Ireson R.G., Bilstoft C., "Analysis of Dispersion Characteristics and Induced Turbulent Flows Near Roadway Intersections from Mobile Sources", Presentation at the 89th Annual Meeting & Exhibition, June 23-28, 1996, 96-WP86.03.

Chen T.Y., Lee Y.T., Hsu C.C., "Investigations of piston-effect and jet fan-effect in modal vehicle tunnels", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 73, (1998), pp. 99-110.

Contini D., Massini M., Manfrida G., Procino L., "Wind tunnel dispersion measurements on a small model of a road tunnel", proceeding of "International Workshop on Physical Modelling of Flow and Dispersion Phenomena", pp. 1-8, 2001.

Ide Y., Ueyama S., Kobayashi K., "Wind tunnel modeling of gas diffusion from a road tunnel outlet", The Science of the Total Environment, 59 (1987) 211-222.

Irwin H. P. A. H., "The design of spires for wind simulation", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 7, pp. 361-366, 1981.

Lepage M.F., Vanderheyden M.D., Davies A.E., Nadel C., "Simulating Vehicle Emissions at the Exit of a Vehicle Tunnel", Presentation at the 89th Annual Meeting & Exhibition Nashville, Tennessee June 23-28, 1996.

Massini M., "Studio Diffusionale su Modello Fisico di una galleria autostradale", Mechanical Engineering Thesis, University of Florence, 2001.

Nadel C., Vanderheyden M., Lepage M., Davies A., Wan P., Ginzburg H., Schattanek G., "Physical modelling of dispersion of a tunnel portal exhaust plume", Presentation at the 89th Annual Meeting & Exhibition Nashville, Tennessee June 23-28, 1996.

Pasqualetti C., 2002, Tesi di Laurea in Ingegneria dell'Ambiente, Università di Firenze, 2002.

D. Contini, C. Pasqualetti, L. Procino, M. Massini, G. Batoli, G. Manfrina, A. Corti, "Studio della diffusione di contaminanti gassosi emessi in gallerie stradali mediante un modello fisico in scala ridotta", Presentation at the IN-VENTO 2002

Influenza delle caratteristiche del vento a bassa quota sul progetto di elementi di arredo urbano a struttura metallica

Raffaele Pucinotti, Francesco Ricciardelli

Dipartimento di Meccanica e Materiali, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Reggio Calabria

PAROLE CHIAVE: Carichi da vento, Arredo urbano, Strutture metalliche

SOMMARIO

Il progetto nei confronti dell'azione del vento delle strutture metalliche costituenti gli elementi dell'arredo urbano può essere condotto seguendo le prescrizioni di normativa, in particolare quelle dell'Eurocodice 1. Così facendo, tuttavia, i carichi da vento vengono calcolati considerando condizioni di flusso valide per uno strato limite atmosferico di tipo extraurbano. È noto che in ambiente urbano le caratteristiche dello strato limite mutano alquanto rispetto a quelle dello strato limite extraurbano e, cosa ancora più determinante, il flusso a bassa quota è solo debolmente influenzato (se non addirittura indipendente) dalle caratteristiche dello strato limite. I carichi da vento così calcolati possono, quindi, risultare inadeguati, o in quanto eccessivamente cautelativi, o perché più bassi di quelli reali.

Misurazioni di flusso su modelli di aree urbane sono state effettuate in galleria del vento da vari autori, ed hanno mostrato come le caratteristiche del flusso all'interno del *Canopy Layer* siano principalmente legate alla geometria delle costruzioni. In particolare è stato osservato che le velocità medie possono essere tanto minori di quelle che si avrebbero alla stessa quota in uno strato limite extraurbano, quanto più alte, in relazione alla posizione del punto di misura all'interno dei canyon stradali, ed in relazione alle altezze degli edifici. Si osserva inoltre una variazione delle caratteristiche della turbolenza, con un aumento di energia alle alte frequenze ed un crescita dei fattori di picco. Ne risulta che il carico statico equivalente sia differente da quello che si avrebbe considerando condizioni di flusso extraurbano.

Nel presente lavoro vengono prese in considerazione alcune tipologie di strutture metalliche facenti parte dell'arredo urbano (supporti di semafori e pali di illuminazione stradale, pensiline, edicole, cartelloni pubblicitari etc.) e ne vengono esaminati i particolari costruttivi. Questi vengono poi progettati nei confronti dello stato limite di collasso e degli stati limite di spostamento e di fatica, seguendo le prescrizioni dell'Eurocodice 1. Viene quindi considerata una differente caratterizzazione del flusso eolico a bassa quota in ambiente urbano, così come risultante dai risultati disponibili di prove in galleria del vento, e questa viene utilizzata per definire dei nuovi carichi da vento, da utilizzare per le verifiche di resistenza ed in esercizio. Se ne trae una valutazione dell'affidabilità dell'approccio suggerito dalla normativa, ed eventuali indicazioni per il progettista.

BIBLIOGRAFIA

- Alampalli S. (1998). Response of untethered-span signal poles to wind loads. *J. Wind Eng. Ind. Aero.*, 77/78, 315-326
- Augusti G., Ricciardelli F., Sepe V. 2001. Wind resistant street architecture. *3rd EACWE, European & African Conf. Wind Eng.*, Eindhoven, 99-106
- COST action C14 "Impact of wind & storms on city life and urban environment" (C.Borri & H.-J.Niemann, co-proposers), COST Technical Committee UCE, Brussels, November 1999.
- Eurocode 1 "Basis of Design and Actions on Structures"; Part 2, Chap.2-4: Wind Actions; ENV1991-2-4; CEN, Brussels, 1994.

- Isyumov N., Davenport A.G. (1975). The ground level wind environment in built-up areas. *4th Int Conf. On Wind Effects on Tall Buildings and Structures*, Heathrow
- Johns K.W., Dexter R.J. (1998). The development of fatigue design load ranges for cantilevered signs and signal support structures. *J. Wind Eng. Ind. Aero.*, 77/78, 315-326
- Kastner-Klein P.; E. Fedorivitch and M.W. Rotach, 1999. Organised and turbulent air motions in a wind tunnel model of a street canyon with and without moving vehicles. *Sixth Int. Conf. on Harmonisation within Atmosph. Disp. Modelling*. Rouen, France
- Kastner-Klein P. and M.W. Rotach, 2001. Parametrization of the wind and turbulent shear stress profiles in the urban roughness sublayer. *Third Int. Conf. on Urban Air Quality*, Loutraki, Greece
- Melbourne W.H., Joubert P.N. (1971). Problems of the wind flow at the base of tall buildings. *3rd Int Conf. On Wind Effects on Tall Buildings and Structures*, Tokyo
- Pulipaka N., Sarkar P., McDonald J. (1998). On galloping vibration of traffic signal structures. *J. Wind Eng. Ind. Aero.*, 77/78, 327-336
- Rotach M.W., 2000. Estimation of the wind speed at an “urban reference height” from an observation at some other height. *COST 715 WG1 Working Platform*
- Rotach M.W.; E. Batchvarova; R. Berkowicz; J. Brechler; Z. Janour; P. Kastner-Klein; D. Middleton; V. Prior; C. Sacré and C. Soriano. 2000. Wind input data for urban dispersion modelling. *COST 715 WG4 Meeting*, Prague
- Stathopoulos T., Wu H. (1995). Generic models for pedestrian-level winds in built up regions. *J. Wind Eng. Ind. Aero.*, 54/55, 515-525
- Wise A.F.F., Sexton D.E., Lillywhite M.S.T. (1965). Studies of air flow around buildings. *Architects J.*, 141, 1185-1189

Comportamento non lineare degli stralli da ponte nello studio dei fenomeni di fatica

Antonino Recupero e Giuseppe Ricciardi

*Dipartimento di Costruzioni e Tecnologie Avanzate, Università di Messina
Contrada Sperone, 31 – 98166 Villaggio S. Agata, Messina*

PAROLE CHIAVE: ponti strallati, vento, fatica, non linearità geometrica

SOMMARIO

Motivi estetici, adattabilità al territorio e libertà dai vincoli li hanno, nel tempo, fatti preferire ad altre tipologie strutturali [1]. Tali ragguardevoli luci sono state possibili grazie allo sviluppo di efficienti tecnologie di costruzione ed ai notevoli progressi degli strumenti di analisi e progetto. E' noto che i cavi dei ponti strallati sono sottoposti a diverse forme di eccitazione dinamica (vento, rain-wind, traffico veicolare, ecc.) [2, 3]. Oltre a ridurre la funzionalità della struttura, tali vibrazioni, in base alla persistenza e all'entità, possono, nel tempo, provocare spiacevoli fenomeni di danno a fatica. Nella pratica costruttiva, per ridurre l'entità delle escursioni tensionali, si utilizzano nelle zone d'ancoraggio dispositivi atti a modificare i meccanismi di connessione e a fornire ulteriori risorse di smorzamento.

Nel presente lavoro si vuole approfondire l'interesse sulla problematica legata alla riduzione delle vibrazioni degli stralli, già affrontata in una recente ricerca dagli stessi autori [4]. Lo studio del problema è stato condotto analizzando il contributo di tali dispositivi per la riduzione del danno provocato dai fenomeni di fatica. Fissata quindi la vita utile dello strallo, si è stimato il rapporto di smorzamento ideale che il dispositivo di protezione deve possedere in relazione alla lunghezza dello strallo. In [4] lo strallo è stato idealizzato come una fune dotata di rigidità flessionale e il problema è stato affrontato in campo lineare. Nel presente lavoro si prendono in conto gli effetti indotti dalla non linearità geometrica della struttura [5] e, parallelamente, ci si propone di indagare l'apporto fornito dal termine quadratico della turbolenza.

BIBLIOGRAFIA

-
- [1] Ito M. (1996): "Cable-supported Steel Bridges: Design Problems and Solutions", Journal of Constructional Steel Research, Volume: 39, Issue: 1, August, 1996, pp. 69-84
 - [2] Gimsing N.J. (1983): "Cable Supported Bridges – Concept and Design", John Wiley & Sons
 - [3] Virlogeux M. (1999): "Recent Evolution of Cable-Stayed Bridges", Engineering Structures, 21, 737-755
 - [4] A. Recupero, G. Ricciardi (2002): "Fenomeni di Fatica negli Stralli da Ponte: Studio dei Dispositivi di Protezione", Atti del 7° Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento 2002
 - [5] Irvine H.M. (1981): "Cable Structures", MIT Press

Experimental full-scale validation of alongwind-induced fatigue bi-modal method

M.P Repetto^a, A.P. Robertson^b, G. Solari^c

^aUniversità di Genova, Genova

^bSilsoe Research Institute, Wrest Park, Silsoe, Bedford, UK

^cUniversità di Genova, Genova

KEYWORDS: alongwind response, bi-modal process, cycles counting methods, fatigue, in situ measurements.

ABSTRACT

The interest on wind-induced fatigue is recently increased because of a large number of damages and premature failures due to fatigue, observed for different kinds of structures, such as urban light poles, guyed masts and chimneys. Notwithstanding this, at present, literature on the wind-induced fatigue is still fragmentary and quite incomplete. Some design codes furnish approximate estimating methods for the crosswind-induced fatigue of chimneys. No code still provides any tool for determining the alongwind-induced fatigue phenomenon.

Two main lines of approach have been carried out: the first makes recourse to traditional cycle counting procedures applied in time domain; the second deals with this problem by frequency domain criteria in a probabilistic environment.

Time-domain procedures have been mainly adopted for engineering applications, using Monte Carlo simulations of turbulence histories, or processing pressures measured in wind tunnel tests and responses recorded in full-scale experiments. The samples have to be processed by numerical algorithms, such as the Rainflow counting method, in order to build the cycles histogram. This approach is very burdensome.

Some frequency-domain procedures have been proposed by Repetto and Solari, for determining the mean fatigue damage and the mean fatigue life of structures under general wind loading conditions. Initially, a method for evaluating the alongwind-induced fatigue was proposed, under the hypothesis that the response is dominated by the fundamental mode of vibration (Repetto and Solari, 2001). Parallely, using the same hypothesis, the crosswind-induced fatigue was analysed (Repetto and Solari, 2002), taking into account the lock-in vibrations. Joining together and generalising these methods, the simultaneous alongwind and crosswind-induced fatigue was examined, considering wind directionality and the upper modes of vibration (Repetto and Solari, 2004). Such procedure takes into account the joint probability distribution of the mean wind velocity and direction at the structural site, considers the stress processes as narrow-band, provides the cycles histogram, the mean fractions of the damage, the mean total accumulated damage and the mean fatigue life in closed form. The comparison between theoretical and time-domain numerical results points out that the narrow band hypothesis is usually appropriated for the crosswind-induced fatigue, but can lead to large overestimates of the alongwind-induced fatigue, especially when the quasi-static part of the response is relevant.

The role of the spectral properties on the fatigue analysis have been recently the object of numerous research. In particular, the problem has been analysed in (Repetto, 2003; Repetto, 2004; Repetto and Solari, 2004). Using two cycle counting techniques based on the classic narrow-band assumption, as many discrete cycles histograms were first obtained, which furnish an upper and a lower bound of the mean fatigue damage, respectively. However, as the gap between these two bounds may be very large due to the spectral properties of the stress processes, a more refined counting method was developed, based on the so called bi-modal assumption (Jiao and Moan,

1992); in this case, the low and the high-frequency spectral contents of the stress processes are associated, respectively, with the background and the resonant parts of the response. This method involves a closed form solution of the cycles histogram, of the mean total damage and of the mean fatigue life. Its results are very precise when compared with the results

Theoretical estimates have been compared with the results obtained applying the Rainflow counting method to Monte Carlo simulated stress history samples. The comparison points out the capability of the established bounds to contain the exact solution, and the precision of the bi-modal approach.

In addition to numerical analyses based on simulated stress samples, a new line of research have been recently started and is still in progress, aimed at developing an experimental full-scale validations of the proposed procedures.

Full scale measurements have been obtained for tubular steel lighting columns, 12 m high, with a single lighting device at the top (Fig. 1.a), erected at the Silsoe Research Institute (SRI) Wind Engineering site. Two strain-gauges, placed in correspondence of the welded joint connecting the two parts of the trunk (Fig. 1.b), recorded 10-min bending strain time-histories in two orthogonal planes. Simultaneously, wind velocity at 10 m height have been collected for ranges of wind velocity and direction (Robertson et. al., 2001). Strain records are converted into stress records and then processed by means of the Rainflow cycles counting method, in order to obtain the cycles histogram. From that, the mean accumulated damage and the mean fatigue life prediction are then obtained. The comparison between the prediction based on the experimental results and the analytical estimate based on the proposed bi-modal method points out the excellent agreement and furnishes interesting elements for the comprehension of the wind- induced fatigue phenomenon on varying the spectral properties of the stress processes.

a)



b)



Fig. 1. Experimental lighting columns (a); strain gauges at the welded-joint (b).

REFERENCES

- Repetto M.P. (2003). Wind-induced response and fatigue of slender vertical structures. PhD tesi, Università di Genova, Italy.
- Repetto M.P. (2004). Cycles counting methods for bi-modal stationary Gaussian processes, *Prob. Engng. Mech.*, Elsevier, sottoposto a revisione.
- Repetto M.P., Solari G. (2001). Dynamic alongwind fatigue of slender structures. *Engng. Struct.*, 22, 1622-1633.
- Repetto M.P., Solari G. (2002). Dynamic crosswind fatigue of slender structures. *Wind & Struct.*, 5, 527-542.
- Repetto M.P., Solari G. (2004). Directional wind-induced fatigue of slender vertical structures. *J. Struct. Enging.*, ASCE, in press.
- Repetto M.P., Solari G. (2004). Bimodal alongwind fatigue of structures, *J. Struct. Enging.*, ASCE, sottoposto a revisione.
- Robertson A.P., Hoxey R.P., Short J.L., Burges L.R., Smith B.W., Ko R.H.Y. (2001). Wind-induced fatigue loading of tubular steel lighting columns. *Wind & Struct.*, 4, 163-176.

Sul comportamento aerodinamico del Ponte sullo Stretto di Messina in presenza di traffico

Ferruccio Resta, Marco Belloli, Alessandro Tosi, Sara Muggiasca

Dipartimento di Meccanica, Politecnico di Milano, Milano

PAROLE CHIAVE: Ponti sospesi, galleria del vento, effetti del traffico, spinte su veicoli

SOMMARIO

I moderni sviluppi nella progettazione di ponti sospesi a grande luce hanno consentito di realizzare progetti di attraversamenti di ingente lunghezza quali quelli di Messina e Gibilterra. Tali risultati oltre a richiedere l'utilizzo di materiali di straordinaria resistenza e leggerezza e di tecnologie costruttive all'avanguardia necessitano un progetto aerodinamico orientato al contenimento dei carichi statici e dinamici che si scaricano sulla struttura per effetto del vento incidente. A tale scopo sono state utilizzate forme di impalcato allungate in direzione del vento (alari) che riducono le spinte laterali dovute ad effetti di drag e con struttura a multicassone in modo da aumentare la trasparenza al vento dell'intera geometria del profilo. Il successo del progetto aerodinamico di un impalcato deriva da un sapiente dosaggio delle forme, delle trasparenze realizzate con elementi grigliati preferiti a quelli a sezione piena per ridurre le spinte, e delle appendici aerodinamiche che realizzano il flusso desiderato attorno all'impalcato. Tale ottimizzazione è non solo mirata alla stabilità dell'opera sottoposta al vento di progetto e alla qualità della risposta sotto vento turbolento ma anche alla fruibilità dell'opera che si concretizza nella percorribilità del ponte da parte sia del traffico ferroviario che di quello stradale anche sotto forti venti.

Nel caso particolare del Ponte sullo Stretto di Messina le dimensioni trasversali dell'impalcato alla direzione del vento sono paragonabili a quelle dei veicoli in transito, per tale motivo nella determinazione del progetto aerodinamico in termini di aerodinamica complessiva, di trasparenze dei grigliati frangivento e delle protezioni alle corsie di marcia si deve tenere in considerazione l'inevitabile presenza del traffico. La presenza di veicoli sull'impalcato, non tanto nelle normali condizioni di marcia, ma quanto nelle situazioni di traffico estremo, può condizionare significativamente il flusso attorno alla sezione e determinare un diverso comportamento al vento del ponte. In altre parole la presenza del traffico, ad esempio una colonna di autoarticolati o un convoglio ferroviario, si comporta come una barriera, modificando in maniera significativa le caratteristiche aerodinamiche della sezione in termini di polari statiche e flutter derivatives.

Obiettivo della ricerca quindi è studiare la mutua influenza tra le barriere frangivento e di protezione alle corsie stradali e ferroviarie e le diverse configurazioni di traffico così da rendere possibile un'ottimizzazione che renda l'impalcato robusto alla presenza del traffico e stabile in ogni configurazione.

Al fine di analizzare tali aspetti del problema è stata effettuata presso la galleria del vento del Politecnico di Milano una sessione di prove sperimentali utilizzando un modello sezionale del ponte sullo stretto di Messina in scala 1:60 Belloli et al. 2003.

Sono stati realizzati numerosi modelli, di autoveicoli, autoarticolati e di veicoli ferroviari nella medesima scala dell'impalcato. In figura 1 si riporta una fotografia del modello del ponte installato in galleria del vento sul quale sono posizionati i modelli dei veicoli.

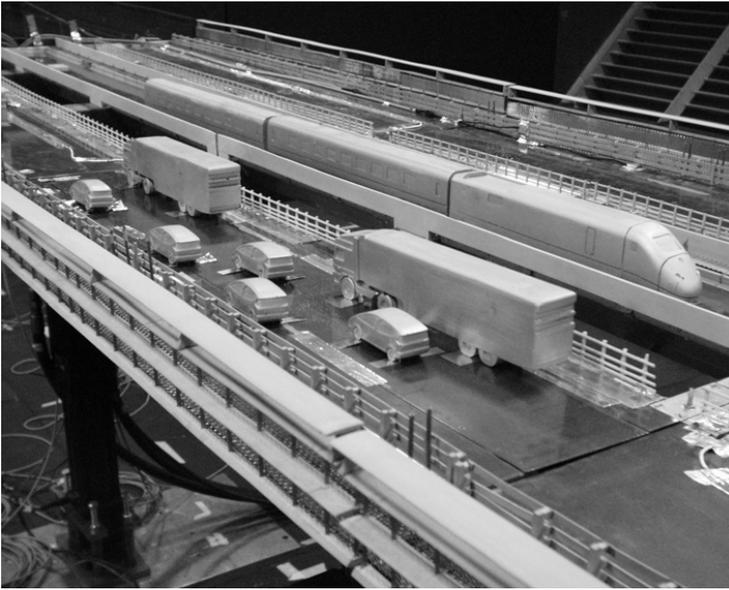


Figura 1. Modello del ponte installato in galleria del vento completo dei modelli dei veicoli

Il lavoro presenta i risultati sperimentali ottenuti, in termini di polari statiche e relative flutter derivatives, in presenza e in assenza di traffico al variare delle configurazioni e del tipo di appendici aerodinamiche applicate.

Ulteriore obiettivo della ricerca consiste nel valutare le spinte laterali e le coppie ribaltanti agenti sulle varie tipologie di veicolo in funzione della corsia di marcia che il veicolo stesso impegna. A tale scopo sono stati realizzati modelli di veicoli dinamometrici e sono stati misurati i profili di velocità nelle varie corsie di marcia al variare dell'angolo di attacco e dell'angolo di incidenza nelle varie corsie di marcia.

BIBLIOGRAFIA

- Diana G., Resta F., Zasso A., Belloli M., Rocchi D. (2003), Wind effects on suspension bridges: The case of the Messina Strait Bridge, 5th International Symposium on Cable Dynamics, Santa Margherita Ligure, Italy.
- Belloli, M., Boccione M., Resta F., Tosi A. (2003) Forced motion and free motion aeroelastic tests on a new concept dynamometric section model of the Messina suspension bridge, Int. Conf. on Wind Engineering, Lubbock, Texas

Considerazioni sull'applicazione della Decomposizione Ortogonale ai carichi da vento

Francesco Ricciardelli^a, Enrico T. de Grenet^b

^aDipartimento di Meccanica e Materiali, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Reggio Calabria

^bDipartimento di Ingegneria Civile, Università di Firenze, Firenze

PAROLE CHIAVE: Carichi da vento, Decomposizione ortogonale.

SOMMARIO

Sebbene la prima applicazione della Decomposizione Ortogonale ai carichi da vento risalga ad oltre 35 anni fa, la diffusione di questa tecnica in Ingegneria del Vento si è avuta solo nell'ultimo decennio, con applicazioni principalmente mirate a due differenti obiettivi.

Il primo è di natura computazionale, e riguarda lo sviluppo di modelli di calcolo semplificati che, pur inglobando tutte le informazioni necessarie ad una corretta modellazione dei carichi da vento, risultino il più possibile "leggeri" nella loro applicazione. E' stato quindi proposto che le componenti di turbolenza, le fluttuazioni di pressione, le forze aerodinamiche e la risposta strutturale vengano decomposte, e ne vengano considerati solo un numero limitato di modi, quelli che da soli consentono di riprodurre in maniera sufficientemente accurata il comportamento globale del sistema.

Il secondo obiettivo è di natura speculativa, e riguarda la comprensione dei meccanismi di interazione fluido-struttura. E', in tal caso, stato proposto che l'analisi dei modi dell'eccitazione venga utilizzata come strumento di indagine per la comprensione di dettagli dell'interazione fluido-struttura ben nascosti dietro la complessità globale del fenomeno, e pertanto non visibili con le tecniche standard di analisi.

Sebbene un consistente numero di lavori scientifici sia stato pubblicato negli ultimi anni, con l'uno oppure l'altro obiettivo, le potenzialità di questa tecnica sono ancora oggetto di discussione, e vi sono argomenti su cui non vi è ancora accordo unanime tra i ricercatori.

Vi è una effettiva corrispondenza tra i modi del processo che si indaga (turbolenza, fluttuazioni di pressione, etc.) e i differenti meccanismi fisici di cui questo è il prodotto? In caso affermativo ne risulta che un disaccoppiamento matematico (Decomposizione Ortogonale) comporterebbe anche un disaccoppiamento fisico, e ciò a cosa è dovuto? Il vincolo di ortogonalità dei modi viene considerato una condizione aggiuntiva, che alcuni Autori reputano forzi la decomposizione, non consentendo un corretto disaccoppiamento della fisica del problema. Fino a che punto questo inficia la qualità dei risultati? Quale è l'effetto, ai fini della Decomposizione Ortogonale, della sottrazione della media da un processo a media non nulla? Con che affidabilità può essere utilizzata la Decomposizione Ortogonale per processi non Gaussiani, per i quali le stocastiche di ordine superiore al secondo non sono necessariamente nulle? Che legame sussiste tra i modi valutati nel dominio del tempo (reali e costanti) e quelli valutati nel dominio delle frequenze (complessi e variabili con la frequenza)? E, soprattutto, la Decomposizione Ortogonale è destinata a rimanere un esercizio di stile, oppure avrà un futuro nel progetto delle strutture soggette all'azione eolica? Molte delle domande poste non trovano una risposta nella letteratura tecnica attualmente disponibile.

Col presente lavoro si intende investigare il significato della Decomposizione Ortogonale come strumento matematico, al fine di individuarne le potenzialità in Ingegneria del Vento. Vengono, quindi, dapprima forniti gli elementi essenziali della sua formulazione, e vengono poi presentate alcune considerazioni di sintesi, derivanti dai risultati disponibili in letteratura e dai numerosi risultati sperimentali ottenuti dagli Autori del presente lavoro, e pubblicati altrove. Scopo del lavoro è quello di rispondere, almeno in parte ai quesiti posti.

BIBLIOGRAFIA

- Baker C.J. 2000, Aspects of the use of Proper Orthogonal Decomposition of surface pressure fields, *Wind and Structures*, **3**(2), 97-115
- Davenport A.G., 1995 How can we simplify and generalize wind loads?, *J. Wind Eng. Ind. Aero*, **54-55**, 657-669
- de Grenet E.T., Ricciardelli F., Analysis of wind loading of square cylinders using Covariance Proper Transformation, *Wind and Structures*, to appear
- Liang Y.C., Lee P. Lim S.P., Lin W.Z., Lee K., Wu C.G. 2002, Proper Orthogonal Decomposition and its applications – Part I: Theory, *J. Sound Vib*. **252**(3), 527-544
- Solari G., Carassale L. 2000, Modal Transformation tools in structural dynamics and wind engineering, *Wind and Structures*, **3**(4), 221-241
- Tamura Y., Suganuma S., Kikuchi H., Hibi K. 1999, Proper Orthogonal Decomposition of random wind pressure field, *J. of Fluids and Structures*, **13**, 1069-1095.

Analisi delle caratteristiche dei campi di vento a bassa quota in ambiente urbano

Francesco Ricciardelli, Santo Polimeno

Dipartimento di Meccanica e Materiali, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Reggio Calabria

PAROLE CHIAVE: Strato limite urbano, Flusso a bassa quota, Velocità medie, Turbolenza, Sforzi di Reynolds, Prove in galleria del vento

SOMMARIO

Nel passaggio da un'area rurale ad un'area urbana le caratteristiche del flusso di vento subiscono delle modifiche sostanziali. Di conseguenza i carichi da vento che agiscono sulle strutture che si trovano all'interno degli strati più bassi dello Strato Limite Urbano non possono essere stimati utilizzando il modello di un flusso extraurbano, adatto alle strutture situate fuori dalle città, o negli strati più alti dello Strato Limite Urbano. All'interno dell'area urbana si individuano due differenti regimi di flusso, uno al di sotto, e l'altro al di sopra dell'altezza media degli edifici. Lo strato che si trova al di sotto di questa altezza viene denominato *canopy layer*. Il flusso eolico all'interno del *canopy layer* è governato da un trasferimento di energia che avviene tra gli strati superiori e gli strati inferiori, ma le caratteristiche del flusso all'interno di questo strato sembrano essere marginalmente dipendenti dalle caratteristiche del flusso incidente. Un risultato piuttosto significativo è stato ricavato da una serie di prove sperimentali effettuate in galleria del vento da Isyumov e Davenport nel 1975, che hanno rilevato una variazione del fattore di picco e la traslazione dello spettro di turbolenza all'interno dell'area urbana sotto esame, rispetto al flusso incidente, oltre che una variazione delle velocità medie. Con lo scopo di approfondire lo studio delle caratteristiche del flusso eolico a bassa quota in ambiente urbano è stata prevista una serie di prove sperimentali in galleria del vento.

Un primo test è stato condotto nella galleria del vento del CRIACIV di Prato per valutare l'effetto di schermatura di un prisma immerso in un flusso di vento di caratteristiche note. Le misurazioni sono state effettuate utilizzando un anemometro a filo caldo con sonda ad x , che ha permesso di stimare i profili della velocità media, le scale integrali di turbolenza, le intensità di turbolenza, gli spettri della velocità del vento e gli sforzi di Reynolds per differenti posizioni nei pressi del blocco. I risultati sperimentali hanno confermato quanto era stato ricavato da Isyumov e Davenport. In figura 1, ad esempio, viene mostrato lo spettro della componente longitudinale di turbolenza in due

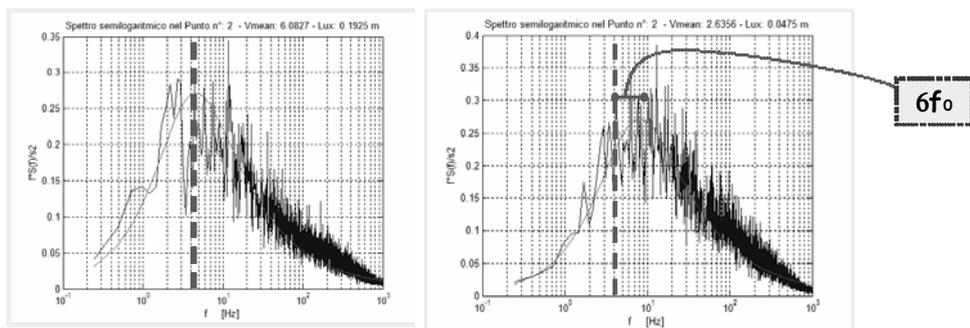


Figura 1. Spettri della componente longitudinale della turbolenza

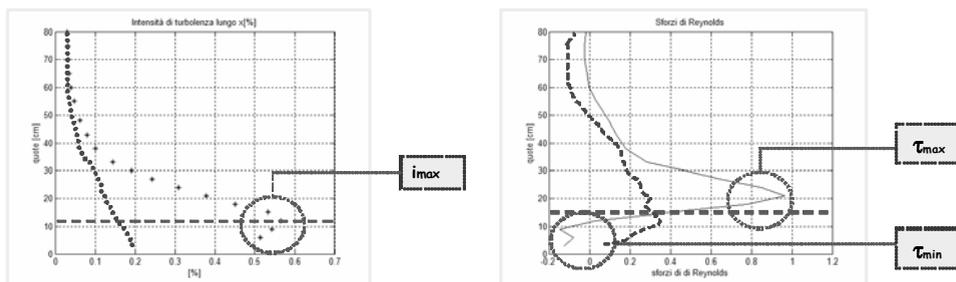


Figura 2. Intensità di turbolenza e sforzi di Reynolds

posizioni, rispettivamente sopravento e sottovento rispetto al prisma. La frequenza centrale delle fluttuazioni di velocità risulta incrementata di circa 6 volte per la presenza del blocco. Nella figura 2 sono illustrati i profili verticali dell'intensità della componente longitudinale di turbolenza e degli sforzi di Reynolds nelle due posizioni sopradescritte. Dai grafici si osserva che i due profili sono abbastanza simili alle alte quote, ma completamente differenti a quelle basse, dove le intensità di turbolenza presentano valori più alti del 55% nelle posizioni sottovento. Negli strati più alti, inoltre, gli sforzi di Reynolds sono più grandi nelle posizioni sottovento che in quelle sopravento, al contrario negli strati più bassi essi tendono praticamente ad annullarsi.

E' stata programmata una seconda serie di prove sperimentali su un modello semplificato di area urbana (figura 3), con l'obiettivo è quello studiare la dipendenza del flusso a bassa quota dalle caratteristiche del flusso incidente.

BIBLIOGRAFIA

- Isyumov N. and A.G. Davenport, (1975). The ground level wind environment in built-up areas. *4th Int Conf. On Wind Effects on Tall Buildings and Structures*, Heathrow, pp. 403-422
- Stathopoulos T. and H. Wu. (1995). Generic models for pedestrian-level winds in built up regions. *J. Wind Eng. Ind. Aero.*, Vol. 54/55, pp. 515-525



Figura 3. Setup sperimentale

Towards the numerical simulation of bluff-body flows through POD reduced-order models

E. Salvatici^a, S. Camarri^a, M.V. Salvetti^a

^aDip. Ingegneria Aerospaziale, Università di Pisa, Pisa

KEY-WORDS: numerical simulation, reduced-order models, proper orthogonal decomposition, finite-length prisms, infinite circular cylinders.

ABSTRACT

Most of the bluff-body flows of engineering or environmental interest are characterized by high Reynolds numbers; thus, in numerical simulations, it is impossible to resolve all the turbulence scales, because of the huge amount of unknowns to be computed. Therefore, a challenging problem in numerical simulation of bluff-body flows, as more generally for turbulent flows, is to devise reduced order models. Such models should imply the computation of a significantly reduced number of unknowns and yet they should reproduce the dynamics of the flow accurately enough. In a broad sense, Reynolds-averaged Navier-Stokes and large-eddy simulations, widely used for turbulent flows, can be considered as reduced order models. However, these approaches lead to simulations still too complex to be used in applications which involve several flow evaluations, such as control or optimization. In this context different types of low-order models must be used, which allow the computational complexity to be further reduced.

The basic idea of a class of such methods is to project the solution on a finite-dimension space; the number of degrees of freedom is then reduced by considering only a subspace, i.e. a limited number of basis functions. Among those methods is proper orthogonal decomposition (POD), in which a set of empirical basis functions is constructed and a Galerkin projection in the POD-function space is employed to derive a simplified dynamical system in the form of a set of nonlinear ordinary differential equations. In the classical approach (Lumley, 1967) the POD modes are computed in order to have an optimal representation of the solution in the norm of the Hilbert space L^2 . The low-order model is then constructed by retaining only the "most important" modes, which in this classical approach may be considered as those mainly contributing to the flow energy.

The POD approach has successfully been applied to the simulation of bluff-body flows (see, for instance, Noack *et al.*, 2003 and Ma & Karniadakis, 2002), but at very low Reynolds numbers (of the order of 10^2).

When the Reynolds number is higher, the number of modes giving a significant contribution to the flow energy dramatically increases, since, in the classical approach, POD modes ranked in decreasing kinetic energy order are associated with smaller and smaller vortical structures (Couplet *et al.*, 2003). Thus, to limit the increase of complexity of the reduced-order model, also POD modes giving significant contribution to energy must be discarded, and, thus, a closure problem arises, i.e. the effect of the discarded modes on the dynamical system must be modeled. Moreover, in high Reynolds number flows, dissipation is provided by small scales and, if these are neglected, reduced-order simulations may become unstable; thus, closure models should also provide additional dissipation to stabilize the simulations. For instance, in Couplet *et al.*, 2003 an eddy-viscosity closure model is proposed, analogous to those used in large-eddy simulation.

In the present work, POD bases are constructed starting from snapshots obtained in large-eddy simulations of the flow around an infinite circular cylinder at $Re=20000$ (Salvatici & Salvetti, 2003) and of the flow around a finite-length triangular prism at $Re=10000$ (partially documented in

Camarri & Salvetti, 2003). For each flow, different bases are constructed by using the classical POD approach and two alternative formulations (Camarrì et al. 2001). The first one is aimed to obtain an optimal representation of the solution norm in the Sobolev space H^1 , which also accounts for the solution gradients. The second formulation is the classical POD approach applied to the vorticity fields, instead of the velocity ones; thus, the retained modes are those giving the main contribution to the flow enstrophy.

The same *a-priori* analysis as in Couplet *et al.*, 2003 is carried out in order to:

- (i) investigate if the main conclusion of Couplet *et al.*, 2003, i.e. that the interactions between POD modes are very similar to those between Fourier modes, is also valid for the non classical approaches and the flows here considered;
- (ii) to devise and appraise closure models for truncated POD simulations different from the eddy-viscosity ones proposed in Couplet *et al.*, 2003.

The results of this analysis will be presented and discussed in the paper.

The final aim of the present work is to carry out POD-based reduced-order simulations of the considered flows and to study the capabilities of this approach by comparing the obtained dynamics with the one given by the large-eddy simulations.

Results of actual POD simulations will possibly be included in the final paper.

REFERENCES

- Camarrì S., Salvetti M.V., Beux F., Iollo A., Soldati A. (2001). A Priori Analysis of POD Reduced Order Models for Simulation of Turbulent Flows. *Turbulence and Shear Flow Phenomena-2*, Vol. 2, pp. 305-310.
- Camarrì S., Salvetti M.V. (2003). Large-eddy simulation of the flow around finite-length triangular prisms. *Atti del XVII Congresso Nazionale AIDAA*, Vol. 1, pp. 283-292.
- Couplet M., Sagaut P., Basdevant C. (2003). Intermodal energy transfers in a proper orthogonal decomposition-Galerkin representation of a turbulent separated flow. *J. Fluid Mech.*, Vol. 491, pp. 275-284.
- Lumley J.L. (1967). The structure of inhomogeneous turbulent flows. *Atmospheric Turbulence and Radio Wave Propagation*. Nauka, Moscow, pp.166-178.
- Ma X., Karniadakis G.E. (2002). A low-dimensional model for simulating three-dimensional cylinder flow. *J. Fluid Mech.*, Vol. 458, pp. 181-190.
- Noack B.R., Afanasiev K., M. Morzynski, G. Tadmor, F. Thiele (2003). A hierarchy of low-dimensional models for the transient and post-transient cylinder wake. *J. Fluid Mech.*, Vol. 497, pp. 335-363.
- Salvatici E., Salvetti M.V. (2003). Large eddy simulations of the flow around a circular cylinder: effects of grid resolution and subgrid scale modeling. *Wind & Structures*, Vol. 6(6), pp. 419-436.

Influenza delle non-linearità strutturali sulla risposta dei ponti sospesi all'azione eolica: simulazioni numeriche su strutture semplificate

Luca Salvatori^a, Paolo Spinelli^a

^aDipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Firenze, Firenze

PAROLE CHIAVE: Ponti sospesi, Dinamica non-lineare, Elementi finiti, Forzanti eoliche nel dominio del tempo.

SOMMARIO

Nel presente studio, si indagano gli effetti delle non-linearità strutturali sul comportamento dinamico dei ponti sospesi ed in particolare sulla risposta aerodinamica ed aeroelastica nel dominio del tempo. Allo scopo ci si avvale di simulazioni agli elementi finiti su strutture semplificate.

Quando si considerano le non-linearità della struttura, l'analisi nel dominio del tempo si rende indispensabile (Borri *et al.*, 2002), tuttavia in molti casi si continua a fare riferimento al modello sezione a due (o tre) gradi di libertà. In tale modello la rigidità di cavi e pendini è concentrata in molle traslazionali e rotazionali che sono in genere assunte lineari.

È però chiaro che le non-linearità strutturali in un ponte sospeso sono fondamentali. I cavi di sospensione offrono forte rigidità per forma solo per quei carichi uniformi di cui sono funicolare mentre tale rigidità può essere sensibilmente ridotta nel caso di azioni non uniformi (azione del vento e forze di inerzia dovute al moto dell'impalcato). Inoltre, per considerevoli sollevamenti o rotazioni dell'impalcato, i pendini possono perdere la propria pretensione e, essendo incapaci di reagire a compressione, cessare di trasmettere forze all'impalcato.

In particolare le non-linearità potrebbero avere influenza sulla velocità critica di *flutter* del ponte. Gli effetti non-lineari dei cavi si risentono soprattutto quando il moto riceve contributi dai modi (flessionale e torsionale) antisimmetrici rispetto alla mezzera del ponte: un vento debolmente correlato sulle due metà del ponte, "attivando" questi modi, potrebbe avere effetti non prevedibili con il semplice modello sezione.

Questo studio si propone di valutare quantitativamente l'entità degli effetti non-lineari sulla dinamica del ponte e sulla velocità di *flutter*. Usualmente si considera infatti favorevole nei confronti del *flutter* l'assenza di perfetta correlazione delle storie di vento; sarà dunque in ogni caso interessante avere conferma di tale ipotesi, soprattutto in presenza di variazioni di rigidità per azioni più o meno distanti da quelle uniformi.

Le simulazioni numeriche vengono qui condotte con un codice agli elementi finiti appositamente sviluppato. Gli elementi si avvalgono della formulazione co-rotazionale, permettendo di gestire grandi spostamenti e rotazioni senza perdita di precisione. Inoltre gli elementi fune utilizzati sono in grado di riprodurre la non-resistenza a compressione.

Poiché l'attenzione si concentra sugli effetti della non-linearità piuttosto che sull'accurata modellazione delle forzanti nel dominio del tempo, per queste ultime si sfruttano modelli consolidati (Iannuzzi & Spinelli, 1986). In primo luogo vengono considerate forzanti armoniche corrispondenti all'effetto del distacco dei vortici alla Von Karman, successivamente si considerano forzanti di *flutter* basate sulle derivate aeroelastiche alla Scanlan e forzanti aerodinamiche di *buffeting* in presenza di vento turbolento. Le azioni trasversali di *drag* vengono trascurate; ciò permette, con opportuni accorgimenti, di "schiacciare" il modello del ponte in due dimensioni, diminuendo così il numero di gradi di libertà del modello e permettendo di lavorare con un codice di calcolo più semplice e più performante.

Il modello FE del ponte viene generato automaticamente a partire da poche grandezze caratteristiche (lunghezza del ponte, freccia e sezione dei cavi, larghezza, inerzie e rigidità dell'impalcato, etc.). Può venir generato un numero arbitrario di sezioni su cui applicare le forzanti eoliche: dopo alcuni confronti qualitativi iniziali, lo studio si concentra tuttavia sul modello a due sezioni (Fig. 1).

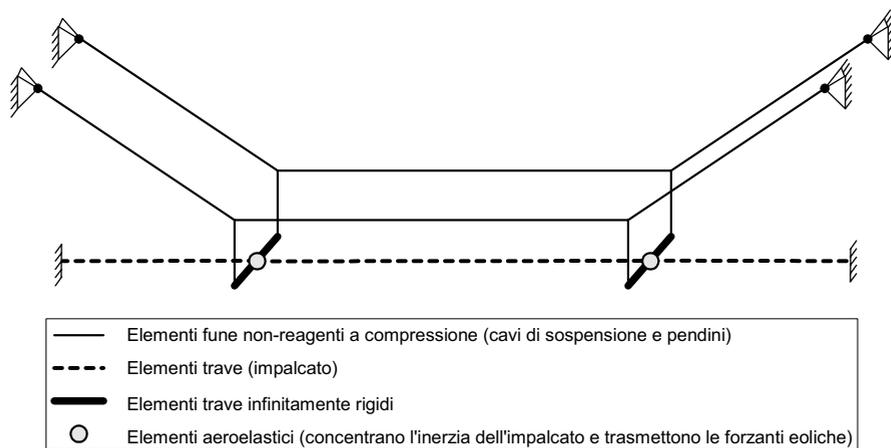


Figura 1. Modello semplificato del ponte sospeso: versione con due sezioni.

BIBLIOGRAFIA

- Augusti G., Diaferio M., Sepe V. (2002). Unilateral behaviour of the suspending hangers in the wind induced response of large span bridges, *Atti del 7° Convegno ANIV*, Milano.
- Borri C., Costa C., Zahlten W. (2002). Non-stationary flow forces for the numerical simulation of aeroelastic instability of bridge decks, *Journal of Computers and Structures*, vol. 80, n. 12, 1071-1079.
- Iannuzzi A., Spinelli P. (1986). Wind effects on bridge girders: aerodynamic behaviour and numerical simulation, *Costruzioni metalliche*, ACAI, n. 1-2.

Il ruolo delle misure di vento nell'identificazione strutturale

Vincenzo Sepe ^a, Gianni Bartoli ^b

^aUniversità degli Studi di Chieti-Pescara “G. D’Annunzio”, Dipartimento di Progettazione, Riabilitazione e Controllo delle Strutture Architettoniche, Pescara

^bUniversità degli Studi di Firenze, Dipartimento di Ingegneria Civile, Firenze

PAROLE CHIAVE: identificazione dinamica, azione del vento, forzanti naturali.

SOMMARIO

Le tecniche di identificazione strutturale vengono ormai frequentemente utilizzate in ambito civile a scopo di collaudo o di monitoraggio, anche grazie alla disponibilità di sensori e sistemi di acquisizione sempre più affidabili ed economici.

Oltre alle tecniche che utilizzano forzanti artificiali (ad esempio vibrodina), stanno sempre più prendendo piede tecniche di identificazione (Brinker *et al.*, 2000; Brownjohn *et al.*, 1992; Kirkegaard & Andersen, 1997; Quek *et al.*, 1999; Wang & Haldar, 1999) che prescindono dalla misura dell’input (tecniche ad input incognito o, con termine inglese, “output-only”), utilizzando soltanto la registrazione della risposta (ad esempio, accelerazione) in un numero sufficiente di punti della struttura stessa.

In ambito civile, in effetti, può risultare molto spesso difficile o eccessivamente costoso eccitare le oscillazioni strutturali in maniera artificiale, sia per la presenza di notevoli masse in gioco e sia, talvolta, per problemi di accessibilità che rendono difficile il trasporto e l’installazione dei necessari macchinari.

D’altra parte tali opere sono per loro stessa natura soggette ad azioni di origine ambientale, come ad esempio vibrazioni del piano di posa indotte dal traffico o azioni eoliche, in grado di produrre oscillazioni di entità apprezzabile a costo zero.

I due tipi di oscillazioni ambientali citate, peraltro, presentano caratteristiche molto diverse. Nel caso di microtremiti del piano di posa, assimilabili entro certi limiti ad un moto rigido della superficie di base dell’opera, possono utilmente essere utilizzate le tecniche messe a punto per l’identificazione strutturale sotto azioni sismiche; in questo caso l’eventuale misura del moto alla base fornisce generalmente una migliore accuratezza delle procedure di identificazione, consentendo di determinare le funzioni di trasferimento fra tale moto (input) e la risposta strutturale (output); d’altra parte, anche nel caso in cui l’azione alla base non sia misurata, è possibile ottenere una identificazione sufficientemente accurata, ad esempio con la tecnica proposta di recente in Capecchi *et al.* (2004), a patto di disporre di almeno tre registrazioni indipendenti.

Nell’identificazione di strutture eccitate da azioni eoliche, che costituisce l’oggetto della presente comunicazione, invece, la natura stessa della forzante, distribuita sull’intera superficie dell’opera e dipendente sia dal campo di vento incidente che dalla geometria dell’opera, rende praticamente impossibile una effettiva misura dell’input. L’identificazione strutturale sotto azioni eoliche viene pertanto solitamente condotta prescindendo del tutto dalle eventuali rilevazioni anemometriche effettuate; ciò è in gran parte giustificato dalla natura stazionaria, almeno a tratti, dell’azione, che consente di utilizzare le tecniche probabilistiche di stima mutuata dalla teoria dei processi stocastici; le misure di vento disponibili, vengono poi eventualmente utilizzate solo a valle dell’identificazione strutturale per ricostruire le caratteristiche aerodinamiche dell’opera, almeno nel caso di geometrie complesse (Sepe & Zingali, 2001).

La questione, a giudizio degli scriventi, richiede ulteriori approfondimenti, ai quali il lavoro proposto è dedicato. Basandosi non solo sulla letteratura scientifica, ma anche sull’esperienza diretta accumulata (si veda ad esempio il caso dell’identificazione dinamica della Cupola di S.Maria del Fiore a Firenze, Borri & Bartoli, 1995), si intendono in particolare distinguere le circostanze e le

tipologie strutturali per le quali l'identificazione strutturale può utilmente avvalersi di misure di velocità o di pressione del vento, indicando in tal caso anche le relative metodologie operative, da quelle nelle quali si può prescindere da tale informazione.

Nell'articolo si prendono quindi in esame vari esempi di identificazione in cui è stato usato il vento come forzante esterna, cercando di giungere ad una classificazione delle metodologie utilizzate, ed evidenziando gli eventuali vantaggi che la misurazione della forzante esterna comporta nell'intero processo di caratterizzazione della struttura.

In particolare, si cerca di evidenziare il numero ed il posizionamento di possibili unità di misura anemometrica, al fine di stabilire una prima serie di criteri che possano servire come linee guida per i successivi impieghi in campo civile, segnalando al tempo stesso i casi più rilevanti in cui è invece sostanzialmente possibile prescindere da tali misurazioni.

BIBLIOGRAFIA

- Borri C., Bartoli G. (1995). "Dynamic Response to Wind Action: Control and Identification Procedures for Wind Sensitive Structures and Monumental Buildings", in "Monitoraggio delle Strutture dell'Ingegneria Civile", a cura di P.G. Malerba, CISM (Centre International des Sciences Mecaniques), Udine, pp. 109-156.
- Brincker R., Zhang L., Andersen P., (2000). "Output-Only Modal Analysis By Frequency Domain Decomposition", Proceedings of The ISMA25 Noise And Vibration Engineering Volume 11, Leuven,Belgium, pp.717-723,September 13-15, 2000
- Brownjohn J.M., Dumanoglu A.A., Severn R.T., (1992). "Ambient vibration survey of the Fatih Sultan Mehmet (second Bosphorus) suspension bridge", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol.21, pp. 907-924,
- Capecchi D., De Angelis M., Sepe V. (2004). "Modal model identification with unknown nonstationary base motion", Meccanica,
- Kirkegaard P. H., Andersen P., (1997). "State Space Identification Of Civil Engineering Structures From Output Measurements", Proceedings of The 15th International Modal Analysis Conference (IMAC) Orlando,Florida, pp.889-895
- Quek S.T., Wang W., Koh C.G., (1999). "System identification of linear mdf structures under ambient excitation", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol.28, pp. 61-77
- Sepe V., Zingali A.E. (2001). "Wind induced response of an elevated steel water tank", Wind And Structures. vol. 4 (n.5), pp. 383-398.
- Wang D., Haldar A., (1994). "Element-level system identification with unknown input", ASCE Journ. Eng. Mech., vol.120 (1), pp.159-176

Rilievo sperimentale di campi di vento in ambiente urbano

Vincenzo Sepe, Piero D'Asdia, Pasqualino Carusi

Università degli Studi di Chieti-Pescara "G. D'Annunzio"- Dipartimento di Progettazione, Riabilitazione e Controllo delle Strutture Architettoniche – V.le Pindaro, 42 – 65127 Pescara

PAROLE CHIAVE: misure di vento, generazione storie di vento, correlazione storie di vento

SOMMARIO

La determinazione delle azioni eoliche su edifici e strutture, sia a scopo di verifica che di progetto, si avvale ormai abitualmente di tecniche di generazione di campi di vento (velocità o pressione) estesi all'intera superficie dell'opera.

In particolare, le tecniche stocastiche basate sull'utilizzo di spettri di potenza e funzioni di correlazione, frutto delle esperienze sul campo e degli studi teorici condotti ormai da molti decenni, sono largamente accreditate, e su di esse si basano anche le prescrizioni delle più diffuse normative tecniche.

Per quanto a conoscenza degli autori della presente memoria, tuttavia, la correlazione tra le fluttuazioni del campo di vento su superfici molto estese è stata raramente indagata in Italia dal punto di vista sperimentale, sia in ambito urbano che extraurbano.

E' stata per tale motivo avviata una ricerca sperimentale, nell'ambito di un progetto di ricerca di interesse nazionale recentemente cofinanziato dal MIUR, volta al rilievo sperimentale del campo di velocità sulla copertura dell'edificio in cui ha sede il polo di Pescara dell'Università "G. D'Annunzio" di Chieti-Pescara (Fig.1) e che ospita anche la Facoltà di Architettura ed il Dipartimento in cui operano gli autori.

Tale edificio è costituito da tre corpi di fabbrica che occupano complessivamente una superficie di circa 210 m per 50 m, con un'altezza fuori terra di circa 10m, oltre ai torrioni delle scale, ed è collocato in un ambiente urbanizzato, tranne il fronte Ovest che si presenta al momento libero da edifici ed altri ostacoli; in tale direzione, peraltro, è prevista la realizzazione di un nuovo polo universitario che modificherà radicalmente la situazione attuale, consentendo perciò, nel prosieguo della ricerca, anche una valutazione sperimentale dell'effetto delle nuove costruzioni.

In particolare nella prima fase della ricerca, a cui questa memoria si riferisce, sono in corso di allestimento misure con sei anemometri disposti sulla copertura dell'edificio secondo una griglia di dimensioni complessive pari a circa 30 m e 160 m (80 + 80), rispettivamente in direzione trasversale e longitudinale.

La campagna di misure sperimentali, che fornirà già i primi risultati entro la data prevista per IN-VENTO-04 e che si prevede proseguirà per almeno un anno, dovrebbe consentire la definizione delle caratteristiche spettrali e di correlazione tipiche dell'area in questione, consentendo eventualmente di affinare le indicazioni di letteratura e di normativa. Ci si ripropone con essa anche di verificare sperimentalmente la possibilità di utilizzo, per opere di grandi dimensioni (dell'ordine di grandezza di alcune centinaia di metri, e superiori), delle tecniche di generazione dei campi di vento quasi-deterministiche proposte da tempo da uno degli autori (D'Asdia *et al.*, 1996); tali tecniche si basano essenzialmente sulla previsione che le variazioni di velocità a bassa frequenza, riconducibili a vortici di grandi dimensioni (decine o anche centinaia di metri), possano risultare fortemente correlate (in maniera, appunto, quasi deterministica) lungo lo sviluppo dell'opera, e sono state utilizzate con successo per definire in forma chiusa l'effetto di tale tipo di turbolenza su ponti sospesi di grande luce (D'Asdia & Sepe, 2000; Sepe & D'Asdia, 2003).

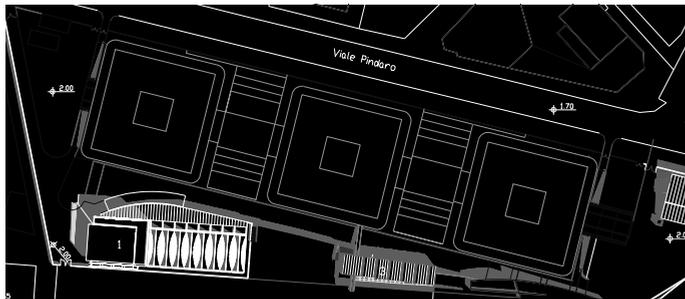


Figura 1. Vista e pianta dell'edificio di V.le Pindaro, sede del polo di Pescara dell'Università "G. D'Annunzio" di Chieti-Pescara

BIBLIOGRAFIA

- D'Asdia P., Viskovic A., Romeo F. (1996). Influence of wind space-dependent correlations on dynamic response of structures, *Third European Conference on Structural Dynamics EURODYN '96*, Firenze, June 1996, Vol.1, pp.235-242
- D'Asdia P., Sepe V. (2000). Influenza di una turbolenza quasi-deterministica sulla stabilità aeroelastica di ponti sospesi, *6° Congresso Italiano di Ingegneria del Vento IN-VENTO-2000*, Genova, giugno 2000; ISBN 88-86281-58-7, pp. 569-576
- Sepe V., D'Asdia P. (2003). Influence of low-frequency wind speed fluctuations on the aeroelastic stability of suspension bridges, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 91, 2003, pp. 1285-1297, ISSN: 0167-6105

Un sistema ottimale di controllo delle vibrazioni

Gerardo Spina^a, Felicità Ramundo^a

^aSeconda Università degli Studi di Napoli, Aversa (CE)

PAROLE CHIAVE: Controllo semiattivo, Dispositivi magnetoreologici, Affidabilità, Adattabilità.

SOMMARIO

L'applicazione di sistemi di controllo delle vibrazioni alle strutture civili si è notevolmente diffusa nell'ultimo decennio in diversi settori: dalla protezione nei confronti di sollecitazioni generate da fenomeni naturali, come vento e sisma, a quelle indotte da macchinari industriali, dal traffico stradale e ferroviario, da urti ed esplosioni.

Esiste ormai una vasta gamma di sistemi di controllo strutturale che va dai più semplici di tipo passivo a quelli più complessi di tipo attivo. I primi sono certamente più economici e possono risolvere in modo soddisfacente i problemi causati da diversi tipi di fonti di vibrazioni, tuttavia hanno il limite di non potersi adattare ai cambiamenti delle azioni esterne. In alternativa ad essi sono disponibili sistemi di controllo attivo, basati sull'uso di sensori ed attuatori ad alte prestazioni, controllati in modo digitale attraverso specifici algoritmi provenienti dalla teoria del controllo ottimale; questi sistemi, usati finora ampiamente nell'industria aeronautica, aerospaziale ed in quella dei semiconduttori, risultano più complessi, più costosi e meno affidabili di quelli passivi e richiedono, nelle applicazioni alle strutture civili, l'impiego di fonti esterne di energia di notevole entità.

L'obiettivo di realizzare un sistema di controllo ottimale che risulti efficace, affidabile e non eccessivamente oneroso, può essere raggiunto utilizzando dispositivi intelligenti detti semiattivi. Questi risultano essere simili ai dispositivi passivi, con la differenza di poter variare le loro caratteristiche meccaniche in tempo reale, modificando così le forze di controllo prodotte; tale proprietà consente al sistema di rispondere differentemente ai mutamenti delle azioni esterne e di modificare gli obiettivi di controllo.

Esempi di dispositivi intelligenti sono i dissipatori di energia a sezione variabile, a rigidità variabile, a fluido controllabile. I primi due tipi sono molto simili, nel funzionamento, ai dispositivi passivi, pertanto le forze di controllo che generano dipendono fortemente dalla velocità e dalla deformazione assorbita dagli stessi, non consentendo il raggiungimento di una prestazione di controllo ottimale.

Il terzo tipo di dispositivi semiattivi utilizzati per il controllo delle vibrazioni è per lo più basato sull'uso di fluidi magnetoreologici. Tali fluidi sono costituiti da sospensioni di particelle magnetizzabili, di dimensioni nell'ordine dei micron, immerse in un fluido conduttore appropriato (oli siliconici o minerali); la loro caratteristica essenziale è di cambiare stato in millesimi di secondo, passando reversibilmente dall'essere fluidi a viscosità lineare a semisolidi con limite di snervamento controllabile, generalmente nell'ordine dei 100 kPa, modificando notevolmente la forza di reazione del dispositivo.

La forza generata dal dispositivo magnetoreologico è correlata al campo magnetico indotto al fluido in esso contenuto e non risulta tanto sensibile alla velocità come nel caso dei dispositivi descritti in precedenza; regolando l'intensità dell'input elettrico, attraverso un ciclo di feedback, si può compensare la forza di reazione del dispositivo al variare della velocità.

Pertanto i dispositivi magnetoreologici si accordano bene con le richieste e le limitazioni delle applicazioni di controllo delle vibrazioni nelle strutture civili e sembrano offrire la maggiore probabilità di conseguimento della performance di controllo ottimale, grazie alle loro caratteristiche peculiari: ridotta richiesta di energia, semplicità meccanica, forza di reazione ampiamente controllabile in campo dinamico.

Lo scopo del lavoro è quello di valutare l'efficacia di un sistema di controllo delle vibrazioni di tipo semiattivo, basato sull'utilizzo di dispositivi magnetoreologici, applicato ad una particolare tipologia strutturale dell'edilizia storica: le torri snelle in muratura e di valutare l'adattabilità di tale sistema a sorgenti di vibrazioni di diversa natura.

BIBLIOGRAFIA

- Timoshenko S.P., Young, D.H., Weaver W. (1990). *Vibration problems in engineering*. John Wiley & Sons, New York
- Soong T.T., Constantinou M.C. (1994). *Passive and Active Structural Vibration Control in Civil Engineering*. Springer, New York
- Spencer B.F. Jr, Dyke S.J., Sain M.K., Carlson J.D. (1997). Phenomenological model of a magnetorheological damper, *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 123, pp. 230-238
- Tamura Y. (1998). Application of damping devices to suppress wind-induced responses of buildings, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 74-76, pp. 49-72
- Battaini M., Breitung K., Casciati F., Faravelli L. (1998). Active control and reliability of a structure under wind excitation, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 74-76, pp. 1047-1055
- Symans M.D., Constantinou M.C. (1999). Semi-active control system for seismic protection of structures: a state-of-the-art review, *Engineering Structures*, Vol. 21, pp. 469-487
- Hojjat A., Amgad S. (1999). *Control, Optimization and Smart Structures: High-Performance Bridges and Buildings of the Future*, John Wiley & Sons, Chichester England
- Zhang J., Roschke P.N. (1999). Active control of a tall structure excited by wind. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 83, pp. 209-223
- Yang G, Spencer BF, Carlson JD, Sain MK. (2002). Large-scale MR fluid dampers: modeling, and dynamic performance considerations. *Engineering Structures* 2002; 24(3):309–323.
- Wei-Ling Chiang et al. (2003). Active control for a benchmark building under wind excitations, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 91, pp. 469-493

Valutazione con modelli numerici della risposta aerodinamica ed aeroelastica di ponti di grande luce

D. Taddei, F. Giuliano

SOMMARIO

Il progetto di ponti di grande luce pone il problema della valutazione dell'azione del vento, nei suoi caratteri quasi-statici e dinamici, e della simulazione della risposta a detta azione della struttura. Le potenzialità raggiunte dal calcolo automatico nell'ambito dell'ingegneria strutturale ed aeronautica rendono realistico l'obiettivo di una simulazione numerica completa della risposta di una struttura alle azioni del vento. In particolare, si utilizzano modelli di fluidodinamica numerica per la valutazione del comportamento aerodinamico sezionale e modelli strutturali ad elementi finiti speciali, con implementazione della forzante aeroelastica, per la simulazione dinamica del comportamento dell'opera. Nell'articolo si analizzano le caratteristiche e le possibili sinergie dei due tipi di modello numerico, con particolare applicazione alla definizione della risposta al vento del Ponte sullo Stretto di Messina.

Indicial Functions or Flutter Derivatives: An Evaluation for Time Domain Simulations

Wolfhard Zahlten^a, Luca Salvatori^b, Claudio Borri^c

^aInstitute for Structural Mechanics and Numerical Methods, University of Wuppertal, GERMANY

^bInternational Graduate College for Risk Management, Universities of Florence and Braunschweig, ITALY/GERMANY

^cDepartment of Civil Engineering, University of Florence, ITALY

KEY WORDS: Dynamics of structures, bridge aerodynamics, aeroelasticity, numerical time domain simulations, flutter derivatives, indicial functions.

SUMMARY

The current trend in the design of footbridges leans towards increasingly light and transparent structures, which exhibit a growing vulnerability to dynamic oscillations. Examples of dynamically vulnerable designs are the Millennium Bridge in London or the Solferino Bridge in Paris which had to be closed down to the public due to unacceptably large oscillations caused by pedestrians. A second area of interest for bridge dynamics is wind excitation.

For wind action, two load mechanisms are of prime importance: the gust excitation due to turbulence of the wind flow, and self-excited aeroelastic forces, which can result in instability phenomena such as bridge flutter. The latter aspect will be addressed in the paper.

Due to the theoretical complexity of the problem of bluff bodies with irregular geometry subjected to wind flow, the predominant design tool in wind engineering is the boundary layer wind tunnel, where tests with scaled-down models are performed. Recent years, however, have seen the development of numerical methods for simulating the structural response in the computer, which then serves as a kind of virtual wind tunnel (e.g. Feill, 1998, Zahlten *et al.*, 2002). For such simulations a load model is necessary which allows the calculation of the aerodynamic/aeroelastic forces at each time instance as functions of the current wind speed and of the structural response.

The most widely used load model is the mixed frequency/time domain formulation via flutter derivatives introduced by Scanlan and Tomko (Scanlan & Tomko, 1971). Its advantages are:

1. Flutter derivatives are relatively easy to measure in model tests.
2. The forces depend only on the current response, not on its history.
3. For an idealized structural model with two degrees of freedom it is possible to compute flutter frequency and critical wind speed by analytical, mathematically exact equations (Simiu 1996).

On the other hand, there are also several disadvantages:

1. The simplified 2-degree-of-freedom idealization with two distinct eigenfrequencies does not capture the true bridge vibrations for complex structures.
2. The (unknown) flutter frequency is an input parameter for the model, since the flutter derivatives depend on the reduced velocity, which in turn depends on the frequency of the response. Hence some assumptions regarding the response frequency must be made before the computation and checked once the results are available.
3. A combination with load contributions from buffeting is not easily possible.

An alternative is given by a pure time domain formulation via indicial functions (Simiu & Scanlan, 1974, Höffer, 1997, Borri *et al.*, 2002). Here, the displacement history is expressed as a series of infinitesimal step-wise increments. The non-stationary evolution in time of the wind loads due to unit displacement is given by indicial functions and the wind load is then given by the convolution integral of the indicial functions with the displacement history. Due to its pure time domain formulation this load model can be readily implemented in finite element models, which perform time history

integrations. Naturally, the numerical resources needed for the convolution integrals are significantly higher (both memory requirements and computing time) than for the Scanlan model. This has precluded the use of these formulations in times of restricted computing power. Now, however, these restrictions are no longer prohibitive.

The present paper discusses the possibilities offered by indicial functions for the time domain simulation of bridges via finite elements. It addresses first the question of how to determine the indicial functions from experimental data. Here, the use of exponential filters (Scanlan *et al.*, 1974, Höffer, 1998) is systematically explored. The filter parameters are identified from measured flutter derivatives.

Then the numerical implementation of the convolution integral is discussed. An incremental formulation of the load model reduces the originally infinite memory of the convolution integral to a time window of finite length. The influence of the window size on the quality of the results is studied and discussed.

The equivalence of indicial functions with flutter derivatives for a 2-degree-of-freedom oscillator in purely harmonic oscillation is proven by two numerical studies. Flutter derivatives are calculated in such a way as to be perfectly equivalent to a given set of indicial functions.

The first study compares the self-excited forces induced by prescribed sum-of-harmonic deformations. For a mono-harmonic displacement history the non-stationary indicial function model converges towards the stationary Scanlan solution, as expected. For multi-harmonic cases the indicial function model gives automatically the correct load history while the flutter derivatives are only able to do this if the displacement history is split into its harmonic parts and the total load expressed by a superposition, which is only possible for linear structures.

The second study computes the critical wind speed and flutter frequency given by the analytical solution and calculated by time domain simulations with the two load models. All three results are identical.

It is concluded that a load formulation with indicial functions is more general and more suitable for finite element simulations. It could be shown that in those cases where it is theoretically equivalent to the formulation by flutter derivatives, it does in fact give the correct numerical results so that is a more versatile and powerful approach.

REFERENCES

- Borri, C., Costa, C., Zahltén, W. (2002). Non-stationary flow forces for the numerical simulation of aeroelastic instability of bridge decks. *Computers & Structures*, vol. 80, pp. 1071-1079.
- Feill, R. (1998). *Zum Einfluss frequenzabhängiger aerodynamischer Beiwerte auf das Antwortverhalten schlanker Strukturen unter stochastischer Windbelastung*. Ph.D. Thesis, Dept. Civil Eng., University of Aachen.
- Höffer, R (1997). *Stationäre und instationäre Modelle zur Zeitbereichssimulation von Windkräften an linienförmigen Bauwerken*. Ph.D. Thesis, Dept. Civil Eng., University of Bochum.
- Scanlan, R.H., Tomko, A. (1971), Airfoil and Bridge Deck Flutter Derivatives, *J. Eng. Mech. Div.*, vol. 97, ASCE, pp. 1717-1737.
- Scanlan, R.H., Bêliveau, J.-G., Budlong, K. (1974). Indicial aerodynamics functions for bridge decks. *J. Eng. Mech. Div.*, vol. 100, ASCE, pp. 657-672.
- Simiu E., Scanlan R. (1996). *Wind effects on Structures*. John Wiley & Sons, New York.
- Zahltén, W., Eusani, R., Schwarzkopf, D, Hortmanns, M. (2002). A combined experimental-numerical procedure for the aeroelastic design of footbridges under wind loading - Part 1: Numerical modelling of footbridges under stochastic wind loads, *Footbridge 2002*, Paris, Proceedings on CD-ROM.

Effetto del vento su strutture architettoniche complesse: influenza del numero di Reynolds

Alberto Zasso^a, Stefano Giappino^a, Sara Muggiasca^a

^aPolitecnico di Milano – Dipartimento di Meccanica, Milano

PAROLE CHIAVE: Numero di Reynolds, Carichi Aerodinamici, Galleria del Vento, Edifici, Rugosità Superficiale.

SOMMARIO

Il Nuovo Polo Fieristico di Milano presenta una complessa struttura architettonica; gli studi aerodinamici condotti presso la Galleria del Vento si sono concentrati sulla copertura in vetro e acciaio che si sviluppa lungo il viale centrale (Vela) e sull'edificio che ospita il centro servizi, struttura di forma conica e altezza rilevante (Logo). La Vela è composta da episodi architettonici di geometria curvilinea che potenzialmente la rendono soggetta a problemi di natura aerodinamica. I test in Galleria si sono sviluppati in due fasi: misure di pressione, mediante scanner ESP, su porzioni di modello rigido e misure dinamiche su modello aeroelastico della sezione più esposta al vento. Sul Logo sono state effettuate misure di pressione per individuare i carichi aerodinamici sulla superficie esterna.

La campagna di prove si è svolta nella camera di prova a strato limite della Galleria del Vento del Politecnico di Milano, dove sono stati ricreati il profilo di velocità e la turbolenza caratteristiche della zona (categoria di terreno III e $I_u=25\%$); l'intero complesso della Fiera è stato riprodotto per simulare l'effetto di interferenza degli edifici adiacenti.

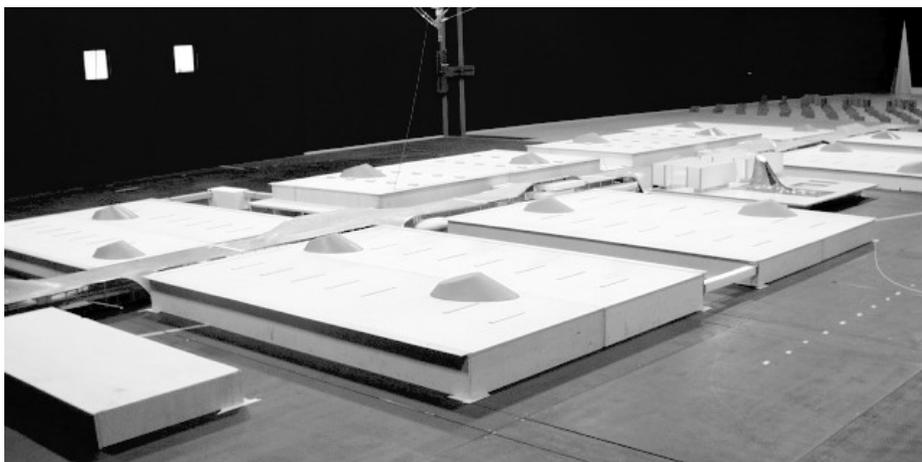


Figura 1. Modello del Nuovo Polo Fieristico di Milano nella camera di prova a strato limite.

I risultati relativi al Logo hanno mostrato coefficienti di pressione fortemente negativi sulle superfici parallele alla direzione del vento. Data la criticità dei valori ottenuti si è deciso di indagare più approfonditamente sul fenomeno, attraverso prove in un campo più esteso di velocità, per verificare un'eventuale dipendenza dei C_p dal numero di Reynolds, problematica talvolta presente negli studi su modelli in scala. La sola struttura del Logo, con gli edifici direttamente adiacenti, è quindi stata studiata nella camera di prova ad alta velocità in condizioni di flusso a basso indice di turbolenza. Le prove sono state condotte in diverse configurazioni (Tab. 1) dove i parametri soggetti

a variazione sono la velocità, la presenza degli edifici adiacenti e la rugosità della superficie del Logo.

Tabella 1. Configurazioni di prova adottate per i test in camera ad alta velocità

Configurazione	Descrizione	Velocità del vento (m/s)
A	Logo con superficie liscia senza edifici adiacenti.	8.8, 15, 25, 40, 55
B	Logo con superficie liscia con edifici adiacenti.	8.8, 15, 25, 40, 55
C	Logo con superficie nervata con edifici adiacenti.	8.8, 55
D	Logo con superficie rugosa con edifici adiacenti.	8.8, 15, 25, 40, 55

Nella configurazione A si vede una forte dipendenza dalla velocità dei coefficienti di pressione e del coefficiente di drag, ottenuto integrando le pressioni su una sezione orizzontale del Logo (Fig. 2a); tale comportamento è inquadrabile nel ben noto fenomeno di transizione a $Re \approx 10^5$, tipico delle sezioni circolari. L'aggiunta degli edifici, configurazione B, non ha comportato significative variazioni dei coefficienti evidenziandone la limitata influenza. Le configurazioni C e D mostrano l'influenza di un incremento della rugosità superficiale: i valori dei coefficienti di pressione e del coefficiente di drag risultano essere inferiori e indipendenti dalla velocità del flusso.

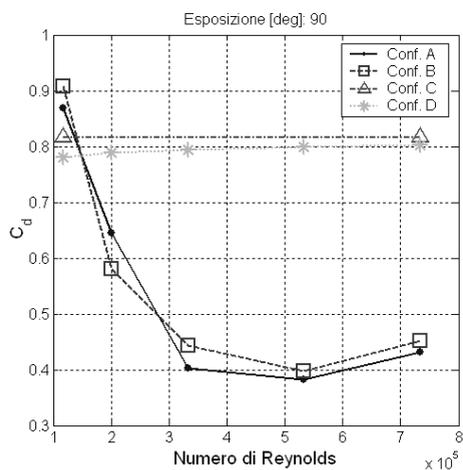


Figura 2a. Variazione del coefficiente di Drag in funzione del numero di Reynolds in diverse configurazioni.

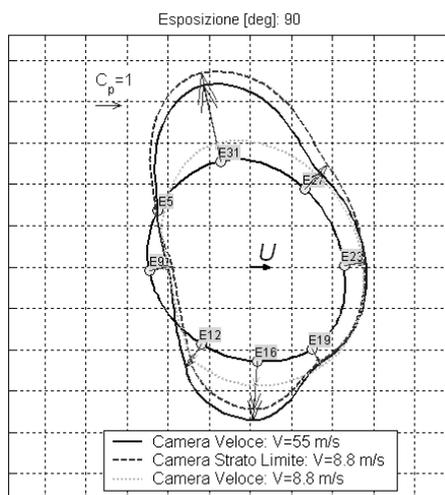


Figura 2b. Distribuzione del coefficiente di pressione in una sezione orizzontale del Logo.

Il confronto tra i risultati ottenuti nelle due differenti camere di prova ha mostrato un comportamento del Logo liscio in condizioni di bassa velocità e alto indice di turbolenza (camera di prova a strato limite) simile a quello riscontrato con un flusso incidente alla massima velocità e basso indice di turbolenza (camera di prova ad alta velocità) (Fig 2b). I risultati relativi alle prove condotte simulando correttamente il profilo e l'intensità di turbolenza del vento terrestre, sebbene riferiti a numeri di Reynolds minori rispetto al vero, sono comunque rappresentativi del comportamento del Logo ad alti Reynolds, ovvero al di sopra della transizione. Si è inoltre osservato che l'incremento della rugosità superficiale, a pari velocità, porta ad una riduzione delle forti depressioni locali e comporta un andamento del coefficiente di drag tipico della zona supercritica.

BIBLIOGRAFIA

- UNI ENV 1991-2-4 (1997) *Eurocodice1, , Basi di calcolo ed azioni sulle strutture. Parte 2-4: Azioni sulle strutture*
- Simiu E., Scanlan R. (1996). *Wind effects on Structures*. John Wiley & Sons, New York
- Claës Dyrbye, Svend Ole Hansen. (1997). *Wind effects on structures*. John Wiley & Sons, New York

Effetto Reynolds in prove in galleria del vento su modelli sezionali di ponte

A.Zasso^a, D.Rocchi^a, A.Tosi^a

^a Politecnico di Milano – Dipartimento di Meccanica – Campus Bovisa, Milano

PAROLE CHIAVE: Misure in galleria del vento, effetto Reynolds, flutter derivatives, coefficienti statici, modelli sezionali

ABSTRACT

Uno degli aspetti più complessi nella realizzazione di prove in scala da effettuare in galleria del vento per analizzare il comportamento di strutture investite dal vento è quello di riuscire a rispettare, nella riproduzione scalata della realtà, tutti gli aspetti fluidodinamici e dinamici relativi al fenomeno che si vuole indagare. La complessità dello studio aeroelastico delle strutture risiede nella mutua interazione tra i fenomeni fluidodinamici e quelli relativi alla dinamica strutturale che richiedono il rispetto di diversi parametri di similitudine. La realizzazione di un modello aeroelastico per prove dinamiche rappresenta sempre una scelta di compromesso tra la necessità di mantenere lo stesso rapporto dei tempi caratteristici della dinamica e della fluidodinamica tra il caso reale e quello riprodotto in scala, ovverosia riprodurre in Galleria del Vento lo stesso valore di velocità ridotta $V^* = V/fB$ (con V: velocità media del flusso; f: frequenza del moto; e B: dimensione caratteristica), e la necessità di riprodurre il fenomeno con un numero di Reynolds $Re = VB/\nu$ (con V: velocità media del flusso; B: dimensione caratteristica; e ν : viscosità cinematica del fluido) non troppo discosto da quello reale. La scelta è quasi sempre dominata dalla preferenza nel rispettare il parametro velocità ridotta in quanto la dipendenza del fenomeno fluidodinamico dal numero di Reynolds può essere limitata per campi di valori di tale parametro anche molto estesi.

L'esperienza maturata nello studio degli effetti del vento su superfici cilindriche Zdravkovich 2003 hanno evidenziato che in alcuni campi di velocità possono verificarsi delle modifiche del campo di moto fluidodinamico e di conseguenza delle forze che si generano sulla struttura notevolmente diverse. Altri elementi che comportano delle difficoltà nella riproduzione in scala degli effetti aerodinamici, sono gli elementi grigliati per cui una scalatura geometrica della maglia della griglia non produce il corretto ridimensionamento dell'effetto di perdita di carico.

Superfici curve ed elementi grigliati sono elementi particolarmente utilizzati nell'allestimento di impalcati di ponti, e una corretta valutazione degli effetti legati al numero di Reynolds deve essere condotta quando si eseguono le prove in galleria del vento per definire attraverso i coefficienti aerodinamici le caratteristiche aerodinamiche dell'impalcato di un ponte.

La recente realizzazione di prove sull'impalcato del Ponte sullo Stretto di Messina nella Galleria del Vento del Politecnico di Milano su un modello sezionale in scala 1:60, Belloli et al. 2003 ha fornito la possibilità di effettuare delle valutazioni riguardanti all'effetto Reynolds nell'elaborazione dei risultati sperimentali.

La possibilità di variare il numero di Reynolds di un fattore 2.5 cambiando la velocità media di esecuzione della prova consente di indagare un limitato intervallo di variazione di tale parametro, sufficiente tuttavia ad evidenziare la tendenza alla variazione del fenomeno fluidodinamico.

L'analisi delle variazioni dell'andamento dei coefficienti aerodinamici statici e dei coefficienti di Flutter Derivatives al variare della velocità di esecuzione della prova, ha consentito di associare la sensibilità a tale parametro al ramo delle curve ad angolo di attacco positivo, soprattutto quando il ponte mostra al vento la parte inferiore dei cassoni stradali e ferroviari (superfici curvilinee).

Tale comportamento è da ascrivere al differente comportamento dello strato limite che si genera in tali condizioni di assetto che determina differenti punti di separazione in funzioni delle condizioni di moto del flusso. L'introduzione di elementi che pilotino la posizione del punto di separazione della vena fluida dalla superficie curvilinea del cassone quali ad esempio dei "trip wire" posizionati nella parte sottovento dei cassoni stradali, oppure l'adozione di una geometria spigolosa al posto di quella curvilinea consentono di eliminare la dipendenza della stima dei coefficienti dalla velocità della vena nel campo di Reynolds indagato.

Lo sviluppo dello strato limite oltre che dalla velocità della vena è influenzato dalla finitura superficiale del profilo curvilineo. La transizione ad uno strato limite turbolento indotto da velocità di vena più elevate può essere facilitato dalla presenza di rugosità più o meno accentuata sulla superficie. Tale considerazione può essere sfruttata per simulare gli effetti di un flusso a numero di Reynolds superiore senza modificare la scala dimensionale del modello e la velocità del vento.

L'effetto dell'introduzione di diversi valori di rugosità è stata indagata e i risultati sono stati analizzati e confrontati con quelli prodotti in presenza di superficie liscia.

REFERENCES

- Belloli, M., Boccione M., Resta F., Tosi A. (2003) Forced motion and free motion aeroelastic tests on a new concept dynamometric section model of the Messina suspension bridge, Int. Conf. on Wind Engineering, Lubbock, Texas
- Zdravkovich M. M. (2003). *Flow around circular cylinders*. Oxford Science Publications, Oxford