

# PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



## PROGETTO DEFINITIVO

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

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

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

<p><i>Unità Funzionale</i>      OPERA DI ATTRAVERSAMENTO <i>Tipo di sistema</i>        SOVRASTRUTTURE <i>Raggruppamento di opere/attività</i>      STRUTTURE TERMINALI <i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i>      Struttura Terminale Calabria <i>Titolo del documento</i>      Relazione tecnica specialistica, Calabria</p>	<p><b>PS0156 F0</b></p>
---	-------------------------

CODICE      C G 1 0 0 2   P   R X   D   P   S V   S 8   V C   0 0   0 0   0 0   0 2   F 0

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20-06-2011	EMISSIONE FINALE	SP	SM	MCo/LSJ



## INDICE

INDICE.....	3
1 Relazione di sintesi.....	7
1.1 Introduzione.....	7
1.2 Scopo.....	7
1.3 Materiali.....	7
1.4 Analisi Strutturale.....	8
1.5 Descrizione generale.....	8
1.6 Cassone in acciaio.....	10
1.7 Controventi in acciaio.....	12
1.8 Travi longitudinali.....	12
1.9 Diaframmi.....	13
1.10 Soletta in calcestruzzo armato.....	13
2 Introduzione.....	14
2.1 Scopo.....	15
2.2 Struttura della relazione.....	15
2.3 Riferimenti.....	16
2.3.1 Specifiche di progettazione.....	16
2.3.2 Norme di progetto.....	16
2.3.3 Specifiche dei materiali.....	17
2.3.4 Disegni.....	17
2.3.5 Relazioni complementari.....	19
3 Nomenclatura.....	19
4 Stati Limite.....	20
4.1 Stati Limite di Esercizio.....	20
4.2 Stati Limite Ultimi.....	21
4.3 Stati Limite a Fatica.....	22
5 Materiali.....	23
5.1 Calcestruzzo ed armatura.....	23
5.1.1 Calcestruzzo.....	23
5.1.2 Armatura.....	23
5.2 Acciai strutturali.....	23

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria	<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

5.3	Bulloni ad Alta Resistenza .....	23
5.4	Connettori a taglio .....	23
5.5	Materiali di consumo per la saldatura .....	24
5.6	Acciaio inossidabile .....	24
6	Analisi strutturale .....	24
6.1	Introduzione .....	24
6.2	Descrizione del FEM Semi- Locale .....	25
6.2.1	Sistema di Riferimento Globale .....	27
6.2.2	Geometria .....	28
6.2.3	Materiali e ipotesi di base .....	31
6.2.4	Numerazione di nodi ed elementi .....	31
6.2.5	Condizioni ai margini e di supporto .....	32
6.2.6	Interfaccia Modello Globale – Semi-Locale .....	34
6.3	Rigidità, Masse e Pesì .....	36
6.3.1	Caratteristiche trasversali .....	36
6.3.2	Masse e Pesì .....	36
6.4	Fasi costruttive .....	36
6.5	Carichi .....	37
6.5.1	Carichi permanenti (PP e PN) .....	38
6.5.2	Azioni variabili indotte dall'uomo (QL) .....	38
6.5.2.1	Carichi stradali .....	39
6.5.2.2	Carico ferroviario .....	41
6.5.3	Carico da vento .....	46
6.5.3.1	Vento statico .....	46
6.5.4	Carichi termici .....	47
6.5.5	Carichi sismici .....	47
6.6	Combinazioni di carichi .....	47
6.7	Analisi modale .....	47
6.8	Analisi Sismica .....	48
6.8.1	Analisi dello Spettro di Risposta .....	48
6.9	Risultati ottenuti dal calcolo .....	48
7	Verifica .....	49
7.1	Cassone in acciaio .....	51

7.2	Controvento trasversale in acciaio .....	51
7.3	Travi longitudinali.....	51
7.4	Diaframmi .....	52
7.5	Soletta dell'impalcato in calcestruzzo armato.....	52
7.6	Spostamenti massimi .....	52
7.6.1	Impalcato: Verifica della freccia.....	53
7.7	Fatica.....	54
8	Sommario .....	54



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria	<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

# 1 Relazione di sintesi

## 1.1 Introduzione

Questa relazione descrive la progettazione dei seguenti elementi strutturali delle strutture terminali:

- Cassone in acciaio
- Controventi trasversali
- Travi longitudinali
- Diaframmi trasversali
- Soletta in calcestruzzo armato

La progettazione è basata sulla progettazione di gara, ma alcune variazioni sono state introdotte rispetto a questa:

- La larghezza trasversale è stata incrementata da 59708 mm a 69870 mm, con un incremento ugualmente distribuito lungo le 2 corsie di servizio per accogliere l'ampliamento dell'impalcato sospeso del ponte all'interno della facciata della Struttura Terminale.
- La pendenza trasversale dell'impalcato del 2 % verso l'esterno.

## 1.2 Scopo

Questa relazione descrive la progettazione degli elementi strutturali della struttura terminale, lato Calabria.

La relazione tecnico specialistica riassume la progettazione, che è poi trattata in dettaglio nel report di calcolo - Elementi Principali (Report CG1002-P-CL-D-P-SV-S8-00000000-01).

## 1.3 Materiali

I componenti strutturali laminati e le sezioni laminate a caldo comprendenti il sistema di controventatura sono realizzati con acciaio strutturale di grado S355 ML.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria	<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Per la realizzazione della soletta in calcestruzzo armato e delle predalles è utilizzato del calcestruzzo di Grado C35/45 (in accordo con EN 206-1). La dimensione massima dell'aggregato è 25 mm per la soletta e di 10 mm per le predalles.

Le barre di armature sono realizzate in acciaio Grado B450C in accordo con EN 10080.

## 1.4 Analisi Strutturale

Le strutture terminali sono modellate e analizzate mediante l'utilizzo del programma di calcolo SAP2000 (Structural Analysis Program), mentre il modello globale del ponte di Messina è stato analizzato per mezzo del programma di calcolo IBDAS (Integrated Bridge Design and Analysis System), di proprietà della COWI.

Le reazioni agli appoggi per alcuni carichi fissi selezionati, calcolate con il modello IBDAS, sono state applicate nel modello SAP 2000 per evidenziare l'interazione tra le strutture terminali ed il ponte sospeso.

Le reazioni agli appoggi derivanti dal viadotto di accesso sono state applicate nel modello SAP 2000 per tener conto dell'interazione tra le due strutture. Dal momento che la configurazione degli appoggi del viadotto è stata modificata in una fase successiva e che le reazioni non erano state ricevute al momento della compilazione della relazione, le reazioni del viadotto sono state stimate assumendole uguali alle reazioni provenienti dal viadotto Pantano, lato Sicilia.

L'analisi strutturale tiene conto delle diverse fasi costruttive delle strutture terminali, basate sulle predalles prefabbricate che agiscono da cassaforme per il getto in opera della soletta dell'impalcato in calcestruzzo.

Notare che le forze sismiche non sono dimensionanti per gli elementi strutturali dell'impalcato, quindi i calcoli sono stati eseguiti senza tener conto delle combinazioni sismiche.

## 1.5 Descrizione generale

Le strutture terminali sono le infrastrutture di accesso che connettono il ponte sospeso con l'esistente sistema stradale e ferroviario in entrambi i lati.

La struttura terminale lato Calabria è collegata al ponte sospeso e ad un viadotto di accesso.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria	<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Il ponte sospeso appoggia sulla struttura terminale per mezzo di alcuni apparecchi di appoggio. Un' apertura nella struttura terminale è realizzata in corrispondenza del cassone ferroviario che penetra maggiormente nella Struttura Terminale rispetto alla strada.

Anche i viadotti appoggiano su apparecchi di appoggio e sia per questi che per il ponte sospeso, nella struttura terminale è prevista l'installazione di larghi giunti di espansione, che all'interfaccia con l'impalcato sospeso presentano una espansione di  $\pm 2000$  mm.

Le strutture terminali sono delle strutture miste, consistenti in un impalcato con struttura scatolare in acciaio. In pianta le dimensioni delle strutture terminali sono 60.870 m e 71.200 m in larghezza e lunghezza rispettivamente; le altezze invece variano tra 2.810 m all'attacco con il ponte sospeso e 10.800 m all'attacco con la facciata. La soletta in cemento armato ha uno spessore che varia da 300 mm a 400 mm inclusi 50 mm per le predalles.

L'impalcato sostiene 2 linee ferroviarie e 3 corsie stradali nei due sensi di marcia, (di cui una è la corsia di emergenza) e 2 corsie di servizio.

La corsia di servizio è posizionata al di fuori della carreggiata stradale, per tutta la lunghezza dell'impalcato del ponte e delle strutture terminali. Essa è punto di accesso primario per l'ispezione e mantenimento.

Lungo la ferrovia una piattaforma è posizionata su entrambi i lati del cassone ferroviario nell'eventuale necessità di evacuare la zona. La piattaforma è continua lungo tutta la lunghezza della struttura terminale.

Le guardavie sono continue lungo tutta la lunghezza del ponte e rappresentano una barriera di sicurezza nei confronti del traffico stradale. Lo schermo frangivento sulla corsia di servizio riduce la velocità del vento attraverso il ponte.

Entrambe le strutture terminali si estendono lungo una sola campata, con uno sbalzo di 19.600 m nelle zone terminali. Sono connesse al sistema dei cavi di sospensione tramite il pendino di tie-down, che tramite un' apertura attraverso l'impalcato delle strutture terminali, è ancorato alla sottostruttura.

Gli appoggi sulle sottostrutture supportano le sovrastrutture verticalmente e trasversalmente, mentre altri appoggi supportano l'impalcato del ponte sospeso e dei viadotti di accesso.

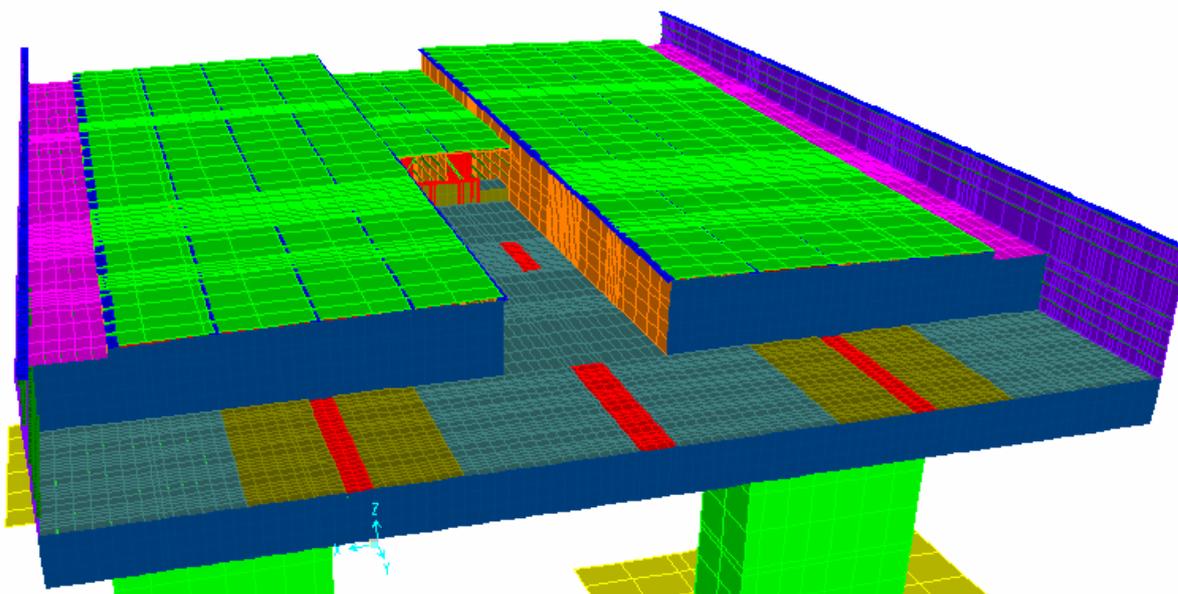
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria	<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

La struttura terminale è provvista di passaggi di ispezione e punti di accesso per permettere la manutenzione e l'ispezione dei componenti strutturali.

Le strutture terminali sono rivestite esternamente con un vernice protettiva contro la corrosione mentre le superfici interne, che sono protette dal sistema di deumidificazione, sono rivestite con un singolo strato di primer.

I componenti principali sono descritti nei seguenti paragrafi.

Qui sotto, in Figura 1-1, è riportato il layout generale della struttura terminale.



*Figura 1-1: Vista isometrica - Sovrastruttura – Layout generale*

## **1.6 Cassone in acciaio**

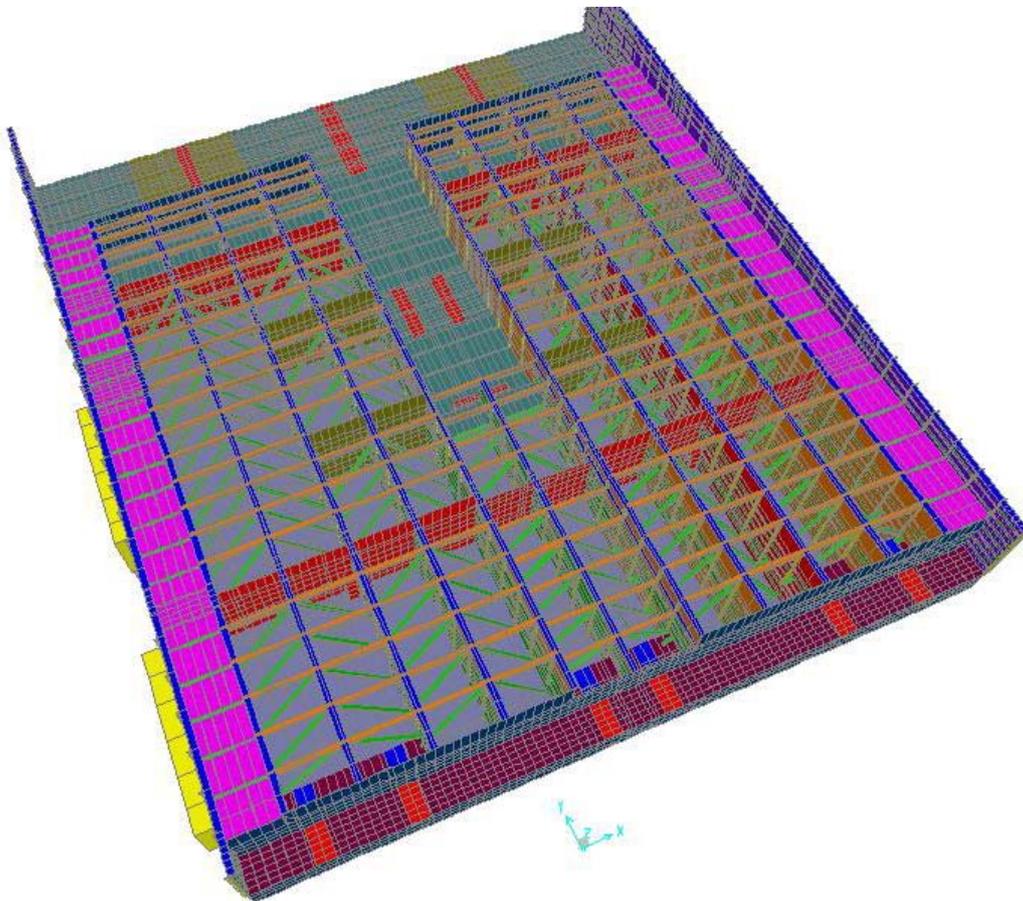
Il cassone in acciaio è composto da travi a sezione aperta, chiuse da piastre in acciaio (tipicamente dello spessore di 10 mm), che sono provviste di appositi irrigidimenti per assicurarne la stabilità. Lo spessore delle piastre di chiusura è incrementato in corrispondenza degli apparecchi di appoggio, dove sono presenti concentrazioni di carico più elevate.

Alle travi sono collegati dei profilati ad I (tipicamente IPE600, HE500B e HE600A) che sono anche utilizzati come mezze sezioni comprendenti una griglia verticale.

Nella piattabanda inferiore, che presenta degli irrigidimenti nella direzione longitudinale, i profilati sopra descritti connettono la griglia verticale nella direzione trasversale.

Nella parte superiore della struttura, la griglia verticale è connessa sia dai profilati HEB500 sia dai piatti in acciaio (300×40 THK) nella direzione trasversale e dai piatti in acciaio (500×40 THK) nella direzione longitudinale. Questi elementi portano la soletta in calcestruzzo e sono dotati di connettori a taglio.

Il layout è mostrato in figura 1-2:



*Figura 1-2: Vista isometrica - Layout cassone in acciaio*

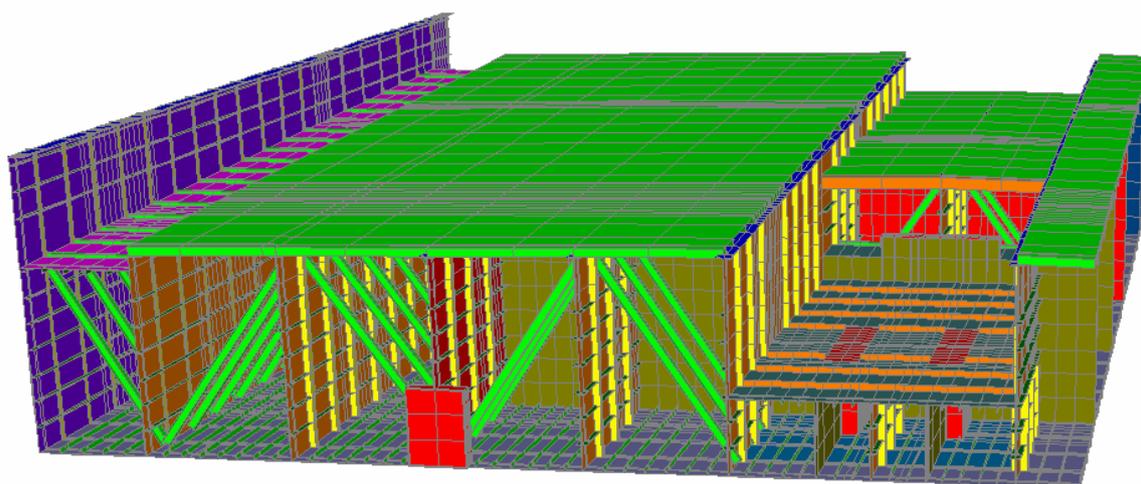
Inizialmente il cassone in acciaio porta il peso proprio ed il calcestruzzo gettato in opera, mentre la collaborazione del calcestruzzo avviene solo dopo che questo ha fatto presa ed ha raggiunto la resistenza finale.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria		<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Le condizioni di carico dimensionanti (Ref. CG1002-P-CL-D-P-SV-S8-00-00-00-00-01 \_ Design Report Main elements) per gli elementi in acciaio è STR9\_5. Il coefficiente di utilizzazione più elevato è 0.40.

## 1.7 Controventi in acciaio

Per irrigidire la struttura in acciaio, in direzione trasversale sono applicati dei controventi. I controventi sono realizzati per mezzo di profilati HE300B come mostrato in Figura 1-3.



*Figura 1-3: Vista isometrica - Controventi in acciaio*

Le condizioni di carico dimensionanti per i controventi sono (Ref. CG1002-P-CL-D-P-SV-S8-00-00-00-00-01 Design Report Main elements) STR2\_45. Il coefficiente di utilizzazione più elevato è 0.72.

## 1.8 Travi longitudinali

11 travi corrono longitudinalmente lungo l'intera lunghezza delle strutture terminali. Queste hanno tipicamente uno spessore di 15 mm. Le travi principali sopra gli appoggi che sostengono la superstruttura hanno un incremento di spessore,  $t = 35$  mm. Le travi dividono la struttura terminale in compartimenti ma delle aperture attraverso di esse sono previste in modo tale da rendere accessibile trasversalmente la struttura.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria	<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Le travi sono rappresentate nelle figura riportata sopra.

Le travi longitudinali sono irrigidite per assicurare la stabilita ed il più elevato coefficiente di utilizzazione è 0.88. La combinazione di carico dimensionante è (Ref. CG1002-P-CL-D-P-SV-S8-00-00-00-00-01 Design Report Main elements) STR10\_61.

## 1.9 Diaframmi

I diaframmi trasversali ( $t = 40 \text{ mm}$ ) attraversano la struttura terminale sopra gli appoggi che sostengono la sovrastruttura. I diaframmi suddividono la struttura terminale in compartimenti, e delle aperture sono previste attraverso i diaframmi in modo da rendere accessibile la struttura longitudinalmente.

Dei diaframmi supplementari ( $t = 15 \text{ mm}$  and  $25 \text{ mm}$ ) sono applicati in entrambi i lati dell'apertura della struttura terminale nella quale si innesta il cassone ferroviario. Questi diaframmi sono presenti solo trasversalmente. Essi sono rappresentati nelle figure riportate sopra.

I diaframmi sono irrigiditi per assicurare la stabilità ed il più elevato fattore di utilizzazione calcolato è 0.3. La combinazione di carico dimensionante è (Ref. CG1002-P-CL-D-P-SV-S8-00-00-00-00-01 Design Report Main elements) STR10\_37.

## 1.10 Soletta in calcestruzzo armato

La soletta in calcestruzzo armato ha uno spessore che varia tra 300 mm e 400 mm inclusi 50 mm di predalles (elementi prefabbricati) e con la parte di maggior spessore rivolta verso le rotaie. Questa parte dell'impalcato non ha bisogno di essere asfaltata ed a livello della superficie stradale mantenendo una pendenza trasversale costante del 2% in modo da drenare l'acqua attraverso l'impalcato senza ostruzioni.

La superficie stradale presenta 110 mm di asfalto.

La sezione trasversale della soletta è mostrata in Figura 1-4.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria		<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

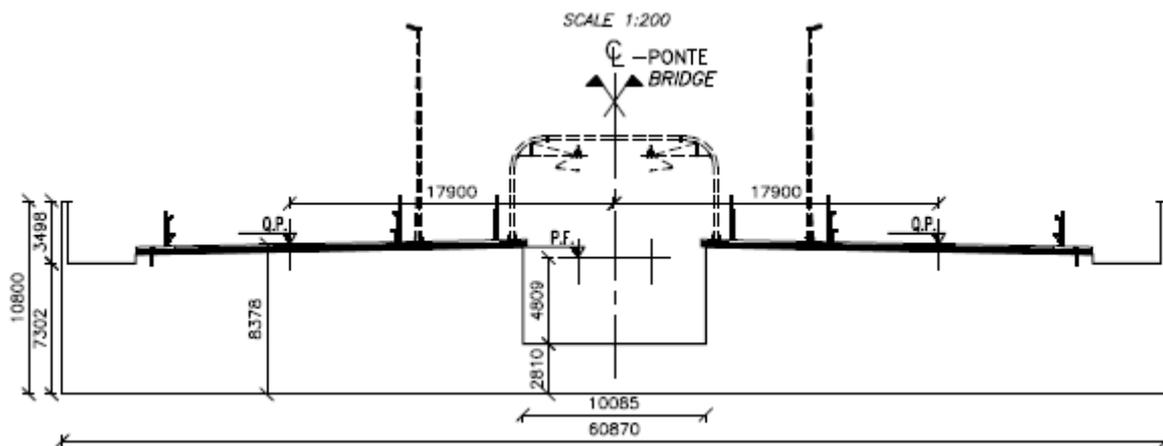


Figura 1-4: Sezione trasversale soletta

Le combinazioni di carico dimensionanti per la soletta in calcestruzzo armato sono SLU-STR2 per i carichi stradali e SLU-FERR-4 per i carichi ferroviari. I più elevati fattori di utilizzazione calcolati sono 0.81 per SLU-STR2 e 0.8 per FERR-4.

## 2 Introduzione

Questa relazione descrive la progettazione dei seguenti elementi strutturali delle strutture terminali:

- Cassone in acciaio
- Controventi trasversali
- Travi longitudinali
- Diaframmi trasversali
- Soletta in calcestruzzo armato

La progettazione è basata sul progettazione di gara, ma alcune variazioni sono state introdotte rispetto a questa:

- La larghezza trasversale è stata incrementata da 59708 mm a 69870 mm, con un incremento ugualmente distribuito lungo le 2 corsie di servizio per accogliere l'ampliamento dell'impalcato sospeso del ponte all'interno della facciata della Struttura Terminale.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria	<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

- La pendenza trasversale dell'impalcato del 2 % verso l'esterno.

## 2.1 Scopo

Questa relazione descrive la progettazione degli elementi strutturali della struttura terminale, lato Calabria.

La relazione tecnico specialistica riassume la progettazione, che è poi trattata in dettaglio nel report di calcolo (Report CG1002-P-CL-D-P-SV-S8-00000000-01).

## 2.2 Struttura della relazione

La relazione è costituita dalle seguenti sezioni:

- *Sezione 1* contenente l'executive summary con una breve descrizione della relazione.
- *Sezione 2* contenente un'introduzione ed un elenco del materiale di riferimento comprendente specifiche di progetto, norme di progetto, specifiche materiali, disegni di riferimento e relazioni complementari.
- *Sezione 3* contenente le definizioni dei termini che vengono più comunemente usati con riferimento a componenti particolari delle strutture terminali.
- *Sezione 4* contenente la descrizione di tre stati limite considerati nella progettazione della superstruttura delle strutture terminali, esercizio, integrità allo stato ultimo e strutturale e fatica;
- *Sezione 5* contenente la descrizione dei materiali usati nella progettazione e loro caratteristiche;
- *Sezione 6* contenente la descrizione dell'analisi strutturale e del modello usati per la progettazione della superstruttura delle strutture terminali ivi comprese le specifiche per la modellizzazione totale e locale;
- *Sezione 7* contenente un estratto delle verifiche di progettazione che sono state completate per i principali componenti strutturali.
- *Sezione 8* contenente un sommario delle verifiche di progettazione

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria		<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 2.3 Riferimenti

### 2.3.1 Specifiche di progettazione

GCG.F.04.01 “Engineering – Definitive and Detailed Design: Basis of Design and Expected Performance Levels,” Stretto di Messina, 2004 October 27.

GCG.F.05.03 “Design Development – Requirements and Guidelines,” Stretto di Messina, 2004 October 22.

GCG.G.03.02 “Structural Steel Works and Protective Coatings,” Stretto di Messina, 2004 July 30.

CG.10.00-P-RG-D-P-GE-00-00-00-00-02, “Manuale applicativo riferito ai fondamenti progettuali”

CG.10.00-P-RB-D-P-SB-A2-00-00-00-00-01, “Matrici equivalenti di rigidità per il sistema suolo-fondazioni”

CG.10.00-P-RB-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02, “Matrici equivalenti di rigidità e smorzamento per il sistema suolo-fondazioni”

### 2.3.2 Norme di progetto

NTC-08: DM14.1.2008 - “Norme tecniche per le costruzioni,” 2008 (NTC08).

EN 1993 Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings.

EN 1993 Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 1-5: Plated structural elements.

EN 1993 Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 1-8: Design of joints.

EN 1993 Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 1-9: Fatigue.

EN 1993 Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 1-10: Selection of steel for fracture toughness and through thickness properties.

EN 1993 Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 2: Steel Bridges.

EN 1998 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance.

Rete Ferroviaria Italia - Istruzione No. 44F “Verifiche a fatica dei ponti ferroviari”

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria	<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

### 2.3.3 Specifiche dei materiali

EN 10025-1:2004 Hot rolled products of structural steels – Part 1: General technical delivery conditions.

EN 10025-2:2004 Hot rolled products of structural steels – Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels.

EN 10025-3:2004 Hot-rolled products of structural steels – Part 3: Technical delivery conditions for normalized / normalized rolled weldable fine grain structural steels.

EN 10025-4:2004 Hot-rolled products of structural steels – Part 4: Technical delivery conditions for thermomechanical rolled weldable fine grain structural steels.

EN 10164:1993 Steel products with improved deformation properties perpendicular to the surface of the product – Technical delivery conditions.

EN ISO 898-1:2001 Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel – Part 1: Bolts, screws and studs (ISO 898-1:1999).

EN 20898-2:1994 Mechanical properties of fasteners – Part 2: Nuts with specified proof load values – coarse thread (ISO 898-2:1992).

UNI EN 14399:2005-3 High-strength structural bolting assemblies for preloading - Part 3: System HR - Hexagon bolt and nut assemblies

EN ISO 14555:1998 Welding-Arc stud welding of metallic materials. May 1995.

EN ISO 13918:1998 Welding-Studs and ceramic ferrules for arc stud welding-January 1997.

### 2.3.4 Disegni

<b>Sottostruttura terminale: lato Calabria</b>	
CG1002-P-AX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-03_0	Schema generale
CG1002-P-AX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-01_0	Disegni d'insieme
CG1002-P-BX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-01_0	<u>Pianta fondazione e sezioni</u>

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria		<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

CG1002-P-BX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-02_0	Carpenteria cemento armato <u>Pile</u> 1/2
CG1002-P-BX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-03_0	Carpenteria cemento armato Pile 2/2
CG1002-P-PX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-01_0	Armatura Pianta Fondazione 1/2
CG1002-P-WX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-01_0	Armatura Fondazione e Sezioni 1/3
CG1002-P-WX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-02_0	Armatura Fondazione e Sezioni 2/3
CG1002-P-WX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-06_0	Armatura Fondazione e Sezioni 3/3
CG1002-P-WX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-03_0	Armatura - Pile, Sezioni e Dettagli 1
CG1002-P-WX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-04_0	Armatura - Pile, Sezioni e Dettagli 2
CG1002-P-WX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-05_0	Armatura - Pile, Sezioni e Dettagli 3
CG1002-P-AX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-02_0	Opere provvisorie e jet grouting
<b>Superstruttura terminale: lato Calabria</b>	
CG1002-P-AXDPSV-S8-VC-00-00-00-01_0	Strutture Terminali, Calabria / Disposizione Generale
CG1002-P-AXDPSV-S8-VC-00-00-00-02_0	Strutture Terminali, Calabria / Impalcato, Pianta longitudinale e vista frontale
CG1002-P-AX-DP-SV-S8-VC-00-00-00-03_0	Strutture Terminali, Calabria / Strutture in acciaio 1
CG1002-P-AX-DP-SV-S8-VC-00-00-00-04_0	Strutture Terminali, Calabria / Strutture in acciaio 2
CG1002-P-AX-DP-SV-S8-VC-00-00-00-05_0	Strutture Terminali, Calabria / Strutture in acciaio 3
CG1002-P-AX-DP-SV-S8-VC-00-00-00-06_0	Strutture Terminali, Calabria / Strutture in acciaio 4
CG1002-P-AX-DP-SV-S8-VC-00-00-00-07_0	Strutture Terminali, Calabria / Strutture in acciaio 5
CG1002-P-AX-DP-SV-S8-VC-00-00-00-08_0	Strutture Terminali, Calabria / Strutture in acciaio 6
CG1002-P-AX-DP-SV-S8-VC-00-00-00-09_0	Strutture Terminali, Calabria / Carpenteria metallica, dettagli 1
CG1002-P-AX-DP-SV-S8-VC-00-00-00-10_0	Strutture Terminali, Calabria / Carpenteria metallica, dettagli 2
CG1002-P-AX-DP-SV-S8-VC-00-00-00-11_0	Strutture Terminali, Calabria / Piattaforma, dettagli
CG1002-P-AX-DP-SV-S8-VC-00-00-00-12_0	Strutture Terminali, Calabria / Impalcato, soletta in calcestruzzo armato

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria	<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

CG1002-P-AX-DP-SV-S8-VC-00-00-00-13_0	Strutture Terminali, Calabria / Disposizione degli appoggi e dei giunti d'espansione, pianta
---------------------------------------	--

### 2.3.5 Relazioni complementari

CG1000-P-RG-D-P-SV-00-00-00-00-01, "Modello globale IBDAS - Descrizione"

Documento COWI: A9055-NOT-3-001, "QL Road Traffic Loads", 20. Maggio 2010

Documento COWI: A9055-NOT-3-002, "QL Rail Traffic Loads", 20. Maggio 2010

COWI Document: A9055-NOT-3-003 "QL Load Combinations", 20. Maggio 2010

Relazione di progetto – Appoggi del ponte Doc. No.: CG1000-P-CL-D-P-SS-A0-AP-00-00-00-01

Relazione di progetto – Giunti d'espansione Doc. No.: CG1000-P-CL-D-P-SS-A0-AM-00-00-00-01

Specifiche prestazionali - Appoggi del ponte Doc. No.: CG1000-P-SP-D-P-SS-A0-AP-00-00-00-01

Specifiche prestazionali - Buffers Doc. No.: CG1000-P-SP-D-P-SS-A0-AM-00-00-00-01

Specifiche prestazionali - Giunti d'espansione, ferroviari Doc. No.: CG1000-P-SP-D-P-SS-A0-AM-00-00-00-02

Specifiche prestazionali - Giunti d'espansione, stradali Doc. No.: CG1000-P-SP-D-P-SS-A0-AM-00-00-00-03

## 3 Nomenclatura

La sezione descrive i termini comunemente usati nella presente relazione per fare riferimento ai vari componenti delle Strutture Terminali:

*Pila* – elementi verticali della sottostruttura terminale che vanno dall'estremità superiore della soletta della fondazione in calcestruzzo armato alla parte inferiore del traverso.

*Traverso* – la trave trasversale che collega le pile e sostiene gli appoggi della superstruttura della Struttura Terminale.

*Soletta di fondazione* - la fondazione diretta delle pile.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria		<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

*Muri dei diaframmi* - muri verticali di contenimento della zona di scavo per la fondazione della struttura terminale.

*Travi longitudinali* – le piastre longitudinali verticali all'interno della Struttura Terminale che collegano la parte alta a quella bassa.

*Diaframmi* – le piastre trasversali verticali all'interno della Struttura Terminale che collegano le facciate.

*Controventi trasversali* – i controventi trasversali in acciaio all'interno della Struttura Terminale che collegano le facciate.

*Predalles* – elementi prefabbricati in cemento armato usati per sostenere l'impalcato gettato in opera.

*Jack housing* – Spazio all'interno del traverso per ricevere i martinetti provvisori.

*Tie-down* – cavo del pendino di collegamento alla sottostruttura terminale.

*U.R.* – coefficiente di utilizzazione, vale a dire il rapporto tra domanda e capacità.

## 4 Stati Limite

Questa sezione descrive gli stati limite ed i corrispondenti requisiti di prestazione che determinano il dimensionamento dei componenti della struttura terminale secondo la progettazione di base PG0025 e NTC08. Le prestazioni dei componenti delle strutture terminali vengono verificate agli Stati Limite di Esercizio (1 e 2) agli Stati Limite Ultimi ed agli Stati Limite di Fatica.

### 4.1 Stati Limite di Esercizio

NTC08 Sezione 2.2.2 definisce i seguenti Stati Limite di Esercizio (SLS) da valutare in un progetto strutturale:

- Danno locale che può ridurre la durabilità della struttura.
- Spostamento o deformazioni che potrebbero limitare l'utilizzo della struttura, la sua efficienza ed il suo aspetto.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria	<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

- Spostamento o deformazioni che potrebbero compromettere l'efficienza e l'aspetto di elementi non strutturali, impianti e macchinari.
- Vibrazioni che potrebbero compromettere l'utilizzo della struttura.
- Danno da fatica che potrebbe compromettere la durabilità.
- Corrosione e/o eccessivo deterioramento dei materiali dovuti ad esposizione all'atmosfera.

La progettazione di base PG0025 Sezione 3.1 specifica i requisiti di prestazione previsti per la struttura a due livelli di esercizio o sotto carichi normali di utilizzo. I requisiti di prestazione SLS sono elencati in Tabella 4-1.

<b>Stato Limite</b>	<b>Requisito di Prestazione</b>
<b>SLS1</b>	<i>La percorribilità stradale e ferroviaria deve essere garantita.</i> <i>Assenza di danni strutturali.</i> <i>La struttura deve rimanere elastica e tutte le deformazioni devono essere reversibili.</i>
<b>SLS2</b>	<i>Come per SLS1 con l'eccezione che solo la percorribilità ferroviaria deve essere garantita.</i>

Tabella 4-1: Requisiti di prestazione SLS.

Gli SLS relativi a fatica vengono discussi al punto 4.3.

## 4.2 Stati Limite Ultimi

NTC08 Sezione 2.2.1 definisce i seguenti Stati Limite Ultimi (SLU) che devono essere valutati in un progetto strutturale:

- Perdita di equilibrio della struttura o parte di essa.
- Spostamento o deformazione eccessiva.
- Raggiungimento della capacità di resistenza massima di parti della struttura, giunti o fondazioni.
- Raggiungimento della capacità di resistenza massima della struttura nel suo complesso.
- Raggiungimento del meccanismo di collasso a terra.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria		<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

- Rottura di telai e giunti dovuta a fatica.
- Rottura di telai e giunti dovuta ad altri effetti correlati al tempo.
- Instabilità di parti della struttura o della struttura nel suo insieme.

Il progetto di base PG0025 Sezione 3.1 specifica i requisiti di prestazione della struttura nelle condizioni di carico da rottura o di carichi rari. I requisiti di prestazione sono elencati in Tabella 4-2.

<b>Stato Limite</b>	<b>Requisito di prestazione</b>
ULS	<i>E' consentita la perdita temporanea di esercizio.</i> <i>Il sistema strutturale principale deve mantenere la piena integrità.</i> <i>Il danno strutturale a componenti secondari può essere riparato con lavori di manutenzione straordinaria.</i>

Tabella 4-2: Requisiti di prestazione SLU.

Gli SLU a fatica sono discussi al punto 4.3.

### 4.3 Stati Limite a Fatica

NTC08 Sezioni 2.2.1 e 2.2.2 non fa distinzione tra gli stati limiti a fatica (SLF) e gli stati limite di esercizio e gli stati limite ultimi con conseguenze e requisiti di prestazione simili. Tale distinzione viene invece fatta in NTC08 Sezione 4.2.2.1 e nella presente relazione, in quanto i carichi e le combinazioni di carico usati per la verifica sono diversi così come diversi sono i modi con i quali gli elementi vengono verificati. NTC08 Sezioni 2.2.1 e 2.2.2 definisce i seguenti SLS e SLU che devono essere valutati in un progetto strutturale:

- Danni a fatica che potrebbero compromettere la durabilità (SLS).
- Rottura di telai e giunti dovuta a fatica (ULS).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria	<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

## 5 Materiali

Le caratteristiche meccaniche dei materiali da costruzione delle strutture terminali sono descritte in questa sezione.

### 5.1 Calcestruzzo ed armatura

#### 5.1.1 Calcestruzzo

Il calcestruzzo strutturale per la soletta dell'impalcato deve essere di grado C35/45 secondo EN 206-1:2001. La dimensione massima degli aggregati deve essere di 25 mm per la soletta e 10 mm per le predalles.

#### 5.1.2 Armatura

Le barre d'armatura devono essere in acciaio al carbonio, grado B450C (barre scanalate laminate a caldo di qualità saldabile e di elevata duttilità) secondo EN 10080.

### 5.2 Acciai strutturali

Le strutture terminali devono essere realizzate con acciai strutturali di grado S 355 ML, prodotte secondo EN 10025-4. Le caratteristiche meccaniche devono essere conformi a NTC08 Sezione 11.3.4.1.

### 5.3 Bulloni ad Alta Resistenza

I bulloni strutturali ad alta resistenza di grado 8.8, prodotti secondo EN ISO 898 vengono usati per i collegamenti di tutti i componenti non strutturali alle strutture terminali. Si assume che tali bulloni abbiano caratteristiche meccaniche conformi a NTC08 Sezione 11.3.4.6.1.

### 5.4 Connettori a taglio

I connettori a taglio sono realizzati con acciaio a basso carbonio con un limite di snervamento minimo di  $350 \text{ N/mm}^2$ , un carico di rottura di  $450 \text{ N/mm}^2$  ed un allungamento del 15 %.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria		<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 5.5 Materiali di consumo per la saldatura

I fattori parziali dei materiali (coefficienti di sicurezza) usati per verificare le connessioni saldate sono in accordo con NTC 2008 Sezione 4.2.8.1.1.

## 5.6 Acciaio inossidabile

L'acciaio inox è di grado AISI 316L.

# 6 Analisi strutturale

Di seguito viene fornita una descrizione di modellizzazione delle Strutture Terminali, mentre al punto 6.2.8 viene descritto il modo in cui viene applicata l'interazione tra le Strutture Terminali, vale a dire l'interfaccia tra il modello IBAS globale e la modellizzazione semi-locale delle Strutture Terminali.

## 6.1 Introduzione

Le Strutture Terminali vengono modellate ed analizzate con il programma SAP 2000 (Structural Analysis Program). La presente sezione descrive l'approccio ad aspetti particolari dell'analisi strutturale che interessano la progettazione delle strutture terminali.

SAP 2000 è un sistema computerizzato integrato di progettazione delle strutture in grado di eseguire analisi specializzate quali:

- Analisi delle frequenze proprie
- Analisi sismica spettrale
- Analisi delle storie temporali (ad es., analisi delle storie temporali sismiche)

Tutti i calcoli si basano sulla teoria dell'elasticità e vengono eseguiti sotto forma di analisi di primo ordine.

Un modello SAP 2000 è costituito in genere dai seguenti 4 tipi di modelli:

- 1 Modello Strutturale (modello geometrico), con la definizione della geometria e dei materiali

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria	<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

- 2 Modello agli Elementi Finiti (o modello di analisi )
- 3 Modello del Processo di Costruzione con definizione delle fasi costruttive
- 4 Modello dei Carichi con definizione dei carichi di base e delle combinazioni di carichi

## 6.2 Descrizione del FEM Semi- Locale

Il paragrafo descrive il modello agli Elementi Finiti semi-locale che studia il comportamento della struttura terminale e progetta i principali elementi della struttura.

Il modello, meglio dettagliato nei paragrafi successivi, si basa sulle seguenti caratteristiche:

- Sottostruttura formata da 2 pile, ciascuna con struttura a doppia cella ed 1 cassone trasversale
- Impalcato di materiale composito costituito da un cassone in acciaio chiuso nella parte superiore da una soletta in calcestruzzo armato
- Geometria delle fondazioni modellata

La figura che segue mostra un grafico del modello geometrico SAP 2000:

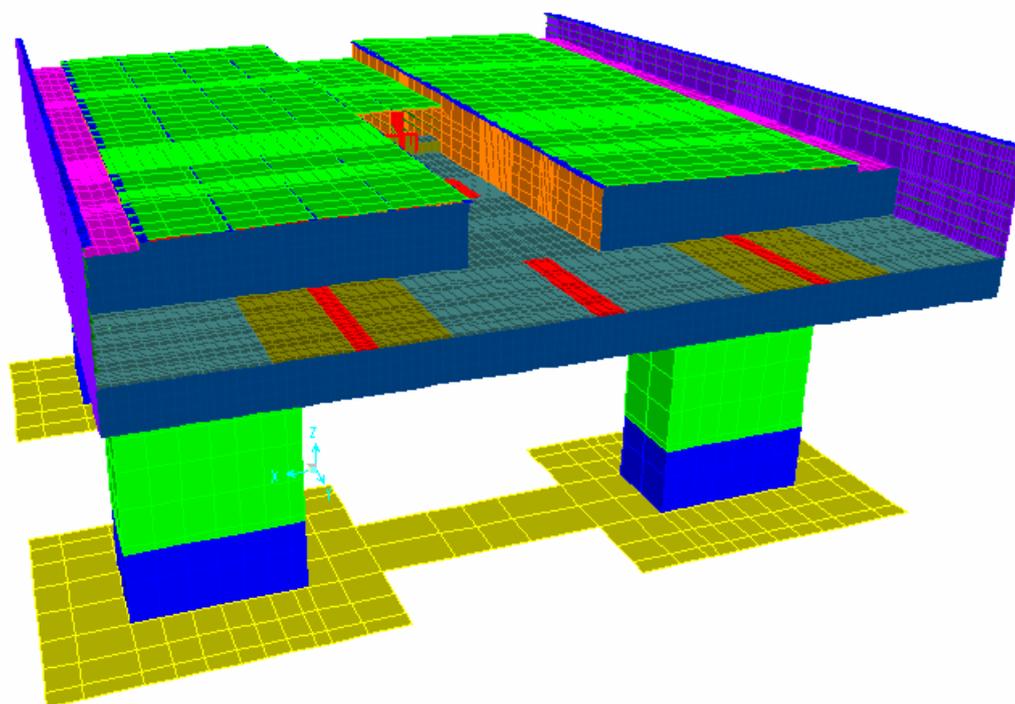


Figura 6-1: Modello 3D

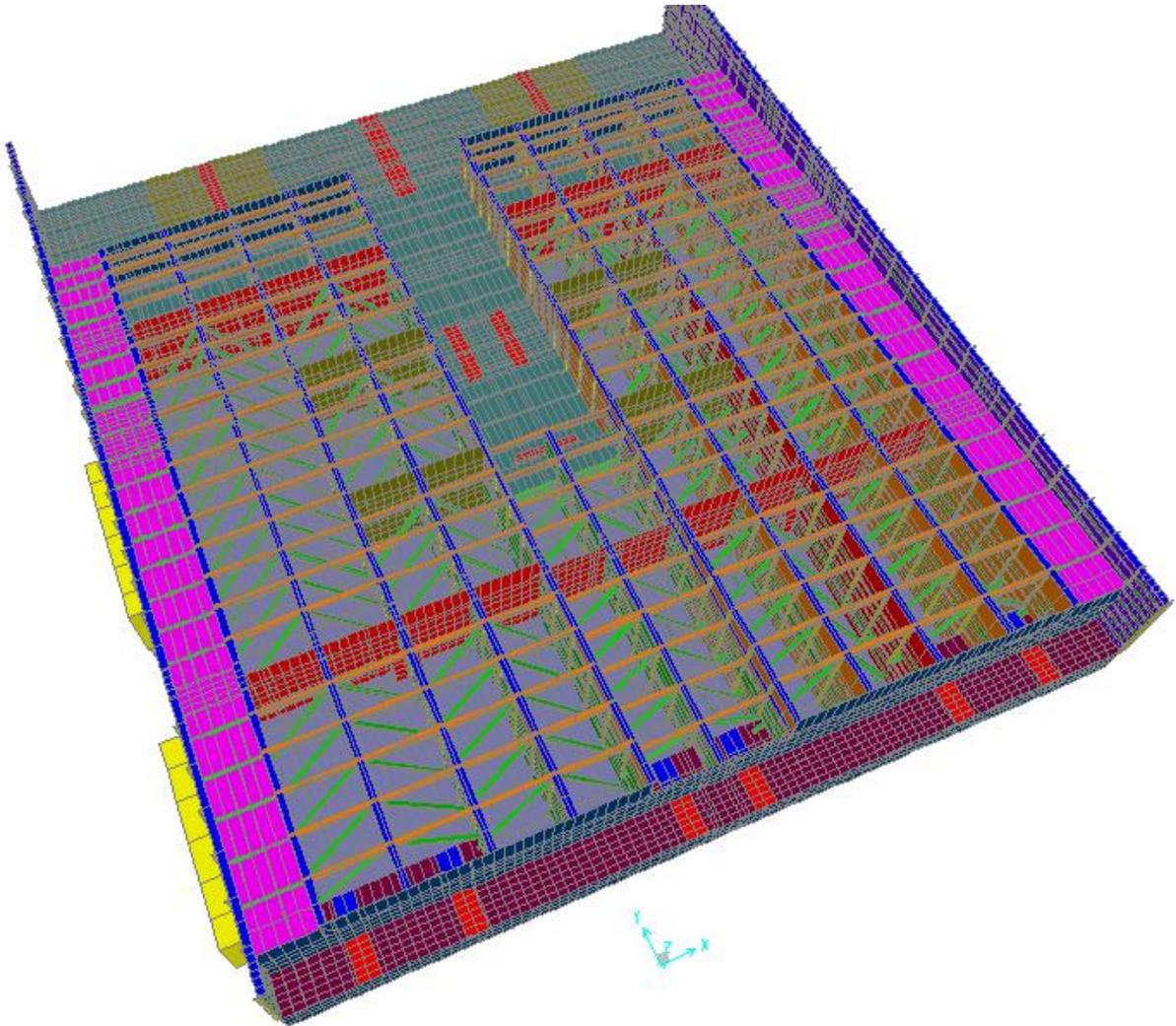


Figura 6-2: Modello 3D – sezione superiore senza soletta in calcestruzzo armato

### 6.2.1 Sistema di Riferimento Globale

Il sistema di riferimento globale è un sistema della mano destra nel quale vengono definite le coordinate nodali e le sollecitazioni. In particolare: l'asse X, la prima asse, si trova sul piano orizzontale ortogonalmente all'asse del ponte, l'asse Y, la seconda asse, è allineata lungo l'asse del ponte e l'asse Z, la terza asse, è verticale e orientata verso l'alto.

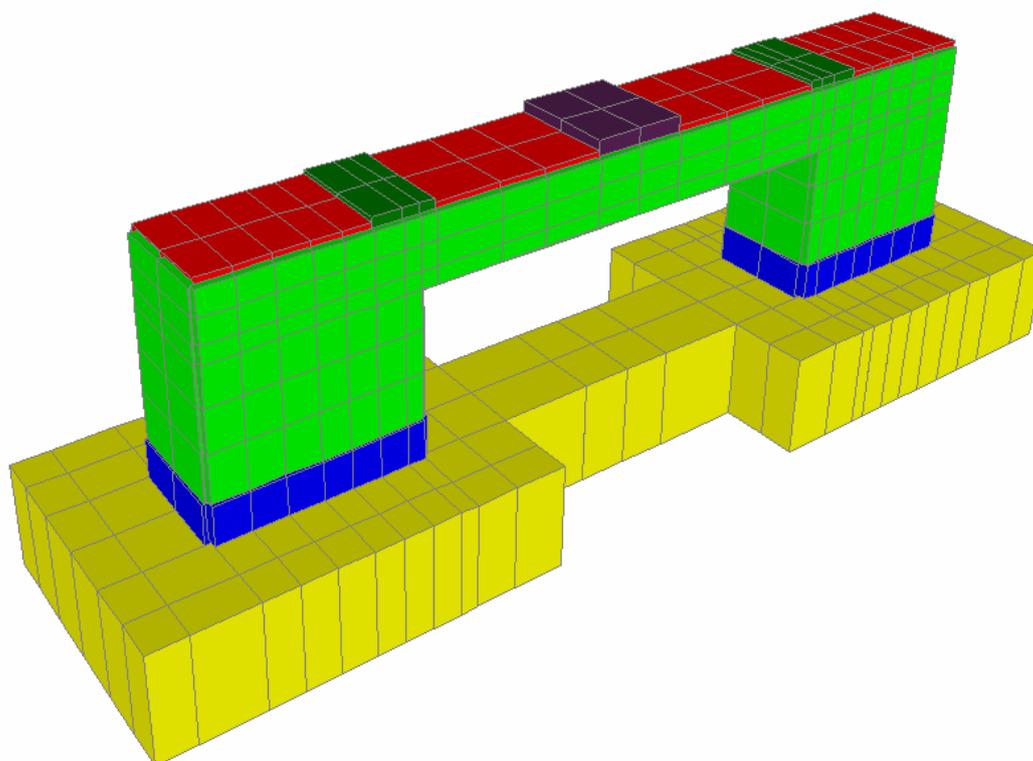
L'origine del sistema di coordinate è posizionata lungo l'asse del ponte, all'inizio della Struttura Terminale (collegamento con il ponte) con  $Z = 0$  in corrispondenza del livello del terreno.

### 6.2.2 Geometria

Gli elementi strutturali dell'impalcato e delle sottostrutture vengono modellati riproducendo la geometria e la posizione esatte e ottenendo così le caratteristiche meccaniche reali della struttura in termini di massa e di rigidità con differenze percentuali molto piccole.

Le fondazioni delle pile sono state modellate con elementi "shell" (guscio) che ne riproducono la geometria. Il piano di inserimento del guscio è coincidente con il piano medio della soletta di fondazione.

Le sottostrutture sono costituite da 4 gambe e 2 travi trasversali. Questi elementi rappresentano le pile in cemento armato, con sezione a forma di doppia cella, delle strutture terminali. Sono stati tutti modellati con elementi "shell" sul piano medio dei vari muri come indicato nella figura che segue:



*Figura 6-3: Sezione mediana delle pile*

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria	<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

L'impalcato è una struttura composita, acciaio-calcestruzzo, modellata con elementi "shell" ed elementi "frame".

Gli irrigidimenti superiore ed inferiore e gli elementi verticali sono stati modellati con elementi "shell". Anche i muri dei diaframmi longitudinali (travi longitudinali) all'interno della struttura dell'impalcato e le piastre saldate di irrigidimento dei muri dei diaframmi trasversali (travi trasversali) sono stati modellati con elementi "shell". Lo spessore delle piastre è uguale a quello delle piastre reali in modo da riprodurre correttamente le caratteristiche inerziali.

Gli elementi che costituiscono i diaframmi trasversali realizzati con sezioni in profilato complete o parti di esse sono stati inseriti nel modello come elementi "frame" in sezione reale.

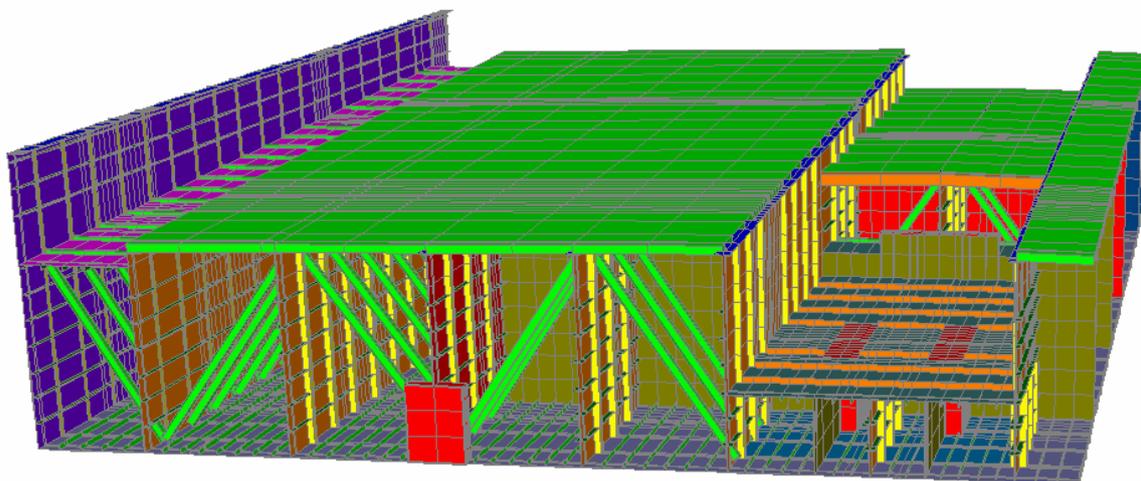
La soletta dell'impalcato in calcestruzzo armato viene modellata con elementi "shell" posizionati sul piano mediano della soletta.

Nel modello FEM, i campi sono definiti sulla superficie per consentire la definizione automatica delle corsie da utilizzare per l'applicazione dei carichi dinamici stradali e ferroviari.

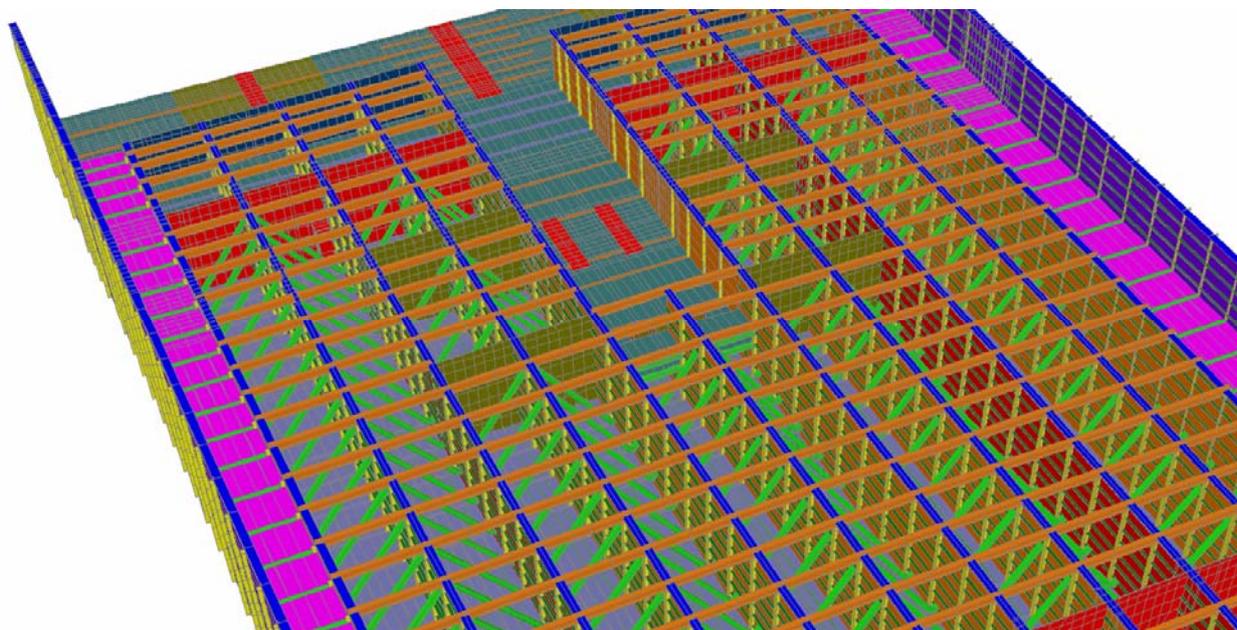
Gli elementi "shell" che rappresentano la soletta in calcestruzzo armato sono collegati al cassone in acciaio mediante degli elementi che collegano rigidamente i nodi della soletta ai nodi corrispondenti sulle ali superiori delle travi. Le predalles vengono posate sopra le travi prima del getto di calcestruzzo. I collegamenti rigidi modellano le azioni dei connettori a taglio nella soletta in calcestruzzo armato.

Gli elementi sopra descritti vengono visualizzati nella figura seguente che rappresenta proprio una parte della superstruttura.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria	Codice documento <i>PS0156_F0_ITA.doc</i>	Rev F0	Data 20-06-2011	



*Figura 6-4: Vista dell'impalcato – parte*



*Figura 6-5: Ingrandimento con vista dall'alto del Modello 3D, dove non viene mostrata la soletta in calcestruzzo armato*

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria	<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

### 6.2.3 Materiali e ipotesi di base

Nel modello SAP 2000 vengono usati i seguenti materiali:

Acciaio strutturale:	Densità:	77.0 kN/m <sup>3</sup>
	Modulo-E:	210,000 N/mm <sup>2</sup>
Pile in c.a.:	Densità:	25.0 kN/m <sup>3</sup>
	Resistenza (cilindro)	40 N/mm <sup>2</sup>
	Modulo-E:	35,220 N/mm <sup>2</sup>
Fondazioni in c.a.:	Densità:	25.0 kN/m <sup>3</sup>
	Resistenza (cilindro)	32 N/mm <sup>2</sup>
	Modulo E:	33,346 N/mm <sup>2</sup>
Impalcato in c.a.:	Densità:	25.0 kN/m <sup>3</sup>
	Resistenza (cilindro)	35 N/mm <sup>2</sup>
	Modulo-E:	34,077 N/mm <sup>2</sup>

Si assume il seguente coefficiente di espansione termica:

$$\alpha_{\text{steel}} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{\text{concrete}} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}$$

### 6.2.4 Numerazione di nodi ed elementi

Il Modello agli Elementi Finiti è costituito dagli elementi descritti nella seguente tabella:

<i>Elemento</i>	<i>Numero</i>
<b>Giunti</b>	46810
<b>Telai</b>	6081
<b>Gusci</b>	47144
<b>Collegament i</b>	764

Tabella 6-1: Elementi del modello

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria		<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

### 6.2.5 Condizioni ai margini e di supporto

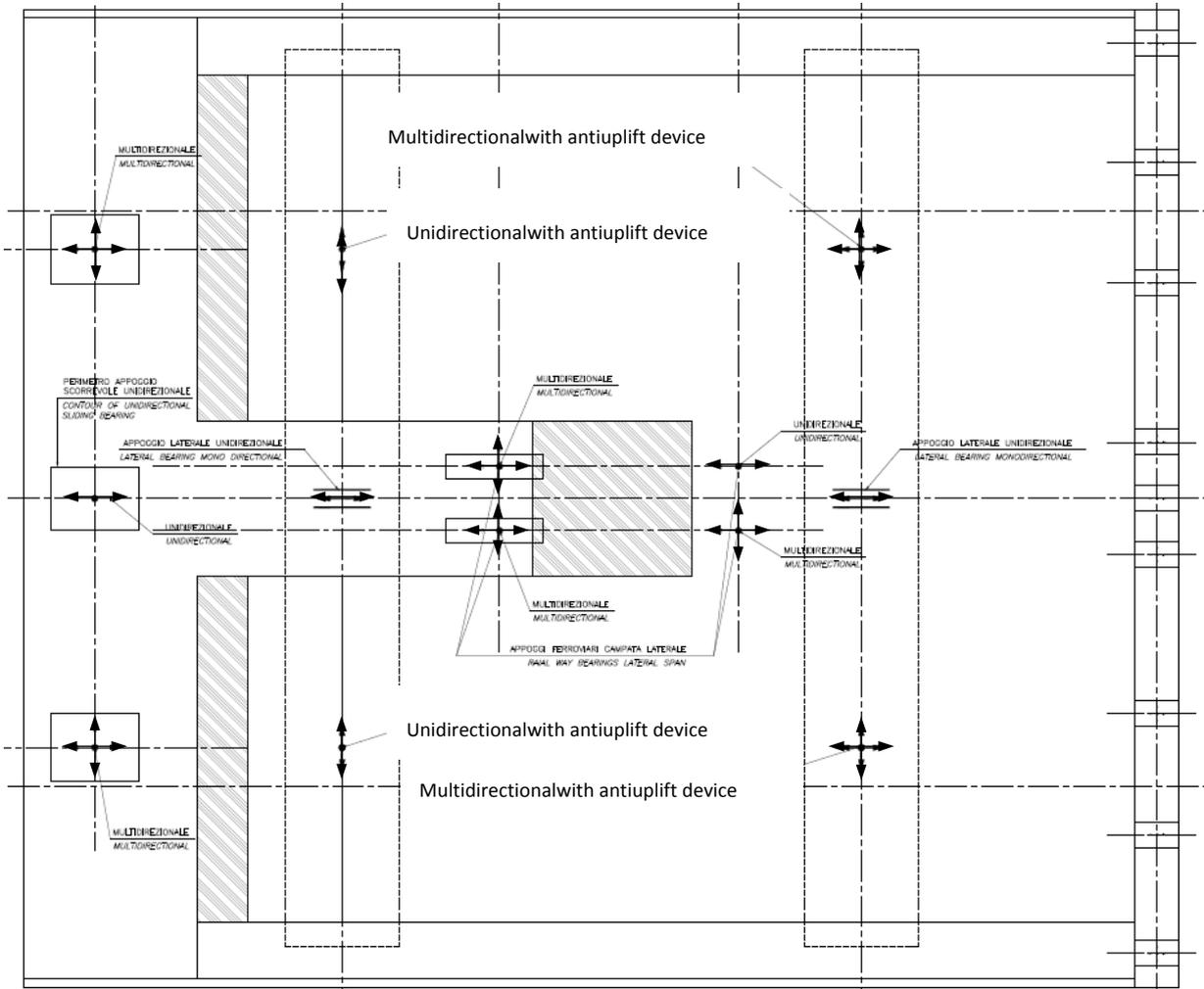
Gli elementi che rappresentano le condizioni a margine della struttura terminale possono essere suddivisi in 2 categorie:

- Elementi che rappresentano gli appoggi tra la superstruttura e la sottostruttura
- Elementi che rappresentano l'interfaccia suolo-fondazione

Gli apparecchi d'appoggio sono modellati con delle connessioni dotate di caratteristiche in grado di realizzare la condizione a margine data. Sono stati definiti 3 tipi diversi di connessioni, dipendentemente dal grado di libertà fisso o impostato come libero, in modo da rappresentare i reali gradi di libertà del sistema di appoggio.

L'analisi statica è stata eseguita considerando una connessione fissa al posto degli ammortizzatori longitudinali.

Uno schema degli apparecchi d'appoggio è indicato nella figura sottostante, mentre lo schema dei gradi di libertà assegnati alle connessioni nel modello è indicato nella tabella sotto riportata:



multidirezionale con apparecchio antisollevamento

unidirezionale con apparecchio antisollevamento

*Figura 6-6: Condizioni di sostegno: Sostegni impalcato*

Appoggi	Caratteristiche delle connessioni					
	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
<b>Unidirezionale</b>	libero	libero	fisso	libero	libero	libero
<b>Appoggio laterale monodirezionale</b>	fisso	libero	libero	libero	libero	libero
<b>Apparecchio antisollevamento</b>	libero	fisso	libero	libero	libero	libero

*Tabella 6-2: caratteristiche delle connessioni*

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria		<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

L'interfaccia suolo-fondazione viene modellata applicando elementi a molla lineari ai punti che rappresentano i nodi degli elementi guscio delle fondazioni. La rigidità delle molle è stata detratta usando la seguente matrice di rigidità:

	<i>X [kN/m]</i>	<i>Y [kN/m]</i>	<i>Z [kN/m]</i>	<i>r<sub>x</sub> [kNm]</i>	<i>r<sub>y</sub> [kNm]</i>	<i>r<sub>z</sub> [kNm]</i>
<i>X [kN/m]</i>	5.3 E+07	0	0	0	1.6 E+08	0
<i>Y [kN/m]</i>	0	5.6 E+07	0	1.7 E+08	0	0
<i>Z [kN/m]</i>	0	0	5.6 E+07	0	0	0
<i>r<sub>x</sub> [kNm]</i>	0	1.7E+08	0	3.0 E+10	0	0
<i>r<sub>y</sub> [kNm]</i>	1.6 E+08	0	0	0	3.9 E+11	0
<i>r<sub>z</sub> [kNm]</i>	0	0	0	0	0	5.6 E+11

*Tabella 6-3: Matrice di rigidità del suolo*

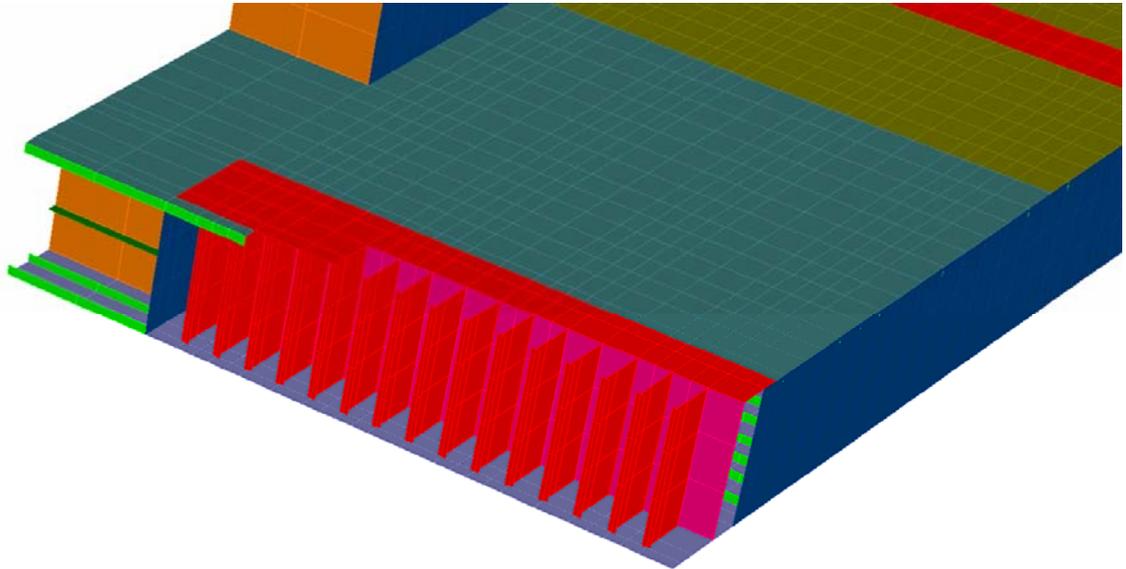
Per queste matrici di rigidità del suolo viene fatto riferimento alle seguenti relazioni:

- CG.10.03-P-CL-D-P-CG-S4-00-00-00-00-01 “Matrici di Rigidità Equivalenti per il Sistema Suolo-Fondazione”
- CG.10.03-P-CL-D-P-CG-S4-00-00-00-00-02 “Matrici di Rigidità e Smorzamento Equivalenti per il Sistema Suolo-Fondazione”

### **6.2.6 Interfaccia Modello Globale – Semi-Locale**

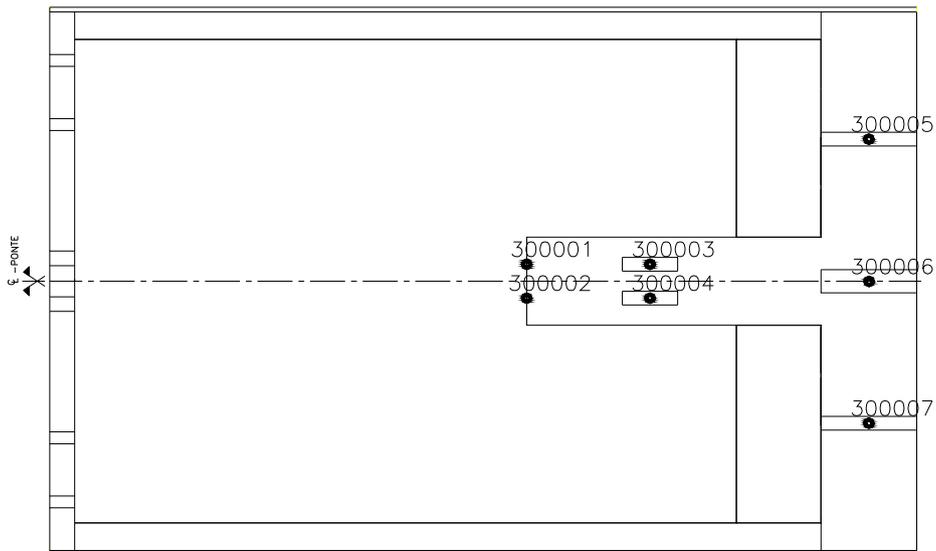
Il modello della Struttura Terminale contiene anche la posizione degli appoggi tra la Struttura Terminale e l'Impalcato Sospeso. Le posizioni degli appoggi sono state inserite nel modello, mentre le posizioni dei gusci specifici che rappresentano gli appoggi tra la Struttura Terminale e l'Impalcato Sospeso sono state definite nel Modello FEM in corrispondenza dei nodi specifici, ai quali vengono applicate le reazioni degli appoggi provenienti dall'Impalcato Sospeso.

Le reazioni degli appoggi provenienti dall'Impalcato Sospeso vengono derivate dal modello IBIDAS globale, dove l'output di tali reazioni è stato prodotto per casi di carichi statici e casi selezionati di carichi fissi. L'output è stato quindi applicato al modello SAP 2000 semi-locale della Struttura Terminale sotto osservazione dei casi di carico in questione, vale a dire ULS, SLS, ecc.



*Figura 6-7: Interfaccia tra Struttura Terminale ed Impalcato Sospeso - Modellazione dell'appoggio stradale*

La posizione e la numerazione dei nodi sono rappresentate nella figura seguente:



*Figura 6-8: Interfaccia tra Struttura Terminale ed Impalcato Sospeso - Nodi in corrispondenza degli appoggi*

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria		<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

La stessa procedura è stata usata per le reazioni degli appoggi provenienti dal viadotto, lato Calabria. Tuttavia, considerato che la configurazione degli appoggi del viadotto è stata modificata in una fase successiva e che le reazioni non erano ancora note all'atto dell'elaborazione del documento, le reazioni del viadotto sono state basate su stime assumendo che le stesse siano equivalenti a quelle del Viadotto Pantano, lato Sicilia.

I viadotti di accesso hanno più o meno le stesse dimensioni con il viadotto lato Calabria leggermente più ampio del viadotto Pantano. La differenza non viene tuttavia considerata significativa.

I carichi dalle strutture adiacenti sono determinate grazie all'analisi fatta sul modello globale IBDAS, vedi la relazione CG1000-P-RG-D-P-SV-00-00-00-00-01, "Modello globale IBDAS - Descrizione".

Gli input del modello globale IBDAS non sono allegati alla presente relazione (numerose pagine), può essere reso disponibile su richiesta.

## **6.3 Rigidità, Masse e Pesi**

### **6.3.1 Caratteristiche trasversali**

La modellazione dettagliata della struttura dell'impalcato ottenuta con gli elementi guscio e l'inserimento delle piastre di irrigidimento longitudinali sono in grado di riprodurre le caratteristiche inerziali e meccaniche reali della sezione trasversale dell'impalcato.

### **6.3.2 Masse e Pesi**

Nel modello SAP, le masse ed i pesi propri degli elementi strutturali primari vengono calcolati automaticamente dal programma grazie alla possibilità di assegnare il valore della massa ai materiali usati nelle varie sezioni .

## **6.4 Fasi costruttive**

Per la progettazione della Struttura Terminale sono state considerate le fasi costruttive. In particolare, sono stati considerati i carichi costruttivi secondo le seguenti fasi:

- Fase 1: il calcestruzzo viene gettato e sostenuto da predalles sulla costruzione in acciaio

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria	<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

- Fase 2: azione composita per il carico dinamico
- Fase 3: analisi a lungo termine per calcolare le sollecitazioni dovute allo scorrimento del calcestruzzo

Inizialmente, il cassone in acciaio sostiene il proprio peso e quello del calcestruzzo gettato in opera, L'azione composita si applica dopo che il calcestruzzo ha raggiunto la resistenza finale.

Nella prima fase, anche il peso proprio delle strutture adiacenti, il ponte da un lato ed i viadotti di accesso dall'altro. Si considera che i carichi vengano trasferiti attraverso l'appoggio.

Nella terza fase, nel modello SAP è stato applicato al calcestruzzo un modulo elastico ridotto per tener conto degli effetti dovuti alla viscosità. A tale scopo, è stato usato un fattore di riduzione di 3.1. Per simulare gli effetti di scorrimento, è stata applicata una condizione supplementare di carico termico.

Nel modello SAP2000 sono state applicate fasi separate di analisi della costruzione.

## 6.5 Carichi

Il modello SAP 2000 opera con i seguenti tipi di carichi:

- Carichi base definiti come 1,0 volte il carico caratteristico.
- Combinazioni di carichi semplici
- Combinazioni di carichi complesse
- Carichi fissi e combinazioni di carichi

I carichi vengono generalmente definiti nel sistema globale delle coordinate (mano destra).

I carichi base definiti sono:

- Carichi permanenti (Peso strutturale PP, componenti non strutturali PN)
- Azioni variabili indotte dall'uomo (QL)
- Carichi da vento (statici e dinamici) (VV)
- Carichi termici (VT)
- Carichi sismici (VS)

I Carichi Permanenti comprendono tutti i carichi di gravità quali carichi propri, carichi propri sovrapposti (superficie impalcato e "altri carichi").

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria		<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

I carichi propri vengono calcolati automaticamente da SAP 2000 sulla base del modello geometrico (i carichi definiti vengono inclusi nel modello del processo di costruzione). Il peso dei materiali di base è indicato al punto 6.2.3 della presente relazione.

### 6.5.1 Carichi permanenti (PP e PN)

Le azioni permanenti e semi-permanenti vengono suddivise in peso proprio strutturale (PP) e peso proprio non strutturale (PN), come di seguito dettagliato:

- **PP:** il peso strutturale viene calcolato per tutti i componenti strutturali. Gli incrementi di peso dovuti ad elementi non presenti nel modello (quali rivestimenti e connessioni) vengono considerati usando un fattore incrementale del 10%.
- **PN:** il peso dei componenti non strutturali comprende il peso delle superfici stradali, il piano di posa dei binari, le protezioni, i parapetti e gli schermi frangivento, gli apparecchi ed i servizi tecnologici che devono essere garantiti lungo l'attraversamento; sono state considerate le situazioni nelle quali uno qualsiasi di questi pesi viene rimosso durante la vita utile della struttura a scopo di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Nel modello FEM, oltre ai carichi succitati, i carichi permanenti derivanti dal ponte principale di Messina e dal viadotto Pantano sono stati inseriti in corrispondenza dei nodi nelle posizioni degli appoggi.

Le forze nell'interfaccia ponte-struttura terminale sono state calcolate con il modello IBDAS globale ed applicate sotto forma di forze nodali.

### 6.5.2 Azioni variabili indotte dall'uomo (QL)

Le azioni variabili indotte dall'uomo per il dimensionamento locale (QL) sono state applicate secondo i seguenti documenti:

- 1) Doc. No. A9055-NOT-3-002, "QL Carichi da traffico ferroviario"
- 2) Doc. No. A9055-NOT-3-001, "QL Carichi da traffico stradale"

I carichi ferroviari e stradali sono stati disposti lungo la struttura in modo tale da riprodurre l'effetto di carico più negativo. Una volta individuate le sezioni di progetto, la posizione del carico che provoca le massime sollecitazioni nelle sezioni viene determinata usando le linee di influenza

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria	<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

calcolate sul modello IBDAS globale del ponte.

Una volta individuate le posizioni dei carichi ferroviari e stradali che massimizzano le sollecitazioni nella sezione di progetto, le azioni corrispondenti vengono riportate sul modello delle strutture terminali in due modi differenti:

- I carichi, calcolati con il modello IBDAS per il particolare caso di carico, vengono applicati sugli appoggi nell'interfaccia tra il ponte e la superstruttura terminale e nell'interfaccia tra il viadotto Pantano e la superstruttura terminale.
- Una parte dei carichi correnti viene applicata alla struttura terminale stessa (dipendentemente dalla posizione di massimizzazione).

I carichi applicati vengono descritti qui di seguito.

#### 6.5.2.1 Carichi stradali

I carichi stradali sono stati applicati conformemente ai requisiti della NTC 08.

L'area della carreggiata comprende tutte le aree che possono essere inserite in via permanente o provvisoria per il traffico veicolare. E' stato inserito il carico dell'intera area della carreggiata di un impalcato stradale di 11.95 m<sup>2</sup>/m. Sono state considerate 3 corsie di carico della larghezza di 3 m più una restante corsia di 2.95 m per ciascuna carreggiata.

Sono stati presi in esame 2 schemi di carico:

La disposizione del carico definita nella seguente tabella (schema di carico 1) è stata applicata ad entrambe le carreggiate. Il fattore dinamico è incluso nei carichi caratteristici di corsia.

La lunghezza del carico è limitata a max. 300m.

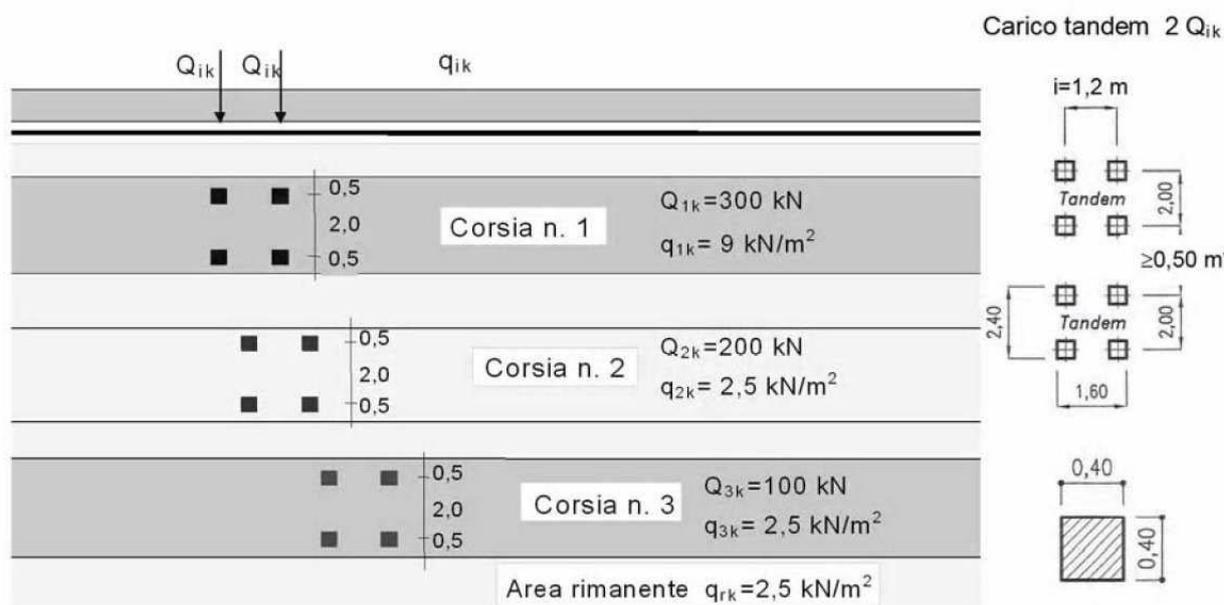
Posizione	Sistema Tandem - TS	Sistema UDL
	Carico per assale Q <sub>ik</sub> (kN)	q <sub>ik</sub> (kN/m <sup>2</sup> )
Corsia nozionale numero 1	300	9
Corsia nozionale numero 2	200	2.5

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria		<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Corsia nozionale numero 3	100	2.5
Area restante	0	2.5

Tabella: Modello di carico 1

Nella seguente figura, viene illustrata l'applicazione dello schema di Carico 1:



Schema di carico 1 (dimensioni in [m])

Figura 6-9: Applicazione del modello di Carico 1

Il modello di Carico 2 consiste in un solo carico per assale di:  $Q_k = 400\text{kN}$

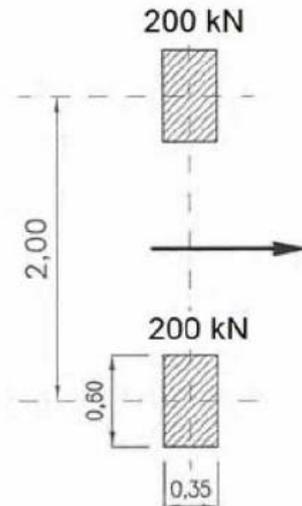


Figura 6-10: Applicazione del modello 2 (schema di carico 2)

Una volta individuati gli allineamenti dei gusci che rappresentano le corsie, sono stati applicati i carichi del sistema tandem distribuendoli uniformemente sul guscio in corrispondenza del guscio stesso.

Ai carichi sopra citati vengono aggiunti i carichi di frenata longitudinale o di forza di accelerazione applicati alla corsia numero 1:

$$Q_{Lk} = 360 + 2.7 \cdot L$$

$$180 \text{ kN} \leq Q_{Lk} \leq 900 \text{ kN}$$

dove  $L$  è la lunghezza effettivamente caricata presa in considerazione.

Si assume che la forza agisca nella direzione longitudinale della carreggiata, parallelamente con ed a livello della superficie della carreggiata. La forza viene uniformemente distribuita sulla lunghezza caricata.

### 6.5.2.2 Carico ferroviario

Nel modello 2 sono stati individuati gli allineamenti dei gusci rappresentanti il binario del treno ed i carichi del treno rappresentati dai modelli LM71, SW/0 o SW/ sono stati applicati a tali gusci.

Il modello di carico 71 rappresenta l'effetto statico del carico verticale dovuto al normale traffico

$$Q_{vk} = 275 \text{ kN} \quad 275 \text{ kN} \quad 275 \text{ kN} \quad 275 \text{ kN}$$

ferroviario.

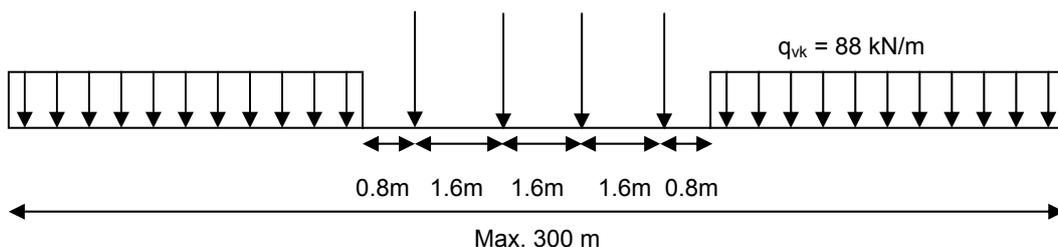


Figura 6-11: Modello di carico 71 con  $\alpha=1.10$

Il carico del modello 71 è stato applicato ad una o ad entrambe le rotaie simultaneamente.

Il carico è stato sistemato nella posizione più avversa per l'elemento e la parte uniforme di LM71 può essere applicata segmentata sul cassone in modo da aumentare gli effetti di carico dell'elemento da progettare.  $\alpha=1.10$  for LM71.

Il modello di carico SW/0 rappresenta l'effetto statico del carico verticale dovuto a traffico ferroviario normale e SW/2 l'effetto statico del carico verticale dovuto a traffico ferroviario pesante.

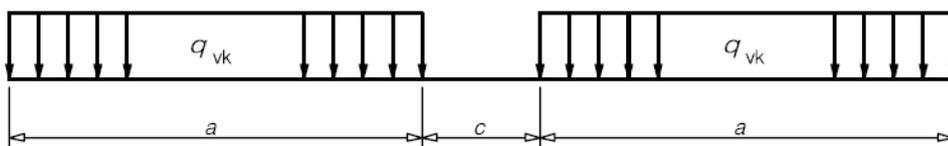


Figura 6-12: Modello di carico SW/0 e SW/2

Modello di carico	$\alpha \cdot q_{vk}$ [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	146	15.0	5.3
SW/2	150	25.0	7.0

I modelli di carico SW/0 e SW/2 comprendono  $\alpha=1.10$  per SW/0 e  $\alpha=1.00$  per SW/2.

Nell'ambito di una rotaia si applicherà solo un SW/0 o SW/2.

Nel modello FEM, sono stati inseriti solo i modelli di carico LM71 e SW/2 in quanto il modello SW/0 è stato considerato non dimensionante per scopi di valutazione sugli elementi dell'impalcato.

Un modello di trave semplicemente appoggiata della struttura terminale, lato Sicilia, è stato usato per valutare le forze indotte dai 3 modelli di carico dei treni (LM71, SW/2 e SW/0). E' stato riscontrato che SW/0 dà delle forze più piccole rispetto a LM71 e SW/2.

I risultati delle analisi sopra descritte vengono riportati qui di seguito:

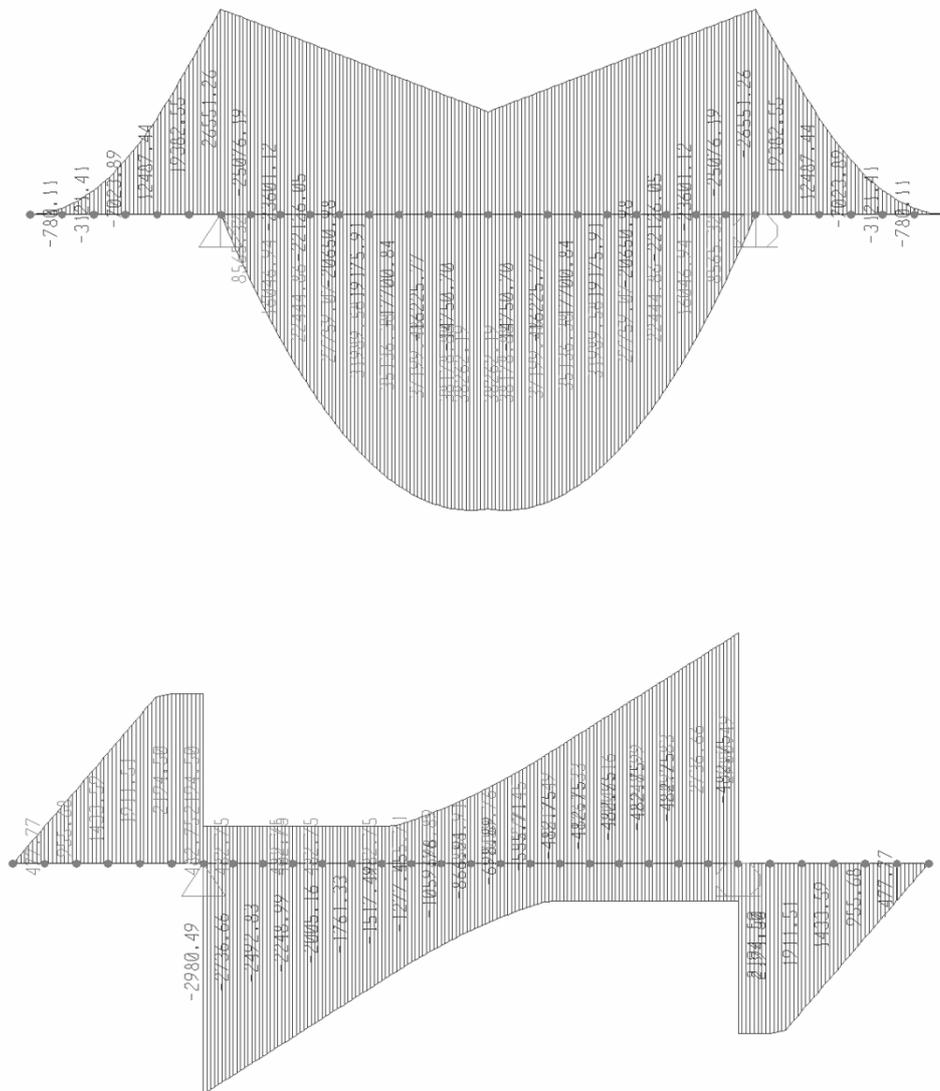


Figura 6-13: Forze indotte dal modello di Carico SW/0

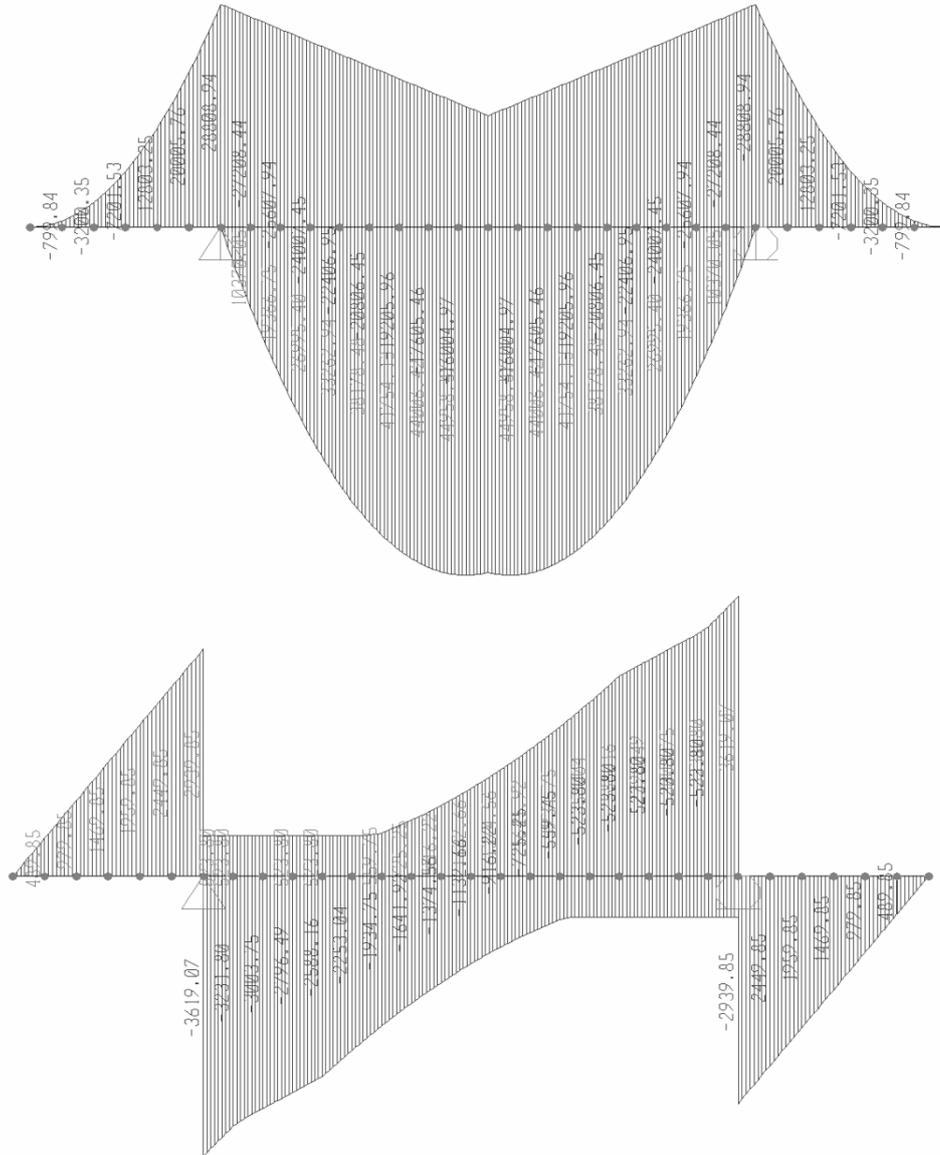


Figura 6-14: Forze indotte dal modello di Carico SW/2

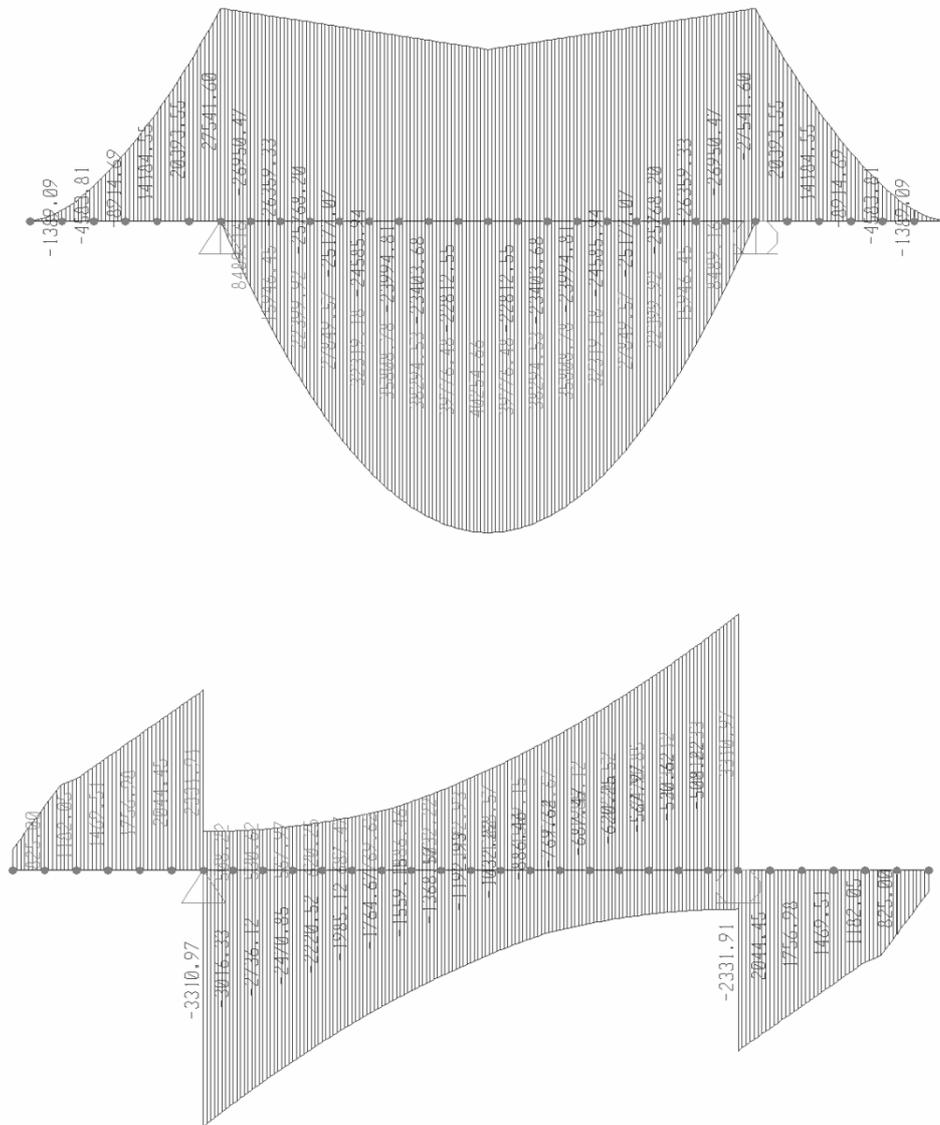


Figura 6-15: Forze indotte dal modello di Carico LM71

Le forze risultanti dai modelli di carico dei treni sono state amplificate con il coefficiente dinamico  $\Phi = 1.06$ , calcolato con il performer delle analisi dinamiche nel modello IBDAS globale.

Le forze di trazione e di frenata sono state applicate sulla parte superiore dei binari in direzione longitudinale e distribuite uniformemente lungo la lunghezza d'influenza  $L_{ab}$ . Le forze di trazione e di frenata sono state unite ai corrispondenti carichi verticali. La frenata su una rotaia è stata unita alla trazione simultanea sull'altra rotaia.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria		<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Si assume che le due rotaie abbiano consentito il percorso in direzioni opposte, ad es. non vi può essere una frenata o una trazione in entrambi i binari.

La forza di trazione è:

$$Q_{lak} = 33 \text{ [kN/m] } L \text{ [m]} \leq 1000 \text{ [kN]}$$

per il modello di Carico 71 e SW/2

La forza di frenata è:

$$Q_{lbk} = 20 \text{ [kN/m] } L \text{ [m]} \leq 6000 \text{ [kN]}$$

per il modello di carico 71

$$Q_{lbk} = 35 \text{ [kN/m] } L \text{ [m]}$$

per il modello di carico SW/2

dove:

L è la lunghezza d'influenza in m degli effetti di carico dell'elemento considerato.

I carichi di trazione e frenata sopra specificati dovranno essere moltiplicati per un fattore:

$$\alpha = 1.1 \quad \text{per LM 71}$$

$$\alpha = 1.0 \quad \text{per SW/2}$$

La forza di serpeggiamento è stata applicata sulla parte superiore dei binari in direzione trasversale.

$Q_{sk} = 100 \text{ kN}$  ad azione orizzontale, sulla parte superiore dei binari, perpendicolare alla mezzzeria della rotaia.

La forza di serpeggiamento sopra specificata è stata moltiplicata per il fattore  $\alpha$ .

### 6.5.3 Carico da vento

I carichi da vento vengono applicati secondo i Criteri di Progettazione PG0025, sezione 5.3.

#### 6.5.3.1 Vento statico

Il vento statico medio viene applicato con un profilo verticale come descritto nei Criteri di Progettazione PG0025.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria	<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

#### **6.5.4 Carichi termici**

I carichi termici vengono applicati secondo i Criteri di Progettazione PG0025, punto 5.3.

I coefficienti di espansione termica vengono definiti al punto 6.2.3 della presente relazione.

#### **6.5.5 Carichi sismici**

Il carico sismico viene applicato secondo i Criteri di Progettazione PG0025, punto 5.3.2

La Combinazione Quadratica Completa (CQC) viene usata per la combinazione degli effetti provenienti dai diversi modi.

Le analisi sismiche non sono state applicate sul modello semi-locale della struttura terminale: le sollecitazioni dovute alle azioni sismiche sulle sezioni dominanti della struttura sono state calcolate con il modello FE IBDAS globale.

### **6.6 Combinazioni di carichi**

I componenti dell'impalcato vengono verificati dal punto di vista delle combinazioni di carico elencati nel progetto di base (PG0025) punto 6.8. Le combinazioni ed i fattori parziali relativi a ciascun componente di carico sono presentati nella Tabella 22, 23, 24 e 25 rispettivamente per SLS, ULS e SILS. Il fattore parziale  $\mu$  può assumere il valore di 0.95 o 1.15 per i componenti in acciaio o 0.95 o 1.25 per i componenti in calcestruzzo, dipendentemente dal punto in cui il carico statico causa un effetto di distensione o un effetto negativo. Un trattino in una cella sotto la colonna di un componente di carico indica che tale componente non è incluso nella combinazione rappresentata dalla fila.

Le combinazioni applicate per il dimensionamento locale (QL) degli elementi strutturali sono conformi al documento A9055-NOT-3-003.

Le tabelle contenenti le combinazioni di carico utilizzate sono riportate nell'Appendice 3 della relazione PF0158.

### **6.7 Analisi modale**

L'analisi modale della struttura terminale non fa parte della presente relazione. Il comportamento dinamico della struttura è stato analizzato da COWI con il modello globale IBDAS. Fare riferimento

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria		<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

alla relazione CG1000-P-RG-D-P-SV-00-00-00-00-01, "Descrizione del Modello Globale IBIDAS "

## 6.8 Analisi Sismica

### 6.8.1 Analisi dello Spettro di Risposta

L'analisi sismica della sottostruttura terminale è stata eseguita con il modello IBIDAS globale. I carichi sismici che agiscono sulle strutture terminali sono stati inseriti nel modello semi-locale SAP 2000 come carichi risultanti sui punti di appoggio come descritto al punto 6.2.8. Per l'analisi sismica fare riferimento alla relazione CG1000-P-RG-D-P-SV-00-00-00-00-01, "Descrizione del Modello IBIDAS Globale ".

## 6.9 Risultati ottenuti dal calcolo

Nel calcolo, sono state definite le sezioni trasversali (spaccati) al fine di verificare gli elementi strutturali. Esse sono costituite da gruppi di gusci e giunti e sono le sezioni dove il programma calcola direttamente le sollecitazioni richieste nella verifica.

Per default, gli assi locali 1, 2 e 3 positivi dello spaccato corrispondono rispettivamente all'asse globale X, Y e Z.

Le forze degli spaccati sono riportate in un singolo punto del sistema di coordinate locale definito per lo spaccato. Sei diversi componenti di forza sono riportati in quel singolo punto.

Essi sono:

- **F1**: una forza nella direzione dell'asse 1 locale dello spaccato.
- **F2**: una forza nella direzione dell'asse 2 locale dello spaccato.
- **F3**: una forza nella direzione dell'asse 3 locale dello spaccato.
- **M1**: un momento attorno all'asse 1 locale dello spaccato.
- **M2**: un momento attorno all'asse 2 locale dello spaccato.
- **M3**: un momento attorno all'asse 1 locale dello spaccato.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria	<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Le forze dello spaccato vengono riportate sotto forma di forze che agiscono sugli oggetti che costituiscono il gruppo che definisce lo spaccato. Un esempio è descritto più sotto. Le forze di sezione positive agiscono nella stessa direzione dell'asse locale dello spaccato positivo. Il senso dei momenti positivi può essere determinato usando la regola della mano destra.

## 7 Verifica

Il presente paragrafo riassume le combinazioni di carico dimensionanti e le verifiche di progetto che sono state completate per i componenti della struttura terminale. I principi di progettazione vengono descritti per chiarire gli effetti delle combinazioni di carico dimensionanti ed i risultati delle verifiche, sarebbe tuttavia opportuno consultare i Principi di Progettazione Generale (CG.10.00-P-RG-D-P-SV-S8-00-00-00-01) per un maggior dettaglio delle descrizioni e delle basi delle procedure di verifica.

La capacità degli elementi longitudinali e trasversali è governata dal primo punto di snervamento in una qualsiasi sezione trasversale in quanto manca una duttilità sufficiente disponibile per il comportamento plastico. La verifica degli elementi longitudinali viene eseguita per ULS.

Sono stati calcolati lo spostamento o le deformazioni che potrebbero limitare l'uso della struttura sotto una combinazione di carico SLS per l'impalcato in acciaio.

La soletta è realizzata con una gettata di calcestruzzo su una predalles pure in calcestruzzo; gli effetti dovuti al carico statico del getto in calcestruzzo vengono considerati assunti interamente dalle predalles. Tutti gli effetti dovuti ad azioni variabili indotte dall'uomo, come ad esempio i carichi da traffico, sono sostenuti dalla soletta per l'intero suo spessore.

Per le predalles sono stati studiati i carichi SLS che si verificano durante la fase della gettata, mentre per la soletta è stata studiata la fessurazione. Il limite di fessurazione viene assunto con  $w = 0.3$  mm per SLS Frequente.

Gli elementi in acciaio che compongono l'intero impalcato della struttura terminale sono stati verificati per i seguenti casi:

- Resistenza delle sezioni trasversali alle sollecitazioni generali,
- Resistenza degli elementi all'instabilità valutata mediante verifiche degli elementi stessi,

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria		<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

- Resistenza all'instabilità delle strutture laminate soggette a carichi fuori piano.

Come specificato nel progetto di base, le verifiche di sicurezza a fatica vengono eseguite considerando una vita utile illimitata di tutti i componenti analizzati e riguardano solo quelle parti dell'impalcato in acciaio che sono più interessate dai carichi indotti dall'uomo, quali il traffico stradale e ferroviario.

Le parti analizzate dal punto di vista degli effetti a fatica devono essere individuate con una classe di dettaglio in modo da eseguire le verifiche di sicurezza, conformemente a NTC 08. Tali parti comprendono:

- la saldatura su un giunto cruciforme tra l'elemento in acciaio trasversale superiore HE500B e la nervatura trasversale del pannello verticale realizzato con un ½ HE 600A
- la saldatura su un giunto cruciforme tra la nervatura trasversale del pannello verticale costituito da un ½ HE 600A e la nervatura trasversale del pannello inferiore realizzato con un ½ IPE 600.
- la saldatura della nervatura trasversale del pannello verticale realizzato con un ½ HE 600A e il pannello stesso.
- la saldatura della nervatura trasversale del pannello inferiore realizzato con un ½ IPE 600 ed il pannello stesso.
- la saldatura tra il pannello verticale e ½ IPE 600 come il dettaglio 8 della sezione B-B del disegno CG1002 P BX D P SV S8 VS 00 00 00 01.
- la saldatura sull'angolo tra il pannello inferiore con ½ IPE 600 ed il pannello verticale con una piastra di 20 di spessore.
- la saldatura sul pannello inferiore e la piastra da 180 x 20 di spessore

Sono state eseguite le verifiche di sicurezza per una vita utile illimitata, conformemente ai principi sopra descritti, verificando che il campo delle sollecitazioni massime definito come  $\Delta\sigma=(\sigma_{\max}-\sigma_{\min})$  è minore del campo delle sollecitazioni ammesse per i dettagli verificati.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria	<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

## 7.1 Cassone in acciaio

Il telaio in acciaio è costituito da profilati ad I (tipicamente IPE600, HE500B e HE600A) che vengono pure applicati per solo la metà della loro sezione. I profilati ad I vengono applicati longitudinalmente e trasversalmente sulla parte superiore ed inferiore del telaio, mentre le mezze sezioni comprendono una griglia verticale che rinforza anche le piastre. I profilati ad I sulla parte superiore hanno dei connettori a taglio applicati per la gettata della soletta dell'impalcato in calcestruzzo.

Il telaio è chiuso da piastre in acciaio saldate al telaio, dotate di irrigidimenti per garantire la stabilità delle piastre stesse.

Inizialmente, il telaio in acciaio sostiene il peso proprio ivi compresa l'azione del calcestruzzo gettato in opera e l'azione composita si applica dopo che il calcestruzzo ha raggiunto la propria resistenza finale.

Le combinazioni di carico dimensionanti (Rif. CG1002-P-CL-D-P-SV-S8-00-00-00-00-01 \_ Elementi principali della Relazione di Progetto) per gli elementi del telaio in acciaio corrispondono a STR9\_5. Il massimo coefficiente di utilizzazione è 0.40.

## 7.2 Controvento trasversale in acciaio

Al fine di irrigidire il telaio in acciaio viene applicata una controventatura in direzione trasversale, composta da profilati HE300B.

Le combinazioni di carico dimensionanti (Ref. CG1002-P-CL-D-P-SV-S8-00-00-00-00-01 \_ Elementi principali della Relazione di Progetto) per gli elementi del telaio in acciaio corrispondono a STR2\_45. Il massimo coefficiente di utilizzazione è 0.72.

## 7.3 Travi longitudinali

Pesanti travi longitudinali ( $t = 40$  mm) corrono per l'intera lunghezza della Struttura Terminale e al di sopra degli appoggi. Le travi longitudinali dividono la Struttura Terminale in celle con aperture per accedere attraverso le travi longitudinali.

Le travi longitudinali vengono irrigidite per garantire la stabilità delle piastre. I massimi coefficienti di utilizzazione riscontrati sono 0.85. Le combinazioni di carico dimensionanti (Ref. CG1002-P-CL-

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria	<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

D-P-SV-S8-00-00-00-01 \_ Elementi principali della Relazione di Progetto) corrispondono a STR10\_61.

## 7.4 Diaframmi

Pesanti diaframmi ( $t = 40$  mm) corrono attraverso la Struttura Terminale e al di sopra degli appoggi. I diaframmi dividono la Struttura Terminale in celle con aperture per accedere attraverso i diaframmi.

I diaframmi vengono irrigiditi per garantire la stabilità della piastra. I massimi coefficienti di utilizzazione riscontrati sono 0.3. Le combinazioni di carico dimensionanti (Ref. CG1002-P-CL-D-P-SV-S8-00-00-00-01 \_ Elementi principali della Relazione di Progetto) corrispondono a STR10\_37.

## 7.5 Soletta dell'impalcato in calcestruzzo armato

La soletta in calcestruzzo leggermente armato ha uno spessore che varia tra 300 mm e 400 mm inclusi 50 mm di predalles (elementi prefabbricati) e con la parte di maggior spessore rivolta verso le rotaie. Questa parte dell'impalcato non ha bisogno di essere asfaltata e viene mantenuta una pendenza trasversale costante del 2% al fine di drenare l'acqua attraverso l'impalcato senza intrusioni .

La superficie stradale presenta 110 mm di asfalto.

Le combinazioni di carico dimensionanti per l'impalcato in calcestruzzo sono SLU-STR2 per i carichi stradali e SLU-FERR-4 per i carichi ferroviari. I coefficienti di utilizzazione massimi riscontrati sono 0.81 per SLU-STR2 e 0.8 per FERR-4.

## 7.6 Spostamenti massimi

Per valutare gli spostamenti della superstruttura di due strutture terminali vengono usati quattro modelli, due per ciascun lato.

Un modello rappresenta la fase della gettata di calcestruzzo, durante la quale l'intera struttura in acciaio è formata ed il calcestruzzo è stato gettato sulle predalles, ma non è in grado di resistere ad alcun carico. Quindi, il getto in calcestruzzo viene considerato solo come un carico che non dà resistenza alla struttura.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria	<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

L'altro modello rappresenta la fase successiva durante la quale agiscono tutti gli altri carichi. L'intera struttura, compreso l'impalcato in calcestruzzo, collabora con l'intera sua resistenza. Tutte le azioni variabili vengono tenute in debita considerazione. I carichi sono stati combinati con i fattori di combinazione SLS.

Gli spostamenti riscontrati sono:

<i>Fasi</i>	<i>Lato mare</i>	<i>Lato terra</i>
<i>Fase 1 (peso proprio)</i>	-0.050 m.	-0.090 m.
<i>Fase 2 (carichi variabili)</i>	-0.0098 m.	- 0.026 m.

*Tabella 7-1: Spostamenti massimi dell'impalcato*

### 7.6.1 Impalcato: Verifica della freccia

Per tutte le configurazioni della struttura caricata con carichi verticali caratteristici classificati secondo EN 1991-2, 6.3.2 (e, dove richiesto, SW/0 e SW/2 classificati secondo EN 1991-2, 6.3.3) la freccia verticale totale massima misurata lungo una qualsiasi rotaia dovuta alle azioni del traffico ferroviario non dovrebbe superare  $L/600$ .

Nella campata centrale della fondazione Terminale sono stati riscontrati i seguenti valori:

Struttura terminale	Freccia max. calcolata	Freccia max. ammessa
CALABRIA	0.0287 m	0.0583 m

*Tabella 7-2: Freccia dell'impalcato*

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Relazione tecnica specialistica, Calabria		<i>Codice documento</i> PS0156_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 7.7 Fatica

Le sollecitazioni relative trasmesse dalla saldatura dipendono dal tipo della stessa. Per le saldature d'angolo, le sollecitazioni che possono causare una rottura sono causate dalle forze di scorrimento tra le due parti.

Per verifiche a fatica di entrambi i dettagli caricati direttamente con i carichi da traffico stradale e ferroviario, il dettaglio 2b (Ref. to CG1002-P-CL-D-P-SV-S8-00000000-01, punto 9.4.2) è quello più interessato da carichi a fatica.

Per questo dettaglio, la differenza di tensione ammessa è:  $\Delta\sigma_d = 0.737 \Delta\sigma_c = 0.737 \cdot 56 = 41.27$  MPa.

Con il calcolo si ottiene:

$$\begin{array}{ll} \Delta\sigma_d = 1.15 \cdot \Delta\sigma = 17.5 \text{ MPa} & \text{per carichi da traffico stradale} \\ \Delta\sigma_d = 1.35 \cdot \Delta\sigma = 14.4 \text{ MPa} & \text{per carichi da traffico ferroviario} \end{array}$$

La differenza di tensione massima risultante sulla piastra di fondo è  $\Delta\sigma_d = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) = 11.59$  MPa.

## 8 Sommario

La Struttura Terminale comprende una struttura a cassone chiuso costituita da un telaio in acciaio con travi interne longitudinali e trasversali e un sistema di irrigidimento mediante controvento trasversale. Una soletta in calcestruzzo leggermente rinforzato costituisce l'impalcato.

Le combinazioni di carico dimensionanti sono le combinazioni SLU tipiche denominate STR10\_61 per i componenti in acciaio, mentre la combinazione di carico della soletta impalcato è governata dalla combinazione SLU STR2.

Si osserva che i coefficienti di utilizzazione variano da 0.4 per i diaframmi a 0.85 per le travi longitudinali ed a ca. 0.8 per la soletta.