

# 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</p>  <p>Dott. Ing. F. Colla          Ordine Ingegneri          Milano          n° 20355</p>  <p>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> COLLEGAMENTI VERSANTE CALABRIA</p> <p><i>Tipo di sistema</i> CENTRO DIREZIONALE</p> <p><i>Raggruppamento di opere/attività</i> OPERE CIVILI EDILI</p> <p><i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> PARCHEGGIO CENTRO DIREZIONALE</p> <p><i>Titolo del documento</i> CORPO DI FABBRICA 4 – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">CD0144_F0</div>
---	--

CODICE	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td>C</td><td>G</td><td>0</td><td>7</td><td>0</td><td>0</td><td>P</td><td>C</td><td>L</td><td>D</td><td>C</td><td>C</td><td>D</td><td>1</td><td>C</td><td>P</td><td>R</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>F0</td> </tr> </table>	C	G	0	7	0	0	P	C	L	D	C	C	D	1	C	P	R	0	0	0	0	0	0	1	2	F0
C	G	0	7	0	0	P	C	L	D	C	C	D	1	C	P	R	0	0	0	0	0	0	1	2	F0		

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	E. CAFFARENA	G. SCIUTO	F. COLLA



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## INDICE

1.	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	7
2.	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	9
3.	CARATTERISTICHE MATERIALI .....	9
3.1	CALCESTRUZZO PER STRUTTURE DI ELEVAZIONE .....	9
3.2	CALCESTRUZZO PER STRUTTURE DI FONDAZIONE .....	11
3.3	ACCIAIO PER OPERE IN C.A.....	11
3.4	ACCIAIO PER CARPENTERIE METALLICHE .....	12
4.	DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA.....	14
4.1	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E UBICAZIONE DELLA STRUTTURA.....	14
4.2	PRESTAZIONI ATTESE E CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....	16
4.3	AZIONI SULLA COSTRUZIONE.....	24
4.3.1	AZIONI PERMANENTI.....	24
4.3.2	AZIONI VARIABILI GENERICHE.....	25
4.3.3	AZIONI DELLA NEVE .....	27
4.3.4	AZIONI DEL VENTO .....	29
4.3.5	CARICHI VARIABILI - SIMULAZIONE PRESENZA VEICOLI A MOTORE.....	32
4.3.6	VARIAZIONI TERMICHE .....	35
4.3.7	AZIONI SISMICHE .....	35
4.4	CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE .....	41
5.	ELABORATI DI RIFERIMENTO .....	49
6.	ANALISI STRUTTURALE.....	49
6.1	ANALISI DEI CARICHI.....	49
6.2	COMBINAZIONI DI CARICO .....	49
6.3	DESCRIZIONE DELLE PROCEDURE DI ANALISI .....	57
6.4	ANALISI STATICA LINEARE .....	58
6.5	ANALISI DINAMICA MODALE.....	58
6.6	MODELLO DI CALCOLO .....	59
6.6.1	SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATO.....	60
6.6.2	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO .....	63
6.7	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI .....	63
6.8	RISULTATI DELL'ANALISI SISMICA.....	66
6.9	SINTESI DEI PARAMETRI DELL'ANALISI SISMICA .....	69
6.10	CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE .....	69

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

7.	VERIFICA DI RESISTENZA DELLE MEMBRATURE .....	88
7.1	VERIFICHE DELLE SEZIONI .....	89
8.	AFFIDABILITA' DEL MODELLO DI CALCOLO ADOPERATO .....	104
8.1	INFORMAZIONI GENERALI SULL'ELABORAZIONE .....	106
8.2	GIUDIZIO SULL'AFFIDABILITA' DEI RISULTATI OTTENUTI.....	107
9.	TABULATI DI CALCOLO.....	108

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## PREMESSA

La presente relazione illustra i risultati dei calcoli che riguardano il progetto delle armature, e le verifiche delle tensioni di esercizio dei materiali da costruzione e del terreno di fondazione, con riferimento al corpo di fabbrica n. 4, porzione di un insediamento di maggiore consistenza che rientra fra le opere previste a corredo della realizzazione del Ponte sullo Stretto di Messina. In particolare si tratta di uno dei corpi di fabbrica di cui si compone l'intero sistema dei parcheggi pubblici a servizio della piazza di pertinenza del CEDIR.

Il corpo di fabbrica in esame ha struttura portante in calcestruzzo armato gettato in opera, a sua volta costituita da elementi resistenti verticali, rappresentati da pilastri a sezione circolare e setti bidimensionali a sezione rettangolare, incastrati al piede alla struttura di fondazione e in testa ad un graticcio di travi a sezione rettangolare. La soletta di copertura, a sua volta, è stata considerata quale struttura di sostegno degli elementi resistenti verticali di una porzione di sovrastruttura in acciaio, definita *Arcade*, completamente aperta dai lati, avente la funzione di consentire il collegamento coperto fra le porzioni all'aperto degli edifici costituenti l'intero complesso edilizio. La fondazione dell'intera struttura è rappresentata da una piastra orizzontale dallo spessore uniforme, disposta su un cuscino di calcestruzzo magro di spessore pari a 20 cm, le travi in elevazione sono suddivise in travi principali e travi secondarie, e su di esse è ordita la soletta, a sua volta rappresentata da una piastra piena, dello spessore pari a 20 cm, armata nelle due direzioni ortogonali.

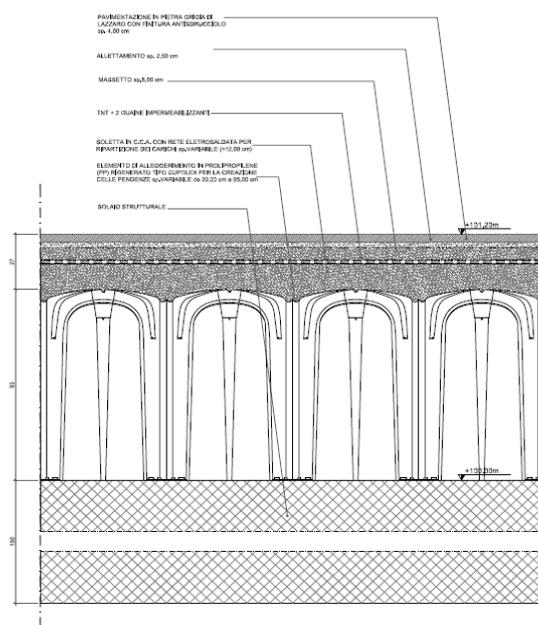


Figura: Sezione della soletta in elevazione

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Il corpo di fabbrica si compone, dunque, di due livelli, uno in corrispondenza del piano di fondazione ove, dopo l'esecuzione dei massetti delle pendenze e delle pavimentazioni saranno distribuiti i parcheggi pubblici, e uno in corrispondenza dell'impalcato in elevazione, ove sarà realizzato un pacchetto aggiuntivo, costituito da elementi di alleggerimento in polipropilene, un'ulteriore soletta in calcestruzzo armato di ripartizione dei carichi, uno strato di guaina impermeabilizzante, il massetto, uno strato di allettamento e la pavimentazione in pietra di Lazzaro, che fungerà da piano di calpestio di una piazza.

I livelli citati sono messi in comunicazione da un sistema di scale, realizzate con solette incastrate a sbalzo ai setti verticali del nucleo dei servizi, e da un vano ascensore, posto in posizione pressoché centrata rispetto allo stesso nucleo.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 1. RIFERIMENTI NORMATIVI

L'elaborazione strutturale dell'opera è stata condotta in osservanza delle disposizioni impartite dalle Norme Tecniche per le Costruzioni emanate con D.M. 14.01.2008, e dagli Eurocodici strutturali, sia la dove questi sono espressamente richiamati dalle NTC che nei casi in cui le NTC si limitano ad un generico rinvio a "norme di comprovata validità".

Tuttavia, la dove ritenuto opportuno, sono state recepite le prescrizioni impartite da tutte le norme tecniche a valore cogente o anche solo prescrittivo; ciò al fine di redigere un progetto non solo rispettoso delle imposizioni di legge, ma dotato anche di caratteristiche prestazionali tali da aggiungere valore all'opera da realizzare. Nei casi in cui uno o più particolari aspetti dell'opera in progetto non siano oggetto di attenzione da parte della particolare norma utilizzata si è ritenuto opportuno ricorrere alle "prescrizioni", recepite in modo volontario, riportati in altre norme che assumo carattere soprannazionale o, a volte, semplicemente valore di meri suggerimenti della "buona tecnica del costruire".

Si ritiene pertanto opportuno riportare di seguito l'intero elenco delle norme tecniche che, in diversa misura, hanno contribuito a definire le linee guida del presente progetto:

<b>Legge 5 novembre 1971 N. 1086</b>	Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica
<b>Circ. MIN. LL. PP. N. 11951 del 14 febbraio 1992</b>	Circolare illustrativa della legge N. 1086
<b>Circolare Ministero dei Lavori Pubblici 25 Febbraio 1991, N. 34233</b>	Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali
<b>D.M. 14 febbraio 1992</b>	Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale, precompresso e per le strutture metalliche
<b>Circ. MIN. LL. PP. N. 37406 del 24 giugno 1993</b>	Istruzioni relative alle norme tecniche per l'esecuzione delle opere in c.a. normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al D.M. 14 febbraio 1992
<b>Circ. MIN. LL.PP. 24 Giugno 1993</b>	Istruzioni in merito alle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate
<b>C.N.R. - UNI 10011-97</b>	Costruzioni di acciaio: Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione
<b>D.M. LL.PP. 9 gennaio 1996</b>	Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche
<b>Circ. MIN. LL. PP. N. 156AA.GG./STC del 4 luglio 1996</b>	Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" di cui al

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

	D.M. 16 gennaio 1996
<b>D.M. 16.1.1996</b>	Norme tecniche relative alle costruzioni in zone sismiche
<b>Circ. Min. LL.PP. 15.10.1996 n. 252 AA.GG./S.T.C.</b>	Istruzioni per l'applicazione delle «Norme tecniche per il calcolo e l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche» di cui al D.M. 09.01.1996.
<b>Circ. Min. LL.PP. 10.4.1997, n. 65</b>	Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative alle costruzioni in zone sismiche" di cui al D.M. 16 gennaio 1996
<b>UNI EN 206-1/2001</b>	Calcestruzzo. Specificazioni, prestazioni, produzione e conformità
<b>Norma CNR 10016-2000</b>	Strutture composte da acciaio e calcestruzzo istruzioni per l'impiego nelle costruzioni
<b>D.M. 14/9/2005</b>	Norme tecniche per le Costruzioni
<b>D.M. 14/01/2008</b>	Nuove norme tecniche per le costruzioni
<b>Circ. Min. II. e T. 02/02/2009 n. 617</b>	Istruzioni per l'applicazione delle <<Nuove norme tecniche per le costruzioni>> di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 2. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Sono stati considerati i seguenti riferimenti:

- UNI ENV 1992-1-1 Parte 1-1:Regole generali e regole per gli edifici;
- UNI EN 206-1/2001 - Calcestruzzo. Specificazioni, prestazioni, produzione e conformità;
- UNI EN 1993-1-1 - Parte 1-1:Regole generali e regole per gli edifici;
- UNI EN 1998-1 – Azioni sismiche e regole sulle costruzioni;
- UNI EN 1998-5 – Fondazioni ed opere di sostegno;

## 3. CARATTERISTICHE MATERIALI

Nel presente capitolo si riportano le caratteristiche dei materiali che si progetta di adoperare per la realizzazione del manufatto descritto dal presente elaborato. In sede di progettazione le caratteristiche dei materiali sono state desunte in ottemperanza alle prescrizioni impartite dalle NTC08 alle quali si rimanda per eventuali dettagli non riportati nelle pagine seguenti; in particolare le caratteristiche fisico – meccaniche del calcestruzzo, che notoriamente possono variare entro intervalli relativamente ampi, sono state calcolate utilizzando le formule riportate nelle citate norme tecniche.

Per la realizzazione del manufatto in parola si prevede l'impiego dei seguenti materiali le cui specifiche tecniche sono riportate negli specifici sottoparagrafi:

- Calcestruzzo per strutture di elevazione → C30/37;
- Calcestruzzo per strutture di fondazione → C30/37;
- Acciaio per opere in c.a. → B450C
- Acciaio per carpenterie metalliche → S355

### 3.1 CALCESTRUZZO PER STRUTTURE DI ELEVAZIONE

Per le strutture di elevazione si utilizza calcestruzzo appartenete alla classe C30/37 le cui caratteristiche fisiche risultano le seguenti:

Descrizione	Simbolo	Misura
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck}$	30.000 KN/m <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a compressione <sup>1</sup>	$f_{cd}$	17.000 KN/m <sup>2</sup>
Modulo elastico	E	32.836.500,00 KN/m <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Le resistenze di calcolo per sollecitazioni composte sono valutate per via automatica nella fase di verifica

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Coefficiente di Poisson	$\nu$	0.2
Peso specifico del c.a.	$\gamma$	25 KN/m <sup>3</sup>
Coefficiente di dilatazione termica	$\alpha$	1.00E-07 °C <sup>-1</sup>

Essendo spesso di più immediata interpretazione nelle prassi progettuali nazionali si ritiene opportuno fornire il criterio di conversione dalla resistenza cilindrica a quella cubica che può essere fatto sfruttando la seguente equazione:

$$f_{ck} = 0,83R_{ck}$$

La resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo è calcolata mediante la relazione:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,85 \frac{f_{ck}}{1,5}$$

La resistenza media a trazione semplice (assiale) del conglomerato cementizio assume, in fase progettuale, il seguente valore convenzionale:

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3}$$

Il modulo elastico istantaneo del calcestruzzo, in sede di progettazione, è calcolato in base alla relazione:

$$E_{cm} = 22.000 \left[ \frac{f_{cm}}{10} \right]^{0,3}$$

Le analisi strutturali sono condotte ipotizzando che il legame costitutivo sia quello elastico. Per le verifiche di resistenza delle sezioni, condotte allo SLU con criterio elasto – plastico, si utilizza il legame parabola – rettangolo graficamente rappresentato nella figura seguente:

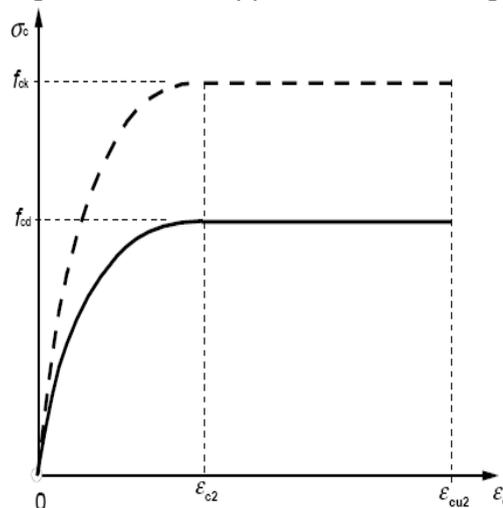


Figura 3.1 – Legame costitutivo del calcestruzzo

Assumendo i parametri  $f_{ck}$  ed  $f_{cd}$  i valori precedentemente indicati e:

- $\epsilon_{c2} = 0,20\%$
- $\epsilon_{cu} = 0,35\%$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 3.2 CALCESTRUZZO PER STRUTTURE DI FONDAZIONE

Per le strutture di fondazione si utilizza calcestruzzo appartenente alla classe C30/37 le cui caratteristiche fisiche sono identiche a quelle del calcestruzzo utilizzato per le strutture di elevazione e non sono qui ripetute.

### 3.3 ACCIAIO PER OPERE IN C.A.

Per la realizzazione delle opere in c.a. si utilizza acciaio del tipo B450C avente le caratteristiche fisico – meccaniche imposte dalle NTC08 che deve essere caratterizzato dai seguenti valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento e rottura da utilizzare nei calcoli:

$$f_{yk} = 450 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{tk} = 540 \frac{N}{mm^2}$$

E deve rispettare i requisiti indicati nella seguente tabella:

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk}$	$\geq f_{y, nom}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura $f_{tk}$	$\geq f_{t, nom}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,15$	10.0
$(f_y/f_{y, nom})_k$	$\leq 1,25$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$	$\geq 7,5 \%$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90 ° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
$\phi < 12 \text{ mm}$	4 $\phi$	
$12 \leq \phi \leq 16 \text{ mm}$	5 $\phi$	
per $16 < \phi \leq 25 \text{ mm}$	8 $\phi$	
per $25 < \phi \leq 40 \text{ mm}$	10 $\phi$	

La resistenza di calcolo dell'acciaio è riferita alla tensione di snervamento ed il suo valore è dato da:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{450}{1,15} = 391,30 \frac{N}{mm^2} = 391304347,8 Pa$$

Il modulo elastico è assunto in modo convenzionale pari a:  $E_Y$ : 210.000.000 KN/m<sup>2</sup>

Il legame costitutivo utilizzato è graficamente rappresentato nella seguente figura:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

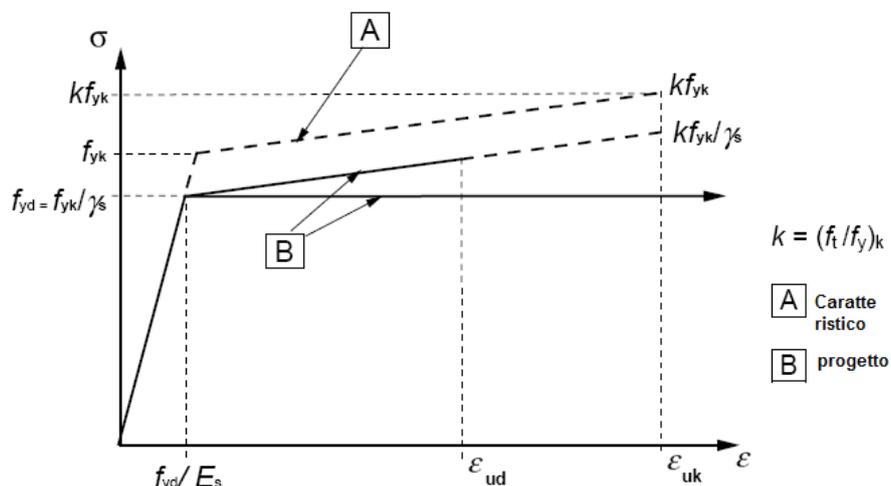


Figura 3.2: Legame costitutivo di progetto dell'acciaio

Dovendo intendere che i diversi parametri assumono i valori previsti dalle NTC08.

Nella seguente tabella si riporta il riepilogo dei diversi parametri prima descritti:

Descrizione	Simbolo	Misura
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$	450.000 KN/m <sup>2</sup>
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk}$	540.000 KN/m <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo	$f_{yd}$	391.300,00 KN/m <sup>2</sup>
Modulo elastico	E	210.000.000 KN/m <sup>2</sup>
Coefficiente di Poisson	$\nu$	0.3
Peso specifico del c.a.	$\Gamma$	25 KN/m <sup>3</sup>
Rapporto di sovra resistenza	$(f_t / f_y)_k$	1.2
Deformazione ultima caratteristica	$\epsilon_{uk}$	7,5%
Deformazione ultima di calcolo	$\epsilon_{ud}$	0.0675
Deformazione di snervamento di calcolo	$\epsilon_{yd}$	0.00186

### 3.4 ACCIAIO PER CARPENTERIE METALLICHE

Per la realizzazione di strutture metalliche e di strutture composte si dovranno utilizzare acciai conformi alle norme armonizzate della serie UNI EN 10025 (per i laminati), UNI EN 10210 (per i tubi senza saldatura) e UNI EN 10219-1 (per i tubi saldati), recanti la marcatura CE, cui si applica il sistema di attestazione della conformità 2+, e per i quali si rimanda a quanto specificato al punto A del § 11.1 delle NTC08.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

In sede di progettazione si assumono convenzionalmente i seguenti valori nominali delle proprietà del materiale:

Identificazione	Simbolo identificativo	Valore	Unità di misura
Modulo elastico	E	210.000,00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo di elasticità trasversale	G	80769.23	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di Poisson	$\nu$	0.3	
Coefficiente di espansione termica lineare per temperatura fino a 100°C	$\alpha$	12x10 <sup>-6</sup>	°C <sup>-1</sup>
Densità di massa	$\rho$	7850	Kg/m <sup>3</sup>

Secondo le NTC08, sempre in sede di progettazione, per gli acciai di cui alle norme europee EN 10025, EN 10210 ed EN 10219-1, si possono assumere nei calcoli i valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento  $f_{yk}$  e di rottura  $f_{tk}$  riportati nelle tabelle seguenti tratte dalle citate NTC08.

Secondo le NTC08, sempre in sede di progettazione, per gli acciai di cui alle norme europee EN 10025, EN 10210 ed EN 10219-1, si possono assumere nei calcoli i valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento  $f_{yk}$  e di rottura  $f_{tk}$  riportati nelle tabelle seguenti.

L'opera in progetto prevede l'impiego delle seguenti tipologie di acciaio:

Profili laminati a caldo del tipo a sezione aperta con t<40 mm costituiti di acciaio del tipo S355 avente le seguenti proprietà meccaniche			
Identificazione	Simbolo identificativo	Valore	Unità di misura
Tensione di snervamento	$f_{yk}$	355	N/mm <sup>2</sup>
		3.55 x 10 <sup>8</sup>	Pa
Tensione di rottura	$f_{tk}$	510	N/mm <sup>2</sup>
		5.1 x 10 <sup>8</sup>	Pa
Tensione di calcolo	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.15}$	308.69	N/mm <sup>2</sup>
		3.0869 x 10 <sup>8</sup>	Pa

Profili laminati a caldo del tipo a sezione cava con t<40 mm costituiti di acciaio del tipo S355H avente le seguenti proprietà meccaniche			
Identificazione	Simbolo	Valore	Unità di misura

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

	identificativo		
Tensione di snervamento	$f_{yk}$	355	N/mm <sup>2</sup>
		$3.55 \times 10^8$	Pa
Tensione di rottura	$f_{tk}$	510	N/mm <sup>2</sup>
		$5.1 \times 10^8$	Pa
Tensione di calcolo	$f_{yrd} = \frac{f_{yk}}{1.15}$	308.69	N/mm <sup>2</sup>
		$3.0869 \times 10^8$	Pa

Il legame costitutivo adoperato è quello elastico lineare.

## 4. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

### 4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E UBICAZIONE DELLA STRUTTURA

Come già anticipato, la struttura in oggetto si compone di due livelli, relativamente alle opere in calcestruzzo armato, rappresentati dal piano di fondazione e dal primo impalcato orizzontale in elevazione, rispettivamente posti alla quota di 91,50 metri s.l. m. e alla quota di 100,50 metri s.l.m., e da un livello, rappresentato dal piano di copertura, relativamente alle opere in acciaio. Il

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

piano di copertura dell'Arcade, per la porzione afferente al corpo di fabbrica in oggetto, si sviluppa a quota variabile.

La forma geometrica generale in pianta è irregolare, nel senso che non presenta assi di simmetria, e si trova ubicata perfettamente in aderenza al corpo di fabbrica n.3, avente la medesima destinazione d'uso. I parcheggi pubblici, ai quali vi si accederà dall'asse viario denominato 1 – 2, il quale a sua volta si svolge per la maggior parte entro una galleria artificiale, sono completamente interrati e fruibili per mezzo di rampe di adeguata pendenza le quali consentiranno di condurre i veicoli sino alla quota di metri 94,70 s. l. m., ottenuta grazie a un massetto in calcestruzzo di adeguato spessore disposto sull'estradosso della platea di fondazione.

La struttura in questione ospita superiormente una porzione di arcade. La struttura architettonica dell'ARCADE si presenta come una struttura nastriforme di forma irregolare sviluppata in lunghezza.

Si tratta di una struttura metallica che si estende su una lunghezza complessiva di circa 25 m e che presenta una larghezza media di 15 m. Il modello di calcolo comprende sia la struttura in cemento armato che la sovrastante parte in acciaio.

La struttura in oggetto dovrà essere realizzata nel Comune di Villa San Giovanni (RC), in posizione geografica desumibile dai valori di longitudine e latitudine rispettivamente pari a 15,645 e 38,226.

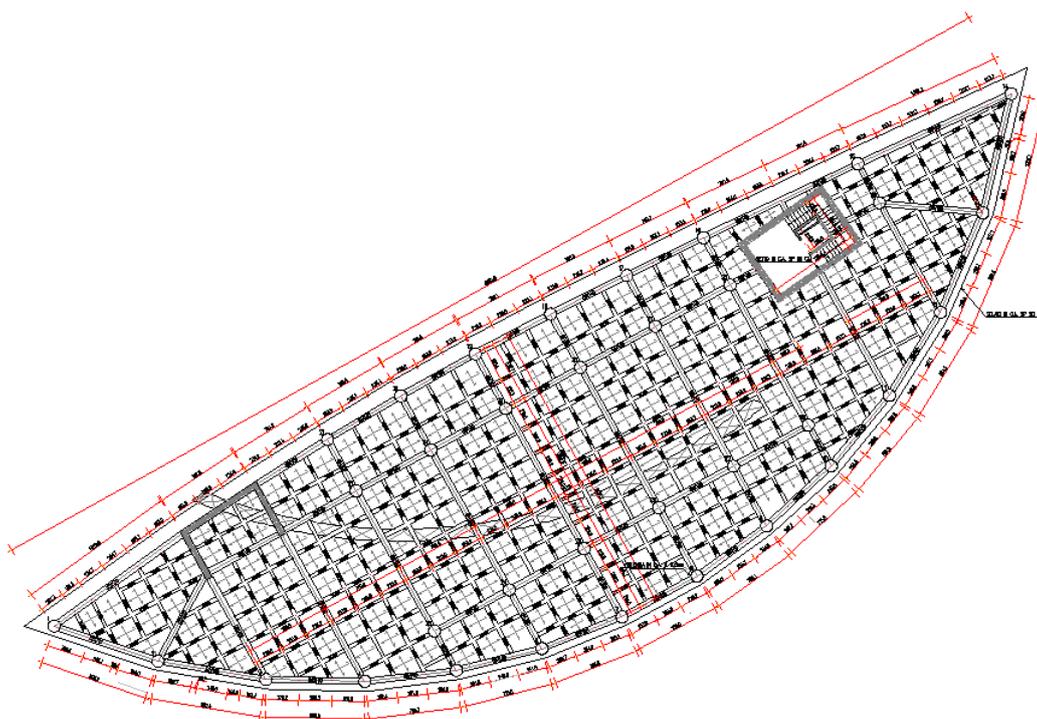


Figura 4.1: Carpenteria del primo impalcato del corpo n. 4

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 4.2 PRESTAZIONI ATTESE E CARATTERIZZAZIONE SISMICA

L'opera in progetto è stata classificata in base alle richieste avanzate dalla committenza che, a loro volta, sono conseguenti all'importanza attribuita all'edificio nonché ad ulteriori esigenze meglio specificate in altri documenti progettuali.

Le prestazioni attese dalla struttura sono rappresentate dalla vita nominale attribuitale nonché dalla sua classe d'uso così come definite dalle NTC08 al cap. 2. In particolare si assumono i valori numerici riportati nella seguente tabella riepilogativa.

Prestazioni attese	
Vita nominale	$V_N = 100$ anni
Classe d'uso	Classe IV, $C_U = 2$
Periodo di riferimento per l'azione sismica	$V_R = V_N \times C_U = 200$ anni

Il periodo di riferimento è stato valutato, secondo le indicazioni delle CTC08, applicando la relazione indicata nella stessa tabella.

Le strutture dell'opera discussa nella presente sede sono state progettate imponendo che appartengano alla

<b>classe B</b>
-----------------

(bassa duttilità); ciò, come noto, comporta, rispetto alla classe A, un aggravio delle forze sismiche applicate e una riduzione delle "resistenze ammissibili" delle diverse sezioni allo SLU. La scelta effettuata, che potrà comunque essere rivista da futuri affinamenti di calcolo, consente tenere in debito conto le caratteristiche strutturali imposte all'edificio che, ad esempio: è dotato di setti sismici cui viene affidato l'assorbimento di un'aliquota delle azioni sismiche; presenta delle connessioni nodali difficilmente gestibili in classe A se non al prezzo di sovradimensionamenti palesemente inutili.

Al fine della caratterizzazione sismica dell'area di sedime in cui dovrà essere ubicata l'opera in progetto, sono state prese in considerazione le caratteristiche litostratigrafiche del sottosuolo presente in situ fornite dalle indagini geognostiche disponibili.

Le litologie del terreno di fondazione è costituita dalla formazione del Conglomerato di Pezzo.

Data l'esiguità delle prove localmente presenti, si è scelto di tenere conto anche delle prove effettuate nei sondaggi utilizzati per caratterizzare la zona in corrispondenza delle rampe di accesso alle gallerie (Rampe A/B/C/D 0-0+500).

Il piano di imposta della platea di fondazione si trova ad una profondità media dal piano di campagna pari a circa **10.00 m**.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

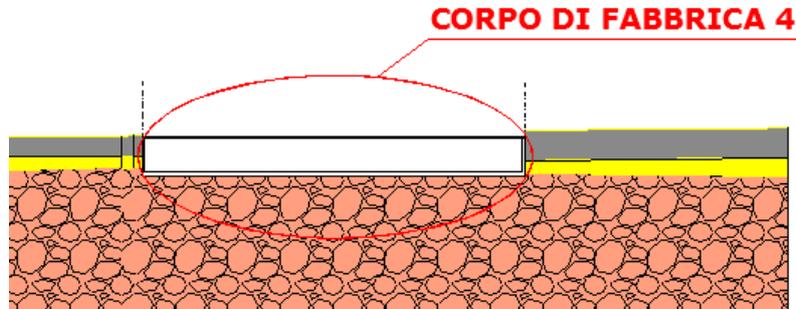


Figura 4.2: Profilo terreno di sedime

Per la caratterizzazione sismica del suolo nella zona in esame si dispone delle prove sismiche relative ai sondaggi **C403bis** **C423bis**.

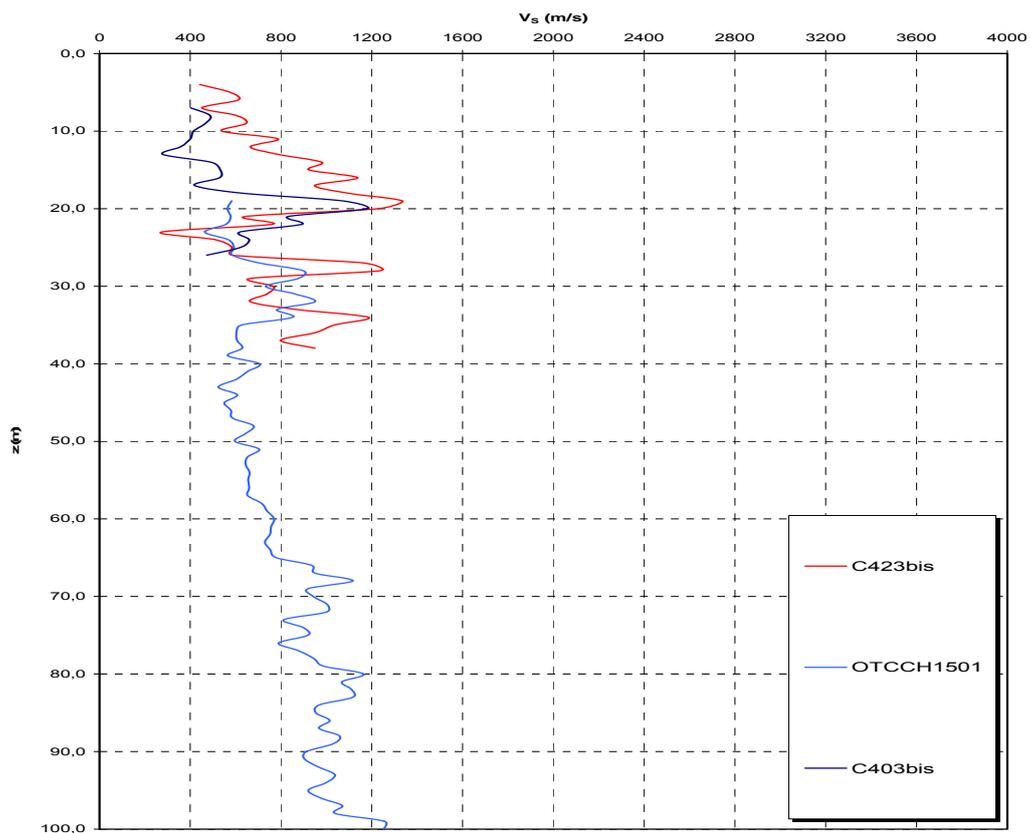


Figura 4.3: Andamento delle Vs nelle verticali indagate

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Inoltre, è stato stimato il valore di  $V_{s,30}$  a partire dai dati delle prove penetrometriche in foro effettuate nelle seguenti verticali vicine all'opera in esame, per uno spessore di 30.00 m valutato, trattandosi di fondazioni superficiali, dal piano di imposta delle stesse:

### C406

#### Formula di Ohta e Goto (1978):

$$V_S = 54.33 * (N_{SPT})^{0.173} * \alpha * \beta * (Z / 0.303)^{0.193}$$

□

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

$h_i$  = Spessore in metri dello strato i-esimo

$V_i$  = Velocità dell'onda di taglio i-esima

$N$  = Numero di strati

#### SONDAGGIO C406

Strato	Litotipo	Spessore strato in metri	$N_{SPT}$	$\alpha$	$\beta$	Z	$V_s$ (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi	
$h_1$	Sabbia con ghiaia	0	15	1.000	1.086	0.00	0.00	$h_1/V_1$	0.000	
$h_2$	Sabbia con ciottoli	0	100	1.303	1.086	0.00	0.00	$h_2/V_2$	0.000	
$h_3$	Conglomerato	30	100	1.303	1.086	30.00	413.98	$h_3/V_3$	0.072	
$h_{totale}$		<b>30</b>						$\Sigma h_i/V_i$	0.072	
			<b><math>V_{S30} = 30 / 0.072 = 413.98</math> m/s</b>							

Sulla base dei valori del  $V_{s,30}$  sopra riportati, si ritiene che il sottosuolo di progetto rientri nella **Categoria B**.

Vista la morfologia del territorio in cui ricade l'opera si adotta la

Categoria topografica → T1

Pur rinviando al paragrafo predisposto per l'esplicitazione del carico sismico per approfondimenti in merito agli spettri di progetto adottati, si ritiene opportuno esplicitare in questa sede le considerazioni che hanno portato alla determinazione del coefficiente di struttura.

Per determinare il valore del fattore di struttura si applicano le prescrizioni impartite dalle NTC08 al cap. 7; in particolare, per l'opera qui discussa, si deve tenere conto di quanto riportato al par. 7.4 (Costruzioni di calcestruzzo).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Si ipotizza, in conformità a quanto dichiarato in precedenza, che la struttura sia da classificare in bassa duttilità. Si assume quindi che la struttura sia definibile una “struttura a telaio” e si ammette che  $q_0 = 3,0 \frac{\alpha_2}{\alpha_1}$ . Il rapporto  $\frac{\alpha_2}{\alpha_1}$  si pone pari a 1,1 potendosi ammettere che la struttura sia del tipo a “a telaio di un solo piano”. Con tali ipotesi risulta:

$q=3,3$
---------

L’opera può considerarsi regolare in altezza e, pertanto, si può porre  $K_r=1$ .

Si osserva in particolare come le strutture in esame non sono da considerare “deformabili torsionalmente”; infatti il rapporto  $r/l_s$  è palesemente sempre maggiore a 0,8: basta osservare che la posizione di pareti sismiche è sempre decentrata e, pertanto, la presenza della parete non può che migliorare torsionalmente la configurazione priva delle pareti stesse che notoriamente non risente di tale fenomeno.

Merita ancora una breve dissertazione l’ipotesi assunta di considerare regolare in altezza l’edificio. Al disopra del corpo di fabbrica qui discusso è ubicata una struttura in acciaio (denominata Arcade) la cui relazione di calcolo strutturale è oggetto di altro elaborato progettuale. Un’analisi dinamica modale “rigorosa” imporrebbe la realizzazione di un modello di calcolo che contemplasse il complesso strutturale in modo unitario; solo in tal modo si potrebbe addivenire ad una valutazione “corretta” delle frequenze di vibrazione e delle deformate modali. Nella presente fase progettuale tale affinamento di calcolo non è stato possibile raggiungerlo vuoi per le tempistiche disponibili vuoi per gli avvicendamenti tipici della fase progettuale e, pertanto, la progettazione ha dovuto subire le conseguenze dell’introduzione di semplificazioni nei modelli agli elementi finiti. Il modello di calcolo del corpo di fabbrica è stato approntato ipotizzando che la massa dell’Arcade fosse distribuita tutta al livello dell’unico impalcato del corpo di fabbrica; ciò comporta, com’è immediato immaginare, una penalizzazione per il corpo di fabbrica sottostante che “vede” tutta la massa gravante al livello anzidetto ovvero “non scontata” degli effetti conseguenti alle minori frequenze che si avrebbero alle maggiori quote. Tutto ciò si traduce allo SLV in una sopravvalutazione delle azioni sismiche ed in un conseguente sovradimensionamento delle membrature strutturali. Per controbilanciare tale sovradimensionamento si è ritenuto opportuno non introdurre alcuna riduzione nel fattore di struttura per tenere conto dell’irregolarità in altezza; d’altro canto è ancora da osservare che nel momento in cui si considera il modello FEM parziale questi simula una struttura che risulterebbe regolare in altezza.

### 4.3 NOTE SULLE ECCENTRICITÀ DI MASSA

Nel realizzare i modelli FEM dei diversi corpi di fabbrica in c.a. i solai dell’unico impalcato presente sono stati modellati con elementi finiti di tipo bidimensionale; non è stata quindi introdotta l’ipotesi

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

semplificativa di impalcato infinitamente rigido. Tale modalità operativa ha consentito di analizzare diversi aspetti di dettaglio ad esempio conseguenti alle azioni indotte dal carico mobile descritto nelle relazioni di calcolo ovvero alla distribuzione effettiva delle masse sismiche imposte dai carichi permanenti ed altro.

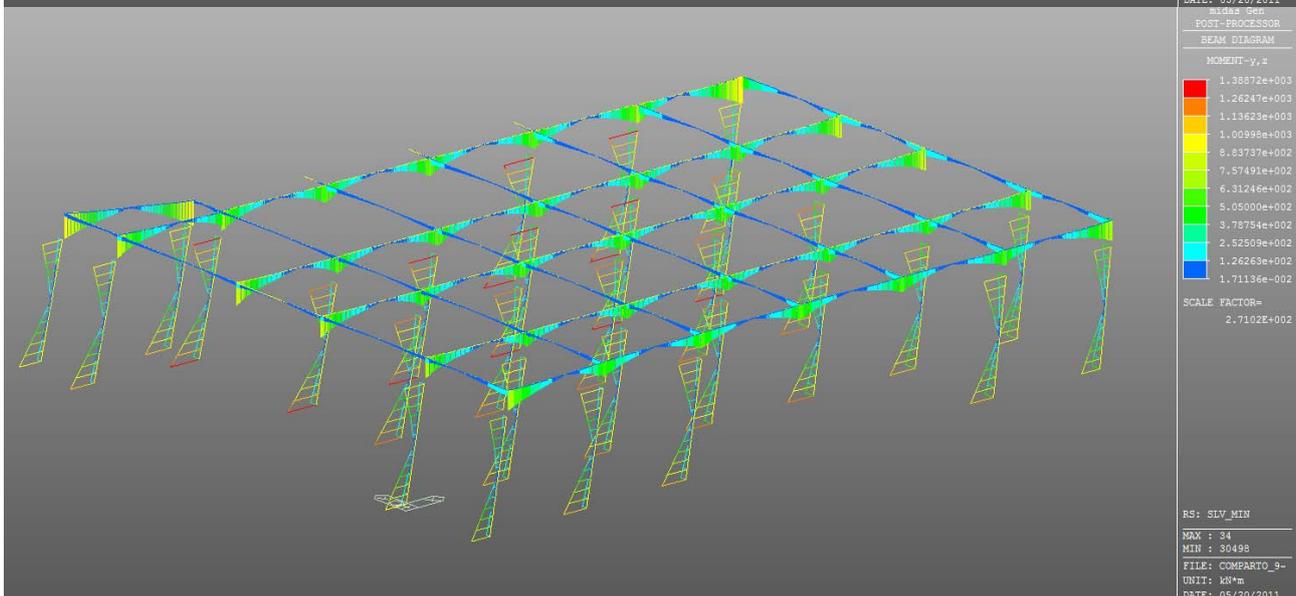
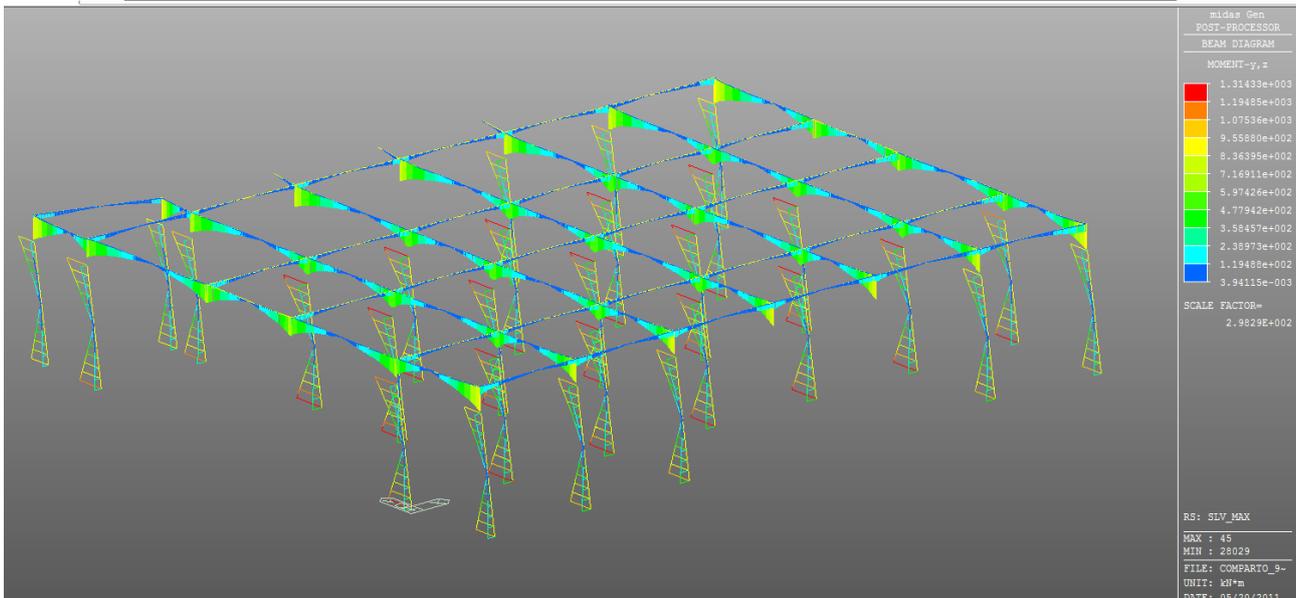
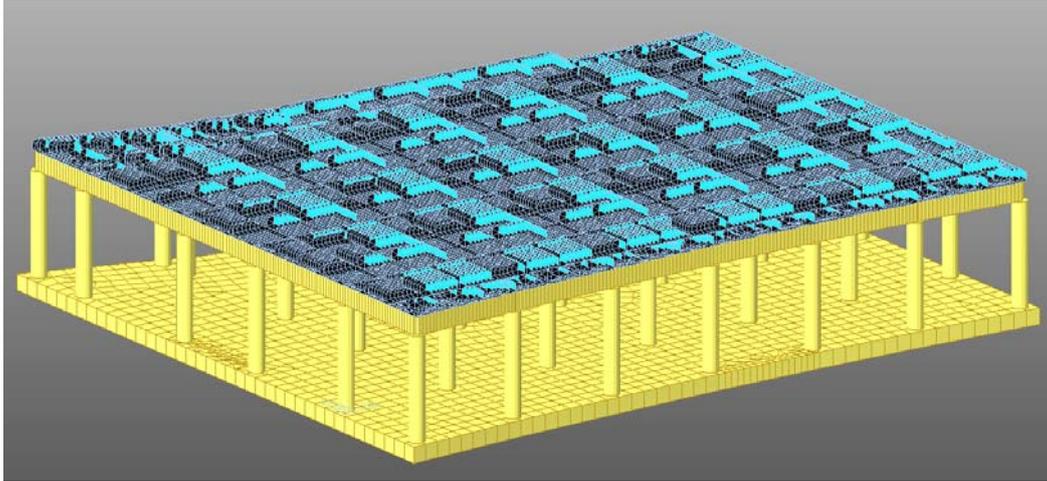
Per contro si è persa la possibilità di sfruttare tutte quelle semplificazioni tipiche di cui ci si avvantaggia nella schematizzazione dei solai comuni degli edifici a pianta pseudo rettangolare. Non si può, ad esempio, spostare il baricentro in modo agevole semplicemente perché questi non è individuato dal consueto nodo master; è il modello FEM che determina implicitamente il baricentro ed il centro delle rigidezze durante le procedure di analisi.

Per la quasi totalità dei corpi di fabbrica è comunque facile intuire che la distribuzione delle masse è tale che il considerare un'eccentricità accidentale aggiuntiva sarebbe del tutto irrilevante. Basta individuare, ovviamente in via approssimativa visto che un calcolo rigoroso imporrebbe un onere computazionale non proporzionato allo scopo, il centro delle rigidezze e constatare che il baricentro delle masse è sempre fortemente decentrato.

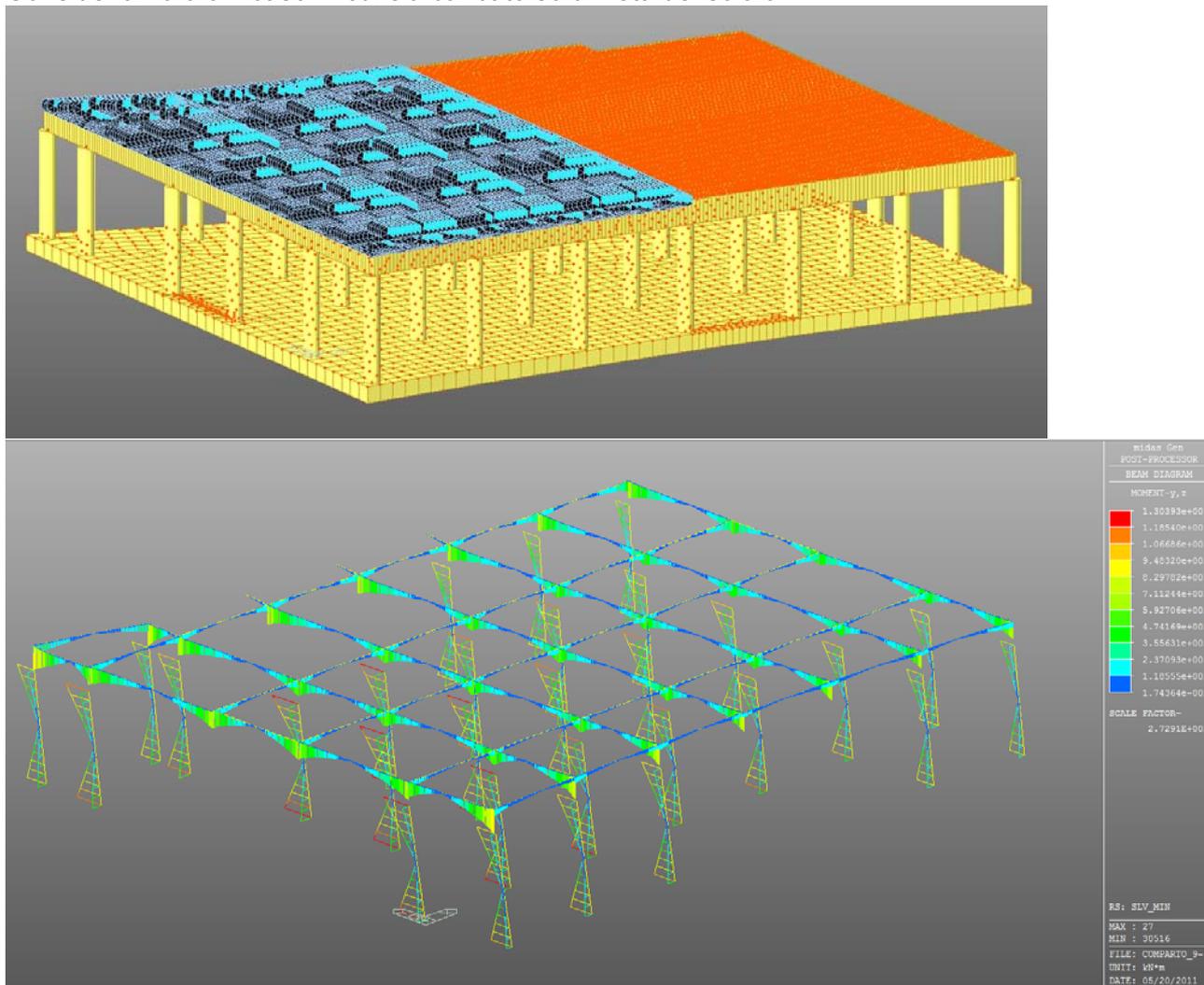
L'unico edificio in cui non si ha tale evidenza è il corpo di fabbrica 9 essendo questo relativamente regolare; tuttavia, anche in tale caso, si dimostra che le eccentricità accidentali, che notoriamente voglio simulare il caso in cui il solaio non è interamente caricato, non impongono aggravamenti delle caratteristiche di sollecitazioni di rilevante importanza. È poi immediato constatare che gli stessi risultati cui si perviene con riferimento a questo corpo di fabbrica validano di fatto le stesse ipotesi semplificative anche per tutti gli altri corpi di fabbrica.

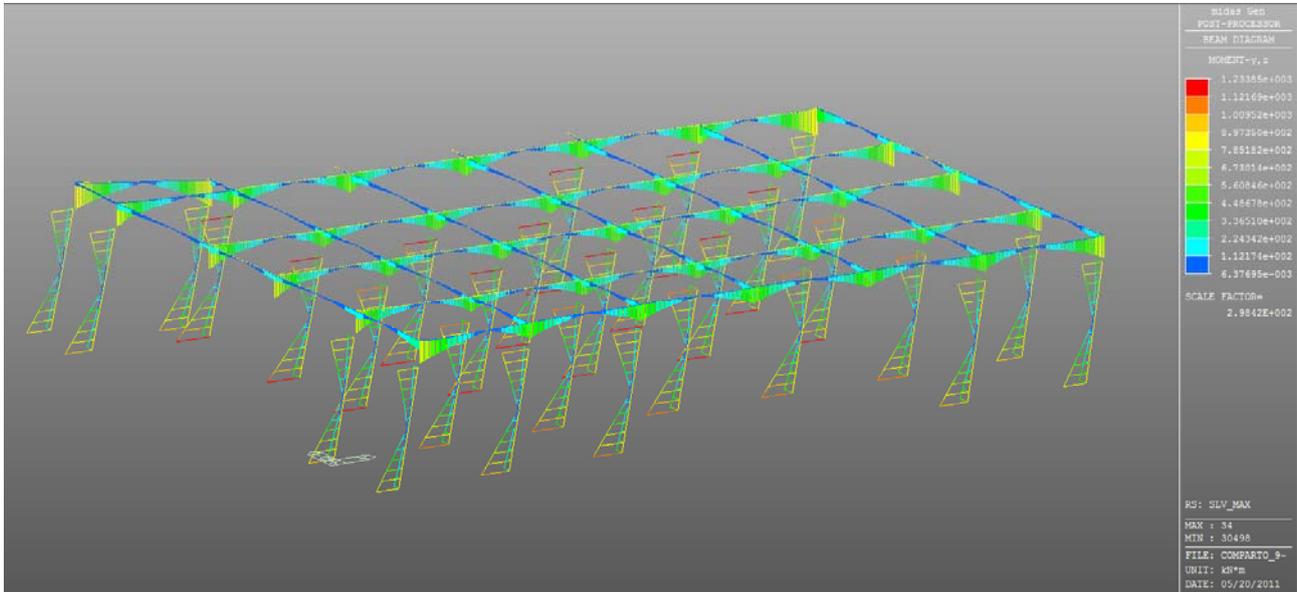
Per il corpo di fabbrica 9 giova allora riportare il confronto tra le sollecitazioni che cimentano le strutture nei due casi estremi in cui l'intero solaio è caricato dai carichi variabili ovvero quando lo è solo parte del solaio.

Nelle seguenti figure si riportano le azioni flettenti (che sono poi quelle dimensionanti) imposte sotto sisma, rispettivamente agente nelle direzioni X ed Y, nel caso in cui, oltre alle masse permanenti, agiscono le masse accidentali uniformemente distribuite su tutto il solaio.

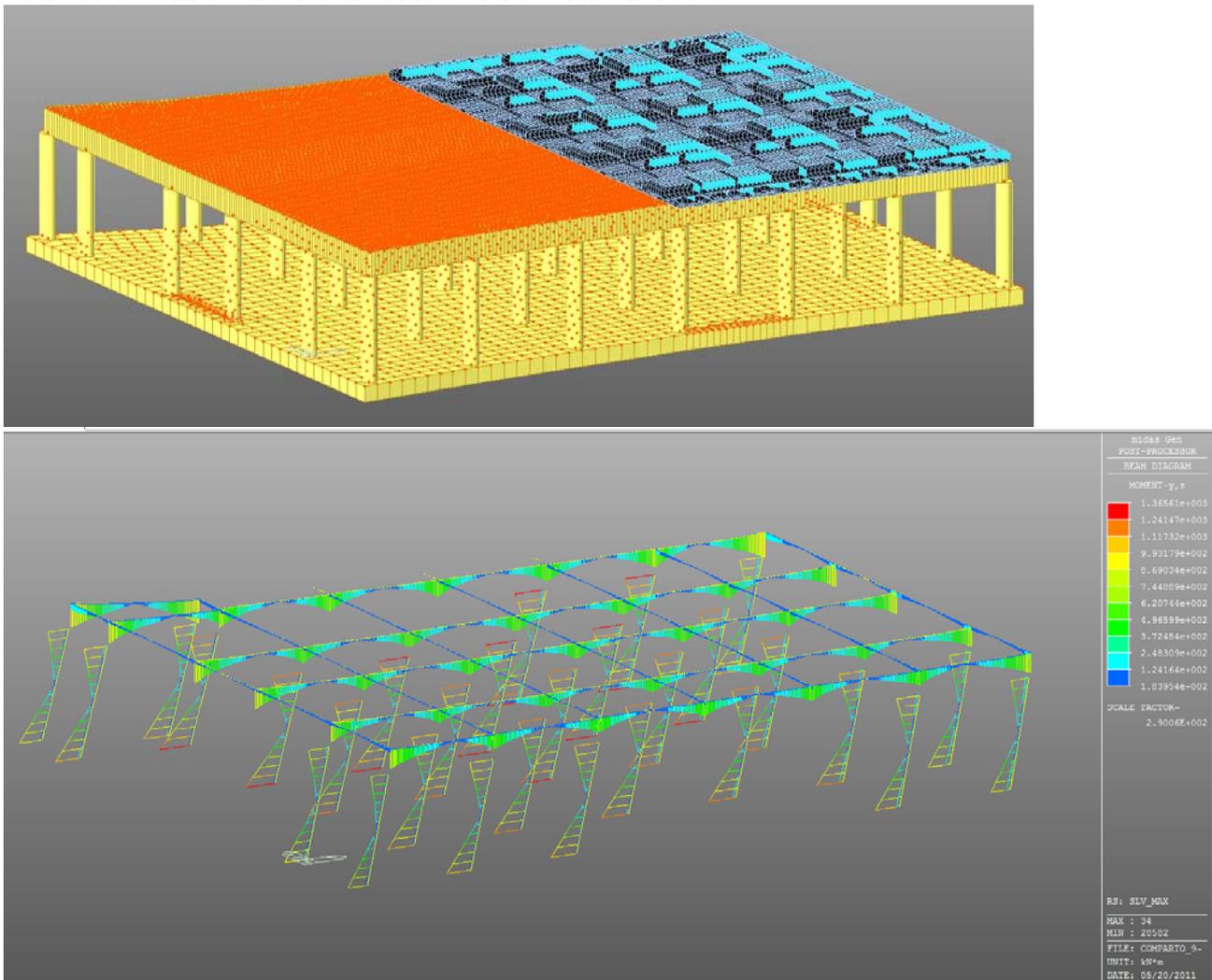


Consideriamo ora il caso in cui sia caricato solo metà del solaio.

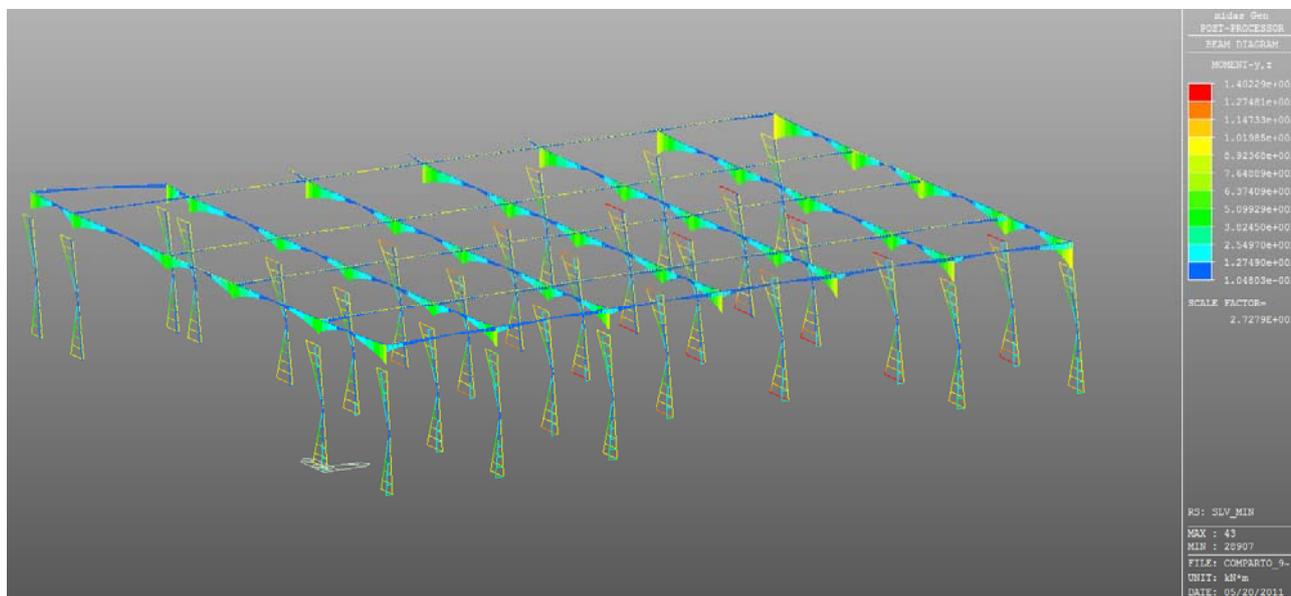




Ed ancora il caso in cui sia caricato un'altra metà del solaio



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	



Le due distribuzioni prima considerate sono quelle più severe, altre distribuzioni esaminate portano a valori delle caratteristiche di sollecitazioni ancora minori.

Confrontando i valori numerici ottenuti si evince come il considerare, anche nel caso del corpo di fabbrica 9, il solaio caricato solo parzialmente non comporta ingenti differenze rispetto al caso in cui si considera il carico variabile come uniformemente distribuito su tutto il solaio. Ciò porta ad ammettere come possibile, almeno in fase di progettazione definitiva, trascurare gli effetti delle eccentricità accidentali proprio perché lo scopo che NTC080 si prefiggono è stato di fatto verificato con il controllo prima esposto. Non si ritiene a questo punto necessario riportare un confronto analitico per tutti i diversi corpi di fabbrica in progetto che si ritrovano, per l'aspetto esaminato, in condizioni certamente meno critiche.

È comunque opportuno rimarcare il fatto che le semplificazioni introdotte nella presente fase progettuale, ove si ritengono più che ammissibili, verranno rimosse nelle successive allor quando il dimensionamento delle membrature potrà ritenersi un dato acquisito.

## 4.4 AZIONI SULLA COSTRUZIONE

Le azioni considerate a base del calcolo della struttura sono comprensive delle azioni permanenti, delle azioni variabili e delle azioni sismiche. Per ciascuna di esse, per una migliore facilità di comprensione, si è deciso di assegnare un paragrafo dedicato.

### 4.4.1 AZIONI PERMANENTI

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Fra le azioni permanenti sono state considerate i pesi propri degli elementi strutturali, desunte direttamente dal software utilizzato in funzione del volume dei singoli elementi strutturali, nonché il carico permanente portato. Quest'ultimo, considerato come uniformemente distribuito sugli elementi che schematizzano la soletta orizzontale, è stato computato in 10 KN/m<sup>2</sup>, per tenere conto del fatto che le pendenze sulla soletta che ospiterà la piazza devono essere realizzate prevedendo un getto di cls 25 – 30 cm poggiato sugli elementi di alleggerimento, per come già descritto in premessa.

Per ciò che concerne la struttura portante dell'ARCADE, questa è stata concepita in maniera tale da scaricare il peso degli elementi necessari a portare la rifinitura direttamente sulle travi secondarie e sulle travi principali. Per la messa in opera dei pannelli di finitura è necessario realizzare un graticcio di elementi tubolari di dimensioni 50 mm e spessore 3 mm. La posa in opera di tale graticcio comporta il superamento della differenza di altezza tra le travi principali e le travi secondarie. Necessita quindi ricorrere ad ulteriori elementi che permettono di superare tale differenza ipotizzando di ricorrere all'uso di elementi modulati aventi la forma di una travatura reticolare leggera realizzata in elementi tubolari di dimensione 40 e spessore 3 mm.

Ne deriva l'analisi dei carichi che tiene conto di tutto il pacchetto di copertura per un singolo metro quadro di copertura.

<b>Elemento e peso unitario</b>	<b>Peso messo in opera</b>
Pannelli di finitura (7,5 kg/ m <sup>2</sup> )	15,00 kg
Sostegno reticolare (10 kg/ml)	20,00 kg
Graticcio in tubolari (18 kg/ml)	36,00 kg
Finiture e collegamenti	29,00 kg
<b>Peso totale per 1 m<sup>2</sup> di copertura</b>	<b>100,00 kg/ m<sup>2</sup>=1 KN/m<sup>2</sup></b>

La geometria irregolare del graticcio di travi rende praticamente impossibile valutare il carico effettivamente agente su ciascuna trave. La posizione delle travi secondarie è stata studiata in maniera tale da far competere a ciascuna di esse un'aria di influenza di circa 2 m<sup>2</sup>. Ne deriva un carico uniformemente distribuito sulla trave secondaria di 2 KN/m. Lo stesso carico si applica alla trave principale centrale. In maniera del tutto analoga si valuta un'area di influenza di 1 m<sup>2</sup>, ed un conseguente carico uniformemente distribuito di 1 KN/m per le travi principali di bordo.

#### **4.4.2 AZIONI VARIABILI GENERICHE**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Le azioni variabili generiche sono state diversificate a seconda delle destinazioni d'uso dei singoli livelli. Infatti, sulla platea di fondazione si è tenuto conto di un carico uniformemente distribuito, applicato come pressione sui singoli elementi piani, corrispondente a quello che la normativa definisce come appartenente alla categoria F, "Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 KN", e quantificato in 2,50 KN/m<sup>2</sup>.

Sulla soletta di copertura posta al secondo livello fuori terra, la quale come già specificato ospiterà la piazza, l'entità dei carichi variabili è stata arricchita dalla presenza del carico folla, quantificato in 5,00 KN/m<sup>2</sup> e applicato come pressione uniformemente distribuita su tutta la piazza, e del carico neve, di cui si dirà in un apposito paragrafo.

Infine, sono stati tenuti in conto anche i carichi variabili appartenenti alla categoria H, "Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione", di entità pari a 0,50 KN/m<sup>2</sup>, considerati come pressione uniformemente distribuita sulla soletta di copertura del torrino a servizio del vano scala – ascensore.

Tabella 3.1.II – Valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici

Cat.	Ambienti	q <sub>k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Q <sub>k</sub> [kN]	H <sub>k</sub> [kN/m]
A	<b>Ambienti ad uso residenziale.</b> Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
B	<b>Uffici.</b> Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	2,00 3,00	2,00 2,00	1,00 1,00
C	<b>Ambienti suscettibili di affollamento</b> Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune	3,00 4,00 5,00	2,00 4,00 5,00	1,00 2,00 3,00
D	<b>Ambienti ad uso commerciale.</b> Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie...	4,00 5,00	4,00 5,00	2,00 2,00
E	<b>Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale.</b> Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	≥ 6,00 —	6,00 —	1,00* —
F-G	<b>Rimesse e parcheggi.</b> Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso	2,50 —	2 x 10,00 —	1,00** —
H	<b>Coperture e sottotetti</b> Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione Cat. H2 Coperture praticabili Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	0,50 — —	1,20 — —	1,00 secondo categoria di appartenenza —
* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati				
** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso				

Figura 4.4: Valori dei carichi di esercizio

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

#### 4.4.3 AZIONI DELLA NEVE

Il carico provocato dalla neve sulle coperture è valutato mediante la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i q_{sk} C_E C_t$$

Essendo:

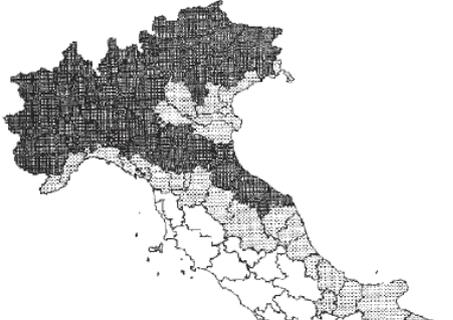
- $q_s$  il carico neve sulla copertura;
- $\mu_i$  il coefficiente di forma della copertura;
- $q_{sk}$  il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo (espresso in kN/m<sup>2</sup>)
- $C_E$  il coefficiente di esposizione
- $C_t$  il coefficiente termico.

Si ipotizza che il carico agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

Anche per il carico neve si deve tener presente che il tempo di ritorno a cui riferirsi è pari a Tr=500 anni; pertanto i valori forniti dalle NTC08, che fanno riferimento ad un Tr=50 anni, devono essere opportunamente modificati per come esposto nel prosieguo.

Il valore caratteristico del carico neve al suolo dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona.

In mancata di adeguate indagini statistiche e specifici studi locali, il carico di riferimento è valutato in conformità alle prescrizioni impartite dalle norme tecniche applicate nella stesura del presente progetto.

	I parametri di riferimento per la determinazione di $q_{sk}$ risultano i seguenti:	
	Regione di riferimento	Calabria
	Provincia di riferimento	Reggio Calabria
	Comune di riferimento	Villa S. Giovanni
	A.S.L. <sup>2</sup>	100 m
	Zona neve	III

<sup>2</sup> L'altezza di riferimento ove è ubicata l'opera in progetto, per particolari conformazioni topografiche del territorio, può assumere valore diverso rispetto a quella prevista come altezza media del comune di riferimento.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

	Tipo di copertura	Vedi seguito

Figura 4.5: Parametri valutazione carico neve

Si determina  $q_{sk} = 0,6 \frac{KN}{mq}$  che è il valore caratteristico del carico neve al suolo per un tempo di ritorno di 50 anni;

Si pone:

$$C_E = 1,1$$

$$C_s = 1$$

Essendo la copertura piana si assume  $\mu=0,8$ .

Il valore di  $q_{ref}$  (carico neve al suolo) per un tempo di ritorno di  $T_r=500$  è valutato a partire dal valore di  $q_{sk}$  precedentemente calcolato. Le NTC08, così come la circolare esplicativa di queste, non forniscono alcun metodo di calcolo per valutare il carico neve per un assegnato tempo di ritorno. Visto che sia l'azione del vento che quello della neve simulano due effetti meteorici tra loro paragonabili dal punto di vista della distribuzione probabilistica degli eventi, si ritiene ammissibile utilizzare la stessa formula già utilizzata per valutare il carico del vento.

Si valuta pertanto:

$$\alpha_R = 0,75 \sqrt{1 - 0,2 \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]} = 1,12$$

E quindi:  $q_{ref} = 0,672 \frac{KN}{mq}$

Il carico da utilizzare per simulare l'azione della neve è quindi pari a:

$$q_s = C_E C_s \mu q_{ref} = 0,59 = 0,6 \frac{KN}{mq}$$

Ai fini della valutazione della massa sismica eccitabile si può osservare che, essendo il sito ad una quota inferiore a 1000 m s.l.m. si ha un coefficiente di partecipazione pari a 0 e, quindi, ai fini sismici la quota parte della massa imposta dal carico è nulla.

Essendo l'area di sedime dell'opera ubicata ad una quota inferiore a 1000 m s.l.m. l'aliquota di massa sismica eccitabile è nulla (cfr Tabella 2.5.I delle NTC08).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Il carico dovuto alla neve è stato applicato sulla superficie di copertura secondo le stesse modalità operative già descritte con riferimento al carico permanente portato; gli schemi grafici che ne conseguono, a meno del valore numerico, sono gli stessi di quelli già esposti in tale sede e, pertanto, si omette di ripeterli.

Nello specifico si ritiene opportuno osservare che il carico neve ha un'influenza nulla al fine del dimensionamento strutturale: è stato preso in considerazione al solo fine di soddisfare le formalità dei casi di carico considerati e le relative combinazioni. Di fatto, dovendosi applicare, non concomitante al 100%, con il carico folla e con il carico imposto dai veicoli, risulta del tutto insignificante.

#### 4.4.4 AZIONI DEL VENTO

L'azione del vento è stata considerata agente sulla parte di struttura in sopraelevazione, realizzata con elementi strutturali in acciaio.

Il vento, che si considera spirante in direzione orizzontale, esercita sulla costruzione azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici. Per il progetto in esame, tali effetti dinamici, sono simulati applicando alla struttura azioni statiche equivalenti che esercitano pressioni e/o depressioni sulle superfici direttamente investite oppure interessate dalle turbolenze conseguenti al distacco dei vortici. Pur non essendo la struttura definibile "usuale" si ritiene sufficiente l'analisi statica qui descritta al fine di validare la capacità statica delle membrature che la costituiscono. La conformazione geometrica della copertura dell'arcade si presenta irregolare sia nella forma in pianta che nell'andamento altimetrico. Tuttavia è plausibile, data la variazione graduale della forma, assumerla piana.

L'edificio è da attribuire alla classe IV così come individuata dalle NTC08 (vedi apposita sezione della presente relazione) e, pertanto, l'azione del vento deve essere opportunamente tarata in modo che sia rappresentativa quando si consideri un tempo di ritorno adeguato alla classe d'uso considerata.

Pur in tali condizioni si ammette valida l'ipotesi di poter analizzare l'azione del vento applicando alla struttura un'azione statica equivalente agente sempre in direzione ortogonale alla superficie del prospetto investito. Prima di esporre in modo dettagliato i valori numerici e le procedure di calcolo eseguite si ritiene opportuno precisare che l'azione del vento, di fatto, non concorre a costituire la combinazione di carico che produce il maggior cimento statico. Per quanto riguarda invece le depressioni in copertura si anticipa che queste non superano mai il peso proprio del pacchetto di copertura e, pertanto, non possono imporre la decompressione e la conseguente inversione dello stato tensionale nelle diverse membrature.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Nella presente fase di progettazione, quella definitiva, non sono stati eseguiti calcoli di dettaglio al fine di verificare eventuali effetti locali prodotti dal distacco di vortici.

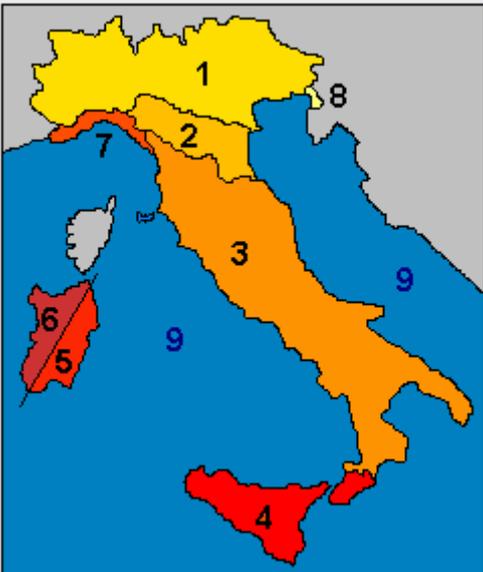
L'azione del vento è stata determinata, secondo le prescrizioni delle NTC08, mediante la relazione:

$$p = q_b C_e C_p C_d$$

Essendo:

- $q_b$  la pressione cinetica di riferimento di cui al § 3.3.6 delle NTC08;
- $C_e$  il coefficiente di esposizione di cui al § 3.3.7 delle NTC08;
- $C_p$  è il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento;
- $C_d$  il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali.

In mancanza di adeguate indagini statistiche e specifici studi locali, il carico di riferimento è valutato in conformità alle prescrizioni impartite dalle norme tecniche applicate nella stesura del presente progetto.

	<b>Parametri di riferimento</b>	
	Regione di riferimento	Calabria
	Provincia di riferimento	Reggio Calabria
	Comune di riferimento	Villa S. Giovanni
	A.S.L. <sup>3</sup>	100 m
	Zona vento	4
	Tipo di copertura	Inclinata
	Classe di rugosità del terreno	D
	Categoria	II

<sup>3</sup> L'altezza di riferimento ove è ubicata l'opera in progetto, per particolari conformazioni topografiche del territorio, può assumere valore diverso rispetto a quella prevista come altezza media del comune di riferimento.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

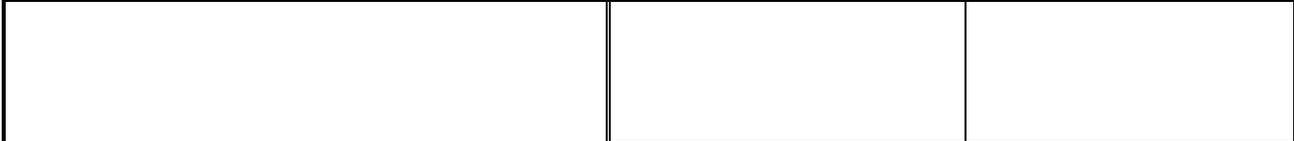


Fig. 4.6 – Determinazione dell'azione del vento

Il valore di  $q_b$  è dato da:  $q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2$  dove si assume per la densità dell'aria  $\rho = 1,25 \text{ Kg/mc}$ .

Per la zona in esame, considerando che  $a_s \leq a_q$  si ricava  $v_{b,0} = 28 \text{ m/sec}$ . Tale valore è riferito al Tr previsto dalle NTC08 e, per il progetto in esame, deve essere opportunamente rivalutato per tenere conto che si pretende di simulare l'azione del vento per un Tr maggiore.

Il coefficiente  $C_s$  (esposizione) si valuta in base all'espressione:

$$C_s(z) = K_r^2 C_t \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \left[ 7 + C_t \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \right]$$

Essendo nel caso in esame  $K_r = 0,19$   $z = 20$ ,  $z_0 = 0,05$  si ricava:

$$C_s = 2,8$$

Il valore della velocità di riferimento è calcolata per un Tr=500 anni. A tal fine, in assenza di specifiche di dettaglio fornite in merito dalle NTC08, si applicano le prescrizioni riportate sulla circolare esplicativa delle stesse NTC08 meglio definite in altra sezione del presente elaborato. Per valutare la velocità di riferimento si applica il seguente procedimento:

$$v_b(Tr) = v_{b,0} \alpha_R$$

Dove  $\alpha_R$  è il coefficiente che consente di valutare la velocità di riferimento per un dato tempo di ritorno a partire dalla velocità di riferimento calcolata per un tempo di ritorno di 50 anni. Tale coefficiente è dato dall'espressione:

$$\alpha_R = 0,75 \sqrt{1 - 0,2 \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]}$$

Nel caso in esame si ottiene  $\alpha_R = 1,12$ .

È quindi possibile determinare  $v_b = 31,36 \text{ m/sec}$ .

E, in sequenza, il valore di  $q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2 = 614,65 \frac{\text{N}}{\text{mq}}$ .

Si pone, per il caso in esame:

- $C_p = +0,8$  per le facciate esterne;
- $C_p = -0,4$  per le zone in depressione;
- $C_d = 1$

Si assume pertanto:

- P1= 1400 N/m<sup>2</sup> per le facciate sopravvento

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- $P2 = 700 \text{ N/m}^2$  per le facce sottovento o in depressione.

Con tali valori numerici si definiscono i diversi casi di carico da prendere in considerazione. È poi fatto l'involuppo dei diversi casi di carico e questi è usato per realizzare le combinazioni di carico previste dalla norme tecniche applicate.

Al fine di addivenire ad una semplificazione del modello di calcolo, si ritiene utile riportare le seguenti considerazioni.

Visto il livello della progettazione si opta di applicare il carico derivate dal vento pensando di far agire la forza di compressione e quella di depressione sulla stessa faccia del pacchetto di copertura. Si tratta quindi di considera l'effetto di una forza complessiva di  $2100 \text{ N/m}^2$ . Moltiplicando questa pressione per l'area di influenza, che dipende dallo spessore del pacchetto di copertura, si ottiene l'azione orizzontale, da applicare sulle travi di bordo del modello strutturale che approssimativamente, ed a vantaggio di sicurezza, può essere approssimata a  $2 \text{ KN/ml}$ .

#### 4.4.5 CARICHI VARIABILI - SIMULAZIONE PRESENZA VEICOLI A MOTORE

Il dimensionamento dell'impalcato posto alla quota della piazza è stato eseguito tenendo conto, oltre che della presenza del carico folla descritto in altro paragrafo del presente elaborato, della possibilità che le sue membrature vengano cimentate dal carico atto a simulare la presenza di un veicolo a motore con massa a pieno carico superiore a quella minima che le NTC08 riservano alle autorimesse. Si è voluto, in altri termini, ammettere la possibilità che sul piano della piazza possa circolare un mezzo pesante ad esempio preposto al trasporto delle attrezzature necessarie per la realizzazione di un palco o di quant'altro occorrente per l'organizzazione di pubblici spettacoli; oppure, si è ancora ipotizzato, che il piano in parola possa essere interessato dalla presenza di un veicolo pesante durante le fasi di costruzione del complesso edilizio del CEDIR.

Per simulare tali carichi si sono rese indispensabili alcune considerazioni all'uopo predisposte per giungere a definirne la giusta entità che, da un lato, fosse capace di soddisfare le esigenze prima menzionate e, dall'altro, non comportasse un inutile sovradimensionamento strutturale con conseguente aggravio economico. Essendo le ipotesi progettuali proposte conseguenza di accurate indagini all'uopo predisposte ma squisitamente soggettive, si ritiene opportuno disquisire in merito al fine di rendere possibile la condivisione o il rigetto di quanto progettato.

Le NTC08 non trattano in modo esplicito la particolare condizione di carico prima descritta; si limitano a definire, alla categoria F, un carico pari a  $2,5 \text{ kN/m}^2$  per le rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a  $30 \text{ kN}$ ; lasciano poi indefinito il carico relativo alla categoria G ovvero quello relativo al caso in cui il transito sia consentito ad automezzi di maggiore

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

peso a pieno carico. Il carico riportato nella categoria F appare troppo riduttivo dovendosi identificare nelle sole autovetture o, al più, nei piccoli autocarri a due assi: un veicolo a tre assi (si vedano in merito le prescrizioni del codice della strada) impone di fatto un carico maggiore.

Pur se si sarebbe tentati di passare all'idea di considerare applicati sull'impalcato in esame i carichi che le NTC08 definiscono con riferimento alla progettazione di ponti e viadotti, una analisi di dettaglio porta a scartare tale possibilità a meno di ulteriori affinamenti che verranno descritti in seguito. È infatti noto che *“i modelli di carico definiti nella presente sezione non descrivono carichi reali. Essi sono stati scelti in modo che i loro effetti (comprensivi dell'amplificazione dinamica, se non diversamente specificato) rappresentino gli effetti del traffico reale. Quando occorre considerare condizioni di traffico al di fuori dello scopo dei modelli di carico specificati nella presente sezione, dovrebbero essere definiti dal committente o concordati con lo stesso modelli di carico complementari, con le relative regole di combinazione”* (cfr. eurocodice 1). Tutto ciò si ritrova, descritto in modo più esteso e con approfondimenti di merito, anche sugli atti dei corsi di aggiornamento tenuti negli anni 1998 – 1999 e riportati nel testo “Ponti e Viadotti: concezione, progetto, analisi, gestione”. In questi atti il prof. P. Croce, peraltro membro della commissione che ha redatto gli eurocodici e quindi persona certamente autorevole in materia, descrive le modalità secondo cui si è pervenuti a definire il “carico di normativa” che discende appunto dalla volontà esplicita di definire un carico non già rappresentativo di un reale veicolo a motore bensì capace di produrre le stesse caratteristiche di sollecitazione registrate da misure dirette su ponti reali posti a servizio delle reti stradali di varie nazioni (tra cui l'Italia). Alla luce di ciò è palese riconosce ed ammettere che le caratteristiche di sollecitazione indotte dal carico di normativa su un impalcato da ponte, caratterizzato dalla sua geometria, nulla ha in comune con la conformazione strutturale dell'opera in discussione che mal si presta ad essere suddivisa in corsie e carreggiate e che si caratterizza, al contrario di un impalcato da ponte, per avere le due dimensioni in pianta tra loro paragonabili. Ulteriore conferma all'inopportunità di trasportare i carichi da ponte sul solaio della piazza è il fatto che tale carico è comprensivo degli effetti dinamici ovvero di quegli effetti che gli autoveicoli produrrebbero per il fatto di viaggiare a velocità sostenuta: cosa questa che appare inverosimile aspettarsi avvenga su una piazza pur se di ragguardevoli dimensioni.

Se si decide di scartare tale possibilità non resta che rivolgersi verso quelle norme che le stesse NTC08 definiscono “norme di comprovata validità” ovvero gli eurocodici e, nella fattispecie, l'eurocodice 1 nella versione EN 1991.1.1:2002. Qui, oltre alla categoria F (definita anche dalle NTC08) è riportata anche la categoria di carico G ((semi)trascurata dalle NTC08) che si prepone a rappresentare il carico da applicare a solai ove si prevedano “Aree di traffico e parcheggio per veicoli medi ovvero con peso complessivo superiore a 30 kN ma **NON superiore a 160 kN su due assi**. Come esempio di zone sottoposte a tali carichi lo stesso EC1 riporta: rampe di accesso;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

zone di consegna; zone accessibili alle autopompe (nella versione in inglese l'EC1 cita le "zones accessible to fire engines" quindi si deduce che le autopompe descritte nella versione italiana dovrebbero essere alcuni mezzi dei VV. F.). Resta ora da capire cosa debba intendersi con il termine "veicolo medio" utilizzato dagli eurocodici che, per altro, dicono che *"le aree di traffico per veicoli pesanti superiori a 160 kN saranno progettate applicando i carichi da ponte..."*. Se da un lato è immediato constatare che un autotreno a pieno carico ha certamente un peso complessivo maggiore di 160 kN, dall'altro è opportuno osservare che, secondo il codice della strada, solo i veicoli a motore con due assi non devono superare i 180 kN. La volontà di assicurare che, se pur occasionalmente, un veicolo pesante possa transitare sulla piazza, che altrimenti dovrebbe essere dotata di opportune predisposizioni adatte ad impedire l'accesso ad alcune categorie di veicoli, porta a scartare anche l'ipotesi progettuale di utilizzare il carico della categoria G per simulare il carico d'interesse. Le prescrizioni degli eurocodici riportano peraltro a riconsiderare i carichi da ponte definiti dagli eurocodici e ripresi dalle NTC08. Si ritiene allora appropriata la scelta di considerare la sola presenza del carico tandem definito dalle norme omettendo la presenza dell'ulteriore carico uniformemente distribuito concomitante ad esso ma il cui scopo è quello già detto in precedenza. Così facendo si simula, in certo modo e certamente a vantaggio di sicurezza visto che questi è comprensivo dell'aliquota dinamica, la sola presenza di un veicolo pesante che transita o manovra sulla piazza. La scelta operata è ulteriormente suffragata quando si osserva che le norme tecniche italiane previgenti alle NTC08 (crf. D.M. 90) definivano il carico tridem proprio in 6 kN complessivi e che questi, pur se dotato di diversa geometria, non era comprensivo di effetti dinamici.

Ritenuta valida l'ipotesi di poter simulare con il solo carico tandem la presenza del carico pesante si deve ammettere immediatamente come valida l'ipotesi che tale carico non sia concomitante al carico folla. Sarebbe infatti inverosimile che con la piazza interamente occupata dalla folla ci fosse anche un carico mobile che manovra sulla piazza. L'ipotesi di carico relativa ad un mezzo pesante fermo sulla piazza in concomitanza al carico imposto dalla folla compatta è comunque ricompreso nell'aver considerato i due carichi distinti: le analisi eseguite dimostrano infatti che, valutata l'area d'impronta del carico viaggiante, questi impone un cimento statico maggiore solo in locale mentre è il carico folla a produrre il maggiore cimento statico al complesso strutturale. La condizione di carico imposta dal carico tandem risulta quindi dimensionante in locale solo per alcune membrature mentre il carico folla risulta quello dimensionante in generale.

Per determinare il massimo cimento statico prodotto dal carico tandem deve prevedersi che questi possa muoversi liberamente sul piano della piazza; tale obiettivo è stato perseguito utilizzando un'apposita funzione messa a disposizione dal software di calcolo utilizzato che prevede l'applicazione della teoria delle linee e delle superfici di influenza. Nella pratica operativa è stata

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

tracciata una maglia di corsie di carico (nelle due direzioni ortogonali) sulle quali viene fatto transitare il carico tandem.

Per ogni posizione occupata dal carico mobile lungo il tragitto si determinano le sei caratteristiche di sollecitazione e quindi si determina il diagramma di involuppo di ognuna di queste. Si hanno così, per ogni linea di carico considerata, le sei caratteristiche di sollecitazione che, per ogni membratura, rappresentano il massimo (e il minimo) valore imponibile dal carico mobile. Si esegue poi l'involuppo di tutte le caratteristiche di sollecitazione prima definite o, se si preferisce, si realizza l'involuppo dell'involuppo dei massimi e dei minimi prima calcolati. Il valore così ottenuto costituisce "il caso di carico" da considerare per realizzare le combinazioni di carico previste dalle norme tecniche applicate.

#### 4.4.6 VARIAZIONI TERMICHE

Gli effetti delle variazioni termiche sono stati valutati in conformità alle prescrizioni di §5.1.3.2 delle NTC08, ovvero considerando che le strutture possano essere sottoposte ad un innalzamento della temperatura ovvero ad un abbassamento di questa rispetto alla temperatura di riferimento prefissata per l'opera.

Si sono così considerati due diversi schemi di carico ognuno dei quali pretende di simulare una delle due condizioni ora definite.

Ipotizzando che la temperatura di riferimento per l'opera sia fissabile in 15 °C ed ipotizzando un delta termico pari a  $\pm 10$  °C Si ha pertanto:

- Temperatura massima possibile  $\rightarrow 25$  °C;
- Temperatura minima possibile  $\rightarrow -5$  °C.

Tale condizione di carico è stata imputata nel codice di calcolo sfruttando un'apposita procedura da questi messa a disposizione.

La temperatura di riferimento è stata assegnata a tutti gli elementi plate con cui è stata discretizzata la soletta della struttura.

Le temperature massime e minime sono state quindi assegnate imponendo una variazione di temperatura uniforme a tutti gli elementi costituenti la soletta. Sono stati definiti due come schemi di carico distinti denominati secondo le precedenti indicazioni.

#### 4.4.7 AZIONI SISMICHE

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Relativamente alle azioni sismiche, si è fatto riferimento a quanto riportato al paragrafo 3.2.3 delle NTC08. In particolare esse sono state caratterizzate da due componenti orizzontali, tra di loro indipendenti, descritte in termini di spettri di risposta attesi in superficie.

Il progetto e le successive verifiche sono state condotte agli stati limite di esercizio, SLE, e agli stati limite ultimi, SLU. Per gli SLE, per ciascuna delle due componenti orizzontali, sono stati considerati lo stato limite di operatività, definito SLO, e lo stato limite di danno, definito SLD; per gli stati limite ultimi è stato considerato lo stato limite di salvaguardia della vita, definito SLV.

Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto  $S_d(T)$  utilizzato è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  considerata, definito dalle espressioni seguenti:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

in cui  $T$  e  $S_e$  sono rispettivamente, periodo di vibrazione e accelerazione spettrale orizzontale, mentre  $S$  è il coefficiente che tiene conto della categoria del sottosuolo ed delle condizioni topografiche, e  $\eta$  è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi  $\xi$  diversi dal 5%.

Con riferimento agli stati limite ultimi, ai fini del progetto e delle successive verifiche, le capacità dissipative sono state messe in conto attraverso una riduzione delle forze elastiche, che tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovraresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni, utilizzando quale spettro di progetto lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  considerata, con le ordinate ridotte sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , essendo  $q$  il fattore di struttura.

La caratterizzazione sismica del sito in cui è inserita l'opera in oggetto viene effettuata sulla base delle indicazioni contenute nel D.M. 14/01/2008 (paragrafo 3.2). I parametri sismici di base sono stati calcolati utilizzando il foglio di calcolo dedicato "Spettri di risposta", fornito dal Consiglio Sup. LL.PP. (<http://www.cslp.it/cslp/>), inserendo le coordinate geografiche dell'intervento in corrispondenza dell'opera in progetto:

<b>Latitudine</b>	38° 22' 68"
-------------------	-------------

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

<b>Longitudine</b>	<b>15° 64' 56"</b>
--------------------	--------------------

Per la valutazione degli spettri di progetto sono state seguite le fasi appresso indicate. Si precisa che, anche se il valore di  $q_0$  per sisma verticale appare posto uguale a uno, ciò non costituisce errore, non essendo stata presa in considerazione l'accelerazione sismica verticale in funzione delle caratteristiche geometriche della struttura, che non lo richiedono.

**FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO**

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE:     LATTITUDINE:

Ricerca per comune

REGIONE:     PROVINCIA:     COMUNE:

**Elaborazioni grafiche**

Grafici spettri di risposta →

Variabilità dei parametri →

**Elaborazioni numeriche**

Tabella parametri →

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata ▼

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

Figura 4.7: Individuazione della pericolosità del sito

Le prestazioni attese dalle strutture che costituiscono l'ossatura portante dell'opera in progetto, individuate e caratterizzate secondo i criteri probabilistici prescritti dalle NTC, sono quelli riportati nel seguente prospetto riepilogativo:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		Codice documento CD0144_F0F0	Rev F0	Data 20/06/2011

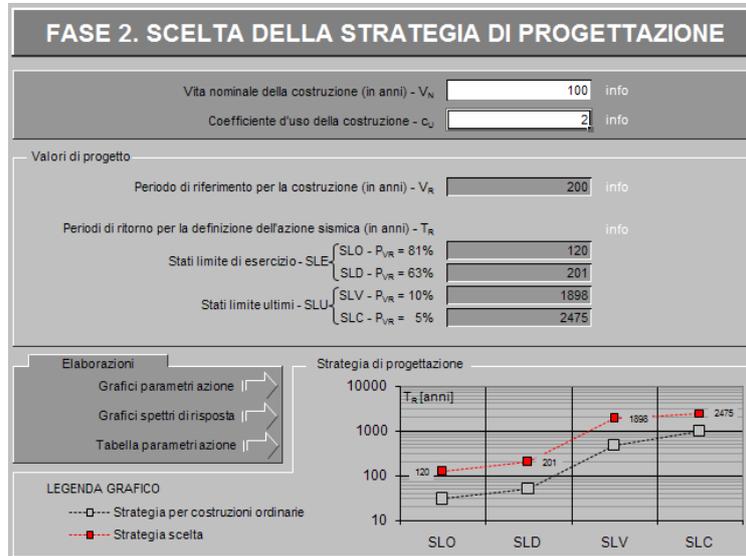


Figura 4.8: Prestazioni attese

Le azioni di progetto che ne derivano sono rappresentate dai diagrammi che seguono.

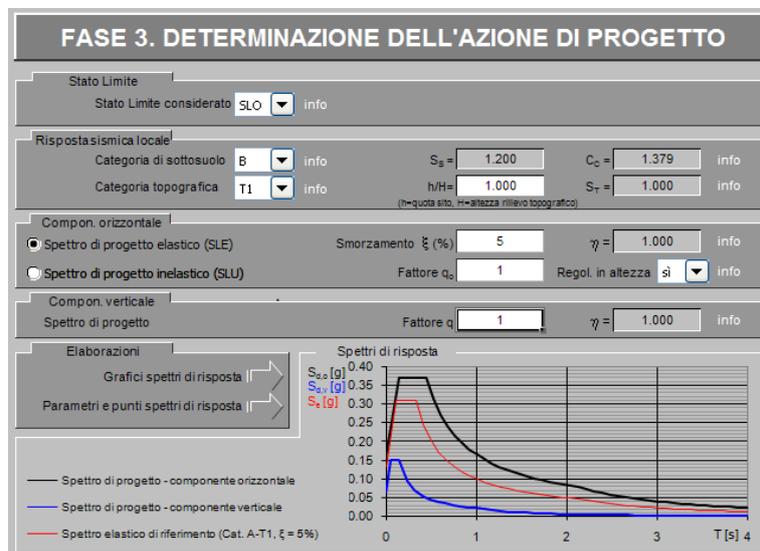


Figura 4.9: Determinazione dello spettro di progetto relativo allo SLO

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLO**

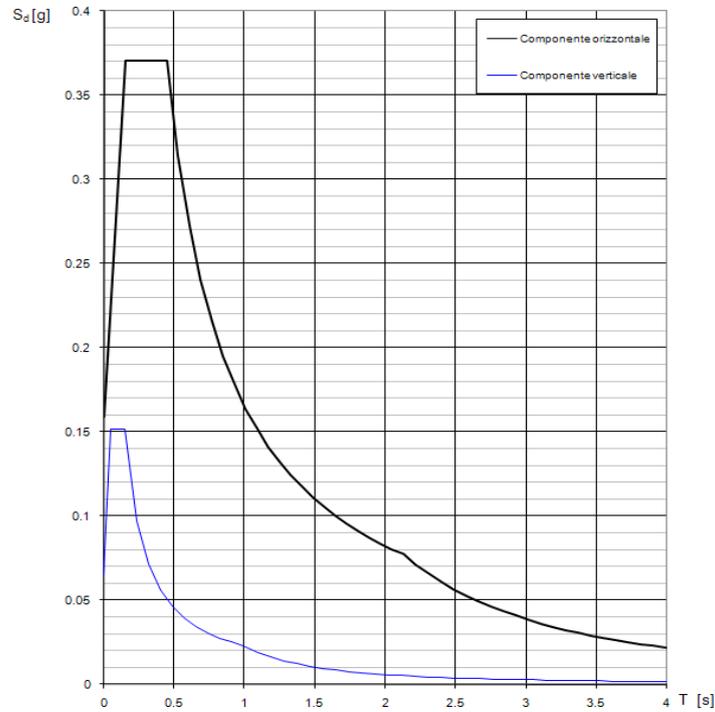


Figura 4.10: Spettro di progetto relativo allo SLO

**FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO**

**Stato Limite**  
 Stato Limite considerato: SLD info

**Rispostasismica locale**  
 Categoria di sottosuolo: B info      $S_d = 1.200$       $C_c = 1.368$  info  
 Categoria topografica: T1 info      $h/H = 1.000$       $S_T = 1.000$  info  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

**Compon. orizzontale**  
 Spettro di progetto elastico (SLE)     Smorzamento  $\xi$  (%): 5      $\gamma = 1.000$  info  
 Spettro di progetto inelastico (SLU)     Fattore  $q_c$ : 1     Regol. in altezza: si info

**Compon. verticale**  
 Spettro di progetto     Fattore  $q$ : 1      $\gamma = 1.000$  info

**Elaborazioni**  
 Grafici spettri di risposta →  
 Parametri e punti spettri di risposta →

Spettri di risposta

— Spettro di progetto - componente orizzontale  
 — Spettro di progetto - componente verticale  
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

Figura 4.11: Determinazione dello spettro di progetto relativo allo SLD

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLD**

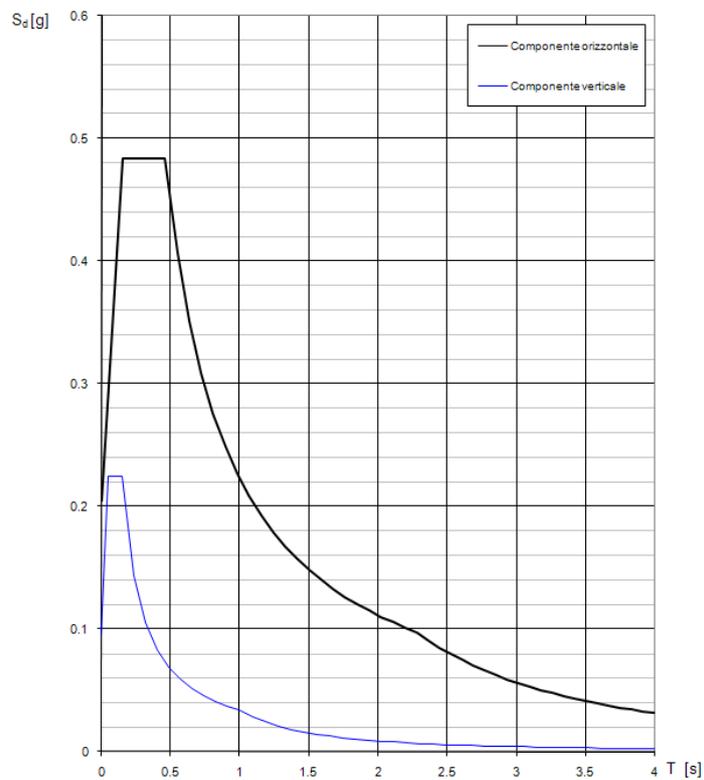


Figura 4.12: Spettro di progetto relativo allo SLD

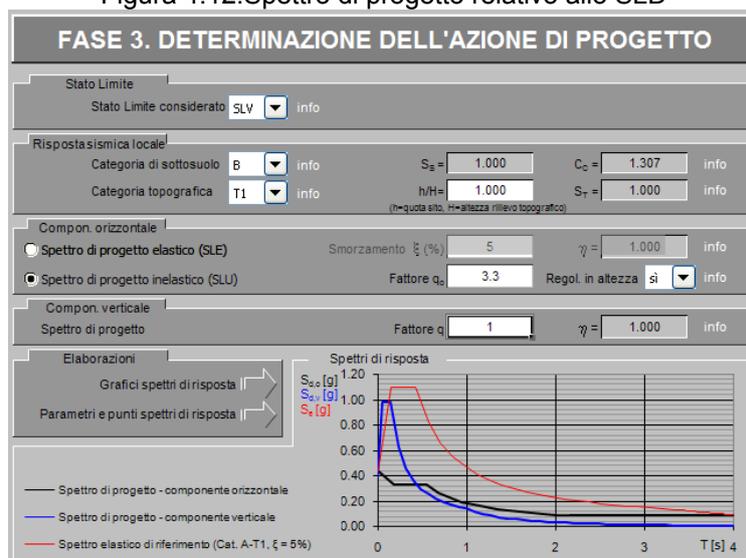


Figura 4.13: Determinazione dello spettro di progetto relativo allo SLV

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV**

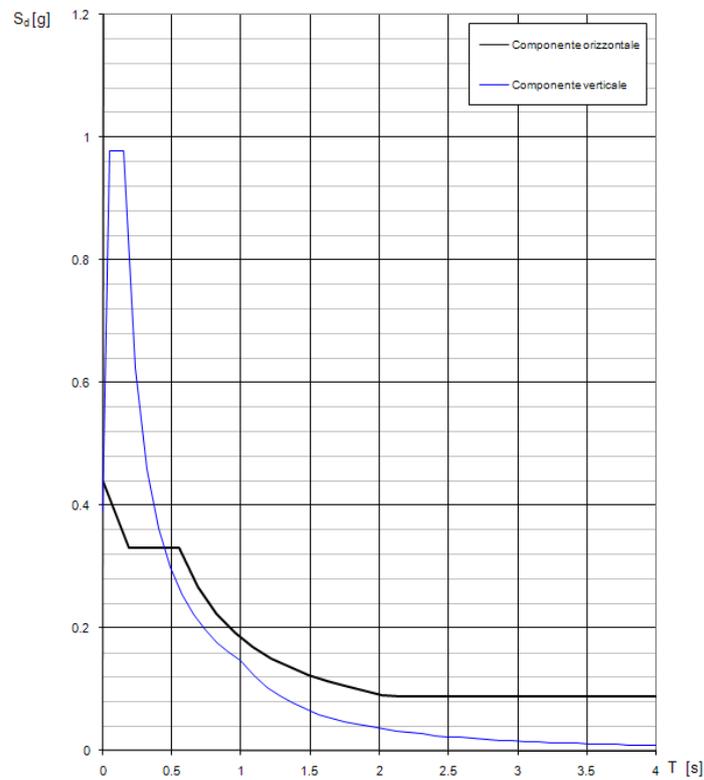


Figura 4.14: Spettro di progetto relativo allo SLV

## 4.5 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE

La struttura in esame è stata considerata costituita da due sottostrutture, differenti per tipologia, fra esse collegate; di esse, una è costituita da elementi in calcestruzzo armato, e una da elementi resistenti in acciaio. Secondo la logica del software utilizzato per la modellazione di calcolo, di cui si dirà più approfonditamente in un apposito paragrafo, sono stati utilizzati elementi tipo *plate* per la schematizzazione sia delle solette orizzontali, sia dei setti verticali, trattandosi di elementi definiti da quattro nodi, e elementi *beam* per la schematizzazione delle travi e dei pilastri, trattandosi di elementi definiti da due nodi. Questi ultimi sono stati utilizzati sia per le membrature in calcestruzzo armato, sia per quelle in acciaio. Sia gli elementi *plate*, sia gli elementi *beam*, hanno consentito di discretizzare per intero la struttura secondo quelle che sono le peculiarità del metodo agli elementi finiti (FEM).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

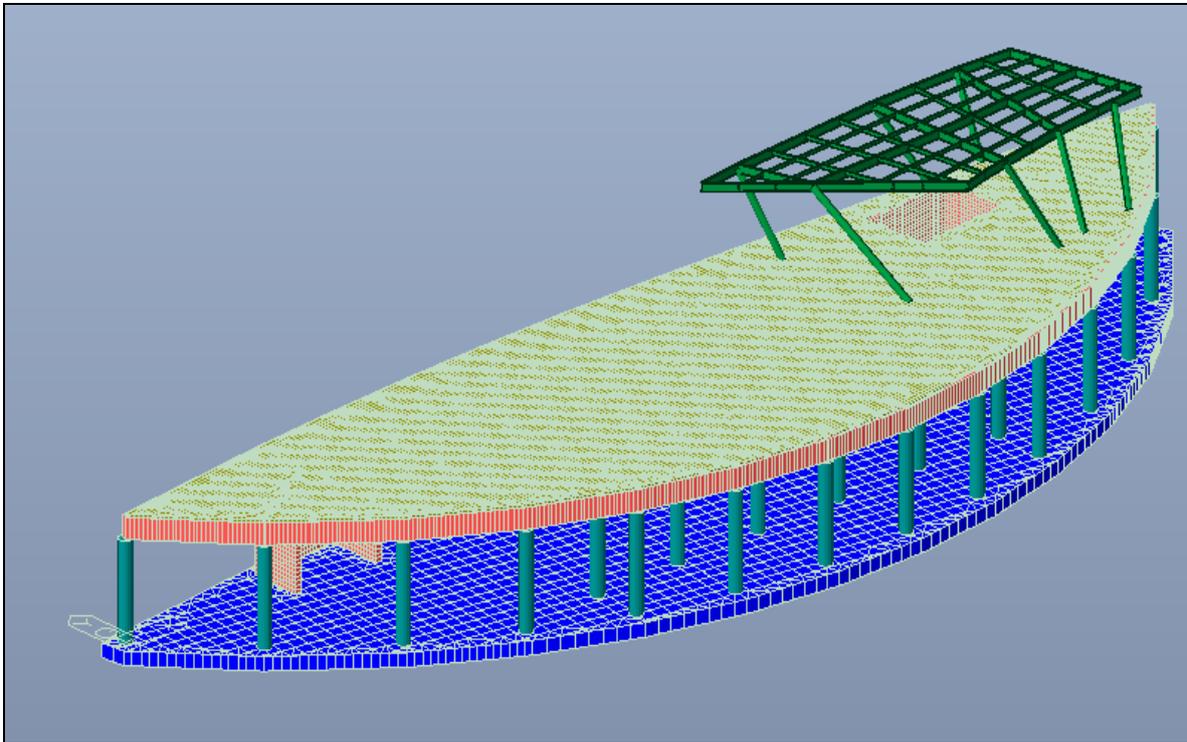


Figura 4.15: Vista assometrica del modello di calcolo

Con riferimento alle travi, esse sono state suddivise in travi principali e travi secondarie, disposte in senso ortogonale in modo da formare maglie regolari sulle quali incastrare la soletta, determinandone in tal modo una nervatura resistente, in considerazione del fatto che le sezioni trasversali sono emergenti rispetto alla soletta stessa. Per la parte in acciaio si è optato per elementi a sezioni standard facilmente reperibili in commercio. Si tratta di elementi IPE per le travi e di elementi circolari per le colonne portanti. La parte in acciaio è stata modellata come un graticcio di travi irrobustito nel comportamento di piano con un sistema di controventi realizzati con tondini in acciaio di diametro 2 cm.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

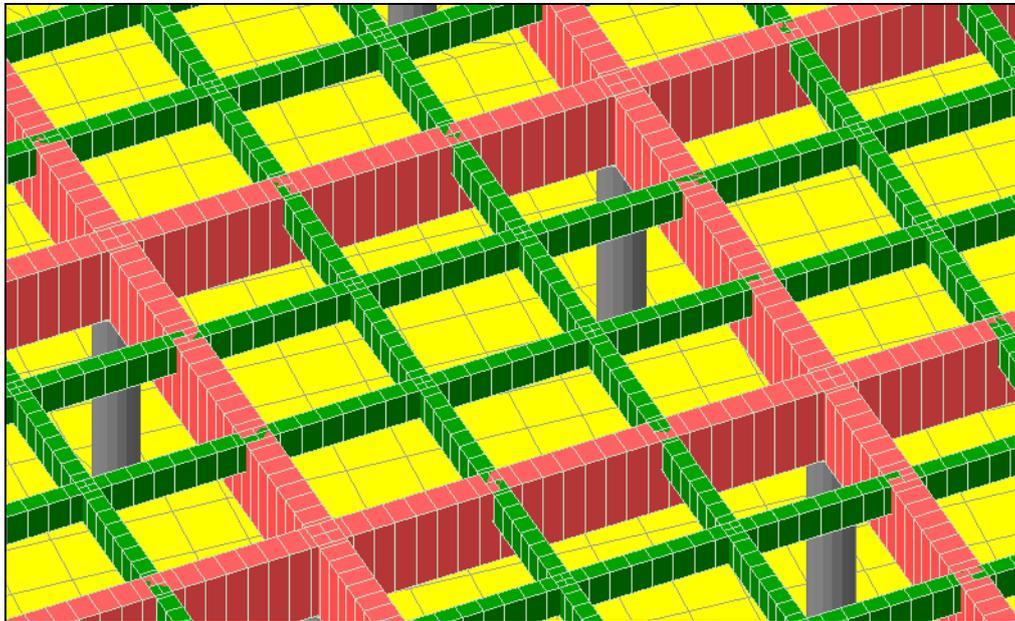


Figura 4.16: Particolare delle travi in c.a. principali (in rosso) e delle travi secondarie (in verde)

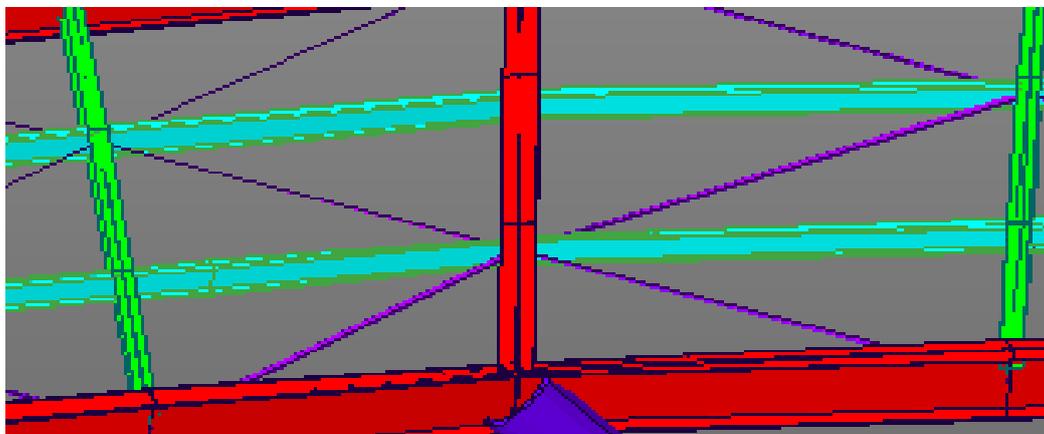


Figura 4.17 – Particolare del sistema di controventatura

Le travi sono state suddivise in: travi principali, che si dislocano longitudinalmente alla direzione della struttura, traversoni, delle stesse dimensioni delle travi principali e colleganti le colonne, i traversi ed infine le travi secondarie.

Si ritiene infine opportuno riportare alcune precisazioni sulle modalità operative utilizzate per predisporre i modelli di calcolo che li diversificano dalle prassi procedurali correnti e che, pertanto, consentono di omettere talune regole ad esse associate.

I solai di piano non sono stati modellati come piani rigidi con la consueta tecnica del nodo master e dei nodi slave. Tale ipotesi semplificativa, nel caso oggetto di studio, non può essere applicata sia per la difficoltà operativa di applicare poi correttamente i carichi mobili, sia perché la geometria del

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

solaio, in taluni corpi di fabbrica, si presenta altamente irregolare. Si è quindi deciso di modellare il solaio “al vero” mediante elementi shell che simulassero la reale rigidità della soletta in calcestruzzo armato che, di fatto, vista la presenza delle travature secondarie, deve essere vista come una piastra nervata nelle due direzioni. L’aver omesso la semplificazione prima descritta ha inoltre consentito di considerare la distribuzione delle masse sismiche eccitabili non già concentrate nel baricentro della masse bensì collocate la dove effettivamente gravano. Dell’eccentricità tra baricentro delle masse e centro delle rigidità, sempre di rilevante entità, si tiene così conto in modo implicito nel modello di calcolo che mette bene in evidenza ogni effetto torsionale presente. L’essere sempre in presenza delle forti eccentricità or’anzi richiamate rende poi più che lecito trascurare le eccentricità accidentali previste dalle NTC08; tale prescrizione mira infatti a far mettere in conto, la dove i due centri richiamati sono tra loro coincidenti o quasi, l’eventuale distribuzione non uniforme dei carichi accidentali che possono imporre un effettivo allontanamento del centro delle masse da quello delle rigidità. Nel caso in esame, essendo di per se le masse già fortemente decentrate, a nulla gioverebbe un ulteriore lieve (5%) decentramento; il tutto è già simulato a sufficienza dagli incrementi previsti nell’imputare valori dei carichi arrotondati sempre per eccesso.

Le sezioni trasversali attribuite alle travi sono del tipo rettangolare, e di dimensioni pari a 0,50X1,50 m per le principali, e 0,30X0,60 m per le secondarie.

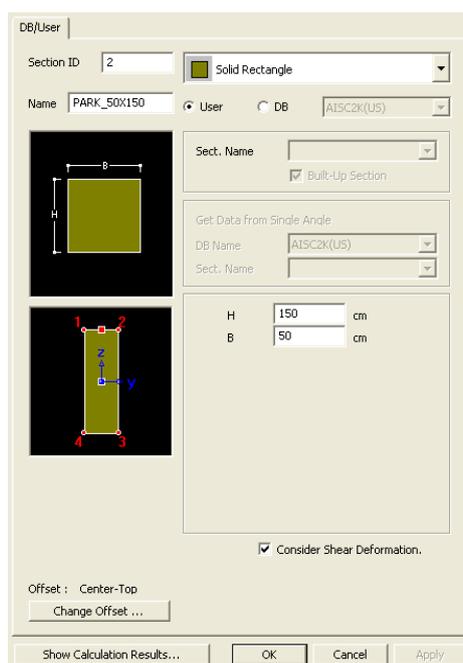


Figura 4.18: Caratteristiche geometriche delle sezioni trasversali delle travi principali (piazza)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

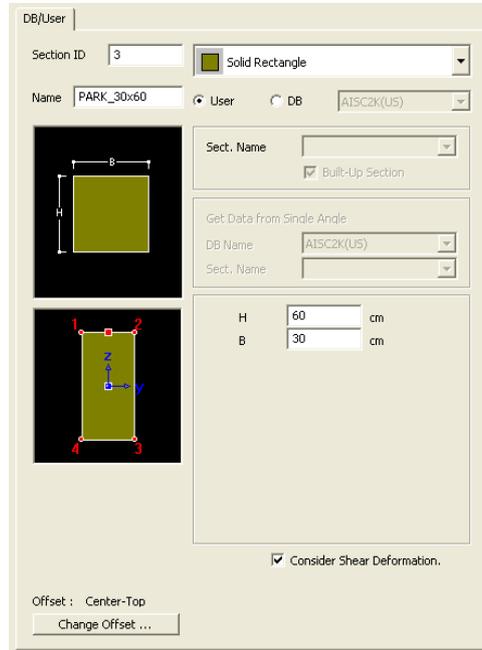


Figura 4.19:Caratteristiche geometriche delle sezioni trasversali delle travi secondarie (piazza)

Ai pilastri che collegano la platea di fondazione al relativo piano di copertura sono state assegnate quali sezioni trasversali quelle circolari, dal diametro paro a 1,00 m.

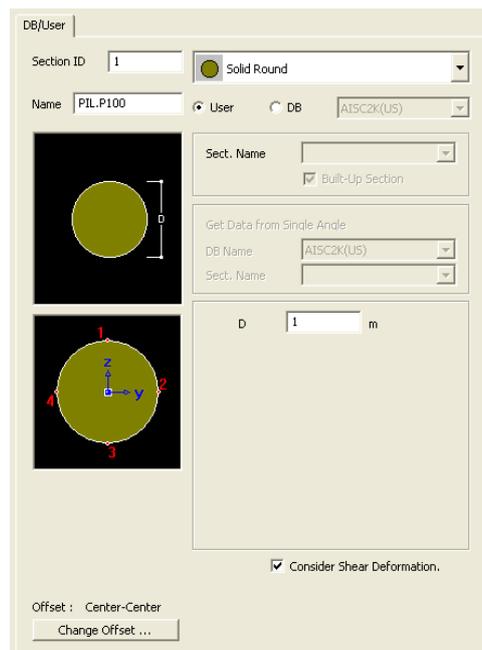


Figura 4.20:Caratteristiche geometriche delle sezioni trasversali dei pilastri

Figura 4.19:Caratteristiche geometriche delle sezioni trasversali dei pilastri del torrino

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Agli elementi plate con i quali sono stati schematizzati la platea d fondazione, i setti verticali e le solette di copertura della piazza e del torrino, sono stati assegnati quali spessori rispettivamente 1,00 m, 0,50 m e 0,20 m.

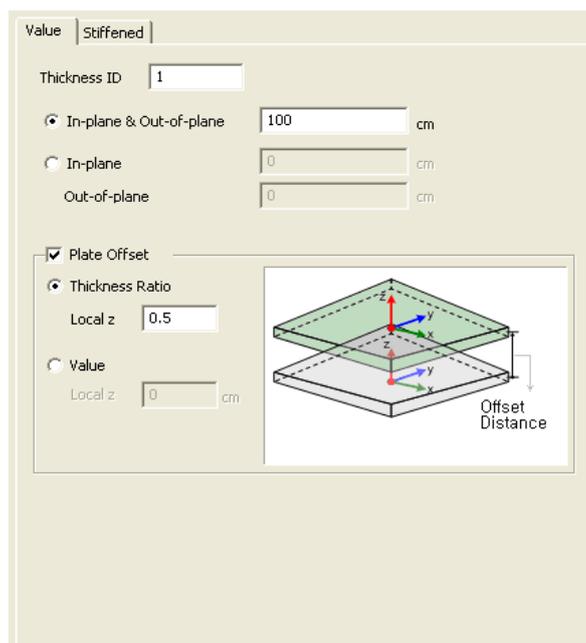


Figura 4.21:Caratteristiche geometriche delle solette

Quanto agli elementi resistenti in acciaio, ad essi sono stati assegnati differenti sezioni trasversali a seconda del loro uso. In pratica, con riferimento alle travi, esse sono state suddivise in: travi principali, che si dislocano longitudinalmente alla direzione della struttura, traversoni, delle stesse dimensioni delle travi principali e colleganti le colonne, i traversi ed infine le travi secondarie. A tutti gli elementi elencati sono state assegnate sezioni trasversali del tipo IPE.

Discorso a parte è stato fatto a proposito delle colonne portanti, per le quali sono state utilizzate sezioni circolari cave. A titolo esplicativo, sono riportate di seguito le figure che ne rappresentano le caratteristiche geometriche

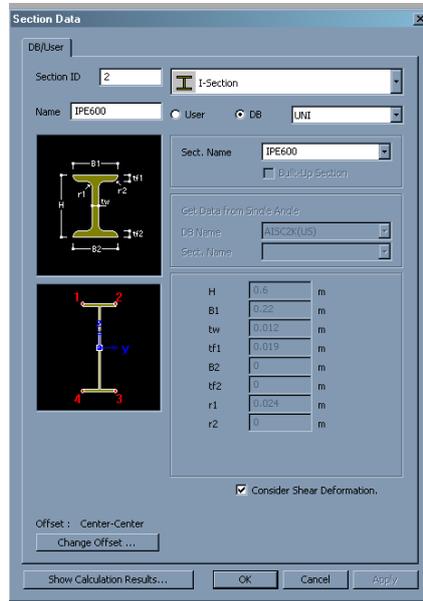


Figura 4.22 – Caratteristiche geometriche delle travi principali e dei traversoni

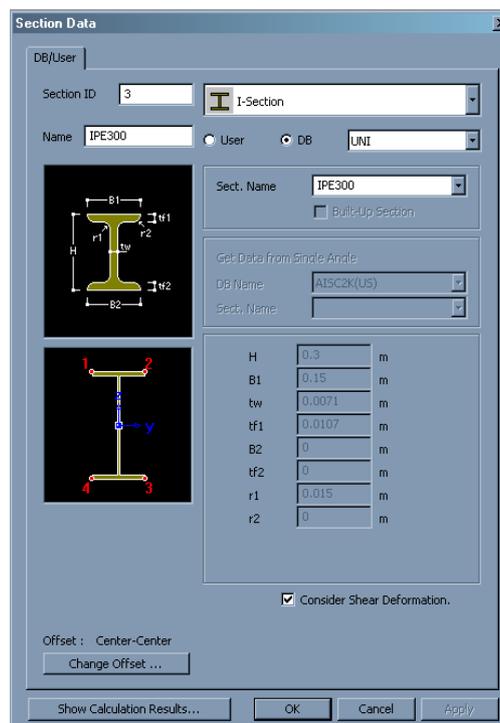


Figura 4.23 – Caratteristiche geometriche dei traversi

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

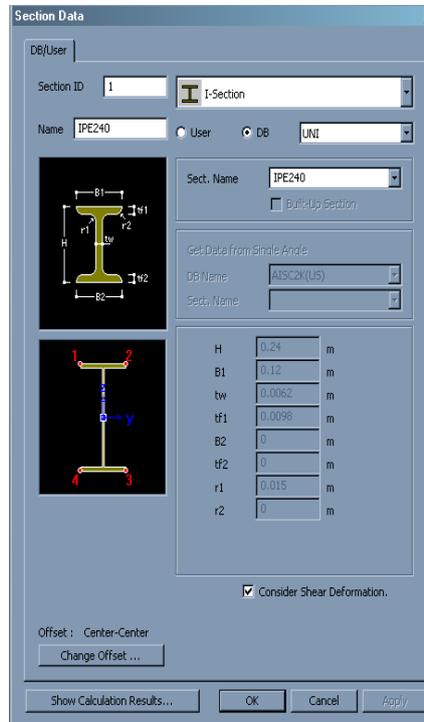


Figura 4.24 – Caratteristiche geometriche delle travi secondarie

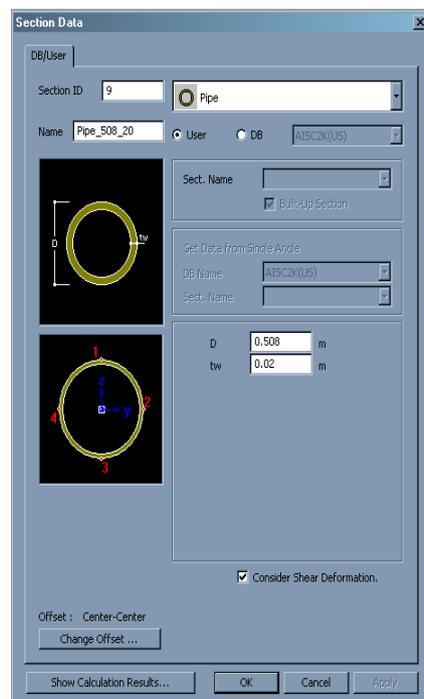


Figura 4.25 – Caratteristiche geometriche delle colonne (diametro 508 mm)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5. ELABORATI DI RIFERIMENTO

Per l'opera descritta nella presente relazione si fa riferimento ai seguenti elaborati di progetto:

Corpo di fabbrica 4 - Carpenteria fondazioni e piano interrato a quota +94,50	1:100
Corpo di fabbrica 4 - Carpenteria piano a quota +100,00	1:100

## 6. ANALISI STRUTTURALE

### 6.1 ANALISI DEI CARICHI

Le calcolazioni eseguite hanno preso in considerazione tutti i casi di carico previsti dalle NTC08 ovvero:

- Il peso proprio degli elementi strutturali → Schemi di carico G1;
- I carichi permanenti portati → Schemi di carico G2;
- Altre azioni permanenti → Schemi di carico G3;
- Gli effetti delle variazioni termiche → Schemi di carico E3;
- Le azioni variabili da traffico → Schemi di carico Q1;
- Gli effetti dell'azione di neve e vento → Schemi di carico Q5;
- Gli effetti delle azioni sismiche → Schemi di carico Q6;
- Gli effetti di altre azioni variabili → Schemi di carico Q9.

I diversi casi di carico sono poi utilizzati per realizzare le combinazioni di carico previsti dalle NTC08 per i vari stati limite da considerare.

### 6.2 COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico che sono state prese in considerazioni discendono da quelle che sono le disposizioni riportate nelle NTC08 sia con riferimento alla parte generale che con riferimento alle specifiche destinate al progetto dei ponti; in particolare si è fatto riferimento al § 2.5.3 per quanto attiene alle regole generali secondo cui debbono combinarsi, ai vari S.L., i diversi carichi ai fini delle verifiche e al §5.1.3.11 per ciò che concerne le ulteriori regole di combinazione nonché i valori numerici dei diversi coefficienti che debbono adoperarsi con specifico riferimento all'analisi dei ponti.

Per lo S.L.U. (non sismico) è stata adoperata la seguente regola di combinazione:

$$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_P P + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\Psi_{02}Q_{k2} + \gamma_{Q3}\Psi_{03}Q_{k3} + \dots$$

Per gli S.L.E. – Combinazione frequente – è stata adoperata la seguente regola di combinazione:

$$G_1 + G_2 + P + \Psi_{11}Q_{k1} + \Psi_{22}Q_{k2} + \Psi_{23}Q_{k3} + \dots$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Per gli S.L.E. – combinazione quasi permanente per gli effetti di lungo termine – è stata considerata la seguente combinazione:

$$G_1 + G_2 + P + \Psi_{21}Q_{k1} + \Psi_{22}Q_{k2} + \Psi_{23}Q_{k3} + \dots$$

Per la combinazione sismica è stata adoperata la formula di combinazione seguente:

$$E + G_1 + G_2 + P + \Psi_{21}Q_{k1} + \Psi_{22}Q_{k2} + \dots$$

In particolare, per quanto attiene alle combinazioni sismiche, sono stati considerati due diversi casi di carico a loro volta ottenuti come combinazione delle azioni sismiche agenti nelle due direzioni. Esplicitate le formule prima introdotte, le diverse combinazioni considerate risultano dalla seguente tabella di riepilogo.

```

+=====+
| MIDAS(Modeling, Integrated Design & Analysis Software) |
| midas Gen - Load Combinations |
| (c)SINCE 1989 |
+=====+
| MIDAS Information Technology Co.,Ltd. (MIDAS IT) |
| Gen 2011 |
+=====+
-----
DESIGN TYPE : General
-----

LIST OF LOAD COMBINATIONS
=====
NUM NAME ACTIVE TYPE
LOADCASE(FACTOR) + LOADCASE(FACTOR) + LOADCASE(FACTOR)
=====
1 Q5.1X Inactive Add
Q5.11( 1.000) + Q5.13( 1.000) + Q5.15( 1.000)
+ Q5.17( 1.000) + Q5.19( 1.000) + Q5.110( 1.000)
+ Q5.21( 1.000) + Q5.23( 1.000) + Q5.25( 1.000)
+ Q5.27( 1.000) + Q5.29( 1.000) + Q5.210( 1.000)
+ Q5.35( 1.000) + Q5.37( 1.000)
-----

```

Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale

*Codice documento*

CD0144\_F0F0

*Rev*

F0

*Data*

20/06/2011

2	Q5.2X	Inactive	Add	
		Q5.12( 1.000) +	Q5.14( 1.000) +	Q5.16( 1.000)
+		Q5.18( 1.000) +	Q5.111( 1.000) +	Q5.22( 1.000)
+		Q5.24( 1.000) +	Q5.26( 1.000) +	Q5.28( 1.000)
+		Q5.211( 1.000) +	Q5.34( 1.000) +	Q5.36( 1.000)
+		Q5.38( 1.000)		

---

3	Q5.3X	Inactive	Add	
		Q5.11( 1.000) +	Q5.12( 1.000) +	Q5.14( 1.000)
+		Q5.16( 1.000) +	Q5.18( 1.000) +	Q5.19( 1.000)
+		Q5.110( 1.000) +	Q5.21( 1.000) +	Q5.22( 1.000)
+		Q5.24( 1.000) +	Q5.26( 1.000) +	Q5.28( 1.000)
+		Q5.29( 1.000) +	Q5.210( 1.000) +	Q5.34( 1.000)
+		Q5.36( 1.000) +	Q5.38( 1.000)	

---

4	Q5.4X	Inactive	Add	
		Q5.12( 1.000) +	Q5.13( 1.000) +	Q5.15( 1.000)
+		Q5.17( 1.000) +	Q5.18( 1.000) +	Q5.111( 1.000)
+		Q5.22( 1.000) +	Q5.23( 1.000) +	Q5.25( 1.000)
+		Q5.27( 1.000) +	Q5.28( 1.000) +	Q5.211( 1.000)
+		Q5.35( 1.000) +	Q5.37( 1.000) +	Q5.38( 1.000)

---

5	Q5.5X	Inactive	Add	
		Q5.11( 1.000) +	Q5.13( 1.000) +	Q5.14( 1.000)
+		Q5.16( 1.000) +	Q5.17( 1.000) +	Q5.19( 1.000)
+		Q5.110( 1.000) +	Q5.21( 1.000) +	Q5.23( 1.000)
+		Q5.24( 1.000) +	Q5.26( 1.000) +	Q5.27( 1.000)
+		Q5.29( 1.000) +	Q5.210( 1.000) +	Q5.34( 1.000)
+		Q5.36( 1.000) +	Q5.37( 1.000)	

---

6	Q5.1Y	Inactive	Add	
		Q5.21( 1.000) +	Q5.22( 1.000) +	Q5.23( 1.000)
+		Q5.24( 1.000) +	Q5.25( 1.000) +	Q5.26( 1.000)
+		Q5.27( 1.000) +	Q5.28( 1.000) +	Q5.29( 1.000)
+		Q5.210( 1.000) +	Q5.211( 1.000)	

Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale

*Codice documento*

CD0144\_F0F0

*Rev*

F0

*Data*

20/06/2011

---

7	Q5.2Y	Inactive	Add	
		Q5.11( 1.000) +	Q5.12( 1.000) +	Q5.13( 1.000)
+		Q5.14( 1.000) +	Q5.15( 1.000) +	Q5.16( 1.000)
+		Q5.17( 1.000) +	Q5.18( 1.000) +	Q5.19( 1.000)
+		Q5.110( 1.000) +	Q5.111( 1.000) +	Q5.34( 1.000)
+		Q5.35( 1.000) +	Q5.36( 1.000) +	Q5.37( 1.000)
+		Q5.38( 1.000)		

---

8	Q5.3Y	Inactive	Add	
		Q5.11( 1.000) +	Q5.12( 1.000) +	Q5.13( 1.000)
+		Q5.14( 1.000) +	Q5.15( 1.000) +	Q5.16( 1.000)
+		Q5.17( 1.000) +	Q5.18( 1.000) +	Q5.19( 1.000)
+		Q5.110( 1.000) +	Q5.111( 1.000) +	Q5.21( 1.000)
+		Q5.22( 1.000) +	Q5.23( 1.000) +	Q5.24( 1.000)
+		Q5.25( 1.000) +	Q5.26( 1.000) +	Q5.27( 1.000)
+		Q5.28( 1.000) +	Q5.29( 1.000) +	Q5.210( 1.000)
+		Q5.211( 1.000)		

---

9	Q5.4Y	Inactive	Add	
		Q5.21( 1.000) +	Q5.22( 1.000) +	Q5.23( 1.000)
+		Q5.24( 1.000) +	Q5.25( 1.000) +	Q5.26( 1.000)
+		Q5.27( 1.000) +	Q5.28( 1.000) +	Q5.29( 1.000)
+		Q5.210( 1.000) +	Q5.211( 1.000) +	Q5.34( 1.000)
+		Q5.35( 1.000) +	Q5.36( 1.000) +	Q5.37( 1.000)
+		Q5.38( 1.000)		

---

10	Q5	Active	Add	
		Q5.11( 1.000) +	Q5.12( 1.000) +	Q5.13( 1.000)
+		Q5.14( 1.000) +	Q5.15( 1.000) +	Q5.16( 1.000)
+		Q5.17( 1.000) +	Q5.18( 1.000) +	Q5.19( 1.000)
+		Q5.110( 1.000) +	Q5.111( 1.000) +	Q5.21( 1.000)
+		Q5.22( 1.000) +	Q5.23( 1.000) +	Q5.24( 1.000)
+		Q5.25( 1.000) +	Q5.26( 1.000) +	Q5.27( 1.000)
+		Q5.28( 1.000) +	Q5.29( 1.000) +	Q5.210( 1.000)

Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale

*Codice documento*

CD0144\_F0F0

*Rev*

F0

*Data*

20/06/2011

+ Q5.211( 1.000) + Q5.34( 1.000) + Q5.35( 1.000)  
+ Q5.36( 1.000) + Q5.37( 1.000) + Q5.38( 1.000)

-----  
11 INV\_Q5 Active Envelope  
Q5.1X( 1.000) + Q5.2X( 1.000) + Q5.3X( 1.000)  
+ Q5.4X( 1.000) + Q5.5X( 1.000) + Q5.1Y( 1.000)  
+ Q5.2Y( 1.000) + Q5.3Y( 1.000) + Q5.4Y( 1.000)  
+ Q5( 1.000)

-----  
12 INV\_Q1 Active Envelope  
Q1.1X( 1.000) + Q1.2X( 1.000) + Q1.3X( 1.000)  
+ Q1.1Y( 1.000) + Q1.2Y( 1.000) + Q1.3Y( 1.000)

-----  
13 SLU\_1 Active Add  
G1( 1.350) + G2( 1.500) + INV\_Q1( 1.350)

-----  
14 SLU\_2 Active Add  
G1( 1.300) + G2( 1.500) + INV\_Q5( 1.500)  
+ T1( 0.900) + q.neve( 0.750)

-----  
15 SLU\_3 Active Add  
G1( 1.300) + G2( 1.500) + INV\_Q5( 1.500)  
+ T2( 0.900) + q.neve( 0.750)

-----  
16 SLU\_4 Active Add  
G1( 1.300) + G2( 1.500) + INV\_Q5( 1.050)  
+ T1( 0.900) + q.neve( 1.500)

-----  
17 SLU\_5 Active Add  
G1( 1.300) + G2( 1.500) + INV\_Q5( 1.050)  
+ T2( 0.900) + q.neve( 1.500)

-----  
18 SLU\_6 Active Add  
G1( 1.300) + G2( 1.500) + INV\_Q5( 1.050)  
+ T1( 1.500) + q.neve( 0.750)

Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale

*Codice documento*

CD0144\_F0F0

*Rev*

F0

*Data*

20/06/2011

-----  
19 SLU\_7 Active Add  
G1( 1.300) + G2( 1.500) + INV\_Q5( 1.050)  
+ T2( 1.500) + q.neve( 0.750)  
-----

20 SLU\_8 Active Add  
G1( 1.300) + G2( 1.500) + Vento +X( 1.500)  
-----

21 SLU\_9 Active Add  
G1( 1.300) + G2( 1.500) + Vento -X( 1.500)  
-----

22 SLU\_10 Active Add  
G1( 1.300) + G2( 1.500) + Vento + Y( 1.500)  
-----

23 SLU\_11 Active Add  
G1( 1.300) + G2( 1.500) + Vento - Y( 1.500)  
-----

24 SLU-GEO Active Add  
G1( 1.000) + G2( 1.300) + q.F( 1.300)  
+ Q5( 1.000)  
-----

25 SLE\_rara\_1 Active Add  
G1( 1.000) + G2( 1.000) + INV\_Q1( 1.000)  
-----

26 SLE\_rara\_2 Active Add  
G1( 1.000) + G2( 1.000) + INV\_Q5( 1.000)  
+ T1( 0.600) + q.neve( 0.500)  
-----

27 SLE\_rara\_3 Active Add  
G1( 1.000) + G2( 1.000) + INV\_Q5( 1.000)  
+ T2( 0.600) + q.neve( 0.500)  
-----

28 SLE\_rara\_4 Active Add  
G1( 1.000) + G2( 1.000) + INV\_Q5( 0.700)  
+ T1( 1.000) + q.neve( 0.500)  
-----

Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale

*Codice documento*

CD0144\_F0F0

*Rev*

F0

*Data*

20/06/2011

-----  
 29 SLE\_rara\_5 Active Add  
           G1( 1.000) +           G2( 1.000) +           INV\_Q5( 0.700)  
 +           T2( 1.000) +           q.neve( 0.500)  
 -----

30 SLE\_freq\_1 Active Add  
           G1( 1.000) +           G2( 1.000) +           INV\_Q1( 0.500)  
 -----

31 SLE\_freq\_2 Active Add  
           G1( 1.000) +           G2( 1.000) +           INV\_Q5( 0.500)  
 -----

32 SLE\_q\_perm\_1 Active Add  
           G1( 1.000) +           G2( 1.000) +           INV\_Q1( 0.300)  
 -----

33 SLE\_q\_perm\_2 Active Add  
           G1( 1.000) +           G2( 1.000) +           INV\_Q5( 0.300)  
 -----

34 SISMA\_SLV\_Max Active Add  
           SLV\_MAX( 1.000) +           SLV\_MIN( 0.300)  
 -----

35 SISMA\_SLV\_Min Active Add  
           SLV\_MAX( 0.300) +           SLV\_MIN( 1.000)  
 -----

36 SISMA\_SLO\_Max Active Add  
           SLO\_MAX( 1.000) +           SLO\_MIN( 0.300)  
 -----

37 SISMA\_SLO\_Min Active Add  
           SLO\_MAX( 0.300) +           SLO\_MIN( 1.000)  
 -----

38 SISMA\_SLD\_Max Active Add  
           SLD\_MAX( 1.000) +           SLD\_MIN( 0.300)  
 -----

39 SISMA\_SLD\_Min Active Add  
           SLD\_MAX( 0.300) +           SLD\_MIN( 1.000)  
 -----

Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale

*Codice documento*

CD0144\_F0F0

*Rev*

F0

*Data*

20/06/2011

40	SLV+SISMA_MAX_+ Active	Add		
	G1( 1.000) +	G2( 1.000) +	SISMA_SLV_Max( 1.000)	
-----				
41	SLV+SISMA_MAX_- Active	Add		
	G1( 1.000) +	G2( 1.000) +	SISMA_SLV_Max(-1.000)	
-----				
42	SLV+SISMA_MIN_+ Active	Add		
	G1( 1.000) +	G2( 1.000) +	SISMA_SLV_Min( 1.000)	
-----				
43	SLV+SISMA_MIN_- Active	Add		
	G1( 1.000) +	G2( 1.000) +	SISMA_SLV_Min(-1.000)	
-----				
44	SLD+SISMA_MAX_+ Active	Add		
	G1( 1.000) +	G2( 1.000) +	SISMA_SLD_Max( 1.000)	
-----				
45	SLD+SISMA_MAX_- Active	Add		
	G1( 1.000) +	G2( 1.000) +	SISMA_SLD_Max(-1.000)	
-----				
46	SLD+SISMA_MIN_+ Active	Add		
	G1( 1.000) +	G2( 1.000) +	SISMA_SLD_Min( 1.000)	
-----				
47	SLD+SISMA_MIN_- Active	Add		
	G1( 1.000) +	G2( 1.000) +	SISMA_SLD_Min(-1.000)	
-----				
48	SLO+SISMA_MAX_+ Active	Add		
	G1( 1.000) +	G2( 1.000) +	SISMA_SLO_Max( 1.000)	
-----				
49	SLO+SISMA_MAX_- Active	Add		
	G1( 1.000) +	G2( 1.000) +	SISMA_SLO_Max(-1.000)	
-----				
50	SLO+SISMA_MIN_+ Active	Add		
	G1( 1.000) +	G2( 1.000) +	SISMA_SLO_Min( 1.000)	
-----				
51	SLO+SISMA_MIN_- Active	Add		
	G1( 1.000) +	G2( 1.000) +	SISMA_SLO_Min(-1.000)	

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

--

### 6.3 DESCRIZIONE DELLE PROCEDURE DI ANALISI

Per valutare il cimento statico cui sono sottoposte le membrature che costituiscono l'ossatura portante dell'opera in progetto sono state eseguite le seguenti analisi:

- Analisi statica;
- Analisi delle frequenze naturali con calcolo dei modi propri di vibrare dell'insieme strutturale;
- Analisi sismica con spettro di progetto;
- Analisi di Bukling di tipo lineare.

L'analisi statica è stata condotta con il metodo delle rigidità, mediante inversione dell'omonima matrice, al fine di valutare le caratteristiche di sollecitazione scaturenti dall'applicazione dei carichi permanenti ed accidentali, ossia di tutti i carichi ad eccezione di quelli sismici. Lo Storage Scheme utilizzato è stato quello denominato Skyline. L'ampiezza di banda e le altre principali grandezze che caratterizzano l'analisi sono dettagliatamente riportate nei tabulati di calcolo allegati al presente elaborato.

L'analisi delle frequenze naturali è stata condotta mediante integrazione nel sub spazio. Avendo posto:

- Zero macchina → 1.00000000E-20
- Zero Frequenza → 1.00000000E-6
- Zero bukling auto valore → 1.00000000E-10
- Tolleranza d'iterazione → 1.00000000E-5

Gli altri parametri dell'analisi sono riportati in modo dettagliato nei tabulati di calcolo allegati alla presente relazione.

L'analisi sismica con spettro di progetto è stata condotta utilizzando gli spettri di progetto dichiarati nel paragrafo della presente relazione all'uopo predisposto ed i risultati ottenuti dall'analisi delle frequenze naturali prima descritta avendo opportunamente trattato gli eventuali modi propri richiesti in calcolo ma non convergenti. Il tipo di carico imposto è stato quello di accelerazione alla base, si è omesso ogni fenomeno di Damping e le risultanze dei singoli modi sono stati combinati sia secondo SRSS che secondo CQC.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Le sollecitazioni derivanti dall'analisi statica sono stati opportunamente combinati con quelle derivanti dall'analisi sismica

## 6.4 ANALISI STATICA LINEARE

L'analisi statica lineare è la più comune e tradizionale delle analisi strutturali possibili. L'aggettivo statica sottintende che i carichi applicati non dipendono dal tempo o più esattamente variano molto lentamente tra l'istante iniziale di applicazione  $t_0$  e l'istante finale di osservazione  $t_f$  (carichi quasi – statici).

Ipotizzando inoltre che la forza di reazione interna dipenda linearmente dagli spostamenti, attraverso una matrice di rigidezza costante  $K$  e che le forze esterne siano costituite da carichi indipendenti dallo spostamento, si ottiene l'equazione di equilibrio classica per i problemi quasi statici lineari

$$KU = F$$

dove  $K$  è la matrice di rigidezza,  $U$  è il vettore delle deformazioni nodali,  $F$  è il vettore dei carichi. E' bene ricordare che la linearità della risposta strutturale deriva da almeno due grandi semplificazioni: l'ipotesi di elasticità lineare del materiale (linearità materiale) e l'ipotesi di piccolezza degli spostamenti e delle deformazioni (linearità geometrica).

Nell'analisi sismica con il metodo statico equivalente, le corrispondenti forze inerziali vengono automaticamente aggiunte agli altri carichi eventualmente presenti sulla struttura.

Note le deformazioni vengono calcolate le sollecitazioni.

## 6.5 ANALISI DINAMICA MODALE

Il sistema da analizzare è visto come un oscillatore a  $n$  gradi di libertà, di cui vanno individuati i modi propri di vibrazione. Il numero di frequenze da considerare è un dato di ingresso che l'utente deve assegnare. In generale si osservi che il numero di modi propri di vibrazione non può superare il numero di gradi di libertà del sistema.

La procedura attua l'analisi dinamica in due fasi distinte: la prima si occupa di calcolare le frequenze proprie di vibrazione, la seconda calcola spostamenti e sollecitazioni conseguenti allo spettro di risposta assegnato in input.

Nell'analisi spettrale il programma utilizza lo spettro di risposta assegnato in input, coerentemente con quanto previsto dalla normativa.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

L'ampiezza degli spettri di risposta è determinata dai parametri sismici previsti dalla normativa e assegnati in input dall'utente.

La procedura calcola inizialmente i coefficienti di partecipazione modale per ogni direzione del sisma e per ogni frequenza. Tali coefficienti possono essere visti come il contributo dinamico di ogni modo di vibrazione nelle direzioni assegnate. Si potrà perciò notare in quale direzione il singolo modo di vibrazione ha effetti predominanti.

Successivamente vengono calcolati, per ogni modo di vibrazione, gli spostamenti e le sollecitazioni relative a ciascuna direzione dinamica attivata, per ogni modo di vibrazione. Per ogni direzione dinamica viene calcolato l'effetto globale, dovuto ai singoli modi di vibrazione, mediante la radice quadrata della somma dei quadrati dei singoli effetti. E' prevista una specifica fase di stampa per tali risultati.

L'ultima elaborazione riguarda il calcolo degli effetti complessivi, ottenuti considerando tutte le direzioni dinamiche applicate. Tale risultato (involuppo) può essere ottenuto, a discrezione, in più modi distinti, inclusi quelli suggeriti della normativa italiana e dall'Eurocodice 8.

## 6.6 MODELLO DI CALCOLO

Per il progetto delle strutture portanti dell'opera illustrata dal presente elaborato sono stati adoperati diversi strumenti tecnici che, secondo le prescrizioni delle norme tecniche vigenti, debbono essere adeguatamente descritti dal presente elaborato progettuale.

Nei seguenti paragrafi verranno esposte, in modo certamente non approfondito, ma sufficienti per gli scopi prefissi, le basi scientifiche su cui si basa la modellazione strutturale dell'opera illustrata dal presente elaborato nonché della modellazione adoperata per simulare i carichi applicati. Verranno inoltre date, con esposizioni improntate alla brevità espositiva, adeguate illustrazioni sulle peculiarità del software utilizzato e sulle potenzialità da questo offerte.

Quanto riportato in questa sede non può certamente avere alcuno scopo didattico, ma si prefigge unicamente il fine di dichiarare, pretendendo quindi che il lettore abbia piena padronanza della materia, quali tra le possibilità progettuali messe a disposizione dalla scienza e dalla tecnica delle costruzioni sono state adoperate per progettare e verificare gli elementi strutturali esaminati.

Per la valutazione delle caratteristiche di sollecitazione il metodo di calcolo adoperato si basa sulla modellazione agli elementi finiti della geometria strutturale d'interesse. Tale metodo, com'è noto, prevede che il continuo fisico venga discretizzato in elementi finiti tra loro mutuamente connessi in punti significativi detti nodi. Gli elementi finiti utilizzabili per modellare i vari elementi strutturali sono

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

innumerevoli; per grandi linee si spazia dagli elementi monodimensionali tipicamente utilizzati per modellare travi e pilastri, agli elementi bidimensionali in stato piano di tensione o con caratteristiche flessionali tipicamente utilizzabili per la modellazione di lastre e/o piastre, agli elementi tridimensionali adoperati per modellare solidi con stati tensionali rappresentabili dal tensore degli sforzi in alcun modo ridotto.

La modalità operativa del metodo prevede, per grandi linee, le seguenti fasi operative:

- Definizione della geometria strutturale e dei carichi applicati;
- Definizione delle caratteristiche dei materiali che costituiscono gli elementi strutturali;
- Divisione della geometria strutturale in nodi ed elementi finiti appropriati per definire matematicamente il particolare elemento fisico;
- Scrittura delle equazioni capaci di descrivere matematicamente la realtà fisica;
- Risoluzione delle equazioni matematiche;
- Generazione dei risultati dell'analisi;
- Lettura ed interpretazione dei risultati ottenuti.

Tra le varie alternative disponibili, la scrittura delle equazioni matematiche che descrivono problema è realizzato in questa sede utilizzando il metodo noto come “metodo delle rigidezze” ovvero, definita l'energia potenziale totale della struttura, si ricerca il punto di equilibrio mediante ricerca dei punti di minimo del funzionale prima citato. Tale approccio metodologico è attualmente quello utilizzato dalla quasi totalità dei software commercializzati per essere utilizzati nel settore dell'ingegneria strutturale.

Ogni software tuttavia, pur applicando sempre i medesimi concetti di base, presenta delle peculiarità che lo diversificano dagli altri sia per l'approccio metodologico da utilizzare per la descrizione della struttura, sia per la disponibilità stessa di diversi elementi finiti più o meno adatti alla descrizione del particolare problema.

Nel paragrafi si ritiene pertanto opportuno fornire una breve descrizione dei vari software utilizzati nonché delle potenzialità e delle modalità operative da questi offerte al progettista delle strutture.

### **6.6.1 SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATO**

Il presente capitolo ottempera alle prescrizioni impartite dalle NTC al capitolo 10.2 ove si richiede che *“Occorre indicare con precisione l'origine e le caratteristiche dei codici di calcolo utilizzati riportando titolo, autore, produttore, eventuale distributore, versione, estremi della licenza d'uso o di altra forma di autorizzazione all'uso”*.

Nel presente capito si omette di dare indicazioni sulle caratteristiche dei codici di calcolo utilizzati; per tali informazioni si rimanda al paragrafo .

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

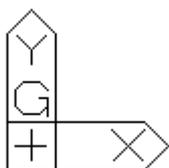
Per redigere il presente calcolo strutturale ci si è avvalsi del codice di calcolo MIDAS GEN, prodotto dalla software house MIDAS Information Technology Co., Ltd. E commercializzato in Italia da CSP Fea s.c. con sede in via Zuccherificio, 5/D - 35042 Este (PD) Italy concesso in licenza d'uso a ST Global s.r.l.

È un software di calcolo orientato prevalentemente al calcolo strutturale di edifici o, più in generale, agli edifici con struttura intelaiata, che implementa il metodo FEM e, essendo dotato di numerosi elementi finiti, consente di modellare sostanzialmente qualsiasi elemento strutturale utilizzato nel settore dell'ingegneria civile.

Il discreto strutturale degli elementi che costituiscono la struttura è definito da punti singolari detti nodi cui si affida il compito di descrivere gli spostamenti dell'intero modello predisposto.

I nodi strutturali sono individuati attraverso le loro coordinate cartesiane rispetto ad un sistema di riferimento che rimane fisso ed invariato in tutte le fasi operative della modellazione. Tale sistema di riferimento è definito come "sistema di riferimento globale".

Il sistema di riferimento globale è costituito da una terna euclidea destrorsa con assi coordinati mutuamente ortogonali.



VIEW-DIRECTION  
 X: -0.629  
 Y: -0.608  
 Z: 0.485



L'origine del sistema di riferimento globale non ha importanza ai fini delle calcolazioni numeriche eseguite: esso influisce esclusivamente sul valore numerico delle coordinate nodali. È pertanto possibile scegliere tale origine in un qualsiasi punto di comodo anche esterno alla struttura esaminata.

Al fine di semplificare la realizzazione del modello strutturale il software utilizzato permette di definire ulteriori sistemi di riferimento diversi rispetto a quello prima descritto. Sarà poi il software stesso, al momento opportuno, che si occuperà di convertire in modo del tutto automatico e trasparente all'utente le coordinate dal sistema di riferimento utilizzato a quello globale di base costituito dalla terna euclidea prima descritta. È così possibile "spostare" l'origine del sistema di riferimento in un punto di comodo diverso da quello che fissa l'origine del sistema di riferimento globale ovvero ruotare tutti e tre gli assi di riferimento di un angolo a piacere. In ogni caso, il nuovo sistema di riferimento dovrà essere sempre individuato da una terna euclidea destrorsa.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

È compito dell'utente scegliere, tra le varie possibilità, il sistema di riferimento che meglio si presta alla descrizione geometrica della particolare struttura in progetto. In modo analogo è sempre l'utente a definire il punto di origine del sistema di riferimento globale; ciò avviene in modo implicito in funzione delle coordinate assegnate ai vari nodi strutturali.

I nodi della struttura individuano in punti di mutuo contatto tra i vari elementi finiti che la costituiscono. Un'oculata scelta dei nodi costituisce un punto fondamentale per la corretta discretizzazione agli elementi finiti del continuo fisico. Al nodo possono convergere uno o più elementi finiti anche di diverso tipo. Ogni nodo è dotato di sei gradi di libertà ed in corrispondenza del nodo possono applicarsi carichi concentrati agenti in una delle sei direzioni relative ai sei gradi di libertà. Al nodo è inoltre possibile applicare carichi termici attraverso la definizione della temperatura di riferimento.

I gradi di libertà possono essere liberi (spostamenti generalizzati incogniti), bloccati (spostamenti generalizzati corrispondenti uguali a zero), di tipo slave o linked (il parametro cinematico dipende dalla relazione con altri gradi di libertà) o, infine, a spostamento imposto (cedimento vincolare).

Si può intervenire sui gradi di libertà bloccandone uno o più. I blocchi possono imporsi nella direzione degli assi del sistema di riferimento globale oppure, mediante opportuni accorgimenti, anche in particolari direzioni decise dall'utente. In merito è opportuno tener presente che i vincoli imposti ai nodi fanno "sempre" riferimento al sistema di riferimento globale a meno che un diverso orientamento non venga esplicitamente dichiarato nella dichiarazione del vincolo stesso.

Mediante relazioni complesse è inoltre possibile creare legami tra uno o più gradi di libertà di un nodo detto generalmente slave con quelli di un altro nodo detto master.

Vengono messi a disposizione diversi elementi finiti di tipo monodimensionale ognuno dei quali è idoneo per assolvere ad uno o più compiti specifici.

Una rassegna di tali elementi è la seguente:

- Truss
- Tension only / Hook / Cable
- Compression only / Gap
- General beam / Tapered beam
- Plate
- Plate stress
- Plate Strain
- Axisymmetric
- Solid

Ognuno degli elementi finiti innanzi citati ha caratteristiche diverse sia per quanto riguarda la definizione della matrice di rigidezza ad esso associata che per quanto attiene alla definizione dei

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

carichi ad esso applicabili. Si ritiene doveroso precisare che per ogni approfondimento di merito è opportuno consultare le documentazioni che corredano il software Midas ovvero gli specifici testi di settore che riportano specifiche trattazioni delle argomentazioni teoriche d'interesse.

## 6.6.2 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Nella presente sede verranno fornite le indicazioni sui criteri ed i metodi operativi utilizzati per indagare l'idoneità statica dell'opera nel suo complesso nonché delle singole membrature che la compongono. A tal fine il "modello di calcolo" illustrato di seguito si prefigge lo scopo di determinare le caratteristiche di sollecitazione che cimentano ogni elemento che compone il complesso strutturale, di valutare le deformazioni dell'opera, di determinare gli spostamenti e di valutare le reazioni vincolari.

Le modalità secondo cui i diversi carichi considerati sono stati imputati nel modello di calcolo sono state argomentate nelle sezioni precedenti, la dove sono stati definiti gli stessi carichi dal punto di vista concettuale, consentendo, a parere certamente soggettivo, ma auspicabilmente condiviso, una più chiara esposizione dell'argomento ed una più immediata interpretazione di quanto si vuole trasmettere con il presente elaborato descrittivo.

Si ribadisce in questa sede che la struttura, nel suo complesso, è stata discretizzata secondo quelle che sono le peculiarità del metodo FEM; in particolare, visti i punti di forza del software di calcolo utilizzato, si è preferito adottare una modellazione che facesse in prevalenza uso di elementi finiti di tipo beam e plate.

Nel prosieguo della presente sezione verranno date indicazioni sulle procedure operative eseguite, sulle scelte di modellazione e su ogni altro aspetto si ritenga utile ed informativo; tuttavia la mole di informazioni che si dovrebbe riportare per esplicitare nel dettaglio ogni aspetto del modello strutturale qui discusso fa desistere da tale intento e suggerisce di rinviare ai tabulati di calcolo per approfondimenti di dettaglio non riportati in questa sede che, come detto, ha vocazione prevalentemente descrittiva.

## 6.7 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

I risultati dell'analisi strutturale sono dettagliatamente descritti nei tabulati di calcolo allegati al presente elaborato di progetto. Vista la mole di informazioni numeriche che le calcolazioni automatiche utilizzate producono è tuttavia consigliabile illustrare per altre vie almeno i punti salienti che descrivono il comportamento delle strutture esaminate. Pertanto, in ottemperanza a quelle che sono le direttive impartite dalle NTC08 e nell'intento di esporre nel modo più chiaro e

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

succinto possibile quanto or'anzi detto nel prosieguo verranno riportati quei diagrammi, da sempre metro di misura per l'ingegneria strutturale, che descrivono gli stati di sollecitazione e le principali deformate cui le diverse parti sono sottoposte sia riguardandole come singole membrature che come complesso strutturale d'insieme. È tuttavia palese che una disamina completa e dettagliata di ogni aspetto è possibile solo consultando i tabulati di calcolo riportati in forma numerica essendo l'esposizione grafica destinata esclusivamente ad una informativa di sintesi e parametrica delle peculiarità a maggiore significatività statica. Si ritiene infine opportuno fare osservare che i tabulati allegati consentono la riproducibilità dell'intero modello di calcolo pur se ciò richiede che venga impiegato lo stesso software utilizzato per realizzare il modello i cui estremi identificativi sono riportati nella sezione del presente elaborato allo scopo predisposta.

Le deformate strutturali sono riportate al fine di evidenziare il comportamento dell'opera quando sottoposta all'azione dei carichi su essa agenti. Per tale fine è utile rappresentare le deformate con riferimento ai singoli schemi di carico agenti, essendo di più immediata interpretazione l'effetto prodotto dalle diverse azioni focalizzate singolarmente.

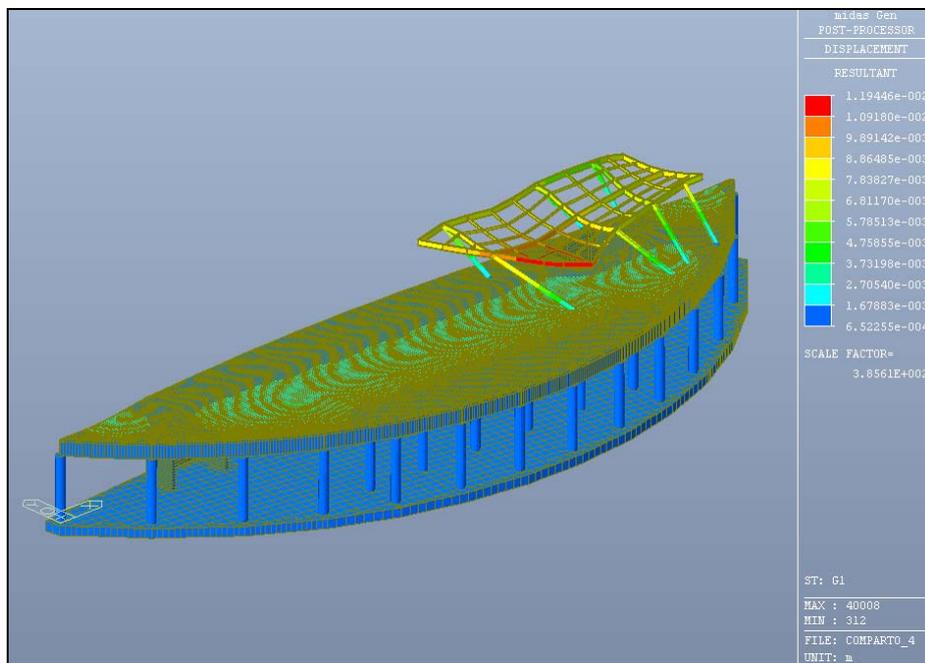


Figura 6.1: Deformate per effetto dei pesi propri strutturali – G1

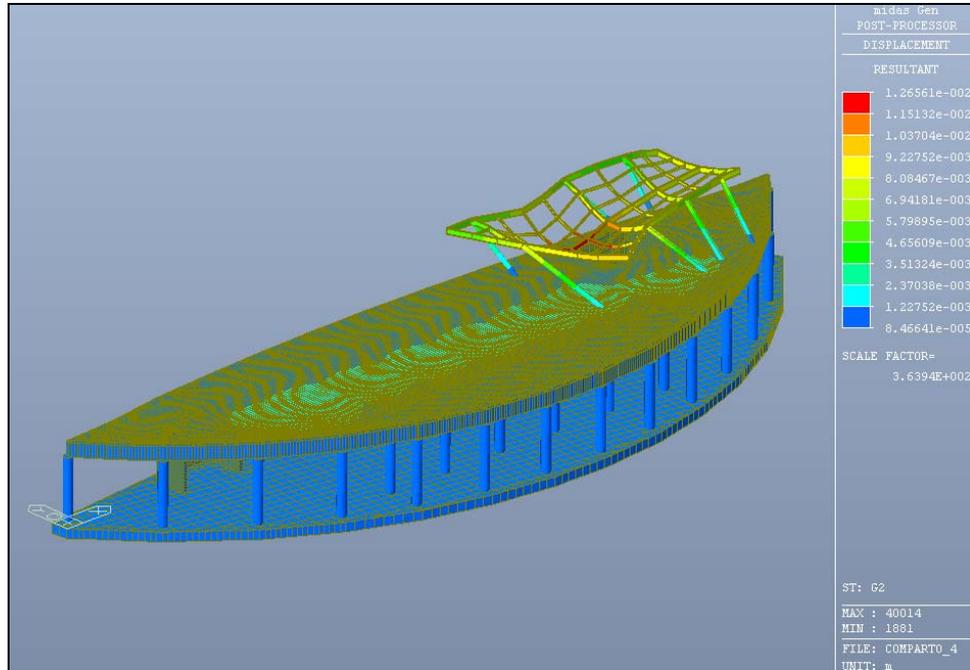


Figura 6.2: Deformate per effetto dei carichi permanenti portati – G2

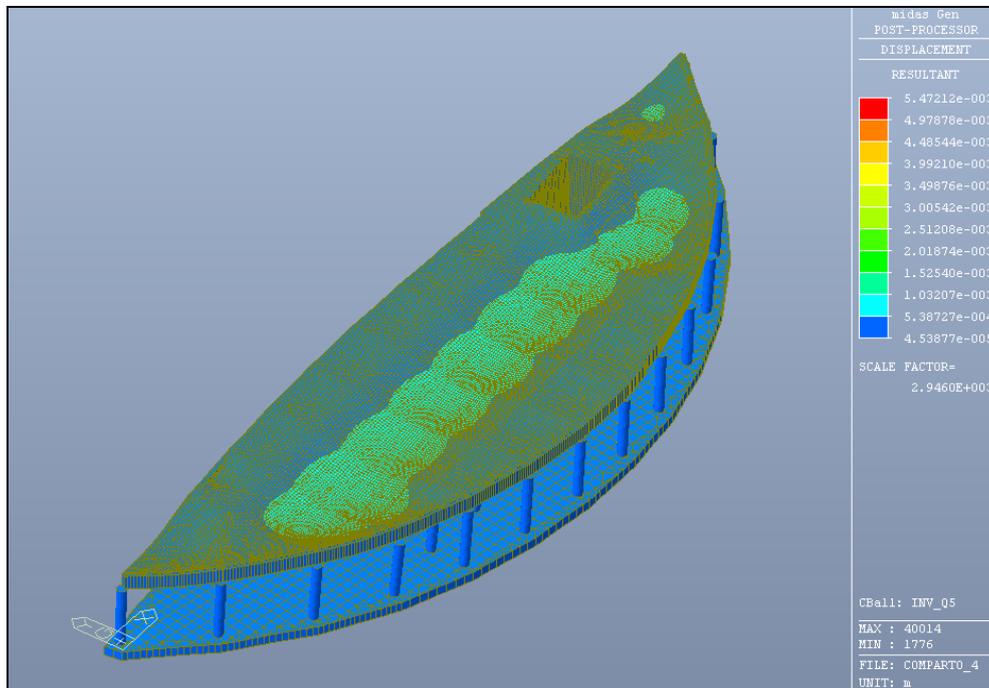


Figura 6.3: Deformate per effetto dei carico della folla compatta – Q5 (inviol. max e min spostamenti)

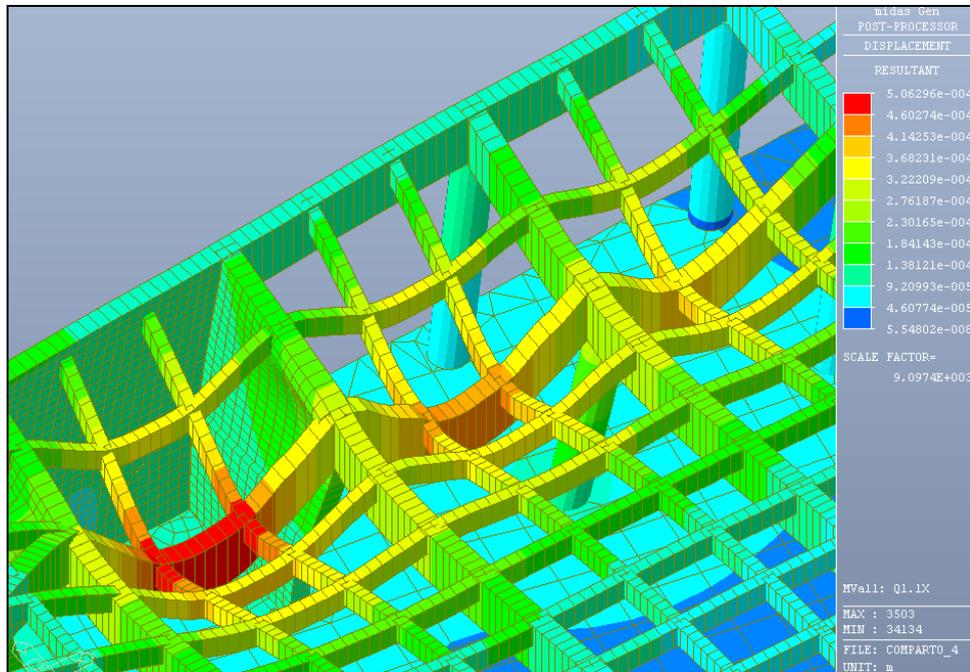


Figura 6.4: Deformate per effetto del carico mobile in dir. X – Q1 (inviol. max e min spostamenti)

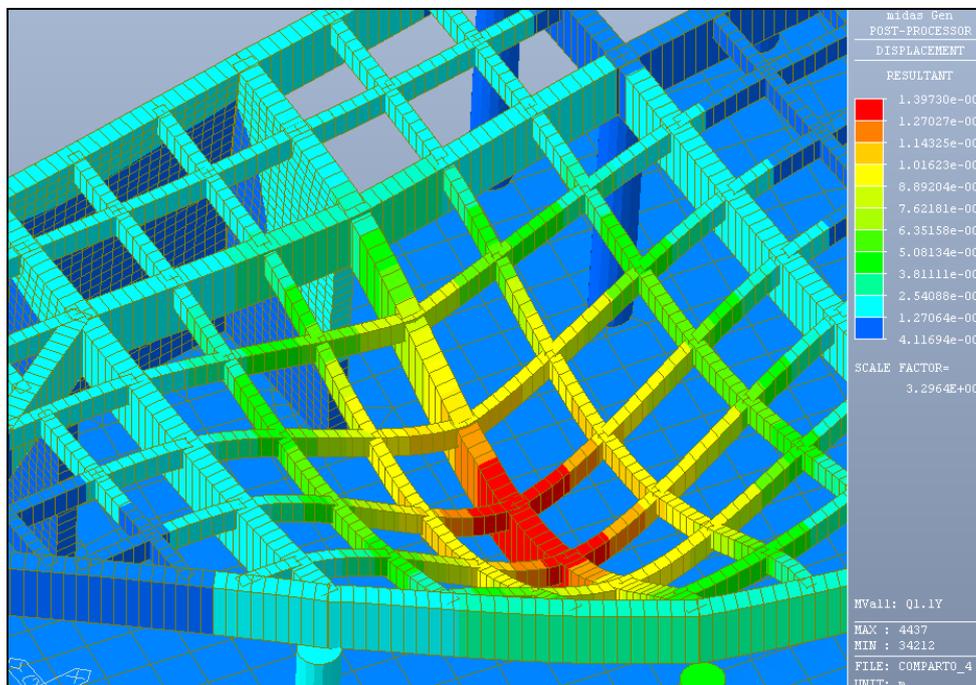


Figura 6.5: Deformate per effetto del carico mobile in dir. Y – Q1 (inviol. max e min spostamenti)

## 6.8 RISULTATI DELL'ANALISI SISMICA

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

L'analisi simica, condotta secondo le procedure e con le ipotesi riportate nelle precedenti pagine, ha considerato i primi 10 modi di vibrare; ciò al fine di eccitare almeno l'85% della massa sismica sia nel caso di sisma orizzontale che verticale. Di seguito si descrivono i principali modi di vibrare.

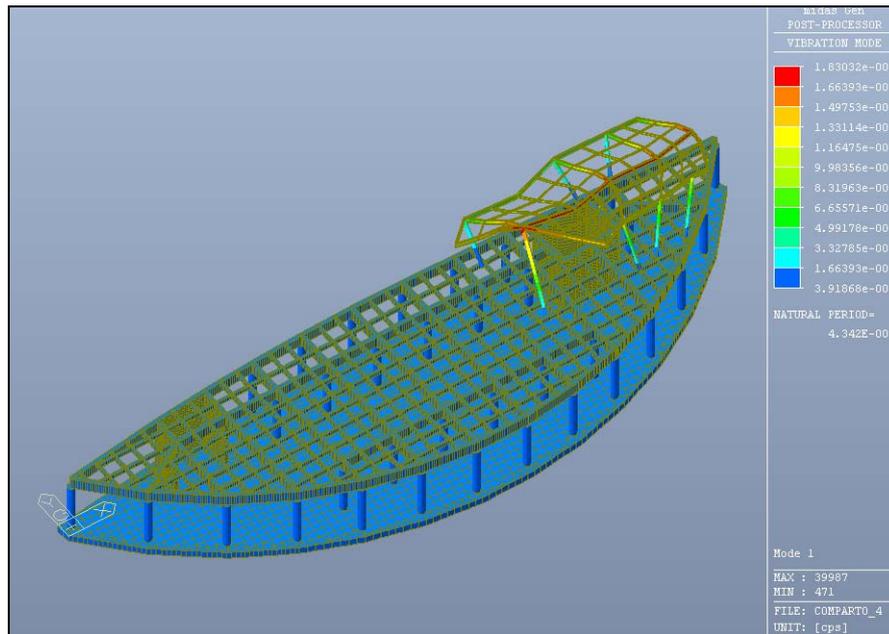


Figura 6.6: Modo di vibrare n. 1

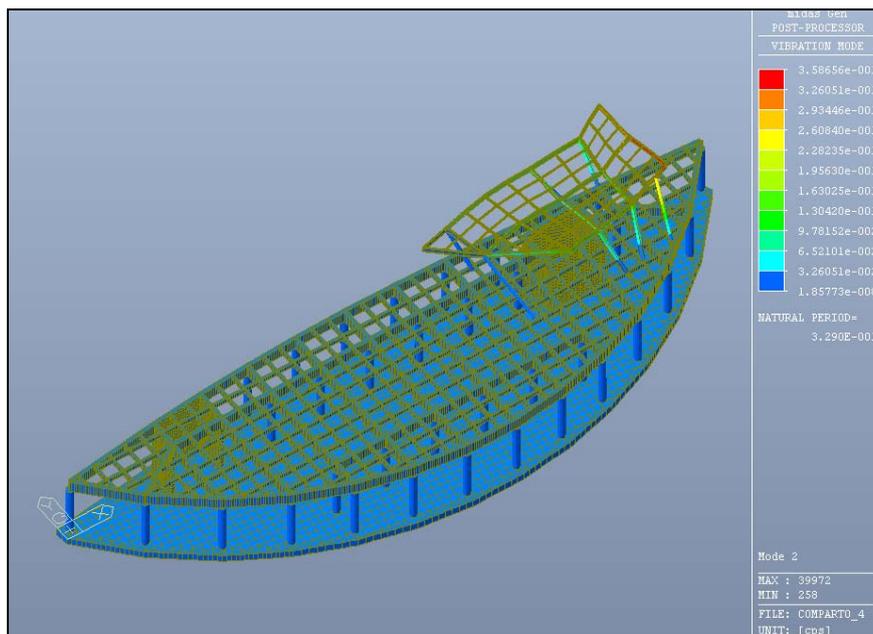


Figura 6.7: Modo di vibrare n. 2

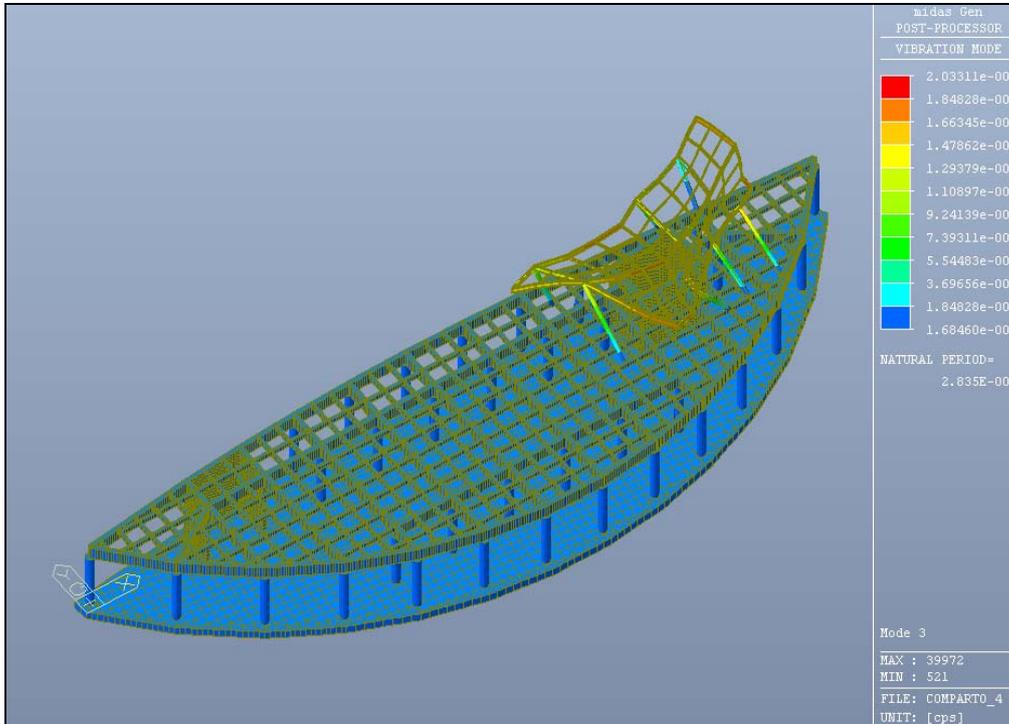


Figura 6.8: Modo di vibrare n. 3

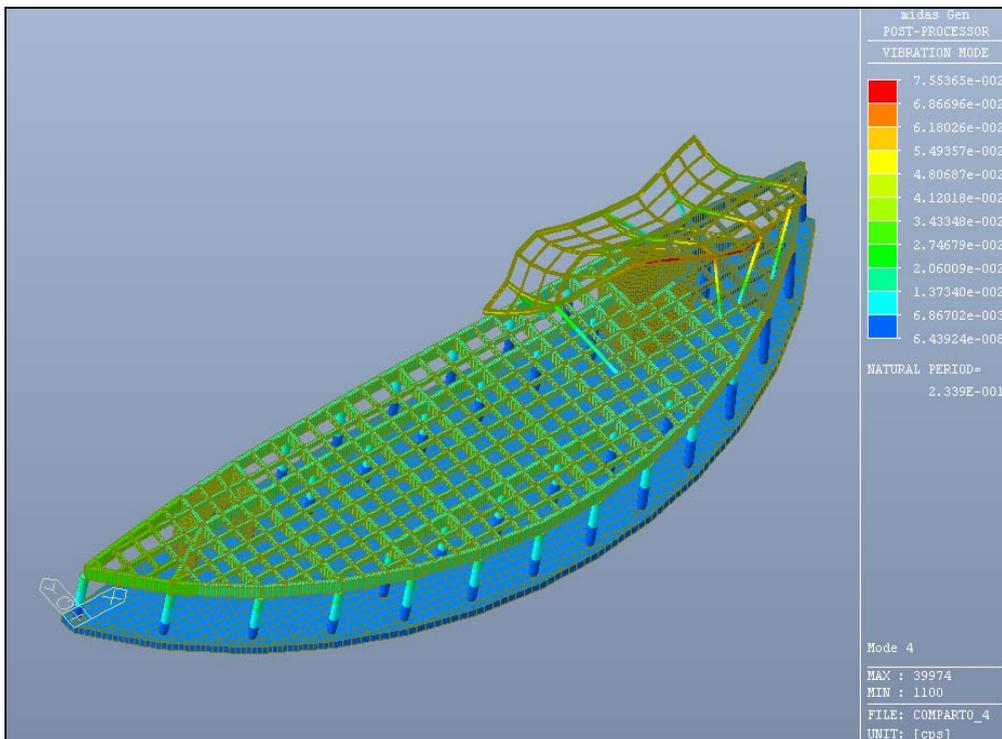


Figura 6.9: Modo di vibrare n. 4

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 6.9 SINTESI DEI PARAMETRI DELL'ANALISI SISMICA

Nella seguente tabella riepilogativa si sintetizzano i parametri che caratterizzano l'analisi sismica eseguita.

EIGENVALUE ANALYSIS														
Mode No	Frequency				Period (sec)	Tolerance								
	(rad/sec)		(cycle/sec)											
1	14.4719		2.3033		0.4342									
2	19.098		3.0395		0.329									
3	22.1592		3.5267		0.2835									
4	26.8588		4.2747		0.2339									
5	27.9558		4.4493		0.2248									
6	31.2181		4.9685		0.2013									
7	31.896		5.0764		0.197									
8	36.8887		5.871		0.1703									
9	40.0538		6.3748		0.1569									
10	42.0977		6.7		0.1493									

MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT														
Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-X		ROTN-Y		ROTN-Z			
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)		
1	1.6649	1.6649	0.0041	0.0041	0	0	0.0113	0.0113	5.9755	5.9755	0.0391	0.0391		
2	0.0266	1.6915	2.5383	2.5425	0	0	6.3631	6.3744	0.0257	6.0012	2.9957	3.0348		
3	0.0741	1.7655	1.8411	4.3835	0	0	3.7163	10.0907	0.2176	6.2188	0.1134	3.1482		
4	4.3067	6.0722	70.3612	74.7447	0	0	71.2641	81.3548	4.3276	10.5463	10.8401	13.9883		
5	3.7392	9.8114	1.3621	76.1069	0	0	0.6248	81.9796	4.1794	14.7258	7.1561	21.1444		
6	40.7006	50.512	16.1116	92.2185	0	0	14.5774	96.557	40.0093	54.735	27.3753	48.5197		
7	0.0589	50.571	0.6777	92.8962	0	0	0.2835	96.8405	0.092	54.827	0.0043	48.524		
8	10.3987	60.9697	0.0903	92.9865	0	0	0.2385	97.0789	12.7221	67.5492	9.8206	58.3445		
9	33.1032	94.0729	1.135	94.1215	0	0	0.7596	97.8385	30.0999	97.6491	34.2811	92.6257		
10	0.0187	94.0916	0.0536	94.1751	0	0	0.0047	97.8432	0.0574	97.7065	0.3081	92.9337		

## 6.10 CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE

Si riportano nel presente paragrafo i diagrammi delle principali caratteristiche di sollecitazione. Visto il numero di combinazioni di carico considerate si ritiene maggiormente proficuo riportare i diagrammi con riferimento ai singoli casi di carico.

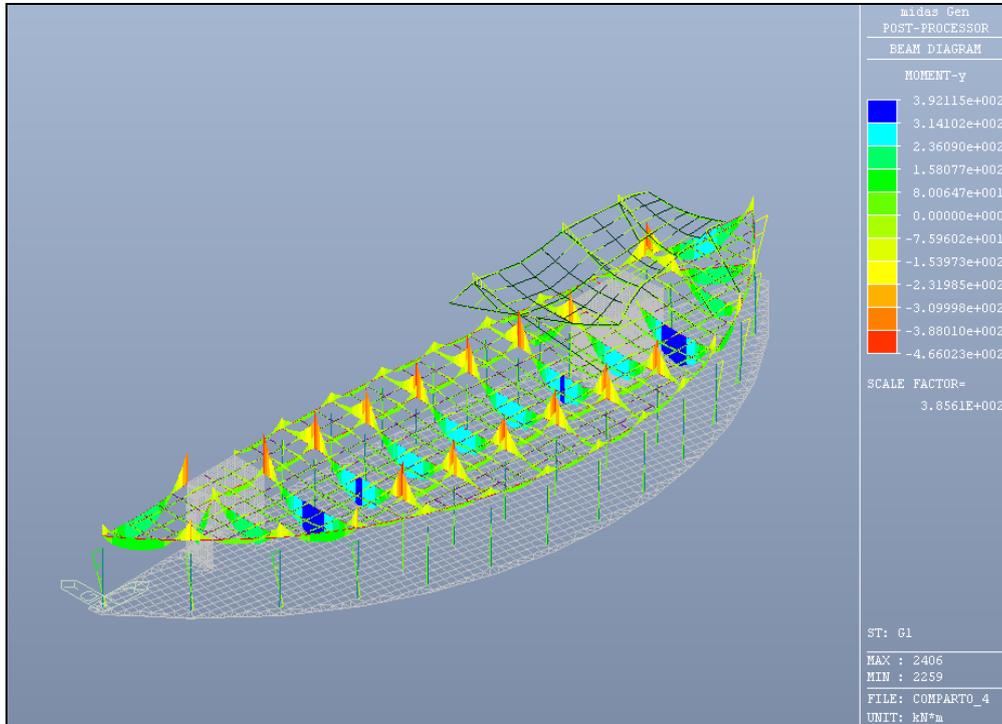


Figura 6.10: Caso di carico G1 – Valore del momento flettente

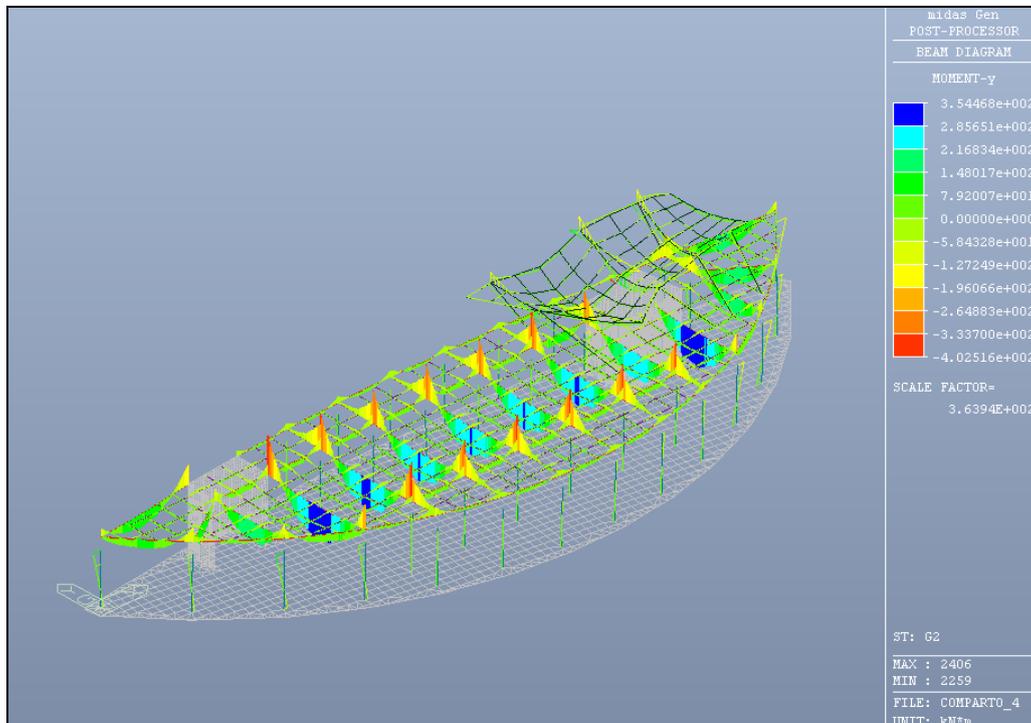


Figura 6.11: Caso di carico G2 – Valore del momento flettente

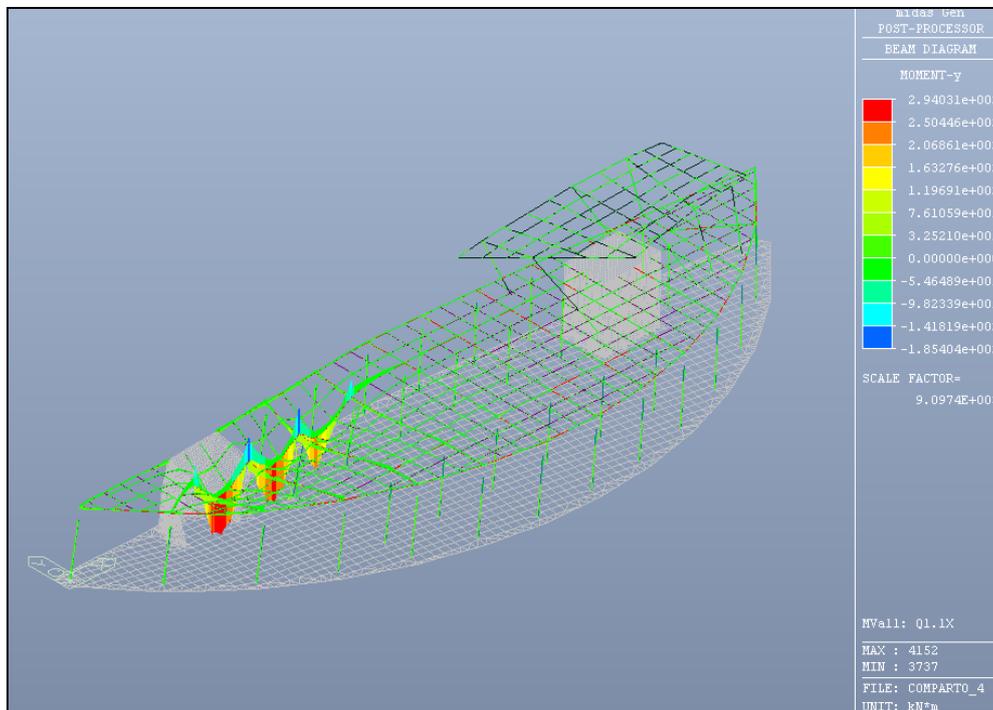


Figura 6.12: Caso di carico Q1 (traffico) in dir X (travi principali) – Valore del momento flettente

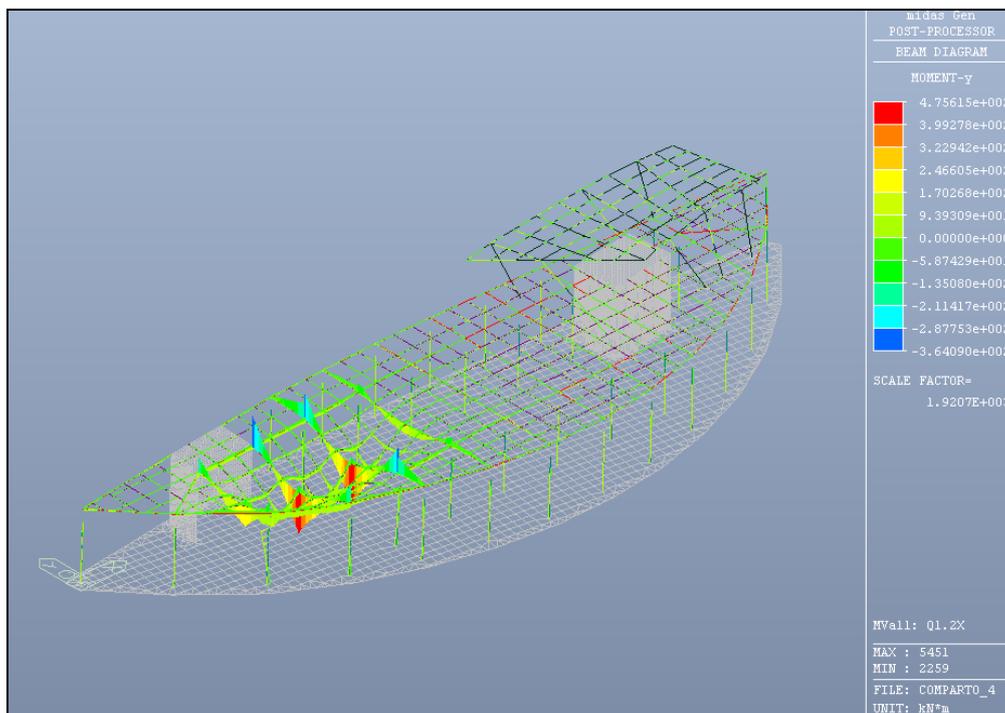


Figura 6.13: Caso di carico Q1 (traffico) in dir X (travi secondarie) – Valore del momento flettente

 <b>Stretto di Messina</b>		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

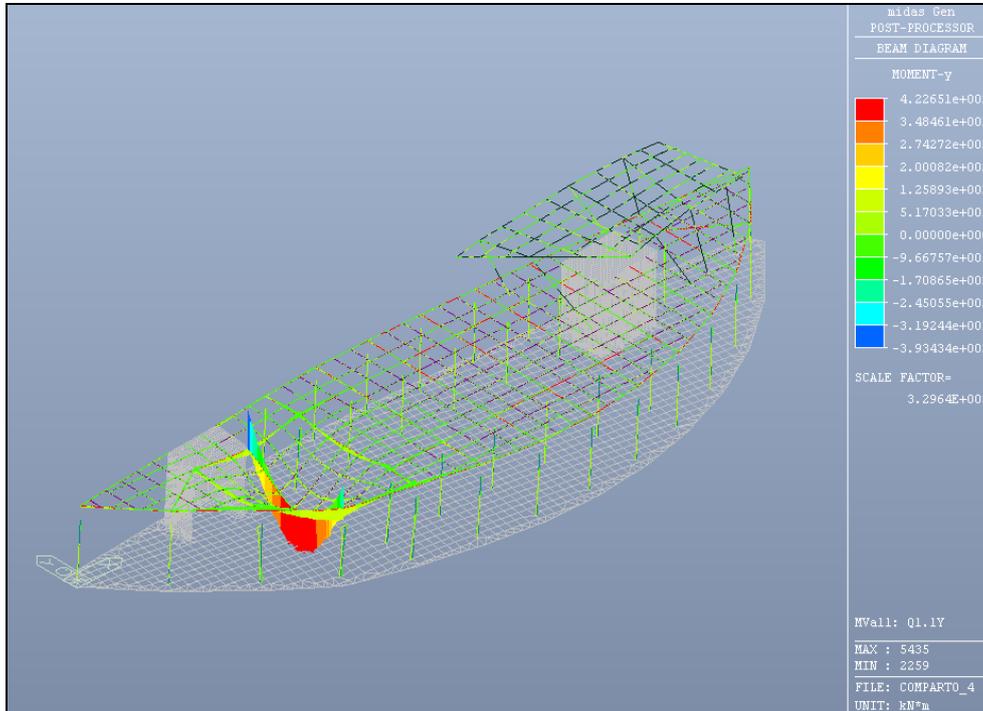


Figura 6.14: Caso di carico Q1 (traffico) in dir Y (travi principali) – Valore del momento flettente

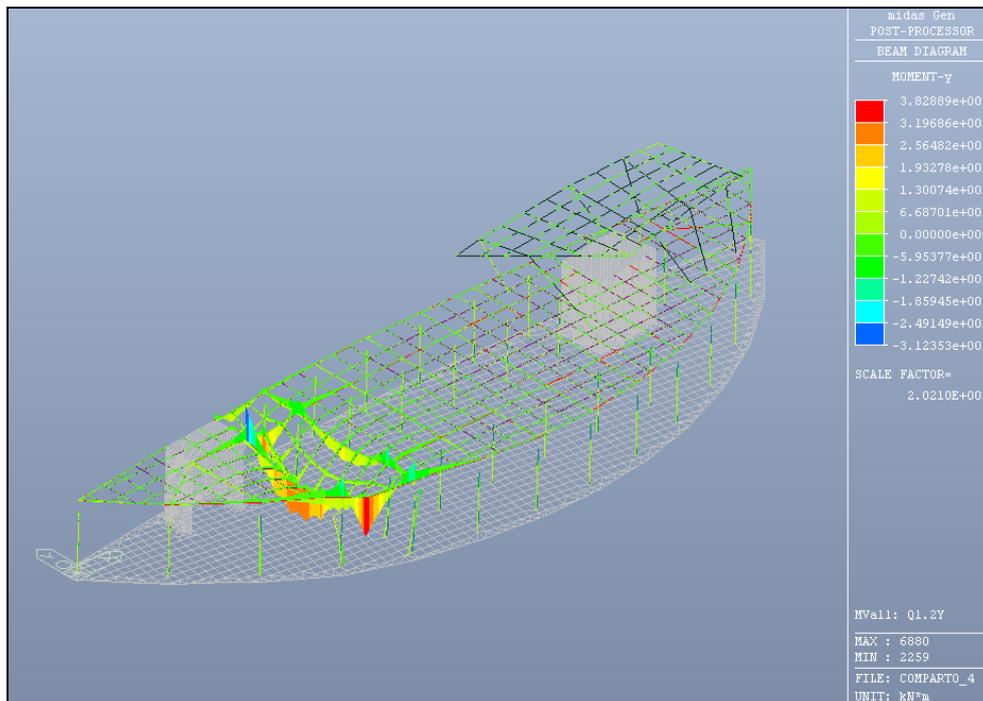


Figura 6.15: Caso di carico Q1 (traffico) in dir Y (travi secondarie) – Valore del momento flettente

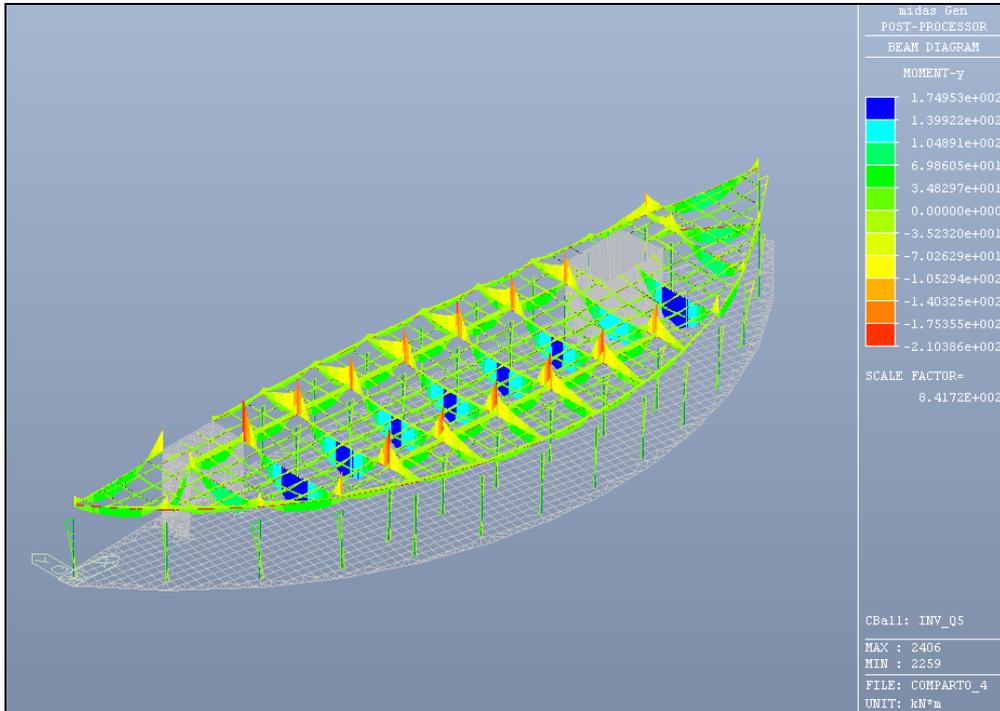


Figura 6.16: Involuppo del carico Q5 (folla) – valore del momento flettente

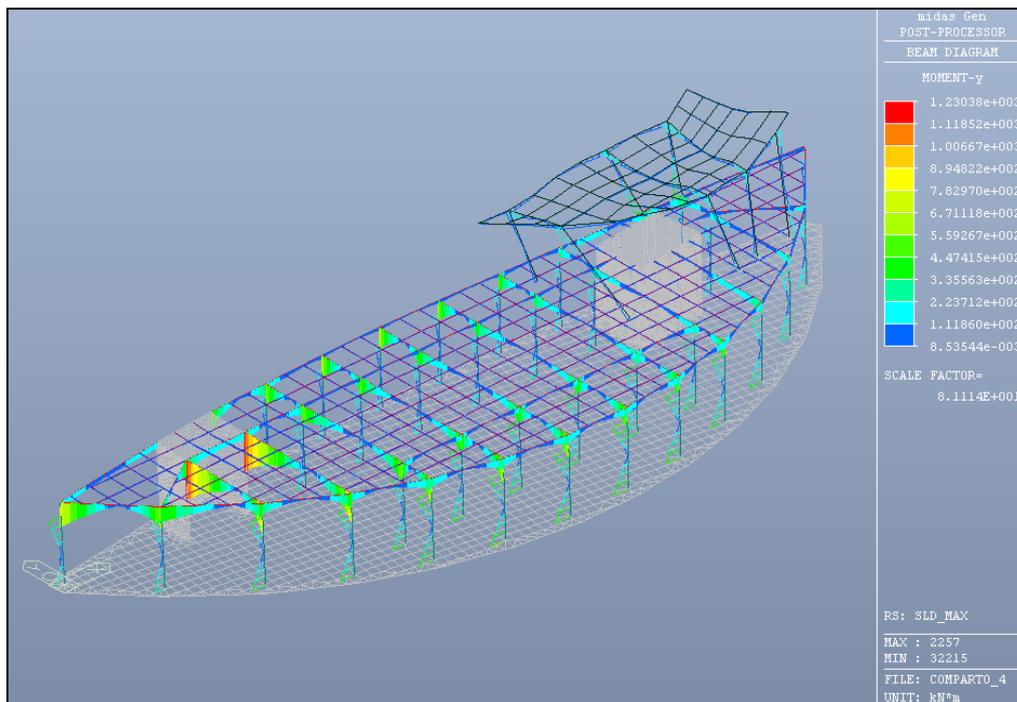


Figura 6.17: SLD max – Valore del momento flettente

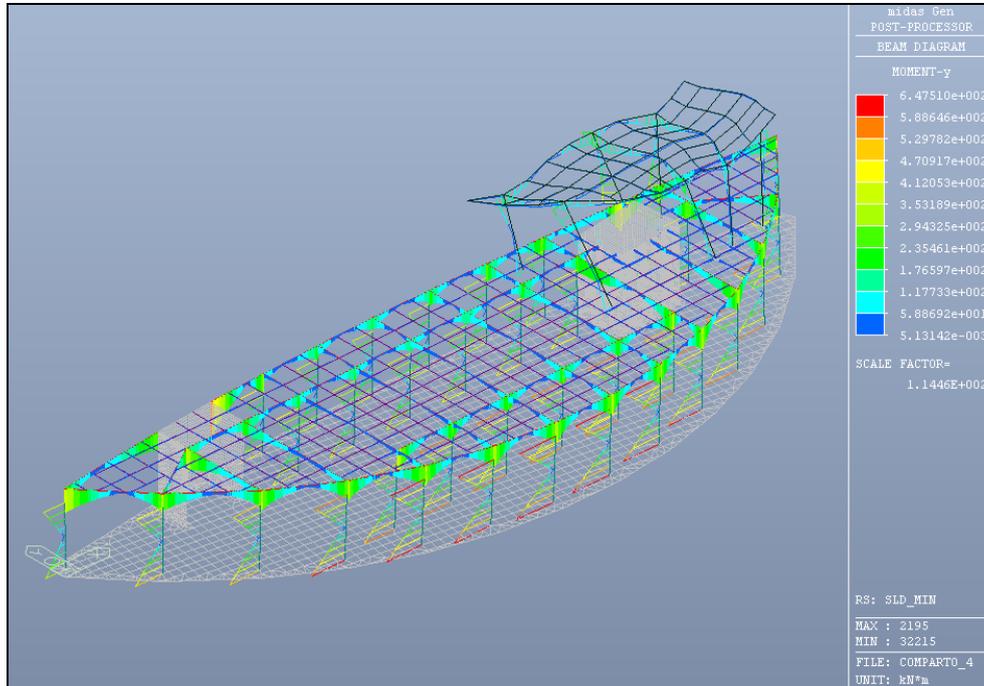


Figura 6.18: SLD min – Valore del momento flettente

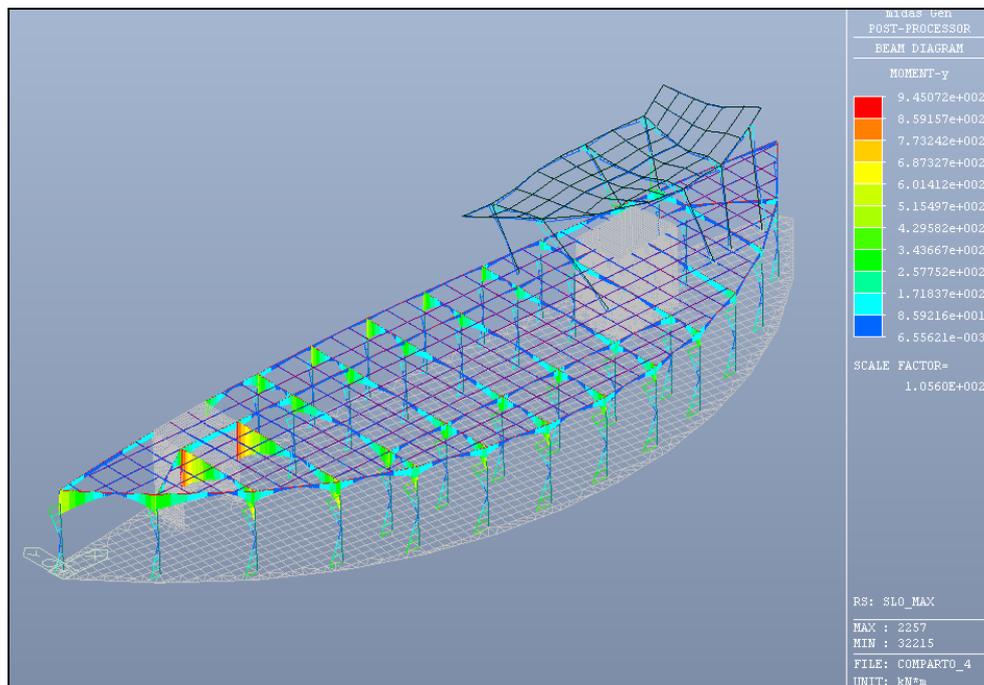


Figura 6.19: SLO max – Valore del momento flettente

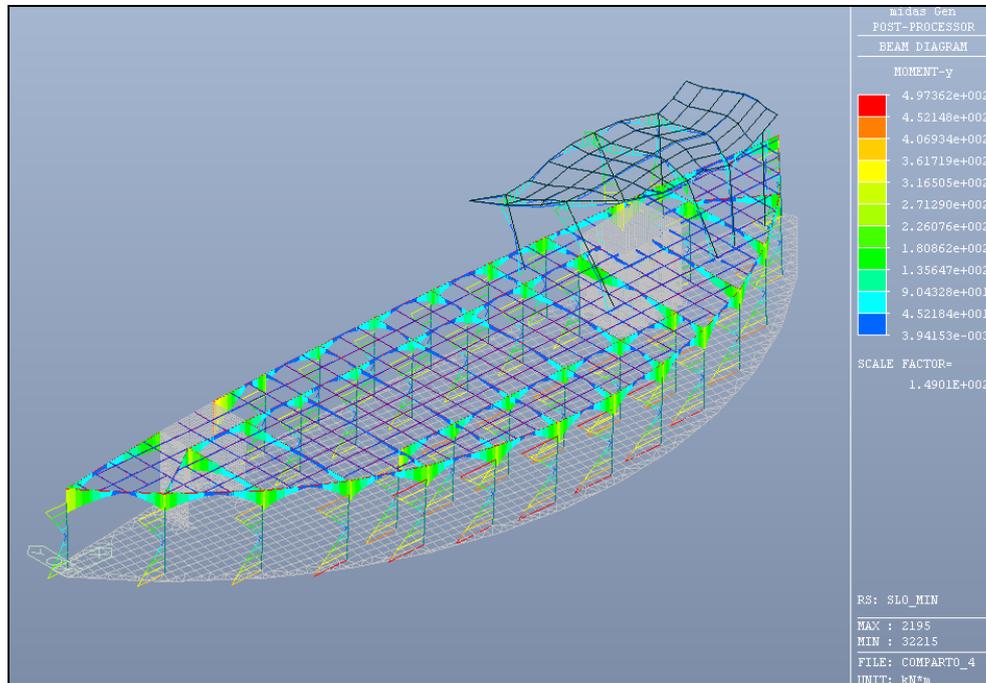


Figura 6.20: SLO min – Valore del momento flettente

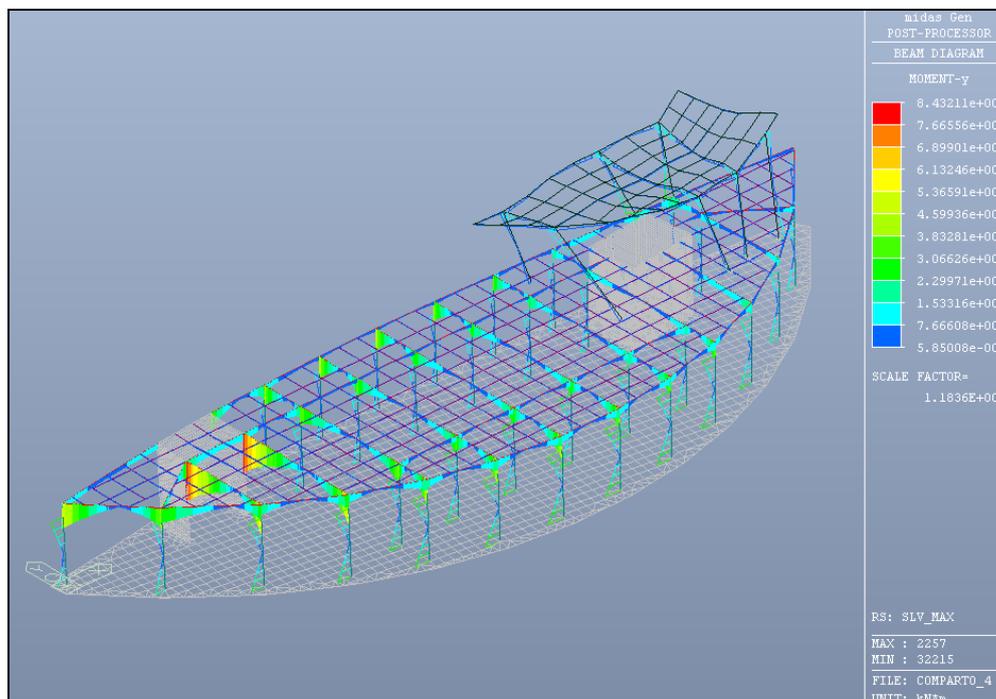


Figura 6.21: SLV max – Valore del momento flettente

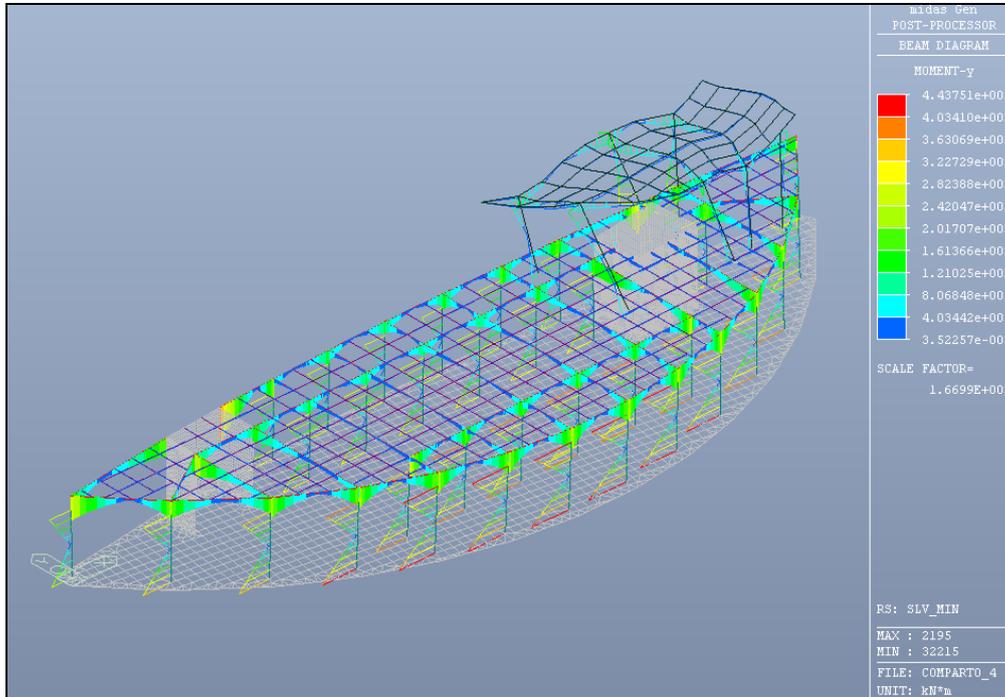


Figura 6.22: SLV min – Valore del momento flettente

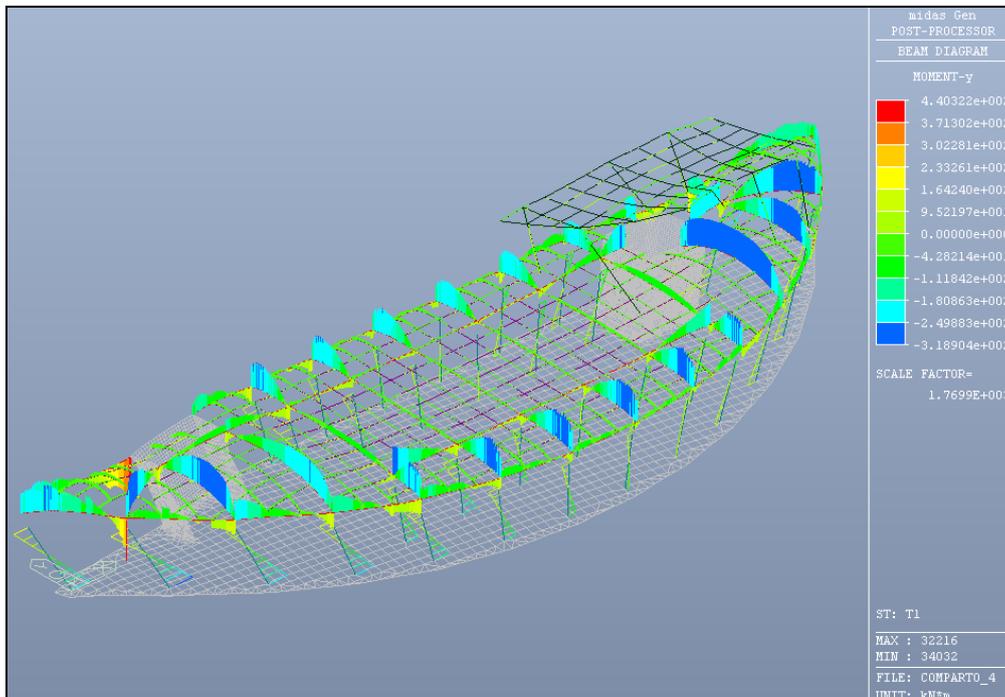


Figura 6.23: Caso di carico T1 (termico) – Valore del momento flettente

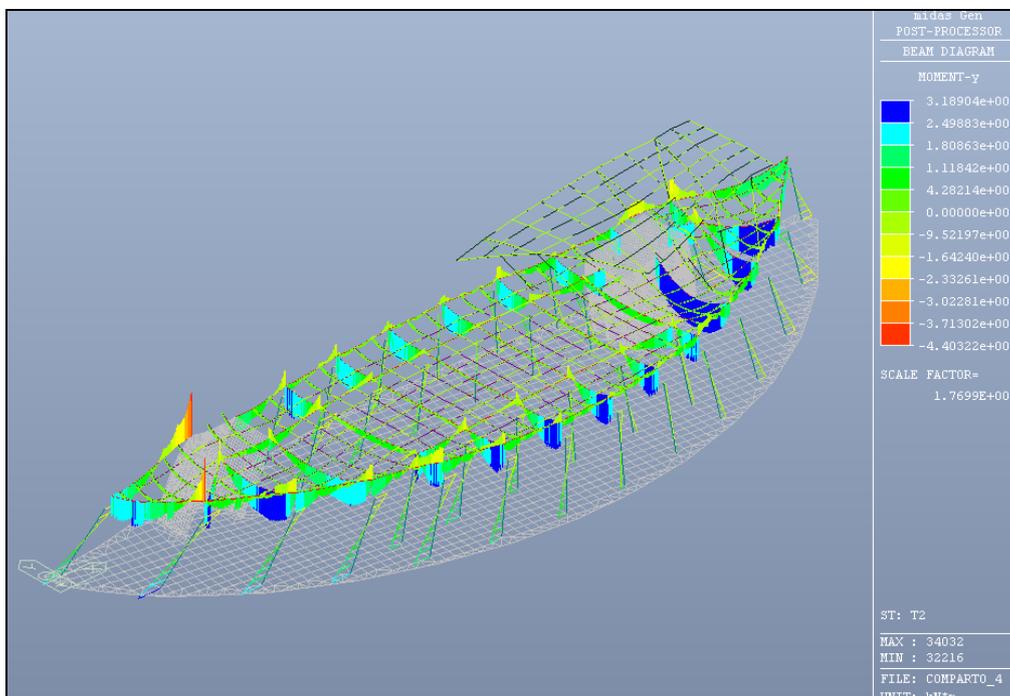


Figura 6.24: Caso di carico T2 (termico) – Valore del momento flettente

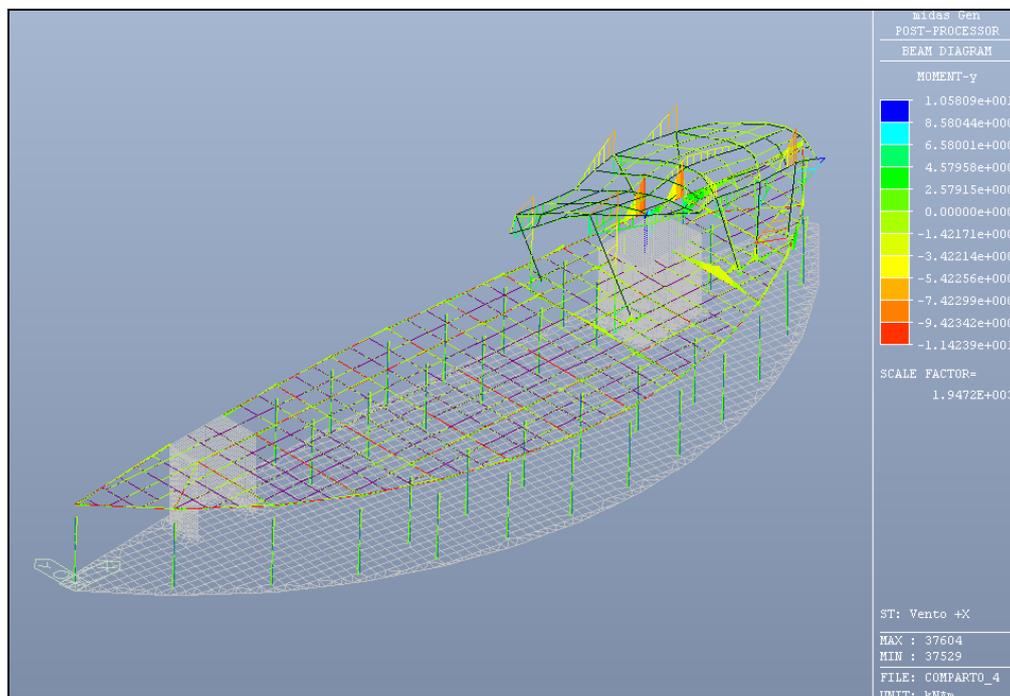


Figura 6.25: Azione del vento dir X (positivo) – Valore del momento flettente

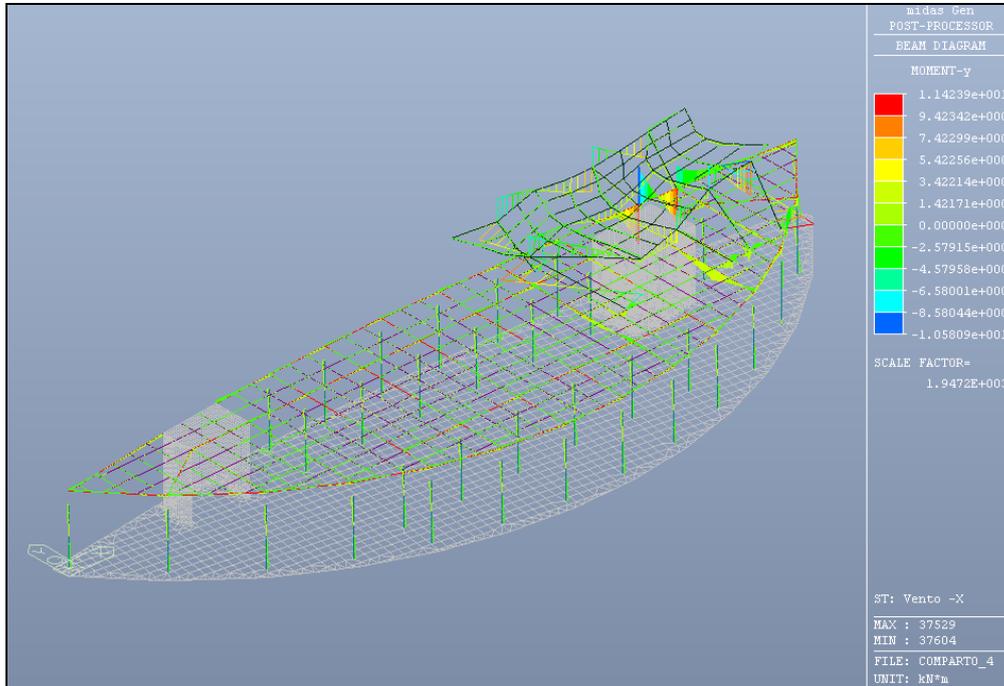


Figura 6.26: Azione del vento dir X (negativo) – Valore del momento flettente

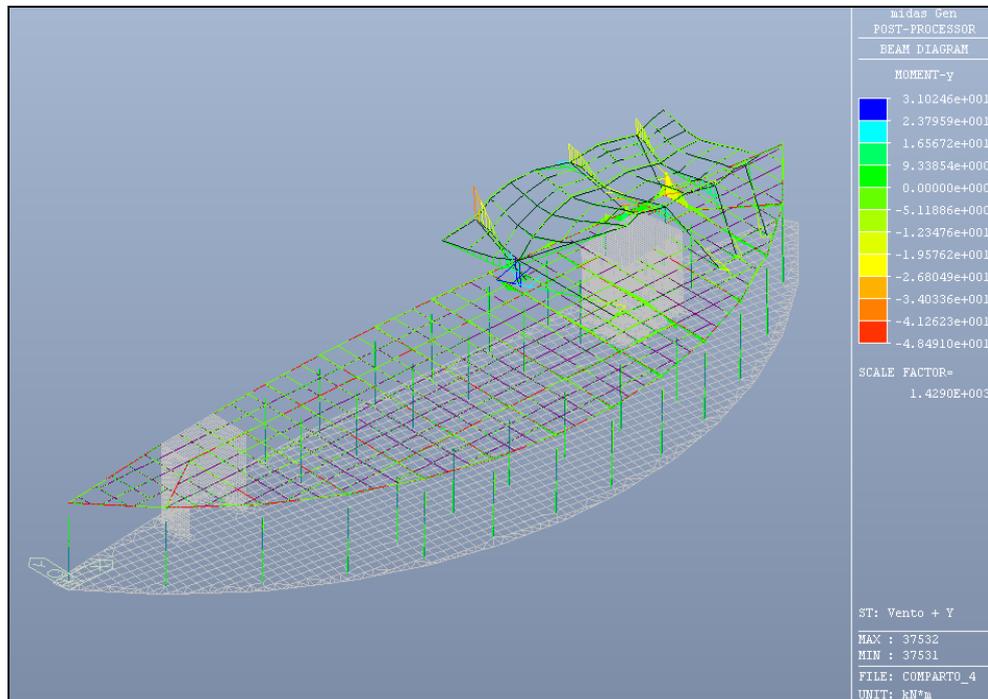


Figura 6.27: Azione del vento dir Y (positivo) – Valore del momento flettente

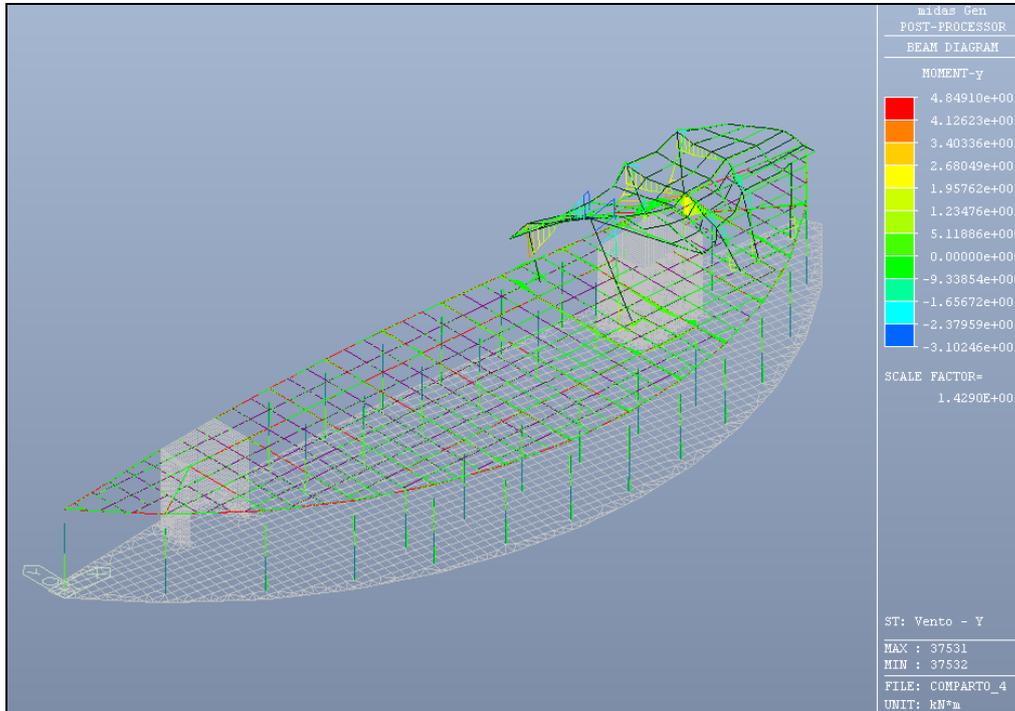


Figura 6.28: Azione del vento dir Y (negativo) – Valore del momento flettente

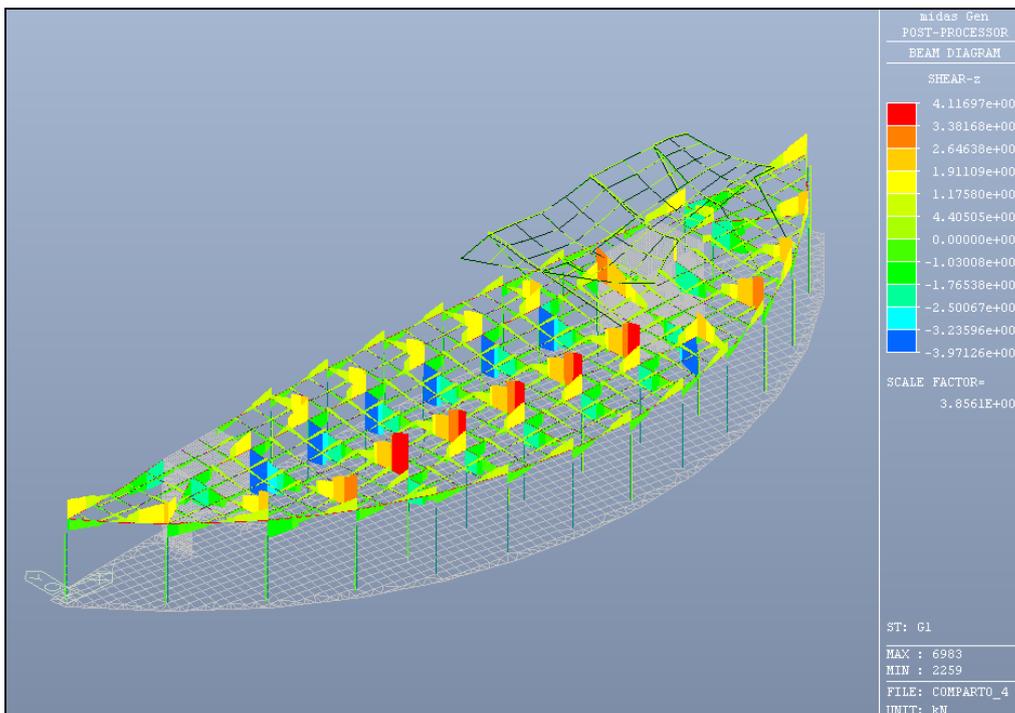


Figura 6.29: Caso di carico G1 – Valore del taglio

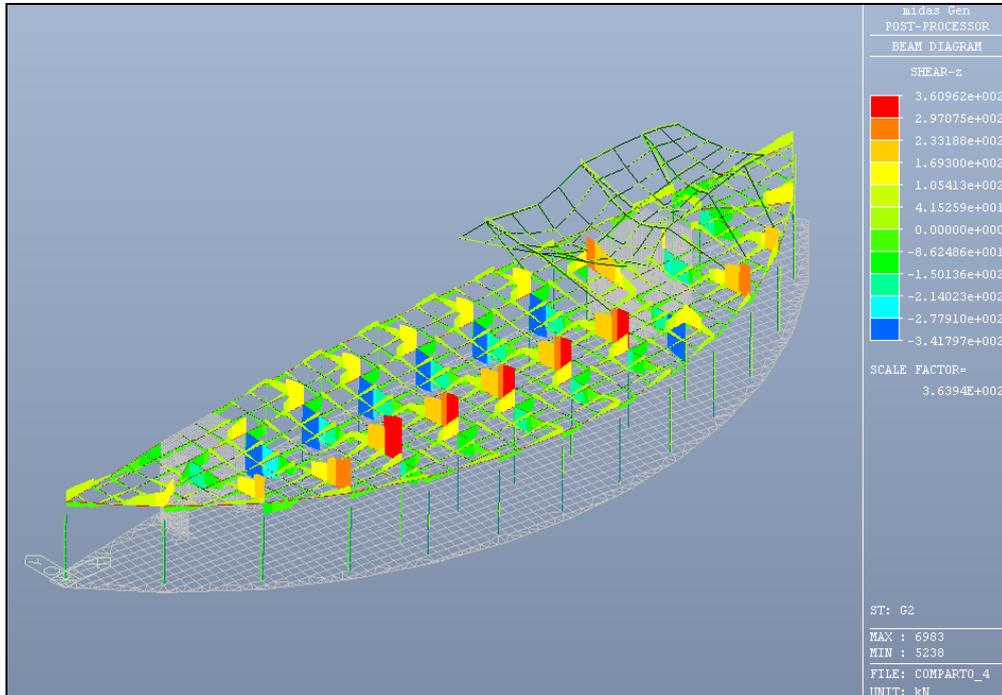


Figura 6.30: Caso di carico G2 – Valore del taglio

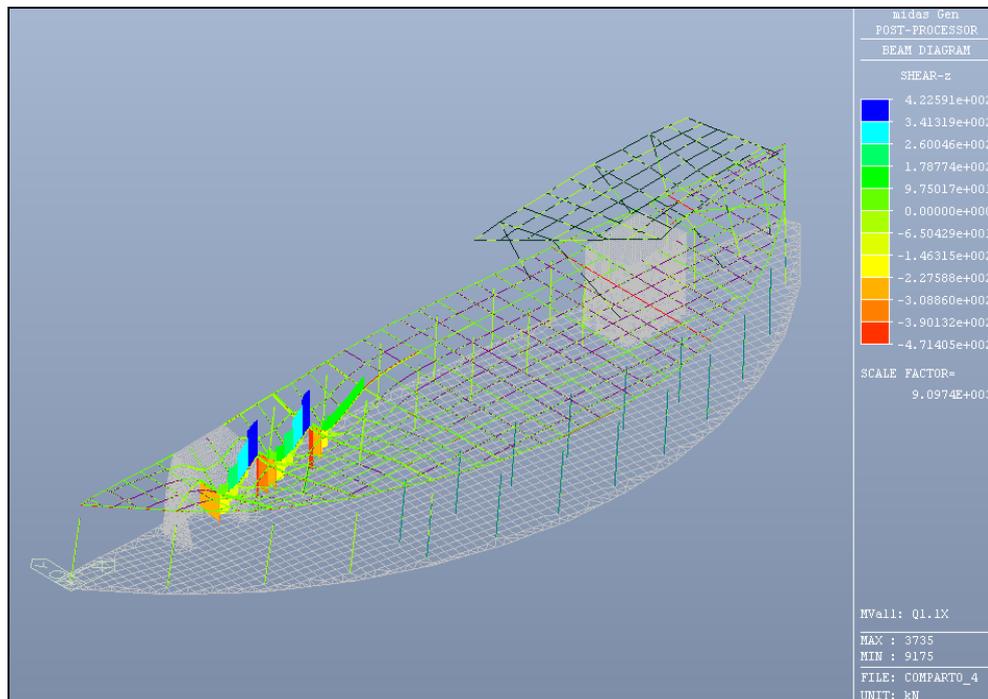


Figura 6.31: Caso di carico Q1 (traffico) in dir X (travi principali) – Valore del taglio

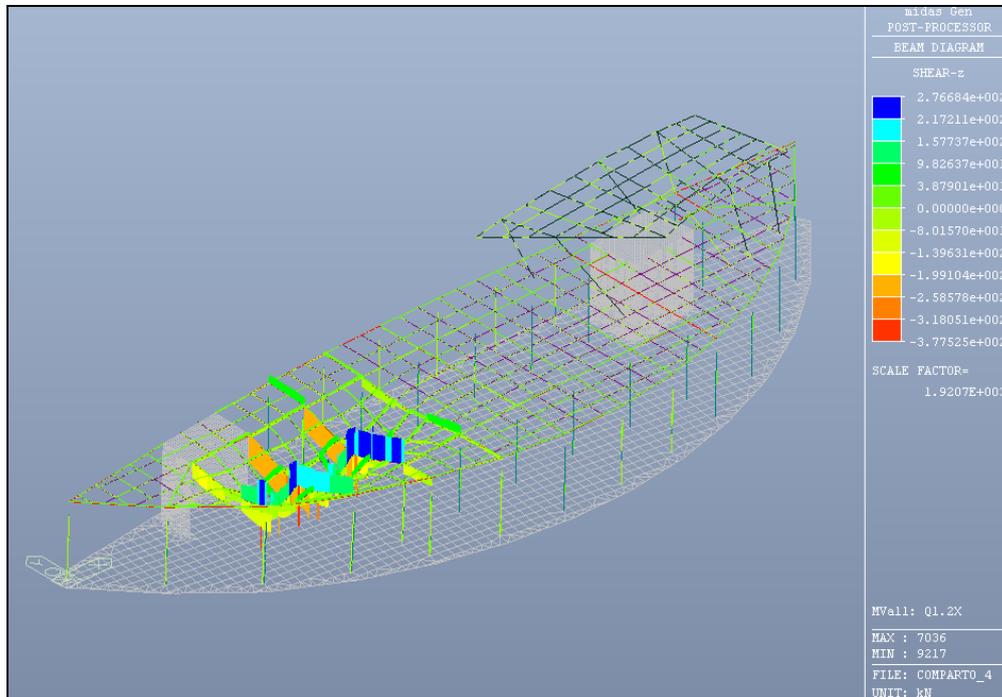


Figura 6.32: Caso di carico Q1 (traffico) in dir X (travi secondarie) – Valore del taglio

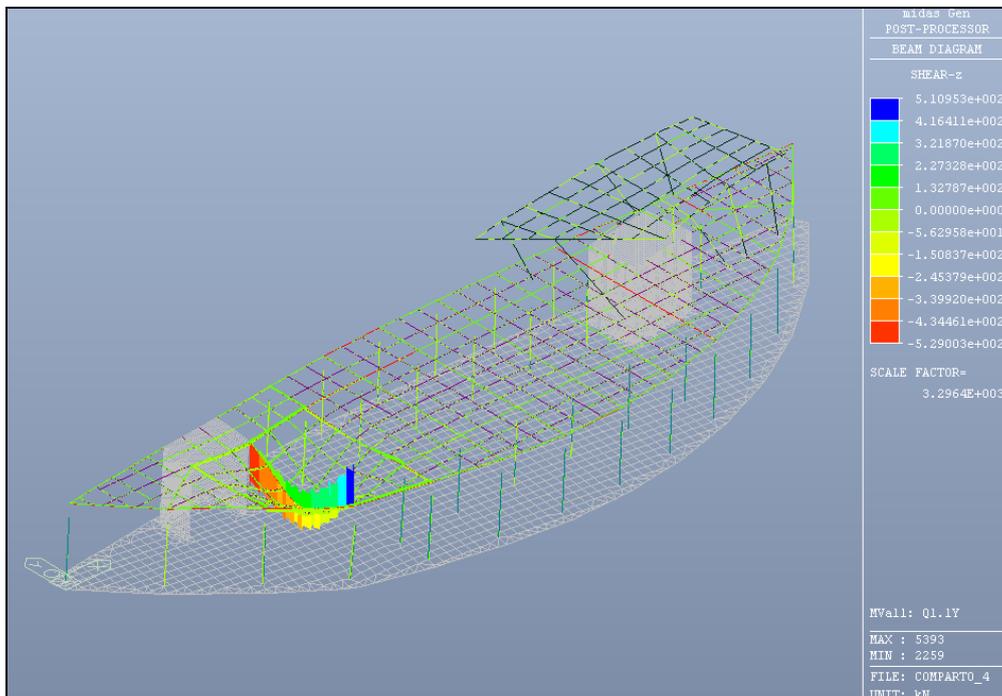


Figura 6.33: Caso di carico Q1 (traffico) in dir Y (travi principali) – Valore del taglio

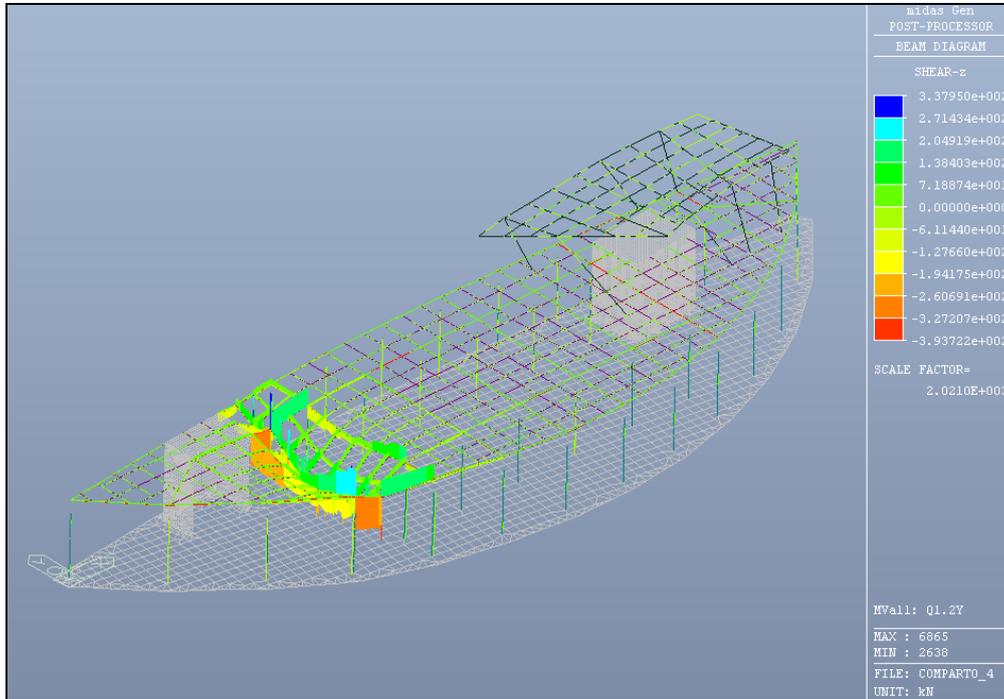


Figura 6.34: Caso di carico Q1 (traffico) in dir Y (travi secondarie) – Valore del taglio

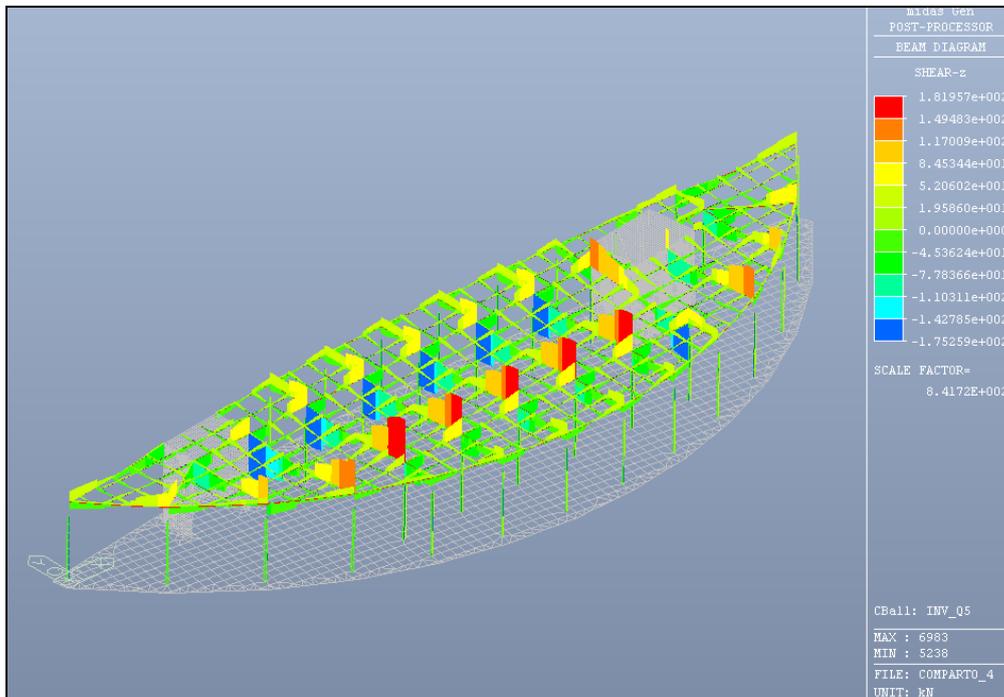


Figura 6.35: Involuppo del carico Q5 (folla) – valore del taglio

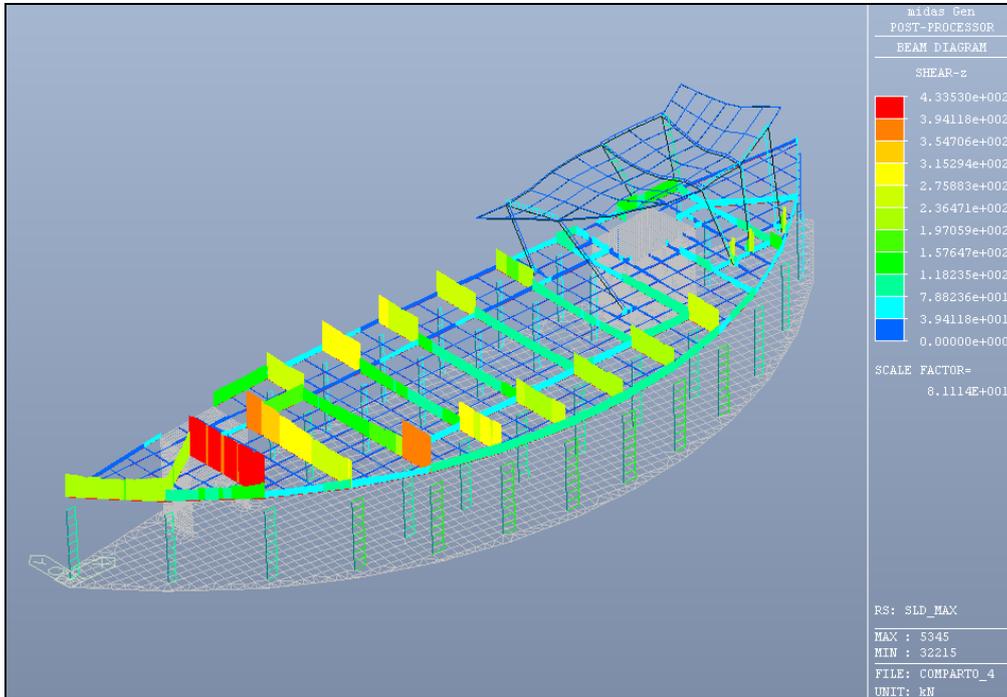


Figura 6.36: SLD max – Valore del taglio

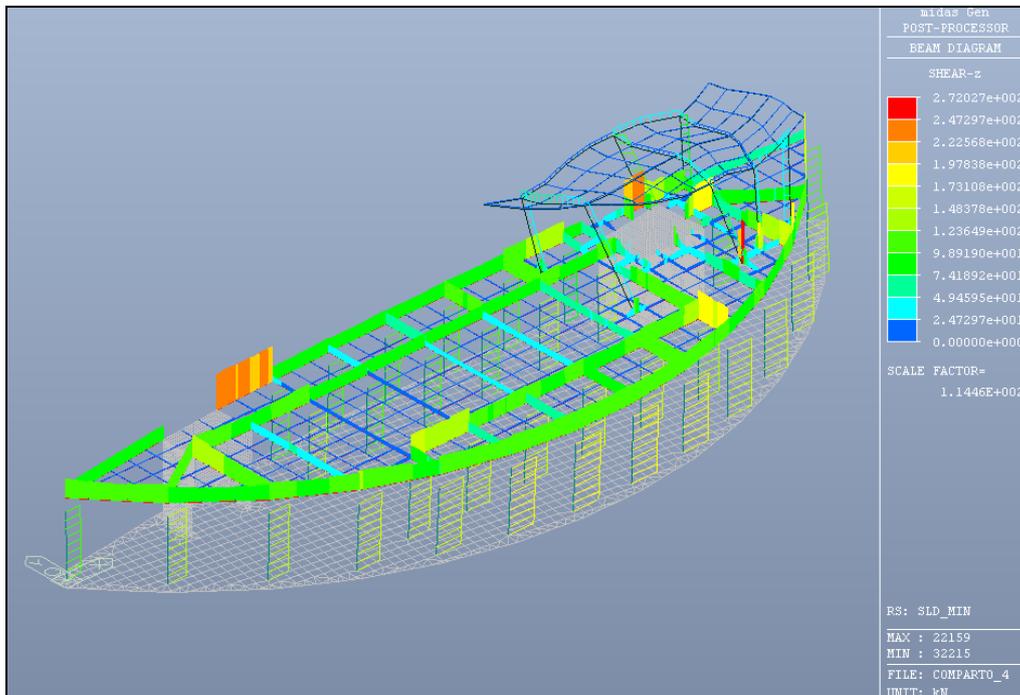


Figura 6.37: SLD min – Valore del taglio

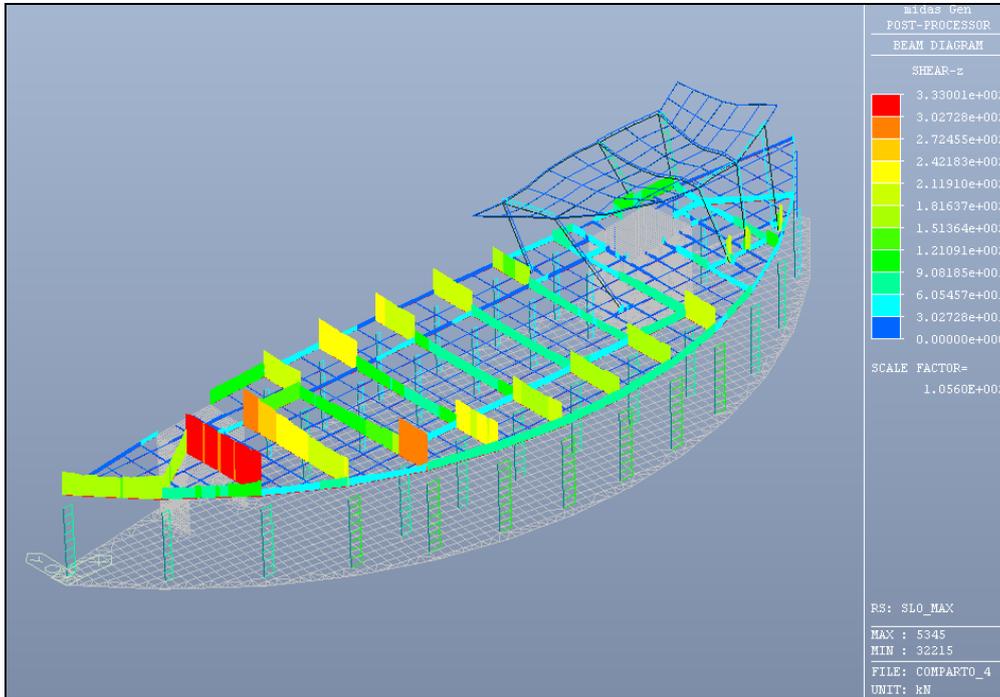


Figura 6.38: SLO max – Valore del taglio

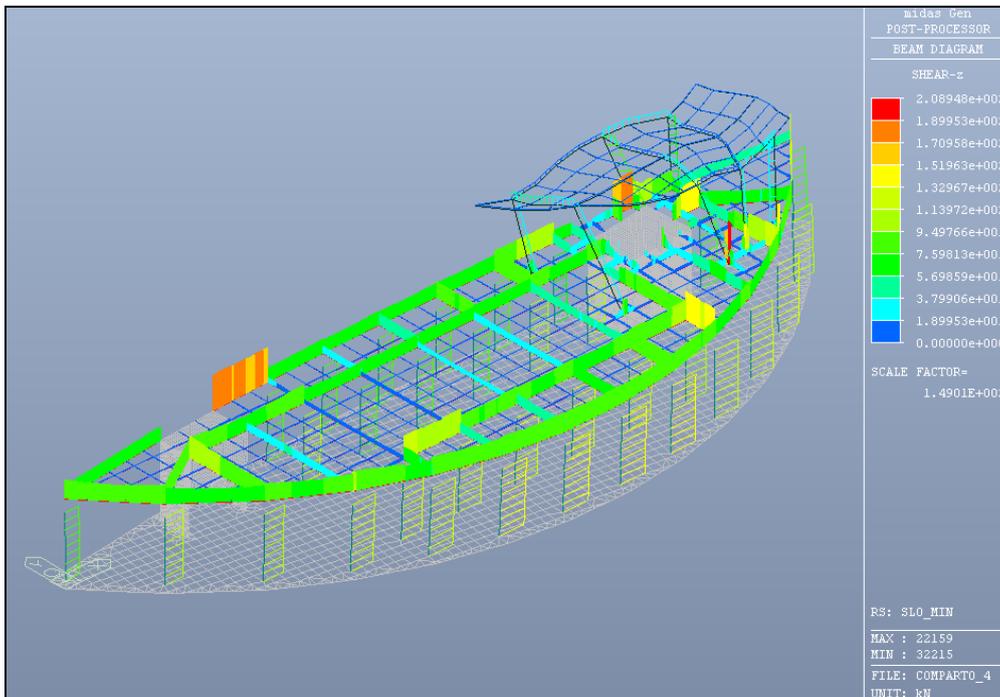


Figura 6.39: SLO min – Valore del taglio

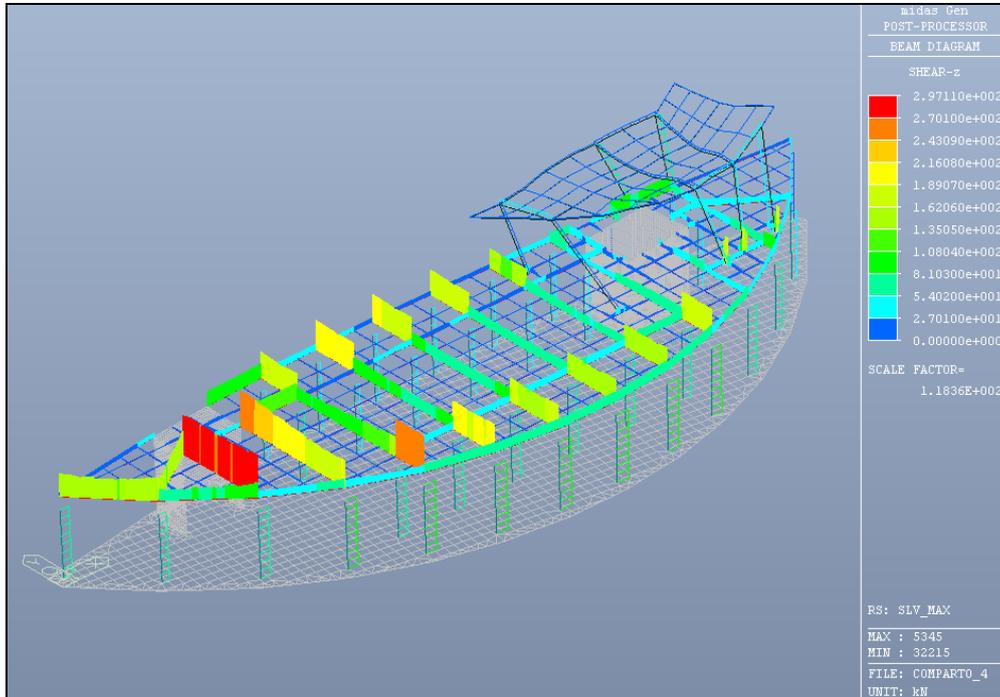


Figura 6.40: SLV max – Valore del taglio

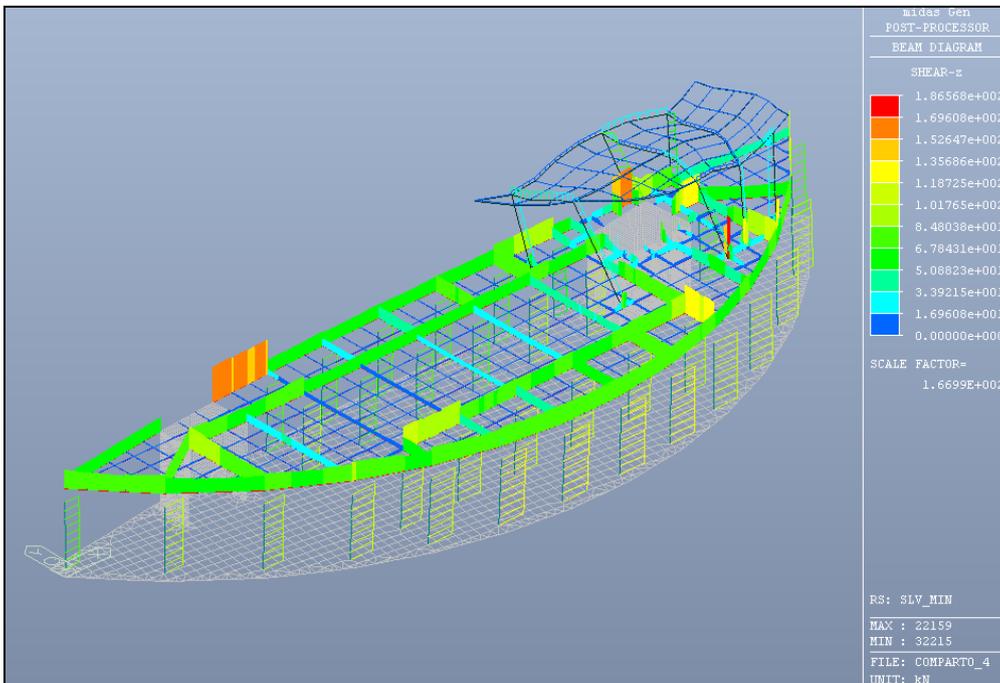


Figura 6.41: SLV min – Valore del taglio

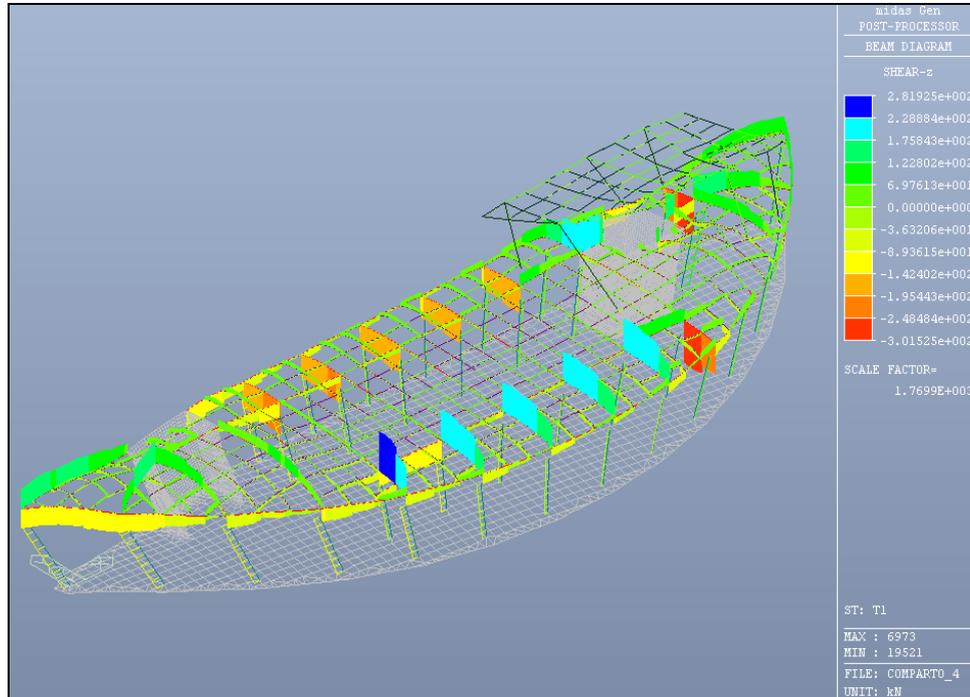


Figura 6.42: Caso di carico T1 (termico) – Valore del taglio

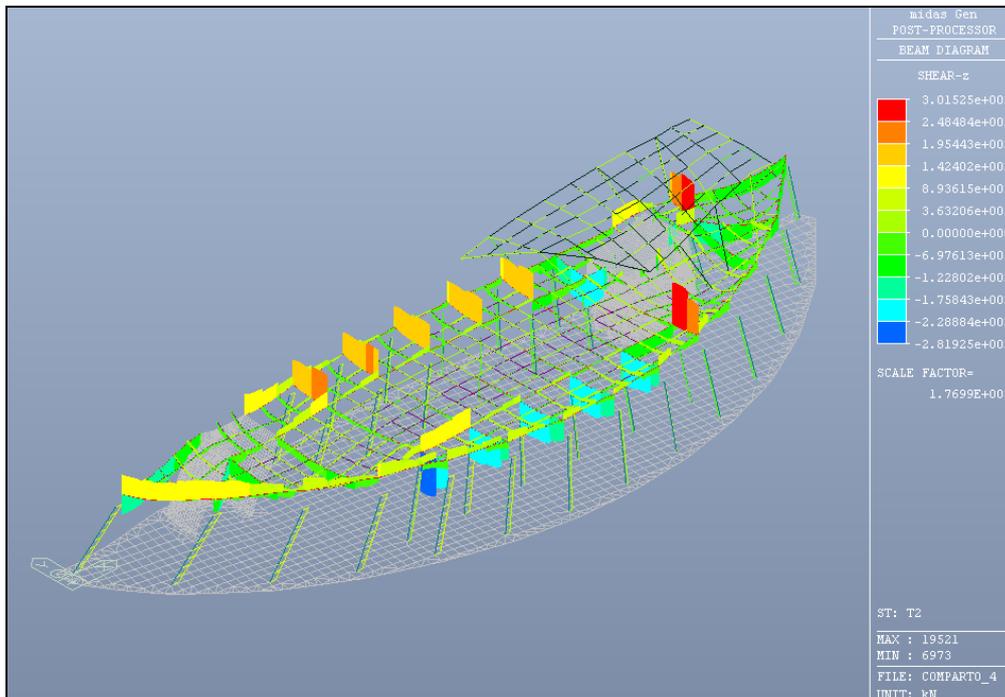


Figura 6.43: Caso di carico T2 (termico) – Valore del taglio

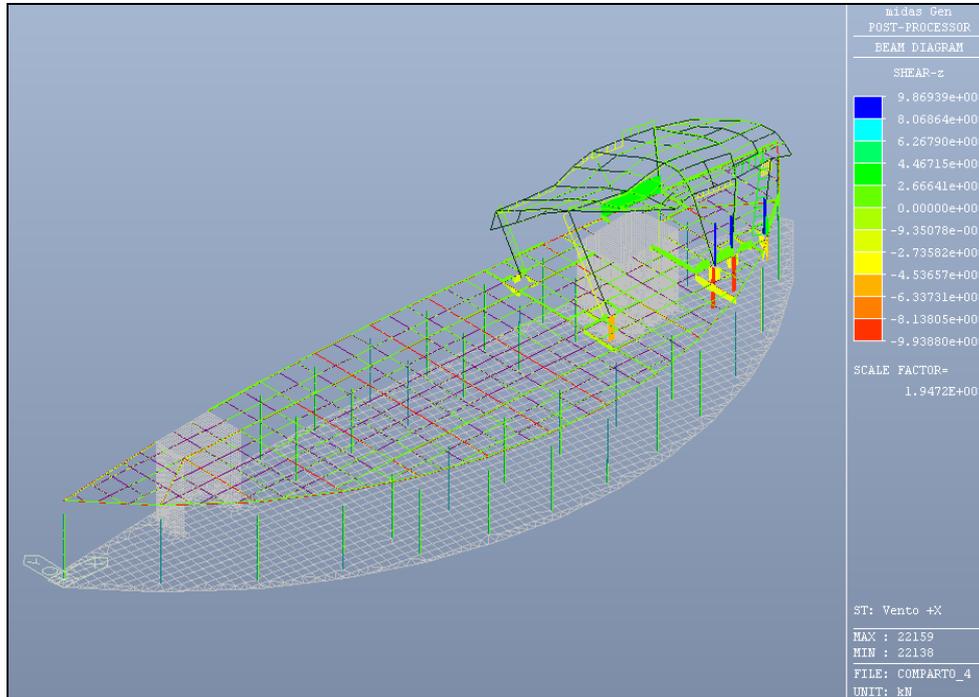


Figura 6.44: Azione del vento dir X (positivo) – Valore del taglio

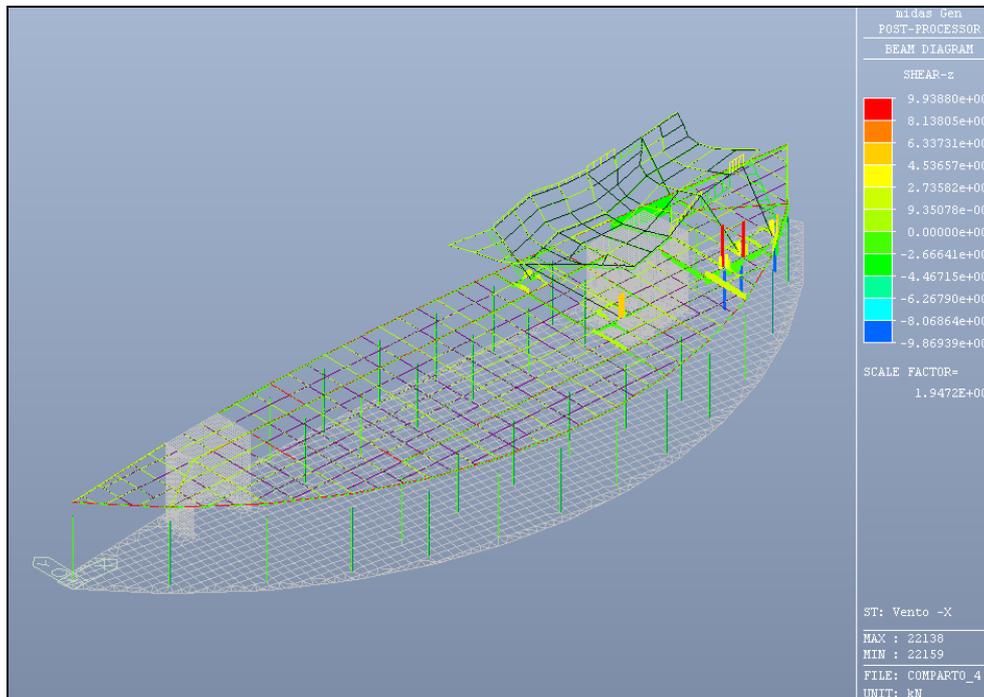


Figura 6.45: Azione del vento dir X (negativo) – Valore del taglio

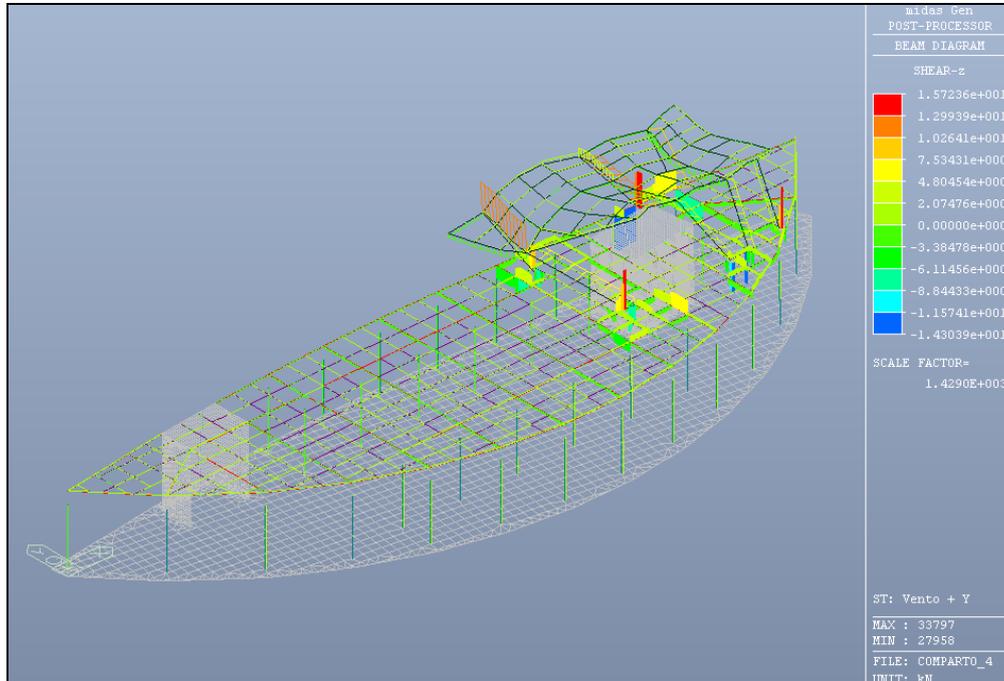


Figura 6.46: Azione del vento dir Y (positivo) – Valore del taglio

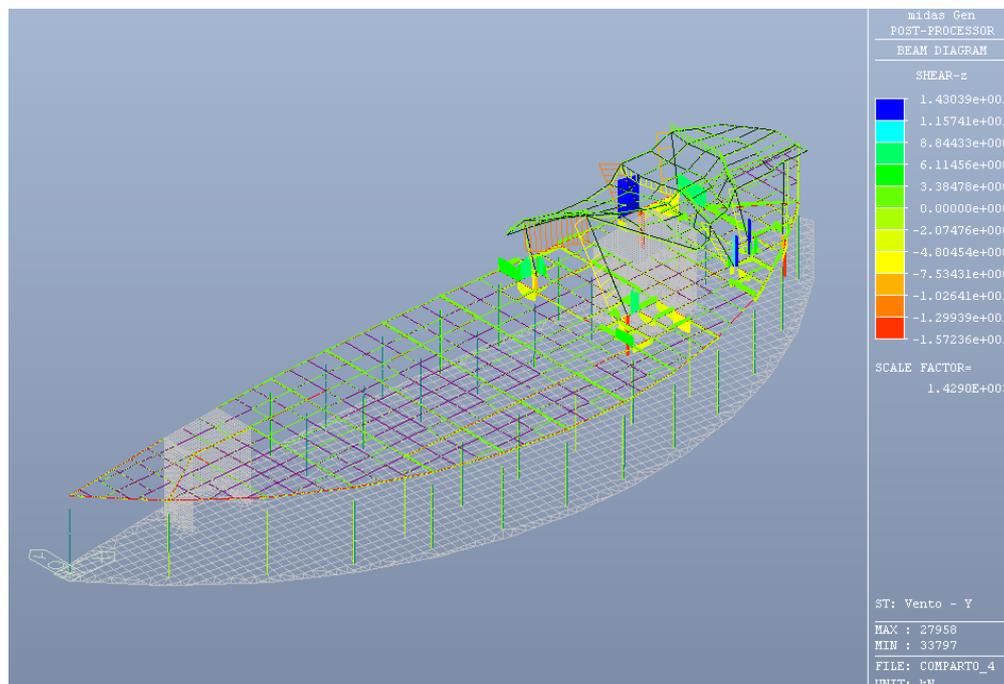


Figura 6.47: Azione del vento dir Y (negativo) – Valore del taglio

## 7. VERIFICA DI RESISTENZA DELLE MEMBRATURE

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Le verifiche di resistenza sono state condotte considerando l'intera struttura, e distinguendo i vari casi relativi alle diverse membrature. Si è infatti fatto riferimento alle travi principali, alle travi secondarie, ai pilastri, ai setti, alle solette e alla platea.

Tali verifiche, sono condotte in base alle prescrizioni impartite dall'eurocodice 2 e 3. In merito è opportuno osservare che le formule di verifica sono sostanzialmente identiche a quelle riportate dal DM del 2008 avendo questi recepito in modo sostanzialmente integrale quelli che sono i dettami della norma sovranazionale. La classificazione della sezione è eseguita per via automatica dal software di calcolo utilizzato che esplicita le procedure riportate dagli eurocodici prima menzionati. Si omette nella presente sede di riportare un'esauriva trattazione teorica dell'argomento ritenendo sufficiente un'esposizione di sintesi in forma tabellare.

Il software utilizzato, tra tutte le combinazioni di carico considerate, caso per caso ed a seconda dell'elemento finito focalizzato, estrapola quelle sole condizioni (una o più) che inducono il massimo cimento statico alla membratura; in ciò è pertanto opportuno tener presente che, avendo eseguito le verifiche per via automatica, non si è potuto ottimizzare in modo opportuno l'indagine di verifica al fine di ottenere un'esposizione succinta e mirata agli aspetti di preminente importanza.

In ogni caso si rimanda ai tabulati di calcolo, allegati alla presente relazione, per una maggiore comprensione di quanto fin'ora rappresentato in termini diagrammi.

## 7.1 VERIFICHE DELLE SEZIONI

Con le caratteristiche di sollecitazione calcolate sono state eseguite le verifiche di resistenza riportate a seguire. Si vuole precisare che tali verifiche sono state condotte con riferimento alle massime sollecitazioni agenti in funzione delle combinazioni di carico precedentemente esposte, e sono state riferite ai singoli elementi strutturali, questi ultimi suddivisi in gruppi. Sono, pertanto, riportate, le verifiche che hanno riguardato rispettivamente:

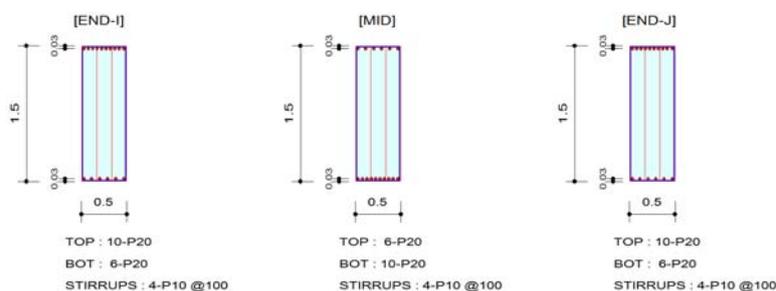
- le travi principali della copertura del primo livello;
- le travi secondarie della copertura del primo livello;
- la soletta di copertura del primo livello;
- la platea di fondazione;
- i pilastri che collegano la copertura del primo livello alla platea di fondazione;
- le colonne della porzione di Arcade;
- il sistema di travi di copertura della porzione di Arcade.

Per ciascuno degli elementi strutturali elencati, viene riportata di seguito una tabella riepilogativa delle verifiche eseguite.

### 1. Design Information

Member Number: 2264  
 Design Code : Eurocode2:04  
 Unit System : kN, m  
 Material Data : fck = 30000, fyk = 450000, fyw = 450000 KPa  
 Beam Span : 13.2 m  
 Section Property: T.PR.150X50 (No : 3)

### 2. Section Diagram



### 3. Bending Moment Capacity

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	15-	43	14-
Moment (M <sub>Ed</sub> )	1337.43	0.00	1367.50
Strength (M <sub>Rd</sub> )	1762.09	1055.57	1762.09
Check Ratio (M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub> )	0.7590	0.0000	0.7761
(+) Load Combination No.	15+	15+	15+
Moment (M <sub>Ed</sub> )	446.40	1106.60	546.11
Strength (M <sub>Rd</sub> )	1055.57	1762.09	1055.57
Check Ratio (M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub> )	0.4229	0.6280	0.5174
Using Rebar Top (A <sub>s_top</sub> )	0.0031	0.0019	0.0031
Using Rebar Bot (A <sub>s_bot</sub> )	0.0019	0.0031	0.0019

### 4. Shear Capacity

	END-I	MID	END-J
Load Combination No.	14-	14+	14+
Factored Shear Force (V <sub>Ed</sub> )	1171.73	760.42	1184.22
Shear Strength by Conc.(V <sub>Rdc</sub> )	282.54	282.54	282.54
Using Shear Reinf. (A <sub>sw</sub> )	0.0032	0.0032	0.0032
Using Stirrups Spacing	4-P10 @100	4-P10 @100	4-P10 @100
Check Ratio	0.7163	0.4648	0.7239

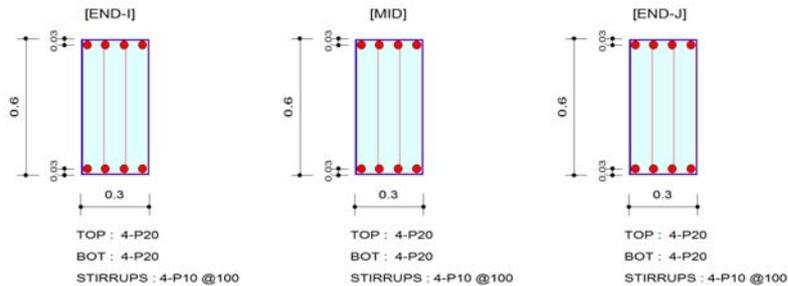
Figura 7.1: Verifiche delle travi principali (soffitto di copertura parcheggi)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 1. Design Information

Design Code : Eurocode2:04  
 Unit System : kN, m  
 Material Data :  $f_{ck} = 30000$ ,  $f_{yk} = 450000$ ,  $f_{yw} = 450000$  KPa  
 Beam Span : 7 m  
 Section Property: TR.SEC.60X30 (No : 4)

### 2. Section Diagram



### 3. Bending Moment Capacity

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	13-	13-	13-
Moment (M <sub>Ed</sub> )	162.52	111.74	203.55
Strength (M <sub>Rd</sub> )	267.42	267.42	267.42
Check Ratio (M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub> )	0.6077	0.4179	0.7612
(+) Load Combination No.	13+	13+	13+
Moment (M <sub>Ed</sub> )	139.16	180.10	123.81
Strength (M <sub>Rd</sub> )	267.42	267.42	267.42
Check Ratio (M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub> )	0.5204	0.6735	0.4630
Using Rebar Top (A <sub>s_top</sub> )	0.0013	0.0013	0.0013
Using Rebar Bot (A <sub>s_bot</sub> )	0.0013	0.0013	0.0013

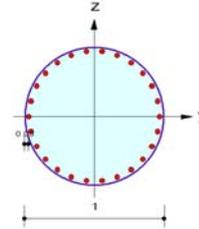
### 4. Shear Capacity

	END-I	MID	END-J
Load Combination No.	17+	14-	14-
Factored Shear Force (V <sub>Ed</sub> )	91.39	91.32	91.32
Shear Strength by Conc. (V <sub>Rdc</sub> )	91.61	91.61	91.61
Using Shear Reinf. (A <sub>sw</sub> )	0.0032	0.0032	0.0032
Using Stirrups Spacing	4-P10 @100	4-P10 @100	4-P10 @100
Check Ratio	0.9976	0.9969	0.9969

Figura 7.2: Verifiche delle travi secondarie (soffitto di copertura parcheggi)

### 1. Design Condition

Design Code : Eurocode2:04  
 Unit System : kN, m  
 Member Number: 2200  
 Material Data :  $f_{ck} = 30000$ ,  $f_{yk} = 450000$ ,  $f_{yw} = 450000$  KPa  
 Column Height : 7 m  
 Section Property: PIL\_P100 (No : 1)  
 Rebar Pattern : 26 - 3 - P26  
 Total Rebar Area  $A_{st} = 0.013806$  m<sup>2</sup> ( $R_{host} = 0.018$ )



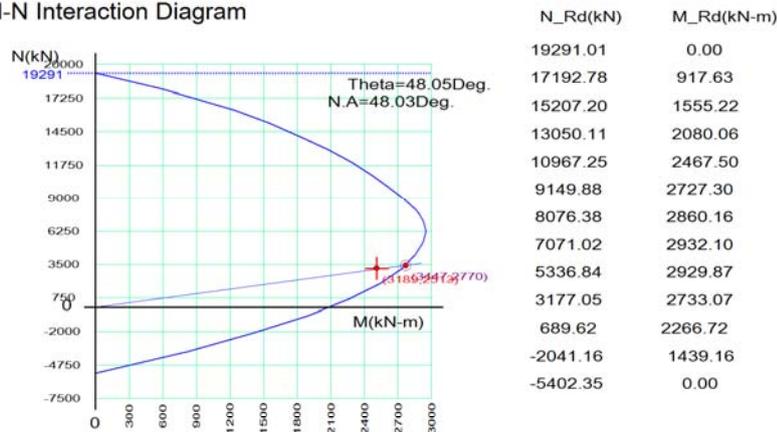
### 2. Applied Loads

Load Combination : 19- AT (I) Point  
 $N_{Ed} = 3188.83$  kN  
 $M_{Edy} = 1680.73$ ,  $M_{Edz} = 1868.69$  kN-m  
 $M_{Ed} = \text{SQRT}(M_{Edy}^2 + M_{Edz}^2) = 2513.33$  kN-m

### 3. Axial Forces and Moments Capacity Check

Concentric Max. Axial Load  $N_{Rdmax} = 19291.0$  kN  
 Axial Load Ratio  $N_{Ed}/N_{Rd} = 3188.83 / 3446.55 = 0.925 < 1.000$  ..... O.K  
 Moment Ratio  $M_{Ed}/M_{Rd} = 2513.33 / 2770.34 = 0.907 < 1.000$  ..... O.K  
 $M_{Edy}/M_{Rdy} = 1680.73 / 1851.91 = 0.908 < 1.000$  ..... O.K  
 $M_{Edz}/M_{Rdz} = 1868.69 / 2060.40 = 0.907 < 1.000$  ..... O.K

### 4. M-N Interaction Diagram



### 5. Shear Force Capacity Check

Applied Shear Strength  $V_{Ed} = 231.929$  kN (Load Combination : 42)  
 Design Shear Strength  $V_{Rdc} + V_{Rds} = 730.024 + 0.00000 = 730.024$  kN ( $A_{sw-H_{use}} = 0.00158$  m<sup>2</sup>/m, 2-P10 @100)  
 Shear Ratio  $V_{Ed}/V_{Rd} = 0.318 < 1.000$  ..... O.K

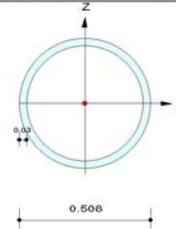
Figura 7.3: Verifiche dei pilastri (parceggi)

**midas Gen Steel Checking Result**

<b>MIDAS</b>	<b>Company</b>	<b>Project Title</b>
	<b>Author</b>	<b>File Name</b> C:\Comparto 4\COMPARTO_4.mgb

**1. Design Information**

Design Code : Eurocode3:05  
 Unit System : kN, m  
 Member No : 37530  
 Material : S355 (No:2)  
 (Fy = 355000, Es = 210000000)  
 Section Name : PIPE508.30 (No:10)  
 (Built-up Section).  
 Member Length : 5.81569



**2. Member Forces**

Axial Force Fxx = -135.74 (LCB: 41, POS:J)  
 Bending Moments My = -685.13, Mz = -552.45  
 End Moments Myi = 11.1380, Myj = -685.13 (for Lb)  
 Myi = 11.1380, Myj = -685.13 (for Ly)  
 Mzi = -48.772, Mzj = -552.45 (for Lz)  
 Shear Forces Fyy = 138.407 (LCB: 42, POS:I)  
 Fzz = 183.235 (LCB: 40, POS:J)

Outer Dia.	0.50800	Wall Thick	0.03000
Area	0.04505	Asz	0.02253
Qyb	0.05735	Qzb	0.05735
Iyy	0.00129	Izz	0.00129
Ybar	0.25400	Zbar	0.25400
Wely	0.00509	Welz	0.00509
ry	0.16933	rz	0.16933

**3. Design Parameters**

Unbraced Lengths Ly = 5.81569, Lz = 5.81569, Lb = 5.81569  
 Effective Length Factors Ky = 1.00, Kz = 1.00  
 Equivalent Uniform Moment Factors Cmy = 1.00, Cmz = 1.00, CmLT = 1.00

**4. Checking Results**

Axial Resistance  
 $N_{Ed}/N_{c,Rd} = 135.7/15992.9 = 0.008 < 1.000$  ..... O.K  
 Bending Resistance  
 $M_{Edy}/M_{Rdy} = 685.13/2436.55 = 0.281 < 1.000$  ..... O.K  
 $M_{Edz}/M_{Rdz} = 552.45/2436.55 = 0.227 < 1.000$  ..... O.K  
 Combined Resistance  
 $RNRd = \text{MAX}[ M_{Edy}/M_{ny,Rd}, M_{Edz}/M_{nz,Rd} ]$   
 $R_{max1} = (M_{Edy}/M_{ny,Rd})^{\alpha} + (M_{Edz}/M_{nz,Rd})^{\beta}$   
 $R_{com} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \gamma_{M0}), R_{bend} = M_{Edy}/M_{y,Rd} + M_{Edz}/M_{z,Rd}$   
 $R_{c\_LT1} = N_{Ed}/(X_{iy} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$   
 $R_{b\_LT1} = (k_{yy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i\_LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (k_{yz} \cdot M_{sdz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$   
 $R_{c\_LT2} = N_{Ed}/(X_{iz} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$   
 $R_{b\_LT2} = (K_{zy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i\_LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (K_{zz} \cdot M_{sdz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$   
 $R_{max} = \text{MAX}[ RNRd, R_{max1}, (R_{com} + R_{bend}), \text{MAX}(R_{c\_LT1} + R_{b\_LT1}, R_{c\_LT2} + R_{b\_LT2}) ] = 0.516 < 1.000$  .. O.K  
 Shear Resistance  
 $V_{Edy}/V_{y,Rd} = 0.024 < 1.000$  ..... O.K  
 $V_{Edz}/V_{z,Rd} = 0.031 < 1.000$  ..... O.K

Figura 7.4: Verifiche delle colonne dell'Arcade

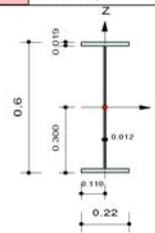
**midas Gen Steel Checking Result**

<b>MIDAS</b>	<b>Company</b>	<b>Project Title</b>
	<b>Author</b>	<b>File Name</b>

C:\Comparto 4\COMPARTO\_4.mgb

**1. Design Information**

Design Code : Eurocode3:05  
 Unit System : kN, m  
 Member No : 37487  
 Material : S355 (No:2)  
 (Fy = 355000, Es = 210000000)  
 Section Name : IPE600 (No:8)  
 (Rolled : IPE600).  
 Member Length : 2.05811



**2. Member Forces**

Axial Force Fxx = -83.803 (LCB: 43, POS:1)  
 Bending Moments My = -366.44, Mz = -60.217  
 End Moments Myi = -366.44, Myj = -171.56 (for Lb)  
 Myi = -366.44, Myj = -171.56 (for Ly)  
 Mzi = -60.217, Mzj = -11.709 (for Lz)  
 Shear Forces Fyy = -36.467 (LCB: 43, POS:1)  
 Fzz = -129.91 (LCB: 15-, POS:1)

Depth	0.60000	Web Thick	0.01200
Top F Width	0.22000	Top F Thick	0.01900
Bot.F Width	0.22000	Bot.F Thick	0.01900
Area	0.01560	Asz	0.00720
Qyb	0.14067	Qzb	0.00605
Iyy	0.00092	Izz	0.00003
Ybar	0.11000	Zbar	0.30000
Wely	0.00307	Welz	0.00031
ry	0.24182	rz	0.04731

**3. Design Parameters**

Unbraced Lengths Ly = 2.05811, Lz = 2.05811, Lb = 2.05811  
 Effective Length Factors Ky = 1.00, Kz = 1.00  
 Equivalent Uniform Moment Factors Cmy = 1.00, Cmz = 1.00, CmLT = 1.00

**4. Checking Results**

Axial Resistance  
 $N_{Ed}/N_{c,Rd} = 83.80/5538.00 = 0.015 < 1.000$  ..... O.K  
 Bending Resistance  
 $M_{Edy}/M_{Rdy} = 366.44/1246.76 = 0.294 < 1.000$  ..... O.K  
 $M_{Edz}/M_{Rdz} = 60.217/170.411 = 0.353 < 1.000$  ..... O.K  
 Combined Resistance  
 $RNRd = MAX[M_{Edy}/M_{ny,Rd}, M_{Edz}/M_{nz,Rd}]$   
 $Rmax1 = (M_{Edy}/M_{ny,Rd})^{\alpha} + (M_{Edz}/M_{nz,Rd})^{\beta}$   
 $Rcom = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \gamma_{M0}), Rbend = M_{Edy}/M_{y,Rd} + M_{Edz}/M_{z,Rd}$   
 $Rc\_LT1 = N_{Ed}/(X_{iy} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$   
 $Rb\_LT1 = (k_{yy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i\_LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (k_{yz} \cdot M_{sdz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$   
 $Rc\_LT2 = N_{Ed}/(X_{iz} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$   
 $Rb\_LT2 = (K_{zy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i\_LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (K_{zz} \cdot M_{sdz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$   
 $Rmax = MAX[RNRd, Rmax1, (Rcom + Rbend), MAX(Rc\_LT1 + Rb\_LT1, Rc\_LT2 + Rb\_LT2)] = 0.755 < 1.000$  .. O.K  
 Shear Resistance  
 $V_{Edy}/V_{y,Rd} = 0.020 < 1.000$  ..... O.K  
 $V_{Edz}/V_{z,Rd} = 0.076 < 1.000$  ..... O.K

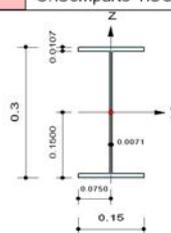
Figura 7.5: Verifiche delle travi dell'Arcade

**midas Gen Steel Checking Result**

<b>MIDAS</b>	<b>Company</b>	<b>Project Title</b>
	<b>Author</b>	<b>File Name</b>
		C:\Comparto 4\COMPARTO_4.mgb

**1. Design Information**

Design Code : Eurocode3:05  
 Unit System : kN, m  
 Member No : 37519  
 Material : S355 (No:2)  
 (Fy = 355000, Es = 210000000)  
 Section Name : IPE300 (No:9)  
 (Rolled : IPE300).  
 Member Length : 1.94289



**2. Member Forces**

Axial Force Fxx = -24.764 (LCB: 41, POS:1)  
 Bending Moments My = -0.2862, Mz = -24.641  
 End Moments Myi = -0.2862, Myj = -3.0414 (for Lb)  
 Myi = -0.2862, Myj = -3.0414 (for Ly)  
 Mzi = -24.641, Mzj = -9.6342 (for Lz)  
 Shear Forces Fyy = -19.370 (LCB: 41, POS:1)  
 Fzz = -4.7825 (LCB: 41, POS:1)

Depth	0.30000	Web Thick	0.00710
Top F Width	0.15000	Top F Thick	0.01070
Bot.F Width	0.15000	Bot.F Thick	0.01070
Area	0.00538	Asz	0.00213
Qyb	0.04240	Qzb	0.00281
Iyy	0.00008	Izz	0.00001
Ybar	0.07500	Zbar	0.15000
Wely	0.00056	Welz	0.00008
ry	0.12417	rz	0.03408

**3. Design Parameters**

Unbraced Lengths Ly = 1.94289, Lz = 1.94289, Lb = 1.94289  
 Effective Length Factors Ky = 1.00, Kz = 1.00  
 Equivalent Uniform Moment Factors Cmy = 1.00, Cmz = 1.00, CmLT = 1.00

**4. Checking Results**

Axial Resistance  
 $N_{Ed}/N_{c,Rd} = 24.76/1870.18 = 0.013 < 1.000$  ..... O.K

Bending Resistance  
 $M_{Edy}/M_{Rdy} = 0.286/190.433 = 0.002 < 1.000$  ..... O.K  
 $M_{Edz}/M_{Rdz} = 24.6415/28.5281 = 0.864 < 1.000$  ..... O.K

Combined Resistance  
 $R_{com} = N_{Ed}/(A_{eff} \cdot f_y / \Gamma_{M0})$ ,  $R_{bend} = (M_{Edy} + N_{Ed} \cdot e_{Ny})/M_{y,Rd} + (M_{Edz} + N_{Ed} \cdot e_{Nz})/M_{z,Rd}$   
 $R_{c\_LT1} = N_{Ed}/(X_{iy} \cdot A_{eff} \cdot f_y / \Gamma_{M1})$   
 $R_{b\_LT1} = k_{yy} \cdot (M_{Edy} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}) / (X_{i\_LT} \cdot W_{effy} \cdot f_y / \Gamma_{M1}) + k_{yz} \cdot (M_{Edz} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}) / (W_{effz} \cdot f_y / \Gamma_{M1})$   
 $R_{c\_LT2} = N_{Ed}/(X_{iz} \cdot A_{eff} \cdot f_y / \Gamma_{M1})$   
 $R_{b\_LT2} = k_{zy} \cdot (M_{Edy} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}) / (X_{i\_LT} \cdot W_{effy} \cdot f_y / \Gamma_{M1}) + k_{zz} \cdot (M_{Edz} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}) / (W_{effz} \cdot f_y / \Gamma_{M1})$   
 $R_{max} = \text{MAX}[R_{com} + R_{bend}, \text{MAX}(R_{c\_LT1} + R_{b\_LT1}, R_{c\_LT2} + R_{b\_LT2})] = 0.888 < 1.000$  .... O.K

Shear Resistance  
 $V_{Edy}/V_{y,Rd} = 0.028 < 1.000$  ..... O.K  
 $V_{Edz}/V_{z,Rd} = 0.009 < 1.000$  ..... O.K

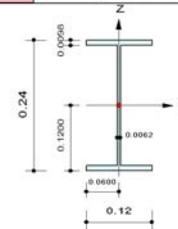
Figura 7.6: Verifiche delle travi dell'Arcade

**midas Gen Steel Checking Result**

<b>MIDAS</b>	<b>Company</b>	<b>Project Title</b>
	<b>Author</b>	<b>File Name</b>
		C:\Comparto 4\COMPARTO_4.mgb

**1. Design Information**

Design Code : Eurocode3:05  
 Unit System : kN, m  
 Member No : 37571  
 Material : S355 (No:2)  
 (Fy = 355000, Es = 210000000)  
 Section Name : IPE240 (No:7)  
 (Rolled : IPE240).  
 Member Length : 2.85240



**2. Member Forces**

**Axial Force** Fxx = -10.521 (LCB: 41, POS:J)  
**Bending Moments** My = -9.3107, Mz = -12.218  
**End Moments** Myi = 0.71248, Myj = -9.3107 (for Lb)  
 Myi = 0.71248, Myj = -9.3107 (for Ly)  
 Mzi = -9.4498, Mzj = -12.218 (for Lz)  
**Shear Forces** Fyy = 7.26621 (LCB: 40, POS:I)  
 Fzz = 12.0199 (LCB: 15+, POS:J)

Depth	0.24000	Web Thick	0.00620
Top F Width	0.12000	Top F Thick	0.00980
Bot.F Width	0.12000	Bot.F Thick	0.00980
Area	0.00391	Asz	0.00149
Qyb	0.02790	Qzb	0.00180
Iyy	0.00004	Izz	0.00000
Ybar	0.06000	Zbar	0.12000
Wely	0.00032	Welz	0.00005
ry	0.09936	rz	0.02757

**3. Design Parameters**

Unbraced Lengths Ly = 2.85240, Lz = 2.85240, Lb = 2.85240  
 Effective Length Factors Ky = 1.00, Kz = 1.00  
 Equivalent Uniform Moment Factors Cmy = 1.00, Cmz = 1.00, CmLT = 1.00

**4. Checking Results**

**Axial Resistance**  
 $N_{Ed}/N_{c,Rd} = 10.52/1388.05 = 0.008 < 1.000$  ..... O.K

**Bending Resistance**  
 $M_{Edy}/M_{Rdy} = 9.311/129.930 = 0.072 < 1.000$  ..... O.K  
 $M_{Edz}/M_{Rdz} = 12.2180/25.8007 = 0.474 < 1.000$  ..... O.K

**Combined Resistance**  
 $RNRd = \text{MAX}[ M_{Edy}/M_{ny,Rd}, M_{Edz}/M_{nz,Rd} ]$   
 $R_{max1} = (M_{Edy}/M_{ny,Rd})^{\alpha} + (M_{Edz}/M_{nz,Rd})^{\beta}$   
 $R_{com} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \gamma_{M0}), R_{bend} = M_{Edy}/M_{y,Rd} + M_{Edz}/M_{z,Rd}$   
 $R_{c\_LT1} = N_{Ed}/(X_{iy} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$   
 $R_{b\_LT1} = (k_{yy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i\_LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (k_{yz} \cdot M_{sdz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$   
 $R_{c\_LT2} = N_{Ed}/(X_{iz} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$   
 $R_{b\_LT2} = (K_{zy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i\_LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (K_{zz} \cdot M_{sdz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$   
 $R_{max} = \text{MAX}[ RNRd, R_{max1}, (R_{com} + R_{bend}), \text{MAX}(R_{c\_LT1} + R_{b\_LT1}, R_{c\_LT2} + R_{b\_LT2}) ] = 0.565 < 1.000$  .. O.K

**Shear Resistance**  
 $V_{Edy}/V_{y,Rd} = 0.014 < 1.000$  ..... O.K  
 $V_{Edz}/V_{z,Rd} = 0.031 < 1.000$  ..... O.K

Figura 7.7: Verifiche delle travi dell'Arcade

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

### Verifiche della platea di fondazione (parcheggi)

=====

[[[\*]]] SLAB CHECKING MAXIMUM RESULT DATA : DOMAIN Fondazione, Dir 1.

=====

- Information of Parameters.

Elem No. : 379  
 LCB No. : 19+  
 Materials : fck = 30000.0000 KPa.  
               fy = 450000.0000 KPa.  
 Thickness : 1.0000 m.  
 Covering : dB = 0.0400 m.  
               dT = 0.0400 m.

- Information of Design.

gamma\_s = 1.150 (for Reinforcement)  
 fyd = fy / gamma\_s = 391304.3478 KPa.  
 b = 1.0 m. (by Unit Length).  
 d = 0.9600 m.  
 As\_use = 0.0016 m<sup>2</sup>/m. ( 0.0016 m<sup>2</sup>/m.)  
 M\_Rd = As\_use\*(0.9\*d\*fyd) = 530.7965 kN-m.

- Information of Moments and Result.

Rein. Bar : P20 @200  
 As\_req = 0.0016 m<sup>2</sup>/m. ( 0.0016 m<sup>2</sup>/m.)  
 M\_Ed = 43.3267 kN-m.  
 M\_Rd = 530.7965 kN-m.  
 RatM = M\_Ed / M\_Rd = 0.082 < 1.0 ---> O.K !

- Information of Parameters.

Elem No. : 289  
 LCB No. : 40  
 Materials : fck = 30000.0000 KPa.  
               fy = 450000.0000 KPa.  
 Thickness : 1.0000 m.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Covering : dB = 0.0400 m.

dT = 0.0400 m.

- Information of Design.

$\gamma_s = 1.150$  (for Reinforcement)

$f_{yd} = f_y / \gamma_s = 391304.3478$  KPa.

$b = 1.0$  m. (by Unit Length).

$d = 0.9600$  m.

$A_{s\_use} = 0.0016$  m<sup>2</sup>/m. ( 0.0016 m<sup>2</sup>/m.)

$M_{Rd} = A_{s\_use} \cdot (0.9 \cdot d \cdot f_{yd}) = 530.7965$  kN-m.

- Information of Moments and Result.

Rein. Bar : P20 @200

$A_{s\_req} = 0.0016$  m<sup>2</sup>/m. ( 0.0016 m<sup>2</sup>/m.)

$M_{Ed} = 63.3435$  kN-m.

$M_{Rd} = 530.7965$  kN-m.

$RatM = M_{Ed} / M_{Rd} = 0.119 < 1.0 \rightarrow O.K!$

=====  
 [[[\*]]] SLAB CHECKING MAXIMUM RESULT DATA : DOMAIN Fondazione, Dir 2.  
 =====

- Information of Parameters.

Elem No. : 289

LCB No. : 41

Materials :  $f_{ck} = 30000.0000$  KPa.

$f_y = 450000.0000$  KPa.

Thickness : 1.0000 m.

Covering : dB = 0.0400 m.

dT = 0.0400 m.

- Information of Design.

$\gamma_s = 1.150$  (for Reinforcement)

$f_{yd} = f_y / \gamma_s = 391304.3478$  KPa.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale</b>	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

$b = 1.0 \text{ m. (by Unit Length)}$ .  
 $d = 0.9600 \text{ m.}$   
 $As_{use} = 0.0016 \text{ m}^2/\text{m. ( } 0.0016 \text{ m}^2/\text{m.)}$   
 $M_{Rd} = As_{use} \cdot (0.9 \cdot d \cdot f_{yd}) = 530.7965 \text{ kN-m.}$

- Information of Moments and Result.

Rein. Bar : P20 @200  
 $As_{req} = 0.0016 \text{ m}^2/\text{m. ( } 0.0016 \text{ m}^2/\text{m.)}$   
 $M_{Ed} = 92.2121 \text{ kN-m.}$   
 $M_{Rd} = 530.7965 \text{ kN-m.}$   
 $RatM = M_{Ed} / M_{Rd} = 0.174 < 1.0 \text{ ---> O.K!}$

- Information of Parameters.

Elem No. : 289  
LCB No. : 40  
Materials :  $f_{ck} = 30000.0000 \text{ KPa.}$   
 $f_y = 450000.0000 \text{ KPa.}$   
Thickness : 1.0000 m.  
Covering :  $d_B = 0.0400 \text{ m.}$   
 $d_T = 0.0400 \text{ m.}$

- Information of Design.

$\gamma_{s} = 1.150 \text{ (for Reinforcement)}$   
 $f_{yd} = f_y / \gamma_{s} = 391304.3478 \text{ KPa.}$   
 $b = 1.0 \text{ m. (by Unit Length)}$ .  
 $d = 0.9600 \text{ m.}$   
 $As_{use} = 0.0016 \text{ m}^2/\text{m. ( } 0.0016 \text{ m}^2/\text{m.)}$   
 $M_{Rd} = As_{use} \cdot (0.9 \cdot d \cdot f_{yd}) = 530.7965 \text{ kN-m.}$

- Information of Moments and Result.

Rein. Bar : P20 @200  
 $As_{req} = 0.0016 \text{ m}^2/\text{m. ( } 0.0016 \text{ m}^2/\text{m.)}$   
 $M_{Ed} = 118.7531 \text{ kN-m.}$   
 $M_{Rd} = 530.7965 \text{ kN-m.}$   
 $RatM = M_{Ed} / M_{Rd} = 0.224 < 1.0 \text{ ---> O.K!}$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### Verifiche della soletta di copertura (parcheggi)

=====

[[[\*]]] SLAB CHECKING MAXIMUM RESULT DATA : DOMAIN Solai, Dir 1.

=====

- Information of Parameters.

Elem No. : 30986  
 LCB No. : 13+  
 Materials : fck = 30000.0000 KPa.  
               fy = 450000.0000 KPa.  
 Thickness : 0.2000 m.  
 Covering : dB = 0.0300 m.  
               dT = 0.0300 m.

- Information of Design.

gamma\_s = 1.150 (for Reinforcement)  
 fyd = fy / gamma\_s = 391304.3478 KPa.  
 b = 1.0 m. (by Unit Length).  
 d = 0.1700 m.  
 As\_use = 0.0016 m<sup>2</sup>/m. ( 0.0016 m<sup>2</sup>/m.)  
 M\_Rd = As\_use\*(0.9\*d\*fyd) = 93.9952 kN-m.

- Information of Moments and Result.

Rein. Bar : P20 @200  
 As\_req = 0.0003 m<sup>2</sup>/m. ( 0.0003 m<sup>2</sup>/m.)  
 M\_Ed = 8.7832 kN-m.  
 M\_Rd = 93.9952 kN-m.  
 RatM = M\_Ed / M\_Rd = 0.093 < 1.0 ---> O.K !

- Information of Parameters.

Elem No. : 31020  
 LCB No. : 13+  
 Materials : fck = 30000.0000 KPa.  
               fy = 450000.0000 KPa.  
 Thickness : 0.2000 m.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale		<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Covering : dB = 0.0300 m.

dT = 0.0300 m.

- Information of Design.

$\gamma_s = 1.150$  (for Reinforcement)

$f_{yd} = f_y / \gamma_s = 391304.3478$  KPa.

$b = 1.0$  m. (by Unit Length).

$d = 0.1700$  m.

$A_{s\_use} = 0.0016$  m<sup>2</sup>/m. ( 0.0016 m<sup>2</sup>/m.)

$M_{Rd} = A_{s\_use} \cdot (0.9 \cdot d \cdot f_{yd}) = 93.9952$  kN-m.

- Information of Moments and Result.

Rein. Bar : P20 @200

$A_{s\_req} = 0.0003$  m<sup>2</sup>/m. ( 0.0003 m<sup>2</sup>/m.)

$M_{Ed} = 20.4875$  kN-m.

$M_{Rd} = 93.9952$  kN-m.

$RatM = M_{Ed} / M_{Rd} = 0.218 < 1.0 \rightarrow O.K!$

=====  
 [[[\*]]] SLAB CHECKING MAXIMUM RESULT DATA : DOMAIN Solaio, Dir 2.  
 =====

- Information of Parameters.

Elem No. : 30996

LCB No. : 13+

Materials : fck = 30000.0000 KPa.

$f_y = 450000.0000$  KPa.

Thickness : 0.2000 m.

Covering : dB = 0.0300 m.

dT = 0.0300 m.

- Information of Design.

$\gamma_s = 1.150$  (for Reinforcement)

$f_{yd} = f_y / \gamma_s = 391304.3478$  KPa.

$b = 1.0$  m. (by Unit Length).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale</b>	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

$$d = 0.1700 \text{ m.}$$

$$As_{use} = 0.0016 \text{ m}^2/\text{m.} \quad ( \quad 0.0016 \text{ m}^2/\text{m.} )$$

$$M_{Rd} = As_{use} \cdot (0.9 \cdot d \cdot f_{yd}) = 93.9952 \text{ kN-m.}$$

- Information of Moments and Result.

Rein. Bar : P20 @200

$$As_{req} = 0.0003 \text{ m}^2/\text{m.} \quad ( \quad 0.0003 \text{ m}^2/\text{m.} )$$

$$M_{Ed} = 11.6670 \text{ kN-m.}$$

$$M_{Rd} = 93.9952 \text{ kN-m.}$$

$$RatM = M_{Ed} / M_{Rd} = 0.124 < 1.0 \text{ ---> O.K!}$$

- Information of Parameters.

Elem No. : 31010

LCB No. : 13+

Materials : fck = 30000.0000 KPa.

$$f_y = 450000.0000 \text{ KPa.}$$

Thickness : 0.2000 m.

Covering : dB = 0.0300 m.

$$dT = 0.0300 \text{ m.}$$

- Information of Design.

$\gamma_{s}$  = 1.150 (for Reinforcement)

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{s} = 391304.3478 \text{ KPa.}$$

b = 1.0 m. (by Unit Length).

$$d = 0.1700 \text{ m.}$$

$$As_{use} = 0.0016 \text{ m}^2/\text{m.} \quad ( \quad 0.0016 \text{ m}^2/\text{m.} )$$

$$M_{Rd} = As_{use} \cdot (0.9 \cdot d \cdot f_{yd}) = 93.9952 \text{ kN-m.}$$

- Information of Moments and Result.

Rein. Bar : P20 @200

$$As_{req} = 0.0003 \text{ m}^2/\text{m.} \quad ( \quad 0.0003 \text{ m}^2/\text{m.} )$$

$$M_{Ed} = 6.2417 \text{ kN-m.}$$

$$M_{Rd} = 93.9952 \text{ kN-m.}$$

$$RatM = M_{Ed} / M_{Rd} = 0.066 < 1.0 \text{ ---> O.K!}$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

### Verifiche dei setti verticali (parcheggi)

=====

[[[\*]]] MESHED WALL CHECKING MAXIMUM RESULT DATA : DOMAIN 4-Setto verifica. (Horizontal)

=====

- Information of Parameters.

Elem No. : 56271  
 LCB No. : 35  
 Materials : fck = 30000.0000 KPa.  
               fy = 450000.0000 KPa.  
 Thickness : 0.5000 m.  
 Covering : Dw = 0.0300 m.

- Information of Design.

gamma\_c = 1.500 (for Concrete)  
 gamma\_s = 1.150 (for Reinforcement)  
 fcd = fck / gamma\_c = 20000.0000 KPa.  
 fyd = fy / gamma\_s = 391304.3478 KPa.  
 Nu = 0.5000 (fck <= 70MPa)  
 Sig\_Edx = -176.6484 KPa.  
 Sig\_Edy = -185.6983 KPa.  
 Tau\_Edxy = -485.9202 KPa.

(Sig\_Edy in Tension or Sig\_Edx\*Sig\_Edy <= Tau\_Edxy^2 --> Rebar Required!)

ftdx = |Tau\_Edxy| - Sig\_Edx = 662.5686 KPa.  
 ftdy = |Tau\_Edxy| - Sig\_Edy = 671.6185 KPa.

ftdx = 662.5686 KPa.  
 ftdy = 671.6185 KPa.  
 Sig\_cd = 2\*|Tau\_Edxy| = 971.8404 KPa.

rhoy\_req = max(ftdy/fyd, 0.004) = 0.004  
 rhox\_req = max(ftdx/fyd, 0.001, 0.25\*rhoy\_req) = 0.002

b = 1.0 m. (by Unit Length).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

$d = 0.4700 \text{ m.}$

$Asx\_Req = 0.0008 \text{ m}^2/\text{m.} \quad ( \quad 0.0008 \text{ m}^2/\text{m.})$

$Asy\_Req = 0.0019 \text{ m}^2/\text{m.} \quad ( \quad 0.0019 \text{ m}^2/\text{m.})$

$Asx\_use = 0.0013 \text{ m}^2/\text{m.} \quad ( \quad 0.0013 \text{ m}^2/\text{m.})$

$Asy\_use = 0.0013 \text{ m}^2/\text{m.} \quad ( \quad 0.0013 \text{ m}^2/\text{m.})$

$ftnx = Asx\_use/(b*d)*fyd = 1045.6984 \text{ KPa.}$

$ftny = Asy\_use/(b*d)*fyd = 1045.6984 \text{ KPa.}$

- Information of Result.

Rein. Bar\_x : P20 @250 (Hor.)

Rein. Bar\_y : P20 @250 (Ver.)

$Rat\_x = f_{tdx}/ftnx = 0.634$

$Rat\_y = f_{tdy}/ftny = 0.642$

$Rat\_cd = Sig\_cd/(Nu*fcd) = 0.097$

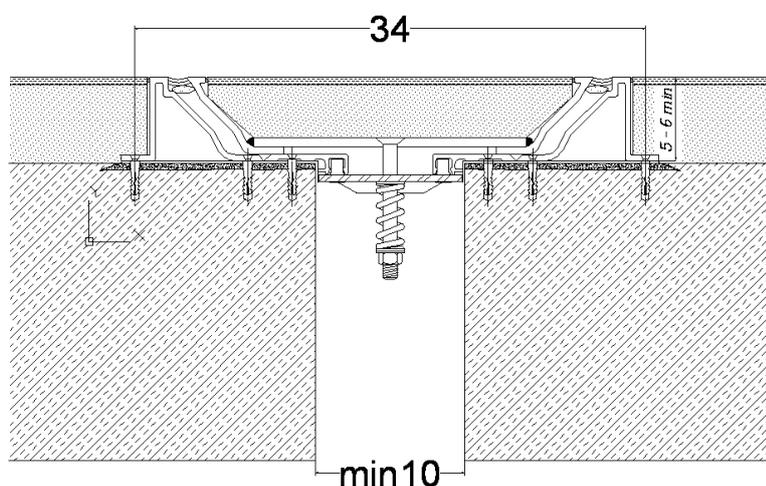
$Rat = Rat\_x = 0.634 < 1.0 \text{ ---> O.K!}$

## 8. VERIFICHE DEL GIUNTO TECNICO

Il giunto tecnico interposto tra i diversi corpi di fabbrica e tra questi e le paratie in c.a. svolge diverse funzioni tra cui anche quella di giunto antisismico. Il suo dimensionamento scaturisce da diverse considerazioni alcune delle quali esulano dagli aspetti prettamente afferenti al calcolo strutturale.

La tipologia del giunto assunta come riferimento è quella rappresentata nella seguente figura tratta da uno dei cataloghi tecnici messi a disposizione dai diversi produttori. Lo specifico elemento strutturale può in ogni caso essere sostituito da altri che garantiscono le stesse prestazioni.

Il giunto esaminato, a fronte di un impatto in superficie relativamente modesto (il giunto non si evidenzia per la sua intera larghezza ma solo per le due strisce laterali) garantisce al contempo la possibilità di adeguati spostamenti relativi tra i corpi di fabbrica in cui s'interpone.



Oltre ad assicurare gli spostamenti risultanti dal calcolo, nei casi in cui si vuole mantenere l'isolamento strutturale tra gli edifici in c.a. e le paratie preposte al sostegno del terreno e dei manufatti ubicati oltre il limite delle aree da edificare, il giunto utilizzato è capace di garantire quegli spostamenti che s'imporrebbero come effetto locale.

Dalle analisi eseguite risultano i seguenti spostamenti per i corpi di fabbrica:

Corpi di fabbrica - Spostamenti massimi (mm)		
Corpo di fabbrica	Sisma SLV	Temperatura
1	9	3.5
2	3.5	2.3
3	6	1.5
4	6	2.6
5	3.5	2
6	3.5	1
7	3.5	2
8	6	2.3
9	7	1.7

Paratie - Spostamenti massimi (m)		
Paratia	SLU – Fase statica	SLV – Fase sismica
Corpi di fabbrica 2-3-4	1.6	31.5
Corpi di fabbrica 1-2 (verso rotatoria 1)	1.5	19
Corpi di fabbrica 5-6 e fond. arcade	(Spinta nulla)	3.6

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Con i valori precedentemente estrapolati dai vari modelli di calcolo si può ricavare il massimo spostamento relativo tra i diversi manufatti. Considerando che gli spostamenti di SLV relativi agli edifici sono quelli calcolati a partire dallo spettro inelastico ( $q=3,3$ ), con buona approssimazione si può porre:

$$S_{max} = (31.5 + 6 \times 3.3 + 2.6) = 53.9 \text{ mm} < 100 \text{ mm.}$$

Essendo la massima altezza dei diversi corpi di fabbrica pari a circa 7 metri le NTC08 valutano, in via approssimata, 70 mm il varco del giunto qualora si ponga, a vantaggio di sicurezza,  $\frac{S_{SLV}}{0.5g} = 1$ .

In base agli spostamenti calcolati il giunto proposto in precedenza consente un'escursione sufficiente anche per garantire contro il martellamento tra edifici attigui.

## 9. AFFIDABILITA' DEL MODELLO DI CALCOLO ADOPERATO

### 9.1 INFORMAZIONI GENERALI SULL'ELABORAZIONE

A valle dell'esposizione dei risultati si riportano informazioni generali riguardanti l'esame ed i controlli svolti sui risultati ed una valutazione complessiva dell'elaborazione dal punto di vista del corretto comportamento del modello.

Un primo controllo ha riguardato la congruenza e l'accettabilità delle deformate strutturali conseguenti sia al singolo caso di carico che alle varie combinazioni di carico considerate. Il controllo delle deformate conseguenti ai singoli casi di carico ha consentito, in certa misura, di validare le deformate relative alle combinazioni di carico. Le prime infatti si presentano di più semplice e più immediata validazione derivando dall'applicazione di carichi immediatamente confrontabili e gestibili.

Si è quindi, per ogni caso di carico, verificata la congruenza e l'accettabilità dei diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione verificando che gli stessi si presentassero con l'andamento tipico attinente agli elementi strutturali di riferimento. L'andamento delle caratteristiche di sollecitazione è stato quindi confrontato con schemi grossolani tracciabili a mano; per gli elementi a maggiore significatività l'andamento del momento principale, del taglio e dello sforzo normale, sono stati confrontati, per i carichi più significativi, con valori schematici di larga massima derivanti dall'applicazione della teoria delle linee di influenza.

Tutti i responsi dati come output dai vari solutori sono stati sottoposti a verifica al fine di controllare l'assenza di segnalazioni che potessero in qualche misura inficiare l'attendibilità dell'analisi strutturale eseguita.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 9.2 GIUDIZIO SULL’AFFIDABILITA’ DEI RISULTATI OTTENUTI

I risultati ottenuti dalla risoluzione matematica del modello di calcolo presentato nelle precedenti pagine della presente relazione si ritengono, a parere dello scrivente, pienamente esaustivi ed accettabili per gli scopi prefissi.

I principali valori numerici ottenuti si rivelano comparabili con altre analisi eseguite con diverse metodologie di calcolo e pertanto possono considerarsi attendibili.

Il percorso progettuale svolto per via automatica è stato sempre controllato da una parallela analisi approssimata, svolta applicando protocolli progettuali tradizionali che hanno rassicurato sulla correttezza della procedura automatica.

La qualità del modello è stata inoltre saggiata applicando diversi metodi di verifica auto referenziati considerando sia il complesso strutturale sia singole membrature.

Sono state inoltre eseguiti tutti i controlli atti ad impedire che il modello strutturale venisse affetto dai più comuni errori di modellazione quali: sovrapposizioni nodali, duplicazioni congenite di elementi finiti coincidenti, labilità interne, equilibri instabili delle soluzioni numeriche.

Infine, a valle dell’analisi, sono stati eseguiti dei controlli sommari dell’equilibrio globale del complesso strutturale confrontando il peso complessivo dell’intero organismo strutturale, questi valutato sommariamente con metodi tradizionali, con le reazioni vincolari fornite dal modello numerico agli elementi finiti.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Corpo di fabbrica 4 – Relazione di calcolo strutturale	<i>Codice documento</i> CD0144_F0F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 10. TABULATI DI CALCOLO

Al fine di non appesantire la lettura della presente relazione, i tabulati di calcolo che descrivono sia l'input che l'output fornito ed ottenuto dal software utilizzato sono riportati come allegati; nel presente fascicolo si sono riportati i soli risultati ritenuti a maggiore significatività ovvero che sintetizzano quanto rilevabile dalla consultazione dei suddetti allegati.

Il modello di calcolo utilizzato per analizzare le strutture dell'opera in progetto ha imposto che i tabulati di calcolo risultassero particolarmente corposi in conseguenza della mole di dati che è necessario trattare. Ritenendo inutile riprodurre in formato cartaceo tali tabulati, (che sono notoriamente consultati solo da esperti del settore ed in ambiti operativi certamente attrezzati con adeguati strumenti informatici) si è preferito riprodurli solo su supporto informatico in formato *pdf* immediatamente consultabili con qualsiasi applicativo preposto alla lettura di tale codifica di scrittura. La scelta operata, oltre ad avere meriti ecologici, consente anche una più agevole consultazione dei dati d'interesse.