

# PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



## PROGETTO DEFINITIVO

### EUROLINK S.C.p.A.

IMPREGILO S.p.A. (MANDATARIA)  
 SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A. (MANDANTE)  
 COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L. (MANDANTE)  
 SACYR S.A.U. (MANDANTE)  
 ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD (MANDANTE)  
 A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE (MANDANTE)

<p>IL PROGETTISTA                    Ing. E.M. Veje                  Dott. Ing. E. Pagani                  Ordine Ingegneri Milano                  n° 15408  </p>	<p>IL CONTRAENTE GENERALE                  Project Manager                  (Ing. P.P. Marcheselli)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA                  Direttore Generale e                  RUP Validazione                  (Ing. G. Fiammenghi)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA                  Amministratore Delegato                  (Dott. P. Ciucci)</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p><i>Unità Funzionale</i>      OPERA DI ATTRAVERSAMENTO  <i>Tipo di sistema</i>        STUDI DI BASE  <i>Raggruppamento di opere/attività</i>      STUDI AERODINAMICI  <i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i>      Generale  <i>Titolo del documento</i>      Calcoli aerodinamici, buffeting</p>	<p><b>PB0038_F0</b></p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------

CODICE	C	G	1	0	0	0	0	P	C	L	D	P	S	B	S	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	F0
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	SCC/ALN	SAMI	ALN/EYA



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## INDICE

INDICE .....	3
1 Relazione di sintesi .....	5
1.1 Scopo .....	5
1.2 Conclusione .....	5
2 Input aerodinamico .....	6
2.1 Coefficienti di carico del vento .....	6
2.1.1 Cassone .....	6
2.1.2 Torre .....	9
2.1.3 Funi dei pendini .....	11
2.1.4 Cavi principali .....	11
2.2 Riduzione aerodinamica dello smorzamento e della rigidità .....	12
2.2.1 Dominio delle frequenze (Dynwind) .....	12
2.2.2 Dominio temporale (storia temporale) .....	15
2.3 Ammettenza aerodinamica .....	16
3 Analisi del vento turbolento .....	18
3.1 Dominio delle frequenze (Dynwind) .....	18
3.2 Dominio temporale (simulazioni di buffeting) .....	19
4 Validazione delle analisi di buffeting rispetto alle prove sul modello-sezione .....	21
4.1 Calcolo della risposta dinamica del modello-sezione di FORCE .....	21
4.1.1 Risposte nel dominio delle frequenze e del tempo .....	21
4.1.2 Campo di turbolenza, FORCE .....	25
4.2 Calcolo della risposta dinamica del modello-sezione BLWTL .....	26
4.2.1 Risposte nel dominio delle frequenze e del tempo .....	26
4.2.2 Campo di turbolenza, BLWTL .....	30
4.3 Conclusioni dai calcoli di risposta sul modello-sezione .....	31
4.3.1 Ammettenza aerodinamica, AA .....	32
4.3.2 Smorzamento aerodinamico, AD .....	32
5 Analisi sul vento dinamico per l'intero ponte .....	33
5.1 Campo del vento turbolento .....	33
5.2 Ammettenze aerodinamiche nelle analisi nel dominio delle frequenze .....	35
5.3 Risposta al vento medio .....	36

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Calcoli aerodinamici, buffeting		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

5.4	Forme del modo per l'analisi nel dominio delle frequenze.....	39
5.5	Frecce e rotazioni in corrispondenza della campata principale centrale (S = 0) .....	44
5.5.1	Valori estremi al centro della campata principale (S = 0).....	56
5.6	Freccia in corrispondenza di ¼ della campata principale (S = -825).....	58
5.6.1	Valori estremi per ¼ della campata principale .....	69
5.7	Freccia sulla sommità della torre, Sicilia .....	71
5.7.1	Valori estremi dei movimenti trasversali sulla sommità della torre Sicilia.....	74
5.8	Discussione dei risultati .....	75
6	Attività future.....	77
7	Riferimenti.....	77

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Calcoli aerodinamici, buffeting		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 1 Relazione di sintesi

### 1.1 Scopo

Lo scopo della presente relazione è quello di analizzare la risposta strutturale del Ponte sullo Stretto di Messina al vento dinamico utilizzando due metodi diversi:

- 1) Analisi nel dominio delle frequenze secondo l'approccio quasi-stazionario (Dynwind)
- 2) Analisi nel dominio temporale applicando serie di venti sintetici simulati forniti da Sdm.

### 1.2 Conclusione

Il risultato delle analisi mostra che l'approccio del dominio delle frequenze e del dominio temporale per analizzare la risposta al vento dinamico del Ponte di Messina, genera risultati simili.

Le risposte ottenute mediante analisi delle storie temporali mostra che i modi di vibrazione dominanti sono il 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> modo trasversale dell'impalcato, ad esempio, un periodo di vibrazione di circa 30 e 20 secondi.

La risposta di ULS è leggermente superiore rispetto a quella riscontrata con l'analisi del vento dinamico a brevi intervalli; ciò può essere spiegato in ragione dei contenuti delle serie temporali.

Le analisi dinamiche del vento, condotte durante la fase di progettazione non prendono in considerazione l'ammettenza, che dai risultati sembra essere un approccio conservatore.

Durante la fase di Progetto Esecutivo, quando i risultati del test dell'intero modello del ponte saranno disponibili, si suggerisce di svolgere ulteriori studi comparativi fra i calcoli di buffeting e prove in galleria del vento.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 2 Input aerodinamico

### 2.1 Coefficienti di carico del vento

#### 2.1.1 Cassone

I coefficienti di carico del vento adottati per il cassone del ponte in assenza di traffico e di vento di traverso (perpendicolare al cassone) sono ottenuti dalle prove nella galleria del vento eseguite presso FORCE in presenza di vento turbolento trattandosi di valori di più larga approssimazione [1], [6], come mostrato nella Figura 2.1. I valori relativi al traffico ed agli angoli di incidenza obliqua del vento (imbardata) sono ottenuti dalle prove eseguite presso BLWTL, [4].

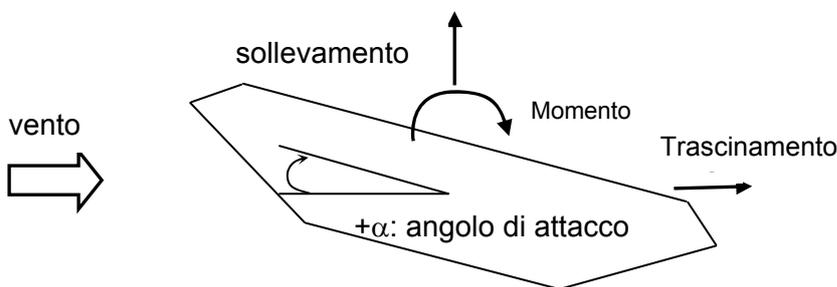
I coefficienti di trascinamento, sollevamento e momento vengono definiti come segue:

Trascinamento, sollevamento: 
$$C_{D,L} = \frac{D,L}{\frac{1}{2}\rho U^2 B}$$

Momento: 
$$C_M = \frac{M}{\frac{1}{2}\rho U^2 B^2}$$

dove  $B = 60,4$  m è la larghezza totale del cassone e  $U$  è la velocità media del vento.

Il vento perpendicolare al cassone (vento di traverso) è  $0^\circ$ .



trascinamento

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

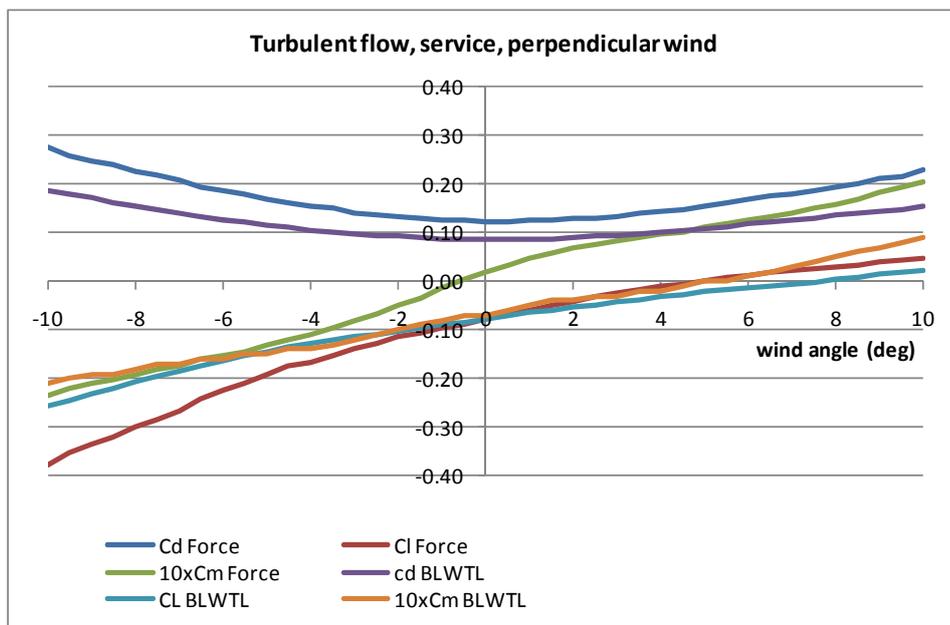


Figura 2.1 Coefficienti di carico del vento statico dai due test paralleli (sub-tests D3 e D4), assenza di traffico. Flusso turbolento, vento perpendicolare.

Tabella 2.1 Coefficienti di carico del vento per il cassone, Ponte sullo Stretto, in-servizio (senza traffico).  $B = 60.4m$ . Vento orizzontale.

Angolo di imbardata	$C_D$	$dC_D/d\alpha$	$C_L$	$dC_L/d\alpha$	$C_M$	$dC_M/d\alpha$
-10	0.275		-0.377		-0.024	
-9.5	0.258		-0.352		-0.022	
-9	0.247		-0.334		-0.021	
-8.5	0.240		-0.321		-0.02	
-8	0.227		-0.299		-0.019	
-7.5	0.219		-0.284		-0.018	
-7	0.209		-0.266		-0.017	
-6.5	0.195		-0.242		-0.016	
-6	0.187		-0.225		-0.015	
-5.5	0.179		-0.210		-0.014	
-5	0.170		-0.192		-0.013	
-4.5	0.160		-0.175		-0.012	
-4	0.156		-0.165		-0.011	
-3.5	0.149		-0.152		-0.010	
-3	0.141		-0.138		-0.008	
-2.5	0.137		-0.126		-0.007	
-2	0.132		-0.114		-0.005	
-1.5	0.129		-0.106		-0.003	
-1	0.127		-0.096		-0.001	

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>			
		Calcoli aerodinamici, buffeting		Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev F0

-0.5	0.126		-0.088		0.000	
<b>0</b>	<b>0.122</b>	<b>-0.04</b>	<b>-0.077</b>	<b>1.06</b>	<b>0.002</b>	<b>0.18</b>
0.5	0.122		-0.068		0.003	
1	0.125		-0.059		0.005	
1.5	0.124		-0.050		0.006	
2	0.129		-0.042		0.007	
2.5	0.131		-0.033		0.008	
3	0.134		-0.026		0.008	
3.5	0.139		-0.018		0.009	
4	0.144		-0.011		0.010	
4.5	0.148		-0.005		0.010	
5	0.156		0.002		0.011	
5.5	0.163		0.007		0.012	
6	0.169		0.013		0.013	
6.5	0.176		0.017		0.013	
7	0.180		0.021		0.014	
7.5	0.188		0.026		0.015	
8	0.194		0.029		0.016	
8.5	0.201		0.034		0.017	
9	0.211		0.039		0.018	
9.5	0.217		0.043		0.019	
10	0.228		0.047		0.020	

Tabella 2.2 Coefficienti di carico del vento per il cassone, Ponte sullo Stretto, costruzione.  $B = 60.4m$ . Vento orizzontale.

Angolo di imbardata	$C_D$	$dC_D/d\alpha$	$C_L$	$dC_L/d\alpha$	$C_M$	$dC_M/d\alpha$
-10	0.143		-0.570		-0.040	
-9.5	0.133		-0.541		-0.038	
-9	0.126		-0.525		-0.037	
-8.5	0.119		-0.504		-0.036	
-8	0.113		-0.486		-0.035	
-7.5	0.106		-0.465		-0.033	
-7	0.099		-0.440		-0.032	
-6.5	0.093		-0.422		-0.031	
-6	0.087		-0.400		-0.029	
-5.5	0.082		-0.382		-0.028	
-5	0.076		-0.359		-0.026	
-4.5	0.071		-0.335		-0.023	
-4	0.067		-0.311		-0.021	
-3.5	0.063		-0.289		-0.019	
-3	0.058		-0.263		-0.017	
-2.5	0.055		-0.237		-0.014	
-2	0.052		-0.21		-0.011	
-1.5	0.051		-0.186		-0.009	
-1	0.049		-0.16		-0.006	
-0.5	0.049		-0.138		-0.004	

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Calcoli aerodinamici, buffeting		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

<b>0</b>	<b>0.049</b>	<b>0.06</b>	<b>-0.114</b>	<b>2.62</b>	<b>-0.001</b>	<b>0.32</b>
0.5	0.050		-0.088		0.003	
1	0.051		-0.068		0.005	
1.5	0.053		-0.046		0.008	
2	0.056		-0.027		0.011	
2.5	0.059		-0.008		0.013	
3	0.062		0.011		0.015	
3.5	0.066		0.028		0.017	
4	0.069		0.043		0.019	
4.5	0.076		0.062		0.021	
5	0.081		0.079		0.022	
5.5	0.087		0.094		0.023	
6	0.092		0.106		0.024	
6.5	0.097		0.119		0.024	
7	0.104		0.134		0.024	
7.5	0.111		0.147		0.024	
8	0.115		0.157		0.024	
8.5	0.122		0.169		0.023	
9	0.127		0.178		0.023	
9.5	0.136		0.192		0.023	
10	0.139		0.196		0.023	

## 2.1.2 Torre

I coefficienti di trascinamento e sollevamento vengono indicati nel seguente formato (sistema di coordinate del vento):

$$C_D = \frac{D}{1/2\rho U^2 B} \qquad C_L = \frac{L}{1/2\rho U^2 B}$$

dove D,L = forza aerodinamica di trascinamento/sollevamento per unità di lunghezza del cassone,  $1/2\rho U^2$  = vento contrario dinamico, B = dimensione caratteristica della struttura (in questo documento **B = 20 m** in tutti i casi).

I coefficienti di carico del vento per le gambe delle torri sono ottenuti dalle prove nella galleria del vento eseguite presso BMT, [2]. I valori misurati corrispondono a quelli del flusso turbolento, in quanto sono risultati essere i più elevati e quindi quelli di più larga approssimazione. Un angolo di 0° corrisponde al vento attraverso il ponte e quello di 90° al vento lungo il ponte.

Le prove nella galleria del vento condotte presso BMT hanno preso in considerazione il caso con entrambe le gambe delle torri e quello con una sola gamba. Sulla base di ciò, i valori della gamba sopravento sono stati approssimati sotto forma di valori misurati per una sola gamba, mentre i

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Calcoli aerodinamici, buffeting		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

valori della gamba sottovento sono stati ricavati sottraendo i valori della gamba sopravento dal totale misurato.

Tabella 2.3 Coefficienti di carico del vento per la torre, Ponte sullo Stretto .  $B = 20m$ .

Angolo (gradi)	Totale		Gamba sopravento		Gamba sottovento	
	$C_D$	$C_L$	$C_D$	$C_L$	$C_D$	$C_L$
<b>0.0</b>	<b>1.8</b>	<b>0.0</b>	<b>1.8</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
5.0	1.7	0.0	1.7	0.2	0.0	-0.2
10.0	1.6	0.1	1.6	0.3	0.0	-0.3
15.0	1.8	0.3	1.4	0.5	0.4	-0.2
20.0	1.9	0.3	1.4	0.5	0.5	-0.2
25.0	2.0	0.3	1.4	0.4	0.6	-0.1
30.0	2.0	0.4	1.3	0.4	0.7	-0.1
35.0	1.9	0.3	1.2	0.4	0.7	-0.1
40.0	1.9	0.3	1.1	0.3	0.8	0.0
<b>45.0</b>	<b>1.7</b>	<b>0.2</b>	<b>1.0</b>	<b>0.3</b>	<b>0.7</b>	<b>-0.1</b>
50.0	1.5	0.1	0.8	0.2	0.7	-0.1
55.0	1.1	0.0	0.6	0.1	0.5	-0.1
60.0	0.8	0.2	0.4	0.3	0.4	-0.1
65.0	0.7	0.0	0.4	0.1	0.3	-0.1
70.0	0.7	0.5	0.3	0.0	0.4	0.5
75.0	0.4	0.5	0.3	0.3	0.3	0.1
80.0	0.5	0.9	0.2	0.5	0.3	0.4
85.0	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3
<b>90.0</b>	<b>0.6</b>	<b>0.0</b>	<b>0.3</b>	<b>0.0</b>	<b>0.3</b>	<b>0.0</b>

Per i calcoli del vento turbolento (dinamico), le gambe delle torri vengono modellate sotto forma di elementi singoli utilizzando i coefficienti di carico del vento indicati in Tabella 2.3.

La Figura 2.2 mostra la sezione trasversale DVMFLOW del traverso della torre. La larghezza del traverso è di 4 m e l'altezza di 17.74 m. Il coefficiente di trascinamento del traverso è pari a

$$C_{D, \text{traverso}} = 2.1$$

normalizzato con  $B = 17.74$  m.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
Calcoli aerodinamici, buffeting		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

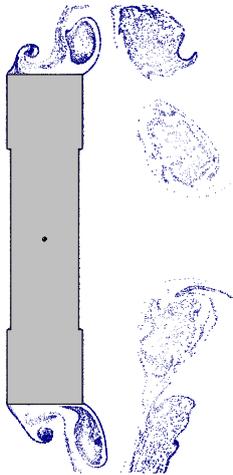


Figura 2.2 Sezione trasversale del traverso. Larghezza = 4 m, Altezza = 17.74 m.

### 2.1.3 Funi dei pendini

Si assume che il coefficiente di trascinamento delle singole funi dei pendini sia:

$$C_D = 0.8$$

Il coefficiente di trascinamento viene normalizzato con il diametro del pendino  $d$ .

### 2.1.4 Cavi principali

Il coefficiente di trascinamento dei cavi principali viene ottenuto dalle prove nella galleria del vento con un elevato numero di Reynolds, [3], ed assunto come:

$$C_D = 0.5 \text{ per il cavo sopravento e } C_D = -0.1 \text{ per il cavo sottovento.}$$

I coefficienti di trascinamento vengono normalizzati utilizzando il diametro effettivo del cavo principale.

Nei calcoli delle risposte al vento medio ed al vento turbolento non si è tenuto conto dei possibili effetti di sollevamento sui cavi principali gemellati (doppi).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	Codice documento PB0038_F0_ITA.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

## 2.2 Riduzione aerodinamica dello smorzamento e della rigidità

### 2.2.1 Dominio delle frequenze (Dynwind)

Le derivate aerodinamiche nel flusso smorzato ottenute dalle prove in galleria del vento presso FORCE, [1], [6], vengono usate per calcolare le riduzioni modali aerodinamiche di smorzamento e rigidità nei calcoli del vento turbolento nel dominio delle frequenze. La procedura in due dimensioni è illustrata qui di seguito. Le derivate aerodinamiche definite secondo Scanlan sono le seguenti:

$$L = \frac{1}{2} \rho U^2 (2B) \left( KH_1^*(K) \frac{\dot{z}}{U} + KH_2^*(K) \frac{B\dot{\alpha}}{U} + K^2 H_3^*(K) \alpha + K^2 H_4^*(K) \frac{z}{B} \right)$$

$$M = \frac{1}{2} \rho U^2 (2B^2) \left( KA_1^*(K) \frac{\dot{z}}{U} + KA_2^*(K) \frac{B\dot{\alpha}}{U} + K^2 A_3^*(K) \alpha + K^2 A_4^*(K) \frac{z}{B} \right)$$

dove  $K = \omega B/U$ ,  $L$  è la forza di sollevamento e  $M$  è il momento. L'approccio del dominio delle frequenze non comprende gli effetti non lineari dovuti a variazioni delle derivate aerodinamiche in funzione dell'angolo di attacco.

Le riduzioni modali aerodinamiche di smorzamento e rigidità vengono valutate come segue:

$$\zeta_{aero} = -\frac{\rho B^4}{2I_g} \left\{ H_1^* \int_{cassone} (z(s))^2 ds + H_2^* \int_{cassone} z(s)\alpha(s) ds + A_1^* \int_{cassone} z(s)\alpha(s) ds + A_2^* \int_{cassone} (\alpha(s))^2 ds \right\}$$

$$k_{aero} = -\rho \omega^2 B^4 \left\{ H_3^* \int_{cassone} z(s)\alpha(s) ds + H_4^* \int_{cassone} (z(s))^2 ds + A_3^* \int_{cassone} (\alpha(s))^2 ds + A_4^* \int_{cassone} z(s)\alpha(s) ds \right\}$$

dove

$$I_g = \int_{cassone} (m(s)(z(s))^2 B^2 + I(s)(\alpha(s))^2) ds$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>Calcoli aerodinamici, buffeting</b>		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

e  $m(s)$  og  $I(s)$  sono la massa ed il momento di inerzia della massa del cassone ,  $z(s)$  è la freccia verticale e  $\alpha(s)$  è la torsione.  $\rho$  è la densità dell'aria.

*Tabella 2.4 Derivate aerodinamiche interpolate dai valori di Force per il flusso smorzato.*

<b>U/(f· B)</b>	<b>H1</b>	<b>H2</b>	<b>H3</b>	<b>H4</b>	<b>H5</b>	<b>H6</b>
<b>0.45</b>	-0.4282	0.011612	-0.07869	0.814879	0.013992	0.101274
<b>0.5</b>	-0.46903	0.004891	-0.08259	0.808011	0.003503	0.079459
<b>0.6</b>	-0.50003	-0.00279	-0.06959	0.811132	-0.03016	0.079984
<b>0.7</b>	-0.54602	-0.00381	-0.06912	0.843087	-0.06512	0.112661
<b>2</b>	-0.70016	-0.06469	-0.25717	1.059635	0.007355	0.134754
<b>3</b>	-0.83462	-0.22768	-0.48667	1.306281	-0.03201	0.112672
<b>5</b>	-0.8988	-0.6401	-0.87591	1.655117	-0.09211	0.113072
<b>7</b>	-0.80324	-1.00357	-1.09127	1.508972	-0.11402	0.122825
<b>9</b>	-0.72394	-1.26139	-1.27394	1.146462	-0.12993	0.12604
<b>11</b>	-0.70334	-1.50619	-1.51002	0.909136	-0.1474	0.131685
<b>13</b>	-0.73221	-1.76191	-1.82137	0.787185	-0.17014	0.13301
<b>15</b>	-0.77333	-2.01768	-2.20408	0.6935	-0.19902	0.143008
<b>16</b>	-0.7934	-2.14192	-2.42002	0.668138	-0.2106	0.153756
<b>18</b>	-0.83547	-2.38629	-2.86964	0.677748	-0.21695	0.145615
<b>21</b>	-0.92625	-2.78456	-3.68644	0.611241	-0.25849	0.112259
<b>23</b>	-0.98944	-3.04953	-4.27723	0.567055	-0.29278	0.13417
<b>25</b>	-1.06482	-3.32346	-4.94799	0.557381	-0.31637	0.151066
<b>27</b>	-1.10498	-3.604	-5.66135	0.544372	-0.3319	0.12829
<b>30</b>	-1.20233	-3.9857	-6.85201	0.481526	-0.37618	0.242037

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>Calcoli aerodinamici, buffeting</b>		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

U/(f B)	A1	A2	A3	A4	A5	A6
0.45	0.009374	-0.03449	0.054619	-0.01985	-0.00247	-0.00202
0.5	0.006001	-0.03495	0.054872	-0.02335	-0.0048	-0.00192
0.6	0.002196	-0.0348	0.056577	-0.02349	-0.00648	0.003605
0.7	-0.00115	-0.03556	0.056994	-0.02191	-0.00533	0.011813
2	0.030244	-0.06919	0.080191	-0.02246	0.014133	0.001372
3	0.025819	-0.07712	0.084425	-0.00575	0.008924	-0.00721
5	0.06005	-0.12074	0.109307	0.037014	-0.00022	-0.0122
7	0.121676	-0.17057	0.174736	0.051213	-0.00318	-0.01331
9	0.16247	-0.19976	0.25822	0.051361	-0.00357	-0.01391
11	0.193171	-0.22463	0.363593	0.050841	-0.00518	-0.01031
13	0.224336	-0.25187	0.495164	0.053426	-0.00907	-0.00492
15	0.258831	-0.2755	0.649293	0.051509	-0.00632	-0.00705
16	0.277516	-0.28757	0.735984	0.049727	-0.00416	-0.00827
18	0.316266	-0.32142	0.920364	0.057007	-0.00719	-0.00131
21	0.358203	-0.36979	1.240305	0.066654	-0.00899	-0.00845
23	0.388353	-0.39917	1.481806	0.067338	-0.01504	-0.00427
25	0.426426	-0.42737	1.743737	0.069777	-0.00947	0.001386
27	0.462584	-0.45585	2.029322	0.080081	-0.00086	-0.0285
30	0.509372	-0.51488	2.508455	0.095989	-0.03817	-0.00192

U/(f B)	P1	P2	P3	P4	P5	P6
0.45	-0.13535	0.002127	0.050554	0.823824	0.046505	-0.01732
0.5	-0.12641	0.002603	0.049388	0.831407	0.051633	-0.01768
0.6	-0.12311	0.000938	0.047275	0.831954	0.056128	-0.02002
0.7	-0.13093	0.000713	0.047568	0.822568	0.061085	-0.02519
2	-0.16784	0.024306	0.058636	0.867393	0.049562	-0.061
3	-0.18134	0.045688	0.06574	0.882554	0.050022	-0.09074
5	-0.20969	0.102159	0.076014	0.890366	0.036296	-0.14124
7	-0.22986	0.157697	0.098033	0.875486	0.019572	-0.1529
9	-0.23911	0.199285	0.160983	0.852947	0.00711	-0.14845
11	-0.24658	0.236086	0.25417	0.842272	-0.00277	-0.14311
13	-0.26828	0.272089	0.361473	0.838901	-0.01843	-0.14173
15	-0.28132	0.310049	0.494462	0.845005	-0.02821	-0.15684
16	-0.28748	0.332175	0.57393	0.858282	-0.02382	-0.16163
18	-0.33904	0.367444	0.728983	0.851634	-0.00975	-0.14716
21	-0.36835	0.426754	0.994252	0.86528	-0.0191	-0.14002
23	-0.40306	0.47992	1.199811	0.847404	-0.00537	-0.15678
25	-0.44259	0.517228	1.4281	0.889926	-0.00763	-0.17754
27	-0.40867	0.58427	1.685498	0.837878	-0.02139	-0.19591
30	-0.50507	0.653727	2.095766	0.797668	-0.05697	-0.27566

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
Calcoli aerodinamici, buffeting		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 2px;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left; padding: 2px;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; padding: 2px;">F0</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

### 2.2.2 Dominio temporale (storia temporale)

Il carico del vento orizzontale, verticale e torsionale viene modellato semplicemente elevando a potenza la velocità istantanea del vento, moltiplicandola per  $\frac{1}{2}\rho$ , per le dimensioni caratteristiche relative e per il coefficiente relativo di carico del vento ottenuto nell'angolo di afflusso istantaneo. La linearizzazione dei coefficienti di carico aerodinamici non è quindi implicita. Le forze del vento istantanee che agiscono sui diversi elementi di una sezione del ponte vengono quindi modellate come segue:

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_D(\alpha) \cdot B \cdot \Delta$$

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_L(\alpha) \cdot B \cdot \Delta$$

$$F_M = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_M(\alpha) \cdot B^2 \cdot \Delta$$

Dove  $\alpha$  è l'angolo di afflusso istantaneo del vento e  $\Delta$  è la separazione tra nodi adiacenti sui quali

viene imposto il carico del vento. La velocità istantanea del vento  $V$  e l'angolo di attacco  $\alpha$  vengono

ottenuti come segue:

$$V = \sqrt{(U + u - \dot{x})^2 + (w - \dot{z})^2}$$

$$\alpha = \theta + \tan^{-1} \frac{w - \dot{z}}{U + u - \dot{x}}$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Calcoli aerodinamici, buffeting		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

dove  $U+u$  è la velocità istantanea del vento orizzontale,  $w$  è la velocità istantanea del vento verticale e  $\dot{x}$ ,  $\dot{z}$  sono le velocità istantanee orizzontali e verticali della sezione trasversale strutturale

e  $\theta$  è l'angolo di rotazione trasversale istantaneo.

### 2.3 Ammettenza aerodinamica

Per le analisi nel dominio delle frequenze vengono usate le seguenti funzioni di ammettenza

ottenute dalle prove in galleria del vento eseguite presso FORCE:

$$AL(f^*)_{FORCE} = \frac{1.5 \cdot f^{*2.5}}{(0.18 - f^*)^2 + 0.09^2} + \frac{0.50}{1 + 2\pi^2 \cdot f^*}$$

$$AD(f^*)_{FORCE} = \frac{2.0 \cdot f^{*1.5}}{(0.20 - f^*)^2 + 0.70^2} + \frac{0.25}{1 + 2\pi^2 \cdot f^*}$$

$$AM(f^*)_{FORCE} = \frac{1.9 \cdot f^{*1.8}}{(0.50 - f^*)^2 + 0.18^2} + \frac{0.05}{1 + 2\pi^2 \cdot f^*}$$

$$f^* = \frac{f \cdot B}{U}$$

ottenute dalle prove in galleria del vento eseguite presso BLWTL:

$$AL(f^*)_{BLWTL} = \frac{2.9 \cdot f^{*1.2}}{(-0.22 - f^*)^2 + 0.18^2} + \frac{0.70}{1 + 2\pi^2 \cdot f^*}$$

$$AD(f^*)_{BLWTL} = \frac{0.45}{1 + 0.05\pi^2 \cdot f^*}$$

$$AM(f^*)_{BLWTL} = \frac{1.95 \cdot f^{*1.8}}{(-0.15 - f^*)^2 + 0.18^2} + \frac{1}{1 + 2\pi^2 \cdot f^*}$$

$$f^* = \frac{f \cdot B}{U}$$

Le espressioni sopra indicate sono rappresentate in forma grafica nella Figura 2.3 e Figura 2.4.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Calcoli aerodinamici, buffeting		Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev F0	Data 20/06/2011

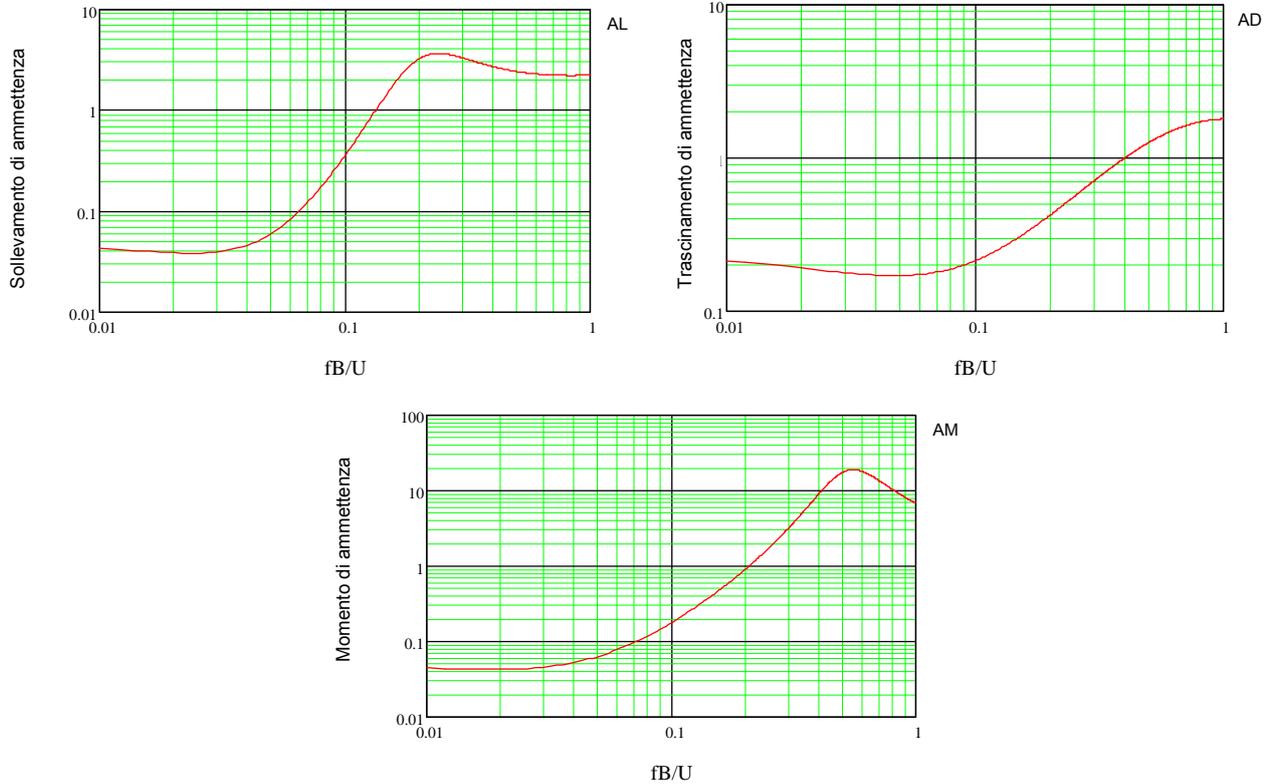
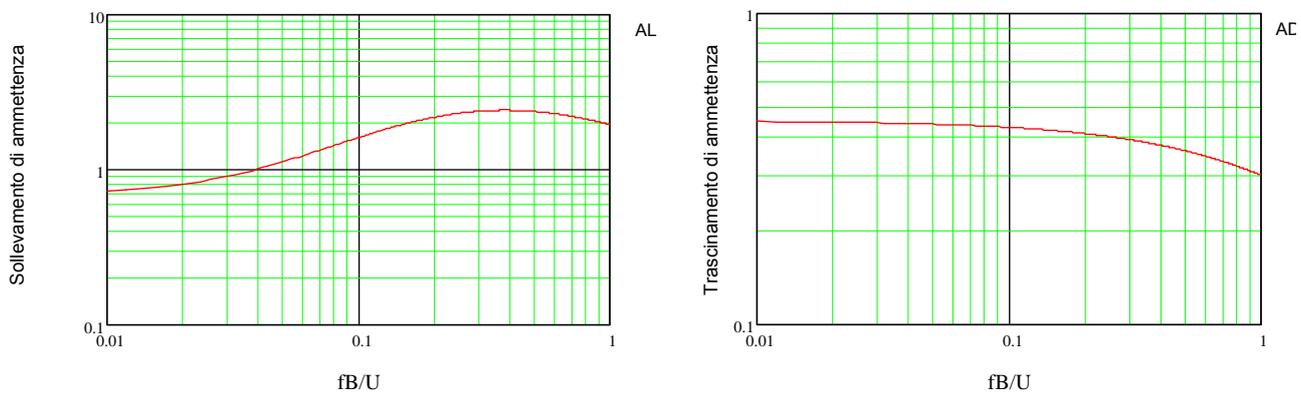


Figura 2.3 Ammettenze aerodinamiche applicate alle misurazioni di FORCE



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
Calcoli aerodinamici, buffeting		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

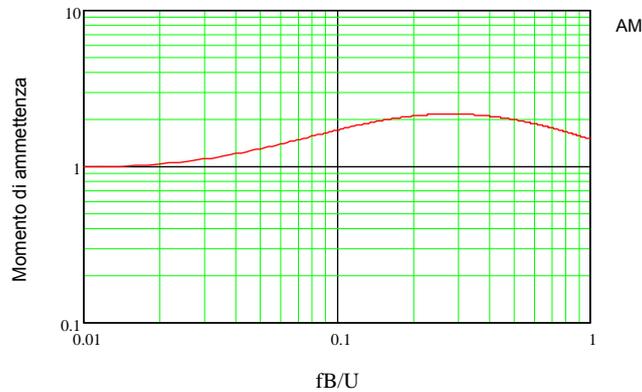


Figura 2.4 Ammettenze aerodinamiche applicate alle misurazioni di BLWTL.

### 3 Analisi del vento turbolento

#### 3.1 Dominio delle frequenze (Dynwind)

In generale, un carico dovuto a vento turbolento naturale può essere considerato come la sommatoria dei carichi del vento medio statico e del vento fluttuante stocastico, quest'ultimo indicato come carico di vento turbolento. Analogamente, la risposta della struttura può essere suddivisa in risposta al vento medio (risposta statica) e risposta al vento turbolento (risposta dinamica).

La risposta del ponte al vento turbolento può essere determinata seguendo l'ormai comprovato metodo spettrale statistico originariamente proposto da Davenport [5]. Il metodo contiene elementi quali la risposta di background, la risposta risonante, la coerenza del vento turbolento, l'accoppiamento modale, l'ammettenza aerodinamica della struttura e lo smorzamento aerodinamico generato dalla struttura. La teoria è stata sviluppata negli anni da Davenport e collaboratori e da altri. L'analisi del vento turbolento eseguita a IBDAS utilizza il metodo di Davenport .

La teoria del vento turbolento di Davenport presuppone che la risposta strutturale globale sia una combinazione delle risposte di ciascun modo strutturale eccitato dal vento turbolento.

Tutti gli elementi del ponte citati al punto 2.1, vale a dire cassone, gambe delle torri, cavi principali e pendini contribuiscono alla risposta al vento medio ed al vento turbolento. Nei calcoli di risposta

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Calcoli aerodinamici, buffeting		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

al vento turbolento, tutti gli elementi sopra citati vengono quindi trattati secondo l'approccio quasi stazionario proposto da Davenport.

Poichè la teoria di buffeting di Davenport si basa sulla validità della linearizzazione quasi stazionaria dell'aerodinamica dei vari componenti del ponte, nell'analisi nel dominio delle frequenze non si tiene conto del possibile comportamento non lineare dei coefficienti di carico del vento sui componenti.

### 3.2 Dominio temporale (simulazioni di buffeting)

Il difetto di linearità dei carichi di vento aerodinamici insito nelle analisi nel dominio delle frequenze può essere eliminato nel caso in cui la risposta dinamica del ponte venga calcolata nel dominio del tempo. A tale scopo, le storie temporali del vento fluttuante devono essere note in una serie di punti rappresentativi sul ponte. Inoltre, le serie temporali del vento devono rappresentare l'intensità e la correlazione spaziale della turbolenza nella sede del ponte.

Sulla struttura del ponte sono stati scelti 369 nodi come indicato in Figura 3.1, per i quali le serie temporali di velocità del vento istantanea in tutte e tre le direzioni sono state determinate mediante simulazione Monte Carlo del campo del vento. Le serie temporali sono state fornite da SdM.

La direzione del vento medio è orizzontale e perpendicolare all'asse del ponte (y-dir).

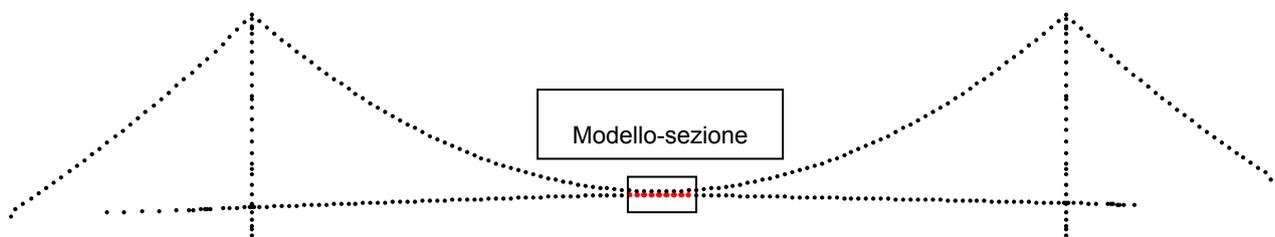


Figura 3.1 Prospetto generale dei nodi del ponte selezionati per l'ingresso dei dati delle serie temporali.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Calcoli aerodinamici, buffeting		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

L'analisi richiede che la velocità del vento venga definita per tutti gli elementi della struttura in tutte le fasi temporali. Le velocità del vento vengono definite nei 369 punti nodali e quindi estrapolate per fornire le informazioni relative alle velocità del vento per tutti gli elementi dell'intera struttura del ponte. I 9 nodi centrali dell'impalcato vengono usati per valutare la risposta alle storie temporali del modello-sezione. I nodi sono contrassegnati nella Figura 3.1.

Il numero di campioni nelle serie temporali varia tra i diversi stati limite come sotto riportato.

	SLS1	SLS2	SLU	SILS
Fasi temporali	2208	2017	1986	2209

Con una frequenza di campionamento di 10 Hz, la lunghezza media delle serie temporali è di 3,5 minuti.

L'analisi considera l'angolo di attacco variabile del vento sulla sezione del cassone, vedere la figura sottostante. Ciò significa che i coefficienti di trascinamento, sollevamento e momento vengono valutati in ciascuna fase temporale per angoli di attacco variabili tra il vento ed il cassone ivi incluso l'effetto di una variazione della rotazione dell'impalcato in ciascuna fase temporale come indicato al punto 2.2.2.

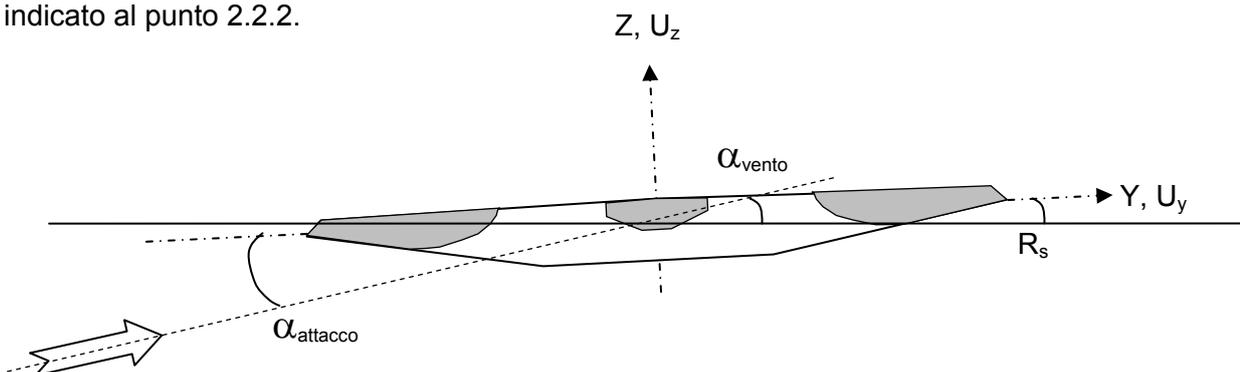


Figura 3.2 Definizione di angolo di attacco del vento assunta nelle analisi delle storie temporali.

L'analisi delle storie temporali non tiene conto dell'ammettenza, dello smorzamento aerodinamico ricavato dalle derivate aerodinamiche o delle riduzioni di rigidità indotte dal vento.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev F0	Data 20/06/2011

## 4 Validazione delle analisi di buffeting rispetto alle prove sul modello-sezione

Le prove sul modello-sezione dell'impalcato eseguite presso FORCE [6] e BLWTL [4] vengono utilizzate per stabilire la validità delle analisi nel dominio delle frequenze e nel dominio del tempo.

### 4.1 Calcolo della risposta dinamica del modello-sezione di FORCE

#### 4.1.1 Risposte nel dominio delle frequenze e del tempo

Le intensità, gli spettri e le coerenze di turbolenza applicati nei calcoli sotto riportati sono identici alle caratteristiche di turbolenza misurate durante la prova sul modello-sezione di FORCE. La Figura 4.1 e la Figura 4.2 mostrano un confronto della risposta alla frequenza (spostamento verticale e torsionale) dei modi verticale e torsionale di base in funzione della velocità del vento confrontata con i risultati sperimentali.

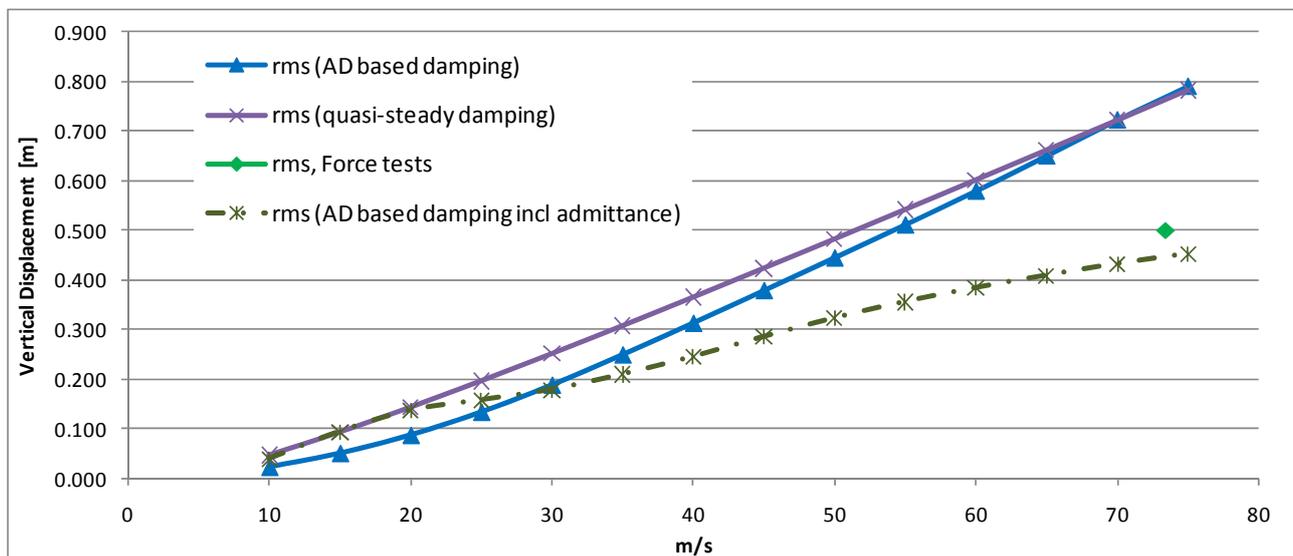


Figura 4.1 Risposta verticale  $U_z$  ottenuta dai calcoli di buffeting nel dominio delle frequenze e dalle prove nella galleria del vento presso FORCE.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev F0	Data 20/06/2011

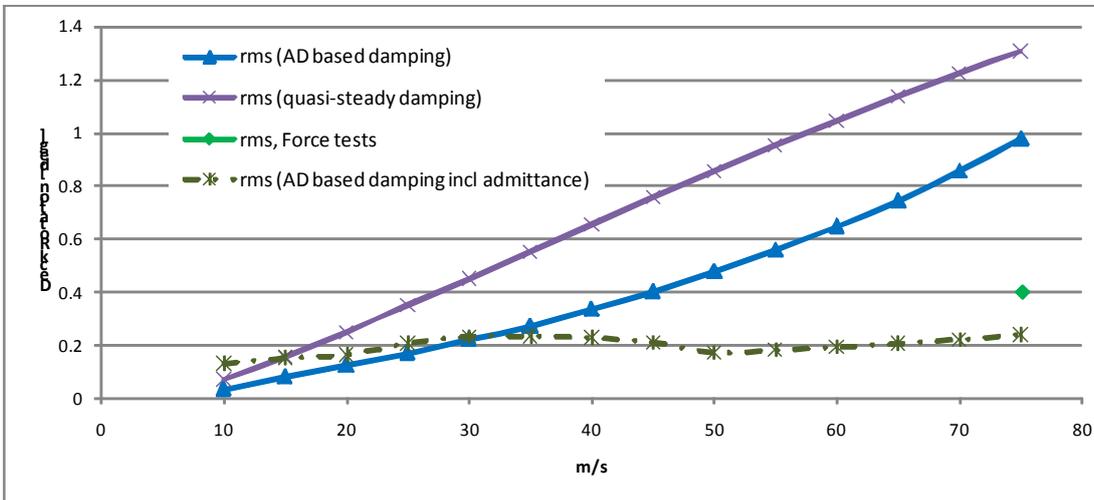


Figura 4.2 Risposta torsionale  $R_s$  ottenuta dai calcoli di buffeting nel dominio delle frequenze e dalle prove nella galleria del vento presso FORCE.

Dalla Figura 4.1 e dalla Figura 4.2 si nota che le risposte rms verticali e torsionali superano le risposte misurate nella galleria del vento. In particolare, si nota che la risposta torsionale con uno smorzamento aerodinamico quasi stazionario è quasi il doppio della risposta torsionale ottenuta applicando le derivate aerodinamiche misurate per la determinazione dello smorzamento torsionale. Nel caso della risposta verticale, si nota un buon accordo tra l'approccio quasi stazionario e le derivate aerodinamiche. La differenza nella risposta torsionale è indicata in Figura 4.2 ed è supportata dal calcolo del rapporto tra lo smorzamento aerodinamico ottenuto dall'approccio quasi stazionario  $\zeta_{a\theta}^{qs}$  e le derivate aerodinamiche  $\zeta_{a\theta}^{AD}$ :

$$\frac{\zeta_{a\theta}^{qs}}{\zeta_{a\theta}^{AD}} = \frac{\frac{\partial C_M}{\partial \alpha} \cdot U}{16\pi \cdot f_{\theta} \cdot (-A_{\theta}^2) \cdot B}$$

Inserendo le costanti adeguate per la condizione SLU nell'espressione sopra indicata si ottiene  $\zeta_{a\theta}^{qs} / \zeta_{a\theta}^{AD} = 0.172$ . Sapendo che la risposta al vento dinamico è inversamente proporzionale alla radice quadrata dello smorzamento si suggerisce che la stessa, con l'approccio quasi stazionario, sia dell'ordine di 2,4 volte superiore alla risposta ottenuta includendo le derivate aerodinamiche.

Il superamento della risposta al vento dinamico calcolata applicando le derivate aerodinamiche rispetto alle risposte misurate deriva in parte dall'omissione delle ammettenze aerodinamiche.

Un confronto tra le risposte ottenute dall'analisi nel dominio temporale e dalle analisi nel dominio delle frequenze per la condizione SILS (velocità media del vento di 60 m/s ad un livello di 70 m) è

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Calcoli aerodinamici, buffeting		Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev F0	Data 20/06/2011

riportato nella Figura 4.3 e nella Figura 4.4. Dal confronto risulta che l'analisi nel dominio delle frequenze prevede risposte più ampie rispetto all'approccio nel dominio del tempo. Risulta altresì che applicando uno smorzamento torsionale aerodinamico basato sull'approccio quasi stazionario si ottengono delle risposte più ampie nel dominio delle frequenze rispetto a quelle ottenute dalle derivate aerodinamiche come rispecchiato anche nella Figura 4.2.

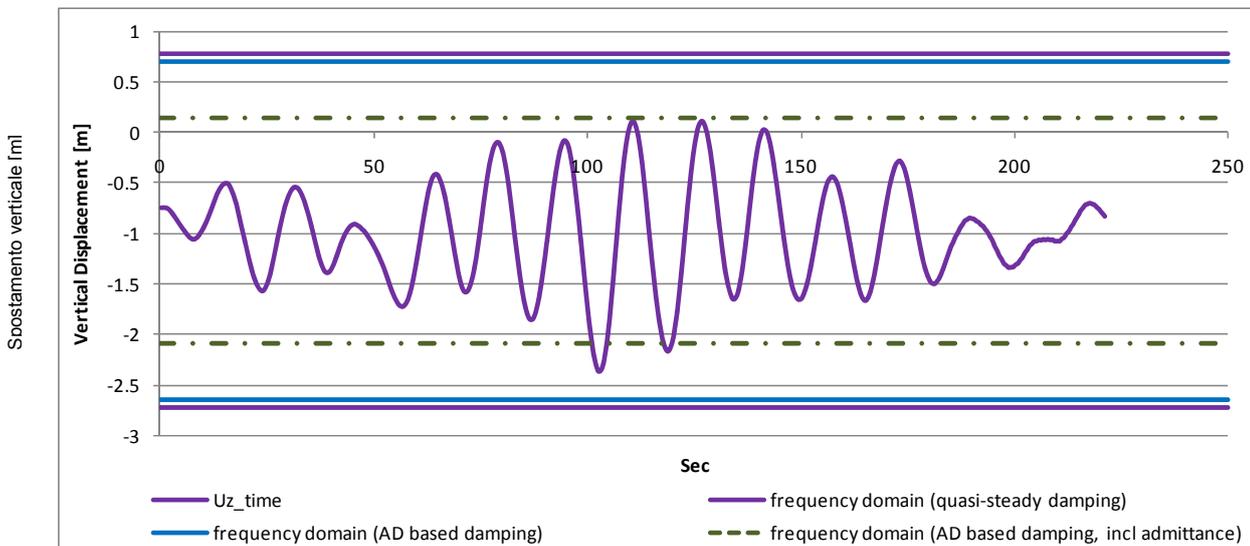


Figura 4.3 Confronto della risposta verticale  $U_z$  ottenuta dalle analisi sul vento dinamico nel dominio delle frequenze e nel dominio temporale.

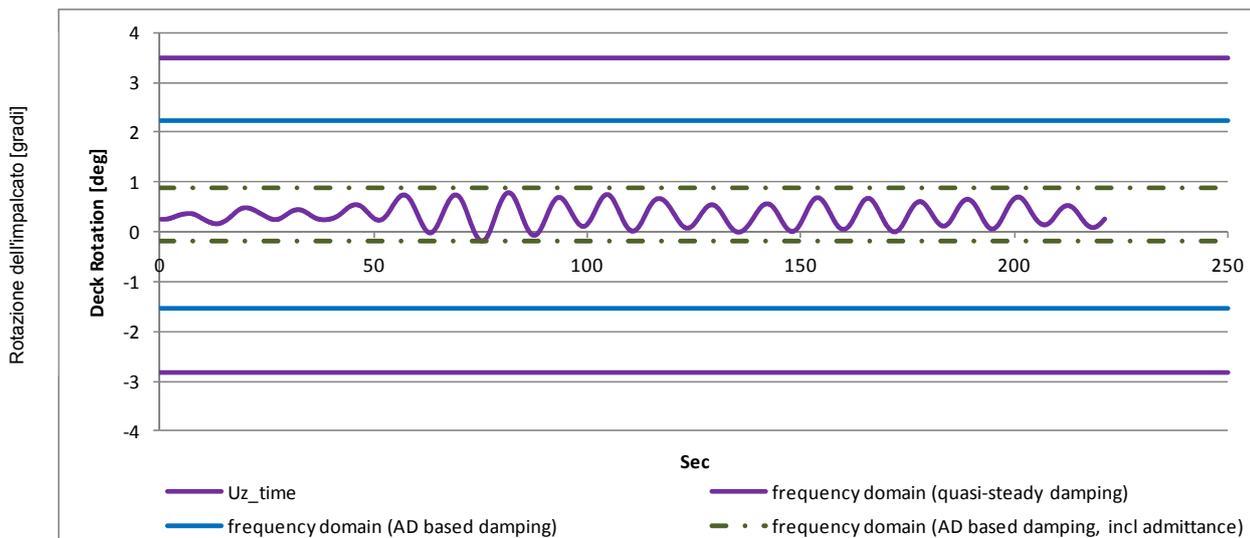


Figura 4.4 Confronto della risposta torsionale  $R_s$  ottenuta dalle analisi sul vento dinamico nel dominio delle frequenze e nel dominio temporale.

E' noto che aumentando i carichi del vento sulla struttura di un ponte si avrà come conseguenza la

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>Calcoli aerodinamici, buffeting</b>		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

perdita della rigidità strutturale che porterà ad una riduzione delle autofrequenze strutturali. Questo effetto viene preso in considerazione nell'analisi sul vento dinamico nel dominio delle frequenze comprendente lo smorzamento aerodinamico calcolato dalle derivate aerodinamiche misurate, ma non viene considerato nei calcoli sul vento dinamico nel dominio del tempo. Nell'analisi convenzionale sul vento dinamico nel dominio delle frequenze, ciascun modo strutturale viene trattato separatamente come un oscillatore con un grado di libertà tale che i modi non interferiscano come nel caso del flutter, dove la frequenza torsionale diminuirà fino a risonanza con la frequenza del corrispondente modo verticale. L'interazione tra il modo torsionale e il modo verticale viene facilitata dalle cosiddette derivate aerodinamiche incrociate  $A_1^*$  e  $H_3^*$  nelle equazioni del flutter. Sulla base dell'esperienza, i termini incrociati non sono importanti per velocità del vento molto al di sotto della velocità del flutter e come tali non vengono ritenuti importanti per i calcoli del vento dinamico. A convalida di ciò, la Tabella 4.1 sottostante elenca il rapporto di frequenza ottenuto partendo da condizioni in assenza di vento (0 m/s) fino ad arrivare alla condizione SILS (60 m/s) per la frequenza fondamentale verticale e torsionale ottenuta.

*Tabella 4.1 Riduzione della frequenza a partire da condizioni con vento zero fino ad arrivare a SILS*

Modo	SILS normale del vento dinamico, smorzamento basato su AD	SILS normale del flutter AMC
Verticale	$f_{60} / f_0 = 0.97$	-
Torsionale	$f_{60} / f_0 = 0.85$	-
Medio	$f_{60} / f_0 = 0.91$	$f_{60} / f_0 = 0.90$

Dalla Tabella 4.1 si evince che le riduzioni di frequenza sono relativamente basse con velocità del vento del 30% inferiori alla velocità del flutter. Si evince altresì che la perdita di rigidità media prevista nelle condizioni SILS è quasi uguale sia per la routine di vento dinamico che per la routine del flutter AMC indicando con ciò che l'omissione dei termini incrociati nell'analisi sul vento dinamico nel dominio delle frequenze non ha effetti apprezzabili sui risultati delle risposte. Qualora risultasse interessante valutare il possibile effetto dei termini incrociati sullo smorzamento aerodinamico, è possibile stimare lo smorzamento medio apparente da una previsione di flutter e quindi regolare di conseguenza lo smorzamento aerodinamico verticale e torsionale.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

#### 4.1.2 Campo di turbolenza, FORCE

Le condizioni di turbolenza, vale a dire intensità, distribuzioni spaziali e coerenze del vento trasversale, sono ovviamente molto importanti per la risposta al vento dinamico relativamente alla sezione dell'impalcato. Al fine di valutare il confronto tra le analisi sul vento dinamico applicate al modello-sezione nel dominio delle frequenze e nel dominio del tempo, è interessante riesaminare le caratteristiche della turbolenza riscontrate nelle prove sul modello-sezione e usate per il calcolo nel dominio delle frequenze e le caratteristiche della turbolenza simulate nell'analisi nel dominio del tempo secondo le caratteristiche spettrali specificate da SdM nel progetto di base [7]. La Figura 4.5 mette a confronto le distribuzioni spettrali di potenza normalizzate dalla velocità quadratica media del vento applicata per le analisi nel dominio delle frequenze e nel dominio del tempo. La Tabella 4.2 mette a confronto le scale di lunghezza relative e le esponenti di decadimento della coerenza.

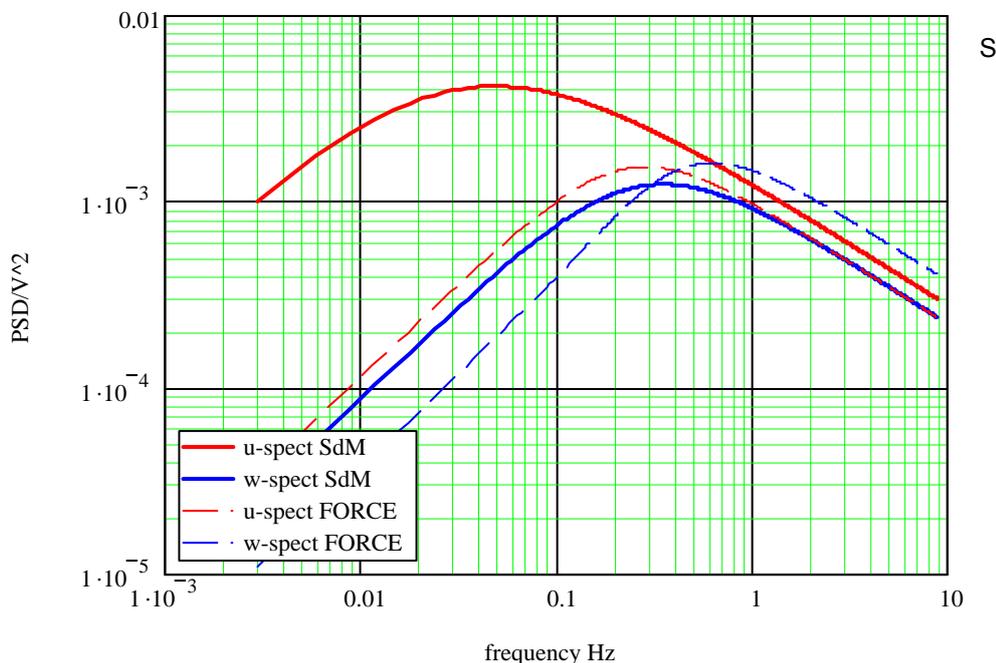


Figura 4.5 Distribuzioni spettrali di potenza della turbolenza longitudinale e verticale normalizzate dalla velocità quadratica media del vento. Specifica SdM (linee continue spesse), FORCE (linee sottili tratteggiate).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Calcoli aerodinamici, buffeting		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Tabella 4.2 Caratteristiche di turbolenza FORCE e SdM.

Direzione	Scala di lunghezza		Intensità		Esponente	
	FORCE	SdM	FORCE	SdM	FORCE	SdM
Along wind u	$L_u = 30 \text{ m}$	$L_u = 177 \text{ m}$	$I_u = 7.4\%$	$I_u = 13.8\%$	$C_{uy} = 7.5$	$C_{uy} = 10$
Verticale w	$L_w = 10 \text{ m}$	$L_w = 44 \text{ m}$	$I_w = 7.5\%$	$I_u = 6.9\%$	$C_{wy} = 5$	$C_{wy} = 6.5$

Per quanto riguarda lo spettro della turbolenza verticale (w), che comanda i movimenti verticali e torsionali, si nota che le specifiche SdM superano approssimativamente lo spettro di FORCE di un fattore di 2 nel campo delle frequenze 0,05 - 0,1 Hz, interessante per la risposta verticale e torsionale della sezione dell'impalcato. Si prevede quindi che l'analisi nel dominio del tempo possa sovrastimare la risposta nel dominio delle frequenze di un fattore di 1,4, che è parzialmente bilanciato dal fatto che l'esponente di coerenza della turbolenza verticale  $C_{wy} = 5$  stimato per la turbolenza FORCE è maggiore di quello della specifica SdM  $C_{wy} = 6,5$ . Per riassumere, si può concludere che i carichi del vento turbolento verticale ottenuti dalle specifiche SdM e dalle misurazioni FORCE nell'importante campo delle frequenze 0,05 - 0,1 Hz sono abbastanza concordi.

## 4.2 Calcolo della risposta dinamica del modello-sezione BLWTL

### 4.2.1 Risposte nel dominio delle frequenze e del tempo

L'analisi della risposta del modello-sezione BLWTL, sospeso su molle in tutti e tre i gradi di libertà (y, z e Rs), ha offerto un mezzo di confronto delle risposte orizzontali misurate e calcolate. La Figura 4.6, la Figura 4.7 e la Figura 4.8 mostrano un confronto tra la risposta di frequenza (spostamento verticale, trasversale e torsionale) dei modi di base verticale e torsionale in funzione della velocità del vento ed i risultati sperimentali.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Calcoli aerodinamici, buffeting		Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev F0	Data 20/06/2011

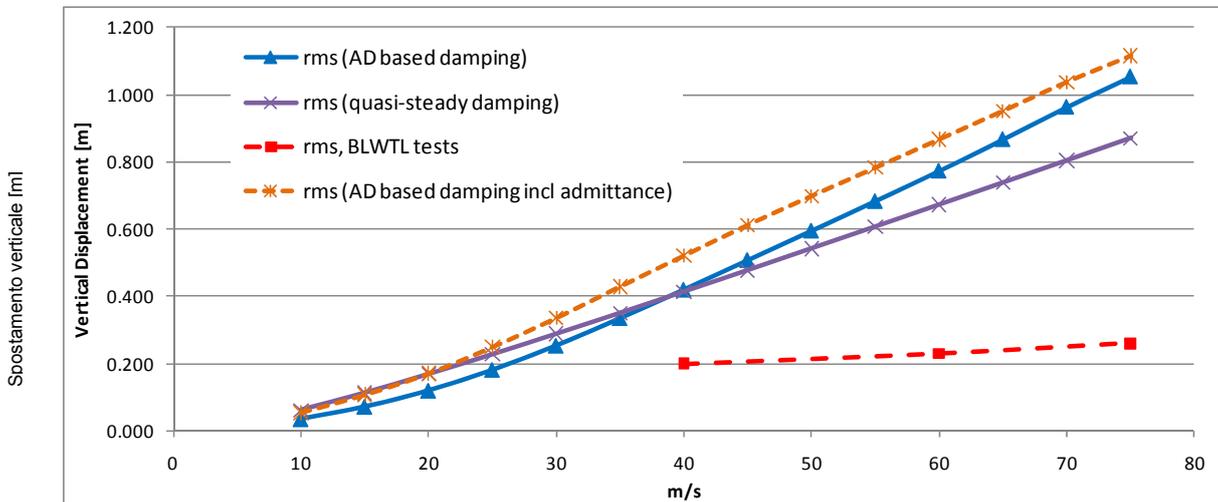


Figura 4.6 Risposta verticale  $U_z$  ottenuta dai calcoli sul vento dinamico nel dominio delle frequenze e dalle prove nella galleria del vento presso BLWTL.

Dalla Figura 4.6 si evince che la risposta verticale prevista ottenuta usando derivate quasi-stazionarie o derivate aerodinamiche basate sullo smorzamento aerodinamico è assolutamente simile e all'incirca tre volte superiore a quella misurata presso la BLWTL.

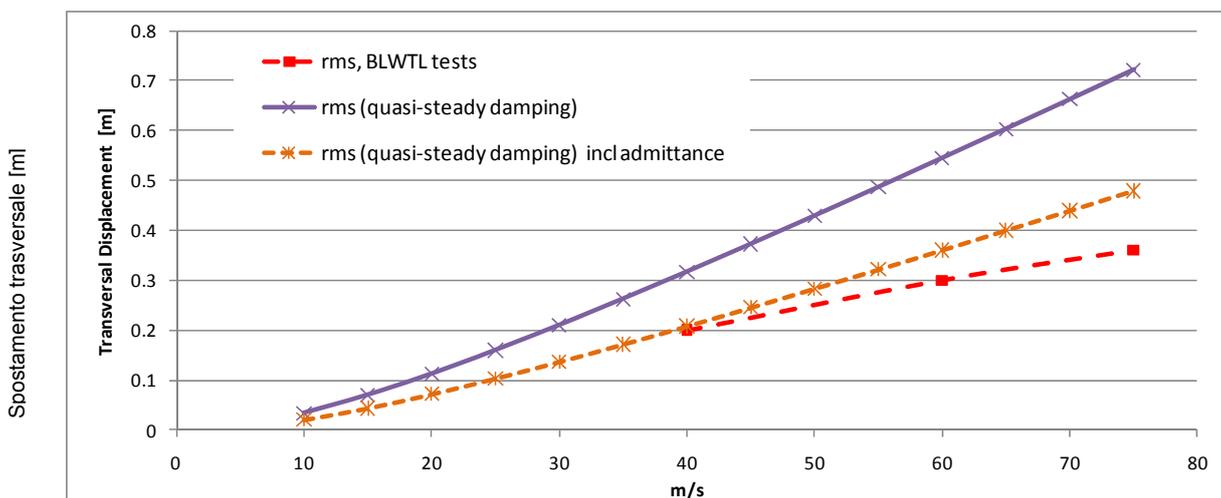


Figura 4.7 Risposta trasversale (orizzontale along wind)  $U_y$  ottenuta dai calcoli sul vento dinamico nel dominio delle frequenze e dalle prove in galleria del vento presso la BLWTL.

La risposta trasversale (along wind) quasi-stazionaria calcolata, Figura 4.7, supera le misurazioni, ma diventa abbastanza concorde con l'introduzione dell'ammettenza aerodinamica.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>

La risposta torsionale nel dominio delle frequenze, Figura 4.8, è assai maggiore, se calcolata sulla base dello smorzamento quasi-stazionario, rispetto a quella calcolata utilizzando le derivate aerodinamiche per la determinazione dello smorzamento torsionale che è simile a ciò che è stato trovato per le misurazioni di risposta sul vento dinamico di FORCE. Aggiungendo l'ammettenza aerodinamica, la risposta calcolata aumenta leggermente.

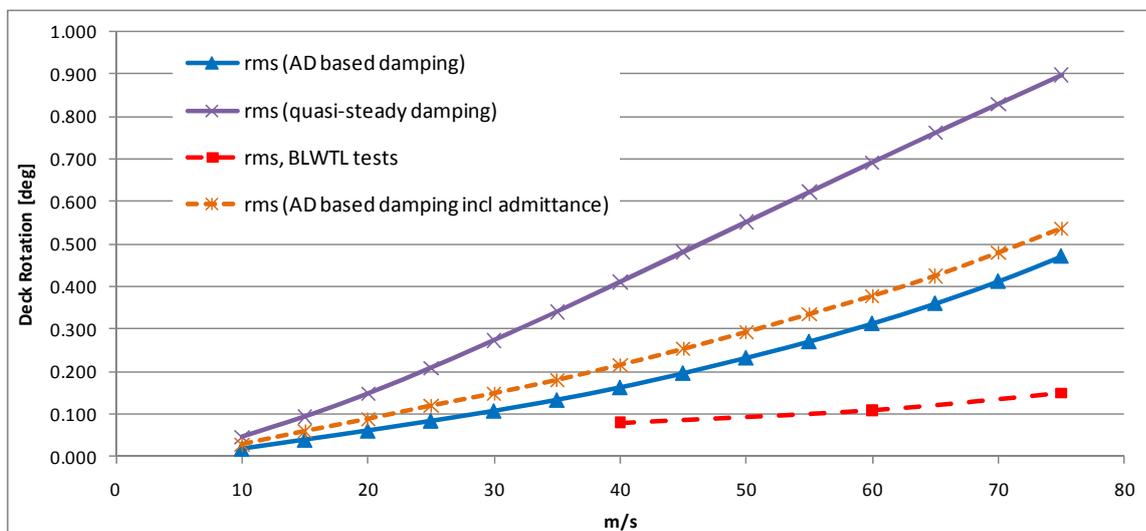


Figura 4.8 Risposta torsionale  $R_s$  ottenuta dai calcoli sul vento dinamico nel dominio delle frequenze e dalle prove in galleria del vento presso BLWTL.

Rotazione dell'impalcato (gradi)

smorzamento basato su smorzamento aerodinamico

smorzamento quasi stazionario

prove BLWTL

smorzamento basato su smorzamento aerodinamico incl. ammettenza

Le analisi nel dominio del tempo del modello-sezione che danno le risposte sugli spostamenti verticale, trasversale e torsionale basati sulle specifiche di turbolenza SdM sono illustrate in Figura 4.9, Figura 4.10 e Figura 4.11. Da questi tracciati, si nota che la risposta verticale e torsionale è buona entro i limiti forniti dall'analisi quasi-stazionaria nel dominio delle frequenze.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Calcoli aerodinamici, buffeting		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

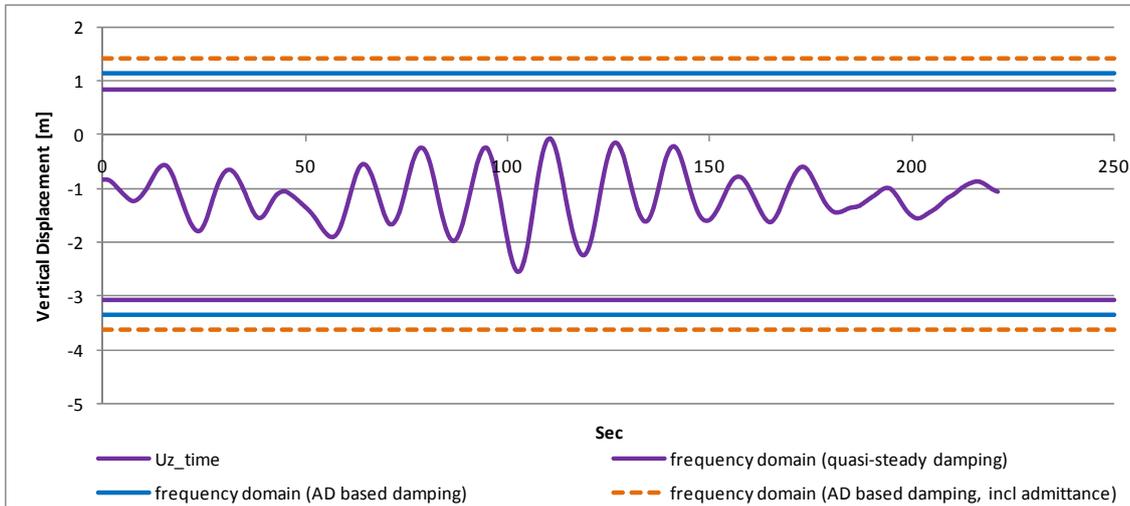


Figura 4.9 Confronto della risposta verticale  $U_z$  ottenuta dalle analisi sul vento dinamico nel dominio delle frequenze e nel dominio temporale .

Spostamento verticale [m]

Tempo  $U_z$

dominio delle frequenze (smorzamento basato sullo smorzamento aerodinamico)

dominio delle frequenze (smorzamento quasi-stazionario)

dominio delle frequenze (smorzamento basato sullo smorzamento aerodinamico incl. ammettenza).

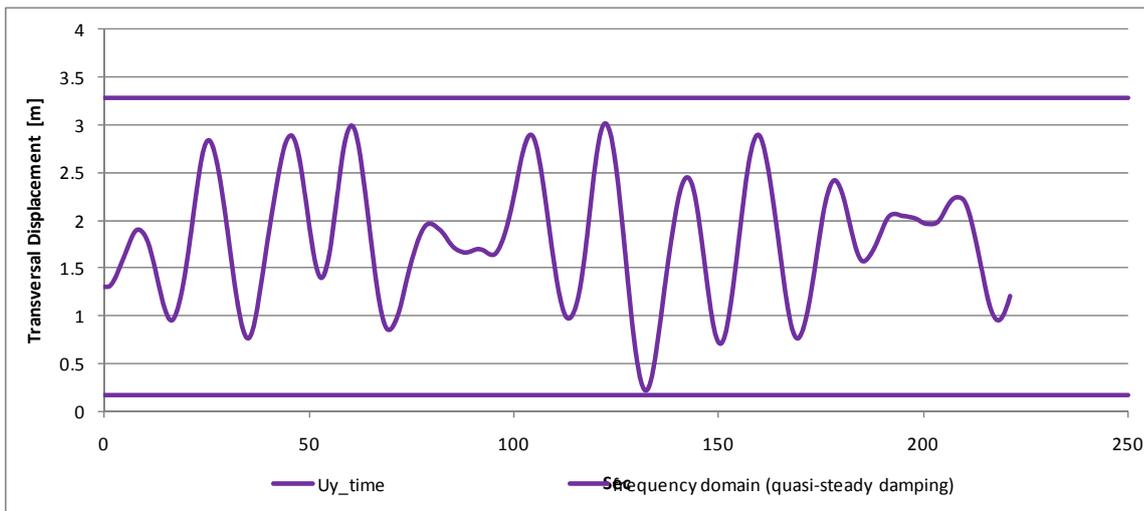


Figura 4.10 Confronto della risposta trasversale (along wind)  $U_y$  ottenuta dalle analisi sul vento dinamico nel dominio della frequenza e del tempo.

tempo  $U_y$

dominio delle frequenze (smorzamento quasi-stazionario)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Calcoli aerodinamici, buffeting		Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>

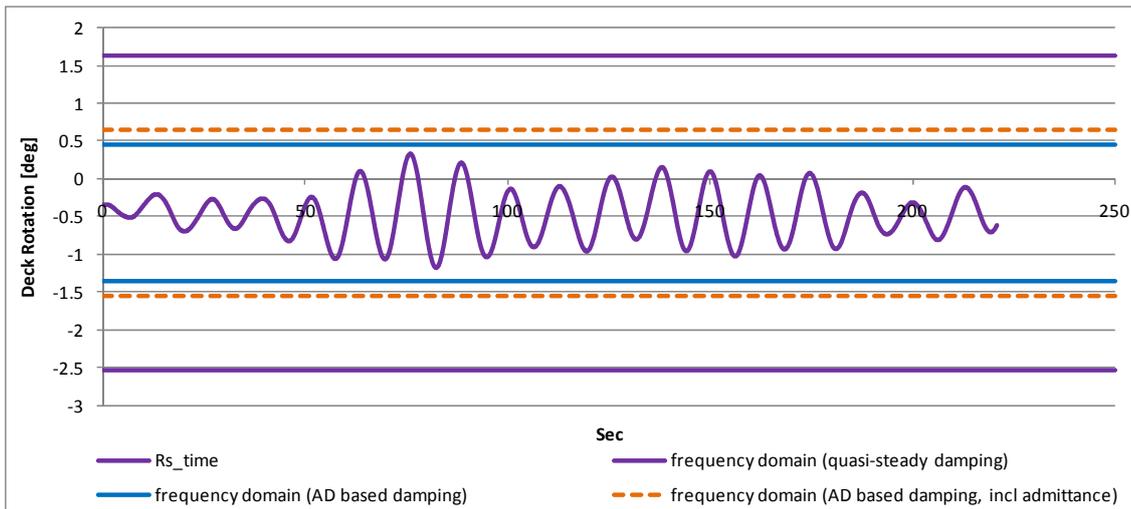


Figura 4.11 Confronto della risposta torsionale  $R_s$  ottenuta dalle analisi sul vento dinamico nel dominio delle frequenze e nel dominio temporale.

Rotazione dell'impalcato [gradi]

Tempo  $R_s$

dominio delle frequenze (smorzamento basato sullo smorzamento aerodinamico)

dominio delle frequenze (smorzamento quasi-stazionario)

dominio delle frequenze (smorzamento basato sullo smorzamento aerodinamico incl. ammettenza).

#### 4.2.2 Campo di turbolenza, BLWTL

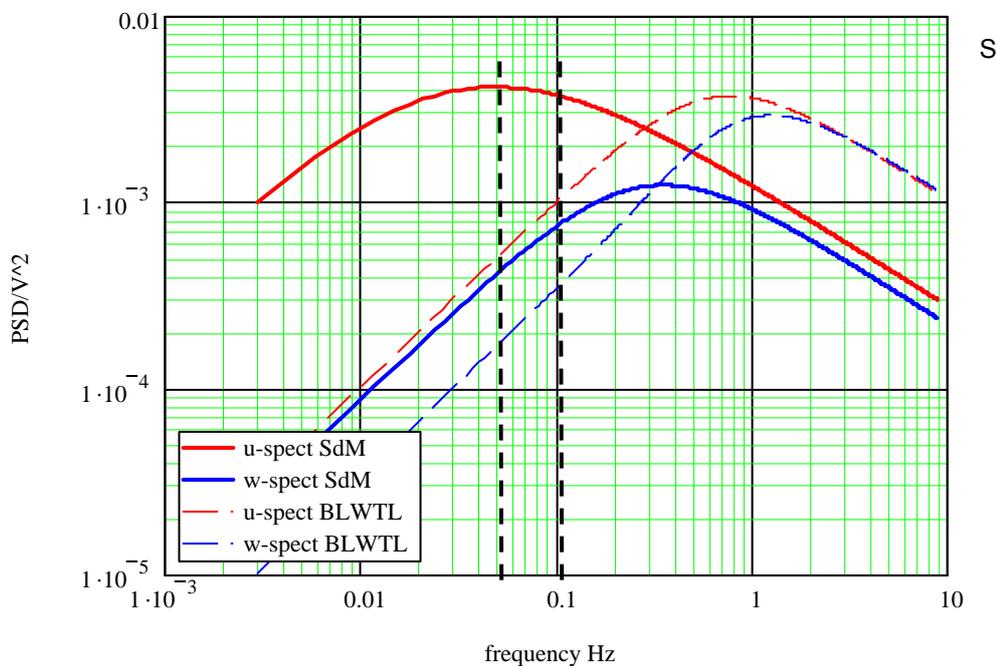
La Figura 4.5 mette a confronto le distribuzioni spettrali di potenza BLWTL normalizzate dalla velocità quadratica media del vento applicata per le analisi nel dominio delle frequenze e nel dominio del tempo. La Tabella 4.2 mette a confronto le scale di lunghezza relative e le esponenti di decadimento della coerenza.

Tabella 4.3 Caratteristiche di turbolenza BLWTL e SdM.

Direzione	Scala di lunghezza		Intensità		Esponente	
	BLWTL	SdM	BLWTL	SdM	BLWTL	SdM
Along wind u	$L_u = 11$ m	$L_u = 177$ m	$I_u = 11.7\%$	$I_u = 13.8\%$	$C_{uy} = 7.4$	$C_{uy} = 10$
Verticale w	$L_w = 5$ m	$L_u = 44$ m	$I_w = 10\%$	$I_u = 6.9\%$	$C_{wy} = 4.8$	$C_{wy} = 6.5$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Per quanto riguarda lo spettro della turbolenza verticale ( $w$ ), che comanda i movimenti verticali e torsionali, si nota che le specifiche SdM superano approssimativamente lo spettro BLWTL di un fattore di 2 nel campo delle frequenze 0,05 - 0,1 Hz, che è interessante per la risposta verticale e torsionale della sezione dell'impalcato. Per la risposta along wind il superamento è dell'ordine di 10 volte. Si prevede quindi che l'analisi nel dominio del tempo possa sovrastimare la risposta nel dominio delle frequenze del modello-sezione calcolato di un fattore di massimo 3.



frequenza

Figura 4.12 Distribuzioni spettrali di potenza della turbolenza longitudinale e verticale normalizzate dalla velocità quadratica media del vento. SdM specification (linee continue spesse), BLWTL (linee sottili tratteggiate).

### 4.3 Conclusioni dai calcoli di risposta sul modello-sezione

Dai calcoli delle risposte del modello-sezione sopra riportati si possono trarre le seguenti conclusioni:

- I calcoli nel dominio delle frequenze quasi-stazionarie mostrano sempre delle risposte più ampie rispetto a quelli nel dominio delle frequenze comprendenti le derivate aerodinamiche misurate e le ammettenze aerodinamiche.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Calcoli aerodinamici, buffeting		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- I calcoli nel dominio delle frequenze quasi-stazionarie mostrano sempre delle risposte più ampie rispetto alle risposte del modello-sezione misurate.
- I calcoli nel dominio delle frequenze quasi-stazionarie mostrano sempre delle risposte più ampie rispetto ai calcoli nel dominio del tempo basati su uno smorzamento aerodinamico quasi-stazionario.

L'ultima conclusione può essere dovuta in parte al fatto della disponibilità e dell'applicazione di una sola realizzazione delle serie temporali del vento per ciascuna condizione di carico e in parte al fatto che le serie temporali del vento ricevute sono più corte delle serie temporali da 10 minuti che vengono comunemente applicate per queste analisi.

Sulla base delle conclusioni sopra riportate, sono state prese le seguenti decisioni per quanto riguarda l'applicazione delle ammettenze aerodinamiche e dei modelli di smorzamento aerodinamico per i calcoli sul vento dinamico per l'intero ponte.

#### **4.3.1 Ammettenza aerodinamica, AA**

Un'ammettenza aerodinamica  $AA(f) = 1$  nell'intero campo delle frequenze porterà a delle risposte prudenti calcolate per l'intera struttura del ponte ed è quindi stata adottata per le valutazioni del carico di progetto.

#### **4.3.2 Smorzamento aerodinamico, AD**

Si è riscontrato che lo smorzamento aerodinamico con gradi di libertà verticale e torsionale basato sulle derivate aerodinamiche misurate meglio combacia con le misurazioni dirette. Lo smorzamento aerodinamico basato sulle derivate aerodinamiche misurate (FORCE) è stato quindi adottato per i calcoli sul vento dinamico nel dominio delle frequenze per l'intera struttura del ponte usati per le valutazioni dei carichi di progetto. Lo smorzamento aerodinamico along wind è stato valutato sulla base di assunzioni quasi-stazionarie, vale a dire che lo smorzamento aerodinamico è proporzionale al coefficiente di trascinamento con un'incidenza del vento di 0 gradi.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5 Analisi sul vento dinamico per l'intero ponte

Il presente paragrafo mostra un confronto della risposta strutturale analizzata con il dominio del tempo e Dynwind (dominio delle frequenze) per l'intero ponte.

Viene considerato solo il vento trasversale (y+ dir) in quanto le storie temporali hanno la direzione primaria perpendicolare al ponte. Gli spostamenti della struttura calcolati si trovano nei gradi di libertà trasversale (y dir), verticale (z dir) di rotazione (Rs dir).

### 5.1 Campo del vento turbolento

Il campo del vento turbolento nei calcoli nel dominio della frequenza è stato messo a punto secondo le specifiche fornite da SdM [7].

I profili del vento medi per le condizioni SLS1, SLS2, ULS e SILS sono indicati nella Figura 5.1.

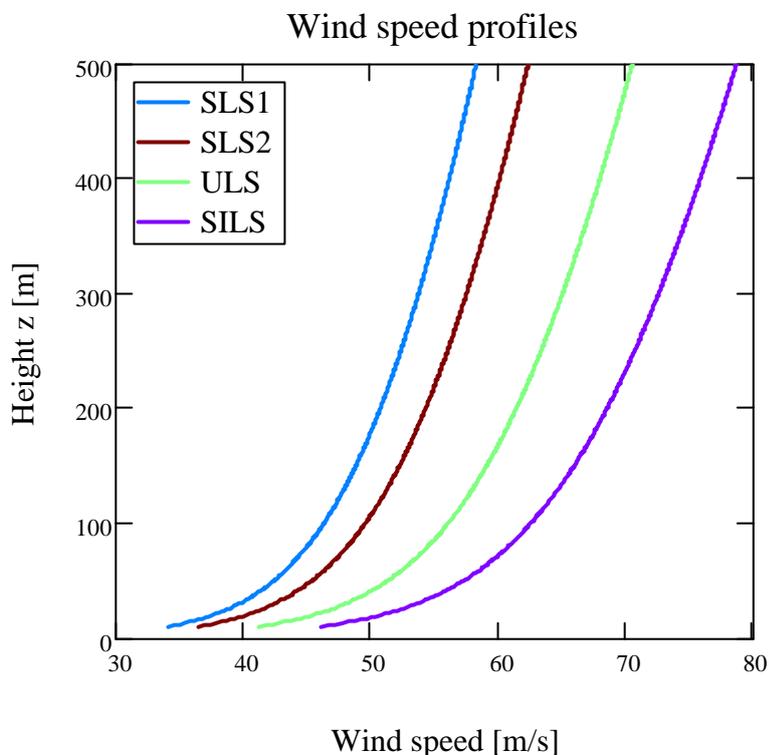


Figura 5.1 Velocità media del vento in funzione del livello sopra terra

Profili di velocità del vento

Altezza z

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>Calcoli aerodinamici, buffeting</b>		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Velocità del vento

La scala di lunghezza e le intensità della turbolenza sono indicate in

lunghezza

Intensità della turbolenza

Figura 5.2

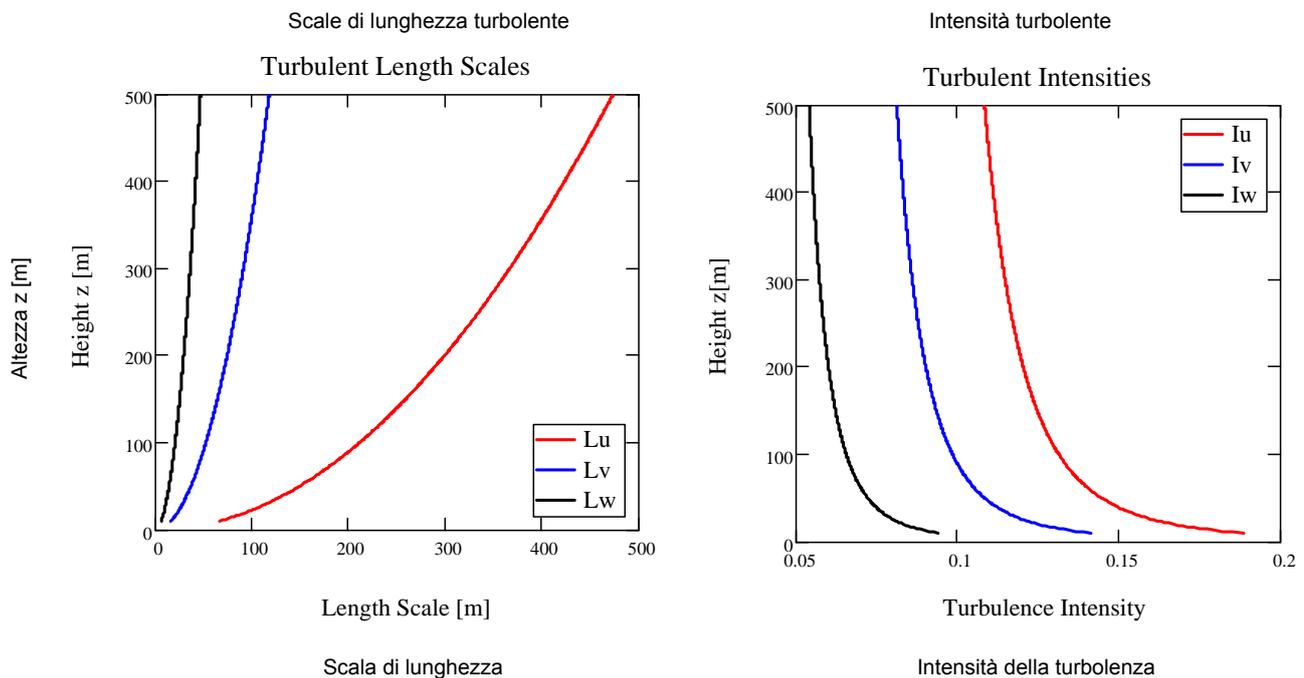


Figura 5.2 Scale di lunghezza e intensità della turbolenza specificate da SdM

Infine, nella Figura 5.3, sono riportati gli spettri di turbolenza along wind, del vento trasversale e verticale corrispondenti alla condizione SILS.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

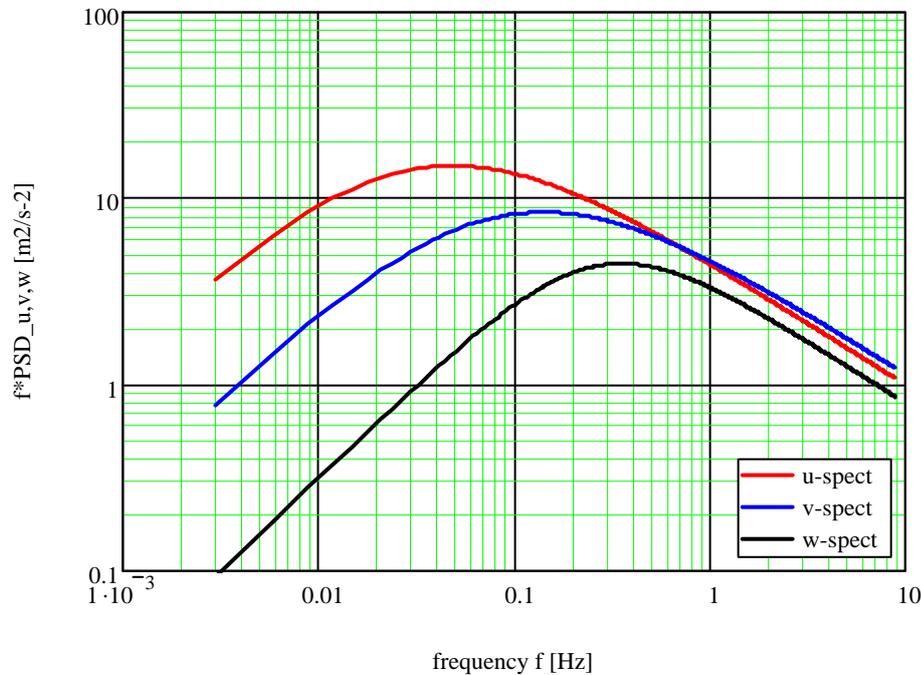


Figura 5.3 Spettri di turbolenza per la condizione SILS specificati da SdM

La coerenza spaziale delle turbolenza viene indicata sotto forma di espressioni esponenziali convenzionali con i coefficienti di decadimento elencati nella Tabella 5.1.

Tabella 5.1 Esponenti di decadimento specificati da SdM

Componente della turbolenza	x - dir. along wind	y - dir. vento trasversale	z - dir. verticale
Along wind u	$C_{ux} = 3$	$C_{uy} = 10$	$C_{wx} = 0.5$
Vento trasversale v	$C_{vx} = 3$	$C_{vy} = 6.5$	$C_{wy} = 6.5$
Verticale w	$C_{wx} = 0.5$	$C_{wy} = 6.5$	$C_{wz} = 3$

## 5.2 Ammettenze aerodinamiche nelle analisi nel dominio delle frequenze

L'analisi nel dominio delle frequenze sul modello dell'intero ponte è stata valutata usando l'assunzione quasi-stazionaria per lo smorzamento aerodinamico along wind (trasversale), ma gli

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Calcoli aerodinamici, buffeting		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

smorzamenti aerodinamici misurati per gli smorzamenti aerodinamici verticali e torsionali. Per il confronto con i calcoli nel dominio del tempo sono stati usati tre diversi input di ammettenza:

- 1) Nessuna ammettenza
- 2) Ammettenza basata su FORCE
- 3) Ammettenza basata su BLWTL

L'analisi della storia temporale non tiene conto dell'ammettenza, per cui questi risultati possono essere direttamente confrontati con i valori di "nessuna ammettenza", ad eccezione dell'effetto dello smorzamento aerodinamico che è verosimilmente importante per la risposta torsionale. Inoltre, nella progettazione del ponte, è stata applicata l'analisi nel dominio delle frequenze in condizioni di "nessuna ammettenza" che si è dimostrata essere la condizione più prudente.

### **5.3 Risposta al vento medio**

La risposta delle strutture al vento turbolento calcolata nel dominio delle frequenze si compone di una risposta statica al vento medio associata ad una risposta dinamica alla turbolenza.

La risposta al vento medio del cassone del ponte rispetto alle 4 condizioni di carico esaminate è riportata nella Figura 5.4, Figura 5.5 e Figura 5.6.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev F0	Data 20/06/2011

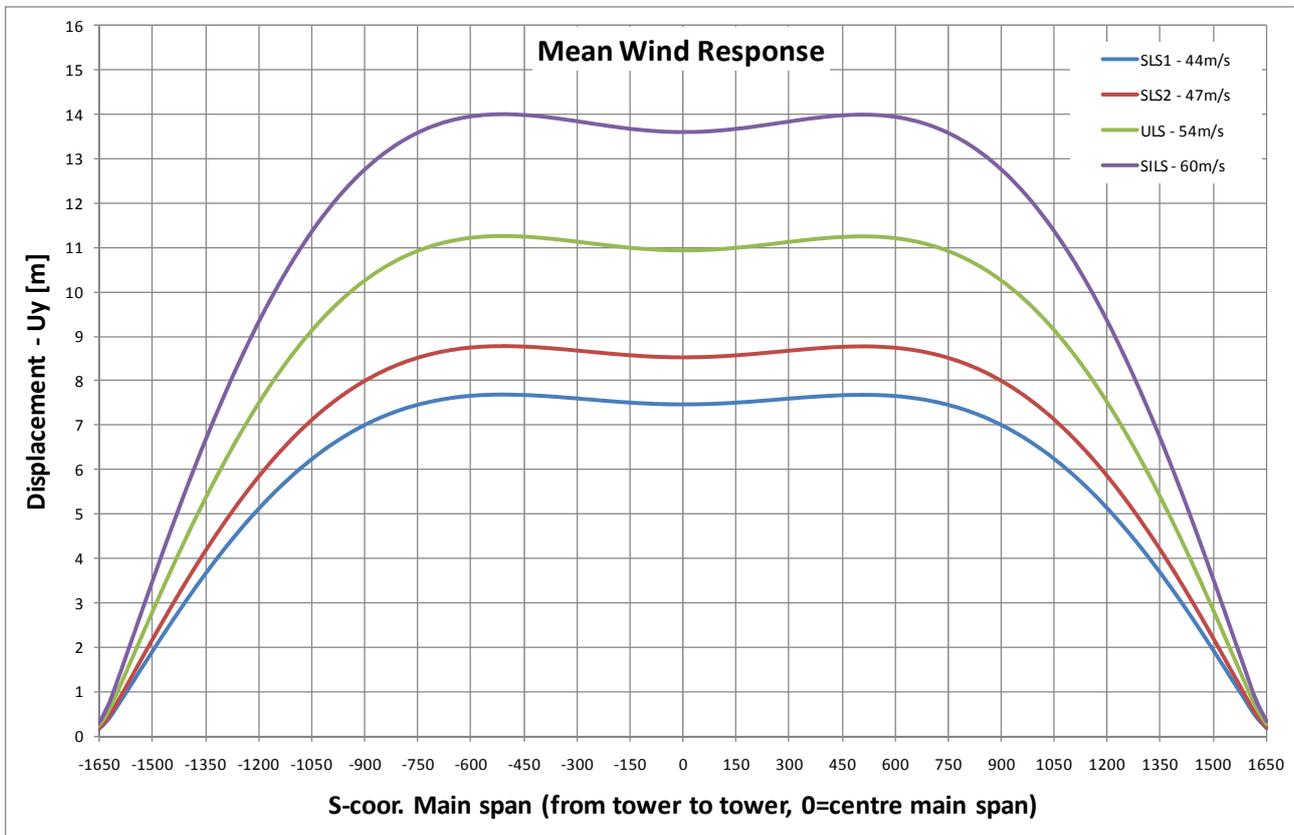


Figura 5.4 Spostamento orizzontale (along wind) del cassone del ponte nelle condizioni di carico SLS1, SLS2, ULS e SILS.

Risposta al vento medio

Spostamento - Uy

S-coor. Campata principale (da torre a torre, 0 = al centro della campata principale)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev F0	Data 20/06/2011

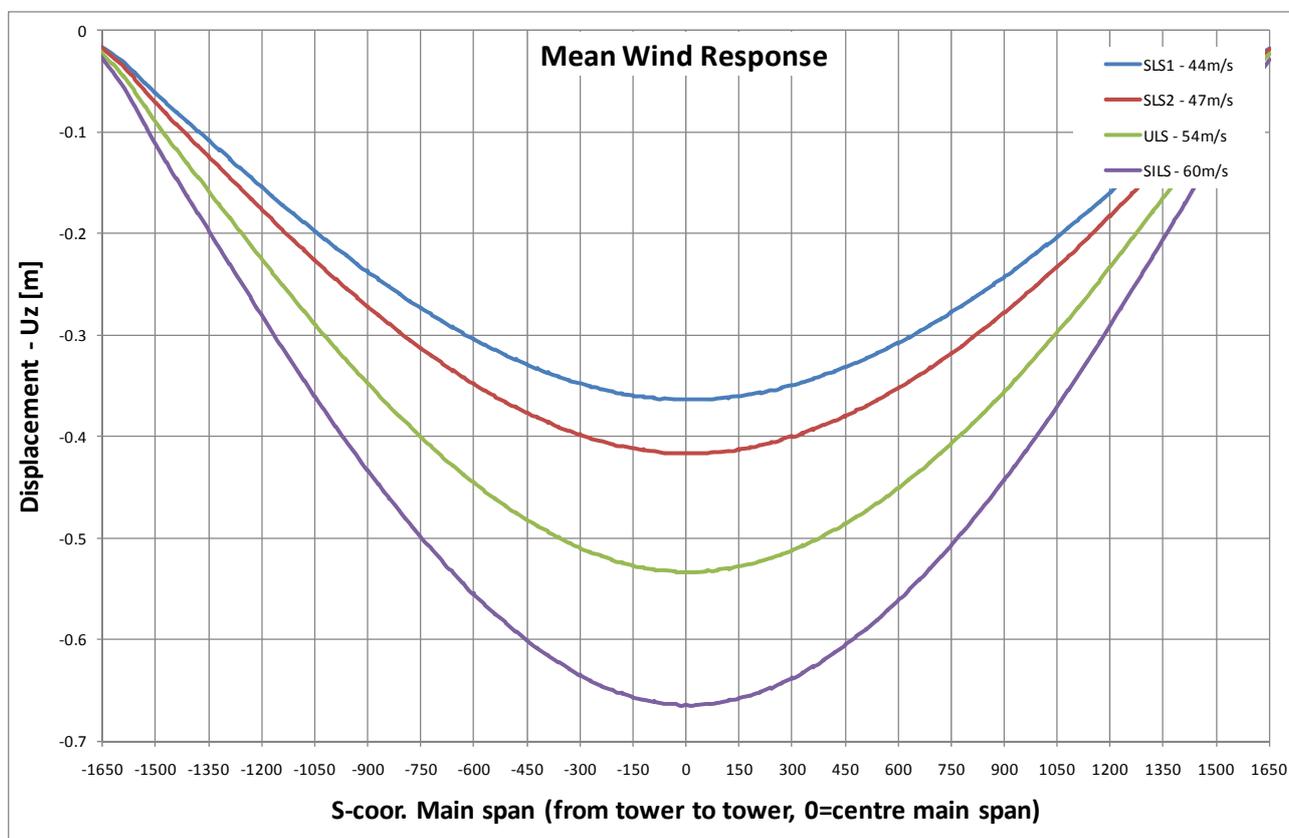


Figura 5.5 Spostamento verticale del cassone del ponte nelle condizioni di carico SLS1, SLS2, ULS e SILS.

Risposta al vento medio

Spostamento - Uy

S-coor. Campata principale (da torre a torre, 0 = al centro della campata principale)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev F0	Data 20/06/2011

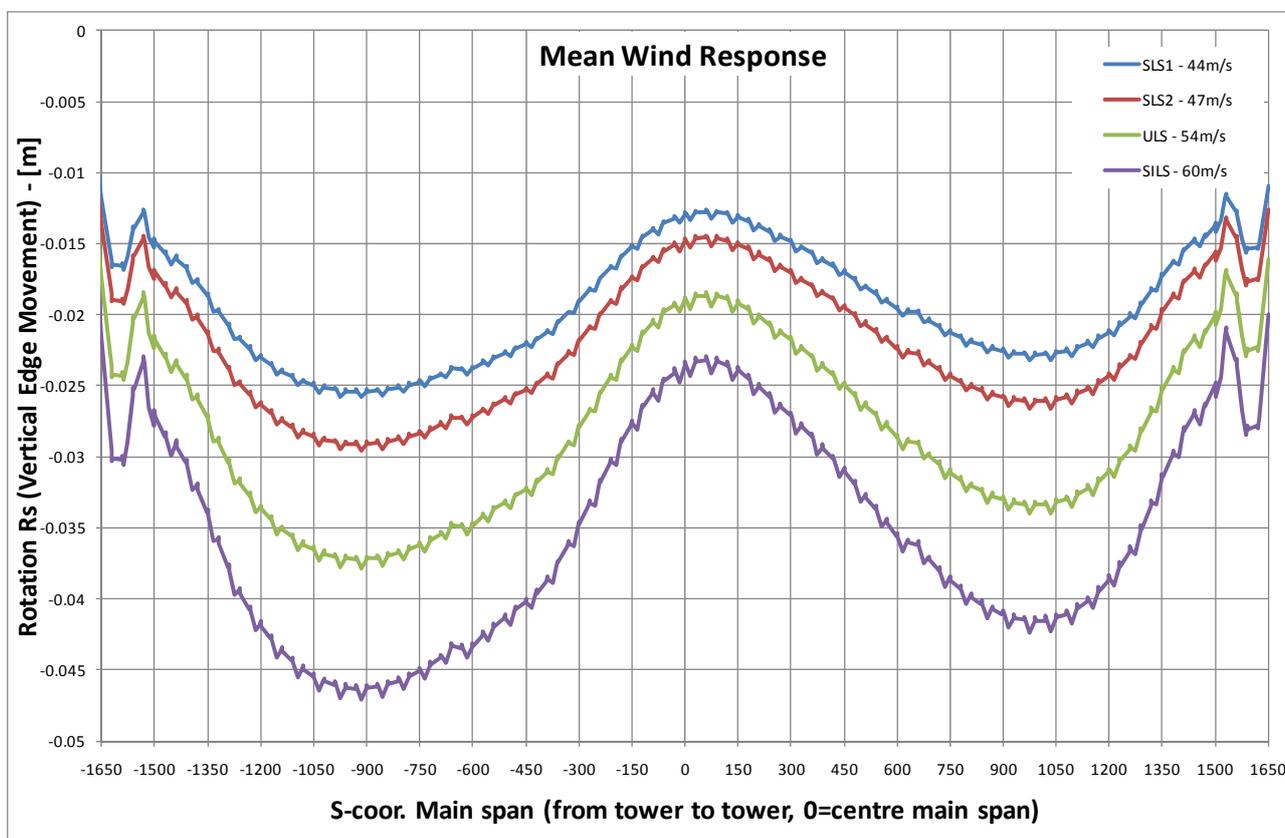


Figura 5.6 Spostamento angolare del cassone del ponte nelle condizioni di carico SLS1, SLS2, ULS e SILS.

Risposta al vento medio

Rotazione Rs (Movimento verticale ai bordi)

S-coor. Campata principale (da torre a torre, 0 = al centro della campata principale)

## 5.4 Forme del modo per l'analisi nel dominio delle frequenze

La risposta dinamica del ponte si compone principalmente della risposta risonante di una serie di diversi autostati di movimento eccitati dal vento turbolento. Le frequenze dominanti che contribuiscono alla risposta al vento dinamico sono i primi pochi modi flessionali e torsionali, vale a dire al di sotto di ca. 0,2 Hz, come indicato nella Figura 5.7. Il calcolo nel dominio delle frequenze sotto riportato comprende un totale di 100 autostati.

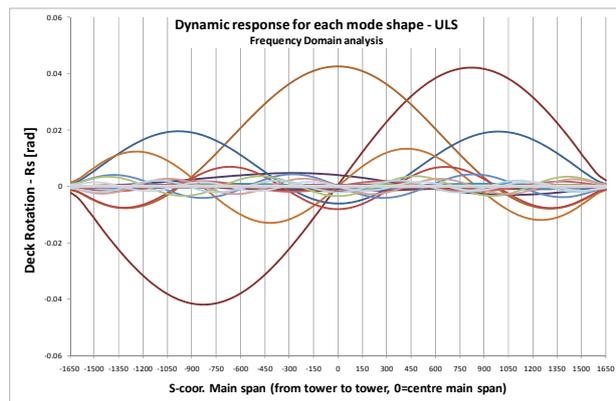
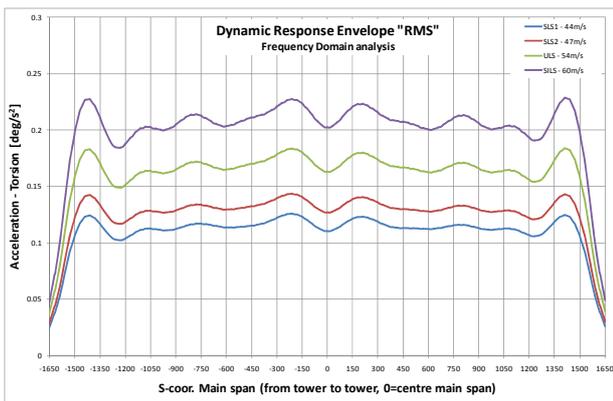
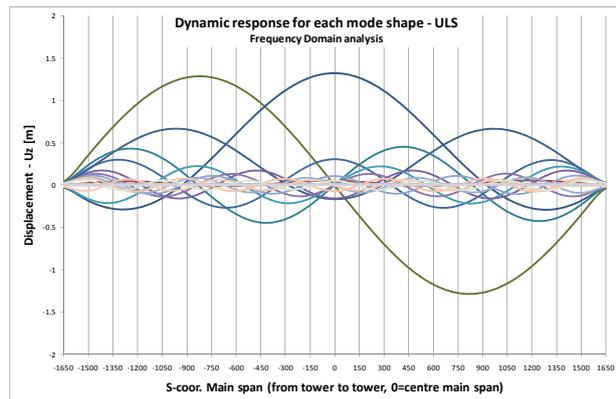
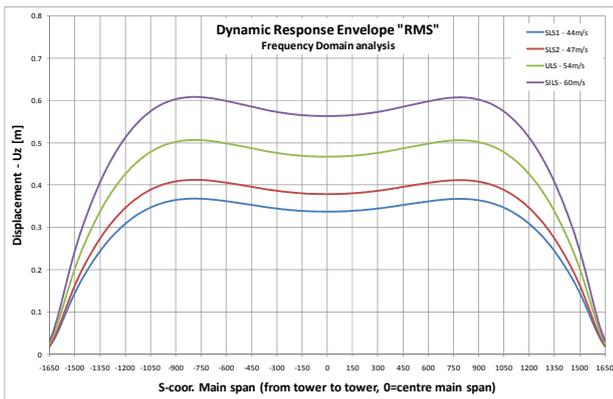
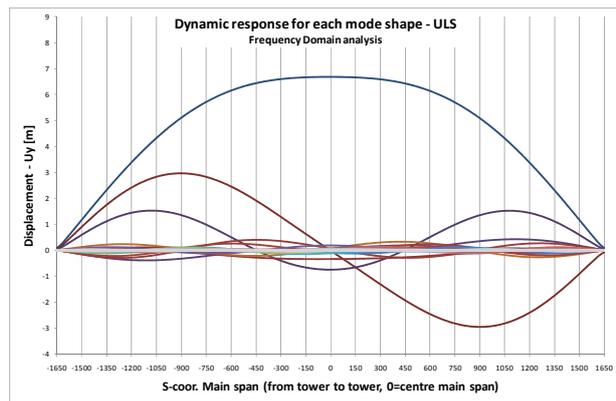
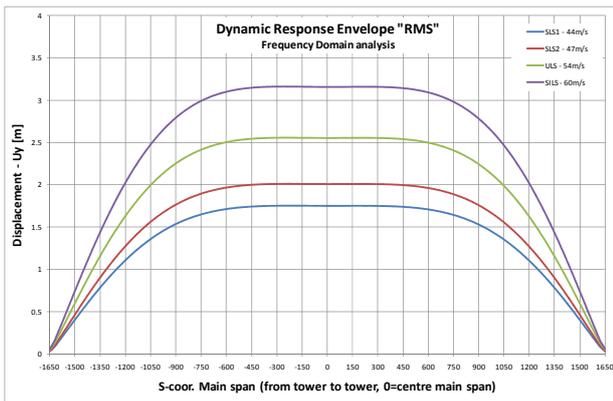


Figura 5.7 Spostamenti in rms verticali (laterali), verticali e torsionali e relativi modi dominanti nell'analisi del buffeting .

Envelope di risposta dinamica "RMS"

Analisi nel dominio delle frequenze

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>Calcoli aerodinamici, buffeting</b>		<i>Codice documento</i> <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20/06/2011</i>

Spostamento

S-coor. Campata principale (da torre a torre, 0 = al centro della campata principale)

Risposta dinamica per ciascuna forma di modo

Analisi nel dominio delle frequenze

Spostamento

S-coor. Campata principale (da torre a torre, 0 = al centro della campata principale)

Envelope di risposta dinamica "RMS"

Analisi nel dominio delle frequenze

Accelerazione - torsione

S-coor. Campata principale (da torre a torre, 0 = al centro della campata principale)

Risposta dinamica per ciascuna forma di modo

Analisi nel dominio delle frequenze

Rotazione dell'impalcato

S-coor. Campata principale (da torre a torre, 0 = al centro della campata principale)

Sebbene le ammettenze misurate, ved. punto 2.3 e [1], siano considerevolmente al di sopra di 1 nel caso di frequenze maggiori e possa sembrare quindi obbligatorio il loro uso nei calcoli invece di non includere affatto l'ammettenza (ad es. usando un'ammettenza = 1), risulta evidente dai tracciati della Figura 5.7 che sono le frequenze più basse a dominare le risposte al buffeting. Le frequenze di questi modi più bassi si trovano nel campo in cui le ammettenze misurate sono inferiori a 1. Quindi, l'uso della non ammettenza sarà una scelta prudente come effettivamente confermato dai calcoli riportati nei paragrafi seguenti.

Le accelerazioni quadratiche medie calcolate lungo la campata principale sono indicate nella Figura 5.8, Figura 5.9, e Figura 5.10 seguenti.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>

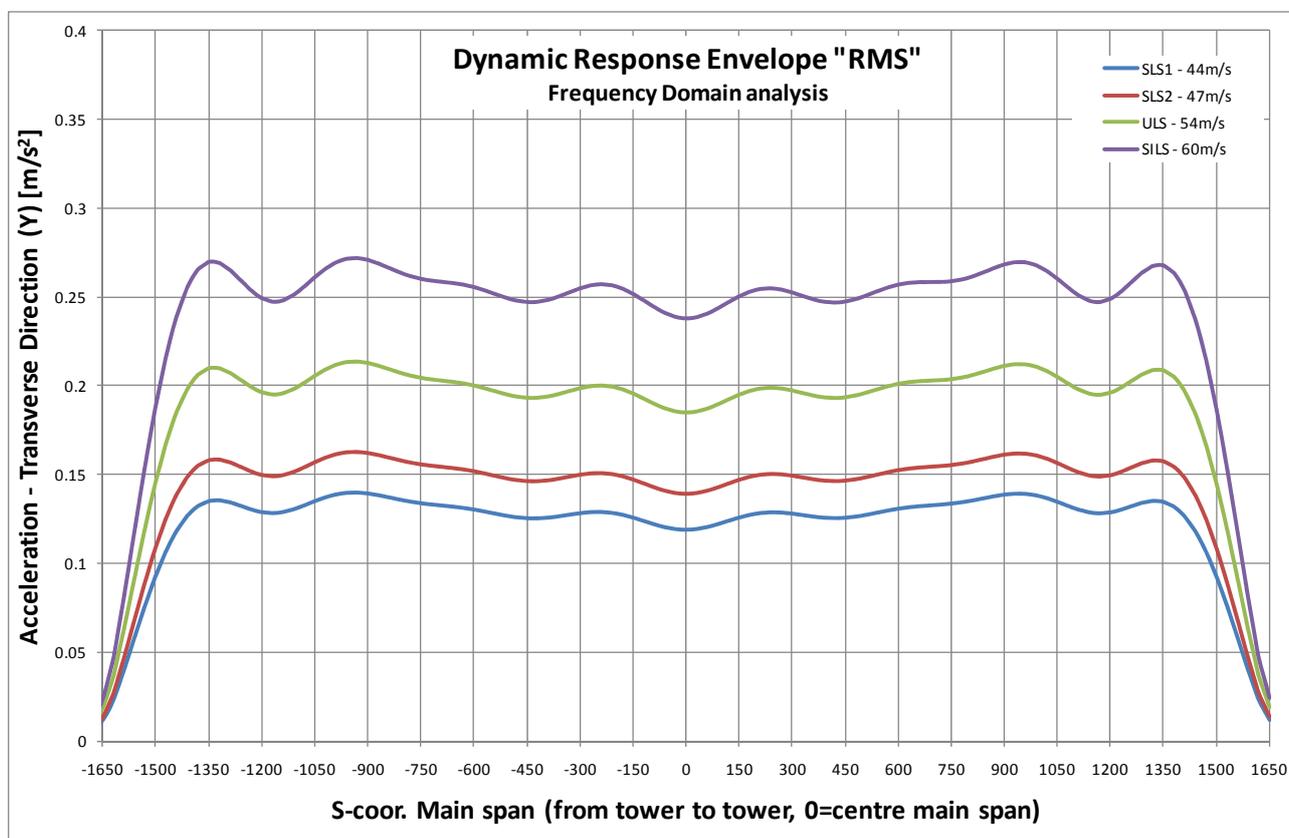


Figura 5.8 Accelerazioni RMS orizzontali lungo la campata.

Envelope di risposta dinamica "RMS"

Analisi nel dominio delle frequenze

Accelerazione - Direzione trasversale

S-coor. Campata principale (da torre a torre, 0 = al centro della campata principale)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev F0	Data 20/06/2011

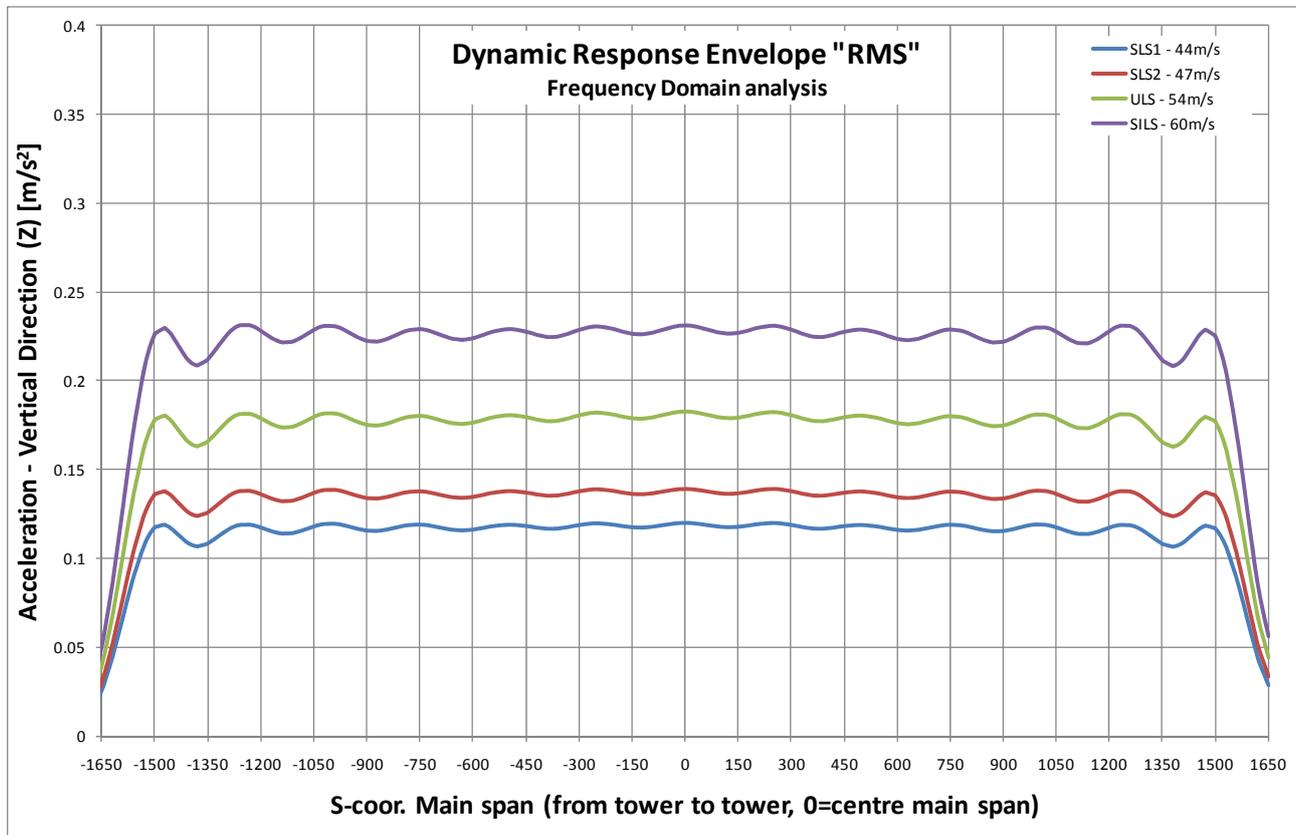


Figura 5.9 Accelerazioni RMS verticali lungo la campata nella mezzeria del cassone ferroviario.

Envelope di risposta dinamica "RMS"

Analisi nel dominio delle frequenze

Accelerazione - Direzione verticale

S-coor. Campata principale (da torre a torre, 0 = al centro della campata principale)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

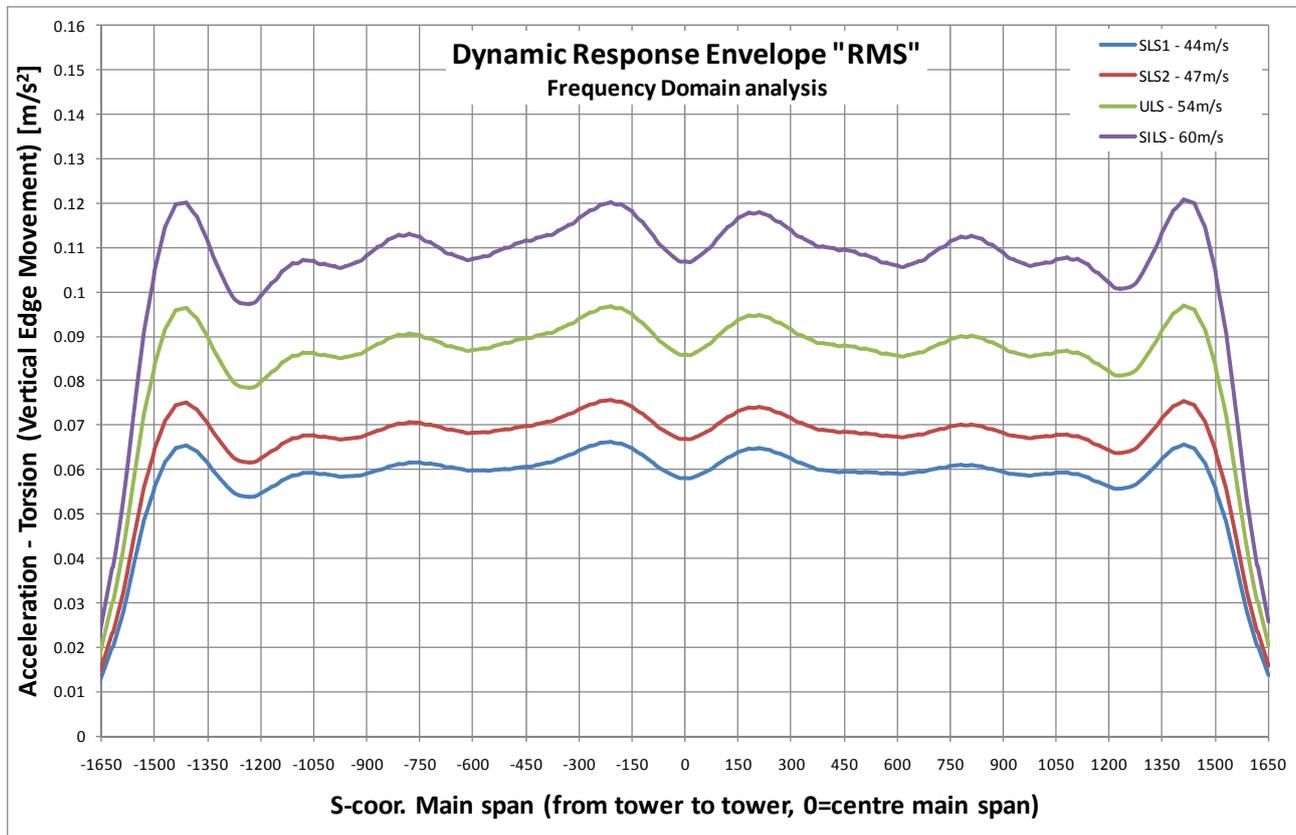


Figura 5.10 Frecche dei bordi verticali RMS lungo la campata dovute ad avviticciamento del cassone

Envelope di risposta dinamica "RMS"

Analisi nel dominio delle frequenze

Accelerazione - torsione (movimento dei bordi verticali)

S-coor. Campata principale (da torre a torre, 0 = al centro della campata principale)

## 5.5 Frecche e rotazioni in corrispondenza della campata principale centrale (S = 0)

Mentre le accelerazioni quadratiche medie sono importanti per il comfort dell'uomo, gli spostamenti estremi sono determinanti per le sollecitazioni nella struttura.

Il risultato dell'analisi del buffeting è indicato nelle figure che seguono nelle condizioni di carico SLS1, SLS2, ULS e SILS. Le frecche riportate sono trasversali  $U_y$ , verticali  $U_z$  e rotazionale  $R_s$ .

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev F0	Data 20/06/2011

I grafici seguenti mettono a confronto le risposte nel dominio delle frequenze ottenute con lo smorzamento aerodinamico basato sulle derivate aerodinamiche misurate, mentre le risposte nel dominio del tempo sono basate sulle stime quasi-stazionarie dello smorzamento aerodinamico. Con riferimento alla Figura 4.2 si prevede che le simulazioni nel dominio del tempo sovrastimino le risposte rispetto ai calcoli nel dominio delle frequenze in quanto lo smorzamento aerodinamico torsionale basato sulle derivate aerodinamiche misurate è all'incirca il doppio dello smorzamento aerodinamico torsionale basato sull'assunzione quasi-stazionaria.

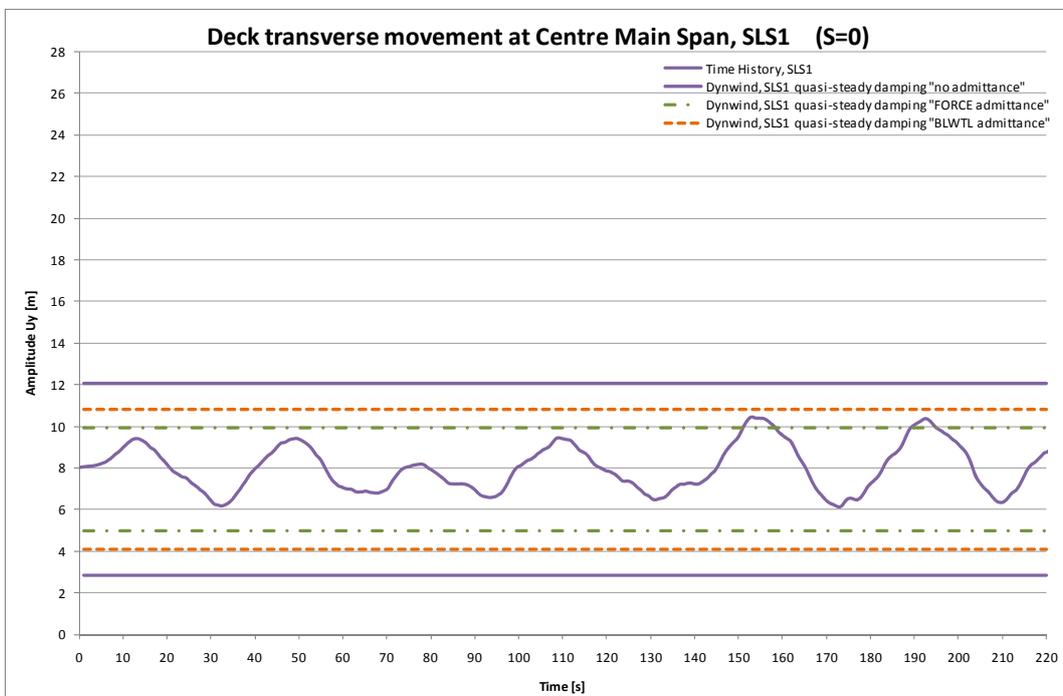


Figura 5.11 Buffeting rispetto alla risposta orizzontale, SLS1.

Movimento trasversale dell'impalcato in corrispondenza della campata principale centrale

Storia temporale, SLS1

Dynwind, SLS1 smorzamento quasi-statico "nessuna ammettenza"

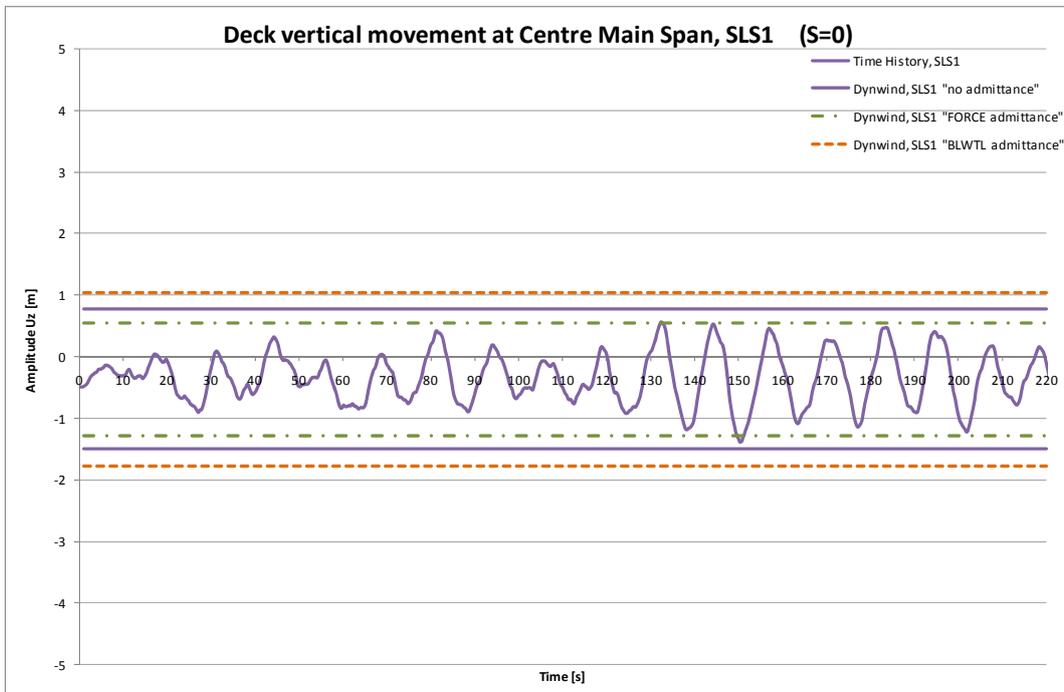
Dynwind, SLS1 smorzamento quasi-statico "ammettenza FORCE"

Dynwind, SLS1 smorzamento quasi-statico "ammettenza BLWTL"

Ampiezza

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>



*Figura 5.12 Buffeting rispetto alla risposta verticale, SLS1.*

Movimento verticale dell'impalcato in corrispondenza della campata principale centrale

Storia temporale, SLS1

Dynwind, SLS1 "nessuna ammettenza"

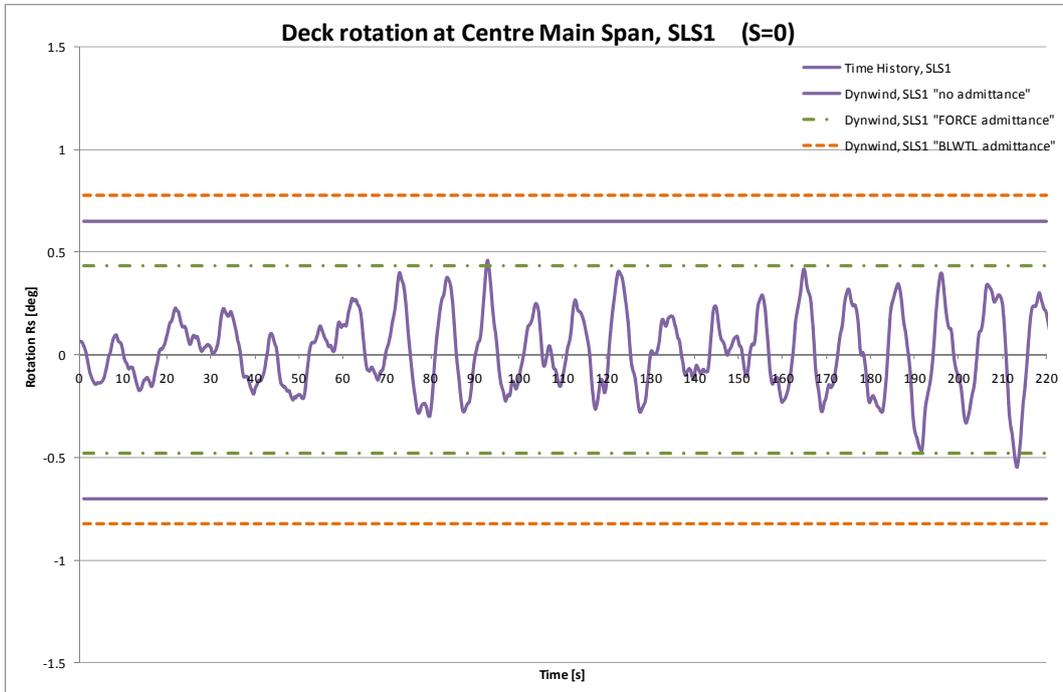
Dynwind, SLS1 "ammettenza FORCE"

Dynwind, SLS1 "ammettenza BLWTL"

Ampiezza

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
Calcoli aerodinamici, buffeting		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						



*Figura 5.13 Buffeting rispetto alla risposta torsionale, SLS1.*

Rotazione dell'impalcato in corrispondenza della campata principale centrale

Storia temporale, SLS1

Dynwind, SLS1 "nessuna ammettenza"

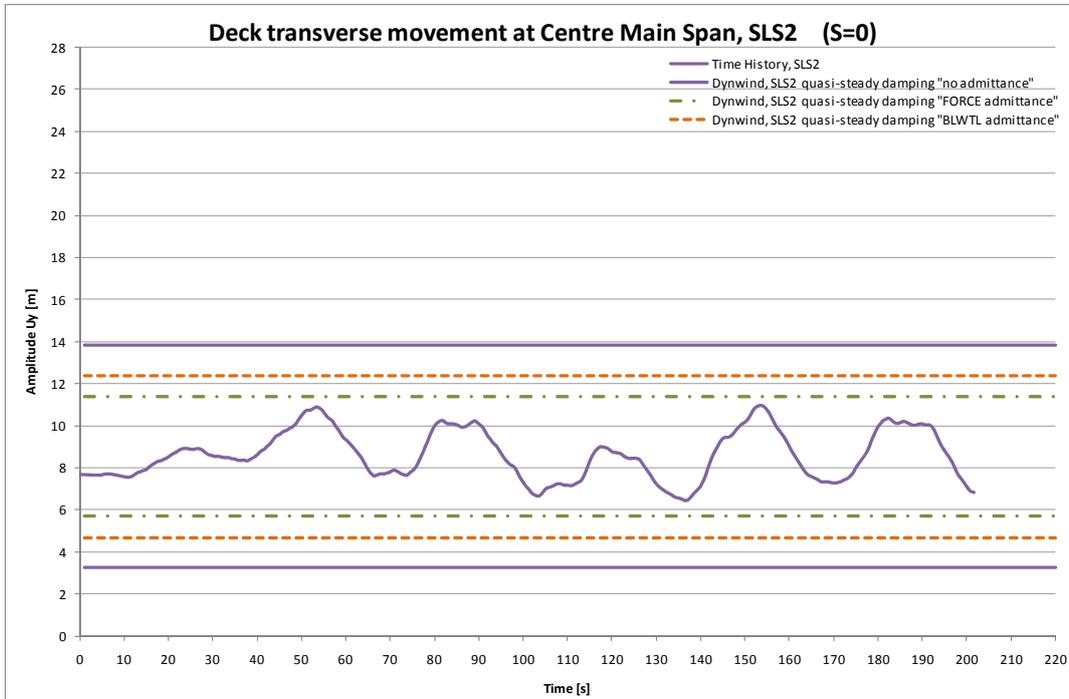
Dynwind, SLS1 "ammettenza FORCE"

Dynwind, SLS1 "ammettenza BLWTL"

Rotazione

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
Calcoli aerodinamici, buffeting		Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Rev</th> <th style="text-align: left;">Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	F0	20/06/2011
Rev	Data						
F0	20/06/2011						



*Figura 5.14 Buffeting rispetto alla risposta orizzontale, SLS2.*

Movimento trasversale dell'impalcato in corrispondenza della campata principale centrale

Storia temporale, SLS2

Dynwind, SLS2 smorzamento quasi-statico "nessuna ammettenza"

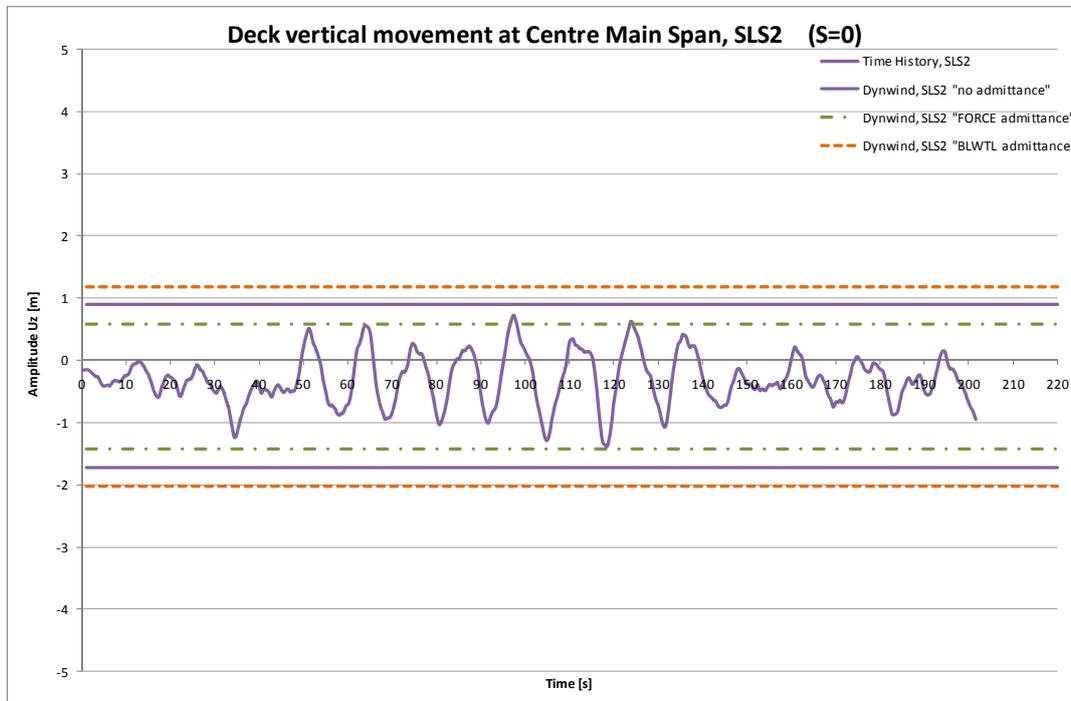
Dynwind, SLS2 smorzamento quasi-statico "ammettenza FORCE"

Dynwind, SLS2 smorzamento quasi-statico "ammettenza BLWTL"

Ampiezza

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
Calcoli aerodinamici, buffeting		Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Rev</th> <th style="text-align: left;">Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	F0	20/06/2011
Rev	Data						
F0	20/06/2011						



*Figura 5.15 Buffeting rispetto alla risposta verticale, SLS2.*

Movimento verticale dell'impalcato in corrispondenza della campata principale centrale

Storia temporale, SLS2

Dynwind, SLS2 "nessuna ammettenza"

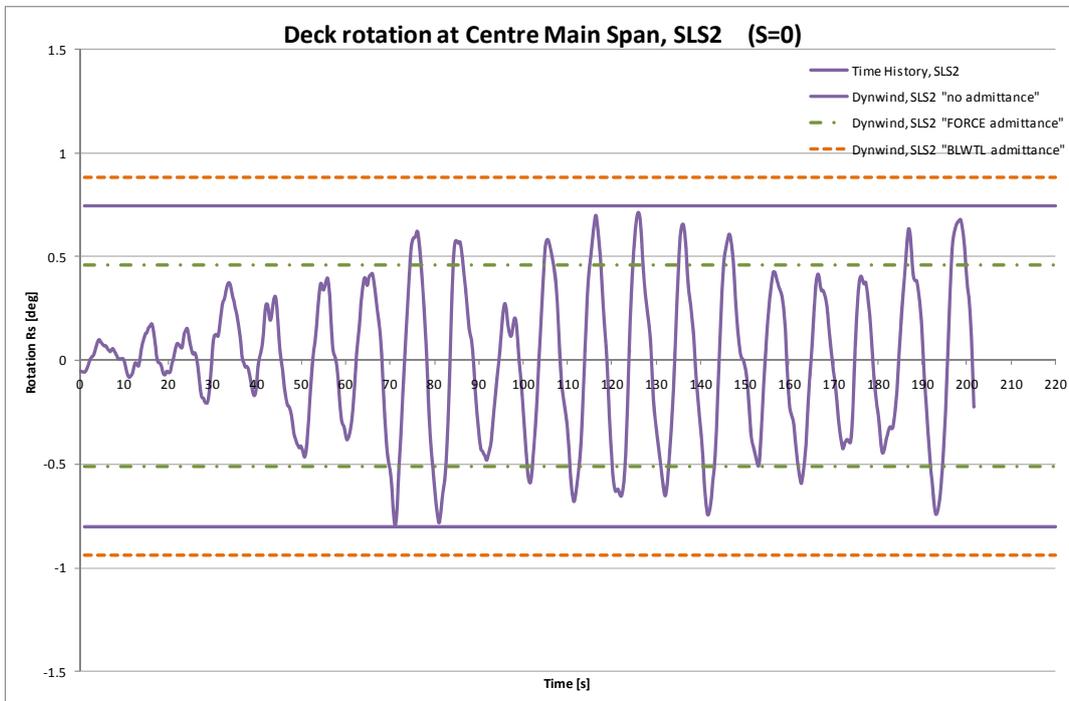
Dynwind, SLS2 "ammettenza FORCE"

Dynwind, SLS2 "ammettenza BLWTL"

Ampiezza

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>



*Figura 5.16 Buffeting rispetto alla risposta torsionale, SLS2.*

Rotazione dell'impalcato in corrispondenza della campata principale centrale

Storia temporale, SLS2

Dynwind, SLS2 "nessuna ammettenza"

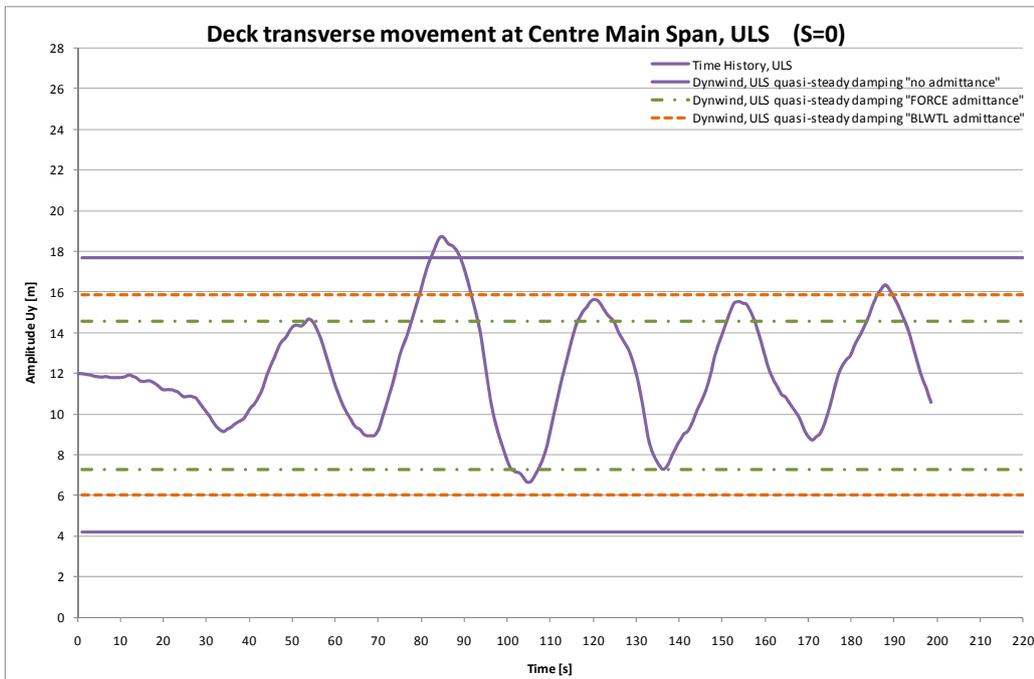
Dynwind, SLS2 "ammettenza FORCE"

Dynwind, SLS2 "ammettenza BLWTL"

Rotazione

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
Calcoli aerodinamici, buffeting		Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Rev</th> <th style="text-align: left;">Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	F0	20/06/2011
Rev	Data						
F0	20/06/2011						



*Figura 5.17 Buffeting rispetto alla risposta orizzontale, ULS.*

Movimento trasversale dell'impalcato in corrispondenza della campata principale centrale

Storia temperatae, ULS

Dynwind, USL smorzamento quasi-statico "nessuna ammettenza"

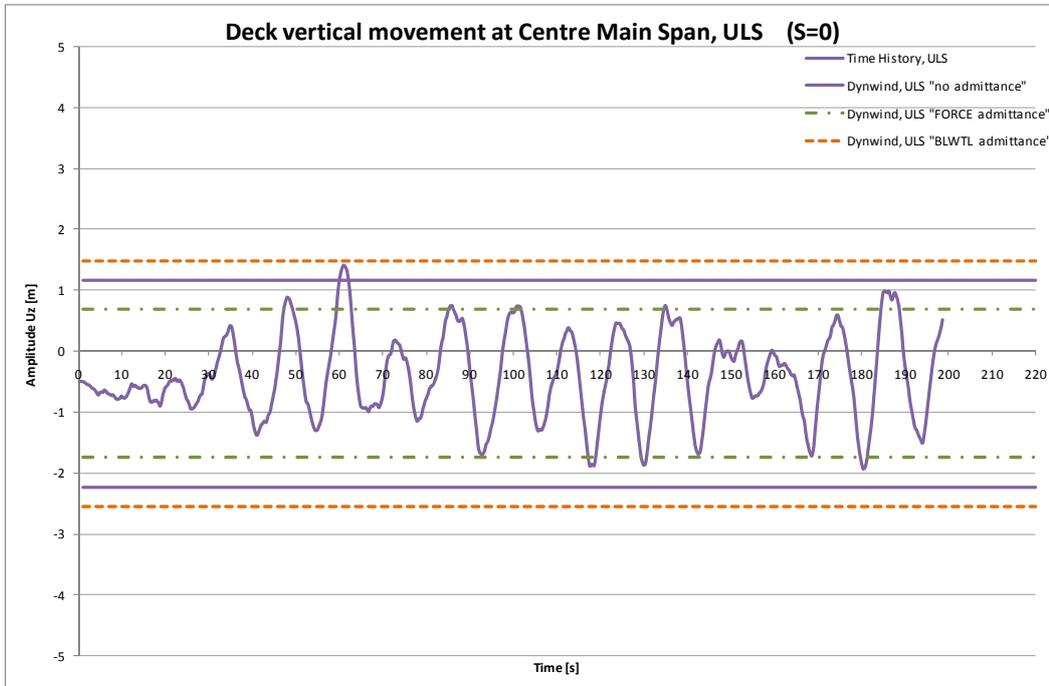
Dynwind, USL smorzamento quasi-statico "ammettenza FORCE"

Dynwind, USL smorzamento quasi-statico "ammettenza BLWTL"

Ampiezza

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
Calcoli aerodinamici, buffeting		Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Rev</th> <th style="text-align: left;">Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	F0	20/06/2011
Rev	Data						
F0	20/06/2011						



*Figura 5.18 Buffeting rispetto alla risposta verticale, ULS.*

Movimento verticale dell'impalcato in corrispondenza della campata principale centrale

Storia temporale, ULS

Dynwind, ULS "nessuna ammettenza"

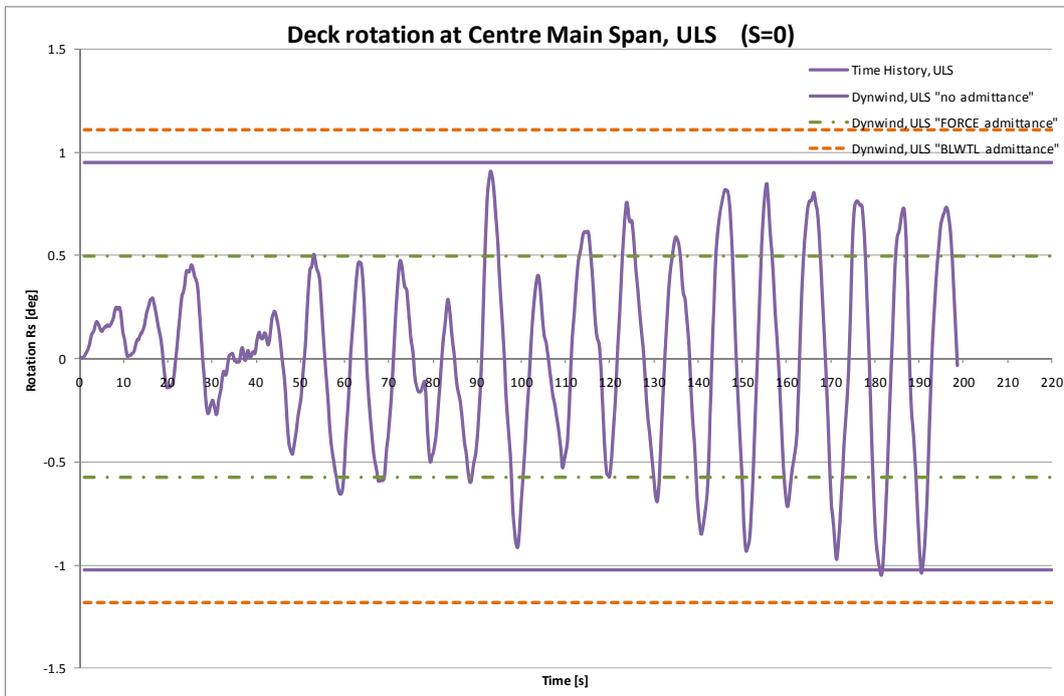
Dynwind, ULS "ammettenza FORCE"

Dynwind, ULS "ammettenza BLWTL"

Ampiezza

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>



*Figura 5.19 Buffeting rispetto alla risposta torsionale, ULS.*

Rotazione dell'impalcato in corrispondenza della campata principale centrale

Storia temporale, ULS

Dynwind, "nessuna ammettenza"

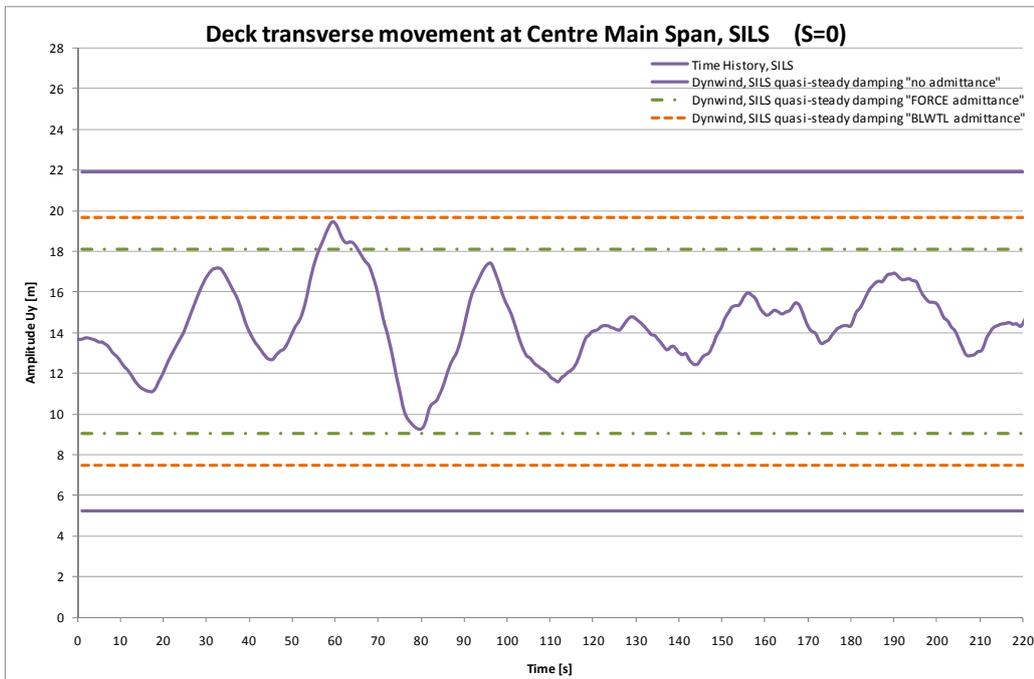
Dynwind, ULS "ammettenza FORCE"

Dynwind, ULS "ammettenza BLWTL"

Rotazione

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
Calcoli aerodinamici, buffeting		Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Rev</th> <th style="text-align: left;">Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	F0	20/06/2011
Rev	Data						
F0	20/06/2011						



**Figura 5.20** Buffeting rispetto alla risposta orizzontale, SILS

Movimento trasversale dell'impalcato in corrispondenza della campata principale centrale

Storia temperatae, SILS

Dynwind, SILS smorzamento quasi-statico "nessuna ammettenza"

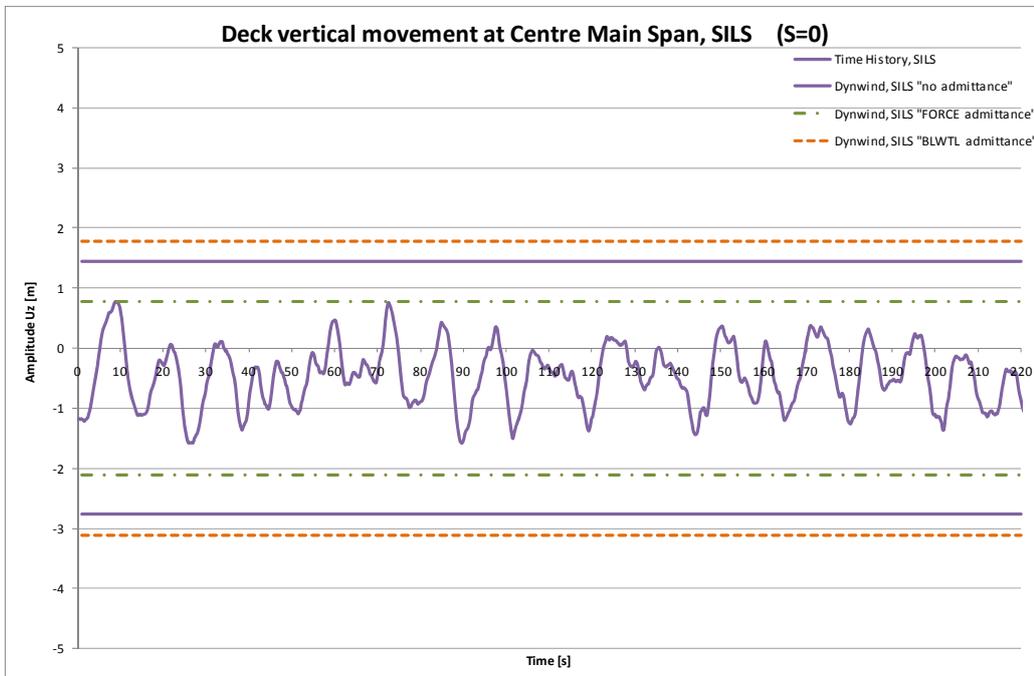
Dynwind, SILS smorzamento quasi-statico "ammettenza FORCE"

Dynwind, SILS smorzamento quasi-statico "ammettenza BLWTL"

Ampiezza

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
Calcoli aerodinamici, buffeting		Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Rev</th> <th style="text-align: left;">Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	F0	20/06/2011
Rev	Data						
F0	20/06/2011						



*Figura 5.21 Buffeting rispetto alla risposta verticale, SILS.*

Movimento verticale dell'impalcato in corrispondenza della campata principale centrale

Storia temperolae, SILS

Dynwind, SILS "nessuna ammettenza"

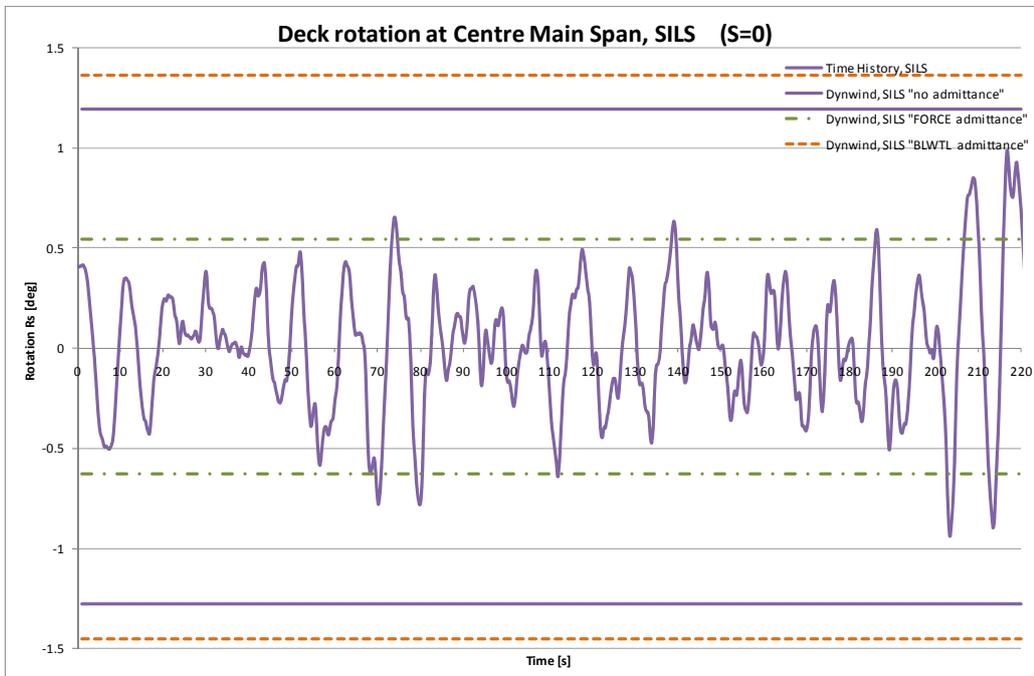
Dynwind, SILS "ammettenza FORCE"

Dynwind, SILS "ammettenza BLWTL"

Ampiezza

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>



*Figura 5.22 Buffeting rispetto alla risposta torsionale, SILS.*

Rotazione dell'impalcato in corrispondenza della campata principale centrale

Storia temperolae, SILS

Dynwind, SILS "nessuna ammettenza"

Dynwind, SILS "ammettenza FORCE"

Dynwind, SILS "ammettenza BLWTL"

Rotazione

Tempo

### 5.5.1 Valori estremi al centro della campata principale (S = 0)

*Tabella 5.2 Confronto delle risposte estreme orizzontali calcolate in corrispondenza della campata centrale.*

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
Calcoli aerodinamici, buffeting		Codice documento PB0038_F0_ITA.doc	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">Rev</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">Data</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	Rev	Data	F0	20/06/2011
Rev	Data						
F0	20/06/2011						

Time History	Uy, max [m]	Uy, min [m]
SLS1 (44 m/s @ 70m)	10.428	6.129
SLS2 (47 m/s @ 70m)	10.971	6.432
ULS (54 m/s @ 70m)	18.749	6.632
SILS (60 m/s @ 70m)	19.481	9.257

Dynwind (no adittance)	Uy, max [m]	Uy, min [m]
SLS1	12.086	2.832
SLS2	13.835	3.243
ULS	17.666	4.174
SILS	21.931	5.256

Storia temporale

Dynwind (nessuna ammettenza)

Tabella 5.3 Confronto delle risposte estreme verticali calcolate in corrispondenza della campata centrale.

Time History	Uz, max [m]	Uz, min [m]
SLS1 (44 m/s @ 70m)	0.572	-1.392
SLS2 (47 m/s @ 70m)	0.714	-1.383
ULS (54 m/s @ 70m)	1.409	-1.940
SILS (60 m/s @ 70m)	0.783	-1.589

Dynwind (no adittance)	Uz, max [m]	Uz, min [m]
SLS1	0.771	-1.499
SLS2	0.893	-1.727
ULS	1.162	-2.229
SILS	1.441	-2.769

Storia temporale

Nessuna ammettenza

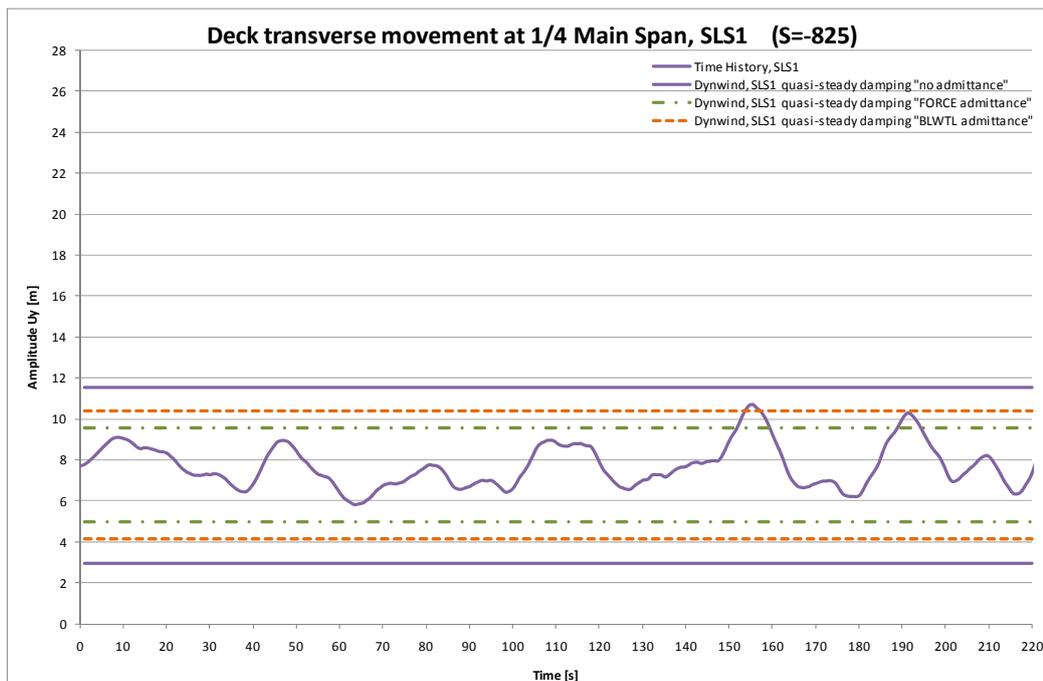
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev F0	Data 20/06/2011

Tabella 5.4 Confronto delle risposte estreme torsionali calcolate in corrispondenza della campata centrale.

Time History	Rs, max [deg]	Rs, min [deg]
SLS1 (44 m/s @ 70m)	0.46	-0.55
SLS2 (47 m/s @ 70m)	0.71	-0.80
ULS (54 m/s @ 70m)	0.91	-1.05
SILS (60 m/s @ 70m)	0.99	-0.94

Dynwind (no admittance)	Rs, max [deg]	Rs, min [deg]
SLS1	0.65	-0.70
SLS2	0.74	-0.80
ULS	0.95	-1.03
SILS	1.19	-1.28

## 5.6 Freccia in corrispondenza di $\frac{1}{4}$ della campata principale (S = -825)



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>Calcoli aerodinamici, buffeting</b>		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

**Figura 5.23** Buffeting rispetto alla risposta orizzontale, SLS1.

Movimento trasversale dell'impalcato in corrispondenza di 1/4 della campata principale

Storia temporale, SLS1

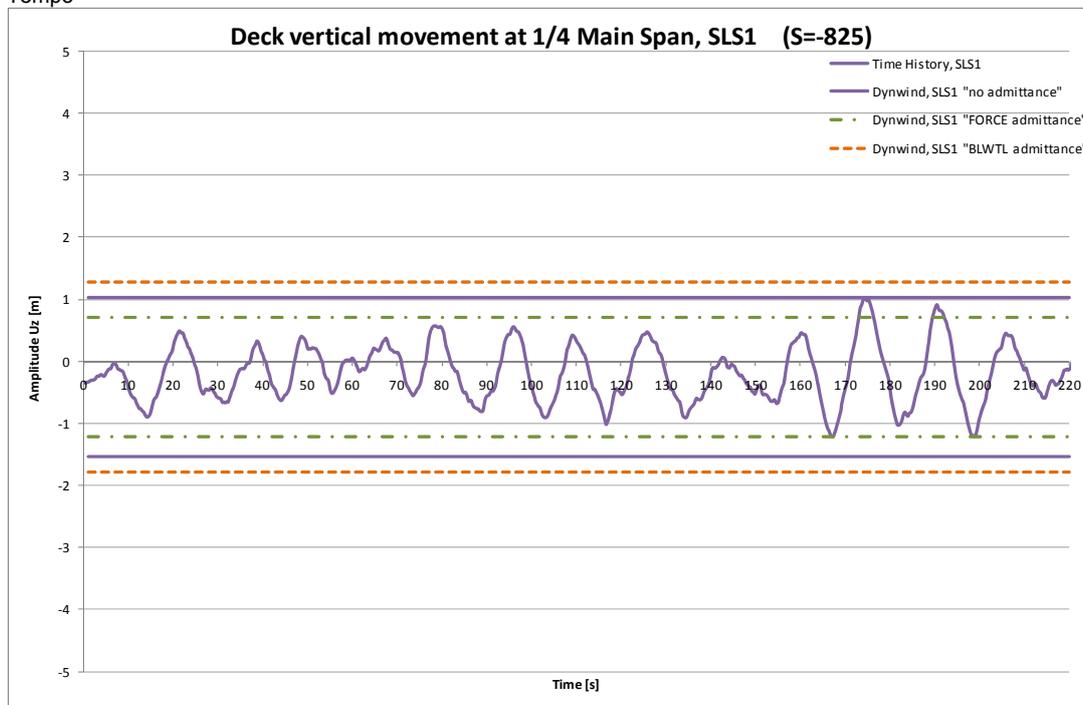
Dynwind, SLS1 smorzamento quasi-statico "nessuna ammettenza"

Dynwind, SLS1 smorzamento quasi-statico "ammettenza FORCE"

Dynwind, SLS1 smorzamento quasi-statico "ammettenza BLWTL"

Ampiezza

Tempo



**Figura 5.24** Buffeting rispetto alla risposta verticale, SLS1.

Movimento verticale dell'impalcato in corrispondenza di 1/4 della campata principale

Storia temporale, SLS1

Dynwind, SLS1 "nessuna ammettenza"

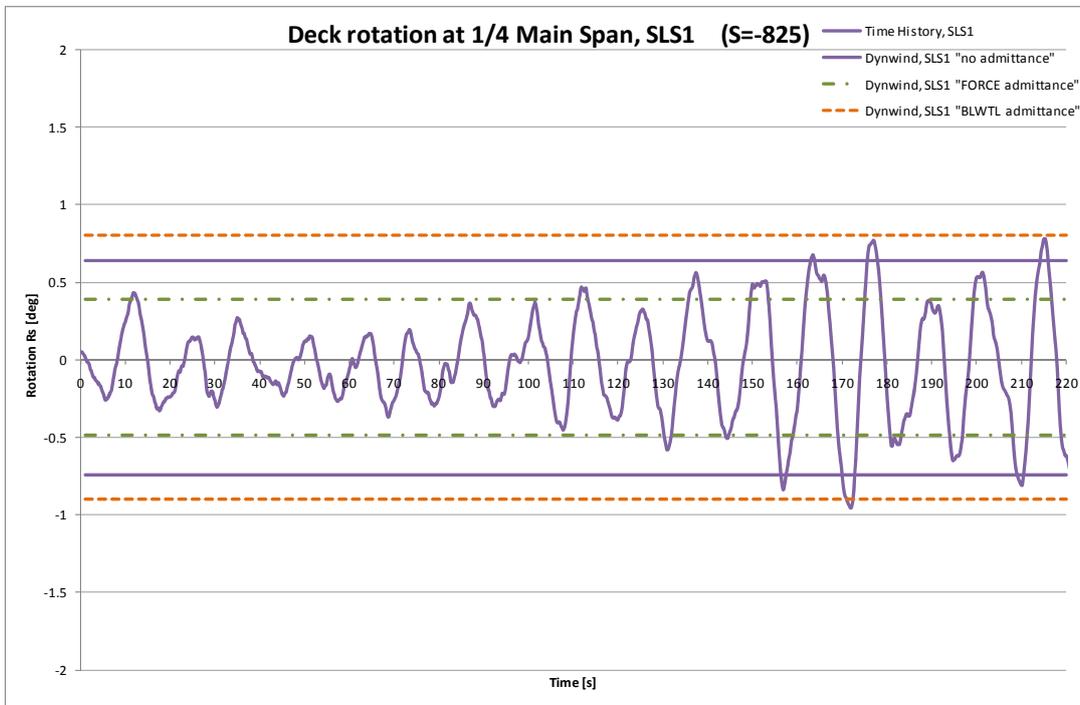
Dynwind, SLS1 "ammettenza FORCE"

Dynwind, SLS1 "ammettenza BLWTL"

Ampiezza

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
Calcoli aerodinamici, buffeting		Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Rev</th> <th style="text-align: left;">Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	F0	20/06/2011
Rev	Data						
F0	20/06/2011						



*Figura 5.25 Buffeting rispetto alla risposta torsionale, SLS1.*

Rotazione dell'impalcato in corrispondenza di 1/4 della campata principale

Storia temporale, SLS1

Dynwind, SLS1 "nessuna ammettenza"

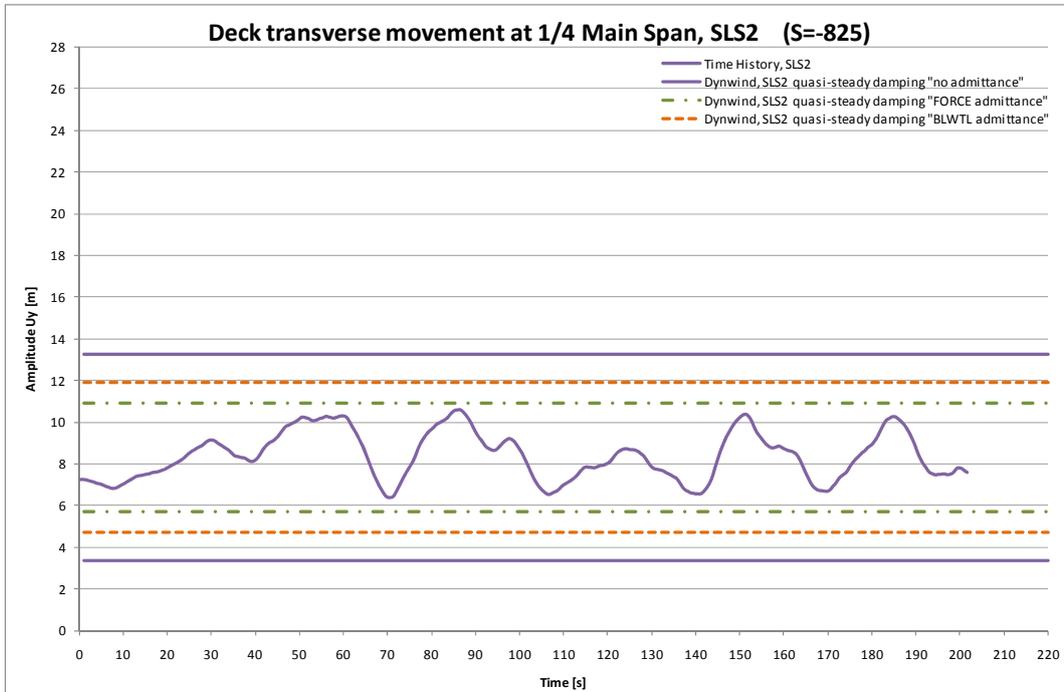
Dynwind, SLS1 "ammettenza FORCE"

Dynwind, SLS1 "ammettenza BLWTL"

Rotazione

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
Calcoli aerodinamici, buffeting		Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Rev</th> <th style="text-align: left;">Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	F0	20/06/2011
Rev	Data						
F0	20/06/2011						



*Figura 5.26 Buffeting rispetto alla risposta orizzontale, SLS2.*

Movimento trasversale dell'impalcato in corrispondenza di 1/4 della campata principale

Storia temporale, SLS2

Dynwind, SLS2 smorzamento quasi-statico "nessuna ammettenza"

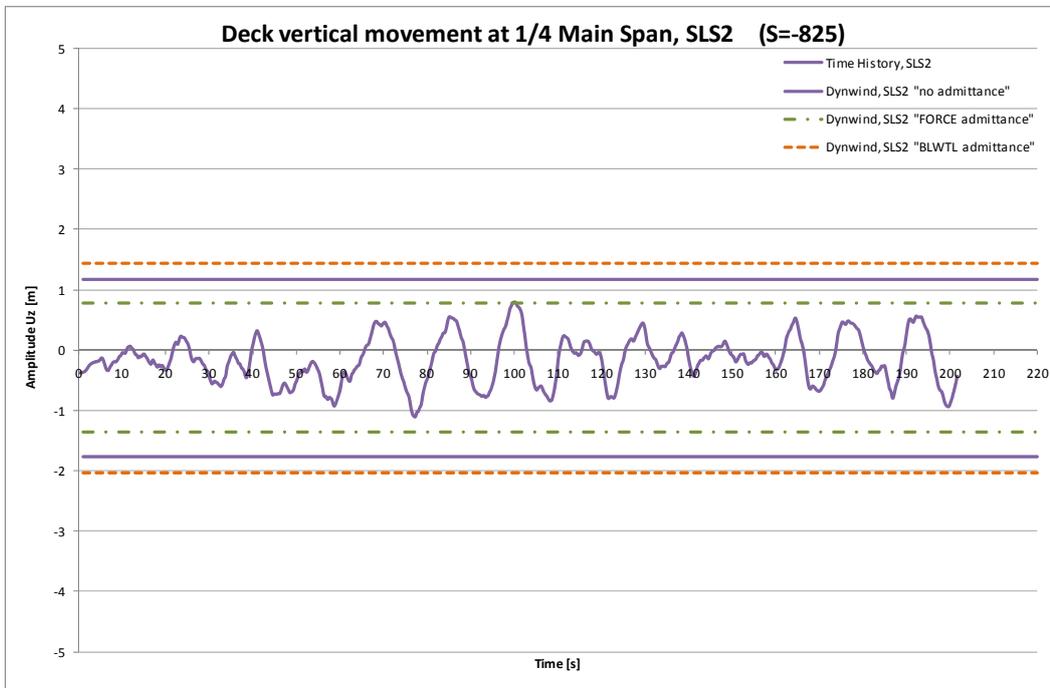
Dynwind, SLS2 smorzamento quasi-statico "ammettenza FORCE"

Dynwind, SLS2 smorzamento quasi-statico "ammettenza BLWTL"

Ampiezza

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>Calcoli aerodinamici, buffeting</b>		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						



*Figura 5.27 Buffeting in confronto alla risposta verticale, SLS2.*

Movimento verticale dell'impalcato in corrispondenza di 1/4 della campata principale

Storia temporale, SLS2

Dynwind, SLS2 "nessuna ammettenza"

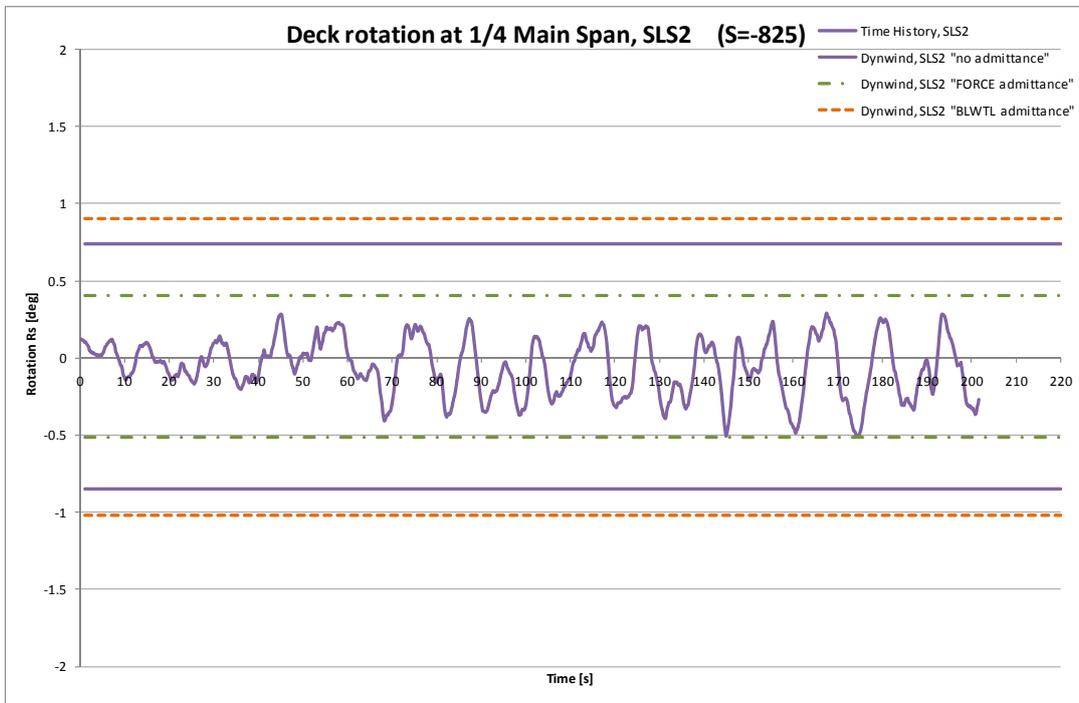
Dynwind, SLS2 "ammettenza FORCE"

Dynwind, SLS2 "ammettenza BLWTL"

Ampiezza

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
Calcoli aerodinamici, buffeting		Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Rev</th> <th style="text-align: left;">Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	F0	20/06/2011
Rev	Data						
F0	20/06/2011						



*Figura 5.28 Buffeting rispetto alla risposta torsionale, SLS2.*

Rotazione dell'impalcato in corrispondenza di 1/4 della campata principale

Storia temporale, SLS2

Dynwind, SLS2 "nessuna ammettenza"

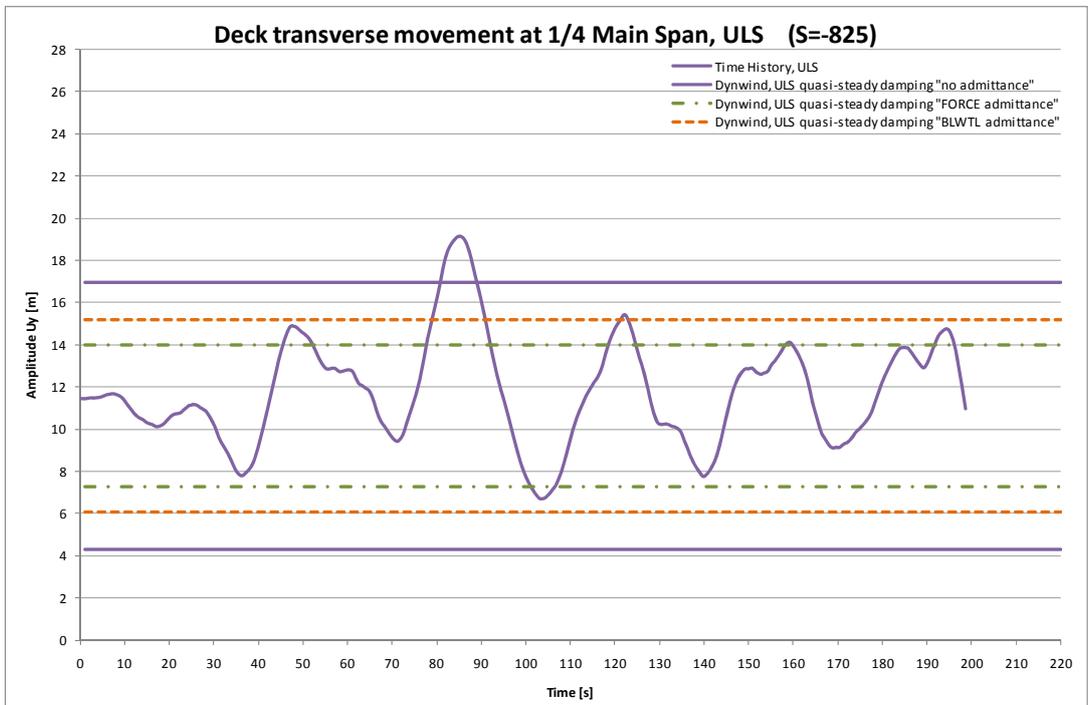
Dynwind, SLS2 "ammettenza FORCE"

Dynwind, SLS2 "ammettenza BLWTL"

Rotazione

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>



**Figura 5.29** *Buffeting rispetto alla risposta orizzontale, ULS.*

Movimento trasversale dell'impalcato in corrispondenza di 1/4 della campata principale

Storia temporale, ULS

Dynwind, ULS smorzamento quasi-statico "nessuna ammettenza"

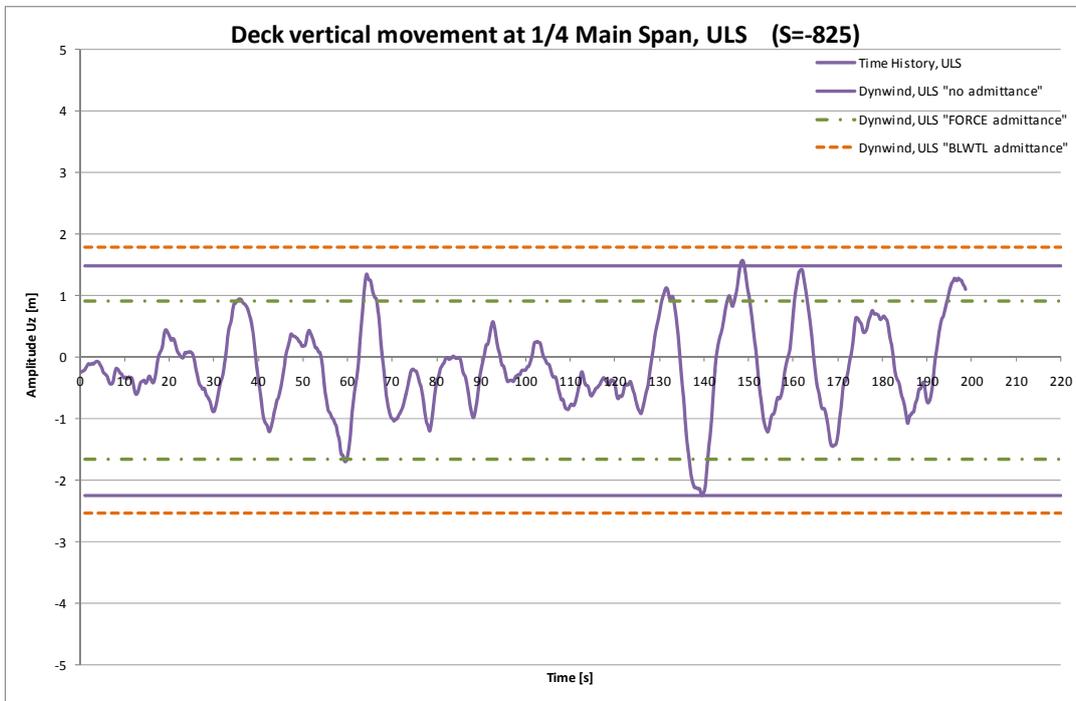
Dynwind, ULS smorzamento quasi-statico "ammettenza FORCE"

Dynwind, ULS smorzamento quasi-statico "ammettenza BLWTL"

Ampiezza

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
Calcoli aerodinamici, buffeting		Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Rev</th> <th style="text-align: left;">Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	F0	20/06/2011
Rev	Data						
F0	20/06/2011						



*Figura 5.30 Buffeting rispetto alla risposta verticale, ULS.*

Movimento verticale dell'impalcato in corrispondenza di 1/4 della campata principale

Storia temporale, ULS

Dynwind, ULS "nessuna ammettenza"

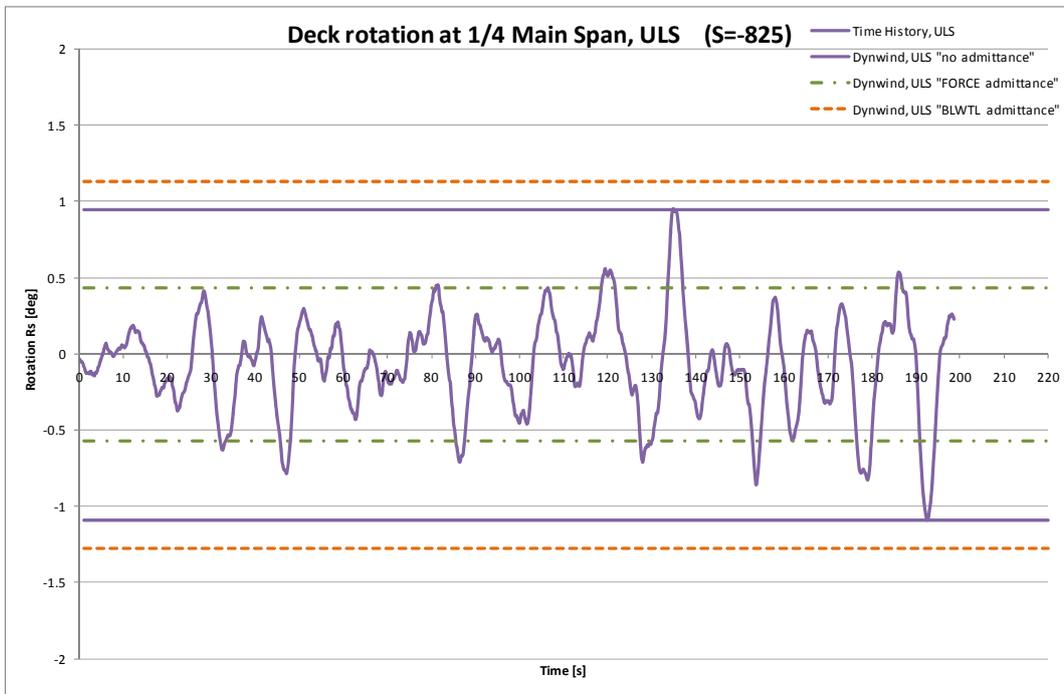
Dynwind, ULS "ammettenza FORCE"

Dynwind, ULS "ammettenza BLWTL"

Ampiezza

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
Calcoli aerodinamici, buffeting		Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;"><i>Rev</i></td> <td style="text-align: center;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						



*Figura 5.31 Buffeting rispetto alla risposta torsionale, ULS.*

Rotazione dell'impalcato in corrispondenza di 1/4 della campata principale

Storia temporale, ULS

Dynwind, ULS "nessuna ammettenza"

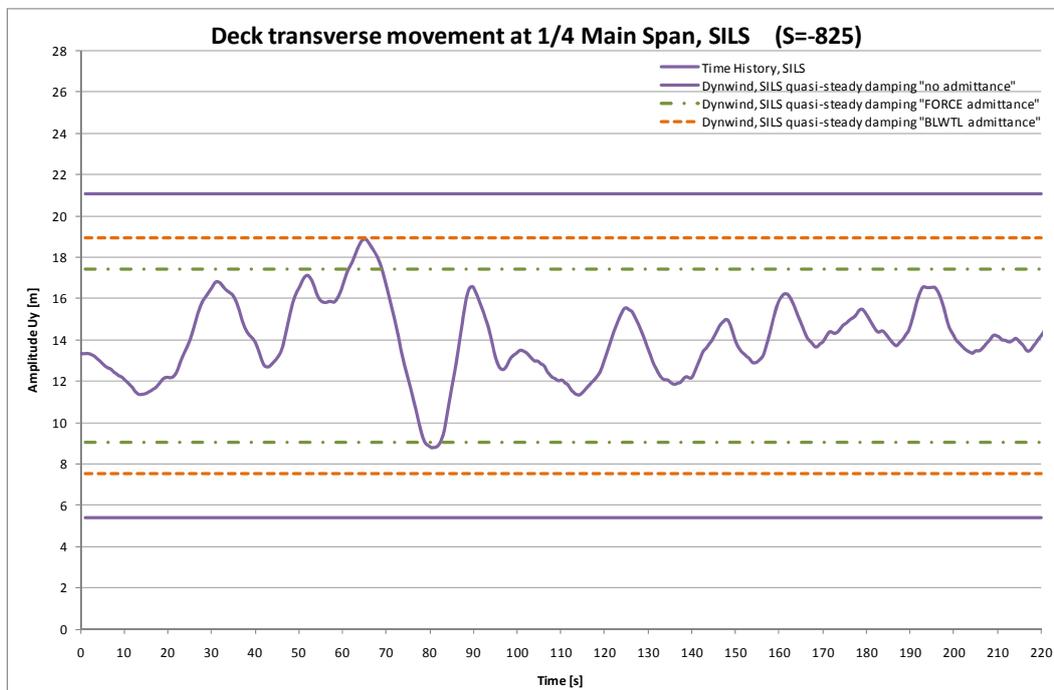
Dynwind, ULS "ammettenza FORCE"

Dynwind, ULS "ammettenza BLWTL"

Rotazione

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Calcoli aerodinamici, buffeting		Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>



**Figura 5.32** Buffeting rispetto alla risposta orizzontale, SILS.

Movimento trasversale dell'impalcato in corrispondenza di 1/4 della campata principale

Storia temporale, SILS

Dynwind, SILS smorzamento quasi-statico "nessuna ammettenza"

Dynwind, SILS smorzamento quasi-statico "ammettenza FORCE"

Dynwind, SILS smorzamento quasi-statico "ammettenza BLWTL"

Ampiezza

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Calcoli aerodinamici, buffeting		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

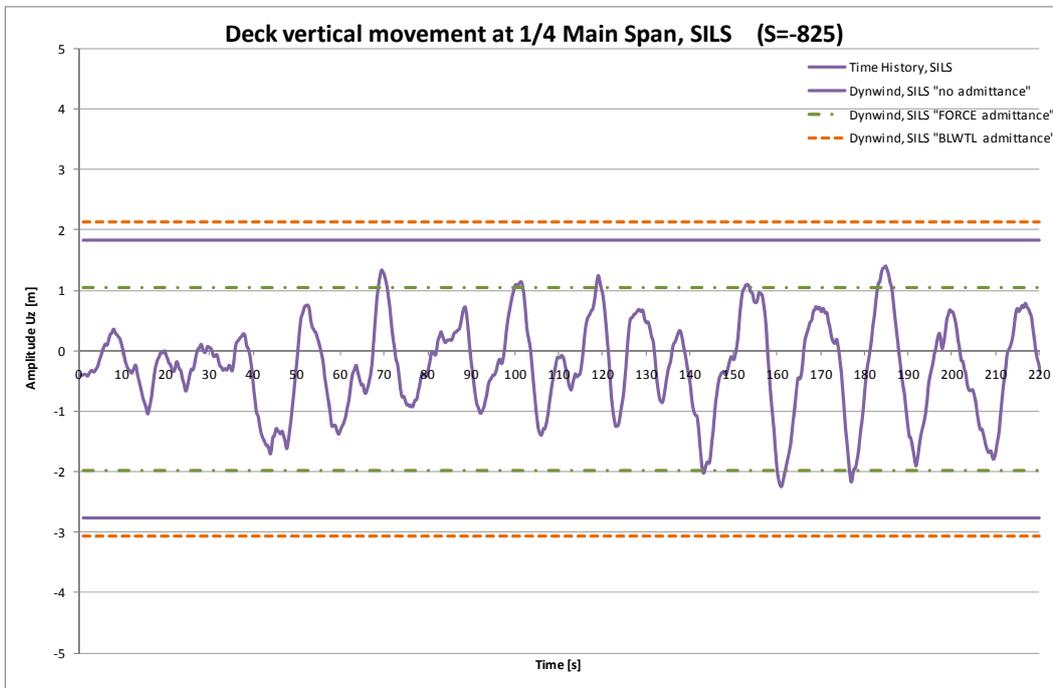


Figura 5.33 Buffeting rispetto alla risposta verticale, SILS.

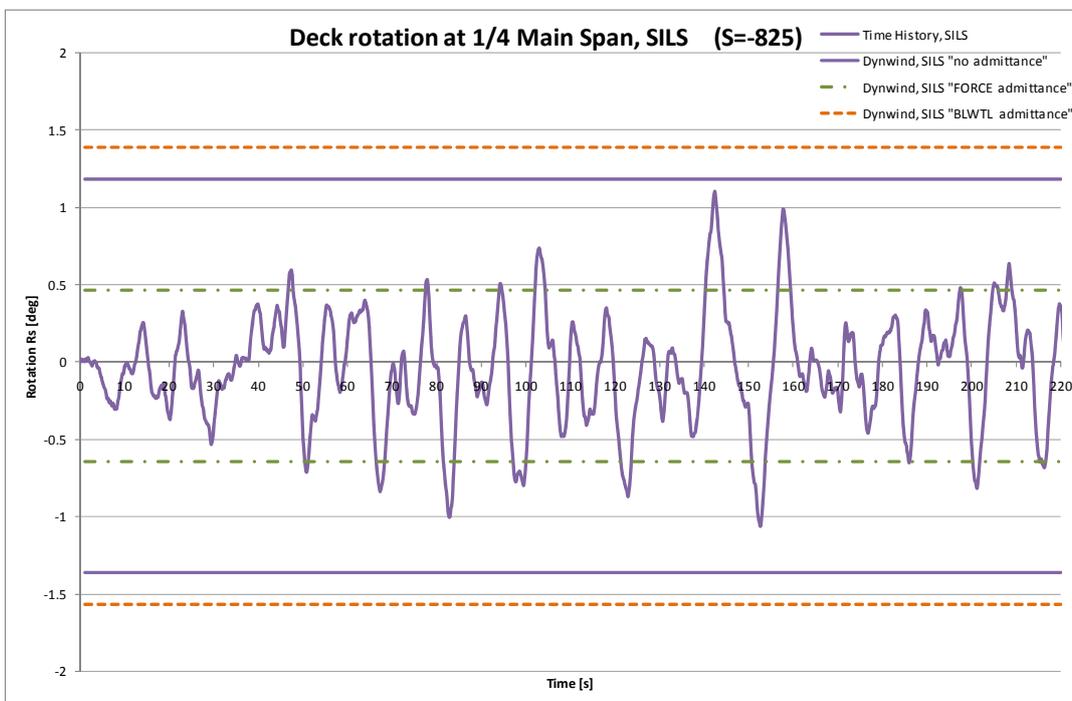


Figura 5.34 Buffeting rispetto alla risposta torsionale, SILS.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>Calcoli aerodinamici, buffeting</b>	<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Rotazione dell'impalcato in corrispondenza di 1/4 della campata principale

Storia temporale, SILS

Dynwind, SILS "nessuna ammettenza"

Dynwind, SILS "ammettenza FORCE"

Dynwind, SILS "ammettenza BLWTL"

Rotazione

Tempo

### 5.6.1 Valori estremi per ¼ della campata principale

*Tabella 5.5 Confronto delle risposte estreme orizzontali calcolate in corrispondenza di un quarto di campata.*

Time History	Uy, max [m]	Uy, min [m]
SLS1 (44 m/s @ 70m)	10.730	5.806
SLS2 (47 m/s @ 70m)	10.625	6.374
ULS (54 m/s @ 70m)	19.118	6.681
SILS (60 m/s @ 70m)	18.889	8.780

Dynwind (no adittance)	Uy, max [m]	Uy, min [m]
SLS1 (44 m/s @ 70m)	11.565	2.955
SLS2 (47 m/s @ 70m)	13.249	3.375
ULS (54 m/s @ 70m)	16.940	4.319
SILS (60 m/s @ 70m)	21.055	5.408

Storia temporale

Dynwind (nessuna ammettenza)

*Tabella 5.6 Confronto delle risposte estreme verticali calcolate in corrispondenza di un quarto di campata.*

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>Calcoli aerodinamici, buffeting</b>		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;"><i>Rev</i></td> <td style="text-align: center;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Time History	UZ, max [m]	UZ, min [m]
SLS1 (44 m/s @ 70m)	1.011	-1.210
SLS2 (47 m/s @ 70m)	0.789	-1.110
ULS (54 m/s @ 70m)	1.576	-2.251
SILS (60 m/s @ 70m)	1.407	-2.244

Dynwind (no adittance)	UZ, max [m]	UZ, min [m]
SLS1 (44 m/s @ 70m)	1.022	-1.535
SLS2 (47 m/s @ 70m)	1.171	-1.758
ULS (54 m/s @ 70m)	1.490	-2.241
SILS (60 m/s @ 70m)	1.835	-2.770

Tabella 5.7 Confronto delle risposte estreme torsionali calcolate in corrispondenza di un quarto di campata.

Time History	Rs, max [deg]	Rs, min [deg]
SLS1 (44 m/s @ 70m)	0.78	-0.95
SLS2 (47 m/s @ 70m)	0.29	-0.51
ULS (54 m/s @ 70m)	0.95	-1.09
SILS (60 m/s @ 70m)	1.10	-1.06

Dynwind (no adittance)	Rs, max [rad]	Rs, min [rad]
SLS1 (44 m/s @ 70m)	0.64	-0.74
SLS2 (47 m/s @ 70m)	0.74	-0.85
ULS (54 m/s @ 70m)	0.95	-1.09
SILS (60 m/s @ 70m)	1.19	-1.36

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
Calcoli aerodinamici, buffeting		Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Rev</th> <th style="text-align: left;">Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	F0	20/06/2011
Rev	Data						
F0	20/06/2011						

## 5.7 Freccia sulla sommità della torre, Sicilia

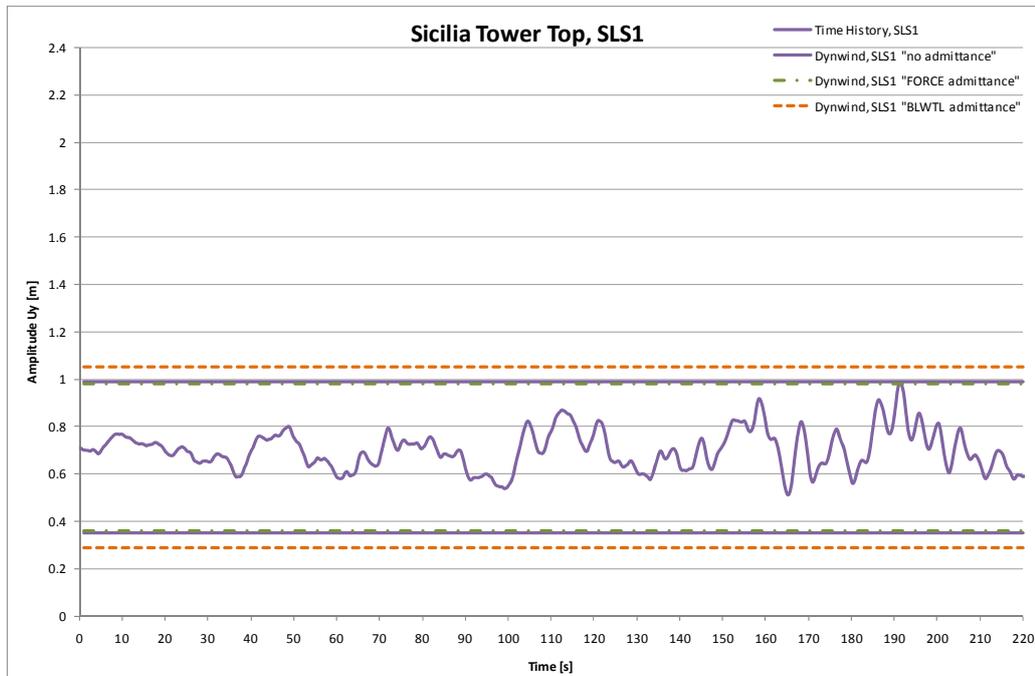


Figura 5.35 Buffeting rispetto alla risposta along wind response, SLS1.

Sommità della torre Sicilia

Storia temporale, SLS1

Dynwind, SLS1 "nessuna ammettenza"

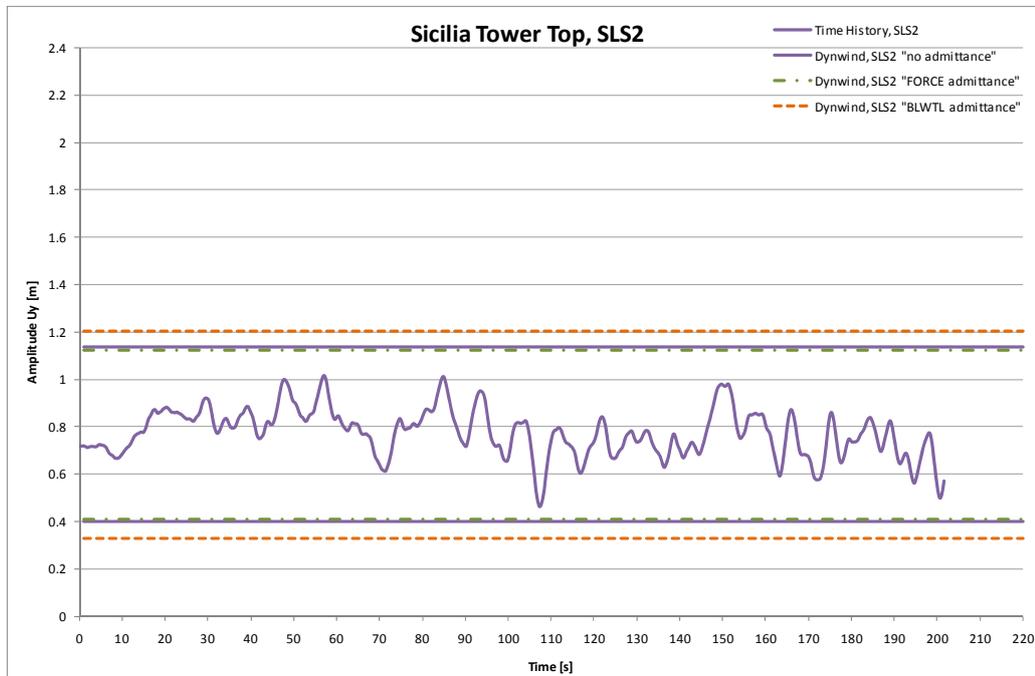
Dynwind, SLS1 "ammettenza FORCE"

Dynwind, SLS1 "ammettenza BLWTL"

Ampiezza

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>



*Figura 5.36 Buffeting rispetto alla risposta along wind, SLS2.*

Sommità della torre Sicilia

Storia temporale, SLS2

Dynwind, SLS2 "nessuna ammettenza"

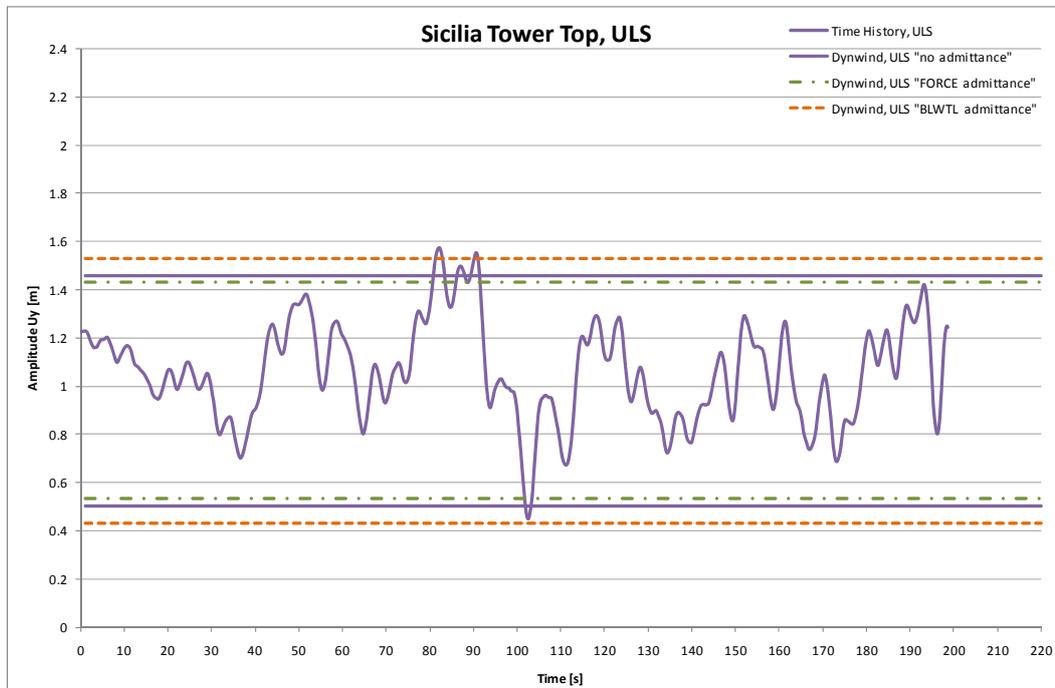
Dynwind, SLS2 "ammettenza FORCE"

Dynwind, SLS2 "ammettenza BLWTL"

Ampiezza

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
Calcoli aerodinamici, buffeting		Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Rev</th> <th style="text-align: left;">Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	F0	20/06/2011
Rev	Data						
F0	20/06/2011						



*Figura 5.37 Buffeting rispetto alla risposta along wind, ULS.*

Sommità della torre Sicilia

Storia temporale, ULS

Dynwind, ULS "nessuna ammettenza"

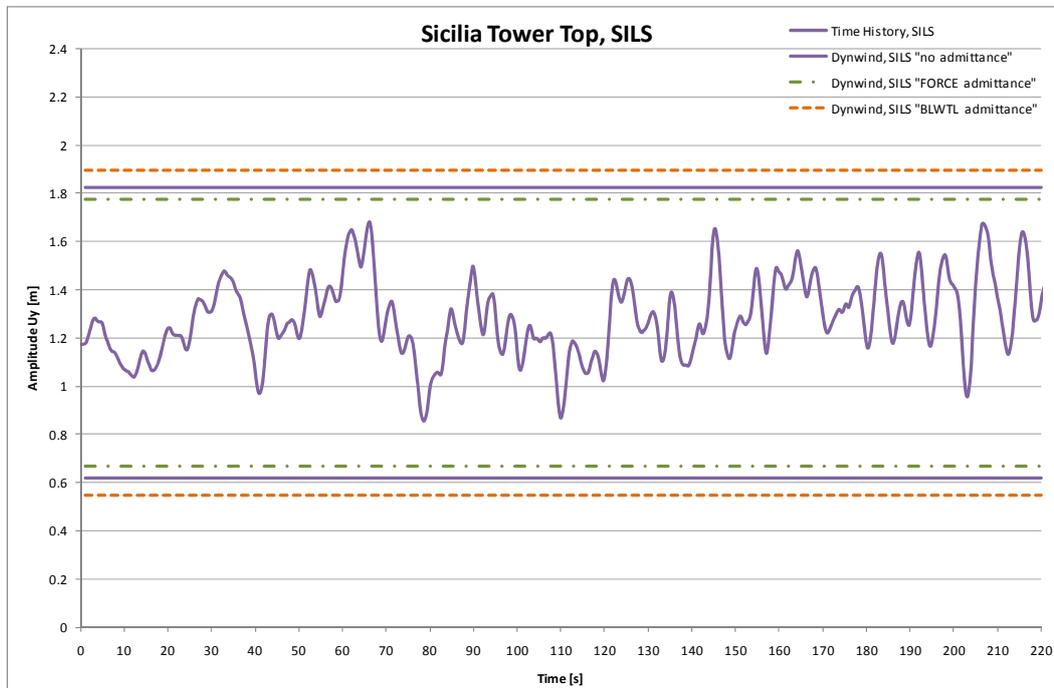
Dynwind, ULS "ammettenza FORCE"

Dynwind, ULS "ammettenza BLWTL"

Ampiezza

Tempo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Calcoli aerodinamici, buffeting	Codice documento <i>PB0038_F0_ITA.doc</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>



**Figura 5.38** Buffeting rispetto alla risposta along wind, SILS.

Sommità della torre Sicilia

Storia temporale, SILS

Dynwind, SILS "nessuna ammettenza"

Dynwind, SILS "ammettenza FORCE"

Dynwind, SILS "ammettenza BLWTL"

Ampiezza

Tempo

### 5.7.1 Valori estremi dei movimenti trasversali sulla sommità della torre Sicilia

**Tabella 5.8** Confronto della risposta along wind nel dominio del tempo e delle frequenze.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>Calcoli aerodinamici, buffeting</b>		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

<b>Time History</b>	Uy, max [m]	Uy, min [m]
SLS1 (44 m/s @ 70m)	0.985	0.512
SLS2 (47 m/s @ 70m)	1.016	0.463
ULS (54 m/s @ 70m)	1.574	0.449
SILS (60 m/s @ 70m)	1.682	0.854

<b>Dynwind (no adittance)</b>	Uy, max [m]	Uy, min [m]
SLS1 (44 m/s @ 70m)	1.175	0.164
SLS2 (47 m/s @ 70m)	1.344	0.190
ULS (54 m/s @ 70m)	1.697	0.265
SILS (60 m/s @ 70m)	2.096	0.345

## 5.8 Discussione dei risultati

In generale, le risposte ottenute dalle analisi della storia temporale mostrano un equo accordo con le risposte nel dominio delle frequenze, che sono generalmente le massime. Si tratta di un risultato rassicurante, in quanto le analisi nel dominio delle frequenze sono state usate per la progettazione strutturale del ponte.

Le risposte ottenute dalle analisi della storia temporale mostrano che i modi di vibrazione dominanti sono il 1° e 2° modo trasversale dell'impalcato, vale a dire un periodo di vibrazione di ca. 30sec e 20sec.

La risposta ottenuta dall'ULS sembra leggermente più alta della risposta ottenuta dagli altri stati limite, quando confrontata con l'analisi del vento dinamico ad intervalli brevi, in particolare dopo ca. 85 secondi nell'analisi. I risultati mostrano che la risposta massima ottenuta dall'ULS nei punti dell'impalcato è paragonabile alla risposta SILS. Questo risultato può essere spiegato dalla presenza di un forte vento a raffiche prolungato per 70 secondi nella serie temporale ULS, come riportato nella Figura 5.39. La stessa situazione si verifica vicino al termine della serie temporale, con una maggiore risposta strutturale corrispondente.

Infine, nel confronto delle analisi nel dominio del tempo e delle frequenze, si dovrebbe ricordare che simulando una data serie temporale del vento si ha una sola realizzazione della statistica del vento ad una data velocità media e quindi che le serie temporali del vento simulate della lunghezza

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Calcoli aerodinamici, buffeting		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

di 3,5 min. sono brevi rispetto al periodo statistico medio normalmente applicato di 10 min. Al fine di ottenere un quadro più completo della variabilità statistica, si dovrebbe simulare e confrontare la risposta strutturale a parecchie serie temporali del vento alla stessa velocità media.

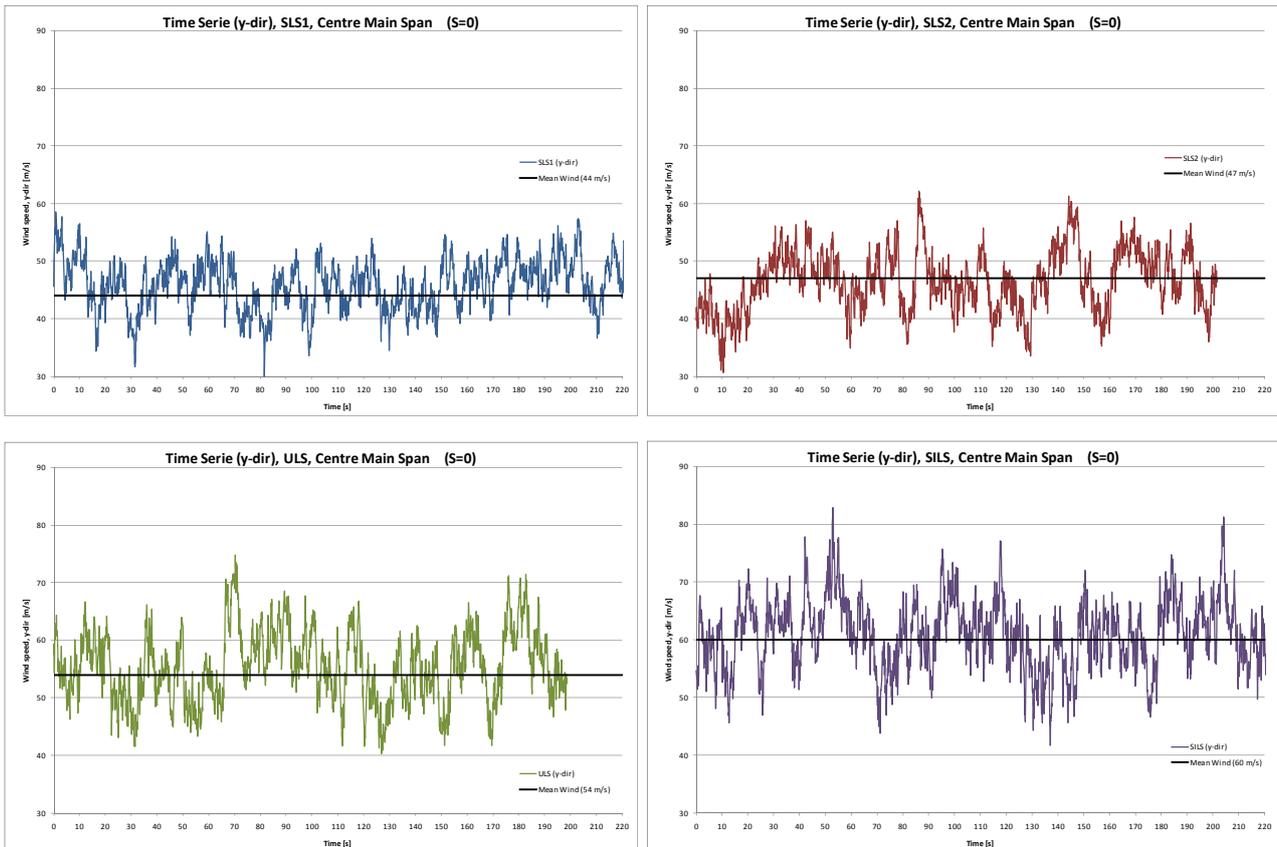


Figura 5.39 Velocità del vento simulate per le quattro condizioni di carico

serie temporale, campata principale centrale

velocità del vento

vento medio

tempo

Le analisi del vento dinamico eseguite durante la progettazione non tengono conto dell'ammettenza, la qual cosa, sulla base dei risultati, viene considerata come un approccio prudente.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Calcoli aerodinamici, buffeting		<i>Codice documento</i> PB0038_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 6 Attività future

La validazione dei calcoli di buffeting nel dominio delle frequenze e del tempo è stata possibile solo per i modi verticali e torsionali fondamentali, che sono gli unici modi presentati nel modello sezione di FORCE.

Poichè i modi orizzontali dominano la risposta di buffeting e le sollecitazioni di progetto nella struttura del ponte, si suggerisce di effettuare ulteriori confronti tra i calcoli di buffeting e la prova in galleria del vento durante la fase del Progetto Esecutivo, quando saranno disponibili i risultati delle prove sul modello dell'intero ponte pianificate.

## 7 Riferimenti

- 1 EUROLINK S.C.p.A. CG1000-P-RG-D-P-SB-S3-00-00-00-00-02, Rev. B/ 2011-03-07, Prove in Galleria del Vento, Cassone. 2010.
- 2 EUROLINK S.C.p.A. CG1000-P-RG-D-P-SB-S3-00-00-00-00-01, Rev. B/ 2011-03-07, Prove in Galleria del Vento, Torri. 2010.
- 3 EUROLINK S.C.p.A. CG1000-P-RG-D-P-SB-S3-00-00-00-00-03, Rev. B/ 2011-03-07, Prove in Galleria del Vento, Cavi. 2010.
- 4 BLWTL. Studio degli effetti del vento per il Ponte sullo Stretto di Messina, Italia, modello sezione dell'impalcato - Sotto-prove D3 e D6. BLWTL-SS42-2010/Bozza 4 gennaio 2011.
- 5 Davenport, A.G.: The prediction of the response of structures to gusty wind. In safety of structures under dynamic loading, Tapir 1977.
- 6 FORCE: Sotto-prove D4 Prove sul modello sezione per il Ponte sullo Stretto di Messina. FORCE 110-26444 Rev.1 / 2011-03-01.
- 7 Stretto di Messina. Engineering - Progetto Finale e Dettagliato, Progetto di base e livelli di prestazioni previsti per il ponte (traduzione inglese). GCG.F.04.01. 2004-10-27.