

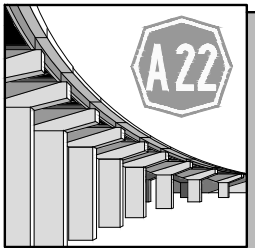
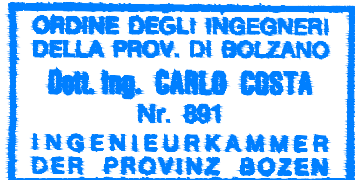
**ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROV. DI TRENTO**
dott.ing. ROBERTO BOSETTI
INSCRIZIONE ALBO N° 1027

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
dott. ing. Roberto Bosetti

autostrada del brennero

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE
DELLA TERZA CORSIA NEL TRATTO COMPRESO
TRA VERONA NORD (KM 223) E L'INTERSEZIONE
CON L'AUTOSTRADA A1 (KM 314)

C	LOTTO 1 - da Campogalliano (km 312+200) al km 313+710
7.4.1.1.	OPERE D'ARTE PRINCIPALI ELABORATI COMUNI SPERIMENTAZIONE IN GALLERIA DEL VENTO Relazione sulle prove in galleria del vento delle opere di scavalco

0	MAR. 2021	EMISSIONE	A. ZASSO	L. LEARDINI	C. COSTA
REVISIONE:	DATA:	DESCRIZIONE:	REDAZIONE:	VERIFICA:	APPROVAZIONE:
DATA PROGETTO: LUGLIO 2009			DIREZIONE TECNICA GENERALE		IL DIRETTORE TECNICO GENERALE E PROGETTISTA: 
NUMERO PROGETTO: 31/09					



Prove in galleria delle opere di scavalco dell'Autostrada del Sole nell'ambito del progetto di riconfigurazione dello svincolo di interconnessione A22-A1

Cliente: Autostrada del Brennero s.p.a.

Rev.03

08 Settembre 2020

DIPARTIMENTO DI MECCANICA POLITECNICO DI MILANO
via G.La Masa, 1 20156 Milano Tel +39 02 2399 8480 Fax +39 02 2399 8492
<http://www.mecc.polimi.it>

DM/MOD.12.055 agg.1

CODICE COMMESSA / REFERENCE:

CR40/20

DATA / DATE:

08 Settembre 2020

TITOLO / TITLE:

Prove in galleria delle opere di scavalco dell'Autostrada del Sole nell'ambito del progetto di riconfigurazione dello svincolo di interconnessione A22-A1
Rev.03

AUTORE /AUTHOR:

Ing. T. Argentini
Ing. L. Rosa
Ing. U. Spinelli

RESPONSABILE / PERSON IN CHARGE:

Prof. A. Zasso

DIRETTORE / HEAD OF DEPARTMENT:

Prof. M. Bocciolone

CONDIZIONI DI RISERVATEZZA / DISCLAIMER:

Firmato digitalmente ai sensi del D.Lgs 82/2005 e ss. mm. e ii. / Digitally signed according to D.Lgs 82/2005 e ss. mm. e ii."

Sommario

1	Introduzione	4
1.1	Note	4
2	Simboli e documenti	5
3	Prove in galleria del vento	6
3.1	Flusso incidente	6
3.2	Modello	7
3.2.1	Bridge-A	7
3.2.2	Bridge-B	7
3.2.3	Surrounding	8
3.3	Definizione dei coefficienti aerodinamici globali	8
3.4	Definizione del coefficiente di pressione adimensionale	9
3.5	Valori estremi (valori dimensionanti)	9
3.6	Calcolo dei carichi eolici al vero	9
3.6.1	Forze aerodinamiche	9
3.6.2	Carichi di pressione	9
3.6.3	Pressione dinamica al vero	10
4	Risultati	11
4.1	Coefficienti statici aerodinamici globali di forza e momento	11
4.2	Carico eolico sulle barriere di protezione	11
4.3	Stima della distribuzione del carico eolico lungo l'impalcato	11
4.3.1	Ponte centrale	11
4.3.2	Sovrappasso laterale	12
4.4	Bridge-A. Stima del coefficiente di Drag sulla sfera	12
5	Tavole e foto	13
5.1	Nomenclatura delle prese di pressione	18
	ANNEX A1. Bridge-A. Coefficienti statici aerodinamici globali	19
	ANNEX A2. Bridge-B. Coefficienti statici aerodinamici globali	29
	ANNEX A3. Coefficienti di pressione di picco dimensionati per le barriere frangivento	36
	ANNEX A4. Stima della distribuzione del carico eolico	40

1 Introduzione

Il presente report descrive i risultati ottenuti durante le prove sperimentali condotte su due sovrappassi facenti parte delle opere di scavalco dell'Autostrada del Sole nell'ambito del progetto di riconfigurazione dello svincolo di interconnessione A22-A1. I test sono stati effettuati nella camera a Strato Limite della Galleria del Vento del Politecnico di Milano (GVPM). Sono stati testati il sovrappasso centrale (denominato "Bridge-A" nel presente report) e il sovrappasso laterale pista Modena-Sassuolo ("Bridge-B"). I modelli sono stati realizzati utilizzando una scala geometrica $\lambda_L=1/80$ e i materiali sono stati scelti in modo tale da avere modelli rigidi.

Le prove sono state effettuate a 24 angoli di esposizione al vento ($0^\circ - 360^\circ$ con passo 15°), simulando in galleria del vento la categoria di terreno del sito di costruzione. I test sono stati effettuati su entrambi i ponti per tutte le esposizioni, ricreando all'interno della camera di prova i paraggi della zona di costruzione in un raggio di circa 400 m dal ponte centrale (surrounding).

Nel seguito viene descritta la metodologia utilizzata per le prove e vengono riportati i principali risultati ottenuti, mentre le storie temporali dei segnali di pressione e forza sono disponibili su richiesta.

L'obiettivo principale dell'analisi condotta è stato quello di determinare il comportamento aerodinamico degli impalcati e delle strutture di supporto (bipode e antenna), la pressione esercitata dal vento sulle barriere di protezione (carico eolico dimensionante delle barriere) e stimare la distribuzione del carico eolico lungo i ponti e sugli appoggi laterali tramite misure di pressione sull'impalcato.

L'output dell'analisi consiste in coefficienti aerodinamici adimensionali che possono essere utilizzati per ottenere le forze aerodinamiche agenti al vero, in coefficienti di pressione adimensionali di picco utilizzati per il dimensionamento delle barriere di protezione e una stima della distribuzione di carico (forze e momenti) lungo gli impalcati.

1.1 Note

- I risultati mostrati nel presente report sono determinati da test in galleria del vento effettuati con una data tipologia di surrounding (condizioni al contorno). L'aggiunta o la demolizione di costruzioni nelle vicinanze del sito potrebbe cambiare il flusso locale sulle strutture studiate e di conseguenza alcuni carichi potrebbero variare. In questo caso POLIMI dovrebbe essere contattato per valutare l'impatto di queste modifiche.
- I carichi del vento mostrati nel presente report sono valutati utilizzando la geometria esterna della struttura fornita dal Cliente (Tabella 2-2). In caso di modifiche alla geometria esterna che potrebbero alterare tali informazioni, i risultati potrebbero cambiare. In questo caso POLIMI dovrebbe essere contattato per valutare l'impatto di queste modifiche.
- Al fine di simulare correttamente il profilo del vento al sito di costruzione, sono stati riprodotti in galleria del vento gli effetti locali causati dall'area circostante esistente vicino alla struttura testata. Le caratteristiche del vento turbolento sono state inoltre generate in base al vento naturale atteso al sito di costruzione.

2 Simboli e documenti

La Tabella 2-1 mostra i principali simboli utilizzati nella presente relazione mentre la Tabella 2-2 mostra i documenti e disegni utilizzati per realizzare il modello delle strutture.

λ_L	(-)	1:80	Scala geometrica
H_{ref}	(m)	30	Altezza di riferimento al vero per la definizione della velocità.
Exp, α	(deg,°)	-	Angolo di esposizione al vento
B, L	(m)	1	Dimensioni di riferimento al vero per il calcolo delle forze aerodinamiche
B_m, L_m	(m)	1/80	Dimensioni di riferimento modello per il calcolo dei coefficienti aerodinamici
$\bar{C}_{Fi}, \bar{C}_{Mi}$	(-)	calcolati	Coefficiente statico aerodinamico globale di forza e momento medio
$\hat{C}_{Fi}, \hat{C}_{Mi}$	(-)	calcolati	Coefficiente statico aerodinamico globale di forza e momento di picco
$\bar{C}_{p,k}, \hat{C}_{p,k}, \check{C}_{p,k}$	(-)	calcolati	Coefficiente di pressione medio, picco massimo e picco minimo

Tabella 2-1. Lista dei principali simboli.

Documento	Descrizione	Data invio	Rif.
Planimetria di progetto.dwg	Quote terreno e strutture	06/03/2020	T1
DTM.dwg	Surrounding	06/03/2020	T2
SVP centrale_disegni generali.dwg	Prospetti sovrappasso centrale	06/03/2020	T4
SVP laterale_disegni generali.dwg	Prospetti sovrappasso laterale	06/03/2020	T5
Sezioni tipo opere_R01.dwg	Sezioni impalcati e appoggi	09/03/2020	T3
Planimetria barriere antirumore.dwg	Dettagli barriere antirumore	09/03/2020	T6
A22-2020-04-10.dwg	Aggiornamento geometrie	14/04/2020	T7

Tabella 2-2. Documenti/Files utilizzati per la costruzione del modello e per il calcolo dei carichi.

3 Prove in galleria del vento

Le prove sono state effettuate a 24 angoli di esposizione al vento: $0^\circ - 360^\circ$ con passo 15° . Ogni ponte è stato testato indipendentemente per tutte le esposizioni al vento. La Figura 5-1 e la Figura 5-2 mostrano gli angoli testati e il sistema di riferimento considerato per le forze e i momenti.

3.1 Flusso incidente

Le prove in galleria del vento sono state effettuate nella camera di prova a strato limite della galleria del vento del Politecnico di Milano (GVPM). Una prova in galleria del vento a strato limite deve considerare le caratteristiche del vento naturale del sito di costruzione, correttamente scalate. In particolare, il flusso all'interno della camera di prova deve riprodurre la variazione di velocità media e di turbolenza in funzione della quota da terra. La simulazione del vento naturale è stata ottenuta utilizzando generatori di turbolenza passivi posti all'inizio della camera di prova (spires) e elementi di rugosità distribuiti a monte del modello.

Le caratteristiche del sito di costruzione, scelte in accordo con il Cliente e sulla base della normativa CNR-DT 207 R1/2018 sono riassunte in Tabella 3-1. La Figura 3-1 mostra la velocità media e l'intensità di turbolenza I_u in funzione della quota da terra misurati in camera di prova nella posizione del modello. Nelle figure sono mostrati per confronto anche i profili target del sito di costruzione.

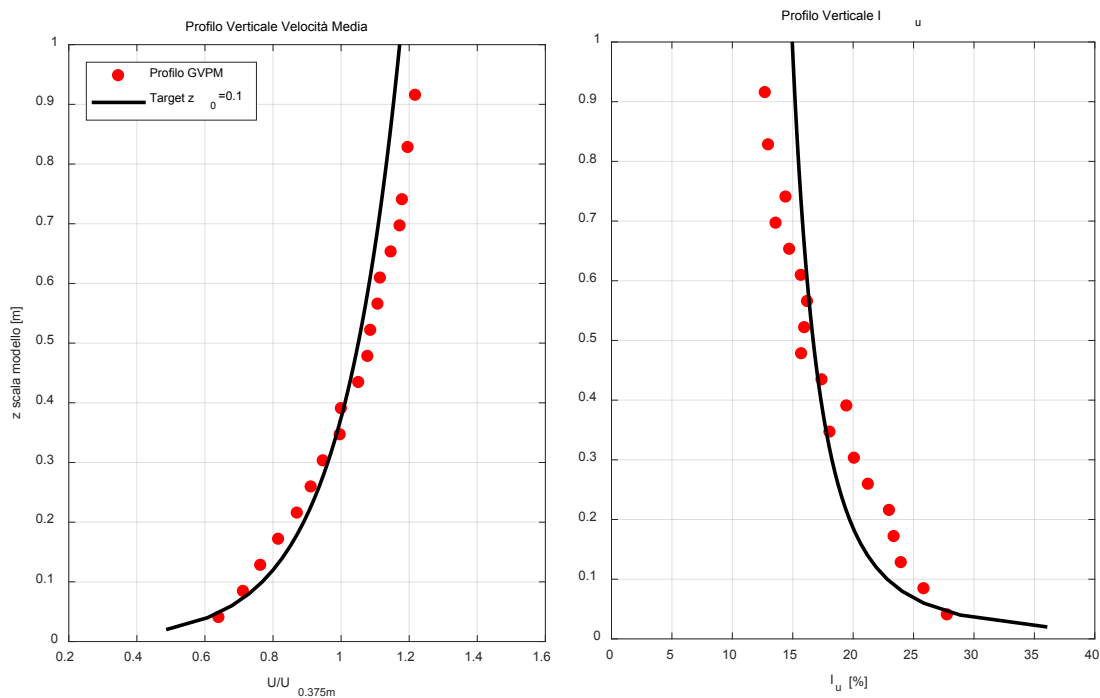


Figura 3-1. Profili verticali di velocità media e di intensità di turbolenza I_u al variare della quota da terra. Confronto tra dati sperimentali e profili target.

H_{ref}	(m)	30	Altezza di riferimento al vero
Zona	-	2	Emilia-Romagna
Classe di ruogosità	-	C	-
Categoria di esposizione	-	III	-
Classe di rugosità z_0	(m)	0.1	-
ρ	(kg/m ³)	1.25	Densità aria al vero

Tabella 3-1. Caratteristiche del sito di costruzione.

3.2 Modello

La progettazione dei modelli è stata svolta sulla base dei disegni forniti dal committente mostrati in Tabella 2-2. I modelli sono stati costruiti con la tecnica di “modello rigido” utilizzando una scala geometrica pari a $\lambda_L = 1:80$. I modelli sono stati progettati in modo da poter essere utilizzati per la misura contemporanea delle forze e delle pressioni. Gli stralli di supporto degli impalcati non sono stati realizzati nei modelli in scala per permettere la misura delle forze agenti sulle strutture separatamente.

3.2.1 Bridge-A

Il modello del ponte centrale (Bridge-A) è stato realizzato al fine di misurare i carichi aerodinamici complessivi sull'intero impalcato e i carichi aerodinamici alla base di una delle due strutture di supporto laterale mediante bilance dinamometriche a sei componenti. Tutte le misure di forza e di pressione sono state acquisite simultaneamente.

I carichi sull'impalcato sono stati misurati per mezzo della bilancia RUAG posta al di sotto del pavimento della camera di prova. I carichi alla base della struttura di supporto (bipode) su un lato dell'impalcato sono stati misurati indipendentemente sulle due gambe: in particolare alla bilancia ATI56 sono state collegate una gamba e la sfera di sommità, mentre alla bilancia ATI57 è stata collegata la seconda gamba. La Figura 5-3 mostra la strumentazione utilizzata per la misura del carico aerodinamico.

La misura delle pressioni è stata svolta utilizzando scanner ad alta velocità di acquisizione. Il modello di ponte centrale è stato strumentato con 32 prese di pressione distribuite sull'impalcato e sulle barriere di protezione.

Le barriere sono state strumentate con 16 prese di pressione sia sul lato interno che esterno in modo da ottenere 8 punti di misura del carico netto totali. Il carico netto è stato ottenuto facendo la differenza nel tempo direttamente delle storie temporali di pressioni misurate sui due lati della struttura. La Figura 5-9 mostra la posizione e nomenclatura delle prese di pressione sulle barriere.

L'impalcato è stato strumentato con 16 prese di pressione (8 prese parte superiore dell'impalcato, 8 prese lato inferiore) in modo da ottenere 8 punti di misura di pressione netta sul deck. Le prese di pressione sull'impalcato sono state utilizzate per l'analisi della distribuzione del carico eolico, §4.3.

3.2.2 Bridge-B

Il modello del ponte laterale (Bridge-B) è stato realizzato al fine di misurare i carichi aerodinamici complessivi sull'intero impalcato e i carichi aerodinamici in fondazione

all'antenna a sezione circolare mediante bilance dinamometriche a sei componenti. Tutte le misure di forza e di pressione sono state acquisite simultaneamente.

I carichi sull'impalcato sono stati misurati per mezzo della bilancia RUAG posta al di sotto del pavimento della camera di prova. I carichi in fondazione all'antenna sono stati misurati per mezzo della bilancia ATI56. La Figura 5-3 mostra la strumentazione utilizzata per la misura del carico aerodinamico.

La misura delle pressioni è stata svolta utilizzando scanner ad alta velocità di acquisizione. Il modello di ponte laterale è stato strumentato con 45 prese di pressione distribuite sia sull'impalcato sia sulle barriere esterne.

Le barriere sono state strumentate con 20 prese di pressione sia sul lato interno che esterno in modo da ottenere 10 punti di misura del carico netto totali. Il carico netto è stato ottenuto facendo la differenza nel tempo direttamente delle storie temporali di pressioni misurate sui due lati della struttura. La Figura 5-10 mostra la posizione e nomenclatura delle prese di pressione sulle barriere.

L'impalcato è stato strumentato con 25 prese di pressione disposte lungo 5 sezioni di misura, Figura A4.2. Le prese di pressione sull'impalcato sono state utilizzate per l'analisi della distribuzione del carico eolico, §4.3.

3.2.3 Surrounding

Al fine di simulare correttamente il vento naturale agente è importante considerare anche gli effetti locali dovuti alla presenza di altre strutture presenti in prossimità della costruzione. Per questo motivo sono stati riprodotti in camera di prova le opere strutturali ed i rilevati stradali in progetto più significative in un raggio di circa 400 m dal ponte centrale.

La Figura 5-5 e la Figura 5-8 mostrano alcune foto del set-up di prova. Come è possibile notare, poiché il ponte testato deve essere posizionato al centro del tavolo girevole, il surrounding comprensivo dell'intero svincolo autostradale è stato inizialmente installato attorno al ponte centrale, mentre durante le prove sul ponte laterale il surrounding è stato traslato di conseguenza (Figura 5-1 e Figura 5-2).

3.3 Definizione dei coefficienti aerodinamici globali

Le forze e momenti globali misurati dalle bilance dinamometriche sono espressi come coefficienti adimensionali di forza e di momento al variare dell'angolo di esposizione al vento:

$$C_{F_i}(t) = \frac{F_i(t)}{\bar{q}_h B_m L_m}, \quad C_{M_i}(t) = \frac{M_i(t)}{\bar{q}_h B_m L_m^2}, \quad i = x, y, z$$

dove $F_i(t)$ e $M_i(t)$ sono le forze e momenti misurati dalla bilancia dinamometrica, q_h è la pressione dinamica media in galleria del vento alla quota di riferimento, B_m e L_m le grandezze di riferimento considerate. Nella presente analisi le grandezze di riferimento sono state considerate per entrambi i ponti pari a:

- $B_m = L_m = 1/80$ m

I coefficienti di forza e di momento sono stati ottenuti depurando eventuali effetti statici dovuti al peso del modello e quindi sono significativi dei soli contributi aerodinamici. La corrispondente quota di riferimento al vero, secondo la quale tutti i valori dei coefficienti sono stati normalizzati è pari a $H=30$ m.

Tutti i sistemi di riferimento hanno un'origine posta ad una quota assoluta di +39.00m sul livello del mare, corrispondente al pavimento della sezione di prova per la modellazione del

surrounding. La Figura 5-1 e Figura 5-2 mostrano il punto di applicazione delle forze e momenti per ogni struttura.

3.4 Definizione del coefficiente di pressione adimensionale

Le pressioni sono state elaborate in forma adimensionale come coefficienti di pressione locale, al variare dell'angolo di esposizione al vento; sulla base delle misure sperimentali, il coefficiente di pressione è calcolato come segue:

$$C_{p,i}(t) = \frac{p_i(t) - p_s}{\bar{q}_h}$$

dove p_i è la pressione misurata dalla presa di pressione i -esima, p_s è la pressione statica media di riferimento del flusso indisturbato nella sezione di misura e q_h è la pressione dinamica media in galleria del vento alla quota di riferimento. La corrispondente quota di riferimento al vero, secondo la quale tutti i valori di C_p sono stati normalizzati è pari a $H=30$ m.

3.5 Valori estremi (valori dimensionanti)

Il carico misurato in un punto è caratterizzato da un andamento che varia nel tempo con una consistente componente dinamica fluttuante sovrapposta ad un valor medio. Al fine di definire i valori di picco di tale carico (estremi negativi e positivi per le pressioni, valore di picco per le forze e momenti) si è utilizzata un'analisi probabilistica degli eventi estremi sviluppata dagli autori Gumbel e Cook & Mayne e basata sulla distribuzione Fisher-Tippet Type I. Per una più dettagliata descrizione del metodo si faccia riferimento all'allegato tecnico fornito insieme alla relazione.

In particolare il valore di picco fornito nei risultati è sempre comprensivo del valore medio, ovvero nel caso di valor medio positivo viene sommato il picco positivo, nel caso di valor medio negativo viene sottratto il picco negativo. Il valore di picco così calcolato può essere utilizzato per definire il carico di dimensionamento della struttura.

3.6 Calcolo dei carichi eolici al vero

3.6.1 Forze aerodinamiche

Le forze aerodinamiche al vero devono essere calcolate utilizzando il valore del coefficiente aerodinamico di picco moltiplicato per la dinamica media del vento incidente alla quota di riferimento:

$$F_i = q_H \hat{C}_{Fi} BL$$

$$M_i = q_H \hat{C}_{Mi} BL^2$$

F_i, M_i (N) sono le forze e momenti aerodinamici al vero lungo le direzioni $i = x, y, z$, q_H è la pressione dinamica media alla quota di riferimento $H_{ref} = 30$ m, $B = 1$ m e $L = 1$ m sono le dimensioni di riferimento al vero, \hat{C}_{Fi} e \hat{C}_{Mi} i coefficienti aerodinamici di picco di forza e di momento.

3.6.2 Carichi di pressione

I carichi di pressione al vero devono essere calcolati come nel seguito indicato:

$$\hat{w}_k = \hat{C}_{p,k} \cdot q_H$$

$$\check{w}_k = \check{C}_{p,k} \cdot q_H$$

dove \check{w}_k, \hat{w}_k (kN/m^2) sono rispettivamente il carico eolico di picco superiore ed inferiore (carichi dimensionati per gli elementi secondari), q_H è la pressione dinamica media al vero alla

quota di riferimento $H=30$ m e $\hat{C}_{p,k}, \check{C}_{p,k}$ i coefficienti di picco calcolati dai dati sperimentali utilizzando il metodo di Cook & Mayne e forniti nella presente relazione.

3.6.3 Pressione dinamica al vero

Come esempio si riporta il calcolo della pressione dinamica media utilizzando la CNR-DT 207 R1/2018, §3.2. La pressione dinamica media alla quota di riferimento è calcolata come:

$$\bar{q}_H = \frac{1}{2} \rho v_m^2(H) = \frac{1}{2} \rho (v_r c_m(H))^2$$

dove: v_r è la velocità di riferimento di progetto e $c_m(H)$ è il coefficiente di profilo medio del vento alla quota di riferimento. Attenzione: per il calcolo delle forze e pressioni al vero deve essere utilizzata la pressione dinamica media in quanto i coefficienti sperimentali contengono già al loro interno i contributi dovuti al profilo medio della velocità del vento, alla turbolenza del vento incidente, agli effetti di prossimità dovuti al surrounding.

Utilizzando i dati caratteristici del terreno riportati nella Tabella 3-1, la pressione dinamica media alla quota di riferimento $H=30$ m associata ad una velocità con tempo di ritorno pari a $T=100$ anni, calcolata in accordo con la CNR-DT 207 R1/2018 da moltiplicare ai coefficienti di pressione forniti al fine di calcolare i carichi di pressione al vero, risulta:

$$\bar{q}_{(H=30)} = 548.7 \text{ N/m}^2$$

4 Risultati

4.1 Coefficienti statici aerodinamici globali di forza e momento

L'Annex A1 mostra i coefficienti statici aerodinamici globali di forza e momento misurati per il ponte centrale in funzione all'angolo di esposizione, l'Annex A2 quelli relativi al ponte laterale. Tutti i risultati sono riportati numericamente nel foglio Excel allegato.

- I coefficienti forniti sono comprensivi sia della statica che della parte dinamica del vento pertanto tengono conto sia del profilo del vento che della sua turbolenza, delle strutture circostanti, della turbolenza generata dalla struttura stessa e della correlazione tra le pressioni sulle sue superfici. Di conseguenza, i carichi estremi devono essere calcolati moltiplicando il coefficiente di picco per la pressione dinamica media.
- Questi carichi sono dovuti soltanto alle forze esterne agenti sulla struttura (carico eolico), ovvero non sono considerati eventuali contributi dinamici della stessa.
- I coefficienti di pressione non contengono nessun fattore di sicurezza.

4.2 Carico eolico sulle barriere di protezione

L'Annex A3 mostra i valori del coefficiente di pressione relativo alle barriere di protezione. I risultati sono mostrati in termini di coefficienti di pressione adimensionale netto di picco massimo e minimo, $\hat{C}_{p,k}$, $\check{C}_{p,k}$, calcolati con il metodo di Cook & Mayne.

- Le figure riportano per ogni punto di misura i valori massimi e minimi del coefficiente misurato fra tutte le esposizioni testate, ovvero tale distribuzione di carico non è da considerarsi come agente simultaneamente sulla struttura ma soltanto per il dimensionamento dei singoli elementi secondari.
- I valori sono elaborati come coefficienti netti sulla barriera, ovvero sono stati ottenuti come differenza (nel tempo) delle pressioni misurate da entrambi i lati della struttura.
- La pressione si intende sempre agente perpendicolarmente alla barriera: una pressione maggiore di zero produce una forza positiva diretta come $+F_x$ per il ponte centrale e positiva verso il centro di curvatura per il ponte laterale.
- I coefficienti di pressione non contengono nessun fattore di sicurezza.

4.3 Stima della distribuzione del carico eolico lungo l'impalcato

L'Annex A4 mostra la stima della distribuzione del carico eolico sui ponti effettuata per mezzo delle misure di pressione sulle barriere e sull'impalcato. Tale stima è stata sintetizzata in figure per mezzo di frecce relative ad ogni sollecitazione analizzata. I valori numerici associati alle lunghezze delle frecce sono un'indicazione della distribuzione del carico ma non sono da utilizzare per il calcolo della forza aerodinamica che deve essere invece calcolata utilizzando i coefficienti aerodinamici misurati globalmente dalla bilancia dinamometrica (Annex A1-A2). È stata elaborata una distribuzione per ogni angolo di esposizione testato.

4.3.1 Ponte centrale

Per il ponte centrale vengono fornite tre distribuzioni del carico: sbilanciamento forza verticale (lift), sbilanciamento forza orizzontale (drag), sbilanciamento coppia lungo l'asse longitudinale del ponte (M_y). Per eseguire tale analisi sono state utilizzate le prese di pressione sulle barriere più sedici prese di pressione distribuite su due sezioni dell'impalcato. Un esempio di risultato è descritto nell'Annex A4.

Il confronto con i valori dei coefficienti globali riportati nell'Annex A1 confermano in generale la risultante di queste distribuzioni con delle possibili eccezioni per forza in direzione z e il

momento M_y . Tali discrepanze (soprattutto il momento) sono da imputare alla non presenza di prese di pressione lungo le due travi principali esterne del ponte.

4.3.2 Sovrappasso laterale

L'andamento del carico lungo il sovrappasso laterale è stato analizzando per mezzo di cinque sezioni del ponte strumentate con prese di pressione. Per ogni sezione è stata calcolata la risultante delle pressioni lungo la direzione x (spinta orizzontale), direzione z (spinta verticale, lift) e momento torcente. L'output dell'analisi consiste nella distribuzione di queste due forze e momento per ogni sezione. L'annex A4 mostra il posizionamento delle sezioni, punto di riduzione del momento torcente e un esempio di risultati.

Il confronto con i valori dei coefficienti globali riportati nell'Annex A2 confermano in generale la risultante di queste distribuzioni con delle possibili eccezioni per la componente della forza in direzione z e il momento torcente totale.

4.4 Bridge-A. Stima del coefficiente di Drag sulla sfera

È stato stimato il valore del coefficiente di Drag sulla sfera in sommità alla struttura di supporto (bipode) dell'impalcato. L'analisi è stata effettuata per l'angolo di esposizione $\alpha=+90\text{deg}$, ovvero vento perpendicolare al bipode. La stima è stata effettuata come differenza fra i valori del coefficiente C_x misurati in fondazione alla gamba con sfera e quella senza sfera. L'angolo di esposizione $\alpha=+90\text{deg}$ è stato scelto in quanto è possibile attribuire la differenza della forza along-wind (C_x , direzione x) al solo contributo della sfera in sommità in quanto il flusso incidente sulle due gambe del bipode risulta il medesimo. Ciò è verificato dal fatto che il surrounding non devia il flusso incidente e il coefficiente di forza cross-wind (C_y) sulle due gambe risulta uguale e contrario.

Al fine del confronto con il valore del coefficiente di Drag teorico, sono stati utilizzati i valori medi del coefficiente sperimentale C_x :

- $C_x\text{-Ball-Mean (+90deg)} = 77.9$
- $C_x\text{-Beam-Mean (+90deg)} = 67.4$
- $C_x\text{-Sphere-Mean} = 10.5$
- **Coefficiente di Drag sperimentale sfera $C_x = (C_x\text{-Sphere-Mean})/(\text{Area}) = 0.45$** , dove l'area è definita come l'area frontale della sfera ($\text{Area} = \pi R^2$).

Per il calcolo del coefficiente di drag teorico sono stati utilizzati i seguenti dati:

- Velocità massima al vero $V = 30 \text{ m/s}$
- Numero di Reynolds al vero $Re = 1e7 - 1.1e7$
- **Coefficiente di Drag teorico sfera $C_x \approx 0.2$**

Il coefficiente teorico del Drag della sfera è stato calcolato utilizzando Eurocode1 (UNI EN 1991-1-4:2005. Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions) che risulta in accordo con altri dati presenti in letteratura (per esempio: Pope, A., J. B. Barlow, et al. (1999). Low-speed wind tunnel testing. New York Wiley). Tale valore del coefficiente di Drag teorico è stato ricavato ipotizzando una superficie della sfera metallica verniciata spray.

Come è possibile notare, il coefficiente di Drag ricavato dai dati sperimentali risulta maggiore di quello teorico (riferito a una sfera in campo libero interamente immersa nel fluido). Per questo motivo, per la progettazione, l'utilizzo del valore di Drag sperimentale per tutti gli angoli di esposizione risulterebbe sempre a favore di sicurezza.

5 Tavole e foto

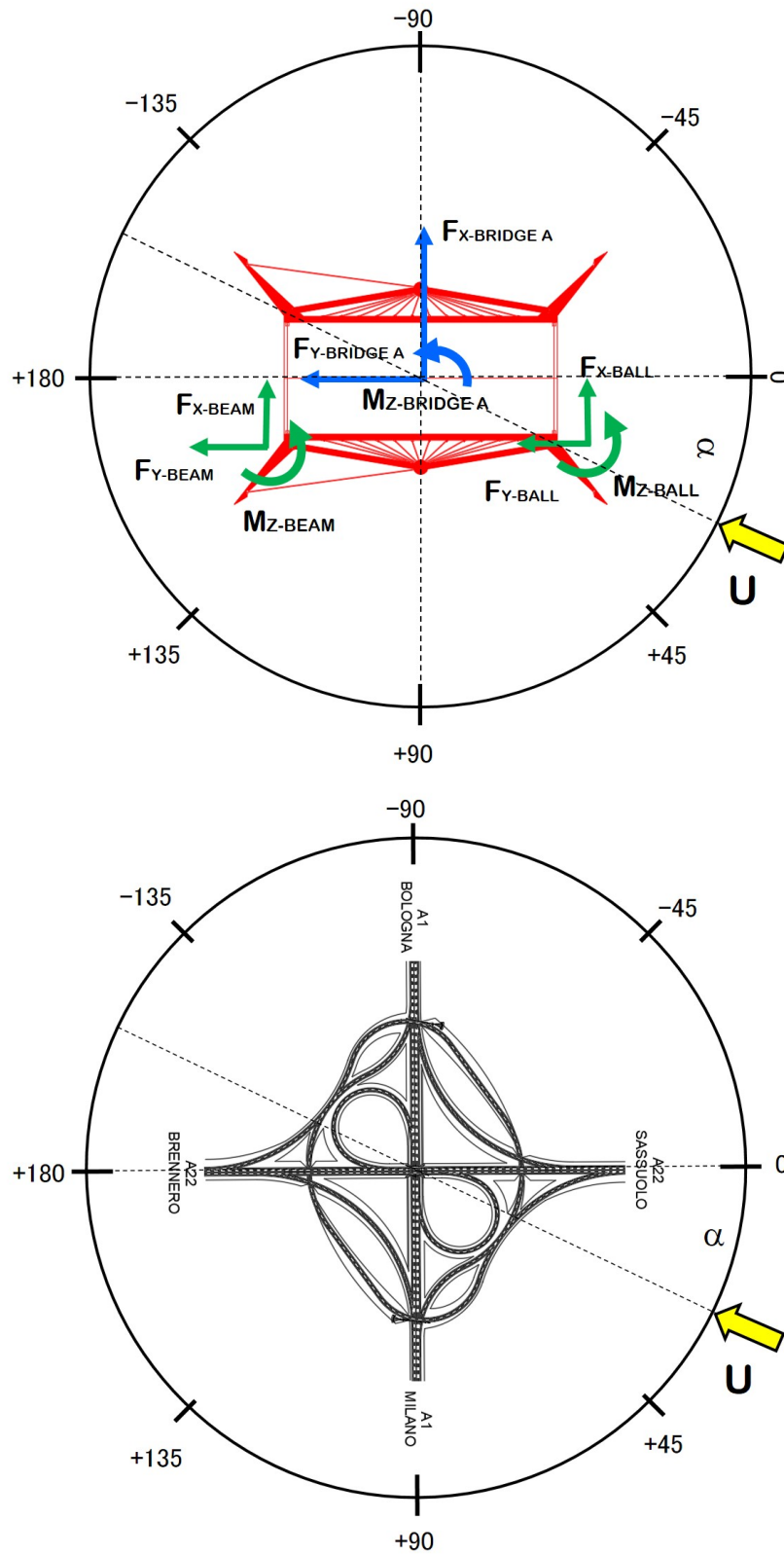


Figura 5-1. Bridge A. Angoli di esposizione al vento e sistema di riferimento forze momenti per impalcato e torri.

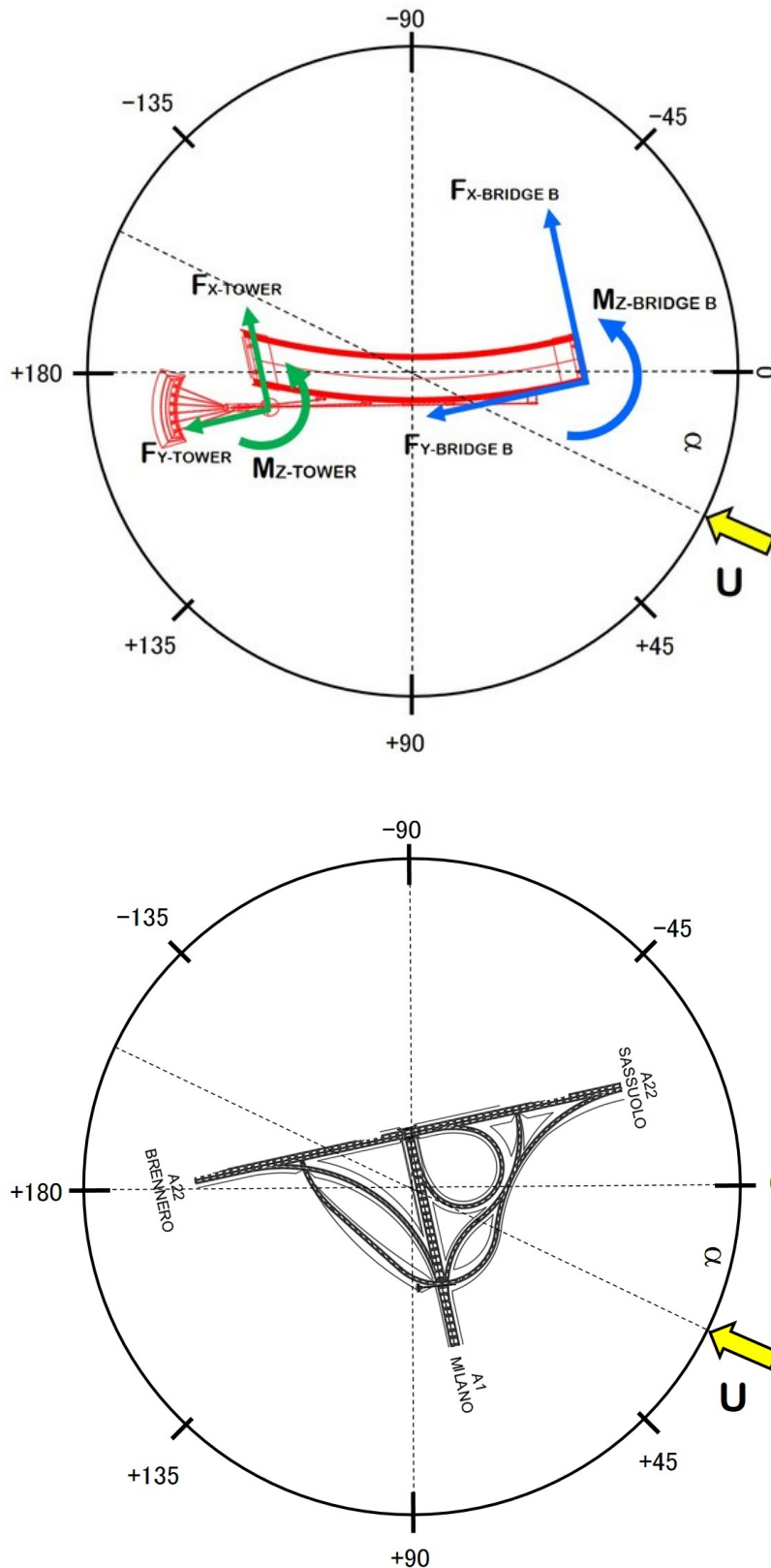


Figura 5-2. Bridge B. Angoli di esposizione al vento e sistema di riferimento forze momenti per impalcato e torri.

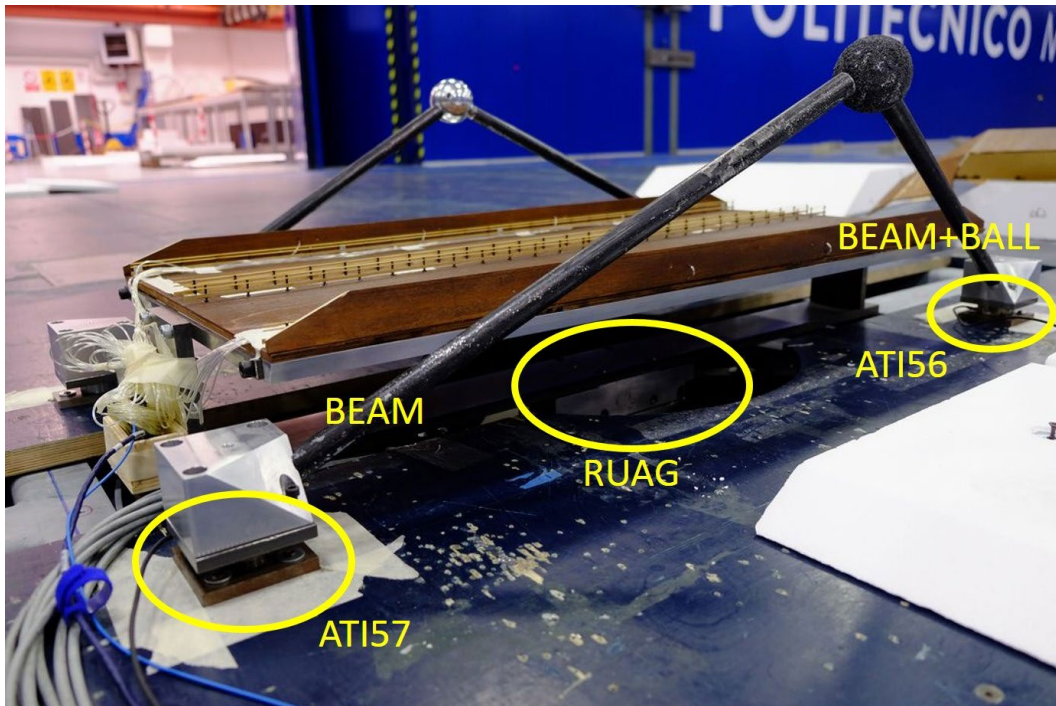


Figura 5-3. Bridge A. Strumentazione utilizzata per la misura dei carichi aerodinamici.

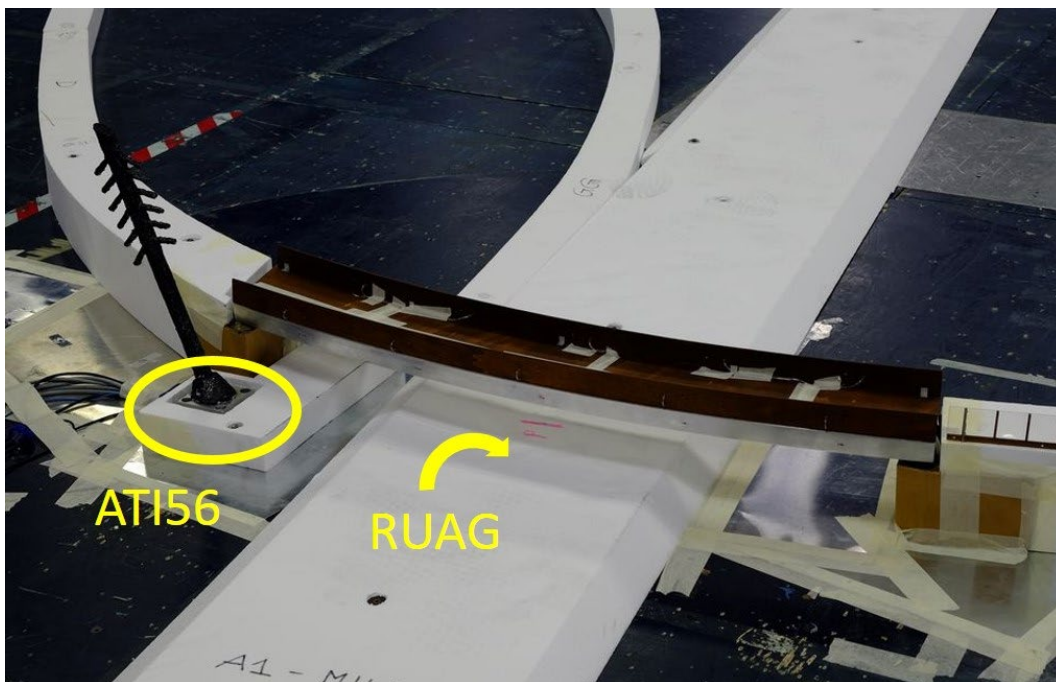


Figura 5-4. Bridge B. Strumentazione utilizzata per la misura dei carichi aerodinamici.



Figura 5-5. Bridge A. Modello in camera di prova.



Figura 5-6. Bridge A. Modello in camera di prova.



Figura 5-7. Bridge B. Modello in camera di prova.



Figura 5-8. Bridge B. Modello in camera di prova.

5.1 Nomenclatura delle prese di pressione

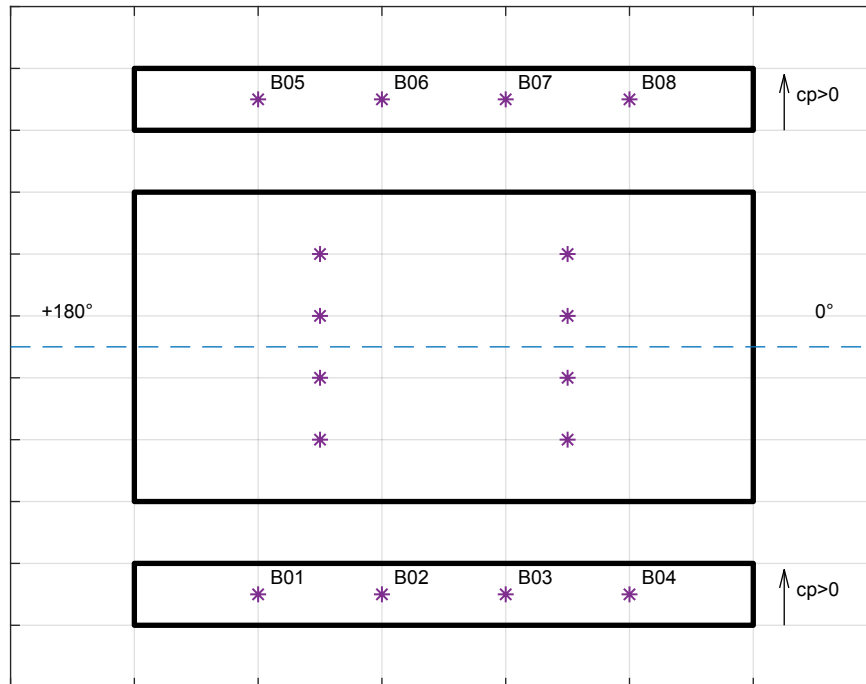


Figura 5-9. Bridge A. Nomenclatura delle prese di pressione sulle barriere. Il nome indica già il valore netto misurato.

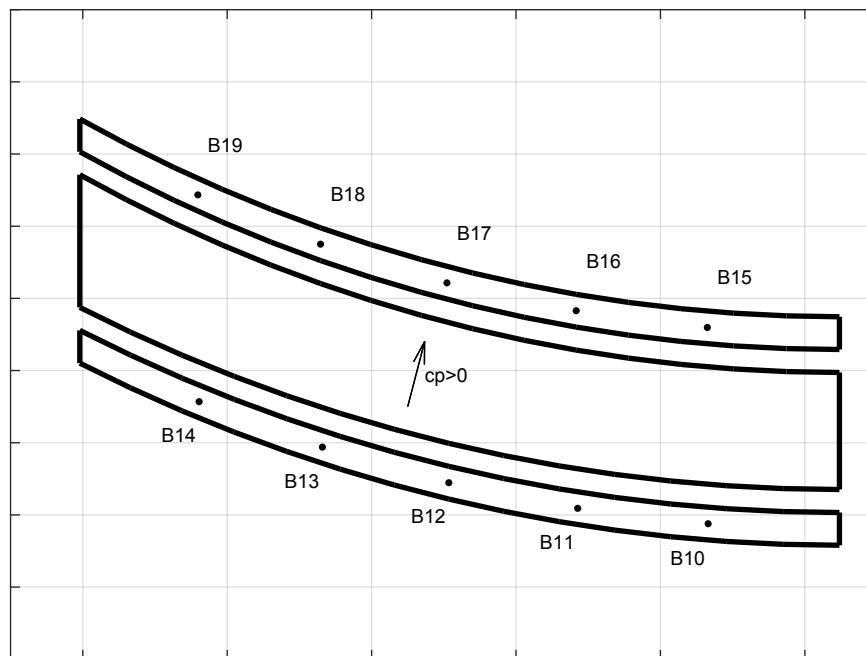


Figura 5-10. Bridge B. Nomenclatura delle prese di pressione sulle barriere. Il nome indica già il valore netto misurato.

ANNEX A1. BRIDGE A. COEFFICIENTI STATICI AERODINAMICI GLOBALI DI FORZA E MOMENTO

Il presente Annex A1 mostra i coefficienti statici aerodinamici globali di forza e momento misurati sul sovrappasso centrale (Bridge A): impalcato e una struttura di supporto laterale (bipode). I carichi alla base della struttura di supporto sono stati misurati indipendentemente sulle due gambe: in particolare alla bilancia ATI56 sono state collegate una gamba e la sfera di sommità, mentre alla bilancia ATI57 la seconda gamba. Nelle figure i coefficienti sono così denominati:

- Bridge-A: coefficiente statico globale impalcato ponte centrale (RUAG)
- Ball: coefficiente statico alla fondazione della gamba comprensiva della sfera (ATI56)
- Beam: coefficiente statico alla fondazione della gamba senza sfera (ATI57)

Le figure mostrano il valore medio e di picco del coefficiente in funzione dell'angolo di esposizione al vento. I valori di dimensionamento al vero possono essere calcolati utilizzando il valore del coefficiente di picco moltiplicato per la pressione dinamica media del vento incidente alla quota di riferimento:

$$F_i = q_H \hat{C}_{Fi} B L$$

$$M_i = q_H \hat{C}_{Mi} B^2 L$$

dove $i = x, y, z$, q_H è la pressione dinamica media alla quota di riferimento $H_{ref} = 30m$, $B = 1m$ and $L = 1m$ sono le dimensioni di riferimento al vero. I risultati sono mostrati numericamente nel foglio Excel allegato al presente report.

Sistemi di riferimento

Tutti i sistemi di riferimento hanno un'origine posta ad una quota assoluta di +39 m sul livello del mare.

- Ponte centrale: Posizionato al centro della proiezione in pianta dell'impalcato. Asse x: perpendicolare all'asse longitudinale del ponte. Asse y: parallelo all'asse longitudinale del ponte. Asse z: verticale positivo verso alto.
- Supporto laterale: Posizionato alla fondazione delle singole gambe. Assi xyz concordi al sistema di riferimento dell'impalcato.

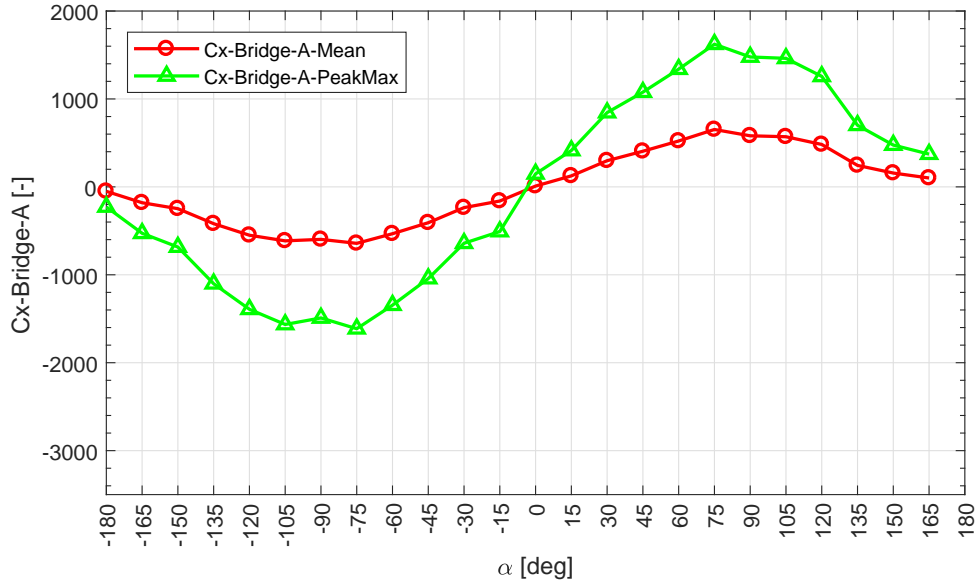


Figura A1.1: Cx-Bridge-A

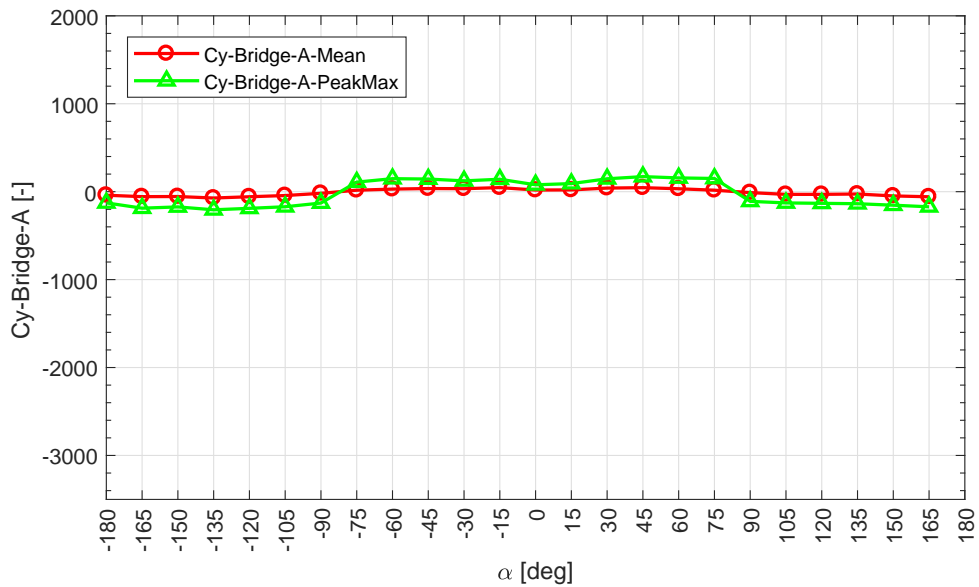
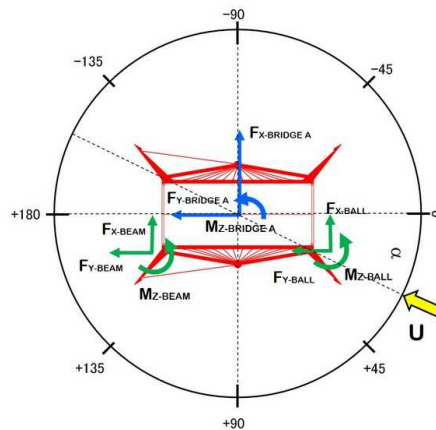


Figura A1.2: Cy-Bridge-A



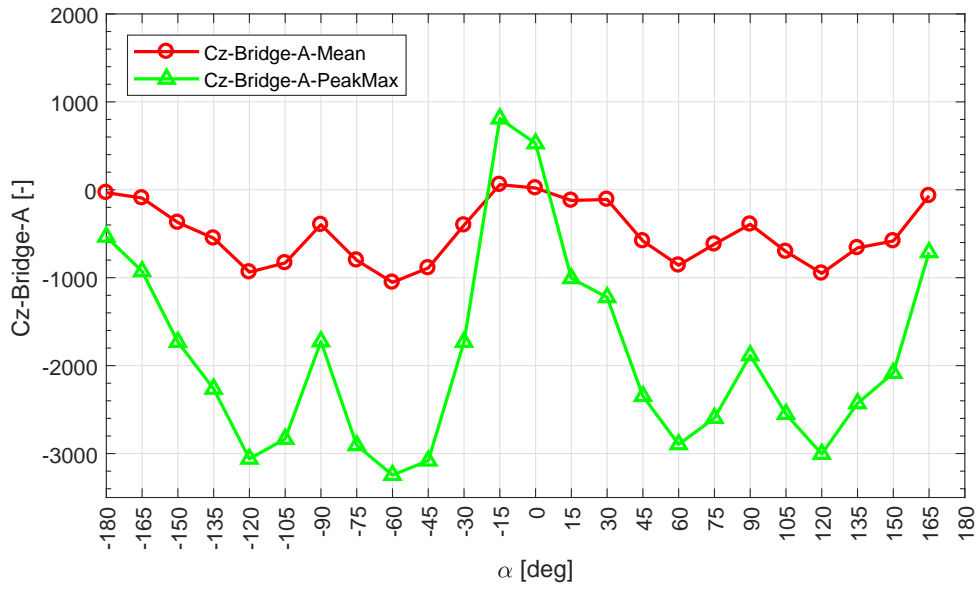


Figura A1.3: Cz-Bridge-A

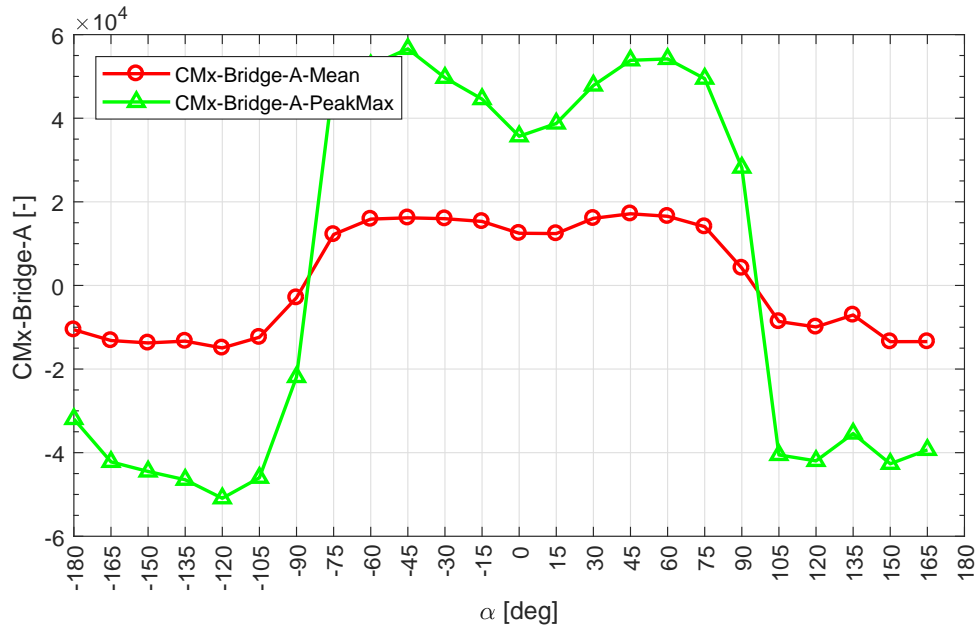
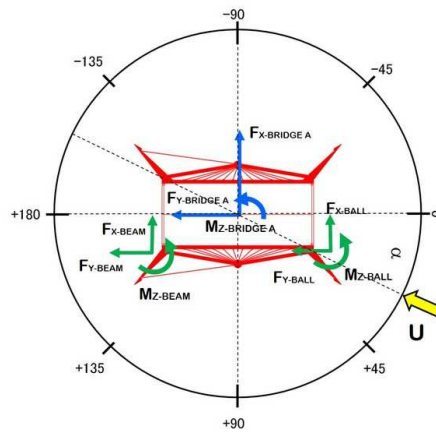


Figura A1.4: CMx-Bridge-A



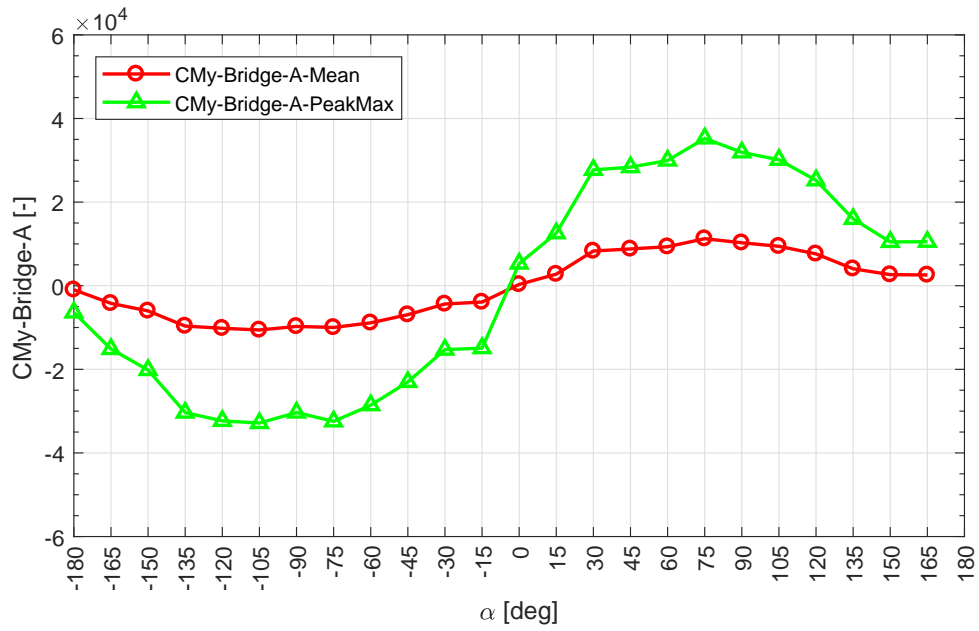


Figura A1.5: CMy-Bridge-A

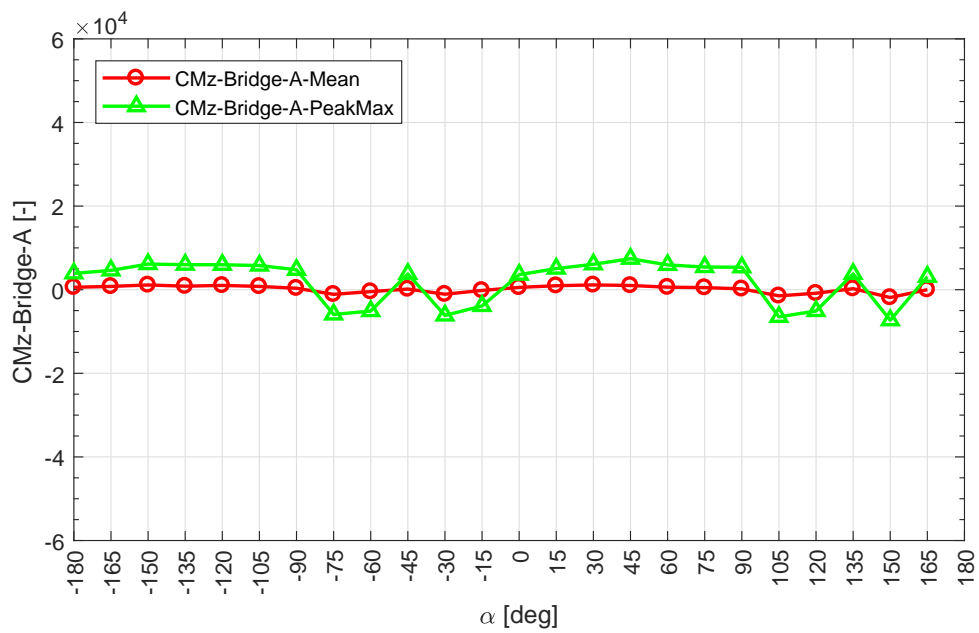
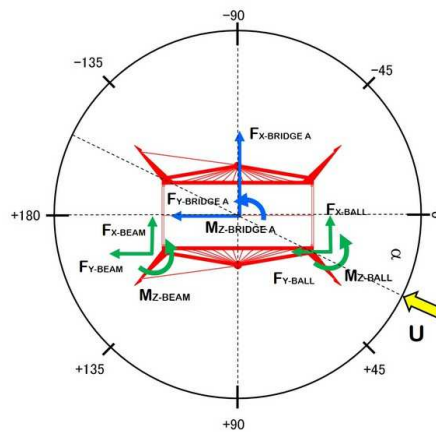


Figura A1.6: CMz-Bridge-A



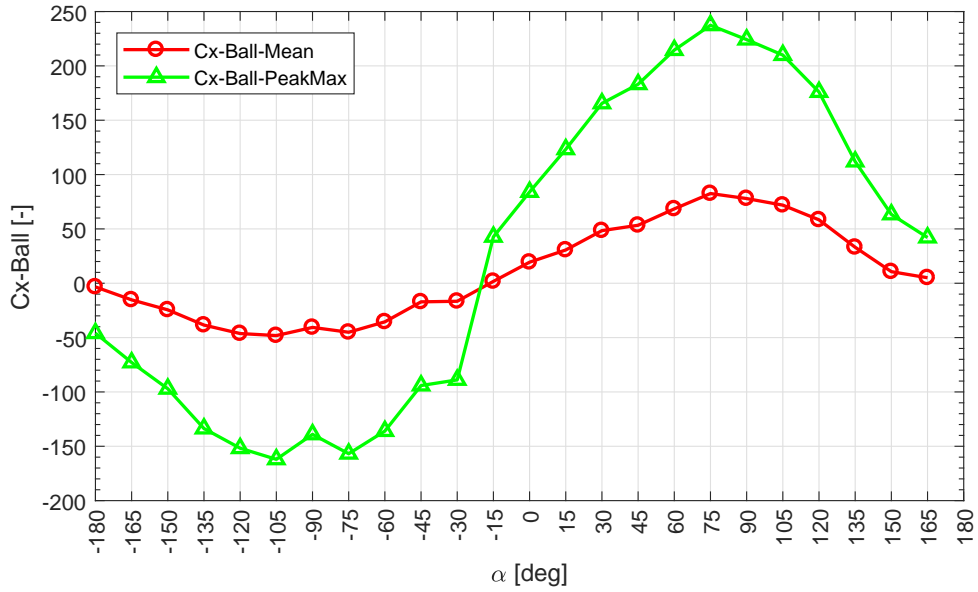


Figura A1.7: Cx-Ball

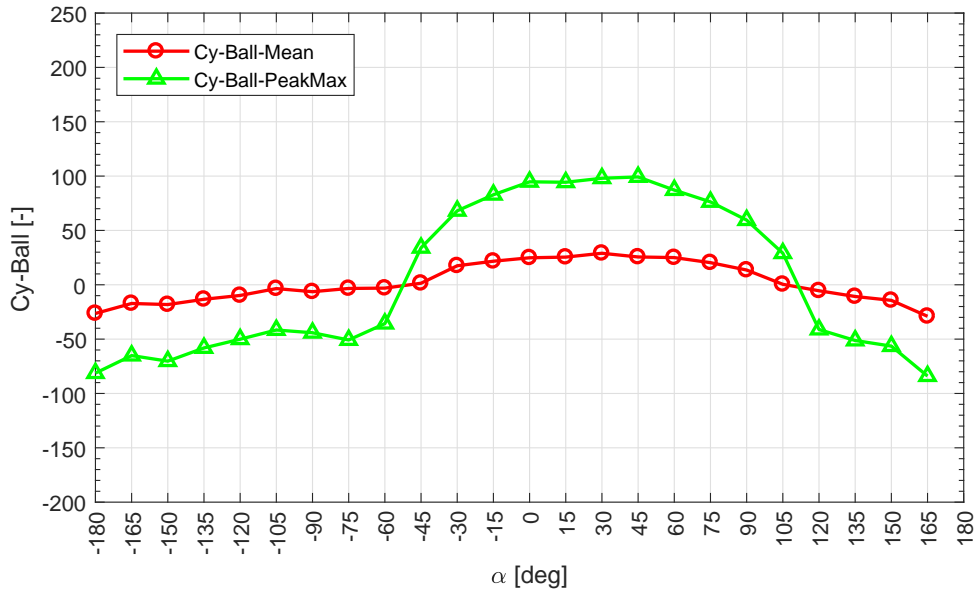
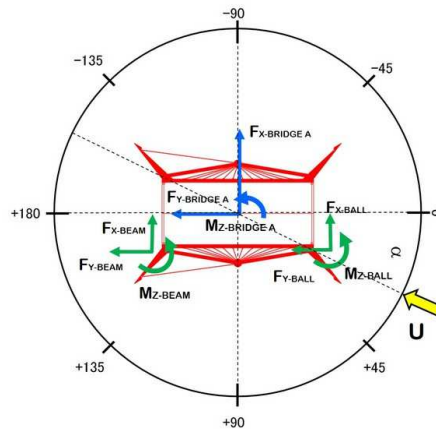


Figura A1.8: Cy-Ball



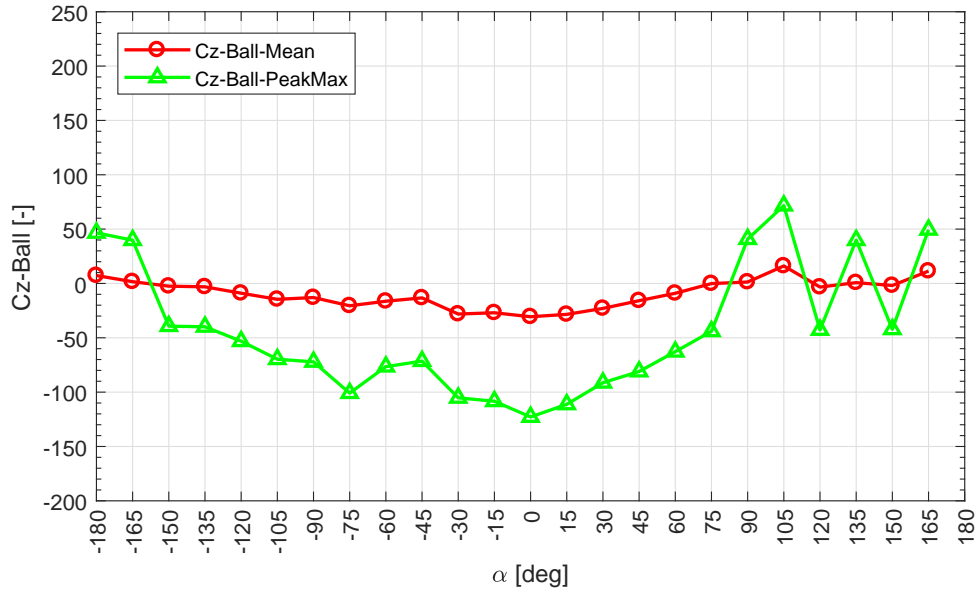


Figura A1.9: Cz-Ball

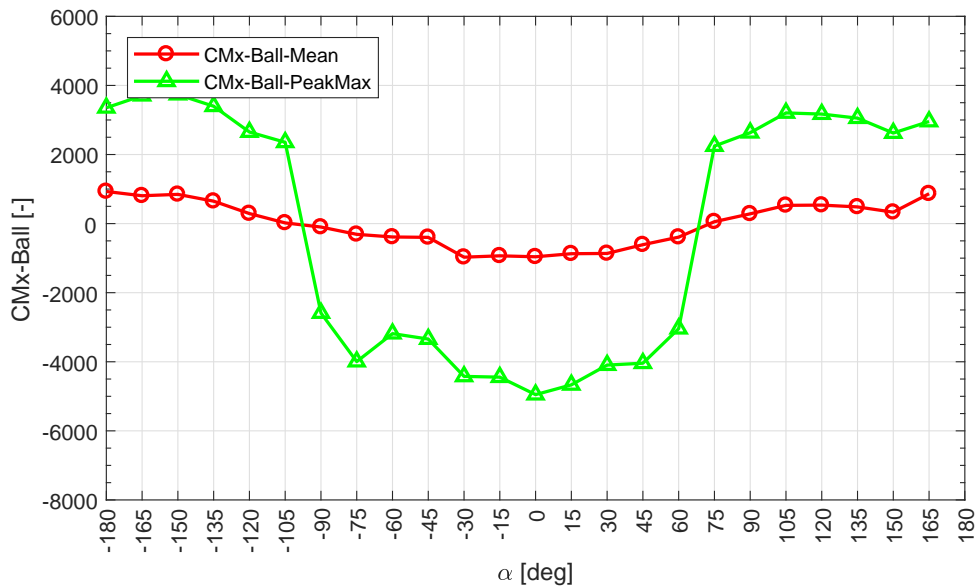
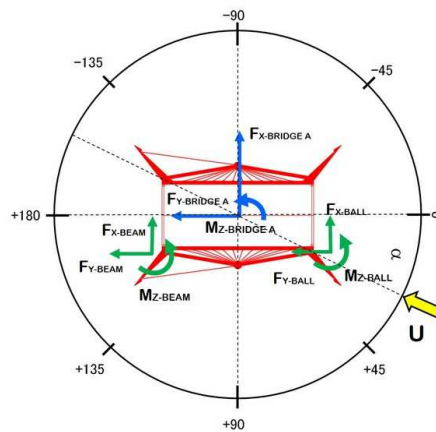


Figura A1.10: CMx-Ball



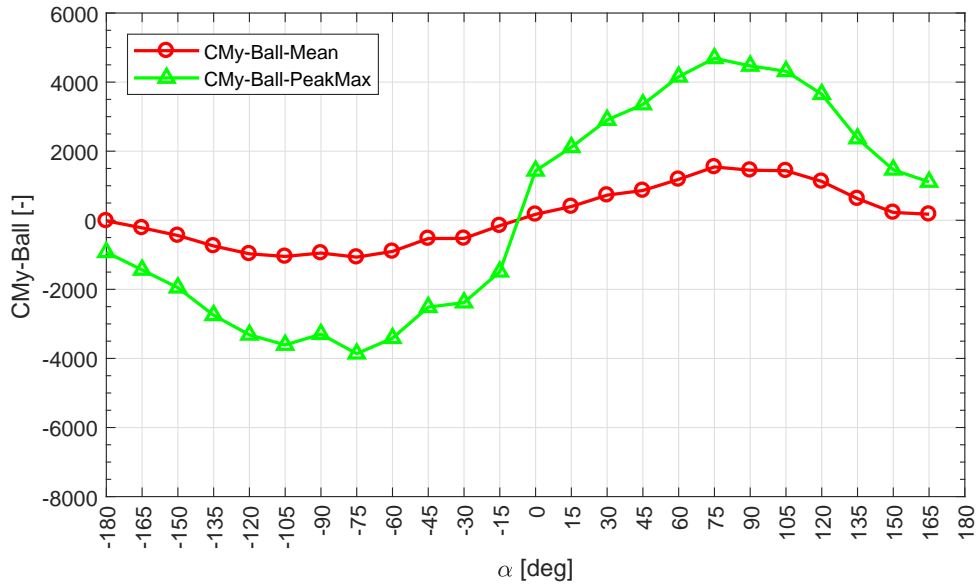


Figura A1.11: CMy-Ball

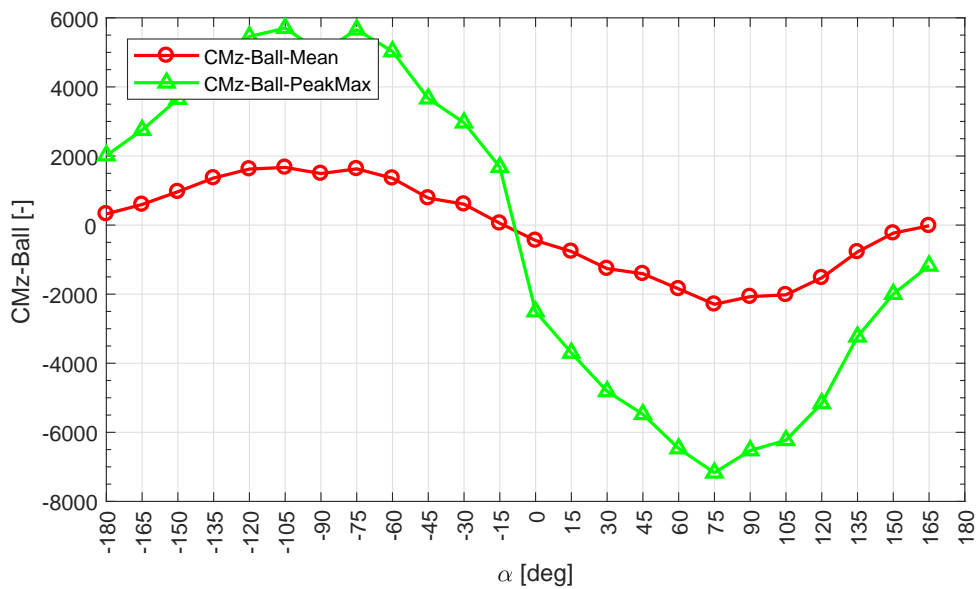
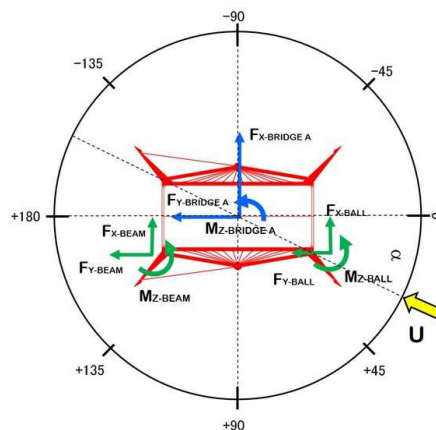


Figura A1.12: CMz-Ball



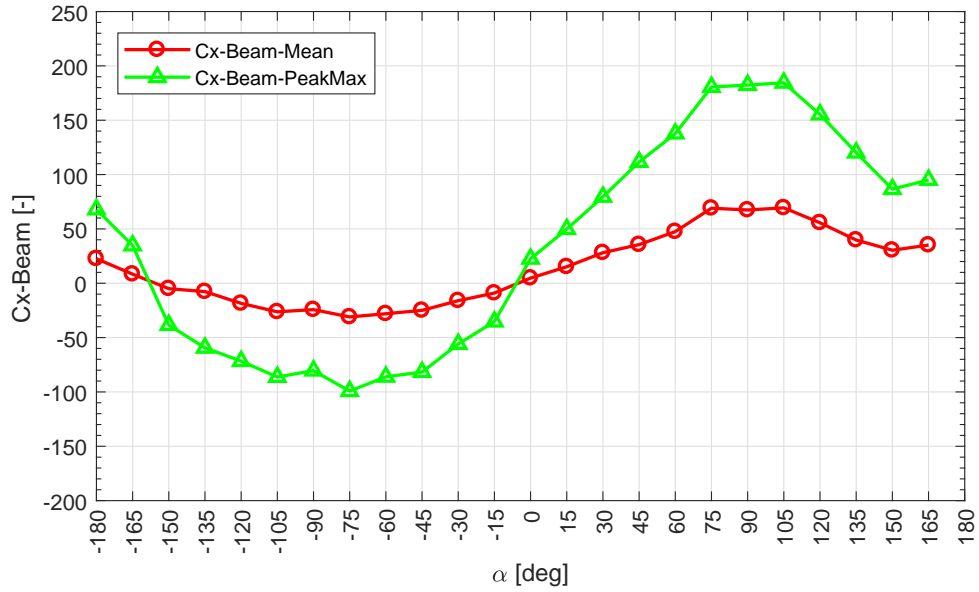


Figura A1.13: Cx-Beam

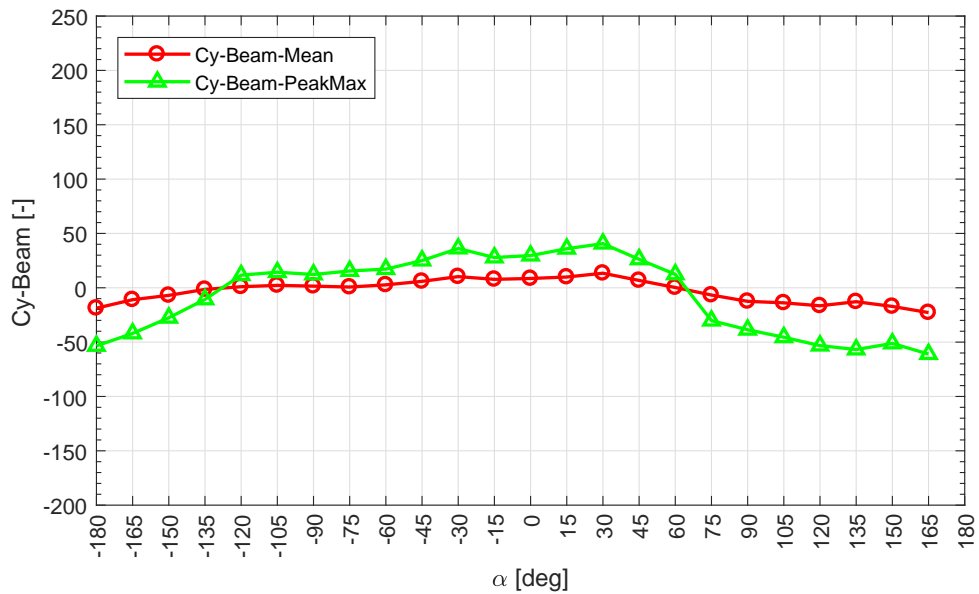
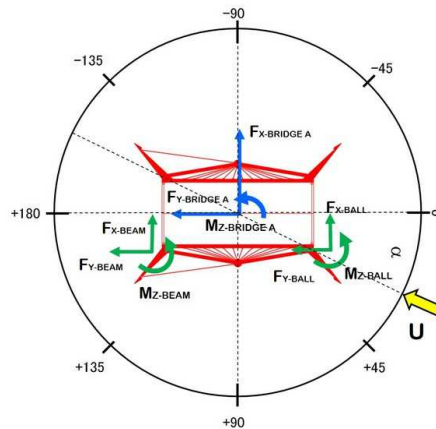


Figura A1.14: Cy-Beam



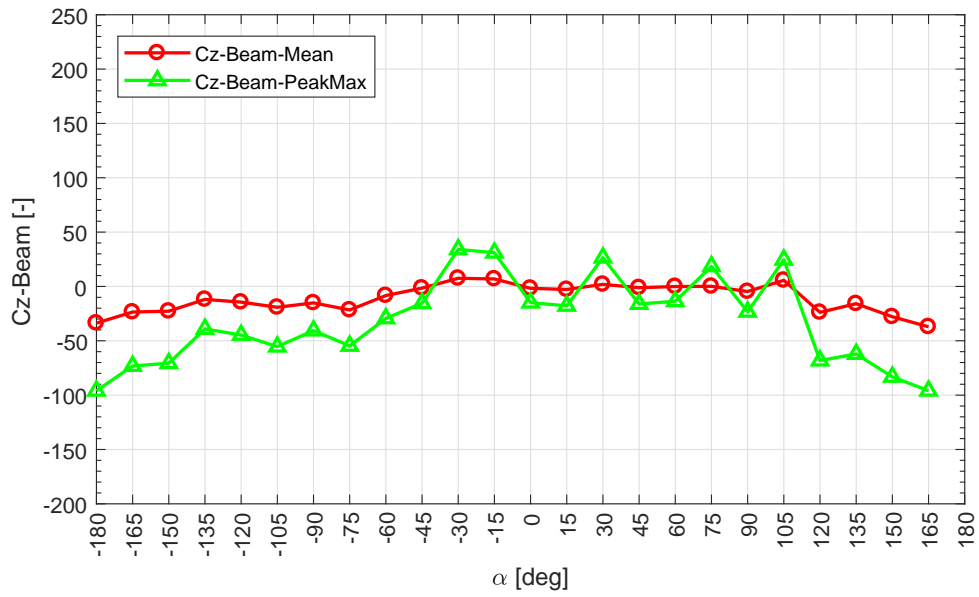


Figura A1.15: Cz-Beam

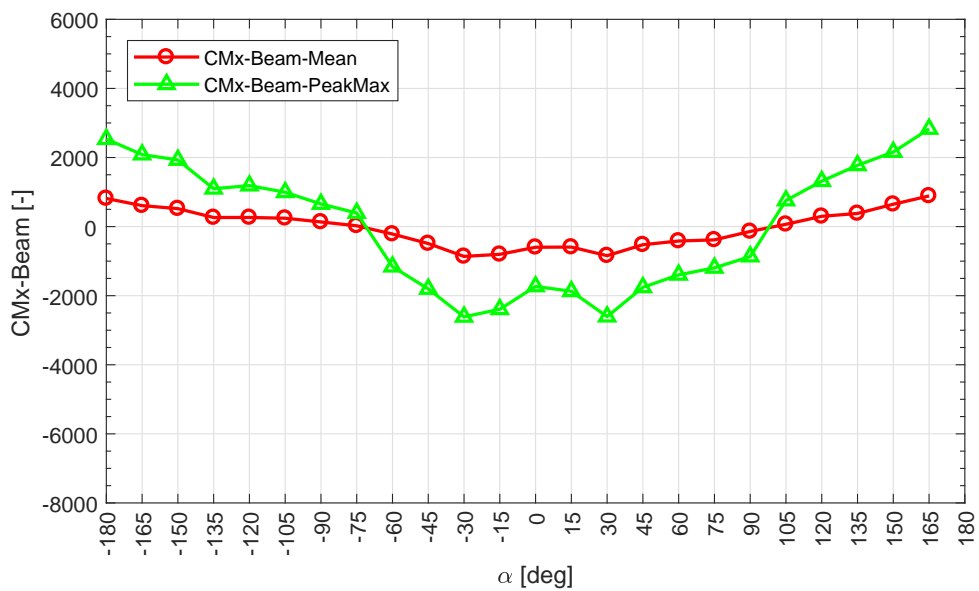
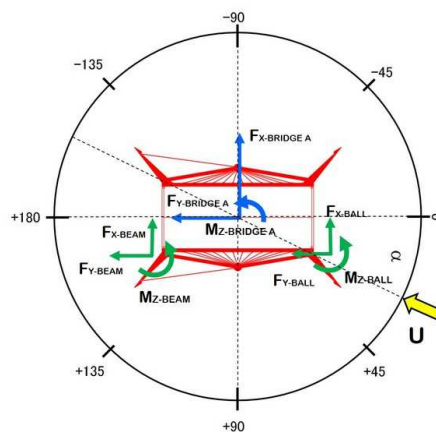


Figura A1.16: CMx-Beam



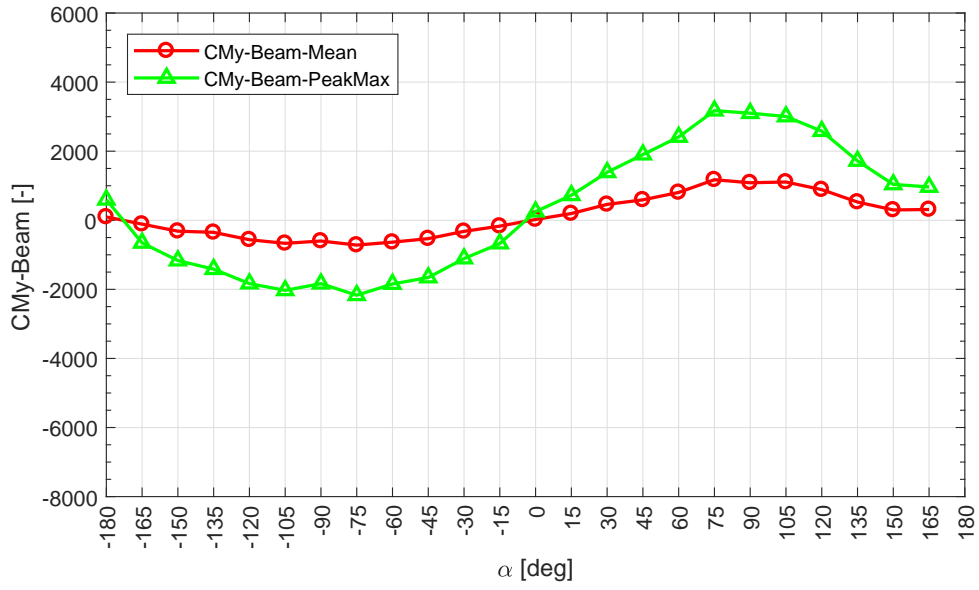


Figura A1.17: CMY-Beam

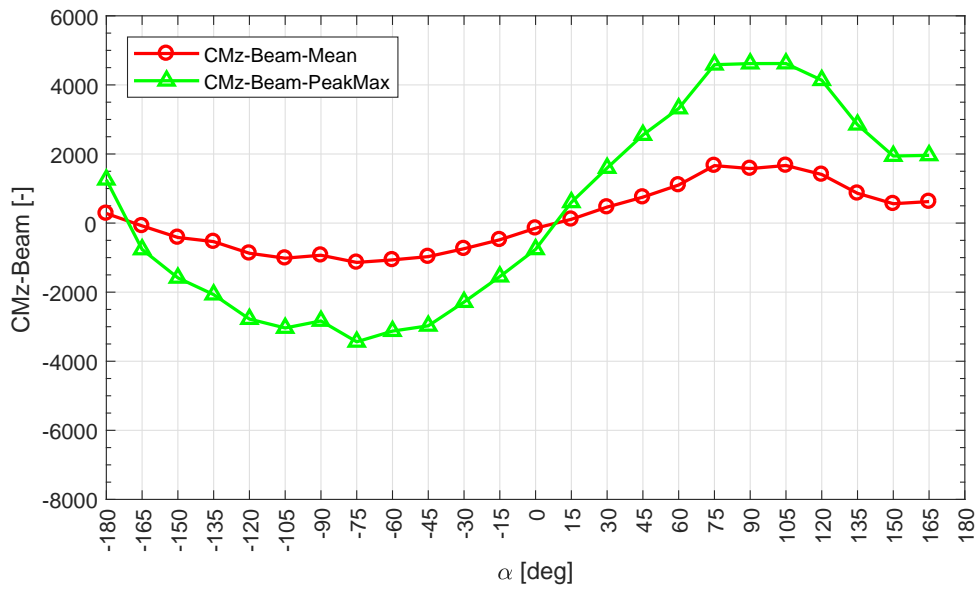
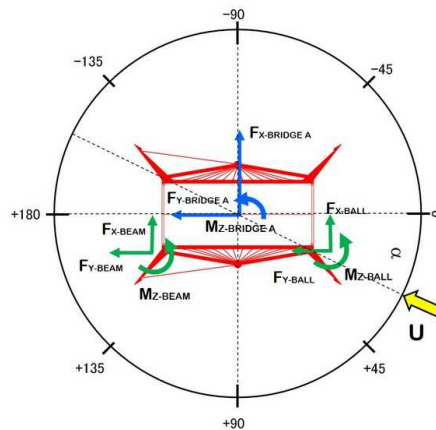


Figura A1.18: CMz-Beam



ANNEX A2. BRIDGE B. COEFFICIENTI STATICI AERODINAMICI GLOBALI DI FORZA E MOMENTO

Il presente Annex A2 mostra i coefficienti statici aerodinamici globali di forza e momento misurati sul sovrappasso laterale (Bridge B): impalcato e base dell'antenna. Nelle figure i coefficienti sono così denominati:

- Bridge-B: coefficiente statico globale impalcato sovrappasso laterale (RUAG)
- Tower: coefficiente statico alla fondazione torre (ATI56)

Le figure mostrano il valore medio e di picco del coefficiente in funzione dell'angolo di esposizione al vento. I valori di dimensionamento al vero possono essere calcolati utilizzando il valore del coefficiente di picco moltiplicato per la pressione dinamica media del vento incidente alla quota di riferimento:

$$F_i = q_H \hat{C}_{F_i} B L$$
$$M_i = q_H \hat{C}_{M_i} B L^2$$

dove $i = x, y, z$, q_H è la pressione dinamica media alla quota di riferimento $H_{ref} = 30m$, $B = 1m$ and $L = 1m$ sono le dimensioni di riferimento al vero. I risultati sono mostrati numericamente nel foglio Excel allegato al presente report.

Sistemi di riferimento

Tutti i sistemi di riferimento hanno un'origine posta ad una quota assoluta di +39 m sul livello del mare.

- Ponte laterale: posizionato in corrispondenza dell'appoggio Sud. Asse x: parallelo all'appoggio (diretto verso centro di curvatura). Asse z: verticale positivo verso alto.
- Antenna: posizionato alla fondazione delle gambe. Assi xy paralleli al sistema di riferimento dell'impalcato.

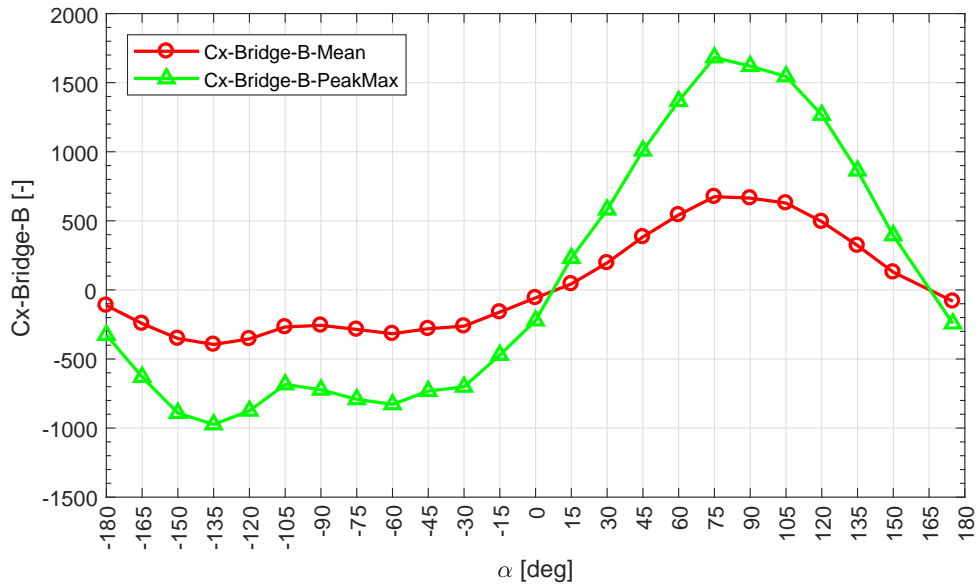


Figura A2.1: Cx-Bridge-B

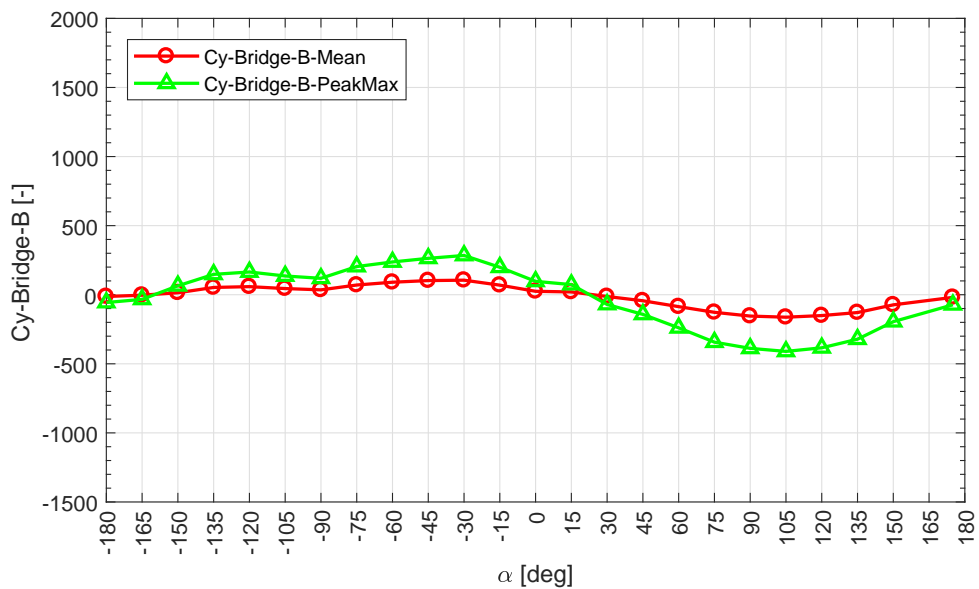
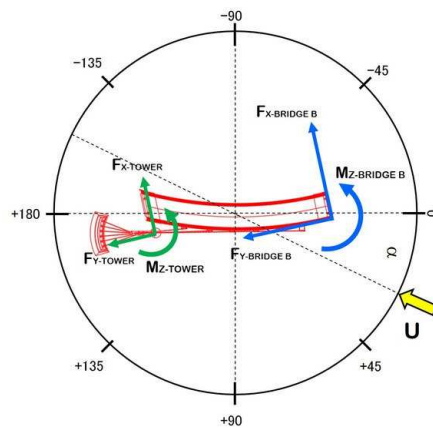


Figura A2.2: Cy-Bridge-B



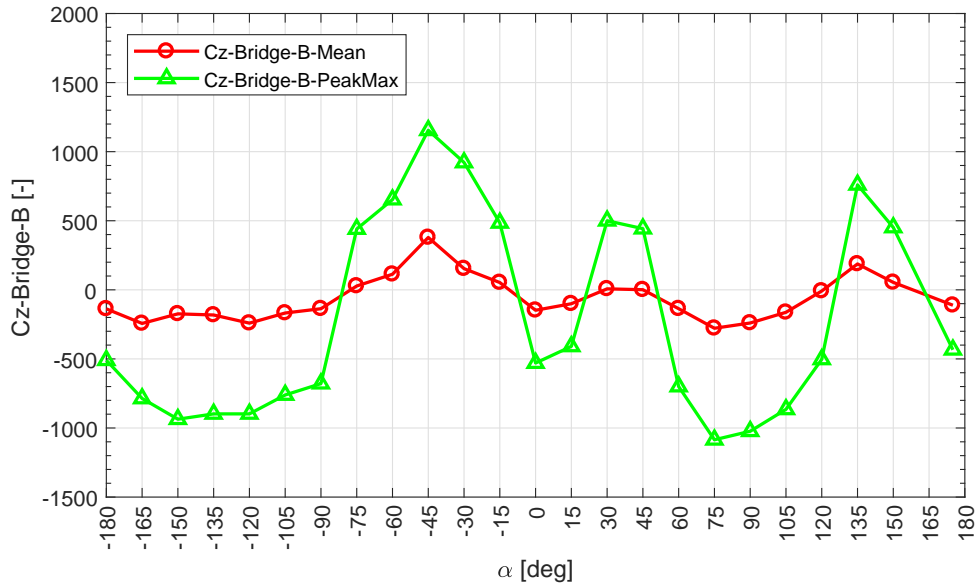


Figura A2.3: Cz-Bridge-B

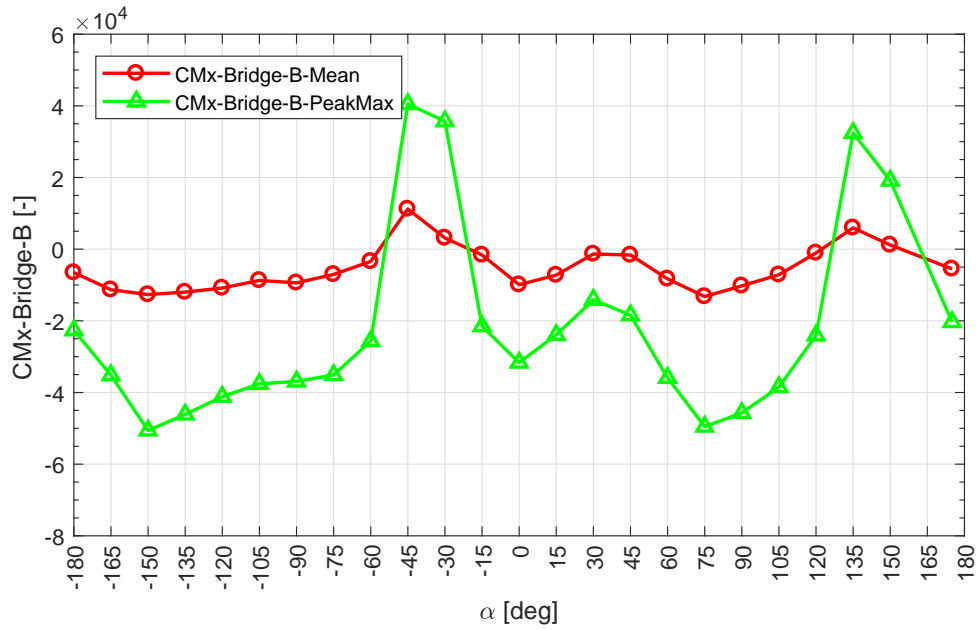
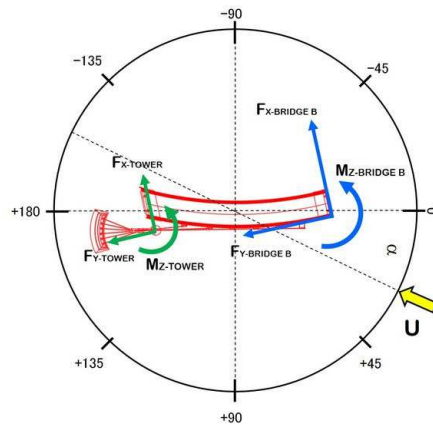


Figura A2.4: CMx-Bridge-B



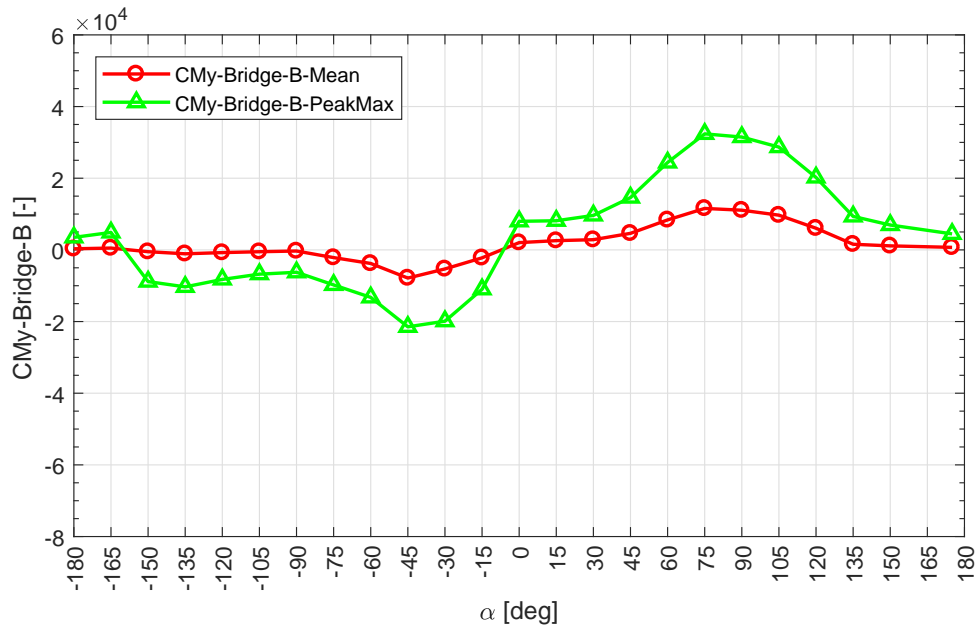


Figura A2.5: CMY-Bridge-B

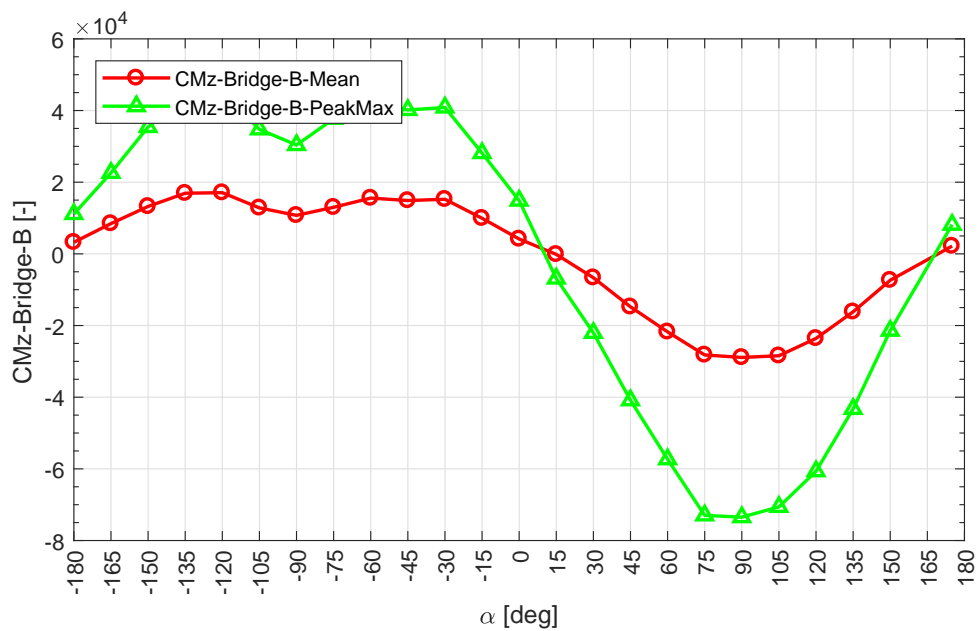
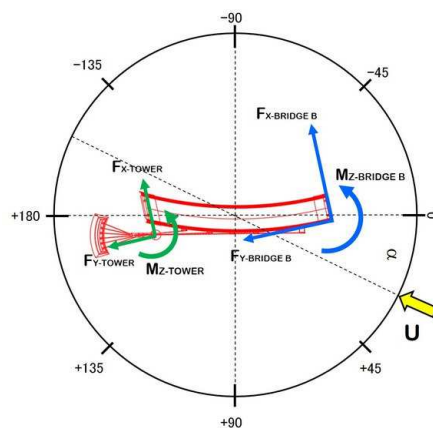


Figura A2.6: CMz-Bridge-B



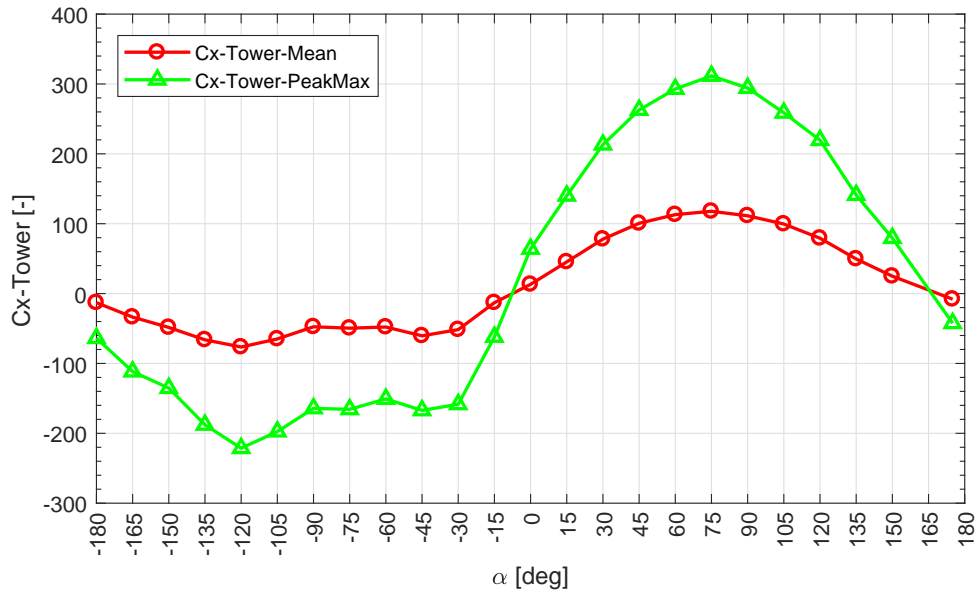


Figura A2.7: Cx-Tower

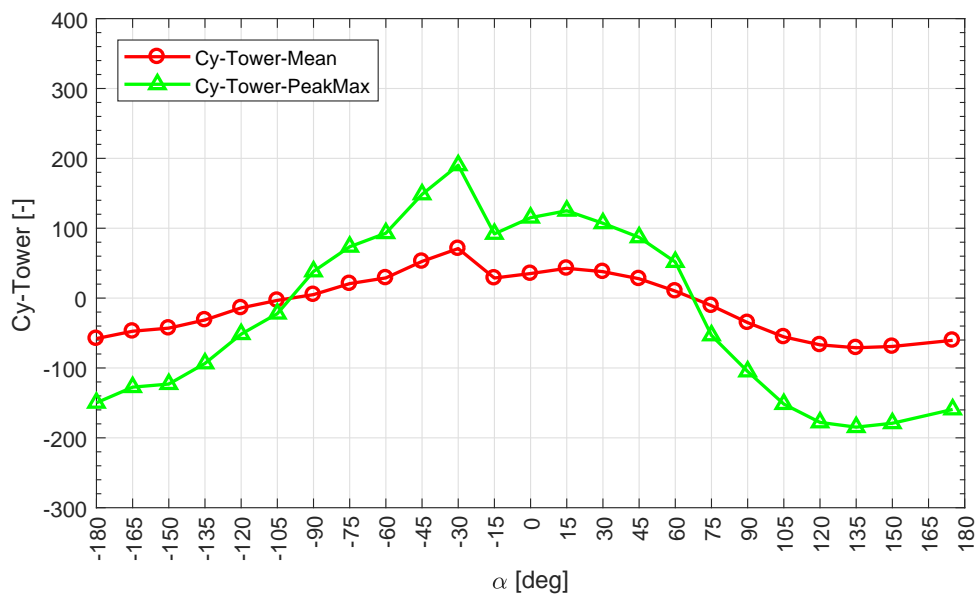
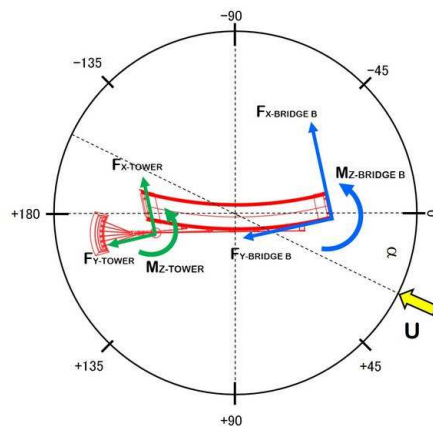


Figura A2.8: Cy-Tower



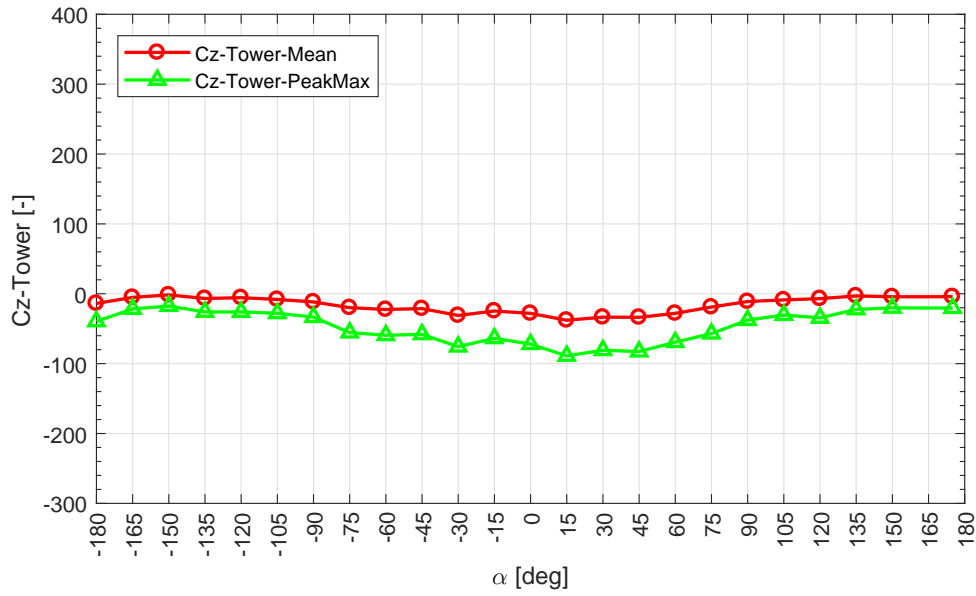


Figura A2.9: Cz-Tower

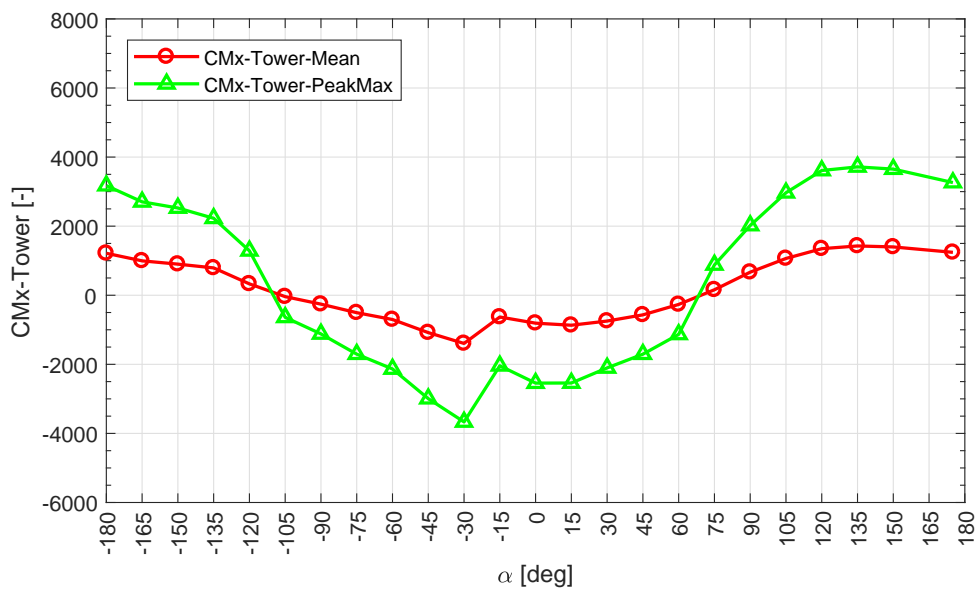
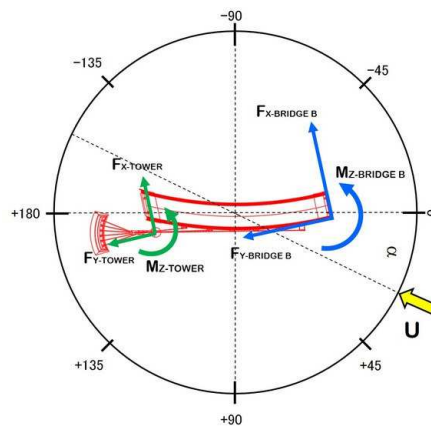


Figura A2.10: CMx-Tower



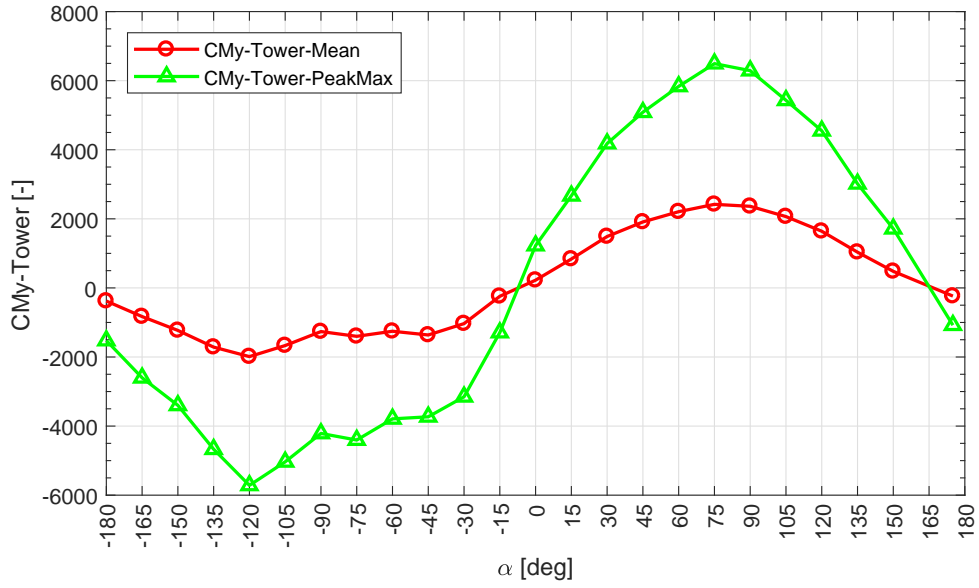


Figura A2.11: CMy-Tower

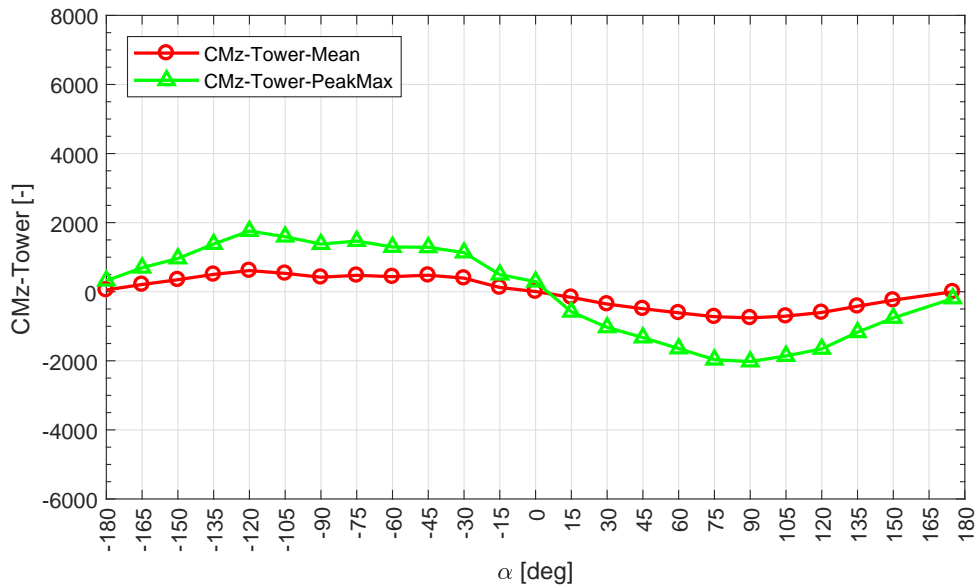
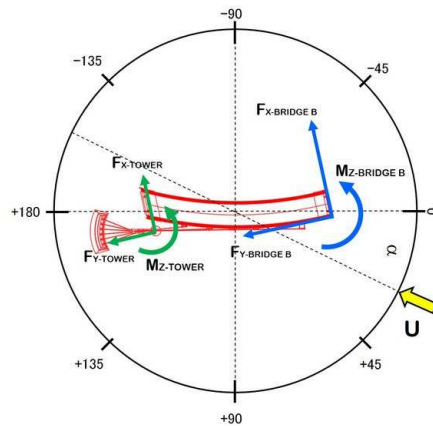


Figura A2.12: CMz-Tower



ANNEX A3. COEFFICIENTI DI PRESSIONI DIMENSIONANTI PER LE BARRIERE

Il presente Annex A3 mostra i valori del coefficiente di pressione relativo alle barriere di protezione. I risultati sono mostrati in termini di coefficienti di pressione adimensionale di picco massimo e minimo, \hat{C}_P e \check{C}_P . Le figure riportano per ogni punto di misura i valori massimi e minimi del coefficiente misurato fra tutte le esposizioni testate, ovvero tale distribuzione di carico non è da considerarsi come agente simultaneamente sulla struttura ma soltanto per il dimensionamento dei singoli elementi secondari. I valori sono elaborati come coefficienti netti sulla barriera, ovvero sono stati ottenuti come differenza delle pressioni misurate da entrambi i lati della struttura. La pressione si intende sempre agente perpendicolarmente alla barriera. Una pressione maggiore di zero produce una forza positiva diretta come $+F_X$ per il ponte centrale e una forza positiva verso il centro di curvatura per il ponte laterale.

I valori di carico al vero devono essere calcolati utilizzando il coefficiente di picco moltiplicato per la dinamica media del vento incidente alla quota di riferimento:

$$\hat{w}_k = q_H \hat{C}_{p,k}$$

$$\check{w}_k = q_H \check{C}_{p,k}$$

dove \hat{w}_k e \check{w}_k sono i carichi eolici massimi positivi e massimi negativi relativi al k th punto di misura, \hat{C}_P e \check{C}_P sono i valori del coefficiente di pressione netto di picco mostrati nel presente Annex, q_H è la pressione dinamica media alla quota di riferimento $H_{ref} = 30m$. I risultati sono mostrati numericamente nel foglio Excel allegato al presente report. Le Figure A3.5 e A3.6 mostrano la nomenclatura delle prese di pressione sulle barriere sui due ponti.

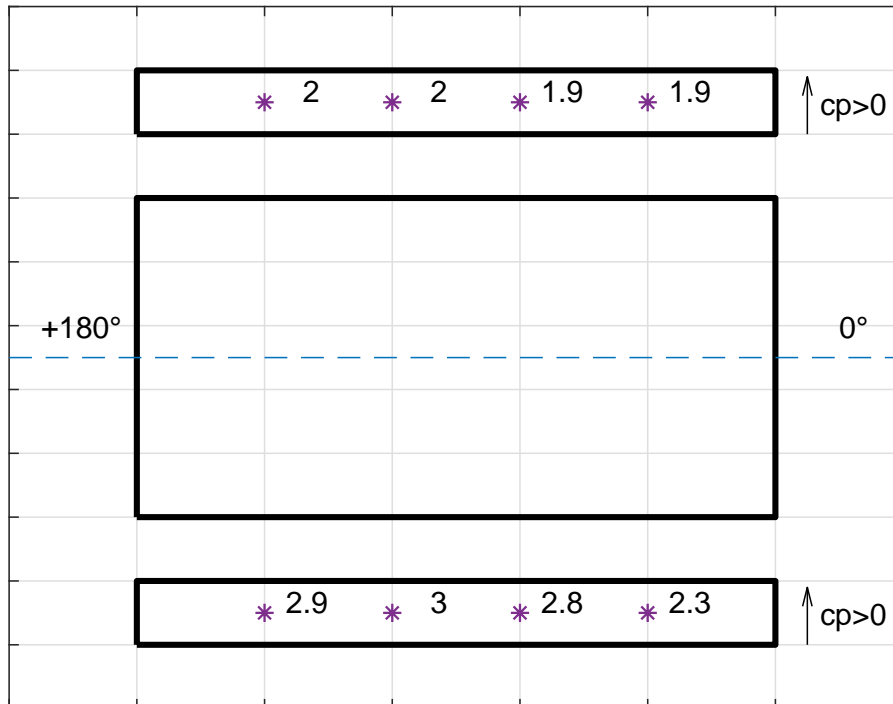


Figura A3.1: Bridge A. Involuppo dei coefficienti di pressione massimi positivi (\check{C}_p) sulle barriere.

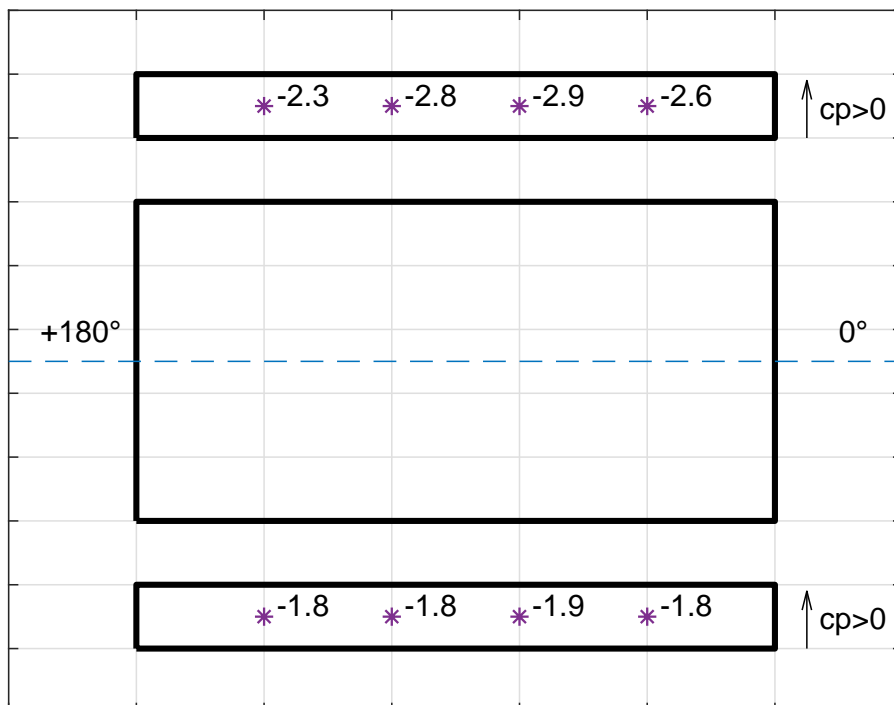


Figura A3.2: Bridge A. Involuppo dei coefficienti di pressione massimi negativi (\check{C}_p) sulle barriere.

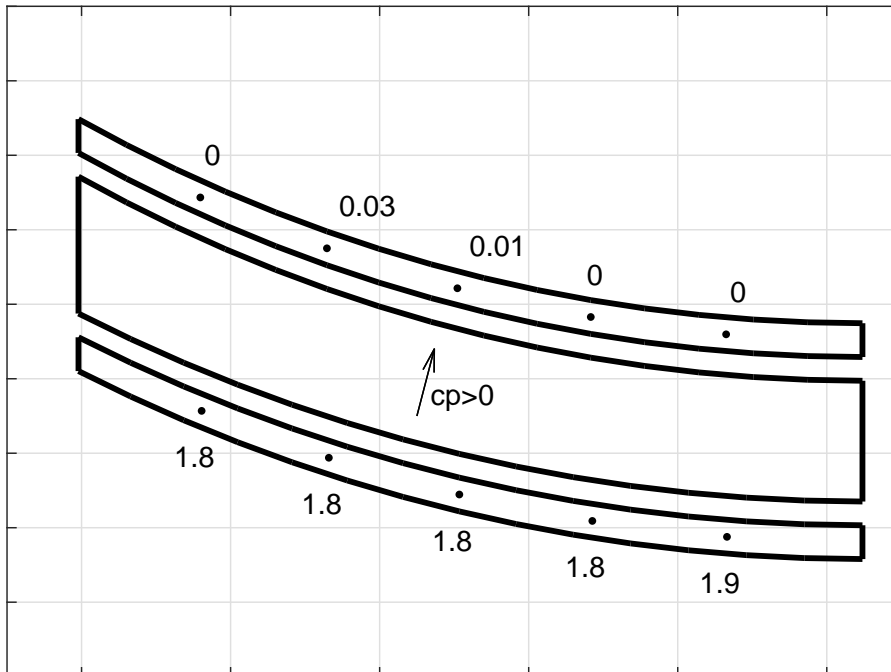


Figura A3.3: Bridge B. Inviluppo dei coefficienti di pressione massimi positivi (\check{C}_p) sulle barriere.

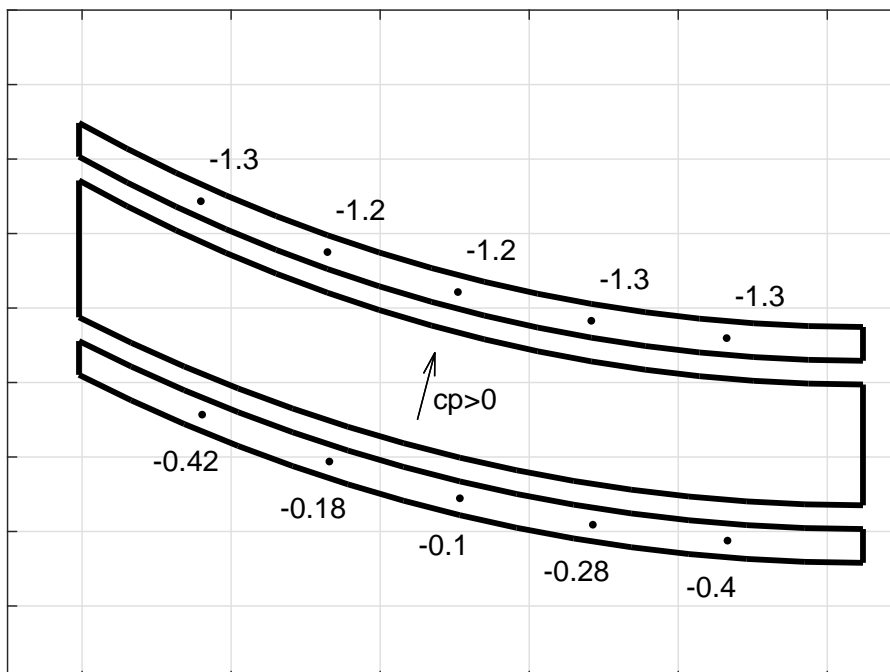


Figura A3.4: Bridge B. Inviluppo dei coefficienti di pressione massimi negativi (\check{C}_p) sulle barriere.

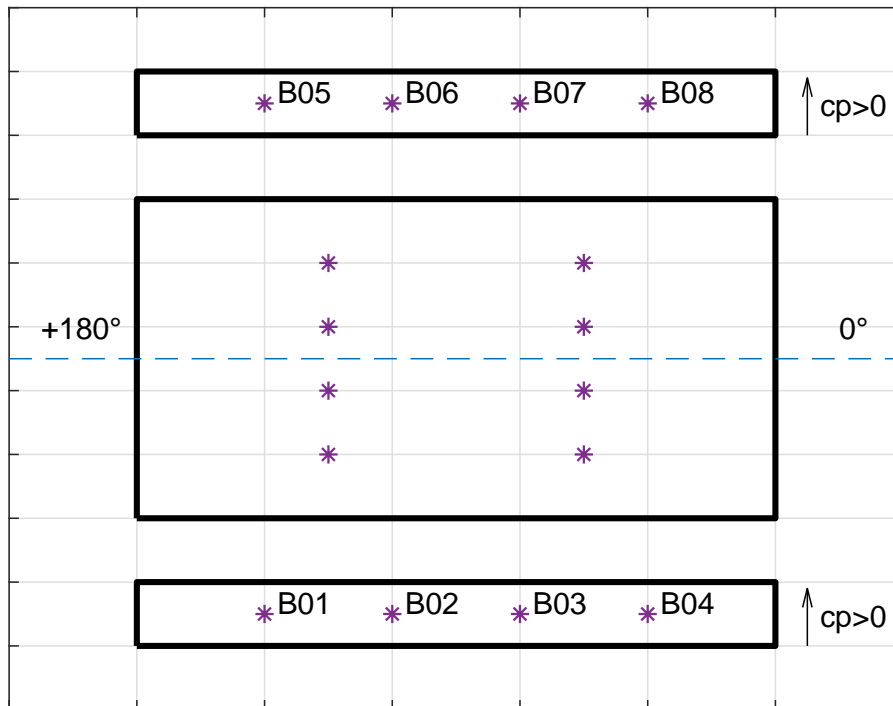


Figura A3.5: Bridge A. Nomeclatura delle prese di pressione sulle barriere.

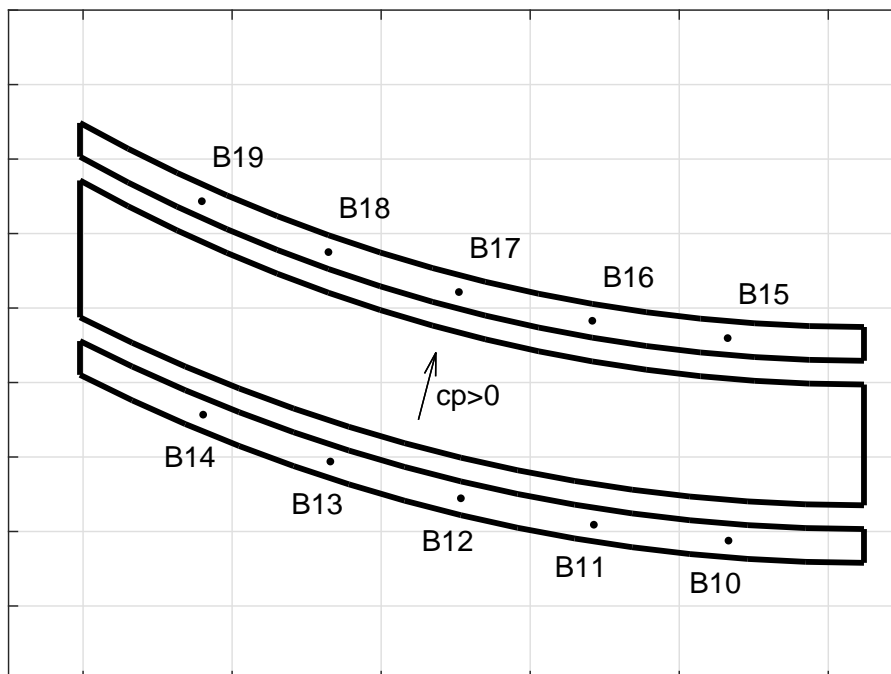


Figura A3.6: Bridge B. Nomeclatura delle prese di pressione sulle barriere.

ANNEX A4. STIMA DISTRIBUZIONE DEL CARICO SUGLI APPOGGI

Il presente Annex A4 mostra la stima della distribuzione del carico eolico sui ponti effettuata per mezzo delle misure di pressione sulle barriere e sull'impalcato. Tale stima è stata sintetizzata nelle figure per mezzo di frecce relative ad ogni sollecitazione analizzata. I valori numerici associati alle lunghezze delle frecce sono un'indicazione della distribuzione del carico ma non sono da utilizzare per il calcolo della forza aerodinamica che deve essere invece calcolata utilizzando i coefficienti aerodinamici misurati globalmente dalla bilancia dinamometrica (Annex A1-A2). E' mostrata una figura per ogni angolo di esposizione testato.

Bridge A

Per il ponte centrale vengono fornite tre distribuzioni del carico: sbilanciamento forza verticale (lift), sbilanciamento forza orizzontale (drag), sbilanciamento coppia lungo l'asse longitudinale del ponte (M_Y). Per eseguire tale analisi sono state utilizzate le prese di pressione sulle barriere più sedici prese di pressione distribuite su due sezioni dell'impalcato. Il confronto con i valori dei coefficienti globali riportati nell'Annex A1 confermano in generale la risultante di queste distribuzioni con delle possibili eccezioni per forza in direzione z e il momento M_Y . Tali discrepanze (soprattutto il momento M_Y) sono da imputare alla non presenza di prese di pressione lungo le due travi principali esterne del ponte.

In Figura A4.1 è mostrato un esempio di output dell'analisi. La figura mostra l'analisi per l'angolo di esposizione $\alpha = -45$ deg. Ogni figura mostra tre schemi:

Grafico 1 Vista dall'alto. Le due frecce indicano come la forza orizzontale è ripartita sulle due metà del ponte. In questo caso la forza orizzontale, globalmente negativa ($-F_X$), è leggermente sbilanciata verso l'appoggio Nord.

Grafico 2 Vista in sezione longitudinale. Le due frecce indicano come la forza verticale (lift) è ripartita sulle due metà longitudinali del ponte. In questo caso la forza verticale, globalmente negativa ($-F_Z$), risulta maggiormente gravare sull'appoggio Nord, ovvero momento globale $M_X > 0$.

Grafico 3 Vista in sezione trasversale. Le due frecce indicano come la forza verticale è ripartita sulle due metà trasversali del ponte. In questo caso i valori della risultante delle pressioni è uguale il che porta ad una distribuzione omogenea della forza lungo l'asse longitudinale.

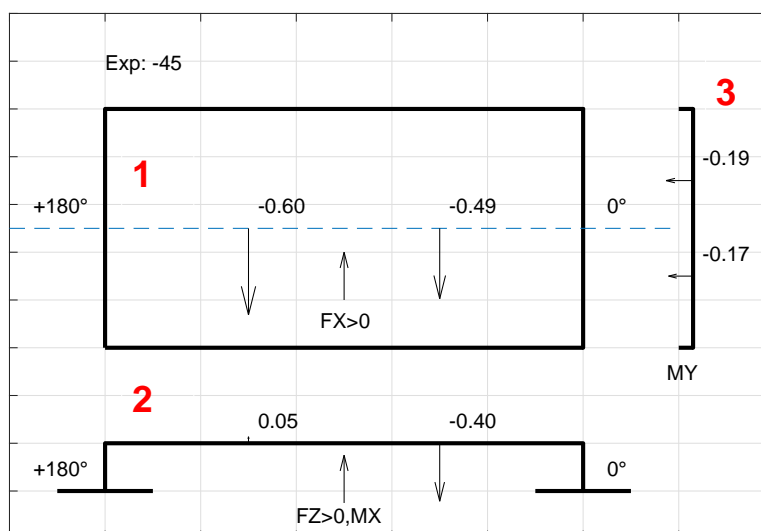


Figura A4.1: Bridge A. Esempio di output dell'analisi.

Bridge B

L'andamento del carico lungo il sovrappasso laterale è stato analizzando per mezzo di cinque sezioni del ponte strumentate con prese di pressione. La Figura A4.2 mostra queste sezioni denominate Sez-I, Sez-V. Per ogni

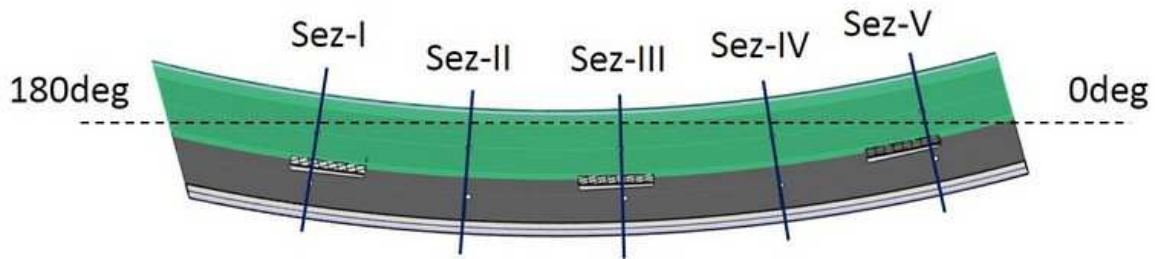


Figura A4.2: Bridge B. Nomenclatura e posizione delle sezioni strumentate con prese di pressione. La posizione delle prese sulle sezioni è mostrata in Figura A4.3.

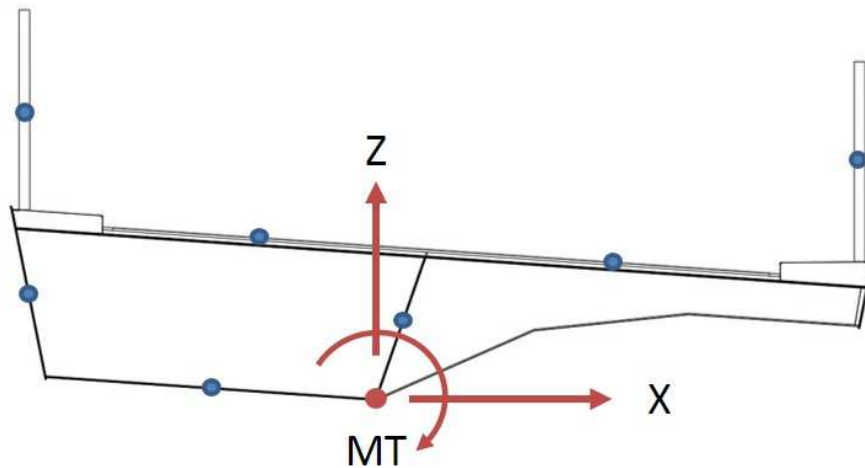


Figura A4.3: Bridge B. Direzione forze, punto di riduzione per la stima del momento torcente lungo l'impalcato e posizione delle prese di pressione (punti blu).

sezione è stata calcolata la risultante delle pressioni verso il centro di curvatura (spinta orizzontale diretta come asse x locale di ogni sezione, ovvero l'asse x locale della sezione è diretto verso il centro di curvatura), direzione z (spinta verticale, lift) e momento torcente attorno al punto evidenziato in Figura A4.3. L'output dell'analisi consiste nella distribuzione di queste due forze e momento per ogni sezione. Il confronto con i valori dei coefficienti globali riportati nell'Annex A2 confermano in generale la risultante di queste distribuzioni con delle possibili eccezioni per forza in direzione z e il momento torcente totale.

In Figura A4.4 è mostrato un esempio di output dell'analisi. La figura mostra l'analisi per l'angolo di esposizione $\alpha = -60$ deg. Ogni figura mostra tre schemi:

Grafico 1 Momento torcente M_z per ogni sezione. La freccia indica il modulo del momento torcente calcolato per ogni sezione. Il punto rosso rappresenta il punto di riduzione del momento indicato in Figura A4.3. In questo caso il momento torcente risulta massimo negativo alla sezione I con andamento decrescente fino ad arrivare ad un valore nullo alle sezioni IV e V.

Grafico 2 Vista dall'alto. Le frecce indicano l'andamento della forza verso il centro di curvatura del ponte per ogni sezione. In questo caso risulta più negativa alla sezione I con andamento decrescente. Per una semplificazione grafica le frecce delle componenti orizzontali sono rappresentate parallele fra loro, ma fisicamente sono per ogni sezione dirette verso il centro di curvatura del ponte.

Grafico 3 Vista in sezione longitudinale. Le frecce indicano l'andamento della forza lungo direzione z per ogni sezione. In questo caso il valore di lift maggiore si ha alla sezione V, decrescente fino al valore nullo alla sezione I.

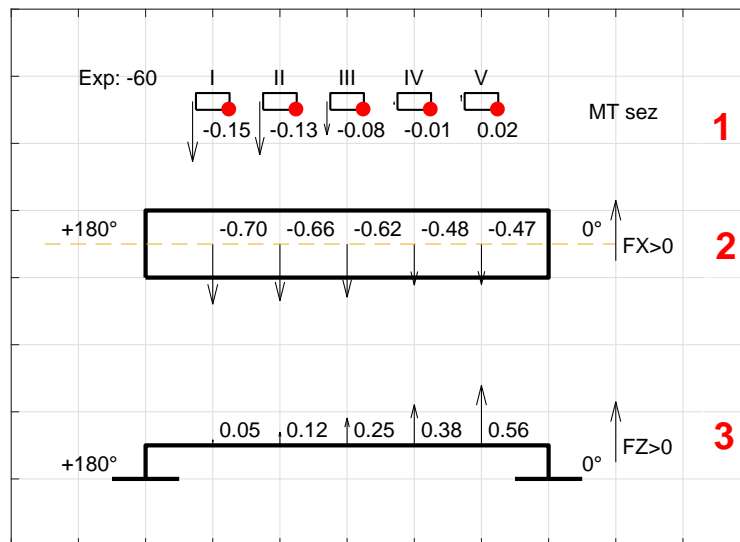


Figura A4.4: Bridge A. Esempio di output dell'analisi.

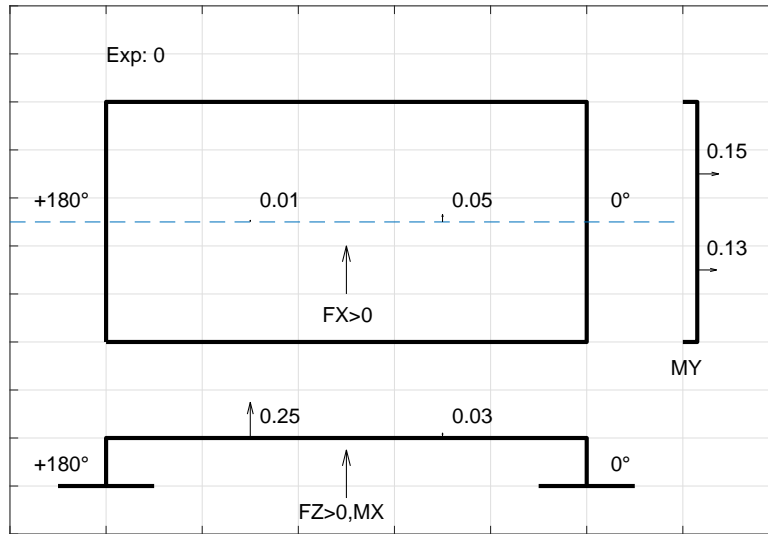


Figura A4.5: Bridge A. Exp 0deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

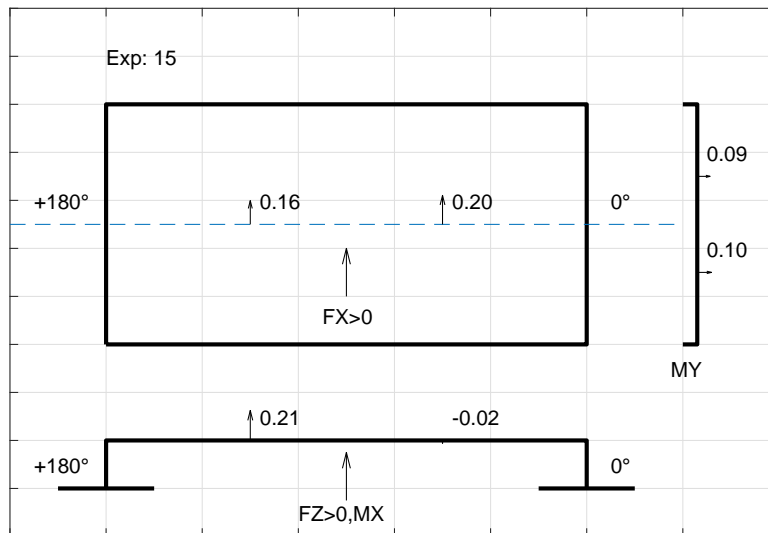
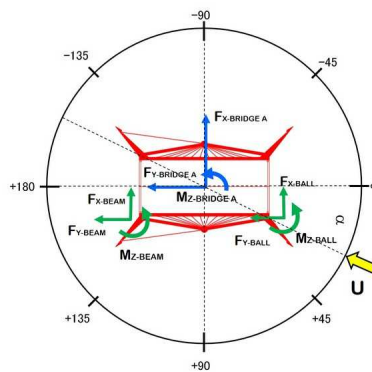


Figura A4.6: Bridge A. Exp 15deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



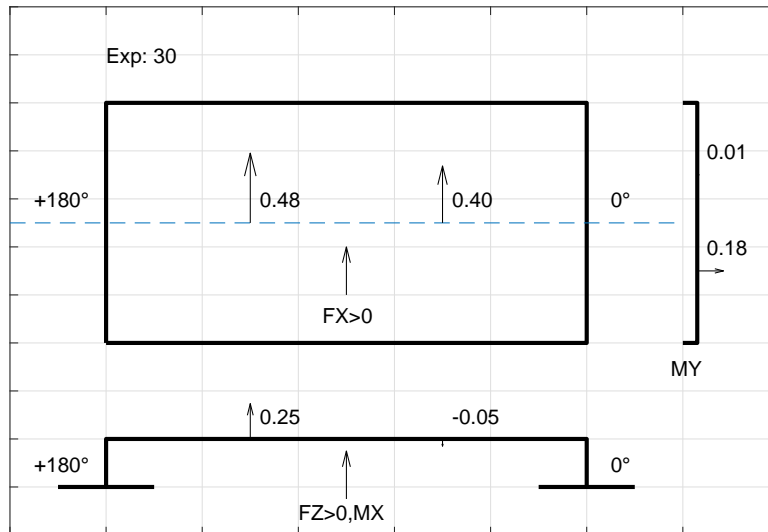


Figura A4.7: Bridge A. Exp 30deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

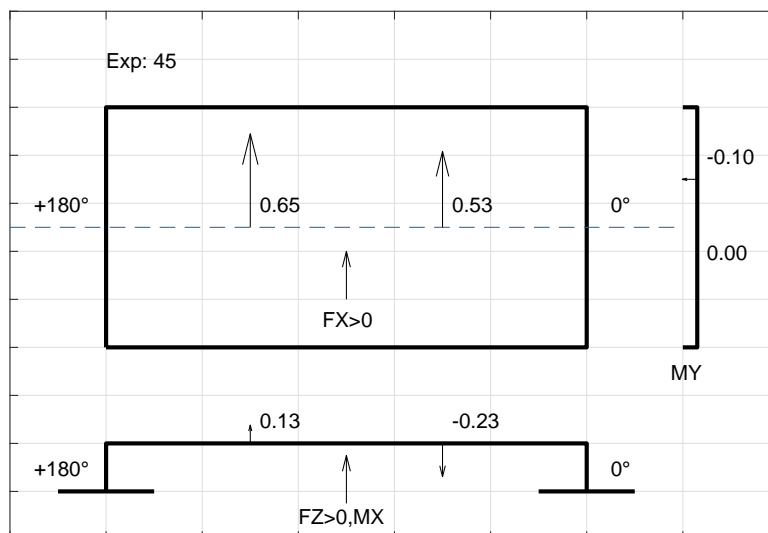
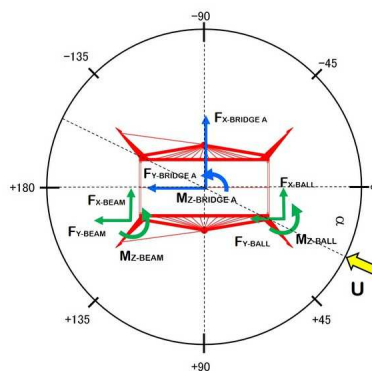


Figura A4.8: Bridge A. Exp 45deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



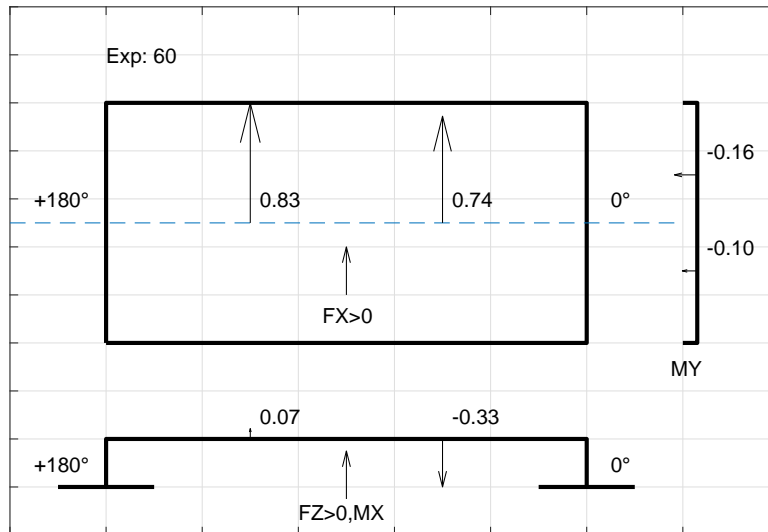


Figura A4.9: Bridge A. Exp 60deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

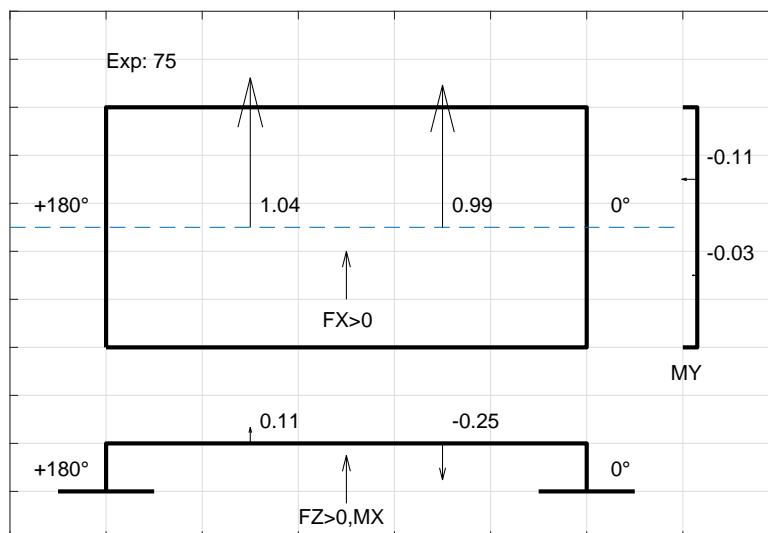
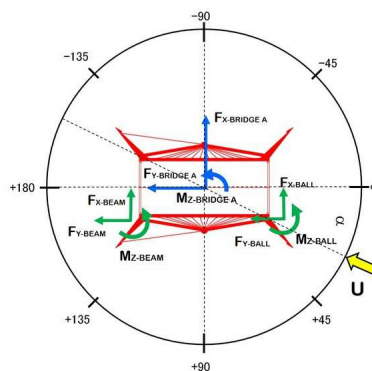


Figura A4.10: Bridge A. Exp 75deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



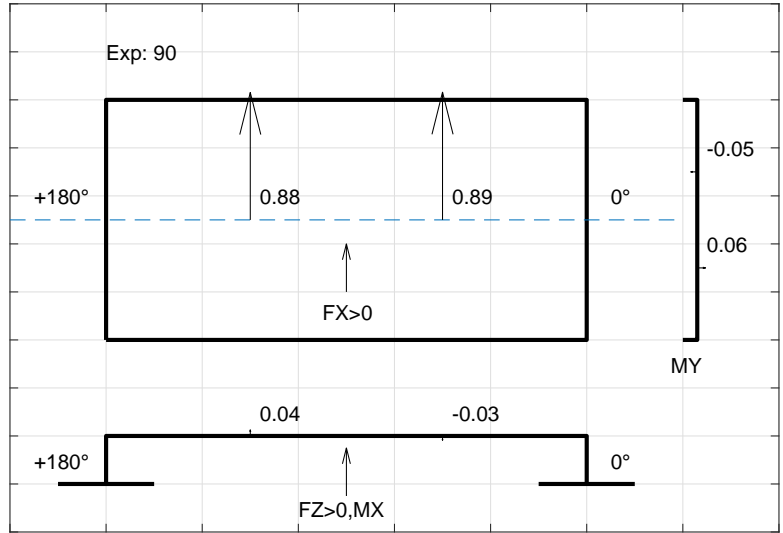


Figura A4.11: Bridge A. Exp 90deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

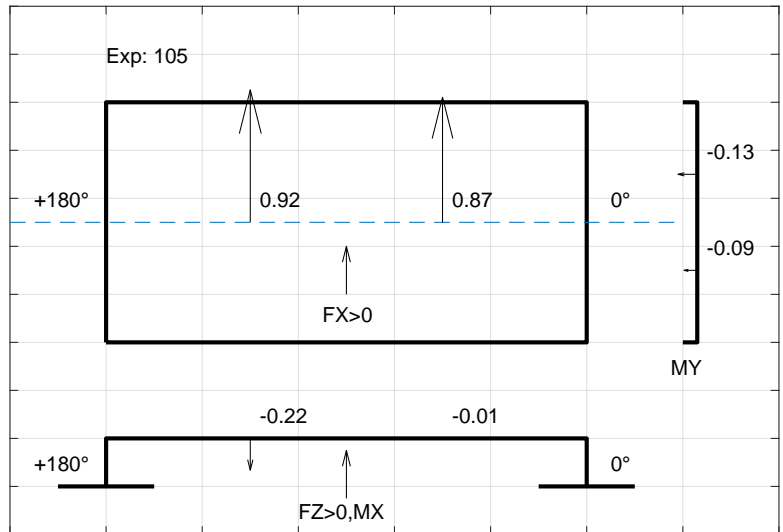
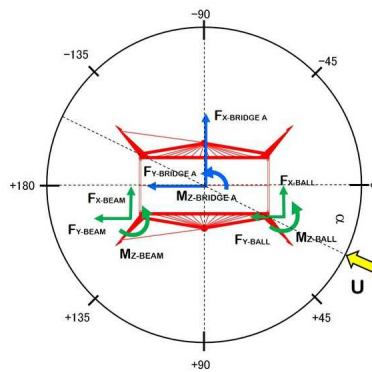


Figura A4.12: Bridge A. Exp 105deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



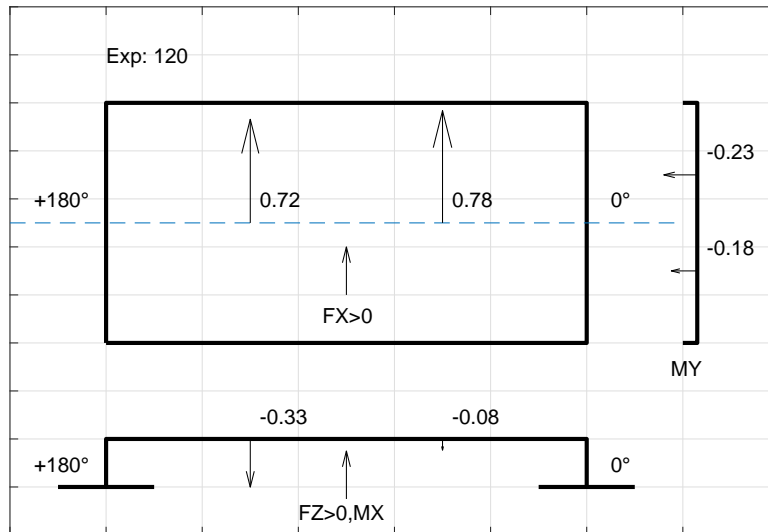


Figura A4.13: Bridge A. Exp 120deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

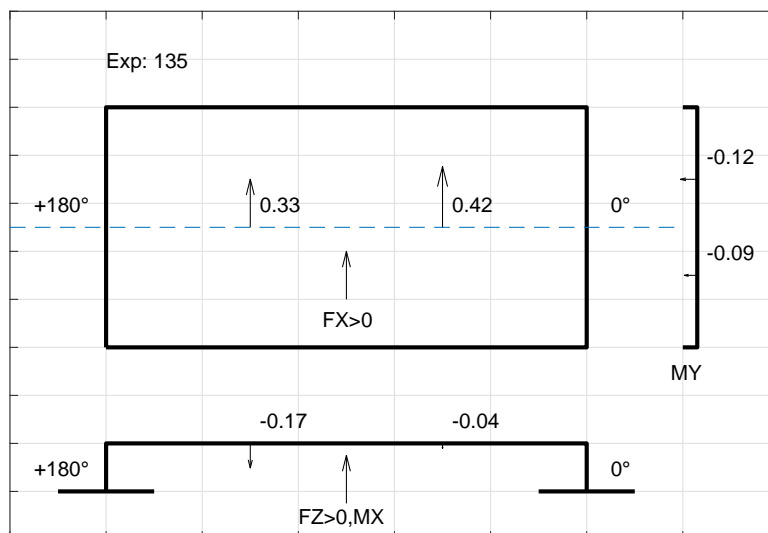
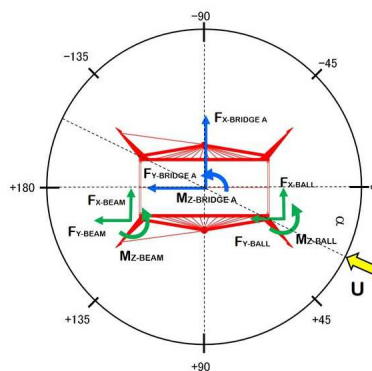


Figura A4.14: Bridge A. Exp 135deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



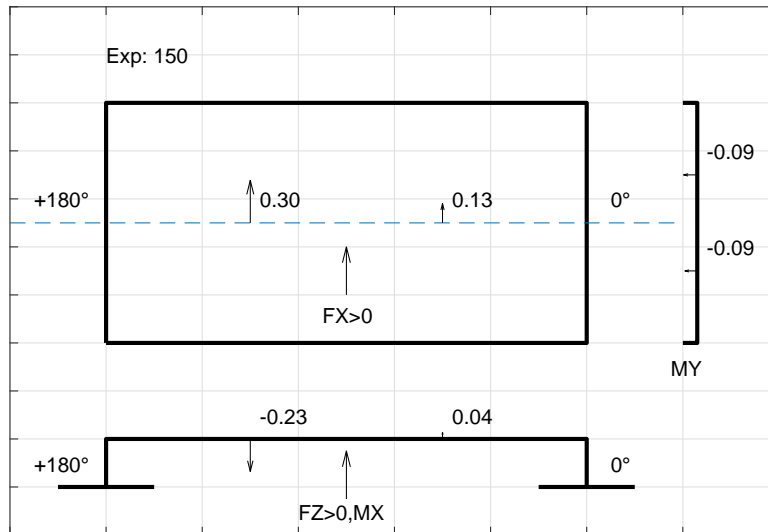


Figura A4.15: Bridge A. Exp 150deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

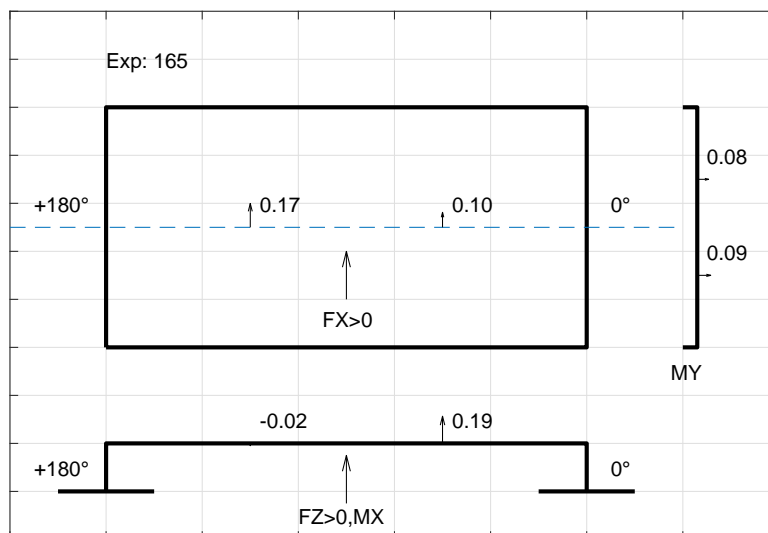
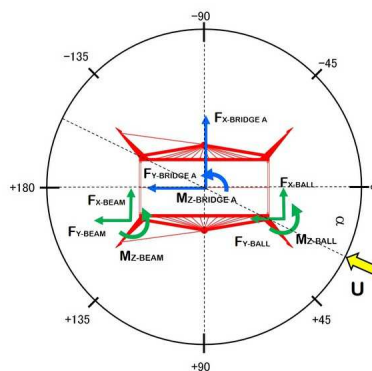


Figura A4.16: Bridge A. Exp 165deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



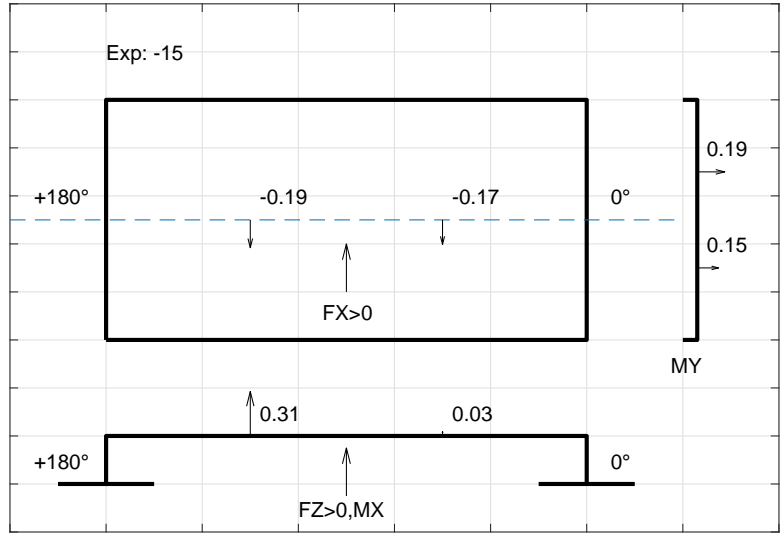


Figura A4.17: Bridge A. Exp -15deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

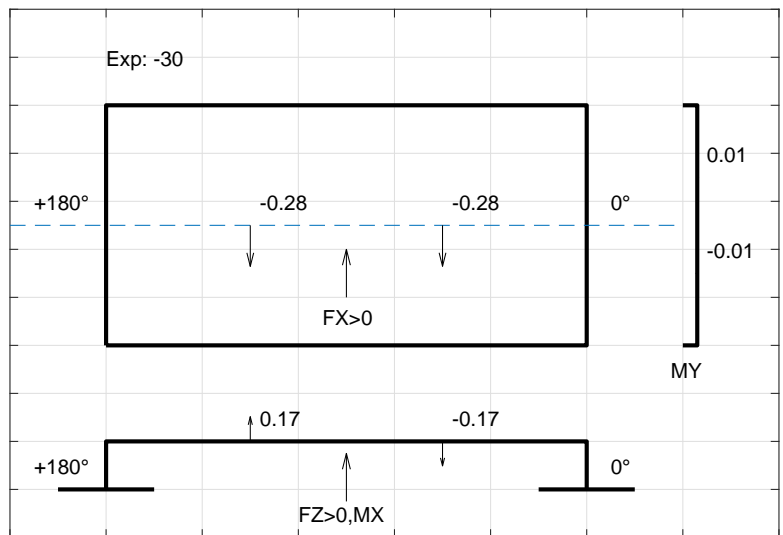
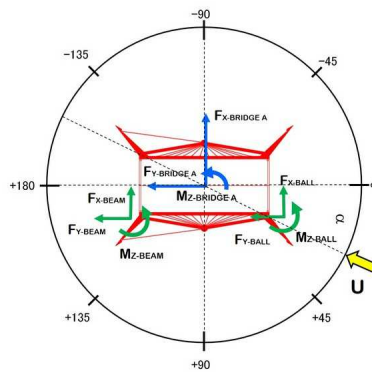


Figura A4.18: Bridge A. Exp -30deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



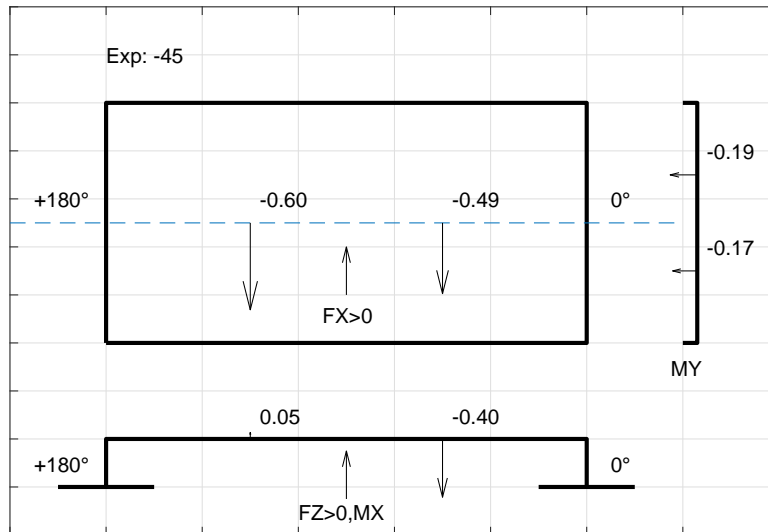


Figura A4.19: Bridge A. Exp -45deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

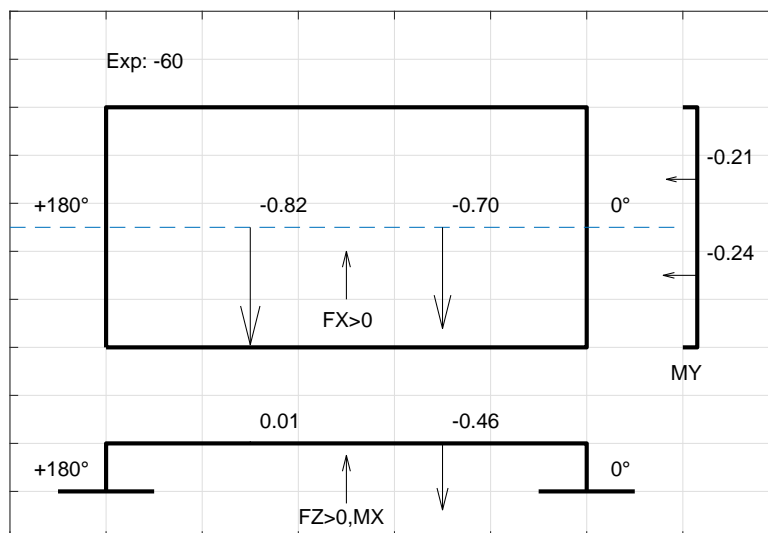
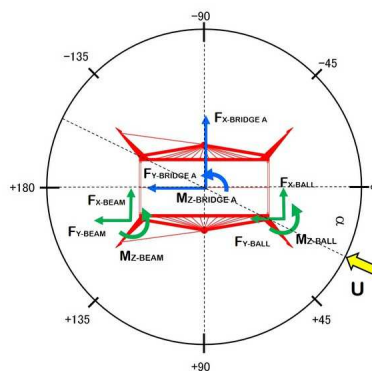


Figura A4.20: Bridge A. Exp -60deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



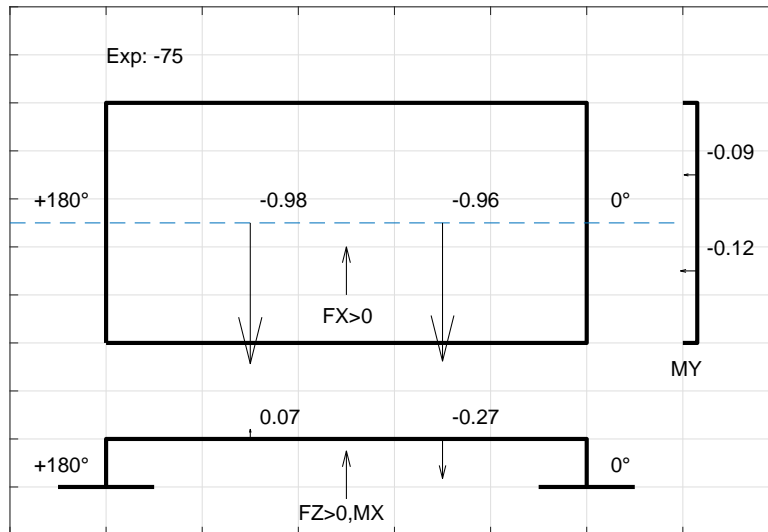


Figura A4.21: Bridge A. Exp -75deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

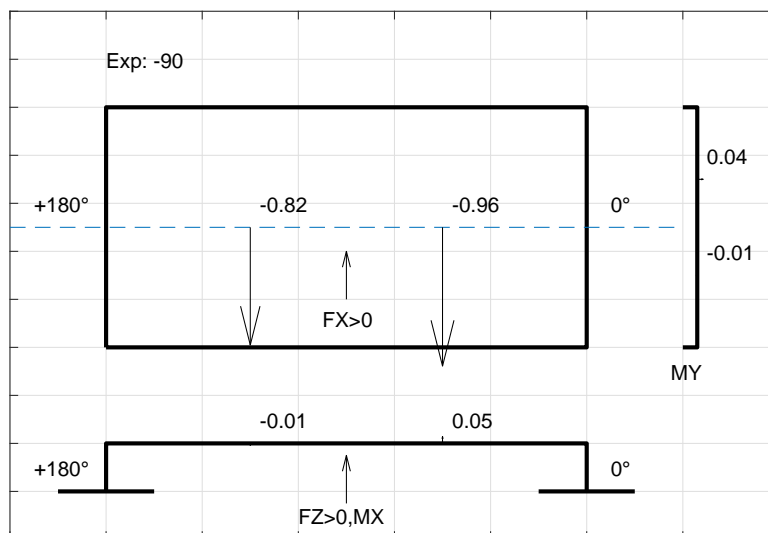
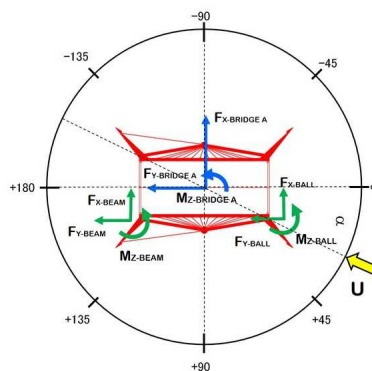


Figura A4.22: Bridge A. Exp -90deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



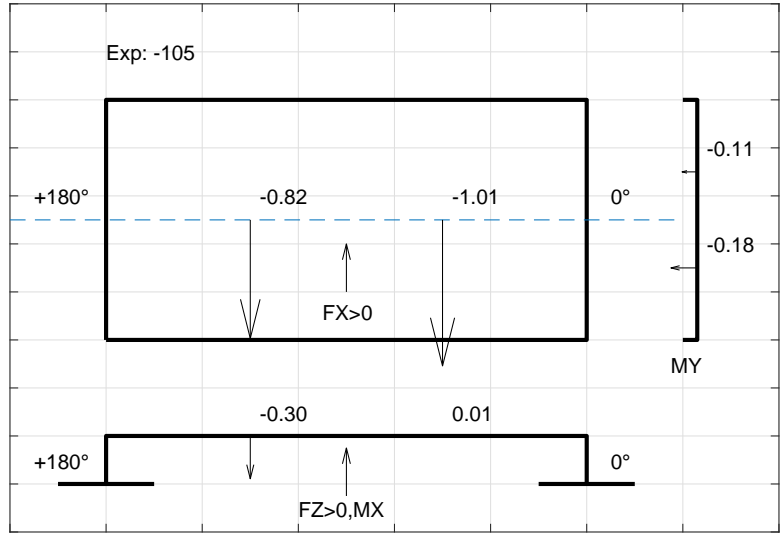


Figura A4.23: Bridge A. Exp -105deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

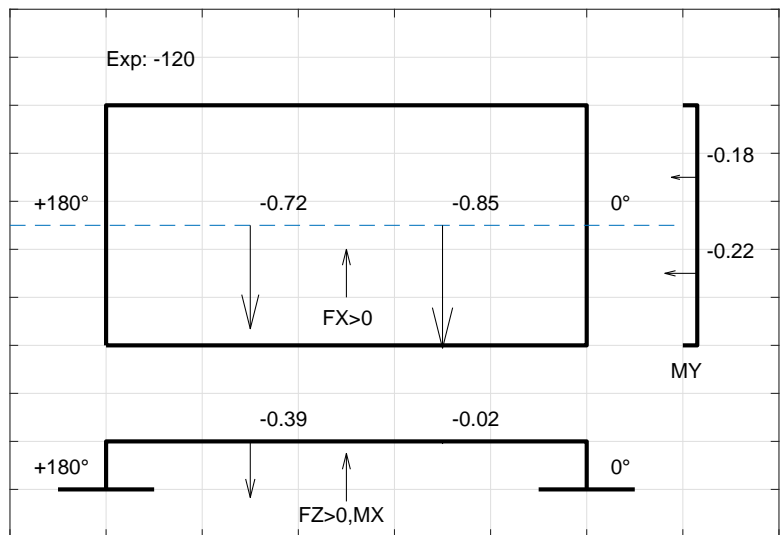
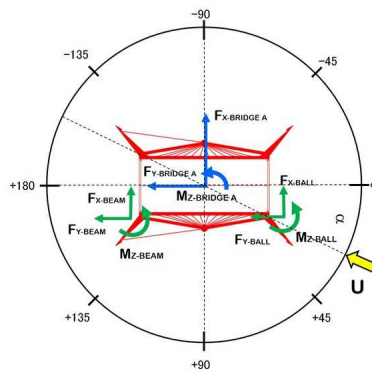


Figura A4.24: Bridge A. Exp -120deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



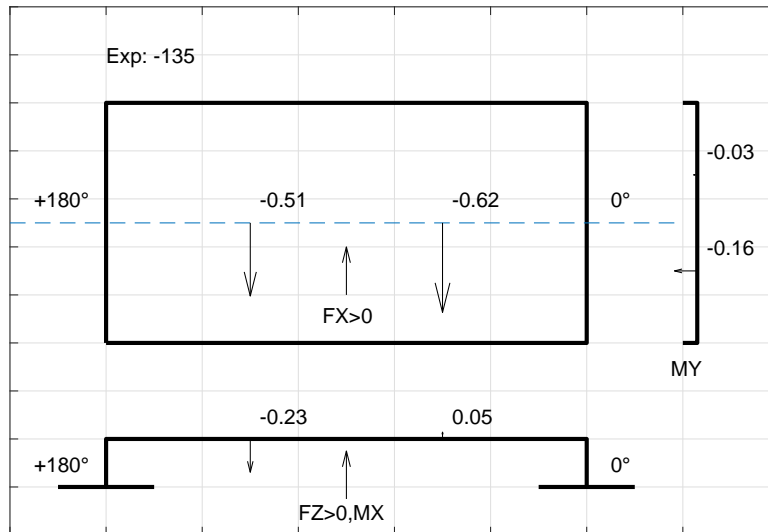


Figura A4.25: Bridge A. Exp -135deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

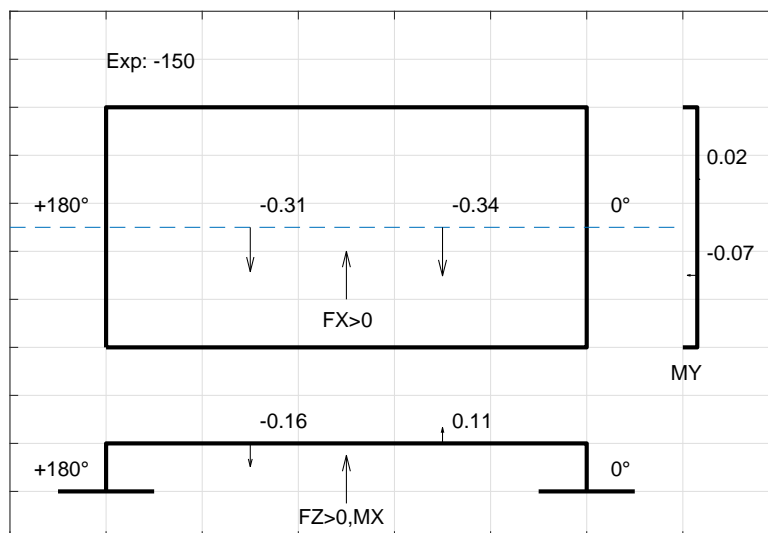
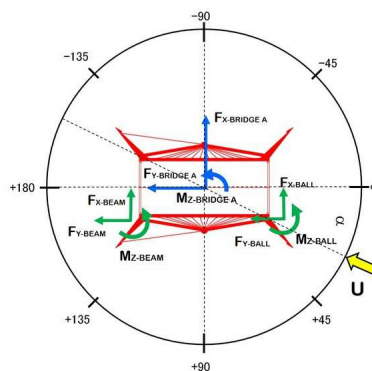


Figura A4.26: Bridge A. Exp -150deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



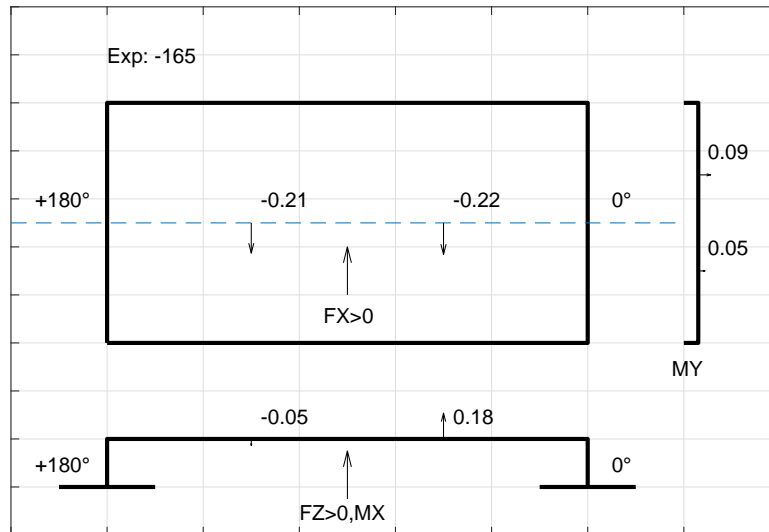


Figura A4.27: Bridge A. Exp -165deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

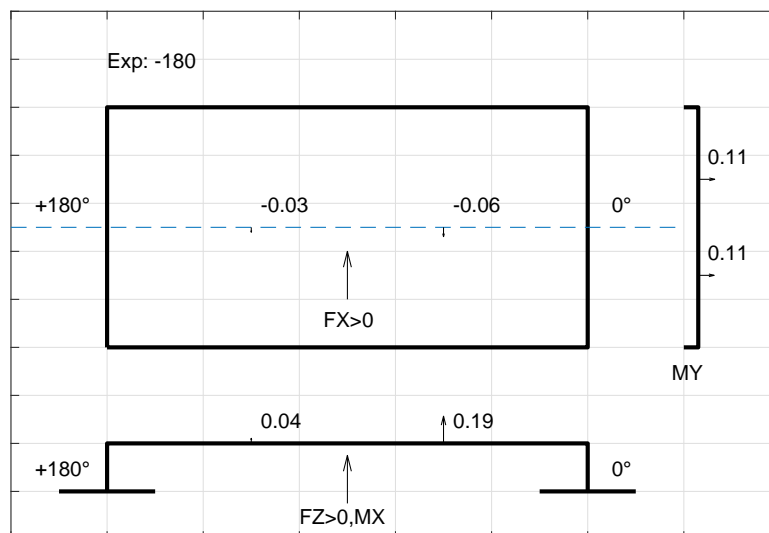
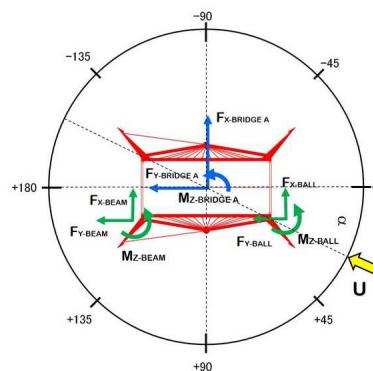


Figura A4.28: Bridge A. Exp -180deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



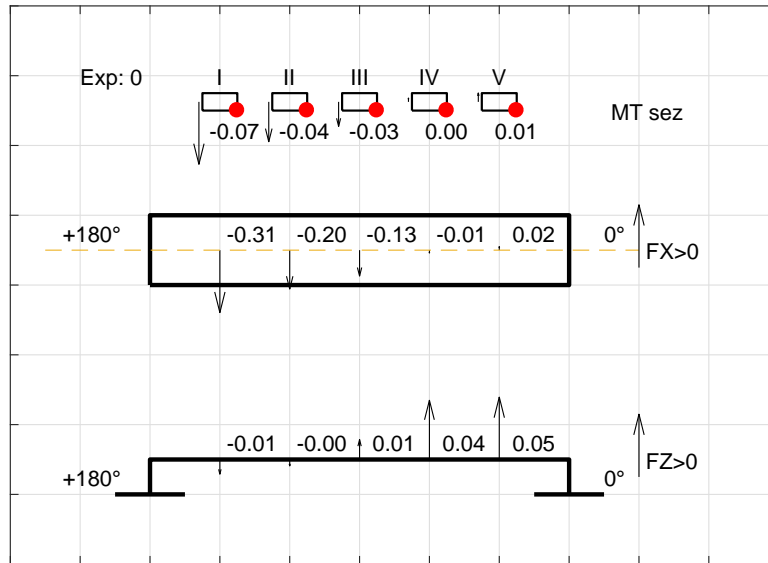


Figura A4.29: Bridge B. Exp 0deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

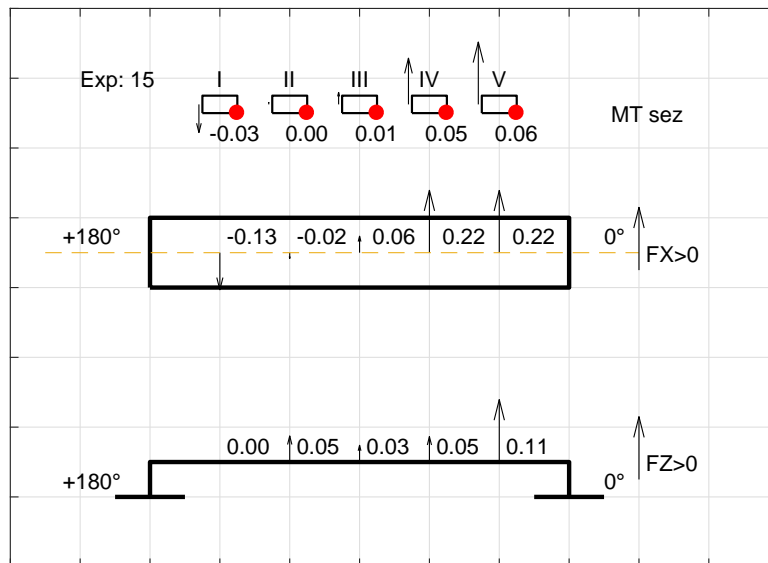
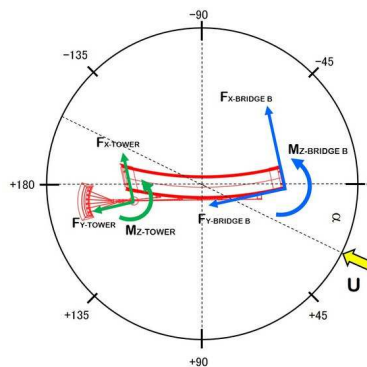


Figura A4.30: Bridge B. Exp 15deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



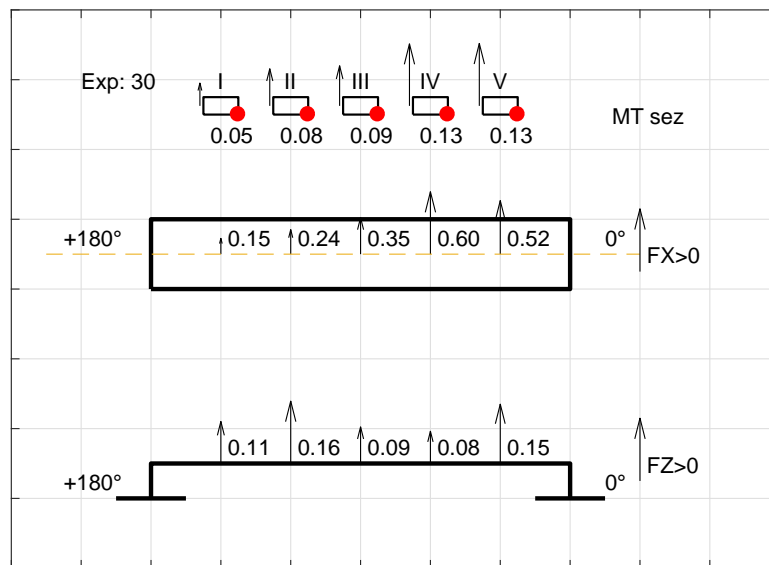


Figura A4.31: Bridge B. Exp 30deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

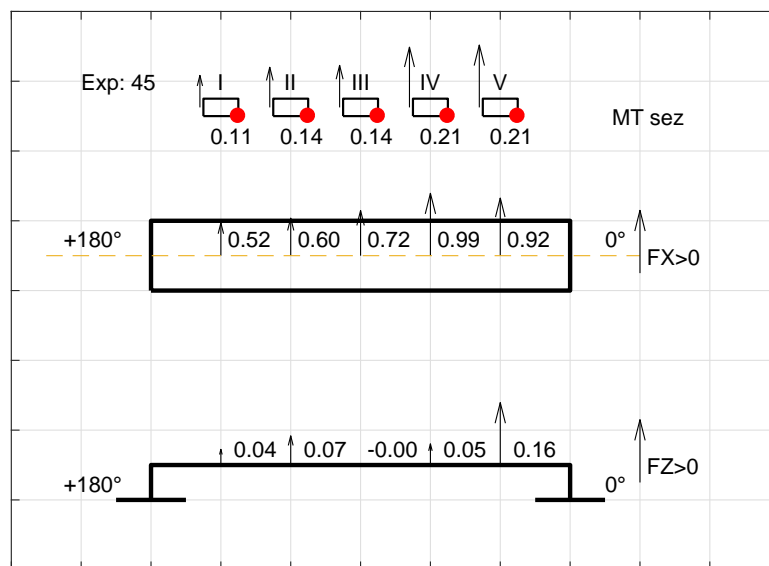
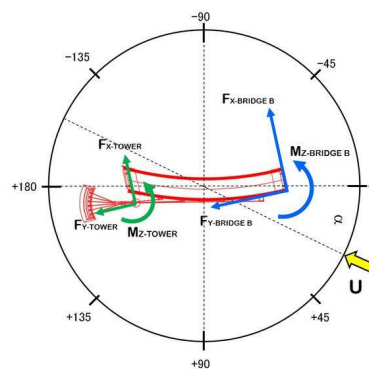


Figura A4.32: Bridge B. Exp 45deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



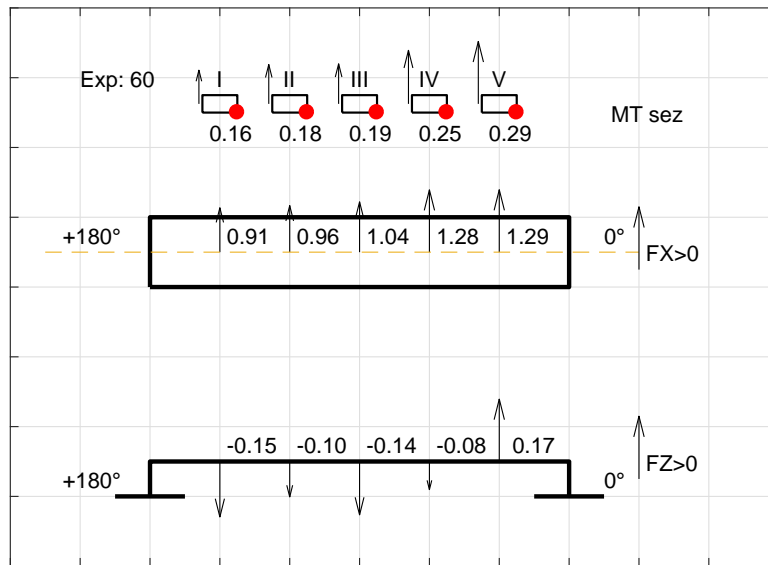


Figura A4.33: Bridge B. Exp 60deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

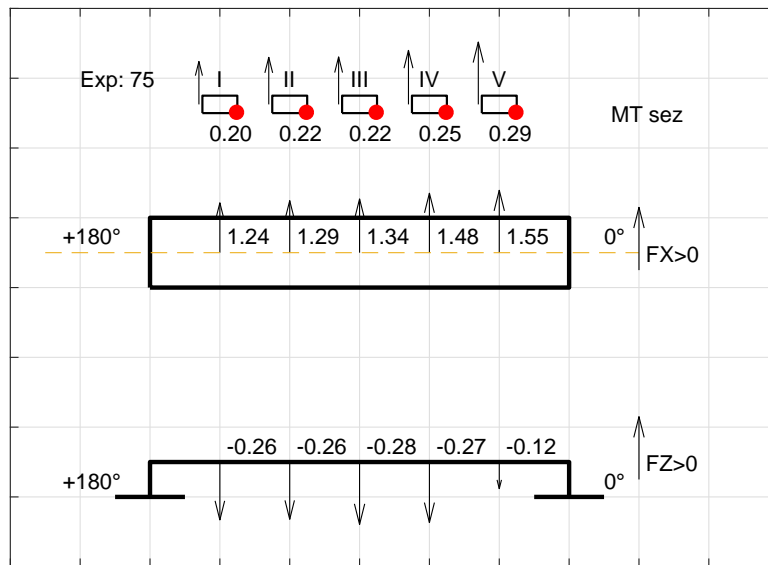
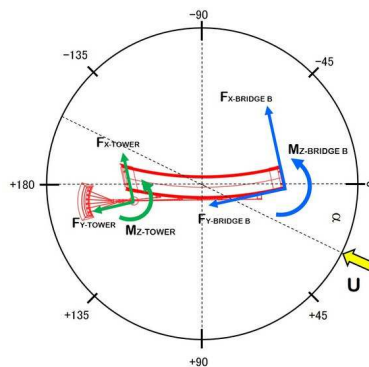


Figura A4.34: Bridge B. Exp 75deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



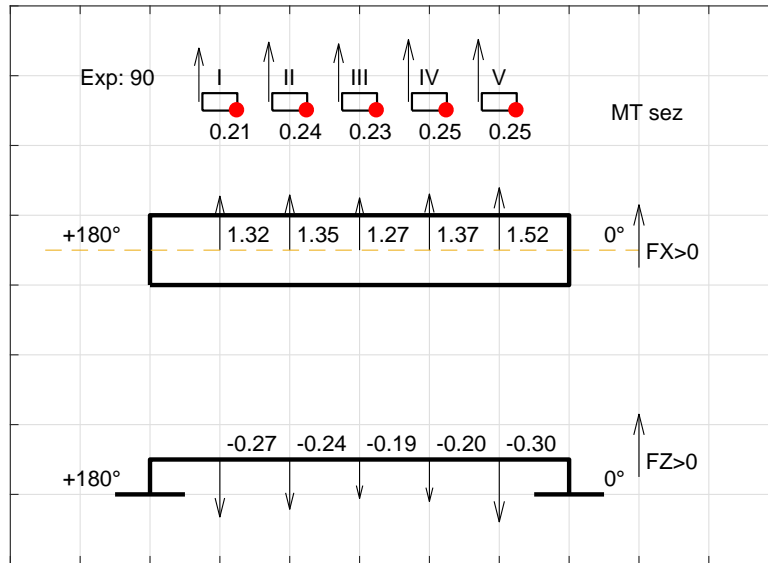


Figura A4.35: Bridge B. Exp 90deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

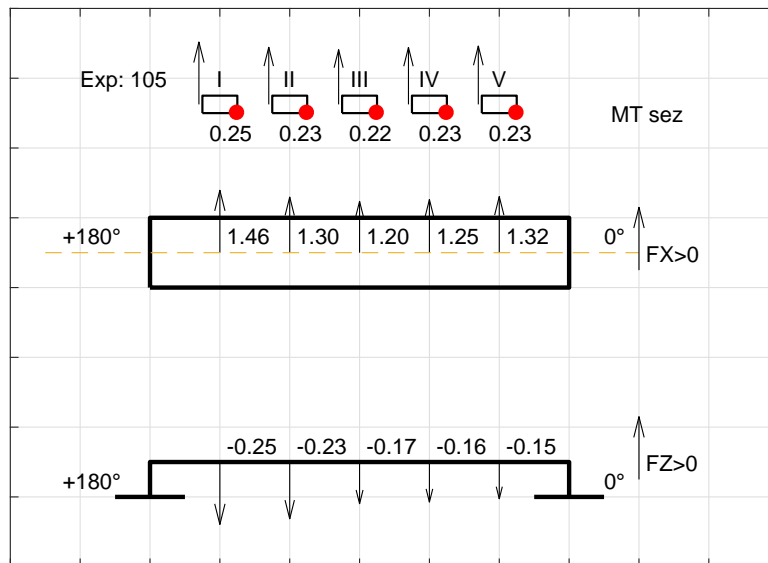
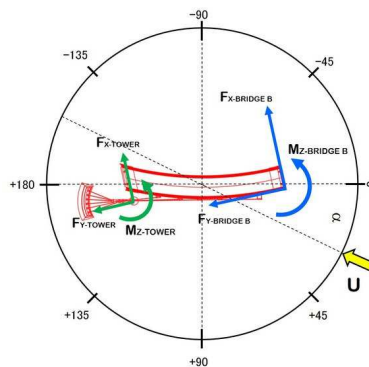


Figura A4.36: Bridge B. Exp 105deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



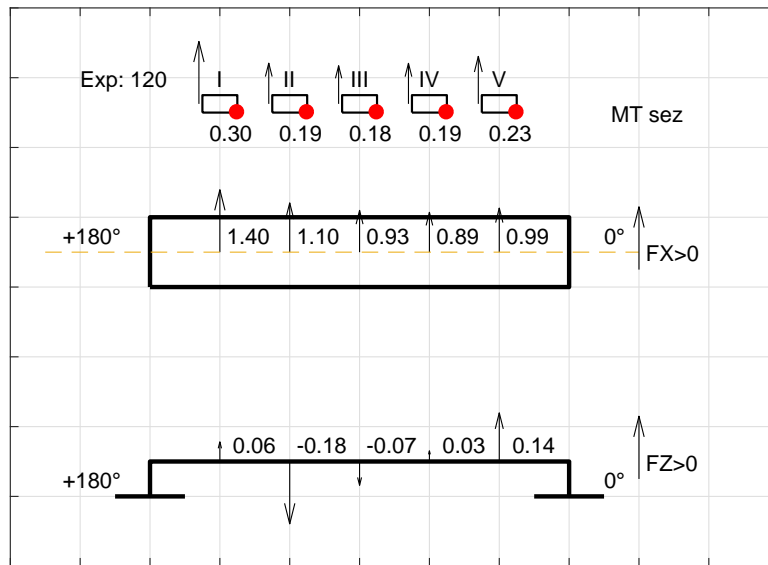


Figura A4.37: Bridge B. Exp 120deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

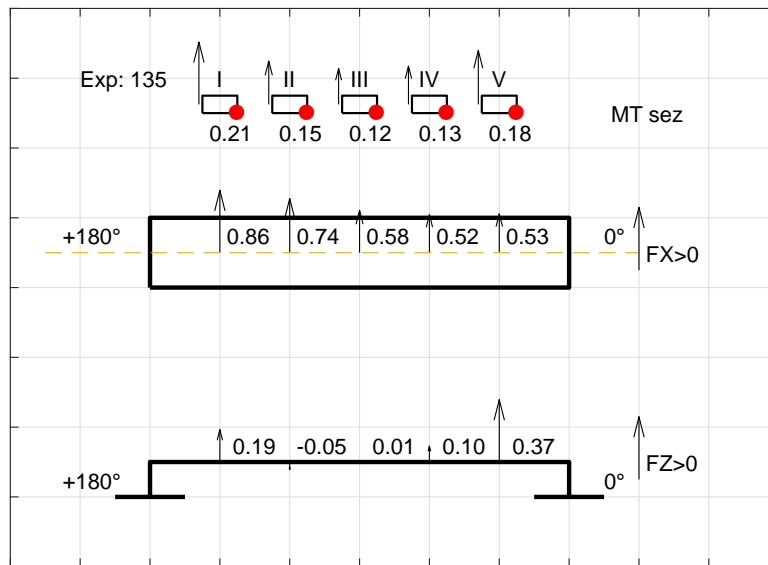
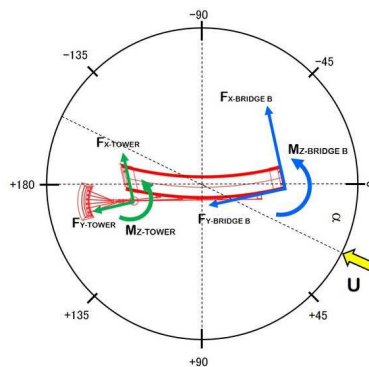


Figura A4.38: Bridge B. Exp 135deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



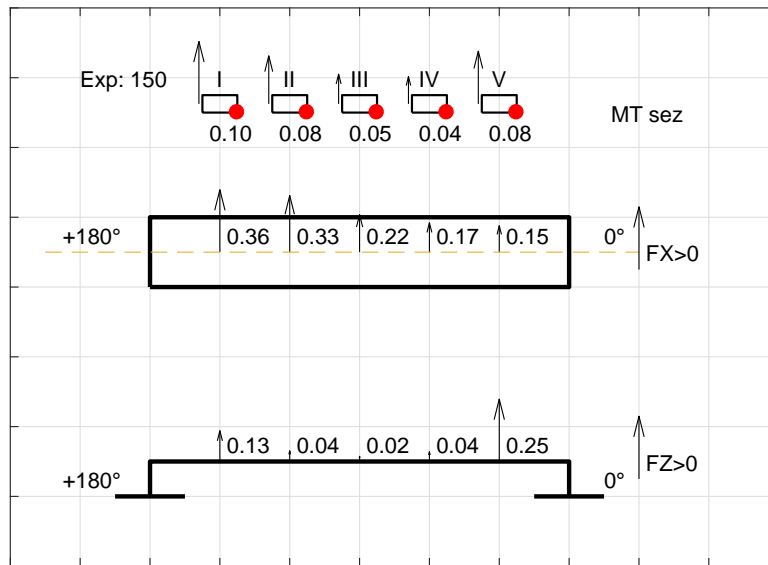


Figura A4.39: Bridge B. Exp 150deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

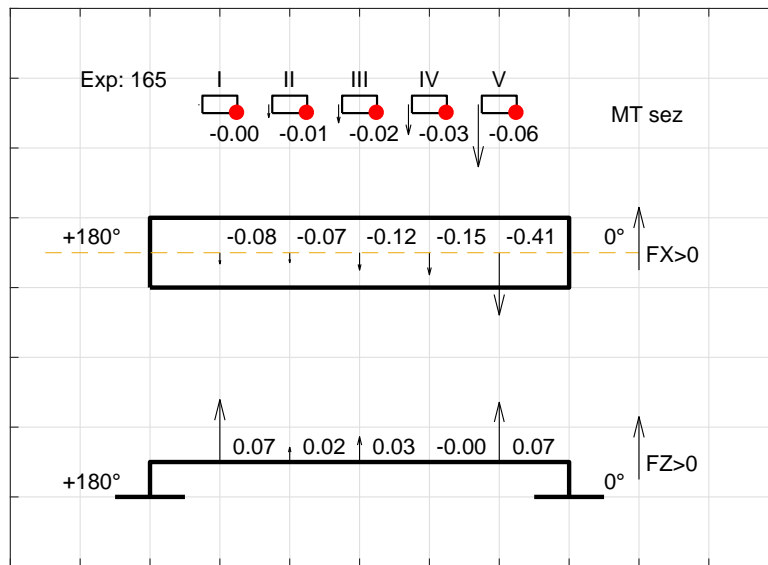
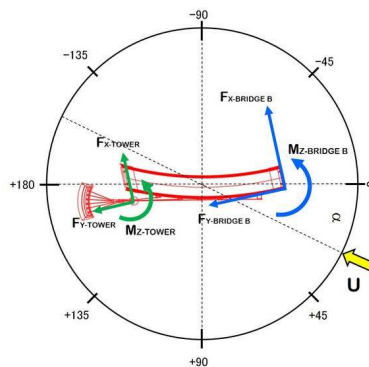


Figura A4.40: Bridge B. Exp 165deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



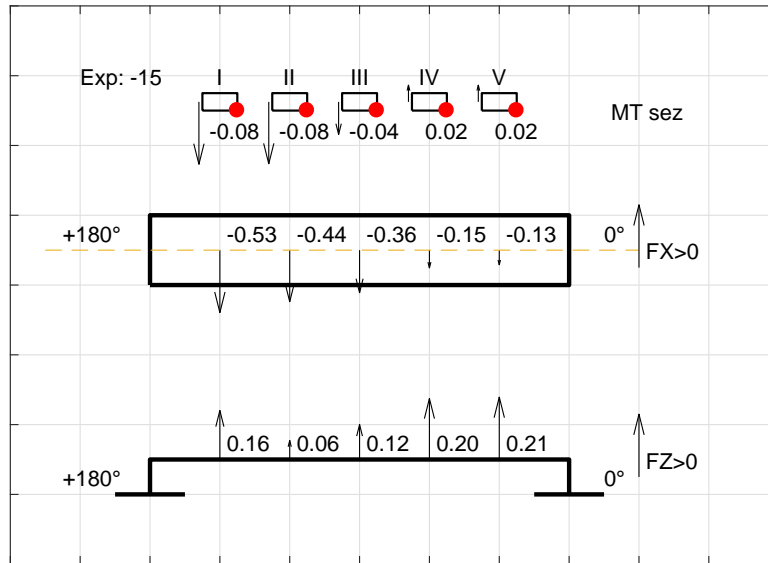


Figura A4.41: Bridge B. Exp -15deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

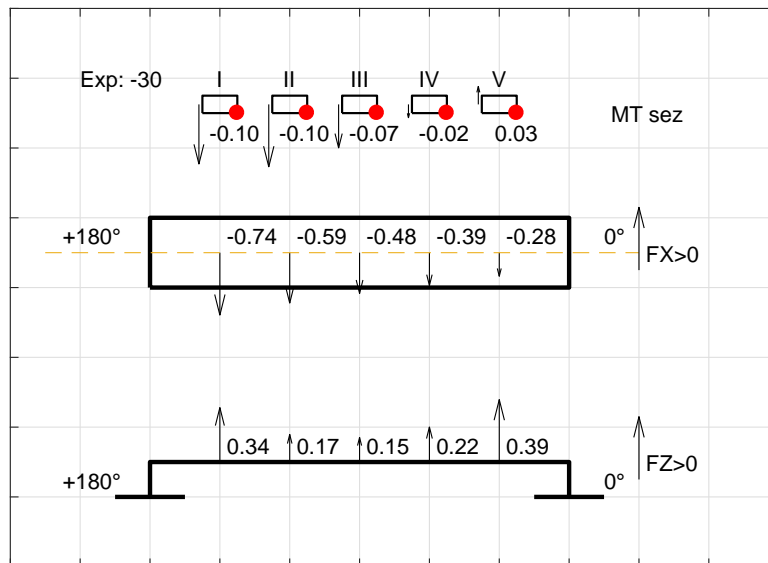
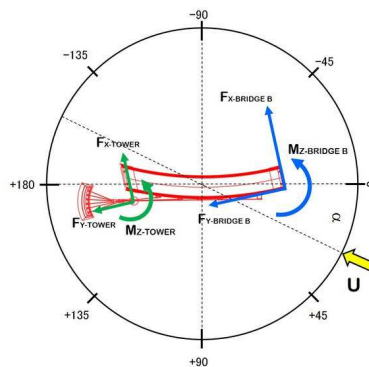


Figura A4.42: Bridge B. Exp -30deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



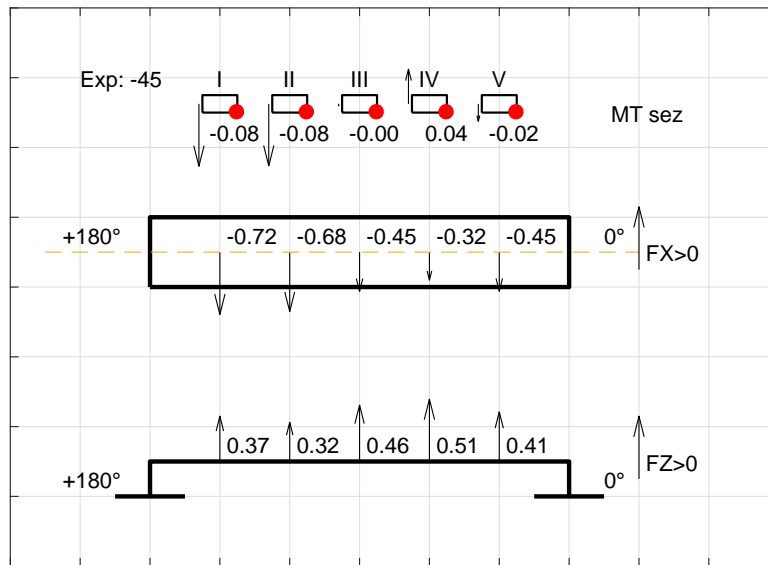


Figura A4.43: Bridge B. Exp -45deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

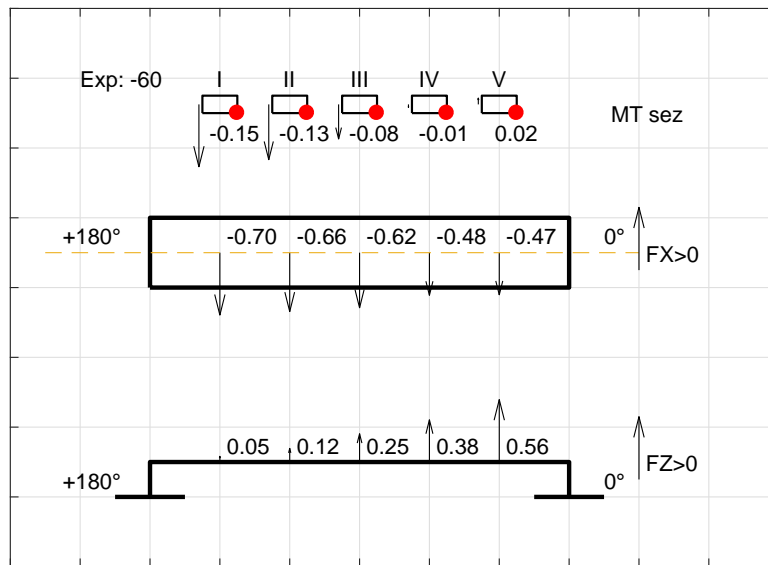
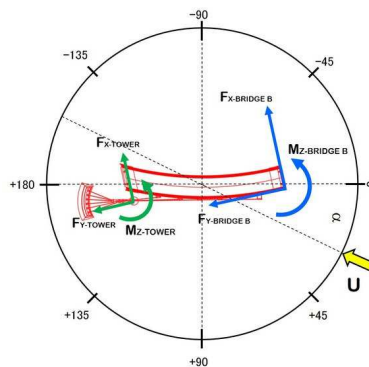


Figura A4.44: Bridge B. Exp -60deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



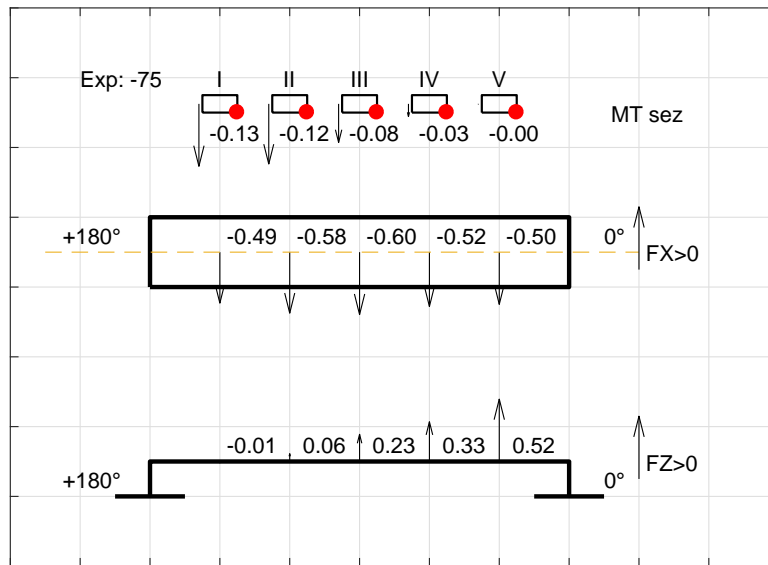


Figura A4.45: Bridge B. Exp -75deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

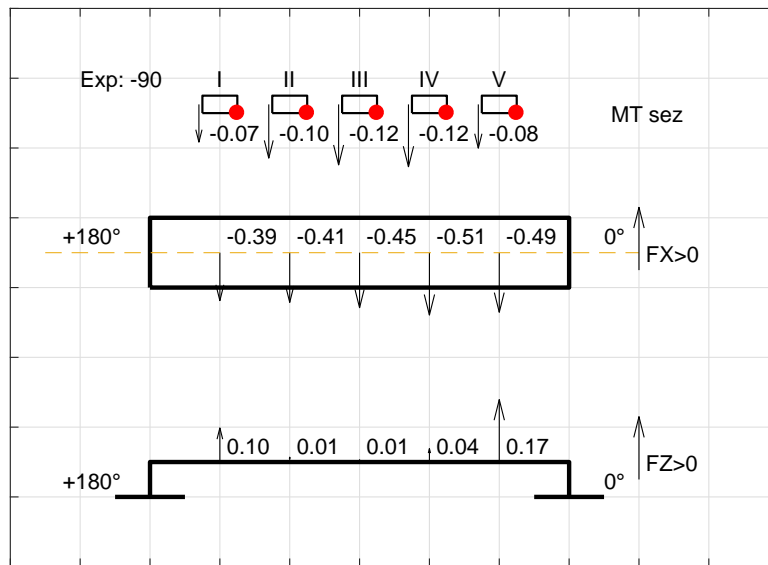
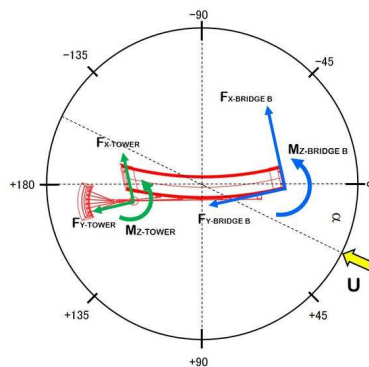


Figura A4.46: Bridge B. Exp -90deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



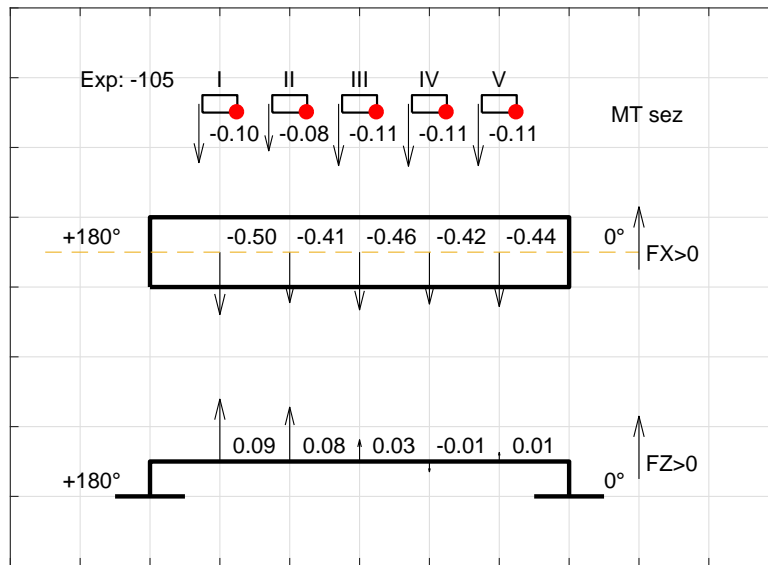


Figura A4.47: Bridge B. Exp -105deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

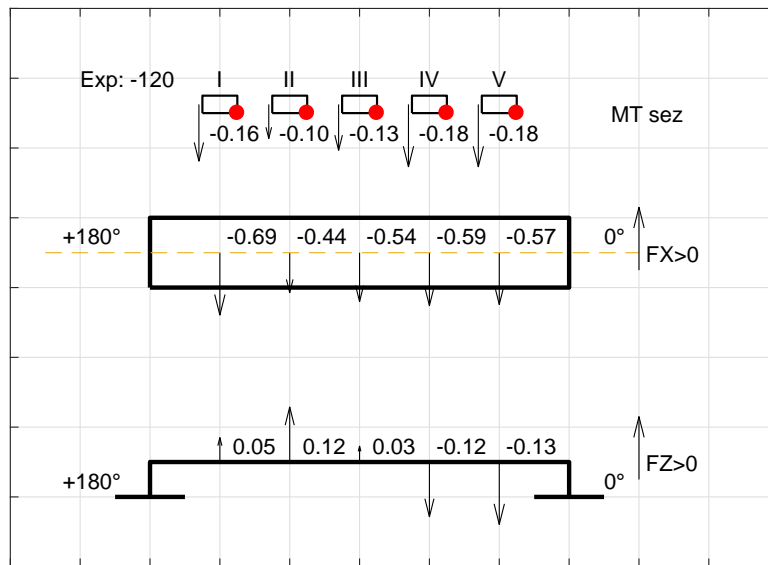
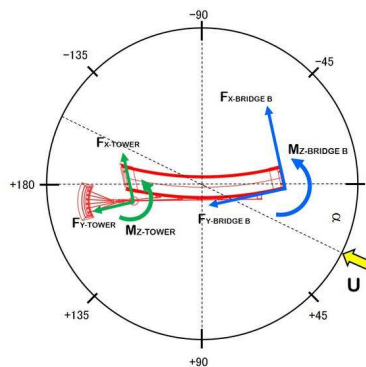


Figura A4.48: Bridge B. Exp -120deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



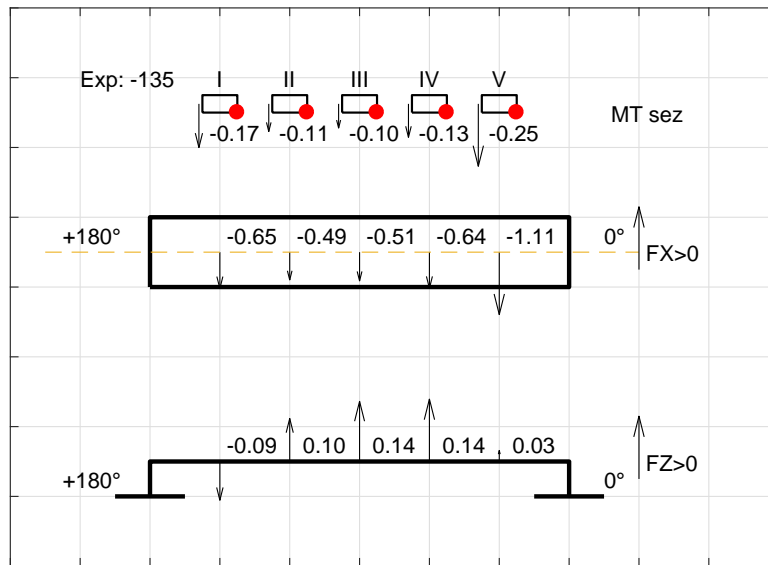


Figura A4.49: Bridge B. Exp -135deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

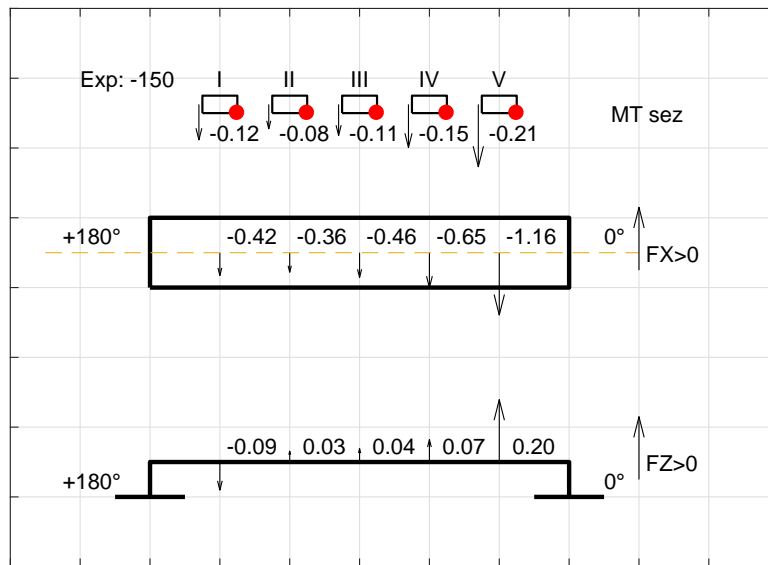
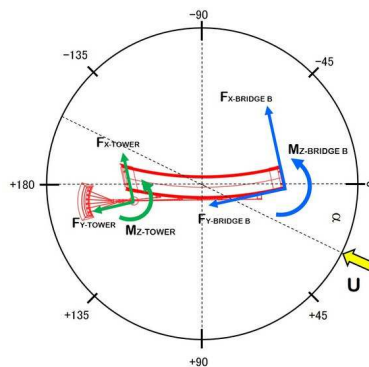


Figura A4.50: Bridge B. Exp -150deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.



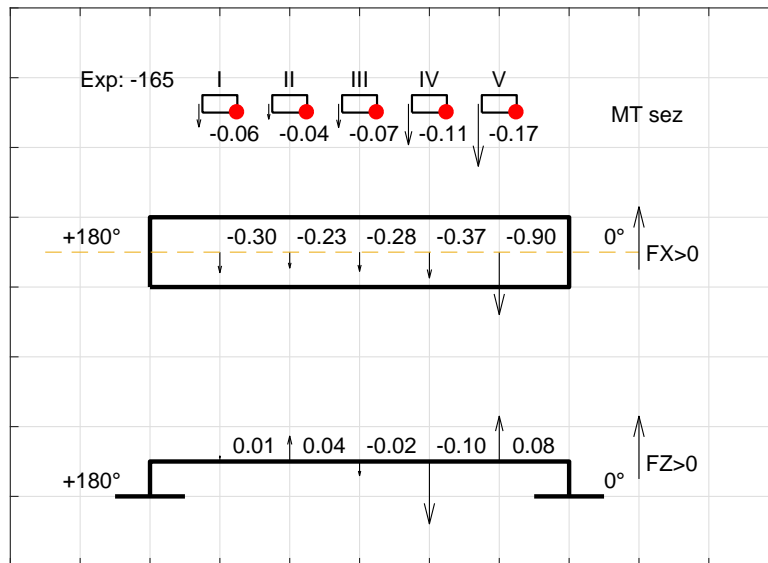


Figura A4.51: Bridge B. Exp -165deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

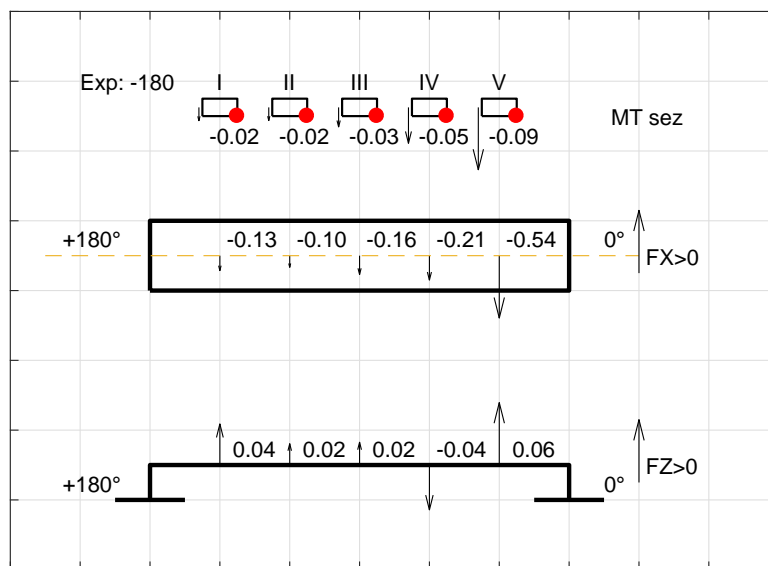


Figura A4.52: Bridge B. Exp -180deg. Stima distribuzione di carico sugli appoggi.

