

IN - VENTO - 2010

XI CONVEGNO NAZIONALE DI INGEGNERIA DEL VENTO

programma e sommari



spoleto'10

SPOLETO | ROCCA ALBORNOZIANA
30 giugno- 3 luglio

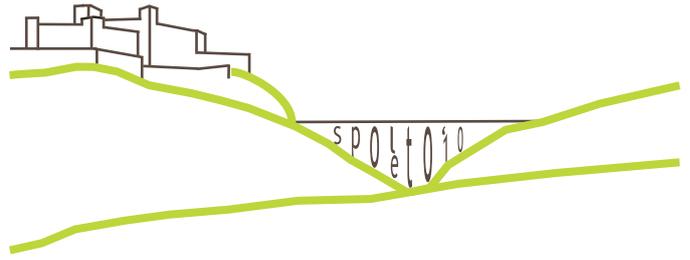


ASSOCIAZIONE NAZIONALE PER L'INGEGNERIA DEL VENTO

sezione italiana IAWQ

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR WIND ENGINEERING

XI CONVEGNO NAZIONALE DI INGEGNERIA DEL VENTO



I N - V E N T O - 2 0 1 0

SPOLETO | ROCCA ALBORNOZIANA | 30 giugno - 3 luglio

PROGRAMMA E SOMMARI

con il contributo di



Regione Umbria



Provincia di Perugia



Comune di Spoleto

con la sponsorizzazione di



ANCE PERUGIA



CALCESTRUZZI DI QUALITÀ



FONDAZIONE
CASSA DI RISPARMIO
DI SPOLETO



banca popolare
di spoleto spa



ORDINE INGEGNERI
PROVINCIA PERUGIA

con il supporto di



SISTEMI COSTRUTTIVI INDUSTRIALIZZATI



Instrumentation
Devices



PCB PIEZOTRONICS
A PCB GROUP COMPANY



DIPA
TRONIC



Filippucci s.r.l.



Engineering
Società di Ingegneria



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PERUGIA



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

COMITATO SCIENTIFICO

Giuliano AUGUSTI, Roma
Raffaele BALLI, Perugia
Gianni BARTOLI, Firenze
Claudio BORRI, Firenze
Luca BRUNO, Torino
Guido BURESTI, Pisa
Piero D'ASDIA, Pescara
Giorgio DIANA, Milano
Mario DI PAOLA, Palermo
Gaetano GAUDIOSI, Enea-Erg
Vittorio GUSELLA, Perugia (presidente)
Annibale L. MATERAZZI, Perugia
Federico PEROTTI, Milano
Giuseppe PICCARDO, Genova
Corrado RATTO, Genova
Francesco RICCIARDELLI, Reggio Calabria
Vincenzo SEPE, Pescara
Giovanni SOLARI, Genova
Paolo SPINELLI, Firenze
Alberto ZASSO, Milano

COMITATO ORGANIZZATORE LOCALE

Vittorio GUSELLA (presidente)
Massimiliano GIOFFRE' (segretario)
Federico CLUNI
Seymour M.J. SPENCE
Filippo UBERTINI
Ilaria VENANZI

SEGRETERIA SCIENTIFICA

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA)
Università degli Studi di Perugia
Via G. Duranti 93, I-06125, Perugia, Italy
Tel. +39-075-585-3902
Fax +39-075-585-3897
e-mail: convegno@in-vento-2010.org
web: www.in-vento-2010.org

SEDE DEL CONGRESSO

Salone d'Onore, Rocca Albornoziana, Piazza Campello, Spoleto (PG)

Mercoledì 30 Giugno	Giovedì 1 Luglio	Venerdì 2 Luglio	Sabato 3 Luglio
	08:30-09:00 Registrazione	08:30-09:00 Registrazione	
	09:00-09:45 Inaugurazione del convegno - Saluti delle autorità	09:00-10:15 Sessione D - Galleria del vento	09:00-09:45 Relazione ad invito <i>E. Simiu</i>
	09:45-10:30 Relazione ad invito <i>A. Allsop</i>		09:45-10:45 Sessione G - Ponti II
	10:30-11:00 Coffee break	10:15-10:45 Coffee break	10:45-11:15 Coffee break
	11:00-13:00 Sessione A - Carichi e strutture I	10:45-12:15 Sessione E - Energia Eolica	11:15-13:00 Sessione H - Modellazione vento
		12:15-13:00 Consiglio direttivo ANIV	13:00-13:30 Chiusura del convegno
	13:00-14:30 Pranzo	13:00-14:30 Pranzo	13:30- Pranzo
	14:30-16:15 Sessione B - Ponti I	14:30-16:15 Sessione F - PBD	
	16:15-16:45 Coffee break	16:15-16:45 Coffee break	
	16:45-18:30 Sessione C - Carichi e strutture II	16:45-18:30 Assemblea soci ANIV	
17:00-18:30 Registrazione			
18:30-19:30 Conferenza <i>Prof. B. Toscano</i>			
19:30- Cocktail di benvenuto		20:30- Cena sociale	

PROGRAMMA

MERCOLEDÌ 30 GIUGNO

17:00 – 18:30 Registrazione al Convegno

18:30 – 19:30 Conferenza Prof. Bruno Toscano (Professore Emerito Università Roma Tre)

19:30 – 20:30 Cocktail di benvenuto

GIOVEDÌ 1 LUGLIO

8:30 – 9:00 Registrazione al convegno

9:00 – 9:45 **Inaugurazione del convegno**

Prof. Vittorio Gusella

Presidente Associazione Nazionale per l'Ingegneria del Vento

Prof. Gianni Bidini

Preside Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Perugia

Prof. Annibale Luigi Materazzi

Direttore del Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università degli Studi di Perugia

Dott.ssa Catuscia Marini

Presidente della Regione Umbria

Sig. Daniele Benedetti

Sindaco Comune di Spoleto

Ing. Massimo Mariani

Presidente Ordine degli Ingegneri della Provincia di Perugia

9:45 – 10:30 **Presiede A. L. Materazzi**

Relazione ad invito

Andrew Allsop, Reliability of Tall Buildings against Wind Damage - Balancing Risk and Value in Design Practice

10:30 – 11:00 **Coffee break**

11:00 – 13:00 **Presiedono F. Perotti e L. Bruno**

Sessione A – Carichi e strutture I

- A.1) *Barbella G., Perotti F.* The response of slender structures to turbulent wind loads
- A.2) *Carassale L., Marrè Brunenghi M.* Analisi statistica della pressione agente su un corpo prismatico in galleria del vento
- A.3) *Iungo G. V., Lombardi E.* Time-frequency analysis of the dynamics of different vorticity structures generated from a triangular prism

- A.4) *Spence S. M. J., Bernardini E., Gioffré M.* Influence of the wind load correlation on the estimation of the generalized forces for 3D coupled tall buildings
- A.5) *Massai T., Bartoli G., Facchini L.* L'uso dei TLD nella mitigazione della risposta indotta dal vento su edifici alti: un caso di studio
- A.6) *Catanzaro C., Cheli F., Schito P., Tomasini G.* Sull'effetto di barriere antivento sui veicoli ferroviari: analisi numerica CFD
- A.7) *Olivato G., Lazzari M., Saetta A., Vitaliani R.* Wind aerodynamic loads on large structures: application on the roof of the stadium of Braga

13:00 – 14:30 Pranzo

14:30 – 16:15 Presiedono G. Diana e F. Ricciardelli

Sessione B – Ponti I

- B.1) *Bruno L., Fransos D.* Probabilistic evaluation of the aerodynamic behaviour of a trapezoidal bridge deck
- B.2) *Febo S., D'Asdia P.* Aeroelastic pre-design of streamlined multiple-box decks
- B.3) *Bartoli G., D'Asdia P., Febo S., Mannini C., Noè S., Procino L.* Innovative deck configurations for very long-span suspension bridges to prevent classical flutter instability
- B.4) *Jurado J. A., Hernández S., Nieto F.* Aeroelastic analysis of the proposal for the Forth Replacement Crossing Bridge
- B.5) *Belloli M., Fossati F., Giappino S., Muggiasca S.* Studio sull'aerodinamica e sulla risposta dinamica di una torre di ponte strallato
- B.6) *Nieto F., Hernández S., Jurado J. A.* CFD investigation on the proposed design for the Forth Replacement Crossing
- B.7) *Rocchi D., Zasso A., Argentini T., Rosa L., Ozkan E.* Cross wind effects on a vehicle crossing the wake of a bridge pylon

16:15 – 16:45 Coffee break

16:45 – 18:30 Presiedono M. Di Paola e V. Sepe

Sessione C – Carichi e strutture II

- C.1) *Carassale L., Longo R.* Effetti di scala nella risposta dinamica di strutture esposte al vento
- C.2) *Giaccu G. F., Caracoglia L.* Osservazioni sul comportamento dinamico non-lineare nei sistemi stralli-connettori per il controllo delle vibrazioni indotte dal vento
- C.3) *Facchini L., Mancini E.* Ricostruzione e simulazione neurale di campi di pressione su coperture estese – il caso dello Stadio di Siena
- C.4) *Giangreco S., Geller S., Krafczyk M., Sepe V.* Validation of a lattice Boltzmann model for snow transport and deposition by wind
- C.5) *Mannini C., Ferrucci M., Bartoli G.* Effetti non lineari nelle derivate di flutter di un impalcato da ponte
- C.6) *Pagnini L. C., Repetto M.P.* Il ruolo dell'incertezza dei parametri nella valutazione della vita a fatica indotta dalle azioni longitudinali del vento

- C.7) *Carassale L., Freda A., Piccardo G.* Condizioni critiche di galoppo per elementi di sezione quadrata comunque inclinati rispetto al flusso del vento

VENERDÌ 2 LUGLIO

8:30 – 9:00 Registrazione al convegno

9:00 – 10:15 **Presiedono** *C. Borri e G. Piccardo*

Sessione D – Galleria del vento

- D.1) *Bernardini E., Spence S. M. J., Gioffrè M., Gusella V.* Wind load correlation and its effects on the second order response properties of 3D coupled tall buildings
- D.2) *Crespi P., Longarini N.* Analisi al vento dei nuovi alti edifici di Milano
- D.3) *Bartoli G., Borsani A., Mannini C., Marra A.M., Procino L., Ricciardelli F.* Studio in galleria del vento del comportamento aerodinamico di un cilindro rettangolare 5:1 in flusso laminare
- D.4) *Rizzo F., D'Asdia P., Ricciardelli F., Bartoli G.* Caratterizzazione dei coefficienti di pressione su coperture a paraboloide iperbolico
- D.5) *Catanzaro C., Cheli F., Rocchi D., Tomasini G.* Studio dell'effetto Reynolds sui coefficienti aerodinamici di veicoli ferroviari mediante prove in galleria del vento
- D.6) *Cheli F., Diana G., Tomasini G., Volpe R.* Sull'effetto di barriere antivento sui veicoli ferroviari: analisi sperimentali in galleria del vento

10:15 – 10:45 **Coffee break**

10:45 – 12:15 **Presiedono** *A. Zasso e P. D'Asdia*

Sessione E – Energia eolica

- E.1) *Castellani F., Crasto G.* Actuator disc wind turbine wakes simulation: about the dependences on the wind shear conditions.
- E.2) *Gaudiosi G.* Wind turbine of large size
- E.3) *Borri C., Lupi F.* Structural optimization of solar towers to minimize wind induced effects
- E.4) *Marino E., Borri C.* Un modello integrato e completamente nonlineare vento-onde per la simulazione di turbine eoliche offshore
- E.5) *Petrini F., Bontempi F.* Handling uncertainties in Offshore Wind Turbines structural Performance evaluation
- E.6) *Argentini T., Diana G., Rocchi D.* Studio parametrico della risposta aerodinamica di una linea elettrica ad alta tensione posta sottovento a una turbina eolica
- E.7) *Andreani V., Compagnucci C., Fontinovo L.* Faro dei venti - vincitore concorso "Architettura, ingegneria e il vento"

12:15 – 13:00 **Consiglio direttivo ANIV**

13:00 – 14:30 **Pranzo**

14:30 – 16:15 Presiede G. Augusti

Sessione F – Sessione speciale PBD

- F.1) *Bartoli G., Mannini C., Massai T.* Il problema della combinazione dei carichi da vento negli edifici alti
- F.2) *Cluni F., Gusella V., Bartoli G.* Azione del vento su edifici alti: analisi dei momenti statistici di ordine superiore mediante misure HFFB e SMPSS
- F.3) *Falson G., Settineri D.* Un nuovo approccio per l'analisi di strutture soggette a forzanti aleatorie non bianche
- F.4) *Gioffré M, Spence S. M. J.* Assuring consistent safety levels in the wind induced response of tall buildings
- F.5) *Petrini F., Ciampoli M., Augusti G.* Serviceability assessment of Tall buildings in the framework of Performance-Based Wind Engineering
- F.6) *Diaferio M., Grilli V., Sepe V.* Performance of a 74 storey building under wind induced loads
- F.7) *Bellizzotti G., Sepe V., Vasta M.* Reduced models for wind-induced loads and structural response
- F.8) *Spence S. M. J., Gioffré M.* Efficient algorithms for the reliability optimization of tall buildings

16:15 – 16:45 Coffee break

16:45 – 18:30 Assemblea dei soci ANIV

20:30 – 22:30 Cena sociale

SABATO 3 LUGLIO

9:00 – 9:45 Presiede P. Spinelli

Relazione ad invito

Emil Simiu & DongHun Yeo, Wind and Structural Engineering: Ensuring an Effective and Transparent Division of Responsibilities

9:45 – 10:45 Presiedono P. Spinelli e G. Gaudiosi

Sessione G – Ponti II

- G.1) *Hernández S., Baldomir A., Jurado J. A., Nieto F.* Reliability analysis of flutter speed of long span bridges. Application to the Messina Bridge.
- G.2) *Marra A. M., Mannini C., Bartoli G.* Identificazione di parametri aeroelastici in lock-in su un prisma rettangolare
- G.3) *Domaneschi M., Martinelli L., Romano M.* Controllo ottimo di un ponte sospeso soggetto ad azioni eoliche
- G.4) *Sandon S., Solari G., Piccardo G.* La risposta eccitata da raffica di strutture snelle orizzontali: soluzione tridimensionale in forma chiusa
- G.5) *Ubertini F., Hong A. L., Betti R., Materazzi A. L.* Estimating aeroelastic effects from full bridge responses via OMA

10:45 – 11:15 Coffee break

11:15 – 13:00 Presiedono G. Bartoli e C. Ratto

Sessione H – Modellazione vento

- H.1) *Calmanti S., Dell'Aquila A., Maimone F., Pelino V.* High resolution wind data from an Earth System Model: towards responding to user needs.
- H.2) *Cottone G., Di Paola M.* Fractional Spectral Moments for the Representation of Multivariate Wind Velocity Processes
- H.3) *Pelino V., Maimone F., Volpe F.* Fenomeni di vento intenso dalle osservazioni del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare
- H.4) *Solari G., Repetto M. P., Burlando M.* La previsione del vento per la gestione e la sicurezza delle aree portuali
- H.5) *De Benedetti R, Repetto M. P., Solari G.* Neutralità e non neutralità atmosferica: caratterizzazione probabilistica e risposta al vento delle strutture
- H.6) *Ricciardelli F., Georgakis C.* The new DTU/Force Technology climatic wind tunnel: design, construction and calibration
- H.7) *Repetto M.P., Solari G., Tizzi M.* Il ruolo dei dati mancanti nella statistica dei venti estremi
- H.8) *Torrielli A., Repetto M.P., Solari G.* Analisi d'estremo di base dati eoliche di grande dimensione

13:00 – 13:30 Chiusura del convegno

INDICE

INDICE

Parte I: Relazioni ad invito

Allsop A.

Reliability of Tall Buildings against Wind Damage - Balancing Risk and Value in Design Practice pag. 3

Simiu E., Yeo D. H.

Wind and Structural Engineering: Ensuring an Effective and Transparent Division of Responsibilities pag. 5

Parte II: Memorie scientifiche

Argentini T., Diana G., Rocchi D.

Studio parametrico della risposta aerodinamica di una linea elettrica ad alta tensione posta sottovento a una turbina eolica pag. 9

Barbella G., Perotti F.

The response of slender structures to turbulent wind loads pag. 11

Bartoli G., Borsani A., Mannini C., Marra A.M., Procino L., Ricciardelli F.

Studio in galleria del vento del comportamento aerodinamico di un cilindro rettangolare 5:1 in flusso laminare pag. 13

Bartoli G., D'Asdia P., Febo S., Mannini C., Noè S., Procino L.

Innovative deck configurations for very long-span suspension bridges to prevent classical flutter instability pag. 15

Bartoli G., Mannini C., Massai T.

Il problema della combinazione dei carichi da vento negli edifici alti pag. 17

Bellizzotti G., Sepe V., Vasta M.

Reduced models for wind-induced loads and structural response pag. 19

Belloli M., Fossati F., Giappino S., Muggiasca S.

Studio sull'aerodinamica e sulla risposta dinamica di una torre di ponte strallato pag. 21

Bernardini E., Spence S. M. J., Giofrè M., Gusella V.

Wind load correlation and its effects on the second order response properties of 3D coupled tall buildings pag. 23

Borri C., Lupi F.

Structural optimization of solar towers to minimize wind induced effects pag. 25

Bruno L., Fransos D.

Probabilistic evaluation of the aerodynamic behaviour of a trapezoidal bridge deck pag. 27

Calmanti S., Dell'Aquila A., Maimone F., Pelino V.

High resolution wind data from an Earth System Model: towards responding to user needs pag. 29

<i>Carassale L., Freda A., Piccardo G.</i> Condizioni critiche di galoppo per elementi di sezione quadrata comunque inclinati rispetto al flusso del vento	pag. 31
<i>Carassale L., Longo R.</i> Effetti di scala nella risposta dinamica di strutture esposte al vento	pag. 33
<i>Carassale L., Marrè Brunenghi M.</i> Analisi statistica della pressione agente su un corpo prismatico in galleria del vento	pag. 35
<i>Castellani F., Crasto G.</i> Actuator disc wind turbine wakes simulation: about the dependences on the wind shear conditions	pag. 37
<i>Catanzaro C., Cheli F., Rocchi D., Tomasini G.</i> Studio dell'effetto Reynolds sui coefficienti aerodinamici di veicoli ferroviari mediante prove in galleria del vento	pag. 39
<i>Catanzaro C., Cheli F., Schito P., Tomasini G.</i> Sull'effetto di barriere antivento sui veicoli ferroviari: analisi numerica CFD	pag. 41
<i>Cheli F., Diana G., Tomasini G., Volpe R.</i> Sull'effetto di barriere antivento sui veicoli ferroviari: analisi sperimentali in galleria del vento	pag. 43
<i>Cluni F., Gusella V., Bartoli G.</i> Azione del vento su edifici alti: analisi dei momenti statistici di ordine superiore mediante misure HFFB e SMPSS	pag. 45
<i>Cottone G., Di Paola M.</i> Fractional Spectral Moments for the Representation of Multivariate Wind Velocity Processes	pag. 47
<i>Crespi P., Longarini N.</i> Analisi al vento dei nuovi alti edifici di Milano	pag. 49
<i>De Benedetti R., Repetto M. P., Solari G.</i> Neutralità e non neutralità atmosferica: caratterizzazione probabilistica e risposta al vento delle strutture	pag. 51
<i>Diaferio M., Grilli V., Sepe V.</i> Performance of a 74 storey building under wind induced loads	pag. 53
<i>Domaneschi M., Martinelli L., Romano M.</i> Controllo ottimo di un ponte sospeso soggetto ad azioni eoliche	pag. 55
<i>Facchini L., Mancini E.</i> Ricostruzione e simulazione neurale di campi di pressione su coperture estese – il caso dello Stadio di Siena	pag. 57

<i>Falsone G., Settineri D.</i> Un nuovo approccio per l'analisi di strutture soggette a forzanti aleatorie non bianche	pag. 59
<i>Febo S., D'Asdia P.</i> Aeroelastic pre-design of streamlined multiple-box decks	pag. 61
<i>Gaudiosi G.</i> Wind turbine of large size	pag. 63
<i>Giaccu G. F., Caracoglia L.</i> Osservazioni sul comportamento dinamico non-lineare nei sistemi stralli-connettori per il controllo delle vibrazioni indotte dal vento	pag. 65
<i>Giangreco S., Geller S., Krafczyk M., Sepe V.</i> Validation of a lattice Boltzmann model for snow transport and deposition by wind	pag. 67
<i>Gioffré M., Spence S. M. J.</i> Assuring consistent safety levels in the wind induced response of tall buildings	pag. 69
<i>Hernández S., Baldomir A., Jurado J. A., Nieto F.</i> Reliability analysis of flutter speed of long span bridges. Application to the Messina Bridge	pag. 71
<i>Iungo G. V., Lombardi E.</i> Time-frequency analysis of the dynamics of different vorticity structures generated from a triangular prism	pag. 73
<i>Jurado J. A., Hernández S., Nieto F.</i> Aeroelastic analysis of the proposal for the Forth Replacement Crossing Bridge	pag. 75
<i>Mannini C., Ferrucci M., Bartoli G.</i> Effetti non lineari nelle derivate di flutter di un impalcato da ponte	pag. 77
<i>Marino E., Borri C.</i> Un modello integrato e completamente nonlineare vento-onde per la simulazione di turbine eoliche offshore	pag. 79
<i>Marra A. M., Mannini C., Bartoli G.</i> Identificazione di parametri aeroelastici in lock-in su un prisma rettangolare	pag. 81
<i>Massai T., Bartoli G., Facchini L.</i> L'uso dei TLD nella mitigazione della risposta indotta dal vento su edifici alti: un caso di studio	pag. 83
<i>Nieto F., Hernández S., Jurado J. A.</i> CFD investigation on the proposed design for the Forth Replacement Crossing	pag. 85
<i>Olivato G., Lazzari M., Saetta A., Vitaliani R.</i> Wind aerodynamic loads on large structures: application on the roof of the stadium of Braga	pag. 87

<i>Pagnini L. C., Repetto M.P.</i> Il ruolo dell'incertezza dei parametri nella valutazione della vita a fatica indotta dalle azioni longitudinali del vento	pag. 89
<i>Pelino V., Maimone F., Volpe F.</i> Fenomeni di vento intenso dalle osservazioni della rete del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare	pag. 91
<i>Petrini F., Bontempi F.</i> Handling uncertainties in Offshore Wind Turbines structural Performance evaluation	pag. 93
<i>Petrini F., Ciampoli M., Augusti G.</i> Serviceability assessment of Tall buildings in the framework of Performance-Based Wind Engineering	pag. 95
<i>Repetto M. P., Solari G., Tizzi M.</i> Il ruolo dei dati mancanti nella statistica dei venti estremi	pag. 97
<i>Ricciardelli F., Georgakis C.</i> The new DTU/Force Technology climatic wind tunnel: design, construction and calibration	pag. 99
<i>Rizzo F., D'Asdia P., Ricciardelli F., Bartoli G.</i> Caratterizzazione dei coefficienti di pressione su coperture a paraboloidi iperbolici	pag. 101
<i>Rocchi D., Zasso A., Argentini T., Rosa L., Ozkan E.</i> Cross wind effects on a vehicle crossing the wake of a bridge pylon	pag. 103
<i>Sandon S., Solari G., Piccardo G.</i> La risposta eccitata da raffica di strutture snelle orizzontali: soluzione tridimensionale in forma chiusa	pag. 105
<i>Solari G., Repetto M. P., Burlando M.</i> La previsione del vento per la gestione e la sicurezza delle aree portuali	pag. 107
<i>Spence S. M. J., Bernardini E., Gioffré M.</i> Influence of the wind load correlation on the estimation of the generalized forces for 3D coupled tall buildings	pag. 109
<i>Spence S. M. J., Gioffré M.</i> Efficient algorithms for the reliability optimization of tall buildings	pag. 111
<i>Torrielli A., Repetto M.P., Solari G.</i> Analisi d'estremo di base dati eoliche di grande dimensione	pag. 113
<i>Ubertini F., Hong A. L., Betti R., Materazzi A. L.</i> Estimating aeroelastic effects from full bridge responses via OMA	pag. 115

PARTE I

RELAZIONI AD INVITO

Reliability of Tall Buildings against Wind Damage - Balancing Risk and Value in Design Practice

Andrew Allsop^a

^aWind engineering group, ARUP, London, United Kingdom

ABSTRACT

The design and construction of 'tall' buildings is hardly new, but has historically proceeded intermittently, occurring mainly at the ends of great economic cycles, rather than a mainstream continuing activity. Globalisation is however beginning to change this, with leading designers chasing work around the world, with others naturally keen to get involved, and heights of buildings in design stretching up towards 1 km and perhaps beyond. It is clear however that there are significant differences in design practice when it comes to tall building design around the world. In some cases the differences in loading, design and construction practice largely compensate for each other. In other cases this is less clear. What is clear it that codes of practice for design around the world are not generally written with tall buildings foremost in mind. This paper discusses the issues.

One of the key ideas of engineering is the "loading chain". The idea here is that a chain cannot be stronger than its weakest link and a loading and safety problem can be broken down into a series of simple and reliable steps to make a series of equal strength links in the chain. Alan Davenport however, as always, could readily see both the huge value of this concept for codification and its weakness when dealing with evaluation of reliability, especially with the large number of variables that must be considered in wind loading.

In Alan Davenport's paper on the wind loading chain, he subtly altered the purpose of the chain to be of more use for probabilistic calculation. The message became that strengthening our knowledge of the things we know most about is of limited value - if we neglect also to make progress with the important factors we know least about. The key engineering value in this approach is that often intermediate bits of the calculation may be greatly simplified, especially if they have no great impact on end-to-end reliability, and that most time and energy should be expended on the factors that are important and that we can gain most value by studying - coming back time and again to full-scale monitoring.

Following the historical work of Davenport (2002), Pugsley (1966), and others, it should be clear that we will never have enough data on real failures to enable us to make accurate calculations of reliability. The factors are numerous and include inadequacies of our structure and strength models, knowledge of the impact of workmanship and material variations, and the impact of design choices made for build-ability, quite apart from the wind factors. Historically engineering design has proceeded from precedent, often slowly reducing our safety margins until some point where a few significant failures occur, followed by a conservative step in the opposite direction. Reliability analysis is however more useful for comparing the reliability of one process with another similar one for which there is good experience.

In exploring these issues with tall buildings and comparing code approaches, simplification is essential. The key uncertainty identified by Davenport's reliability analyses is of the wind speeds that a particular structure may experience in its lifetime. This is critical but similar for tall- and low-rise buildings. However, critical design loads and movements of taller buildings are increasingly dependent on across-wind (vortex shedding) dynamic responses and damping, quite unlike low-rise, and thus affects the estimation of reliability of tall-buildings.

The discussion also considers the often surprising issues that arise in practice when carrying out complex wind loading analyses using wind tunnel studies and the performance based procedures necessary to control risks in such cases.

Davenport A. G. (2002). Past, present and future of wind engineering. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 90, pp. 1371-1380.

Pugsley A. (1966) *The safety of structures*. Arnold, London

Wind and Structural Engineering: Ensuring an Effective and Transparent Division of Responsibilities

Emil Simiu^a, DongHun Yeo^a

^aNational Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, USA

SOMMARIO

Al fine di assicurare prestazioni sicure durante la vita di una struttura soggetta a carichi esterni, normative e codici sono imposti ed impiegati durante le attività di progetto strutturale, ed il progetto è soggetto ad approvazione da parte di pubblico ufficiale. Al fine di garantire un efficace svolgimento ai procedimenti di progettazione ed approvazione, il progetto deve risultare (1) trasparente, (2) corretto, (3) sufficientemente ben documentato per garantire sia un minuzioso controllo sia il possibile confronto con risultati provenienti da laboratori di ingegneria del vento alternativi. Alcuni studi recenti suggeriscono che il raggiungimento di questi obiettivi nel caso di edifici alti soggetti a carichi da vento, che richiedono una continua interazione fra l'ingegnere strutturale e quello del vento durante la progettazione, necessita di un miglioramento nelle attività di coordinamento progettuale, sia strutturali sia di ingegneria del vento. La prima parte di questo studio intende dimostrare le motivazioni che, ad opinione degli autori, giustificano la necessità di questi miglioramenti. La seconda parte dello studio descrive una procedura per il progetto di edifici alti soggetti ai carichi da vento che soddisfa i tre criteri sopra elencati e che mantiene, allo stesso tempo, una chiara distinzione fra le responsabilità dell'ingegnere del vento da un lato e dello strutturista dall'altro.

ABSTRACT

To help assure safe performance under loads that may occur during a structure's lifetime, structural design practices are regulated by code provisions, and the design of the structure must be approved by a qualified public official. For the design and approval process to be effective, the design procedure must be (1) transparent, (2) sound, and (3) sufficiently well documented to allow careful scrutiny, as well as comparisons with results obtained by alternative engineering laboratories. Recent evidence suggests that achieving this goal on tall building projects, which entail strong interactions between wind and structural engineers during the design stage, requires improvements in wind and structural engineering practices. The first part of this paper attempts to show why, in our opinion, such improvements are necessary. The second part of the paper describes a procedure for the design of tall structures subjected to wind loads that satisfies the three requirements listed above, while clearly delineating the distinct responsibilities of the wind engineer on the one hand and of the structural engineer on the other.

PARTE II

MEMORIE SCIENTIFICHE

Studio parametrico della risposta aerodinamica di una linea elettrica ad alta tensione posta sottovento a una turbina eolica

Tommaso Argentini ^a, Giorgio Diana ^b, Daniele Rocchi ^c

^a Politecnico di Milano, Dipartimento di Meccanica, Milano, tommaso.argentini@mecc.polimi.it

^b Politecnico di Milano, Dipartimento di Meccanica, Milano, giorgio.diana@polimi.it

^c Politecnico di Milano, Dipartimento di Meccanica, Milano, daniele.rocchi@polimi.it

SOMMARIO

La risposta dinamica di una linea elettrica ad alta tensione posta sottovento a una turbina eolica è fortemente influenzata dall'effetto della scia generata dalla presenza e dal moto del generatore stesso. Al fine di valutare questo fenomeno è stata effettuata una campagna sperimentale in galleria del vento su un modello aeroelastico in scala 1:50 di una linea aerea di 400m posta in scia ad una turbina di potenza 3MW e diametro D di 90m, al vero. La risposta dinamica della catenaria della linea elettrica è stata analizzata al variare della velocità media del vento turbolento incidente, della quota della catenaria (h) e della distanza tra turbina e catenaria (d), come schematizzato in Figura 1.

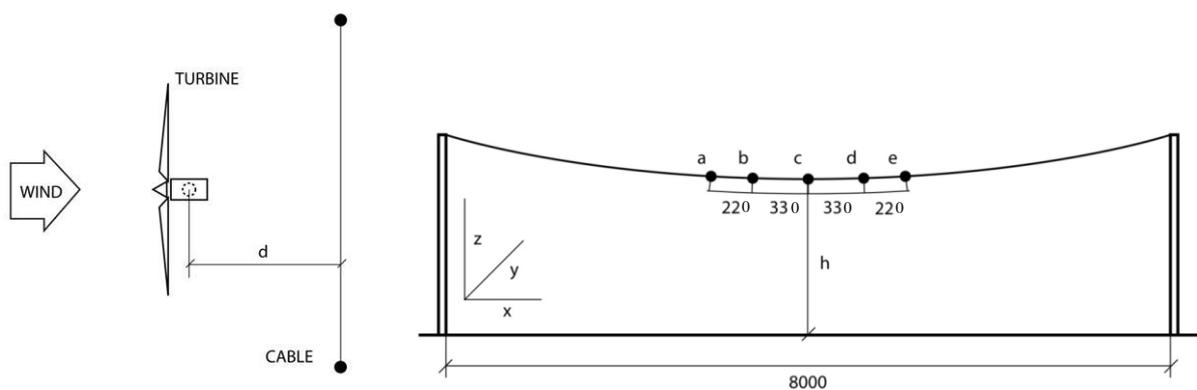


Figura 1. Schema della posizione relativa tra turbina e catenaria vista dall'alto (a sinistra). Catenaria e posizione dei target per la misura del moto (a destra), con distanze in mm.

La turbina eolica è costituita da tre parti fondamentali: torre, navicella e rotore. La torre (di altezza 85 m al vero) e la navicella sono rigide, mentre il rotore può ruotare attorno al suo asse con velocità angolare controllata da un motore elettrico, situato all'interno della navicella. Le pale sono vincolate all'albero del motore in modo da consentire di adeguare l'angolo d'attacco in funzione della velocità del vento in analogia al funzionamento al vero. Il modello aeroelastico della catenaria riproduce una campata di 400 m (8 m in scala) di un conduttore di diametro 37.3 mm e ne rispecchia le proprietà dinamiche e le caratteristiche aerodinamiche, con scalatura secondo Froude.

Al fine di consentire misure accurate e non invasive per determinare la risposta della linea aerea è stato utilizzato un sistema di acquisizione ed elaborazione di immagini studiato e realizzato nei laboratori della galleria del vento del Politecnico di Milano (Fossati *et al.*, 2008). Questo sistema di misura è costituito da tre telecamere ad infrarossi munite di illuminatori LED ad elevata intensità e da un PC in grado di acquisire, registrare ed elaborare le immagini ad una frequenza di campionamento di 17Hz. Le tre telecamere, puntate sul modello, registrano da diverse angolazioni 5 target sferici posizionati sul modello (vedi Fig.1), in grado di riflettere la luce infrarossa emessa dai LED. Le immagini, acquisite in modo sincrono, vengono processate da un software, che determina

per triangolazione la posizione 3D dei target, a seguito di una opportuna calibrazione che permette di correggere gli errori di prospettiva e di aberrazione geometrica.

Sono state analizzate le seguenti configurazioni e le rispettive combinazioni: velocità del vento da 4 a 25 m/s (al vero), distanza d pari a 1.5 e 2.5 diametri D della turbina e assenza della turbina, altezza da terra della catenaria, h , pari a 21.5 m, 31 m e 38.5 m in modo da rappresentare le molteplici catenarie che costituiscono la linea elettrica.

Analizzando gli spostamenti medi della catenaria, a parità di h e velocità media, si nota che la presenza della turbina non scherma il cavo, bensì la scia generata tende a far aumentare la deflessione media della catenaria, a causa dell'incremento di velocità presente nella zona prossima al tip della pala, come confermato da misure anemometriche effettuate nella scia della turbina. In tale zona è presente anche una elevata vorticosità indotta dalla passaggio delle pale che determina il forzamento dinamico della catenaria. Si assiste, a pari velocità del vento, ad un aumento della deviazione standard degli spostamenti dei target nella direzione del vento medio, al diminuire della distanza d . A pari velocità e d , l'ampiezza d'oscillazione della catenaria aumenta al diminuire della sua quota. A titolo di esempio si riporta in Figura 2 lo spostamento y dei target per differenti configurazioni. L'analisi in frequenza della risposta dinamica mette inoltre in luce come molteplici modi di vibrare siano eccitati dalla turbolenza della scia del generatore.

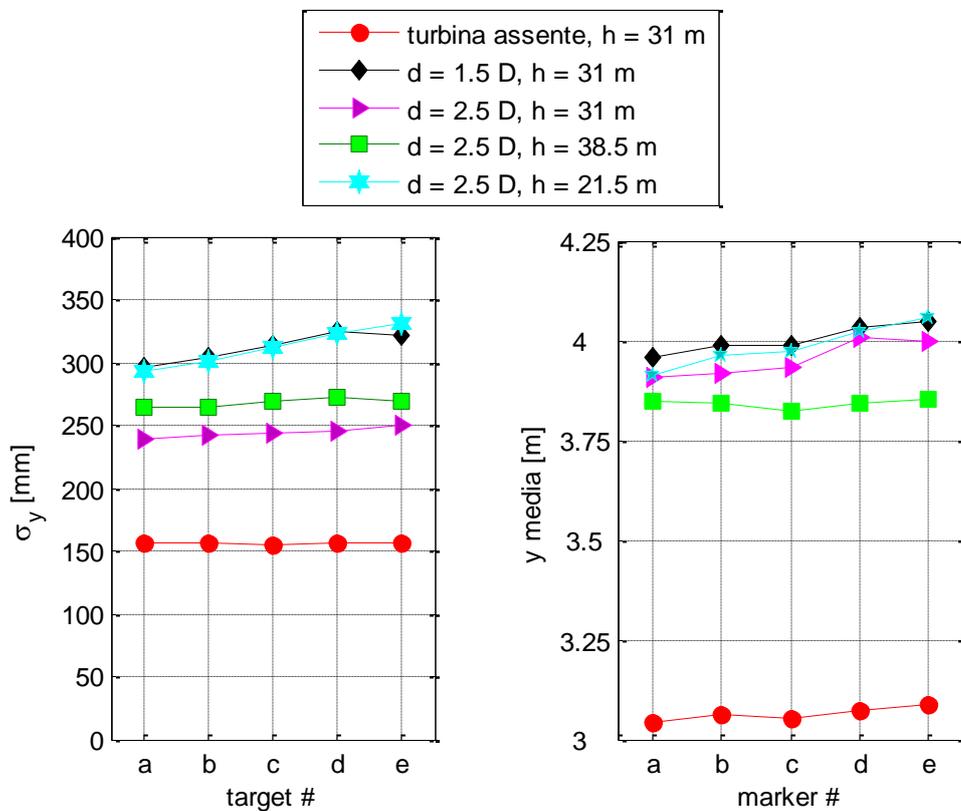


Figura 2. Spostamento medio e deviazione standard della catenaria per differenti configurazioni del sistema turbina-cavo, a parità di velocità del vento (2 m/s in scala)

F. Fossati, F. Martina, D. Rocchi, R. Sala, and A. Basso (2008). A multicamera displacement measuring system for boundary layer wind tunnel tests. In *The Eighth IASTED International Conference on Visualization, Imaging and Image Processing, VIIP 2008*, Palma de Mallorca, Spain.

R.J. Barthelmie S.T. Frandsen, O. Rathmann, K. Hansen, E.S. Politis, J. Prospathopoulos, D. Cabezón, K. Rados, S.P. van der Pijl, J.G. Schepers, W. Schlez, J. Phillips and A. Neubert: Flow and wakes in large wind farms in complex terrain and offshore. *European Wind Energy Conference and Exhibition*, Brussels (BE), 31 March - 3 April 2008

The response of slender structures to turbulent wind loads

G. Barbella, F. Perotti

Dipartimento di Ingegneria Strutturale – Politecnico di Milano

SUMMARY

One of the most challenging issues in the modern design of tall buildings is related to the evaluation of response to wind actions, which is often much more demanding, in terms of ultimate resistance and serviceability behavior, when compared to seismic response. The current normative framework (CEN EN 1991-1-4, 2005), based on simplified computing methodologies consisting of equivalent static analyses, seems to be inadequate – and thus not applicable – for complex and/or sensitive structures, or when basic regularity requirements are not fulfilled. In these cases, more refined methods are recommended, even though without precise references or guidelines.

On the other hand, the increasing availability and accuracy of Boundary Layer Wind Tunnel (BLWT) tests data allows to obtain a sophisticated description of the aerodynamic behavior of the structure, which can be exploited to evaluate the dynamic structural response to gust buffeting phenomena. This can be done in different ways; here two different procedures have been considered. The first makes use of the whole set of time history recordings, coming from wind tunnel pressure measurements, as forcing terms to be applied to the structure in a deterministic context; in the second a stochastic approach is adopted, based on a probabilistic model of the wind turbulence, on a suitable description of the fluid-structure interaction and on a characterization of the building aerodynamic properties. Note that the stochastic procedure can be adopted in absence of experimental results as well, provided that a reliable set of aerodynamic coefficients can be found in the literature for the building geometry.

In the present work both approaches are addressed (Barbella, 2009) by proposing a numerical procedure based on the Direct Frequency Domain (DFD) approach, which shows superior capabilities in the field of linearized modeling of complex structural systems; typical situations are related to soil-structure interaction, to the use of materials or structural components characterized by different damping properties or to the adoption of special devices, such as Tuned Mass Dampers. Moreover, DFD procedures are almost unaffected by the introduction of linearized fluid-structural interaction effects leading to nonsymmetric aerodynamic stiffness and damping matrices.

In the stochastic procedure here proposed the three-dimensional description of wind turbulence is formulated according to the current code regulation parameters and to the stochastic model proposed in (Solari & Piccardo, 2001), based on the hypothesis of stationarity of the turbulence process. Moreover, a criterion is proposed to fully exploit the amount of BLWT data, when available, accounting for the statistical properties of experimental time-histories of pressure measurement in order to update the turbulence intensities values provided by the code. This allows to include in the stochastic model, though in a simplified way, the effects of the actual surrounding area on the wind turbulence field.

Fluid-structure interaction forces are subsequently computed according to the Morison approach under the quasi-steady assumption, depending on the aerodynamic drag, lift and moment coefficients. The linearization of such forces leads to the definition of the static, dynamic, damping and stiffness contributions, respectively depending on mean wind velocity, turbulence components, structure velocities and structure displacements. Finally, distributed wind loads are applied to the structure by considering two-node “aerodynamic” linear elements, ideally representing the axis of the slender body immersed in the fluid flow. Such an approach, in the case of tall buildings, is adopted under the hypothesis of in-plane rigid floor diaphragms.

Note that a direct stochastic procedure fully accounts for the contribution of higher vibration modes and is thus suitable for computing expected values of floor acceleration in order to verify the satisfaction of serviceability requirements related to comfort.

From the strictly computational viewpoint, the DFD approach has to be dealt with by the use of specifically suited numerical tools (Feriani *et al.*, 2000; Simoncini & Perotti, 2002), to reduce the requirements in terms of computing resources. In both cases, deterministic and stochastic, one of the most critical aspects of DFD lies in the solution of the complex nonsymmetric linear system with multiple right-hand-side (rhs), which is sought for all frequency steps. The solution strategies here adopted are based on a class of iterative solvers, namely Krylov subspace projection methods (Saad, 1996), for which all the solutions of the linear system corresponding to different frequency values can be projected onto the same subspace. In this work, block and shifted versions of different Krylov methods with deflation are implemented.

Real-life examples are reported, showing the high level performance of the numerical procedure, and the effectiveness of the proposed methodology for the estimation of extreme values of structural response to wind loads, in terms of both internal forces and floor accelerations. These values have been successfully compared to those obtained by the direct deterministic procedure fully exploiting BLWT measurements.

In one of the case studies, the building experimental behavior showed, at some incidence angles of the average flow, significant vortex shedding excitation; the latter was characterized by low-frequency components, well below the structure eigenspectrum, and by a high degree of coherency among floor resultants. These properties suggested the adoption of static equivalent forces to model the vortex shedding effect; in this light, and assuming that external and self-induced turbulence effects are uncorrelated, the following procedure has been tested.

1. The stochastic DFD dynamic analysis was performed to account for external turbulence and the extreme values of structural response were computed.
2. The transverse equivalent static forces according to (CNR-DT 207, 2008), accounting for vortex shedding excitation, were computed according to the experimentally determined Strouhal number; static response to these forces was computed.
3. Extreme values of random response from (1) and static response effects from (2) were superimposed by the SRSS (Square Root of the Sum of the Squares) rule.
4. Results were compared to those obtained by the dynamic deterministic approach directly employing experimental time-histories of BLWT pressure measurements. The comparison showed a reasonable degree of conservatism of the proposed stochastic procedure.

Finally, a procedure is under development to detect aerodynamic instability due to galloping phenomena.

CEN EN 1991-1-4 (2005). *Eurocode 1: Actions on structures, Part 1-4: General actions – Wind actions*, European Committee for Standardization, Brussels

Barbella G. (2009). *Frequency domain analysis of slender structural systems under turbulent wind excitation*, Ph.D. thesis, Doctoral School in Structural, Earthquake and Geotechnical Engineering, Politecnico di Milano

Solari G., Piccardo G. (2001). Probabilistic 3-D turbulence modelling for gust buffeting of structures, *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 16(1), pp. 73–86

Feriani A., Perotti F. and Simoncini V. (2000). Iterative system solvers for the frequency analysis of linear mechanical systems, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 190, pp. 1719–1739

Simoncini V., Perotti F. (2002). On the numerical solution of $(\lambda^2 A + \lambda B + C)x = b$ and application to structural dynamics, *SIAM Journal on Scientific Computing*, Vol. 23(6), pp. 1875–1897

Saad Y. (1996). *Iterative methods for sparse linear systems*, PWS Publishing Company

CNR-DT 207 (2008). *Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni*, Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Roma

Studio in galleria del vento del comportamento aerodinamico di un cilindro rettangolare 5:1 in flusso laminare

Gianni Bartoli^a, Alessandra Borsani^a, Claudio Mannini^a, Antonino M. Marra^a,
Lorenzo Procino^a, Francesco Ricciardelli^b

^a CRIACIV/ DICeA, Università degli Studi di Firenze

^b DIMET, Università degli Studi di Reggio Calabria

SOMMARIO

Questo lavoro si colloca nel quadro dello studio di benchmark sul comportamento aerodinamico della sezione rettangolare 5:1 (Bartoli *et al.* 2009), lanciato nel corso del VI International Colloquium on Bluff Bodies Aerodynamics and Applications, tenutosi nel giugno 2008 a Milano.

La sezione rettangolare, assieme a quella quadrata e quella circolare, rappresenta una delle forme “classiche” per l’aerodinamica dei corpi tozzi. Infatti, essendo rettangolare la pianta di molte strutture (es. edifici) oppure la loro estrema schematizzazione (es. impalcati da ponte), questa geometria è stata oggetto di molti studi. Inoltre, la semplicità di tale sezione permette un’analisi dettagliata dei fenomeni fisici che caratterizzano il campo di flusso attorno ad un corpo prismatico di lunghezza teoricamente infinita.

Rispetto alla sezione circolare e a quella quadrata, le cui forme sono inequivocabili, la sezione rettangolare è univocamente definita una volta fissato il rapporto tra i suoi lati, qui chiamato “rapporto di forma” B/D , essendo B la larghezza e D l’altezza della sezione. In relazione al suo valore, con riferimento al distacco di vena che si manifesta in corrispondenza degli spigoli, le sezioni rettangolari possono essere classificate come sezioni con flusso completamente separato ($B/D \leq 3$) oppure sezioni con flusso riattaccato ($B/D \geq 6$). I rapporti di forma compresi tra 3 e 6 contraddistinguono le sezioni in cui il flusso appare caratterizzato da un riattacco alternato degli strati limite (Simiu & Miyata 2006). Probabilmente, proprio a causa di questa ambiguità di comportamento, alla sezione rettangolare con rapporto tra i lati pari a 5 in passato è stata rivolta minore attenzione rispetto alle sezioni con rapporti di forma cui corrisponde un comportamento aerodinamico più chiaramente definito. Pertanto, anche per questo motivo, appare utile investigare nel dettaglio il comportamento della sezione con rapporto fra i lati B/D pari a 5.

Alcune indagini specifiche su tale sezione sono emerse in letteratura nell’ultimo decennio, tra i quali occorre ricordare gli studi sperimentali di Matsumoto *et al.* (2003), Galli (2005), Ricciardelli & de Grenet (2005), Schewe (2006, 2009), Ricciardelli & Marra (2008), Ricciardelli (2010) e quelli numerici di Bruno *et al.* (2009), Mannini *et al.* (2008, 2009).

Allo scopo di studiare alcuni aspetti essenziali del comportamento aerodinamico di un corpo prismatico con tale geometria, un modello sezione in alluminio è stato testato in flusso laminare nella galleria del vento del CRIACIV (Centro di Ricerca Interuniversitario di Aerodinamica delle Costruzioni e Ingegneria del Vento). Il modello, con sezione trasversale 300×60 mm, per avere un bloccaggio inferiore al 5 %, è lungo 2380 mm, cosicché il rapporto di snellezza risulta di poco inferiore a 8. Particolare cura è stata rivolta all’effettiva prismaticità del modello, alla qualità delle superfici e agli spigoli che dovevano risultare il più possibile vivi. Sono state predisposte 543 prese di pressione distribuite in 9 registri trasversali, uno da 130 prese e 8 da 46 prese, ai quali si aggiungono 8 registri longitudinali da 13 prese. In particolare, il registro da 130 prese è ottenuto disponendo ad una distanza di 1.5 cm due registri sfalsati da 70 e 73 prese, con 13 prese ripetute per controllo. In Fig. 1 è riportato il sistema di chiusura del modello, la cui caratteristica principale è quella di non produrre alcun disturbo significativo al flusso attorno al corpo.

In questa prima campagna sperimentale, dalla misura del campo di pressione attorno alla sezione trasversale centrale, sono stati ottenuti i coefficienti di resistenza, di portanza e di momento. Infine, mediante misure anemometriche in scia, è stato stimato il numero di Strouhal.

Nella memoria si riportano i primi risultati ottenuti nel corso delle campagne di prova effettuate.

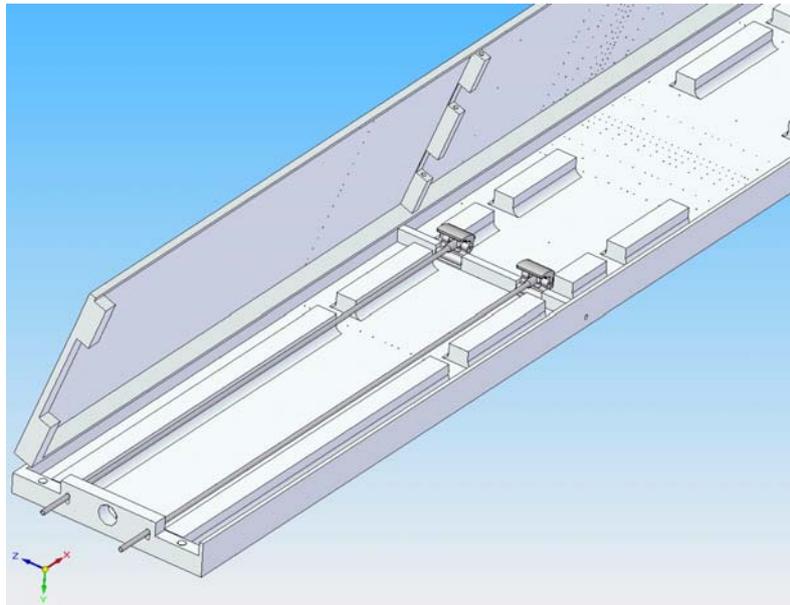


Fig. 1 Vista tridimensionale del modello aperto, con evidenziato il sistema di chiusura proposto.

RIFERIMENTI

- Bartoli G., Bruno L., Buresti G., Ricciardelli F., Salvetti M. V., Zasso A. (2008). BARC overview document. <http://www.aniv-iaawe.org/barc>.
- Bruno L., Fransos D., Coste N., Bosco A. (2009). "3D flow around a rectangular cylinder: a computational study", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, in stampa.
- Galli F. (2005). "Comportamento aerodinamico di strutture snelle non profilate: approccio sperimentale e computazionale", *Tesi di laurea*, Politecnico di Torino.
- Mannini C., Soda A., Schewe G., Weinman K. (2008). "Detached-eddy simulation of flow around 1:5 rectangular cylinder", *Proceedings of the 6th International Colloquium on Bluff Bodies Aerodynamics and Applications*, Milano, Italy, July 20-24.
- Mannini C., Weinman K., Soda A., Schewe G. (2009). "Three-dimensional numerical simulation of flow around a 1:5 rectangular cylinder", *Proceedings of the 5th European and African Conference on Wind Engineering*, Florence, Italy, July 19-23.
- Matsumoto M., Shirato H., Araki K., Haramura T., Hashimoto T. (2003). "Spanwise coherence characteristics of surface pressure field on 2-D bluff bodies", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 91, 155-163.
- de Grenet E. T., Ricciardelli F. (2005). "The span-wise correlation of aerodynamic forces on a rectangular cylinder for different vibration regimes". *Proceedings of the 6th European Conference on Structural Dynamics EURODYN*, Paris, France, September 4-7, 2005.
- Ricciardelli F., Marra A. M. (2008). "Sectional aerodynamic forces and their longitudinal correlation on a vibrating 5:1 rectangular cylinder", *Proceedings of the 6th International Colloquium on Bluff Bodies Aerodynamics and Applications*, Milano, Italy, July 20-24.
- Ricciardelli F. (2010). "Effects of the vibration regime on the spanwise correlation of the aerodynamic forces on a 5:1 rectangular cylinder". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 98, 215-225.
- Schewe G. (2006). "Influence of the Reynolds-number on flow-induced vibrations of generic bridge sections", *Proceedings of the International Conference on Bridges*, Secon HDGK, pp. 351-358, Dubrovnik, Croatia, May 21-24.
- Schewe G. (2009). "Reynolds-number-effects in flow around a rectangular section with aspect ratio 1:5", *Proceedings of the 5th European and African Conference on Wind Engineering*, Florence, Italy, July 19-23.
- Simiu E., Miyata T. (2006), *Design of buildings and bridges for wind*, John Wiley & Sons.

Innovative deck configurations for very long-span suspension bridges to prevent classical flutter instability

Gianni Bartoli^a, Piero D'Asdia^b, Sofia Febo^b, Claudio Mannini^a, Salvatore Noè^c,
Lorenzo Procino^a

^aCRIACIV/Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of Florence, Italy

^bCRIACIV/PRICOS, University "G. D'Annunzio" of Chieti-Pescara, Italy

^cCRIACIV/Dept. of Civil Engineering University "G. D'Annunzio" of Trieste, Italy

PAROLE CHIAVE: suspension bridges, large spans, multiple-decks, aeroelasticity, classical flutter.

ABSTRACT

In this paper, main results about of an ongoing research on multiple-box steel decks for very long-span suspension bridges are reported. Starting from the classical multiple-box deck configurations and, in particular, from the most outstanding example studied for the crossing of Messina Strait, Italy (Brancaleoni & Diana, 1993; Diana et al., 1995; D'Asdia & Sepe, 1998), an innovative approach to the design of long-span bridges to avoid classical flutter is presented. For this type of bridge, by increasing the span length the contribution to the stiffness of the suspension cables becomes dominant with respect to that of the deck. As a consequence, the ratio between the frequency of the 1st torsional mode to the frequency of the 1st vertical bending mode approaches unity (for example 1.3 if the mass distribution is constant over the deck width, as shown in Bartoli et al. 2006; Febo, 2007), so that, the single-DoF torsional flutter is excluded (that is unlikely for *streamlined* sections), two-DoF classical flutter can occur at a more or less high wind speed in relation with the dynamic and aerodynamic properties of the structure (e.g. Simiu & Scanlan, 1996 and Dyrbye & Hansen, 1997). In this case, to increase the frequency separation (i.e. to enhance the critical wind velocity) by means of particular structural solutions, such as crossed hangers, can be an effective answer to the aeroelastic instability for long span suspension bridges (Bartoli et al., 2006; Febo, 2007), even if it implies a slight higher cost of the structure.

The study presented herein intend to propose long span suspension bridges that, for their particular mass distribution over the multiple-box deck, show two important potentialities: on one hand, a total inhibition of the classical flutter instability mechanism in the range of wind speed of practical interest; on the other, a significant cost savings due to the simpler deck construction. The basic idea originates from the assumption that a two-DoF linear oscillator with frequency ratio lower than unity cannot undergo classical flutter instability (Dyrbye & Hansen, 1997; Febo, 2007; Bartoli et al., 2008, 2009).

In a first phase, limiting so far to road bridges only and keeping unchanged some geometrical characteristics of the original Messina Strait bridge (the main span length, 3300 m, the approaching span lengths, 960 m on the Sicilian coast and 810 m on the Calabrian coast, the main suspension cable sag, 300 m, the height of the towers, about 380 m and the roadways box shape), some twin-box girder decks with spacing between the main cables of 26 m (Fig. 1), 39 m and 52 m have been taken into account (Bartoli et al., 2007, 2008, 2009). Both wind-tunnel tests, performed in the CRIACIV laboratory, and numerical simulations on a complete FE model (using the aerodynamic coefficients measured in the wind tunnel) have been carried out, confirming that for the aforementioned bridge structures the lower modes of vibration cannot couple and therefore cannot give rise to classical flutter instability in the range of wind speed of practical interest (Bartoli et al., 2008, 2009).

With these preliminary encouraging results and in order to estimate the possibility of cost reductions (as a matter of fact, the use of boxes similar to those of the design of the deck of Messina

Strait Bridge requires a sophisticated and expensive metallic carpentries), some simpler “traditional” typologies of multiple-box deck have been taken into account, such as truss girders or steel boxes as transversal beams and orthotropic slabs supported by steel beams or steel boxes for the roadway. Preserving the same global size and the mechanical characteristics of the preliminary bridges, each new deck configuration has been pre-designed verifying the serviceability and ultimate conditions in compliance with the original design criteria of the Messina bridge and the Eurocode specifications. In this paper, the results concerning the simplest analyzed case is described: a twin-box deck with two roadways supported by a classical orthotropic steel deck with four plate-girders and a box girder for the main transverse beams (Fig 2). The distance between the main cables is 40 m, while the distance between the main transverse beams is 20 m.

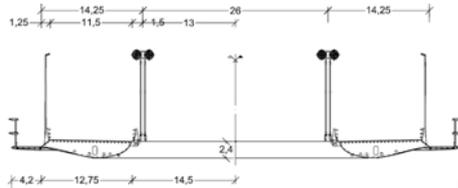


Fig. 1: Cross-section of the deck with main suspension cables spaced 26 m apart

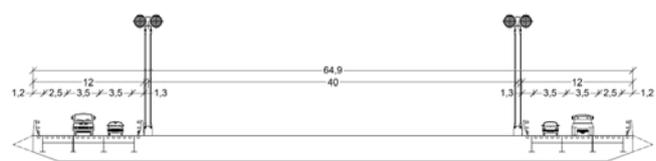


Fig. 2: Cross-section of the simplified deck with main suspension cables spaced 40 m apart

During this research campaign an analytical-experimental approach has been followed: the aerodynamic behaviour have been evaluated by means of wind tunnel tests, performed in the CRIACIV laboratory, and numerical simulations on global FE models of the structure. The results seem to lead to the conclusion that the proposed solution presents a frequency ratios of 1st torsional-to-1st vertical bending modes lower than one, so that classical flutter instability is prevented in the range of wind speed of practical interest. Moreover the solution is feasible and can imply significant saving of material and reduction of construction costs with respect to the traditional solutions so far employed.

1. BIBLIOGRAFIA

- Bartoli G., D’Asdia P., Febo S., Mannini C., Pastò S., Procino L. (2006). Analisi di sensibilità aeroelastica nella progettazione di ponti sospesi di grande luce. Parte II: aspetti progettuali, In P. D’Asdia, V. Sepe and S. Febo (Eds.), *Proc. 9th Italian National Conference on Wind Engineering IN-VENTO*, Pescara, Italy
- Bartoli G., D’Asdia P., Febo S., Mannini C., Pastò S., Procino L. (2007). Innovative solutions for the design of long-span bridges: investigation on the aeroelastic behavior of multiple-box girder deck sections, *Proc. 12th International Conference on Wind Engineering*, Cairns, Australia
- Bartoli G., D’Asdia P., Febo S., Mannini C., Pastò S., Procino L. (2008). Innovative solutions for long-span suspension bridges, In M. Belloli, F. Cheli, G. Diana, S. Muggiasca, D. Rocchi and A. Zasso (Eds.), *Proc. 6th International Colloquium on Bluff Bodies Aerodynamics and Applications*, Milan, Italy
- Bartoli G., D’Asdia P., Febo S., Mannini C., Noè S., Procino L. (2009). Innovative configurations for long-span suspension bridges, *Proc. 5th European and African Conference on Wind Engineering*, Florence, Italy
- De Miranda M., Bartoli G. (2001). Aerodynamic optimization of decks of cable-stayed bridges, *Proc. IABSE Symposium*, Seoul, South Korea
- Brancaleoni F., Diana G. (1993). The aerodynamic design of the Messina Straits Bridge, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, Vol. 48, pp. 395-409
- D’Asdia P., Sepe V. (1998). Aeroelastic instability of long span suspended bridges: a multi-mode approach, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, Vol. 74-76, pp. 849-857
- Diana G., Falco M., Bruni S., Cigada A., Larose G.L., Damsgaard A., Collina A. (1995). Comparisons between wind tunnel tests on a full aeroelastic model of the proposed bridge over Stretto di Messina and numerical results, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, Vol. 54-55, pp. 101-113
- Dyrbye C., Hansen S. (1997). *Wind loads on Structures*. John Wiley & Sons, New York
- Febo S. (2007). *Impalcati e schemi strutturali per ponti di grandissima luce*. Ph.D. thesis, University of Chieti-Pescara, Italy
- Simiu E., Scanlan R. H. (1996). *Wind effects on Structures: Fundamentals and Application to Design*. Third edition, John Wiley & Sons, New York

Il problema della combinazione dei carichi da vento negli edifici alti

Gianni Bartoli^a, Claudio Mannini^a, Tommaso Massai^a

^aCRIACIV/DICeA, Università degli Studi di Firenze

SOMMARIO

L'evoluzione nella realizzazione di strutture snelle, quali gli edifici alti, ha messo in evidenza le difficoltà che derivano dalla valutazione degli effetti del vento in questo tipo di strutture. In particolare il tema della combinazione delle azioni eoliche nelle varie direzioni, sebbene sia già stato trattato in letteratura, presenta ancora alcuni aspetti su cui è necessario riflettere. Il presente lavoro analizza le espressioni proposte in letteratura e si propone di definire un percorso per la determinazione delle regole di combinazione delle azioni sollecitanti alla base di edifici alti, focalizzando gli aspetti di maggiore interesse progettuale.

I carichi dinamici prodotti dal vento generano simultaneamente vibrazioni in direzione longitudinale, trasversale e torsionale. La risposta in ogni direzione principale (1-D) può essere determinata indipendentemente, attraverso un'analisi nel modo fondamentale tramite, ad esempio, la consueta valutazione del fattore di picco (Davenport, 1964). A rigore, la valutazione della performance dell'edificio coinvolge la stima degli effetti di picco, dati dalle risposte accoppiate nelle direzioni principali (3-D) (Chen & Kareem, 2005); questo approccio, tuttavia, risulta estremamente complesso per le applicazioni di carattere progettuale.

Mediante procedure più semplici, si possono individuare alcune regole di combinazione che prevedono coefficienti moltiplicativi di ciascun effetto (Isyumov, 1994; Solari, 1999), andando a definire un dominio rappresentativo delle sollecitazioni estreme che possono presentarsi durante tutta la vita della struttura. In quest'ottica è necessaria un'analisi dei valori estremi della risposta, (Gumbel, 1958) e delle distribuzioni congiunte dei parametri di risposta presi in considerazione (Yue et al., 1999; Naess et al., 2008).

Nel presente lavoro, si è tuttavia scelto di seguire un altro tipo di percorso, in cui le combinazioni dei valori estremi nelle singole direzioni vengono collegate al livello della correlazione delle forzanti. Tale procedura, utilizzata anche da altri autori (Chen & Huang, 2008) ed implementata in alcune normative (ad esempio in quella giapponese, AIJ, 2005), viene qui analizzata, puntando l'attenzione verso la determinazione di alcuni parametri progettuali di riferimento.

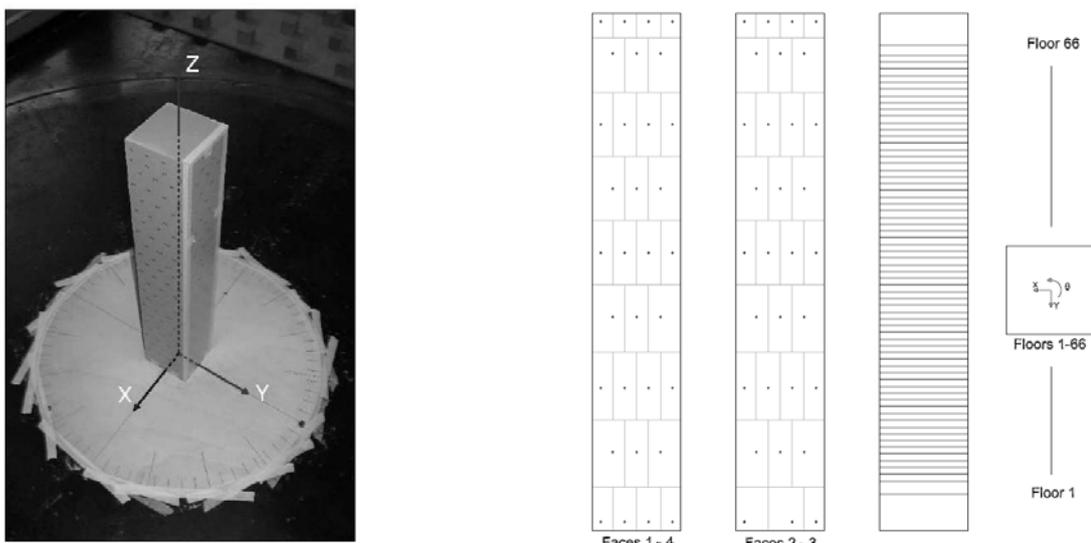


Figura 1. Vista del modello di edificio alto in galleria del vento, con indicazione del sistema di riferimento cartesiano, e schema con la disposizione delle prese di pressione

L'analisi è stata effettuata partendo dai risultati ottenuti nel corso di una campagna sperimentale (condotta, in collaborazione con l'Università di Perugia, nella galleria del vento a strato limite sviluppato del CRIACIV), nel corso della quale sono state effettuate misure contemporanee di pressione e forze alla base di un modello di edificio alto a base quadrata ($103.6 \times 103.6 \times 610.2$ mm). Sono state prese in considerazione le storie temporali delle forzanti alla base, ottenute sia tramite misura diretta con una bilancia aerodinamica, che attraverso l'integrazione delle forze di piano sull'altezza dell'edificio. Dai dati ricavati per sei angoli di incidenza del vento sono state estrapolate le informazioni sulla correlazione fra le forzanti.

L'analisi delle distribuzioni congiunte ha evidenziato la necessità di un criterio nella costruzione del dominio di combinazione delle azioni che non può prescindere dalla correlazione, come suggerito dalle raccomandazioni giapponesi.

Dall'analisi dei risultati, è possibile risalire alla determinazione di una griglia di coefficienti di combinazione per le tre forze parzialmente correlate (F_x , F_y , M_t) con cui moltiplicare i rispettivi valori caratteristici, in modo che le combinazioni individuate siano rappresentative delle possibili configurazioni di carico sollecitanti la struttura.

Il lavoro di ricerca è stato svolto nell'ambito del Progetto di Ricerca di Interesse Nazionale (PRIN 2007) denominato Wi-POD (Wind Effects on Slender Structures: Performance-based Optimal Design).

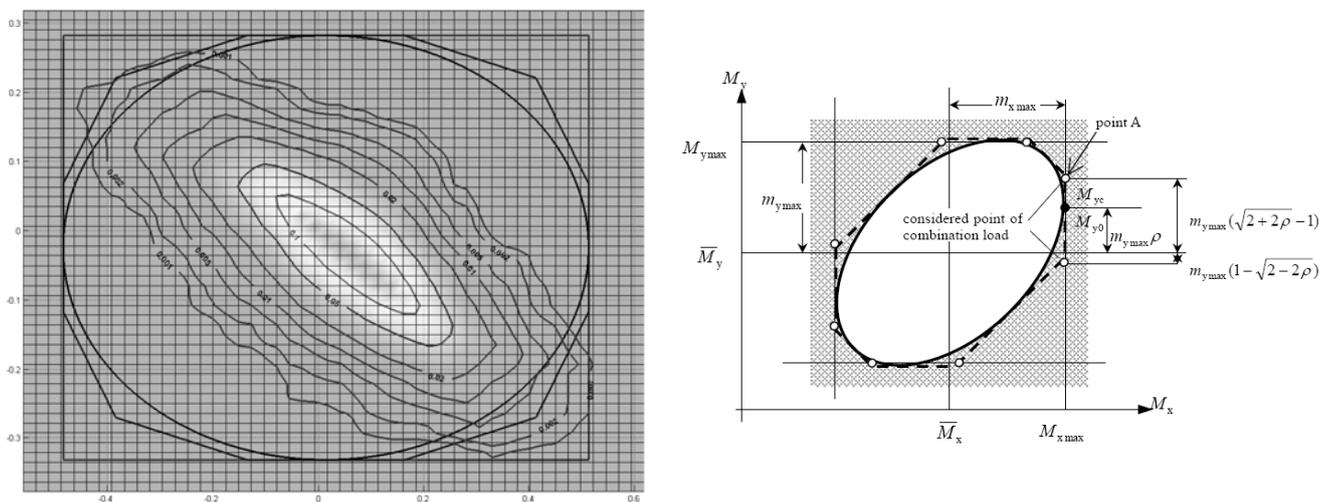


Figura 2. Coppie di sollecitazioni associate a vari livelli di probabilità di superamento dell'evento congiunto (a sinistra) e schema di combinazione dei carichi secondo le raccomandazioni AIJ (a destra)

AIJ (Architectural Institute of Japan) (2005). *Combination of Load*, Cap. 6, pp. 51-53

Chen X., Huang G. (2008). Evaluation of peak resultant response for wind-excited tall buildings, *Engineering Structures*, Vol. 31 (4), pp. 858-868

Chen X., Kareem A. (2005). Dynamic wind effects on buildings with 3D coupled modes: application of high frequency force balance measurements, *J. Engrg. Mech. ASCE*, N.131, pp 1115-1125

Davenport A.G. (1964). Note on the distribution of the largest value of a random function with application to gust loading, *ICE Proceedings*, Vol. 28 (2), pp. 187-196

Gumbel E.J. (1958). *Statistics of Extremes*. Columbia University Press

Isyumov N. (1994). Criteria for acceptable wind induced motions, *Proceedings of the 12th Structures Congress*, Georgia, N. 94, pp. 642-647

Naess A., Gaidai O., Batsevych O. (2008). Extreme value statistics of combined load effect processes, *Structural Safety*, Vol. 31 (4), pp 298-305

Solari G., Pagnini L.C. (1999). Gust buffeting and aeroelastic behaviour of poles and monontubular towers, *J. of Fluids and Structures*, Vol. 13 (7-8), pp. 877-905

Yue S., Ouarda T.B.M.J., Bobée B., Legendre P., Bruneau P. (1999). The Gumbel mixed model for flood frequency analysis, *J. of Hydrology*, Vol. 226 (1-2), pp. 88-100

Yue S., Wang C.Y. (2004). A comparison of two bivariate extreme value distributions, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, Vol. 18 (2), pp. 61-66

Reduced models for wind-induced loads and structural response

Gabriele Bellizzotti, Vincenzo Sepe, Marcello Vasta

Dipartimento di Ingegneria, Università “G. D’Annunzio”, Pescara

ABSTRACT

In the framework of the research project “*Wind effects on slender structures: Performance-based Optimal Design (Wi-POD)*”, funded in 2007 by the Italian Ministry for University and by five Universities, the Research Unit of University “G. D’Annunzio” of Chieti-Pescara is being involved in theoretical and numerical aspects relative to the modelling of the wind action and of the dynamical response of slender structures.

In particular, during the first year of the research project the attention has been devoted to reduced models of the wind loads.

Starting from the now well accepted representation of the wind field by means of blowing modes (or wind modes), i.e. coherent wind fields characterized by highest energetic weights and stochastically orthogonal to each other (e.g. Di Paola & al. 1998; Solari & al. 2007; Carassale & al. 2007), an investigation has been performed on the experimental wind tunnels tests performed on the sample case in Fig.1, that is being studied from several points of view by all the research units of the Wi-POD project.

Considered that the experimental wind field of the Wi-POD tests are described by resulting forces and couples acting on the 74 floors of the sample building (Fig.2), the proposed paper describes an algorithm that extracts the wind-modes from the correlation matrix of the forcing time-histories, and represents them by means of a very expressive 3D representation (samples in Fig.3).

The first blowing modes, i.e. those dominating the dynamic response, are then used as a base to represent, in a reduced form, the motion equation of the building model, starting from a FEM representation of the full scale building (Fig.1).

The results so obtained are then compared with those given by the FEM model (Diaferio & al., 2010) subject to wind-load time-histories obtained in the CRIACIV wind tunnel in Prato.

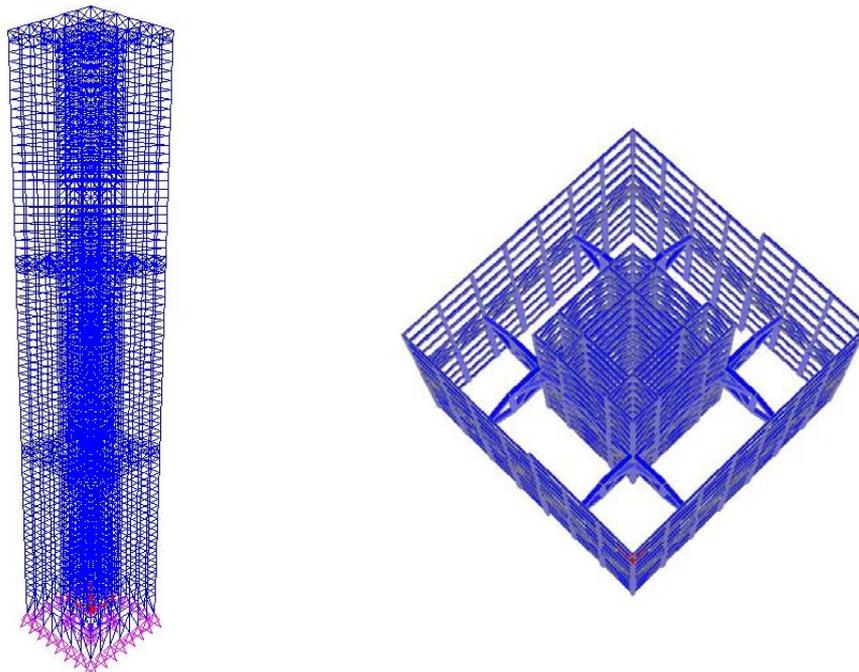


Figure 1. a) FEM model of a 74-floor building

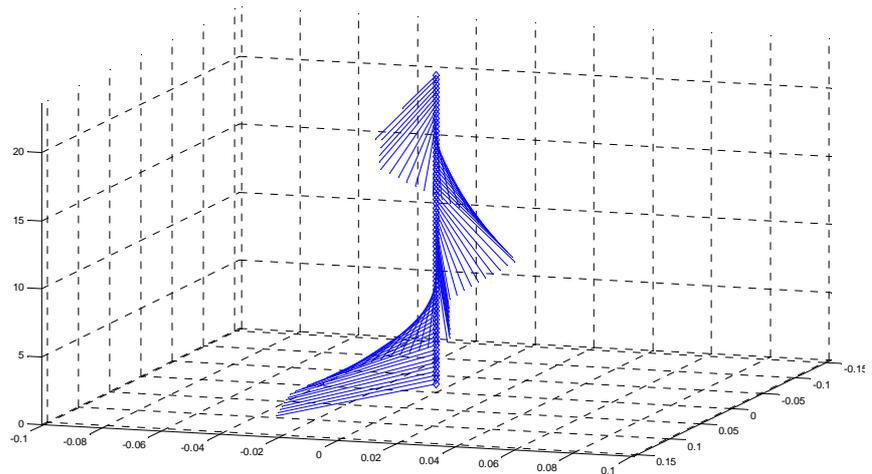
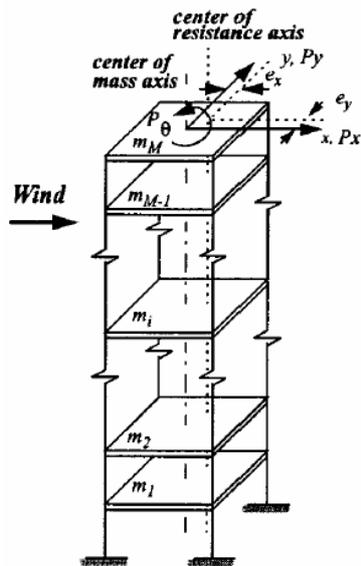


Figure 2. Sample of wind-fields from wind tunnel tests on the model in Fig.1

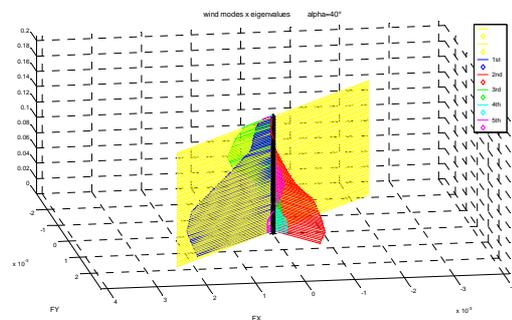
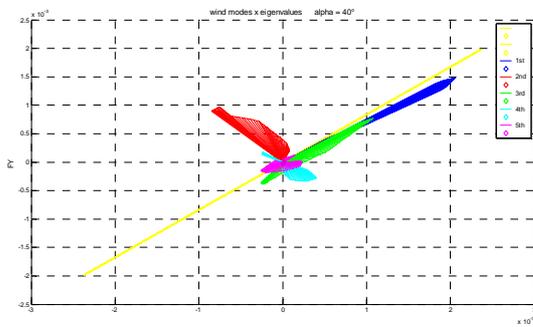


Figure 3. Sample of blowing modes extracted from wind tunnel tests on the model in Fig.1

Di Paola M., (2008). Digital Simulation of Wind Velocity, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, pp. 74-76, 91-109.

Solari G, Carassale L. Tubino F. (2007). Proper orthogonal decomposition in wind engineering. Part 1: a state-of-the-art and some prospects, *Wind and Structures*, Vol. 10(2), pp. 153-176

Carassale L. Solari G, Tubino F. (2007). Proper orthogonal decomposition in wind engineering. Part 2: theoretical aspects and some applications, *Wind and Structures*, Vol. 10(2), pp. 177-208

Bellizzotti G, Sepe V, Vasta M. (2010). Reduced models for wind-induced loads and structural response, submitted to *11th Italian Conference on Wind Engineering IN-VENTO-2010*, Spoleto, June-July 2010

Studio sull'aerodinamica e sulla risposta dinamica di una torre di ponte strallato

Marco Belloli^a, Fabio Fossati^a, Stefano Giappino^a, Sara Muggiasca^a

^aPolitecnico di Milano Dipartimento di Meccanica, Milano

SOMMARIO

E' noto come strutture snelle e di altezza elevata possano soffrire di problemi aerodinamici legati all'interazione vento-struttura quali il distacco di vortici o l'instabilità (es. *galloping*). Durante la loro progettazione quindi, si ricorre spesso allo studio in galleria del vento su modelli in scala. La memoria presenta i risultati di uno studio sperimentale svolto a supporto della progettazione della torre di un ponte strallato; in particolare si considera la situazione di costruzione in cui non è ancora presente l'impalcato e la torre è una struttura indipendente. La Figura 1sx mostra il modello in scala della struttura in prova: la torre ha un'altezza pari a 209m ed una sezione che si rastrema all'aumentare della quota da terra. In Figura 1dx è riportata una sezione tipo della torre ed il sistema di riferimento adottato per la presentazione dei risultati: si osserva la presenza di due superfici curve e smussi in corrispondenza degli spigoli.

La sperimentazione è stata condotta seguendo due diversi approcci: in una prima fase si è utilizzato un modello sezionale rigido della torre in scala 1/30. Sono state svolte sia misure di forza su bilancia dinamometrica per definire i coefficienti aerodinamici caratteristici della sezione sia misure di vibrazioni su modello sospeso elasticamente, allo scopo di identificare possibili fenomeni aeroelastici (Zasso et al (2008)). Le prove sono state svolte al variare della velocità del flusso incidente e dello smorzamento strutturale.

In una seconda fase si è realizzato un modello aeroelastico completo della torre in scala 1/170 (Figura 1dx) che riproducesse correttamente in scala le prime sei frequenze proprie e modi di vibrare della struttura. Questo modello è stato progettato per permettere sia la misura delle forze in fondazione mediante bilancia che i livelli di vibrazione in sommità e a metà altezza. Le prove sono state svolte in smooth flow e in simulazione dello strato limite terrestre, al variare della velocità del flusso incidente e del livello di smorzamento.

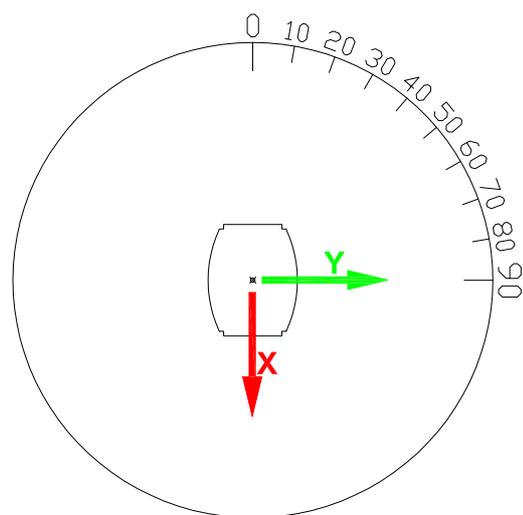
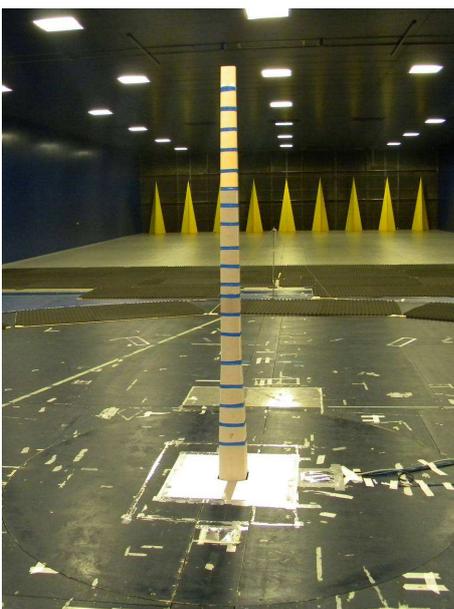


Figura 1 Modello aeroelastico completo della torre nella sezione di prova della galleria del vento (sx). Sezione tipo della torre e sistema di riferimento (dx)

In Figura 2sx è mostrato il coefficiente aerodinamico di resistenza misurato sul modello sezionale per due diversi livelli di velocità del flusso incidente. E' interessante osservare il comportamento della struttura nella zona compresa tra gli angoli di incidenza 30 e 70 deg: il drag della struttura sembra appoggiarsi a due differenti curve, una con valori dell'ordine di 0.9, la seconda con resistenza quasi doppia pari a 1.6. La ripetizione di diverse prove in questo intervallo non ha identificato una sistematicità o una perfetta ripetibilità dei risultati, quanto piuttosto la presenza di una possibile doppia soluzione in questa zona. Questo fenomeno pone innanzitutto dei dubbi sul valore di coefficiente da utilizzare per la progettazione della torre, ma anche sulla valutazione della risposta dinamica. Infatti le prove che si appoggiano ai punti sulla curva più alta mostrano una significativa presenza del fenomeno del distacco di vortici, mentre quelli sulla curva più bassa ne denunciano una assenza.

Diverso è il comportamento evidenziato dal modello completo della torre, visibile in Figura 2dx. Il valore misurato non è confrontabile in senso assoluto con le prove su sezionale in quanto inclusivo degli effetti tridimensionali legati alla variazione della dimensione della sezione con la quota, ma è possibile osservare un andamento simile per angoli di attacco inferiori ai 30° mentre diventa più difficoltoso il confronto nelle regioni caratterizzate da una doppia soluzione.

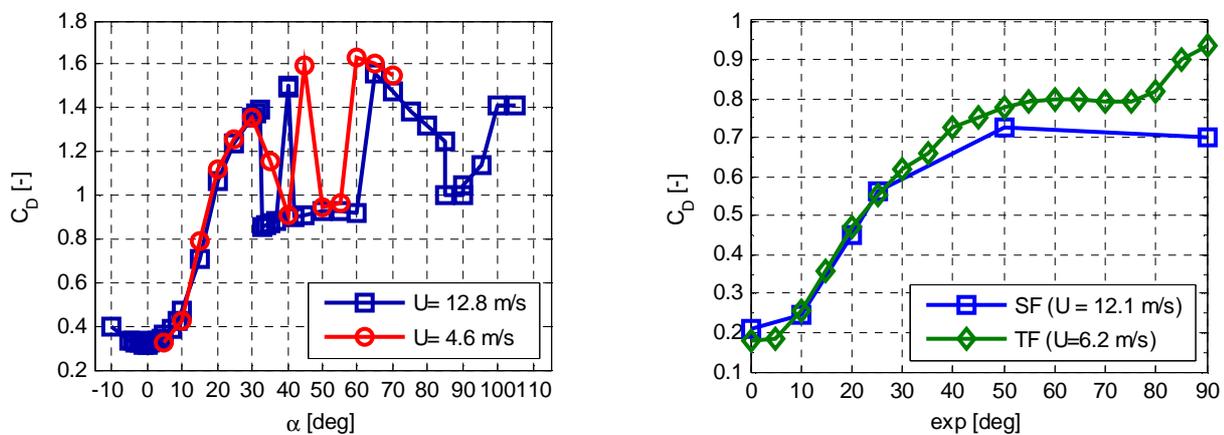


Figura 2 Coefficiente di drag misurato su modello sezionale per due differenti velocità di prova (sx). Coefficiente di resistenza misurato su modello completo della torre sia in flusso smooth flow (SF) che in strato limite (TF)

In particolare mentre la curva del modello sezionale presenta delle discontinuità legate alla presenza/assenza del fenomeno del distacco di vortici, la curva del coefficiente di drag per la torre completa presenta un andamento più continuo associato ad un fenomeno di distacco di vortici costantemente presente al variare dell'angolo di attacco al vento.

L'articolo completo amplierà i risultati mostrati confrontando modello sezionale e completo, con riferimento anche agli effetti di scala verso una previsione del comportamento al vero.

Zasso A., Belloli M., Giappino S., Muggiasca S., (2008), Pressure field analysis on oscillating circular cylinder, *Journal of Fluids and Structures* vol. 24, 628–650.

Wind load correlation and its effects on the second order response properties of 3D coupled tall buildings

E. Bernardini, S. M. J. Spence, M. Gioffrè and V. Gusella

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Perugia, Italy

KEYWORDS: Wind loads, Tall buildings, Frequency domain analysis, Response estimation.

ABSTRACT

The accurate estimation of the critical responses such as top floor acceleration and displacements are of fundamental importance when ensuring reliable designs of tall buildings. Methods to this end are well developed in the case of tall buildings characterized by structural systems exhibiting uncoupled 1-dimensional mode shapes typical of traditional tall buildings defined by simple geometric profiles. Things get somewhat more involved in the case of building systems with 3-dimensional non-linear coupled modes shapes typical of modern tall buildings defined by their complex geometric forms. For these structural systems methods are being actively proposed for their efficient and accurate resolution [1]. These methods are typically set in a frequency domain modal analysis framework and therefore require the estimation of the generalized forcing functions. These will in general be obtained through specific wind tunnel tests where the base bending and torsional moments of rigid scale models are measured with a high frequency base balance. These are then used to directly estimate the generalized forces through the introduction of appropriate correction factors which will in general introduce a certain level of uncertainty in the generalized forces [2] due to their dependency on probabilistic measures, such as the correlation structure, of the unknown external wind pressure field.

In this paper the propagation of uncertainties concerning the estimation of the generalized forces from the aerodynamic base moments to the critical responses is investigated. In particular two buildings systems are considered. The first is characterized by having 1-dimensional mode shapes and regular geometric profile. The second, on the other hand, is defined by the presence of 3-dimensional non-linear coupled modes shapes and complex geometric profile. Wind tunnel tests were carried out for both buildings using multiple point synchronous pressures measurements at the boundary layer wind tunnel of the CRIACIV in Prato Italy. These are used to directly estimate the generalized forcing functions and base bending and torsional moments. These last are used in conjunction with the mode correction schemes investigated in [2] to again estimate the generalized forces. The root mean square (RMS) of critical building responses, such as displacements and top floor accelerations are then estimate for both building systems through the adoption of the frequency domain framework proposed in [1]. In particular the variation in the estimation of the RMS response introduced by the mode shape corrections is investigated showing limited error ranges concerning the uncoupled system. This is not seen for the coupled building system where significant underestimates can be seen especially for the accelerations. The variation of the modal response correlation coefficients is also investigated for both systems and for various sway mode ratio values. This again highlights the greater sensitivity of the coupled system.

REFERENCES

- [1] Chen X., Kareem A., Dynamic Wind Effects on Buildings with 3D Coupled Modes: Application of High Frequency Force Balance Measurements, *ASCE Journal of Engineering Mechanics*. Vol. 131, No. 11, pp.1115–1125, 2005.
- [2] S. M. J. Spence, E. Bernardini, M. Gioffrè. Influence of the wind load correlation on the estimation of the generalized forces for 3D coupled tall buildings, *11° Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento, IN-VENTO-2010*, Spoleto, 2010.

Structural optimization of solar towers to minimize wind induced effects

Claudio Borri^a, Francesca Lupi^a

^aUniversità degli Studi di Firenze, Firenze

SOMMARIO

Solar Updraft Power Plants (SUPPs) represent a totally new generation of renewable energy sources, converting solar radiation into electric power.

The working principle is simple (see figure 1): a SUPP consists of a collector area to heat the air due to the wide banded ultra-violet solar radiation, the high-rise solar chimney to updraft the heated air to the atmosphere, and in between the power conversion unit, where a system of coupled turbines and generators transforms the stream of heated air into electric power. The only problem is that efficiency will only be reached with extra-large dimensions of the tower and the collector area. In fact, the amount of power delivery is a question of the size of both, collector and solar chimney. Therefore, the potentials of an unrivalled economical energy production can be achieved only through the highest degree of optimization of the structural behaviour, the thermodynamic efficiency and the construction costs.

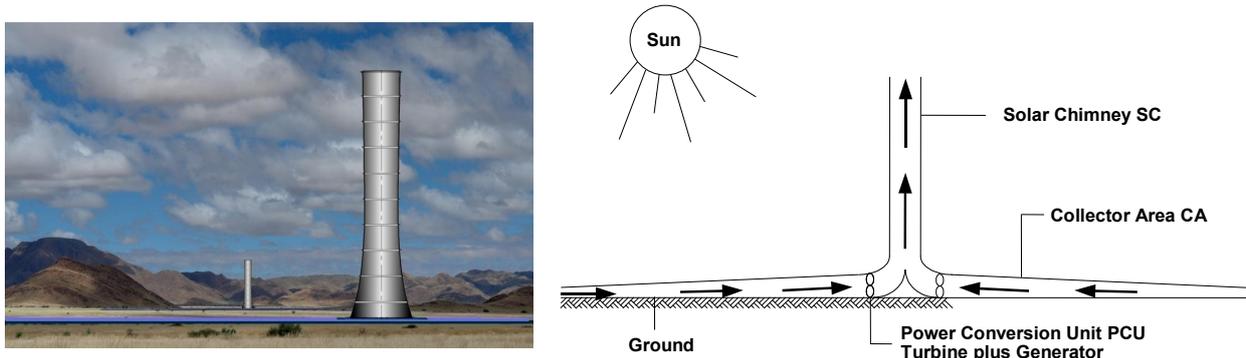


Figure 1. Solar Updraft Power Plant: – Visualization and working principle

Within the SUPPs technology, for the feasibility of such a new, ultra-high tower structure, the modelling of the actions and the stochastic analysis of the structural response need to be up-graded, since the tower height and the loading models are above the current experience. Solar towers reach far beyond the Prandtl layer into the Ekman layer. Here, the shear and the turbulence decrease, whereas the Coriolis force becomes important. It increases as the wind velocity increases and tends to align the flow in the direction of the isobars. In the Ekman layer, experimental meteorological data are scarce. Anyway, some information on wind and turbulence at high altitudes can be collected through remote sensing techniques. In view of that, several issues – concerning the existing gap between meteorology, physics of the atmosphere and wind engineering – need to be faced. First of all, wind data should be collected during strong wind conditions, in order not to have too large scatters. Unfortunately, some instruments may be sensitive to the weather conditions, so that the height coverage decreases. This problem is peculiar of wind engineering and does not affect so much research in physics of the atmosphere. In fact, the latter is mainly interested in the most frequent conditions of unstable or stable atmosphere, especially characterized by thermal effects. Another issue to be faced concerns the temporal and the spatial resolution. Usually, at very high

altitudes, only the mean wind speed, and maybe the standard deviation of wind components, are recorded. But these data are not sufficient to investigate wind turbulence. In addition, the spatial resolution decreases as the height increases. In fact, the signal needs to be more powerful to face the decay with distance and it implies a decrease in resolution. Therefore, all these issues need a deeper investigation.

From the structural viewpoint, one of the major objectives is to construct the solar tower as thin as possible. This can be achieved by using high-strength concrete and/or by installing stiffening rings along the chimney height and on top. They can be realized in several ways, e.g. with classical RC-beams, with composite steel-concrete and with spoken wheels. The stiffening rings improve the structural behaviour of the tower by avoiding ovaling deformations of the cross section. As a consequence, a better distribution of internal forces is achieved, without peaks of tension at the windward side. Wind induced tensile stresses are partly balanced by compressive stresses due to dead load. Therefore, only the remaining tension requires reinforcement.

The paper addresses all the main aspects mentioned above, with particular focus on the modelling of the wind action in the Ekman layer, as well as the optimization of the tower response by the introduction of suitably stiffened ring beams along the height.

REFERENCES

- Borri, C. Niemann, H.-J. Lupi, F. Höffer, R. Hubert, W. (2009). The solar updraft power plant: design and optimization of the tower for wind effects. *Proc. 5th Int. Conf. EACWE*, Florence, 19th-23rd July 2009.
- Borri C., Höffer R., Krätzig W.B., Lupi F., Niemann H.-J. (2009) – Simulating wind loads and response of updraft solar towers. *II D-A-CH WTG Tagung, Windtechnologische Gesellschaft e.V. Deutschland-Österreich-Schweiz*. Windingenieurwesen in Forschung und Praxis, Braunschweig, Novembre 2009.
- Borri, C. & Harte, R. (2010) SUPERB (Solar Updraft POWER: a Breakthrough) Research project proposal for an Advanced Investigator Grant (submitted).
- CICIND (2001) Model code for concrete chimneys – Part A: The Shell. London:CICIND
- Harte, R. & Van Zijl, G.P.A.G. (2007). Structural stability of concrete wind turbines and solar chimney towers exposed to dynamic wind action. *Int. J. JWEIA* 95:1079-1096.
- Harte, R. Kröger, DG. Van Zijl. G.P.A.G. Von Backström, ThW. (2008). The solar chimney - research on structural and flow characteristics. VolkswagenStiftung Project I/79430, Final Report.
- Lupi, F. (2009). Structural behaviour, optimization and design of a solar chimney prototype under wind loading and other actions. Master Thesis, University of Florence
- Niemann, H.J. & Höffer, R. (2007). Wind loading for the design of the solar tower. In: Zingoni, A. Recent developments in Structural Engineering, Mechanics and Computation. *Proc. 3rd Int. Conf. SEMC*, Cape Town, South Africa. Rotterdam, The Netherlands: Millpress Science Publishers.
- Pretorius, J.P. & Kröger, D.G. (2006) Solar chimney power plant performance. *ASME J. Solar Energy Engineering* 128(3):302-311.
- Schlaich, J. (1995) The Solar Chimney, Electricity from the Sun. Stuttgart: Axel Menges
- Von Backström, ThW. Harte, R. Höffer, R. Krätzig, WB. Kröger, DG. Niemann, H-J. van Zijl, G.P.A.G. (2008) State and recent advances in research and design of solar chimney power plant technology. *VGB PowerTech* 88(7):64-71.
- VGB (2005) Structural design of cooling towers. Guideline VGB R 610Ue. Essen:VGB PowerTech.

Probabilistic evaluation of the aerodynamic behaviour of a trapezoidal bridge deck

Luca Bruno ^a, Davide Fransos ^b

^a Politecnico di Torino, Department of Structural Engineering and Geotechnics, Torino
^b Optiflow Company, Marseille, FRANCE

ABSTRACT

The study of the probabilistic response of wind-excited structures and their reliability analysis need to take into account for the influence of a large number of parametric uncertainties. These uncertainties in parameters are usually ascribed to the physical subfields involved in the coupled wind-structure system: the meteorological data, the structural parameters and the aerodynamic/aeroelastic behaviour (Pagnini 2010). The uncertainties related to meteorological data (Solari & Piccardo 2001) and structural parameters (among them, the structural damping, Tamura & Jeary 1996) have received great attention in Wind Engineering and they are actually well established. Conversely, the probabilistic features of the aerodynamic and aeroelastic behaviour of bluff bodies remains scarcely described in literature. The coded semi-probabilistic models reflect this scatter of knowledge between the wind field and the aerodynamic behaviour statistics: a characteristic value is prescribed for the design wind speed, while a nominal value is attributed to the pressure/force coefficients.

On one hand, a probabilistic description of the aerodynamic response is motivated by the key role played by the aerodynamic uncertainties in the reliability analysis of wind-excited structures (e.g. in Cheng & Li, 2009) and by the large number of uncertainties which characterise the real-world conditions of the built prototype, the experimental set-up of the wind-tunnel scaled model and the evaluation of the flow state variables by means of measurements or numerical simulations. On the other hand, the out-of-equilibrium fluid flow phenomena in bluff body aerodynamics contribute to make the probabilistic description of the bluff body aerodynamics a difficult task. It follows that a very wide variety of aerodynamic regimes can take place, depending on a number of parameters. They can be ascribed to the body geometry and to the characteristics of the oncoming flow.

The great sensitivity of the bluff body aerodynamics to these parameters has received the increasing attention of the Wind Engineering community. The aerodynamics of the circular cylinder is an emblematic case: a number of deterministic works since the one by Roshko (1961) recently allowed the drag probabilistic assessment as a function of the uncertainties in surface roughness and free stream turbulence in Camarri and Buresti (2003). The recognition of an analogous sensitivity to the above introduced parameters is more recent for sharp-edged bluff bodies. Reynolds number effects on the flow around a bluff bridge deck cross section has been observed by Schewe & Larsen (1998) and generalised for a wide range of bodies in Schewe (2001). Analogous fundamental studies have been addressed to evaluating the effects of the free-stream turbulence features, since the pioneering work of Laneville & Williams (1979). More recently, Larose & D'Auteuil (2006) reviewed recent cases of real structures and made an attempt to identify some parameters (turbulence intensity, chord-to-width ratio and edge treatments) which sensitise bluff bodies with sharp edges to Reynolds number effects, choosing rectangular prisms as a benchmark. Bruno & Fransos (2008) systematically addressed the combined effects of the turbulence integral length scale and of the lower corner radius of curvature on the flow field around a trapezoidal section.

To the author knowledge, no specific and systematic studies have been devoted up to now to the probabilistic evaluation of the aerodynamic or aeroelastic forces acting on sharp-edged bluff bodies, despite the rapid growing of reliability analyses of wind-excited large structures. As bridge structures are concerned, some recent reliability assessments have been carried out for actual case studies after the pioneering work of Prenninger *et al.* (1990). These studies focus on the effects of static forces (Cheng & Li, 2009), buffeting (Caracoglia 2008) or flutter (e.g. in Cheng *et al.* 2005).

Every study among the cited ones accounts for the uncertainties related to the oncoming wind and structural properties one-by-one, while a single fictitious random variable is introduced to indirectly incorporate the uncertainties arising from insufficient knowledge of the aerodynamic/aeroelastic behaviour.

The present work aims at giving a contribution to characterise from a probabilistic point of view the aerodynamic behaviour of a bare bridge deck with trapezoidal cross section (Ricciardelli & Hangan, 2001 and Mannini *et al.*, 2006). Two random variables are selected: the oncoming turbulence integral length scale at low turbulence intensity and the radius of curvature of the section lower edges. Both parameters are characterised by a Probability Density Function (PDF). The resulting fluid mechanics problem consists in the so-called Stochastic Navier-Stokes Equations. Their solution is based on an adaptive version of the Multi-Element generalized Polynomial Chaos (ME-gPC) method, introduced on the basis of the ME-gPC methods used by Wan & Karniadakis (2006) and Bruno *et al.* (2009). The method exploits the classical technology of weighted orthogonal polynomials, where two/three-point Gauss quadrature formulas are adopted in each element. As a result, the stochastic aerodynamic coefficients are described by their approximate PDFs, which are related in turn to the four aerodynamic regimes recognised in Bruno & Fransos (2008).

REFERENCES

- Bruno L., Canuto C., Fransos D. (2009). Stochastic aerodynamics and aeroelasticity of a flat plate via generalized Polynomial Chaos, *Journal of Fluid and Structures*, 25, pp. 1158–1176.
- Bruno L., Fransos D. (2008), Edge degree-of-sharpness and integral length scale effects on the aerodynamics of a bridge deck, *Proc. BBAA VI International Colloquium*, Milano, Italy, July 20-24.
- Camarri, S., Buresti, G. (2003). On the probabilistic evaluation of the aerodynamic drag of circular cylinders. Documenti del Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale di Pisa DDIA 2003-19.
- Caracoglia, L. (2008). Influence of uncertainty in selected aerodynamic and structural parameters on the buffeting response of long-span bridges, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 96, pp. 327-344.
- Cheng, J., Cai, C.S., Xiao, R.-c., Chen, S.R. (2005). Flutter reliability analysis of suspension bridges. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 93, pp. 757-775.
- Cheng, J., Li, Q.S. (2009). Reliability analysis of long span steel arch bridges against wind-induced stability failure, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 97, pp. 132-139.
- Laneville A., Williams C.D. (1979), The effects of intensity and large scale turbulence on the mean pressure and drag coefficients of 2D rectangular cylinders, *Proc. 5th Int. Conference on Wind Effects on Building and Structures*, Fort Collins, Colorado, July 8-14.
- Larose G., D'Auteuil A. (2006). On the Reynolds number sensitivity of the aerodynamics of bluff bodies with sharp edges. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 94, pp. 365-376, 2006.
- Mannini C., Soda A., Voss R. (2006). Computational investigation of flow around bridge sections. *Proc. Bridges International Conference*, Dubrovnik, Croatia, May 21-24.
- Pagnini, L. (2010). Reliability analysis of wind-excited structures. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 98, pp. 1-9.
- Prenninger, P.H.W., Matsumoto, M., Shiraiishi, N., Izumi, C., Tsukiyama, Y. (1990). Reliability of bridge structures under wind loading: consideration of uncertainties of wind load parameters. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 33 (1-2), pp. 385-394.
- Ricciardelli F., Hangan H. (2001). Pressure distribution and aerodynamic forces on stationary box bridge sections. *Wind and Structures*, 4(5), pp. 399-412.
- Roshko A. (1961). Experiments on the flow past a circular cylinder at very high Reynolds number. *Journal of Fluid Mechanics*, 10, pp. 345-356.
- Schewe G. (2001). Reynolds number effects in flow around more-or-less bluff bodies. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 89, pp. 1267-1289.
- Schewe G., Larsen A. (1998). Reynolds number effects in the flow around a bluff bridge deck cross section. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 74-76, pp. 829-838.
- Solari, G., Piccardo, G., 2001. Probabilistic 3-D turbulence modelling for gust buffeting of structures. *Probabilistic Engineering Mechanics*, 16(1), pp. 73-86.
- Tamura Y., Jeary A.P. (Eds.) 1996. Selected papers presented at the IWEF Meeting on Structural Damping, Atsugi, Japan, 1995, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 59, pp. 103–398.
- Wan, X., Karniadakis, G. E. (2006). Multi-element generalized polynomial chaos for arbitrary probability measures. *SIAM Journal of Scientific Computing*, 28(3), pp. 901-928.

High resolution wind data from an Earth System Model: towards responding to user needs

Calmanti Sandro ^a, Dell'Aquila Alessandro ^a, Maimone Filippo ^b, Pelino Vinicio ^b

^a ENEA, UTMEA-CLIM

Unità Tecnica Modellistica Energetica Ambientale

Laboratorio Modellistica Climatica ed Impatti, CR Casaccia, Santa Maria di Galera (Roma)

^b Centro Nazionale di Meteorologia e Climatologia Aeronautica, Aeroporto "De Bernardi", I-00040 Pratica di Mare (Roma)

SOMMARIO

Earth System Models (ESMs) can be considered as a set of equations describing processes within and between the atmosphere, ocean, land, and the terrestrial and marine biosphere.

High resolution ESMs are a key resource for climate services. ESMs can both help filling time/spatial gaps in historical data and enhance our capacity of providing tailored information on projected climate change to end-users.

A detailed and quantitative assessment of ESMs skills and limitation in describing climate variability and change is therefore an important pre-condition for reliable services.

With the perspective of responding to user needs it will be also important to compare the model skills with the expected standards.

We here present a validation of the ESM PROTHEUS assembled at ENEA with daily wind data from weather stations provided by the Italian National Air Force centre for Weather and Climatology. A fully description of PROTHEUS is presented in Artale *et al* 2009. The configuration employed in this study has a uniform horizontal grid spacing of 30 km on a Lambert conformal projection. The model domain is centered at 41N and 15E with 160 grid points in the meridional direction, 150 grid points in the zonal direction. This model domain covers the entire Mediterranean. To assess model performances we show 1961-2000 simulation, driven at the lateral boundaries by global reanalysis dataset provided by European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).

Different regimes are spanned with the data considered for the analysis, from alpine to mediterranean climates, all characterized by specific land/ocean-atmosphere interaction processes leading to well defined patterns of seasonal and interannual variability.

The ESM PROTHEUS provides an accurate description of climate wind patterns in coastal areas and over small island, corresponding to samples of the open ocean.

We identify a need to improve the regional ESM description of the surface wind field, especially in the alpine regions where the interaction with high resolution topography plays a key role in setting the wind speed and direction.

Artale, V., S. Calmanti, A. Carillo, A. Dell'Aquila, M. Hermann, G. Pisacane, P.M. Ruti, G. Sannino, M.V. Striglia, F. Giorgi, X. Bi, J.S. Pal, S. Rauscher, (2009). An Atmosphere-Ocean Regional Climate Model for the Mediterranean area: Assessment of a present climate simulation. *Climate Dynamics* 10.1007/s00382-009-0691-8

Condizioni critiche di galoppo per elementi di sezione quadrata comunque inclinati rispetto al flusso del vento

Luigi Carassale^a, Andrea Freda^a, Giuseppe Piccardo^a

^a DICAT, Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Genova, Genova

SOMMARIO

Il termine galoppo si riferisce usualmente, nell'ambito dell'ingegneria del vento, ad un fenomeno aeroelastico riguardante strutture snelle di sezione non circolare. Il galoppo avviene a velocità ridotte del vento sufficientemente elevate (si può quindi modellare in ambito quasi-stazionario) e si manifesta con oscillazioni di grande ampiezza, principalmente trasversali alla direzione media del vento.

Molti studi si sono interessati al fenomeno del galoppo; nondimeno, la quasi totalità dei contributi di letteratura si riferisce a configurazioni vento-struttura in cui la velocità media del vento è fissata perpendicolare all'asse strutturale (*cross-flow*). I contributi relativi al fenomeno del galoppo in configurazioni vento-struttura differenti in cui, oltre all'angolo di incidenza, vari anche l'inclinazione del flusso rispetto all'asse strutturale (*skew effects*) sono rari, e generalmente rivolti alla valutazione dell'ampiezza di vibrazione in ambito non lineare sia da un punto di vista teorico (ad esempio, Skarecky, 1975), sia da un punto di vista sperimentale (ad esempio, Shum *et al.*, 2009). La conoscenza delle condizioni critiche di instabilità appare tuttavia cruciale da un punto di vista pratico anche nel caso in cui le strutture esaminate (quali ad esempio i cavi) abbiano caratteristiche compatibili con oscillazioni non lineari.

I motivi principali che fino ad oggi hanno limitato lo sviluppo della modellazione tridimensionale di problemi di galoppo risiedono principalmente nella complessità della struttura del flusso intorno al corpo e nella conseguente difficoltà di modellazione delle forze associate, oltre che nella mancanza di dati sperimentali appropriati. L'interesse per questa classe di problemi è aumentato (seppur rapidamente) solo negli ultimi anni, principalmente a causa di fenomeni di instabilità simili al galoppo su cilindri perfettamente circolari comunque inclinati rispetto al flusso medio del vento (si veda, ad esempio, Carassale *et al.*, 2005).

Il presente contributo intende studiare le condizioni critiche di instabilità di cilindri a sezione quadrata posizionati in modo arbitrario rispetto al flusso incidente. Si basa su una modellazione teorica quasi-stazionaria delle azioni del vento (Freda, 2005), che può essere applicata a qualsivoglia sezione, comunque orientata rispetto al fluido, grazie a opportuni coefficienti aerodinamici ricavati sperimentalmente da prove su cilindri fissi (Tamura & Freda, 2010). Un esempio dei risultati ottenuti dalla sperimentazione in flusso laminare è riportato in Figura 1. Le Figure 1a,c presentano la classica variazione dei coefficienti di resistenza e di portanza, insieme con le loro derivate prime, rispetto all'angolo di incidenza α per un angolo di inclinazione (*skew*) non nullo, $\beta=10^\circ$; le Figure 1b,d mostrano il comportamento degli stessi coefficienti al variare dell'angolo di inclinazione β , per un angolo α fissato ($\alpha=15^\circ$). La simmetria appare adeguatamente soddisfatta e le derivate rispetto all'angolo di inclinazione sono molto regolari.

L'analisi delle condizioni critiche di instabilità è desumibile in forma chiusa grazie all'uso di una trattazione adimensionale delle equazioni del moto nel piano degli invarianti della matrice di smorzamento aerodinamico (Luongo & Piccardo, 2005). I risultati preliminari indicano che l'angolo di inclinazione può influenzare significativamente le condizioni critiche di stabilità, conducendo a valori della velocità critica di galoppo sensibilmente differenti da quelle ottenibili nel classico caso di sezione ortogonale al flusso medio del vento (*cross-flow*).

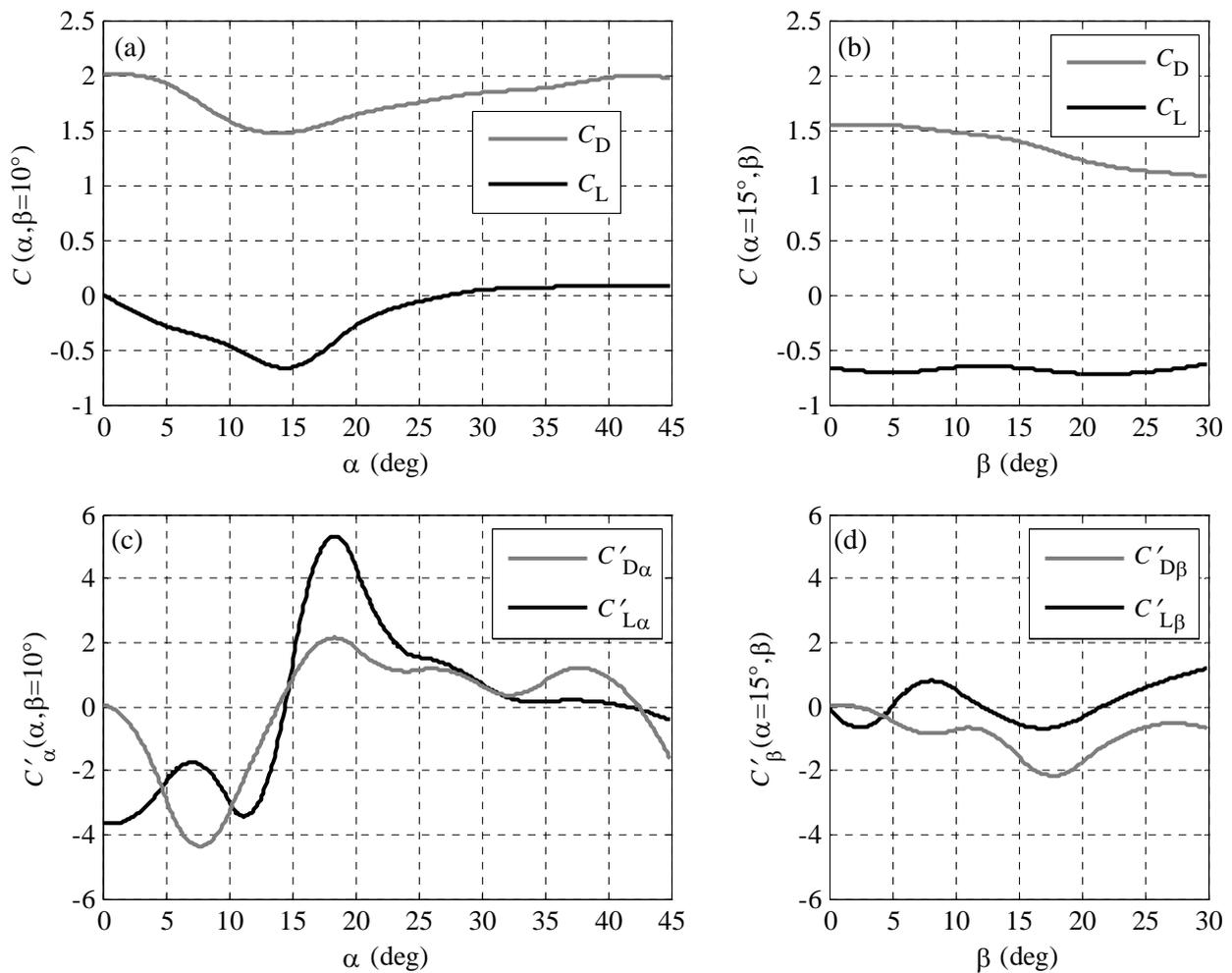


Figura 1 - Coefficienti aerodinamici in direzione del vento (C_D) e trasversali alla direzione del vento (C_L), in funzione dell'angolo di incidenza (α) e di inclinazione (β), e loro derivate rispetto agli stessi angoli.

BIBLIOGRAFIA

- Carassale L., Freda A., Piccardo G. (2005). Aeroelastic forces on yawed cylinders: quasi-steady modeling and aerodynamic instability, *Wind and Structures*, Vol. 8(5), pp. 373-388.
- Freda A. (2005). *Behaviour of slender structural elements having an arbitrary attitude in the wind field*, Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Genova.
- Luongo A., Piccardo G. (2005). Linear instability mechanisms for coupled translational galloping, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 288, pp. 1027-1047.
- Shum K.M., Kwok K.C.S., Hitchcock P.A. (2009). Galloping of an inclined square cylinders, *Proc. EACWE 5*, Firenze, 19-23 luglio (cd-rom).
- Skarecky R. (1975). Yaw effects on galloping instability, *Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE*, Vol. 101(EM6), pp. 739-754.
- Tamura Y., Freda A. (2010). Aerodynamic actions on slender square elements having an arbitrary attitude in the flow field (to be submitted).

Effetti di scala nella risposta dinamica di strutture esposte al vento

Luigi Carassale ^a, Roberto Longo ^b

^aDipartimento di Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio,
Università di Genova, Genova

^bDipartimento di Ingegneria Navale ed Elettrica, Università di Genova, Genova

SOMMARIO

Le azioni aerodinamiche agenti su strutture rigide sono tradizionalmente classificate attribuendone l'origine alla turbolenza presente nel flusso incidente o alle fluttuazioni del campo di pressione nell'intorno del corpo dovuto alla formazione della scia. Per entrambi questi meccanismi di eccitazione, è noto che la dimensione della struttura ha una certa influenza sulle caratteristiche delle forze risultanti a causa della parziale correlazione spaziale presente nel campo di vento o nella struttura dei vortici che dal corpo si separano. Poiché, in generale, su porzioni diverse del corpo i picchi di pressione si presentano ad istanti differenti, i loro effetti sulle forze globali tendono ad elidersi all'aumentare della dimensione della superficie investita dal flusso. Nel caso in cui la risposta strutturale sia generata dall'azione della turbolenza atmosferica, il fenomeno sopra descritto è modellato attraverso il fattore di raffica o il coefficiente dinamico, che diminuiscono all'aumentare delle dimensioni della struttura (Piccardo & Solari, 2002).

La dimensione del corpo investito dal vento ha due ulteriori effetti che riguardano la rappresentazione probabilistica delle azioni. Uno di questi effetti emerge chiaramente quando le forze aerodinamiche sono rappresentate attraverso un'espansione modale (Carassale *et al.*, 2007) e, come generalmente accade, il numero minimo di modi necessari per rappresentare la forza prodotta dal vento con una data accuratezza tende ad aumentare al crescere delle dimensioni della struttura. In altre parole, la scala della struttura determina la dimensione effettiva dello spazio necessario per rappresentare il campo di vento. Il secondo effetto concerne la distribuzione di probabilità delle forze globali agenti sulla struttura. Poiché la correlazione tra le fluttuazioni di pressione in punti distinti diminuisce al crescere della distanza, l'applicazione del teorema del limite centrale risulta tanto più lecita quanto più le dimensioni del corpo aumentano. Per questa ragione sembra lecito supporre che la forza risultante tenda ad assumere una distribuzione gaussiana per corpi molto grandi.

Allo scopo di comprendere l'importanza degli effetti di scala sopra descritti, nonché le loro implicazioni sulla valutazione della risposta dinamica di strutture eccitate dalla turbolenza atmosferica, si considera un caso-studio ideale costituito da uno schermo impermeabile, investito ortogonalmente da un vento turbolento probabilisticamente omogeneo. Lo schermo è dotato di massa ed è vincolato attraverso dispositivi visco-elastici che gli consentono movimenti unicamente nella direzione del vento. La pressione aerodinamica è modellata, in accordo con l'approccio quasi-statico, attraverso una funzione quadratica della velocità del flusso incidente. L'effetto di scala è valutato modificando una delle due dimensioni dello schermo.

Il problema è formulato in modo adimensionale e risulta governato da quattro parametri: lo smorzamento, l'intensità della turbolenza nel flusso incidente, un parametro rappresentativo del rapporto tra il tempo caratteristico della struttura (periodo proprio) e un tempo caratteristico della turbolenza, un parametro che esprime il rapporto tra la lunghezza caratteristica della struttura e una misura della lunghezza di correlazione della turbolenza.

La risposta dinamica è valutata attraverso la simulazione Monte Carlo di campi di vento rappresentati mediante una rappresentazione modale basata sulla Proper Orthogonal Decomposition (POD, Carassale & Solari, 2006) e l'integrazione numerica dell'equazione del moto. L'analisi statistica della risposta è orientata alla valutazione dei primi quattro cumulanti dello spostamento e del suo valore massimo atteso in un periodo di riferimento.

Dall'analisi parametrica emerge quanto segue:

1. il numero minimo di modi POD necessari per produrre il 99% della deviazione standard della risposta cresce all'aumentare della dimensione della struttura, restando, tuttavia, inferiore a 10, per valori fisicamente plausibili dei parametri ;
2. la deviazione standard della risposta aumenta meno che linearmente all'aumentare della dimensione della struttura;
3. skewness e coefficiente di eccesso tendono a diminuire all'aumentare delle dimensioni, ma con andamento non necessariamente monotono (in generale, il caso limite di struttura puntiforme non fornisce la massima non-gaussianità della risposta);
4. gli effetti sopra descritti divengono tanto più evidenti quanto maggiore è l'intensità della turbolenza.

RIFERIMENTI

- Piccardo G., Solari G. (2002). 3-D gust effect factor for slender vertical structures *Probabilistic Engineering Mechanics*, 17(2), pp. 143-155.
- Carassale L., Solari G., Tubino F. (2007). Proper Orthogonal Decomposition in Wind Engineering: Part 2: Theoretical Aspects and Some Applications, *Wind and Structures*, 10(2), pp. 177-208.
- Carassale L., Solari G. (2006). Monte Carlo simulation of wind velocity fields on complex structures. *J. Wind Engrg Ind Aerodyn.*, 94, pp. 323-339.

Analisi statistica della pressione agente su un corpo prismatico in galleria del vento

Luigi Carassale, Michela Marrè Brunenghi

Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni dell'Ambiente e del Territorio,
Università di Genova, Genova

SOMMARIO

Lo studio dell'aerodinamica di corpi tozzi è frequentemente condotto attraverso la misura sperimentale dei campi di pressione, agenti sulla superficie dei corpi investiti dal flusso, per mezzo di scanners multi-canale. Un caso studio tipico che ha rilievo in ambito civile riguarda corpi prismatici a spigoli vivi immersi in uno strato limite turbolento generato artificialmente. La grande ricchezza di applicazioni simili presenti in letteratura (es. Kikuchi *et al.*, 1997) rende questo caso particolarmente adatto per validare tecniche di misura e di analisi dei dati grazie al confronto quantitativo e qualitativo di grandezze statistiche stimate a partire da misure diverse e grazie all'analisi di visualizzazioni di flusso e simulazioni numeriche.

Malgrado la relativa standardizzazione delle tecniche sperimentali sopra menzionate, la scelta degli strumenti matematici da impiegare per l'analisi dei dati non è totalmente consolidata e include un'ampia gamma di tecniche tradizionali e innovative. Da un punto di vista statistico, queste tecniche possono essere classificate sulla base della loro capacità, o meno, di analizzare le proprietà congiunte del campo di pressione riferite a punti distinti del corpo e/o ad istanti temporali distinti. In questo senso è utile classificare i diversi approcci di analisi in quattro classi: analisi statistica della pressione in singoli punti a tempo singolo (SPST), in singoli punti a tempi multipli (SPMT), in punti multipli a tempo singolo (MPST) e in punti multipli a tempi multipli (MPMT). Una seconda possibile classificazione contrappone le tecniche che utilizzano informazioni statistiche fino al secondo ordine e le tecniche che sfruttano il carattere non-gaussiano delle misure come elemento essenziale per descrivere il fenomeno.

I risultati delle tecniche di tipo SPST sono generalmente costituiti da mappe (rappresentate con graduazioni di colore o curve di livello) che, sovrapposte alla superficie del corpo, mostrano l'andamento di grandezze quali i momenti statistici o i cumulanti. Questo tipo di analisi richiede l'implementazione di algoritmi molto semplici ed ha un onere computazionale modestissimo. Un'analisi SPST fornisce, al primo ordine, la mappa dei coefficienti di pressione medi e al secondo ordine, la mappa delle loro deviazioni standard. Accanto a queste grandezze tradizionalmente usate per caratterizzare il campo di pressione, lo skewness e il coefficiente di eccesso sono frequentemente impiegati per localizzare le zone di maggiore attività del distacco dei vortici o di altri fenomeni instabili nello strato limite (es. Gioffrè *et al.*, 2001).

Le tecniche di tipo SPMT comprendono la stima di auto-spettri e/o funzioni di auto-correlazione del campo di pressione in punti caratteristici della superficie del corpo e sono generalmente finalizzate ad identificare fenomeni dinamici aventi contenuti armonici caratteristici quali il distacco dei vortici regolare (Kitagawa *et al.*, 2002). L'analisi può essere ripetuta per ogni punto della superficie del corpo ma la struttura di correlazione spaziale del campo di pressione è totalmente ignorata.

Le tecniche di tipo MPST sono orientate allo studio della correlazione spaziale del campo di pressione; esso è idealizzato come una successione di realizzazioni di un campo aleatorio spaziale, mentre la sua struttura di correlazione temporale è totalmente ignorata. Le tecniche di questa classe forniscono generalmente quantità statistiche definite su domini spaziali multi-dimensionali (es. funzione cross-correlazione spaziale) che non possono essere sovrapposti graficamente alla superficie del corpo per facilitare l'interpretazione qualitativa del fenomeno (es. Kareem & Chang, 1999). Allo scopo di superare questa limitazione e facilitare un'interpretazione qualitativa dei fenomeni in esame, si

impiegano comunemente espansioni modali del campo aleatorio spaziale o delle sue proprietà statistiche. Nell'ambito dell'aerodinamica sperimentale, la più popolare di queste tecniche è la Proper Orthogonal Decomposition (POD, Holmes *et al.*, 1996), anche nota in campo statistico come Principal Component Analysis (PCA). Le potenzialità di questa tecnica per l'interpretazione qualitativa di campi di pressione, rappresentati come sovrapposizione di strutture coerenti, è stata sperimentata da moltissimi autori in innumerevoli applicazioni sperimentali (es. Kikuchi *et al.*, 1997). La POD è, per definizione, una tecnica del secondo ordine e pertanto trascura tutte le informazioni statistiche che coinvolgono la non-gaussianità delle misure. Questa caratteristica conduce talvolta a risultati non soddisfacenti quando la POD è utilizzata come strumento interpretativo. Una generalizzazione del concetto di struttura coerente capace di migliorarne le potenzialità interpretative può essere definito attraverso la Independent Component Analysis (ICA) che sostituisce il vincolo di ortogonalità dei modi POD con il vincolo di massima indipendenza statistica fra le ampiezze modali (Hea *et al.*, 2007, Carassale & Vernazzani, 2009).

Infine, le tecniche di tipo MPMT sono finalizzate a rappresentare simultaneamente la struttura probabilistica spaziale e temporale del campo di pressione. Le applicazioni di queste tecniche nell'ambito dell'aerodinamica sperimentale sono modestissime (Carassale *et al.*, 2004, De Grenet & Ricciardelli, 2004), anche a causa della necessità di disporre di grandi quantità di dati per stimare correttamente le quantità statistiche necessarie per le analisi. Analogamente alle tecniche MPST, il campo di pressione (o una sua proprietà statistica) è rappresentato attraverso espansioni modali; la struttura probabilistica temporale del campo di pressione può essere quindi modellata attraverso integrali di convoluzione o strutture coerenti variabili in frequenza.

Il presente sommario discute l'applicazione delle tecniche di analisi sopra descritte alle misure di pressione effettuate su un modello di edificio alto a sezione quadrata con rapporto base/altezza pari a 1/5. Le analisi sono ripetute per due condizioni di flusso incidente: una con velocità uniforme e bassa intensità di turbolenza (circa 0.3%) ed una con un profilo di velocità media caratteristico di un terreno suburbano e intensità di turbolenza pari al 15%). Per entrambe le condizioni (di flusso) sono stati considerati diversi angoli di attacco.

I risultati delle analisi mostrano che le tecniche più sofisticate e numericamente più onerose risultano maggiormente adeguate a rappresentare, anche da un punto di vista qualitativo, il fenomeno fisico misurato. Questa differenza tende ad essere particolarmente significativa nel caso si studino effetti locali, ad esempio quelli dovuti alla formazione di un vortice a valle di uno spigolo o alla sua convezione lungo una parete.

RIFERIMENTI

- Carassale, L., Hibi, K., Pagnini, L.C., Solari, G., Tamura, Y., 2004. POD analysis of the dynamic wind pressure on a tall building. Atti 5th Int. Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications, BBAA V, pp. 309-312.
- Carassale L., Vernazzani A. (2009). Interpretation of aerodynamic pressure measurements by Independent Component Analysis. Atti 5th European and African Conference on Wind Engineering, 5-EACWE.
- De Grenet E.T., Ricciardelli F., (2004). Spectral proper transformation of wind pressure fluctuations: application to a square cylinder and a bridge deck. *J. of Wind Engrg. & Ind. Aerodyn.* 92, pp. 1281-1297.
- Holmes P., Lumley J.L., Berkooz G., (1996). *Turbulence: coherent structures, dynamical systems and symmetry*. Cambridge University Press, Great Britain.
- Kikuchi H., Tamura Y., Ueda H., Hibi K. (1997). Dynamic wind pressure acting on a tall building model - Proper orthogonal decomposition. *J. of Wind Engrg. & Ind. Aerodyn.*, 69-71, pp. 631-646.
- Kareem A., Chang C.M. (1999). Pressure and force fluctuations on isolated roughened circular cylinders of finite height in boundary layer flows. *Journal of Fluids and Structures*, 13, pp. 907-933.
- Kitagawaa T., Fujinob Y., Kimurac K., Mizuno Y. (2002). Wind pressures measurement on end-cell-induced vibration of a cantilevered circular cylinder. *J. of Wind Engrg. & Ind. Aerodyn.*, 90, pp. 395-405
- Hea H., Ruanb D., Mehtaa K.C., Gilliama X., Wu F. (2007). Nonparametric independent component analysis for detecting pressure fluctuation induced by roof corner vortex. *J. of Wind Engrg. & Ind. Aerodyn.*, 95, pp. 429-443.
- Gioffrè M., Gusella V., Grigoriu M. (2001). Non-Gaussian Wind Pressure on Prismatic Buildings I: Stochastic Field, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 127, pp. 981-989.

Actuator disc wind turbine wakes simulation: about the dependences on the wind shear conditions.

Francesco Castellani^a, Giorgio Crasto^b

^aUniversity of Perugia - Department of Industrial Engineering, Via Duranti 67 – 06125 Perugia

^bWindSim AS, Fjordgaten 15 – 3125 Tønsberg, Norway

SUMMARY

Modelling wind turbine wakes is going to be a fundamental issue in wind energy assessment studies; in present work CFD (Computational Fluid Dynamics) and the actuator disc concept have been applied to simulate the wakes of a group of wind turbines. Such technique (Crasto & Gravdahl, 2008) can be very useful to model onshore and offshore wind farms, for example with this approach is possible to evaluate an interaction between wake and terrain and wake-wake interactions. A Normalized Wind Deficit is plotted in Figure 1 along the centre-line of the wind turbine rotor.

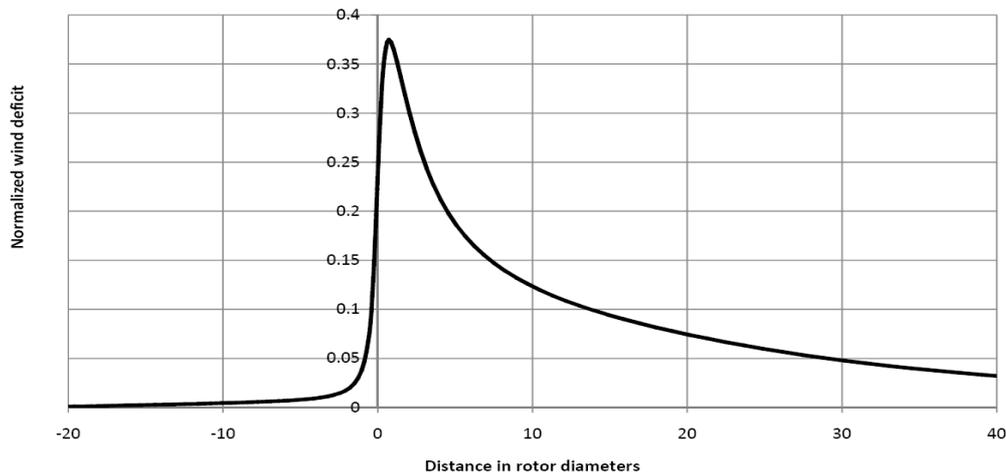


Figure 1 – Normalized wind deficit calculated using CFD and the actuator disc concept.

In wind turbine fluid dynamics wakes evolution and power extraction are obviously strictly related (Vermeer *et al.*, 2003); using CFD simulation and the actuator disc it is possible to observe the wakes evolution as well as evaluate the power absorbed by the rotor.

In present work the force on the rotor was defined according to the thrust coefficient curve supplied by the turbine manufacturer; anyway using such data an overestimation of the calculated wind power was observed for a test case in offshore conditions. Such behaviour can be induced by a different wind shear profile; the power curve and the thrust coefficients usually provided by the wind turbine manufacturers are measured following IEC standards in a test field that can be characterized by a surface roughness condition very different from the operational one.

This is the case when operating a wind turbine in offshore conditions where the roughness length can be 0,0001 m or less while for the onshore test field the roughness length is generally 0,03 m.

This obviously can affect the estimation of the energy production (Antoniou *et al.*, 2009 - Montes *et al.*, 2009) as well as the force. In present work the reliability of the power estimation and the study of wakes evolution have been improved by using the correction of the thrust coefficients according with the actual wind shear profile.

The wind shear affects both the theoretical power available for the wind turbine (Castellani & Franceschini, 2005) and the theoretical force required to stop the wind flow. When using thrust coefficient data to model the force exerted by the rotor on the undisturbed flow errors can be

introduced when simulating wind shear profiles very far from the test field conditions. The theoretical force required to stop the wind flowing through the rotor disc can be expressed as a function of the roughness length; applying a logarithmic wind profile such force is represented by the following integral form:

$$TF(z_0) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \int_{\text{hub} - \frac{Dr}{2}}^{\text{hub} + \frac{Dr}{2}} \left(v_h \cdot \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{\text{hub}}{z_0}\right)} \right)^2 \cdot 2 \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{Dr}{2}\right)^2 - (\text{hub} - z)^2} \right] dz$$

Where:

- **vh** is the wind speed at hub height;
- **Dr** is the rotor diameter
- **hub** is the height of the hub;
- **z0** is the roughness length;
- **ρ** is the air density.

In present work the correction of the thrust coefficients has been applied according to the ratio of the *Theoretical Force* (TF) estimated for the actual offshore roughness and the TF calculated for the test field conditions.

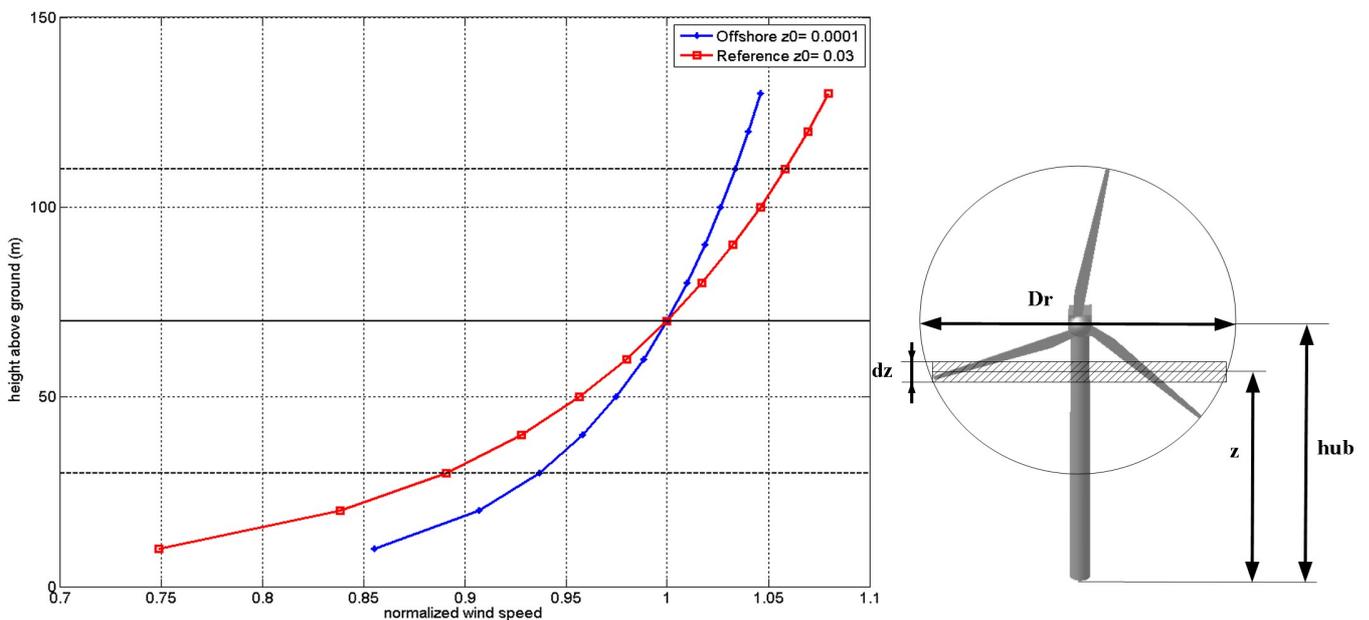


Figure 2 – Offshore and test field wind profiles.

Applying such correction an improvement of the reliability of the power estimation was observed; in this way the numerical simulation is able to reproduce the right energy exchanges between turbines and the undisturbed flow.

This approach can be very useful also when observing the effect of different stratification conditions; even with similar roughness very different wind shear can also be induced by thermal effects. Anyway this correction technique can be applied whenever the wind profile is disturbed by particular local conditions induced by orography, roughness or thermal effects.

References

- G. Crasto, A.R. Gravdahl (2008) “:CFD wake modeling using a porous disc.” - European Wind Energy Conference & Exhibition (Brussels Expo, Belgium, 31 March - 3 April 2008)
- L.J. Vermeer, J.N.Sorensen, A. Crespo (2003) “Wind turbine wake aerodynamics” - *Progress in Aerospace Sciences* 39 (2003) 467–510
- F. Castellani and G. Franceschini (2005) “A new technique to improve expected AEP estimation in very complex terrain.” – 24th ASME/AIAA Wind Energy Symposium – Conference Proceedings 2005
- E. Montes, A. Arnedo, R. Cordon, R., Zubiaour (2009) “Influence of windshear and seasonality on the power curve and annual energy production of wind turbines”. EWEC 2009 Scientific track
- I. Antoniou, S. M. Pedersen, P. B. Enevoldsen (2009) “Wind shear and uncertainties in power curve measurement and wind resources” – Windpower 2009

Studio dell'effetto Reynolds sui coefficienti aerodinamici di veicoli ferroviari mediante prove in galleria del vento

C. Catanzaro*, F. Cheli*, D. Rocchi*, G. Tomasini*

*Dipartimento di Meccanica, Politecnico di Milano
Via La Masa, 1 20158 - MILANO
gisella.tomasini@polimi.it

Nel passato, i *test in galleria del vento* su modelli di veicolo in scala si sono rivelati essere la metodologia più adatta per una determinazione sufficientemente accurata dei coefficienti aerodinamici. La validità dei risultati ottenuti con prove in galleria del vento è legata alla bontà con cui si riproducono le reali condizioni del treno in marcia soggetto a vento trasversale. Dagli studi realizzati in questo ambito è emerso che, tra gli aspetti maggiormente significativi per la corretta misura dei coefficienti aerodinamici, oltre alla simulazione dello strato limite (Baker and Humphreys, 1996), degli scenari infrastruttura e del moto relativo treno-vento (Bocciolone *et al.*, 2008, Baker and Humphreys, 1992, Baker, 2002), vi è il numero di Reynolds (Baker, 1991, Bocciolone *et al.*, 2008). Il numero di Reynolds caratteristico delle prove in galleria del vento è normalmente ridotto rispetto al vero sia per effetto del rapporto di scala, sia per la velocità del vento massima riproducibile in galleria¹. In questo lavoro si prendono in esame i coefficienti aerodinamici di forza e di pressione misurati:

- su differenti treni (ETR500, EMUV250, ATM, ecc.);
- nelle due camere di prova della galleria del vento del Politecnico di Milano in un range di numeri di Reynolds compresi tra $1 \cdot 10^5$ e circa $1 \cdot 10^6$;
- per differenti angoli di incidenza treno-vento.

A parità di modello, i test eseguiti nelle due camere di prova hanno permesso di mettere in evidenza gli effetti legati alla turbolenza del vento ($I_u=2\%$ nella camera a strato limite, $I_u=.2\%$ nella camera ad alta velocità) e quelli legati all'effetto di bloccaggio (4x4m sezione ad alta velocità, 14x4m sezione a strato limite).

Si sono considerate inoltre prove su modelli con rugosità superficiale elevata, al fine di poter indagare l'effetto di un incremento di numero di Reynolds locale.

A titolo di esempio, nelle figure 1 e 2 si riportano i coefficienti aerodinamici di forza verticale e di momento a rollio misurati sul modello in scala 1:15 del treno ETR500 con lo scenario di riferimento per la normativa CEN, ovvero *Single Track Ballast and Rail*.

I coefficienti sono riportati:

- per diversi valori della velocità di prova, da 10 m/s a 50 m/s;
- al variare dell'angolo di incidenza treno-vento: $\beta_w=0^\circ$ corrisponde a vento parallelo al veicolo e $\beta_w=90^\circ$ corrisponde alla condizione di vento perpendicolare.

Dall'analisi dei risultati ottenuti, si può notare come il coefficiente di forza verticale mostri una dipendenza dal numero di Reynolds che si manifesta già per bassi angoli di incidenza: il coefficiente cresce al crescere di Re. Diversamente, il coefficiente di momento a rollio mostra che le corrispondenti polari, al variare di Re, sono sostanzialmente sovrapposte fino a 50° . Per angoli di incidenza superiori, si possono notare differenze che non mostrano

¹ La velocità relativa del vento al vero, nel caso di treni ad alta velocità, è superiore ai 300 km/h.

un trend univoco al variare di Re e quindi complessivamente questo coefficiente non mostra una dipendenza dal numero di Re in tutto il range di angoli di incidenza considerati.

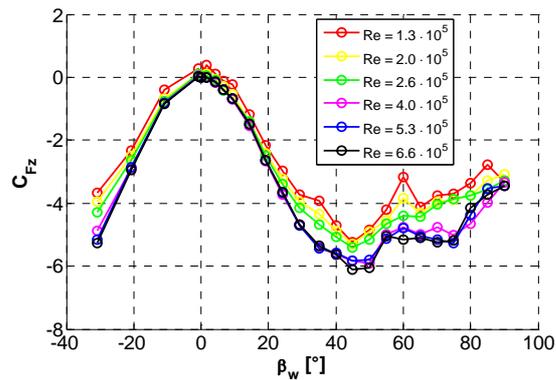


Figura 1 – Locomotore ETR 500 (scala 1:15), single track ballast and rail. Coefficiente di forza verticale in funzione di β_w , al variare di Re .

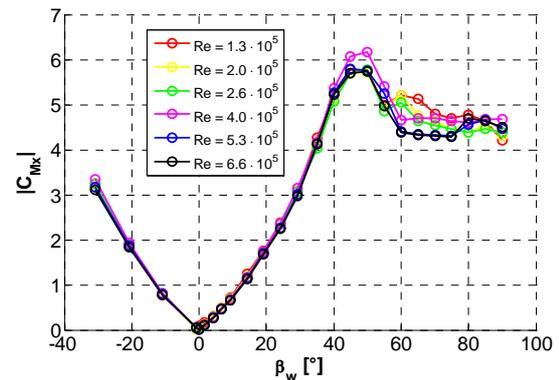


Figura 2 – Locomotore ETR 500 (scala 1:15), single track ballast and rail. Coefficiente di momento a rollio in funzione di β_w , al variare di Re .

A conferma dell'influenza del numero di Reynolds sul coefficiente di portanza, nelle figure 3 e 4 è riportata la distribuzione di pressione misurata sul muso del treno per un angolo di incidenza di 60° , nel caso di velocità di prova, rispettivamente, di 10 m/s e 50 m/s. Da tali figure è possibile osservare come l'incremento di spinta verticale osservato in figura 1 sia associato all'incremento di depressione che si genera sulla parte anteriore del treno nella prova a velocità più elevata.

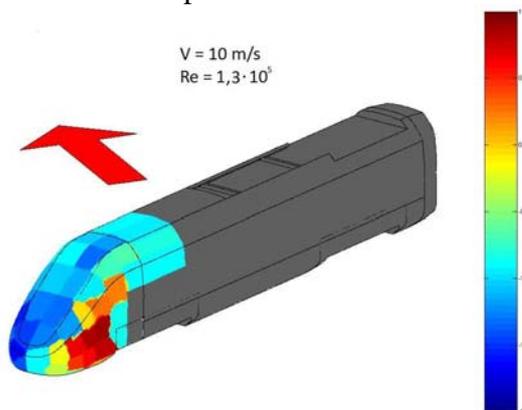


Figura 3 – Locomotore ETR 500, single track ballast and rail, $\beta_w=60^\circ$, $Re=1,3 \cdot 10^5$: distribuzione di pressioni.

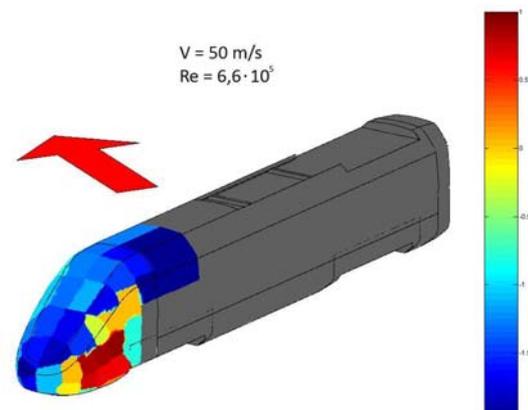


Figura 4 – Locomotore ETR 500, single track ballast and rail, $\beta_w=60^\circ$, $Re=6,6 \cdot 10^5$: distribuzione di pressioni.

Bibliografia

- [1] Baker, C.J., 1991. Ground vehicles in high cross winds Part 1 Steady Aerodynamic forces. Journal of Fluids and Structures 5, 69-90.
- [2] Baker C.J., Humphreys N.D., 1996. Assessment of the adequacy of various wind tunnel techniques to obtain aerodynamic data for ground vehicles in cross winds. Journal of wind engineering and industrial aerodynamics, 60, 49-68.
- [3] Baker C.J. Humphreys N.D., 1992. Forces on vehicles in cross winds from moving model tests. Journal of wind engineering and industrial aerodynamics, 41-44, 2673-2684.
- [4] Baker C. J., 2002. The wind tunnel determination of crosswind forces and moments on a high speed train. Notes on Numerical Fluid Mechanics 79, Springer-Verlag Berlin 46-60
- [5] Bocciolone, M., Cheli, F., Corradi, R., Muggiasca, S., Tomasini, G., 2008. Crosswind action on rail vehicles: wind tunnel experimental analyses. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 96, 584-610
- [6] prEN 14067-6, CEN/TC 256 N 2607, 2009 Railway Applications – Aerodynamics – Part 6: Requirements and test procedures for cross wind assessment. European standard.

Sull'effetto di barriere antivento sui veicoli ferroviari: analisi numerica CFD

C. Catanzaro*, F.Cheli*, P.Schito*, G. Tomasini*

*Dipartimento di Meccanica, Politecnico di Milano
Via La Masa, 1 20158 - MILANO
gisella.tomasini@polimi.it

Il problema del vento trasversale su treni ad alta velocità è oggi di estrema importanza: la maggiore velocità di esercizio dei treni, combinata con forti venti trasversali, può infatti indurre forze aerodinamiche tali da poter indurre il ribaltamento del treno.

Per prevenire tale rischio, attualmente, sulle linee europee sono adottate due soluzioni alternative:

- la regolazione della velocità del veicolo, in funzione della velocità del vento misurata da anemometri in linea, sulla base della conoscenza delle cosiddette Characteristic Wind Curves, ovvero delle velocità limite per il ribaltamento del treno ([4]);
- l'installazione di barriere antivento lungo la linea.

L'obiettivo del presente lavoro è lo studio degli effetti di differenti barriere antivento sul treno mediante analisi fluidodinamiche numeriche (CFD) con modelli bidimensionali e tridimensionali.

Durante lo sviluppo della ricerca, è stato dapprima messo a punto un modello bidimensionale (2D), grazie al quale è stato possibile analizzare l'effetto sui coefficienti aerodinamici del veicolo dei diversi parametri che caratterizzano la barriera antivento quali, ad esempio, porosità, altezza, inclinazione e distanza dal binario, per la sola condizione di vento perpendicolare all'asse longitudinale del treno.

Successivamente, si è implementato un modello numerico tridimensionale (3D), in grado di riprodurre il fenomeno con maggior accuratezza, essendo il problema in esame è fortemente tridimensionale, riproducendo, con questo, tutte le condizioni di vento incidente.

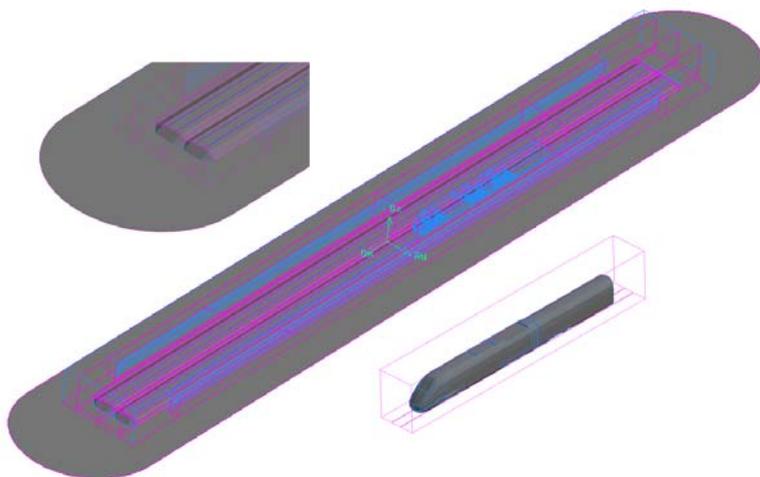
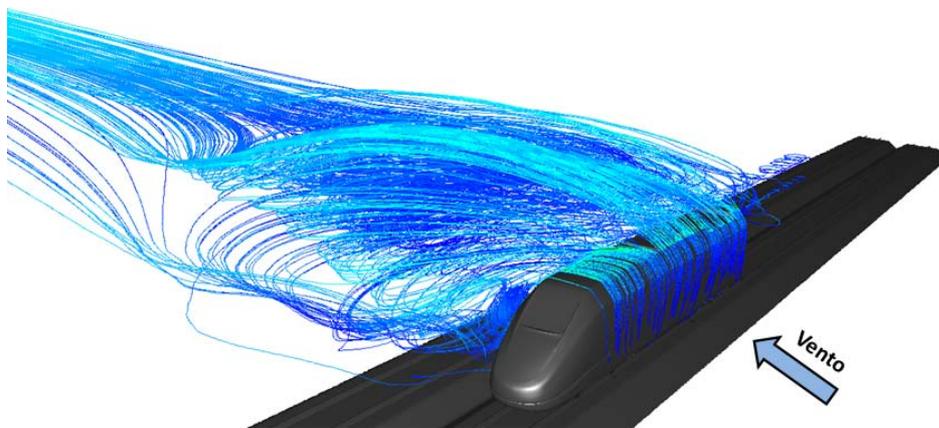


Figura 1 – Veicolo locomotore ETR 500, scenario double ballast and rail.. Analisi CFD 3D: mesh modulare.

Mediante il modello 3D è stato possibile indagare diverse soluzioni di barriere antivento, con l'obiettivo di trovare la barriera ottimale, in termini di abbattimento dei coefficienti aerodinamici sul treno, con vantaggi dal punto di vista della sicurezza, e sulla barriera, con vantaggi dal punto di vista del dimensionamento e quindi della sua realizzazione.

Il procedimento iterativo di ottimizzazione comporta il fatto di dover generare per ogni nuovo caso la geometria e la mesh, con un notevole dispendio di tempo. Per questo motivo si è fatto uso di una mesh modulare (figura 1): lo scenario è stato suddiviso in diversi volumi, definiti ciascuno da mesh separate, che, solo successivamente, sono state interfacciate e assemblate tra loro. In questo modo una modifica sullo scenario, come, ad esempio, la scelta di una diversa barriera, implica la modifica geometrica del solo volume ad essa associato e la successiva meshatura.

Un tale approccio ha, inoltre, il vantaggio di permettere l'utilizzo di diversi elementi di mesh a seconda della forma del volume considerato. Sui volumi più semplici è possibile adottare elementi strutturati che garantiscono una notevole riduzione della dimensione della mesh e, contemporaneamente, una elevata qualità delle celle. In tal modo si conferiscono maggiori gradi di libertà all'utente che può scegliere diversi livelli di accuratezza, dando più importanza ad alcune zone dello scenario.



*Figura 2 – Veicolo locomotore ETR 500, scenario: double ballast and rail.
Analisi CFD 3D: linee di flusso.*

Il modello CFD 3D è stato validato per mezzo dei dati sperimentali ottenuti dalle prove in galleria del vento ([3]): i test sono stati realizzati su un modello del locomotore ETR500 in scala 1:15 con differenti tipologie di barriere. Nell'ambito di tali test si sono misurate sia le spinte sul treno e barriera, sia la distribuzione della pressione sul treno.

I dati numerici ottenuti con l'analisi numerica CFD 3D hanno mostrato un buon accordo con i risultati sperimentali, sia in termini di coefficienti aerodinamici, sia come andamento della pressione sul treno.

Bibliografia

- [1] B. Diedrichs, *Aerodynamic calculations of crosswind stability of a high-speed train using control volumes of arbitrary polyhedral shape*, in *BBAA VI International Colloquium on Bluff Bodies Aerodynamics & Applications*, Milano, 2008.
- [2] B. Diedrichs, *On CFD modelling of crosswind stability for high-speed rolling stock*, *Journal of Rail and Rapid Transit*, vol. 217, 2003.
- [3] F. Cheli, G. Tomasini, R. Volpe, *Sull'effetto di barriere antivento sui veicoli ferroviari: analisi sperimentali in galleria del vento*, *INVENTO 2010*, Spoleto, 30 giugno – 3 luglio 2010.
- [4] F. Cheli, F. Ripamonti, D. Rocchi, G. Tomasini *Aerodynamic behaviour investigation of the new EMUV250 train to cross wind*, *J.Wind Eng. Ind. Aerodyn.* (2010).

Sull'effetto di barriere antivento sui veicoli ferroviari: analisi sperimentali in galleria del vento

F. Cheli*, G. Diana*, G. Tomasini*, R. Volpe*

*Dipartimento di Meccanica, Politecnico di Milano
Via La Masa, 1 20158 - MILANO
gisella.tomasini@polimi.it

L'analisi degli effetti del vento trasversale sui veicoli ferroviari è diventata, nell'ultimo decennio, uno dei problemi chiave connessi alla sicurezza di marcia, soprattutto per i treni ad alta velocità.

Lo sviluppo di nuove linee ferroviarie e di nuovo materiale rotabile per l'alta velocità in Europa e in Giappone, l'esigenza di una normativa di *interoperabilità* per i treni viaggianti nell'ambito della Comunità Europea [1], così come l'importanza sempre maggiore che ha assunto la sicurezza dei trasporti, hanno portato all'attenzione della comunità scientifica internazionale il tema dell'analisi del rischio di ribaltamento dei treni per effetto del cosiddetto *cross wind*.

Fino ad oggi, infatti, solo pochi Stati europei avevano una normativa nazionale specifica e, in generale, tali normative erano spesso estremamente conservative e basate sull'esperienza più che su una reale conoscenza tecnico-scientifica del problema ([2], [3]).

Le principali linee guida per la riduzione del rischio di ribaltamento dovuto al *cross wind* sono:

- lato veicolo: un'ottimizzazione dell'aerodinamica del veicolo ed una diminuzione della superficie laterale esposta (con l'adozione, ad esempio, di veicoli di testa più corti), allo scopo di ridurre i carichi aerodinamici e un incremento del carico per asse, soprattutto del veicolo di testa ([5]);
- lato infrastruttura: l'adozione di restrizioni operative (come, ad esempio, la riduzione della velocità su ponti o viadotti ritenuti ad alto rischio) e la realizzazione di opere civili di schermatura dall'azione del vento (barriere antivento) ([4]). Entrambe le soluzioni richiedono uno studio preventivo che identifichi le zone ad alto rischio di ribaltamento, combinando le informazioni relative alla dinamica/aerodinamica del treno con quelle relative alle caratteristiche di ventosità della linea considerata.

Il presente lavoro si inserisce nell'ambito della definizione e dello studio di soluzioni di schermatura da installare lungo tratti di linea ritenuti ad elevata pericolosità. In particolare, lo scopo è quello di analizzare, mediante prove sperimentali su modelli in scala eseguite in galleria del vento, l'effetto di differenti barriere antivento sui veicoli ferroviari.

Più in particolare, sono state condotte due differenti campagne sperimentali nella galleria del vento del Politecnico di Milano su un modello in scala 1:15 di locomotore ETR500, entrambe a treno fermo:

- la prima nella camera ad alta velocità (sezione 4m x 4m, $V_{\max} = 55$ m/s, vedi figura 1)
- la seconda nella camera a strato limite (sezione 14m x 4m, $V_{\max} = 15$ m/s).

Durante tutte le prove realizzate, si sono acquisite sia le forze aerodinamiche agenti sul primo veicolo del treno, sia quelle scaricate su un modulo di barriera antivento. I dati acquisiti sul veicolo avevano lo scopo di valutare l'efficacia della barriera testata in termini di riduzione dell'azione aerodinamica, mentre quelli misurati sulla barriera hanno permesso di identificare il carico aerodinamico gravante sulla stessa, da utilizzare per il dimensionamento dei montanti di sostegno.

L'obiettivo dei test realizzati nella camera ad alta velocità è stata la verifica della sensibilità dei coefficienti aerodinamici (di forza e di pressione) al numero di Reynolds, con e senza barriere antivento: la limitata estensione della camera, tuttavia, non ha reso possibile l'analisi completa degli effetti della barriera al variare dell'angolo di incidenza β_w del vento.

A titolo di esempio, la figura 2 mostra l'andamento del coefficiente di momento a rollio C_{Mx} misurato sul primo veicolo del treno ETR500 in presenza di una barriera alta 2m al vero, con porosità del 66%, per numeri di Re compresi tra $2 \cdot 10^5$ e $6.6 \cdot 10^5$, al variare dell'angolo di incidenza della vena incidente, considerando le situazioni comprese tra vento parallelo al veicolo ($\beta_w=0^\circ$) a vento perpendicolare ($\beta_w=90^\circ$). I risultati ottenuti hanno mostrato che, nel range di Re considerato, non si hanno sostanziali variazioni del coefficiente di momento a rollio a pari angolo di incidenza.

Dopo aver verificato l'indipendenza dal numero di Reynolds dei coefficienti aerodinamici più significativi per il problema del *cross wind*, ovvero del coefficiente di forza laterale e dei momenti a rollio e a serpeggio, si sono eseguite nuove prove nella camera a strato limite, con velocità della vena incidente inferiori: in tale campagna sperimentale, l'ampiezza della camera di prova ha consentito di riprodurre 10 metri di lunghezza di scenario, così da poter riprodurre correttamente le reali condizioni al contorno anche per gli angoli di incidenza più bassi.

In tali prove, si sono potute analizzare differenti tipologie di barriere (a porosità uniforme e a slot orizzontali equispaziati) e si sono identificate le soluzioni più adatte per la riduzione/abbattimento del rischio di ribaltamento.

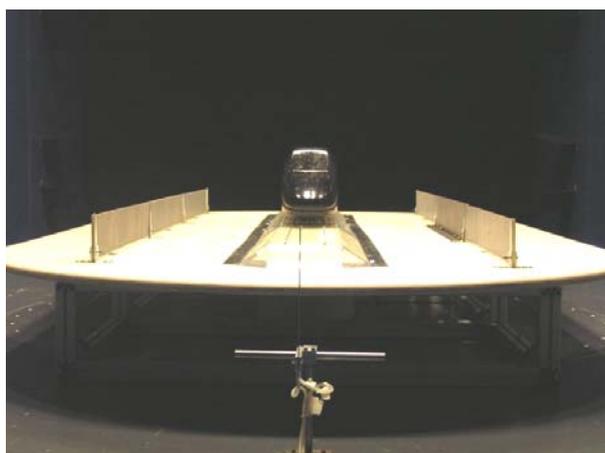


Figura 1 - Prova in galleria del vento (camera ad alta velocità). Veicolo locomotore ETR 500, scenario: single track ballast and rail.

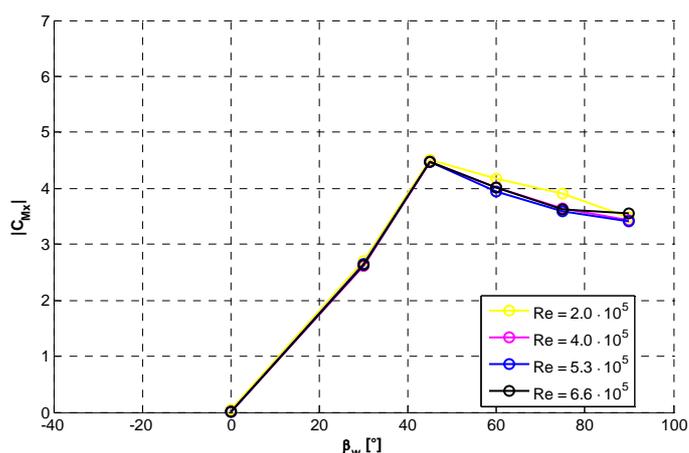


Figura 2 – Veicolo locomotore ETR 500, scenario single track ballast and rail: coefficiente aerodinamico di momento a rollio C_{Mx} in presenza di barriera, al variare di numero di Reynolds.

Bibliografia

- [1] EC. TSI, *Technical Specification for Interoperability of the trans-European high speed rail system*, 2006, European Law, Official Journal of the European Communities.
- [2] Ch. Heine, M. Möller, J. Driller Th. Tielkes, *A Probabilistic Approach to Safeguard Cross Wind Safety of Passenger Railway Operation in Germany: The new DB Guideline*, in Proceedings of the 8th World Congress on Railway Research, South Korea, 2008.
- [3] L.M. Cléon, J. P. Gautier and F. Sourget, *Sécurité de la circulation des trains à grande vitesse vis-à-vis des vents latéraux: le programme DeuFraKo*, Revue générale des Chemins de fer, July 2004.
- [4] L.M. Cléon and A. Jourdain, *Protection of line LN5 against cross winds*.
- [5] F. Cheli, F. Ripamonti, D. Rocchi, G. Tomasini *Aerodynamic behaviour investigation of the new EMUV250 train to cross wind*, J.Wind Eng. Ind. Aerodyn. (2010)

Azione del vento su edifici alti: analisi dei momenti statistici di ordine superiore mediante misure HFFB e SMPSS

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

^aDipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Perugia
^bCRIACIV - Centro di Ricerca Interuniversitario di Aerodinamica delle Costruzioni e Ingegneria del Vento, Prato

SOMMARIO

Nel caso di strutture di forma complessa, un'affidabile stima dei carichi indotti dal vento richiede l'esecuzione di specifiche prove in galleria del vento su modelli in scala. In tale contesto si possono utilizzare bilance aerodinamiche ad alta frequenza (High Frequency Force Balance, HFFB), che forniscono la risultante e il momento risultante alla base. Per la valutazione delle forzanti questo approccio può tuttavia risultare non adeguato nel caso di edifici per i quali la risposta dinamica sia influenzata dai modi superiori o in cui i modi siano accoppiati (Holmes, 2001). Un approccio alternativo consiste nella misura sincrona del campo delle pressioni (attraverso un opportuno sistema di prese di pressione : Synchronous Multi-Pressure Sensing System, SMPSS) ed integrando successivamente i dati sperimentali al fine di ottenere il campo di forze. Questo approccio tuttavia necessita di un numero adeguato di prese per poter ricostruire con sufficiente accuratezza il campo di pressione e quindi quelle delle forzanti. In questo contesto si è svolta una campagna di prove sperimentale per la misura sia delle sollecitazioni alla base attraverso HFFB che delle storie di pressione mediante SMPSS su modelli di edifici alti regolari ed irregolari.

In questo lavoro si presentano i risultati ottenuti presso la galleria del vento del CRIACIV (Centro di Ricerca Interuniversitario di Aerodinamica delle Costruzioni e Ingegneria del Vento) nell'ambito del progetto di ricerca PRIN 2007 WiPOD.

Sono stati utilizzati due modelli. Il primo, in scala 1:500, è relativo all'edificio "Bank of China" di Hong Kong; tale edificio è caratterizzato da una sezione trasversale che si sviluppa lungo l'altezza a partire dalla base, con forma quadrata di lato 104 m, fino alla sommità di 610 m dove risulta di forma triangolare corrispondente ad uno spicchio della partizione ottenuta dalle diagonali della quadrato origine. Il secondo modello è prismatico corrisponde all'edificio precedente con sezione trasversale costante e pari a quella di base. Ovviamente se quest'ultimo caso corrisponde ad un "edificio regolare", il primo è un chiaro esempio di "edificio fortemente irregolare".

Nelle prove con SMPSS si sono utilizzate 126 prese di pressione disposte su tutte le facce dell'edificio; le prove hanno avuto durata di 30 s e la frequenza di acquisizione è stata di 250 Hz, con velocità del vento di circa 20 m/s; si è inoltre variata la direzione del vento con passo 10°.

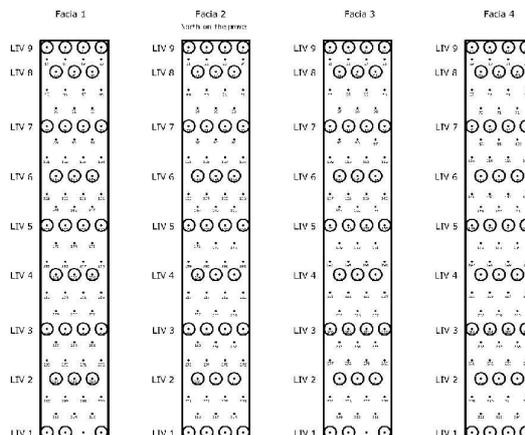


Figura 1: posizione dei sensori SMPSS nell'edificio regolare



Figura 2: modello edificio regolare montato su bilancia HFFB in galleria

Nelle prove con HFFB la durata è stata di 60 s, la frequenza di acquisizione di 1000 Hz e velocità del vento di 8 m/s; anche in questo caso si è inoltre variata la direzione del vento con passo 10°. Inoltre si è valutato l'effetto della velocità del vento sulle caratteristiche della risposta misurata dalla HFFB in un intervallo di velocità da 6 m/s a 30 m/s.

I dati sperimentali hanno consentito di confrontare i risultati ottenuti mediante le due tecniche di misura delle forzanti in termini di media, deviazione standard e momenti statistici di ordine superiore (skewness e kurtosis) delle forzanti (tagli nelle due direzioni orizzontali, momenti flettenti e momento torcente) agenti alla base dei modelli. In particolare, i momenti del terzo e quarto ordine sono state utilizzati per stimare le deviazioni dal modello Gaussiano (Gioffré *et al.*, 2001).

Holmes J. D. (2001). *Wind loading of Structures*. Spon Press – Taylor & Francis Group, London
Gioffré M., Gusella V., Grigoriu M. (2001) Non-Gaussian, Wind Pressure on Prismatic Buildings. I: Stochastic Field, *Journal of Structural Engineering* 127(9) 981–989

Fractional Spectral Moments for the Representation of Multivariate Wind Velocity Processes

Giulio Cottone ^{a,b}, Mario Di Paola ^a

^aDipartimento di Ingegneria Strutturale Aerospaziale e Geotecnica,
Università degli Studi di Palermo, ITALY

^bEngineering Risk Analysis Group, Technische Universität München, München, GERMANY

ABSTRACT

Engineering analysis of wind-exposed structures by means of Monte Carlo methods requires efficient techniques to generate samples of wind velocity processes, usually assumed to be both Gaussian and stationary. In Di Paola, 1998 it has been shown that the spectral decomposition of the Power Spectral Density (PSD) matrix $\mathbf{S}_V(\omega)$ can be used to represent the n -variate wind velocity process $\mathbf{V}(t)$ in terms of n processes $B_j(t)$ having independent and orthogonal increments. In particular, it can be shown that

$$\mathbf{V}(t) = \sum_{j=0}^n \int_{-\infty}^{\infty} \boldsymbol{\psi}_j(\omega) \sqrt{\lambda_j(\omega)} e^{i\omega t} dB_j(\omega) \quad (1)$$

holds true, where $\boldsymbol{\psi}_j(\omega)$ and $\lambda_j(\omega)$ are the j th frequency dependent eigenvectors and eigenvalues of $\mathbf{S}_V(\omega)$, respectively and $B_j(\omega)$ are zero mean normal complex processes. Auto Regressive method and polynomial interpolation has been used in Di Paola & Gullo, 2001 for the digital simulation of multivariate wind velocity processes. In this paper, recent results on the application of fractional calculus in the characterization of random variables and stochastic process will be used to represent the process $\mathbf{V}(t)$.

Many simulation procedures to synthesize stationary random processes are based on the generation of the output of a proper linear system excited by a white noise process. In Cottone et al, 2010, the authors proposed a novel representation based on the fractional spectral moments of the transfer function $H(\omega)$ of a proper defined linear systems and defined as

$$\Pi_H(-\gamma) = \int_{-\infty}^{\infty} |\omega|^{-\gamma} H(\omega) d\omega, \quad \gamma \in \mathbb{C}, 0 \leq \text{Re } \gamma \leq 1 \quad (2)$$

Any stationary Gaussian process $Y(t)$ with target power spectral density $S_Y(\omega)$, can be expressed by using the fractional spectral moments of the transfer function as

$$Y(t) = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \Pi_H(-\gamma) (I^\gamma W)(t) d\gamma \quad (3)$$

being $(I^\gamma W)(t)$ the Riesz fractional derivative of complex order γ of a Gaussian white noise process $W(t)$.

In this paper, such a representation is extended to multivariate wind velocity process $\mathbf{V}(t)$ with given Power Spectral Density matrix $\mathbf{S}_V(\omega)$. Firstly the n -variate process will be expressed as sum of n fully coherent normal vectors, as shown in Di Paola, 1998, and then representation in terms of fractional spectral moments will be used.

- Cottone, G., Di Paola, M., Santoro, R. (2010). A novel exact representation of stationary colored Gaussian processes (fractional differential approach). *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical* 43 085002 (16pp).
- Cottone, G., Di Paola, M. (2010). A new representation of power spectral density and correlation function by means of fractional spectral moments. *Probabilistic Engineering Mechanics*. 25: 348-353. Doi: 10.1016/j.probenmech.2010.04.003
- Di Paola, M. (1998). Digital simulation of wind field velocity. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 74-76, 91-109.
- Di Paola, M., Gullo I. (2001). Digital generation of multivariate wind field processes. *Probabilistic Engineering Mechanics*. 16:1-10.

Analisi al vento dei nuovi alti edifici di Milano

Pietro Crespi ^a, Nicola Longarini ^b

^a Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria Strutturale

^b AMIConsulting s.r.l. Milano

SOMMARIO

La città italiana più interessata dalla realizzazione di moderni alti edifici (altezza compresa tra circa 130m e 250m) è Milano, ove le realizzande torri di Porta Nuova e quelle di CityLife (in progetto) saranno le protagoniste del futuro skyline milanese.

Per gli alti edifici, ed a maggior ragione per i grattacieli, l'azione sollecitante orizzontale più gravosa è quella del vento, per la quale è necessario condurre (specialmente se l'edificio presenta una forma inusuale) analisi dinamiche ed, in alcuni casi, aeroelastiche per la corretta progettazione delle strutture resistenti. In questa memoria, per la valutazione delle sollecitazioni dovute al vento (in termini di accelerazioni, spostamenti ed azioni), è applicata alle due citate torri la procedura dinamica High Frequency Force Balance (HFFB).

I risultati ottenuti con la HFFB sono poi confrontati con quelli calcolabili attraverso le normative in vigore in Italia (EC1, D.M.2008 ed Istruzioni CNR) e, da tale confronto, si evidenziano i limiti che le suddette normative (in casi specifici) possono mostrare.

Inoltre, sono altresì individuati i limiti della HFFB ed infine sottolineate le importanti problematiche (tecniche ed economiche) legate ad una preliminare errata stima delle sollecitazioni da vento. In particolare, sempre in riferimento alle torri di Pelli e di Isozaki, tra le suddette problematiche di carattere tecnico si sottolinea l'importanza del posizionamento dell'edificio nel contesto urbano (possibili influenze con gli altri edifici pre-esistenti o di nuova costruzione) e l'efficacia di alcune tipologie di dampers confrontate con soluzioni strutturali alternative; per le problematiche di carattere economico, invece, si analizzano alcuni effetti negativi causati da una possibile sottostima e/o sovrastima preliminare delle sollecitazioni da vento.

Neutralità e non neutralità atmosferica: caratterizzazione probabilistica e risposta al vento delle strutture

Rossella De Benedetti^a, Maria Pia Repetto^a, Giovanni Solari^a

^a DICAT, Università di Genova, Genova

SOMMARIO

La valutazione della risposta delle strutture all'azione del vento è basata generalmente sull'ipotesi di atmosfera neutrale. Tale ipotesi è realistica in condizioni di vento intenso; al contrario, in condizioni di velocità del vento basse o moderate, le condizioni atmosferiche variano in funzione della stratificazione termica, dando origine a condizioni stabili, instabili o neutri. La letteratura internazionale propone modelli ingegneristici per la valutazione dei campi di vento in condizioni non neutri (Zilitinkevich *et al.*, 2002), tuttavia non vi sono contributi relativi alla distribuzione statistica delle occorrenze delle condizioni atmosferiche neutri e non neutri, né sono presenti studi sull'influenza di diverse condizioni di stratificazione termica sulla risposta delle strutture. Il problema è stato inizialmente studiato da due degli autori (Repetto & Solari, 2007), evidenziando che l'ipotesi di atmosfera neutrale è giustificata nell'analisi della risposta all'azione di raffica, in cui i valori massimi della risposta si realizzano per velocità elevate, ma può condurre a valutazioni non corrette della sicurezza strutturale, quando le condizioni critiche per la struttura si realizzano in concomitanza di velocità del vento moderate.

Il presente lavoro propone un approfondimento della ricerca, sotto due punti di vista.

La prima parte del lavoro analizza le distribuzioni di probabilità delle condizioni atmosferiche al variare della velocità del vento. A questo scopo, sono presi in considerazione dati misurati nel corso di una serie di campagne sperimentali realizzate in diverse zone degli Stati Uniti d'America dal centro di ricerche ISFF (Integrated Surface Flux Facility). I database delle campagne, disponibili on-line sul sito internet www.eol.ucar.edu/isff, comprendono, grazie al rilevamento mediante sensori multipli, le variabili atmosferiche standard, le misure dirette dei flussi e delle radiazioni, e i loro gradienti orizzontali e verticali. I dati misurati hanno permesso di valutare la lunghezza di Obukhov, L , e di costruire la funzione densità di probabilità dell'inverso di tale parametro, $1/L$, condizionata ai valori della velocità media, \bar{u} . Le funzioni ottenute presentano due picchi distinti, corrispondenti a valori di $1/L$ rispettivamente in campo instabile e stabile (Fig. 1 a, linea continua). I valori di picco e la deviazione standard delle distribuzioni tendono ad avvicinarsi al valore nullo, corrispondente alla neutralità, al crescere della velocità media. Al fine di interpretare fisicamente tali distribuzioni e ottenere un modello analitico che le rappresenti correttamente, si sono analizzati distintamente i valori diurni ed i valori notturni, rilevando che ad essi corrispondono condizioni atmosferiche prevalentemente instabili e stabili (Fig. 1 b). Approssimando separatamente le densità di probabilità diurne e notturne con opportune leggi esponenziali e successivamente ricomponendo la funzione complessiva di densità, si perviene a un modello analitico, i cui parametri sono funzioni analitiche della velocità media del vento. Il confronto tra il modello proposto e le funzioni di densità di probabilità dei dati conferma un buon accordo, con una chiara identificazione dei due picchi precedentemente evidenziati al variare della velocità media del vento (Fig. 1 a, linea tratteggiata).

La seconda parte del lavoro analizza la risposta trasversale di quattro ciminiere metalliche, caratterizzate da velocità critiche (per distacco dei vortici) inferiori a 10 m/s, per valutare l'effetto della stratificazione atmosferica sulla risposta. Il campo di vento incidente è descritto mediante modelli proposti in letteratura per condizioni atmosferiche stabili, instabili e neutri. Le azioni indotte dalle componenti di turbolenza sono rappresentate mediante la teoria quasi-statica. Le azioni indotte dal distacco dei vortici e la possibile insorgenza del lock-in sono modellate utilizzando un metodo spettrale, corretto per tenere conto dell'effetto della turbolenza atmosferica sullo smorzamento aerodinamico.

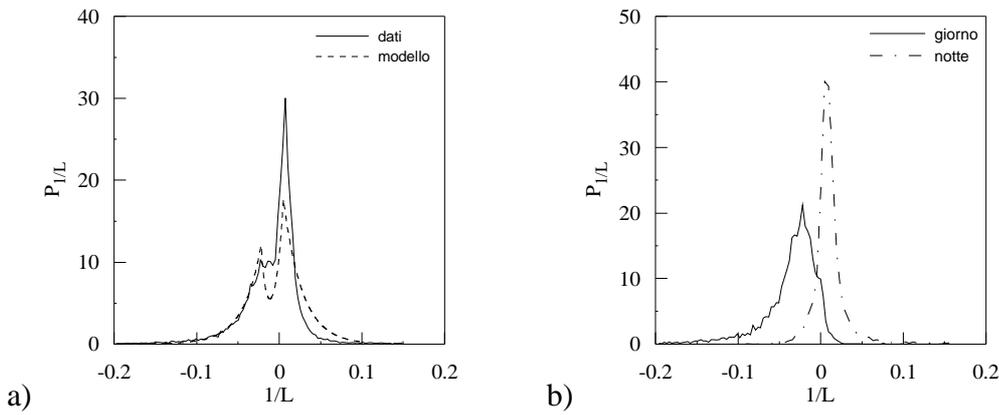


Figura 1: Funzione di densità di probabilità di $1/L$, condizionata all'occorrenza di $\bar{u} \in (4, 6]$ m/s: a) dati misurati (linea continua) e modello proposto (linea tratteggiata); b) valori diurni (linea continua) e notturni (linea tratto-punto).

Gli effetti della stratificazione termica risultano maggiormente significativi nei confronti della risposta all'azione di scia, che comporta valori massimi di spostamento a velocità del vento moderate. In questo caso gli effetti sono principalmente legati al ruolo della turbolenza atmosferica. In particolare, in condizioni atmosferiche instabili, la turbolenza atmosferica tende ad aumentare causando, da un lato, un abbassamento del picco della densità di potenza spettrale dell'azione del distacco dei vortici, dall'altro, un aumento dello smorzamento complessivo; ciò comporta una diminuzione della risposta massima della struttura rispetto alla valutazione in condizioni neutrale. Al contrario, in condizioni stabili, la turbolenza atmosferica tende ad essere mitigata sino a scomparire; ciò causa, da un lato, una crescita del picco della densità di potenza spettrale dell'azione del distacco dei vortici, dall'altro, un'attenuazione dello smorzamento complessivo; ciò comporta un sensibile aumento della risposta massima della struttura rispetto alla valutazione in condizioni neutrale. La Fig. 3 a rappresenta la risposta trasversale di una delle strutture analizzate per valori equiprobabili di $1/L$, al variare della velocità media del vento, in confronto alla valutazione in condizioni neutrale. In corrispondenza del dominio critico della velocità media del vento, la risposta in condizioni stabili aumenta quasi di un ordine di grandezza rispetto alla risposta neutrale. La Fig. 3 b riporta il valore massimo della risposta ottenuto al variare del parametro $1/L$. Tale diagramma conferma le osservazioni precedenti, evidenziando un andamento che riproduce, al crescere di $1/L$, il passaggio delle vibrazioni strutturali da un regime forzato ad un regime di sincronizzazione, per effetto della drastica diminuzione della turbolenza atmosferica.

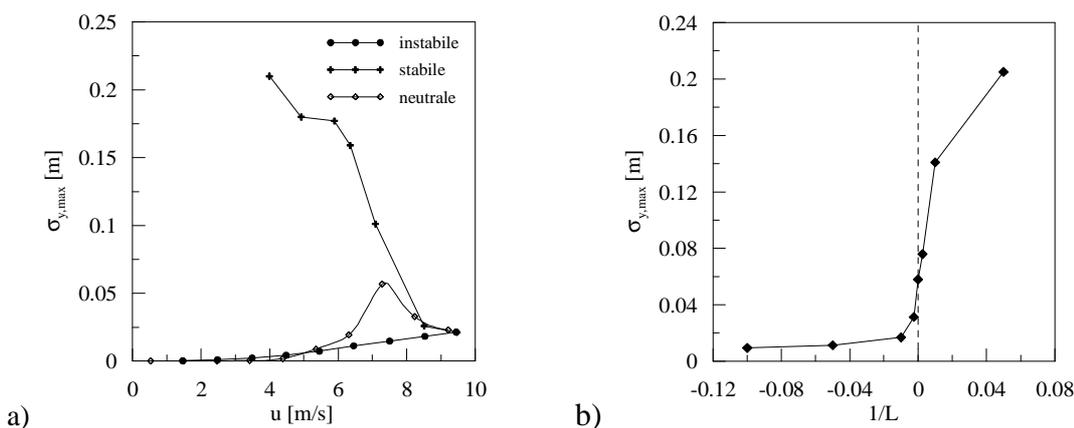


Figura 2: a) risposta trasversale di una ciminiera metallica in funzione della velocità media del vento per condizioni atmosferiche equiprobabili; b) risposta trasversale massima di una ciminiera metallica al variare del parametro $1/L$.

M.P. Repetto, G. Solari (2007). Wind-induced fatigue of structures under neutral and non-neutral atmospheric conditions, *J. Wind Eng. Ind. Aerod.*, Vol. 95, pp. 1364-1383.

S.S. Zilitinkevich, V.L. Petrov, J.C. King (2002). Near-surface turbulent fluxes in stable stratification: calculation techniques for use in general circulation models. *Quart. J. Roy. Met. Soc.* Vol. 128, pp. 1571-1587.

Performance of a 74 storey building under wind induced loads

Mariella Diaferio ^a, Vittorio Grilli ^b, Vincenzo Sepe ^c

^a Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Politecnico di Bari

^b Dipartimento DSSAR, Università “G. D’Annunzio”, Pescara

^c Dipartimento di Ingegneria, Università “G. D’Annunzio”, Pescara

ABSTRACT

In the framework of the research project “*Wind effects on slender structures: Performance-based Optimal Design (Wi-POD)*”, funded in 2007 by the Italian Ministry for University and by five Universities, the Research Unit of University “G. D’Annunzio” of Chieti-Pescara is being involved in theoretical and numerical aspects relative to the modelling of the wind action and of the dynamical response of slender structures.

In particular, the proposed paper describes the numerical investigation performed by means of a FEM model on a 74 storey building (Fig. 1) that is being studied from a theoretical, experimental and numerical point of view by all the research units of the Wi-POD project.

The numerical investigation here described is based on the wind fields recorded in the CRIACIV wind-tunnel in Prato on a 1:500 in-scale model of the building for several angles of attack of the wind and discusses the wind induced response with respect to performance parameters.

Namely, the acceleration and displacement components at the top of the building are discussed when a different number of structural modes is included, and compared with analogous results obtained by the same research group (Bellizzotti & *al.*, 2010) by means of direct integration of the motion equation projected on the first blowing modes (or wind modes) of the experimental wind field.

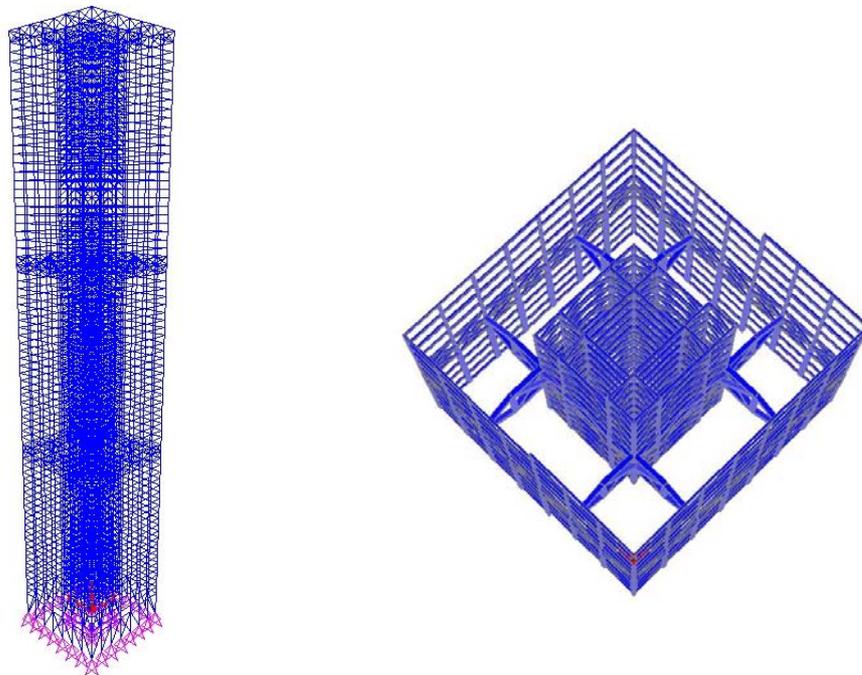


Figure 1. a) FEM model of a 74-floor building

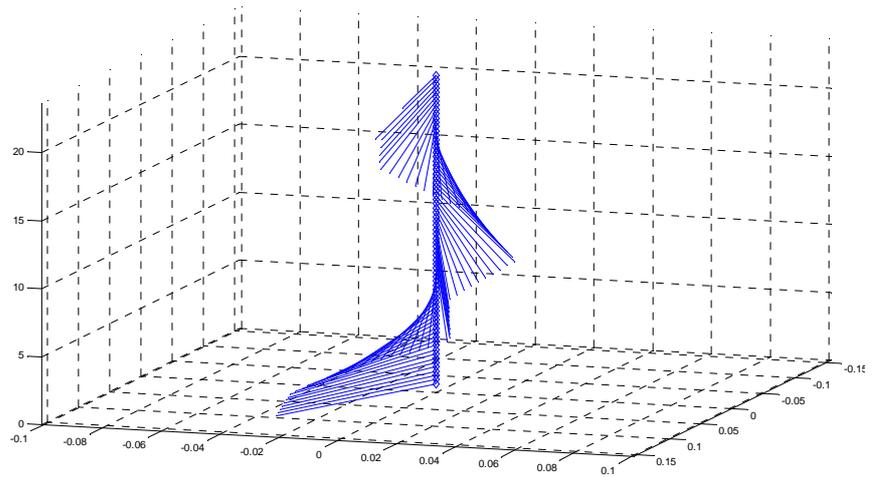
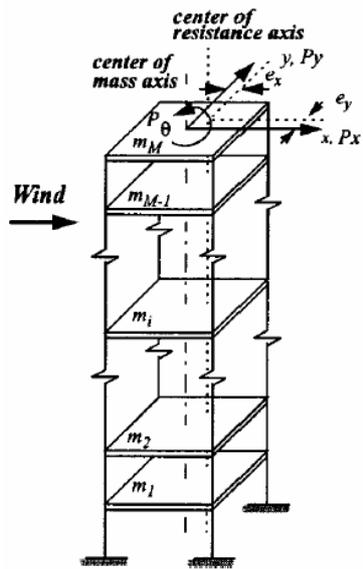


Figure 2. Sample of wind-fields from wind tunnel tests on the model in Fig.1

Bellizzotti G, Sepe V, Vasta M. (2010). Reduced models for wind-induced loads and structural response, submitted to 11th Italian Conference on Wind Engineering IN-VENTO-2010, Spoleto, June-July 2010

Controllo ottimo di un ponte sospeso soggetto ad azioni eoliche

Marco Domaneschi ^a, Luca Martinelli ^a, Michele Romano ^a

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

SOMMARIO

Parallelamente all'incremento del numero di strutture di grandi dimensioni, come i ponti sospesi, si associa una crescente necessità del loro controllo strutturale al fine sia di migliorarne il comportamento che mitigare gli effetti di eventi estremi. La moderna progettazione di strutture complesse deve, sempre più spesso, confrontarsi con un avanzamento delle prestazioni attese dall'opera. In questo ambito, la verifica della sicurezza e della funzionalità avviene considerando un numero crescente di scenari differenti. Il controllo strutturale può in questi casi diventare uno strumento fondamentale per soddisfare ai requisiti di sicurezza ed affidabilità.

Nel caso di ponti sospesi di grandi luce, le forze di interazione aerodinamiche possono diventare le più penalizzanti nei riguardi della stabilità e della fruibilità dell'opera. L'incremento di frequenza degli eventi meteorologici estremi, come uragani, che si manifesta in molti parti del mondo, suggerisce di indagarne con particolare attenzione la risposta strutturale. In questo lavoro vengono presentati i risultati relativi ad un significativo esempio di ponte sospeso (ponte "Shimotsui-Seto"), preso come riferimento per l'esecuzione di simulazioni numeriche relative ad un sistema controllato. Il codice agli elementi finiti ANSYS viene utilizzato come ambiente di lavoro.

Le forze di interazione con il vento sono considerate la principale fonte di eccitazione dinamica e sono applicate alle torri, ai cavi e all'impalcato del ponte. Il carico del vento, è simulato come un processo spaziale multi-correlato che agisce in direzione orizzontale trasversalmente al ponte. Vengono considerate diverse intensità del vento, descritte attraverso la velocità media, al fine di mettere in luce le caratteristiche generali di efficacia del sistema di controllo.

L'attenzione si è concentrata su sistemi di controllo passivo e semiattivo. I primi, noti anche come sistemi di auto-difesa, permettono la dissipazione di energia senza l'utilizzo di alimentazione esterna; i secondi, richiedono una quantità ridotta di potenza attiva esterna che viene destinata a modificare le caratteristiche passive (rigidezza e smorzamento) degli elementi di controllo piuttosto che a fornire direttamente le forze di controllo, come è il caso del controllo attivo. Dal punto di vista del controllo strutturale i sistemi passivi e semi-attivi sono in grado di modificare la rigidezza e le caratteristiche di smorzamento del ponte, praticamente senza l'introduzione di energia meccanica. Questo aspetto assicura che il sistema di controllo si comporti in maniera stabilmente dissipativa nel corso della risposta ad una eccitazione dinamica ed evita i problemi legati ai sistemi attivi, che possono invece iniettare erroneamente energia nella struttura anziché dissiparla.

La strategia di controllo passivo richiede l'impiego elementi strutturali posizionati ad hoc, in grado di dissipare l'energia immessa nella struttura dalle forzanti dinamiche. I sistemi passivi hanno il vantaggio di essere generalmente più robusti di quelli attivi, perché indipendenti da fonti di alimentazione esterne e segnali retroattivi di comando provenienti da algoritmi di controllo. Inoltre richiedono meno costi operativi e di manutenzione. Il principale svantaggio è, tuttavia, la ridotta efficacia nel caso di carichi dinamici di caratteristiche e/o intensità diverse da quelle con le quali sono stati ottimizzati in fase di progetto. Questa limitazione può però essere superata attraverso l'impiego di strategie di controllo semi-attive; adatte, nel caso si configurino come delocalizzate, anche per l'applicazione al caso del ponte sospeso. La tipologia di controllo semi-attivo vanta le stesse qualità positive dei sistemi passivi presentando interessanti caratteristiche di robustezza in presenza di guasti, dato che i dispositivi semi-attivi continuano a funzionare come semplici dispositivi passivi, ancorché di caratteristiche non ottimizzate, in assenza del segnale di controllo.

Relativamente alla configurazione con sistemi di controllo passivi, viene presentata una strategia per l'ottimizzazione del sistema di smorzamento passivo del ponte soggetto ad eccitazione eolica. La metodologia si basa sulla identificazione preliminare delle posizioni per l'applicazione dei

dispositivi di controllo e successivamente su una analisi parametrica. La risposta strutturale in termini di azioni interne alla base torri e di spostamenti trasversali a metà ponte viene analizzata variando i parametri della legge di *Bouc-Wen*, con la quale i dispositivi di controllo sono implementati. Il regime di controllo passivo che realizza il miglior compromesso tra la riduzione delle azioni interne alla base della torre e gli spostamenti trasversali a metà ponte è stato identificato come quello ottimale (Tabella 1).

Caso: $v_m=45.8 \text{ m/s}$	β_{Low} (m^{-1})	β_{High} (m^{-1})	Dev.St. T_x (kN)	Dev.St. M_z (kNm)	Dev.St. U_x (m)	Media T_x (kN)	Media M_z (kNm)	Media U_x (m)
Non controllato	-	-	695.17	8452.98	0.2643	3709.88	29054.47	0.5686
Passivo Ottimo	250	250	531.08	6399.72	0.1322	3873.68	30960.93	0.5535
Skyhook Collocato 150/300	500	250	496.23	5993.93	0.1397	3866.64	30877.92	0.5536
Skyhook Collocato 300/750	250	100	556.79	6699.74	0.1337	3875.89	30987.03	0.5539
Skyhook Non Collocato 150/300	500	250	501.50	6060.72	0.1448	3866.72	30879.15	0.5534
Skyhook Non Collocato 300/750	250	100	549.31	6618.35	0.1353	3877.03	31000.22	0.5537

Tabella 1: Valori medi e deviazione standard per T_x , M_z e U_x ($v_m=45.8 \text{ m/s}$)

Relativamente alla configurazione di controllo semi-attiva, viene presentata una metodologia originale per la progettazione di strategie di controllo semi-attivo per il ponte sospeso che utilizzano i parametri definenti lo smorzamento passivo ottimo. Le capacità di adattabilità della legge di controllo semi-attivo selezionata, un algoritmo *on/off Skyhook*, sono indagate.

La legge di controllo deve, infatti, essere in grado di adattare le caratteristiche dei dispositivi sia durante l'evoluzione di un fenomeno caratterizzato da un determinato livello di eccitazione che nel caso in cui il livello di eccitazione sia variato. In altre parole, la legge di controllo, per essere efficace, deve essere in grado di modulare il livello di dissipazione di energia sia nel corso di un evento, in cui la velocità media del vento è costante, sia in casi in cui la velocità media del vento si presenti con una aumentata intensità. A questo fine sono stati implementati ed analizzati diversi schemi di controllo semi-attivo decentralizzati, basati sulla legge *on/off Skyhook*, variando i livelli di eccitazione (Figura 1). La loro idoneità di adattamento alle fluttuazioni del vento, sia per velocità media costante sia aumentando la velocità media, viene messa in luce così come un migliore risultato in termini di risposta strutturale rispetto al sistema di controllo passivo ottimale.

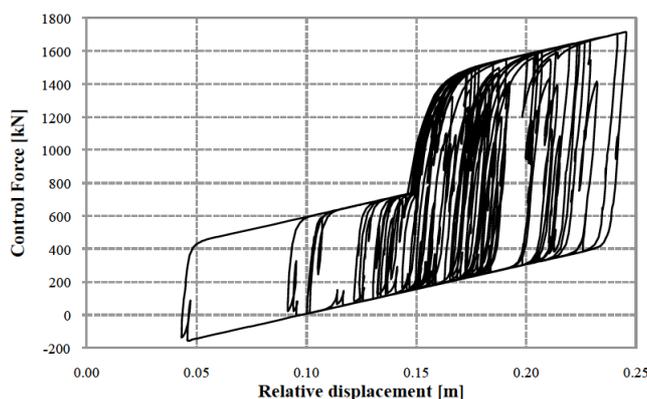


Fig. 1: Ciclo isteretico per l'elemento ST1 con controllo "a soglia".

Domaneschi M., Martinelli L. (2009). Mitigation of the Wind Buffeting on Suspended Bridge by Smart Devices, *Proc. of EACWE 5*, Luglio 19-23, Firenze.

Romano M. (2009). *Ponti Sospesi: Controllo sotto azioni eoliche*, Tesi di Laurea, Politecnico di Milano, Milano.

Solari G., Piccardo G. (2001). Probabilistic 3-D turbulence modelling for gust buffeting of structures. *Prob. Eng. Mechanics*, Vol. 16, pp. 73-86.

Hao H., Oliveira C. S., Penzien J. (1989). Multiple-Station Ground Motion Processing and Simulation Based on SMART-1 Array Data, *Nucl. Eng. and Des.*, Vol. 111, pp. 293-310.

Ricostruzione e simulazione neurale di campi di pressione su coperture estese – il caso dello Stadio di Siena

Luca Facchini ^a, Eugenio Mancini ^a

^aDipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, Università degli Studi di Firenze

SOMMARIO

Il lavoro svolto consiste nell'analisi dei carichi indotti dal vento su una copertura estesa, la copertura in acciaio del nuovo stadio di Siena. Il nuovo stadio di Siena sarà situato 6 km a Sud della città, in località Isola d'Arbia, e dovrebbe sostituire il vecchio stadio Artemio Franchi, posto a pochi passi del centro storico.

L'analisi dei carichi da vento si concentra sulla copertura Ovest dello stadio: la copertura è destinata ad essere abitabile, ospitando aree Vip, aree stampa, alcuni negozi, un ristorante, il centro medico e la sede societaria, e per questo motivo ha uno spessore superiore ai 7 metri.

Le prove sperimentali svolte all'interno della Galleria del Vento del CRIACIV a Prato sul modello in scala 1:250 dello stadio hanno permesso di ottenere storie temporali lunghe 30 secondi dei coefficienti di pressione a una frequenza di acquisizione di 250 Hz per 16 diverse direzioni del vento. La caratterizzazione stocastica e la simulazione delle storie temporali dei carichi si è concentrata sulla singola direzione del vento Est – Ovest, la più gravosa per la copertura.

Sono state calcolate le densità di probabilità delle 44 storie di pressione: mentre alcune prese di pressione seguono piuttosto fedelmente la densità di probabilità di Gauss, altre sono caratterizzate da una certa asimmetria, rendendo non accettabile l'ipotesi di gaussianità comunemente valida. Con il processo di trasferimento (v. ad esempio Gioffré *et al.*, 2000) le storie di pressione valutate in galleria vengono trasformate in storie di pressione di media e deviazione standard uguale e distribuzione di probabilità gaussiana.

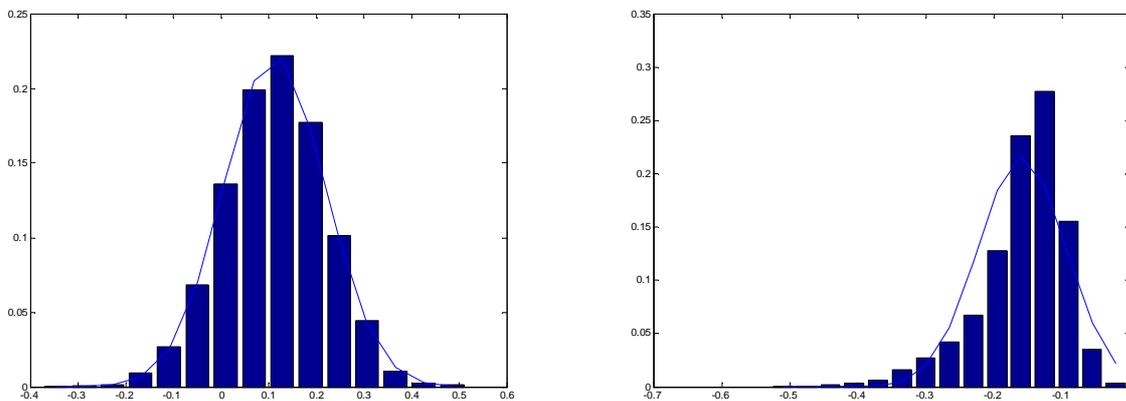


Figura 1 – Densità di probabilità relative a due diverse prese di pressione con confronto con la campana di Gauss:

Il calcolo della matrice di densità spettrale delle storie gaussianizzate permette di valutare gli autospettri, approssimati con l'espressione del tipo di Fichtl – McVehil, e le funzioni di coerenza, approssimate con una funzione esponenziale dipendente da frequenza e distanza tra i due punti delle prese di pressione.

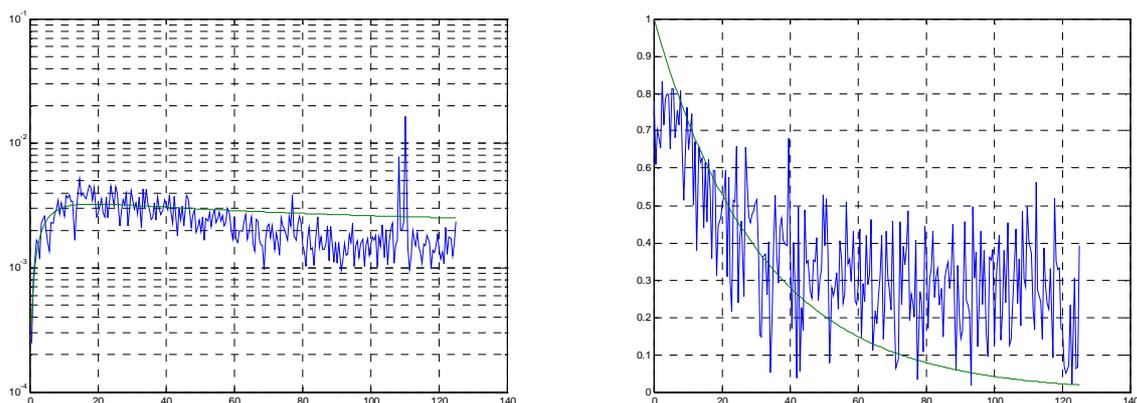


Figura 2 – Esempi di autospettro (sulla sinistra) e funzione di coerenza (sulla destra), con valutazione sperimentale e approssimazione teorica

I cross-spettri, oltre che dalle funzioni di frequenza, dipendono dall'angolo di fase, il quale ha un significato fisico di cui si è controllato la corrispondenza sperimentale: la fase rappresenta il ritardo tra l'arrivo dell'onda di vento tra due punti successivi, e per alcune prese di pressione, malgrado le ridotte dimensioni del modello, si può notare questa corrispondenza.

Le funzioni teoriche degli autospettri e dei cross-spettri, trascurando l'angolo di fase, sono state trasformate in scala reale, tenendo conto degli opportuni fattori di scala degli spettri e delle frequenze. Gli spettri ricavati dalla sperimentazione in galleria del vento sono ottenuti fino a 125 Hz, che in scala reale diventa poco superiore a 1 Hz: per questo motivo gli spettri devono essere allungati nel campo delle frequenze, tenendo conto delle frequenze proprie della struttura.

Ottenuti gli spettri in scala reale sono state simulate le storie temporali dei coefficienti di pressione gaussianizzati, mediante filtri auto regressivi.

Per valutare la correttezza della generazione è possibile confrontare gli spettri di partenza con gli spettri delle storie temporali simulate.

Dalle storie temporali valutate nei punti delle prese di pressione del modello, è possibile determinare storie temporali in qualsiasi punto della copertura: l'interpolazione è stata svolta col metodo delle reti neurali a funzioni radiali (Broomhead e Lowe 1988, Gotovac e Kozulic 1999, Poggio e Girosi 1990).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

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.

Poggio T., Girosi F. (1990). Networks for approximation and learning, *Proc. IEEE*, Vol. 78, pp. 1481-1497.

Un nuovo approccio per l'analisi di strutture soggette a forzanti aleatorie non bianche

G. Falsone^a, D. Settineri^a

^aDipartimento di Ingegneria Civile, Università di Messina, C.da Di Dio, 98166 Messina

SOMMARIO

Nell'ambito dell'ingegneria strutturale, la scelta di effettuare l'analisi aleatoria delle strutture è diventata negli ultimi anni una scelta abbastanza frequente e, alcune volte, indispensabile. Infatti, alcune tipiche azioni naturali sulle strutture, quali quella sismica e quella eolica, sono comunemente modellate come processi stocastici ed un'accurata analisi strutturale richiede spesso che anche la risposta della struttura venga caratterizzata come un processo stocastico. Una corretta e completa caratterizzazione aleatoria della risposta strutturale richiede la conoscenza della sua densità di probabilità; in altri termini tale caratterizzazione può essere perseguita attraverso la conoscenza delle funzioni di correlazione di ordine r (con $r = 1, 2, \dots, \infty$), le quali dipendono da r variabili indipendenti t_1, t_2, \dots, t_r . Nell'ipotesi di eccitazione Gaussiana a media nulla, di linearità del sistema e di condizioni iniziali gaussiane, la risposta è anch'essa Gaussiana e la sola conoscenza delle correlazioni del secondo ordine è sufficiente per descrivere stocasticamente la risposta strutturale. In questo lavoro si farà riferimento al problema stazionario; in tal caso le correlazioni del secondo ordine dipendono da una sola variabile temporale $\tau = t_2 - t_1$.

In letteratura sono presenti diversi approcci relativi al calcolo delle correlazioni della risposta di sistemi soggetti a forzanti modellate come processi bianchi. Tali metodi legano le correlazioni della risposta con i cumulanti del secondo ordine attraverso semplici legami che chiamano in gioco la matrice di transizione della struttura (Gasparini, 1979). Tale approccio è anche esteso alle statistiche di ordine superiore, nel caso di sistemi soggetti a processi bianchi non Gaussiani (Falsone, 1994).

I lavori prima citati mostrano che, quando le eccitazioni sono rappresentate come rumori bianchi, l'analisi strutturale aleatoria risulta particolarmente semplice. Sfortunatamente, la stessa cosa non può dirsi quando le azioni esterne sono modellate da processi aleatori non bianchi. Per questa tipologia di input esistono in letteratura sostanzialmente due tipi di approccio. Il primo, note le correlazioni dell'input, richiede la conoscenza delle equazioni che governano le correlazioni incrociate tra la risposta e l'eccitazione. La soluzione di tali equazioni rappresenta il termine noto nell'equazione differenziale di governo delle correlazioni della risposta (Muscolino, 1995, Qiu & Wu, 2010). Evidentemente questo approccio richiede l'integrazione in cascata di due sistemi di equazioni: quello che governa le correlazioni della risposta, e quello governante le correlazioni tra risposta e input. Il secondo tipo di approccio richiede la conoscenza delle equazioni di filtro dell'eccitazione, ovvero delle equazioni differenziali che forniscono l'input non bianco come la risposta ad un processo bianco (Nigan, 1983, De la Fuente, 2008). Tale approccio conduce ad un sistema di equazioni differenziali costituito dall'insieme delle equazioni di filtro e delle equazioni del moto della struttura; tale sistema allargato di equazioni risulta forzato da un processo bianco. Lo svantaggio di tale approccio risiede nell'incremento delle dimensioni del problema, perché, alle variabili di stato del sistema si sommano quelle del filtro (Falsone, 2000).

In questo lavoro viene presentata una procedura per la valutazione delle correlazioni, dirette ed incrociate, della risposta di sistemi lineari soggetti ad una generica forzante stazionaria che cerca di ovviare ai limiti degli approcci prima descritti. Tale metodo si basa sulla definizione dell'equazione differenziale del quarto ordine che governa le correlazioni modali incrociate stazionarie della risposta. Si dimostra che è possibile trasformare tale equazione del quarto ordine in una equazione vettoriale del primo ordine, introducendo un vettore di quattro componenti, contenente le correlazioni incrociate e le sue derivate fino al terzo ordine. Un concetto fondamentale sul quale si fonda il metodo è che il problema differenziale sopra citato può essere indifferentemente interpretato come un problema differenziale con condizioni iniziali (rappresentate dal valore delle

cross-correlazioni in $\tau = 0$, cioè dal valore delle covarianze) o come un problema differenziale con condizioni al contorno (le correlazioni devono annullarsi per differenze temporali infinite, ovvero per $\tau = \pm\infty$). Le due modalità di risoluzione dell'equazione differenziale rappresentano il punto di partenza per ricavare una tecnica numerica efficiente, volta alla valutazione delle correlazioni modali incrociate stazionarie; tale tecnica è definita da due indipendenti procedure al passo (non in cascata), una progressiva e l'altra regressiva. Una caratteristica fondamentale del metodo è che risulta essere incondizionatamente stabile. Il metodo proposto fornisce risultati accurati e, contestualmente, richiede un onere computazionale ridotto rispetto a quelli connessi agli approcci in letteratura.

- De la Fuente E.(2008). An efficient procedure to obtain exact solutions in random vibration analysis of linear structures. *Engineering Structures*, Vol. 30, pp. 2981-2990.
- Falsone G. (1994). Cumulants and correlations for linear systems under non-stationary delta-correlated processes. *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 9, pp. 157-165.
- Falsone G. (2000). New light on response of linear systems subjected to random nonstationary filtered inputs. *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 126, pp. 1273-1286.
- Gasparini D.A. (1979). Response of MDOF systems to non-stationary random excitation. *Journal of Engineering Mechanics (ASCE)*, Vol. 105, pp. 13-27.
- Muscolino G. (1995). Linear systems excited by polynomial forms of non-Gaussian filtered processes. *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 10, pp. 35-44.
- Nigam N.C. (1983) *Introduction to Random Vibrations*, Mit Press, Cambridge.
- Qiu Z.P., Wu D. (2010). A direct probabilistic method to solve state equations under random excitations. *Probabilistic Engineering Mechanics*, 25, pp. 1-8.

Aeroelastic pre-design of streamlined multiple-box decks

Sofia Febo^a & Piero D'Asdia^a

^aPRICOS, University “G. D’Annunzio” of Chieti-Pescara, Italy

PAROLE CHIAVE: multiple-box decks, aeroelastic derivatives, section model, flutter, wind tunnel

ABSTRACT

In this paper some comments on the preliminary evaluation of classical flutter instability in the case of multiple-box decks for long-span cable-supported bridge is discussed. Nowadays, with the increase in the span length of modern bridges, to compensate the low frequency ratios (due to the dominant contribution to the global stiffness given by the suspension cables in comparison with the stiffness contribution of *light* decks) and to keep drag and moment forces as low as possible (in order to obtain a good aerodynamic stability deriving from the reduction of the *bluffness* effects on the structural response to wind), *streamlined* multiple-box stiffening girder decks seem to be one of the best structural solutions to postpone the aeroelastic instability due to flutter to high wind speed. For these reasons, in the last years, many researchers directed their attention to this cross-section geometry, and, in particular, to the aerodynamic and aeroelastic efficiency of twin-box section models (e.g. Matsumoto *et al.*, 1999; Matsumoto *et al.*, 2002; Sato *et al.*, 2000; Ogawa *et al.*, 2002; Sato *et al.*, 2002; Larose & D’Auteuil, 2005). Still now, however, one of the most interesting application of this structural solution seems to be the deck proposed for the Messina Strait bridge in Italy (Fig.1): a 3300 m main-span suspension bridge with steel deck ($B=52m$) composed by three curved closed-boxes connected every 30 m by a closed-box as transversal beams (Brancaleoni & Diana, 1993; Diana *et al.*, 1995; D’Asdia & Sepe, 1998).

Given the relevance in bridge engineering of these cross-section profiles, it has been considered suitable to put the attention on some aerodynamic characteristics of multiple-box decks that are able to influence the evaluation of the critical wind speed of classical flutter instability during the pre-design phase. For this purpose, in this paper the results about some multiple-box decks are presented. The examined deck configurations are the following: Messina Strait bridge, 1992 (Fig. 1), which is also used as reference and the deck configurations (a) and (b) that correspond to the original three-box deck without grids between longitudinal boxes, with $B=52m$ and $B=48m$, respectively (Fig. 2) (Febo, 2007).

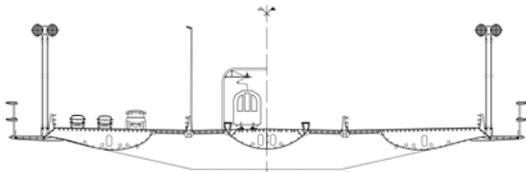


Figure 1. Deck cross-section scheme of the 1992 design of Messina Strait bridge

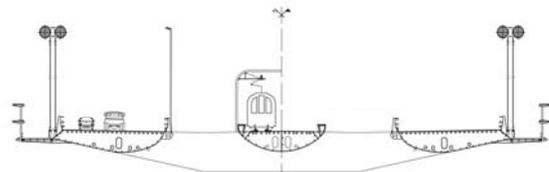


Figure 2. Deck cross-section scheme of the configuration (a) and (b)

For the special case of multiple-box decks, the traditional techniques to predict aerodynamic derivatives from static coefficients (*in primis* the “Scanlan notation” as shown in Simiu & Scanlan, 1986), while well approximate the aerodynamics of *streamlined* single-box decks, lead to erroneous values of some flutter derivatives. Though the agreement between the actual H^*_1 , H^*_3 , A^*_1 and A^*_3 (directly measured in wind tunnel by means aeroelastic tests) and the corresponding approximations are surprisingly good, erroneous values in the prediction of H^*_2 and A^*_2 are evident. According to the authors, the main reason of this incongruence (originally observed in Larose & Livensey, 1997) seems to be a consequence of an inaccurate estimation of the position of the point of application of

the aerodynamic forces, that is n_z and n_θ for multiple-box profiles. It is well known that, for a thin airfoil, the values of n_z and n_θ match $B/4$ and denote the distance between the reference axis of rotation and the *aerodynamic center*, the latter defined as the nearest position of the chord for which the moment is independent from the angle of attack θ . Generally, the values of n_z and n_θ are closed to $B/4$ also in the case of *streamlined* single-box decks (Larose & Livenessy, 1997; Febo, 2007). This assumption is not true for the multiple-box deck of Messina bridge, for which the correction to B , to include in the satisfactory prediction of H_2^* and A_2^* , is closer to unity (Fig. 3-4): this particular occurrence is strictly connected to the fact that the Messina bridge deck (width-to-dept ratio equal to 13) presents exceptional low values of the static lift and torsion slopes, even better than a flat plate (width-to-dept ratio equal to 16; Larose & Livenessy, 1997). The analysis of these results, that is the aim of this study, seems to highlight that, in the particular case of Messina bridge deck, the use of traditional methods to predict H_2^* and A_2^* (by means static coefficients and $n_z = n_\theta = B/4$) causes an underestimation of aerodynamic damping and, therefore, an underestimation of classical flutter wind velocity (usually deduced through frequency domain models, e.g. the *iterative solution* to equations of motion of a section model, firstly proposed in Selberg & Hjort-Hansen, 1976), while realistic results have been achieved by calibrating the values of n_z and n_θ to unity.

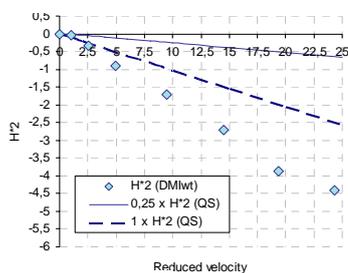


Figure 3. Variations of H_2^* for Messina Strait bridge.

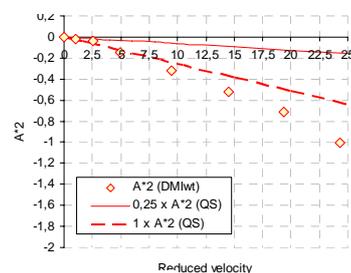


Figure 3. Variations of A_2^* for Messina Strait bridge.

1. BIBLIOGRAFIA

- Brancaleoni F., Diana G. (1993), The aerodynamic design of the Messina Straits Bridge, J. Wind Eng. Ind. Aero-dyn., 48, 395-409
- D'Asdia P., Sepe V. (1998), Aeroelastic instability of long span suspended bridges: a multi-mode approach, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 74-76, 849-857
- Diana G., Falco M., Bruni S., Cigada A., Larose G.L., Damsgaard A., Collina A. (1995), Comparisons between wind tunnel tests on a full aeroelastic model of the proposed bridge over Stretto di Messina and numerical results, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 54-55, 101-113
- Febo S. (2007), Impalcati e schemi strutturali per ponti di grandissima luce, Ph.D. thesis, University of Chieti-Pescara, Italy
- Larose G. L. and Livenessy F. M. (1997), Performance of streamlined bridge deck in relation to the aerodynamics of a flat plate, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 69-81, 851-860
- Larose G.L. & D'Auteuil A. (2004), On the Reynolds number sensitivity of the aerodynamics of bluff bodies with sharp edges, In F. Ricciardelli et al. (Eds.), Proc. 8th Italian National Conference on Wind Engineering IN-VENTO, RC, Aracne, Rome.
- Matsumoto M., Yoshizumi F., Yabutani T., Abe K. & Nakajima N. (1999), Flutter stabilization and heaving-branch flutter, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 83, 289-299.
- Matsumoto M., Taniwaki Y. & Shijo R. (2002), Frequency characteristics in various flutter instabilities of bridge girders, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 90, 1973-1980.
- Ogawa K., Shimodoi H. & Oryu T. (2002), Aerodynamic characteristics of a 2-box girder section adaptable for a super-long span suspension bridge, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 90, 2033-2043.
- Sato H., Kusuhara S., Ogi K. & Matsufuji H. (2000), Aerodynamic characteristics of super long-span bridges with slotted box girder, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 88, 297-306.
- Sato H., Hirahara N., Fumoto K., Hirano S. & Kusuhara S. (2002), Full aeroelastic model test of a super long-span bridge with slotted box girder, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 90, 2023-2032.
- Selberg A., Hjort-Hansen E. (1976), The fate of flat plate aerodynamics in the world of bridge deck, in "Proceeding of the Thoeodrsen Colloquium", Oslo
- Simiu E., Scanlan R.H. (1986), Wind effects on Structures, Winley, New York

Wind turbine of large size

Gaetano Gaudiosi

^aAss. OWEMES, Roma

ABSTRACT

For most part of marine countries offshore wind potential promises sustainable production of electricity particularly at relevant distance from the coast, where the water depth can easily reach 50 to 100m and seabed fixed foundations could be still considered. Similar potential could be assumed in many part of the world, where large size wind turbine could be installed in flat semi desert areas with transport and electric infrastructures.

In such offshore and onshore areas largest, horizontal axis, wind turbines should be used to minimize the relevant extra cost of foundations, connection cables to electric grid and of other services. In the last 15 years the turbine size has increased from 40m rotor (600 KW) diameters to 126m (5 MW) for onshore and offshore sites (50m water depth). In general such large rotors are upwind with tree blades and fix hub; interest for two blades downwind rotors is reported in few feasibility studies.

The advanced today technology has produced blade sizes in the range of 60 m (GL GLASS FIBER, BARD, ENERCON , MULTIBRID,..) for wind turbines rotor diameter of 110-126.5 and rated power 5 to 6 MW (REPOWER , BARD, MULTIBRID, ENERCON ,..). Advanced GRP technology can produce blade up to 100m length .Rotor Diameters of 150 ÷ 180m with blade length of 75 ÷ 90m are under evaluation in the UPWIND Project, indicating local inflow problems on large rotor diameter. On the other side power control of large size rotors could be hardly done by full span pitch variation even in case of use of structural smart materials (torque tube) .Transportation and assembling of very long blades is becoming even more difficult.

Few 5-6 MW prototypes are under testing or going to demonstration phase. After the first prototype testing onshore two demonstrations 5 MW REPOWER wind turbines are in service at the offshore Beatrice oil platform in Scottish waters, using the today longest commercial blade of 61.5m and full span pitch control. Testing results are analysed under the DOWNWIND Project]. Similar situation is for BARD, MULTIBRID and ENERCON wind turbines.

An up to date general trend analysis is presented for the large size wind turbines for onshore and offshore applications, considering in particular blade technological aspects, rotor control system, top mass weight, transport and assembly features, energy cost and necessary R&D support activities.

Osservazioni sul comportamento dinamico non-lineare nei sistemi stralli-connettori per il controllo delle vibrazioni indotte dal vento

Gian Felice Giaccu ^a, Luca Caracoglia ^b

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

^bDepartment of Civil and Environmental Engineering, Northeastern University, Boston, Massachusetts, USA

SOMMARIO

Lo studio della dinamica degli stralli, nei ponti strallati di luce considerevole, assume particolare rilevanza in considerazione degli effetti indotti dal vento, o dalla combinazione vento-pioggia. La presenza di forti oscillazioni dinamiche degli stralli in particolari condizioni di vento che arrivano, in certi casi, ad ampiezze superiori al diametro dello strallo, e' stata documentata da diversi studi (Matsumoto *et al.*, 2010; Zuo *et al.*, 2008; Zasso *et al.*, 2005).

Per ridurre l'ampiezza delle oscillazioni dinamiche, vengono utilizzati alcuni accorgimenti tecnici tra cui, per esempio, l'installazione dei controstralli fra uno o piu' stralli. Il sistema dinamico che ne risulta e' la cosiddetta "rete piana di cavi".

Uno studio parametrico della rete piana di cavi (Caracoglia & Jones, 2005), basato su di un'analisi dinamica lineare, consente di ottimizzare il sistema costituito da piu' stralli con connettori intermedi (contro-stralli o "cross-ties"). Il fine di queste investigazioni è l'individuazione delle frequenze e modi propri di vibrare della rete piana di cavi in funzione di posizioni e lunghezze adeguate dei connettori e, conseguentemente, la stima della massa modale coinvolta nelle oscillazioni, modo per modo, tali da ridurre, le oscillazioni dovute agli effetti del vento.

La motivazione di questo studio è collegata all'analisi delle condizioni di "malfunzionamento" della rete di cavi, associate per esempio a fenomeni quali: rottura parziale dei connettori "snapping", perdite di tiro degli stessi o fuoriuscita dalle selle "slackening", più volte osservati nei contro-stralli di una rete di cavi, installata su ponti strallati esistenti. Potrebbero, inoltre, esserci problemi dovuti a grandi oscillazioni degli stralli che porterebbero a ridurre il tiro sui connettori.

Tale peculiarità si manifesta in maniera evidente anche nelle oscillazioni degli stralli al di fuori del piano della rete (oscillazioni trasversali) in cui l'effetto di richiamo dei connettori sui cavi, conseguenza dei soli effetti del secondo ordine, è in genere trascurabile, ma può manifestarsi nel caso di grandi spostamenti al di fuori del piano della rete.

E' stato recentemente proposto (Giaccu, 2010) un modello analitico-numerico di simulazione degli effetti sopra-descritti per lo studio parametrico del comportamento globale della rete. In tale modello la dinamica dello strallo è basata sull'equazione della "corda tesa" mentre l'introduzione di forze di richiamo non-lineare, concentrate nei nodi di collegamento della rete, è utilizzata per lo studio dell'interazione strallo-connettore (Fig. 1). In Fig. 1 la forza di richiamo nonlineare è schematizzata dalla presenza di un modello a molla cubica, $\varepsilon y_{13}(\zeta L, t)$ dove con $y_1(x_1, t)$ si denota lo spostamento trasversale dell'elemento 1 di cavo secondo il sistema locale di coordinate in funzione dell'ascissa x_1 e del tempo t .

E' stata inoltre elaborata una metodologia di risoluzione della dinamica delle vibrazioni libere, mediante un approccio di "linearizzazione equivalente". Il vantaggio della metodologia proposta è legato alla semplicità di risoluzione rispetto a modellazioni più complesse che comporterebbero, soprattutto dal punto di vista ingegneristico, maggiori difficoltà di calcolo, possibilmente non necessarie vista l'apparente semplicità del sistema strutturale.

Il fine del presente lavoro è quello di estendere la metodologia proposta, inizialmente applicata ad un sistema semplificato come indicato in Fig.1 ad un sistema più complesso (Fig.2), costituito da

due cavi interconnessi da un connettore non lineare a loro volta collegati a terra tramite un ulteriore elemento lineare.

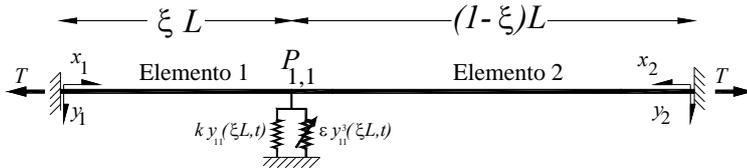


Figura 1. Modello schematico di un sistema di base strallo/connettore (Giaccu, 2010).

Ai fini della validazione del suddetto approccio è stato elaborato un modello dinamico a masse concentrate, che attraverso un'integrazione diretta nel dominio del tempo consenta, una volta impostate le opportune condizioni al contorno, il confronto con il metodo di "linearizzazione equivalente".

Il lavoro in oggetto è quindi volto alla valutazione degli effetti che detta non linearità ha nel sistema in Fig. 2 ed è basato sul metodo di linearizzazione equivalente, precedentemente discusso, ovvero mediante l'analisi della variazione delle frequenze proprie di un sistema linearizzato in funzione di un'ampiezza normalizzata delle vibrazioni preassegnata.

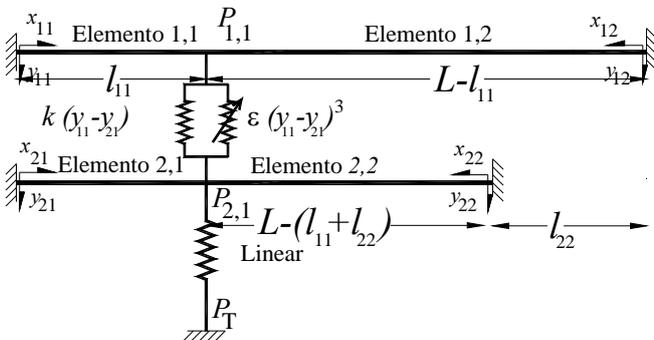


Figura 2 Modello schematico di una rete di cavi con connettori non-lineari.

Buoni riscontri sono stati trovati per il sistema in Fig. 2, nel caso in cui i connettori sono posti vicino agli estremi ($l_{11} < 0,2L$), per oscillazioni di media ampiezza ed al variare delle rigidzze delle molle; gli errori relativi fra il metodo proposto e le simulazioni a masse concentrate sono infatti contenuti. Al contrario si sono osservate delle limitazioni relative al caso del connettore in prossimità della mezzeria ($l_{11} \cong L/2$) in questo caso si sono riscontrati, in particolare nel caso di basse rigidzze, errori relativi maggiori del 5%.

Caracoglia L., Jones N. P. (2005). In-plane dynamic behavior of cable networks. Part 2: Prototype prediction and validation. *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 279 (3-5), pp. 993-1014.

Giaccu G. F. (2010). *Sulla dinamica del sistema stralli-connettori*. Tesi di dottorato, Dipartimento di Ingegneria Strutturale Università di Cagliari.

Matsumoto M., Yagi T., Hatsuda H., Shima T., Tanaka M., Naito H. (2010). Dry galloping characteristics and its mechanism of inclined/yawed cables. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, DOI: 10.1016/j.jweia.2009.12.001.

Zasso A., Giappino S., Muggiasca S., Larose G.L. (2005). Effects of turbulence intensity and surface roughness on stays of cable-stayed bridges. *Proceedings of the 5th International Symposium on Cable Dynamics*, Charleston, South Carolina, USA.

Zuo D., Jones N.P., Main J.A. (2008). Field observation of vortex- and rain-wind-induced stay-cable vibrations in a three-dimensional environment. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 96 (6-7), pp. 1124-1133.

Validation of a lattice Boltzmann model for snow transport and deposition by wind

Sara Giangreco^a, Sebastian Geller^a, Manfred Krafczyk^a, Vincenzo Sepe^b

^aInstitute for Computational Modeling in Civil Engineering,
TU Braunschweig, Braunschweig, Germany

^bDepartment of Engineering,
University “G. D’Annunzio” of Chieti-Pescara, Pescara

ABSTRACT

Risk Management is a key issue for many disciplines such as finance, insurance industry or mechanical and civil engineering. In the general framework of Risk Management the investigation of risk analysis and hazard prediction is an important preliminary step. This contribution addresses the prediction of snow-wind hazards resulting from the coupled dynamics of snow transport and deposition which is the key to predict snow loads on buildings. The target of this work is the development of a detailed CFD model and its validation for wind tunnel data available for representative model geometries. This approach for load analysis allows to analyze problems, which are not sufficiently standardized in terms of design codes.

For this purpose a two dimensional numerical large eddy simulation (LES) model for transient snow transport by wind is suggested. The model based on the lattice Boltzmann method (LBM) has been developed and validated. The lattice Boltzmann method presented utilizes the Multiple Relaxation Time (MRT) model and fluid/wall boundary conditions of second order accuracy. In our approach we model dry snow as a continuous component which is being advected by the turbulent transient flow field. Snow deposition and erosion are controlled by imposing rules for the influence of wall shear stress and equilibrium approaches for the terminal velocity of snowflakes.

Currently the numerical method is being compared to the experimental studies which have been carried out by the Professor Sanpaolesi in the Jules Verne Climatic Wind Tunnel of Nantes (France).

These validation studies will be presented including sensitivity studies for various model parameters. Finally, we discuss potential extensions and shortcomings of our approach.

KEYWORDS

Snow-wind hazard, snowdrift, numerical simulation, lattice Boltzmann model, advection- diffusion.

REFERENCES

Pliefke T., Sperbeck S. Urban M., Peil U., Budelman H. (2007). A standardized methodology for managing disaster risk – An attempt to remove ambiguity. *In: Luc Taerwe & Dirk Proske (Eds.), Proceedings of the 5th International Probabilistic Workshop, 28-29 November, Ghent, Belgium.*

- Anderson R.S. (1989). Saltation and suspension on snow by wind: a general theory. *Annals of glaciology*, Vol. 13, pp. 294
- Krafczyk M., Tölke J., Luo L.S. (2003). LES simulations based on a multiple relaxation time LB model, *Int. J. of Modern Physics B*. Vol.17, pp. 33-39
- Benzi R., Succi S., Vergassola M. (1992). The lattice Boltzmann equation: theory and applications. *Physics Reports*, Vol. 222(3), pp. 147–197
- Stiebler M., Tölke J., Krafczyk M.(2008): Advection-Diffusion lattice Boltzmann scheme for hierarchical grids, *Computers and Mathematics with Applications*, Vol. 55, pp. 1576-1584

Assuring consistent safety levels in the wind induced response of tall buildings

M. Giofrè and S. M. J. Spence

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Perugia, Italy

KEYWORDS: Reliability analysis, Directional wind models, Stochastic response.

ABSTRACT

The accurate estimation of the Mean Recurrence Intervals (MRIs) of critical responses of tall buildings subject to extreme wind loading is of fundamental importance if safe and reliable designs are to be achieved. When estimating the MRIs of the critical load effects it is usually assumed these last may be estimated as the MRIs of the mean wind speed causing the response level. This hypothesis does not recognize the intrinsically directional characteristics of most wind climates. This simplification will become troublesome during the combination of the directional aerodynamics with what should be a directional wind climate. Indeed the most severe wind direction for a particular critical response will depend on the buildings orientation compared to the directional wind climate. A non directional wind climate will therefore be equivalent to considering the most severe aerodynamic direction alongside the non directional mean wind speed. To account for the improbable occurrence of such an even a directional factor can be introduced [1]. While this approach may be considered adequate for most structures it will in general be inadequate for dynamically sensitivity structures such as of tall buildings which in general show far greater sensitivity to wind direction [2]. This implies the need to adopt directional wind models for the rigorous reliability assessment of tall buildings. A commonly adopted procedure which has this aim is the sector by sector approach [3] which will however strictly underestimate the response with specified MRI [4].

In this paper a component wise reliability based model is proposed that rigorously combines the experimentally determined directional aerodynamics with a directional wind climate defined through the extreme joint probability density function of the maximum mean hourly wind speed and direction accruing during a given epoch. The proposed model identifies the maximum mean wind speeds that will cause a response to assume a specified MRI. In particular the model demonstrates how for any response level with specified MRI there exists a 1-dimensional domain of maximum mean wind speeds and directions that will cause this response level. From the application of the proposed model to a illustrative tall building a considerable difference is observed between the directional /non-directional wind speeds with specified MRIs and the actual wind speeds causing a critical response to assume a level with specified MRI. The inadequacy of flat directionality factors when applied to this type of structure seems to be apparent from the large underestimates caused by applying these approaches to the test case.

REFERENCES

- [1] ASCE 7-05, *Minimum design loads for buildings and other structures*, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2005.
- [2] S.M.J. Spence, M. Giofrè, V. Gusella, Influence of higher modes on the dynamic response of irregular and regular tall buildings, *6th International Colloquium on Bluff Bodies Aerodynamics and Applications (BBAA VI)*, Milano, Italy, July 20-24, 2008.
- [3] E. Simiu, and T. Miyata, *Design of Buildings and Bridges for Wind*. Wiley, Hoboken, New Jersey, 2006.
- [4] E. Simiu, J.J. Filliben. Wind Tunnel Testing and the Sector-by-Sector Approach to Wind Directionality Effects *J. Struct. Eng. ASCE*, Vol. 131(7), 1043-1045, 2005.

Reliability analysis of flutter speed of long span bridges. Application to the Messina Bridge.

S. Hernandez, A. Baldomir, J. A. Jurado, F. Nieto

School of Civil Engineering, University of Coruna, Campus Elvina, A Coruna, Spain

SUMMARY

Aeroelastic studies aimed to find out the performance of long span bridges under wind flow are a fundamental part of the design process of such constructions. Among them the capability of the bridge to be stable under wind flow without initiating flutter is one of the main requirements. To confirm that situation the usual approach is to assume a maximum value of wind speed and evaluate if flutter speed of the bridge is higher than such value. For instance, in the Messina strait bridge a wind speed of 75 m/sec. was defined.

It is generally accepted that wind speed value is a random variable, but instead dealing with it as such, an alternative has been to carry out extremal studies defining the expected wind speed during the service life of the bridge and afterwards establishing a deterministic value of wind speed that provides a reasonable safety. A drawback of this technique is that many times it gave very high values of wind speed that were not completely justified when compared with wind velocity records at the bridge site. A more rational approach could be to accept plainly the random nature of the wind and to define a probability distribution function of that variable based upon the historical records at the geographical location. Also the geometrical and mechanical properties of the bridge have, in their own, some degree of uncertainty that is currently solved by defining safety coefficients that diminish the nominal values and thus protect against expected inaccuracies. Again that approach could be modified defining geometrical or mechanical parameters of the construction as random variables by using probability distribution functions.

If both, wind speed and properties of the bridge, are considered random variables the evaluation of bridge safety for flutter changes from deterministic to probabilistic opening the door to reliability flutter analysis.

While reliability analysis of structures has been widely used in several classes of problems since many years or even decades (Cornell, Augusti, Choi) no references exist, to the author knowledge, dealing with flutter analysis.

In this paper a description of the formulation of such problem will be described.

Summarily the idea is to present the demanded wind speed as a random variable having a given mean value and standard deviation and to define also mechanical properties of the bridge deck as random variables by their mean values and standard deviation. Also a value of the probability of failure of the bridge will be established. Done that, the evaluation of flutter speed changes from deterministic to probabilistic, opening the door to the reliability analysis of flutter speed and thus the problem becomes one aiming to find out if, for a given design, it is located in the safe region of the space defined by the limit state of flutter and the probability of failure is lower or higher than required.

Because of in the latter case modifications to the design need to be done.

Reliability analysis has been mainly based in the application of the Hasofer-Lind (HL) technique that allows the evaluation of a safety index β with is related to the probability of failure by the expression $P_f = \Phi(-\beta)$, where Φ is the cumulative distribution function of the limit state. Geometrically such safety index is the distance between the mean values of the current design and the limit state function.

This approach performs properly for linear limit state functions and the reliability analysis is done in one single step. Nevertheless the limit state function associated to flutter speed is not linear and therefore the situation is more complicated. In that case the problem becomes a nonlinear optimization problem to find out the design located on the limit state surface which gives the minimum distance to the current design. If the search is done in a normalized coordinate system in which the mean values are zero, the random variables are u_i ($i=1, N$) and the limit state function is defined as $g=g(u_i)$ the problem becomes

$$\begin{aligned} \min \quad & \beta = \min \sqrt{\sum u_i^2} \\ \text{subject to} \quad & g(u_i)=0 \end{aligned}$$

This is a constrained optimization problem that can be solved for any mathematical algorithm for nonlinear optimization and the state of the art of such discipline can be found in Arora, Haftka or Hernandez.

Given the complexity of the evaluation of flutter speed is important that the algorithm used requires a small number of analyses and also the number of iteration needed until convergence. It is commonly accepted that gradient based algorithms are the more efficient but they require the evaluation of the sensitivities of the objective function and the constraint, which in this case is the condition of flutter speed. In that regards previous pieces of research carried by the authors allowed to obtain the analytical sensitivity analysis of flutter speed with regards to the mechanical parameters of the deck. These can be used in the optimization procedure to make faster the solution of the problem.

This approach of reliability analysis of flutter will be applied to the structural model of the Messina Bridge considering several probability failures and classes of distribution function for the wind.

References

- Cornell, C. A. "Bounds on the Reliability of Structural Systems", Journal of Structural Division, ASCE, vol 93 (1), February 1967, pp 171-200.
- Augusti, G.; Baratta, A.; Casciati, F., Probabilistic Methods in Structural Engineering, Chapman and Hall, 1984.
- Choi, S. K., Grandhi, R. V. and Canfield, R. A., Reliability-based Structural Design, Springer, 2007.
- Hasofer, A. M. and Lind, N. C., "Exact and Invariant Second-Moment Code Format", Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, 100 (EM), 1974, pp 111-121.
- Arora, J., Introduction to Optimum Design, Elsevier Academic Press, Second edition 2004.
- Haftka R.T., Gürdal Z. and Kamat, M.P., Elements of Structural Optimization, Second Revised Edition, Kluwer Academic Publishers, 1990.
- Hernandez, S. and Fontan, A. N., Practical Applications of Design Optimization, WITpress, 2002.

Time-frequency analysis of the dynamics of different vorticity structures generated from a triangular prism

Giacomo Valerio Iungo^a, Edoardo Lombardi^b

^aDipartimento di Ingegneria Aerospaziale, Università di Pisa

^bOptimad engineering s.r.l. – G. Collegno, 18- 10143, Torino

ABSTRACT

In the present paper a time-frequency analysis of the dynamics of different wake structures is carried out through a novel procedure based on the proper orthogonal decomposition (POD in the following). The analyzed data consist in hot-wire anemometer signals acquired in proximity of the wake generated from an equilateral triangular prism with aspect ratio $h/w=3$ (where h is the height and w is the width of the cross-section base), orientated with its apex edge against the incoming wind. These measurements represent a part of an experimental campaign presented in Buresti & Iungo, 2009, in which the tests were carried out at a Reynolds number, based on w , of 1.5×10^5 .

For this configuration flow fluctuations at three prevailing frequencies were singled out, with different relative intensities depending on the wake regions. In particular, the frequency connected with alternate vortex shedding from the vertical edges of the prism was found to dominate in the regions just outside the lateral boundary of the wake, at a Strouhal number of about $St = f w / U_\infty \approx 0.16$, where U_∞ is the freestream velocity. On the other hand, a lower frequency, at $St \approx 0.05$, was found to prevail in the velocity fluctuations on the whole upper wake. Simultaneous measurements carried out over the wake of the prism at symmetrical locations with respect to the symmetry plane showed that these fluctuations correspond to a vertical, in-phase, oscillation of two counter-rotating axial vortices detaching from the front edges of the free-end. In Buresti & Iungo, 2009 wake velocity fluctuations were also observed at an intermediate frequency $St \approx 0.09$, and were found to prevail in the symmetry plane. By using the evidence provided by LES simulation data, by flow visualizations and by pressure measurements over the prism surface, it was suggested that they may be caused by a flag-like oscillation of the sheet of transversal vorticity shed from the rear edge of the body free-end, and approximately lying along the downstream boundary of the recirculation region in the central part of the near wake. The three above described frequencies may also be found together in signals acquired aside the wake. Therefore, even if the fluctuations at the various frequencies are produced by the dynamics of different vorticity structures, they all contribute to the global oscillation of the wake.

By considering a velocity signal acquired at a position close to the lateral wake boundary, at a downstream distance of $4w$ and a height of $0.9h$, its related Fourier power spectra in Fig. 1a shows that a large amount of the signal energy is included in a frequency range between $St \approx 0.03$ and $St \approx 0.2$; moreover, several spectral components seem to be present but their detection is not sufficiently clear due to their comparable energy and spectral neighborhood. From the analysis of the map of the modulus of the wavelet coefficients, calculated with a Morlet function with a central frequency of $\omega_0 = 2\pi$ in order to enhance time resolution, no further information is obtained (Fig. 1c). However, by using an increased frequency resolution, i.e. with $\omega_0 = 6\pi$, the wavelet spectrum in Fig. 1b highlights the presence of the three characteristic dominant spectral contributions. As observed from the wavelet map, the extraction of these components through band-pass filtering is very challenging because they are highly modulated and have a limited spectral separation.

Therefore, for a proper detection and extraction of principal components from a time series a novel procedure based on POD is developed. The source-signal is first manipulated in order to generate an ad-hoc data set consisting of time-portions of the signal, each one composed by the same number of samples; this data set represents the input for the POD procedure. The result obtained from the POD is an a-posteriori, data dependent, orthonormal basis, whose elements, denoted as POD modes, are

sorted by their energy. The POD modes with higher energy represent the most important signal fluctuations and their Fourier analysis might be used for a spectral characterization. However, the time-variation of each spectral component present in the original signal can only be obtained by extracting them through a procedure based on the convolution of the source signal with the required POD modes. The main advantage of this new technique is represented by its optimality in the detection and sorting of the principal components as a function of their energy; therefore, an iterative procedure can be implemented for extracting the spectral components, starting from the most energetic one and then analyzing the residual signal, i.e. the source-signal from which the extracted spectral component is subtracted. In this way the flow fluctuations can be considered adequately characterized when a sufficient fluctuating energy is extracted (e.g. a certain percentage of the total fluctuating energy) or when all the dominant spectral components have been captured. The technique is first assessed through computer-generated signals and is then applied to the considered experimental velocity signal. Using only the first 8 POD modes, the three spectral components of interest are clearly extracted, and the time variation of their amplitude and frequency is characterized through the Hilbert transform. The result of the time-frequency analysis is shown in the Hilbert spectrum of Fig. 1d, which is a 3D plot where the x -axis represents time, the y -axis the frequency and the gray level the amplitude of the extracted components.

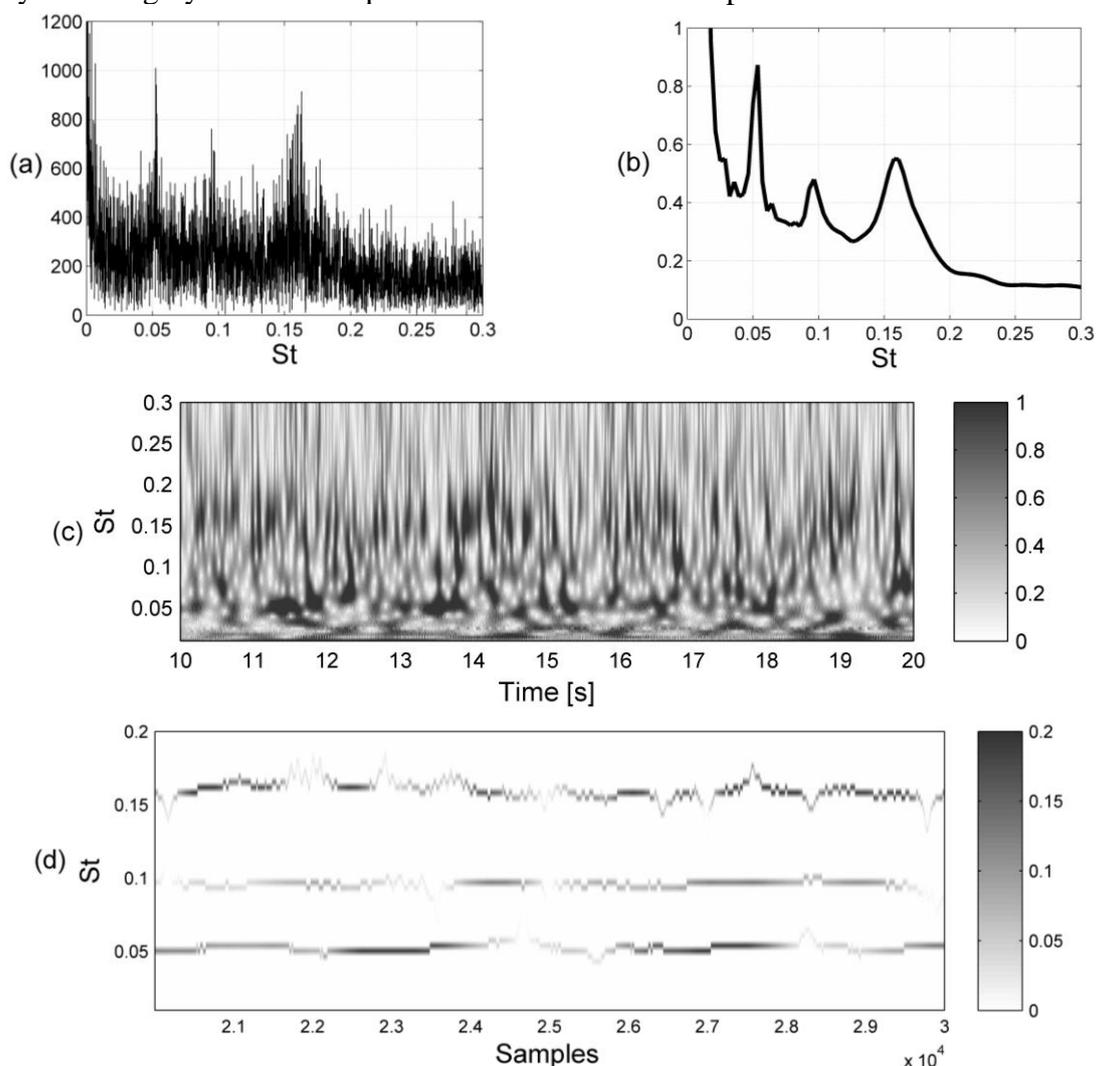


Fig. 1: Time-frequency analysis of an hot-wire anemometer signal: a) Fourier power spectrum; b) wavelet spectrum; c) map of the modulus of the wavelet coefficients; d) Hilbert spectrum of the three spectral components extracted through the POD procedure

Buresti G., Iungo G.V. (2009). Experimental investigation on the connection between flow fluctuations and vorticity dynamics in the near wake of a triangular prism placed vertically on a plane, *J Wind Eng Ind Aerodyn*, Doi:10.1016/j.jweia.2009.10.004

Aeroelastic analysis of the proposal for the Forth Replacement Crossing Bridge

José Á. Jurado, Santiago Hernández, Félix Nieto

School of Civil Engineering of the University of La Coruña, SPAIN

SUMMARY

This paper contains a detailed aeroelastic analysis of the proposed design for the future cable stayed bridge over the Forth which has been carried out by Arup-Jacobs (2008) for Transport Scotland.

The proposed design of the new bridge has three towers with a symmetrical arrangement resulting in two 650 m main spans and 325 m side spans. Each side span includes one additional anchor pier to provide additional stiffness. The deck superstructure is a single cell box girder with the stay cables provided in a fan arrangement and anchored along the centre of the deck. The mono-tower is the slimmest and cheapest design among other studied possibilities as diamond or H shapes. The anchorage of the cables at the centre deck line entails the bridge to have two corridors. The mono-towers and the crossing cables to stabilize the structure will do the bridge unique and instantly recognisable. Figures 1 and 2 show these characteristics.

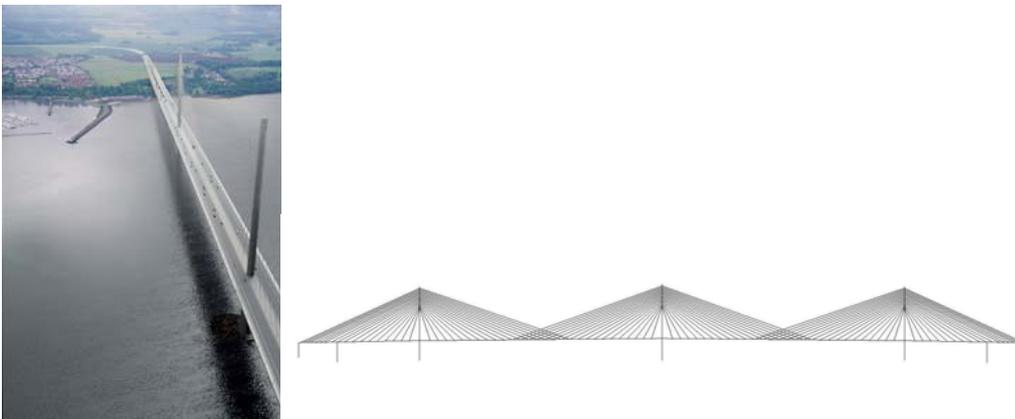


Figure 1. Virtual view from Transport Scotland web page and Structural model.

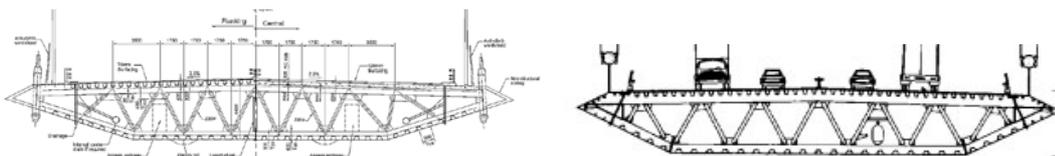


Figure 2. Box girder of the Forth Replacement Crossing Bridge compared with Great Belt Bridge deck.

The software to analyse the flutter instability and the buffeting of this bridge was developed by the School of Civil Engineering of La Coruña and it is based on hybrid methods. Hybrid methods (Jurado et al. 2005) are computational but they need flutter derivatives for the fluid-structure interaction. As a first approximation, the flutter derivatives for the Forth Bridge deck will be estimated adopting the values of the Great Belt Bridge in Denmark who has also a single box girder

of similar dimensions. The analysis considers multimodal flutter showing graphics with the evolution of eigenvalues while wind speed increases until a zero damping is reached (fig.3). The program carries out sensitivity analyses with regard to bridge deck properties (Jurado and Hernández 2004). These sensitivities are calculated in an analytical way and no finite differences are used.

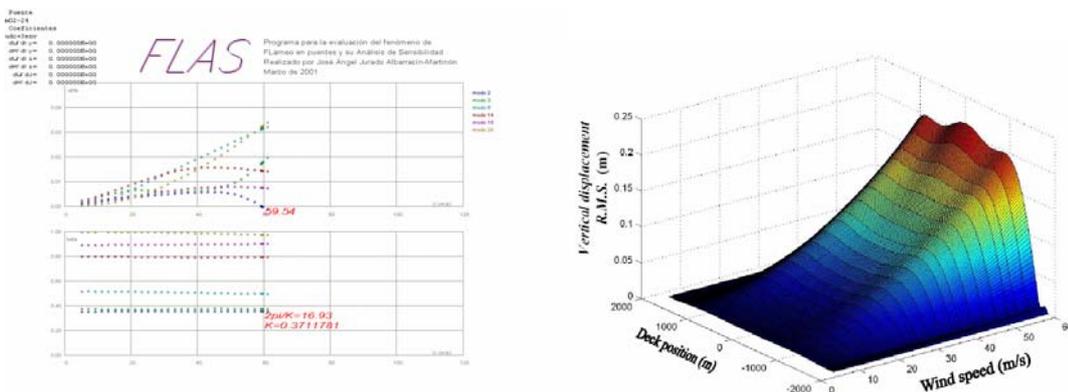


Figure 3. Windows of the eigenvalues in flutter analysis and graphic showing the RMS of the displacements in the buffeting analysis.

The software is also able to analyse buffeting considering aeroelastic terms in the stiffness and damping matrices. It works in the frequency domain and uses spectral analysis to obtain the root mean square of the bridge responses (Jurado et al. 2006). Three-axial graphics of the solutions as functions of deck position and wind speed are possible as shown in the figure 3.

The results of this work will show if the proposed design has good aeroelastic behaviour or if it is necessary to modify the deck or the structural parameters to warrant the bridge performance against strong winds.

Jacobs-Arup (2008) Forth Replacement Crossing: Main Crossing (Bridge) Scheme Assessment Report Development of Options.

Jurado J. Á., Hernández S. (2004) "Sensitivity Analysis of Bridge Flutter with respect to Mechanical Parameters of the Deck." *Journal of Structural and Multidisciplinary Optimization*. Vol. 27, N° 4 June 2004, 272-283.

Jurado J. Á., León A., Hernández S. (2005) Wind Tunnel Control Software for Identification of Flutter Derivatives on Bridge Sectional Test. *The Fourth European - African Conference on Wind Engineering*. Prague 11-15 July.

Jurado J. Á., León A., Nieto F., Hernandez S., (2006). FLAS-B: Software for the Hybrid Analysis of Flutter and Buffeting Phenomena. *4º International Symposium on Computation Wind Engineering*. Yocohama Japón. 16-19 July. *Journal of Wind Engineering, JAWE* Vol. 31 No. 108, pag. 323-326.

Effetti non lineari nelle derivate di flutter di un impalcato da ponte

Claudio Mannini^a, Margherita Ferrucci^b, Gianni Bartoli^a

^a CRIACIV/DICeA, Università degli Studi di Firenze

^b Aérodyamique Eiffel - groupe CSTB, Parigi, Francia

SOMMARIO

Le derivate di flutter (e.g. Simiu & Scanlan, 1996) sono estremamente importanti non solo per la stima della velocità critica di flutter ma anche per la corretta valutazione della risposta della struttura da ponte al vento turbolento. In analogia alla teoria di Theodorsen (1934) per le sezioni alari sottili, le forze autoeccitate sono assunte come funzioni lineari degli spostamenti e delle velocità di spostamento. I coefficienti di proporzionalità, le derivate di flutter appunto, sono espressi in funzione della frequenza ridotta di oscillazione e devono essere misurati in galleria del vento, tramite prove in vibrazioni libere oppure in vibrazioni forzate. La loro dipendenza dall'angolo medio d'attacco del vento è ben nota (Mannini, 2006; Mannini & Bartoli, 2008; Diana *et al.*, 2008; Diana *et al.*, 2010). Un'altra non-linearità importante è rappresentata dalla dipendenza dall'ampiezza di oscillazione, come messo in evidenza da prove sperimentali in vibrazioni forzate (Noda *et al.*, 2003; Diana *et al.*, 2008). Diana *et al.* (2008, 2010) hanno recentemente proposto un modello non lineare nel dominio del tempo per prendere in considerazione questo effetto. Precedenti indagini sperimentali in vibrazioni libere (Mannini, 2006; Bartoli *et al.*, 2009b) avevano mostrato che per certe sezioni di impalcato tali effetti non lineari risultavano essere limitati, a patto di rimanere nel campo delle piccole oscillazioni. Una recente campagna di prove sul modello del Ponte della Musica a Roma (Bartoli *et al.*, 2009a; Ferrucci, 2009) ha invece messo in evidenza una marcata dipendenza delle derivate di flutter dall'ampiezza di oscillazione, anche per valori molto limitati di quest'ultima. La Fig. 1 mostra come il metodo di identificazione MULS (Bartoli *et al.*, 2009b), che si basa sull'ipotesi di forze autoeccitate lineari, nel caso considerato non riesca a ricostruire in maniera accettabile il segnale di rotazione. La Fig. 2 riporta un esempio di valori delle derivate di flutter in funzione dell'ampiezza di oscillazione. L'identificazione è operata su porzioni di segnali di spostamento individuate da finestre temporali progressivamente traslate nel tempo, all'interno delle quali il sistema può essere considerato approssimativamente lineare. Si osserva una netta dipendenza di alcune derivate di flutter dalla deviazione standard degli spostamenti, anche per valori molto piccoli di quest'ultima. Il contributo diretto allo smorzamento aerodinamico in torsione (A_2^*) cambia addirittura di segno al variare dell'ampiezza di oscillazione. Sono stati quindi quantificati gli effetti di tali non linearità sulle stime di flutter relative al Ponte della Musica.

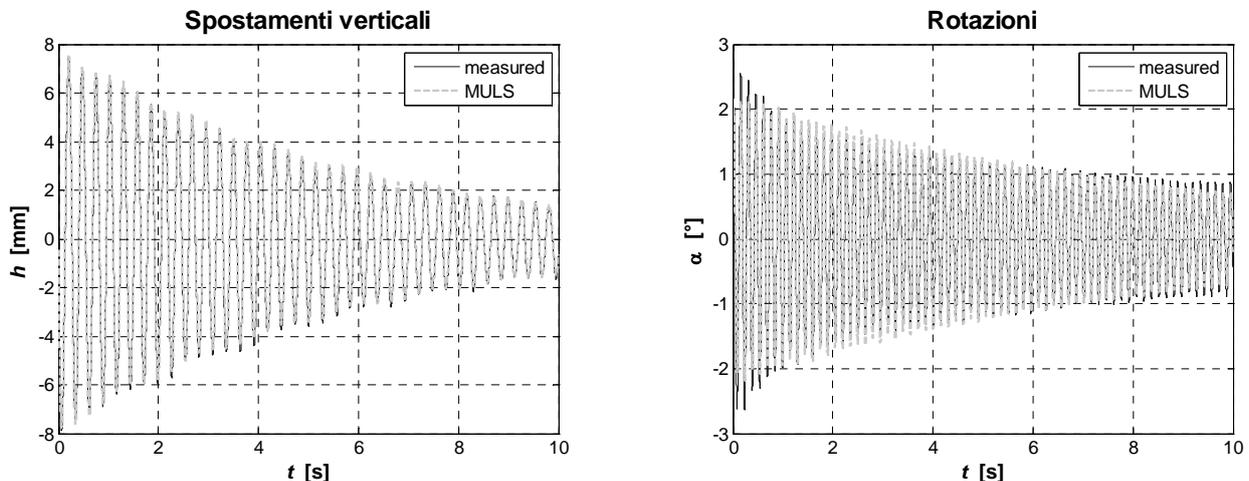


Figura 1. Ricostruzione dei segnali misurati di spostamento verticale e rotazione tramite i parametri stimati con il metodo di identificazione MULS ($U = 8.3$ m/s; $\alpha = +3^\circ$).

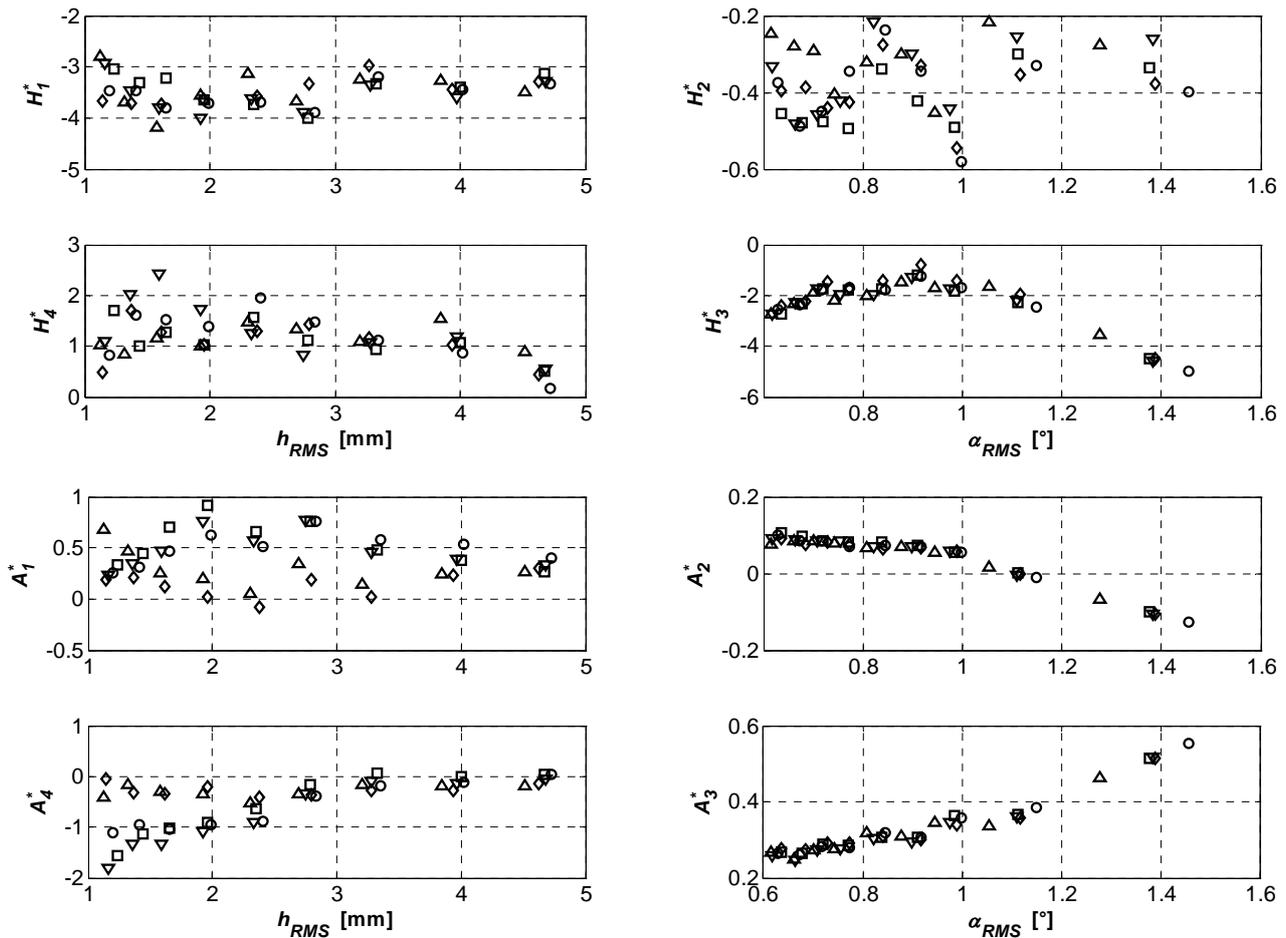


Figura 2. Valori delle derivate di flutter al variare dell'ampiezza di oscillazione del modello ($U = 8.3 \text{ m/s}$; $\alpha = +3^\circ$). L'identificazione è operata su finestre temporali di 2 s.

BIBLIOGRAFIA

- Bartoli G., Borsani A., Mannini C., Procino, L. (2009a). *Prove in Galleria del Vento su Modello Sezione del Ponte della Musica a Roma*. CRIACIV Report Interno (PdM01/09), Firenze
- Bartoli G., Contri S., Mannini C., Righi, M. (2009b). Towards an improvement in identification of bridge deck flutter derivatives. *J. Engrg. Mech. ASCE*, Vol. 135 (8), pp. 771-785
- Diana G., Resta F., Rocchi D. (2008). A new numerical approach to reproduce bridge aerodynamic nonlinearities in time domain. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn*, Vol. 96, pp. 1871-1884
- Diana G., Rocchi D., Argentini T., Muggiasca, S. (2010). Aerodynamic instability of a bridge deck section model: linear and nonlinear approach to force modeling. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn* (in stampa)
- Ferrucci M. (2009). *Il Comportamento Aeroelastico del Nuovo „Ponte della Musica“ a Roma: Sperimentazione in Galleria del Vento e Criteri di Identificazione Aerodinamica*. Tesi di laurea, Università degli Studi di Firenze
- Mannini C. (2006). *Flutter Vulnerability Assessment*. Tesi di dottorato, Università degli Studi di Firenze – TU Braunschweig. Verlag Dr. Müller, Saarbrücken, 2008
- Mannini C., Bartoli G. (2008). Investigation on the dependence of bridge deck flutter derivatives on steady angle of attack, *Proceedings of the 6th International Colloquium on Bluff Bodies Aerodynamics and Applications*, Milano, Italy, July 20-24
- Noda M., Utsunomiya H., Nagao F., Kanda, M., Shiraishi, N. (2003). Effects of oscillation amplitude on aerodynamics derivatives. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn*, Vol. 91, pp. 101-111
- Simiu E., Scanlan R.H. (1996). *Wind Effects on Structures*. John Wiley & Sons, New York
- Theodorsen, T. (1934). *General theory of aerodynamic instability and the mechanism of flutter*. NACA, Langley Research Center, Hampton, NACA Technical Report 496, Annual Report 20

Un modello integrato e completamente nonlineare vento-onde per la simulazione di turbine eoliche offshore

Enzo Marino^a, Claudio Borri^a

^aCRIACIV: Centro di Ricerca Interuniversitario di Aerodinamica delle Costruzioni e Ingegneria del Vento, c/o Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Firenze

SOMMARIO

La simulazione di turbine eoliche in mare esposte ad azioni ambientali estreme è di cruciale importanza per la stima dei carichi di progetto per la torre e la sottostruttura. Venti estremi generano onde altamente nonlineari che possono frangersi contro le strutture di supporto dando luogo a carichi idrodinamici di natura impulsiva estremamente pericolosi per la loro potenzialità distruttiva. Standard internazionali, e.g. IEC 61400-3, raccomandano di considerare tali azioni, tuttavia una procedura accurata e sistematica in grado di riprodurre tali circostanze è tutt'altro che acquisita nella pratica progettuale corrente. Sulla base di questa lacuna il presente contributo propone un modello numerico in grado di simulare la risposta estrema di aerogeneratori offshore (fissati al fondale) raccogliendo appieno, peraltro, le principali prerogative dei moderni approcci progettuali, fra cui: riduzione delle incertezze sui carichi idrodinamici in quanto nessuna restrizione sul grado di nonlinearietà delle onde è assunta a priori; il simulatore numerico completamente nonlineare delle onde è attivato solo quando la teoria lineare è inapplicabile. Di conseguenza il costo computazionale non viene compromesso pur ottenendo straordinari benefici in termini di accuratezza.

La simulazione del moto ondoso è governata da un modello a potenziale legittimato dalle ipotesi di fluido incomprimibile e omogeneo e flusso irrotazionale. L'equazione di Laplace che ne deriva viene discretizzata nello spazio attraverso il metodo degli elementi al contorno (Boundary Element Method, BEM) Brebbia & Dominguez, 1998. Le condizioni al contorno dinamica e cinematica che governano l'evoluzione della superficie libera e del potenziale, rispettivamente, sono integrate nel tempo per mezzo di una serie di Taylor del secondo ordine Grilli *et al.*, 1989. Il simulatore di onde, testato su diversi casi di studio, permette di cogliere con elevata accuratezza l'evoluzione delle onde frangenti (fenomeni del tutto nonlineari) fino all'istante in cui il getto d'acqua rientra nella superficie libera. Nota la cinematica di tali fenomeni, poi, l'implementazione del modello teorico proposto in Winke & Oumeraci, 2005 permette di calcolare le forze impulsive esercitate sulla sottostruttura, si veda la Figura 1.

Poiché tra gli obiettivi primari di questo lavoro vi è quello di fornire uno vero strumento progettuale computazionalmente snello ma più accurato degli approcci tradizionali, particolare attenzione viene altresì posta sull'integrazione del simulatore del moto ondoso, di per sé deterministico, in un contesto completamente stocastico la cui logica si articola nei seguenti passi: i) analisi ambientale e definizione delle seguenti variabili: velocità media del vento, intensità di turbolenza, altezza significativa e periodo di picco delle onde; ii) generazione del vento turbolento e del mare irregolare; iii) analisi della elevazione della superficie libera nel punto in cui è posizionata la turbina; iv_a) se non si riscontrano onde frangenti, allora l'equazione di Morison, Morison *et al.*, 1950, per il calcolo delle forze idrodinamiche rimane inalterata; iv_b) se, invece, si rilevano onde frangenti, allora - una volta definito un sottodominio spazio-tempo (intorno della posizione della turbina e intorno dell'istante in cui l'onda è attesa, rispettivamente) - viene attivato il simulatore completamente nonlineare in modo da riprodurre il frangimento; v) viene calcolata la forza d'impatto ad esso associata e passata al solutore globale, Figura 2. Naturalmente, insieme alle forze idrodinamiche, a quest'ultimo vengono passate le forze aerodinamiche applicate al rotore calcolate ad ogni passo di tempo. La risposta strutturale ottenuta con il nuovo modello idrodinamico è infine valutata e messa a confronto con quella che si otterrebbe con i modelli tradizionali. Particolarmente esplicativo è il confronto del momento flettente alla base della sottostruttura riportato in Figura 3

dove in 15 minuti di simulazione ben quattro onde si frangono in prossimità della sottostruttura. Si osserva che i picchi indotti da tali impatti sono fino a tre volte superiori rispetto alla media. Informazioni relative al rotore, torre e sottostruttura sono disponibili in Marino *et al.*, 2009.

In conclusione, il modello sviluppato rappresenta uno strumento più affidabile nella simulazione di turbine eoliche offshore permettendo di considerare fenomeni che altrimenti verrebbero o completamente ignorati (con gravi conseguenze in termini di sicurezza strutturale) oppure stimati con formule empiriche e fortemente approssimate che spesso conducono ad inevitabili sovradimensionamenti.

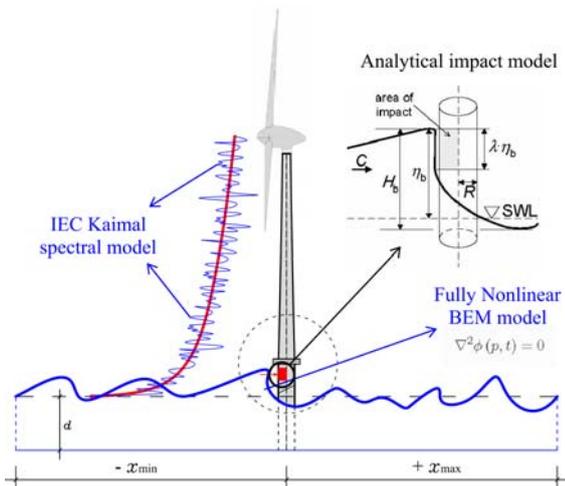


Figura 1. Idealizzazione dei tre principali modelli coinvolti nel simulatore globale: spettro di Kaimal per il vento turbolento, elementi al contorno (BEM) per la simulazione del moto ondoso inizialmente generato con lo spettro JONSWAP, modello analitico di impatto. Profondità del fondale 20 m.

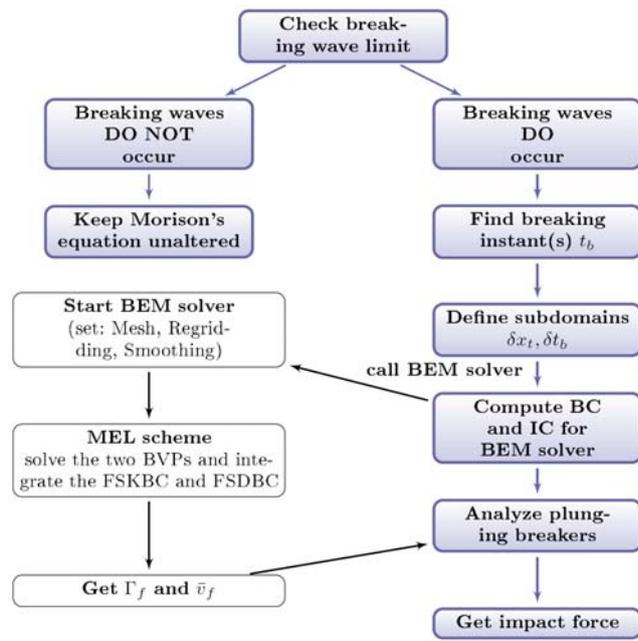


Figura 2. Logica applicata dopo l'analisi zero-crossing della superficie libera del mare nel punto in è situata la turbina.

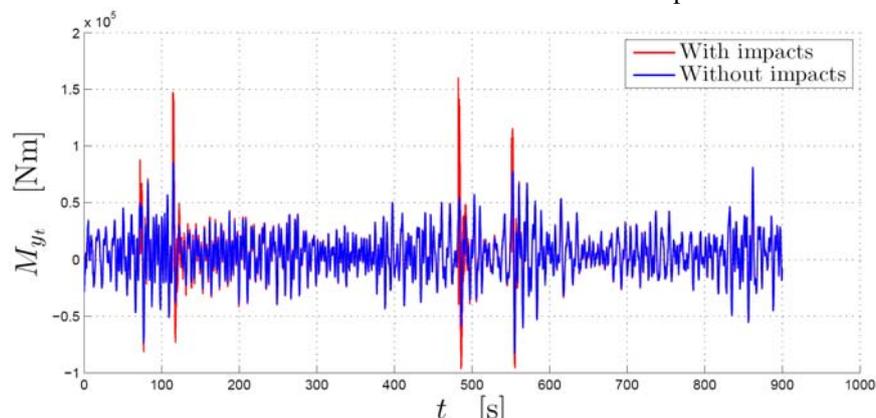


Figura 3. Confronto della risposta strutturale, i.e. momento flettente al piede della sottostruttura, fra un modello tradizionale che non considera gli impatti indotti dalle onde frangenti ed il modello proposto.

RIFERIMENTI

- Brebbia, C.A., Dominguez, J. (1998). *Boundary Elements, An Introductory Course*. WIT Press, Boston, Southampton.
- Grilli, S.T., Skourup, J., Svendsen I.A. (1989). An efficient boundary element method for nonlinear water waves. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, Vol.6 (2), pp. 97-107.
- Marino, E., Borri, C. Peil, U. (2009). Offshore wind turbines: preliminary results of a wind-waves fully integrated model. Towards a more accurate reliability analysis. *WtG-Berichte Nr. 11, Dreiländertagung D-A-CH*, Braunschweig.
- Morison, J.R., O'Brien, M.P., Johnson, J.W., Schaaf, S.A. (1950). The force exerted by surface wave on piles. *Petroleum Transactions (American Institute of Mining Engineers)*, Vol. 189, pp. 147-154.
- Wienke, J., Oumeraci, H. (2005). Breaking wave impact force on a vertical and inclined slender pile-theoretical and large-scale model investigations. *Coastal Engineering*, Vol. 52, pp. 435-462.

Identificazione di parametri aeroelastici in lock-in su un prisma rettangolare

Antonino M. Marra^a, Claudio Mannini^a, Gianni Bartoli^a

^a CRIACIV/Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Firenze

SOMMARIO

Le oscillazioni indotte dal distacco dei vortici sugli impalcati da ponte rappresentano un effetto aeroelastico che deve essere debitamente preso in considerazione nella progettazione degli impalcati da ponte flessibili di media/grande luce. Esistono, infatti, alcuni casi in cui tale interazione ha prodotto grandi oscillazioni (e.g. Battista & Pfeil, 2000; Larsen, 2000).

La preventiva valutazione della risposta durante le fasi di progettazione può essere condotta con l'ausilio di modelli matematici empirici i cui parametri devono essere identificati mediante prove in galleria del vento. In letteratura è possibile individuare un nutrito numero di modelli matematici, molti dei quali nati in ambiti diversi dall'ingegneria del vento, tra i quali la ricerca fluidodinamica pura e l'ingegneria off-shore. Tra di essi la classe dei modelli ad un grado di libertà a "smorzamento negativo" sembra essere la più idonea per applicazioni pratiche (e.g. Scanlan, 1981; Ehsan & Scanlan, 1990; Larsen, 1995; Gupta *et al.*, 1996; Scanlan, 1998).

Dallo studio della letteratura non è semplice valutare l'affidabilità dei vari modelli come pure quella delle corrispondenti procedure di identificazione. Pertanto, confrontare le loro previsioni partendo dai relativi parametri ricavati da uno stesso modello in galleria del vento, potrebbe condurre ad una più chiara conoscenza e ad una più matura applicazione degli stessi. A questo fine, è stato progettato un modello sezione per identificare i parametri aeroelastici in lock-in nella galleria del vento del CRIACIV.

Per valutare la riproducibilità dei risultati presenti in letteratura (e.g. Ehsan & Scanlan, 1990), la forma della sezione trasversale scelta è stata quella rettangolare con un rapporto tra i lati pari a 4, che rappresenta anche uno dei rapporti tipici fra i lati di una sezione da ponte. Al fine di massimizzare la risposta in lock-in, la progettazione è stata mirata all'ottenimento di un modello con il minor numero di Scruton possibile. Pertanto, due fogli di compensato da 4 mm sono stati usati per le basi della sezione trasversale (30 cm); i bordi (7.5 cm), invece, sono stati realizzati in legno toulipier per ottenere spigoli il più possibile vivi. Il modello, lungo 96 cm, presenta un rapporto di forma di 3.2 e pesa complessivamente 2.9 kg (Fig.1). Il corrispondente numero di Scruton, adimensionalizzato rispetto al prodotto dei lati della sezione trasversale, è risultato pari a 4.68. Le prove sono state condotte in flusso uniforme con il modello sospeso elasticamente su 8 molle caratterizzate da elevata rigidità (5.34 N/mm). La conseguente alta frequenza verticale del modello (13.43 Hz), ha permesso di osservare anche l'intervallo di sincronizzazione relativo alla prima sub-armonica della frequenza verticale (Fig. 2). Dalla figura si può anche notare che, una volta fuori dalla zona di sincronizzazione, riducendo la velocità del vento si ritrovano esattamente gli stessi valori della risposta. Pertanto, nonostante il basso rapporto di smorzamento ottenuto (0.17 %), il fenomeno di isteresi sembra non sussistere.

Nella zona di sincronizzazione relativa alla frequenza verticale, l'identificazione dei parametri previsti dai modelli è stata condotta mediante il metodo di decadimento a risonanza, consistente nell'imporre una condizione iniziale nel modo verticale e nella registrazione della conseguente risposta fino alla condizione di ciclo limite. Per una stima delle incertezze presenti nei parametri aeroelastici, le prove di identificazione sono state ripetute molte volte per diverse velocità del vento all'interno della zona di sincronizzazione. Successivamente, i parametri aeroelastici previsti dai modelli saranno valutati con l'ausilio delle procedure di identificazione presenti in letteratura, il che permetterà di quantificare la dispersione statistica dei risultati. Infine, gli stessi parametri saranno stimati con l'ausilio della procedura di identificazione MULS (Modified Unifying Least-Squares Method) proposta recentemente in Bartoli *et al.* (2009).



Fig.1 Vista del modello nella camera di prova.

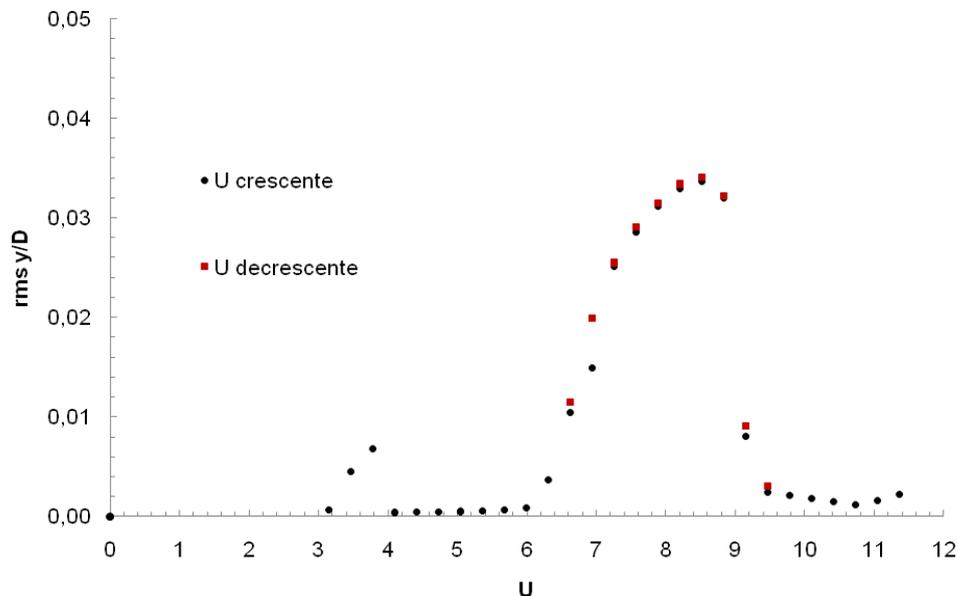


Fig. 2 R.m.s. della risposta adimensionalizzata nel grado di libertà verticale al variare della velocità del vento.

BIBLIOGRAFIA

- Bartoli G., Contri S., Mannini C., Righi M. (2009). Toward an improvement in the identification of bridge deck flutter derivatives. *J. Eng. Mech. ASCE*, Vol. 135 (8), pp. 771-785
- Battista R.C., Pfeil M.S. (2000). Reduction of vortex-induced oscillations of Rio-Niteroi bridge by dynamic control devices. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, Vol. 84, pp. 273-288
- Ehsan F., Scanlan R.H. (1990). Vortex-induced vibrations of flexible bridges. *J. Eng. Mech. ASCE*, Vol. 116 (6), 1392-1411
- Gupta H., Sarkar P.P., Mehta K.C. (1996). Identification of vortex-induced-response parameters in time domain. *J. Eng. Mech. ASCE*, Vol. 122 (11), pp. 1031-1037
- Larsen A. (1995). A generalized model for assessment of vortex-induced vibrations of flexible bridges. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, Vol. 57, pp. 281-294
- Larsen A. (2000). Strebælt suspension bridge – vortex shedding excitation and mitigation by guide vanes. *J. Wind Eng. and Ind. Aerodyn.*, Vol. 88, pp. 283-296
- Scanlan R.H. (1981). On the state-of-the-art methods for calculations of flutter, vortex-induced and buffeting response of bridge structures. *FHWA/RD-80/050*, Nat. Tech. Information Service, Springfield, Va
- Scanlan R.H. (1998). Bridge flutter derivatives at vortex lock-in. *J. Struct. Eng. ASCE*, Vol. 124 (4), pp. 450-458

L'uso dei TLD nella mitigazione della risposta indotta dal vento su edifici alti: un caso di studio

Tommaso Massai^a, Gianni Bartoli^a, Luca Facchini^a

^aCRIACIV / DICeA (Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale), Università degli Studi di Firenze

SOMMARIO

L'ingegneria applicata alle strutture snelle è sempre di più impegnata nella ricerca del controllo della risposta dinamica di tali sistemi. Edifici sempre più alti, materiali ultraleggeri e la ricerca quasi ossessiva del concetto di leggerezza tradotto nell'impressione estetica della moderna architettura strutturale ha reso indispensabile lo sviluppo di dispositivi di controllo di vario tipo atti a prevenire fattori di *discomfort* o conseguenze peggiori per la struttura stessa, attraverso la mitigazione delle vibrazioni conseguenti alle oscillazioni in campo dinamico prodotte da sollecitazioni di carattere ambientale (nel caso specifico, dovute all'azione del vento). Il presente lavoro si focalizza sull'implementazione, preceduta da un'indagine ed un approccio alla modellazione, di un particolare tipo fra i dispositivi sopra citati, applicata ad una struttura in corso di realizzazione a Milano, la torre Garibaldi, già oggetto di prove sperimentali in galleria del vento (Borri et al., 2007) e prescelta come caso-studio.

Gli smorzatori utilizzati sono stati i *Tuned Liquid Dampers* (TLD). I TLD consistono in contenitori, parzialmente riempiti di liquido (generalmente acqua), che entra in oscillazione quando l'edificio cui sono collegati inizia a vibrare. I TLD sfruttano l'effetto del moto d'onda, che se accordato sulla frequenza dominante di una struttura, ne mitiga la risposta in ampiezza e accelerazione. Tra le varie tipologie presenti nella letteratura di riferimento sono stati scelti i TLD cilindrici, che hanno il pregio dell'indipendenza dalla direzione di sollecitazione.

Le proprietà smorzanti dei TLD (anulari, *nutation dampers*) vengono studiate per la prima volta in campo aerospaziale (Abramson, 1961), come stabilizzatori nei confronti del *wobbling*, instabilità sulle rotazioni fuori asse da parte dei satelliti. Gli studi proseguono con applicazioni su vascelli marini e piattaforme *off-shore*. I primi studi per applicazioni su strutture civili vengono formulati a partire dalla fine degli anni '80 su smorzatori anulari, supportati anche da test in galleria del vento. Parallelamente (Shimizu & Hayama, 1987; Lepletier & Richlen, 1988) viene sviluppata una teoria non-lineare derivante dalla *shallow water wave theory* (Stoker, 1957); la totalità degli esperimenti rivela da subito un comportamento fortemente non-lineare.

Un modello lineare, in letteratura rielaborato ed adattato a TLD conici (Casciati *et al.*, 2003), da implementare nel calcolatore è stato messo a punto partendo dalla teoria per serbatoi proposta da Housner. Secondo tale modello il liquido interno del contenitore è idealmente diviso in una parte (massa impulsiva – M_0) in quiete e solidale col movimento del contenitore, ed una parte (massa convettiva – M_1) in moto d'onda relativo; l'ipotesi principale consiste nel considerare assente la rottura d'onda, che avviene quando l'altezza del liquido in moto supera di due volte l'altezza del liquido in quiete. I parametri che governano il comportamento dinamico del singolo smorzatore sono il diametro della vaschetta e l'altezza del liquido interno.

Per la forzante è stato fatto riferimento ai dati acquisiti tramite una campagna sperimentale nell'ambito di una convenzione di ricerca ed effettuate presso la galleria del vento del CRIACIV. Sono state effettuate misure di pressione in campo dinamico, su un modello in scala 1:350 dell'edificio; le misure di pressione sono state successivamente integrate per ottenere le forzanti di piano (F_x , F_y , M_z) relative agli allineamenti inseriti nel modello di galleria. Le storie temporali, registrate ad una frequenza di campionamento di 250Hz, sono segnali con contenuto in frequenza fino a 125Hz (corrispondenti in scala reale a 0.408Hz), insufficienti ad eccitare un numero di modi sufficiente a caratterizzare in maniera adeguata la risposta dinamica della struttura. E' stato quindi elaborato un procedimento che ha permesso l'estensione e del segnale in frequenza quindi la ricostruzione dello spettro. A partire dalla struttura di covarianza del segnale di galleria, reso

gaussiano, si è ricostruita la covarianza del segnale esteso con interpolazione per mezzo di una *spline* cubica. Il segnale finale è quindi ricostruito tramite un filtro auto-regressivo. I segnali risultanti vengono de-gaussianizzati e riportati in scala reale per l'implementazione nel programma di calcolo. A questo punto si possono ottenere segnali equivalenti ad un campionamento a 2000Hz, quindi con contenuto in frequenza in scala reale esteso a 3.28Hz.

Il modello computazionale è quello di un TMD equivalente, ancorato in corrispondenza del baricentro di uno dei piani di sommità ipoteticamente adibito all'alloggiamento degli smorzatori. L'inerzia rotazionale di piano è calcolata su disposizioni spaziali realistiche e le analisi effettuate sono relative al vento incidente la parte maggiore di superficie laterale. Sono stati analizzate 5 diverse disposizioni dei TLD, tese all'ottimizzazione del fattore di massa, su una delle quali è stato operato un *detuning* consistente nell'accordare quote del 10% della massa di liquido partecipante su frequenze corrispondenti rispettivamente a $\pm 5\%$ della frequenza fondamentale della struttura. Il livello di *performance* richiesta è elevato, relativo ad un'analisi di *comfort* interno per gli utenti della struttura adibita ad uffici; il parametro di riferimento, espresso in termini di accelerazioni di piano, è stato confrontato con i limiti previsti dalle istruzioni CNR-DT 207/2008.

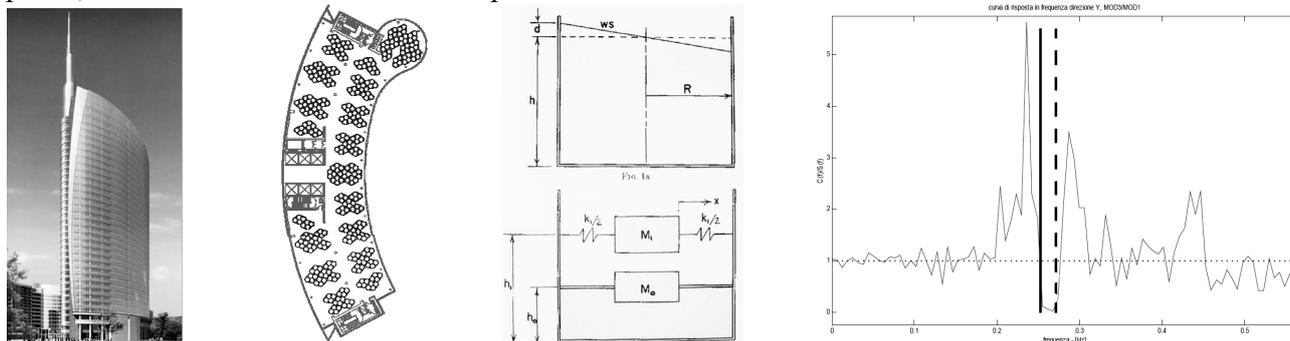


fig.1 – da sinistra: a) Torre Garibaldi; b) possibile schema di distribuzione di piano dei TLD; c) modello di Housner; d) curva di risposta in frequenza del modello con *detuning*: localizzazione della prima (linea tratteggiata) e della seconda (linea continua) frequenza propria della struttura dentro al picco di efficienza dello smorzatore

I risultati evidenziano il miglior funzionamento del modello con *detuning* rispetto agli altri, in cui a variare è solo il fattore di massa (1-1.5-2 %), nel quale si arriva ad uno smorzamento equivalente nell'ordine del 47%, in linea con i dati di letteratura. Nel modello con *detuning*, si ha una certa quantità di massa liquida accordata anche su frequenze prossime a quella principale; quest'ultimo fatto si palesa se si osserva che le prime due frequenze proprie sono all'interno del picco di efficienza della curva di risposta in frequenza in direzione *across-wind* (fig.1.d).

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- Abramson H.N. (1966). The dynamics behavior of liquids in moving containers, NASA Rep.SP-106
- Shimizu T., Hayama S. (1987). Nonlinear responses of sloshing based on the shallow water wave theory. *Japan Society Mechanical Engineering (JSME)*, Vol.30(263), pp. 806-813
- Lepelletier, T. G., Raichlen F. (1988). Nonlinear oscillations in rectangular tanks. *Journal of Engineering Mechanics*, Vol.114(1), pp. 1-23
- Stoker J.J. (1957). *Water Waves*. Interscience, New York
- Casciati F., De Stefano A., Matta E. (2003). Simulating a conical tuned liquid damper. *Simulating Modelling Practice and Theory*, No.11, pp. 353-370
- Housner G.W. (1963). The dynamic behaviour of water tanks. *Bullettin of Seismological Society of America (BSSA)*, Vol.53(2), pp. 381-387
- CNR-DT 207/2008 (2008), Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni
- Massai T. (2009), Attenuazione della risposta indotta dal vento su edifici alti tramite l'impiego di smorzatori a massa liquida: un caso di studio. *Bollettino ingegneri* (n.10 agosto-ottobre 2009 - anno LVII). pp. 9-14
- Borri, C., Bartoli, G., Borsani, A., Majowiecki, M., Pastò, S., Procino, L., Spinelli, P. (2007). Indagini sperimentali in galleria del vento su edifici a torre, in "Ingegneria del Vento in Italia", Atti del nono Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento IN-VENTO-2006, a cura di P.D'Asdia, V. Sepe, S. Febo, 103-109

CFD investigation on the proposed design for the Forth Replacement Crossing

Félix Nieto^a, Santiago Hernández^a, José Á. Jurado^a

^aSchool of Civil Engineering, University of La Coruna, La Coruna, SPAIN

SUMMARY

The Firth of Forth has been since ancient times one of the main barriers to overcome for the communication networks joining Scotland with the South of Great Britain. In fact, nowadays three bridges span the Firth of Forth: the Forth Railway Bridge built in 1890, the Kincardine Bridge inaugurated in 1936 and the Forth Road Bridge opened to traffic in 1964. However, according with the Transport Scotland, the national transport agency for Scotland, despite important investment and maintenance activities carried out for years, the Forth Road Bridge is presenting deterioration problems, thus it cannot be considered as the main permanent crossing over the Firth of Forth for road traffic in the long term. Transport Scotland plans to dedicate the Forth Road Bridge for carrying public transport, pedestrians and cyclist, while in the future it could be adapted to carry a tram.



Figure 1. Map of the Firth of Forth including the new Forth Replacement Crossing (from Transport Scotland).

In December 2007 the Scottish Government chose a cable-stayed bridge located to the west of the actual Forth Road Bridge as the replacement crossing. Transport of Scotland developed additional planning in 2008. In fact, engineering companies Jacobs Engineering and Arup carried out extensive studies on several subjects (Hussain 2009).

The new bridge will have three mono-towers and its total length will be 2.7 km, including approach viaducts. It has been chosen for the deck a single box girder letting an open material choice to the bidding contractors.

The project is scheduled to start construction works in 2011, ending in 2016.



Figure 2. Artist's impression of the Forth Replacement Crossing (from Transport Scotland).

In the last decade CFD has proved to be a feasible tool for predicting, at least qualitatively, the aerodynamic behavior of a bridge deck. It is in the early design stage when CFD offers great results as it is able to provide qualitative information regarding the expected aerodynamic behaviour of a certain deck design (Nieto et al. 2009). In fact, one of the main advantages of the computational approach is its time and cost effectiveness. The computational analyses are able to identify deck designs with an inadequate performance but also may clarify those aspects to be extensively tested in the comprehensive wind tunnel campaigns to carry out for this kind of challenging projects. In this work the aerodynamic coefficients of the proposed design for the deck of the Forth Replacement Crossing are obtained considering a 2D model. Additionally, 2D unsteady simulations are carried out for a 0° angle of attack in order to identify a potential vortex shedding in the cross-section. Computations are carried out on a cluster comprising 48 CPU's of 64 bits architecture and 192 GB of overall RAM memory.

- Hussain N. (2009). An international exploration of global mega projects – A series of mini case studies. Middel East Bridges Design and Engineering Submit, Abu Dhabi, UAE.
- Nieto F., Hernández S. Jurado J.Á. (2009). A linear model for structures with Tuned Mass Dampers, *Proceedings of the Fith European and African Wind Engineering Conference, Florence, Italy.*

Wind aerodynamic loads on large structures: application on the roof of the stadium of Braga

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

^aUniversità IUAV di Venezia, Venezia

^bUniversità di Padova, Padova

SOMMARIO

The wind aerodynamic loads on structures can be modelled by using two different approaches which correspond to different response evaluation methods. Depending on the relevance of the building, it is possible to carry out *static* or *dynamic analyses* which considerably differ with respect to the design procedure: modelling, data input and output, etc. The regulations in force on wind loads allow and heavily emphasize the *equivalent loads* to be applied statically on the structures and aim at substituting the actual dynamic wind pressure with a fictitious action that returns the maximum system response. Usually these equivalent loads are expressed multiplying the peak aerodynamic load by a dimensionless parameter called *dynamic coefficient*. If the simplified approach cannot be applied, the regulations require specific dynamic analyses performed by numerical and/or experimental methods. In the last case, all the codes do not specify particular prescriptions, just to motivate every design choice.

This paper presents a comparison between several methods of applying the wind aerodynamic load on real structure, starting from the equivalent static loads to a complete non-linear dynamic analysis in the time-domain (Olivato, 2010). The case study of the football stadium roof had been stadium extensively investigated in the past using aerodynamic and aeroelastic scale models during designing processes (Boccione *et al.*, 2004) and also with full scale test after its finishing (Cosentino & Majowiecki, 2004). The experimental evidences are taken as references for the results. Purpose of the comparison is the evaluation of the structural response of a real building varying the applied load: starting from measures on a specific scale model, and going ahead substituting different information with general code's prescriptions.

The dynamic simulations are based on a time-dependent pressure fields measured during a wind tunnel test on an aerodynamic scale model of the stadium, while the equivalent static loads correspond to the code's prescriptions for regular buildings. Besides these limit situations, intermediate conditions are taken into account where the measured pressure field is manipulated by substituting the temporal and frequency information with the general power spectrum from the Italian National Code (CNR-DT 207-08) on one side. On the other hand the complete load history is summarized in order to determine the maximum load values exerted upon the structure.

The intermediate procedure, theoretically described in Olivato *et al.*, 2010, starts from the implementation of equivalent pressure loads given by enhancing the proper modes, derived with the POD technique (Tamura *et al.*, 1999, Carasale *et al.*, 2007), with the energetic terms of the same modes. All the equivalent pressure surfaces should be combined, by using for instance SRSS, and amplified with the dynamic coefficient in order to be statically applied to the structure. Adding dimensionless coordinate vectors, still derived from POD decomposition, to the latter equivalent pressure loads, the original pressure field can be recovered, but without gaining any advantage from the manipulation. An interesting point, and aspect of innovation of the proposed procedures, is to replace the original coordinate vectors with general signals generated by using the power spectral methods based on the Standard's spectrum provided for the specific location.

Boccione M., Collina A., Diana G., Rocchi D., Tosi A., (2004). Azioni ed effetti del vento sulla copertura dello stadio di Braga: prove in galleria del vento su modello aeroelastico, in *Proceedings of 8° IN-VENTO Conference*, Reggio Calabria (Italian version)

- Carassale L., Solari G., and Tubino F., (2007). Proper orthogonal decomposition in wind engineering. Part 2: Theoretical aspects and some applications, *Wind & Structures*, Vol. 10(2), pp. 177-208
- C.N.R. (Italian National Research Council), (2008). Guidelines on Actions and Effects of Wind on Structures, CNR-DT 207-08 (Italian version)
- Cosentino N., Majowiecki M., (2004). Analysis and mitigation of the wind induced response of large span suspended roofs: the case of the new Braga Stadium, in *Proceedings of 8° IN-VENTO Conference*, Reggio Calabria
- Olivato G. (2010). Managing wind risk on long span roofs, *Ph.D. thesis*
- Olivato G., Baro L., Lazzari M., Saetta. (2010). Global approach for wind load response analyses: POD techniques, in *Proceedings of IABSE-fib Conference*, Dubrovnik
- Tamura Y., Suganuma S., Kikuchi H., Hibi K., (1999). Proper orthogonal decomposition of random wind pressure field, *J. Fuils Structures*, Vol. 13, pp. 1069-1095

Il ruolo dell'incertezza dei parametri nella valutazione della vita a fatica indotta dalle azioni longitudinali del vento

Luisa Carlotta Pagnini^a, Maria Pia Repetto^a,

^a DICAT, Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio,
Università degli Studi di Genova

SOMMARIO

Le azioni indotte dal vento possono produrre ampie vibrazioni strutturali a velocità del vento moderate e frequenti, causando un accumulo di danneggiamento a fatica. Un gran numero di danneggiamenti e crolli correlati a questo fenomeno sono stati osservati per diverse tipologie strutturali (Repetto & Solari, 2010). Nonostante ciò, i contributi proposti in letteratura sono prevalentemente approfondimenti di ricerca, e i metodi di calcolo ingegneristico sono in generale limitati alla valutazione della fatica indotta dal distacco dei vortici.

Il gruppo operante all'Università di Genova ha sviluppato un ampio programma di ricerca volto a formulare e calibrare una procedura di analisi a fatica sotto condizioni generali. Il metodo, formulato in termini discretizzati, consente la stima dell'istogramma dei cicli, del danno a fatica e della vita a fatica sulla base della probabilità congiunta di velocità media del vento, direzione e lunghezza di Obukhov, tenendo conto delle azioni simultanee in direzione longitudinale, trasversale e torsionale, oltre alla possibile insorgenza del fenomeno di lock-in. L'applicazione della procedura proposta, confrontata con casi studio reali o numerici, fornisce valutazioni molto accurate della vita a fatica; consente inoltre di descrivere lo stato tensionale e il danno a fatica corrispondente a diversi scenari, fornendo uno strumento utile all'interpretazione di collassi e danni strutturali (Repetto & Solari, 2010). Peraltro, anche questo metodo risulta molto complesso e richiede la conoscenza di parametri di ingresso di difficile valutazione.

Focalizzando l'attenzione sulla fatica indotta dalle azioni longitudinali del vento, un recente lavoro introduce una serie di ipotesi semplificative che consentono di risolvere il problema al continuo completamente in forma chiusa (Repetto & Solari, 2009). In particolare, la formulazione proposta trascura l'effetto direzionale del vento e l'effetto della non-neutralità atmosferica, ed è basata su approssimazioni dei parametri di tensione al variare della velocità media del vento mediante leggi di potenza:

$$\kappa(\bar{u}) = \kappa_{\text{ref}} \left(\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{\text{ref}}} \right)^{\alpha_{\kappa}}; \quad \alpha_{\kappa} = \frac{\ln(\kappa_{\text{fat}}/\kappa_{\text{ref}})}{\ln(\bar{u}_{\text{fat}}/\bar{u}_{\text{ref}})}; \quad (1)$$

dove κ rappresenta il parametro di tensione in esame (ad esempio valore medio, deviazione standard, frequenza attesa, ecc.); $\kappa_{\text{ref}} = \kappa(\bar{u}_{\text{ref}})$, $\kappa_{\text{fat}} = \kappa(\bar{u}_{\text{fat}})$, in cui \bar{u}_{ref} è la velocità media di riferimento del vento, \bar{u}_{fat} è la velocità media del vento per cui è massimo il danno indotto. Il valore di \bar{u}_{fat} dipende strettamente dalla funzione di densità di probabilità della velocità media del vento nel sito. L'elaborazione di dati anemometrici di stazioni sparse sul territorio nazionale suggerisce $\bar{u}_{\text{fat}} = 0.5 \bar{u}_{\text{ref}}$.

Il danno complessivo nel tempo T può essere espresso mediante la relazione:

$$\bar{D}(T) = \bar{D}_0(T) C_{\text{BM}} C_{\text{MS}} C_{\text{SN}} \quad (2)$$

dove \bar{D}_0 è la soluzione di livello zero, ottenuta sotto le ipotesi generalmente utilizzate in letteratura: 1) il processo fluttuante di tensione è stazionario, gaussiano, a media nulla; la tensione media è nulla; 3) la curva di resistenza a fatica S-N è espressa mediante una retta nel diagramma bi-

logaritmico. C_{BM} , C_{MS} e C_{SN} sono tre coefficienti correttivi denominati, rispettivamente, fattore bimodale, fattore di tensione media e fattore di curva a fatica, ottenuti rimuovendo le tre ipotesi precedenti. Tutti i termini in Eq. (2) sono espressi in forma chiusa

L'applicazione dell'Eq. (2) conduce a stime molto accurate del danno medio e della vita a fatica prevista per le strutture. Tuttavia, la valutazione dipende da un gran numero di parametri, legati, in particolare, alla valutazione della risposta strutturale (n_1 , \bar{s}_{ref} , σ_{ref} , v_{ref} , $\lambda_{D,ref}$, $v_{Q,ref}$) e alla sua approssimazione al variare della velocità media del vento (α_k), ai parametri statistici della velocità del vento nel sito (\bar{u}_{ref} , F_0 , k , c) e ai parametri della curva di resistenza a fatica S-N (a_1 , Δ_C). I parametri elencati sono a loro volta affetti da grandi incertezze, che possono comportare una grande dispersione nelle stime ottenute mediante l'Eq. (2).

Le incertezze inerenti la stima della risposta strutturale sono relative sia alla modellazione del campo di vento incidente che al comportamento strutturale (Pagnini, 2010). La modellazione della turbolenza richiede la definizione delle equazioni degli spettri di potenza e dei relativi parametri; la letteratura è ricca di modelli empirici, semi-empirici e teorici della turbolenza atmosferica, la scelta dei quali implica inevitabili errori. Il comportamento aerodinamico del sistema strutturale immerso nel flusso è governato da fenomeni fisici estremamente complessi, legati alla forma del corpo e alle condizioni del flusso incidente. I coefficienti aerodinamici sono generalmente ricavati da prove in galleria del vento relative a situazioni standard. Tuttavia, le stesse misure sperimentali sono affette da incertezze, sono inoltre legate al numero di Reynolds e dipendono dalla rugosità superficiale del corpo e dall'intensità di turbolenza del flusso. I parametri strutturali hanno generalmente gradi di incertezze diversi. La frequenza propria di vibrazione e la forma modale possono essere ottenute analiticamente con un buon livello di approssimazione quando sono note le matrici di massa e di rigidità del sistema strutturale; tuttavia, nella pratica progettuale, è frequente l'uso di formule empiriche approssimate. La stima dello smorzamento strutturale è molto incerta ed è soggetta ad una grande variazione in funzione dell'ampiezza della vibrazione strutturale.

La caratterizzazione probabilistica della velocità media del vento dipende dal sito in esame. Le normative riguardanti le azioni indotte dal vento generalmente assegnano il valore di riferimento \bar{u}_{ref} utile alle valutazioni agli stati limite ultimi. Uno degli autori del presente lavoro ha recentemente sviluppato una serie di ricerche inerenti le distribuzioni delle velocità correnti (Pagnini & Solari, 2009). Infine, le curve di resistenza a fatica sono assegnate dalle normative tecniche per dettagli costruttivi standard sulla base di valutazioni sperimentali che sono inevitabilmente affette da incertezze. La scelta della curva più opportuna non è sempre immediata e può comportare errori di notevole entità sulla valutazione finale.

Partendo da una caratterizzazione probabilistica dei parametri del modello illustrati e sviluppando in serie di Taylor le espressioni analitiche che descrivono il danno a fatica, i momenti statistici delle grandezze in esame possono essere ottenuti in funzione delle informazioni statistiche relative ai parametri da cui dipendono. Il presente lavoro illustra la procedura e descrive criticamente i risultati ottenuti. La prima parte analizza il ruolo di ciascun parametro incerto, focalizzando l'attenzione sulle grandezze che maggiormente influenzano la valutazione della vita a fatica. Considerando una selezione opportuna di parametri, la seconda parte propone una descrizione probabilistica della vita media a fatica, idonea per analisi di rischio e valutazioni affidabilistiche.

Pagnini, L.C. (2010). Reliability analysis of wind excited structures. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 98, pp 1-9.

Pagnini, L.C., Solari, G. (2009). Preliminary elements for an innovative wind map of Italy. Proc., 5EACWE, Firenze.

Repetto M.P., Solari G. (2009). Closed form solution of the alongwind-induced fatigue damage to structures, *Engineering Structures*, Vol. 31, pp 2414-2425.

Repetto M.P., Solari G. (2010). Diagnosis of fatigue collapses of slender structures due to aerodynamic wind actions. *J. Wind Eng. Ind. Aerod* sottoposto per la pubblicazione.

Fenomeni di vento intenso dalle osservazioni della rete del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare

Vinicio Pelino, Filippo Maimone e Francesco Volpe

Aeronautica Militare - Centro Nazionale di Meteorologia e Climatologia Aeronautica, via di Pratica di Mare 45, 00040 Pomezia (ROMA)

SOMMARIO

Alla luce del ciclo energetico dell'atmosfera, vengono illustrati case-studies meteorologici di vento intenso, sia a carattere locale che su scala sinottica sul territorio nazionale.

Una comparazione tra le frequenze di occorrenza di vento teso intenso e raffiche tra l'ultima decade e il decennio 1980-89 viene inoltre presentata in prospettiva di possibili cambiamenti significativi nella circolazione atmosferica sull'area mediterranea ed italiana in particolare. Infine, viene brevemente illustrato l'utilizzo di due strumenti statici, come l'Atlante Aeronautico BARACCA e l'Atlante Climatico d'Italia, realizzati dal Servizio di Climatologia del CNMCA, ai fini della stima climatologica della fenomenologia del vento intenso.

H.B. Bluestein (2007). Advances in applications of the physics of fluids to severe weather systems, *Rep.Prog.Phys.* Vol. 70, 1259-1323

F.Apadula, T.Colombo, V.Pelino (2007). Indici di cambiamento climatico, *Rivista di Meteorologia Aeronautica*, n°3 anno 67, luglio-settembre, pp. 36-45

T.Colombo, F.Maimone, V.Pelino (2009). Nuovo approccio alle previsioni stagionali: prognosi, *Rivista di Meteorologia Aeronautica*, n°4 anno 68, ottobre-dicembre, pp. 16-21

Handling uncertainties in Offshore Wind Turbines structural Performance evaluation

Francesco Petrini^a, Franco Bontempi^b

^{a,b} Sapienza University of Rome, Rome

ABSTRACT

In order to make the wind generated power more competitive with respect to conventional exhaustible and high environmental impact sources of energy, during last years, the attention has progressively turned toward offshore wind power production (EWEA 2008).

Offshore wind turbines (OWTs) are relatively complex structural and mechanical systems located in a highly demanding environment (Bontempi 2010); the design of such as complex structures is commonly based on the results of deterministic structural analyses, carried out on finite element models of the structural system. However, the assessment of the structural response is affected by significant uncertainties, due to the random variability of both the environmental actions and the geometric and mechanical properties of the structure. An efficient procedure to deal with the uncertainty of modeling and loading parameters requires the characterization of the probability distribution functions of the parameters of the models of the actions and structural response, and the assessment of the probability distributions of the response parameters (Ciampoli et al 2009).

This paper focuses on the effects on the structural response of an OWT induced by the un-certainty of the parameters used to describe the environmental actions and the finite element model of the structure. A proper probability characterization of the parameters is assumed, and the relevance and the propagation of the uncertainty to the response are investigated. Analyses are carried out in frequency domain by adopting a linear elastic finite element model and the response uncertainty is estimated by using a sampling technique. Both turbulent wind and wave's action are modeled as stochastic processes. The results presented are considered useful for the preliminary design phase, where upper and lower bounds of the stochastic structural response have to be estimated in order to select the design configuration.

European Wind Energy Association (EWEA), 2008. Pure Power. Wind Energy Scenarios up to 2030, report. www.ewea.org.

Bontempi, F., 2010. Advanced Topics in Offshore Wind Turbines Design. *Proceedings of the 12th biennial ASCE Aerospace Division International Conference (Earth & Space 2010)*, Honolulu, USA, March, 14 – 17, 2010.

Ciampoli M, Petrini, F. and Augusti G., 2009. A Procedure for the Performance-Based Wind Engineering, *Proceedings of the tenth international conference on structural safety and reliability (ICOSSAR'09)*, Osaka, Japan, 13-17 September 2009.

Serviceability assessment of Tall buildings in the framework of Performance-Based Wind Engineering

Francesco Petrini^a, Marcello Ciampoli^b, Giuliano Augusti^c

^{a,b,c} Sapienza University of Rome, Rome

ABSTRACT

The general framework of a probabilistic procedure for Aeolian risk assessment and Performance-Based Design of buildings and other facilities subject to wind action is illustrated (Augusti & Ciampoli, 2008, Ciampoli *et al.*, 2010). The procedure is applied for the assessment of a tall building occupants comfort.

As underlined by Simiu (2009), risk assessment is essential for developing criteria that may govern the design of structures intended to remain safe and functional when subjected to wind action, under the constraint that costs were reasonably low, if not optimal.

Risk assessment is based on the satisfaction, in probabilistic terms, of appropriate structural performances (e.g. no collapse, life safety, accessibility or full functionality) for various levels of the wind action: the performances are identified with a set of random quantities, the decision variables DVs.

A preliminary step is the definition of the performances that are differentiated into two groups: (i) performance levels with consequences on the structural safety (low performance levels); (ii) performance levels with consequences on the ordinary service and functionality of the structure and of the area surrounding it (high performance levels).

On the basis of the definition of the performances, appropriate Damage Measures (DMs), Engineering Demand Parameters (EDPs) and Intensity Measures (IMs) are chosen in the conceptual framework of PBWE.

For low performance levels, the DM is defined on the basis of the cost of repairs that are needed to recover the structure to the undamaged state, while either the displacement of the top of the structure or the peak wind pressure are considered as EDP.

Performance levels related to functionality (high performance levels) are identified in relation with "comfort", that is, with human response to structural oscillations (Kwok *et al.* 2009).

The procedure is applied to an example case: the assessment of the occupant comfort requirement for a 74 storey building. Probabilistic calculations are carried out in frequency domain, but the parameters of the wind field are calibrated on the basis of the results of experimental tests, giving the time-histories of the total forces acting on a 1/500 rigid scale model of the building. The occupant comfort is related to motion perception and expressed by threshold values of the floor across-wind acceleration. Finally, the design of a Tuned Mass Damper is briefly illustrated, aimed at ensuring an adequate level of occupant comfort.

Augusti, G. & Ciampoli, M. 2008. Performance-Based Design in risk assessment and reduction. *Probabilistic Engineering Mechanics*, 23, pp. 496-508.

Ciampoli M., Petrini, F. & Augusti G. 2009. Performance-Based Wind Engineering: presentation and discussion of a procedure. *Structural Safety* (submitted).

Simiu, E. 2009. Wind and risk. *Proc. Fifth European & African Conference on Wind Engineering EACWE5*, Florence, Italy, July 19-23, 2009.

Kwok, K.C.S., Hitchcock, P.A. & Burton, M.D. 2009. Perception of vibration and occupant comfort in wind-excited tall buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 97, pp. 368-380.

Il ruolo dei dati mancanti nella statistica dei venti estremi

Maria Pia Repetto^a, Giovanni Solari^a, Marco Tizzi^a

^aDICAT, Università di Genova, Genova

SOMMARIO

L'incompletezza di una base dati composta da misure della velocità del vento costituisce un problema cruciale per la sua corretta analisi statistica, specialmente per quanto concerne l'analisi d'estremo. L'incompletezza dei dati può essere dovuta a molteplici fattori, quali per esempio la disattivazione dello strumento di misura per effetto di eventi naturali o di operazioni di manutenzione, messa in sicurezza, sostituzione, ecc (Solari, 1996a).

In particolare, le basi dati storiche relative alle stazioni anemometriche italiane presentano la peculiarità di un'acquisizione discontinua delle misure. È noto, infatti, che sino al 1998 le stazioni meteorologiche dell'Aeronautica Militare hanno registrato la sola velocità media del vento sui 10 minuti precedenti le 8 ore sinottiche (00, 03, ..., 21). In tal modo, le basi dati sono costituite soltanto da 8 misure giornaliere, quando disponibili. Poiché è evidente che in tutti gli intervalli di 10 minuti mancanti possono verificarsi valori della velocità maggiori di quelli misurati nei 10 minuti disponibili, risulta necessario correggere la regressione dei massimi annuali che conduce a una sistematica sottostima dei valori estremi.

Il presente studio si pone l'obiettivo di individuare un opportuno criterio correttivo per riportare l'analisi d'estremo a una situazione equivalente alla registrazione continua dei dati. A tale scopo sono stati esaminati i dati provenienti da 12 stazioni meteorologiche, di cui 8 collocate in Liguria (Capo Vado, Casoni, Fontana Fresca, Giacopiane, Imperia, Monte Maure, Monte Rocchetta, Poggio Fearza) e 4 in aeroporti della Lombardia (Linate, Malpensa, Orio al Serio) e del Piemonte (Novara Cameri). Le basi dati liguri, fornite dall'ARPAL, presentano misure al continuo per periodi tra 3 e 8 anni, mentre per le basi dati in ambito padano le misure giornaliere sono 48 o 24, su un periodo di misura di 12 anni. Inoltre, sono state considerate 5 basi dati continue relative a serie storiche di 33 anni, simulate con il metodo Monte Carlo (Torrielli *et al.*, 2010) e riferite a un'area compresa tra il Lazio e la Campania.

Da ogni base dati sono state estratte tutte le possibili sottobasi ottenute riducendo progressivamente la frequenza di campionamento e traslando l'orario di misura di 10 minuti in 10 minuti. Per esempio da una base dati di 144 misure giornaliere (come quelle liguri o quelle simulate) sono state estratte 2 sottobasi a 72 misure giornaliere, 3 a 48, 4 a 36, 6 a 24, 8 a 18, 9 a 16, 12 a 12, 16 a 9 e 18 a 8.

Su tutte le basi dati ricavate è stata eseguita l'analisi statistica dei valori correnti ed estremi, usando la distribuzione asintotica del I tipo e l'analisi di processo (Solari, 1996b). In tutti i casi sono stati valutati i valori $V_M(R)$ della velocità media del vento associati a diversi periodi di ritorno R e a diversi numeri M dei dati giornalieri registrati.

Da ciascuna base dati si ricava il coefficiente $C_{M,N}$ definito dalla relazione:

$$C_{M,N}(R) = \frac{\langle V_M(R) \rangle_M}{\langle V_N(R) \rangle_N} \quad M > N \quad (1)$$

dove la media è calcolata rispetto alle traslazioni temporali delle basi dati con M e N misure giornaliere. Il valore di tali rapporti varia sostanzialmente da stazione a stazione e manifesta una lieve tendenza a diminuire al crescere di R . Tuttavia, l'andamento in funzione del numero di misure giornaliere risulta pressoché indipendente dalla stazione considerata; in particolare, come atteso, il coefficiente $C_{M,N}$ assume valori tanto maggiori quanto è maggiore il rapporto M/N . Per questo motivo è stato introdotto un nuovo coefficiente $K_{M,N}^P$ definito dalla relazione:

$$K_{M,N}^P(R) = \frac{C_{M,N}(R) - 1}{C_{P,N}(R) - 1} \quad P > N \quad (2)$$

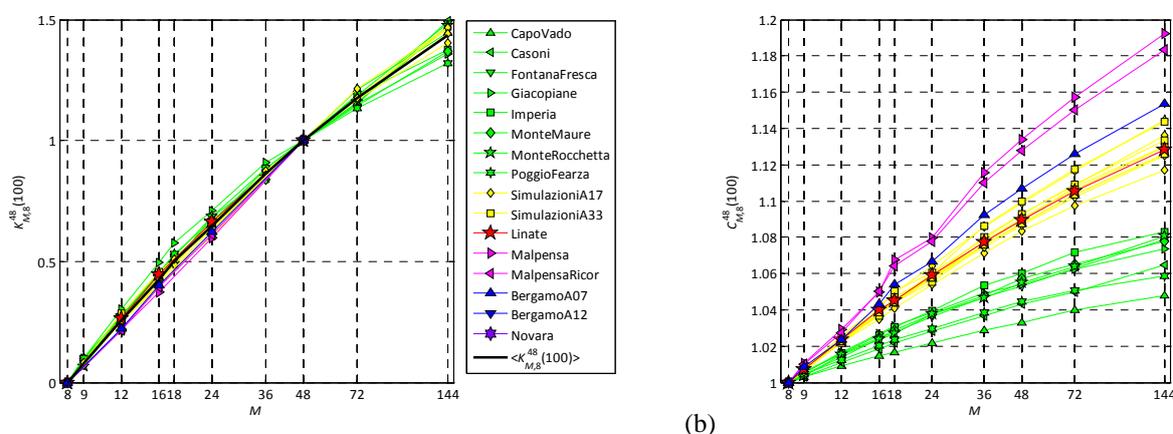
Esso assume valori circa indipendenti dalla stazione a cui sono riferiti, risultando quindi un parametro ottimo per determinare il valore dei coefficienti correttivi riferiti a un numero di misure superiore a quello disponibile nella base dati originaria. Perciò, mediando in modo opportuno i valori riferiti alle diverse stazioni, si ricava un coefficiente $\bar{K}_{M,N}^P(R)$, indipendente dalle stazioni e dall'area ove queste sono ubicate; esso può essere impiegato per estrapolare il coefficiente $C_{M,N}$ a qualunque valore di M mediante la relazione:

$$C_{M,N}^P(R) = 1 + \bar{K}_{M,N}^P(R) \cdot (C_{P,N} - 1) \quad (3)$$

L'Eq. (3) permette di risalire alla velocità del vento associata a M misure giornaliere e a un tempo di ritorno R mediante la formula:

$$V_M(R) = C_{M,N}^P(R) \cdot V_N(R) \quad (4)$$

In particolare, in questo studio, sono stati utilizzati valori di P pari a 24 e 48 misure giornaliere, quindi le frequenze di campionamento per le quali erano disponibili i dati di tutte le stazioni. Inoltre, l'interesse si è rivolto al fattore correttivo necessario per passare da misure sinottiche ($N = 8$) a misure al continuo ($M = 144$). A titolo di esempio, la Figura 1 riporta rispettivamente gli andamenti di $K_{M,8}^{48}(100)$ (a sinistra) e di $C_{M,8}^{48}(100)$ (a destra). Una stima dell'entità delle correzioni da operare evidenzia un aumento delle velocità estreme di circa il 6% per le stazioni liguri, e del 12% per i dati simulati (dove non sono state necessarie estrapolazioni). Nei casi dove si è fatto ricorso alle estrapolazioni si passa dall'11% di Novara al 19% di Malpensa.



(a) (b)
 Figura 1: Andamento dei coefficienti $K_{M,8}^{48}(100)$ (a) e $C_{M,8}^{48}(100)$ (b) in funzione del numero M di misure giornaliere. Si noti come il primo coefficiente risulti quasi indipendente dalla stazione considerata (a). La sua media sulle stazioni permette di estrapolare i valori dei coefficienti correttivi fino a 144 misure giornaliere (b).

Solari G. (1996a). Wind speed statistics, in *Modelling of atmospheric flow fields*, Lalas D.P., Ratto C.F. (Edd.), World Scientific, Singapore
 Solari G. (1996b). Statistical analysis of extreme wind speeds, in *Modelling of atmospheric flow fields*, Lalas D.P., Ratto C.F. (Edd.), World Scientific, Singapore
 Torrielli A., Repetto M. P., Solari G. (2010). Monte Carlo simulation of long term velocity records, *Proc. 5th CWE*, Chapel Hill, North Carolina, accettato per la pubblicazione

The new DTU/Force Technology climatic wind tunnel: design, construction and calibration

Francesco Ricciardelli ^a, Christos Georgakis ^b

^a University of Reggio Calabria, Reggio Calabria, ITALY

^b Technical University of Denmark, Lyngby, DENMARK

ABSTRACT

Wind-induced vibrations of cables can be due to buffeting, vortex shedding, galloping, wake galloping or to the interaction of wind with rain, ice or sleet. Therefore, cables can vibrate under all meteorological conditions, particularly due to their large exposure and their low inherent damping. However, the largest amplitudes of vibration are usually associated with the presence of rain, ice or sleet. A review of the known vibration mechanisms and the available mitigation measures was given by Kumarasena et al. (2007).

Experimental research on the wind-induced vibrations of cables has been hampered by the lack of suitable facilities that can simulate true meteorological conditions. Furthermore, wind tunnel testing of cables needs to be undertaken at appropriate Reynolds numbers and preferably at full scale, as certain forms of wind-induced vibration are highly dependant on this number and on the correct formation of rain or ice. Smaller low-speed wind tunnels are often unable to achieve the necessary Reynolds numbers without significant levels of blockage, and the physics of ice accumulation including thermodynamic effects and rivulet establishment for rain conditions are significantly biased at reduced scale. As several of the most dominant wind-induced vibrations occur within the *subcritical* and *critical* Reynolds number regions, it is desirable that a wind tunnel test facility should be able to test up to at least the *supercritical* range.

With the purpose of testing cables under different climatic conditions, a closed-circuit wind tunnel with the basic specifications of Table 1 has been designed and built jointly by FORCE Technology and DTU. Construction has been completed in fall 2009, and the facility is currently referred to as the FORCE/DTU Climatic Wind Tunnel (CWT).

Due to constraints of the available space, the conventional design of a slow cross-section expansion behind test section towards the fan (allowing for optimal pressure recovery) needed to be abandoned (Figure 1), resulting in an increased power requirement. The CWT cross sections are rectangular except for the transitions before and behind the fan. The closed circulation is established through four 90° turns. Each turn is equipped with profiled guide vanes arranged with progressive spacing as described by Idelchik (1996). To modulate the airflow characteristics with as low a pressure loss as possible the settling chamber cross section is set at 4.0m × 4.0m. The chamber houses the cooling unit, which contributes significantly to the overall pressure loss.

For the simulation of rain and ice, the facility will be able to reproduce rain flow with a range of liquid water content (LWC) at varying temperatures down to -5°C. Temperatures below this level would not allow for the adequate transfer of precipitation to a cable surface. The maximum required rain flow will have a LWC of 0.4g/m³, as water contents above this level would not result in any

further water or ice accumulation on the surface of a cable (Lozowski Jr E.P.S. & Hearty P.F., 1983; Mazin I.P. et al., 2001).

The facility will allow matching prescribed turbulence spectra through the superposition of three generation mechanisms: the slow variation of the fan speed, active turbulence generators and passive grids.

Table 1 - Basic specifications for the CWT for the testing of structural cables

Maximum wind velocity	25 m/sec ²
Test section cross sectional area	2.0×2.0m ²
Turbulence intensity	1% - 20%
Temperature range	-5°C to + 40°C
Rain flow	0.4g/m ³
Test section length	5m

The 2 m x 2 m x 5 m test chamber (Figures 2 and 3) will allow testing cables for a variety of combinations of yaw and inclination angles, down to 22.5° of inclination. An examination of the existing cable stayed bridges has, in fact, revealed that bridge cables with angles of inclination of less than that would start to become structurally inefficient (Gimsing N.G, 1997). The CWT is presently under calibration and construction of the dynamic testing rig is under way.

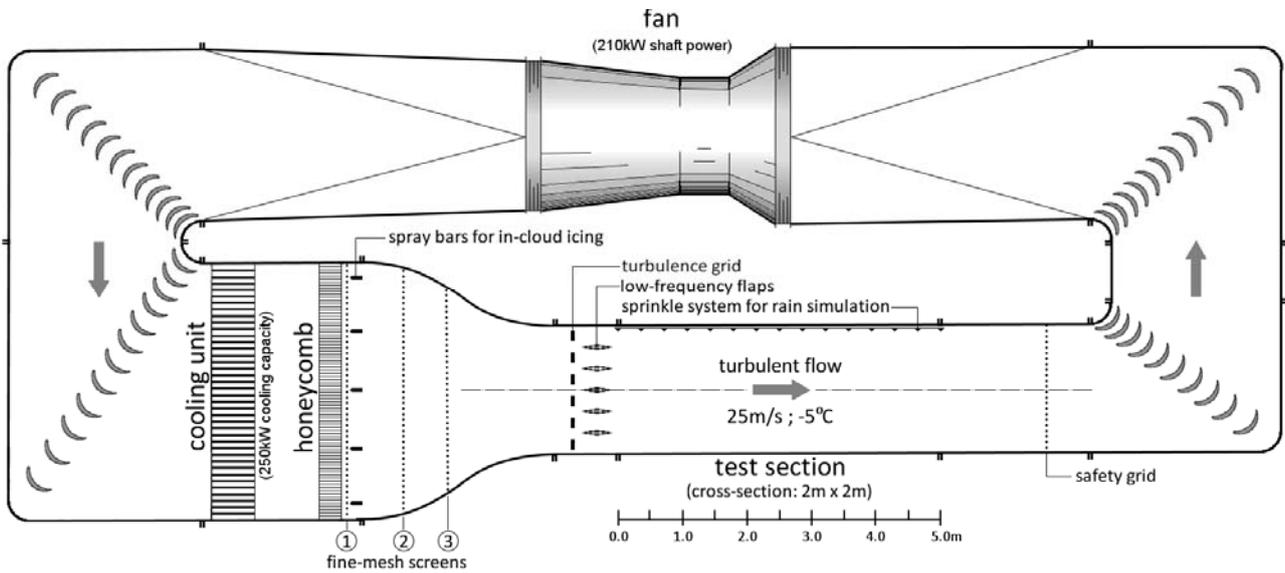


Figure 1 - Side view and cross section of the test chamber

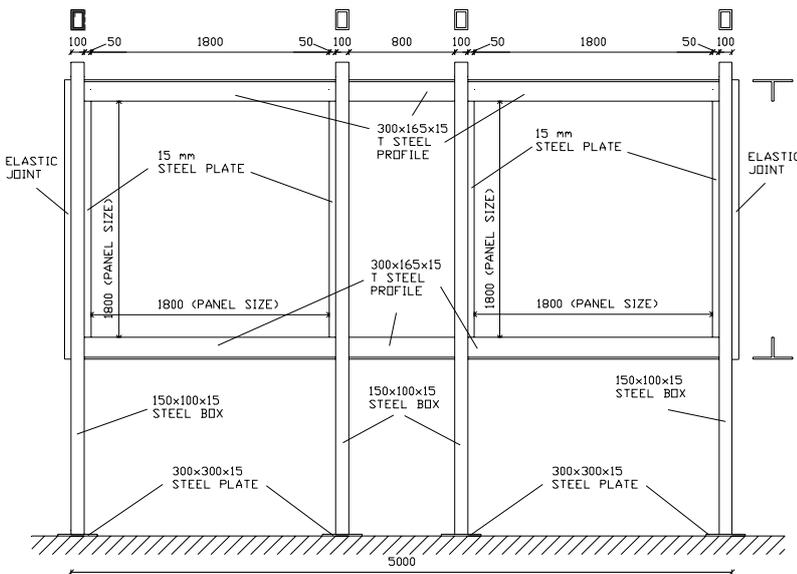


Figure 2 - Side view of the test chamber

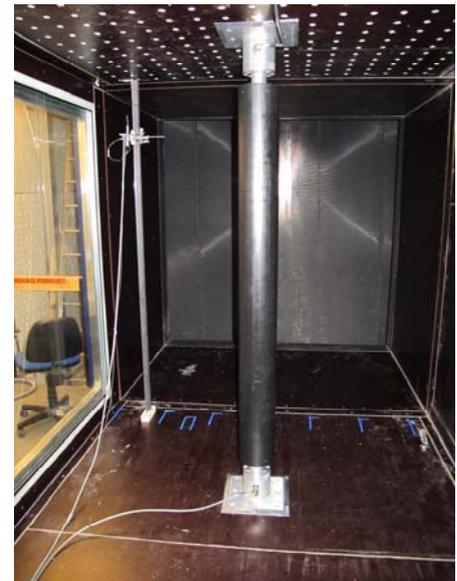


Figure 3 - Cable model in the test section

REFERENCES

- Gimsing N.G (1977). *Cable Supported Bridges*. Second Edition, Wiley.
- Idelchik I.E. (1996). *Handbook of Hydraulic Resistance*. Begell House Inc.
- Kumarasena S., Jones N.P., Irwin P., Taylor P. (2007). *Wind-Induced Vibrations of Stay Cables*. FHWA-HRT-05-083, Federal Highway Administration, US Department of Transportation.
- Lozowski Jr E.P.S., Hearty P.F. (1983). The icing of an unheated, nonrotating cylinder. II. Icing wind tunnel experiments. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 22(12), 2063-2074.
- Mazin I.P., Korolev A.V., A. Heymsfield, Isaac G.A., and Cober S.G. (2001). Thermodynamics of icing cylinder for measurements of liquid water content in supercooled clouds. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 18(4), 543-558.

Caratterizzazione dei coefficienti di pressione su coperture a paraboloidi iperbolici

F. Rizzo^a, P. D'Asdia^a, F. Ricciardelli^b, G. Bartoli^c

^aDipartimento di Ingegneria, Università "G. D'Annunzio", Chieti-Pescara

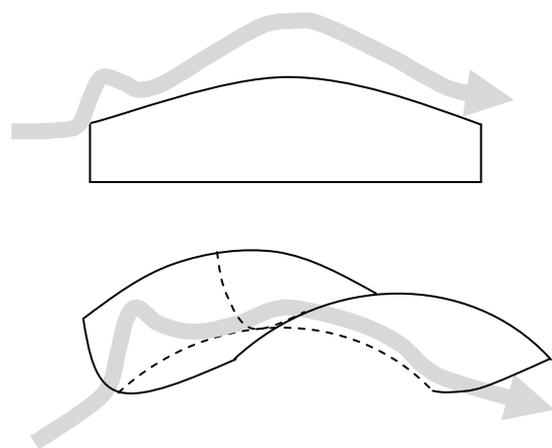
^bDipartimento DIMET, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Reggio Calabria

^cDipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Firenze, Firenze

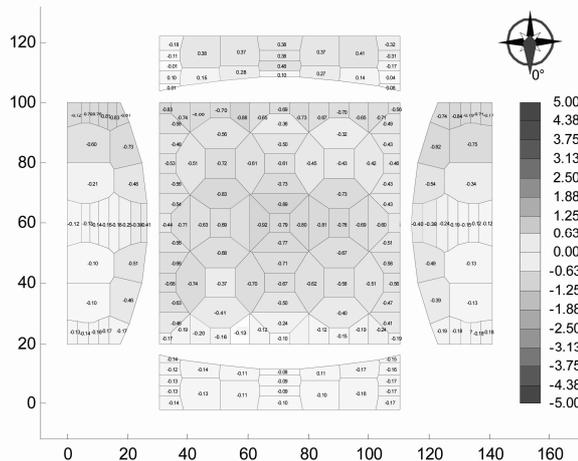
SOMMARIO

La possibilità di coprire grandi luci utilizzando tecnologie come le tensostrutture in reti di funi, che offrono alte prestazioni unite ad una elevata leggerezza strutturale, si deve confrontare con la difficoltà di reperire (in letteratura come in normativa) indicazioni circa la distribuzione delle pressioni del vento. In particolare una delle forme più usate per queste strutture è il paraboloidi iperbolico, forma che consente, data una doppia orditura di funi a curvatura contrapposta, di ottenere in copertura esclusivamente elementi tesi, Figura 1 (a). Obiettivo della ricerca di cui si riportano alcuni risultati è intraprendere un percorso che porti alla determinazione di formule parametriche sia per la progettazione preliminare che per il calcolo dell'azione del vento. Per raggiungere tale obiettivo è stata implementata una procedura numerica di predimensionamento con la quale, fissata una geometria ed il valore dei carichi esterni è possibile determinare lo stato tensionale nelle funi e quindi l'area delle stesse necessaria al rispetto delle condizioni limite adottate. Con questa procedura è stato valutato un campione di geometrie dal quale sono state individuate le configurazioni ottimali, cioè tali da rendere ideale il rapporto tra prestazione, in termini di spostamenti nodali, e peso strutturale. Si è notato, ad esempio, che alcuni rapporti geometrici, adottati per definire le funi, forniscono, a parità di aree delle funi e a parità di forze trasmesse agli appoggi, spostamenti nodali inferiori e dunque una migliore prestazione globale della rete. Dall'insieme delle geometrie ottimali si è estratto un campione sufficientemente significativo, che è stato sottoposto a prove manometriche nella galleria del vento del CRIACIV a Prato, nell'intento di ricercare una parametrizzazione dei coefficienti di pressione, [Simiu E., Scanlan R. (1996)] in funzione dei parametri geometrici della copertura. Pur utilizzando il paraboloidi iperbolico per tutti i test, le strutture considerate hanno differenti altezze, differenti curvatures del paraboloidi iperbolico e, infine, differenti forme in pianta, rispettivamente quadrata, rettangolare e circolare. Sono stati acquisiti per ogni singolo test dati per 16 diversi angoli di incidenza, ad una frequenza di 250 Hz per un intervallo di tempo pari a circa 30 secondi. Ogni modello è dotato di un numero di prese di pressione compreso tra un minimo di 155 ad un massimo di 230 [Rizzo et al. (2009)], Figura 1 (b). La sintesi dei risultati sperimentali ha consentito di elaborare alcuni grafici parametrici che permettono, fissata la geometria, di valutare il range dei coefficienti di pressione sulla copertura lungo una direzione prestabilita. In questa prima fase della ricerca sono state prese in considerazione 5 direzioni rispettivamente parallele e ortogonali al flusso incidente, Figura 1 (c). La sintesi dei risultati prevede una suddivisione della copertura in 5 zone, per ognuna delle quali si individua una spezzata che descrive la variazione dei coefficienti di pressione, Figura 1 (d); la raffigurazione grafica proposta è finalizzata all'utilizzo progettuale, o all'eventuale implementazione normativa.

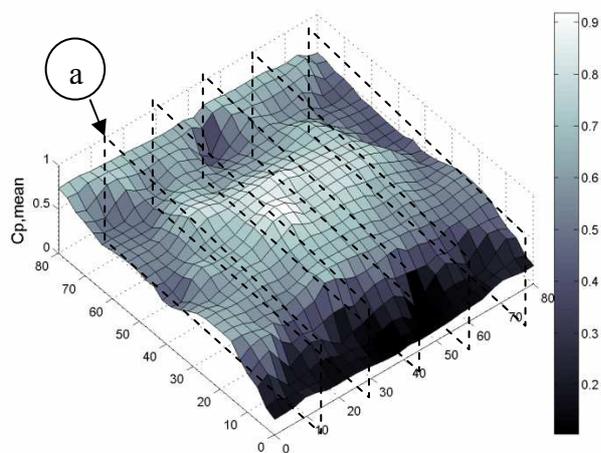
La parametrizzazione proposta fa riferimento a due angoli di incidenza, rispettivamente 0° e 90° , su modelli a pianta quadrata e rettangolare per valori minimi, massimi e medi dei coefficienti di pressione. Premesso che, per strutture particolarmente sensibili all'azione del vento e di grandi dimensioni, non si può prescindere da adeguati test aerodinamici in galleria del vento o da simulazioni di fluidodinamica computazionale, questa approssimazione permette di valutare il predimensionamento delle reti di funi e stimare una prima risposta all'azione del vento che attualmente risulterebbe impossibile per l'assenza di dati.



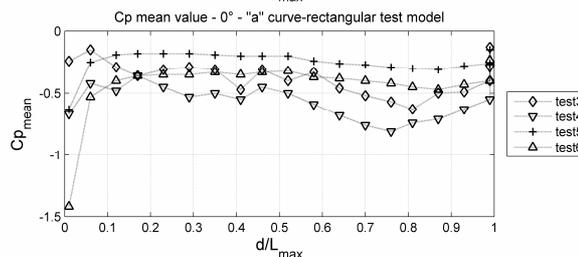
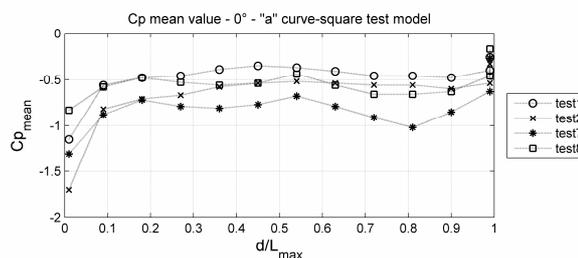
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 1: Schema direzione del vento (a), mappa dei coefficienti di pressione (b), andamento 3d tipo dei Cp medi con l'indicazione delle sezioni esaminate (c), esempio di grafico di sintesi dell'andamento dei Cp medi (d)

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano per il coordinamento e la collaborazione alla ricerca l'Ing. Massimiliano Lazzari della Facoltà di Ingegneria di Padova, per la collaborazione ai test di galleria del vento l'Ing. Lorenzo Procino, per la collaborazione all'interpretazione dei dati sperimentali l'Ing. Giuseppe Olivato.

BIBLIOGRAFIA

- Simiu E., Scanlan R. (1996). *Wind effects on Structures*. **John Wiley & Sons**, New York
- Rizzo F., D'Asdia P., Lazzari M., Procino L. (2009) *Wind action evaluation on tension roofs of hyperbolic paraboloid shape* **Engineering Structures** (submitted).
- Rizzo, P. D'Asdia, L. Procino (2009) "Wind action evaluation on tension roofs of hyperbolic paraboloid shape" in Atti del "BBAA VI International Colloquium on:Bluff Bodies Aerodynamics & Applications", Milan, Italy, July, 20-24 2008. ISBN: 88-9019-16-3-5
- Biagini P., Borri C., Majowiecki M., Orlando ., Procino L. (2006). BLWT Tests and Design Loads on the Roof of the New Olympic Stadium in Piraeus. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, n. 94 pp. 293-307.

Cross wind effects on a vehicle crossing the wake of a bridge pylon

Daniele Rocchi^a, Alberto Zasso^a, Tommaso Argentini^a, Lorenzo Rosa^a, Ender Ozkan^b

^aDipartimento di Meccanica – Politecnico di Milano, Milano, Italy

^bARUP, London, UK

SOMMARIO

When a vehicle crosses the wake of a bridge pylon, under cross wind condition, it experiences an abruptly change of the cross wind forces due to the sheltering effect of the pylon.

The phenomenon may have direct effect on the vehicle dynamics and on the driver behavior that has to be carefully considered to avoid lateral drift or lack of control.

To make the modification of the cross wind loads more gradual, for the vehicle approaching the pylon wake, specific wind shields are usually adopted close to the bridge pylons. These barriers have a total height that increases moving towards the pylon and start decreasing after the pylon.

The design of these aerodynamic fences requires specific studies since their effectiveness depends on several parameters like the bridge-tower design (pylons crossing the deck or deck crossing the pylon), the presence of wind shields on the leading and trailing edges of the deck and the vehicle characteristics, just to mention the most important.

The present paper analyzes the results of a wind tunnel research on the design of an appropriate wind shielding close to the tower, performed in the framework of the aerodynamic studies for the Forth Replacement Crossing, a project carried out by Transport Scotland to build a new bridge on the River Forth, close to Edinburgh.

The selected bridge scheme is a cable stayed bridge with 3 single column pylons crossing the single bridge deck in the middle. The shape and the dimensions of the cross section of the tower at deck level is reported in Figure 1.

A truck vehicle is considered as the most sensitive vehicle to the cross wind effect and to the tower wake effect because of its height that makes it more exposed to the wind on the deck and its length that is larger than the tower dimension. A sketch of the lateral view of the vehicle is reported in Figure 1, together with its main dimensions.

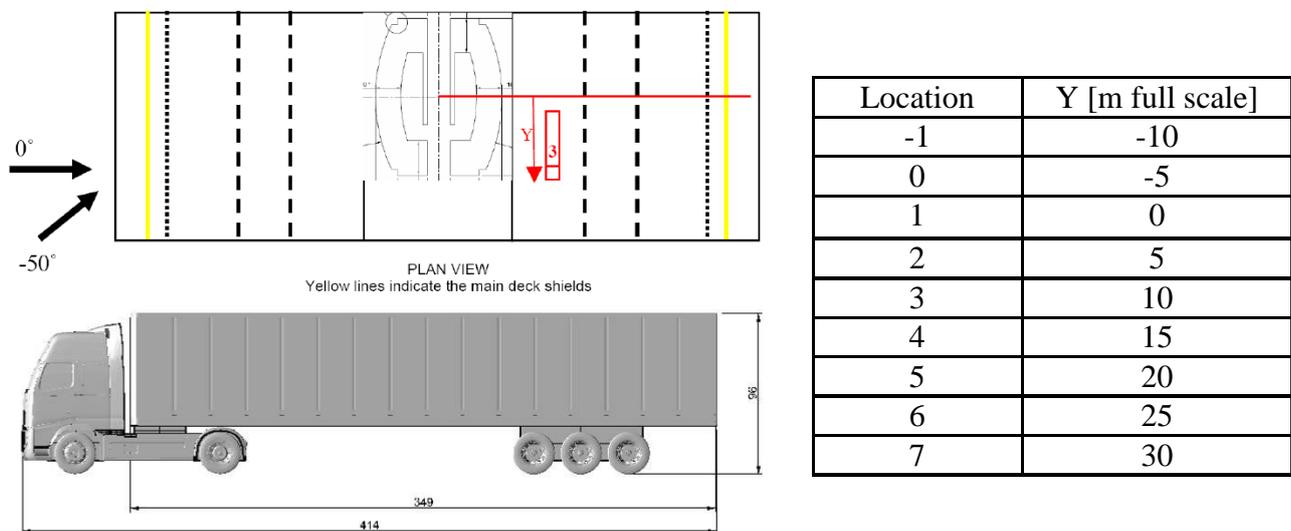


Figure 1 (sx) Cross section of the tower at deck level and truck main dimension. (dx) Truck positions tested.

During the wind tunnel activity the aerodynamic forces on the vehicle positioned on the downwind lane closest the tower were measured through a 6 component force balance. Seven different relative positions between the tower and the vehicle are considered ranging from the vehicle approaching the tower wake to the vehicle leaving the tower wake in order to investigate how the shielding effect varies during the vehicle crossing.

Two different wind scenarios are also considered: the wind perpendicular to the bridge axis and a skewed wind blowing on the deck from -50deg. The optimization of the wind shielding near the tower considered the effectiveness of the wind shields in limiting the lateral force, the overturning moment and the yawing moment for both the wind exposures.

Forwarding the details to the full length paper, we would like to highlight some interesting and unexpected results that required some additional tests, that will be presented in the paper, to be fully understood taking advantage from flow visualization and surface pressure measurement on the vehicle.

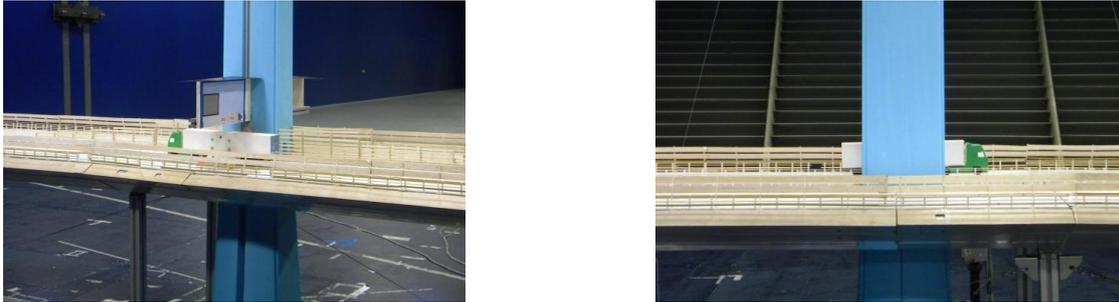


Figure 2 Truck position 3 (y=10m). (sx) With barrier and signal board, config.6. (dx) No shielding.

Analyzing the trend of the lateral force coefficient changing the relative vehicle-tower position (reported in the local coordinate vehicle reference frame in Figure 3) and considering the results without wind shielding close to the tower, it is possible to observe an increase of the lateral force when the vehicle is behind the tower, i.e. when the larger tower shielding effect is expected. This is due to the fact that the vehicle length is higher than the pylon dimension and that the extremities of the vehicles are blown over by the flow that is accelerated by the interaction with the tower.

Another interesting aspect is the change in the sign of the lateral force when a wind shield is added close to the tower. The wind barrier in fact causes a strong suction in the region between the vehicle and the tower with an axial flow moving upwards along the tower asking for the flow downwind the vehicle to pass behind the vehicle.

Another aspect that it is worth mentioning is the consideration that the stronger values of the lateral force are recorded for the yawed configuration. In this case the flow pattern is completely different from the previous one, since the flow approaches the vehicle from the front and develop a strong flow along the lateral surfaces of the vehicle. As a consequence, some possible solutions that proved to be effective at 0deg, appears to be ineffective at -50deg. The optimization of the wind shielding solution needs therefore to satisfy different flow aspects making the design of the wind shielding system close to the tower more complex and demanding.

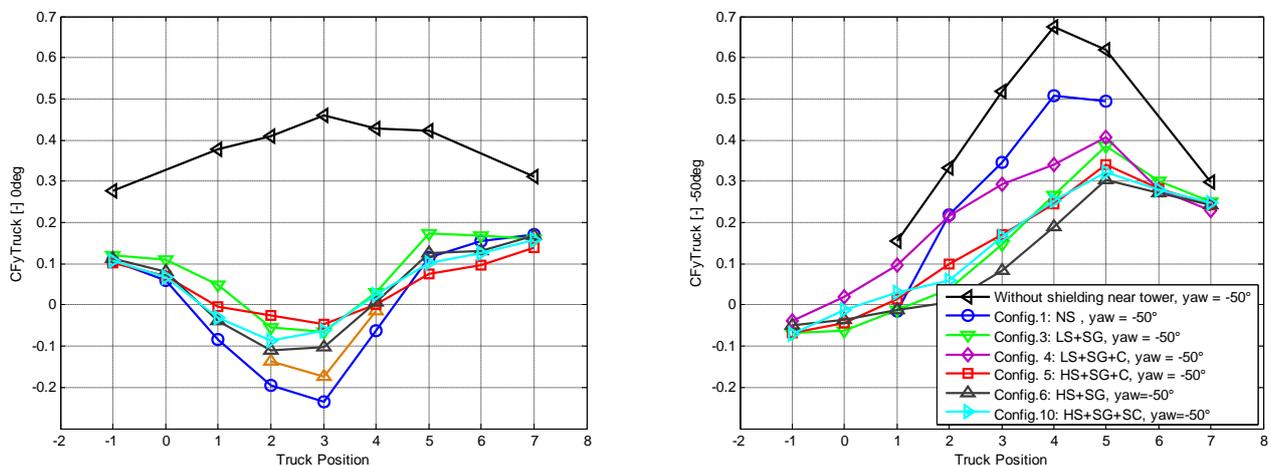


Figure 3 Lateral force coefficient function of the truck position. (sx) 0deg. (dx) -50deg.

La risposta eccitata da raffica di strutture snelle orizzontali: soluzione tridimensionale in forma chiusa

Stefano Sandon^a, Giovanni Solari^a, Giuseppe Piccardo^a

^aDICAT, Università degli Studi di Genova, Genova

SOMMARIO

Il problema della risposta nella direzione del vento di strutture snelle è una delle principali tematiche di ricerca nell'ambito dell'ingegneria del vento, sia per la relativa semplicità del meccanismo eccitante, la turbolenza longitudinale, sia grazie alla tecnica del fattore di raffica, introdotta da Davenport nel 1961. A partire dagli anni sessanta una serie di studi affinarono e migliorarono la trattazione in modo da renderla sempre più precisa e accurata. In particolare, spiccano i numerosi contributi degli anni ottanta e novanta che portarono alla determinazione di un coefficiente di raffica nella direzione del vento, che trova tuttora utilizzo in numerose Normative ed Istruzioni (ad esempio, C.N.R. DT 207/2008, 2009).

D'altra parte le vibrazioni trasversali alla direzione del vento e le vibrazioni torsionali sono, al giorno d'oggi, difficilmente trascurabili, anche se dipendono principalmente da un complesso processo tridimensionale di eccitazione, la scia vorticoso. Questa intrinseca difficoltà ha ostacolato lo svilupparsi di procedimenti unitari in grado di descrivere questi effetti con lo stesso livello di semplicità del fattore di raffica per la risposta nella direzione del vento. Adottando opportuni modelli di turbolenza (Solari & Piccardo, 2001), basandosi sull'approccio del fattore di raffica generalizzato (Piccardo & Solari, 1998), Piccardo e Solari (2000) hanno proposto una soluzione in forma chiusa per stimare la risposta tri-dimensionale di una struttura snella. Questa soluzione usa la tecnica dello spettro equivalente generalizzato (Piccardo & Solari, 1998) riuscendo ad estendere soluzioni precedentemente ottenute nell'ambito delle vibrazioni nella direzione del vento. Le ipotesi fondamentali di calcolo si basano sostanzialmente sul comportamento elastico lineare della struttura, dotata di smorzamento viscoso, sull'esistenza di tre componenti di moto supposte disaccoppiate, e sulla dipendenza della risposta dal solo modo fondamentale di vibrazione; inoltre si suppone che le forme modali non ammettano cambiamenti di segno, e quindi i modi di vibrazione non presentino nodi. Pertanto, benché assai raffinata, tale analisi non può essere applicata a sistemi che presentino modi dominanti antisimmetrici, e quindi ad alcune importanti tipologie strutturali tra cui in particolare gli impalcati da ponte.

Il punto cruciale dell'analisi è la valutazione approssimata della seguente grandezza $\mathcal{S}_{\alpha\epsilon\eta}(n)$:

$$\mathcal{S}_{\alpha\epsilon\eta}(n) = \frac{\int_0^\ell \int_0^\ell U^2(z)U^2(z')J_\epsilon(z)J_\eta(z')\psi_{\alpha 1}(z)\psi_{\alpha 1}(z')S_{\alpha\epsilon\eta}^*(z, z'; n)dzdz'}{\int_0^\ell U^2(z)J_\epsilon(z)\psi_{\alpha 1}(z)dz \cdot \int_0^\ell U^2(z')J_\eta(z')\psi_{\alpha 1}(z')dz'} = S_{\alpha\epsilon\eta \text{ eq}}^*(n)$$

in cui U è la velocità media del vento, J_ϵ è un parametro associato al valore delle intensità di turbolenza ($\epsilon, \eta = u, v, w, s$, relativi alle tre componenti di turbolenza e all'eccitazione di scia s , rispettivamente), $\psi_{\alpha 1}$ è la forma modale del modo α ($\alpha = x, y, z$), $S_{\alpha\epsilon\eta}^*$ rappresenta la funzione di densità spettrale incrociata di potenza delle forze indotte dal vento; l'integrale doppio viene valutato in forma chiusa conducendo alla definizione di uno spettro equivalente generalizzato ridotto $S_{\alpha\epsilon\eta \text{ eq}}^*$, tramite il quale il processo di carico diventa identicamente coerente nello spazio.

Mantenendo le ipotesi precedentemente citate, il presente lavoro si propone di estendere la soluzione in forma chiusa della risposta strutturale al caso di strutture orizzontali dotate di modi

fondamentali di vibrazione con inversioni di segno (nodi). In particolare, i passi dell'analisi si possono sintetizzare nei seguenti due punti:

- si studia l'espressione della funzione $\mathcal{S}_{\alpha\epsilon\eta}(n)$ in modo che sia applicabile a semplici forme modali antisimmetriche. Da questa prima analisi si evidenzia che le soluzioni in forma chiusa hanno un andamento qualitativamente simile, indipendente dalle forme modali analizzate;
- sulla base dei dati ottenuti si sviluppa una espressione in forma chiusa della funzione $\mathcal{S}_{\alpha\epsilon\eta}(n)$, e quindi una generalizzazione dello spettro equivalente ridotto. La formulazione matematica ottenuta risulta semplice e formalmente simile a quella proposta da Piccardo e Solari (1998, 2000).

La Figura 1 mette a confronto il differente andamento della risposta quasi statica, ottenuta per integrazione della funzione $\mathcal{S}_{\alpha\epsilon\eta}(n)$, per un modo simmetrico (Fig. 1a) e per una forma modale antisimmetrica (Fig. 1b), evidenziando l'ottima approssimazione ottenuta anche con la nuova soluzione. I primi risultati mostrano come la componente quasi statica della risposta assuma, nel caso di modi antisimmetrici, valori inferiori a quelli calcolati per forme modali simmetriche, con una conseguente diminuzione del valore del coefficiente di raffica e, quindi, del coefficiente dinamico utilizzato per il calcolo della forza statica equivalente applicata alla struttura.

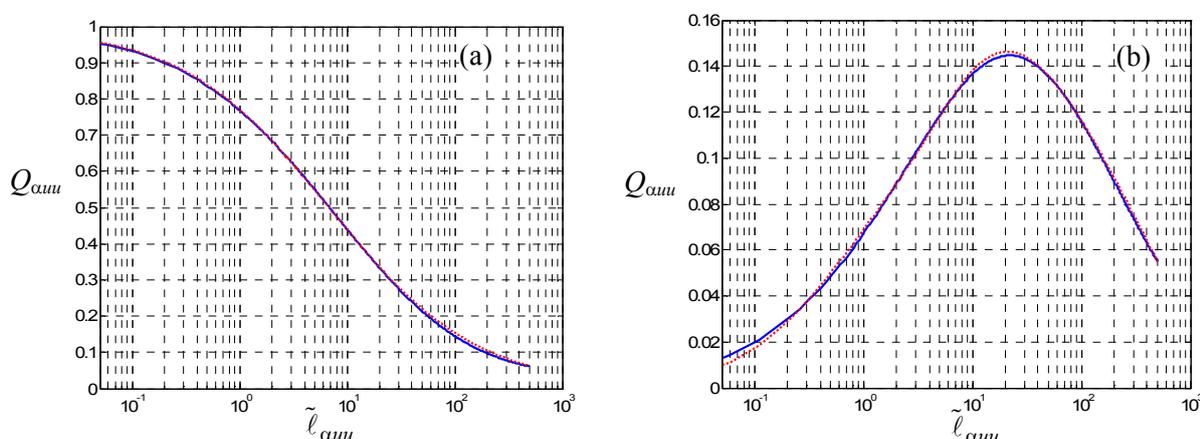


Figura 1 – Risposta quasi statica Q_{auu} in funzione della luce ridotta \tilde{l}_{auu} di un sistema caratterizzato da (a) una forma modale simmetrica e (b) una forma modale antisimmetrica (linea continua: soluzione esatta; linea puntinata: soluzione in forma chiusa; le scale delle ordinate sono differenti)

La componente risonante della risposta è direttamente proporzionale alla funzione $\mathcal{S}_{\alpha\epsilon\eta}(n)$: i primi risultati mostrano apprezzabili riduzioni per le forme modali antisimmetriche che ulteriormente conducono ad una globale riduzione del fattore di raffica.

E' tuttora in corso una analisi per valutare il contributo al fattore di raffica delle componenti incrociate delle risposte quasi statica e risonante per evidenziare se il loro apporto sia tecnicamente importante.

BIBLIOGRAFIA

- C.N.R. DT 207/2008 (2009). *Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma
- Piccardo G., Solari G. (1998). Closed form prediction of 3-D wind-excited response of slender structures, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 74-76, pp. 697-708
- Piccardo G., Solari G. (1998). Generalized equivalent spectrum technique, *Wind and Structures*, Vol. 1(2), pp. 161-174
- Piccardo G., Solari G. (2000). 3-D wind-excited response of slender structures: closed-form solution, *Journal of Structural Engineering ASCE*, Vol. 126(8), pp. 936-943
- Solari G., Piccardo G. (2001). Probabilistic 3-D turbulence modeling for gust buffeting of structures, *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 16, pp. 73-86

La previsione del vento per la gestione e la sicurezza delle aree portuali

Giovanni Solari^a, Maria Pia Repetto^a, Massimiliano Burlando^b

^a DICAT, Università di Genova, Genova

^b DIFI, Università di Genova, Genova

SOMMARIO

Le aree portuali sono zone particolarmente esposte ai venti intensi. In tali aree lavorano persone che devono poter operare in condizioni di sicurezza anche nei giorni di vento, oppure devono essere fermate dal lavoro per non correre rischi. Al tempo stesso non è possibile, per ragioni economiche, che l'area cessi di operare, in modo indiscriminato, nei giorni ventosi. Garantire strategie efficaci che consentano quindi di definire con chiarezza le situazioni di rischio reale, e di valutarne le conseguenze per pianificare il lavoro, è sempre di più un aspetto essenziale per la sicurezza dei lavoratori e per le prospettive economiche dei porti. Il presente lavoro presenta le attività di ricerca recentemente avviate nell'ambito di un progetto finanziato dal Programma comunitario di cooperazione transfrontaliera Italia/Francia "Marittimo" 2007 – 2013 (www.maritimeit-fr.net), che riunisce, oltre al DICAT in qualità di attuatore scientifico unico, le Autorità Portuali di Genova, La Spezia, Livorno, Savona (Italia) e Bastia (Francia).

Il progetto affronta il problema della previsione del vento nelle aree portuali interessate proponendo un sistema integrato di simulazione numerica, monitoraggio in sito, analisi statistica e implementazione di algoritmi di previsione a medio termine (1 – 3 giorni) e breve termine (0.5 – 1 ora), resi immediatamente fruibili agli operatori delle aree portuali e, come tali, integrabili in un sistema complessivo di gestione e sicurezza delle aree. In particolare, il progetto prevede lo sviluppo delle seguenti attività:

1. *Realizzazione di una rete di monitoraggio presso le aree portuali*

Ogni area portuale è dotata di una rete di anemometri opportunamente distribuita sull'area di interesse, e di un sistema che ne canalizza le acquisizioni presso un centro operativo. Nel corso del progetto le misure anemometriche sono raccolte, organizzate in basi dati e analizzate sistematicamente verificandone in primo luogo la correttezza e la rappresentatività. Le basi dati sono poi sottoposte ad analisi statistiche al fine di fornire una caratterizzazione anemologica dei siti.

2. *Analisi statistica delle serie storiche di stazioni anemometriche esistenti*

Sono individuate le stazioni anemometriche limitrofe ad ogni area portuale studiata, enucleando quelle che dispongono di lunghe serie storiche, ad esempio le stazioni dell'Aeronautica Militare. Di tali stazioni sono acquisite le misure della velocità media e della direzione del vento, oltreché le misure della pressione atmosferica. Tali misure sono dapprima analizzate e corrette per rimuovere possibili errori; successivamente sono sottoposte ad analisi statistiche dei valori correnti e dei valori estremi. Entrambe le analisi sono effettuate in forma tanto direzionale quanto non direzionale.

3. *Modellazione numerica dei campi di vento*

La simulazione del vento in ogni area portuale è svolta realizzando modelli numerici della topografia e della rugosità del territorio limitrofo all'area. Ciascun modello comprende l'area portuale, le principali stazioni anemometriche dotate di lunghe serie storiche, e le zone prossime al porto le cui proprietà contribuiscono a definirne la climatologia. Ogni modello è implementato, in funzione delle peculiarità dell'area trattata, attraverso una macro-area e più micro-aree tali da consentire una simulazione dettagliata del vento nelle zone più significative. Le simulazioni del vento sono realizzate mediante il modello numerico a conservazione di massa WINDS (Burlando *et al.*, 2007). Le analisi sono svolte in ipotesi di atmosfera neutrale, tipica delle condizioni di vento intenso, per diversi scenari di velocità e direzione del vento alla sommità dello strato limite atmosferico. Per ogni scenario esaminato è valutata la velocità media del vento e la sua direzione in corrispondenza di una griglia altimetrica e planimetrica di punti rappresentativi dell'area. I risultati

ottenuti sono posti a confronto con i monitoraggi descritti al punto 1. Tale confronto permette di verificare o calibrare i modelli numerici usati.

4. *Analisi statistica delle serie storiche nell'area portuale*

Le analisi descritte al punto 2 forniscono la statistica del vento presso le stazioni dotate di lunghe serie storiche. Le analisi descritte al punto 3 forniscono un modello numerico dei campi di vento nelle aree di interesse. Utilizzando i risultati delle simulazioni numeriche dei campi di vento, si ricavano tutti i parametri, organizzati nelle cosiddette matrici dei coefficienti di trasmissione, che consentono di trasferire le suddette informazioni locali alla griglia dei punti rappresentativi di tutta l'area portuale. Utilizzando le opportune matrici di trasformazione, è possibile eseguire l'analisi statistica delle serie storiche trasformate alla griglia dei punti rappresentativi di tutta l'area portuale, ottenendo una rappresentazione statistica completa del vento nelle aree portuali.

5. *Previsione a medio termine presso le aree portuali*

Si pone in opera una catena modellistica che esegue la previsione a medio termine delle variabili meteorologiche di interesse per le attività portuali. Essa usa come dati iniziali quelli forniti da un modello di circolazione a scala planetaria, basato sul modello numerico di previsione a mesoscala Weather Research and Forecasting (WRF), focalizzando progressivamente l'attenzione sulle aree portuali studiate mediante nidificazione dei modelli numerici ottenuti al punto 3. La catena modellistica proposta ha carattere operativo ed è in grado di fornire previsioni fino a 72 ore, più volte al giorno.

6. *Previsione a breve termine presso le aree portuali*

I dati misurati dagli anemometri installati nelle zone portuali sono sottoposti ad analisi volte a consentire la formulazione di algoritmi di previsione sull'orizzonte temporale di un'ora. Le analisi sono svolte applicando il modello condizionale sviluppato nel corso di precedenti ricerche (Freda et al., 2009). Il modello fornisce la distribuzione di probabilità della previsione presso ogni anemometro. Tale risultato è tanto più accurato quanti più dati sono disponibili. Dopo un anno di misure è implementato un modello previsionale preliminare. Nel corso del progetto le previsioni sono confrontate sistematicamente con le misure successive all'istante di previsione. Applicando alle previsioni a breve termine svolte presso gli anemometri posti nell'area portuale (punto 4) le matrici dei coefficienti di trasmissione basate sulla modellazione numerica delle aree portuali, descritte al punto 3, si determinano le distribuzioni di probabilità della previsione in ciascun punto della griglia di calcolo. Tali distribuzioni sono trasformate in mappe che evidenziano, in funzione della planimetria e dell'altimetria dell'area portuale, i valori attesi del vento nell'ora successiva all'ultima registrazione anemometrica svolta.

7. *Restituzione delle previsioni presso le aree portuali*

Gli algoritmi che conducono alle mappe delle previsioni a medio e breve termine su ciascuna area portuale sono implementati su un calcolatore indicato dall'autorità portuale competente. Il calcolatore riceve in tempo reale le misure di tutti gli anemometri installati nell'area portuale, ne verifica la correttezza, applica gli algoritmi di previsione locale e da questi deriva le mappe previsionali su tutta la griglia di calcolo. In parallelo, la catena modellistica produce le previsioni a medio termine sull'area. L'algoritmo è studiato in modo tale da risultare robusto nei riguardi di possibili non funzionamenti di uno o più strumenti. In questi casi si individuano le aree dove la previsione è meno o poco attendibile. L'algoritmo è interattivo in modo tale che l'operatore possa visualizzare in tempo reale le previsioni riferite a diversi orizzonti temporali, a diversi livelli altimetrici e a diversi livelli di probabilità di occorrenza.

Il presente lavoro descrive in dettaglio le azioni previste e illustra lo stato di avanzamento raggiunto, evidenziando, da un lato, il grado di innovazione insito nel progetto, dall'altro le problematiche e le criticità legate all'estensione delle aree interessate e alla complessità e interdipendenza delle azioni previste.

Burlando, M., L. Carassale, E. Georgieva, C. F. Ratto, G. Solari (2007). A simple and efficient procedure for the numerical simulation of wind fields in complex terrain, *Boundary Layer Meteorology*, v 125, n 3, p 417-439.

A. Freda, L. Carassale, G. Solari (2009). A conditional model for the short-term probabilistic assessment of severe wind phenomena, CD Proc of EACWE5, Florence, Italy, 19th – 23rd July 2009.

Influence of the wind load correlation on the estimation of the generalized forces for 3D coupled tall buildings

S. M. J. Spence, E. Bernardini, M. Giofrè

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Perugia, Italy

KEYWORDS: Wind loading, Tall buildings, Modal analysis, Forcing functions.

ABSTRACT

In the design of tall buildings the accurate estimate of the aerodynamic loads is of fundamental importance if reliable estimates of the critical responses are to be obtained. In general two methods based experimental wind tunnel tests exist for characterizing the aerodynamics of tall buildings. More specifically the external wind pressure field may be directly estimated through the multiple point synchronous scanning of pressures on the building model surface or by the measurement of the base bending and torsional moments through a high frequency base balance. The second approach, based on the experimental measurement of the base bending and torsional moments of rigid scale models in specific wind tunnel tests, has become the customary method for aerodynamic characterization of tall buildings. The significance of the base moments in estimating the wind loading on tall buildings, is in the close relation between these last and the first three generalized forcing functions of a modal analysis of the structural system. Indeed, in the particular case of a system exhibiting uncoupled linear mode shapes, it can be shown that the two coincide [1]. This has produced a significant amount of research into the possibility of defining correction factors to be applied to the base bending moments of buildings with structural systems characterized by coupled non-linear mode shapes [1]. The difficulty in defining appropriate values for these factors lies in their dependency on the characteristics of wind loading over the buildings height. Something which is unknown when the base moments are measured. This has resulted in a number of models used in practical applications based on empirical considerations that that will lead to different results in terms of the generalized forces when applied to the same system.

The aim of the present study is to understand the variability introduced in to the estimate of the generalized through the adoption of typical correction schemes [2]. In particular a number of possible coupled non-linear mode shapes are investigated with the aim of understanding the role of the non-linearity and effects of coupling level on estimated generalized forces. For this study both synchronous pressure and high frequency base balance measurements are carried out on two modal buildings, one of simple geometric form and the other of complex geometric form, at the boundary layer wind of the CRIACIV in Prato Italy. The pressure measurements are used in order to obtain direct estimates of the generalized forces successively compared to those obtained through the base balance and correction schemes. The entity of the error introduced by various schemes is investigated in the frequency domain through the spectral densities and standard deviation of the resulting generalized forces. The negative effect of complex geometric forms and coupled non-linear mode shapes is clearly seen.

REFERENCES

- [1] Chen X., kareem A., Dynamic Wind Effects on Buildings with 3D Coupled Modes: Application of High Frequency Force Balance Measurements, *ASCE Journal of Engineering Mechanics*. Vol. 131, No. 11, pp.1115–1125, 2005.
- [2] Holmes J., Rofail A., Aurelius L., High frequency base balance methodologies for tall buildings with torsional and coupled resonant modes, *11th International Conference on Wind Engineering*, Texas, June 1-5, 2003.

Efficient algorithms for the reliability optimization of tall buildings

S. M. J. Spence, M. Giofrè and V. Gusella

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Perugia, Italy

KEYWORDS: Reliability optimization, Tall buildings, Performance based design.

ABSTRACT

The member size optimization of tall buildings is a well established field of application for large scale optimization algorithms. This is easily explained through the obvious economic advantages that can be had through this type of application due to the high initial costs of such constructions. Research in to this area has been vigorously explored since the early nineties. While size and scope of problems examined has grown over the years, the basic approach to solve these problems has remained unaltered. In particular they are based on the resolution of a static response optimization problem and therefore the definition of an adequate number of idealized Equivalent Static Wind Loads (ESWLs) [1]. However the process of transforming an inherently dynamic phenomenon, such as the response of wind sensitive tall buildings, into a static response problem is not an easy task especially considering modern tall buildings which tend to be characterized by a 3D coupled response [2]. Considering the computational power now available the investigation of more thorough approaches based on reliability models that rigorously account for problems such as that concerning the accurate combination of directional aerodynamic and climatological information is overdue. From an optimization viewpoint this implies the definition of appropriate Reliability Based Design Optimization (RBDO) algorithms that must be capable of handling the shire size of modern tall buildings.

In this paper an efficient RBDO algorithm is proposed for the member size optimization of tall buildings subject to multiple loading conditions and time variant experimentally determined wind loads. The reliability of the system is guaranteed through a component wise strategy based on the definition of performance constraints on all important response parameters. The solution of the optimization problem is obtained by transforming the reliability optimization problem in to a more conventional problem with inequality constraints defined by the limit state functions evaluated however in correspondence of the acceptable failure probabilities of the original performance constraints. This is achieved through the adoption of the reliability model proposed in [3] yielding rigorous estimations of the maximum mean wind speeds causing limit state function response levels for specified failure probabilities. By assuming these speeds constant for small changes in the design variable vector an optimization procedure is presented based on defining a sequence of explicit sub-problems in terms of the second order response statistics of the constrained limit state functions. At convergence of each sup-problem the reliability model is updated therefore ensuring consistent reliability level at the final optimum design. The applicability of the proposed algorithm is then demonstrated on a full scale planar frame set in a 3D wind environment.

REFERENCES

- [1] C. Chan, M. Huang, K. Kwok. Integrated wind load analysis and stiffness optimization of tall buildings with 3d modes. *Engineering Structures* 32(5), 1252-1261, 2010.
- [2] X. Chen, A. Kareem. Coupled dynamic analysis and equivalent static wind loads on buildings with three-dimensional modes. *J. Struct. Eng. ASCE*, Vol. 131(7), 1071-1082, 2005.
- [3] M. Giofrè, S. M. J. Spence. Assuring consistent safety levels in the wind induced response of tall buildings. *11° Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento, IN-VENTO-2010*, Spoleto, 2010.

Analisi d'estremo di base dati eoliche di grande dimensione

Alessio Torrielli^a, Maria Pia Repetto^a, Giovanni Solari^a

^aDICAT – Università di Genova, Genova

SOMMARIO

La trattazione probabilistica di valori estremi, costituisce un tema sul quale non si è ancora raggiunta convergenza di opinioni, materia molto discussa sin dalla pubblicazione del pionieristico lavoro di Fisher e Tippet (1928) sull'analisi asintotica. Tali studi vennero ripresi e sviluppati successivamente ad esempio da Cramer (1946), Jenkinson (1955), ma solo grazie al contributo di Gumbel (1958) l'analisi asintotica trova chiara formulazione ed ampia diffusione. La mancanza di chiare indicazioni sull'utilizzo delle possibili forme che può assumere la distribuzione asintotica, ha dato origine ad un acceso dibattito che dura ancora oggi, su quale sia il modello probabilistico che al meglio descrive la distribuzione dei valori estremi. Questi sono usualmente identificati con i massimi annuali, pratica comune non solo per l'ingegneria del vento (velocità massime annuali), ma anche in altri settori, si pensi ad esempio all'idraulica (portate massime annuali). In questo modo la dimensione delle base dati, viene limitata dalla lunghezza delle registrazioni, che generalmente non superano i 40÷50 anni; questo rappresenta un grosso limite per l'analisi asintotica tradizionale, poiché la ridotta dimensione dei campioni lascia molte perplessità nella descrizione della coda superiore della distribuzione, fondamentale per stime associate a tempi di ritorno più lunghi della storia analizzata. Per risolvere tale problema, o almeno migliorare l'attendibilità delle analisi, sono state sviluppate tecniche alternative a quella asintotica, come l'Analisi di Processo (1977) che stima la distribuzione d'estremo analizzando i valori della popolazione ed enumerando gli attraversamenti di prefissate soglie di velocità. Fra le metodologie sviluppate per incrementare il numero dei valori estremi analizzati, si possono ricordare il metodo degli r valori d'estremo di Weissman (1978) e il metodo delle Tempeste Indipendenti di Cook (1982). In tempi più recenti, ha conosciuto ampio utilizzo la distribuzione generalizzata di Pareto, che analizza solo i valori estremi superiori ad una fissata soglia (metodologia POT, Peaks Over Threshold). Infine si possono ricordare i recenti studi sviluppati da Cook e Harris (2004) relativi alla distribuzione FT1 penultima: riprendendo la metodologia di Cramer, essi presentano una forma alternativa della distribuzione asintotica FT1, che tiene in conto la dimensione finita del tasso annuo di eventi indipendenti.

Questi brevi cenni tracciano un quadro solo approssimativo del complesso panorama relativo all'analisi d'estremo, motivando l'attuale dibattito volto a chiarire quale sia la tecnica più efficace. Tale quesito non trova risposta a causa della già citata ridotta dimensione delle basi reali. Questo limite può essere superato attraverso la simulazione numerica, che rappresenta uno degli argomenti principali di questa memoria. L'obiettivo è quello di creare una base dati di grandi dimensioni, che collezioni velocità massime annuali estratte da funzioni campione del processo velocità media del vento. Tali storie di lunga durata, vengono generate imponendo l'effettiva distribuzione di probabilità della popolazione e l'effettiva correlazione del processo, garantendo l'attendibilità dei valori massimi annuali da esse estratti. Si noti che la disponibilità di un numero pressoché illimitato di storie di vento costituisce un utile strumento d'indagine non solo per il fenomeno fisico in sé, ma anche per gli effetti che questo produce sulle strutture, sia in termini di valori estremi (analisi di sicurezza) che in termini di valori correnti (analisi a fatica).

Le serie storiche della velocità media del vento $V(t)$ registrate in situ, usualmente collezionano misure separate da intervalli temporali piuttosto ampi (~3 ore), per la difficoltà a gestire grandi quantità di dati in tempi passati. Ne consegue una caratterizzazione solo parziale dello spettro di $V(t)$. Per ovviare a tale mancanza, la presente memoria propone una tecnica di ricostruzione spettrale, che combina le stime spettrali associate a registrazioni di vento di distinti anemometri, con differenti caratteristiche, in termini di lunghezza e frequenza di campionamento. In questo modo viene garantita la completa ricostruzione della componente macrometeorologica della velocità del

vento, sull'intero intervallo di frequenze ad essa associato. Si noti che lo spettro ottenuto non è più associabile ad un particolare sito geografico, bensì ad una regione nella quale sono localizzate le stazioni anemometriche. Ne consegue che tale spettro viene attribuito ad un vento definito *verosimile*, proprio per sottolineare come questo, pur non essendo relativo ad un sito particolare, sia fisicamente *possibile*, poiché derivato da misure reali. Se da un lato questa procedura complica l'analisi, richiedendo preliminari operazioni di omogeneizzazione delle registrazioni, dall'altro garantisce maggiore robustezza allo spettro ottenuto e di riflesso alla successiva analisi d'estremo. La caratterizzazione probabilistica di $V(t)$ viene fatta applicando la tecnica della superstazione, che colleziona misure di vento di distinti anemometri; l'analisi della relativa base dati permette la stima dei parametri della distribuzione dei valori correnti, descritta dal modello Weibull Ibrido (WI), scelto per tenere in conto la presenza di calme di vento.

L'algoritmo di simulazione applicato per la generazione delle storie di vento, è descritto in un recente lavoro (Torrielli *et al.*, 2010). Le funzioni campione del processo $V(t)$ vengono ottenute applicando la tecnica dei processi di traslazione (Nataf, 1962; Grigoriu, 1984): si parte dalla simulazione di un processo Gaussiano con spettro imposto e successivamente il suo contenuto probabilistico viene corretto in quello obiettivo WI, applicando una trasformazione statica del processo originale. Purtroppo quest'ultima trasformazione induce sulla funzione campione delle distorsioni spettrali, che rendono necessaria una procedura iterativa, capace di correggere alternativamente lo spettro e la distribuzione probabilistica. Il risultato della procedura è la generazione di storie di velocità del vento, che hanno spettro esattamente coincidente con quello imposto, e distribuzione campionaria che approssima quella obiettivo in termine dei primi 4 momenti.

Il metodo è applicato per la generazione di storie di velocità di un vento verosimile, caratterizzato da 6 registrazioni di stazioni anemometriche dislocate in una regione di ~100 Km di raggio, compresa fra il Lazio e la Campania. Vengono generate molteplici storie di vento della lunghezza di 33 anni ciascuna, dalle quali sono estratte le velocità massime annuali, creando una base dati con più di 12000 valori. Essa viene investigata applicando le usuale tecniche di analisi d'estremo, mettendo in evidenza (Figura 1) quali si dimostrano capaci di cogliere al meglio l'andamento dei dati simulati. Particolare rilievo viene dato agli aspetti teorici posti a fondamento delle diverse metodologie, prendendo in considerazioni pregi e difetti evidenziati nella più recente letteratura, e interpretati alla luce dei risultati ottenuti. L'analisi di una simile base dati permette non solo l'individuazione delle tecniche più efficaci, ma anche di valutarne l'applicabilità, analizzando campioni di diversa lunghezza e di dimensione confrontabili con quelli usualmente disponibili.

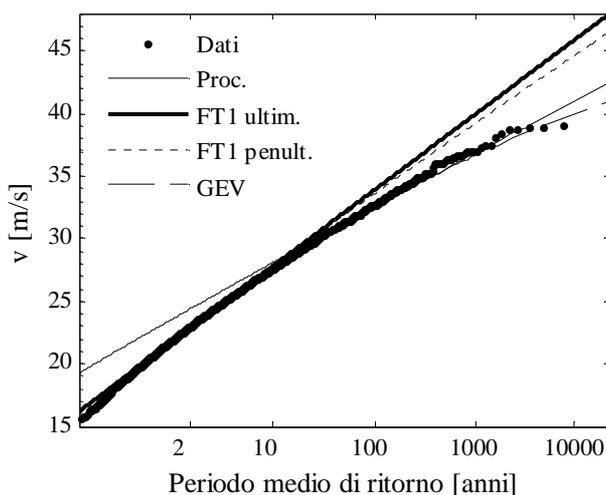


Figura 1: Applicazione di differenti modelli d'analisi d'estremo, ai massimi annuali simulati.

Grigoriu M., (1984). Crossing of Non-Gaussian translation processes. *J. Eng. Mech.*, Vol. 110(4), pp. 610-20.

Nataf A., (1962). Détermination des distributions de probabilités dont les marges sont données. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Vol. 225, pp. 42-43.

Torrielli A., Repetto M.P., Solari G. (2010). Simulation and analysis of log-period samples of mean wind velocity, *Proceedings of the fifth International Symposium on Computational Wind Engineering*, submitted, Chapel Hill, North Caroline (USA).

Estimating aeroelastic effects from full bridge responses via OMA

Filippo Ubertini ^a, Ah Lum Hong ^b, Raimondo Betti ^b, A. Luigi Materazzi ^a

^aUniversity of Perugia, Perugia

^bColumbia University, New York, USA

ABSTRACT

The paper explores the feasibility of a sophisticated system identification technique for estimating aeroelastic effects from full-bridge responses at different mean wind velocities. The principal aim is to separate structural properties from aeroelastic effects using field measurements and operational modal analysis (OMA), with a particular attention to the separation of structural from aerodynamic damping.

In the identification of modal parameters, a classical stochastic subspace identification algorithm (Van Overschee & De Moor, 1996), complemented with a noise mode elimination procedure and a mode clustering approach (Alicioglu & Lus, 2008), is applied to pseudo-experimental data obtained by means of full-bridge aeroelastic simulations using an updated finite element (FE) model of a long-span suspension bridge. The case study structure is represented by the New Carquinez Bridge (NCB), USA. To this end, artificial realizations of the wind velocity field are generated by using an efficient simulation scheme. Accordingly, the wind field is idealized as a multivariate stochastic Gaussian process with specified auto- and cross-spectra between turbulent velocities. Both buffeting and self-excited wind loads are included in the simulations. All the relevant information for building this full-bridge aeroelastic model has been taken from a previous work on the NCB (Scanlan & Jones, 2001). Particularly, wind loads are calculated by using the aerodynamic coefficients and the aeroelastic derivatives obtained from wind tunnel experimental tests conducted on a scaled-down model of the NCB. Self-excited loads are calculated by means of the well-known method using indicial functions identified from measured aeroelastic derivatives via an optimization algorithm (Ubertini, 2010). More detailed information about the FE model and the adopted techniques for wind response simulation can be found in the full-length paper.

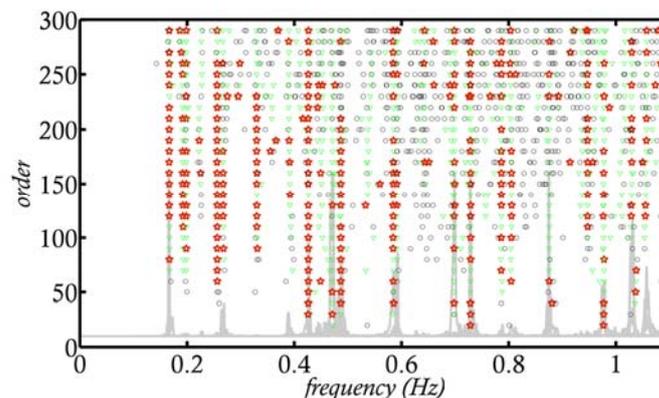


Figure 1. Stabilization diagram

System identification of the bridge is performed after appropriately tuning the main parameters that are involved in the SSI-data. This task is solved by means of so-called stabilization diagrams (Alicioglu & Lus, 2008) and by analyzing the variations of estimated modal damping ratios with model's order. As an example, Figure 1 shows a stabilization diagram where a pole that satisfies all criteria (i.e. it is consistent with a two order larger model in terms of frequency, damping ratio and mode shape) is denoted with a star, a pole that only satisfies frequency and mode shape similarity checks is denoted with a "v", while a mode that only satisfies the frequency check is denoted with a

“o”. For a better visualization of the different modes, the power spectral density (PSD) functions of the measurements are also plotted in the figure (grey lines). The presented results show that most of the modes fail to appear consistently for an order smaller than about 40.

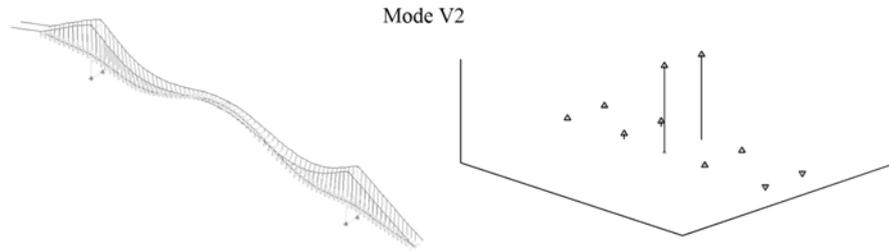


Figure 2. First symmetric in-plane mode (V2): FEM mode shape (left) and identified one (right).

Figure 2 shows the mode shape of the first symmetric in-plane mode V2 obtained from FE simulation and system identification. As preliminary results, Figure 3 shows the variation of the damping ratio of mode V2, ζ_{V2} , with the mean wind velocity U . A quadratic regression of the identified data is also shown in Figure 3. From these results the following observations can be made: (i) the aerodynamic damping evidenced in Figure 3 is consistent with that observed by using the field measurements of the NCB and the nonlinear trend of ζ_{V2} with mean wind velocity is in good agreement with well-established theoretical results (Matsumoto, 1996); (ii) a quadratic regression of the identified data allows a very accurate approximation of structural damping by extrapolation of the observational data for $U=0$ (Macdonald & Daniell, 2005); in fact, the estimated damping ratios in Figure 3 follow quite consistently the “exact” trend obtained from free vibrations responses. These results are extended to other relevant structural modes, to the presence of measurements noise, and to the lack of high wind speed data in the full-length paper.

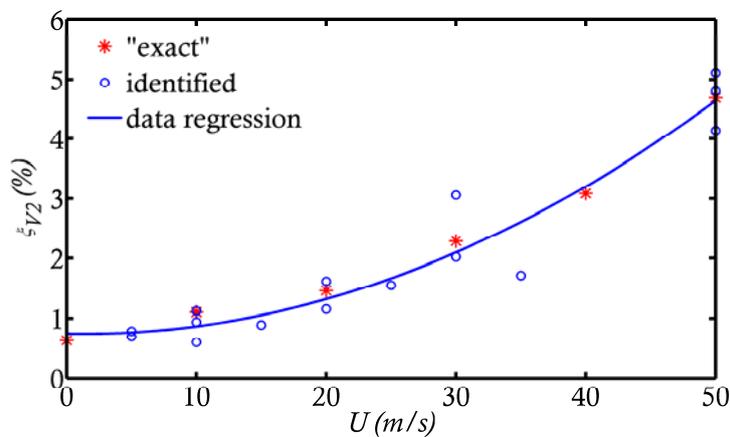


Figure 3. Damping variation of mode V2 with mean wind velocity.

Van Overschee P., De Moor B. (1996). *Subspace identification for linear systems: Theory-implementation-applications*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

Alicioglu B., Lus H. (2008). Ambient vibration analysis with subspace methods and automated mode selection: case studies. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 134(6), pp. 1016-1029.

Scanlan R.H., Jones N.P. (2001). Theory and full-bridge modeling of wind response of cable-supported bridges, *Journal of Bridge Engineering, ASCE*, Vol. 6(6), pp. 365-365.

Ubertini F. (2010). Prevention of suspension bridge flutter using multiple tuned mass dampers, *Wind and Structures*, Vol. 13(3), in press

Matsumoto M. (1996). Aerodynamic damping of prisms, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 59, 1996, pp. 159-175.

Macdonald J.H.G., Daniell W.E. (2005). Variation of modal parameters of a cable-stayed bridge identified from ambient vibration measurements and FE modelling. *Engineering Structures*, Vol. 27(13), pp. 1916-1930