

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 edin s.r.l. società di ingegneria Dott. Ing. M. Colasanti Ordine Ingegneri Roma N° 20684 Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n° 15408</p> 	<p>IL CONTRAENTE GENERALE</p> <p>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></p> <p><i>Tipo di sistema</i></p> <p><i>Raggruppamento di opere/attività</i></p> <p><i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i></p> <p><i>Titolo del documento</i></p>	<p>OPERA DI ATTRAVERSAMENTO</p> <p>STUDI DI BASE</p> <p>ANALISI GLOBALI</p> <p>Generale</p> <p>Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">PB0026_F0</div>
---	--	---

CODICE	C	G	1	2	0	0	P	R	X	D	P	S	B	A	2	G	0	0	0	0	0	0	0	1	F0
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	DC	SP	CV

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

INDICE

1	Somario	4
2	Introduzione	5
3	Modello numerico	5
3.1	Modello numerico del ponte sospeso	7
3.2	Modello numerico delle strutture terminali	27
3.3	Modello numerico del viadotto Pantano	29
4	Azione sismica	30
4.1	Spettri di risposta	30
4.2	Eventi simulati (spostogrammi)	34
4.3	Eventi di scenario (accelerogrammi)	37
5	Grandezze di controllo della risposta sismica	49
6	Analisi sismiche	51
6.1	Analisi preliminari	51
6.2	Analisi sismiche di base	51
6.3	Analisi sismiche di scenario	52
6.4	Analisi di sensibilità	52
7	Risultati	61
7.1	Risultati analisi spettrali	63
7.2	Risultati analisi time history	71
7.3	Sintesi e confronto dei risultati	75
8	Conclusioni	89
9	Documenti di riferimento	91

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

1 Sommario

Il documento riporta i risultati relativi alle analisi indipendenti della risposta sismica dell'opera. Le simulazioni sono condotte su modello 3D comprensivo dell'opera di attraversamento, delle strutture terminali e del viadotto Pantano. Il modello è stato costruito con i dati progetto COWI e SINA relativi rispettivamente alla consegna del luglio 2010 e del settembre 2010. Oltre alla valutazione degli effetti prodotti dai singoli eventi considerati viene analizzata anche la sensibilità ad alcuni parametri significativi del comportamento sismico. Questi comprendono l'interazione suolo-fondazioni, lo smorzamento strutturale, i buffer alle torri, la propagazione del moto sismico, la presenza di TMD. Vengono posti a confronto i risultati di analisi spettrali e di analisi time history. Le analisi spettrali includono sia gli spettri di Specifica Tecnica che gli spettri di Normativa entrambi relativi allo stato limite ultimo. Le analisi time history sono distinte per eventi simulati ed eventi di scenario. Gli eventi simulati sono associati a condizioni specifiche di sito ed hanno valenza progettuale; gli eventi di scenario servono a controllare lo stato tensionale e deformativo indotto nell'opera da sismi reali considerati ad elevata pericolosità sismica (Kobe-Giappone, Darfield-Nuova Zelanda, Maule-Chile, L'Aquila-Italia). Le analisi evolvono a partire dalla configurazione statica iniziale sotto peso proprio. I risultati mostrano che le sollecitazioni indotte dall'analisi spettrale risultano sistematicamente maggiori di quelle dovute ai sismi simulati e reali. La risposta sismica dovuta ai sismi reali risulta mediamente più elevata di quella dovuta ai sismi simulati. La sensibilità ai parametri considerati è generalmente bassa per tutti i casi considerati. Gli eventi reali applicati tal quali all'opera non risultano eccessivamente impegnativi. Lo stato tensionale è sempre abbondantemente nei limiti di resistenza dei materiali.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

2 Introduzione

Il rapporto ha lo scopo di documentare l'analisi del comportamento sismico del modello numerico per giudicare sulla robustezza dei risultati nei confronti dell'azione sismica. Il modello numerico 3D è costruito in via indipendente sulla base dei dati di progetto COWI e SINA e comprende il ponte sospeso, le strutture terminali e il viadotto Pantano. Le azioni sismiche sono di tipo spettrale e time history. Gli eventi considerati sono sia simulati che reali. Vengono considerati due eventi nel caso di sismi simulati e quattro eventi per sismi reali. I primi vengono impiegati per valutazioni di base associabili a condizioni di progetto, i secondi vengono impiegati per analisi di scenario. Gli eventi simulati, in spostamento e differenziati per le due sponde, tengono conto delle condizioni morfologico-stratigrafiche di sito e dell'interazione suolo-struttura. Gli eventi reali sono considerati tal quali come provenienti dalle registrazioni, in accelerazione, associate a terremoti considerati di elevata pericolosità sismica. È considerata anche la sensibilità del modello alla perturbazione di alcuni parametri significativi ai fini della risposta sismica. Tali parametri sono: le caratteristiche di interazione col suolo, lo smorzamento, le caratteristiche dei dispositivi speciali di vincolo, variabilità e propagazione del moto sismico, presenza di TMD. Le analisi sismiche sono condotte impiegando i valori di progetto dei parametri. Le analisi di sensibilità sono condotte utilizzando un solo evento, quello mediamente più impegnativo per i sismi simulati. La sola analisi di sensibilità all'interazione con il suolo è condotta con uno degli eventi reali.

Il rapporto è composto da una relazione e da una serie di appendici (grafiche e tabellari) che dettagliano i risultati per tutti i casi considerati. Nella relazione vengono dapprima esposti il modello numerico e l'azione sismica, vengono quindi precisati i valori di progetto assunti per le analisi sismiche e le variazioni considerate per le analisi di sensibilità. Si presentano infine i risultati in forma compatta e sintetica tramite istogrammi che permettono immediati confronti tra i casi considerati.

3 Modello numerico

Il modello numerico adoperato per le analisi comprende il ponte sospeso, le due strutture terminali e il viadotto Pantano. Il modello è stato costruito con i dati di progetto COWI e SINA relativi rispettivamente alla consegna del luglio 2010 e del settembre 2010.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento <i>PB0026_F0</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>	

Il modello numerico è di tipo tridimensionale ed è costruito con elementi trave e truss. Il modello comprende elementi ad elasticità e dissipazione concentrata per la simulazione dell'interazione suolo-struttura. Le caratteristiche meccaniche di tali elementi sono state riprese da /6/. Nel modello sono simulati anche i giunti e i dispositivi speciali di vincolo secondo le loro reali caratteristiche meccaniche di tipo non lineare. Sono presenti collegamenti cinematici per tenere conto della dimensione finita dei nodi di intersezione tra i vari elementi strutturali e per ripristinare la congruenza nelle intersezioni tra elementi aventi assi baricentrici a quote differenti.

Il modello numerico è stato costruito in ambiente ADINA. I dettaglio dei dati di input in formato ADINA è allegato in fascicolo a parte. Si descrivono brevemente i sotto-modelli del ponte, delle strutture terminali e del viadotto Pantano fornendo qualche dettaglio di modellazione utile alla comprensione del file input dati ADINA a cui si rimanda per tutti i valori numerici.

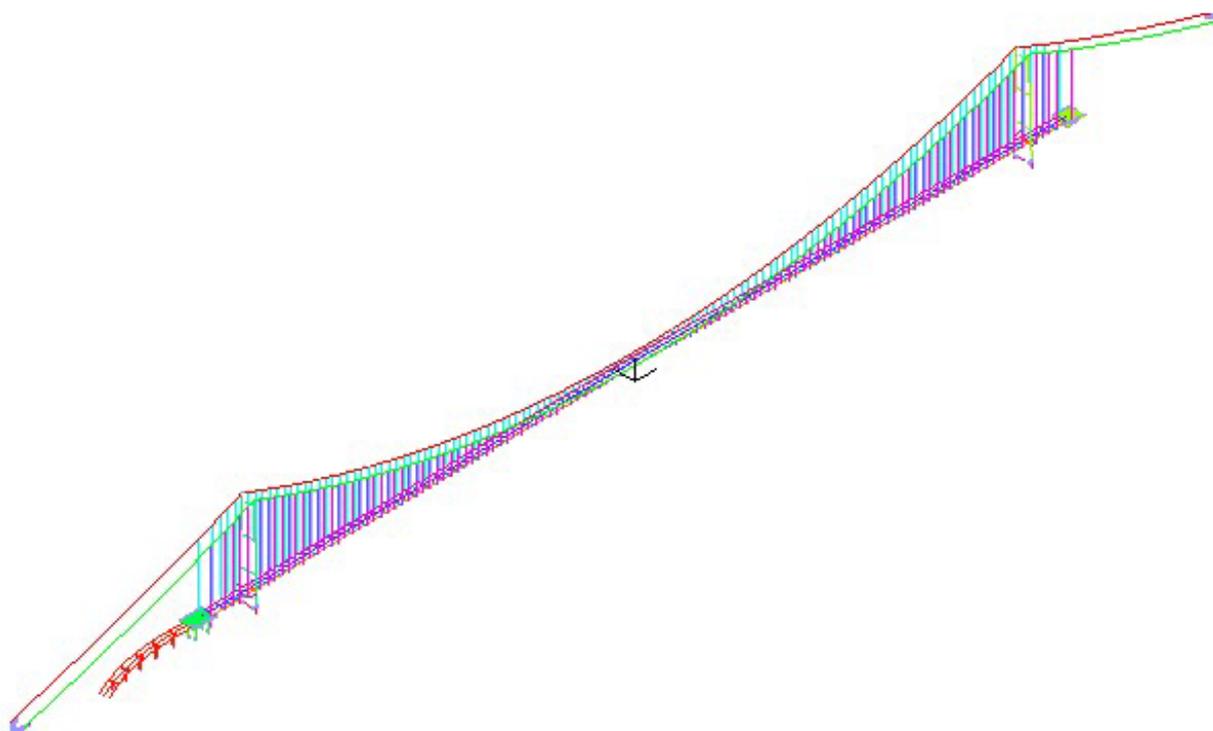


Figura 3-1: Modello 3D complessivo.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento <i>PB0026_F0</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>	

3.1 Modello numerico del ponte sospeso

Coordinate nodali. Le coordinate nodali sono associate ad un riferimento cartesiano ortogonale levogiro con origine nella mezzeria del Ponte. Ascisse negative (asse X) individuano il lato Sicilia, ascisse positive individuano il lato Calabria. Gli assi Y e Z sono orientati rispettivamente in direzione trasversale (Y parallelo ai traversi, con Y = 0 nell'asse del cassone ferroviario) ed in direzione verticale (Z nella direzione delle torri).

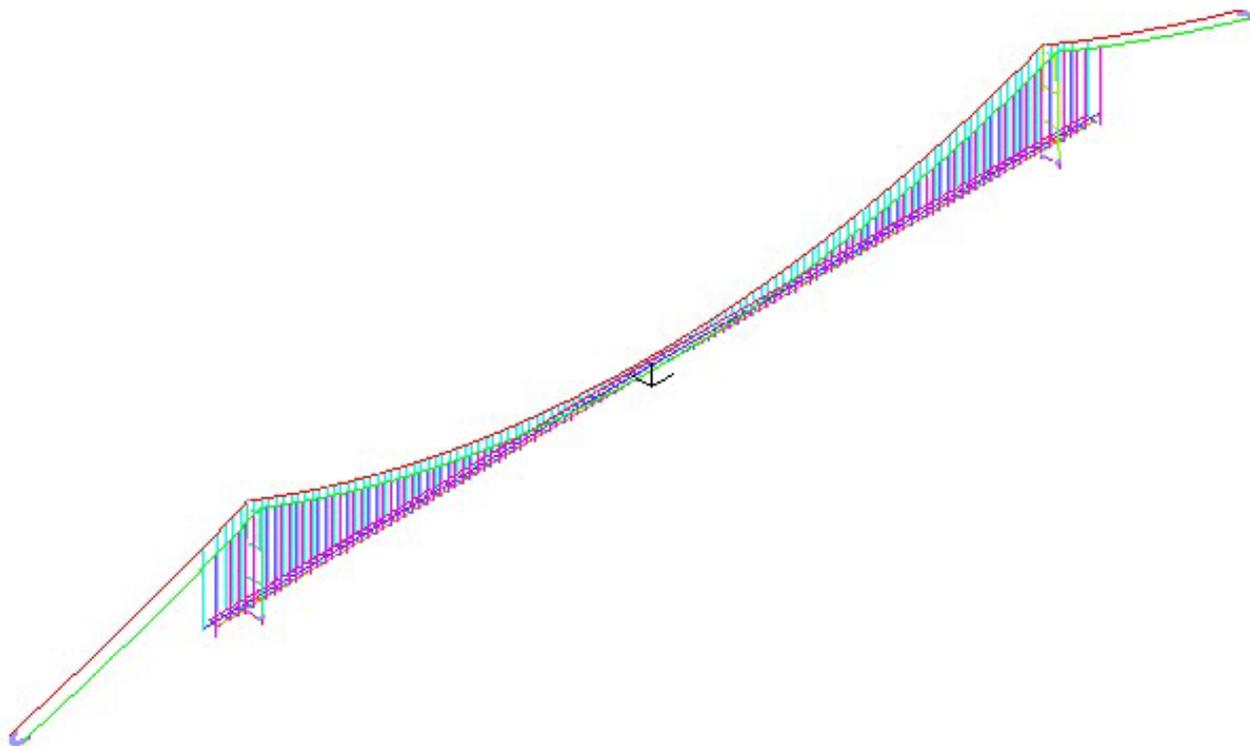


Figura 3-2: Modello 3D del ponte sospeso.

Cavi. I nodi dei cavi sono riportati nel baricentro di ciascuna coppia di cavi. La disposizione dei nodi segue il profilo dei cavi in condizioni a vuoto (configurazione del ponte sotto l'azione dei pesi propri e permanenti portati). Ai fini della loro identificazione, i nodi dei cavi sono numerati come segue: per $Y < 0$ a partire da 4 con numerazione crescente nel verso da $-X$ a $+X$; per $Y > 0$ a

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento <i>PB0026_F0</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>	

partire da 175 con numerazione crescente nel verso da $-X$ a $+X$. Un campione di numerazione nodale è dato in figura 3.3. La numerazione è riferita al lato Sicilia e comprende uno stralcio a cavallo della torre.

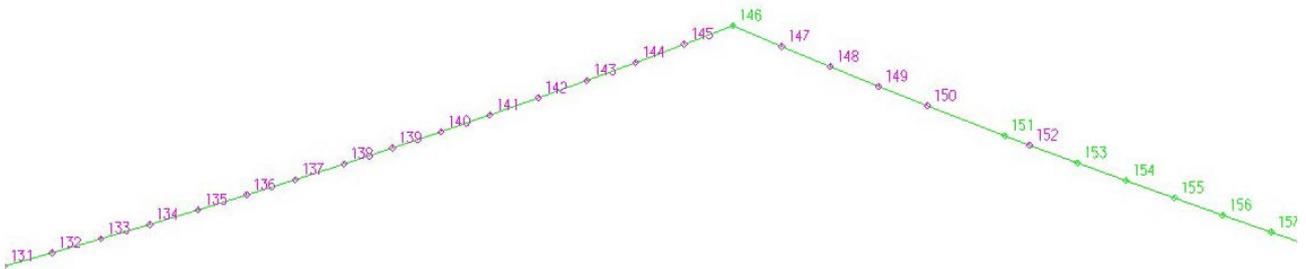


Figura 3-3: Campione di numerazione nodale.

I cavi sono modellati con elementi finiti di tipo “truss”. Gli e.f. truss sono a 2 nodi a sezione costante per lo sviluppo dell’elemento ed hanno solo deformabilità assiale. La partizione tipica dei cavi corrisponde alla posizione dei pendini. Ai fini della loro identificazione, gli elementi sono numerati come segue: egroup 1: per $Y < 0$ la numerazione è crescente nel verso da $-X$ a $+X$; egroup 2: per $Y > 0$ la numerazione è crescente nel verso da $-X$ a $+X$. Uno schema di ripartizione in e.f. dello stesso stralcio di figura 3.3 è riportato schematicamente in figura 3.4.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento PB0026_F0	Rev F0	Data 20/06/2011	

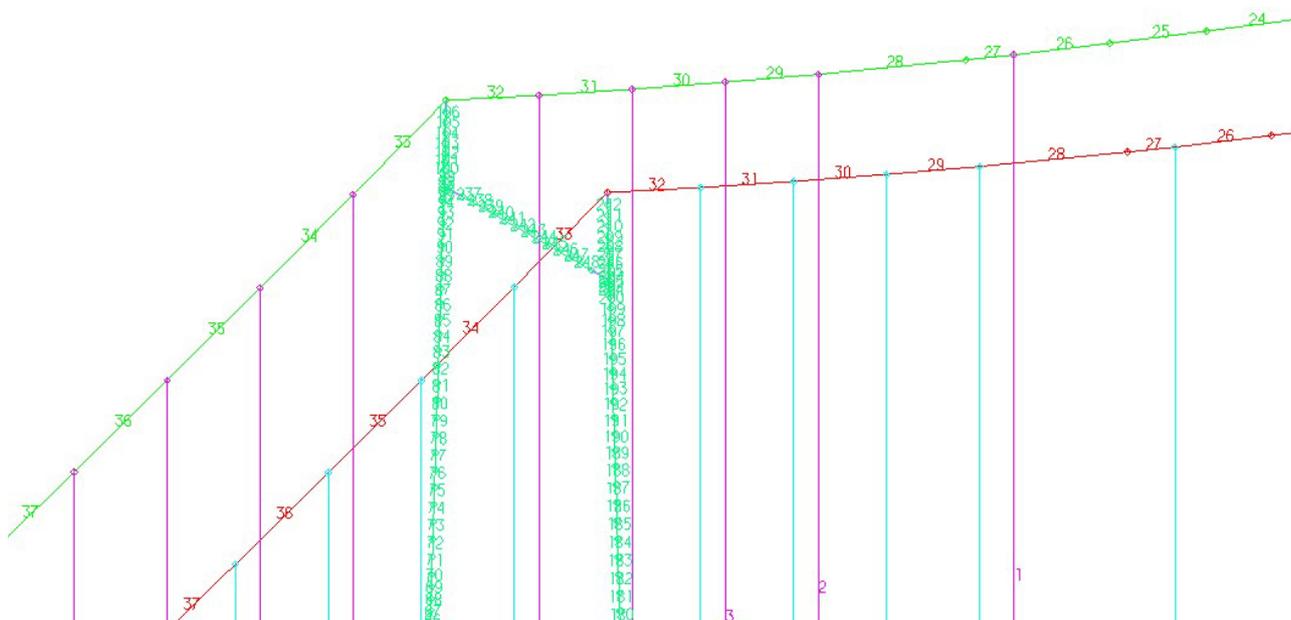


Figura 3-4: Schema di ripartizione tipica agli e.f.

Sono, inoltre presenti i pettini di deviazione agli ancoraggi (figura 3.5). Ciascun pettine è modellato attraverso un unico elemento trave. La lunghezza dell'elemento corrisponde alla distanza tra il punto T.S. (punto di deviazione teorica dei cavi al pettine di deviazione) e il punto ideale di cerniera al piede del pettine. La numerazione attribuita a tali elementi è: egroup 14, $Y < 0$: da 1 e 4; $Y > 0$: 5 e 8. Il blocco di ancoraggio è ridotto al baricentro in cui sono condensate le rispettive caratteristiche inerziali. Al nodo sono applicati molle e smorzatori che simulano l'interazione con il suolo. Le aree dei cavi, distinte per campata centrale e campate laterali, sono: Campata principale = $2 \cdot 0.918 \text{ m}^2$; Campata Sicilia = $2 \cdot 0.941 \text{ m}^2$; Campata Calabria = $2 \cdot 0.935 \text{ m}^2$. Tutti gli elementi truss dei cavi hanno modulo elastico pari a: $E = 200000 \text{ MPa}$. I pesi gravanti sui cavi sono dati ripartiti sulla lunghezza dell'elemento ed espressi in unità di kN/m . I pesi sono cumulati e tengono conto del peso proprio e dei permanenti portati. Tali pesi sono stati valutati come: $g = 2 \cdot A \cdot 0.077 + 0.0014 \cdot 2 + 0.005$ (MN/m) i termini inseriti nella formula sono rispettivamente il peso proprio del cavo, il rivestimento del cavo stesso, gli accessori e le finiture.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento <i>PB0026_F0</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>	

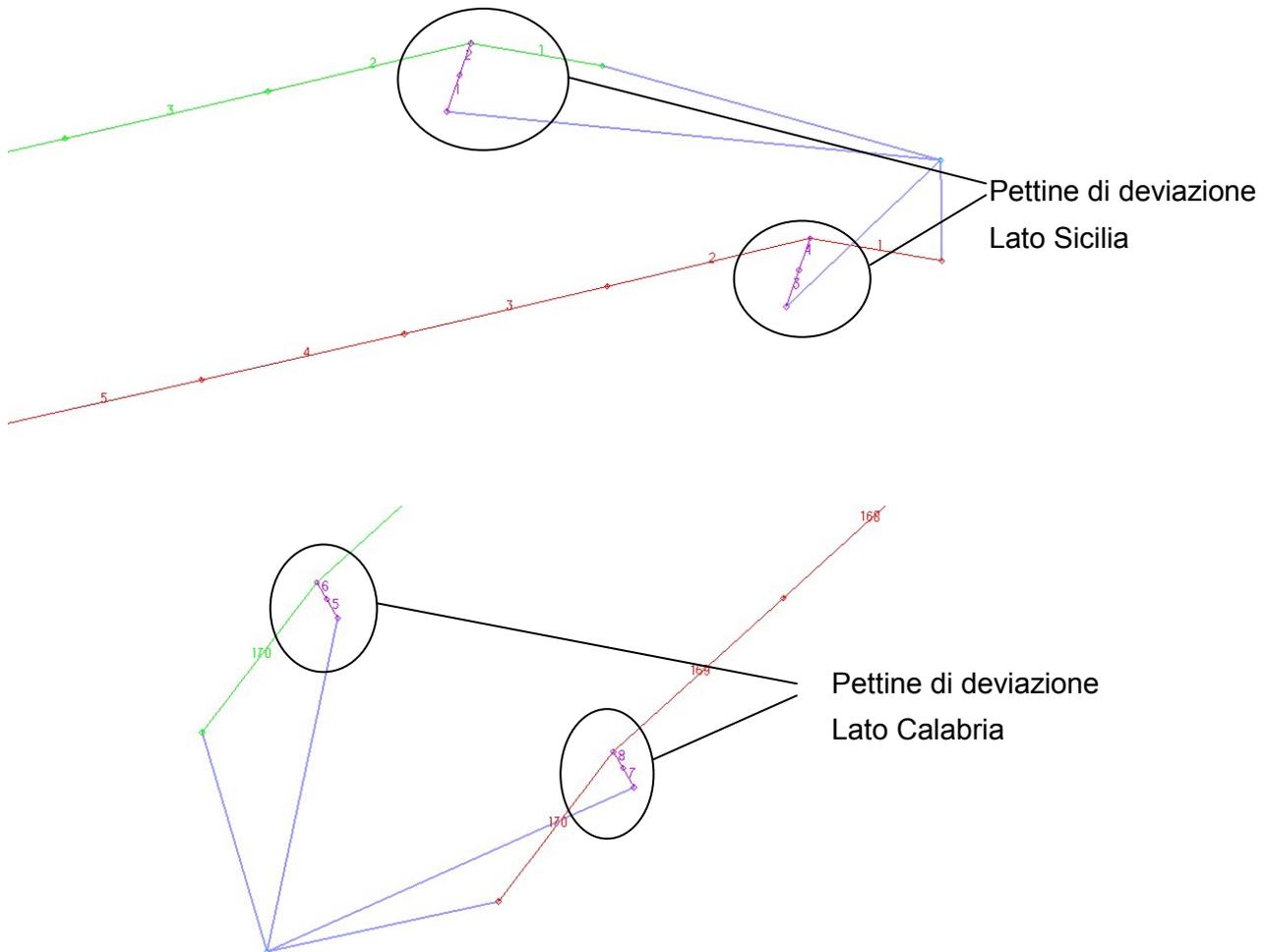


Figura 3-5: Pettine di deviazione.

Pendini. I nodi dei pendini coincidono con il nodo baricentrico dei cavi in sommità e con il baricentro del dispositivo di attacco al traverso a livello di impalcato. La riconnessione fisica tra questo punto e l'asse del traverso avviene tramite collegamenti cinematici. Ai fini della loro identificazione, i nodi di base dei pendini sono numerati come segue: per $Y < 0$ a partire da 4076 con numerazione crescente nel verso da $-X$ a $+X$; per $Y > 0$ a partire da 4195 con numerazione crescente nel verso da $-X$ a $+X$. Un campione di numerazione nodale è dato in figura 3.6. La numerazione è riferita al lato Sicilia e comprende uno stralcio a cavallo della torre. Lo stralcio comprende anche la fune di tie-down. I pendini sono modellati con elementi finiti di tipo "truss". Gli

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

e.f. truss sono a 2 nodi a sezione costante nell'elemento ed hanno solo deformabilità assiale. Ai fini della loro identificazione, gli elementi sono numerati come segue: egroup 3: per $Y < 0$ a partire da 1 a 119 con numerazione crescente nel verso da $-X$ a $+X$; egroup 4: per $Y > 0$ a partire da 1 a 119 con numerazione crescente nel verso da $-X$ a $+X$. Uno schema di ripartizione in e.f. dello stesso stralcio di figura 3.6 è riportato schematicamente in figura 3.7. Le aree dei pendini sono desumibili dal file dati di input in allegato. Tutti gli elementi truss dei pendini hanno modulo elastico pari a: $E = 200000$ MPa. I pesi gravanti sui pendini sono dati ripartiti sulla lunghezza dell'elemento ed espressi in unità di kN/m. I pesi tengono conto del solo peso proprio.

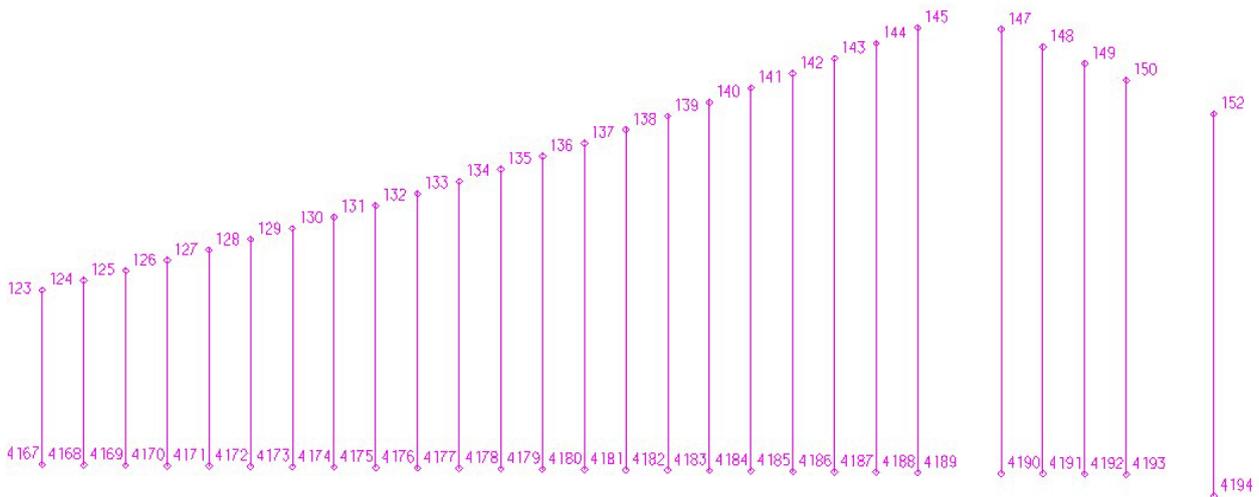


Figura 3-6: Campione di numerazione nodale.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento <i>PB0026_F0</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>	

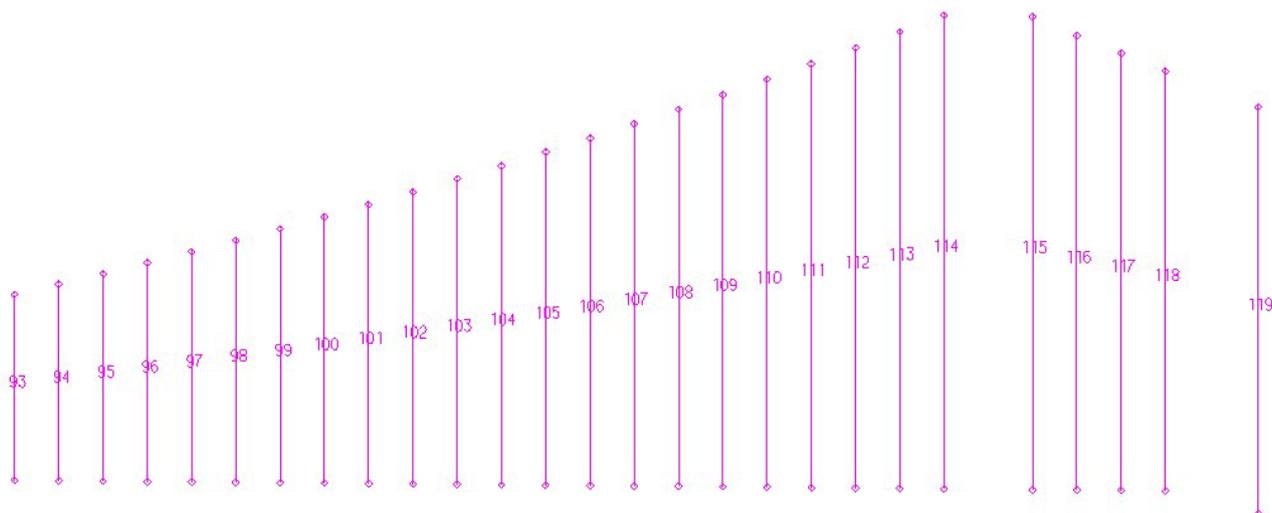


Figura 3-7: Schema di ripartizione tipica agli e.f.

Impalcato. I nodi di impalcato sono disposti nel baricentro degli elementi strutturali (cassoni e traversi). La disposizione dei nodi segue il profilo del ponte in condizioni a vuoto (monta). Ai fini della loro identificazione, i nodi sono numerati come segue: egroup 5: nodi cassone stradale $Y < 0$ a partire da 350 con numerazione crescente nel verso da $-X$ a $+X$; egroup 6: nodi cassone ferroviario a partire da 873 con numerazione crescente nel verso da $-X$ a $+X$; egroup 7: nodi cassone stradale $Y > 0$ a partire da 1432 con numerazione crescente nel verso da $-X$ a $+X$; egroup 8: traversi nodi a partire da 1955 con numerazione crescente da $-Y$ a $+Y$ e quindi da $-X$ a $+X$. Un campione di numerazione nodale è dato nello stralcio di impalcato delle figure 3.8 e 3.10.

L'impalcato è modellato con elementi finiti di tipo trave. Gli e.f. trave sono a 2 nodi di sezione uniforme per lo sviluppo dell'elemento ed hanno deformabilità a flessione e taglio. La partizione tipica di cassoni stradali e ferroviario corrisponde ad una suddivisione in 4 e.f. tra trasverso e trasverso. Addensamenti sono presenti in corrispondenza delle torri e dei terminali. I traversi sono suddivisi in 12 e.f. per tenere conto della variabilità della sezione. Tutti gli e.f. sono disposti secondo l'asse del generico elemento strutturale che modellano. Le dimensioni finite del nodo di intersezione tra cassoni e traversi non sono tenute in conto. Ai fini della loro identificazione, gli elementi sono numerati come segue: egroup 5: travi cassone stradale $Y < 0$ la numerazione è crescente nel verso da $-X$ a $+X$; egroup 6: travi cassone ferroviario $Y = 0$ la numerazione è crescente nel verso da $-X$ a $+X$; egroup 7: travi cassone stradale $Y > 0$ la numerazione è

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento PB0026_F0	Rev F0	Data 20/06/2011	

crescente nel verso da $-X$ a $+X$; egroup 8: travi dei traversi la numerazione è crescente da $-Y$ a $+Y$ e quindi da $-X$ a $+X$. Uno schema di ripartizione in e.f. di uno stralcio di impalcato della campata centrale è riportato schematicamente in figura 3.9. Le caratteristiche geometriche del generico e.f. sono valutate nella mezzeria dell'elemento. I valori specifici sono desumibili dal file di input allegato osservando che le caratteristiche delle sezioni sono riferite al sistema di riferimento locale degli elementi. Tutti gli elementi finiti di trave hanno identiche caratteristiche meccaniche: $E = 210000$ MPa e $G = 80769$ MPa. I pesi gravanti sull'impalcato sono dati ripartiti sulla lunghezza dell'elemento ed espressi in unità di kN/m. I pesi sono cumulati e tengono conto del peso proprio e dei permanenti portati.

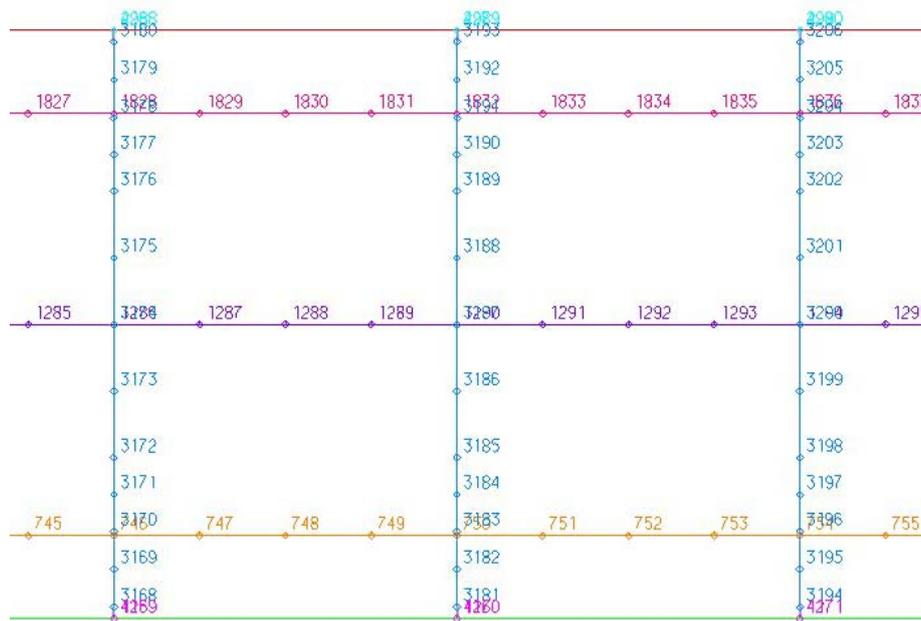


Figura 3-8: Schema tipo di numerazione nodale dei cassoni e traversi di impalcato

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento PB0026_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

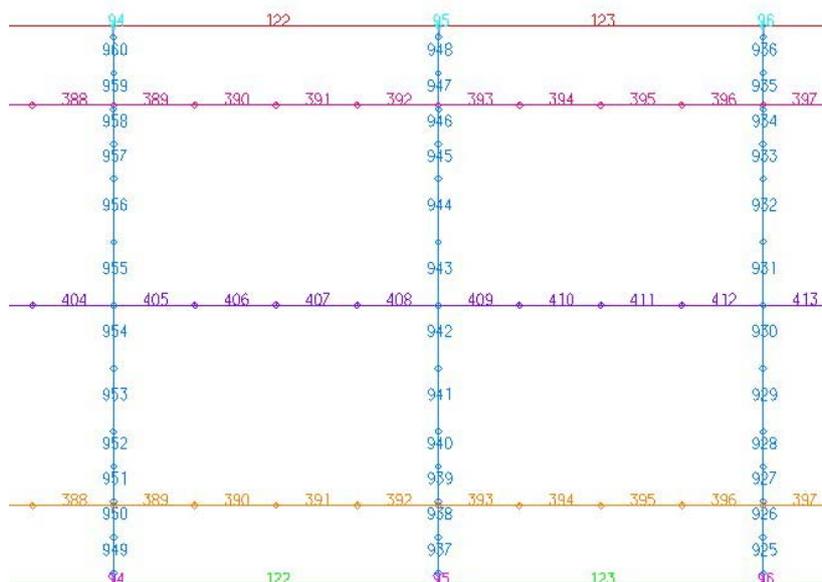


Figura 3-9: Schema tipo di ripartizione in e.f. di traversi e cassoni di impalcato

Collegamenti rigidi. Le linee d'asse dei cassoni stradali/ferroviario e quelle dei traversi si trovano a quote diverse in relazione alla diversa conformazione geometrica delle rispettive sezioni. La connessione tra i rispettivi e.f. trave avviene tramite l'imposizione di vincoli cinematici denominati "rigid link" che consentono di conservare la congruenza negli spostamenti/rotazioni tra nodi collegati. I collegamenti rigidi sono impiegati per riconnettere: (i) gli assi dei cassoni stradali o ferroviari in corrispondenza del cambio di sezione; (ii) gli assi dei cassoni stradali/ferroviario con i traversi; (iii) i pendini con i traversi; (iv) tutte le altre situazioni di dettaglio in cui siano presenti disassamenti. Uno schema tipico di questi collegamenti è riportato in figura 3-11.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento PB0026_F0	Rev F0	Data 20/06/2011	

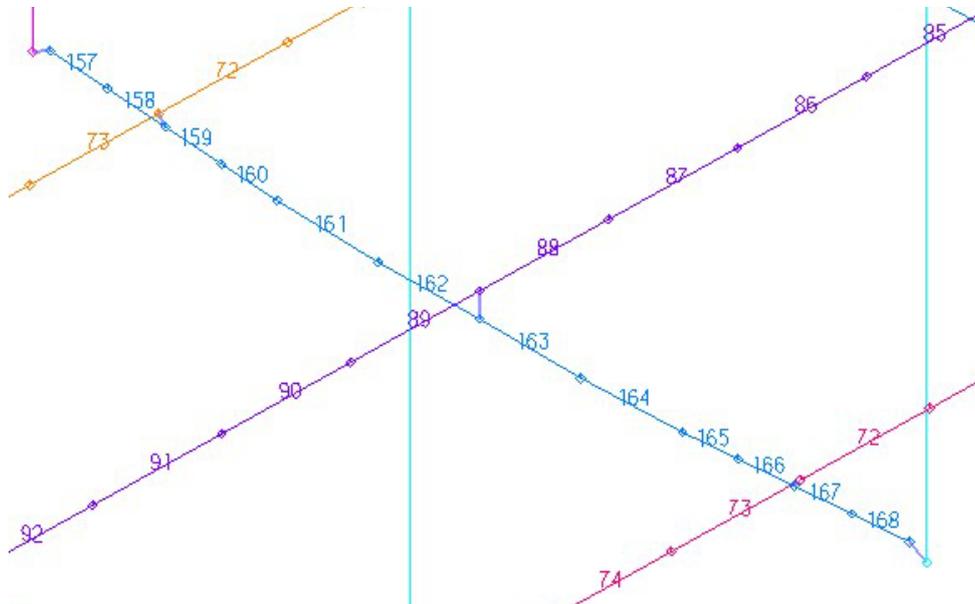


Figura 3-10: Schema tipo dei collegamenti tra pendini, traversi e cassoni stradali e ferroviario.

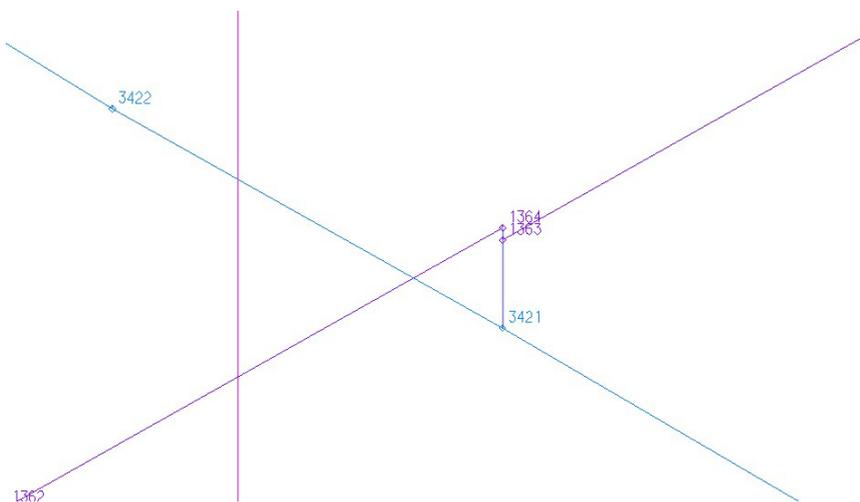


Figura 3-11: Schema tipo dei collegamenti tra cassoni con baricentri a quote diverse.

Giunti e dispositivi speciali di vincolo (buffer). I giunti sono stati modellati con opportuni rilasci alle estremità degli elementi interessati. Nel caso dei giunti si è tenuto conto dell'eventuale differenza di quota tra elementi convergenti nel giunto. I buffer sono stati modellati con elementi truss a

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

comportamento non lineare secondo i modelli di comportamento desunti dalle tavole del progetto di gara, PG 2D BO 106 1 N04 1 “Sistema di articolazione del ponte. Vincolo dell’impalcato alle torri” e PG 2D BO 106 1 N08 1 “Strutture terminali. Configurazione dei buffer”. Tali elementi comprendono i buffer alle torri, i buffer nella crociera in asse alle torri e i buffer tra piastra e sottostruttura dei cavalletti terminali. Nel caso delle analisi modali i buffer sono stati considerati assenti.

Fondazioni e ancoraggi. Le fondazioni delle torri sono state modellate con elementi trave, gli ancoraggi sono stati ridotti al baricentro tenendo conto delle caratteristiche inerziale del blocco. Ai baricentri sono applicati elementi ad elasticità concentrata definiti da opportune matrici di rigidezza e smorzamento /6/ per simulare l’interazione terreno-struttura. I valori di rigidezza e smorzamento che compongono tali matrici sono rispettivamente:

Sicily Tower

	x	y	z	rx	ry	rz
x	5.5E+07	0	0	0	-5.7E+08	0
y	0	5.5E+07	0	-5.7E+08	0	0
z	0	0	5.3E+07	0	0	0
rx	0	-5.7E+08	0	3.3E+10	0	0
ry	-5.7E+08	0	0	0	3.3E+10	0
rz	0	0	0	0	0	5.5E+10

Units

x x	kN/m
y y	kN/m
z z	kN/m
rx rx	kN m
ry ry	kN m
rz rz	kN m

Calabria Tower

	x	y	z	rx	ry	rz
x	2.7E+08	0	0	0	-1.0E+09	0
y	0	2.7E+08	0	-1.0E+09	0	0
z	0	0	1.3E+08	0	0	0
rx	0	-1.0E+09	0	1.1E+11	0	0
ry	-1.0E+09	0	0	0	1.1E+11	0
rz	0	0	0	0	0	2.2E+11

x ry	kN
y rx	kN

Sicily Anchor

	x	y	z	rx	ry	rz
x	7.6E+07	0	0	0	8.6E+08	0
y	0	7.8E+07	0	8.8E+08	0	0
z	0	0	9.8E+07	0	0	0
rx	0	8.8E+08	0	1.0E+11	0	0
ry	8.6E+08	0	0	0	1.4E+11	0
rz	0	0	0	0	0	3.6E+11

Calabria Anchor

	x	y	z	rx	ry	rz
x	5.3E+08	0	0	0	3.5E+09	0
y	0	5.2E+08	0	3.5E+09	0	0
z	0	0	6.3E+08	0	0	0
rx	0	3.5E+09	0	6.6E+11	0	0
ry	3.5E+09	0	0	0	9.5E+11	0
rz	0	0	0	0	0	2.8E+12

Sicily terminal structure

	x	y	z	rx	ry	rz
x	5.0E+07	0	0	0	-1.7E+08	0
y	0	4.8E+07	0	-1.6E+08	0	0
z	0	0	5.8E+07	0	0	0
rx	0	-1.6E+08	0	1.3E+11	0	0
ry	-1.7E+08	0	0	0	1.7E+11	0
rz	0	0	0	0	0	2.5E+11

Calabria terminal structure

	x	y	z	rx	ry	rz
x	2.2E+08	0	0	0	9.6E+08	0
y	0	2.1E+08	0	9.1E+08	0	0
z	0	0	3.5E+08	0	0	0
rx	0	9.1E+08	0	4.4E+11	0	0
ry	9.6E+08	0	0	0	5.7E+11	0
rz	0	0	0	0	0	9.6E+11

Sicily Tower

	x	y	z	rx	ry	rz
x	4.1E+06	0	0	0	-4.3E+07	0
y	0	4.1E+06	0	-4.3E+07	0	0
z	0	0	4.0E+06	0	0	0
rx	0	-4.3E+07	0	2.5E+09	0	0
ry	-4.3E+07	0	0	0	2.5E+09	0
rz	0	0	0	0	0	4.1E+09

Units

x x	Mg/s
y y	Mg/s
z z	Mg/s
rx rx	Mg m ² /s
ry ry	Mg m ² /s
rz rz	Mg m ² /s

Calabria Tower

	x	y	z	rx	ry	rz
x	5.5E+06	0	0	0	-2.1E+07	0
y	0	5.5E+06	0	-2.1E+07	0	0
z	0	0	2.8E+06	0	0	0
rx	0	-2.1E+07	0	2.3E+09	0	0
ry	-2.1E+07	0	0	0	2.3E+09	0
rz	0	0	0	0	0	4.6E+09

x ry	Mg m /s
y rx	Mg m /s

Sicily Anchor

	x	y	z	rx	ry	rz
x	6.4E+05	0	0	0	6.9E+06	0
y	0	6.5E+05	0	7.0E+06	0	0
z	0	0	8.0E+05	0	0	0
rx	0	7.0E+06	0	2.7E+10	0	0
ry	6.9E+06	0	0	0	4.3E+10	0
rz	0	0	0	0	0	2.9E+09

Calabria Anchor

	x	y	z	rx	ry	rz
x	5.2E+05	0	0	0	2.9E+06	0
y	0	5.2E+05	0	2.9E+06	0	0
z	0	0	5.9E+05	0	0	0
rx	0	2.9E+06	0	5.6E+10	0	0
ry	2.9E+06	0	0	0	6.3E+10	0
rz	0	0	0	0	0	2.5E+09

Sicily terminal structure

	x	y	z	rx	ry	rz
x	2.7E+06	0	0	0	-1.6E+07	0
y	0	2.6E+06	0	-1.6E+07	0	0
z	0	0	9.5E+05	0	0	0
rx	0	-1.6E+07	0	2.1E+09	0	0
ry	-1.6E+07	0	0	0	2.8E+09	0
rz	0	0	0	0	0	4.1E+09

Calabria terminal structure

	x	y	z	rx	ry	rz
x	9.6E+05	0	0	0	3.1E+06	0
y	0	9.5E+05	0	3.1E+06	0	0
z	0	0	3.2E+05	0	0	0
rx	0	3.1E+06	0	4.0E+08	0	0
ry	3.1E+06	0	0	0	5.2E+08	0
rz	0	0	0	0	0	8.8E+08

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento <i>PB0026_F0</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>	

Torri. I nodi delle torri sono disposti nel baricentro degli elementi strutturali (colonne, traversi, crociere). La disposizione dei nodi segue il profilo del ponte in condizioni a vuoto. Le coordinate nodali sono associate ad un riferimento cartesiano ortogonale levogiro con origine nella mezzeria del Ponte. Ai fini della loro identificazione, i nodi sono numerati come segue. Torre lato Sicilia: egroup 9 i nodi delle colonne torre lato Sicilia sono numerati a partire da 3522 con numerazione crescente nel verso da $-Z$ a $+Z$; i nodi dei traversi sono numerati a partire da 3745. Torre lato Calabria: egroup 10 sono numerati a partire da 3798 con numerazione crescente nel verso da $-Z$ a $+Z$; i nodi dei traversi sono numerati a partire da 4026. I nodi delle crociere egroup 11 sono numerati a partire da 4065. Un campione della numerazione è riportato nelle figure 3.12-3.15.

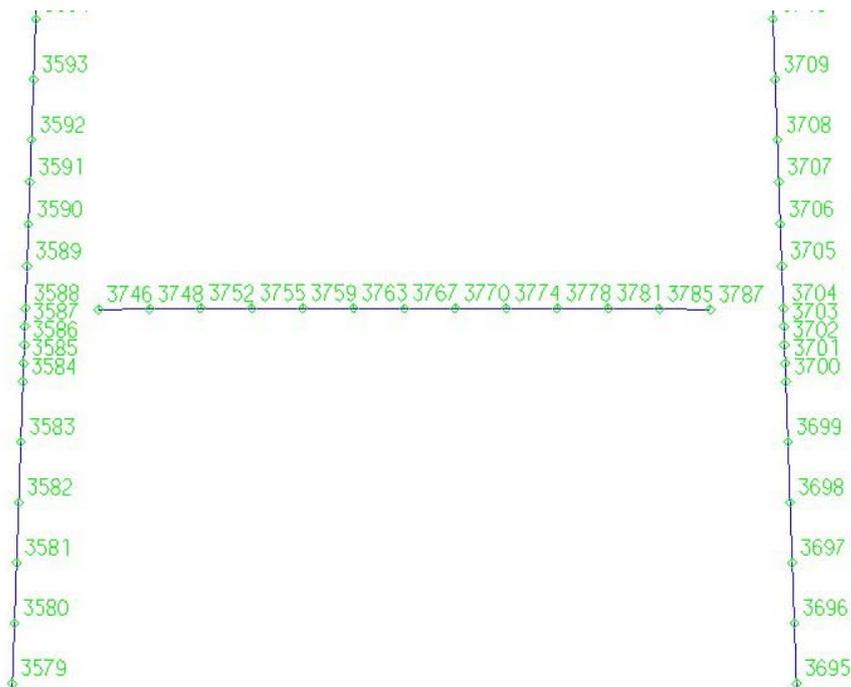


Figura 3-12: Campione di numerazione nodale torre lato Sicilia.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento PB0026_F0	Rev F0	Data 20/06/2011	

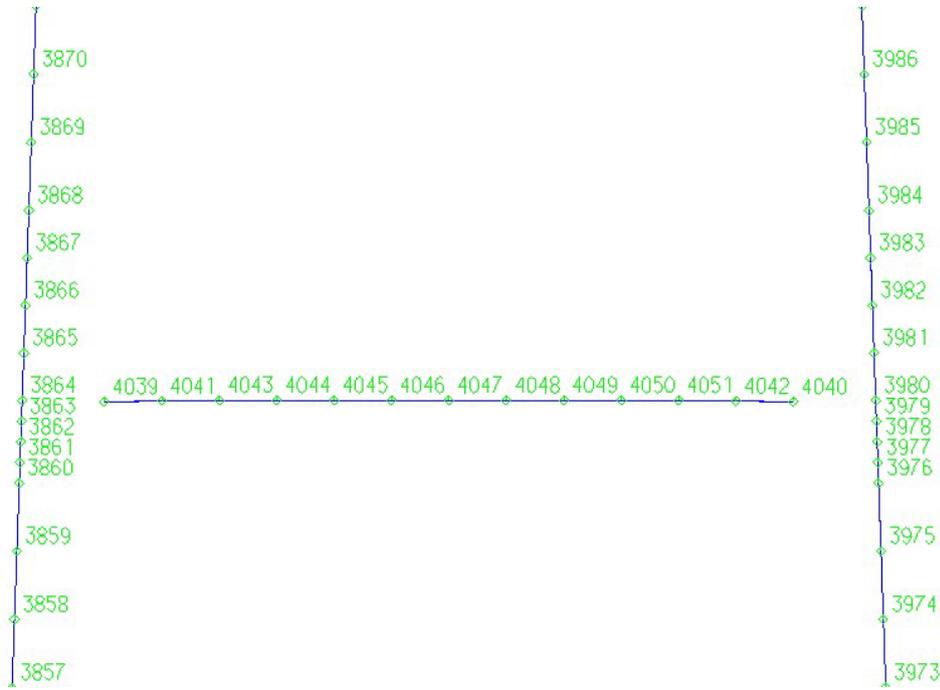


Figura 3-13: Campione di numerazione nodale torre lato Calabria.

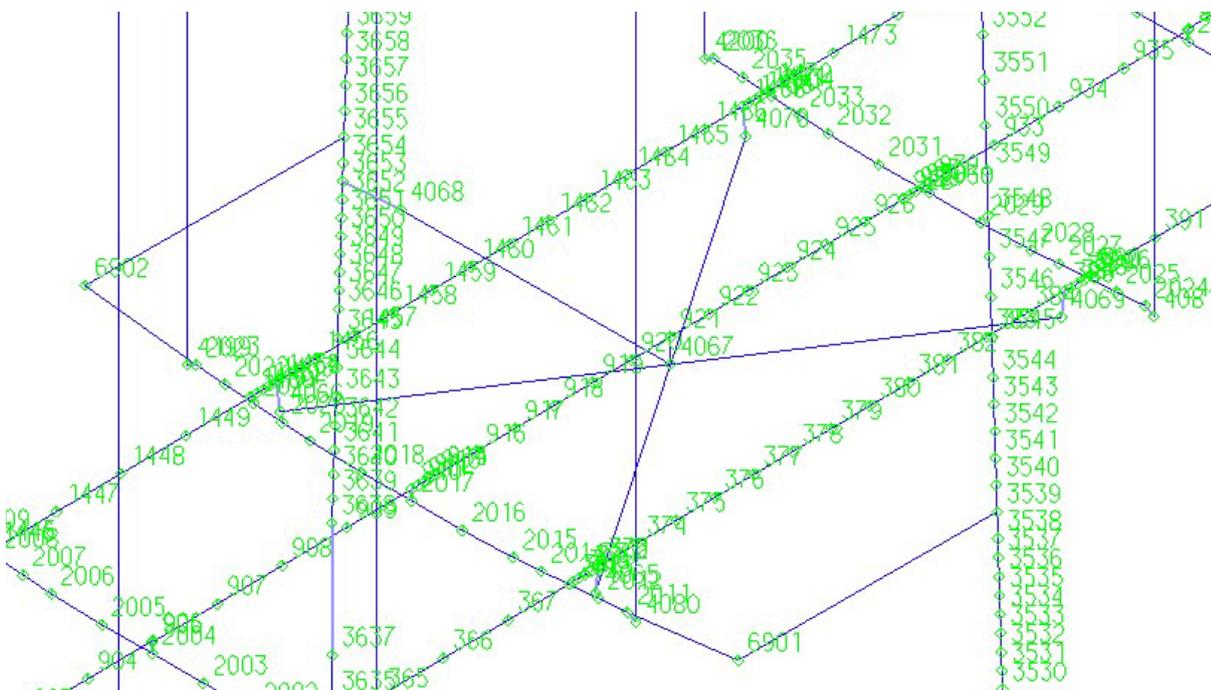


Figura 3-14: Numerazione nodi crociera lato Sicilia.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento PB0026_F0	Rev F0	Data 20/06/2011	

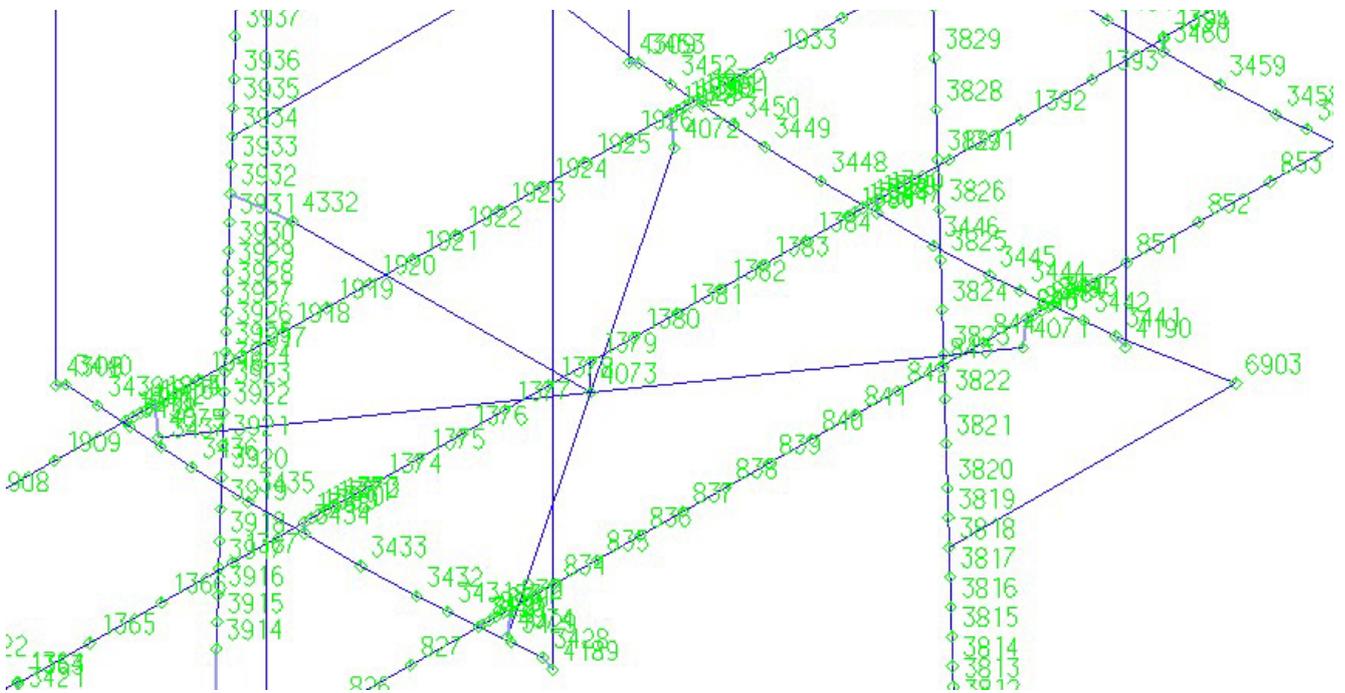


Figura 3-15: Numerazione nodi crociera lato Calabria.

La torre è modellata con elementi finiti di tipo trave. Gli e.f. trave sono a 2 nodi di sezione uniforme per lo sviluppo dell'elemento ed hanno deformabilità a flessione e taglio. Tutti gli e.f. sono disposti secondo l'asse del generico elemento strutturale che modellano. Ai fini della loro identificazione, gli elementi sono numerati come segue. Torre lato Sicilia: egroup 9, torre Calabria: egroup 10 e crociere egroup 11.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento <i>PB0026_F0</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>	

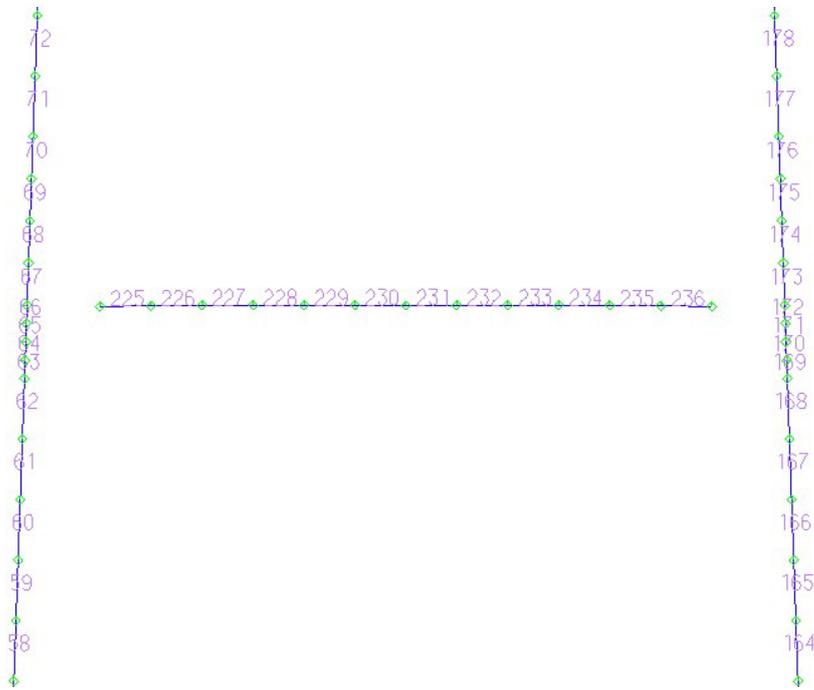


Figura 3-16: Ripartizione e numerazione e.f. torre lato Sicilia.



Figura 3-17: Ripartizione e numerazione e.f. torre lato Calabria.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento PB0026_F0	Rev F0	Data 20/06/2011	

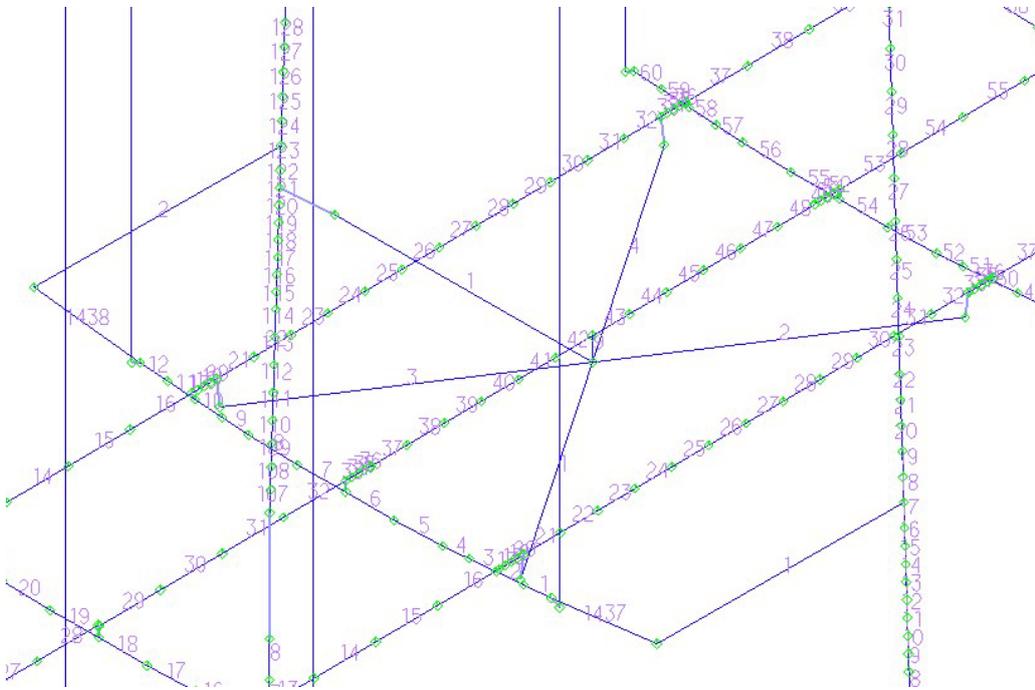


Figura 3-18: Ripartizione e numerazione e.f. torre lato Sicilia.

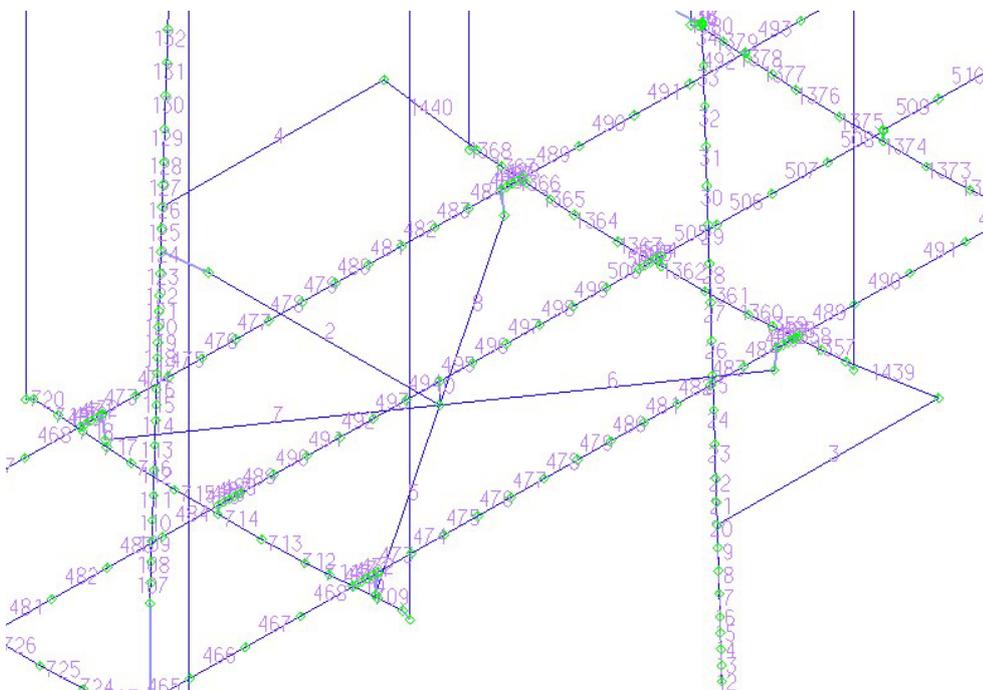


Figura 3-19: Ripartizione e numerazione e.f. torre lato Calabria.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento PB0026_F0	Rev F0	Data 20/06/2011	

Le caratteristiche geometriche del generico e.f. sono valutate nella mezzeria dell'elemento, i valori possono essere dedotte dal file allegato. Tutti gli elementi finiti di trave delle gambe delle torri hanno le seguenti caratteristiche meccaniche (acciaio) $E = 210000 \text{ MPa}$, $G = 80769 \text{ MPa}$. I pesi sono legati al peso proprio e ai permanenti sotto specificati. Il peso complessivo è dato dalla somma dei due. Il peso proprio è valutato assumendo un peso per unità di volume $\gamma = 77 \text{ kN/m}^3$. Pertanto il peso ripartito su ciascun elemento vale: $A \times \gamma \text{ kN/m}$. I pesi addizionali presenti sono diaframmi, piatti di giunto, etc.: 110 kN/m e scale etc. 10 kN/m sono uniformemente ripartiti e applicati a ciascuna gamba delle torri.. Sono presenti inoltre carichi addizionali concentrati pari a 491 kN . Tali carichi sono applicati a ciascuna gamba delle torri nei nodi di intersezione con i traversi.

La fondazione è stata modellata con elementi "beam" verticali al di sotto della gambe delle torri ed un elemento (traverso) orizzontale di collegamento. Fondazioni e base gambe delle torri sono collegate tramite link rigidi. Lo stesso vale per il collegamento tra fondazioni e traverso di collegamento. Alle base delle fondazioni sono presenti molle elastiche e smorzatori definite con riferimento al rapporto /6/.

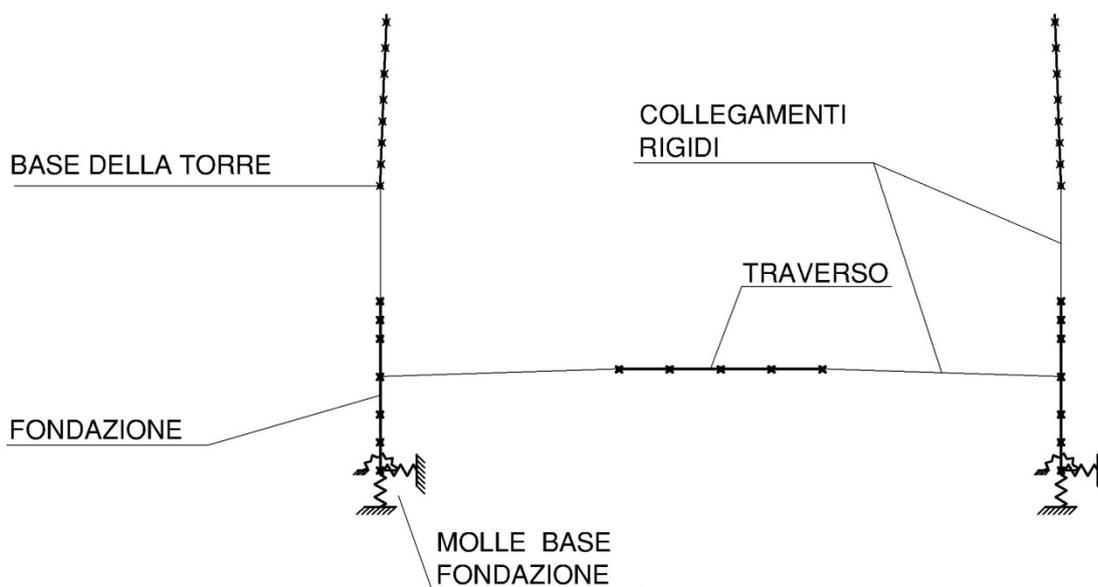


Figura 3-20: Schema della fondazione con disposizione delle molle-terreno.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento <i>PB0026_F0</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>	

Alle fondazioni è attribuito un peso per unità di volume nullo ($\gamma = 0$). Sono state invece considerate masse applicate che tengono conto sia del peso della struttura che della porzione di terreno che segue il movimento della struttura. Tali masse sono definite come valori nodali. Le quote dei punti cui sono applicate le masse nodali sono indicate in figura 3-21 e i loro valori sono di seguito riportati.

Torre Sicilia

	z=-8.5m	z=0.25m	z=4.65m		Traverso
M	8.29E+07	3.40E+07	1.53E+07	kg	3.96E+05 kg/m
Is	1.80E+10	2.92E+09	4.17E+09	kg*m ²	0 kg*m ² /m
Iy	1.80E+10	2.92E+09	4.17E+09	kg*m ²	2.50E+07 kg*m ² /m
Iz	3.37E+10	3.58E+09	8.30E+09	kg*m ²	0 kg*m ² /m

Torre Calabria

	z=-8.5m	z=0.25m	z=4.65m		Traverso
M	6.38E+07	3.40E+07	1.00E+07	kg	3.96E+05 kg/m
Is	1.09E+10	2.92E+09	2.26E+09	kg*m ²	0 kg*m ² /m
Iy	1.09E+10	2.92E+09	2.26E+09	kg*m ²	2.50E+07 kg*m ² /m
Iz	3.37E+10	3.58E+09	4.49E+09	kg*m ²	0 kg*m ² /m

Dove M è il valore della massa traslazionale e Is, Iy e Iz sono rispettivamente il valore delle masse rotazionali intorno all'asse longitudinale (s o x), trasversale (y) e verticale (z).

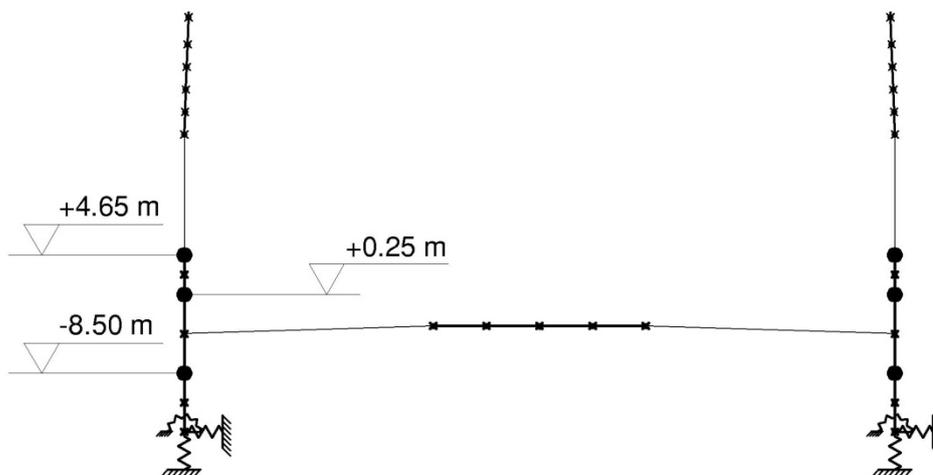


Figura 3-21: Quote a cui sono applicate le masse concentrate.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

La connessione tra i rispettivi e.f. trave avviene tramite l'imposizione di vincoli cinematici denominati "collegamenti rigidi" (rigid link) che consentono di conservare la congruenza negli spostamenti/rotazioni tra nodi collegati. I collegamenti rigidi sono impiegati per riconnettere: gli assi dei traversi alle colonne della torre, gli assi della torre ai cavi, le crociere ai cassoni stradali e alle torri. Schemi tipici di questi collegamenti sono riportati nelle figure 3-22 e 3-23 dove i collegamenti rigidi sono indicati con colore rosso. Nella figura 3-23 sono indicati, oltre ai collegamenti rigidi gli svincoli della crociera e dei cassoni stradali in corrispondenza della torre.

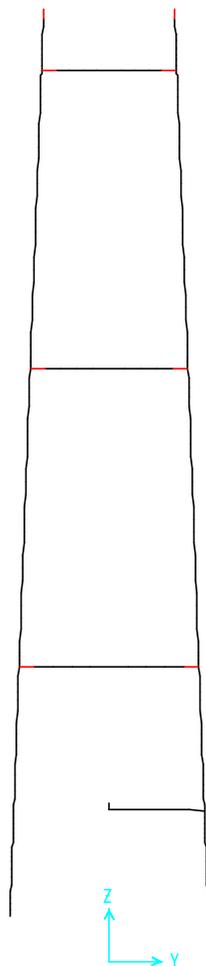


Figura 3-22: Collegamenti rigidi torri.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

3.2 Modello numerico delle strutture terminali

Le strutture terminali sono costituite da un impalcato pluricellulare in acciaio e da due portali in calcestruzzo sui quale è appoggiato l'impalcato. Il cassone pluricellulare è stato modellato riconducendolo ad un grigliato equivalente. Le singole travi longitudinali coincidono con le anime del cassone e sono ubicate nei loro baricentri, la posizione dei traversi coincide con gli irrigidimenti trasversali del cassone, come mostrato nella figura 3.24 e 3.25. Sia le travi che i traversi hanno caratteristiche geometriche variabili in funzione della reale geometria dei cassoni. I traversi sono differenziati per tipo (parete piena e reticolare). Anche le linee d'asse degli elementi seguono la reale geometria del cassone. La quota (verticale) dei singoli elementi è pertanto differente e varia secondo lo sviluppo longitudinale dell'impalcato. La congruenza nodale è ripristinata attraverso collegamenti cinematici (link rigidi). I portali sono stati modellati con e.f. trave a 2 nodi di sezione uniforme per lo sviluppo dell'elemento ed hanno deformabilità a flessione e taglio. Tutti gli e.f. sono disposti secondo l'asse del generico elemento strutturale che modellano. La base dei portali, comprensiva dei blocchi di fondazione è stata ricondotta al baricentro delle fondazioni tramite opportuni collegamenti cinematici. La numerazione dei nodi della struttura terminale Sicilia è a partire da 4332, mentre per la struttura terminale lato Calabria questi sono numerati a partire da 5670. Gli elementi della struttura terminale Sicilia sono contenuti nei gruppi: egroup 17 impalcato, egroup 18 portali, mentre quelli della struttura terminale Calabria sono contenuti negli egroup 20 impalcato e egroup 21 portali. Le interfacce lato ponte sospeso e lato viadotto Pantano sono state modellate in modo da rispettare nel dettaglio le reali condizioni di vincolo.

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p>Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica</p>	<p>Codice documento PB0026_F0</p>	<p>Rev F0</p>	<p>Data 20/06/2011</p>	

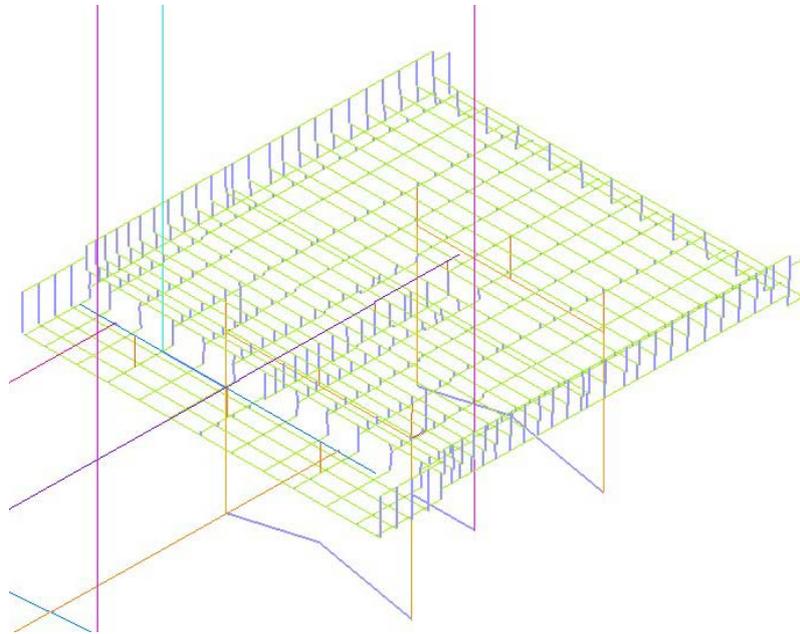


Figura 3-23: Modello agli elementi finiti della struttura terminale lato Calabria

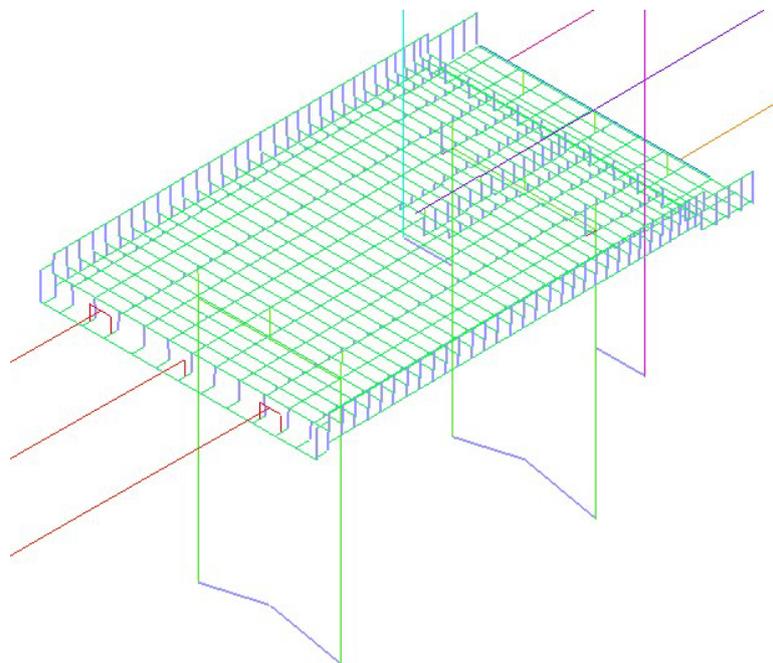


Figura 3-24: Modello agli elementi finiti della struttura terminale lato Sicilia

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento <i>PB0026_F0</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>	

3.3 Modello numerico del viadotto Pantano

Il viadotto Pantano è stato modellato con elementi finiti di tipo trave, il cui asse coincide con il baricentro dell'elemento stesso. Gli impalcati stradali sono elementi continui appoggiati in corrispondenza delle pile, al contrario il cassone ferroviario ha uno schema di trave appoggiata tra una pila e l'altra. La pila, costituita da due piedritti a sezione cava collegati in testa da un unico pulvino di sezione variabile con l'altezza, è stata modellata con elementi trave a due nodi con caratteristiche geometriche equivalenti alla sezione reale. Tali elementi sono collegati in sommità tramite elementi rigidi all'elemento che modella il pulvino. In fondazione i due piedritti sono ricondotti al baricentro della fondazione tramite collegamenti cinematici. I nodi del viadotto Pantano hanno numerazione a partire da 6750, ed i suoi elementi appartengono all'egroup 23.

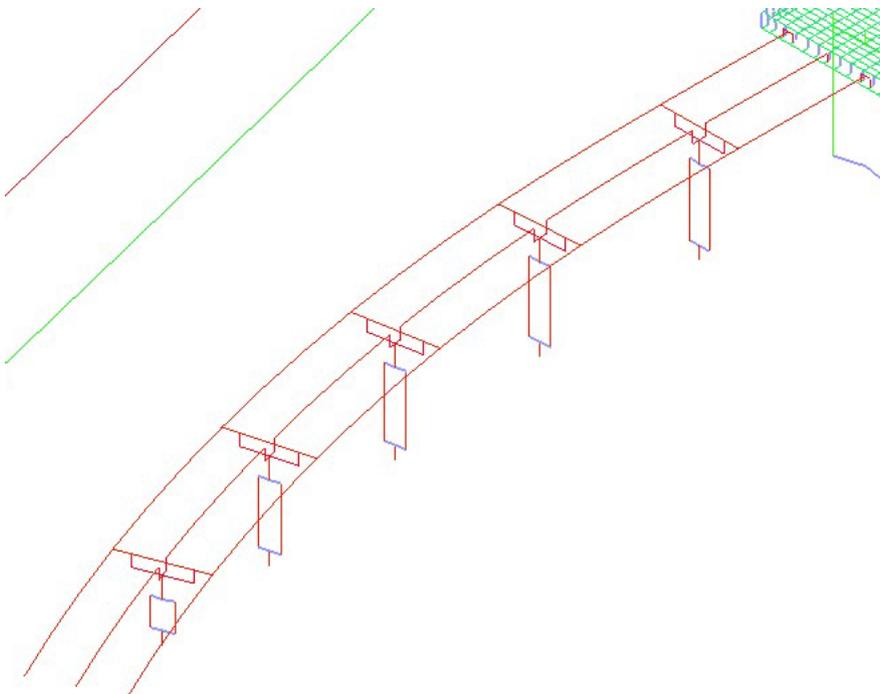


Figura 3-25: Modello 3D del viadotto Pantano.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

4 Azione sismica

Vengono considerati tre diversi modelli di azione sismica:

- spettri di risposta
- storie temporali in spostamento applicate alla base dell'opera
- storie temporali in accelerazione

Entrambe le storie temporali tengono conto delle condizioni stratigrafiche. In particolare, gli spostogrammi sono ottenuti per simulazione specifica di sito e di interazione suolo-struttura a partire eventi reali di caratteristiche coerenti con quelle attese per il sito. Tali eventi simulati tengono conto della variabilità spaziale del moto sismico, ma non della sua propagazione. Gli accelerogrammi corrispondono invece a registrazioni reali selezionate tra i diversi eventi di sismi ad elevata pericolosità in relazione alle caratteristiche di sito adottando la classificazione dei suoli di NTC2008. Considerando come sono stati ottenuti, gli spostogrammi vengono denominati eventi simulati, mentre gli accelerogrammi vengono denominati eventi di scenario. Le storie temporali sia in accelerazione che spostamento si considerano costituite da 3 componenti: 2 orizzontali (Hmax, Hmin) ed una verticale (V).

4.1 Spettri di risposta

L'analisi di base è condotta con lo spettro di progetto delle Specifiche Tecniche SP2010 nella versione /1/. A confronto viene condotta l'analisi con lo spettro di normativa NTC2008 /3/. Lo spettro di SP2010 è al 5% di smorzamento e tale viene considerato anche lo spettro NTC2008. Considerato che la forma spettrale e l'accelerazione di ancoraggio dipendono dal sito e dal periodo di ritorno si assume di considerare lo SLU per SP2010 e lo SLV per NTC2008 che corrispondono entrambi ad un periodo di ritorno di 2000 anni (vita nominale $100 \times 2 = 200$ anni).

I parametri dello spettro di NTC2008, valutati per un suolo di tipo C, sono riportati in tabella 4.1 distinti per le due sponde identificate convenzionalmente con le sigle RC (Reggio Calabria) e ME (Messina). I valori sono differenziati per la componente orizzontale H e quella verticale V. Si

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento PB0026_F0	Rev F0	Data 20/06/2011	

osserva una sostanziale equivalenza tra le due forme spettrali NTC2008. Viene dunque presa una delle due senza ulteriore specifica. Per quanto attiene invece all'accelerazione di ancoraggio si osserva che le a_g sono diverse per le due sponde. Ai fini delle analisi si considera il valore massimo che corrisponde ad $S \cdot a_g = 1.051 \times 0.434g = 0.455g$ per la componente orizzontale e $S \cdot a_g = 1.000 \times 0.387g = 0.387g$ per la componente verticale (lato RC). Le a_g come da NTC2008 risultano in ogni caso inferiori a quella di SP2010 che corrisponde a $a_g = 0.58g$ e che viene assunta per le analisi con spettro di specifica. Le forme spettrali NTC2008 e SP2010 sono riportate a confronto in figura 4.2a e 4.2b nel campo di periodi 0 – 4 secondi. Gli spettri scalati alle rispettive accelerazioni di ancoraggio sono invece riportati nelle figure 4.1a e 4.1b. Il prolungamento dello spettro di normativa per periodi superiori è effettuato in accordo a quanto indicato in /4/. In considerazione della similitudine degli spettri RC e ME il confronto è effettuato con il solo spettro RC di NTC2008 e lo spettro di SP2010.

Tabella 4-1: Parametri dello spettro di risposta elastico secondo NTC2008.

	RC-H	RC-V	ME-H	ME-V		RC-H	RC-V	ME-H	ME-V
a_g	0.434	0.387	0.416	0.362	S	1.051	1.000	1.078	1.000
F_d/F_v	2.491	2.217	2.492	2.169	η ($\xi=5\%$)	1.000		1.000	
T_C^*	0.422		0.421		T_B	0.196	0.050	0.196	0.050
S_s	1.051	1.000	1.078	1.000	T_C	0.589	0.150	0.588	0.150
C_c	1.396		1.397		T_D	3.338	1.000	3.263	1.000
S_t	1.000	1.000	1.000	1.000	T_E	6.000		6.000	
q	1.000	1.000	1.000	1.000	T_F	10.00		10.00	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento PB0026_F0	Rev F0	Data 20/06/2011	

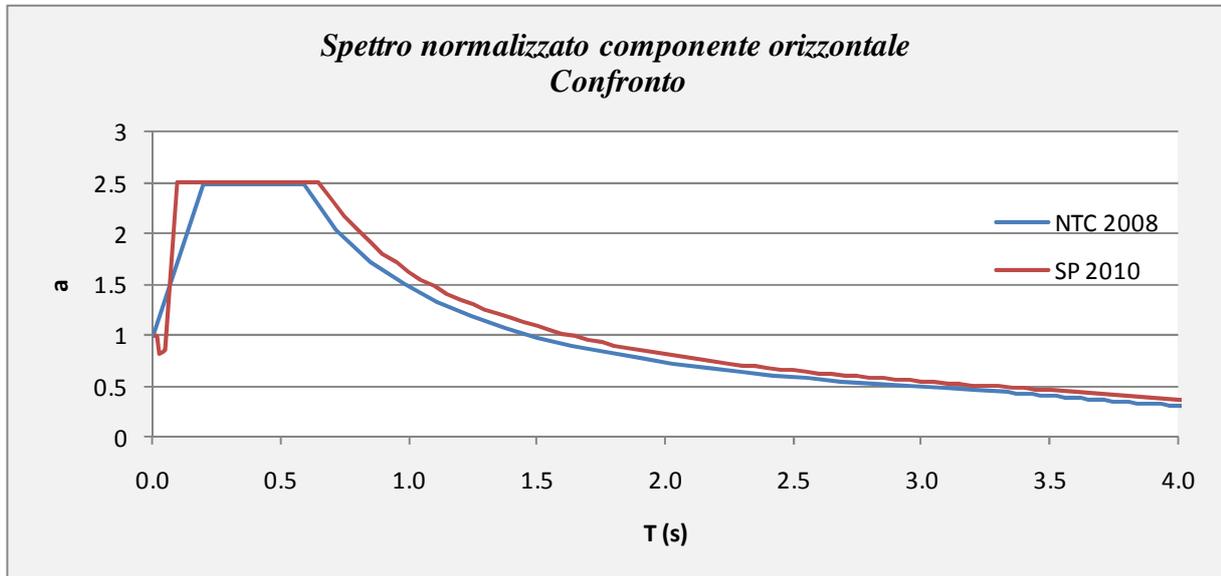


Figura 4-1a: Confronto spettri SP2010 e NTC2008, componente orizzontale

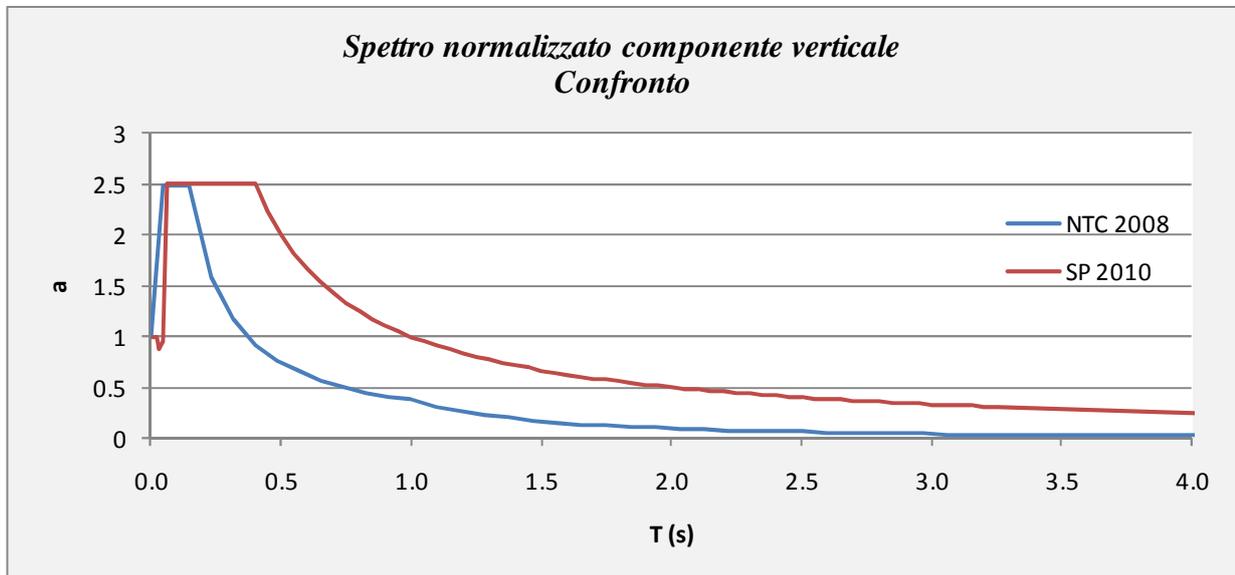


Figura 4-1b: Confronto spettri SP2010 e NTC2008, componente verticale

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento PB0026_F0	Rev F0	Data 20/06/2011	

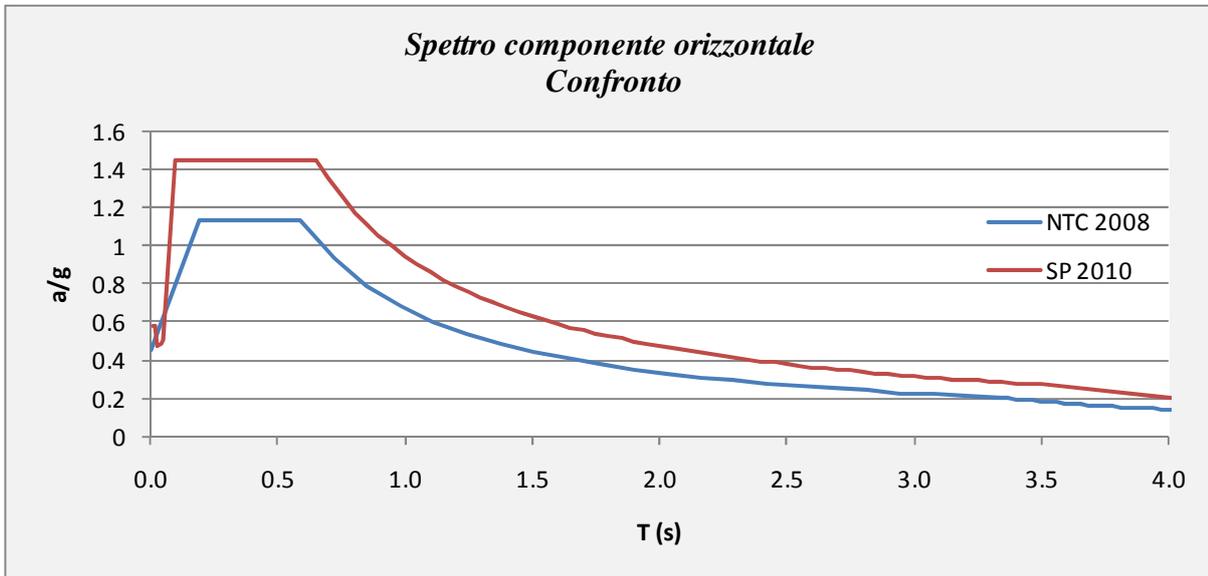


Figura 4-2a: Confronto spettri SP2010 e NTC2008, componente orizzontale

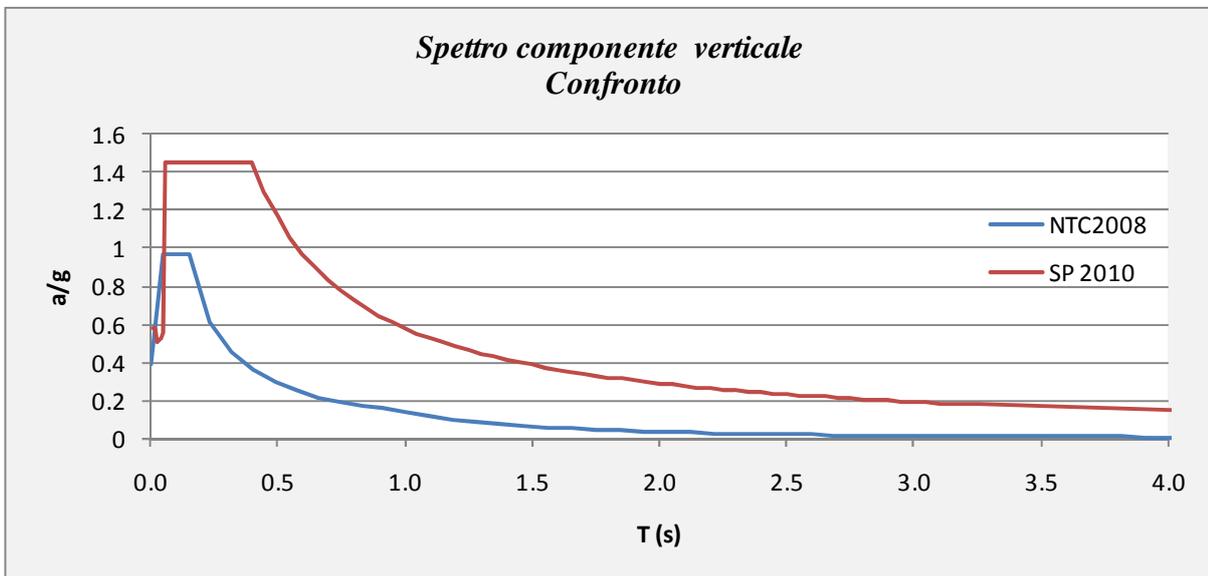


Figura 4-2b: Confronto spettri SP2010 e NTC2008, componente verticale

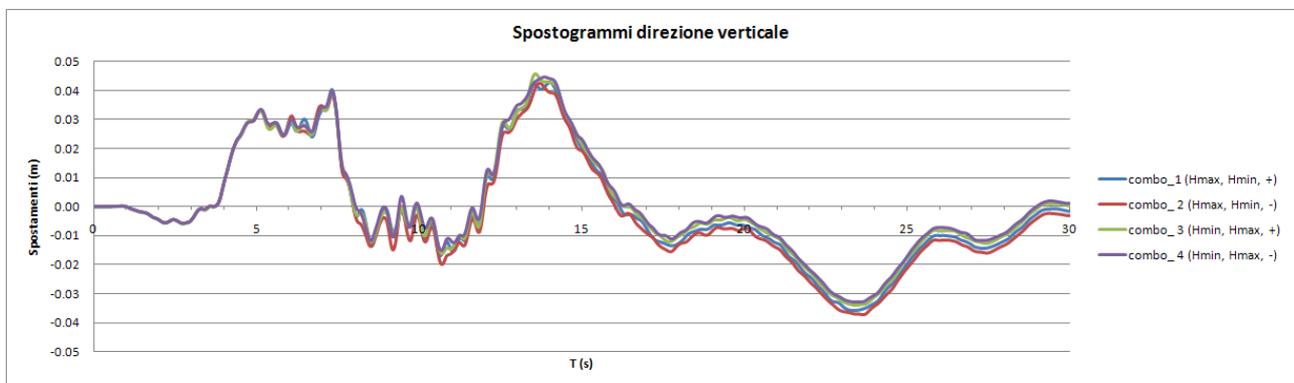
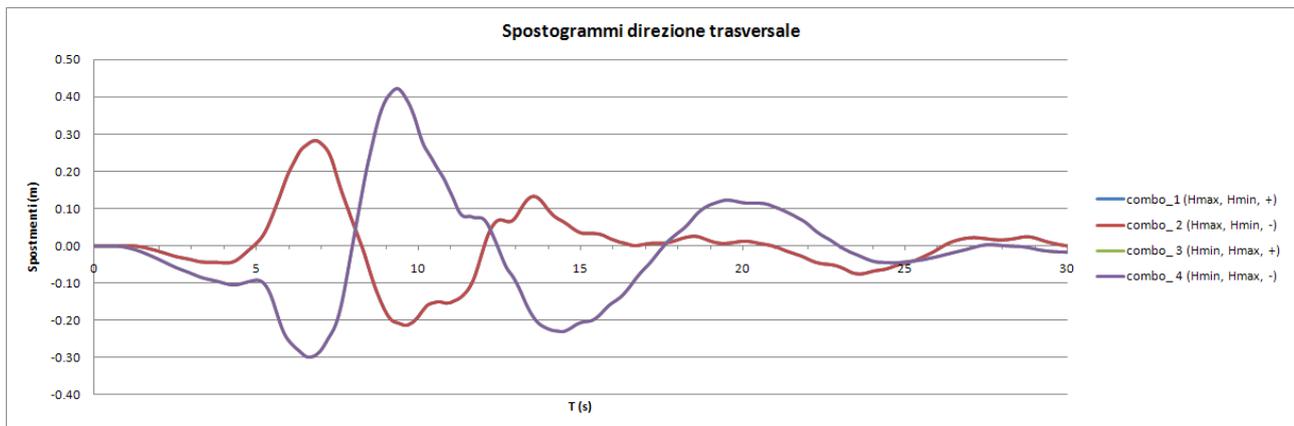
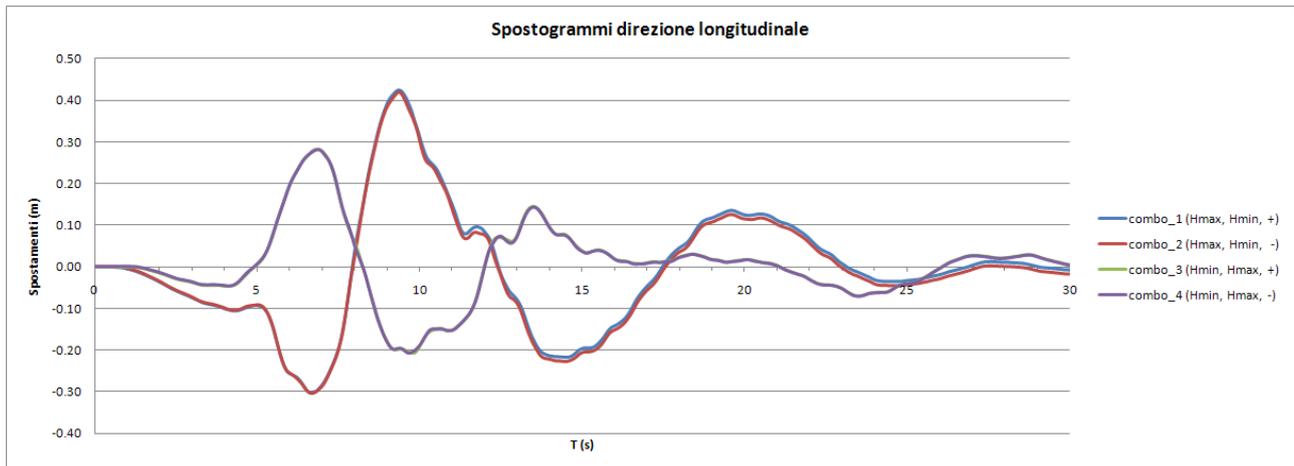
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

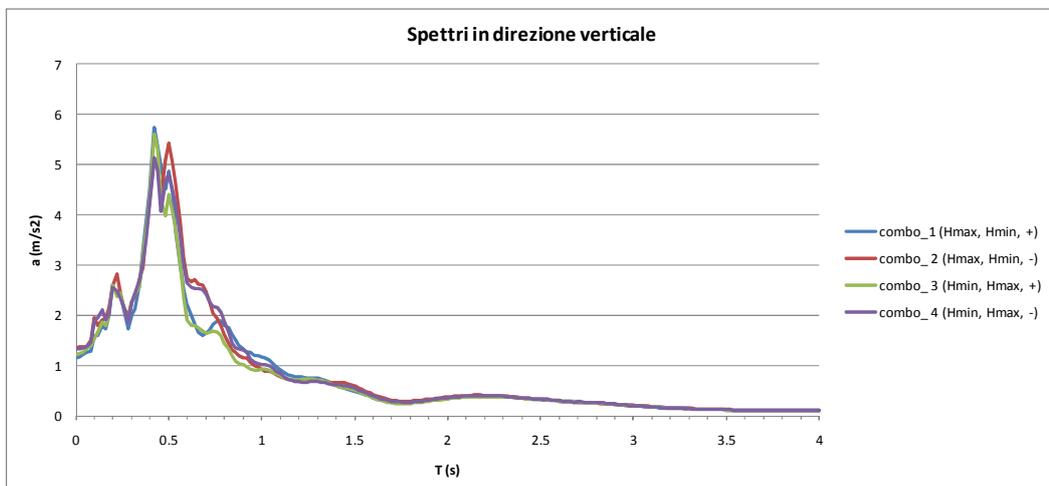
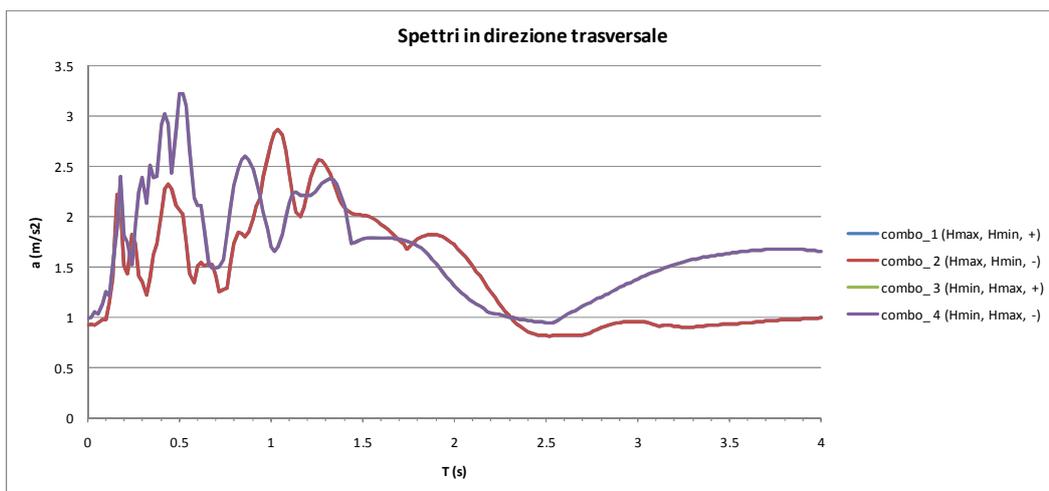
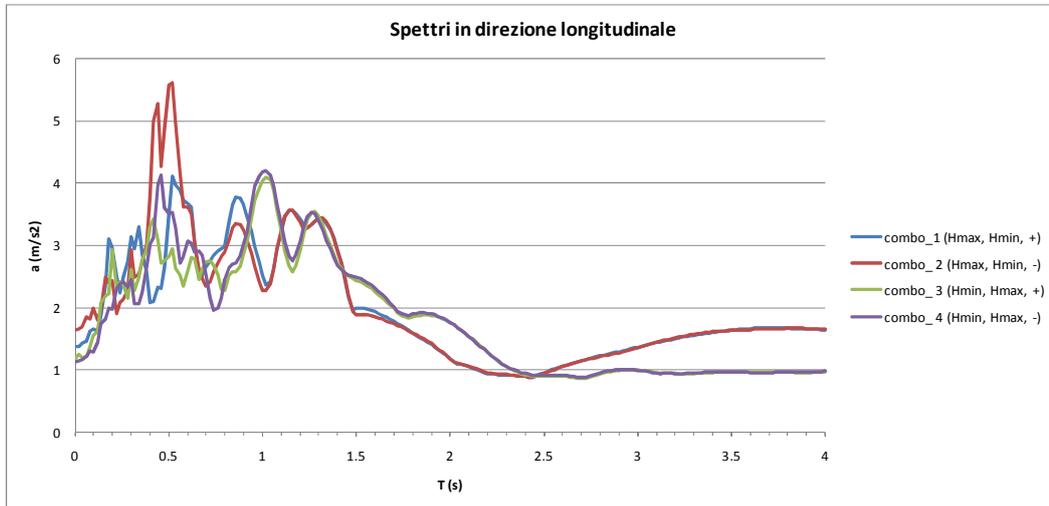
4.2 Eventi simulati (spostogrammi)

Le storie temporali in spostamento da applicare a livello delle fondazioni derivano da uno studio preliminare di deconvoluzione / convoluzione di profili accelerativi al sito dell'opera per tenere conto della stratigrafia / morfologia locale e dell'interazione con la sovrastante struttura. Per questo motivo, anche se derivati da eventi reali, gli spostogrammi vengono denominati simulati. Gli eventi simulati sono applicati tal quali alla base delle fondazioni del ponte e delle strutture terminali. In questo caso quindi le matrici di rigidità e smorzamento che simulano l'interazione terreno struttura vengono disabilitate. Infatti i profili in spostamento già includono l'interazione terreno-struttura. Tali eventi derivano dalla trasformazione dei seguenti eventi reali:

- Kocaeli (Turchia, stazione Arcelik) 1999-08-17 (Mw: 7.5; R [km] = 13.49) – sigla N14
- Darfield (New Zealand, stazione Darfield High School) 2010-09-03 (Mw = 7.0 e R [km] = 14.3) – sigla NZ

Per ciascun evento sono fornite 4 combinazioni differenziate per direzione di azione della componente orizzontale massima (longitudinale o trasversale) e per verso di azione (positivo o negativo). Ciascuna combinazione si compone di cinque storie di spostamento (trascurata la componente rotazionale ad asse verticale) al piede di ciascuno nodo di fondazione del modello 3D. I nodi di fondazione sono uno per ancoraggio (condensazione al baricentro), due per torre (le due gambe), due per struttura terminale (uno per portale). In assenza di dati specifici, il viadotto Pantano è trattato come la struttura terminale. Ai fini delle analisi sismiche sono state considerate solo due combinazioni. In particolare sono state scelte le combinazioni 2 e 4 di ciascun evento. Tali combinazioni si riferiscono allo stesso verso di incidenza (negativo) con la componente orizzontale massima una volta disposta secondo la direzione longitudinale (c2) ed una volta secondo quella trasversale (c4). La selezione è stata condotta analizzando gli spettri di tutte le combinazioni. Gli spettri presi in considerazione sono quelli alla base delle torri. A titolo di esempio, nelle figure seguenti sono riportate le storie temporali in spostamento ed i relativi spettri della gamba ovest della torre lato Sicilia dell'evento N14 (Kocaeli), per un confronto più approfondito visualizzare la relazione specialistica "Dati di input sismico per le verifiche di scenario", CG 3600 P RX D P SB A2 G0 00 00 00 01 0. I grafici riportati sono rappresentativi anche delle storie negli altri punti di fondazione del modello.





		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

4.3 Eventi di scenario (accelerogrammi)

Gli eventi di scenario sono costituiti da quattro eventi reali selezionati tra le numerose registrazioni relative ad altrettanti terremoti ad ampia collocazione geografica e di elevata pericolosità sismica. Oltre alla magnitudo, elementi di selezione sono stati la distanza dalla faglia e le caratteristiche medie del suolo in coerenza con le condizioni di sito. I tre eventi vengono impiegati così come registrati senza alcuna modifica. Lo scopo è quello di controllare rispetto a situazioni limite reali il comportamento dell'opera, anche a confronto con eventi simulati. Per questo motivo gli eventi in considerazione sono denominati di scenario. A differenza degli eventi simulati, gli eventi di scenario sono definiti in termini di accelerazione. In questo caso quindi le matrici di rigidezza e smorzamento alla base delle fondazioni sono mantenute attive.

I terremoti selezionati sono:

- L'Aquila, Italy 2009-04-06 01:32 (Mw:6.3, Depth [km]:8.8)
- Kobe, Japan 1995-01-16 20:46 (Mw:6.9, Depth [km]:17.9)
- Darfield, New Zealand 2010-09-03 16:35:41 (Mw:7.0, Depth [km]:10.0)
- Maule, Chile 2010-27-02 06:34:14 (Mw:8.8, Depth [km]:30.1)

Da questi terremoti sono stati selezionati quattro eventi, uno per terremoto. Le caratteristiche principali dei quattro eventi, in termini di distanza ipocentrale, di caratteristiche medie di suolo e di accelerazioni di picco, sono:

<i>Sisma</i>	<i>Stazione</i>	<i>R_hypo</i> [km]	<i>suolo</i> [EC8]	<i>PGA_H1</i> [cm/s ²]	<i>PGA_H2</i> [cm/s ²]	<i>PGA_V</i> [cm/s ²]
L'Aquila	AQV	10.05	B	535.20	644.25	486.65
Kobe	TAK	22.19	C	680.22	680.42	425.07
Darfield	HORC	20.59	C	452.54	423.83	622.24
Maule	CCSP	67.12	-	637.65	598.41	568.98

Le registrazioni dei quattro eventi sono riportate nelle figure da 4.2 a 4.5. Ai fini del confronto le due registrazioni orizzontali, così come i relativi spettri, sono riportate sovrapposte; a parte è riportata la componente verticale. L'esame delle figure, con particolare riguardo agli spettri delle componenti orizzontali, non permette di individuare la componente direzionale peggiore. Ai fini quindi di valutare anche la sensibilità alla direzionalità del moto sismico, le componenti orizzontali

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

saranno considerate nelle due direzioni parallela ed ortogonale alla direzione longitudinale dell'opera. A seguire e a fini di confronto, sono riportati i terremoti con tutte disponibili tra le quali sono state selezionati ed estratti gli eventi considerati.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento PB0026_F0	Rev F0

L'Aquila, Italy 2009-04-06 01:32 (Mw:6.3, Depth [km]:8.8)

ITACA database at <http://itaca.mi.ingv.it/>

Stazione	R _{epi} [km]	suolo [EC8]	PGA [cm/s ²]	PGV [cm/s]	PGD [cm]	profilo_Vs stratigrafia	Topografia
AQG	4.39	B	479.267	35.764	5.995	-	T1
AQV	4.87	B	644.247	42.72	6.787	si / si	T1
AQA	4.63	B	435.394	31.916	5.429	-	T1
AQK	5.65	B	355.460	35.798	11.636	-	T1
AQU	6.02	B*	301.827	29.503	8.997	-	T1

Classificazione suoli EC8-NTC08

- A = Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di VS30 (velocità media di propagazione entro 30 metri di profondità delle onde di taglio) superiori a 800 m/sec, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.
- B = Depositi di sabbie e ghiaia molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica NSPT > 50, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa).
- C = Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s ($15 < N_{spt} < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa).
- D = Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di VS30 < 180 m/s ($N_{spt} < 15$, $c_u < 70$ kPa).
- E = Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di VS30 simili a quelli dei tipi C e D e spessore compreso tra 5 e 20 metri, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con VS30 > 800 m/s.

Kobe, Japan 1995-01-16 20:46 (Mw:6.9, Depth [km]:17.9)

PEER database at <http://peer.berkeley.edu>

Stazione	Record	R _{epi} [km]	R _{hypo} [km]	PGA [cm/s ²]	PGV [cm/s]	PGD [cm]	V _{s,30}	suolo [PEER]	Instrument location
KJMA	NGA1106	18.27	25.58	696.51	77.83	18.87	312	B	-
Kakogawa	NGA1107	24.2	30.10	261.93	21.66	7.60	312	D	GL
Nishi-Akashi	NGA1111	8.7	19.90	476.76	35.73	10.75	609	B	GL
OSAJ	NGA1113	47.49	50.75	74.56	18.25	8.35	256	E	-
Shin-Osaka	NGA1116	45.97	49.33	224.65	32.82	8.07	256	E	GL
Takarazuka – TAZ	NGA1119	38.60	42.55	693.57	75.88	23.13	312	D	GL
Takatori – TAK	NGA1120	13.12	22.19	640.59	117.14	33.06	256	E	GL

Classificazione suoli PEER

- A = Rock. Instrument on rock ($V_s > 600$ m/sec) or < 5m of soil over rock.
- B = Shallow (stiff) soil. Instrument on/in soil profile up to 20m thick overlying rock.
- C = Deep narrow soil. Instrument on/in soil profile at least 20m thick overlying rock, in a narrow canyon or valley no more than several km wide.
- D = Deep broad soil. Instrument on/in soil profile at least 20m thick overlying rock, in a broad valley.
- E = Soft deep soil. Instrument on/in deep soil profile with average $V_s < 150$ m/sec.

Classificazione suoli AS/NZS 1170

- A = Hard rock
 B = Rock
 C = Shallow soil
 D = Deep soil
 E = Very soft soil

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento <i>PB0026_F0</i>	Rev <i>F0</i>

Darfield, New Zealand 2010-09-03 16:35:41 (Mw:7.1, Depth [km]:10.0)

GEONET database at <http://www.geonet.org.nz/earthquake/quakes> - Attribuzione suolo da doc. Faccioli

Epic. km	PGA_V cm/s ²	PGA_H1 cm/s ²	PGA_H2 cm/s ²	PGV_V cm/s	PGV_H1 cm/s	PGV_H2 cm/s	PGD_V cm	PGD_H1 cm	PGD_H2 cm	soil [EC8]	Site code	Name of Recording Site
8	932.04	737.73	663.51	32.19	94.52	92.94	10.98	35.11	43.32	C	GDLC	Greendale
43	275.04	544.80	606.57	10.38	31.42	18.76	3.80	8.98	4.04	C	HVSC	Heathcote Valley Primary School
9	306.98	479.81	449.67	22.35	26.78	34.02	10.33	10.58	12.80	C	DFHS	Darfield High School
18	622.24	452.54	423.83	58.04	73.60	84.55	26.36	25.97	27.91	C	HORC	Hororata School
25	752.63	428.87	402.46	70.42	79.54	43.08	21.22	26.52	12.09	C	LINC	Lincoln Crop and Food Research
44	152.22	325.99	220.50	9.72	18.56	16.46	4.21	6.65	2.02	A	LPCC	Lytelton Port Company
17	470.23	293.86	374.32	27.50	54.11	58.21	8.74	18.21	37.66	C	ROLC	Rolleston School
44	78.38	293.80	337.18	11.52	29.71	30.88	6.59	8.26	9.27	C	KPOC	Kaiapoi North School
24	675.65	292.03	193.53	19.69	31.43	27.78	9.03	22.76	13.15	C	TPLC	Templeton School
36	250.36	243.55	232.73	10.06	18.41	35.27	3.83	3.63	12.24	C	CMHS	Christchurch Cashmere High School
13	286.84	235.92	245.49	11.82	38.13	22.83	4.57	14.10	10.66	C	DSLCL	Dunsandel School
37	203.37	233.08	241.62	15.71	23.80	40.94	7.03	6.74	19.11	C	REHS	Christchurch Resthaven
38	153.01	224.53	198.33	16.00	37.46	57.05	6.98	12.05	21.43	C	CCCC	Christchurch Cathedral College
35	268.85	212.69	169.83	15.17	33.70	45.53	6.21	12.11	16.62	C	PPHS	Christchurch Papanui High School
41	304.93	194.84	227.33	17.01	23.81	45.06	6.66	10.94	18.23	C	PRPC	Pages Road Pumping Station
36	156.58	194.05	149.80	13.97	50.19	22.14	6.34	23.63	9.43	C	CHHC	Christchurch Hospital
44	134.61	190.48	183.81	15.18	22.00	36.26	6.68	11.16	18.95	C	NNBS	Christchurch North New Brighton Sch.
26	122.84	189.63	167.27	7.48	12.49	10.71	3.77	5.09	3.52	C	RKAC	Rakaia School
31	297.61	185.52	214.49	16.57	19.82	34.23	7.16	10.12	18.38	C	RHSC	Riccarton High School
29	287.20	178.07	196.68	16.29	18.64	20.20	7.64	10.10	13.53	C	CACS	Christchurch Canterbury Aero Club
39	113.05	171.50	175.99	13.72	26.28	33.72	7.01	12.30	14.75	C	SHLC	Shirley Library
45	110.38	159.60	126.94	6.00	8.04	8.07	3.55	3.26	4.46	C	ASHS	Ashley School
31	94.66	157.36	157.45	8.06	20.18	20.48	1.44	3.80	5.06	C	SPFS	Springfield Fire Station
36	160.74	156.45	182.64	9.54	21.77	28.48	4.38	8.09	11.69	C	SMTCL	Styx Mill Transfer Station
29	87.01	155.24	140.97	6.09	14.05	15.34	2.52	7.16	4.67	C	SBRC	Southbridge School
43	126.35	152.69	110.44	15.74	38.03	25.92	6.99	19.71	15.71	C	HPSC	Hulverstone Drive Pumping Station
36	106.51	146.60	170.99	12.74	21.78	38.23	5.84	8.69	19.45	C	CBGS	Christchurch Botanic Gardens
27	103.62	123.85	144.02	6.19	10.13	10.38	1.98	2.08	3.34	A	OXZ	Oxford
37	90.75	106.33	69.33	7.51	13.45	11.66	3.74	7.55	5.20	C	LRSC	Lauriston
39	63.96	84.66	79.59	4.76	10.25	8.58	2.48	4.16	3.29	C	DORC	Dorie
36	76.20	73.48	117.65	4.84	8.27	16.07	1.36	2.51	7.58	A	CRLZ	Canterbury Ring Laser

Maule, Chile 2010-27-02 06:34:14 (Mw:8.8, Depth [km]:30.1)

http://ares.tu.chiba-u.jp/peru/pdf/output/tr/20100227chile_report1.pdf

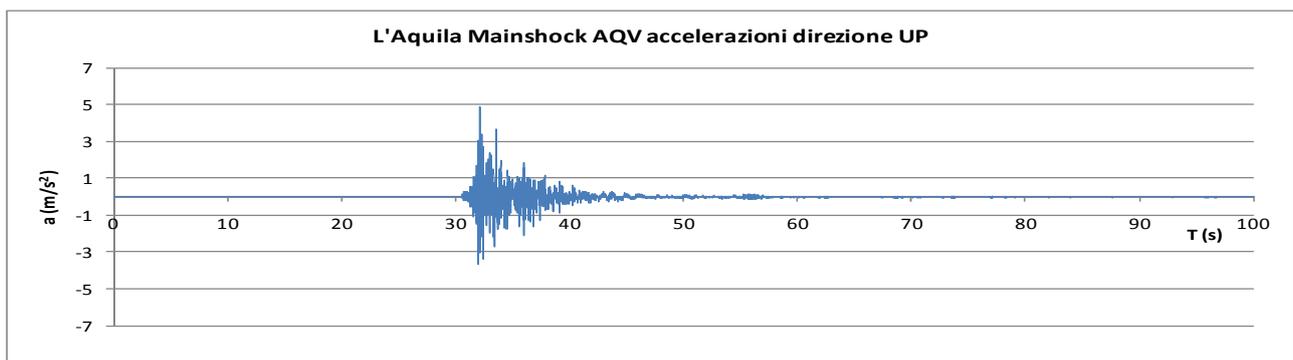
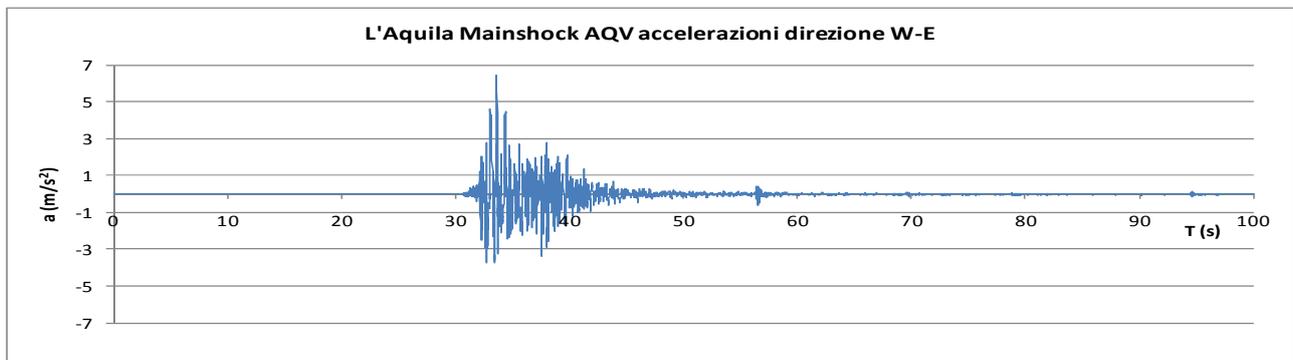
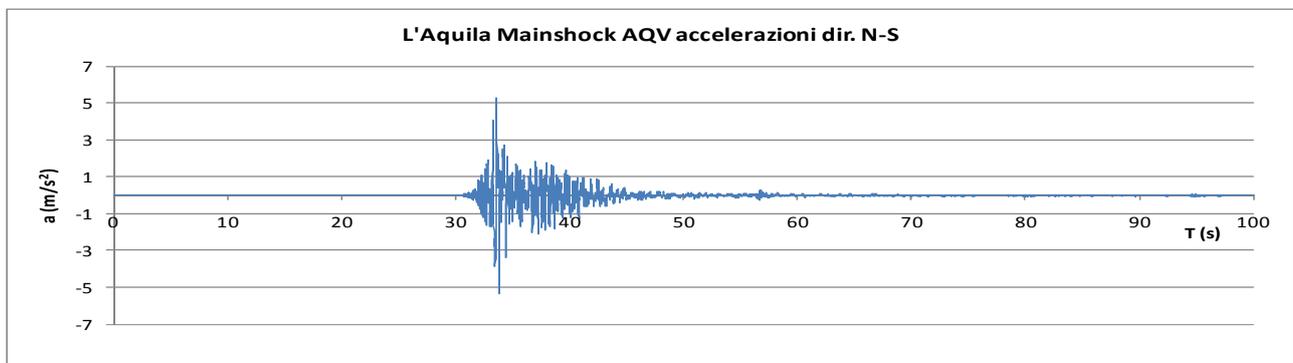
Station Location	Station Code	PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)
Santiago (Campus Antumapu)	ANTU	267	25
Concepción	CCSP	637	44
Cerro El Roble	ROC1	184	21
Santiago (Cerro Galán)	CLCH	220	29
Melipilla	MELP	762	46
Olmué (10 km West of El Roble)	OLMU	347	28
Casablanca, Teatro municipal	CSCH	322	44
San José de Maipó1	SJCH	471	63
Santiago (Colegio las Américas)	LACH	302	34
Santiago (Cerro Santa Lucía)	STL	332	46

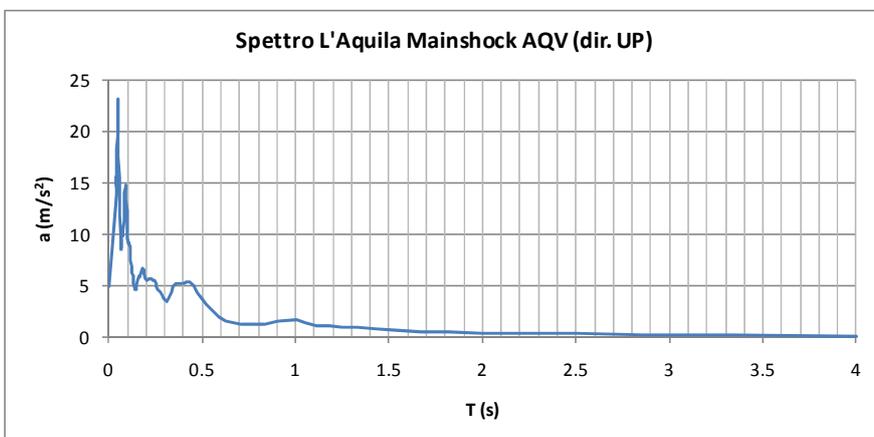
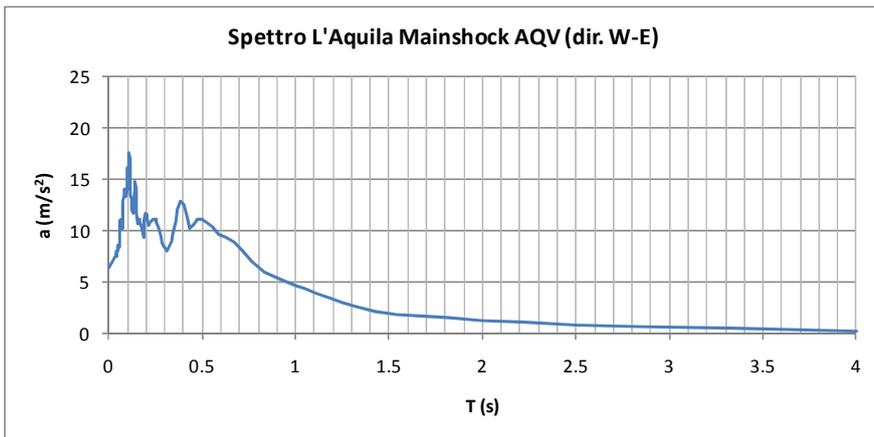
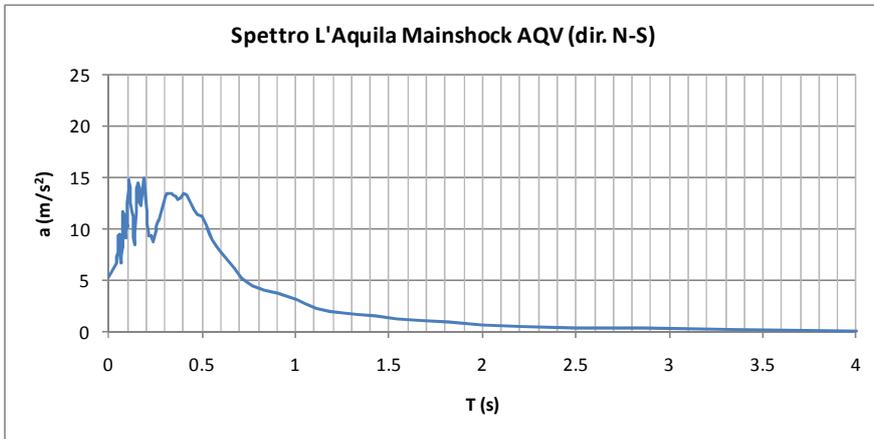
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento <i>PB0026_F0</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>	

Figura 4-2: Sisma de L'Aquila, evento AQV – Accelerogrammi e spettri

L'Aquila, Italy 2009-04-06 01:32 (Mw:6.3, Depth [km]:8.8)

<i>Stazione</i>	<i>R_hypo [km]</i>	<i>suolo [EC8]</i>	<i>PGA_H1 [cm/s²]</i>	<i>PGA_H2 [cm/s²]</i>	<i>PGA_V [cm/s²]</i>
AQV	10.05	B	535.20	644.25	486.65



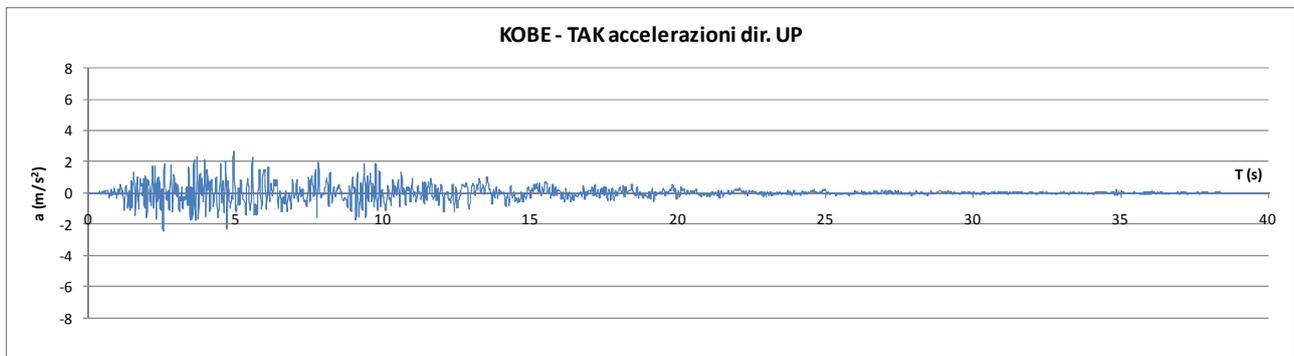
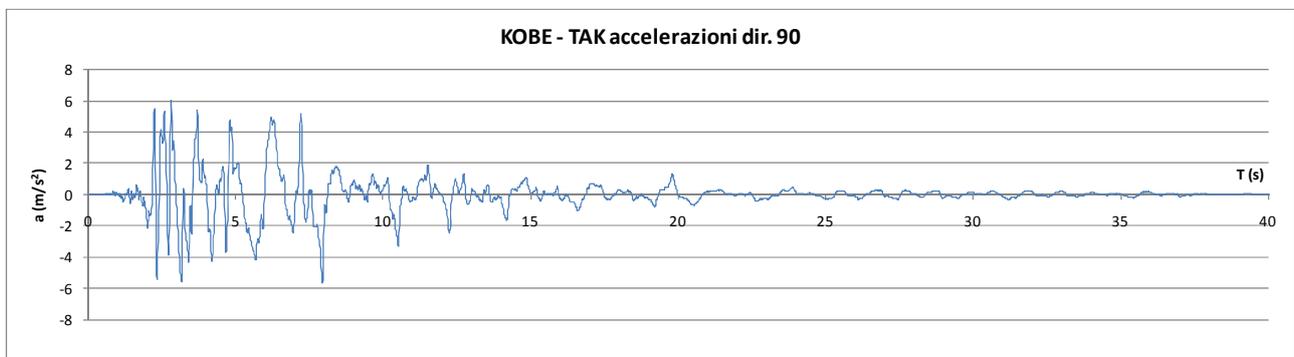
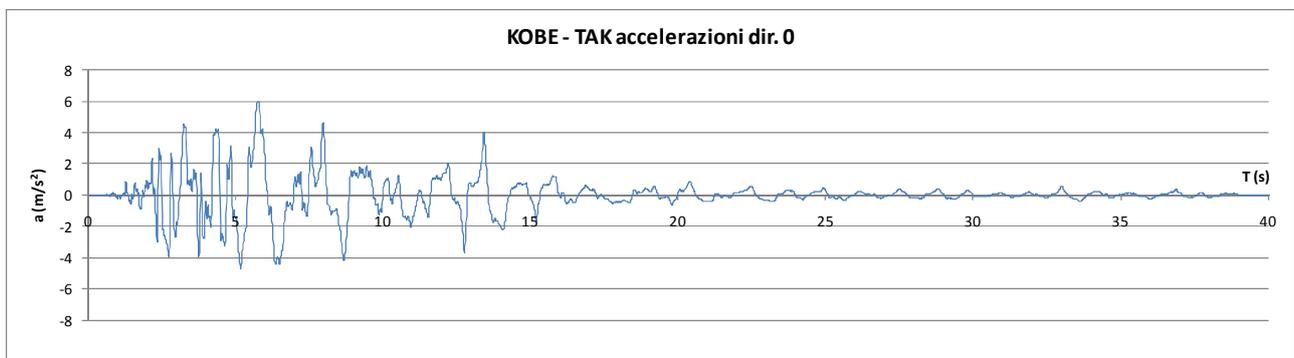


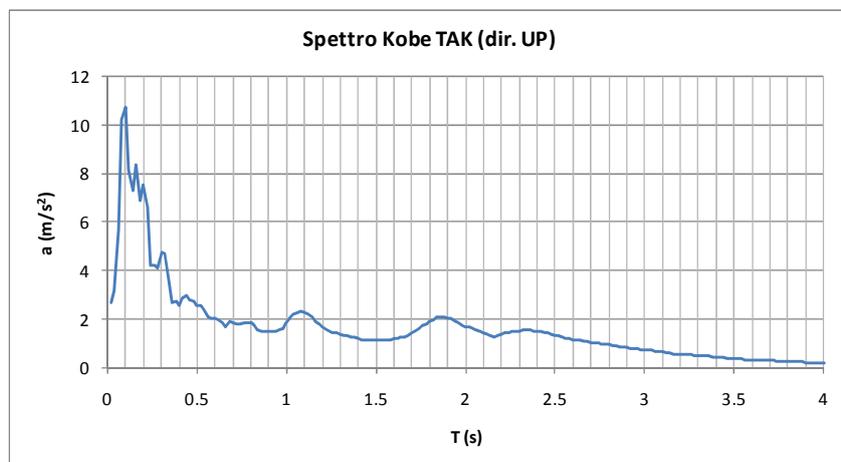
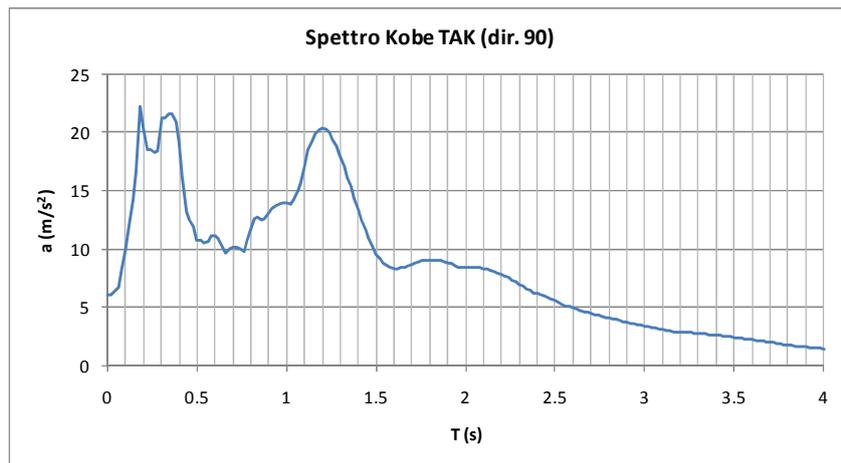
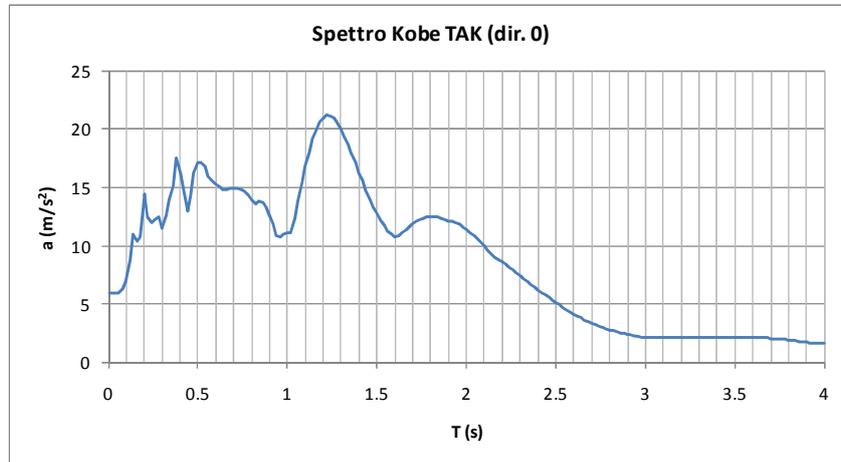
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento PB0026_F0	Rev F0	Data 20/06/2011	

Figura 4-3: Sisma del Giappone, Kobe evento TAK – Accelerogrammi e spettri

Kobe, Japan 1995-01-16 20:46 (Mw:6.9, Depth [km]:17.9)

Stazione	R_hypo [km]	suolo [EC8]	PGA_H1 [cm/s ²]	PGA_H2 [cm/s ²]	PGA_V [cm/s ²]
TAK	22.19	C	680.22	680.42	425.07



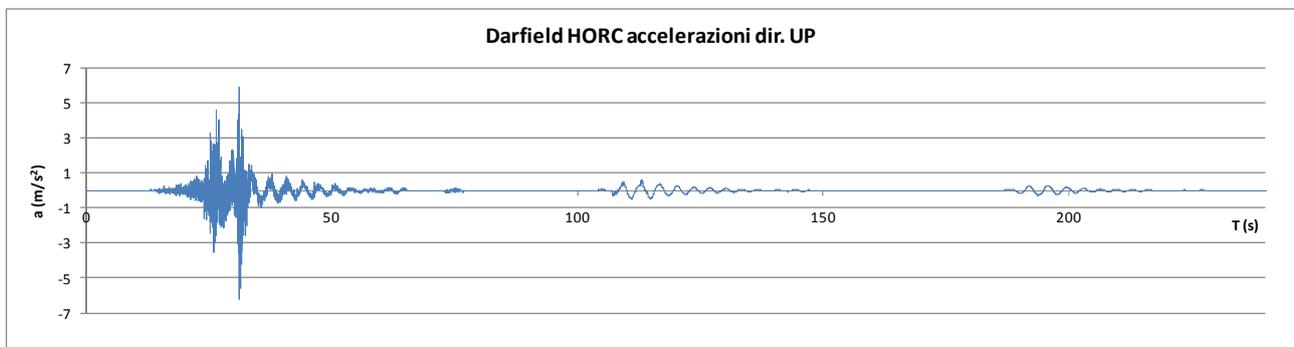
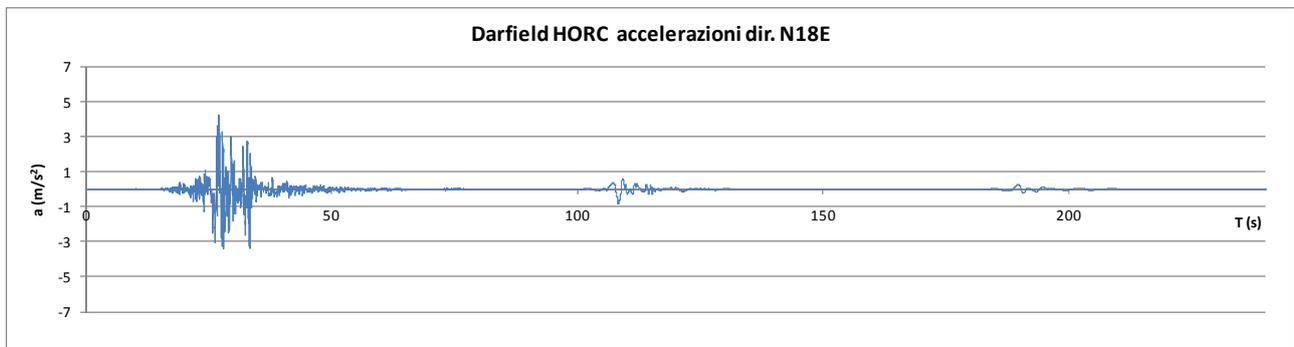
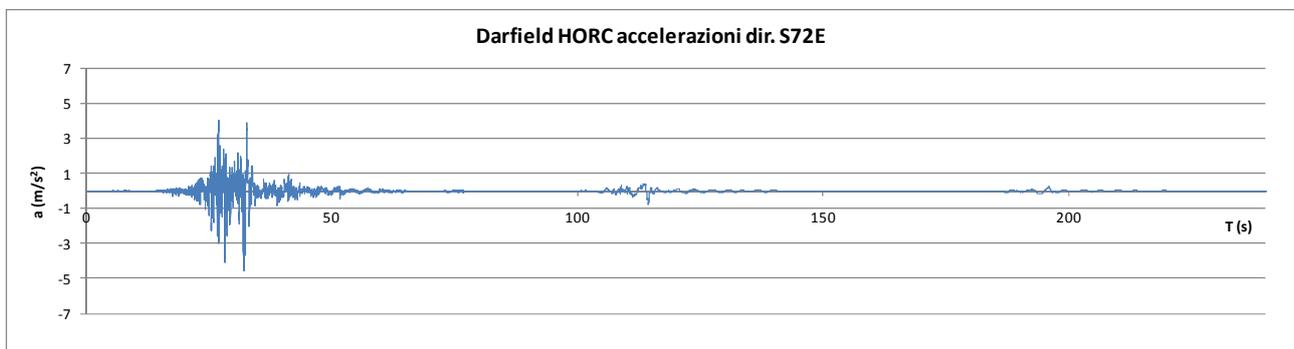


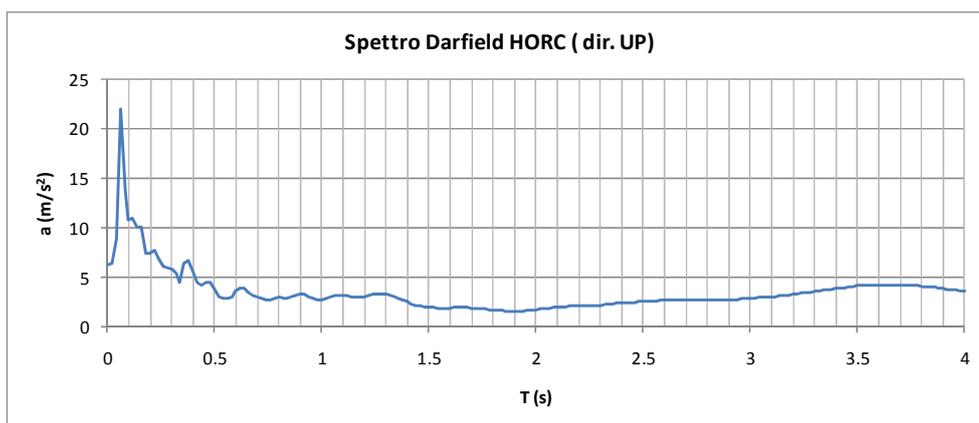
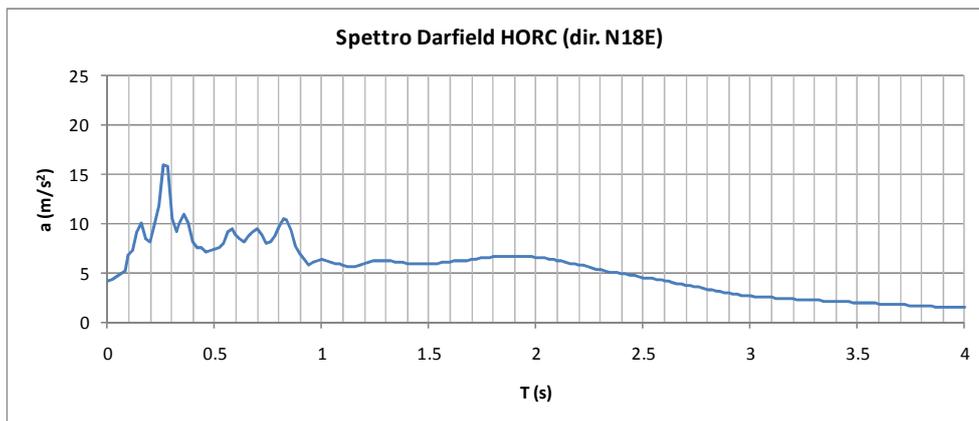
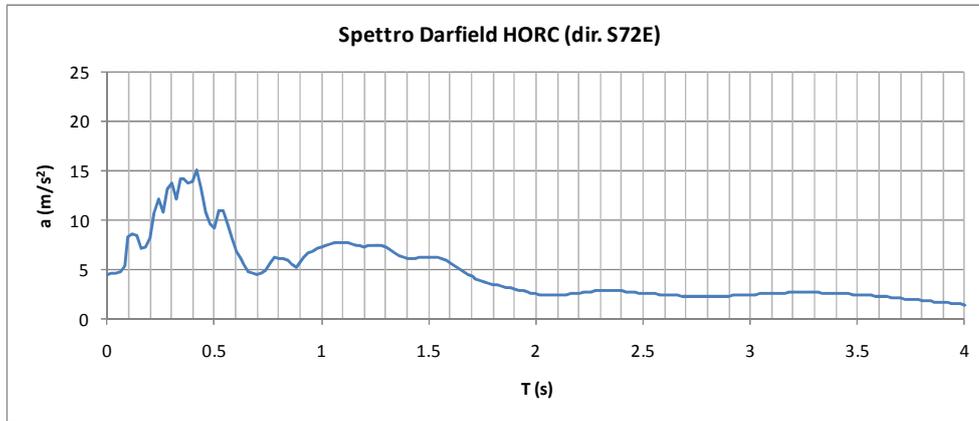
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento <i>PB0026_F0</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>	

Figura 4-4: Sisma della Nuova Zelanda, Darfield, evento HORC – Accelerogrammi e spettri

Darfield, NZ 2010-09-03 16:35:41 (Mw:7.1, Depth [km]:10.0)

Stazione	R_hypo [km]	suolo [EC8]	PGA_H1 [cm/s ²]	PGA_H2 [cm/s ²]	PGA_V [cm/s ²]
HORC	20.59	C	452.54	423.83	622.24



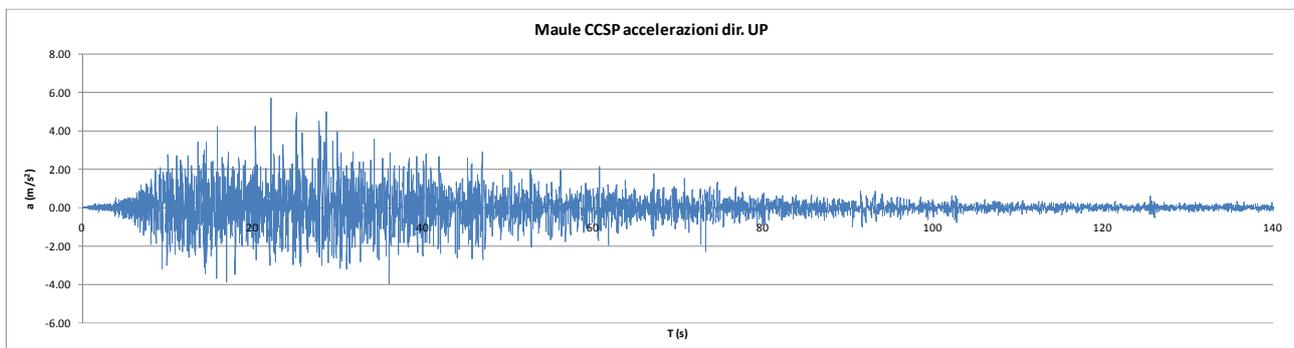
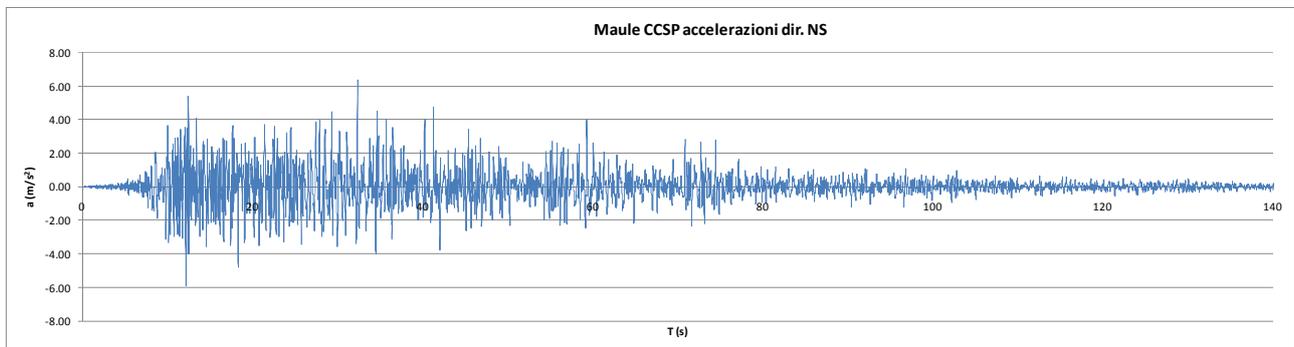
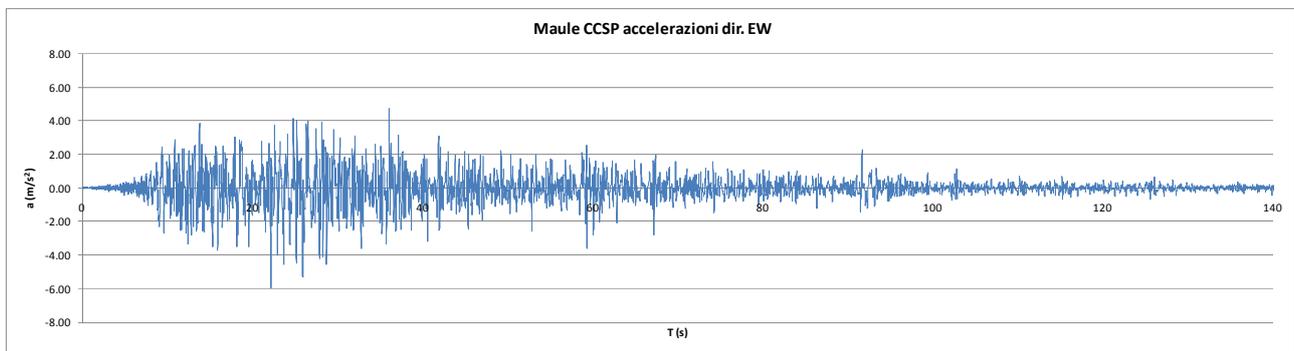


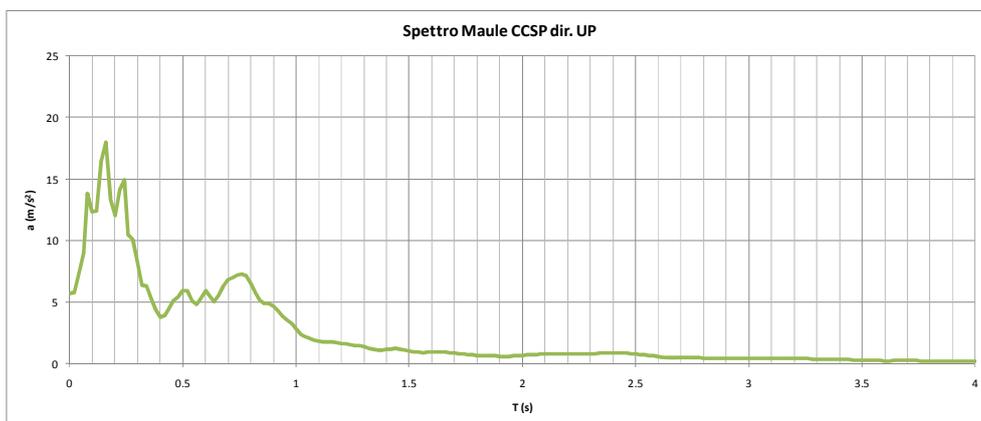
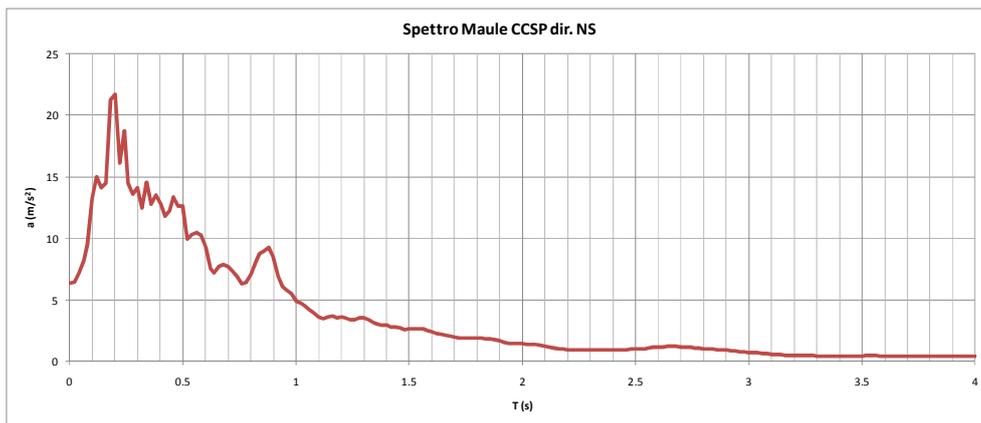
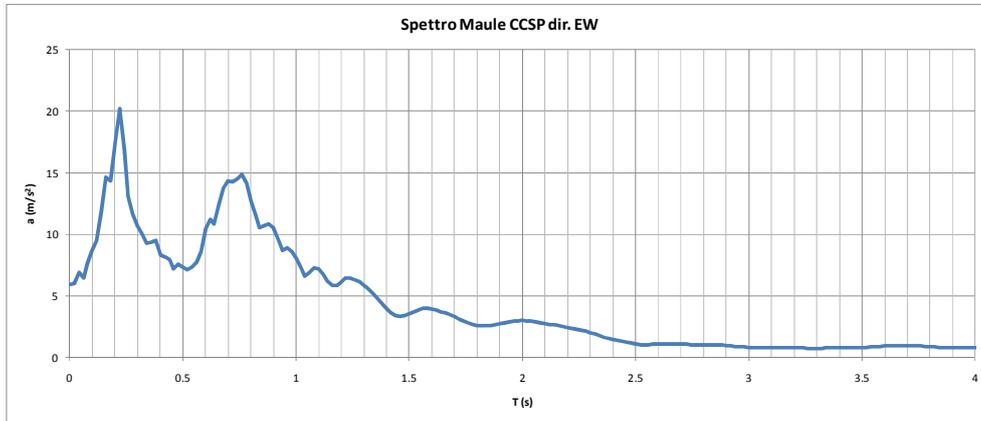
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento PB0026_F0	Rev F0	Data 20/06/2011	

Figura 4-5: Sisma del Maule Chile, evento CCSP – Accelerogrammi e spettri

Maule, Chile 2010-02-27 06:34 (M_w:8.8, Depth [km]:30.1)

Stazione	R_hypo [km]	suolo [EC8]	PGA_H1 [cm/s ²]	PGA_H2 [cm/s ²]	PGA_V [cm/s ²]
CCSP	67.1	-	637.6	598.4	568.98





		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

5 Grandezze di controllo della risposta sismica

La risposta sismica è valutata in un numero selezionato e predefinito di “punti” significativi per il comportamento sismico e riguarda sia grandezze cinematiche che grandezze statiche. Con il termine generico “punti” si intendono non solo gli effettivi punti strutturali, ma anche le sezioni degli elementi oppure i dispositivi speciali.

I principali punti/grandezze di controllo in cui monitorare la risposta sismica sono:

- sollecitazioni nelle torri
- tiro nei cavi
- tiro nelle funi di tie-down
- forze nei dispositivi speciali di vincolo

- spostamenti nei giunti
- spostamento della sommità delle torri
- spostamento dei cavi in mezzeria

Delle grandezze dette vengono restituite le storie nel tempo e raccolti in una tabella sintetica i valori massimi e minimi delle risposte. La storia nel tempo potrà essere utilizzata per la definizione dell’impegno sismico in termini di cicli di sollecitazione, per la verifica della contemporaneità degli effetti e per la verifica di residui ad esaurimento dell’evento. Le storie nel tempo saranno restituite in modo da permettere una agevole valutazione del comportamento sismico in quanto a simmetria della risposta (p. es. nelle funi di tie-down), a sfasamenti di risposta (p. es. nei giunti) a contributi flessio-torsionali (p. es. nelle torri).

Nel dettaglio verranno registrate le seguenti risposte. Si indicano con L, T, V rispettivamente le direzioni longitudinale, trasversale e verticale riferite al ponte; con S e C rispettivamente il lato siculo e calabro. Cavi. Per entrambi i cavi si considereranno i tiri agli ancoraggi, in testa alle torri (ambo lati riva e centrale), in mezzeria. Per entrambi i cavi saranno riportate le componenti di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento <i>PB0026_F0</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>	

spostamento in mezzeria nelle tre direzioni L, T, V. Funi di tie-down. Sarà riportato il tiro in tutte le funi di tie-down. Torri. Per entrambe le zampe di entrambe le torri C e S saranno valutate le tre componenti di spostamento in sommità L, T e V in corrispondenza al punto teorico di intersezione dei cavi. Analogamente verranno riportate le sollecitazioni alla base delle torri in acciaio e alla quota di massima inflessione per secondo modo di torre (2/3H). Buffer. La forza assiale nei buffer alle torri e alle strutture terminali sarà riportata per tutti i dispositivi. Verranno costruiti anche i diagrammi forza – corsa del dispositivo. Giunti. Verranno riportati gli spostamenti relativi in direzione L dei giunti dei cassoni stradali e ferroviari (impalcato sospeso – struttura terminale) ambo lati C ed S.

I tiri nei cavi i tiri nelle funi di tie-down e i momenti alla base delle torri sono diagrammati a coppie per controllare la contemporaneità della risposta. Lo stesso viene fatto per gli spostamenti nella mezzeria dei cavi.

In aggiunta vengono calcolate anche le tensioni nelle sezioni delle zampe delle torri in corrispondenza delle due quote per cui vengono riportate le sollecitazioni e segnatamente alla base e a 2/3 dell'altezza. Le tensioni sono calcolate negli otto punti di vertice delle sezioni. Le caratteristiche della sezione considerate sono quelle utilizzate nella modellazione. Per chiarezza i punti di calcolo sono indicati nella figura seguente che si riferisce alla sezione tipo di una zampa di torre.

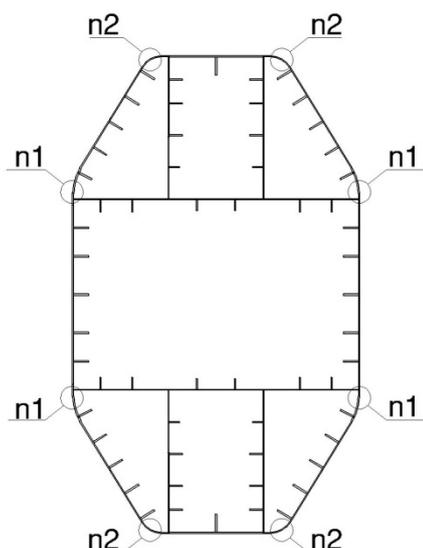


Figura 5-1: Punti di calcolo delle tensioni nelle zampe delle torri – sezione tipo

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

6 Analisi sismiche

Il complesso di analisi da condurre per la valutazione del comportamento sismico può essere suddiviso in 4 fasi:

- Analisi preliminari
- Analisi sismiche di base
- Analisi sismiche di scenario
- Analisi di sensibilità

6.1 Analisi preliminari

Le analisi preliminari riguardano la valutazione del condizionamento del modello e comprendono analisi statiche e modali. Analisi statica. L'analisi statica dovrà servire al controllo della configurazione del ponte in condizioni cosiddette "a vuoto" e alla valutazione del relativo stato di sollecitazione che fungerà da riferimento per la determinazione degli incrementi di sollecitazione/spostamento sismici. Analisi modale. L'analisi modale servirà al controllo del comportamento dinamico in termini di frequenze e modi propri di vibrazione. Verranno individuati i modi da considerare per le analisi con spettro di risposta e la relativa percentuale di massa partecipante. Le analisi modali sono condotte in corrispondenza alla configurazione limite dei buffer alle torri che nella terminologia introdotta da COWI sono definiti: free-free (assenti).

6.2 Analisi sismiche di base

Le analisi sismiche di base comprendono analisi spettrali e analisi time history. Questo tipo di analisi fa riferimento ad azioni sismiche considerabili come azioni di progetto. Analisi spettrali. Viene condotta una analisi per ciascuno spettro di risposta SP2010 e NTC2008. Vengono considerati gli spettri nelle tre direzioni L, T e V. Per ciascuna direzione di azione la risposta spettrale è calcolata con il metodo cosiddetto CQC (Complete Quadratic Combination) che consente di tenere conto nella sovrapposizione della vicinanza dei modi. La risposta complessiva viene poi calcolata come combinazione dei massimi valori assoluti nelle tre direzioni secondo le combinazioni previste dalla Normativa e cioè con la regola 100%-30%-30% dove di volta in volta una direzione (L, T o V) viene assunta dominante (100%) e le altre contribuiscono al 30%. Analisi

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

time history. Le analisi time history sono condotte utilizzando gli spostogrammi derivati dalle registrazioni denominate N14 (C2 e C4) e NZ (C2 e C4). Le analisi sono di tipo non lineare per non linearità geometrica e per non linearità materiale legata al comportamento dei buffer. Lo smorzamento è del tipo alla Rayleigh con valore “medio” nell’intervallo di frequenza di interesse pari al 2% e sarà meglio precisato nel paragrafo analisi di sensibilità.

6.3 Analisi sismiche di scenario

Le analisi di scenario comprendono solo analisi tipo time history e riguardano la valutazione della risposta sismica per sismi cosiddetti di scenario ad elevata pericolosità sismica. Per questo motivo profili di accelerazione ed intensità sismiche (PGA) vengono applicati come registrati. Sono considerati i quattro eventi sopra selezionati e denominati: AQV, TAK, HORC e CCSP. Le analisi sono di tipo non lineare per non linearità geometrica e per non linearità materiale legata al comportamento dei buffer. La risposta viene calcolata per integrazione diretta nel tempo delle equazioni del moto. Lo smorzamento è del tipo alla Rayleigh e la curva di smorzamento è identica al caso dei sismi simulati. Il passo di integrazione è il massimo compatibile con la digitalizzazione degli accelerogrammi e con il minimo periodo di interesse. Tutte le analisi sono condotte per accelerogramma imposto.

6.4 Analisi di sensibilità

Tutte le analisi time history sopra dette, sia di base che di scenario, sono condotte con i parametri di progetto. Alcuni di questi parametri, tra quelli maggiormente significativi ai fini della risposta sismica, vengono anche perturbati rispetto ai valori di progetto per investigare la robustezza del modello.

I parametri che vengono variati sono:

- le caratteristiche degli elementi di interazione suolo struttura;
- le caratteristiche dei buffer alle torri;
- lo smorzamento;
- l’amplificazione sismica associata alle condizioni di crisi alla base delle torri;
- la presenza di TMD alle torri;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- la propagazione del moto sismico.

Per ogni parametro considerato, oltre all'analisi di riferimento con i valori di progetto, vengono condotte una o più analisi a seconda delle possibili variazioni considerate. L'analisi di sensibilità viene condotta perturbando un parametro alla volta in corrispondenza ad uno dei 5 eventi sismici considerati (N14, NZ e AQV, TAK, HORC). L'evento sismico utilizzato per le analisi di sensibilità è quello più significativo in termini di risposta strutturale. In particolare, per le analisi di interazione viene scelto HORC, mentre per tutte le altre NZ_c4.

Interazione suolo-struttura. L'interazione suolo-struttura è portata in conto attraverso elementi ad elasticità e dissipazione concentrata (molle e smorzatori) applicati al baricentro delle fondazioni (torri, ancoraggi e strutture terminali). I valori da assegnare a tali elementi sono riportati in /6/ e riassunti nelle tabelle a seguire. Nelle tabelle sono riportati i limiti superiore ed inferiore delle rigidità e degli smorzamenti, rispetto al caso di riferimento.

Matrici di rigidezza – limite inferiore

Sicily Tower

	x	y	z	rx	ry	rz
x	3.2E+07	0	0	0	-3.5E+08	0
y	0	3.2E+07	0	-3.5E+08	0	0
z	0	0	2.9E+07	0	0	0
rx	0	-3.5E+08	0	2.0E+10	0	0
ry	-3.5E+08	0	0	0	2.0E+10	0
rz	0	0	0	0	0	3.1E+10

Units

x x	kN/m
y y	kN/m
z z	kN/m
rx rx	kN m
ry ry	kN m
rz rz	kN m

Calabria Tower

	x	y	z	rx	ry	rz
x	1.2E+08	0	0	0	-4.8E+08	0
y	0	1.2E+08	0	-4.8E+08	0	0
z	0	0	1.0E+08	0	0	0
rx	0	-4.8E+08	0	5.4E+10	0	0
ry	-4.8E+08	0	0	0	5.4E+10	0
rz	0	0	0	0	0	1.0E+11

x ry	kN
y rx	kN

Sicily Anchor

	x	y	z	rx	ry	rz
x	4.1E+07	0	0	0	8.8E+07	0
y	0	4.2E+07	0	9.0E+07	0	0
z	0	0	4.6E+07	0	0	0
rx	0	9.0E+07	0	8.2E+10	0	0
ry	8.8E+07	0	0	0	1.1E+11	0
rz	0	0	0	0	0	1.9E+11

Calabria Anchor

	x	y	z	rx	ry	rz
x	2.3E+08	0	0	0	-6.1E+08	0
y	0	2.3E+08	0	-6.1E+08	0	0
z	0	0	2.4E+08	0	0	0
rx	0	-6.1E+08	0	5.2E+11	0	0
ry	-6.1E+08	0	0	0	6.8E+11	0
rz	0	0	0	0	0	1.3E+12

Sicily terminal structure

	x	y	z	rx	ry	rz
x	2.1E+07	0	0	0	-1.5E+08	0
y	0	2.2E+07	0	-1.5E+08	0	0
z	0	0	1.9E+07	0	0	0
rx	0	-1.5E+08	0	9.8E+10	0	0
ry	-1.5E+08	0	0	0	1.3E+11	0
rz	0	0	0	0	0	1.7E+11

Calabria terminal structure

	x	y	z	rx	ry	rz
x	5.3E+07	0	0	0	1.6E+08	0
y	0	5.6E+07	0	1.7E+08	0	0
z	0	0	5.6E+07	0	0	0
rx	0	1.7E+08	0	3.0E+11	0	0
ry	1.6E+08	0	0	0	3.9E+11	0
rz	0	0	0	0	0	5.6E+11

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica		Codice documento PB0026_F0	Rev Data F0 20/06/2011

Matrice di smorzamento – limite inferiore

Sicily Tower

	x	y	z	rx	ry	rz
x	3.3E+06	0	0	0	-3.4E+07	0
y	0	3.3E+06	0	-3.4E+07	0	0
z	0	0	3.2E+06	0	0	0
rx	0	-3.4E+07	0	1.9E+09	0	0
ry	-3.4E+07	0	0	0	1.9E+09	0
rz	0	0	0	0	0	3.2E+09

Units

x x	Mg/s
y y	Mg/s
z z	Mg/s
rx rx	Mg m ² /s
ry ry	Mg m ² /s
rz rz	Mg m ² /s

Calabria Tower

	x	y	z	rx	ry	rz
x	1.1E+07	0	0	0	-4.3E+07	0
y	0	1.1E+07	0	-4.3E+07	0	0
z	0	0	5.6E+06	0	0	0
rx	0	-4.3E+07	0	4.7E+09	0	0
ry	-4.3E+07	0	0	0	4.7E+09	0
rz	0	0	0	0	0	9.3E+09

x ry	Mg m /s
y rx	Mg m /s

Sicily Anchor

	x	y	z	rx	ry	rz
x	6.6E+05	0	0	0	7.3E+06	0
y	0	6.8E+05	0	7.5E+06	0	0
z	0	0	1.2E+06	0	0	0
rx	0	7.5E+06	0	2.1E+10	0	0
ry	7.3E+06	0	0	0	3.4E+10	0
rz	0	0	0	0	0	2.4E+09

Calabria Anchor

	x	y	z	rx	ry	rz
x	1.2E+06	0	0	0	8.0E+06	0
y	0	1.2E+06	0	7.9E+06	0	0
z	0	0	2.2E+06	0	0	0
rx	0	7.9E+06	0	3.9E+10	0	0
ry	8.0E+06	0	0	0	4.4E+10	0
rz	0	0	0	0	0	4.6E+09

Sicily terminal structure

	x	y	z	rx	ry	rz
x	2.6E+06	0	0	0	-1.6E+07	0
y	0	2.6E+06	0	-1.6E+07	0	0
z	0	0	8.4E+05	0	0	0
rx	0	-1.6E+07	0	1.9E+09	0	0
ry	-1.6E+07	0	0	0	2.4E+09	0
rz	0	0	0	0	0	3.6E+09

Calabria terminal structure

	x	y	z	rx	ry	rz
x	1.1E+06	0	0	0	4.0E+06	0
y	0	1.1E+06	0	3.9E+06	0	0
z	0	0	6.1E+05	0	0	0
rx	0	3.9E+06	0	7.7E+08	0	0
ry	4.0E+06	0	0	0	1.0E+09	0
rz	0	0	0	0	0	1.7E+09

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento PB0026_F0	Rev F0	Data 20/06/2011	

Matrice di rigidezza – limite superiore

Sicily Tower

	x	y	z	rx	ry	rz	Units
x	1.0E+08	0	0	0	-1.0E+09	0	x x kN/m
y	0	1.0E+08	0	-1.0E+09	0	0	y y kN/m
z	0	0	9.7E+07	0	0	0	z z kN/m
rx	0	-1.0E+09	0	6.2E+10	0	0	rx rx kN m
ry	-1.0E+09	0	0	0	6.2E+10	0	ry ry kN m
rz	0	0	0	0	0	1.0E+11	rz rz kN m

Calabria Tower

	x	y	z	rx	ry	rz	Units
x	3.3E+08	0	0	0	-1.3E+09	0	x ry kN
y	0	3.3E+08	0	-1.3E+09	0	0	y rx kN
z	0	0	1.6E+08	0	0	0	
rx	0	-1.3E+09	0	1.4E+11	0	0	
ry	-1.3E+09	0	0	0	1.4E+11	0	
rz	0	0	0	0	0	2.8E+11	

Sicily Anchor

	x	y	z	rx	ry	rz
x	1.4E+08	0	0	0	1.6E+09	0
y	0	1.5E+08	0	1.7E+09	0	0
z	0	0	1.6E+08	0	0	0
rx	0	1.7E+09	0	2.4E+11	0	0
ry	1.6E+09	0	0	0	3.4E+11	0
rz	0	0	0	0	0	7.6E+11

Calabria Anchor

	x	y	z	rx	ry	rz
x	5.6E+08	0	0	0	3.8E+09	0
y	0	5.6E+08	0	3.8E+09	0	0
z	0	0	6.6E+08	0	0	0
rx	0	3.8E+09	0	7.4E+11	0	0
ry	3.8E+09	0	0	0	1.1E+12	0
rz	0	0	0	0	0	3.0E+12

Sicily terminal structure

	x	y	z	rx	ry	rz
x	9.1E+07	0	0	0	-3.1E+08	0
y	0	8.6E+07	0	-2.9E+08	0	0
z	0	0	1.1E+08	0	0	0
rx	0	-2.9E+08	0	2.4E+11	0	0
ry	-3.1E+08	0	0	0	3.1E+11	0
rz	0	0	0	0	0	4.5E+11

Calabria terminal structure

	x	y	z	rx	ry	rz
x	2.8E+08	0	0	0	1.2E+09	0
y	0	2.6E+08	0	1.1E+09	0	0
z	0	0	4.3E+08	0	0	0
rx	0	1.1E+09	0	5.4E+11	0	0
ry	1.2E+09	0	0	0	7.0E+11	0
rz	0	0	0	0	0	1.2E+12

Matrice di smorzamento – limite superiore

Sicily Tower

	x	y	z	rx	ry	rz
x	2.3E+06	0	0	0	-2.3E+07	0
y	0	2.3E+06	0	-2.3E+07	0	0
z	0	0	2.2E+06	0	0	0
rx	0	-2.3E+07	0	1.4E+09	0	0
ry	-2.3E+07	0	0	0	1.4E+09	0
rz	0	0	0	0	0	2.3E+09

Units

x x	Mg/s
y y	Mg/s
z z	Mg/s
rx rx	Mg m ² /s
ry ry	Mg m ² /s
rz rz	Mg m ² /s

Calabria Tower

	x	y	z	rx	ry	rz
x	1.5E+07	0	0	0	-5.8E+07	0
y	0	1.5E+07	0	-5.8E+07	0	0
z	0	0	7.4E+06	0	0	0
rx	0	-5.8E+07	0	6.3E+09	0	0
ry	-5.8E+07	0	0	0	6.3E+09	0
rz	0	0	0	0	0	1.2E+10

x ry	Mg m /s
y rx	Mg m /s

Sicily Anchor

	x	y	z	rx	ry	rz
x	2.7E+05	0	0	0	2.7E+06	0
y	0	2.7E+05	0	2.7E+06	0	0
z	0	0	2.8E+05	0	0	0
rx	0	2.7E+06	0	3.1E+10	0	0
ry	2.7E+06	0	0	0	5.0E+10	0
rz	0	0	0	0	0	1.3E+09

Calabria Anchor

	x	y	z	rx	ry	rz
x	3.9E+05	0	0	0	2.0E+06	0
y	0	3.9E+05	0	2.0E+06	0	0
z	0	0	4.3E+05	0	0	0
rx	0	2.0E+06	0	5.7E+10	0	0
ry	2.0E+06	0	0	0	6.5E+10	0
rz	0	0	0	0	0	1.8E+09

Sicily terminal structure

	x	y	z	rx	ry	rz
x	2.4E+06	0	0	0	-1.5E+07	0
y	0	2.3E+06	0	-1.5E+07	0	0
z	0	0	5.7E+05	0	0	0
rx	0	-1.5E+07	0	1.3E+09	0	0
ry	-1.5E+07	0	0	0	1.6E+09	0
rz	0	0	0	0	0	2.4E+09

Calabria terminal structure

	x	y	z	rx	ry	rz
x	9.8E+05	0	0	0	3.2E+06	0
y	0	9.7E+05	0	3.2E+06	0	0
z	0	0	3.6E+05	0	0	0
rx	0	3.2E+06	0	4.5E+08	0	0
ry	3.2E+06	0	0	0	5.8E+08	0
rz	0	0	0	0	0	9.9E+08

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Smorzamento. Lo smorzamento è definito secondo il modello alla Rayleigh. La curva di riferimento è definita dai seguenti parametri: $\alpha = 0.0787$ e $\beta = 0.0039$ che corrispondono ad uno smorzamento $\xi = 2\%$ per frequenze di ancoraggio di $f_1 = 0.4$ Hz e $f_2 = 1.3$ Hz. Quali valori perturbati si considerano due casi: (a) uno relativo allo smorzamento funzione del solo termine associato alla rigidezza e (b) uno relativo allo smorzamento incrementato del 50% per le stesse frequenze di ancoraggio. I grafici corrispondenti sono mostrati in figura 6.1. In definitiva si ha:

Caso di riferimento per tutte le analisi con tutti i sismi

α	β	f_1 Hz	f_2 Hz	ω_1 rad/s	ω_2 rad/s	ξ -
0.0787	0.0039	0.4	1.29	2.51	8.11	0.0205

Smorzamento dipendente dal solo termine in rigidezza

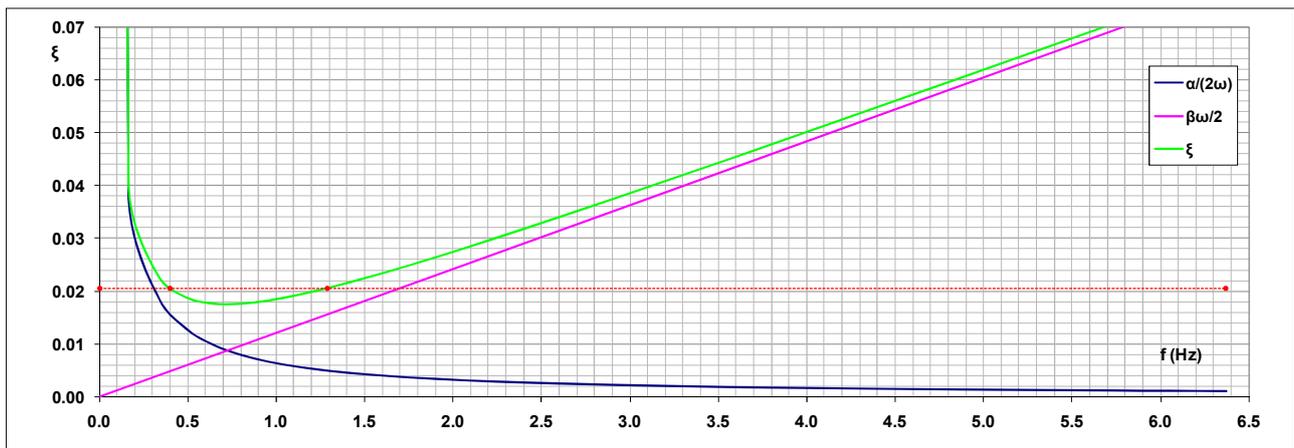
α	β	f_1 Hz	f_2 Hz	ω_1 rad/s	ω_2 rad/s	ξ -
	0.0039		1.70		10.67	0.0208

Smorzamento incrementato del 50% rispetto al caso di riferimento

α	β	f_1 Hz	f_2 Hz	ω_1 rad/s	ω_2 rad/s	ξ -
0.1151	0.0057	0.4	1.29	2.51	8.11	0.03

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento <i>PB0026_F0</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>

Caso di riferimento per tutte le analisi con tutti i sismi (linea verde), Smorzamento dipendente dal solo termine in rigidità (linea viola)



Smorzamento incrementato del 50% rispetto al caso di riferimento

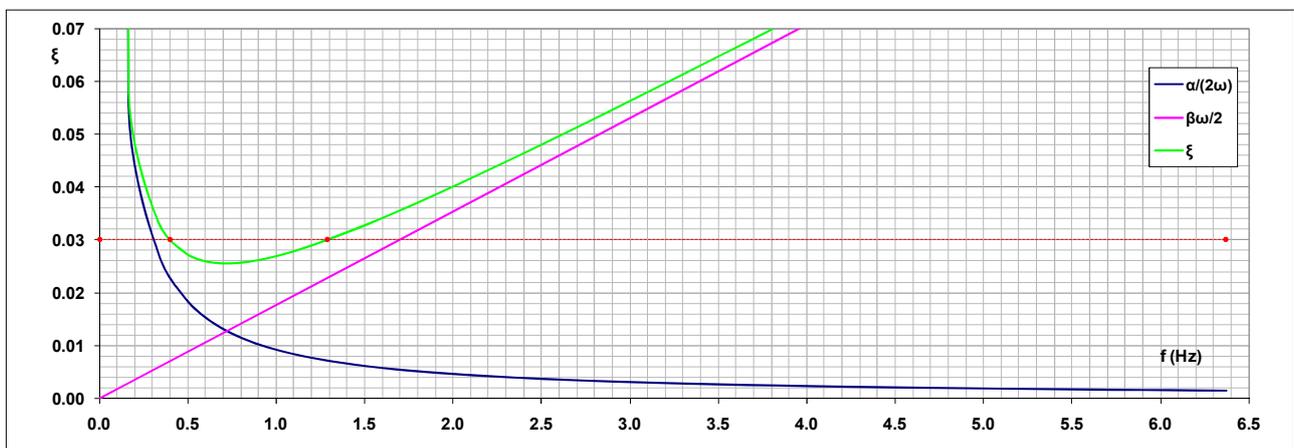


Figura 6-1: Smorzamento alla Rayleigh per analisi di riferimento e di sensibilità

Buffer. Esistono tre tipologie di buffer. Buffer che riconnettono l'impalcato alla torre in direzione longitudinale, buffer disposti nelle crociere e buffer che riconnettono la piastra della struttura terminale alle sottostrutture. Il modello costitutivo di tali dispositivi è però identico e consta di un

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

modello bilineare governato da tre parametri: la soglia di transizione, il ramo “elastico” e quello “incrudente”. Le varie tipologie sono differenziate tra loro per i parametri attribuiti al modello di comportamento. Si esamina l’effetto dei buffer alle torri confrontando la soluzione base con quella variata per incremento della sola soglia plastica del 50% gli altri parametri sono rimasti invariati.

Variabilità spaziale e propagazione del moto sismico. Gli spostogrammi ripresi da /7/ incorporano la variabilità del moto sismico e sono già distinti per condizioni di riva (Sicilia e Calabria) e fondazione (torri, ancoraggi e strutture terminali). L’analisi di sensibilità viene dunque riferita alla sola propagazione del moto sismico. La propagazione è modellata in termini di ritardo dell’onda sismica incidente sul ponte che viaggia nella direzione longitudinale del ponte stesso. Il tempo di ritardo è misurato in funzione della velocità di propagazione (onde di taglio) riferita al suolo rigido di base. I valori sono ripresi da /7/. In particolare si è fatto uso dei valori contenuti nella tabella 3.2 – Profilo crostale di riferimento che indicano una velocità delle onde di taglio ad una profondità di 10km pari a 4450 m/s. Un’ulteriore analisi è stata eseguita considerando una velocità di propagazione pari a 1000 m/s.

Presenza di TMD. La mitigazione degli effetti sismici sulle torri può essere ottenuta tramite l’inserimento di opportune masse accordate (TMD) disposte in posizione opportuna lungo l’altezza delle torri. Questa eventualità è stata considerata inserendo nel modello dei TMD le cui caratteristiche globali sono state fornite da COWI. Per ciascuna torre si considera un TMD globale equivalente caratterizzato dai seguenti parametri: massa = 550×10^3 kg, rigidità = 4.72×10^6 Nm⁻¹, smorzamento = 354.8×10^3 Nm⁻¹s⁻¹, posizione di applicazione = all’altezza del secondo traverso. Le caratteristiche dette sono state simmetricamente suddivise per le due zampe di ciascuna torre.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

7 Risultati

Le analisi preliminari di condizionamento del modello comprendono l'analisi statica e l'analisi modale. L'analisi statica serve a definire la configurazione del ponte nelle condizioni "a vuoto", cioè a fine costruzione. La conoscenza dello stato deformativo, ma soprattutto tensionale è utile ad individuare gli effettivi incrementi di sollecitazione dovuti all'azione sismica. L'analisi modale (buffer free-free) è propedeutica alle analisi spettrali e serve ad individuare i modi principali dell'opera e le relative masse partecipanti. Si segnala che nel caso dell'analisi modale oltre alla tabella riassuntiva di frequenze, fattori di partecipazione e masse modali relativa al caso di base utilizzato per l'analisi spettrale viene riportata anche una seconda tabella analoga alla prima, ma riferita al caso di ancoraggi a massa nulla da cui è possibile valutare la frazione massa partecipante eccitata del ponte e delle strutture terminali. Inoltre, in entrambi i casi di analisi statica e modale si è considerata la presenza degli elementi di interazione suolo-struttura nella forma e con i valori delle matrici dette al paragrafo relativo al modello di calcolo.

I risultati delle analisi spettrali sono riportate a seguire. Il dettaglio dei risultati time history è invece allegato in appendice alla fine del fascicolo relazione. In Appendice, per ogni analisi considerata ed elencata nella tabella sottostante sono riportate un insieme di figure ed un insieme di tabelle. Le figure riportano le risposte time history nei punti di controllo delle grandezze di controllo dette al capitolo 5. Le tabelle riportano invece i valori massimi e minimi di dette grandezze e gli istanti di tempo in cui tali valori vengono attinti.

Le unità di misura utilizzate nella costruzione dei grafici e delle tabelle sono:

- forze in kN , momenti in kNm , spostamenti in m , tensioni in MPa

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Si sono condotte le seguenti analisi:

analisi	sisma	parametri di progetto	parametri variati	sigla
spettrale	Spettro di Normativa	X		
	Spettro di Specifiche	X		
dinamica sismi simulati	Koaceli Turchia	X		N14c2
		X		N14c4
	Darfield Nuova Zelanda	X		NZc2
		X		NZc4
			smorzamento incremento 50%	NZc4 sm3%
			smorzamento solo contrib. rigidezza	NZc4 $\alpha=0$
			buffer torri incremento 50%	NZc4 bufx1.5
			propagazione	NZc4 prop
			TMD	NZc4 TMD
dinamica sismi scenario	L'Aquila Italia	X		AQV
	Kobe(Takatori) Giappone	X		TAK
	Darfiled (Hororata) Nuova Zelanda	X		HORC
			interazione suolo upper bound	HORC M.U.
			interazione suolo lower bound	HORC M.L.
	Maule (Concepcion) Chile	X		CCSP

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento <i>PB0026_F0</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>	

7.1 Risultati analisi spettrali

I dati riportati nelle tabelle seguenti sono riferiti alle azioni spettrali definite per il sito in esame dalle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” DM. 14-01-2008 (NTC2008) e dalle “Design basis” del 2010 (SP2010).

Nelle colonne sono riportati:

- NTC08DIR X Y Z: effetto del sisma NTC2008 applicato rispettivamente e separatamente secondo la direzione longitudinale (X), trasversale (Y) e verticale (Z) del ponte.
- SPEC.DIR X Y Z: effetto del sisma SP2010 applicato rispettivamente e separatamente secondo la direzione longitudinale (X), trasversale (Y) e verticale (Z) del ponte.
- EX03EY03EZ: Azioni dovute ai carichi statici + 100% dell’azione sismica in direzione longitudinale + 30% dell’azione sismica in direzione trasversale + 30% dell’azione sismica in direzione verticale.
- 03EXEY03EZ e 03EX03EY EZ: analoghe alla precedente con l’azione del sisma al 100% rispettivamente in direzione Y e Z.

RESPONSE SPECTRUM NTC2008		NTC08DIRX	NTC08DIRY	NTC08DIRZ	EX03EY03EZ	03EXEY03EZ	03EX03EY EZ
B_TORRE_S_1	NODAL_MOMENT-S	6.20E+05	1.73E+06	3.67E+04	1.33E+06	2.11E+06	9.26E+05
B_TORRE_S_107	NODAL_MOMENT-S	6.17E+05	1.69E+06	2.83E+04	1.32E+06	2.07E+06	9.05E+05
B_TORRE_S_1	NODAL_MOMENT-T	5.71E+06	2.30E+05	2.08E+05	5.84E+06	2.01E+06	1.99E+06
B_TORRE_S_107	NODAL_MOMENT-T	5.00E+06	1.63E+05	1.53E+05	5.10E+06	1.71E+06	1.70E+06
B_TORRE_C_1	NODAL_MOMENT-S	5.82E+04	1.16E+06	2.19E+04	5.73E+05	1.34E+06	5.47E+05
B_TORRE_C_107	NODAL_MOMENT-S	5.82E+04	1.36E+06	1.69E+04	6.32E+05	1.54E+06	6.03E+05
B_TORRE_C_1	NODAL_MOMENT-T	3.99E+06	1.51E+05	1.99E+05	4.10E+06	1.41E+06	1.44E+06
B_TORRE_C_107	NODAL_MOMENT-T	4.00E+06	1.68E+05	1.99E+05	4.11E+06	1.43E+06	1.45E+06
2_3H_TORRE_S_73	NODAL_MOMENT-S	1.60E+06	1.92E+06	8.38E+04	2.23E+06	2.45E+06	1.16E+06
2_3H_TORRE_S_179	NODAL_MOMENT-S	1.60E+06	1.72E+06	8.98E+04	2.16E+06	2.25E+06	1.11E+06
2_3H_TORRE_S_73	NODAL_MOMENT-T	4.68E+06	2.39E+05	1.63E+05	4.80E+06	1.69E+06	1.64E+06
2_3H_TORRE_S_179	NODAL_MOMENT-T	4.48E+06	2.78E+05	1.49E+05	4.61E+06	1.67E+06	1.58E+06
2_3H_TORRE_C_73	NODAL_MOMENT-S	1.31E+06	1.55E+06	7.16E+04	1.82E+06	1.99E+06	9.56E+05
2_3H_TORRE_C_179	NODAL_MOMENT-S	1.31E+06	1.31E+06	7.11E+04	1.75E+06	1.75E+06	8.82E+05
2_3H_TORRE_C_73	NODAL_MOMENT-T	3.74E+06	1.84E+05	1.08E+05	3.83E+06	1.34E+06	1.29E+06
2_3H_TORRE_C_179	NODAL_MOMENT-T	3.76E+06	1.62E+05	1.08E+05	3.84E+06	1.32E+06	1.28E+06
CAVO_2_1	FORCE-R	1.16E+05	2.06E+04	1.90E+04	1.37E+06	1.30E+06	1.30E+06
CAVO_2_2	FORCE-R	1.11E+05	2.06E+04	1.89E+04	1.36E+06	1.30E+06	1.30E+06
CAVO_32_1	FORCE-R	9.60E+04	1.87E+04	1.76E+04	1.41E+06	1.36E+06	1.36E+06

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0				<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

CAVO_32_2	FORCE-R	9.38E+04	1.88E+04	1.75E+04	1.41E+06	1.36E+06	1.36E+06
CAVO_33_1	FORCE-R	7.58E+04	1.40E+04	1.41E+04	1.36E+06	1.32E+06	1.32E+06
CAVO_33_2	FORCE-R	7.29E+04	1.41E+04	1.43E+04	1.36E+06	1.31E+06	1.32E+06
CAVO_88_1	FORCE-R	5.17E+04	9.31E+03	1.39E+04	1.25E+06	1.22E+06	1.22E+06
CAVO_88_2	FORCE-R	4.89E+04	8.53E+03	1.39E+04	1.24E+06	1.22E+06	1.22E+06
CAVO_142_1	FORCE-R	7.20E+04	1.18E+04	1.74E+04	1.36E+06	1.31E+06	1.32E+06
CAVO_142_2	FORCE-R	7.01E+04	1.25E+04	1.75E+04	1.35E+06	1.31E+06	1.32E+06
CAVO_143_1	FORCE-R	8.85E+04	1.22E+04	1.62E+04	1.39E+06	1.34E+06	1.34E+06
CAVO_143_2	FORCE-R	8.77E+04	1.24E+04	1.63E+04	1.39E+06	1.34E+06	1.34E+06
CAVO_169_1	FORCE-R	1.13E+05	1.32E+04	1.86E+04	1.36E+06	1.29E+06	1.29E+06
CAVO_169_2	FORCE-R	1.10E+05	1.37E+04	1.87E+04	1.36E+06	1.29E+06	1.29E+06
TIE_DOWN_1_1	FORCE-R	2.65E+03	6.59E+02	6.72E+02	1.80E+04	1.66E+04	1.66E+04
TIE_DOWN_1_2	FORCE-R	2.60E+03	6.71E+02	6.72E+02	1.80E+04	1.66E+04	1.66E+04
TIE_DOWN_119_1	FORCE-R	2.36E+03	3.54E+02	5.42E+02	1.75E+04	1.61E+04	1.63E+04
TIE_DOWN_119_2	FORCE-R	2.33E+03	3.59E+02	5.45E+02	1.75E+04	1.61E+04	1.63E+04
BUFFER_3_TORRE_S	FORCE-R	1.00E+03	2.65E+04	1.17E+03	9.35E+03	2.72E+04	9.47E+03
BUFFER_3_TORRE_C	FORCE-R	6.50E+02	2.19E+04	1.08E+03	7.57E+03	2.24E+04	7.87E+03
BUFFER_1_TERM_S	FORCE-R	2.64E+04	5.02E+03	1.20E+03	2.83E+04	1.33E+04	1.06E+04
BUFFER_2_TERM_S	FORCE-R	2.64E+04	5.03E+03	1.23E+03	2.83E+04	1.33E+04	1.07E+04
BUFFER_1_TERM_C	FORCE-R	3.60E+04	2.72E+03	5.17E+02	3.70E+04	1.37E+04	1.22E+04
BUFFER_2_TERM_C	FORCE-R	3.59E+04	2.77E+03	3.43E+02	3.68E+04	1.37E+04	1.20E+04
TORRESICILIA_1	X-DISPLACEMENT	0.26	0.01	0.01	0.27	0.09	0.09
TORRESICILIA_2	X-DISPLACEMENT	0.26	0.01	0.01	0.26	0.09	0.09
TORRECALABRIA_1	X-DISPLACEMENT	0.23	0.01	0.01	0.23	0.08	0.08
TORRECALABRIA_2	X-DISPLACEMENT	0.22	0.01	0.01	0.23	0.08	0.08
TORRESICILIA_1	Y-DISPLACEMENT	0.00	0.33	0.00	0.13	0.36	0.13
TORRESICILIA_2	Y-DISPLACEMENT	0.00	0.33	0.00	0.13	0.36	0.13
TORRECALABRIA_1	Y-DISPLACEMENT	0.00	0.35	0.00	0.14	0.39	0.14
TORRECALABRIA_2	Y-DISPLACEMENT	0.00	0.35	0.00	0.14	0.39	0.14
TORRESICILIA_1	Z-DISPLACEMENT	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04
TORRESICILIA_2	Z-DISPLACEMENT	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04
TORRECALABRIA_1	Z-DISPLACEMENT	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03
TORRECALABRIA_2	Z-DISPLACEMENT	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03
2_3_TORRE_S_1	X-DISPLACEMENT	0.83	0.01	0.01	0.83	0.26	0.26
2_3_TORRE_S_2	X-DISPLACEMENT	0.83	0.01	0.01	0.84	0.26	0.26
2_3_TORRE_C_1	X-DISPLACEMENT	0.74	0.01	0.00	0.75	0.23	0.23
2_3_TORRE_C_2	X-DISPLACEMENT	0.74	0.01	0.00	0.75	0.23	0.23
2_3_TORRE_S_1	Y-DISPLACEMENT	0.00	0.27	0.00	0.09	0.27	0.09
2_3_TORRE_S_2	Y-DISPLACEMENT	0.00	0.26	0.00	0.09	0.27	0.09
2_3_TORRE_C_1	Y-DISPLACEMENT	0.00	0.27	0.00	0.09	0.28	0.09
2_3_TORRE_C_2	Y-DISPLACEMENT	0.00	0.27	0.00	0.09	0.28	0.09
MIDSPAN_1	X-DISPLACEMENT	0.34	0.01	0.01	0.35	0.12	0.12

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

MIDSPAN_2	X-DISPLACEMENT	0.34	0.01	0.01	0.35	0.12	0.12
MIDSPAN_1	Y-DISPLACEMENT	0.00	0.41	0.00	0.13	0.41	0.13
MIDSPAN_2	Y-DISPLACEMENT	0.00	0.41	0.00	0.13	0.41	0.13
MIDSPAN_1	Z-DISPLACEMENT	0.02	0.04	0.02	0.04	0.06	0.05
MIDSPAN_2	Z-DISPLACEMENT	0.02	0.04	0.02	0.04	0.06	0.05
IMP_S_9	X-DISPLACEMENT	0.23	0.01	0.00	0.23	0.08	0.07
TERM_S_9	X-DISPLACEMENT	0.20	0.02	0.00	0.21	0.08	0.07
IMP_S_10	X-DISPLACEMENT	0.23	0.00	0.00	0.23	0.07	0.07
IMP_S_11	X-DISPLACEMENT	0.23	0.01	0.00	0.23	0.08	0.07
TERM_S_11	X-DISPLACEMENT	0.20	0.02	0.00	0.21	0.08	0.07
IMP_C_1	X-DISPLACEMENT	0.23	0.01	0.00	0.23	0.08	0.07
IMP_C_2	X-DISPLACEMENT	0.23	0.00	0.00	0.23	0.07	0.07
IMP_C_3	X-DISPLACEMENT	0.23	0.01	0.00	0.23	0.08	0.07
TERM_C_1	X-DISPLACEMENT	0.06	0.00	0.00	0.06	0.02	0.02
TERM_C_2	X-DISPLACEMENT	0.06	0.00	0.00	0.07	0.02	0.02
TERM_C_3	X-DISPLACEMENT	0.06	0.00	0.00	0.06	0.02	0.02

TENSIONI (Mpa)		NTC08DIRX	NTC08DIRY	NTC08DIRZ	EX03EY03EZ	O3EXEY03EZ	O3EX03EYEZ
B_TORRE_S_1	SIGMA_B_T_S_1	52	59	12	182	187	154
B_TORRE_S_1	SIGMA_B_T_S_MM_1	54	60	10	196	200	164
B_TORRE_S_1	SIGMA_B_T_S_PM_1	70	59	11	212	204	170
B_TORRE_S_1	SIGMA_B_T_S_MP_1	69	58	11	197	190	157
B_TORRE_S_107	SIGMA_B_T_S_1	65	55	11	205	198	168
B_TORRE_S_107	SIGMA_B_T_S_MM_1	62	59	10	191	189	154
B_TORRE_S_107	SIGMA_B_T_S_PM_1	45	61	11	174	185	151
B_TORRE_S_107	SIGMA_B_T_S_MP_1	46	57	10	187	194	161
B_TORRE_C_1	SIGMA_B_T_C_1	43	44	9	170	171	146
B_TORRE_C_1	SIGMA_B_T_C_MM_1	48	42	11	186	182	160
B_TORRE_C_1	SIGMA_B_T_C_PM_1	42	42	11	180	180	158
B_TORRE_C_1	SIGMA_B_T_C_MP_1	45	43	9	172	171	147
B_TORRE_C_107	SIGMA_B_T_C_1	42	49	10	182	188	160
B_TORRE_C_107	SIGMA_B_T_C_MM_1	45	50	9	174	178	149
B_TORRE_C_107	SIGMA_B_T_C_PM_1	43	50	9	172	177	148
B_TORRE_C_107	SIGMA_B_T_C_MP_1	48	50	10	188	190	162
2_3H_TORRE_S_73	SIGMA_2_3H_T_S_1	69	92	6	232	248	188
2_3H_TORRE_S_73	SIGMA_2_3H_T_S_MM_1	69	89	8	230	244	186
2_3H_TORRE_S_73	SIGMA_2_3H_T_S_PM_1	113	85	10	272	253	201
2_3H_TORRE_S_73	SIGMA_2_3H_T_S_MP_1	121	88	5	283	260	202
2_3H_TORRE_S_179	SIGMA_2_3H_T_S_1	111	78	10	269	246	198
2_3H_TORRE_S_179	SIGMA_2_3H_T_S_MM_1	120	77	5	278	247	198
2_3H_TORRE_S_179	SIGMA_2_3H_T_S_PM_1	67	81	6	226	236	184
2_3H_TORRE_S_179	SIGMA_2_3H_T_S_MP_1	66	82	8	225	236	184

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO			
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011		

2_3H_TORRE_C_73	SIGMA_2_3H_T_C_1	52	79	7	218	237	187
2_3H_TORRE_C_73	SIGMA_2_3H_T_C_MM_1	57	76	8	220	233	186
2_3H_TORRE_C_73	SIGMA_2_3H_T_C_PM_1	113	79	8	276	253	203
2_3H_TORRE_C_73	SIGMA_2_3H_T_C_MP_1	105	82	8	272	256	204
2_3H_TORRE_C_179	SIGMA_2_3H_T_C_1	112	68	8	273	242	200
2_3H_TORRE_C_179	SIGMA_2_3H_T_C_MM_1	105	68	8	268	242	200
2_3H_TORRE_C_179	SIGMA_2_3H_T_C_PM_1	52	65	7	214	223	183
2_3H_TORRE_C_179	SIGMA_2_3H_T_C_MP_1	58	66	8	217	223	183
B_TORRE_S_1	SIGMA_B_T_S_2	115	30	13	239	180	168
B_TORRE_S_1	SIGMA_B_T_S_MM_2	115	30	10	244	184	170
B_TORRE_S_1	SIGMA_B_T_S_PM_2	123	29	12	252	187	175
B_TORRE_S_1	SIGMA_B_T_S_MP_2	122	28	10	245	179	166
B_TORRE_S_107	SIGMA_B_T_S_2	109	25	12	237	179	170
B_TORRE_S_107	SIGMA_B_T_S_MM_2	108	29	10	231	175	162
B_TORRE_S_107	SIGMA_B_T_S_PM_2	100	32	12	224	177	163
B_TORRE_S_107	SIGMA_B_T_S_MP_2	100	28	10	228	178	165
B_TORRE_C_1	SIGMA_B_T_C_2	87	22	10	211	166	157
B_TORRE_C_1	SIGMA_B_T_C_MM_2	92	21	11	221	171	164
B_TORRE_C_1	SIGMA_B_T_C_PM_2	86	20	11	215	169	162
B_TORRE_C_1	SIGMA_B_T_C_MP_2	91	21	10	214	166	158
B_TORRE_C_107	SIGMA_B_T_C_2	87	23	11	216	172	163
B_TORRE_C_107	SIGMA_B_T_C_MM_2	91	25	10	216	169	159
B_TORRE_C_107	SIGMA_B_T_C_PM_2	87	24	10	212	168	158
B_TORRE_C_107	SIGMA_B_T_C_MP_2	92	24	11	222	175	165
2_3H_TORRE_S_73	SIGMA_2_3H_T_S_2	109	47	8	258	215	188
2_3H_TORRE_S_73	SIGMA_2_3H_T_S_MM_2	116	44	6	263	212	186
2_3H_TORRE_S_73	SIGMA_2_3H_T_S_PM_2	140	36	10	286	213	195
2_3H_TORRE_S_73	SIGMA_2_3H_T_S_MP_2	149	39	6	295	218	195
2_3H_TORRE_S_179	SIGMA_2_3H_T_S_2	136	34	10	281	209	193
2_3H_TORRE_S_179	SIGMA_2_3H_T_S_MM_2	145	32	5	288	210	191
2_3H_TORRE_S_179	SIGMA_2_3H_T_S_PM_2	103	41	8	250	207	184
2_3H_TORRE_S_179	SIGMA_2_3H_T_S_MP_2	110	42	6	256	209	183
2_3H_TORRE_C_73	SIGMA_2_3H_T_C_2	97	35	7	249	205	186
2_3H_TORRE_C_73	SIGMA_2_3H_T_C_MM_2	93	32	8	244	201	184
2_3H_TORRE_C_73	SIGMA_2_3H_T_C_PM_2	135	38	8	287	219	198
2_3H_TORRE_C_73	SIGMA_2_3H_T_C_MP_2	128	42	8	283	222	198
2_3H_TORRE_C_179	SIGMA_2_3H_T_C_2	135	34	8	285	215	196
2_3H_TORRE_C_179	SIGMA_2_3H_T_C_MM_2	129	33	8	280	214	196
2_3H_TORRE_C_179	SIGMA_2_3H_T_C_PM_2	97	28	7	247	199	184
2_3H_TORRE_C_179	SIGMA_2_3H_T_C_MP_2	94	30	8	244	198	183

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento <i>PB0026_F0</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>	

RESPONSE SPECTRUM SPECIFICHE 2010		SPEC.DIRX	SPEC.DIRY	SPEC.DIRZ	EX03EY03EZ	O3EXEY03EZ	O3EX03EYEZ
B_TORRE_S_1	NODAL_MOMENT-S	1.27E+06	2.50E+06	7.56E+05	2.43E+06	3.29E+06	2.07E+06
B_TORRE_S_107	NODAL_MOMENT-S	1.27E+06	2.50E+06	7.49E+05	2.43E+06	3.29E+06	2.06E+06
B_TORRE_S_1	NODAL_MOMENT-T	7.59E+06	3.64E+05	8.21E+05	7.95E+06	2.89E+06	3.21E+06
B_TORRE_S_107	NODAL_MOMENT-T	6.71E+06	2.94E+05	6.55E+05	7.00E+06	2.51E+06	2.76E+06
B_TORRE_C_1	NODAL_MOMENT-S	1.08E+05	1.68E+06	1.01E+05	8.02E+05	1.90E+06	7.97E+05
B_TORRE_C_107	NODAL_MOMENT-S	1.06E+05	1.94E+06	8.84E+04	8.74E+05	2.15E+06	8.62E+05
B_TORRE_C_1	NODAL_MOMENT-T	5.46E+06	2.42E+05	7.78E+05	5.77E+06	2.11E+06	2.49E+06
B_TORRE_C_107	NODAL_MOMENT-T	5.47E+06	2.61E+05	7.77E+05	5.78E+06	2.13E+06	2.50E+06
2_3H_TORRE_S_73	NODAL_MOMENT-S	3.30E+06	3.40E+06	1.97E+06	4.94E+06	5.01E+06	4.00E+06
2_3H_TORRE_S_179	NODAL_MOMENT-S	3.29E+06	3.18E+06	1.97E+06	4.85E+06	4.77E+06	3.93E+06
2_3H_TORRE_S_73	NODAL_MOMENT-T	6.49E+06	4.08E+05	6.68E+05	6.81E+06	2.55E+06	2.74E+06
2_3H_TORRE_S_179	NODAL_MOMENT-T	6.23E+06	4.55E+05	6.23E+05	6.56E+06	2.51E+06	2.63E+06
2_3H_TORRE_C_73	NODAL_MOMENT-S	2.70E+06	2.79E+06	1.61E+06	4.05E+06	4.11E+06	3.29E+06
2_3H_TORRE_C_179	NODAL_MOMENT-S	2.69E+06	2.50E+06	1.61E+06	3.95E+06	3.81E+06	3.19E+06
2_3H_TORRE_C_73	NODAL_MOMENT-T	5.26E+06	2.93E+05	4.47E+05	5.48E+06	2.01E+06	2.11E+06
2_3H_TORRE_C_179	NODAL_MOMENT-T	5.28E+06	2.67E+05	4.47E+05	5.49E+06	1.98E+06	2.11E+06
CAVO_2_1	FORCE-R	1.59E+05	2.64E+04	7.50E+04	1.43E+06	1.34E+06	1.37E+06
CAVO_2_2	FORCE-R	1.53E+05	2.64E+04	7.47E+04	1.42E+06	1.33E+06	1.37E+06
CAVO_32_1	FORCE-R	1.33E+05	2.41E+04	7.07E+04	1.47E+06	1.39E+06	1.42E+06
CAVO_32_2	FORCE-R	1.30E+05	2.42E+04	7.06E+04	1.46E+06	1.39E+06	1.42E+06
CAVO_33_1	FORCE-R	1.04E+05	1.80E+04	5.94E+04	1.40E+06	1.34E+06	1.37E+06
CAVO_33_2	FORCE-R	1.01E+05	1.81E+04	6.04E+04	1.40E+06	1.34E+06	1.37E+06
CAVO_88_1	FORCE-R	6.80E+04	1.20E+04	5.79E+04	1.28E+06	1.24E+06	1.27E+06
CAVO_88_2	FORCE-R	6.45E+04	1.10E+04	5.79E+04	1.27E+06	1.24E+06	1.27E+06
CAVO_142_1	FORCE-R	9.79E+04	1.51E+04	7.20E+04	1.40E+06	1.34E+06	1.38E+06
CAVO_142_2	FORCE-R	9.57E+04	1.61E+04	7.24E+04	1.40E+06	1.34E+06	1.38E+06
CAVO_143_1	FORCE-R	1.22E+05	1.56E+04	6.71E+04	1.44E+06	1.37E+06	1.40E+06
CAVO_143_2	FORCE-R	1.21E+05	1.59E+04	6.73E+04	1.44E+06	1.37E+06	1.40E+06
CAVO_169_1	FORCE-R	1.56E+05	1.70E+04	7.65E+04	1.42E+06	1.32E+06	1.37E+06
CAVO_169_2	FORCE-R	1.53E+05	1.76E+04	7.67E+04	1.42E+06	1.32E+06	1.37E+06
TIE_DOWN_1_1	FORCE-R	3.72E+03	8.93E+02	6.52E+03	2.09E+04	1.89E+04	2.29E+04
TIE_DOWN_1_2	FORCE-R	3.66E+03	9.08E+02	6.52E+03	2.09E+04	1.89E+04	2.29E+04
TIE_DOWN_119_1	FORCE-R	3.31E+03	4.93E+02	6.63E+03	2.03E+04	1.84E+04	2.27E+04
TIE_DOWN_119_2	FORCE-R	3.26E+03	5.00E+02	6.64E+03	2.03E+04	1.84E+04	2.27E+04
BUFFER_3_TORRE_S	FORCE-R	1.39E+03	3.60E+04	4.54E+03	1.36E+04	3.78E+04	1.58E+04
BUFFER_3_TORRE_C	FORCE-R	8.31E+02	2.97E+04	3.97E+03	1.10E+04	3.12E+04	1.32E+04
BUFFER_1_TERM_S	FORCE-R	3.71E+04	6.51E+03	3.45E+03	4.01E+04	1.87E+04	1.65E+04
BUFFER_2_TERM_S	FORCE-R	3.70E+04	6.52E+03	3.60E+03	4.01E+04	1.87E+04	1.67E+04
BUFFER_1_TERM_C	FORCE-R	4.60E+04	3.67E+03	2.01E+03	4.77E+04	1.81E+04	1.69E+04

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

		4.58E+04	3.72E+03	1.33E+03	4.74E+04	1.79E+04	1.62E+04
BUFFER_2_TERM_C	FORCE-R						
TORRESICILIA_1	X-DISPLACEMENT	0.37	0.01	0.11	0.40	0.16	0.22
TORRESICILIA_2	X-DISPLACEMENT	0.36	0.01	0.11	0.40	0.16	0.22
TORRECALABRIA_1	X-DISPLACEMENT	0.32	0.01	0.10	0.35	0.14	0.19
TORRECALABRIA_2	X-DISPLACEMENT	0.31	0.01	0.10	0.35	0.13	0.19
TORRESICILIA_1	Y-DISPLACEMENT	0.00	0.55	0.01	0.20	0.59	0.21
TORRESICILIA_2	Y-DISPLACEMENT	0.00	0.55	0.00	0.20	0.59	0.21
TORRECALABRIA_1	Y-DISPLACEMENT	0.00	0.59	0.00	0.22	0.62	0.22
TORRECALABRIA_2	Y-DISPLACEMENT	0.00	0.59	0.01	0.22	0.62	0.22
TORRESICILIA_1	Z-DISPLACEMENT	0.03	0.03	0.09	0.06	0.07	0.11
TORRESICILIA_2	Z-DISPLACEMENT	0.03	0.03	0.09	0.06	0.07	0.11
TORRECALABRIA_1	Z-DISPLACEMENT	0.03	0.02	0.07	0.05	0.04	0.08
TORRECALABRIA_2	Z-DISPLACEMENT	0.03	0.02	0.07	0.05	0.04	0.08
2_3_TORRE_S_1	X-DISPLACEMENT	1.16	0.01	0.07	1.19	0.38	0.43
2_3_TORRE_S_2	X-DISPLACEMENT	1.17	0.01	0.07	1.20	0.38	0.43
2_3_TORRE_C_1	X-DISPLACEMENT	1.05	0.01	0.06	1.07	0.34	0.38
2_3_TORRE_C_2	X-DISPLACEMENT	1.05	0.01	0.06	1.07	0.34	0.38
2_3_TORRE_S_1	Y-DISPLACEMENT	0.00	0.43	0.00	0.14	0.43	0.14
2_3_TORRE_S_2	Y-DISPLACEMENT	0.00	0.43	0.01	0.14	0.43	0.14
2_3_TORRE_C_1	Y-DISPLACEMENT	0.00	0.44	0.00	0.14	0.45	0.14
2_3_TORRE_C_2	Y-DISPLACEMENT	0.00	0.44	0.00	0.14	0.45	0.14
MIDSPAN_1	X-DISPLACEMENT	0.50	0.02	0.07	0.53	0.19	0.23
MIDSPAN_2	X-DISPLACEMENT	0.50	0.02	0.08	0.52	0.19	0.23
MIDSPAN_1	Y-DISPLACEMENT	0.00	0.93	0.00	0.29	0.94	0.29
MIDSPAN_2	Y-DISPLACEMENT	0.00	0.93	0.00	0.28	0.94	0.28
MIDSPAN_1	Z-DISPLACEMENT	0.04	0.10	0.80	0.31	0.35	0.85
MIDSPAN_2	Z-DISPLACEMENT	0.04	0.10	0.80	0.31	0.35	0.85
IMP_S_9	X-DISPLACEMENT	0.70	0.01	0.02	0.71	0.23	0.24
TERM_S_9	X-DISPLACEMENT	0.29	0.02	0.00	0.29	0.11	0.09
IMP_S_10	X-DISPLACEMENT	0.70	0.00	0.02	0.71	0.22	0.23
IMP_S_11	X-DISPLACEMENT	0.70	0.01	0.02	0.71	0.23	0.24
TERM_S_11	X-DISPLACEMENT	0.29	0.02	0.00	0.29	0.11	0.09
IMP_C_1	X-DISPLACEMENT	0.70	0.01	0.03	0.71	0.23	0.24
IMP_C_2	X-DISPLACEMENT	0.70	0.00	0.03	0.71	0.22	0.24
IMP_C_3	X-DISPLACEMENT	0.70	0.01	0.03	0.71	0.23	0.24
TERM_C_1	X-DISPLACEMENT	0.07	0.01	0.00	0.08	0.03	0.03
TERM_C_2	X-DISPLACEMENT	0.08	0.00	0.00	0.08	0.03	0.03
TERM_C_3	X-DISPLACEMENT	0.07	0.01	0.00	0.07	0.03	0.03

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento <i>PB0026_F0</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>	

TENSIONI (Mpa)		SPEC.DIRX	SPEC.DIRY	SPEC.DIRZ	EX03EY03EZ	O3EXEY03EZ	O3EX03EYEZ
B_TORRE_S_1	SIGMA_B_T_S_1	77	87	56	228	235	213
B_TORRE_S_1	SIGMA_B_T_S_MM_1	79	86	47	239	244	216
B_TORRE_S_1	SIGMA_B_T_S_PM_1	100	84	49	260	249	225
B_TORRE_S_1	SIGMA_B_T_S_MP_1	97	84	48	244	236	211
B_TORRE_S_107	SIGMA_B_T_S_1	93	81	50	253	244	223
B_TORRE_S_107	SIGMA_B_T_S_MM_1	89	87	46	238	236	207
B_TORRE_S_107	SIGMA_B_T_S_PM_1	68	90	53	219	235	209
B_TORRE_S_107	SIGMA_B_T_S_MP_1	69	84	48	230	240	215
B_TORRE_C_1	SIGMA_B_T_C_1	59	65	33	200	204	182
B_TORRE_C_1	SIGMA_B_T_C_MM_1	66	60	39	218	214	199
B_TORRE_C_1	SIGMA_B_T_C_PM_1	56	59	39	208	210	196
B_TORRE_C_1	SIGMA_B_T_C_MP_1	62	64	34	202	204	183
B_TORRE_C_107	SIGMA_B_T_C_1	57	69	38	211	220	198
B_TORRE_C_107	SIGMA_B_T_C_MM_1	62	73	34	205	213	186
B_TORRE_C_107	SIGMA_B_T_C_PM_1	59	73	34	202	212	185
B_TORRE_C_107	SIGMA_B_T_C_MP_1	66	69	38	221	223	202
2_3H_TORRE_S_73	SIGMA_2_3H_T_S_1	150	163	95	361	370	322
2_3H_TORRE_S_73	SIGMA_2_3H_T_S_MM_1	149	159	99	358	365	323
2_3H_TORRE_S_73	SIGMA_2_3H_T_S_PM_1	191	151	96	396	368	330
2_3H_TORRE_S_73	SIGMA_2_3H_T_S_MP_1	202	155	88	407	375	328
2_3H_TORRE_S_179	SIGMA_2_3H_T_S_1	189	142	96	392	359	327
2_3H_TORRE_S_179	SIGMA_2_3H_T_S_MM_1	199	142	87	401	361	323
2_3H_TORRE_S_179	SIGMA_2_3H_T_S_PM_1	148	151	94	354	356	317
2_3H_TORRE_S_179	SIGMA_2_3H_T_S_MP_1	147	151	99	353	356	319
2_3H_TORRE_C_73	SIGMA_2_3H_T_C_1	122	141	82	329	342	301
2_3H_TORRE_C_73	SIGMA_2_3H_T_C_MM_1	127	137	86	331	338	303
2_3H_TORRE_C_73	SIGMA_2_3H_T_C_PM_1	189	143	90	397	364	327
2_3H_TORRE_C_73	SIGMA_2_3H_T_C_MP_1	180	148	86	390	367	324
2_3H_TORRE_C_179	SIGMA_2_3H_T_C_1	189	130	90	392	351	323
2_3H_TORRE_C_179	SIGMA_2_3H_T_C_MM_1	179	130	86	384	349	319
2_3H_TORRE_C_179	SIGMA_2_3H_T_C_PM_1	122	124	82	323	325	296
2_3H_TORRE_C_179	SIGMA_2_3H_T_C_MP_1	127	125	86	327	326	299
B_TORRE_S_1	SIGMA_B_T_S_2	153	45	55	295	219	226
B_TORRE_S_1	SIGMA_B_T_S_MM_2	153	43	41	296	219	217
B_TORRE_S_1	SIGMA_B_T_S_PM_2	165	39	50	309	221	229
B_TORRE_S_1	SIGMA_B_T_S_MP_2	163	39	40	298	212	212
B_TORRE_S_107	SIGMA_B_T_S_2	148	36	49	290	212	221
B_TORRE_S_107	SIGMA_B_T_S_MM_2	145	42	40	281	208	207
B_TORRE_S_107	SIGMA_B_T_S_PM_2	135	47	52	276	215	218

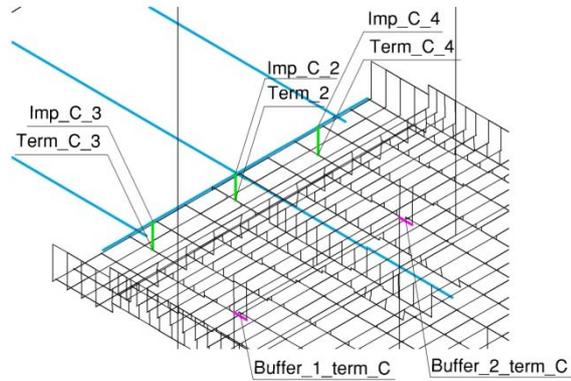
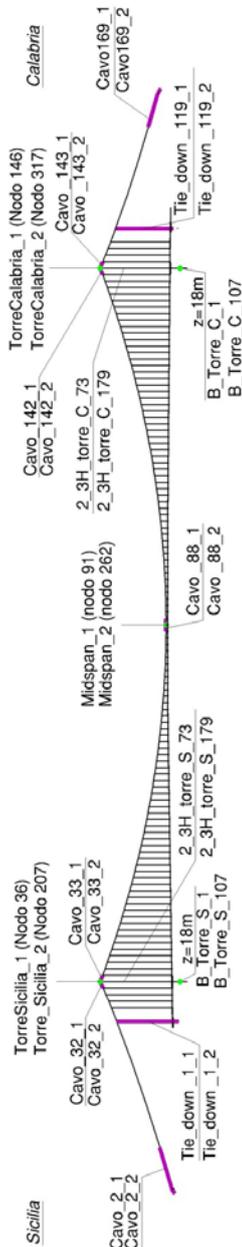
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

B_TORRE_S_107	SIGMA_B_T_S_MP_2	134	41	42	276	211	212
B_TORRE_C_1	SIGMA_B_T_C_2	119	34	38	255	195	198
B_TORRE_C_1	SIGMA_B_T_C_MM_2	126	29	41	266	198	207
B_TORRE_C_1	SIGMA_B_T_C_PM_2	118	27	40	258	194	203
B_TORRE_C_1	SIGMA_B_T_C_MP_2	124	32	38	259	195	200
B_TORRE_C_107	SIGMA_B_T_C_2	118	32	40	259	199	204
B_TORRE_C_107	SIGMA_B_T_C_MM_2	124	37	39	261	200	201
B_TORRE_C_107	SIGMA_B_T_C_PM_2	119	36	38	256	197	199
B_TORRE_C_107	SIGMA_B_T_C_MP_2	126	33	40	267	203	208
2_3H_TORRE_S_73	SIGMA_2_3H_T_S_2	161	83	56	336	281	262
2_3H_TORRE_S_73	SIGMA_2_3H_T_S_MM_2	170	79	54	342	278	261
2_3H_TORRE_S_73	SIGMA_2_3H_T_S_PM_2	200	62	54	367	270	265
2_3H_TORRE_S_73	SIGMA_2_3H_T_S_MP_2	212	66	40	377	274	256
2_3H_TORRE_S_179	SIGMA_2_3H_T_S_2	194	59	54	360	265	261
2_3H_TORRE_S_179	SIGMA_2_3H_T_S_MM_2	206	58	39	368	265	251
2_3H_TORRE_S_179	SIGMA_2_3H_T_S_PM_2	154	77	55	326	272	257
2_3H_TORRE_S_179	SIGMA_2_3H_T_S_MP_2	163	77	54	334	274	258
2_3H_TORRE_C_73	SIGMA_2_3H_T_C_2	141	61	42	312	256	242
2_3H_TORRE_C_73	SIGMA_2_3H_T_C_MM_2	137	57	46	306	250	242
2_3H_TORRE_C_73	SIGMA_2_3H_T_C_PM_2	196	70	52	371	282	270
2_3H_TORRE_C_73	SIGMA_2_3H_T_C_MP_2	187	74	49	364	285	267
2_3H_TORRE_C_179	SIGMA_2_3H_T_C_2	196	65	52	369	277	268
2_3H_TORRE_C_179	SIGMA_2_3H_T_C_MM_2	188	64	49	361	274	264
2_3H_TORRE_C_179	SIGMA_2_3H_T_C_PM_2	142	53	42	310	247	239
2_3H_TORRE_C_179	SIGMA_2_3H_T_C_MP_2	138	54	45	306	247	241

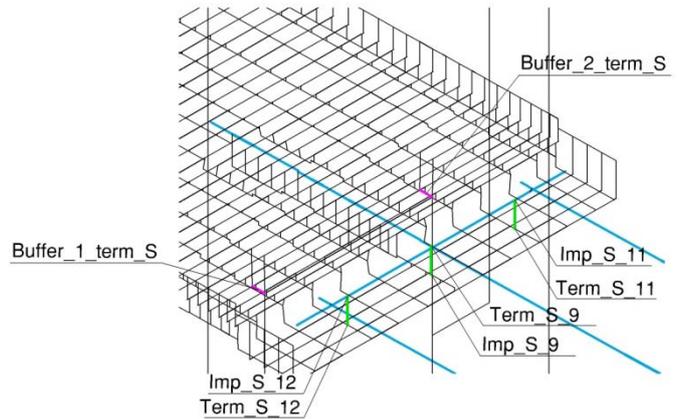
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento <i>PB0026_F0</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>

7.2 Risultati analisi time history

Le figure riportate in Appendice per ciascuna analisi sono elencate a seguire distinte in gruppi di grandezze omogenee. Per favorire la lettura delle figure, ciascun gruppo è preceduto da una breve descrizione dei codici identificativi. Allo stesso modo sono identificate le grandezze riportate nelle tabelle dei max-min. Le stesse sigle sono riportate nelle figura sottostante.



Struttura terminale lato Calabria



Struttura terminale lato Sicilia

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	Codice documento PB0026_F0	Rev F0	Data 20/06/2011	

Momenti alle torri (due zampe sullo stesso grafico)

Moment-S=piano della torre o asse long. Ponte; Moment-T=fuori piano o asse trasv. ponte

B = base torre; 2_3H = 2/3 altezza torre – S = Sicilia; C = Calabria; 1, 73 – no. e.f.

NODAL_MOMENT-S, B_TORRE_S_1
 NODAL_MOMENT-S, B_TORRE_C_1
 NODAL_MOMENT-T, B_TORRE_S_1
 NODAL_MOMENT-T, B_TORRE_C_1
 NODAL_MOMENT-S, B_TORRE_S_1
 NODAL_MOMENT-S, 2_3H_TORRE_S_73
 NODAL_MOMENT-S, 2_3H_TORRE_C_73
 NODAL_MOMENT-T, 2_3H_TORRE_S_73
 NODAL_MOMENT-T, 2_3H_TORRE_C_73

Tiro nei cavi di sospensione (cavo ovest e cavo est sullo stesso grafico)

2 = ancoraggio Sicilia; 169 = ancoraggio Calabria; 32 e 33 = sommità torre Sicilia;

142 e 143 = sommità torre Calabria; 88 = mezzeria

FORCE-R, CAVO_2_1
 FORCE-R, CAVO_169_1
 FORCE-R, CAVO_32_1
 FORCE-R, CAVO_33_1
 FORCE-R, CAVO_142_1
 FORCE-R, CAVO_143_1
 FORCE-R, CAVO_88_1

Forze nelle funi di tie down (funi ovest e funi est sullo stesso grafico)

1 = lato Sicilia; 119 = lato Calabria

FORCE-R, TIE_DOWN_1_1
 FORCE-R, TIE_DOWN_119_1

Forze nei buffer

1 = buffer alla torre; 3 = buffer crociera; 1_Term = buffer su struttura terminale

S = lato Sicilia; C = lato Calabria

FORCE-R, BUFFER_1_TORRE_S
 FORCE-R, BUFFER_1_TORRE_C

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

FORCE-R, BUFFER_3_TORRE_S

FORCE-R, BUFFER_3_TORRE_C

FORCE-R, BUFFER_1_TERM_S

FORCE-R, BUFFER_1_TERM_C

Spostamenti (lato est e lato ovest sullo stesso grafico)

X, Y e Z = spostamento direzione longitudinale, trasversale e verticale

TorreSicilia e TorreCalabria = sommità torre, 2_3_Torre = 2/3 H torre

Midspace = mezzeria cavo;

X-DISPLACEMENT, TORRESICILIA_1

X-DISPLACEMENT, TORRECALABRIA_1

Y-DISPLACEMENT, TORRESICILIA_1

Y-DISPLACEMENT, TORRECALABRIA_1

Z-DISPLACEMENT, TORRESICILIA_1

Z-DISPLACEMENT, TORRECALABRIA_1

X-DISPLACEMENT, 2_3_TORRE_S_1

X-DISPLACEMENT, 2_3_TORRE_C_1

Y-DISPLACEMENT, 2_3_TORRE_S_1

Y-DISPLACEMENT, 2_3_TORRE_C_1

X-DISPLACEMENT, MIDSPAN_1

Y-DISPLACEMENT, MIDSPAN_1

Z-DISPLACEMENT, MIDSPAN_1

Spostamenti longitudinali (struttura terminale e impalcato sospeso sullo stesso grafico)

S = lato Sicilia, C = lato Calabria; 9-10-11 e 1-2-3 = cassone strad. ovest, est e cassone ferr.

X-DISPLACEMENT, IMP_S_9

X-DISPLACEMENT, IMP_S_10

X-DISPLACEMENT, IMP_S_11

X-DISPLACEMENT, IMP_C_1

X-DISPLACEMENT, IMP_C_2

X-DISPLACEMENT, IMP_C_3

Spostamenti relativi nei giunti tra l'impalcato sospeso e la struttura terminale

S = lato Sicilia, C = lato Calabria; 9-10-11 e 1-2-3 = cassone strad. ovest, est e cassone ferr.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Spostamento giunto (m) IMP_S_9
Spostamento giunto (m) IMP_S_10
Spostamento giunto (m) IMP_S_11
Spostamento giunto (m) IMP_C_1
Spostamento giunto (m) IMP_C_2
Spostamento giunto (m) IMP_C_3

Diagramma forza spostamento nei buffer

1 = buffer alla torre; 3 = buffer crociera; 1_Term = buffer su struttura terminale

S = lato Sicilia; C = lato Calabria

FORCE-R, BUFFER_1_TORRE_S
FORCE-R, BUFFER_1_TORRE_C
FORCE-R, BUFFER_3_TORRE_S
FORCE-R, BUFFER_3_TORRE_C
FORCE-R, BUFFER_1_TERM_S
FORCE-R, BUFFER_1_TERM_C

Tensioni – Rif. Fig. cap.5 che mostra i punti di calcolo per la sezione tipo di torre

TENSIONI_BASE_TORRE_SICILIA_LATI_OVEST_N1
TENSIONI_BASE_TORRE_SICILIA_LATI_OVEST_N2
TENSIONI_BASE_TORRE_SICILIA_LATI_EST_N1
TENSIONI_BASE_TORRE_SICILIA_LATI_EST_N2
TENSIONI_BASE_TORRE_CALABRIA_LATI_OVEST_N1
TENSIONI_BASE_TORRE_CALABRIA_LATI_OVEST_N2
TENSIONI_BASE_TORRE_CALABRIA_LATI_EST_N1
TENSIONI_BASE_TORRE_CALABRIA_LATI_EST_N2
TENSIONI_2_3_H_TORRE_SICILIA_LATI_OVEST_N1
TENSIONI_2_3_H_TORRE_SICILIA_LATI_OVEST_N2
TENSIONI_2_3_H_TORRE_SICILIA_LATI_EST_N1
TENSIONI_2_3_H_TORRE_SICILIA_LATI_EST_N2
TENSIONI_2_3_H_TORRE_CALABRIA_LATI_OVEST_N1
TENSIONI_2_3_H_TORRE_CALABRIA_LATI_OVEST_N2
TENSIONI_2_3_H_TORRE_CALABRIA_LATI_EST_N1
TENSIONI_2_3_H_TORRE_CALABRIA_LATI_EST_N2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

7.3 Sintesi e confronto dei risultati

La sintesi dei risultati è riportata a seguire in forma grafica. Si riportano nell'ordine le seguenti grandezze:

- i momenti (kNm) secondo i due assi principali (s-trasversale e t-longitudinale) delle sezioni di base e a 2/3 di altezza delle torri Sicilia e Calabria (una zampa),
- le tensioni (MPa) nelle sezioni di base e a 2/3 di altezza delle torri nei punti di Figura 7-1,
- le forze (kN) nei buffer alle torri (Sicilia e Calabria) e nelle funi di tie-down (lato Sicilia),
- le forze (kN) e gli spostamenti (m) in direzione longitudinale, trasversale e verticale dei cavi nella mezzeria del ponte.

Per ciascuna grandezza in elenco viene riportato un istogramma che contiene le risposte massime o massime/minime registrate durante l'analisi.

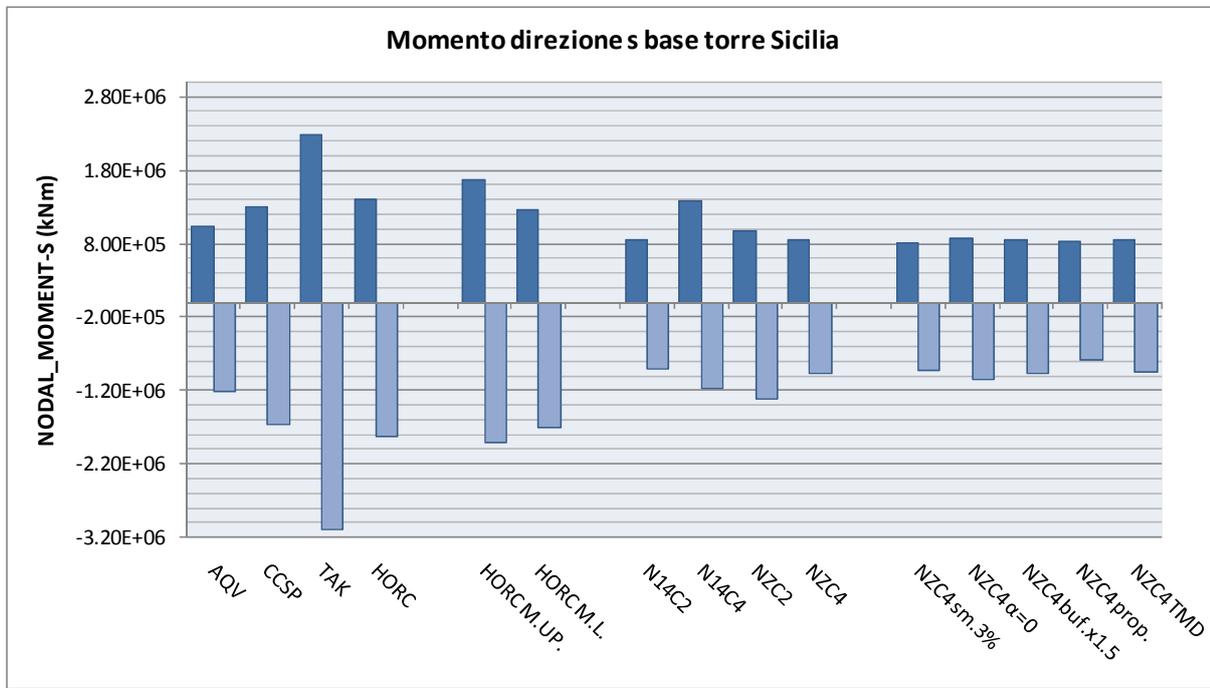
Ciascun istogramma contiene i risultati di tutte le analisi condotte: di base (sismi simulati), di scenario (sismi reali) e di sensibilità. Per semplicità di consultazione ciascun istogramma è diviso in blocchi: il primo blocco contiene i risultati delle analisi di scenario (AQV, CCSP, TAK, HORC), il secondo blocco contiene i risultati delle analisi di sensibilità condotte con i sismi di scenario (HORC M.U. e HORC M.L.), il terzo blocco contiene i risultati delle analisi di base con sismi simulati (N14c2, N14c4, NZc2, NZc4), il quarto blocco contiene i risultati delle analisi di sensibilità condotte con i sismi simulati (NZc4 sm.3%, NZc4 a=0, NZc4 buf.x1.5, NZc4prop., NZc4TMD). Per il significato delle sigle si rimanda alla tabella ad inizio capitolo.

Gli istogrammi sono costruiti utilizzando la stessa scala per grandezze omogenee per consentire un raffronto diretto. La scala delle tensioni è stata posta a 400 MPa compatibile con acciai del tipo S460 ML come previsti nel progetto per le torri.

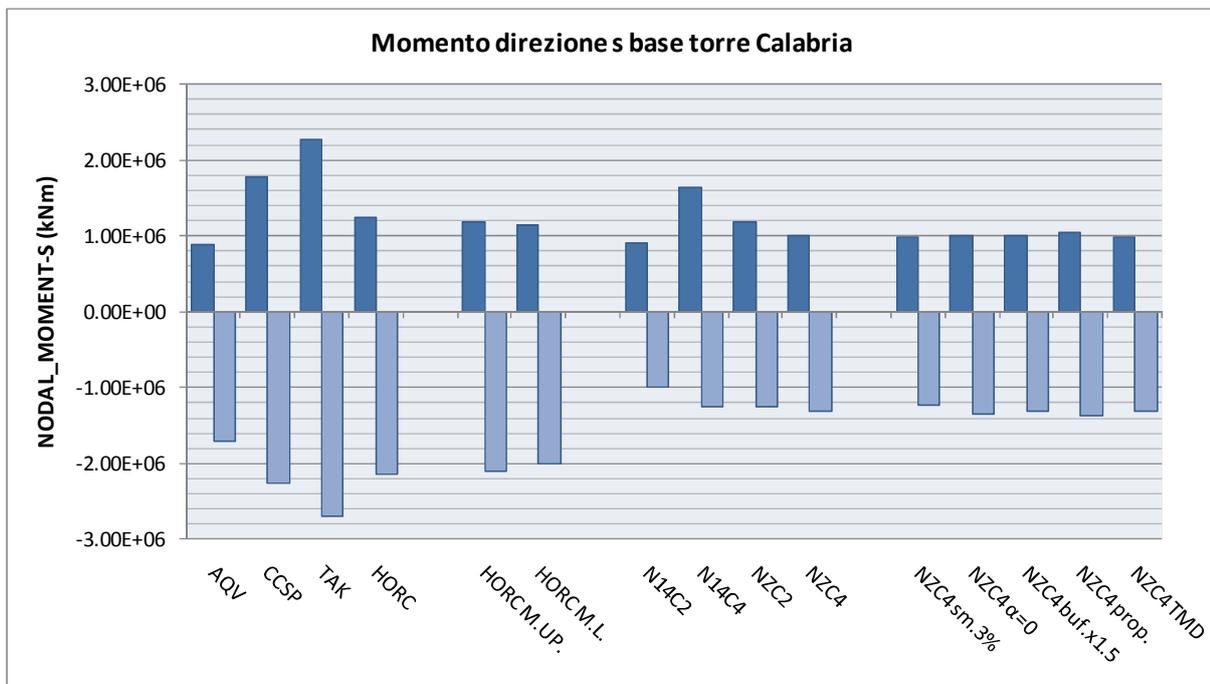
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

L'analisi degli istogrammi consente di concludere quanto segue:

- dal confronto dei valori massimi e minimi di ciascun grafico si osserva un comportamento sostanzialmente simmetrico della risposta del ponte, questo con particolare riguardo ai buffer alle torri;
- i sismi di scenario sono mediamente più severi dei sismi simulati; questa considerazione si applica per i momenti alle torri e in forma più debole per le tensioni di calcolo alle torri;
- nel caso dei buffer (forze) l'impegno del dispositivo risulta sostanzialmente simile per i due tipi di sismi simulati o reali;
- l'analisi spettrale con spettro di Specifiche Tecniche e spettro di Normativa mostra che il primo è decisamente più severo almeno per quanto riguarda i momenti alle torri con coefficienti di incremento tra 1.4 e 2.1;
- sempre con riferimento ai momenti alle torri, lo spettro di Normativa da effetti superiori o uguali a quelli dovuti ai sismi simulati, mentre non sempre copre quelli dovuti ai sismi di scenario; al contrario lo spettro di Specifiche Tecniche risulta sempre dimensionante ed in qualche caso anche largamente per tutti i sismi, sia di scenario che simulati;
- in termini tensionali i massimi dovuti ai sismi simulati sono di poco superiori a 200 MPa; quelli dovuti ai sismi di scenario raggiungono vanno da un minimo paragonabile ai valori per sismi simulati ad un massimo dell'ordine di 350 MPa (sezione a 2/3H); i massimi dovuti allo spettro di Specifiche Tecniche si collocano attorno a 400 MPa;
- le analisi di sensibilità mostrano una certa robustezza del modello alla variazione dei parametri; per tutti i casi considerati non si osservano variazioni significative di risposta al variare dei parametri;
- la presenza dei TMD non sembra modificare in modo sostanziale la risposta dinamica delle torri;
- la sollecitazione delle funi di tie-down appare decisamente più regolare per i sismi simulati rispetto a quelli reali.

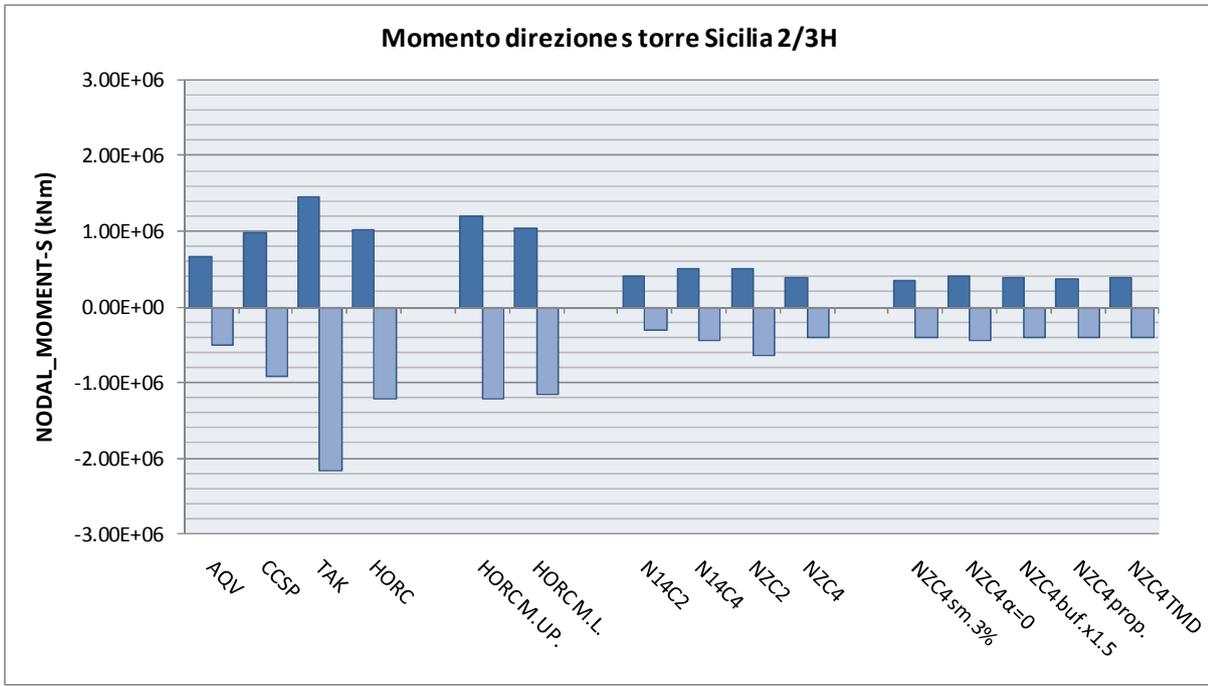


Spettro NTC2008 = $2.11 \cdot 10^6$ kNm, Spettro SP2010 = $3.29 \cdot 10^6$ kNm

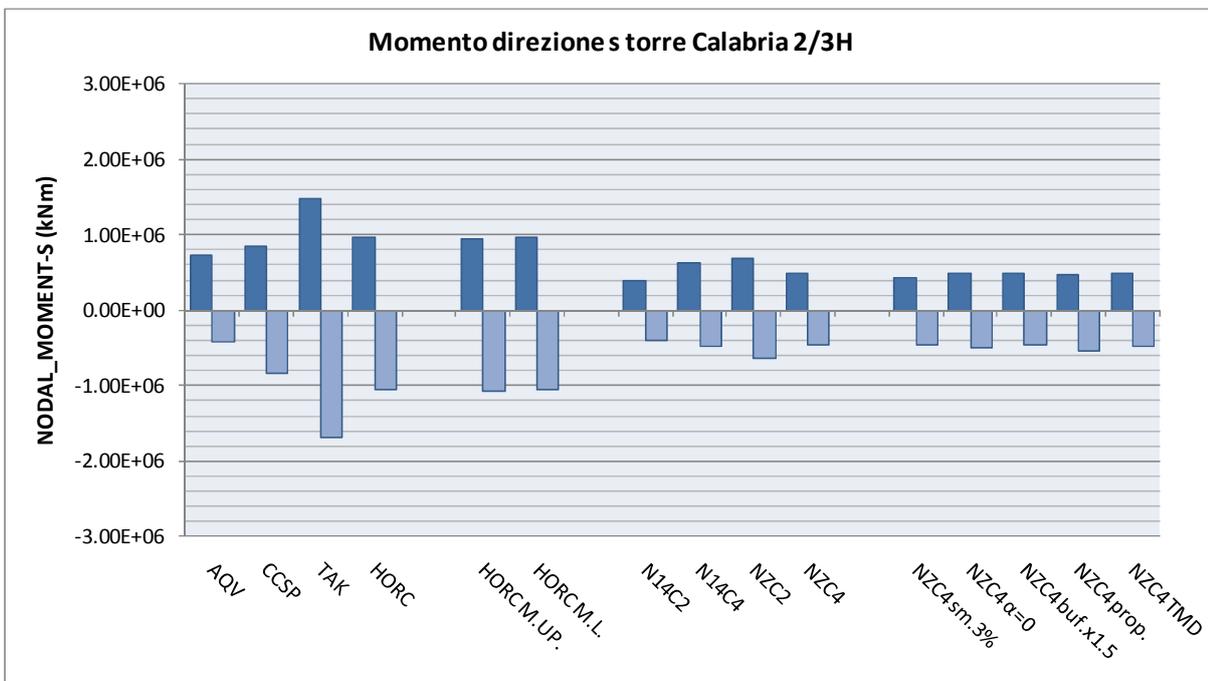


Spettro NTC2008 = $1.54 \cdot 10^6$ kNm, Spettro SP2010 = $2.15 \cdot 10^6$ kNm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica		Codice documento <i>PB0026_F0</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20/06/2011</i>

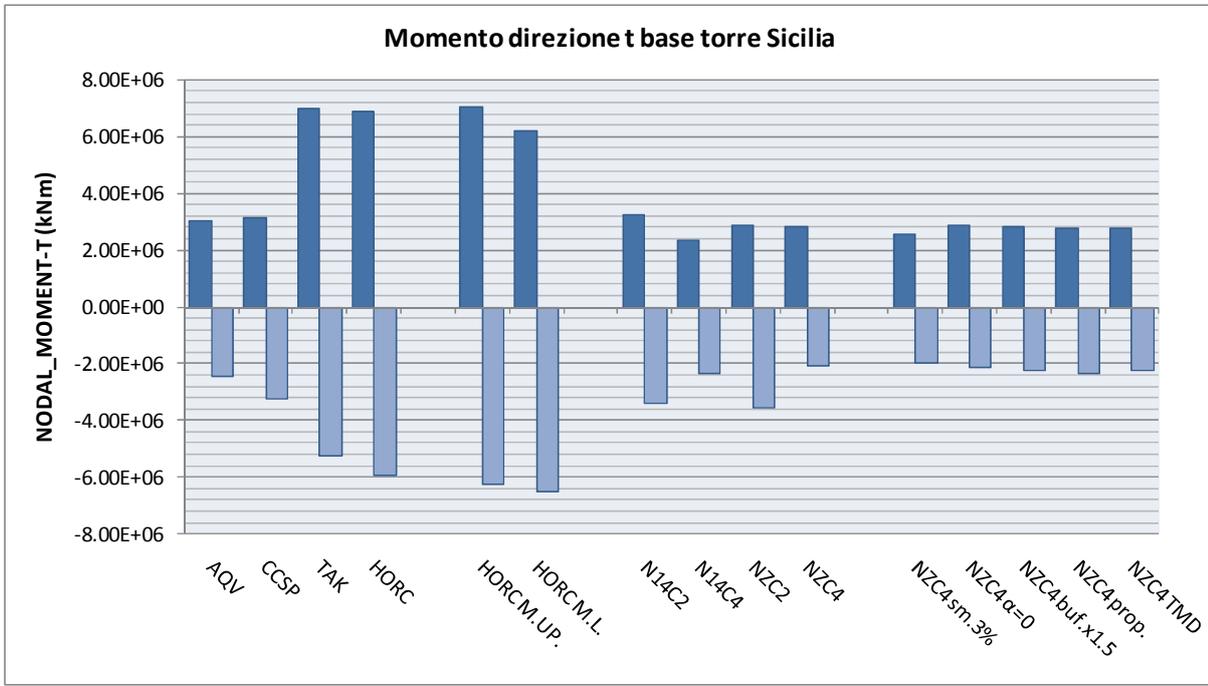


Spettro NTC2008 = $2.45 \cdot 10^6$ kNm, Spettro SP2010 = $5.01 \cdot 10^6$ kNm

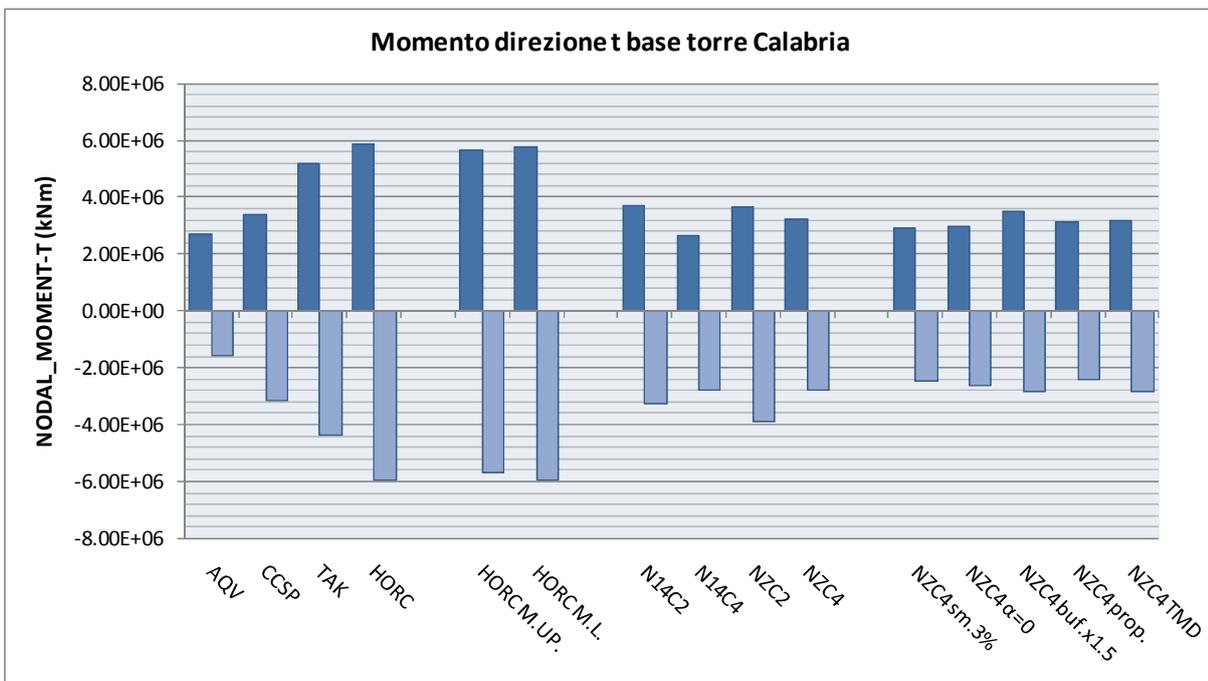


Spettro NTC2008 = $1.99 \cdot 10^6$ kNm, Spettro SP2010 = $4.11 \cdot 10^6$ kNm

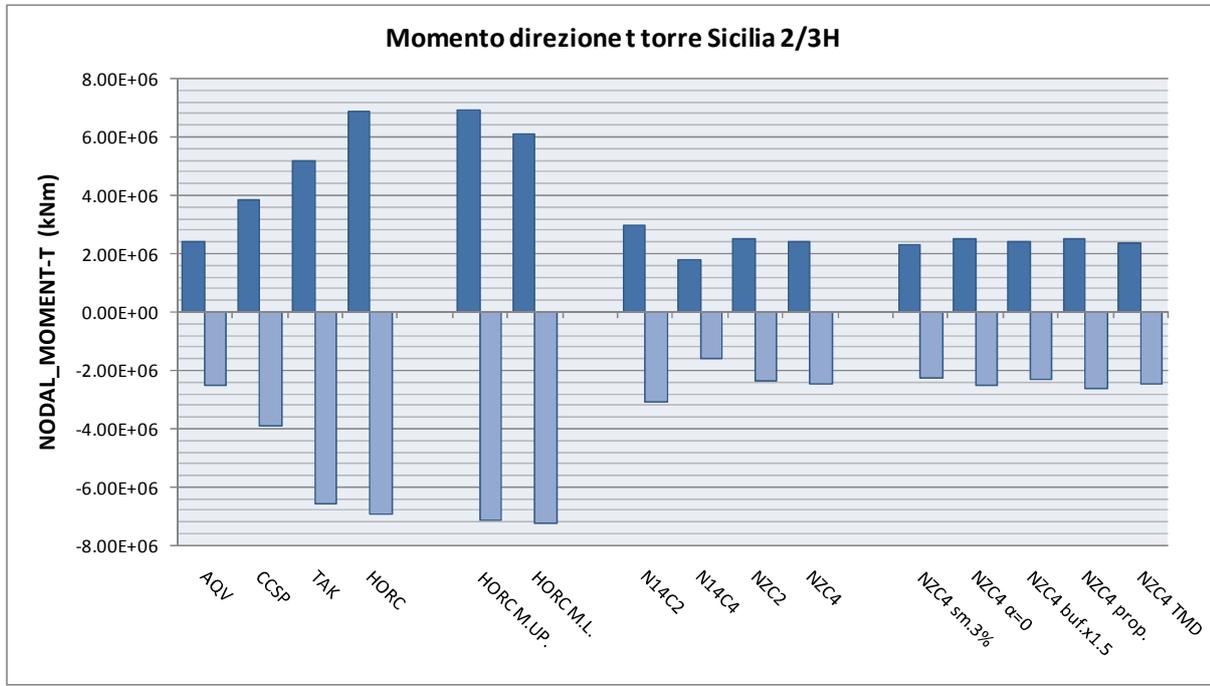
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica		Codice documento PB0026_F0	Rev F0	Data 20/06/2011



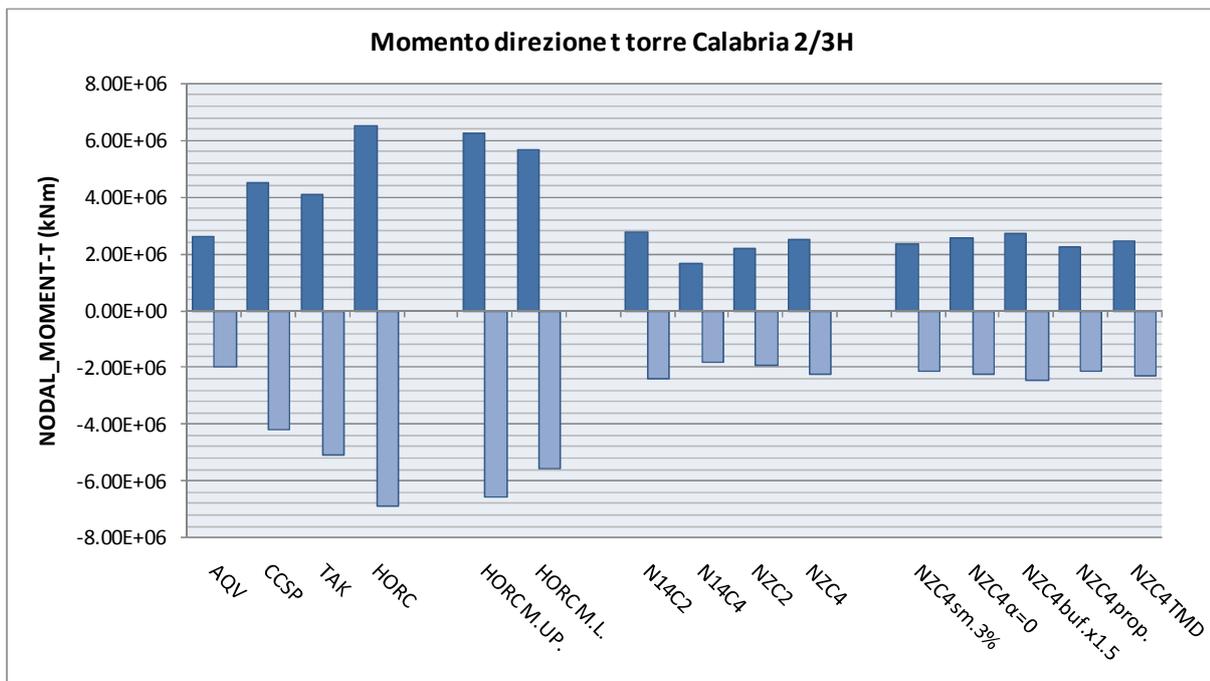
Spettro NTC2008 = $5.84 \cdot 10^6$ kNm, Spettro SP2010 = $7.95 \cdot 10^6$ kNm



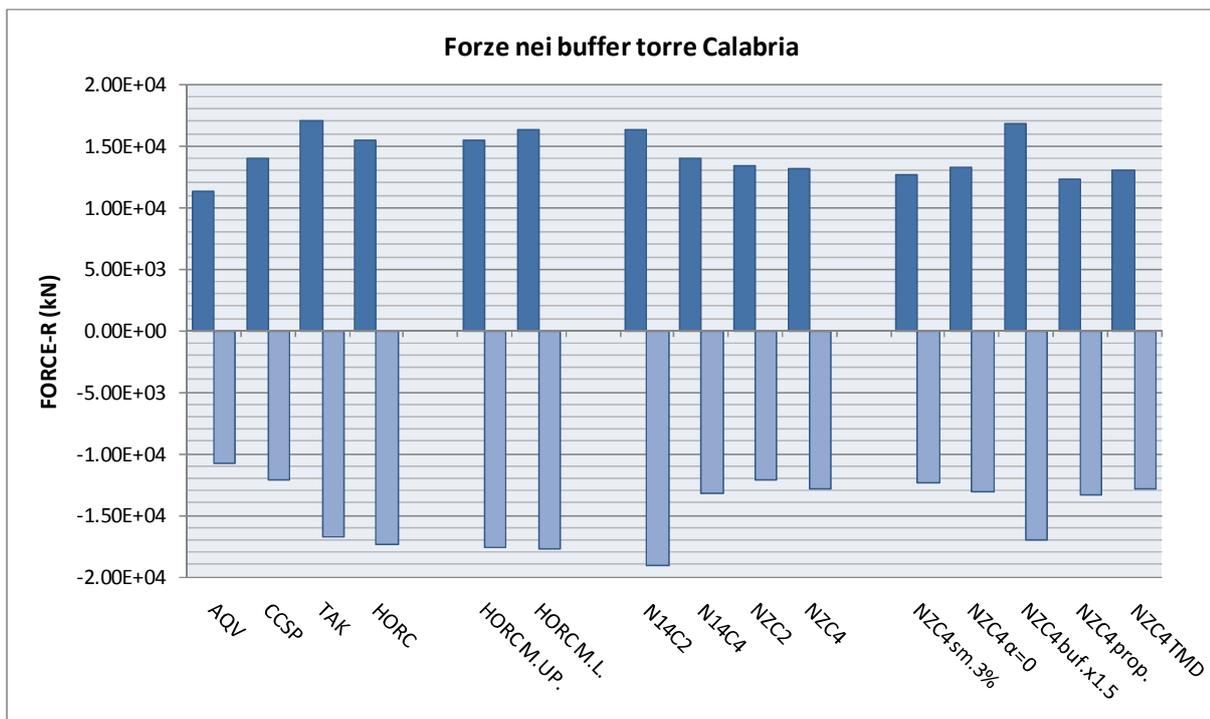
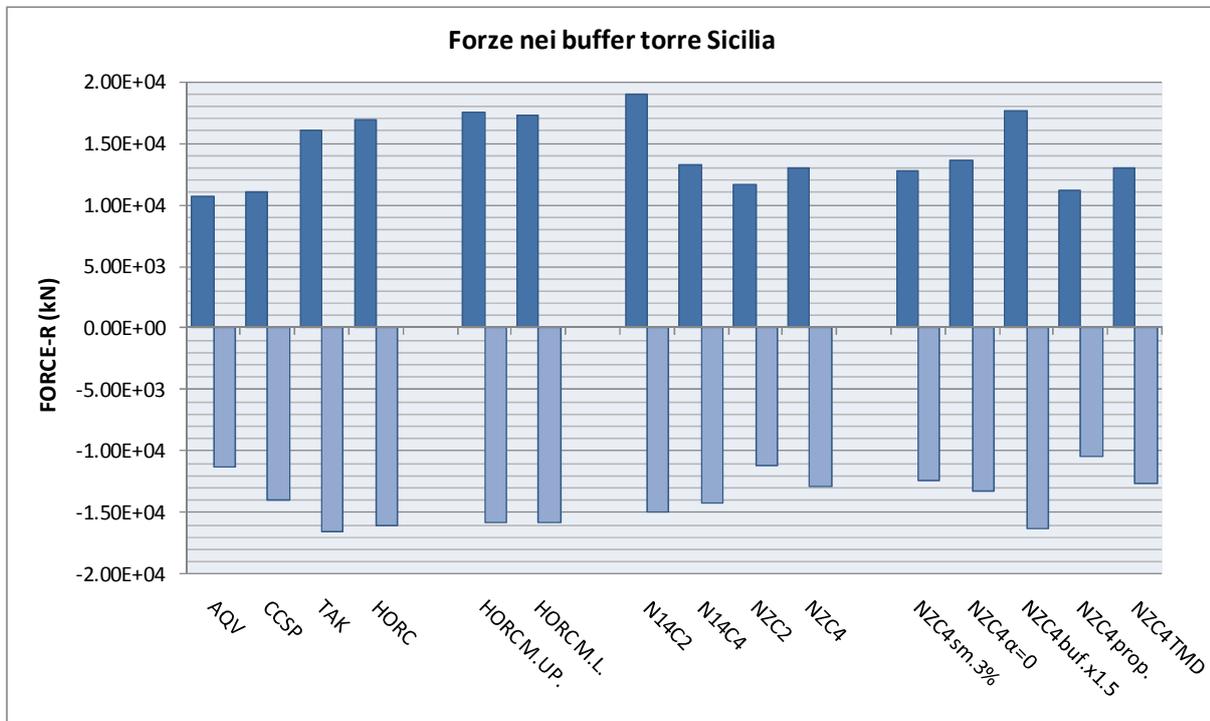
Spettro NTC2008 = $4.11 \cdot 10^6$ kNm, Spettro SP2010 = $5.78 \cdot 10^6$ kNm



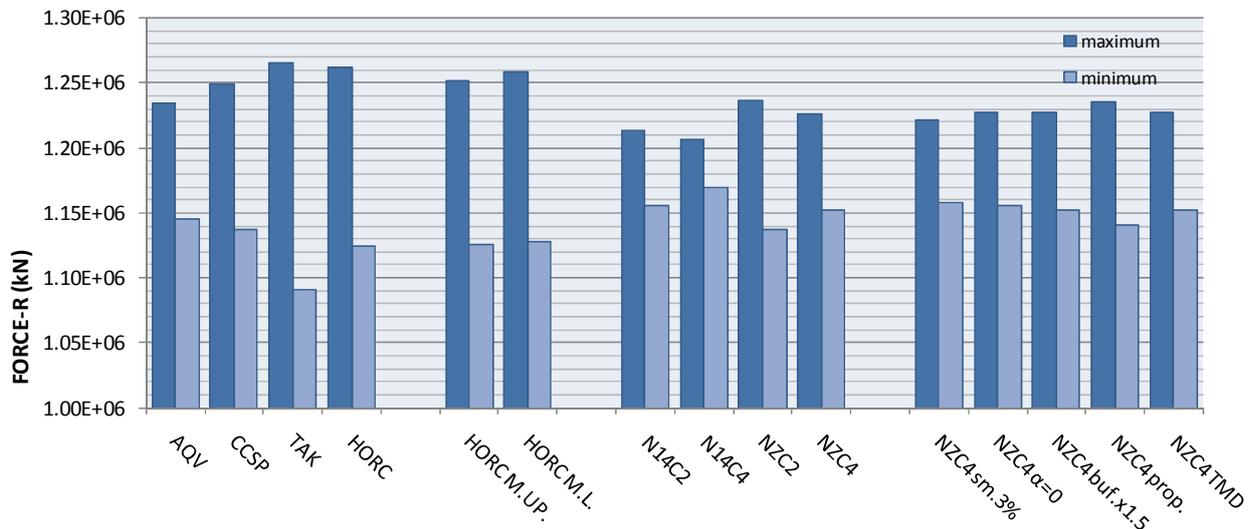
Spettro NTC2008 = $4.80 \cdot 10^6$ kNm, Spettro SP2010 = $6.81 \cdot 10^6$ kNm



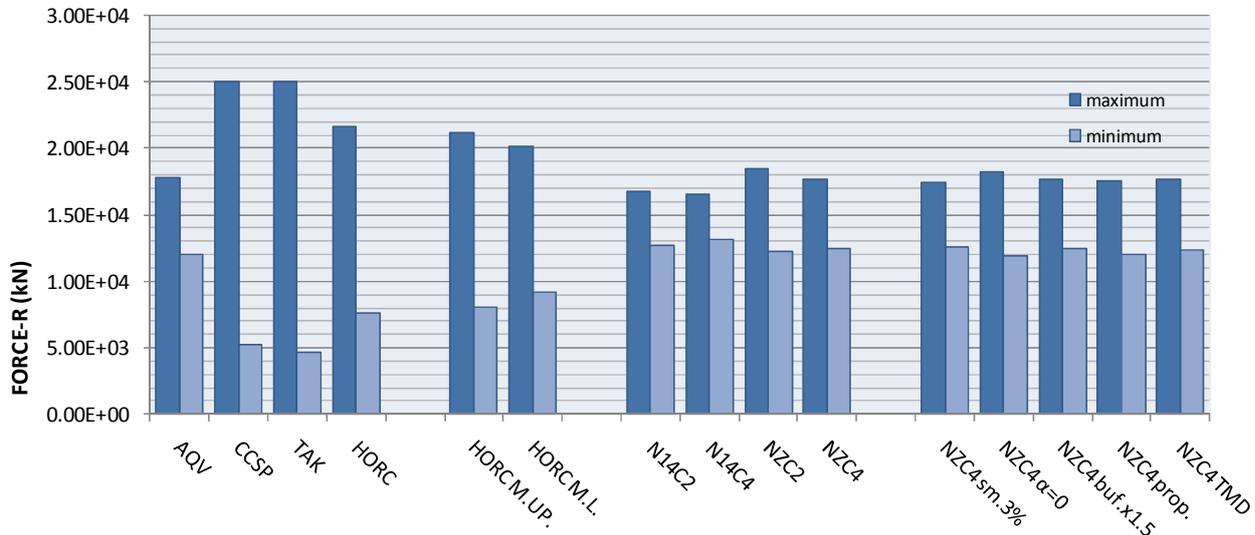
Spettro NTC2008 = $3.83 \cdot 10^6$ kNm, Spettro SP2010 = $6.81 \cdot 10^6$ kNm



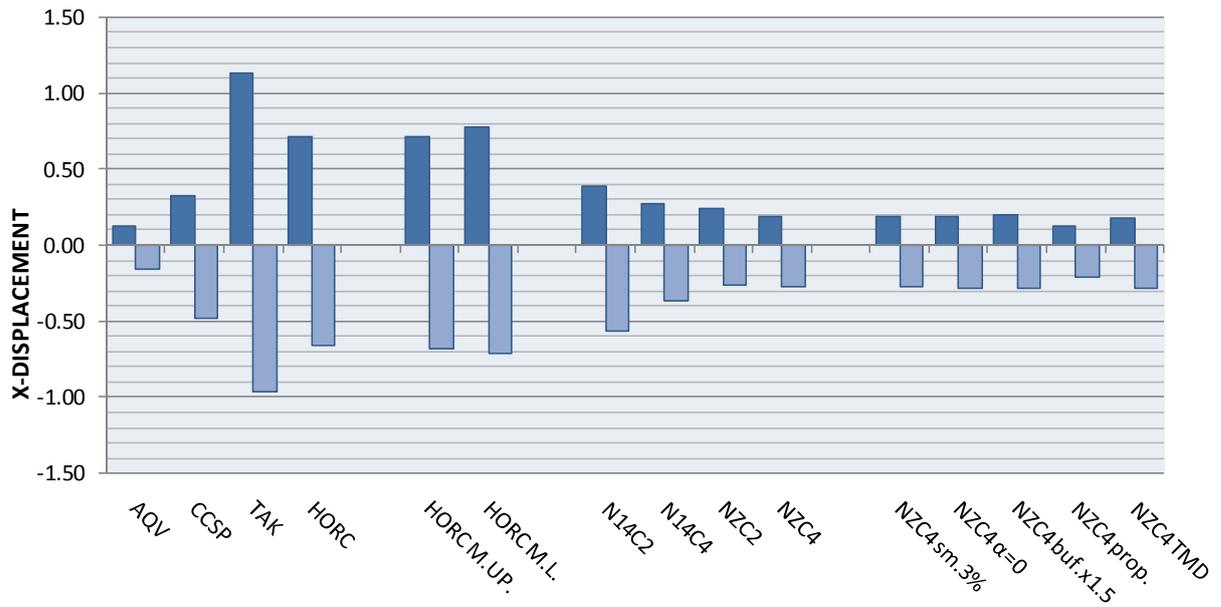
Forze nei cavi in mezzzeria



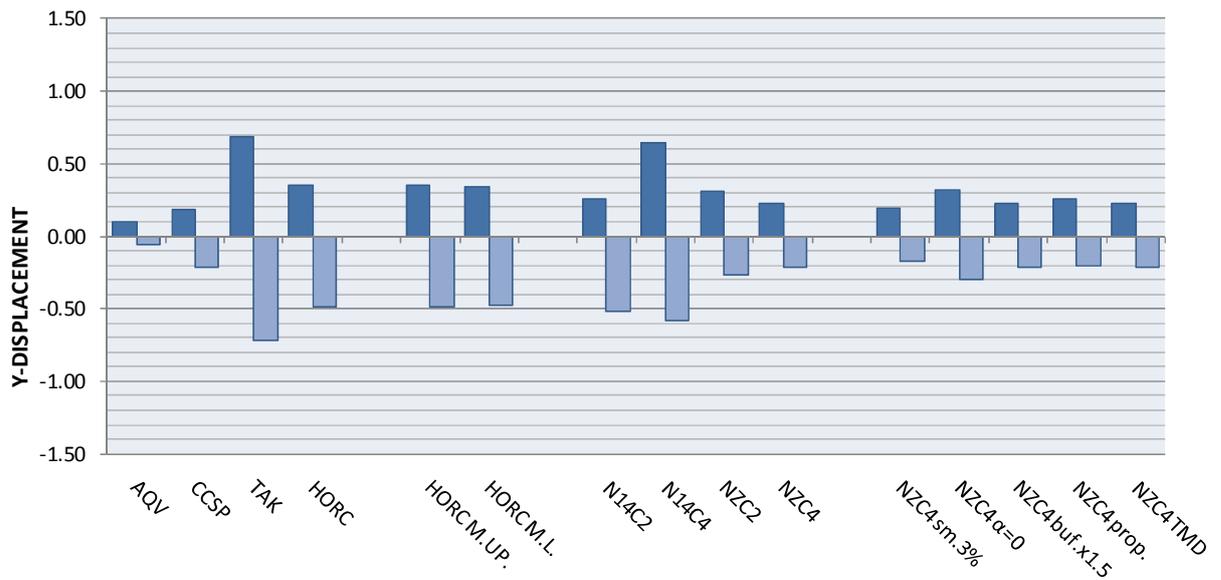
Forza nelle funi di tie-down lato Sicilia



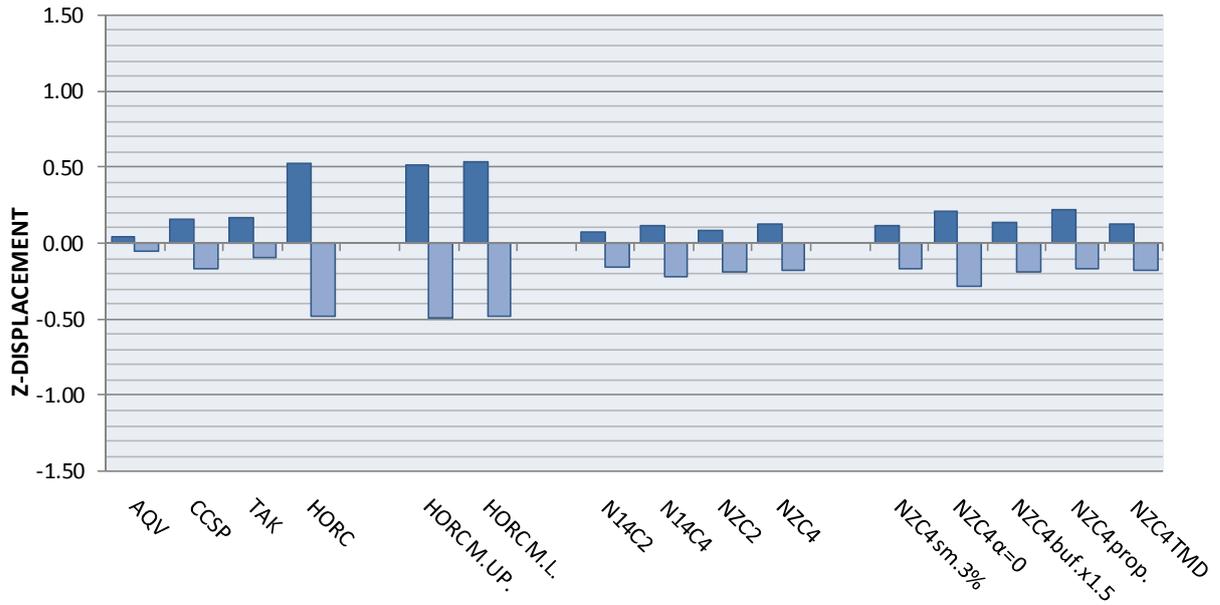
Spostamenti in direzione longitudinale del punto di mezzeria del cavo

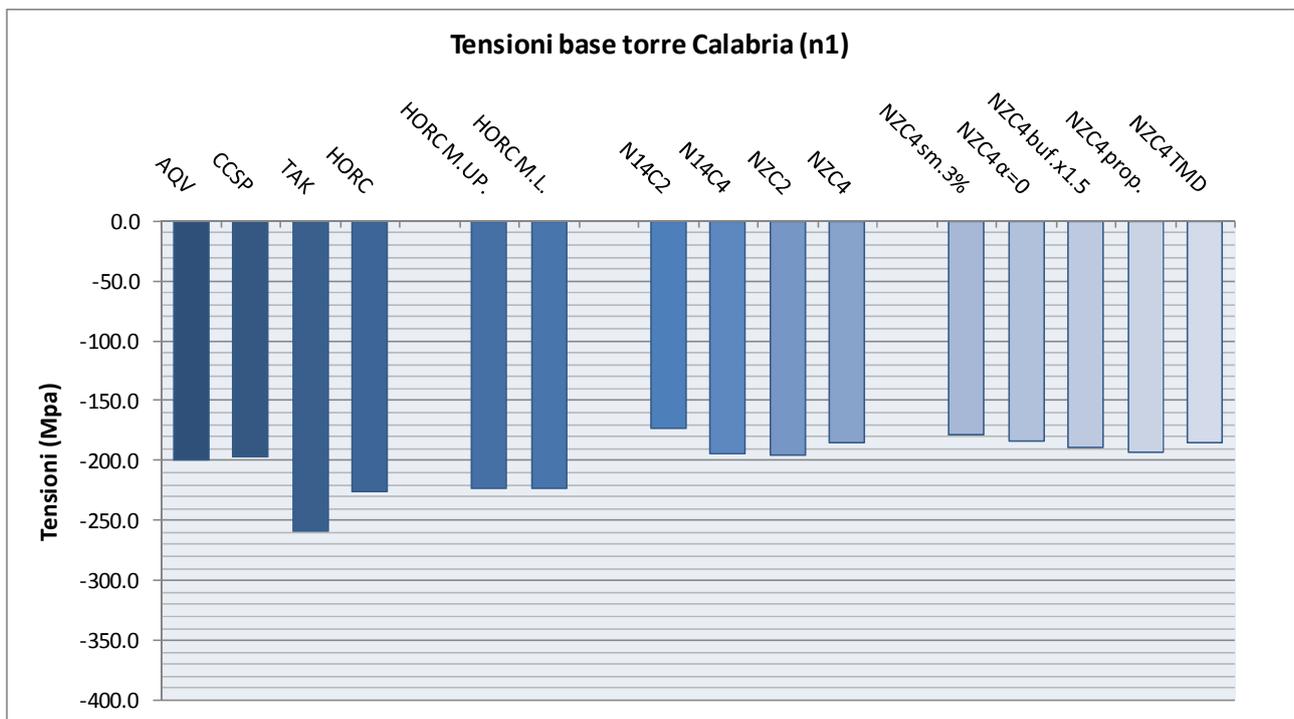
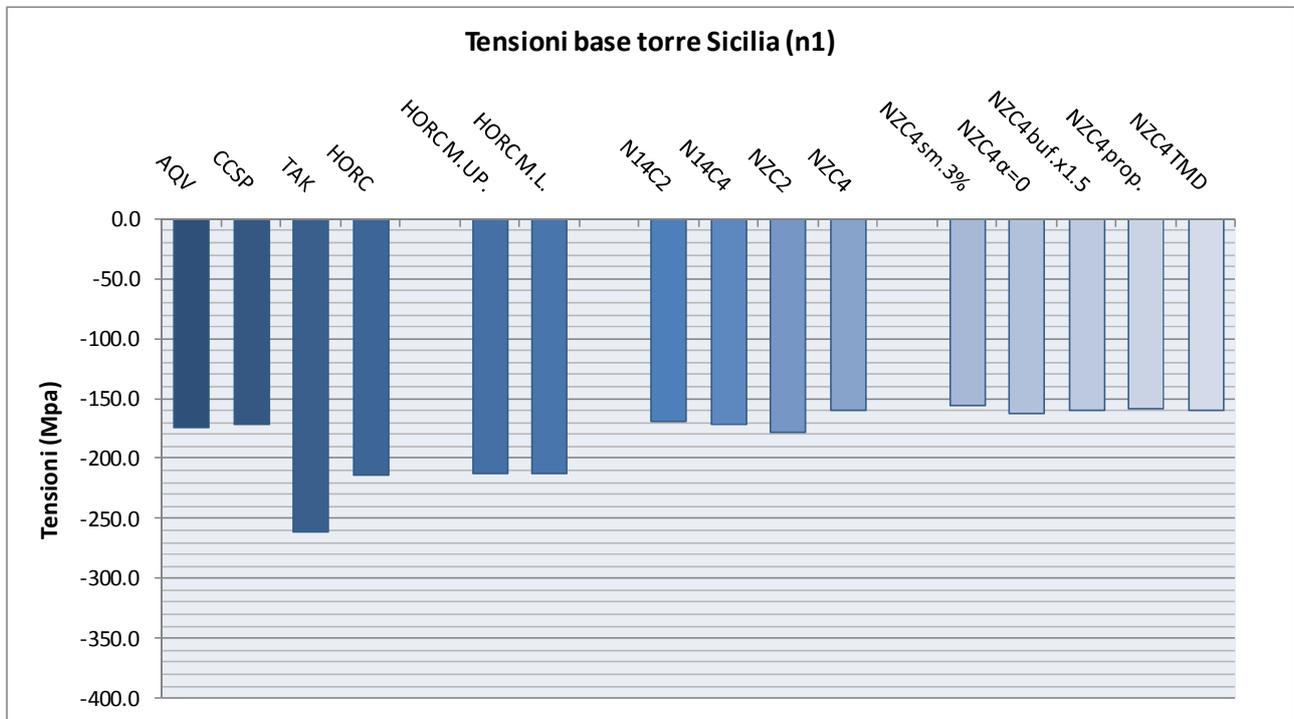


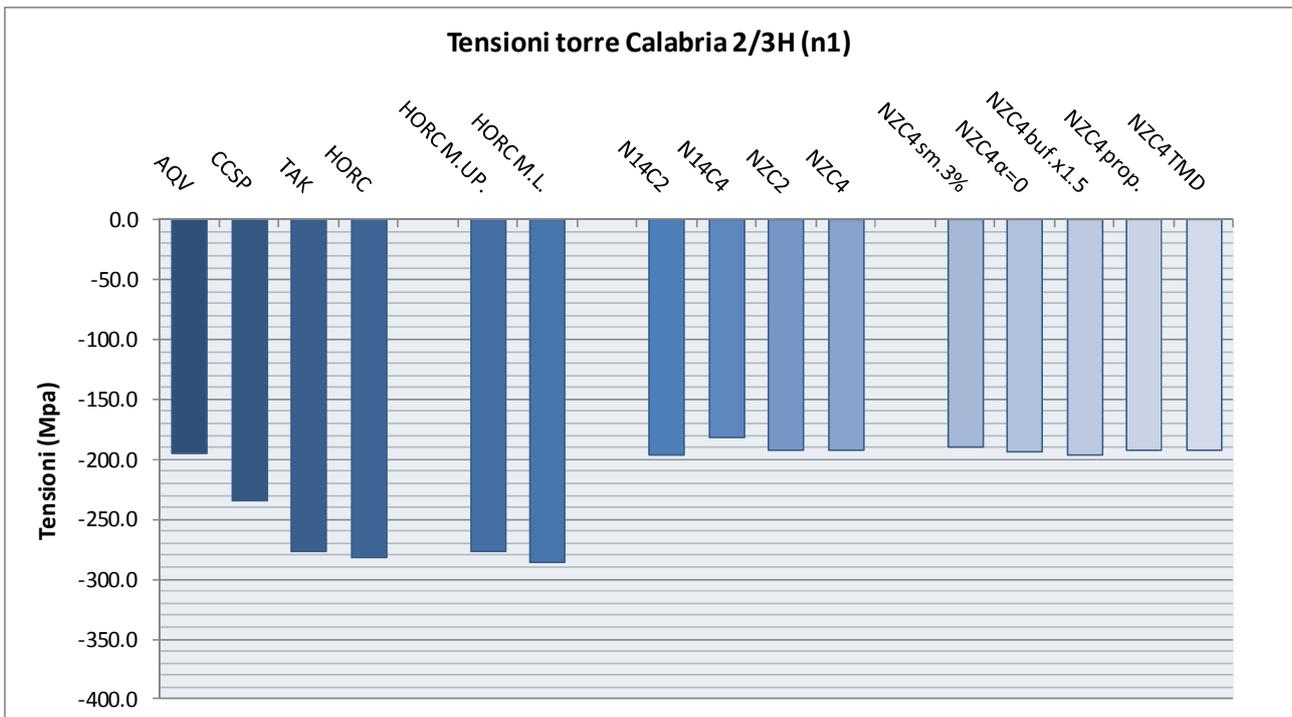
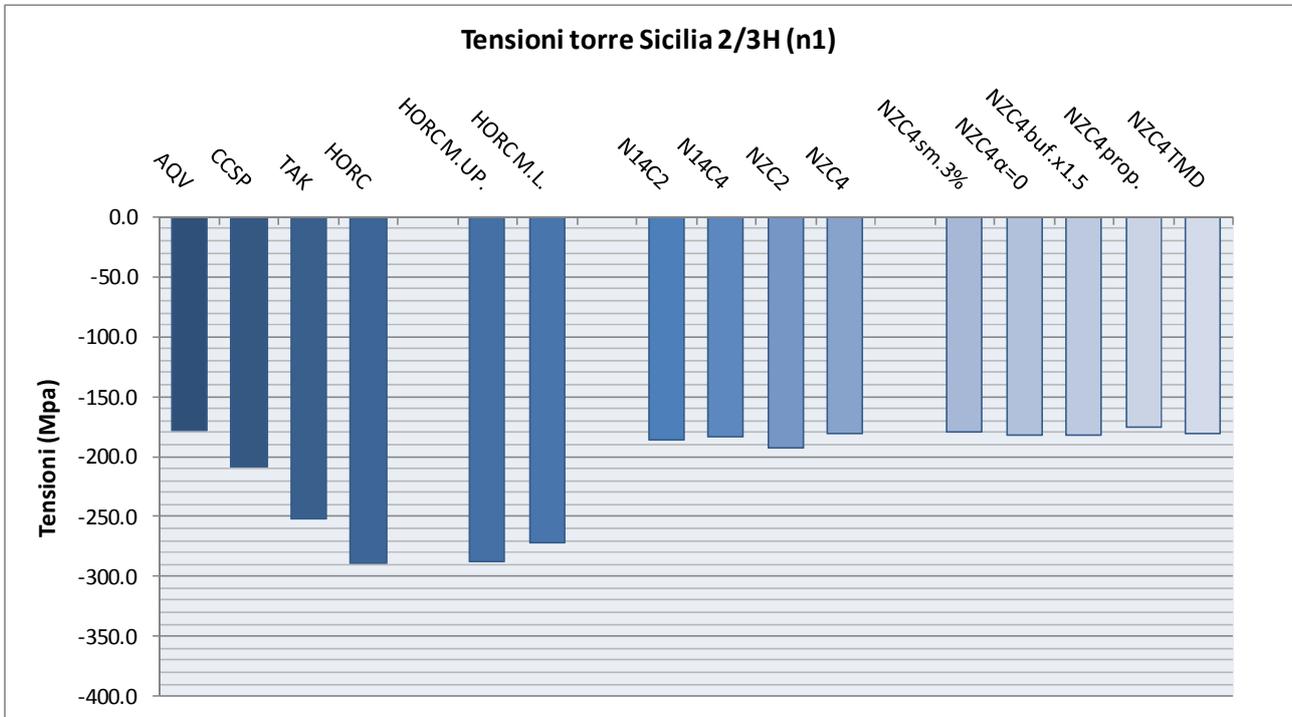
Spostamenti in direzione trasversale del punto di mezzeria del cavo

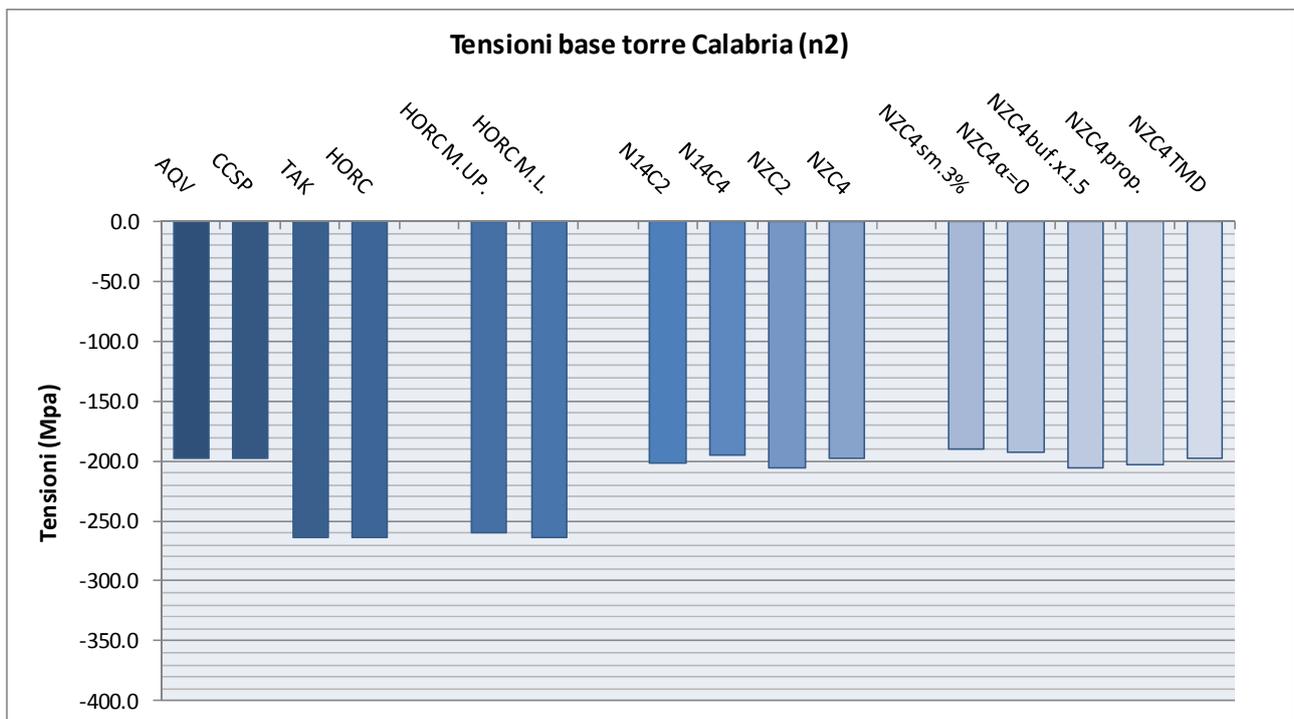
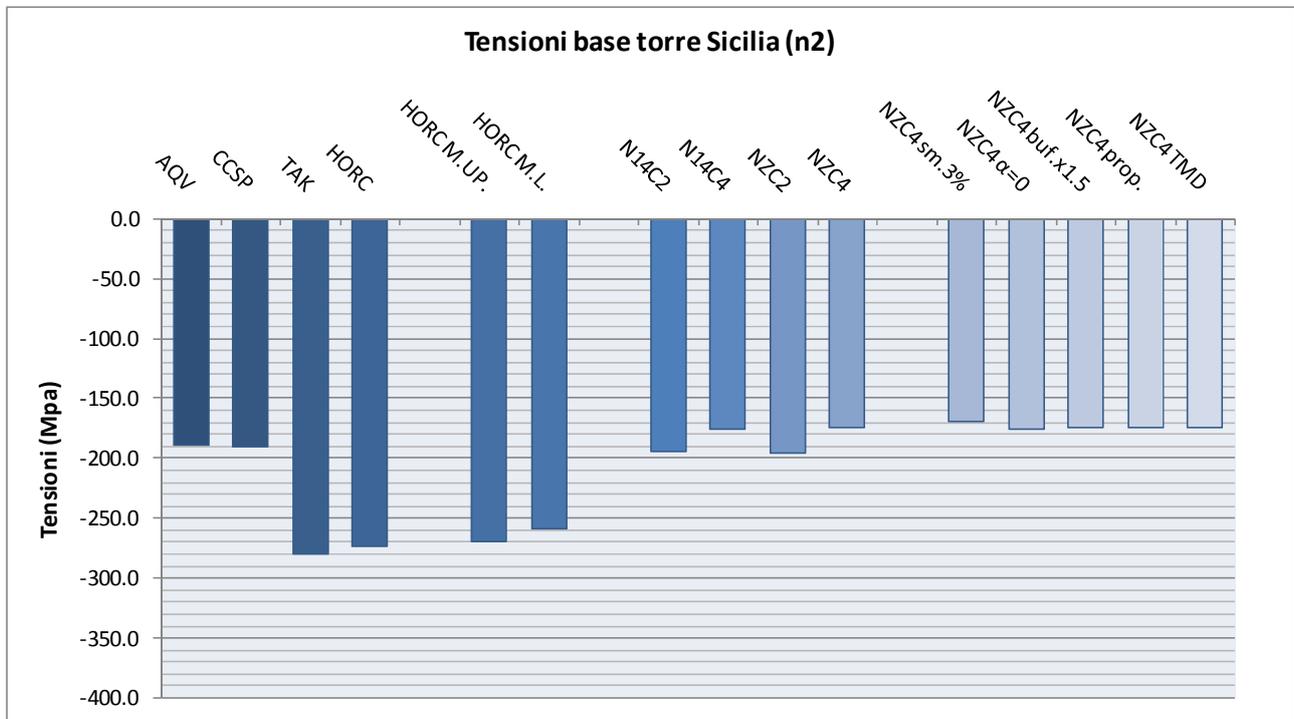


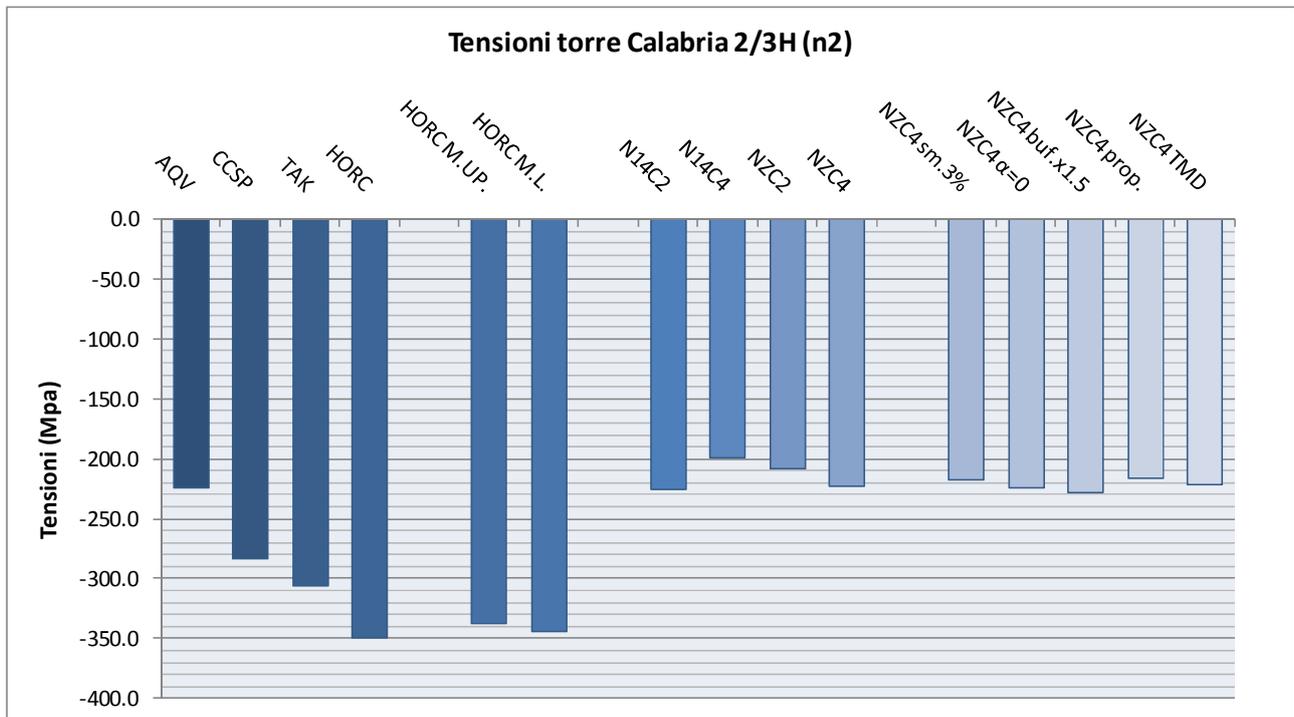
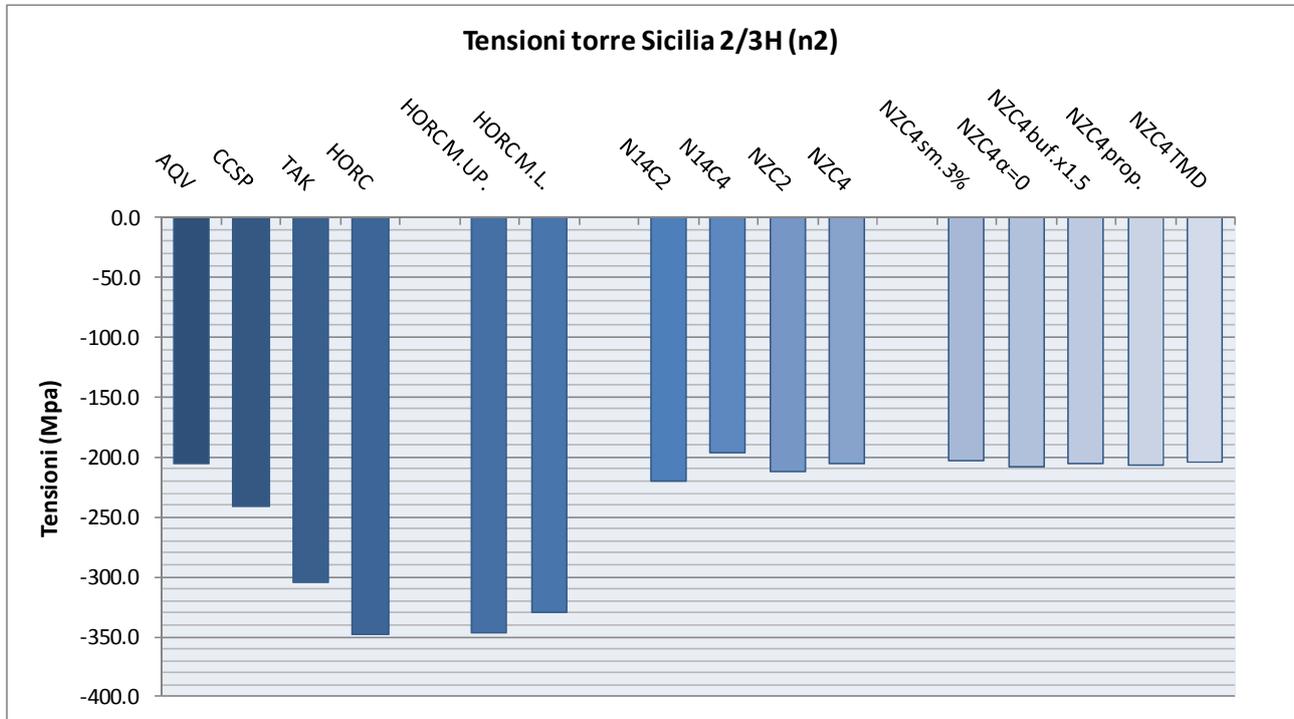
Spostamenti in direzione verticale del punto di mezzeria del cavo











		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

8 Conclusioni

Il modello 3D del ponte con annesse strutture terminali e viadotto Pantano è stato redatto con livello di dettaglio paragonabile al modello impiegato per le analisi di progetto. Tale modello, costruito in via del tutto indipendente, è stato impiegato per l'analisi del comportamento sismico dell'opera. Allo scopo sono state condotte analisi spettrali sia con lo spettro fornito dalle Specifiche Tecniche, sia con lo spettro di Normativa. Entrambi gli spettri sono stati scalati con accelerazioni di ancoraggio omogenee e coerenti rispettivamente con le condizioni SLU (per SP) o SLV (per NTC).

Sono state anche condotte analisi dinamiche per integrazione diretta delle equazioni del moto. In questo caso sono stati considerati sia sismi simulati associabili a condizioni di progetto, sia sismi reali selezionati tra quelli ad elevata pericolosità sismica. I sismi simulati sono stati impiegati per analisi di base e per analisi di sensibilità. I sismi di scenario sono stati impiegati tal quali come registrati.

I sismi simulati corrispondono a sismi reali selezionati da /5/ modificati per convoluzione / deconvoluzione al sito e derivano dalle registrazioni Kocaeli e Darfiled dei terremoti della Turchia 1999 e Nuova Zelanda 2010.

I sismi di scenario riguardano eventi recenti. Tre registrazioni hanno caratteristiche simili in quanto a distanza ipocentrale e caratteristiche medie di sito (suolo B, C), mentre si differenziano per magnitudo, PGA e contenuto spettrale. Tali eventi derivano dalle registrazioni del sisma dell'Aquila 2009 (evento AQV), della Nuova Zelanda 2010 (evento Hororata) e di Kobe in Giappone 1995 (evento Takatori). A parte è stato considerato anche il terremoto del Maule in Chile 2010 poiché presenta magnitudo tra le massime registrate (evento Concepcion Collegio San Pedro).

Le analisi di sensibilità hanno riguardato diverse grandezze che possono avere influenza sulla risposta sismica. Queste sono: (i) l'interazione con il suolo, (ii) lo smorzamento, (iii) la soglia di attivazione dei buffer alle torri, (iv) la velocità di propagazione dell'onda sismica e (v) la eventuale presenza di dispositivi di attenuazione delle vibrazioni (TMD). Le analisi di sensibilità sono state condotte impiegando un unico evento tra quelli considerati.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

I principali risultati ottenuti possono riassumersi come segue:

- le analisi spettrali risultano dimensionanti rispetto ai risultati ottenuti per analisi time history; particolarmente severo appare lo spettro di Specifiche Tecniche;
- le analisi di sensibilità non mostrano variazioni significative di risposta sismica rispetto ai valori di base;
- le sollecitazioni dovute ai sismi reali risultano generalmente superiori a quelle dovute ai sismi simulati; in termini tensionali la domanda sismica dovuta ai sismi simulati è pari a circa la metà del limite per la classe di progetto degli acciai delle torri;
- gli spostamenti massimi nei giunti nella condizione peggiore anche sommando i massimi e i minimi non contemporanei non superano gli 80 cm; tale valore arriva a 100 cm nel caso di analisi spettrale;
- nel caso di sismi reali tutti i buffer risultano impegnati oltre la soglia limite elastica.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica	<i>Codice documento</i> PB0026_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

9 Documenti di riferimento

- /1/ Doc. CG1000PRGDPGE00000000002A, Design Basis, Structural , Annex, (2010).
- /2/ DT.ISP.S.I.R2.001 (2004). Storie temporali dell'azione sismica.
- /3/ Norme Tecniche per le Costruzioni, Decreto Ministeriale del 14/1/2008, Suppl. ord. n. 30 alla G.U. n. 29 del 4/2/2008.
- /4/ Eurocode 8, 1998-2 (2005). Design of structures for earthquake resistance design Part 2: Bridges.
- /5/ Documento prof. Braga (22.6.2010). Studio delle azioni sismiche di progetto per l'opera di attraversamento.
- /6/ Doc. CG1003-PCLDPCGS4-0000000001-A "Equivalent stiffness matrices for the soil-foundation system, Annex" rev. A02 4-10-2010.
- /7/ Doc. DT.ISP.S.E.R1.001 (2004) "Approfondimenti relativi al terremoto di progetto per l'opera di attraversamento"