

PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO DEFINITIVO

EUROLINK S.C.p.A.

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

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

<p><i>Unità Funzionale</i> <i>Tipo di sistema</i> <i>Raggruppamento di opere/attività</i> <i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> <i>Titolo del documento</i></p>	<p>OPERA DI ATTRAVERSAMENTO SISTEMI SECONDARI ARTICOLAZIONI Generale Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali</p>	<p>PS0187_F0</p>
---	--	-------------------------

CODICE	C G 1 0 0 0 P C L D P S S A 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 F0
--------	--

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20-06-2011	EMMISSIONE FINALE	SYKR/HPJE	SOLA	SOLA

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

INDICE

INDICE.....	3
1 Introduzione.....	5
1.1 Sommario della relazione.....	5
1.2 Disposizione della struttura.....	7
2 Riferimenti per la progettazione.....	8
2.1 Specifiche di progettazione.....	8
2.2 Codici di progettazione.....	8
2.3 Specifiche dei materiali.....	8
2.4 Relazioni complementari.....	9
2.5 Disegni.....	9
3 Materiali.....	10
3.1 Acciaio strutturale.....	10
3.2 Bulloni ad alta resistenza.....	11
3.3 Consumabili per saldatura.....	12
3.4 Cuscinetti autolubrificanti.....	12
4 Principi di progettazione.....	14
4.1 Disposizione generale del sistema di ammortizzazione.....	14
4.2 Modellazione IBDAS.....	15
4.2.1 Output dell'IBDAS.....	15
4.2.2 Analisi dello spettro di risposta sismica.....	16
4.2.3 Analisi della storia temporale sismica.....	17
4.2.4 Analisi della storia temporale sismica con pre-caricamento.....	18
4.2.5 Temperatura.....	18
4.2.6 Output dell'IBDAS utilizzato per la progettazione di ammortizzatori e travi in acciaio....	18
5 Verifiche di progetto.....	19
5.1 Progettazione di travi in acciaio e connessioni.....	19
5.2 Appoggi sferici.....	24
6 Ammortizzatori idraulici.....	25
6.1 Caratteristiche.....	25
6.2 Progettazione concettuale dei sistemi idraulici.....	26
6.2.1 Ammortizzatore D1.....	26

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

6.2.2	Ammortizzatore D2.....	27
6.2.3	Guasto del collegamento idraulico tra le due gambe di torre	29
6.2.3.1	Perdita lenta di olio.....	30
6.2.3.2	Forte perdita di pressione	30
6.2.3.3	Effetti sulle strutture	30
6.3	Comportamento degli ammortizzatori.....	32
6.3.1	Ammortizzatore D1.....	32
6.3.2	Ammortizzatore D2.....	33
6.4	Movimento	37
7	Travata ferroviaria sulla struttura terminale	37
	Appendice 1 - Calcoli dettagliati per gli elementi strutturali	39
1	Collegamento trasversale	39
1.1	Collegamento al nodo centrale.....	39
1.2	Disposizione degli ammortizzatori	39
1.3	Collegamento alla torre	39
1.4	Dispositivo telescopico	39
2	Collegamenti longitudinali.....	39
2.1	Collegamento al nodo centrale.....	39
2.2	Collegamenti a trasversi / impalcato sospeso	40
3	Collegamento verticale all'impalcato ferroviario	40
3.1	Elemento strutturale principale	40
3.2	Piastre con occhielli.....	40
3.3	Perni	40
3.4	Appoggi	40
	Appendice 2 - Sistema di buffer idraulici longitudinali, Progetto concettuale.....	41

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

1 Introduzione

La presente relazione descrive la progettazione dei seguenti elementi strutturali del sistema di ammortizzazione:

- Sistema longitudinale e trasversale di dispositivi che impedisce i movimenti in condizioni di esercizio normali e permette i movimenti, consentendo di dissipare energia, in condizioni di carico severo, come in caso di terremoto.
- Comportamento e caratteristiche degli ammortizzatori idraulici,
- Incastro della struttura terminale.

La progettazione è basata sui principi illustrati nella fase di Gara e di Progetto Definitivo.

Si è ritenuto vantaggioso apportare modifiche al progetto di disposizione del collegamento trasversale e degli ammortizzatori in modo che il peso proprio della trave trasversale non sia sostenuto dagli ammortizzatori con il rischio di perdite d'olio.

I calcoli sono effettuati utilizzando un modello FE globale con l'output per:

- Forze interne di tutti gli elementi in acciaio sotto forma di analisi statica,
- Forze interne di tutti gli elementi in acciaio sotto forma di analisi della storia temporale,
- Spostamenti negli ammortizzatori sotto forma di analisi statica,
- Caratteristiche degli ammortizzatori idraulici.

1.1 Sommario della relazione

La presente relazione è formata dalle seguenti sezioni:

- Sezione 1, che contiene la presente introduzione,
- Sezione 2, che fornisce un elenco dei materiali di riferimento, comprese le specifiche di progetto, i codici di progetto, le specifiche dei materiali e i disegni di riferimento,
- Sezione 3, che fornisce le descrizioni dei materiali utilizzati per ciascun componente,
- Sezione 4, che descrive i principi di progettazione adottati,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

- Sezione 5, che contiene una sintesi delle verifiche di progetto,
- Sezione 6, che contiene la descrizione del comportamento e delle caratteristiche degli ammortizzatori idraulici,
- Sezione 7, che contiene la descrizione dell'incastro sulla struttura terminale.

Nelle Appendici sono riportate le verifiche dettagliate del progetto.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali		<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

1.2 Disposizione della struttura

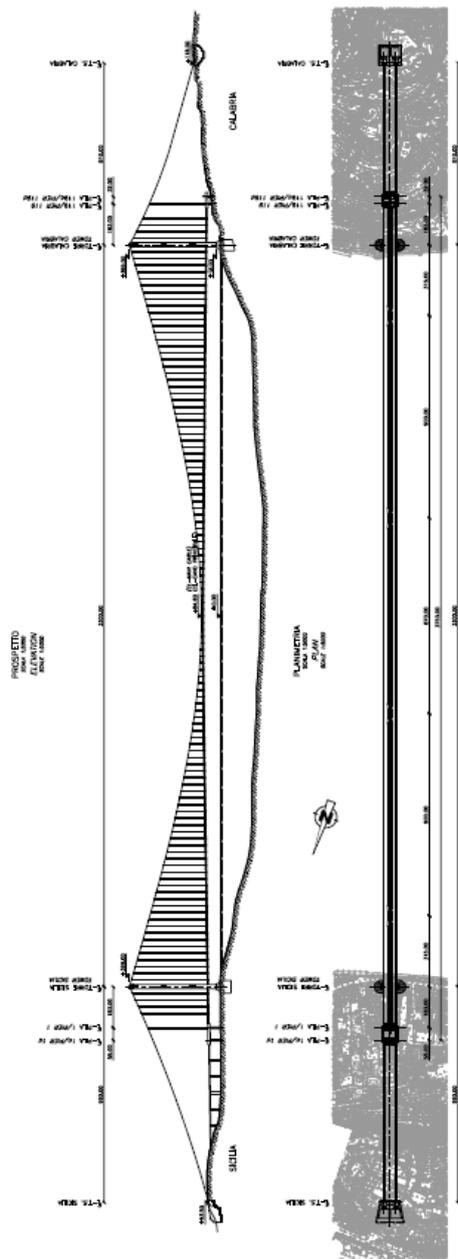


Figura 1-1: Disegno in elevazione e pianta del ponte.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

2 Riferimenti per la progettazione

2.1 Specifiche di progettazione

CG.10.00-P-RG-D-P-GE-00-00-00-00-02 - “Principi Base, Strutturale, Allegato,” COWI 2010

GCG.F.05.03 “Sviluppo della Progettazione - Requisiti e Linee Guida”, Stretto di Messina, 22 Ottobre 2004.

GCG.G.03.02 “Costruzioni strutturali in acciaio e rivestimenti protettivi”, Stretto di Messina, 30 Luglio 2004.

2.2 Codici di progettazione

“Norme tecniche per le costruzioni,” 2008 (NTC08).

EN 1993 Eurocodice 3: Progettazione di strutture in acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

EN 1993 Eurocodice 3: Progettazione di strutture in acciaio - Parte 1-5: Elementi strutturali tipo piastra

EN 1993 Eurocodice 3: Progettazione di strutture in acciaio - Parte 1-8: Progettazione dei giunti

EN 1993 Eurocodice 3: Progettazione di strutture in acciaio - Parte 1-9: Fatica

EN 1993 Eurocodice 3: Progettazione di strutture in acciaio - Parte 1-10: Scelta dell'acciaio con riferimento alla resistenza alla frattura e alle proprietà attraverso lo spessore

EN 1993 Eurocodice 3: Progettazione di strutture in acciaio - Parte 2: Ponti in acciaio

EN 1998 Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica

2.3 Specifiche dei materiali

EN 10025-1:2004 Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali – Parte 1: Condizioni generali di fornitura.

EN 10025-2:2004 Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali – Parte 2: Condizioni tecniche di fornitura per acciai strutturali non legati.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

EN 10025-3:2004 Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali – Parte 3: Condizioni tecniche di fornitura per acciai strutturali normalizzati / normalizzati saldabili a grano fine.

EN 10025-4:2004 Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali – Parte 4: Condizioni tecniche di fornitura per acciai strutturali saldabili a grano fine ottenuti per laminazione termomeccanica.

EN 10164:1993 Prodotti in acciaio con aumentate proprietà di deformazione perpendicolarmente alla superficie del prodotto - Condizioni tecniche di consegna.

EN ISO 898-1:2001 Proprietà meccaniche degli elementi di fissaggio in acciaio al carbonio e in acciaio legato - Parte 1: Bulloni, viti e prigionieri (ISO 898-1:1999).

EN 20898-2:1994 Proprietà meccaniche degli elementi di fissaggio – Parte 2: Dadi con valori di carico di prova speciali - filettatura grossa (ISO 898-2:1992).

UNI EN 14399:2005-3 Bulloneria strutturale ad alta resistenza per pre-caricamento - Parte 3: Sistema HR - Bulloneria e dadi esagonali

EN 10293:2005 Getti di acciaio per impieghi tecnici generali

2.4 Relazioni complementari

CG.10.00-P-RG-D-P-SV-00-00-00-00-01 - “Modello IBDAS globale, Descrizione” COWI 2010

CG.10.00-P-SP-D-P-SS-A0-A4-00-00-00-01 - “Specifica di prestazione - Ammortizzatori”

2.5 Disegni

I disegni di interesse per la presente relazione sono elencati nella Tabella 2-1.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Titolo del disegno	Numero del disegno
Sistema di articolazione - Disposizione generale	CG1000-P-AX-D-P-SS-A0-00-00-00-00-01
Sistema di articolazione - Supporto dell'impalcato sospeso in corrispondenza delle torri	CG1000-P-AX-D-P-SS-A0-00-00-00-00-02
Sistema di articolazione - Supporti longitudinali	CG1000-P-BX-D-P-SS-A0-00-00-00-00-01
Sistema di articolazione - Supporti trasversali (1)	CG1000-P-BX-D-P-SS-A0-00-00-00-00-02
Sistema di articolazione - Supporti trasversali (2)	CG1000-P-BX-D-P-SS-A0-00-00-00-00-03
Sistema di articolazione - Impianti idraulici	CG1000-P-BX-D-P-SS-A0-00-00-00-00-05
Sistema di articolazione - Appoggi ponte, Generale	CG1000-P-DX-D-P-SS-A0-AP-00-00-00-01
Sistema di articolazione - Appoggi ponte, Dettagli	CG1000-P-BX-D-P-SS-A0-AP-00-00-00-01
Sistema di articolazione - Giunti di dilatazione, Generale	CG1000-P-DX-D-P-SS-A0-GE-00-00-00-01
Sistema di articolazione - Giunti di dilatazione ferroviari (1)	CG1000-P-DX-D-P-SS-A0-GE-00-00-00-02
Sistema di articolazione - Giunti di dilatazione ferroviari (2)	CG1000-P-DX-D-P-SS-A0-GE-00-00-00-03
Sistema di articolazione - Giunti di dilatazione stradali	CG1000-P-DX-D-P-SS-A0-GE-00-00-00-04

Tabella 2-1: Disegni delle articolazioni

3 Materiali

In questa sezione sono descritte le proprietà meccaniche dei materiali da costruzione per le articolazioni.

La progettazione di alcuni componenti dell'articolazione è effettuata in base alle specifiche dei produttori e alle specifiche di prestazioni tecniche fornite da COWI. Le proprietà meccaniche dei materiali da costruzione dovrebbero essere riportate nella documentazione dei produttori.

3.1 Acciaio strutturale

I componenti del sistema di ammortizzazione sono fabbricati in acciaio di classe S 460 ML prodotto in conformità con EN 10025-4. Si presuppone che l'acciaio soddisfi i requisiti di proprietà meccaniche elencati nella Tabella 3-1 e quelli di NTC08, Sezione 11.3.4.1. Il fornitore dell'acciaio ha confermato che le proprietà meccaniche non cambieranno nel caso di materiali con spessore inferiore a 100 mm, com'è tipico dei prodotti in acciaio laminato.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali		Codice documento PS0187_F0_ITA.doc	Rev F0	Data 20-06-2011

Classe	Resistenza allo snervamento, f_{yk} (MPa)	Resistenza alla trazione, f_{tk} (MPa)
S 460 ML	460	540

Tabella 3-1: Proprietà meccaniche degli acciai strutturali per spessori inferiori a 100 mm

Si presuppone inoltre che tutti gli acciai strutturali abbiano le seguenti proprietà, in conformità con NTC08 Sezione 11.3.4.1:

- Modulo di elasticità: $E = 210,000 \text{ MPa}$
- Rapporto di Poisson: $\nu = 0.3$
- Modulo di taglio: $G = 77,000 \text{ MPa}$
- Coefficiente di dilatazione termica: $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
- Densità: $\rho = 7,850 \text{ kg/m}^3$

I fattori parziali del materiale (coefficienti di sicurezza) utilizzati per verificare gli elementi in acciaio strutturale sono conformi a NTC08 Sezioni 4.2.4.1.1, 4.2.4.1.4 e sono elencati nella Tabella 3-2.

Verifica	Fattore parziale
Resistenza delle sezioni di classe 1, 2, 3 e 4	$\gamma_{M0} = 1.05$
Resistenza all'instabilità degli elementi nei ponti stradali e ferroviari	$\gamma_{M1} = 1.10$
Resistenza alla frattura delle sezioni sotto tensione (indebolite da fori)	$\gamma_{M2} = 1.25$
Resistenza alla fatica (criterio di resistenza utile alla fatica con conseguenze significative in caso di rottura)	$\gamma_{mf} = 1.35$

Tabella 3-2: Fattori parziali del materiale per l'acciaio strutturale

3.2 Bulloni ad alta resistenza

Per tutte le giunzioni bullonate e i giunti assiali del sistema di ammortizzazione si usano bulloni strutturali ad alta resistenza di classe 10.9 prodotti in conformità con EN ISO 898. Si presuppone che i bulloni ad alta resistenza abbiano le proprietà meccaniche elencate nella Tabella 3-3, in conformità con NTC08 Sezione 11.3.4.6.1.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali		<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Classe	Resistenza allo snervamento, f_{yb} (MPa)	Resistenza alla trazione, f_{tb} (MPa)
10.9	900	1000

Tabella 3-3: Proprietà meccaniche dei bulloni strutturali

I fattori parziali del materiale (coefficienti di sicurezza) utilizzati per verificare le giunzioni bullonate e i giunti assiali sono conformi a NTC08 Sezione 4.2.8.1.1 e sono elencati nella Tabella 3-4.

Verifica	Fattore parziale
Resistenza al taglio del bullone	$\gamma_{M2} = 1.25$
Resistenza alla tensione del bullone	
Resistenza all'appoggio di lamiera	
Resistenza allo scivolamento ULS	$\gamma_{M3} = 1.25$
Resistenza allo scivolamento SLS	$\gamma_{M3} = 1.15$
Forza di pre-caricamento del bullone	$\gamma_{M7} = 1.10$

Tabella 3-4: Fattori parziali del materiale per giunzioni bullonate e giunti assiali

3.3 Consumabili per saldatura

I consumabili per saldatura dovranno essere conformi ai requisiti di EN 1993-1-8 Sezione 4.2.

Le procedure per la saldatura dovranno essere pianificate in modo che le proprietà delle lamiere irruvidite con procedimento termomeccanico non vengano ridotte.

Si dovranno utilizzare materiali di riempimento adeguati alle proprietà meccaniche del materiale di base.

Il fattore parziale del materiale, $\gamma_{M2} = 1.25$, utilizzato per verificare le giunzioni saldate e i giunti assiali dovrà essere conforme a NTC08 Sezione 4.2.8.1.1.

3.4 Cuscinetti autolubrificanti

Gli ammortizzatori trasversali sono sostenuti da una trave situata fra la gamba di torre e i trasversi diagonali. La trave di supporto è dotata di giunzione a perno su entrambe le estremità. La trave è costituita da due sezioni scatolate, una delle quali è inserita all'interno dell'altra ed è sostenuta da cuscinetti autolubrificanti in bronzo-manganese che permettono i movimenti assiali. Gli

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali		Codice documento PS0187_F0_ITA.doc	Rev F0	Data 20-06-2011

ammortizzatori sono attaccati ad entrambi i lati di questa sezione scorrevole. Quindi la trave è in grado di sostenere gli ammortizzatori e, contemporaneamente, permette loro di operare nel modo necessario lungo il loro asse longitudinale, si rimanda alla Figura 3-1 e alla Figura 3-2.

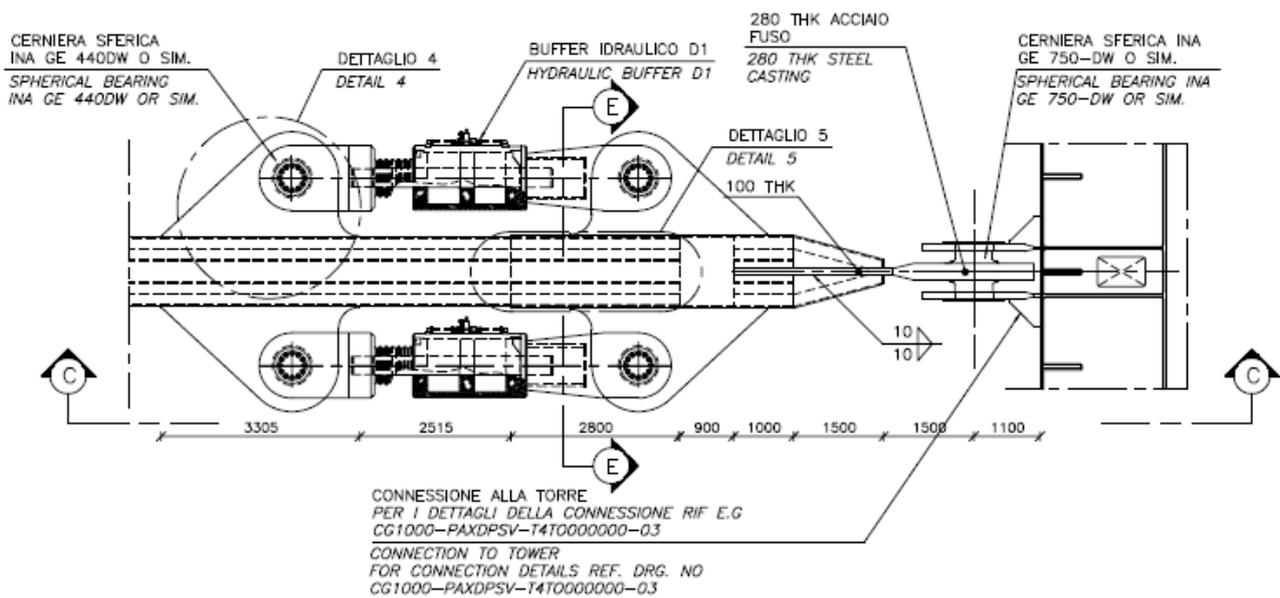


Figura 3-1: Vista in pianta delle travi trasversali con gli ammortizzatori

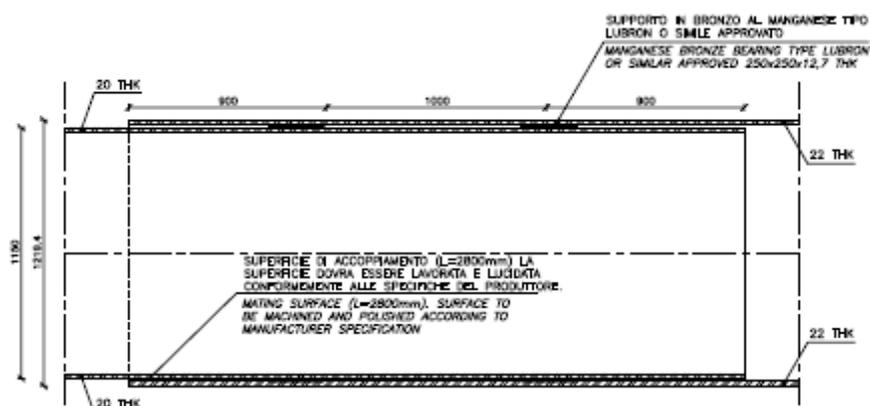


Figura 3-2: Superficie di contatto della sezione scorrevole

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

4 Principi di progettazione

4.1 Disposizione generale del sistema di ammortizzazione

I principi di progettazione si basano sul documento “Base della progettazione e livelli di prestazione attesi per il ponte”, documento N° GCG.F.04.01 fornito da Stretto di Messina.

La progettazione delle strutture di acciaio è effettuata secondo i requisiti indicati nell’Eurocodice 3 integrati con i regolamenti delle Parti 1-1, 1-5, 1-8 e 1-9.

Il vento trasversale e longitudinale, la temperatura e i terremoti che agiscono sul ponte provocheranno grandi movimenti longitudinali e orizzontali della struttura. I grandi movimenti della travata del ponte si tradurranno in una forte usura degli elementi meccanici. Quindi è importante ridurre i movimenti in modo da ottenere una progettazione economicamente conveniente e da limitare le interruzioni del traffico a seguito di riparazioni e manutenzioni dei componenti del ponte.

L’obiettivo è quello di introdurre un sistema di dispositivi che impedisca i movimenti in condizioni di esercizio normali e permetta i movimenti in condizioni di carico severe, come in caso di terremoto. L’energia accumulata verrà dissipata verso le parti inferiori delle torri del ponte.

Gli ammortizzatori idraulici saranno posizionati in corrispondenza delle torri in direzione longitudinale e trasversale. In direzione longitudinale il sistema, formato da 4 ammortizzatori, collegherà le torri al diaframma dell’impalcato su ciascun lato dell’impalcato del ponte. In direzione trasversale il sistema sarà formato da una trave trasversale con 2 ammortizzatori. La trave trasversale sarà collegata a quattro trasversi sotto forma di cassoni in acciaio che si estendono diagonalmente al di sotto dell’impalcato del ponte. Nel punto di intersezione sarà posizionato il collegamento a perno che permette la rotazione di tutte le travi ed impedisce che le deformazioni delle travate stradali principali si trasferiscano alle campate laterali drop-in a causa dei carichi trasversali. Le quattro travi posizionate diagonalmente saranno collegate alle travate stradali principali e alla travata stradale laterale attraverso giunti assiali bullonati che consentono di resistere a piccoli momenti flettenti. La trave trasversale sarà collegata alla torre tramite un collegamento a occhiello che trasferisce solamente le forze assiali e di taglio, si rimanda alla Figura 4-1.

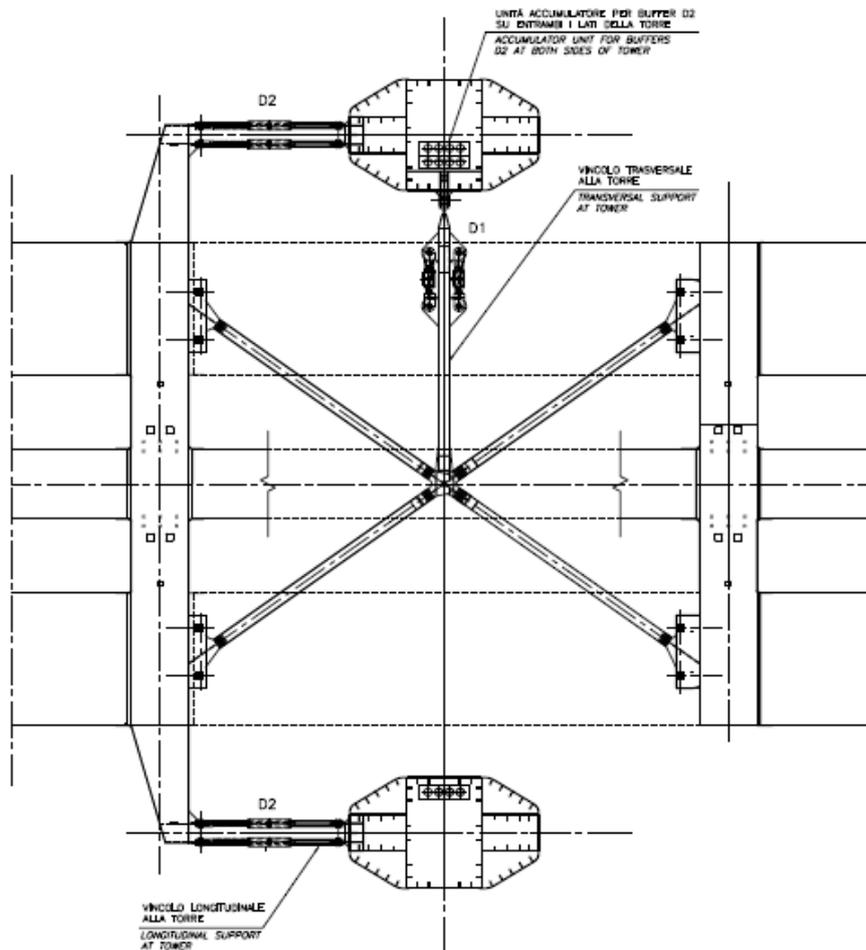


Figura 4-1: Sistema di ammortizzazione longitudinale e trasversale

4.2 Modellazione IBDAS

4.2.1 Output dell'IBDAS

L'IBDAS mette a disposizione i seguenti tipi di analisi:

- Analisi statica (carico fisso, carico mobile, vento e temperatura),
- Analisi dello spettro di risposta sismica,
- Analisi dinamica del vento (analisi spettrale),
- Analisi della storia temporale sismica.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

L'analisi statica, l'analisi della risposta e l'analisi spettrale sono eseguite per due sistemi statici: un sistema statico "libero-libero" e un sistema statico "fisso-fisso".

Il tipo di sistema statico si riferisce alla condizione del supporto longitudinale dell'impalcato sospeso in corrispondenza delle torri. Nel sistema "fisso-fisso" il supporto longitudinale è bloccato, creando un collegamento rigido tra l'impalcato e la torre. Nel sistema "libero-libero" l'impalcato può muoversi liberamente rispetto alla torre.

Nel sistema statico "libero-libero" viene implementata una molla in direzione longitudinale corrispondente alle caratteristiche dell'ammortizzatore. La rigidità della molla è di 33 kN/m.

Nei sistemi statici "libero-libero" e "fisso-fisso" gli ammortizzatori trasversali in corrispondenza delle torri sono fissati creando un collegamento rigido trasversale.

In base al tipo di analisi e al sistema statico si hanno quattro stati limite:

- SLS1
- SLS2
- ULS
- SILS

Gli stati limite sono definiti in CG.10.00-P-RG-D-P-GE-00-00-00-00-02. Ulteriori informazioni sul modello IBDAS sono riportate in CG.10.00-P-RG-D-P-SV-00-00-00-00-01.

4.2.2 Analisi dello spettro di risposta sismica

Il movimento del suolo è definito per i quattro stati limite indicati in CG.10.00-P-RG-D-P-GE-00-00-00-00-02. La differenza tra gli stati limite è l'accelerazione massima al suolo.

La risposta della struttura sottoposta al movimento del suolo è calcolata con il metodo della sovrapposizione modale con spettro di risposta. Si può presupporre un movimento uniforme del suolo, vale a dire che tutti i supporti sono eccitati allo stesso modo. Il rapporto di smorzamento dell'intera struttura è assunto pari al 5% ed è relativo al valore critico, in considerazione del fatto che durante un terremoto si possono verificare movimenti di grande ampiezza.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Le analisi dello spettro di risposta sono eseguite per i 1760 modi di vibrazione più bassi, in modo da ottenere una massa partecipante superiore al 90%.

Sono forniti i risultati per ciascuno dei quattro stati limite. I principi sopra descritti dovranno essere applicati con il contributo della situazione di carico di temperatura uniforme.

4.2.3 Analisi della storia temporale sismica

Le serie temporali compatibili con gli spettri di risposta di progetto ULS sono utilizzate come input sismici per l'analisi della storia temporale.

In totale durante la progettazione sono stati analizzati 8 set di serie temporali.

Ogni set è costituito da tre componenti ortogonali: due componenti orizzontali perpendicolari e una componente verticale. Vengono considerate le due combinazioni seguenti:

- Componente longitudinale 1.0 + componente trasversale 0.8 + componente verticale 0.75;
- Componente longitudinale 0.8 + componente trasversale 1.0 + componente verticale 0.75.

In queste due combinazioni i risultati degli 8 set di serie temporali sono mediati in conformità con CG.10.00-P-RG-D-P-GE-00-00-00-00-02.

Nell'analisi sono inclusi solamente i carichi permanenti. Pertanto i risultati devono essere combinati con i rispettivi carichi rimanenti che sono indicati nelle seguenti combinazioni di carico:

- Componenti strutturali primari:
 - ULS: 6903
 - SLS1: 6913
 - SLS2: 6923
 - SILS: 6933
- Componenti strutturali secondari:
 - ULS: 6585
 - SLS caratteristico: 6668

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

- SLS frequente: 6759

Il coefficiente di smorzamento viene attualmente determinato in base ai modi importanti per le torri.

Nell'analisi sismica basata sull'analisi della storia temporale gli ammortizzatori opereranno secondo le loro caratteristiche.

I principi sopra descritti dovranno essere applicati con il contributo di una situazione di carico di temperatura uniforme.

4.2.4 Analisi della storia temporale sismica con pre-caricamento

Dal momento che la disposizione degli ammortizzatori in corrispondenza delle torri produce una diversa rigidità della molla a seconda della posizione effettiva dell'ammortizzatore, la sequenza dei carichi influirà sulla risposta degli ammortizzatori. Per tener conto di questo effetto gli ammortizzatori sono precaricati prima dell'applicazione delle serie temporali e della simulazione delle condizioni di temperatura e di traffico al momento dell'evento sismico. Il traffico viene collocato nella posizione più sfavorevole per un determinato elemento strutturale. Ad esempio per la progettazione degli ammortizzatori il traffico può essere posizionato in modo da raggiungere la più alta tensione possibile prodotta dal carico di traffico.

4.2.5 Temperatura

Il contributo dei gradienti di temperatura è incluso nei rispettivi involuppi in entrambi i sistemi statici. Il contributo della temperatura uniforme non è tuttavia incluso negli involuppi e può essere individuato solamente come una singola situazione di carico che viene aggiunta manualmente agli involuppi.

Il contributo della temperatura uniforme è ricavato dal sistema statico "libero-libero". Ciò è dovuto al fatto che il comportamento non lineare degli ammortizzatori può essere modellato correttamente solo nell'analisi della storia temporale. Il carico della temperatura uniforme supererà il valore di soglia degli ammortizzatori, rendendo necessaria una modifica del sistema statico.

4.2.6 Output dell'IBDAS utilizzato per la progettazione di ammortizzatori e travi in acciaio

I risultati si basano su un involucro di tutte le situazioni di carico nell'analisi statica, nell'analisi della risposta e nell'analisi spettrale eseguite nei sistemi "libero-libero" e "fisso-fisso".

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

I risultati sismici si basano sull'analisi della storia temporale con pre-caricamento utilizzata per determinare i movimenti in direzione longitudinale, trasversale e verticale. Il pre-caricamento è basato sulle seguenti componenti:

- Temperatura uniforme massima,
- Fissaggio dei carichi di traffico in modo da avere la massima forza di trazione negli ammortizzatori longitudinali in corrispondenza delle torri.

5 Verifiche di progetto

5.1 Progettazione di travi in acciaio e connessioni.

La progettazione delle travi in acciaio trasversali e diagonali con le connessioni è effettuata secondo i requisiti dell'Eurocodice 3 integrati con i regolamenti delle Parti 1-1, 1-5, 1-8 e 1-9.

Per l'effetto dell'imbozzamento locale dei pannelli irrigiditi fra le ossature trasversali si tiene conto della superficie effettiva.

Nella Tabella 5-1 e nella Tabella 5-2 è indicato il rapporto superficie effettiva/superficie lorda dei pannelli irrigiditi per i differenti spessori della lamiera. I rapporti sono calcolati per gli irrigidimenti piani da 15mm x 150mm e 20mm x 150mm utilizzati rispettivamente per le travi trasversali e per quelle diagonali. La lunghezza del pannello irrigidito è di 3,0 m.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali		<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Trave trasversale - Irrigidimento 15 x 150						
Rapporto χ : Superficie effettiva / Superficie lorda						
Distanza fra gli irrigidimenti						
Spessore della lamiera	f_y (MPa)	100	200	300	400	500
18	440	0.607	0.562	0.510	0.463	0.425
20	440	0.609	0.555	0.499	0.450	0.409
22	440	0.611	0.548	0.489	0.438	0.396
23	440	0.611	0.545	0.484	0.433	0.390
24	440	0.610	0.542	0.479	0.427	0.385
25	440	0.610	0.539	0.475	0.423	0.380
26	440	0.609	0.536	0.471	0.418	0.375
27	440	0.609	0.533	0.467	0.414	0.371
28	440	0.608	0.530	0.463	0.409	0.367
29	440	0.608	0.528	0.460	0.406	0.363
30	440	0.608	0.525	0.456	0.402	0.359

Tabella 5-1: Rapporti effettivi con la superficie lorda - trave trasversale

Trave diagonale - Irrigidimento 20 x 150						
Rapporto χ : Superficie effettiva / Superficie lorda						
Distanza fra gli irrigidimenti						
Spessore della lamiera	f_y (MPa)	100	200	300	400	500
24	440	0.619	0.576	0.525	0.479	0.439
25	440	0.620	0.574	0.522	0.475	0.435
26	440	0.622	0.573	0.518	0.471	0.430
27	440	0.623	0.571	0.515	0.467	0.426
28	440	0.624	0.569	0.512	0.463	0.422
29	440	0.625	0.567	0.509	0.460	0.418
30	440	0.627	0.565	0.506	0.456	0.414
31	440	0.627	0.564	0.504	0.453	0.411
32	440	0.627	0.562	0.501	0.450	0.408
33	440	0.628	0.561	0.499	0.447	0.405
34	440	0.628	0.559	0.496	0.444	0.402

Tabella 5-2: Rapporti effettivi con la superficie lorda - trave diagonale

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali		<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Le proprietà lorde della sezione della trave diagonale e trasversale sono indicate nella Tabella 5-3:

	Flangia THK [mm]	Anima THK [mm]	fy [MPa]	Larghezza a [mm]	Altezza [mm]	Superfici e [m ²]	Iy [m ⁴]	Iz [m ⁴]
Trave trasversale	24	20	440	1150	1300	0.13	0.03	0.03
Trave diagonale	34	24	440	1150	1300	0.17	0.04	0.03

Tabella 5-3: Proprietà lorde della sezione della trave diagonale e trasversale

Le sezioni trasversali della trave diagonale e trasversale sono illustrate nella Figura 5-1 e nella Figura 5-2.

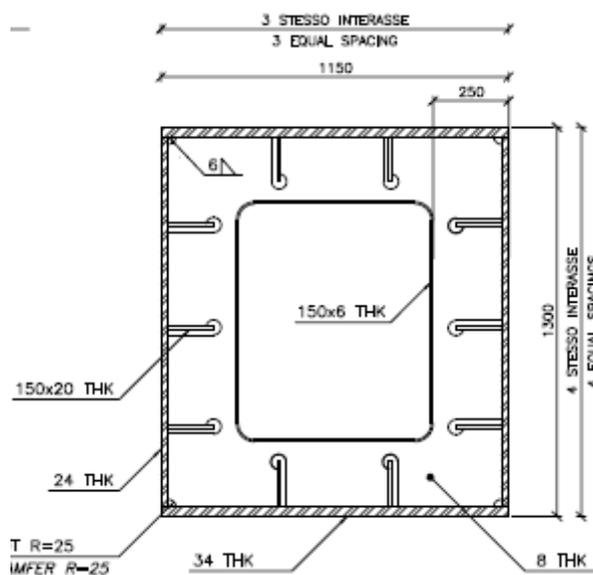


Figura 5-1: Sezione trasversale della trave diagonale

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

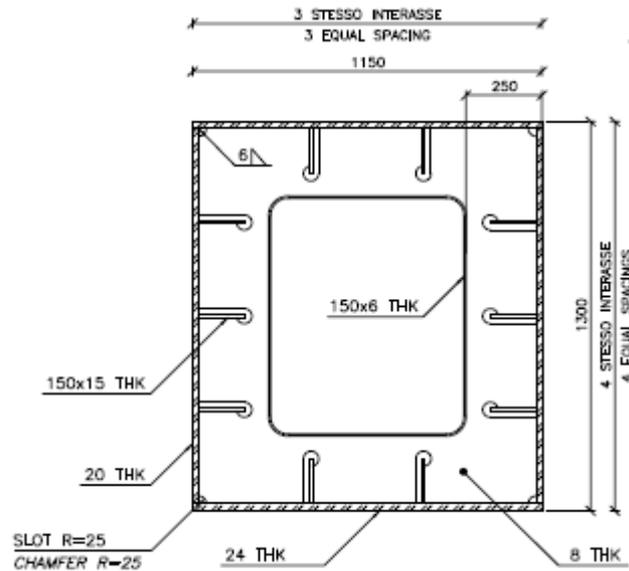


Figura 5-2: Sezione trasversale della trave trasversale

Per la valutazione dei momenti assiali e flettenti, delle capacità di taglio e dei rapporti di utilità di ciascuna sezione si usa l'Eurocodice:

$$UR = N_f / N_r + M_{f,y} / M_{r,y} + M_{f,z} / M_{r,z} \leq 1.0$$

$$UR = V_f / V_r \leq 1.0,$$

dove:

N_f - somma dei carichi assiali ponderati in una determinata sezione,

N_r - capacità assiale ponderata nella sezione corrispondente,

$M_{f,y}$ - somma dei momenti ponderati intorno all'asse y-y,

$M_{r,y}$ - capacità flettente ponderata intorno all'asse y-y,

$M_{f,z}$ - somma dei momenti ponderati intorno all'asse z-z,

$M_{r,z}$ - capacità flettente ponderata intorno all'asse z-z,

V_f - somma dello sforzo di taglio ponderato in una direzione,

V_r - capacità di taglio ponderata nella direzione corrispondente.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali		<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

La resistenza allo sforzo di taglio sotto forma di rapporto di utilità non supera il valore di 0,5 e pertanto non occorre ridurre la resistenza di progetto per la forza flettente e assiale, si rimanda a EN 1993-1-5, punto 7.1.

Nella progettazione delle travi in acciaio sono state considerate tre combinazioni principali.

La combinazione di carico 1 contiene i risultati ULS basati sugli inviluppi e sugli effetti della temperatura. La combinazione di carico 2 include l'effetto più sfavorevole del carico mobile ferroviario sotto forma di situazione di carico QL e temperatura uniforme. La combinazione di carico 3 è costituita dall'analisi della storia temporale sismica, dall'effetto della temperatura uniforme e dai restanti carichi permanenti, compreso il carico mobile parziale (LL) che include il 20% del traffico stradale e il 30% di quello ferroviario.

Nelle Tabelle da 5-4 a 5-9 sono riportati i risultati relativi alle travi in base alle combinazioni e ai corrispondenti rapporti di utilità.

Combinazione di carico 1									
N_{ULS} [MN]	$M_{ULS,y}$ [MNm]	$M_{ULS,z}$ [MNm]	N_T [MN]	$M_{T,y}$ [MNm]	$M_{T,z}$ [MNm]	N_f [MN]	$M_{f,y}$ [MNm]	$M_{f,z}$ [MNm]	UR [-]
15.50	0.86	0.01	0.00	0.00	0.00	15.51	0.86	0.01	0.49
15.49	0.56	0.01	0.01	0.00	0.00	15.50	0.56	0.01	0.46

Tabella 5-4: Trave trasversale - Combinazione 1, comprendente ULS e temperatura uniforme

Combinazione di carico 1									
N_{ULS} [MN]	$M_{ULS,y}$ [MNm]	$M_{ULS,z}$ [MNm]	N_T [MN]	$M_{T,y}$ [MNm]	$M_{T,z}$ [MNm]	N_f [MN]	$M_{f,y}$ [MNm]	$M_{f,z}$ [MNm]	UR [-]
24.32	2.96	0.49	2.27	0.21	0.09	26.58	3.17	0.59	0.80
24.08	3.81	0.49	3.15	0.11	0.10	27.23	3.92	0.59	0.87

Tabella 5-5: Trave diagonale - Combinazione 1, comprendente ULS e temperatura uniforme

Combinazione di carico 2									
N_T [MN]	$M_{T,y}$ [MNm]	$M_{T,z}$ [MNm]	N_{QL} [MN]	$M_{QL,y}$ [MNm]	$M_{QL,z}$ [MNm]	N_f [MN]	$M_{f,y}$ [MNm]	$M_{f,z}$ [MNm]	UR [-]
0.00	0.00	0.00	14.38	0.98	0.01	14.38	0.98	0.01	0.47
0.01	0.00	0.00	14.40	0.71	0.01	14.41	0.71	0.01	0.45

Tabella 5-6: Trave trasversale - Combinazione 2, comprendente temperatura uniforme e carico mobile ferroviario

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali		<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Combinazione di carico 2									
N _T	M _{T_y}	M _{T_z}	N _{QL}	M _{QL_y}	M _{QL_z}	N _f	M _{f_y}	M _{f_z}	UR
[MN]	[MNm]	[MNm]	[MN]	[MNm]	[MNm]	[MN]	[MNm]	[MNm]	[-]
2.27	0.21	0.09	16.09	3.20	0.39	18.35	3.41	0.48	0.65
3.15	0.11	0.10	17.44	3.27	0.39	20.58	3.37	0.48	0.69

Tabella 5-7: Trave diagonale - Combinazione 2, comprendente temperatura uniforme e carico mobile ferroviario

Combinazione di carico 3												
N _{TH}	M _{TH_y}	M _{TH_z}	N _T	M _{T_y}	M _{T_z}	N _{LL}	M _{LL_y}	M _{LL_z}	N _f	M _{f_y}	M _{f_z}	UR
[MN]	[MNm]	[MNm]	[MN]	[MNm]	[MNm]	[MN]	[MNm]	[MNm]	[MN]	[MNm]	[MNm]	[-]
21.17	1.32	1.26	0.00	0.00	0.00	0.01	0.71	0.00	21.19	2.03	1.26	0.89
21.42	1.13	1.34	0.01	0.00	0.00	0.01	0.71	0.00	21.44	0.42	1.34	0.75

Tabella 5-8: Trave trasversale - Combinazione 3, comprendente l'analisi della storia temporale, la temperatura uniforme, i restanti carichi permanenti e il carico mobile parziale

Combinazione di carico 3												
N _{TH}	M _{TH_y}	M _{TH_z}	N _T	M _{T_y}	M _{T_z}	N _{LL}	M _{LL_y}	M _{LL_z}	N _f	M _{f_y}	M _{f_z}	UR
[MN]	[MNm]	[MNm]	[MN]	[MNm]	[MNm]	[MN]	[MNm]	[MNm]	[MN]	[MNm]	[MNm]	[-]
27.58	1.68	0.83	2.27	0.21	0.09	2.96	0.71	0.07	31.68	2.49	0.95	0.88
28.60	1.99	0.94	3.15	0.11	0.10	0.48	0.58	0.07	29.69	2.63	1.06	0.86

Tabella 5-9: Trave diagonale - Combinazione 3, comprendente l'analisi della storia temporale, la temperatura uniforme, i restanti carichi permanenti e il carico mobile parziale

5.2 Appoggi sferici

Sul perno centrale e alle connessioni con le torri saranno utilizzati degli appoggi sferici:

- INA GE 750-DW - per collegare la trave trasversale con il perno centrale e la torre,
- INA GE 630-DW - per collegare le travi diagonali sul perno centrale,
- INA GE 440-DW - per collegare gli ammortizzatori trasversali con le ali saldate alla trave trasversale,
- INA GE 440-DW - per collegare gli ammortizzatori longitudinali con le torri e il diaframma dell'impalcato,
- SKF GE120 TXA-2LS - per collegare l'elemento verticale con la travata ferroviaria.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Gli appoggi sferici non trasferiranno i momenti flettenti e permetteranno piccole rotazioni delle travi trasversali e diagonali.

6 Ammortizzatori idraulici

Gli incastri longitudinali e laterali dell'impalcato in corrispondenza delle torri sono realizzati adattando gli ammortizzatori idraulici che, in condizioni di esercizio "normali", rimarranno chiusi e quindi fungeranno da collegamento rigido. In caso di terremoto gli ammortizzatori permetteranno i movimenti dell'impalcato e contemporaneamente limiteranno idraulicamente la forza trasferita dalle travate del ponte alle torri e ridurranno i movimenti dell'impalcato. La concezione del sistema è illustrata nella Figura 4-1.

6.1 Caratteristiche

Le caratteristiche dell'ammortizzatore D1 sono illustrate nella Figura 6-1.

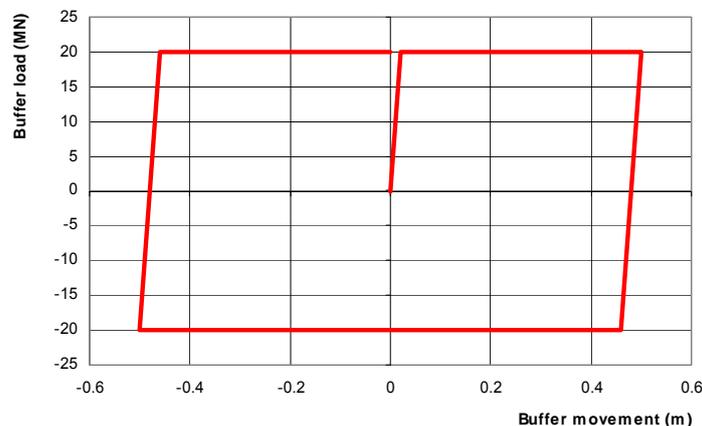


Figura 6-1: Caratteristiche dell'ammortizzatore D1

Per gli ammortizzatori idraulici è stato scelto un valore complessivo di soglia di 20MN. Con forze di grandezza più bassa praticamente non si avranno movimenti dell'ammortizzatore per compensare gli effetti dei carichi di vento. L'installazione di un isolatore sismico idraulico D1 produce una riduzione di carico in direzione trasversale da circa 60MN a 20MN nel caso di eventi sismici ULS.

Le caratteristiche dell'ammortizzatore D2 sono illustrate nella Figura 6-2.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali		<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

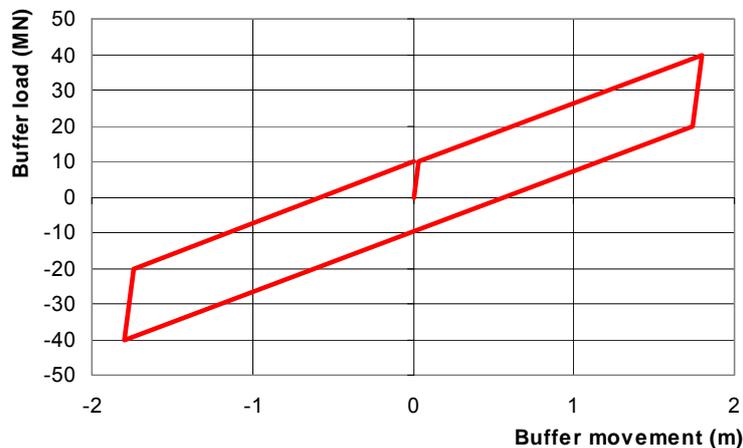


Figura 6-2: Caratteristiche dell'ammortizzatore D2.

L'ammortizzatore agisce come uno smorzatore combinato con una molla. Per limitare i movimenti derivanti da gradienti di temperatura, vento e traffico il sistema idraulico è installato con un valore di soglia. Il valore di soglia non verrà superato durante il passaggio dei treni. Di conseguenza i movimenti si limiteranno ai movimenti relativi dell'impalcato rispetto alla torre.

Gli ammortizzatori D2 sono costituiti da 4 cilindri idraulici ciascuno, in modo da contenere le dimensioni entro limiti accettabili e funzionali e da garantire un sistema ridondante.

È stato scelto un valore di soglia di 10MN per ciascun gruppo di cilindri collegati ad ogni gamba di torre e quindi il sistema di ammortizzazione arresta ogni movimento longitudinale fintantoché la forza negli ammortizzatori su ciascuna torre è inferiore a 20MN. Il carico di 20MN negli ammortizzatori verrà superato in alcune situazioni di carico, ad esempio quando si verifica una variazione di temperatura di $\pm 6^{\circ}\text{C}$ per la travata del ponte e durante un evento sismico.

6.2 Progettazione concettuale dei sistemi idraulici

6.2.1 Ammortizzatore D1

Il sistema idraulico per l'ammortizzatore D1 è illustrato nella figura seguente. I movimenti dell'ammortizzatore sono bloccati fintanto che il carico non supera il valore di soglia, controllato dalla valvola limitatrice di pressione. Quando viene superato il valore di soglia, il pistone è libero di muoversi a pressioni costanti.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

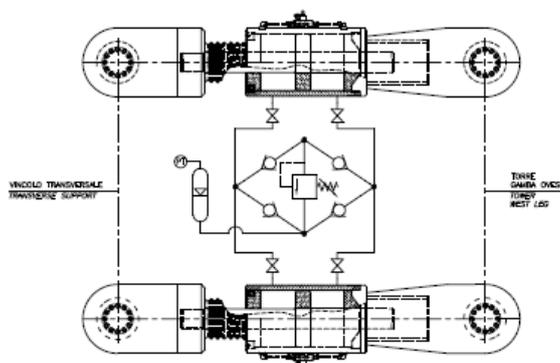


Figura 6-1: Circuito idraulico, Ammortizzatore D1

6.2.2 Ammortizzatore D2

Le caratteristiche dell'ammortizzatore illustrate nella Figura 6-2 sono ottenute attraverso la combinazione di un sistema di smorzamento e di una molla. Quando l'impalcato del ponte, e di conseguenza il pistone, si spostano, la pressione idraulica su un lato del pistone aumenta fino a raggiungere la pressione impostata per la valvola limitatrice di pressione, che definisce il valore di soglia. Quando viene raggiunta questa pressione, la valvola limitatrice di pressione si apre e l'olio entra nei serbatoi dell'accumulatore. Dato che la parte superiore del serbatoio dell'accumulatore è piena di azoto, la compressione del volume di azoto farà intervenire la molla del sistema che tenderà a riportare il pistone nella posizione centrale.

Nello stesso tempo la pressione dell'olio, che aumenta su di un lato del pistone, diminuisce sull'altro lato a causa dell'espansione di volume dell'azoto nel serbatoio dell'accumulatore che si trova nel circuito collegato a questo lato del pistone. In tal modo l'azione risultante della molla sarà costituita dall'azione congiunta dei due serbatoi dell'accumulatore.

Durante gli eventi sismici i movimenti relativi dell'impalcato includono la rotazione dell'impalcato rispetto a un asse verticale. I valori di queste rotazioni sono stati ricavati dal modello IBIDAS globale attraverso l'analisi delle serie storico-temporali degli eventi sismici. In base ai movimenti relativi degli ammortizzatori da un lato all'altro dell'impalcato è possibile calcolare le portate e il volume d'olio. La figura seguente illustra le portate calcolate durante un evento sismico.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	Codice documento PS0187_F0_ITA.doc	Rev F0	Data 20-06-2011	

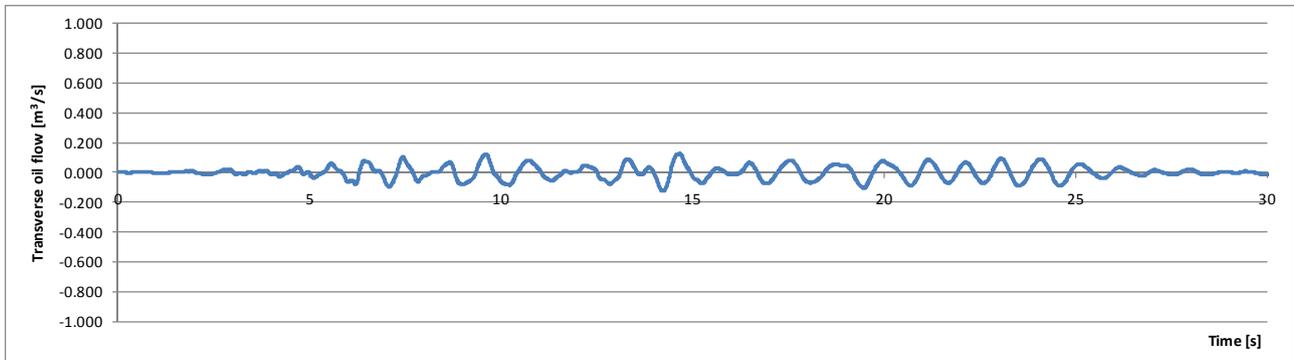


Figura 6-2: Simulazione del flusso d'olio trasversale durante un evento sismico

È stato stabilito che il volume di picco dell'olio che deve essere spostato da un lato all'altro durante un evento sismico sarà dell'ordine di 20-25 l e la portata di picco sarà di circa 100-150l/s.

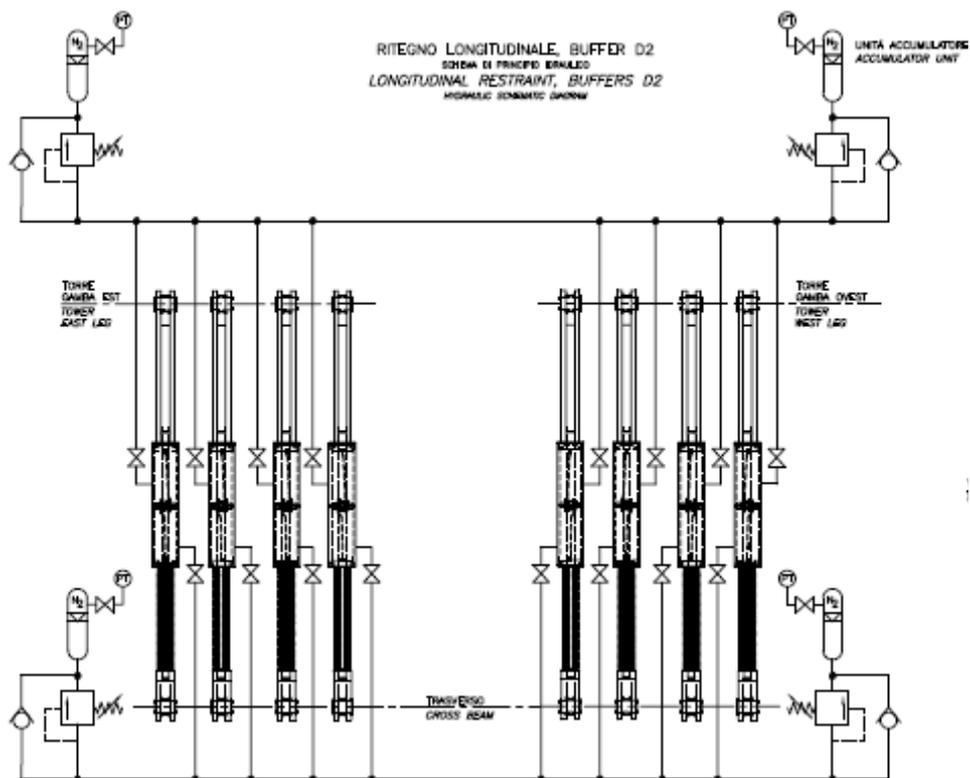


Figura 6-3: Circuiti idraulici, Accumulatore D2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Una progettazione concettuale per la disposizione dell'ammortizzatore D2 è stata effettuata da FIP Industriale, Italia. FIP è un possibile fornitore dei sistemi di ammortizzatori idraulici. Nella relazione si conferma che le caratteristiche necessarie dell'accumulatore possono essere ottenute utilizzando le valvole imitatrici di pressione come dispositivi di smorzamento e i serbatoi dell'accumulatore idraulico come molle all'interno di un circuito idraulico che collega gli ammortizzatori di una gamba di torre agli ammortizzatori della gamba opposta. La relazione contiene anche una valutazione delle dimensioni necessarie per i tubi. La relazione sulla progettazione concettuale è riportata nell'Appendice 2.

6.2.3 Guasto del collegamento idraulico tra le due gambe di torre

Il funzionamento dell'incastro longitudinale dell'impalcato sospeso - ammortizzatori D2 - cambierà in caso di danno accidentale o malfunzionamento del sistema di collegamento tra gli ammortizzatori su ciascuna gamba di torre. In tal caso i due gruppi di cilindri non saranno più collegati e opereranno come supporti individuali.

Su ciascun cilindro i blocchi valvole favoriscono la possibilità di bloccare i cilindri in caso di perdita di pressione dell'olio. Inoltre, per evitare danni ai cilindri in caso di pressioni eccessive dell'olio, sono previste valvole limitatrici di pressione. Di seguito è illustrato il principio adottato per i collegamenti idraulici su ciascun cilindro:

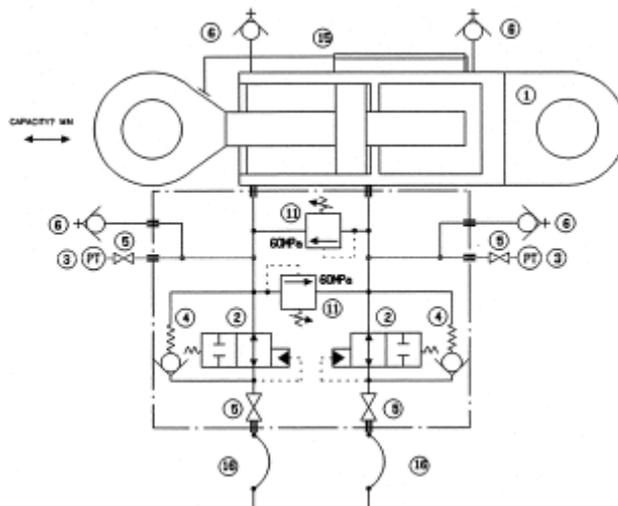


Figura 6-4: Disposizione tipica delle valvole su ciascun cilindro

Sono state previste le seguenti modalità di guasto:

Perdita lenta di olio da giunti dei tubi, valvole, ecc.

Forte perdita di pressione dell'olio dovuta allo scoppio di un tubo o di una manichetta

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

6.2.3.1 Perdita lenta di olio

In caso di diminuzione della pressione dell'olio viene inviato un allarme alla sala di controllo che invia una squadra di manutenzione per attivare manualmente le pompe di reintegro in modo da mantenere la pressione pilota.

Non viene pregiudicato il funzionamento dell'incastro longitudinale.

La causa dell'allarme verrà individuata ed eliminata.

6.2.3.2 Forte perdita di pressione

I cilindri idraulici sono dotati di valvole antiscoppio che si chiudono immediatamente in caso di perdita della pressione pilota. In tal modo ogni cilindro viene isolato mantenendo l'olio all'interno delle camere.

A questo punto l'incastro longitudinale opererà come un collegamento rigido tra l'impalcato e la torre. Tuttavia le valvole imitatrici di pressione permetteranno il movimento del pistone dal momento che, quando viene raggiunta la pressione di scarico, l'olio fluisce tra le due camere in modo da impedire che la pressione di scarico danneggi i cilindri.

In questo caso il carico che agisce sulla gamba di torre sarà determinato dalla pressione di scarico regolata sulla valvola limitatrice di pressione.

Si noti che, durante il periodo di riparazione, sulla torre opposta sarà attivo e pienamente operativo un incastro longitudinale.

In caso di perdita di pressione dell'olio verrà inviato un allarme alla sala di controllo e verrà inviata una squadra di manutenzione per localizzare la perdita. Dal magazzino verranno trasferiti i ricambi per sostituire le parti danneggiate.

6.2.3.3 Effetti sulle strutture

Nel caso che si verifichi una perdita di pressione dell'olio le valvole dei cilindri si chiudono e il collegamento fra la torre e l'impalcato diventa rigido. Si considera che la perdita di pressione dell'olio si verificherà solo su una torre e pertanto gli ammortizzatori sulla torre opposta opereranno in modalità normale.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

La perdita di pressione dell'olio è considerata un caso di carico accidentale e si dovrebbero considerare i casi di carico SILS 1-3. Tuttavia nei Principi Base non è definito un caso di carico specifico che riguardi il malfunzionamento del sistema di ammortizzazione. In considerazione del breve periodo di tempo in cui gli ammortizzatori non si troveranno in modalità di funzionamento normale a causa della perdita di pressione, sono state applicate le seguenti combinazioni di carico SLS1:

Caso di carico 6.4 (SLS1): 1.0PP + 1.0PN + 1.0QR + 1.0VV + 1.0VT

Caso di carico 6.5 (SLS1): 1.0PP + 1.0PN + 1.0QR + 1.0VS + 1.0VT

Questi casi di carico saranno combinati con il caso di carico che comprende la temperatura uniforme della struttura.

Gli ammortizzatori su entrambi i lati di una torre sono collegamenti fissi, mentre quelli sulla torre opposta funzionano normalmente.

Per simulare gli ammortizzatori rigidi su una torre, nel modello IBDAS globale sono stati aggiunti due elementi addizionali e le forze in questi elementi sono state calcolate per i casi di carico indicati in precedenza. I risultati sono i seguenti:

Caso di carico	Nmax (MN)	Nmin (MN)
SLS 6.4	33.3	-33.1
SLS 6.5	37.5	-37,5
VT uniforme ($\Delta T=20^{\circ}C$)	12.9	-12.8

Tabella 6-1: Forze nei collegamenti rigidi tra la gamba di torre e l'impalcato sospeso

Combinando il contributo della temperatura uniforme con il caso di carico 6.4 (inclusi i carichi di vento) o con il caso di carico 6.5 (inclusi i carichi sismici) la forza calcolata per il collegamento fisso sarà superiore ai carichi di progetto degli ammortizzatori, che sono pari a 40MN (totale di 4 ammortizzatori).

In tal caso la forza nel collegamento verrà limitata dalla valvola limitatrice di pressione situata sugli ammortizzatori, che permetterà all'olio di passare da una camera del cilindro alla camera opposta. La valvola limitatrice di pressione dovrebbe essere regolata su una pressione corrispondente alla pressione massima di progetto del cilindro, limitando il carico sulle strutture a 40MN per lato.

Gli effetti dettagliati sulle strutture del ponte per i casi di carico accidentali sopra indicati sono valutati nel doc. N° CG1000-P-CL-D-P-SV-I3-00-00-00-01 Relazione di Progetto - Cassone Stradale, Ferroviario e Trasverso.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali		<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

6.3 Comportamento degli ammortizzatori

La verifica delle caratteristiche implementate sugli ammortizzatori viene effettuata nell'analisi sismica in base all'analisi della storia temporale al fine di simulare correttamente il comportamento non lineare degli ammortizzatori. Come base è utilizzato lo stato limite ULS.

6.3.1 Ammortizzatore D1

Nella Figura 6-7 è riportata in diagramma la forza nell'ammortizzatore D1 in funzione del movimento per la serie temporale E8. È possibile vedere la componente dominante trasversale.

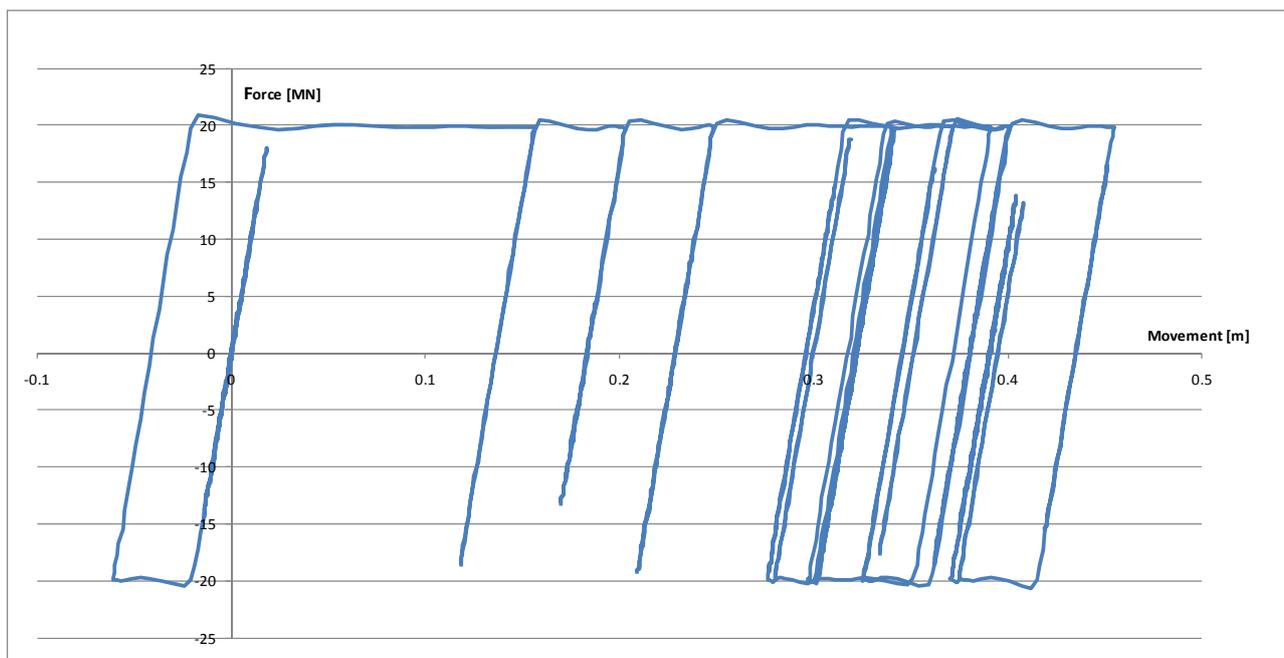


Figura 6-7: Ammortizzatore D1 in corrispondenza della torre Sicilia per $0.8s+1.0y+0.75z$, serie temporale E8. Forza in funzione del movimento.

Come si vede, la rigidità iniziale dell'ammortizzatore è modellata correttamente. Viene raggiunto il valore di soglia di 20MN e quando la forza viene superata la rigidità dell'ammortizzatore cambia. L'ammortizzatore si sposta tra -0.061m e 0.458m su una distanza totale di 0.519m.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali		<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

6.3.2 Ammortizzatore D2

Nella Figura 6-8 è riportata in diagramma la forza nell'ammortizzatore D2 in corrispondenza della torre Sicilia in funzione del movimento per la serie temporale E1 con una componente dominante longitudinale.

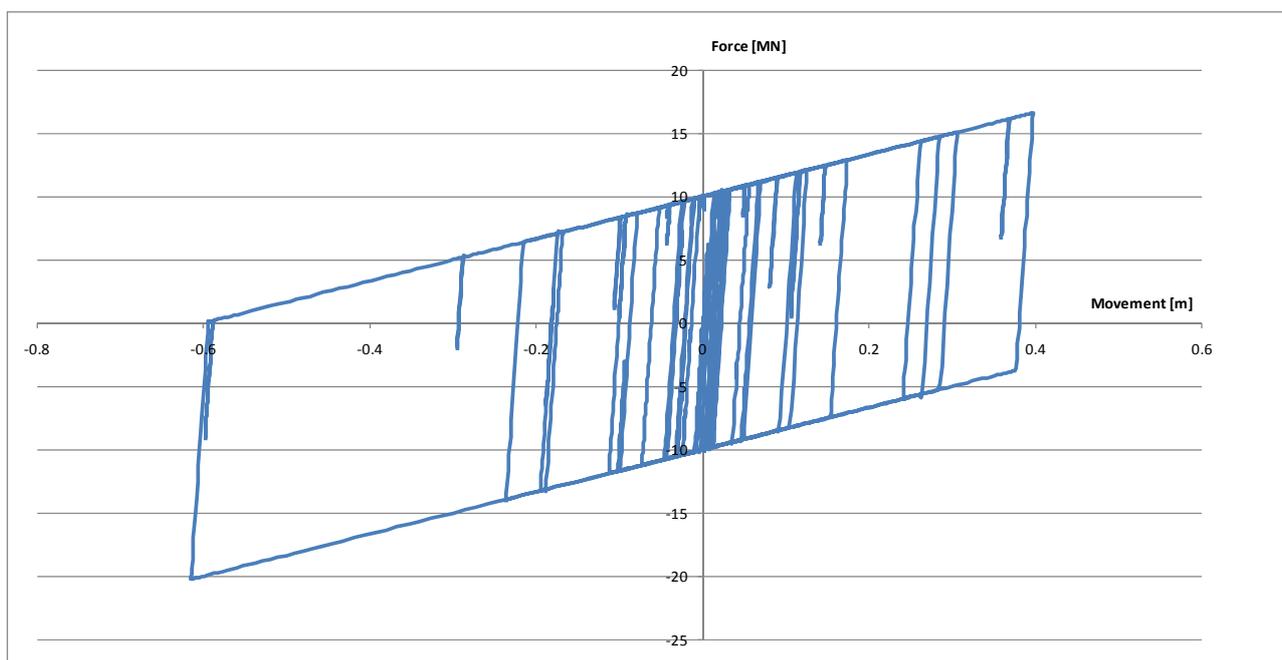


Figura 6-8: Ammortizzatore D2 in corrispondenza della torre Sicilia per $1.0s+0.8y+0.75z$, serie temporale E1. Forza in funzione del movimento.

Il comportamento è quello previsto, ma senza pre-caricamento delle forze e i movimenti non sono così grandi come quelli indicati nelle caratteristiche della Figura 6-2.

La condizione di pre-caricamento è aggiunta in base alle seguenti componenti:

- Temperatura uniforme massima;
- Fissaggio dei carichi di traffico in modo da avere la massima forza di trazione negli ammortizzatori longitudinali in corrispondenza della torre Calabria.

Nella Figura 6-9 è riportata in diagramma la forza nell'ammortizzatore D2 in corrispondenza della torre Sicilia in funzione del movimento per la serie temporale E1 con una componente dominante

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali		<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

longitudinale con pre-caricamento. Nella Figura 6-10 il movimento è illustrato in funzione del tempo.

Lo sviluppo nell'ammortizzatore D2 in corrispondenza della torre Calabria è riportato in diagramma per la stessa configurazione nella Figura 6-11 e nella Figura 6-12.

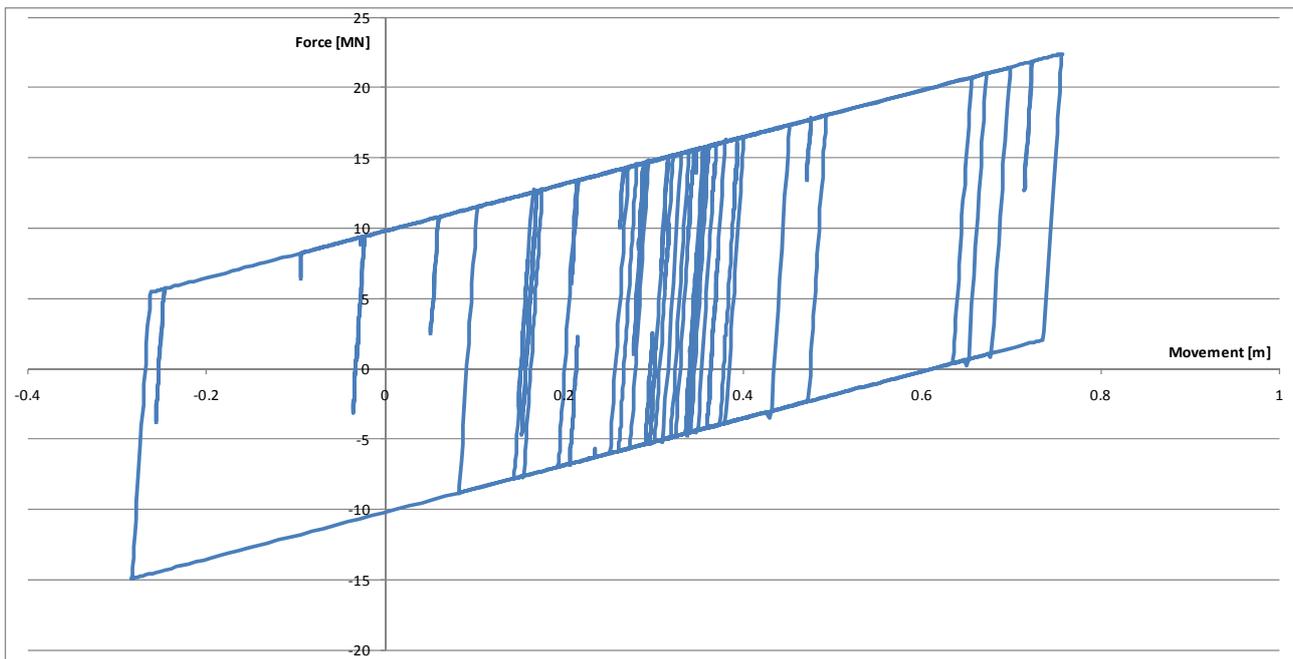


Figura 6-9: Ammortizzatore D2 in corrispondenza della torre Sicilia per 1.0s+0.8y+0.75z, serie temporale E1, con pre-caricamento costituito da temperatura e traffico. Forza in funzione del movimento.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali		Codice documento PS0187_F0_ITA.doc	Rev F0	Data 20-06-2011

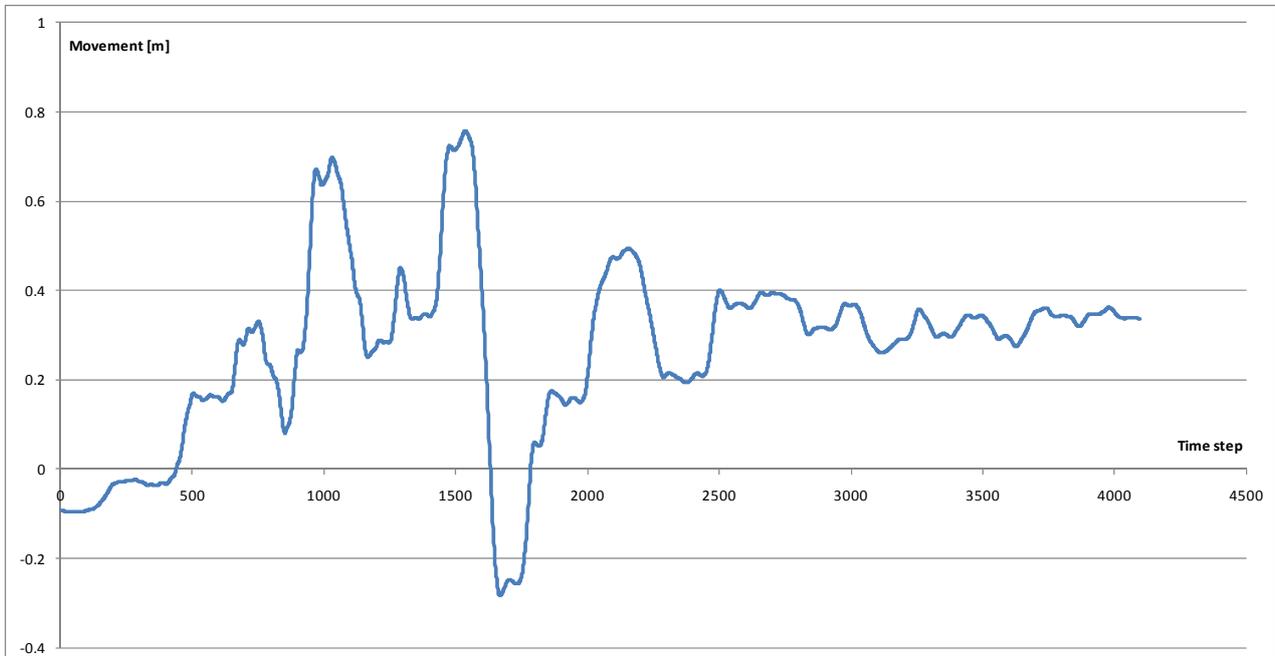


Figura 6-10: Ammortizzatore D2 in corrispondenza della torre Sicilia per $1.0s+0.8y+0.75z$, serie temporale E1, con pre-caricamento costituito da temperatura e traffico. Movimento in funzione del tempo

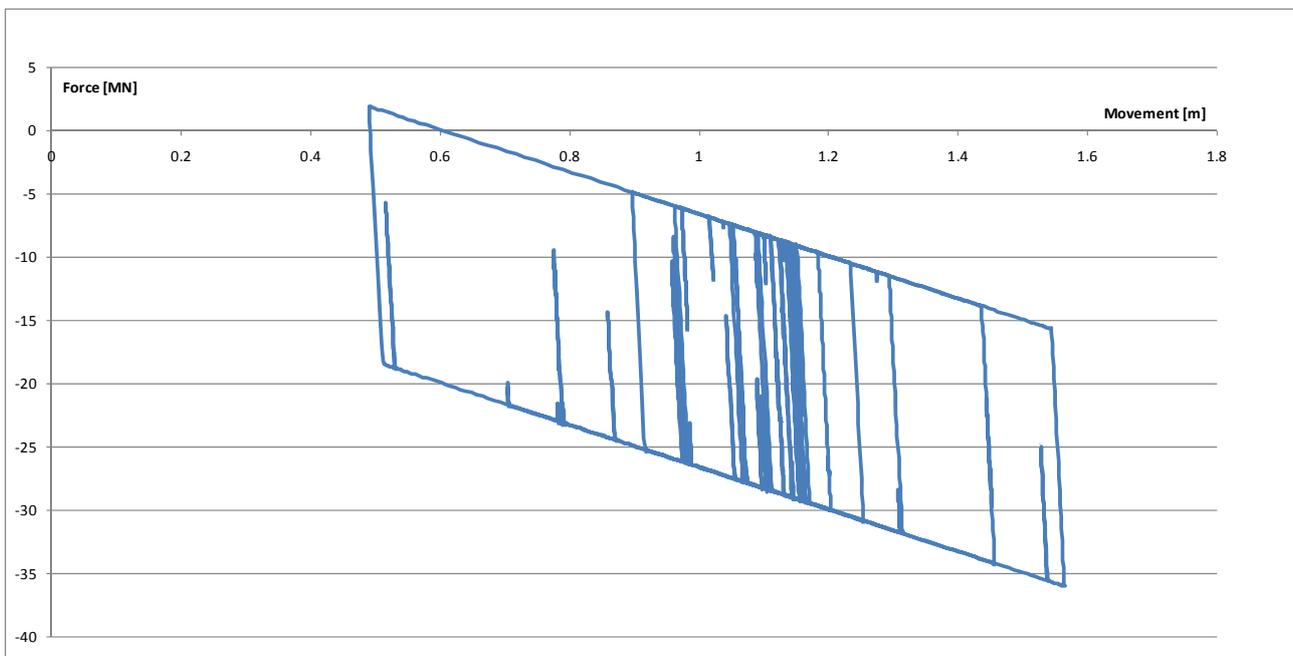


Figura 6-11: Ammortizzatore D2 in corrispondenza della torre Calabria per $1.0s+0.8y+0.75z$, serie temporale E1, con pre-caricamento costituito da temperatura e traffico. Forza in funzione del movimento

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali		<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

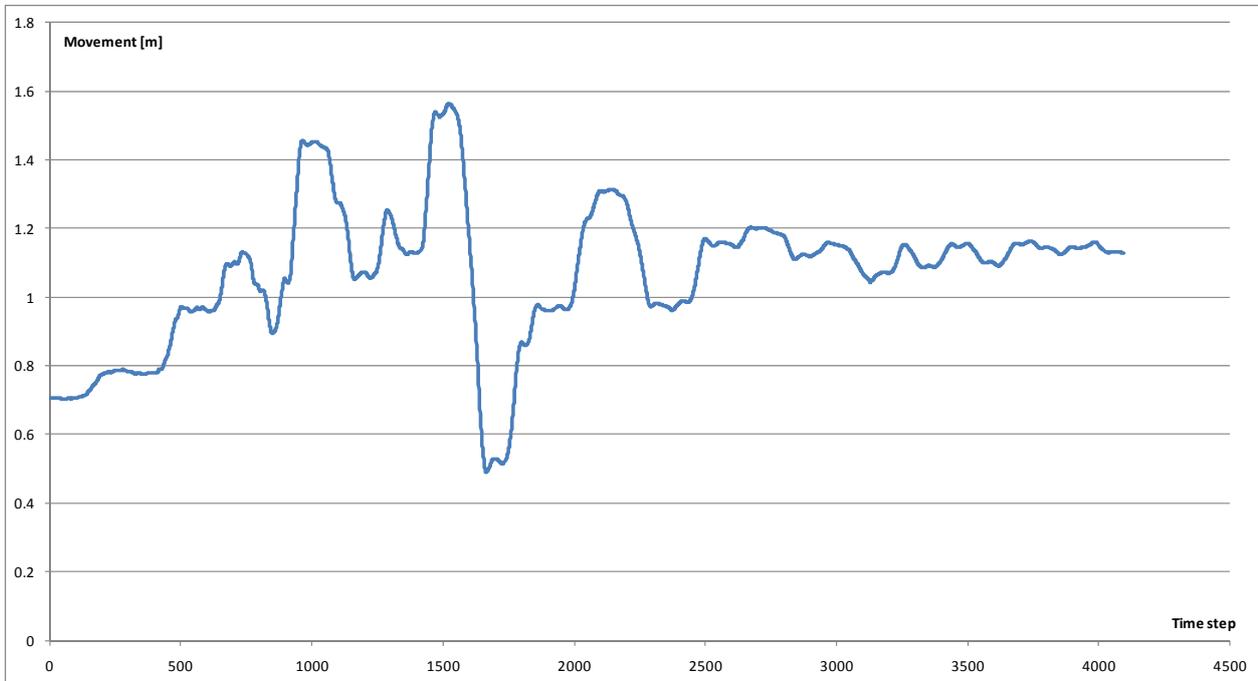


Figura 6-12: Ammortizzatore D2 in corrispondenza della torre Calabria per $1.0s+0.8y+0.75z$, serie temporale E1, con pre-caricamento costituito da temperatura e traffico. Movimento in funzione del tempo

La forza negli ammortizzatori in corrispondenza della torre Calabria è compresa tra 1.9 MN e -36.0 MN. Il pre-caricamento simula inizialmente uno spostamento di 0.71m degli ammortizzatori prima che inizi il terremoto. Gli ammortizzatori si spostano tra 0,49m e 1,565m su una distanza totale di 1,565m.

Confrontando i due grafici della Figura 6-9 e della Figura 6-11 si vede che gli ammortizzatori situati rispettivamente in corrispondenza della torre Sicilia e della torre Calabria operano in opposizione l'uno rispetto all'altro. Questo era previsto con l'applicazione degli ammortizzatori.

Quando ha inizio il terremoto gli ammortizzatori della torre Sicilia hanno movimenti simili a quelli della torre Calabria. Tuttavia i movimenti iniziali non sono identici. Sul lato Sicilia lo spostamento iniziale è di -0.093m, mentre sul lato Calabria è di 0.71m. Ciò è dovuto al fissaggio dei carichi di traffico, che sono determinati in modo da avere la massima forza di trazione negli ammortizzatori longitudinali della torre Calabria. In corrispondenza della torre Sicilia, tuttavia, questa posizione dei carichi di traffico avrà l'effetto opposto, contrapponendosi all'effetto della temperatura uniforme.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

6.4 Movimento

L'analisi della storia temporale sismica è utilizzata con il pre-caricamento degli ammortizzatori per determinare le rotazioni, i movimenti e le forze di picco negli ammortizzatori D1 e D2. La condizione di pre-caricamento è basata sulle seguenti componenti:

- Temperatura uniforme massima,
- Fissaggio dei carichi di traffico in modo da ottenere la massima forza di trazione negli ammortizzatori longitudinali in corrispondenza delle torri.

Il movimento degli ammortizzatori è riportato in CG1000-P-BX-D-P-SS-A0-00-00-00-00-01 (Sistema di articolazione - Supporti longitudinali) e in CG1000-P-AX-D-P-SS-A0-00-00-00-00-03 (Sistema di articolazione - Supporti dell'impalcato sospeso in corrispondenza delle strutture terminali).

7 Travata ferroviaria sulla struttura terminale

Alle due estremità della struttura sospesa la travata ferroviaria sporge nella struttura terminale per una distanza di 38.8 m. Gli ultimi 14.1 m sono costituiti dalla trave scanalata per il giunto di dilatazione ferroviario E4. Questo è sostenuto dagli appoggi A9, A10 e A11: gli appoggi A9 e A10 sono appoggi a scorrimento libero, mentre A11 è un appoggio scorrevole guidato.

Questa configurazione serve a limitare il movimento verticale e le rotazioni in generale nel giunto di dilatazione ferroviario.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Appendice 1 - Calcoli dettagliati per gli elementi strutturali

1 Collegamento trasversale

1.1 Collegamento al nodo centrale

- Piastre con occhielli
- Perni
- Appoggi sferici

1.2 Disposizione degli ammortizzatori

- Piastre con occhielli
- Perni
- Appoggi sferici

1.3 Collegamento alla torre

- Piastre con occhielli
- Perni
- Appoggi sferici

1.4 Dispositivo telescopico

2 Collegamenti longitudinali

2.1 Collegamento al nodo centrale

- Giunzione bullonata
- Piastre con occhielli
- Perni

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

- Appoggi sferici

2.2 Collegamenti a trasversi / impalcato sospeso

- Giunzioni bullonate

3 Collegamento verticale all'impalcato ferroviario

3.1 Elemento strutturale principale

3.2 Piastre con occhielli

3.3 Perni

3.4 Appoggi

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione di progetto – Impalcato sospeso in corrispondenza delle torri e delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0187_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Appendice 2 - Sistema di buffer idraulici longitudinali, Progetto concettuale



FIP INDUSTRIALE

Via Scapacchiò, 41 - 35030 SELVAZZANO DENTRO - PD - ITALY
Internet: <http://www.fip-group.it> E-mail: fip@fip-group.it
Tel: +39-049-8225511 Fax: +39-049-638567

**UFFICIO
TECNICO**

**TECHNICAL
DEPARTMENT**

**NT 1757
Rev. 0**

**Page 1
of 10**

MESSINA STRAIT BRIDGE

Longitudinal Hydraulic Buffers System

Conceptual Design

REV.	DESCRIPTION	PREPARED	APPROV.	DATE
0	First Issue	RCH	GPC	11/04/2011



FIP INDUSTRIALE

Via Scapacchiò, 41 - 35030 SELVAZZANO DENTRO - PD - ITALY
Internet: <http://www.fip-group.it> E-mail: fip@fip-group.it
Tel: +39-049-8225511 Fax: +39-049-638567

**UFFICIO
TECNICO**

**TECHNICAL
DEPARTMENT**

**NT 1757
Rev. 0**

**Page 2
of 10**

1	<i>Purpose</i> -----	3
2	<i>Buffer description</i> -----	3
3	<i>Buffers for longitudinal support, D2</i> -----	5
3.1	<i>Design of hydraulic circuit</i> -----	6
3.2	<i>Evaluation of the pressure loss in the hydraulic linking</i> -----	9
3.3	<i>Failure of the hydraulic linking</i> -----	9
3.3.1	<i>Slow oil leakage</i> -----	9
3.3.2	<i>Major pressure loss</i> -----	10



FIP INDUSTRIALE

Via Scapacchiò, 41 - 35030 SELVAZZANO DENTRO - PD - ITALY
Internet: <http://www.fip-group.it> E-mail: fip@fip-group.it
Tel: +39-049-8225511 Fax: +39-049-638567

**UFFICIO
TECNICO**

**TECHNICAL
DEPARTMENT**

**NT 1757
Rev. 0**

**Page 3
of 10**

1 Purpose

The Messina Strait Bridge will span the Messina Strait between Calabria on the Italian mainland and the island of Sicily. The suspension bridge crossing comprises a 3300 m span, which will be longest in the world when constructed.

To reduce movements of the bridge girder in the longitudinal direction to acceptable level, hydraulic buffers are installed longitudinally at the towers. In the event of an earthquake the buffers will also hydraulically limit the force transferred between the towers and the bridge girder.

This document have the purpose to describe the conceptual design of the longitudinal buffer system through a brief description of a buffer, of its hydraulic system and a failure analysis.

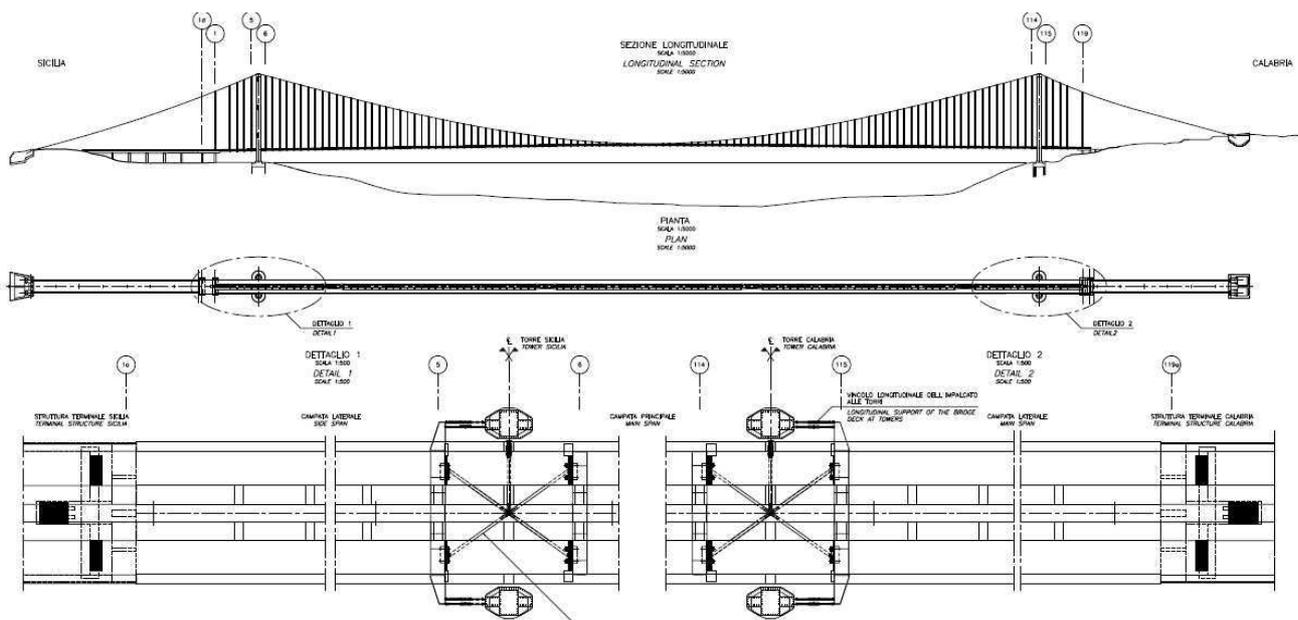


Fig. 1 – Support arrangement

2 Buffer description

The buffer consists of a cylindrical body closed at both ends by flanges. The flanges allow the passage and the displacement of the rod and a piston fixed in the middle of the rod creates two rooms filled with oil which allow to create the design constraints through a hydraulic system. The buffers have spherical bearings at the terminal ends which allow free relative rotation between the deck and the pylon.



FIP INDUSTRIALE

Via Scapacchiò, 41 - 35030 SELVAZZANO DENTRO - PD - ITALY
Internet: <http://www.fip-group.it> E-mail: fip@fip-group.it
Tel: +39-049-8225511 Fax: +39-049-638567

**UFFICIO
TECNICO**

**TECHNICAL
DEPARTMENT**

**NT 1757
Rev. 0**

**Page 4
of 10**

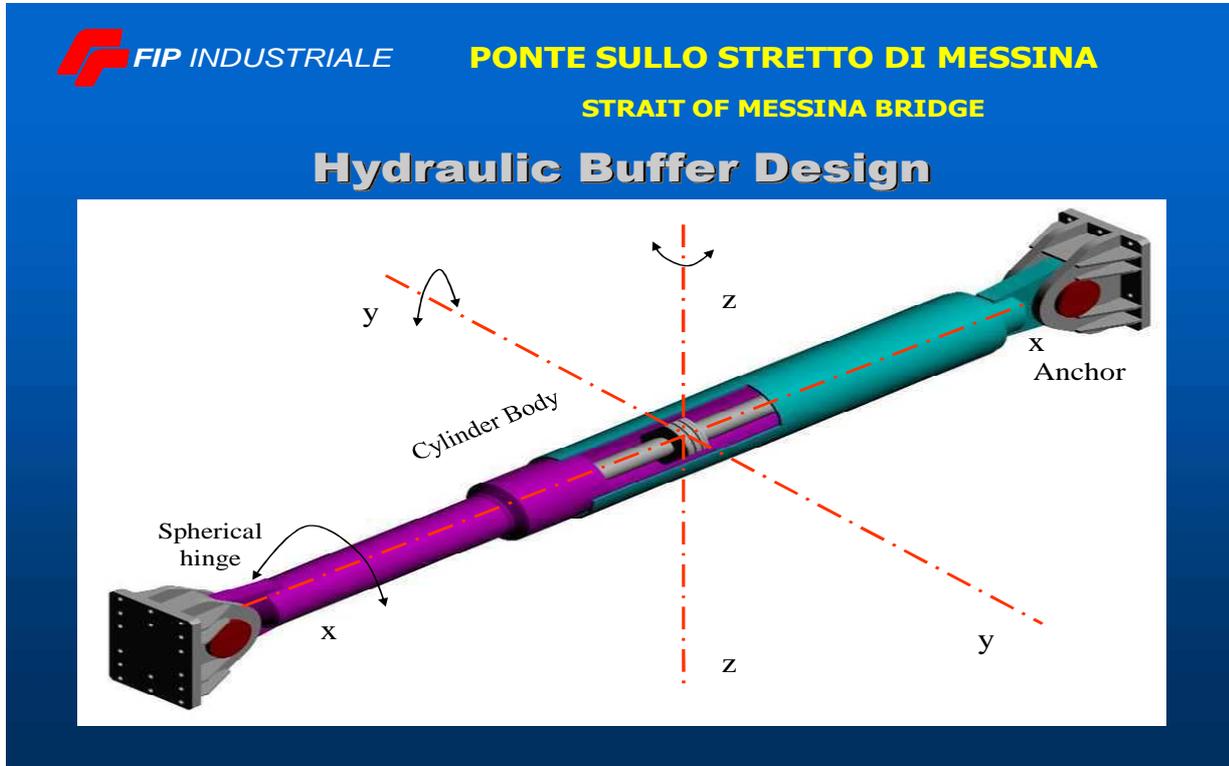


Fig. 2 – Sketch of a buffer

A system of four hydraulic buffers is installed on both sides of the girder at the towers (see fig. 3).

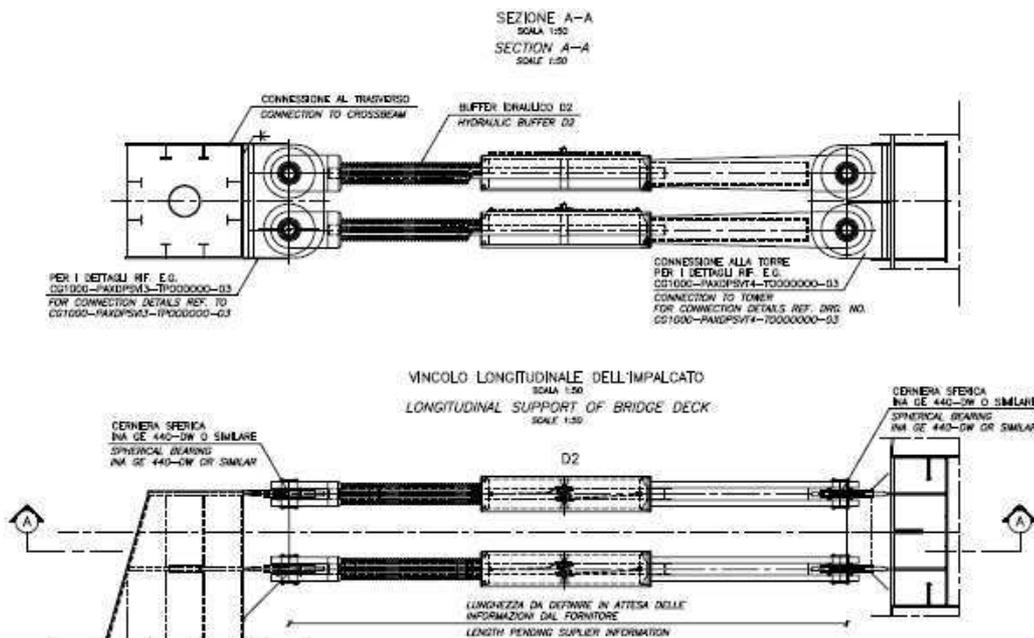


Fig. 3 – Buffer arrangement at tower



FIP INDUSTRIALE

Via Scapacchiò, 41 - 35030 SELVAZZANO DENTRO - PD - ITALY
Internet: <http://www.fip-group.it> E-mail: fip@fip-group.it
Tel: +39-049-8225511 Fax: +39-049-638567

**UFFICIO
TECNICO**

**TECHNICAL
DEPARTMENT**

**NT 1757
Rev. 0**

**Page 5
of 10**

3 Buffers for longitudinal support, D2

The buffer arrangement D2 will act as a combination of a damper and a spring according to the load-displacement diagram shown in figure 4 (the diagram refers to the behavior of the whole system of the devices at the two legs; for the sake of clarification: at each leg there will be four devices and the diagram shows the behavior of the whole 4+4 system).

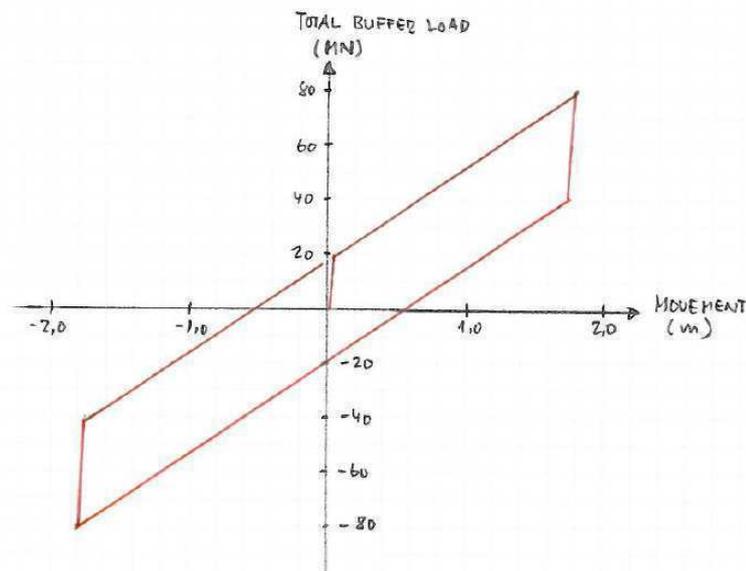


Fig. 4 – Buffer characteristic

The buffer characteristic is achieved by combining a dissipative system with a spring as indicated below in fig. 5.

The buffer system will have a rigid behavior till the threshold value of 20 MN, then the buffer system will have a spring behavior from 20 MN to 80 MN according to the displacement from 0 to 1.8 m (movement of the deck). In this configuration, the deck moves only after reaching the design force, then, during its longitudinal movement, the force is increased by the action of a hydraulic spring which will tend to return to the middle position the bridge deck.



FIP INDUSTRIALE

Via Scapacchiò, 41 - 35030 SELVAZZANO DENTRO - PD - ITALY
Internet: <http://www.fip-group.it> E-mail: fip@fip-group.it
Tel: +39-049-8225511 Fax: +39-049-638567

**UFFICIO
TECNICO**

**TECHNICAL
DEPARTMENT**

**NT 1757
Rev. 0**

**Page 6
of 10**

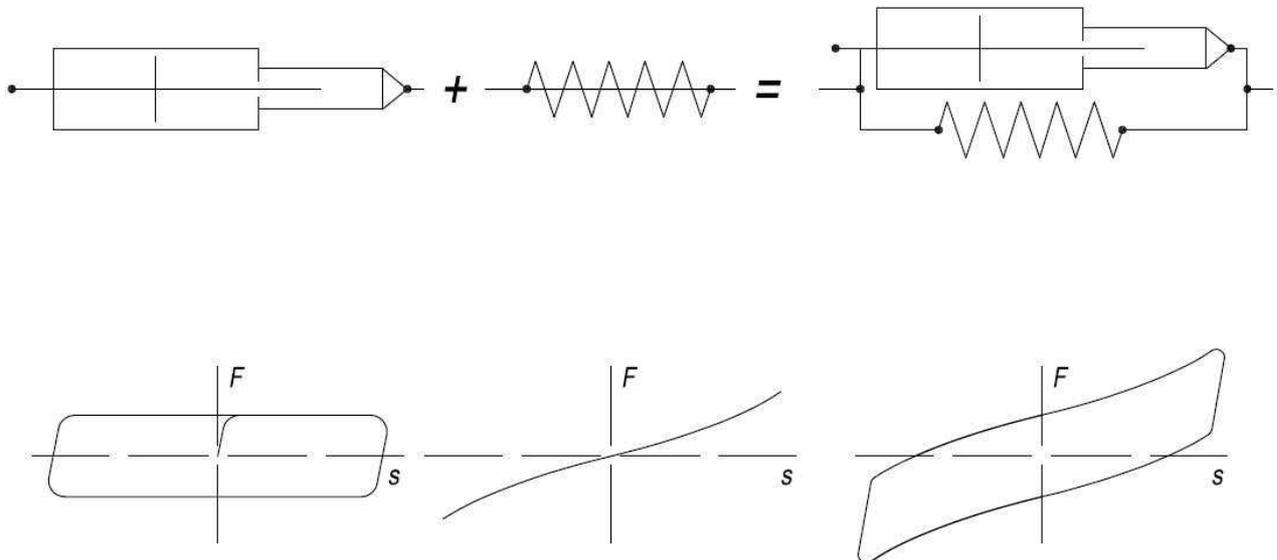


Fig. 5 – Damper + spring modelling

3.1 Design of hydraulic circuit

Each hydraulic buffer have a particular hydraulic circuit designed to obtain the behavior stated above with the following description.

As indicated in the figure 6 the movement of the piston pushes the oil against the pressure relief valve (set at the design pressure), which transforms the kinetic energy of the deck opening in heat.

The effect of hydraulic spring, as we first explained, that tends to bring the deck in its central position, is given by the entry of oil into an accumulator with a separate chamber filled with nitrogen. The increase of nitrogen pressure creates the effect of the hydraulic spring which tends to bring the deck in the center.

In addition to allowing the re-centering effect, nitrogen accumulators permit to resume the change in oil volume due to temperature changes of season (winter-summer) or heating oil due to the dynamic movement of the deck.

In fact, if the temperature rise in a closed hydraulic circuit, the oil pressure would greatly increase (about 9 bar each Celsius degree), resulting in failure of the cylinder or the hydraulic circuit. The presence of the accumulators can forfeit this increase volume without appreciable differences in pressure inside the cylinder.

Were the oil temperature decreases and, therefore, its volume, the accumulators will return to the oil inside the cylinder due to the pressure of the nitrogen.

Another important function given by the nitrogen accumulator is to maintain pressurized the hydraulic system even in the presence of small leaks in the system as explained in the following paragraph.



FIP INDUSTRIALE

Via Scapacchiò, 41 - 35030 SELVAZZANO DENTRO - PD - ITALY
Internet: <http://www.fip-group.it> E-mail: fip@fip-group.it
Tel: +39-049-8225511 Fax: +39-049-638567

**UFFICIO
TECNICO**

**TECHNICAL
DEPARTMENT**

**NT 1757
Rev. 0**

**Page 7
of 10**

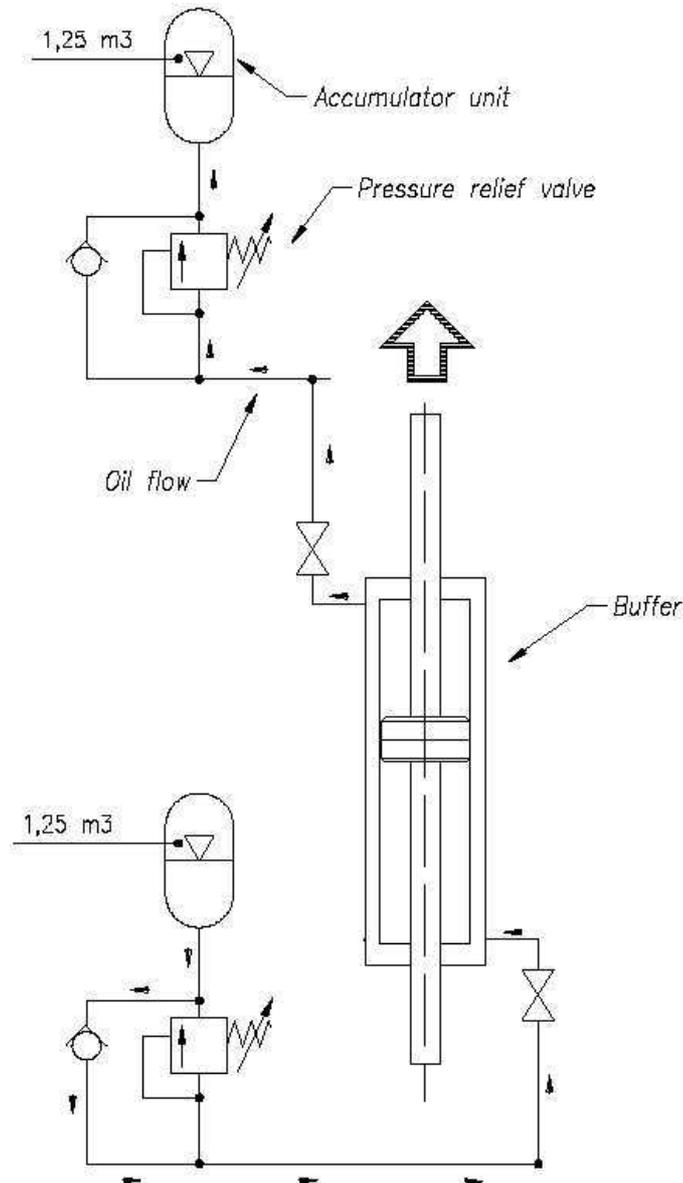


Fig. 6 – Hydraulic circuit of each singular buffer

The buffer system will be hydraulically connected between the north and the south leg of the same tower in order to allow free rotation of the bridge girder around the vertical axis (no rotational restraint at the tower as the oil is free to move from side to side).



FIP INDUSTRIALE

Via Scapacchiò, 41 - 35030 SELVAZZANO DENTRO - PD - ITALY
Internet: <http://www.fip-group.it> E-mail: fip@fip-group.it
Tel: +39-049-8225511 Fax: +39-049-638567

**UFFICIO
TECNICO**

**TECHNICAL
DEPARTMENT**

**NT 1757
Rev. 0**

**Page 8
of 10**

This feature is made possible by connecting the two sets of hydraulic cylinders, doing so during the rotation of the deck oil passes from one cylinder group to another through the connecting pipe without passing through the pressure relief valves, thus making the bridge wheel freely.

The hydraulic schematic sketch here below (fig. 7) shows, in concept, the feasibility of linking the two groups of buffers on both legs and to obtain a system which works at the same pressure independently from the different displacement at the two legs.

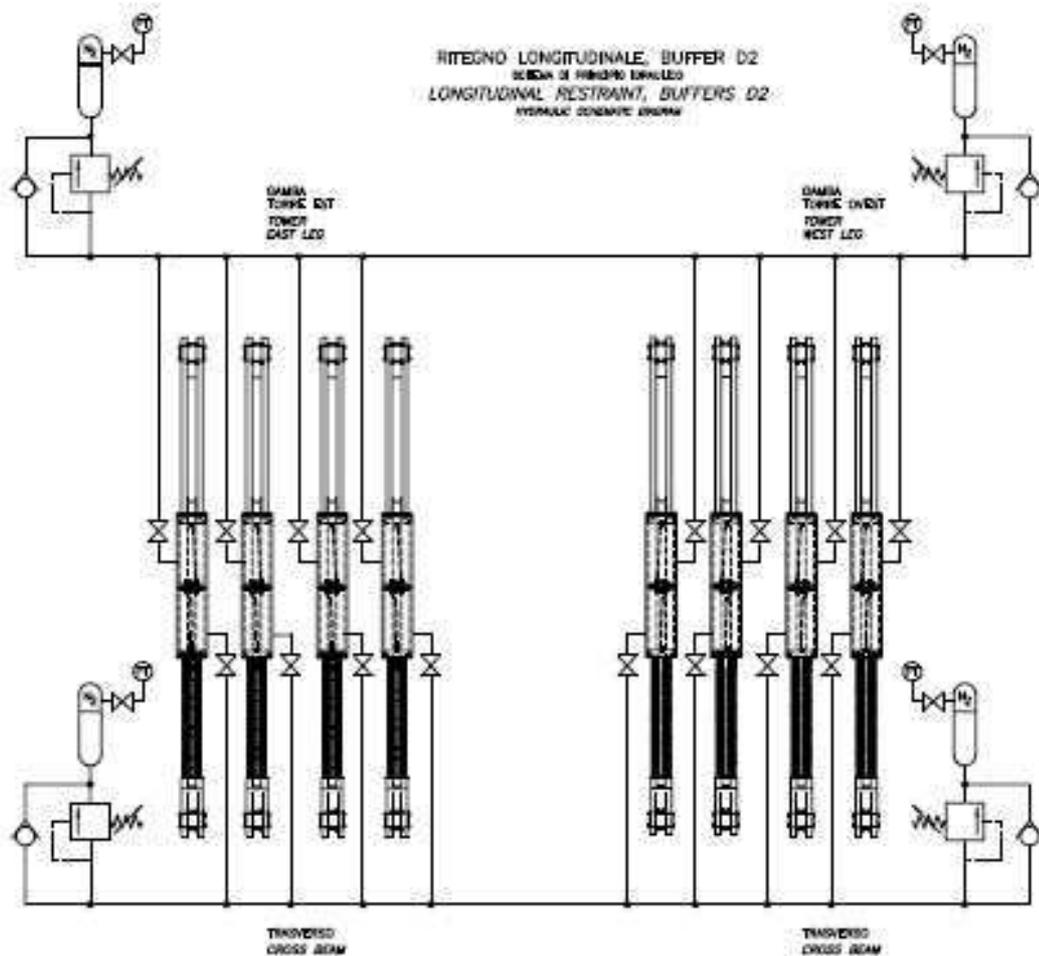


Fig. 7 – Hydraulic linking

The volume of oil to be moved during an earthquake from one side to the other (i.e. from north leg to south leg) through the connecting piping is small, app. 22 lt, however due to the short period of time at the peak rate, around 100-150 l/s.

This means that the pipes should have a diameter of app. 220 mm to allow free rotation of the bridge girder relative to the tower.

 FIP INDUSTRIALE Via Scapacchiò, 41 - 35030 SELVAZZANO DENTRO - PD - ITALY Internet: http://www.fip-group.it E-mail: fip@fip-group.it Tel: +39-049-8225511 Fax: +39-049-638567	UFFICIO TECNICO	NT 1757 Rev. 0
	TECHNICAL DEPARTMENT	Page 9 of 10

For longitudinal movements, the volume of oil to be moved from the cylinders to the accumulator tanks is, at the peak rate, around 800-900 l/s (54.000 l/min) in total for the eight cylinders. This means that the pipes from each cylinder to its accumulator should have a diameter of app. 190 mm to assure a quickly answer of the system.

3.2 Evaluation of the pressure loss in the hydraulic linking

Although the diameter of the piping connection will be large, considering the distance between the two groups of hydraulic cylinders (around 60 m) and the presence of some curves, flexible tubes, manifolds, etc., we can suppose a total loss of pressure in the hydraulic linking of around 10% of the working pressure. This means that the pressure in the two hydraulic system located at the two legs of the same tower will be practically the same during all the normal operation of the system.

3.3 Failure of the hydraulic linking

The hydraulic system is provided with a system of monitoring and protection against the pressure drop.

The following failure modes in the link between the two buffer groups has been envisaged:

- Slow oil leakage from seals, pipe joints, valves, etc.
- Major loss of oil pressure due to hose or pipe burst

3.3.1 Slow oil leakage

For small leaks that show light dripping adjacent to the affected areas, the system works properly; the change in volume of the oil due to the leakage is compensated by the oil stored in accumulator; the losses can be noticed visually or through the monitoring system that consists of transducers pressure on the set.

In case of a decrease in the oil pressure an alarm will be sent to the control room, dispatching maintenance crew to activate the manually activated make-up pumps in order to maintain the pilot pressure.

The function of the longitudinal restraint is not affected.

The cause for the alarm shall be found and repaired.



FIP INDUSTRIALE

Via Scapacchiò, 41 - 35030 SELVAZZANO DENTRO - PD - ITALY
Internet: <http://www.fip-group.it> E-mail: fip@fip-group.it
Tel: +39-049-8225511 Fax: +39-049-638567

**UFFICIO
TECNICO**

**TECHNICAL
DEPARTMENT**

**NT 1757
Rev. 0**

**Page 10
of 10**

3.3.2 Major pressure loss

A big loss of oil can happen if hoses, valves, pipes, fittings, etc. will break.

The hydraulic cylinders are equipped with hose-burst valves which will close immediately in case of loss of pilot pressure. Each cylinder is then sealed off maintaining the oil in the chambers.

This will limit the loss of oil to the quantity present in the broken pipe.

The longitudinal restraint will now work as a rigid connection between the deck and the tower. The pressure relief valves located on the cylinders, however, will allow movement of the piston as the oil will flow between the two chambers when the relief pressure is reached and ensure that the hydraulic pressure does not damage the cylinders (see fig. 8).

The load acting on the tower leg will in this case be determined by the relief pressure set on the pressure relief valve.

It shall be noted that a full operating longitudinal restraint will be active on the opposite tower during the repair period.

An alarm will be sent to the control room in case of loss of oil pressure and maintenance crew shall be dispatched to locate the leakage. Spare parts shall be brought from the storage to replace the damaged parts.

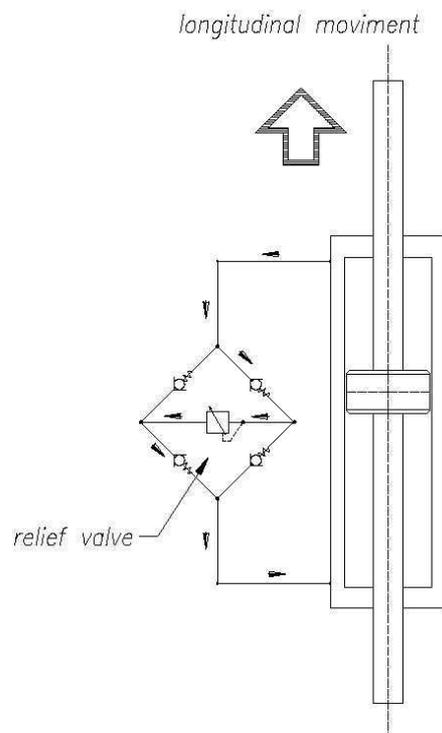


Fig. 8 – Safety circuit