

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 COWI 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></p> <p><i>Tipo di sistema</i></p> <p><i>Raggruppamento di opere/attività</i></p> <p><i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i></p> <p><i>Titolo del documento</i></p>	<p>OPERA DI ATTRAVERSAMENTO</p> <p>SOVRASTRUTTURE</p> <p>STRUTTURE TERMINALI</p> <p>Generale</p> <p>Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali</p>	<p>PS0157_F0</p>
---	---	-------------------------

CODICE

C	G	1	0	0	2	P	R	G	D	P	S	V	S	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	F0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

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

INDICE

INDICE	3
1 Introduzione	7
1.1 Scopo	7
1.2 Struttura della Relazione	7
1.3 Studi di base	8
1.3.1 Progettazione di base.....	8
1.4 Riferimenti	9
1.4.1 Specifiche di Progetto	9
1.4.2 Norme di progetto.....	9
1.4.3 Specifiche materiali	10
1.4.4 Disegni	11
1.4.5 Relazioni complementari	12
2 Nomenclatura	13
3 Stati Limite	14
3.1 Stati Limite di Esercizio	14
3.2 Stati Limite Ultimi.....	15
3.3 Stati Limite a Fatica	15
4 Materiali	16
Calcestruzzo ed armatura	16
4.1.1 Calcestruzzo.....	16
4.1.2 Armatura.....	17
Acciai strutturali	18
Bulloni ad Alta Resistenza.....	19
Connettori a taglio	19
4.5 Materiali di consumo per la saldatura	19
Acciaio inossidabile	19
5 Considerazioni di Progetto della Superstruttura	20
5.1 Cassone in acciaio	22
5.2 Controventi trasversali.....	23
5.3 Travi longitudinali.....	24
5.4 Diaframmi	24

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

5.5	Soletta dell'impalcato in calcestruzzo	25
5.6	Connettori a taglio	25
6	Analisi Strutturale.....	26
6.1	Fasi costruttive	26
6.2	Carichi	27
6.2.1	Carico permanente (PP e PN).....	27
6.2.2	Azioni variabili indotte dall'uomo (QL)	28
6.2.2.1	Carichi stradali	28
6.2.2.2	Carichi ferroviari	30
6.2.3	Carico da vento	35
6.2.3.1	Vento statico	36
6.2.4	Carichi termici.....	36
6.2.5	Carichi sismici	37
6.3	Combinazioni di carichi.....	37
6.4	Comportamento globale	37
6.5	Comportamento Locale	38
6.5.1	Modello SAP Locale a gusci.....	38
7	Principi di Progetto.....	39
7.1	Stati limite d'esercizio	39
7.1.1	Elementi d'impalcato in acciaio	39
7.1.2	Elementi impalcato in calcestruzzo	40
7.2	Stati Limite Ultimi	40
7.2.1	Verifiche degli elementi in acciaio	40
7.2.2	Resistenza delle sezioni trasversali:	40
7.2.3	Classificazione delle sezioni trasversali	41
7.2.4	Resistenza all'instabilità degli elementi	42
7.2.5	Resistenza all'instabilità delle strutture laminare soggette a carichi fuori piano	44
7.2.6	Resistenza al taglio	45
7.2.7	Valutazione della fatica	46
7.3	Valutazione dell'impalcato	51
7.3.1	Impalcato: verifica degli elementi in acciaio	51
7.3.1.1	Definizione delle caratteristiche reali delle sezioni trasversali.....	51
7.3.1.2	Sezioni da verificare.....	52

7.3.1.3	Fogli elettronici di verifica – Sezioni in acciaio longitudinali e trasversali.....	54
7.3.2	Impalcato: verifica degli elementi in calcestruzzo.....	54
7.3.2.1	Verifica del calcestruzzo	55
7.3.3	Impalcatura: verifica della freccia	56
8	Articolazione	57
8.1	Introduzione.....	57
8.2	Scopo	58
8.3	Articolazione	58
8.3.1	Appoggi	60
8.3.2	Dispositivi antisollevamento	61
8.3.3	Giunti d'espansione.....	61
8.3.3.1	Giunti d'espansione stradali	62
8.3.3.2	Giunti d'espansione ferroviari.....	62

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

1 Introduzione

La presente relazione descrive le considerazioni fatte per la progettazione delle superstrutture terminali ed i principi delle analisi strutturali incluse le ipotesi assunte nonché i criteri di progettazione comprendenti la filosofia ed i riferimenti alle norme applicate al progetto dei seguenti componenti della superstruttura delle strutture terminali:

- Controventi trasversali
- Travi longitudinali
- Travi trasversali
- Soletta dell'impalcato in calcestruzzo

La progettazione è basata sulla progettazione di gara con l'introduzione in questa fase delle seguenti variazioni:

- Incremento della larghezza trasversale totale da 59708 mm a 69870 mm, con un incremento ugualmente distribuito lungo le 2 corsie di servizio per tener conto dell'ampliamento dell'impalcato sospeso all'interno della facciata della Struttura Terminale
- Pendenza trasversale dell'impalcato del 2 % verso l'esterno
- Modifica del sistema di articolazione mediante eliminazione dei buffer idraulici.

1.1 Scopo

La presente relazione contiene i principi generali di progettazione, la descrizione della modellazione e la progettazione degli elementi strutturali della superstruttura delle strutture terminali, lato Sicilia e Calabria.

1.2 Struttura della Relazione

La relazione è costituita dalle seguenti sezioni:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

- *Sezione 1* 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 2* contenente le definizioni dei termini che vengono più comunemente usati con riferimento a componenti particolari delle strutture terminali;
- *Sezione 3* contenente la descrizione di tre stati limite considerati nella progettazione della superstruttura delle strutture terminali, vale a dire esercizio, integrità allo stato ultimo e strutturale ;
- *Sezione 4* contenente la descrizione dei materiali usati per ciascun componente della superstruttura delle strutture terminali;
- *Sezione 5* contenente la descrizione delle considerazioni di progetto della superstruttura delle strutture terminali;
- *Sezione 6* contenente la descrizione dei principi delle analisi strutturali ivi comprese la descrizione dei modelli strutturali e delle ipotesi considerate;
- *Sezione 7* contenente la descrizione dei criteri di progetto ivi inclusi la filosofia ed i riferimenti alle norme per la verifica degli stati limite dei componenti della superstruttura delle strutture terminali;
- *Sezione 8* contenente la descrizione del sistema di articolazione.

1.3 Studi di base

I codici e le norme italiani ed europei sono stati aggiornati durante il lasso di tempo intercorso tra la firma del contratto ed il reale inizio dei lavori.

1.3.1 Progettazione di base

Le nuove norme tecniche di costruzione NTC08 ed i nuovi codici ferroviari italiani RFI DTC-ICI-PO SP INF sono ora diventati una regola in Italia. Tali codici fanno riferimento agli Eurocodes e comportano l'inserimento delle seguenti modifiche rispetto alla Progettazione di Base quale definita nel Progetto di Gara:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

- I carichi QL e le combinazioni di carico vengono definiti in base alla NTC08 ed al RFI DTC-ICI-PO SP INF 001 A e diventano ora uguali ai carichi derivanti dal traffico stradale e ferroviario quale definito nella EN1991-2 (Carichi dovuti al traffico sui ponti).

- La progettazione geotecnica si basa sui requisiti contenuti nella NTC08.

I requisiti dell'analisi a fatica vengono definiti secondo le NTC08 e RFI DTC-ICI-PO SP INF 003 A (RFI 44F). Alla progettazione degli elementi di sostegno dei carichi primari è possibile applicare solo il metodo di valutazione dei requisiti di "incolumità".

Per aggiornare i criteri di progettazione sismica in Italia è stato eseguito uno studio generale, i cui risultati non sono stati adattati alle condizioni locali del Ponte di Messina. Ciò significa che verranno mantenuti gli Spettri di Progettazione definiti per la Progettazione di Gara.

1.4 Riferimenti

1.4.1 Specifiche di Progetto

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.

CG1000-P-RG-D-P-GE-00-00-00-00-02, "Manuale applicativo riferito ai fondamenti progettuali"

1.4.2 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

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 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”

1.4.3 Specifiche 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.

1.4.4 Disegni

Superstruttura Terminale: lato Sicilia	
CG1002-P-AX-D-P-SV-S8-VS-00-00-00-01_0	Strutture Terminali, Sicilia / Schema Generale
CG1002-P-PX-DP-SV-S8-VS-00-00-00-01_0	Strutture Terminali, Sicilia / Impalcato, pianta longitudinale e vista frontale
CG1002-P-BX-DP-SV-S8-VS-00-00-00-01_0	Strutture Terminali, Sicilia / Strutture in acciaio 1
CG1002-P-BX-DP-SV-S8-VS-00-00-00-02_0	Strutture Terminali, Sicilia / Strutture in acciaio 2
CG1002-P-BX-DP-SV-S8-VS-00-00-00-03_0	Strutture Terminali, Sicilia / Strutture in acciaio 3
CG1002-P-BX-DP-SV-S8-VS-00-00-00-04_0	Strutture Terminali, Sicilia / Strutture in acciaio 4
CG1002-P-BX-DP-SV-S8-VS-00-00-00-05_0	Strutture Terminali, Sicilia / Strutture in acciaio 5
CG1002-P-BX-DP-SV-S8-VS-00-00-00-06_0	Strutture Terminali, Sicilia / Strutture in acciaio 6
CG1002-P-BX-DP-SV-S8-VS-00-00-00-07_0	Strutture Terminali, Sicilia / Carpenteria metallica, dettagli 1
CG1002-P-BX-DP-SV-S8-VS-00-00-00-08_0	Strutture Terminali, Sicilia / Carpenteria metallica, dettagli 2
CG1002-P-BX-DP-SV-S8-VS-00-00-00-09_0	Strutture Terminali, Sicilia / Piattaforma, dettagli
CG1002-P-BX-DP-SV-S8-VS-00-00-00-10_0	Strutture Terminali, Sicilia / Impalcato, soletta in calcestruzzo armato
CG1002-P-DX-DP-SV-S8-VS-00-00-00-01_0	Strutture Terminali, Sicilia / Disposizione degli appoggi e dei giunti d'espansione, pianta
Superstruttura Terminale: lato Calabria	
CG1002-P-AXDPSV-S8-VC-00-00-00-01_0	Strutture Terminali, Calabria / Schema 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

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

1.4.5 Relazioni complementari

CG1000-P-RG-D-P-SV-00-00-00-00-00-01, " 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

Documento COWI: 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

2 Nomenclatura

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

Pila – elemento verticale della sottostruttura terminale che va 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 su cui appoggiano direttamente le pile.

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.

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

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

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

Jack housing – Spazio all'interno del traverso di contenimento dei 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

3 Stati Limite

La presente sezione descrive gli stati limite ed i corrispondenti requisiti di prestazione che determinano il dimensionamento dei componenti delle strutture terminali 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.

3.1 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:
- 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 3-1.

Stato Limite	Requisito di Prestazione
SLS1	<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> .
SLS2	<i>Come per SLS1 con l'eccezione che solo la percorribilità ferroviaria deve essere garantita.</i>

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Tabella 3-1: Requisiti di prestazione SLS.

Gli SLS relativi a fatica vengono discussi al punto 3.3.

3.2 Stati Limite Ultimi

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

- 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.
- 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 3-2.

Stato Limite	Requisito di prestazione
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 3-2: Requisiti di prestazione SLU.

Gli SLU a fatica sono discussi al punto 3.3.

3.3 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

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 a fatica 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).

4 Materiali

Il presente paragrafo descrive le caratteristiche meccaniche dei materiali da costruzione delle strutture terminali.

Calcestruzzo ed armatura

4.1.1 Calcestruzzo

Il calcestruzzo strutturale per la soletta dell'impalcato deve essere di grado C35/45 secondo EN 206-1:2001.

Tipo di calcestruzzo	Soletta dell'impalcato
Grado del calcestruzzo	C35/45
Tempo necessario per raggiungere la resistenza richiesta	28 giorni
Classe ambientale	XC4+XS1
Classe di consistenza	S4/S5
Dimensione max. degli aggregati	25 mm per l'impalcato e 10mm per le predalles
Cemento	CEM III/B secondo EN 197-1
Contenuto max. totale di alcali nel cemento	0,6%
Contenuto min. di cemento in Kg/m ³	360
Rapporto max. Acqua/calcestruzzo	0,42
Contenuto di cloruri	0,2
Contenuto max. di alcali nel calcestruzzo	3kg Na ₂ O equiv. per m ³ di calcestruzzo
Contenuto max. di solfato nel calcestruzzo	4% SO ₃ in peso di cemento

Composizione del calcestruzzo	Pre-verifica delle miscele per dare evidenza del rispetto dei requisiti di durabilità/resistenza
Acqua	Dalla rete di distribuzione pubblica
Aggregati	Sabbia naturale, ghiaia naturale o pietra frantumata secondo EN 12620
Espansione max. degli aggregati (alcali/silice)	0,10% dopo 14 giorni secondo ASTM C1260
Contenuto max. di solfato solubile in acido negli aggregati	0,2% secondo EN 1744-1
Additivi	Non verranno usati additivi contenenti cloruri
Coefficiente max. di migrazione del cloruro	$4 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ secondo NT 492 dopo 60 giorni
Copertura nominale rispetto all'acciaio al carbonio	25
Copertura nominale rispetto all'acciaio inox	-
Requisiti e controllo delle cricche nella fase iniziale	Non sono ammesse cricche nella fase iniziale, dovrà essere eseguita un'analisi della temperatura/solecitazione per dimostrare che misure di controllo della temperatura potranno garantire un calcestruzzo esente da cricche. I parametri di input dell'analisi devono essere basati sulle caratteristiche transitorie (dipendenti dal tempo/dall'età) effettivamente documentate. Il rapporto massimo tra sollecitazione di trazione/resistenza a trazione dovrà essere pari a 0,9.
Temperatura max. del calcestruzzo durante l'idratazione	70°C
Riscaldamento max. in condizioni adiabatiche dopo 3 giorni	300kJ/kg cemento
Periodo min. di indurimento	14 giorni (in alternativa utilizzare un composto di indurimento, indice di efficienza di ritenzione dell'acqua >75% dopo 72 ore)
Giunto di costruzione	Il giunto di costruzione dovrà essere ripulito da polvere e fango ed accuratamente saturato con acqua. Gli aggregati grezzi dovranno essere resi visibili ad una profondità di 5 - 10 mm

Tabella 4-1: Caratteristiche meccaniche del calcestruzzo

4.1.2 Armatura

Le barre di rinforzo saranno realizzate in acciaio al carbonio B450C (barre laminate a caldo e scanalate di qualità saldabile e di elevata duttilità) secondo EN 10080.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali		<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Acciai strutturali

Le strutture terminali devono essere realizzate con acciai strutturali di grado S 355 ML, prodotte secondo EN 10025-4. Si assume che l'acciaio abbia le caratteristiche meccaniche elencate nella Tabella 4-2 conformemente a NTC08 Sezione 11.3.4.1.

Grado	Carico di rottura, f_{tk} (MPa)	Resistenza a trazione, f_{tk} (MPa)
S 355 ML	355	470

Tabella 4-2: Proprietà meccaniche dell'acciaio strutturale

Per spessori superiori a 50 mm, gli sforzi di riferimento devono essere ridotti a 335/450 MPa, secondo le NTC08.

Si assume inoltre che l'acciaio strutturale abbia le seguenti caratteristiche secondo NTC08 Sezione 11.3.4.1:

- Modulo elastico: 210000 MPa
- Rapporto di Poisson ratio: 0,3
- Modulo di taglio: 80769 MPa
- Coefficiente di espansione termica : $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
- Densità: 7850 kg/m^3 $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I fattori parziali dei materiali (coefficienti di sicurezza) usati per verificare gli elementi in acciaio strutturale sono conformi a NTC08 Sezione 4.2.4.1.1, 4.2.4.1.4 ed elencati in Tabella 4-3.

Verifica	Fattore Parziale
Resistenza delle sezioni in classe 1, 2, 3 e 4	$\gamma_{M0} = 1,05$
Resistenza all'instabilità degli elementi nei ponti stradali e ferroviari	$\gamma_{M1} = 1,10$
Resistenza alla frattura di sezioni sotto tensione (indebolite da aperture)	$\gamma_{M2} = 1,25$
Resistenza a fatica (criterio di vita utile a fatica con significative conseguenze di rottura)	$\gamma_{M3} = 1,99$

Tabella 4-3: Fattori parziali dei materiali per la carpenteria metallica.

Bulloni ad Alta Resistenza

I bulloni strutturali ad alta resistenza di grado 8.8 vengono usati per i collegamenti di tutti i componenti non strutturali alle strutture terminali. Si assume che tali bulloni abbiano le caratteristiche meccaniche elencate in Tabella 4-4, conformemente a NTC08 Sezione 11.3.4.6.1.

Grado	Carico di rottura, f_{tR} (MPa)	Resistenza a trazione, f_{tB} (MPa)
8.8	649	800

Tabella 4-4: Proprietà meccaniche dei bulloni strutturali.

Connettori a taglio

I connettori a taglio sono realizzati con acciaio a basso carbonio con un limite di snervamento minimo di 350 N/mm^2 , un carico di rottura di 450 N/mm^2 ed un allungamento del 15 %. I connettori dovranno avere un diametro del gambo (d) di 19 mm.

4.5 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 ed elencati in Tabella 4-5.

Verifica	Fattore Parziale
Resistenza alle saldature a penetrazione parziale ed alle saldature d'angolo	$\gamma_{M2} = 1.25$
Resistenza allo scorrimento allo SLU	$\gamma_{M3} = 1.25$
Resistenza allo scorrimento allo SLS	$\gamma_{M3} = 1.10$

Tabella 4-6: Fattori parziali dei materiali per le connessioni saldate.

Acciaio inossidabile

L'acciaio inox è di grado AISI 316L.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

5 Considerazioni di Progetto della Superstruttura

Le Strutture Terminali rappresentano le infrastrutture di avvicinamento che collegano il ponte sospeso alla rete stradale e ferroviaria esistente su entrambi i lati.

Sul lato Sicilia, la Struttura Terminale è collegata al ponte sospeso ed al Viadotto Pantano. Sul lato Calabria, la Struttura Terminale è collegata al ponte sospeso e ad un viadotto che collega la terra ferma .

Il ponte sospeso poggia su una serie di appoggi della Struttura Terminale dove è previsto un condotto per il cassone ferroviario che penetra nella Struttura Terminale più in profondità rispetto al cassone stradale.

Anche il viadotto Pantano ed il viadotto Calabria, lato terra, poggiano su appoggi adeguati per la loro geometria nonché per il viadotto ed il ponte sospeso. La Struttura Terminale è predisposta per l'installazione di grossi giunti di espansione, che, in corrispondenza dell'interfaccia con l'impalcato sospeso, sono in grado di ricevere ca. ± 2000 mm.

La Struttura Terminale è una struttura composita costituita da un impalcato in calcestruzzo armato su una struttura scatolare in acciaio. In pianta, le dimensioni globali della Struttura Terminale sono pari a 60.870 m di larghezza e 94.200 m di lunghezza sul lato Sicilia ed a 60.870 m di larghezza e 71.200 m di lunghezza sul lato Calabria, mentre l'altezza varia tra 2.810 m in corrispondenza del supporto dell'Impalcato Sospeso e 10.800 m in corrispondenza della facciata . La soletta impalcato in calcestruzzo armato ha uno spessore che varia tra 300 mm e 400 mm inclusi 50 mm di elementi in calcestruzzo prefabbricati (qui di seguito denominati predalles).

L'impalcato sostiene 2 binari ferroviari, 3 corsie stradali (di cui una d'emergenza) e 2 corsie di servizio.

La corsia di servizio si trova all'esterno della strada e sovrasta l'Impalcato Sospeso e la Struttura Terminale. Essa rappresenta la via d'accesso primaria per l'ispezione e la manutenzione.

Lungo la ferrovia, sull'uno e l'altro lato del cassone ferroviario, è prevista una piattaforma di evacuazione, se necessaria, che si dipana per tutta la lunghezza della Struttura Terminale.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> <i>PS0157_F0_ITA.docx</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20-06-2011</i>	

Le barriere guardavia si dipanano per l'intera lunghezza del ponte ed offrono una barriera di sicurezza per il traffico stradale. La barriera frangivento sulla corsia di servizio riduce la velocità del vento attraverso il ponte.

Entrambe le strutture terminali hanno una campata con uno sbalzo di 19.600 m a ciascuna estremità. Esse sono collegate al sistema di sospensione mediante pendini che, mediante un'apertura attraverso la superstruttura della Struttura Terminale, vengono collegati alla sottostruttura.

Gli appoggi su ciascuna sottostruttura sostengono la superstruttura verticalmente e trasversalmente, mentre una serie di appoggi sostiene l'Impalcato Sospeso e l'adiacente Viadotto Pantano.

La Struttura Terminale è dotata di camminamenti e portelli per consentire l'ispezione e la manutenzione dei componenti strutturali.

La Struttura Terminale è verniciata all'esterno con una vernice anticorrosione, mentre una sola mano di primer viene applicata alle superfici interne che sono protette da un sistema di deumidificazione.

I principali componenti vengono descritti qui di seguito, mentre le figure illustrano il layout della Struttura Terminale.

Il layout generale è riportato in Figura 5-1.

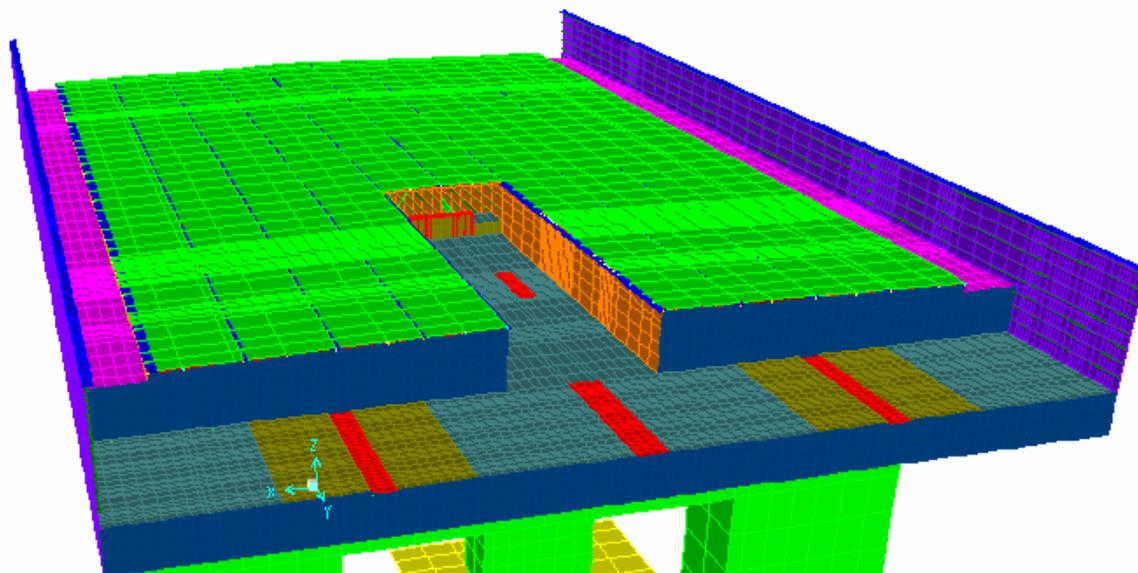


Figura 5-1: Vista isometrica – Layout generale della superstruttura

5.1 Cassone in acciaio

Il cassone in acciaio è costituito da un telaio in acciaio aperto, che viene chiuso utilizzando delle piastre in acciaio (in genere $t = 10 \text{ mm}$) dotate di adeguati irrigidimenti per garantire la stabilità delle piastre. Lo spessore delle piastre in acciaio di chiusura aumenta nei punti in cui sono previsti dei carichi concentrati, vale a dire in corrispondenza degli appoggi.

Il telaio è costituito da profilati ad I (IPE600, HE500B e HE600A) che vengono applicati anche sotto forma di semi-sezioni comprendenti una griglia verticale.

Nella parte inferiore, le semi-sezioni collegano la griglia verticale in direzione trasversale, mentre le piastre di chiusura in acciaio sono dotate di irrigidimenti in direzione longitudinale.

Nella parte superiore, la griglia verticale è collegata sia con profilati HEB500 e piastre in acciaio (300×40 spess.) in direzione trasversale sia con piastre in acciaio (500×40 spess.) in direzione longitudinale. Gli elementi in acciaio superiori dotati di connettori a taglio sostengono l'impalcato in calcestruzzo armato.

All'interno del cassone in acciaio si trovano pure dei controventi trasversali e delle travi longitudinali e trasversali ulteriormente descritti nel dettaglio nelle pagine che seguono.

Il layout è indicato in Figura 5-2:

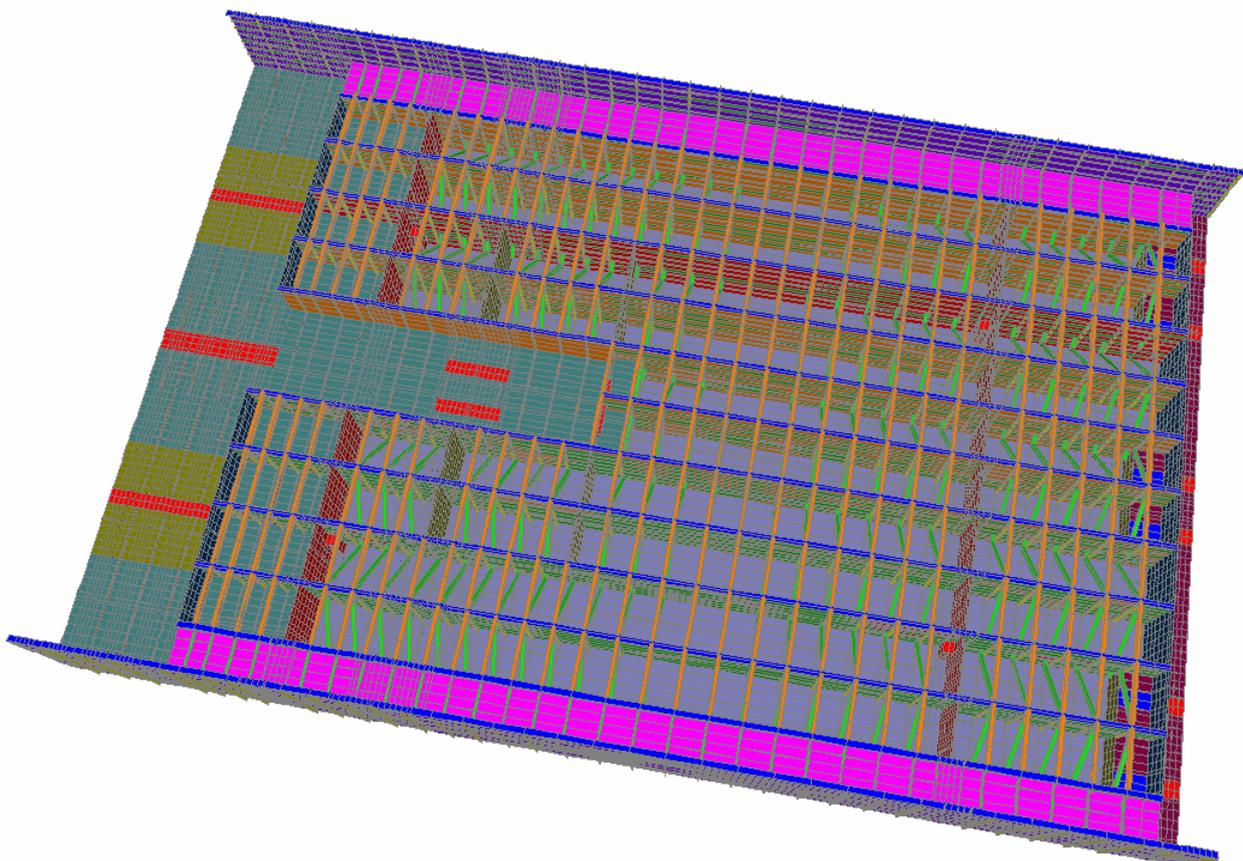


Figura 5-2: Vista isometrica - Layout del cassone in acciaio

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

5.2 Controventi trasversali

In direzione trasversale è prevista una controventatura costituita da profilati HE300B avente lo scopo di irrigidire il telaio in acciaio. Tale struttura è illustrata nella Figura 5-3.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

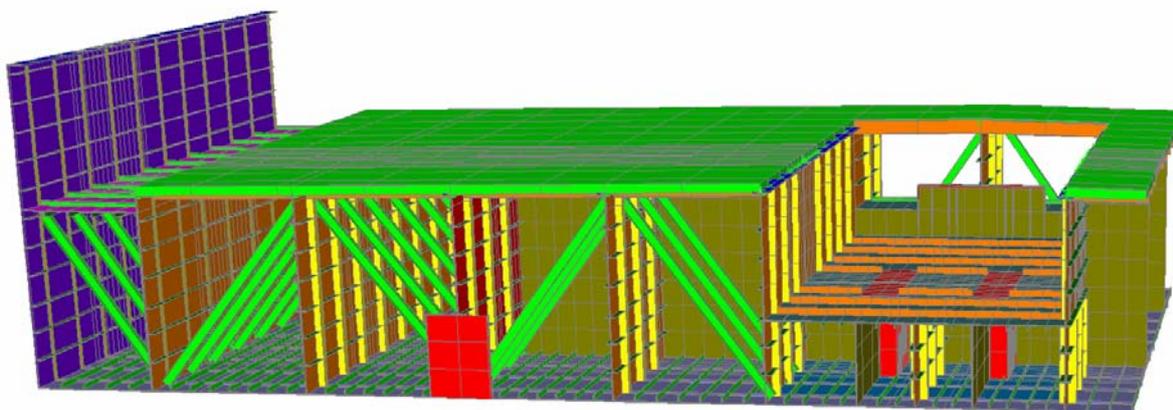


Figura 5-3: Vista isometrica – Controventi trasversali

5.3 Travi longitudinali

10 travi longitudinali corrono all'interno della Struttura Terminale per l'intera sua lunghezza. In genere, il loro spessore è pari a $t = 15$ mm. Tuttavia, le travi longitudinali che si trovano al di sopra degli appoggi di supporto della superstruttura hanno un maggior spessore $t = 35$ mm.

Sia le travi trasversali sia le travi longitudinali vengono ispessite in corrispondenza degli appoggi della superstruttura sulle pile, lato terra. Le travi longitudinali con uno spessore $t = 35$ mm. vengono ispessite fino a $t = 50$ mm. per una lunghezza di ~ 5 m. Invece, le due travi a destra ed a sinistra dell'appoggio con uno spessore $t = 15$ mm. vengono ispessite fino a $t = 20$ mm. per una lunghezza di ~ 5 m.

Le travi longitudinali dividono la Struttura Terminale in comparti longitudinali con aperture per l'accesso trasversale attraverso le travi longitudinali.

Le travi longitudinali sono illustrate nelle figure sopra riportate.

5.4 Diaframmi

Pesanti diaframmi ($t = 40$ mm) corrono attraverso la Struttura Terminale al di sopra degli appoggi che sostengono la superstruttura. Le travi trasversali in corrispondenza degli appoggi tra le pile e le superstrutture, lato terra, hanno uno spessore di 50 mm .

I diaframmi dividono la Struttura Terminale in comparti trasversali con aperture per l'accesso longitudinale attraverso le travi trasversali.

Dei diaframmi supplementari ($t = 15 \text{ mm}$ e 25 mm) sono previsti sull'uno e l'altro lato del condotto, attraverso il quale il cassone ferroviario dell'impalcato sospeso penetra nella Struttura Terminale. Questi diaframmi sono tuttavia limitati in direzione trasversale.

I diaframmi vengono irrigiditi per garantire la stabilità delle piastre (v. le figure sopra indicate).

5.5 Soletta dell'impalcato in calcestruzzo

La soletta dell'impalcato in calcestruzzo leggermente armato ha uno spessore che varia tra 300 mm e 400 mm inclusi 50 mm di elementi pre-fabbricati e la parte più spessa è rivolta verso le rotaie. Questa parte della soletta non necessita di asfaltatura ed è a filo con il manto stradale, dove viene mantenuta un'inclinazione trasversale costante del 2 % per consentire lo scarico dell'acqua attraverso l'impalcato senza ostacoli. Il manto stradale è costituito da 110 mm di asfalto.

La sezione trasversale dell'impalcato in calcestruzzo è indicata in Figura 5-4.

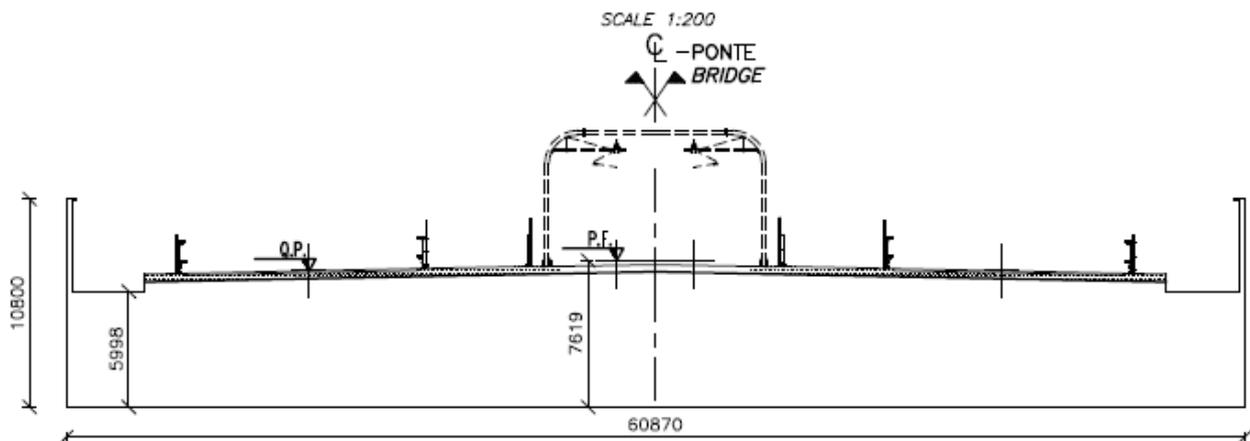


Figura 5-4: Sezione trasversale dell'impalcato in calcestruzzo

5.6 Connettori a taglio

I connettori a taglio collegano il telaio in acciaio alla soletta impalcato. In direzione trasversale, i connettori a taglio sono installati su un'unica fila e distribuiti a intervalli di 250 mm, mentre in

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

direzione longitudinale vengono installati su due file distanziate di 250 mm con gruppi di due connettori distribuiti ad intervalli di 300 mm.

6 Analisi Strutturale

Di seguito viene fornita una descrizione di modellazione delle Strutture Terminali. Le strutture terminali vengono modellate ed analizzate con il programma SAP (Programma di Analisi Strutturale). Il presente capitolo descrive l'approccio ad aspetti particolari dell'analisi strutturale che interessano la progettazione dell'impalcato delle strutture terminali.

Nel modello FEM semi locale di SAP, la superstruttura viene modellata con elementi shell. Questo modello viene usato per la verifica globale degli elementi delle strutture. Verrà sviluppato inoltre un modello FEM shell locale allo scopo di verificare gli effetti locali. In questo modo, sarà possibile investigare con maggior dettaglio il flusso delle sollecitazioni all'interno della struttura dell'impalcato.

Per maggiori dettagli sulla modellazione fare riferimento a:

- “CG.10.02-P-RX-D-P-SV-S8-VT-000-01 Specialist Technical Design Report, Sicily”
- “CG.10.02-P-RX-D-P-SV-S8-VC-000-02 Specialist Technical Design Report, Calabria.”

6.1 Fasi costruttive

Per la progettazione della Superstruttura Terminale si è tenuto conto delle diverse fasi costruttive. In particolare, sono stati considerati i carichi di costruzione sulla base delle seguenti fasi:

- Fase 1: il calcestruzzo viene gettato sulla costruzione in acciaio e sostenuto da predalles
- Fase 2: azione composita per il carico dinamico
- Fase 3: analisi a lungo termine per calcolare le sollecitazioni dovute al fluage del calcestruzzo

In SAP2000 sono state attivate fasi separate di analisi della costruzione.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

6.2 Carichi

I carichi di base definiti comprendono:

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

I Carichi Permanenti comprendono tutti i carichi gravitazionali quali il carico statico ed il carico statico sovrainposto (manto dell'impalcato e "altri carichi").

6.2.1 Carico permanente (PP e PN)

Le azioni permanenti e semi-permanenti sono suddivise in peso proprio strutturale (PP) e peso proprio non strutturale (PN), come sotto 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

6.2.2 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 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.

6.2.2.1 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 m²/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:

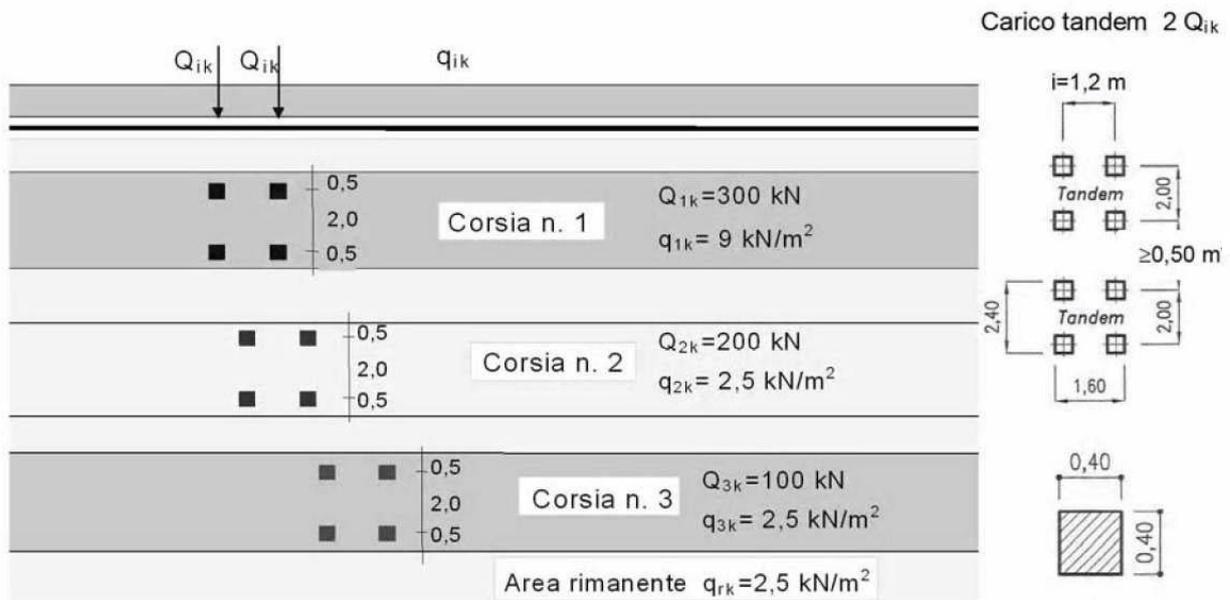
La disposizione del carico definita nella seguente tabella (schema di carico 1) è stata applicata ad entrambe le carreggiate. Il fattore dinamico è incluso nei carichi caratteristici di corsia.

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

Posizione	Sistema Tandem - TS	Sistema UDL
	Carico per assale Q_{ik} (kN)	q_{ik} (kN/m ²)
Corsia nozionale numero 1	300	9
Corsia nozionale numero 2	200	2.5
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 6-1: Applicazione del modello di carico 1

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

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

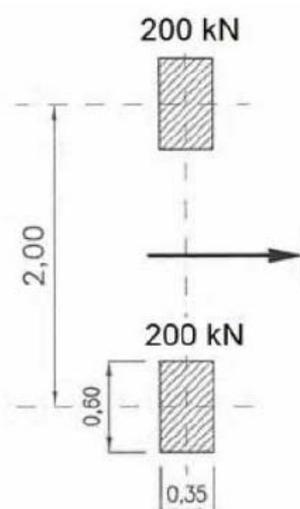


Figura 6-2: Applicazione del modello 2 (schema di carico 2)

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.

6.2.2.2 Carichi ferroviari

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 ferroviario.

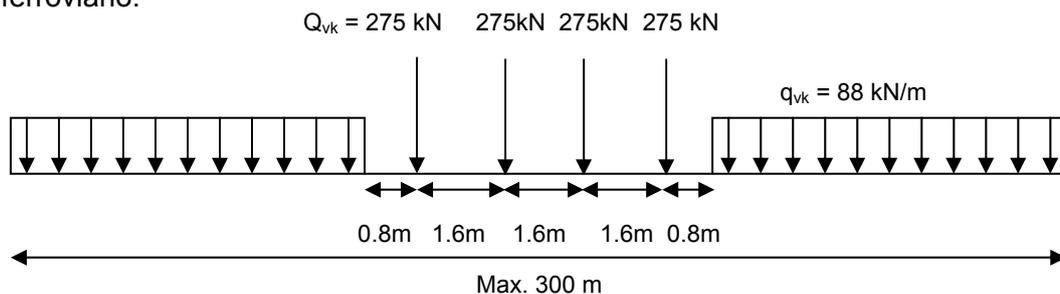


Figura 6-3: Modello di carico 71 con $\alpha=1.10$

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.

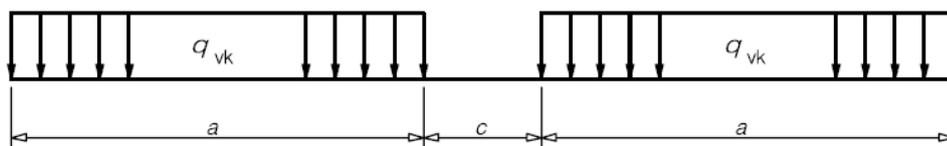


Figura 6-4: Modello di carico SW/0 e SW/2

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:

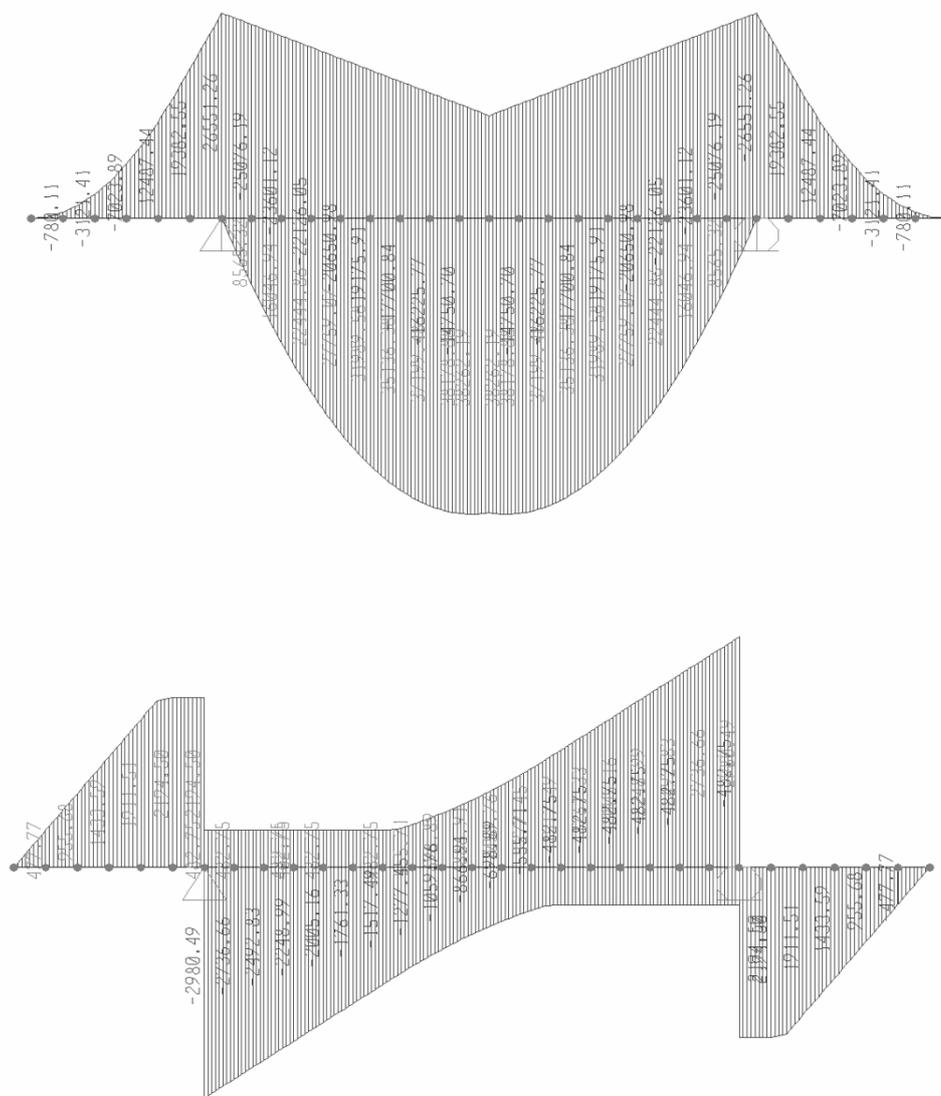


Figura 6-5: Forze indotte dal modello di Carico SW/0

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali		Codice documento PS0157_F0_ITA.docx	Rev F0	Data 20-06-2011

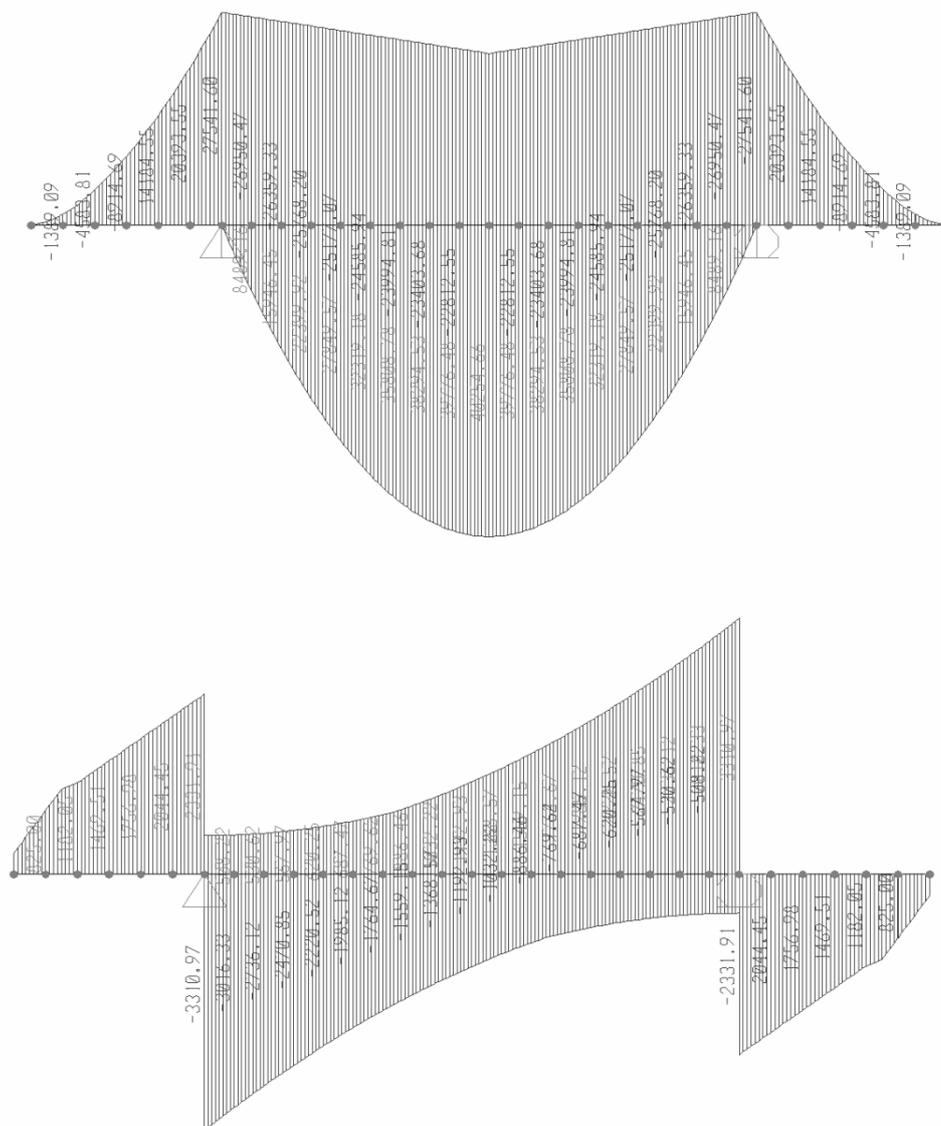


Figura 6-7: Forze indotte dal modello di Carico LM71

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.

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 mezzera della rotaia.

La forza di serpeggiamento sopra specificata è stata moltiplicata per il fattore α .

6.2.3 Carico da vento

I carichi da vento vengono applicati secondo i Criteri di Progettazione GCG.F.04.01 sezione 5.3.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	Codice documento <i>PS0157_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011	

6.2.3.1 Vento statico

Il vento statico medio viene applicato con un profilo verticale come descritto nei Criteri di Progettazione PG0025 per inserire nel modello una variazione della velocità media del vento lungo la verticale come indicato nella seguente formula:

$$\bar{u}(z) = \alpha_d \cdot \alpha_r \cdot [u_{ref} \cdot k_r \cdot \ln(z/z_0) + 0.01 \cdot z]$$

E' stato definito un modello congiunto con 2 linee come indicato nella seguente figura.

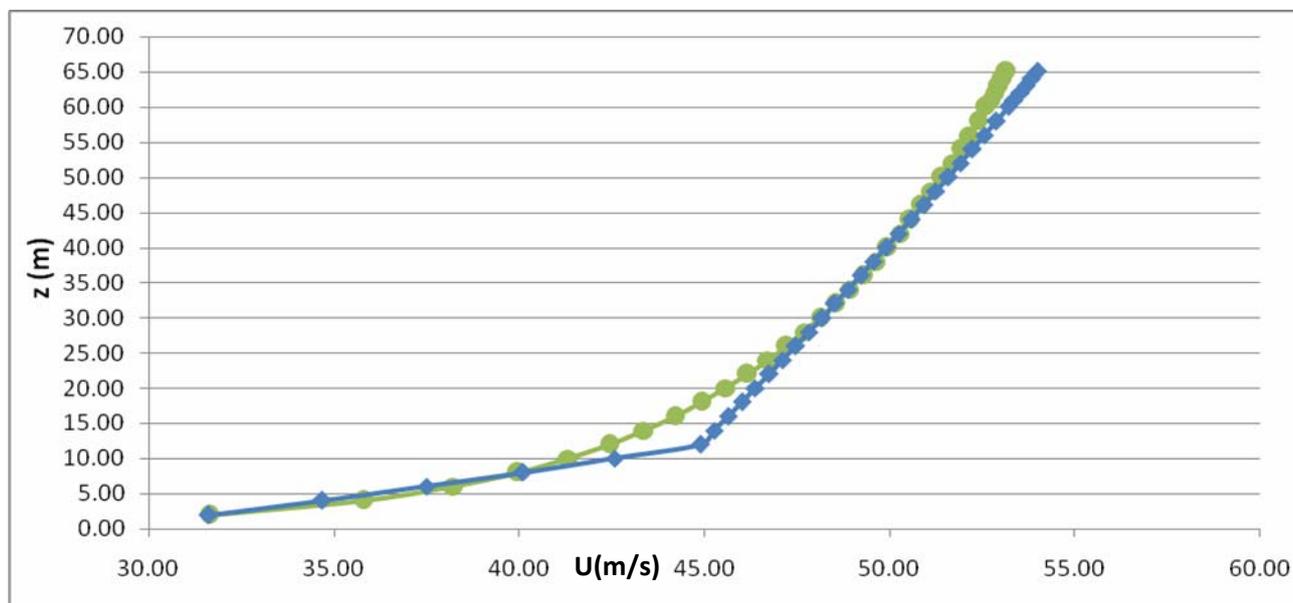


Figura 6-8: Vento statico rispetto all'altezza

Nel modello SAP, la 1^a variazione lineare del vento lungo la verticale viene applicata fino ad un'altezza di 12 m e la 2^a variazione al di sopra di tale limite.

6.2.4 Carichi termici

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

Nel modello vengono introdotte delle variazioni termiche aggiungendo un modello congiunto in grado di riprodurre tali variazioni lungo i gusci.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

6.2.5 Carichi sismici

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

I principi usati per l'analisi sismica sono descritti nella relazione CG1000-P-RG-D-P-SV-00-00-00-00-00-01, "Descrizione del Modello Globale IBDAS".

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 FEM IBDAS globale

6.3 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. I componenti di carico considerati nella tabella delle combinazioni sono definiti in Tabella 2.9. 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 μ 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 tabelle contenenti le combinazioni di carico utilizzate sono riportate nell'Appendice 3 della relazione PF0158.

6.4 Comportamento globale

La progettazione della maggior parte dei componenti delle strutture terminali si basa sui risultati del modello semi locale analizzato con SAP. Il presente capitolo descrive la modellazione dei seguenti aspetti comportamentali globali principali delle strutture terminali:

- Analisi statica
- Analisi da fatica

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

- Analisi sismica (usata solo come analisi di verifica attraverso i risultati del modello IBIDAS)

I seguenti elementi sono stati progettati e verificati con il modello globale:

- Cassone in acciaio
- Controventi trasversali
- Travi longitudinali
- Travi trasversali

6.5 Comportamento Locale

La modellazione globale e le verifiche di progetto descritte nella presente relazione vengono integrate con la modellazione semi locale e locale degli elementi shell dei seguenti componenti:

- Soletta impalcato in calcestruzzo
- Predalles
- Analisi da fatica

6.5.1 Modello SAP Locale a gusci

Il programma SAP 2000 elabora anche i modelli FEM locali. In tutto, sono stati analizzati Quattro diversi modelli:

- Modello delle Predalles in calcestruzzo con trave semplicemente appoggiata.
- Modello FEM locale della soletta in calcestruzzo per la determinazione della concentrazione di sollecitazioni su strada e ferrovia.
- Modello con trave superiore trasversale HE500B (trattato nel precedente modello FEM locale).
- Modello FEM locale di una sezione trasversale per la determinazione delle sollecitazioni da fatica.

Lo scopo generale dei modelli locali è quello di verificare la soluzione proposta per gli elementi e dimostrare che il flusso delle sollecitazioni è accettabile rispetto alla combinazione di carichi SLU.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Per facilitare il calcolo, il modello comprenderà elementi shell, mentre gli irrigidimenti e le travi trasversali verranno modellati con elementi beam. Al fine di determinare con la massima accuratezza la distribuzione delle sollecitazioni, tutti gli altri elementi verranno modellati come elementi shell. L'applicazione di elementi beam ha lo scopo di ridurre in modo significativo i tempi di calcolo senza compromettere la precisione dell'analisi.

7 Principi di Progetto

Il presente capitolo descrive i metodi usati per la verifica dei componenti delle strutture terminali negli stati SLS, ULS, and FLS.

7.1 Stati limite d'esercizio

Il presente paragrafo descrive i metodi usati per verificare le prestazioni dei componenti delle strutture terminali nello stato SLS.

7.1.1 Elementi d'impalcato in acciaio

La capacità degli elementi longitudinali è determinata dal primo limite di snervamento in corrispondenza di una qualsiasi sezione trasversale a causa dell'insufficiente duttilità disponibile per il comportamento plastico. Il comportamento e la capacità della sezione sono uguali in tutte le combinazioni di carico, ad eccezione delle potenziali riduzioni di diffusione del taglio sotto carico SLS. Tuttavia, la diffusione di taglio non compromette le caratteristiche delle sezioni degli elementi dell'impalcato a causa delle notevoli lunghezze lungo le quali si sviluppano i momenti flettenti e quindi sono le combinazioni di carico ULS e SILS a determinare il progetto dell'impalcato delle strutture terminali. La verifica della sollecitazione nelle combinazioni di carico SLS non è necessaria.

Verranno calcolati lo spostamento o le deformazioni che potrebbero limitare l'uso della struttura nella combinazione di carico SLS.

La verifica dell'ULS degli elementi longitudinali è descritta al punto 7.2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

I diaframmi trasversali e gli irrigidimenti vengono usati come vincolo nei confronti dell'imbozzamento fuori piano dei pannelli irrigiditi longitudinalmente. I diaframmi a piastra intera ed i controventi vengono usati per evitare eccessive distorsioni torsionali negli elementi.

Come gli elementi longitudinali, anche questi elementi non necessitano di una verifica delle combinazioni di carico SLS . La verifica dell'ULS degli elementi trasversali è descritta al punto 7.2

7.1.2 Elementi impalcato in calcestruzzo

La soletta in calcestruzzo viene realizzata mediante una gettata di calcestruzzo su predalles in calcestruzzo. Gli effetti derivanti dal carico statico della gettata di calcestruzzo vengono tutti assorbiti dalle predalles. Gli effetti dovuti alle azioni variabili indotte dall'uomo quali i carichi da traffico sono a carico della soletta per l'intero suo spessore.

Durante la fase della gettata verranno esaminati gli effetti dei carichi SLS sulle predalles, mentre per la soletta in calcestruzzo si provvederà ad esaminare la fessurazione. Il limite di fessurazione assunto è pari a $w = 0,3$ mm per SLS Frequente.

7.2 Stati Limite Ultimi

La verifica dell'ULS nei componenti delle strutture terminali segue in genere le stesse procedure. L'unica differenza nelle verifiche di stati limite è data dal fatto che i fattori parziali dei materiali verranno assunti uguali a 1,0 per le verifiche SILS.

7.2.1 Verifiche degli elementi in acciaio

E' stata eseguita una verifica nei seguenti casi di tutti gli elementi in acciaio che compongono l'intero impalcato delle strutture terminali:

- Resistenza delle sezioni trasversali alle sollecitazioni generali,
- Resistenza degli elementi all'instabilità valutata mediante verifiche degli elementi stessi,
- Resistenza all'instabilità delle strutture laminate soggette a carichi fuori piano.

7.2.2 Resistenza delle sezioni trasversali:

Gli elementi in acciaio sono soggetti a tutta una serie di azioni che si sviluppano simultaneamente

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> <i>PS0157_F0_ITA.docx</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20-06-2011</i>	

in diverse direzioni.

Le verifiche devono essere eseguite secondo la classe delle sezioni trasversali, che dipenderà dal tipo di sollecitazioni che agiscono sulla sezione trasversale. La classificazione viene fatta secondo le norme italiane tenendo conto del tipo di sezione trasversale e della sua capacità di rotazione. Sono state individuate quattro classi, la cui analisi dipende dalla classe della sezione trasversale. Per la sezione trasversale di classe 4 l'analisi è sempre elastica.

Tutto quanto si trova attorno alle sezioni trasversali è risultato essere di classe 4, per cui le verifiche vengono svolte partendo dal presupposto di un comportamento elastico. Una verifica elastica è stata pure eseguita per quegli elementi che sono stati classificati diversamente dalla classe 4.

Per comporre le varie azioni che possono derivare da un materiale elastico, è stato usato il criterio di Von Mises con l'inclusione di fattori di sicurezza parziali di resistenza dei materiali:

$$\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{z,Ed} \sigma_{x,Ed} + 3 \tau_{Ed}^2 \leq (f_{yk} / \gamma_{M0})^2$$

dove:

$\sigma_{x,Ed}$ è la sollecitazione longitudinale locale nel punto in esame,

$\sigma_{z,Ed}$ è la sollecitazione trasversale locale nel punto in esame,

τ_{Ed} è la sollecitazione di taglio locale nel punto in esame,

γ_{M0} è il fattore di sicurezza della resistenza dei materiali.

7.2.3 Classificazione delle sezioni trasversali

Ciascuna sezione trasversale è stata classificata tenendo conto della sua capacità di rotazione ottenendo così quattro classi. La classificazione può essere fatta facendo riferimento alle tabelle contenute nelle norme italiane NTC 2008.

Se la sezione trasversale è costituita da due o più piastre in acciaio come nel caso degli elementi in acciaio del cassone scatolare, la classe assunta per l'intera sezione trasversale è la maggiore di quelle di ciascun elemento.

Gli elementi in acciaio in esame sono divisi in tre elementi principali: la trave, le flange e le nervature.

La classificazione di ciascun elemento e di ciascuna sezione trasversale è indicata nella relazione relativa alle verifiche.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

7.2.4 Resistenza all'instabilità degli elementi

Gli elementi caricati da forze assiali negative (compressione) devono essere verificati a fronte dell'imbozzamento come prescritto dalle norme italiane NTC 2008.

Gli elementi più soggetti a compressione sono le travi diagonali in acciaio HE300 B, che costituiscono i controventi trasversali .

Un elemento sottoposto a compressione deve essere verificato a fronte dell'imbozzamento come segue:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

dove:

N_{Ed} è la forza assiale di progetto ,

$N_{b,Rd}$ è la resistenza di progetto nei confronti dell'imbozzamento dell'elemento soggetto a compressione

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_{yk}}{\gamma_{M1}}$$

Per le sezioni trasversali di classe 1,2

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_{yk}}{\gamma_{M1}}$$

Per le sezioni trasversali di

□

Il fattore di riduzione χ dipende dal tipo di sezione trasversale e dalla resistenza dell'acciaio; esso viene determinato considerando un'adeguata snellezza non-dimensionale λ secondo:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$$

dove:

$$\Phi = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

$\bar{\lambda}$ è la snellezza non-dimensionale così determinata:

Per le sezioni trasversali di classe 1,2 e 3

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_{yk}}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_{yk}}{N_{cr}}}$$

Per le sezioni trasversali di classe 4

α è un fattore di imperfezione corrispondente ad un'adeguata curva d'imbozzamento ottenuta dalla tabella 4.2.VI della norma NTC 2008 in relazione alla sezione trasversale, al tipo di acciaio ed al piano di flessione.

N_{cr} è la forza elastica critica del relativo modo di imbozzamento basato sulle caratteristiche trasversali lorde e sulla lunghezza degli elementi ottenute applicando la classica teoria elastica di Euler. Per il primo modo:

$$N_{cr} = \frac{\pi E I}{L_0^2}$$

dove:

L_0 = lunghezza dell'imbozzamento sul piano di imbozzamento considerato e calcolato uguale a $\beta \cdot L$

β = dipende dalle condizioni di vincolo dell'elemento nel piano di imbozzamento

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali		<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

considerato .

Gli effetti di imbozzamento possono essere ignorati se $\bar{\lambda} < 0,2$ o $N_{ed} < 0,04 N_{cr}$.

Nel caso in cui la snellezza λ sia < 250 per gli elementi secondari e λ sia < 200 per gli elementi principali:

$$\lambda = \frac{L_0}{i}$$

dove:

L_0 = lunghezza di imbozzamento sul piano di imbozzamento considerato e calcolato uguale a $\beta \cdot L$

β = dipende dalle condizioni di vincolo dell'elemento nel piano di imbozzamento considerato.

i = raggio di rotazione attorno al relativo asse

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

Secondo le norme italiane, le strutture in acciaio laminate che costituiscono il cassone devono essere sottoposte a verifica nei confronti del collasso da imbozzamento. Le regole di progettazione strutturale e le successive verifiche delle piastre irrigidite vengono indicate qui di seguito .

Nel caso delle piastre non irrigidite, le verifiche di imbozzamento devono essere verificate nel caso in cui non venga soddisfatta la seguente relazione:

$$\frac{h_w}{t} > \frac{72}{\eta} \cdot \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}}$$

In questo caso, tale verifica non ha senso se si considera che le piastre sono rinforzate longitudinalmente e trasversalmente mediante irrigidimenti aperti.

Quindi, per le verifiche di imbozzamento si dovrà tener conto della seguente relazione:

$$\frac{h_w}{t} \leq \frac{31}{\eta} \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}$$

dove:

t = spessore del pannello

h_w = altezza del pannello

$\varepsilon = (235/f_y)^{1/2}$

$\eta = 1.2$

k_τ = coefficiente di imbozzamento minimo per le azioni di taglio.

Nel caso in cui questa relazione non venga soddisfatta, le norme italiane NTC2008 contengono le regole da applicare per le verifiche delle piastre irrigidite nei confronti del collasso da imbozzamento.

Le verifiche eseguite e riportate nella relativa relazione indicano tutte le condizioni ed il criterio seguiti per la loro esecuzione.

7.2.6 Resistenza al taglio

Il presente paragrafo indica le regole di resistenza al taglio delle piastre tenuto conto dell'imbozzamento da taglio nello stato ULS.

La resistenza al taglio viene calcolata secondo i requisiti della NTC 08, punto 4.2.4.1.2.

Per le travi non irrigidite o irrigidite, la resistenza di progetto al taglio dovrà essere assunta come segue:

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

dove: h_w è la profondità del pannello,

k_t è il coefficiente di imbozzamento da taglio,

f_{yw} è la resistenza allo snervamento del pannello,

γ_{M1} è il fattore parziale del materiale .

e dove il contributo della trave è dato da:

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

ed il contributo delle flange è conforme a quanto segue:

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{a \left(0.25 + \frac{1.6 \cdot b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{t \cdot h_w^2 \cdot f_{yw}} \right) \gamma_{M1}} \cdot \left[1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,red}} \right) \right]$$

dove:

$$M_{f,red} = \frac{M_{fk}}{\gamma_{M0}} \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{(A_{fi} + A_{fs}) \cdot f_{yf}} \right)$$

La verifica viene eseguita come segue:

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{b,Rd} \leq 1.0$$

dove V_{Ed} è la forza di taglio comprendente il taglio da momento di forza (torque).

7.2.7 Valutazione della fatica

Le verifiche di sicurezza delle parti al di sotto della zona interessata da carichi ferroviari vengono eseguite secondo le norme ferroviarie italiane previste per i carichi a fatica e le verifiche di sicurezza [RFI 44 F: RFI DTC-ICI-PO SP INF 003 A] . Le verifiche di sicurezza delle parti sottostanti alle strade, caricate esclusivamente con i carichi derivanti dal traffico stradale, vengono invece eseguite secondo la norma italiana NT08.

Come specificato nel progetto di base, le verifiche di sicurezza a fatica si riferiscono ad una vita illimitata di tutti i componenti analizzati. Per questo tipo di verifiche a fatica vengono usati i carichi ed i fattori di sicurezza richiesti.

Le verifiche a fatica interessano solo quelle parti dell'impalcato in acciaio che sono maggiormente compromesse dai carichi indotti dall'uomo quali il traffico stradale e ferroviario.

Le parti maggiormente interessate dai carichi da fatica sono le saldature tra le nervature ed i pannelli.

Alcuni di questi elementi sono soggetti ad effetti da fatica sia globali sia locali. Altri elementi sono principalmente soggetti ad effetti da carico locale ed è per questo motivo che tali effetti sono stati determinati usando modelli locali adeguati.

Le parti analizzate dal punto di vista degli effetti a fatica devono essere individuate con una classe di dettaglio tale 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 ½ HE 600A
- la saldatura su un giunto cruciforme tra la nervatura trasversale del pannello verticale costituito da ½ HE 600A e la nervatura trasversale del pannello inferiore realizzato con ½ IPE 600.
- la saldatura della nervatura trasversale del pannello verticale realizzato con ½ HE 600A e il pannello stesso.
- la saldatura della nervatura trasversale del pannello inferiore realizzato con 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 della tabella CG1002 P BX D P SV S8 VS 00 00 00 01 B.
- 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

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 $\Delta\sigma=(\sigma_{max}-\sigma_{min})$ sia minore del campo delle sollecitazioni ammesse per i dettagli verificati.

La categoria assegnata a ciascun dettaglio indica il campo massimo delle sollecitazioni ammesse per quel dettaglio nelle verifiche di sicurezza per una vita utile illimitata. Le categorie di fatica vengono usate secondo NTC 08 (fare riferimento alla figura 7-1, 7-2, 7-3 ed alla tabella 7.1).

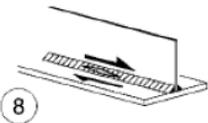
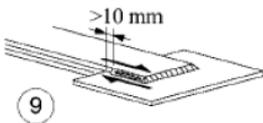
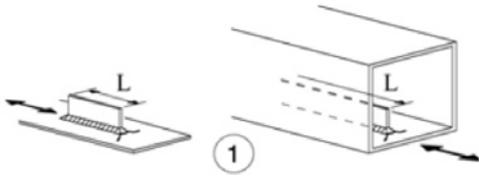
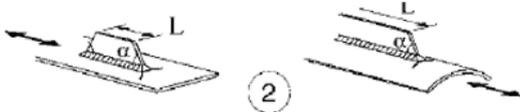
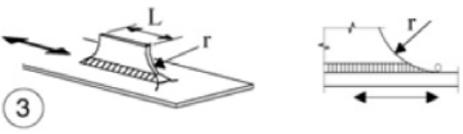
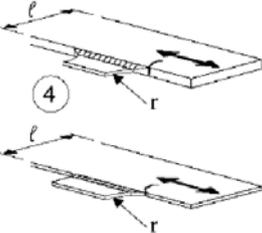
Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
80	 	8) Cordoni d'angolo continui soggetti a sforzi di sconnessione, quali quelli di composizione tra anima e piattabanda in travi composte saldate 9) Giunzioni a sovrapposizione a cordoni d'angolo soggette a tensioni tangenziali	8) $\Delta\tau$ deve essere calcolato in riferimento alla sezione di gola del cordone 9) $\Delta\tau$ deve essere calcolato in riferimento alla sezione di gola del cordone, considerando la lunghezza totale del cordone, che deve terminare a più di 10 mm dal bordo della piastra

Figura 7-1: Tabella C4.2.XVII.b Giunti saldati che sostengono dei carichi ($\Delta\sigma$)

Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
80 (a) 71 (b) 63 (c) 56 (d)		<p>Attacchi saldati longitudinali</p> <p>1) La classe del dettaglio dipende dalla lunghezza dell'attacco</p> <p>(a) $L \leq 50$ mm (b) $50 < L \leq 80$ mm (c) $80 < L \leq 100$ mm (d) $L > 100$ mm</p>	Spessore dell'attacco minore della sua altezza. In caso contrario vedi dettagli 5 e 6
71		2) Attacchi saldati longitudinali a piatti o tubi con $L > 100$ mm e $\alpha < 45^\circ$	
80		<p>3) Fazzoletti d'attacco saldati a piatti o tubi con cordoni d'angolo longitudinali e dotati di raccordo di transizione terminale di raggio r.</p> <p>La parte terminale dei cordoni deve essere rinforzata, cioè a piena penetrazione, per una lunghezza maggiore di r.</p> <p>$r > 150$ mm</p>	Raccordo di transizione di raggio r realizzato con taglio meccanico o a gas realizzato prima della saldatura del fazzoletto. Al termine della saldatura, la parte terminale deve essere molata in direzione della freccia per eliminare completamente la punta della saldatura
90 (a) 71 (b) 50 (c)		<p>4) Fazzoletti d'attacco saldati a un lato di un piatto o della piattabanda di una trave e dotati di raccordo di transizione di raggio r.</p> <p>La lunghezza L deve essere valutata come per i dettagli 1), 2) e 3).</p> <p>La stessa classificazione può essere adottata anche per piattabande saldate dotate di raccordo di transizione di raggio r.</p> <p>(a) $r \geq L/3$ o $r > 150$ mm (b) $L/3 > r \geq L/6$ (c) $r < L/6$</p>	Raccordo di transizione di raggio r realizzato con taglio meccanico o a gas realizzato prima della saldatura del fazzoletto. Al termine della saldatura, la parte terminale deve essere molata in direzione della freccia per eliminare completamente la punta della saldatura
40		5) Come saldato, senza raccordo di transizione	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	Codice documento <i>PS0157_F0_ITA.docx</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20-06-2011</i>	

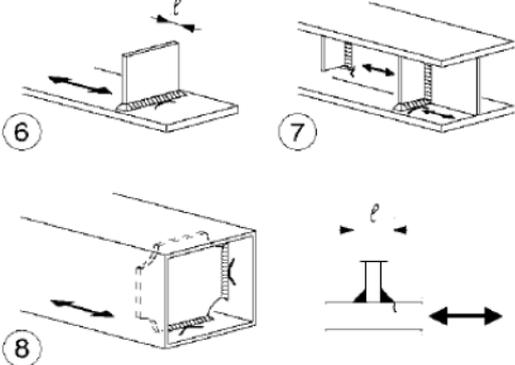
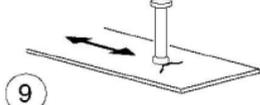
80 (a) 71 (b)		Attacchi trasversali 6) Saldati a una piastra 7) Nervature verticali saldate a un profilo o a una trave composta 8) Diagrammi di travi a cassone composte, saldati all'anima o alla piattabanda (a) $l \leq 50$ mm (b) $50 < l \leq 80$ mm Le classi sono valide anche per nervature anulari	6) e 7) Le parti terminali delle saldature devono essere molate accuratamente per eliminare tutte le rientranze presenti 7) Se la nervatura termina nell'anima, $\Delta\sigma$ deve essere calcolato usando le tensioni principali
80		9) Effetto della saldatura del piolo sul materiale base della piastra	

Figura 7-2: Tabella C4.2.XVI Attacchi saldati ed irrigidimenti ($\Delta\sigma$)

Elemento	Dettaglio costruttivo	Tabella	Classe del dettaglio
1	1 (d)	C4.2.XVI	56
2	1 (d)	C4.2.XVI	56
2b	1 (d)	C4.2.XVI	56
3	8	C4.2.XVII.b	80
4	8	C4.2.XVII.b	80
5	1 (d)	C4.2.XVI	56
6	1 (d)	C4.2.XVI	56
7	1 (d)	C4.2.XVI	56
8	8	C4.2.XVI	80

Tabella 7-1: Elemento e classe del dettaglio

Il fattore di sicurezza γ_M applicato per le verifiche di sicurezza è diverso per il cassone ferroviario e per quello stradale. Questo fattore amplifica il campo delle sollecitazioni calcolate dal modello.

Per la valutazione dell'effetto a fatica sia sul cassone stradale e ferroviario sia su tutti gli elementi viene applicato il metodo di valutazione della vita sicura; si assume inoltre che le conseguenze della rottura dovuta a fatica siano basse. I fattori di sicurezza γ_M risultanti sono:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Cassone	γ_{Mf}
Stradale	1,15
Ferroviario	1,35

Tabella 7-2: Fattori di sicurezza parziali

7.3 Valutazione dell'impalcato

7.3.1 Impalcato: verifica degli elementi in acciaio

Le verifiche di resistenza sono state eseguite sulla base dei principi del metodo semi probabilistico. Tale criterio considera la resistenza della sezione trasversale in funzione della classe della stessa.

Le sezioni trasversali esaminate sono in genere di classe 4, che è considerata la norma per le travi realizzate con pannelli saldati. In questo caso (classe 4), le caratteristiche geometriche si riferiscono alla sezione trasversale effettiva, tenuto conto dei fattori di riduzione di ogni singolo pannello relativi agli effetti di imbozzamento locale.

Tenuto conto di tali considerazioni, la resistenza viene verificata sulla base della resistenza elastica. Le verifiche vengono soddisfatte se le sollecitazioni applicate sono inferiori alla resistenza elastica delle sezioni trasversali.

La classificazione delle sezioni trasversali composite acciaio-calcestruzzo segue le indicazioni fornite per le sezioni in acciaio e contenute nel paragrafo 4.3.2.1 della NTC2008.

Come detto più sopra, la progettazione dei pannelli soggetti a carichi fuori piano viene eseguita tenendo conto della caratteristica reale delle sezioni trasversali. Al fine di determinare le reali caratteristiche delle sezioni trasversali, è necessario definire i fattori di riduzione in relazione alle sollecitazioni che agiscono sulle estremità del pannello.

7.3.1.1 Definizione delle caratteristiche reali delle sezioni trasversali

Dopo aver determinato le sollecitazioni che agiscono sugli elementi, la fase successiva consiste nel definire la sezione trasversale reale dei pannelli che formano il cassone in acciaio tenuto conto di quanto specificato nel C.M. 02.02.2009 n. 61, secondo cui è necessario considerare anche gli effetti globali relativi a piastre e colonne.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

7.3.1.2 Sezioni da verificare

Le sezioni da verificare sono state evidenziate dall'analisi dei risultati del modello FEM relative allo stato di sollecitazione degli elementi shell. Inizialmente sono state individuate le combinazioni di carico più critiche e in seguito, per ciascuna di esse, sono stati analizzati i diagrammi delle sollecitazioni sugli elementi del modello FEM. L'analisi di tali diagrammi ha permesso di identificare la zona maggiormente sollecitata.

Le verifiche hanno interessato solo le zone maggiormente sollecitate che, per quanto riguarda le verifiche di resistenza degli elementi in acciaio, si trovano vicino agli appoggi.

Le sezioni da verificare vengono riportate sotto forma di mappe di sollecitazione nelle relazioni di progetto degli elementi principali, CG1002-P-CL-D-P-SV-S8-00-00-00-00-01 Design Report - Main elements.

Esempi delle mappe sopra descritte sono riportati nelle figure che seguono:

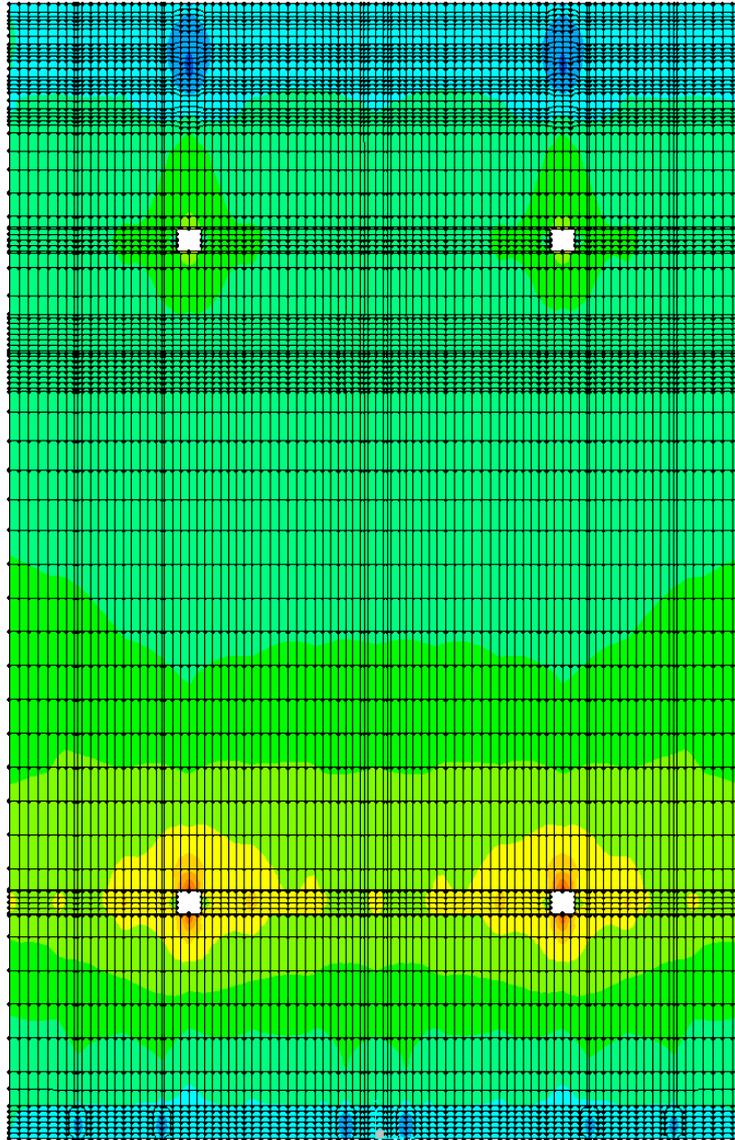


Figura 7-3: Sollecitazione dell'impalcato – Vista dall'alto

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

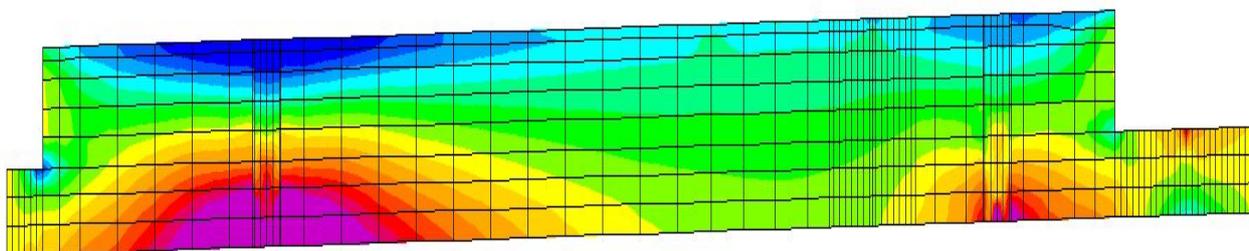


Figura 7-4: Mappa delle sollecitazioni della trave longitudinale

7.3.1.3 Fogli elettronici di verifica – Sezioni in acciaio longitudinali e trasversali

Al fine di strutturare e generalizzare i calcoli delle sezioni longitudinali dell'impalcato in acciaio nelle strutture terminali, è stato sviluppato un foglio elettronico di verifica dell'acciaio basato sulla NTC08. La verifica dei cassoni longitudinali in acciaio comprende la verifica delle sezioni, delle sollecitazioni e dell'imbozzamento. Il progetto viene realizzato secondo il Progetto di Base specifico con riferimento di fondo alla NTC08.

La verifica globale dell'impalcato sospeso si basa sulle forze derivate delle sezioni ottenute dal modello FEM SAP semi locale.

Il foglio elettronico di verifica viene sviluppato secondo le linee guida indicate nella NTC08 per le strutture in acciaio. Il foglio elettronico ad hoc è studiato per essere usato su un cassone in acciaio chiuso con qualsiasi tipo di geometria esterna ed in qualsiasi punto degli irrigidimenti longitudinali. Il foglio elettronico calcola le caratteristiche approssimative e reali delle sezioni per una data serie di parametri comprendenti la geometria delle sezioni, gli spessori delle piastre, i tipi e le distanze degli irrigidimenti, gli spazi tra i diaframmi e la lunghezza del diagramma dei momenti. I calcoli si basano sulle forze trasversali ricavate dal modello FEM SAP.

7.3.2 Impalcato: verifica degli elementi in calcestruzzo

L'impalcato in calcestruzzo è stato studiato utilizzando modelli FEM locali ed eseguito con il programma computerizzato SAP 2000. Sono stati analizzati i seguenti modelli:

- Modello delle travi semplicemente appoggiate per le predalles in calcestruzzo.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

- Modello FEM della soletta in calcestruzzo per la determinazione della concentrazione delle sollecitazioni su strada e ferrovia.

7.3.2.1 Verifica del calcestruzzo

Le verifiche qui di seguito descritte vengono eseguite utilizzando il programma commerciale GEOSTRU. Le verifiche comprendono le seguenti fasi.

Input

Le forze delle sezioni nelle combinazioni ULS e SLS (Char., Freq, and Quasi-perm.) vengono indicate sotto forma tabellare. Le forze sono state ricavate per massimizzare la forza assiale (F3), i momenti (M1 o M2) e le forze di taglio (F1 o F2). Le forze presentate in tabella sono ricavate dal modello SAP 2000.

Per la verifica vengono forniti i parametri dei materiali e per lo stato SLS vengono fornite anche le larghezze ammesse per le fessurazioni a seconda che si tratti di una combinazione di carico frequente o quasi permanente.

La sezione da verificare viene definita dal punto di vista geometrico così come viene definita anche l'armatura. E' da notare che in certi casi viene applicato un diametro delle barre di 45 mm, che non è il diametro reale delle barre, ma che è stato applicato come se fosse equivalente a 2 barre più piccole .

Le forze delle sezioni inizialmente elencate vengono caricate nel programma, che verificherà le sezioni secondo le forze applicate.

Output

I risultati delle verifiche vengono indicati in termini di carichi flettenti ed assiali, di taglio e infine di larghezza delle fessurazioni.

La verifica viene confermata con S (Si = yes) o N (No = no) e la conferma verrà elencata nella colonna "Ver".

Carico assiale – Sollecitazione flessionale

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Per l'interazione carico assiale-sollecitazione flessionale viene indicato anche il rapporto tra capacità e domanda nella colonna "Mis. Sic" (Misura Sicurezza = safety level) – vedere esempio sotto indicato.

S.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	16513087	0	-21887379	16513092	0	-356535128	16.290

Esempio: Mis. Sic. = capacità / domanda = My ult / My = -356535128 / -21887379 = 16.290

Per la verifica carico assiale-sollecitazione flessionale, la capacità assiale "Nult" viene assunta all'incirca uguale al carico assiale applicato per determinare la restante capacità di sollecitazione flessionale.

Taglio

Il taglio viene verificato confrontando il carico applicato con il minimo della capacità singola del calcestruzzo (Vcd) o dell'armatura (Vvd).

Larghezza delle fessurazioni

La fessurazione viene verificata confrontando la larghezza delle fessurazioni calcolata (Ap.Fess.) con la larghezza ammessa per le fessurazioni.

Nel calcolo della larghezza delle fessurazioni si dovrà tener conto dell'irrigidimento da tensionamento.

7.3.3 Impalcatura: 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
SICILIA	0.0456 m	0.0917 m

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

CALABRIA	0.0287 m	0.0583 m
----------	----------	----------

Tabella 7-3: Freccia dell'impalcato

8 Articolazione

8.1 Introduzione

Il Ponte di Messina è un ponte molto grande e flessibile per cui i carichi avranno come risultato dei movimenti molto ampi della struttura sospesa. Il carico da vento trasversale sulla struttura comporta un movimento orizzontale fino a 12,5 m del cassone del ponte. I carichi da traffico sul ponte comportano dei movimenti verticali del cassone del ponte fino a 4,1 m e movimenti in direzione longitudinale fino a 6,7 m quando combinati con carichi da vento nello stato SLS II. Grossi movimenti del cassone del ponte hanno come conseguenza un'usura pronunciata dei componenti meccanici, è tuttavia importante ridurre il più possibile i movimenti in modo da ottenere una progettazione economica e ridurre il più possibile l'interferenza con il traffico a seguito di lavori di riparazione e manutenzione.

Le strutture terminali hanno gli stessi requisiti necessari per il ponte e le scelte fatte in termini di sistemi di articolazione per il ponte ed i viadotti che poggiano su di esso.

E' inoltre necessario che il comfort degli utenti sia elevato durante l'attraversamento del ponte per strada o ferrovia.

I componenti meccanici quali appoggi e giunti d'espansione del ponte dovranno rimanere più a lungo possibile nel campo che si è dimostrato fattibile per altri ponti.

Il ponte e le strutture terminali dovranno essere in grado di resistere a gravi terremoti e a tale scopo la flessibilità del ponte rappresenterà un vantaggio nella limitazione delle forze nella struttura.

L'obiettivo è quello di introdurre un sistema di dispositivi che impedisca il movimento in normali condizioni d'esercizio, ma che consenta i movimenti del cassone durante gravi combinazioni di carico quali un terremoto e sia in grado di dissipare l'energia.

I componenti del sistema sopra descritto verranno introdotti nelle seguenti sezioni.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

8.2 Scopo

La progettazione dei buffer idraulici, degli appoggi e dei giunti d'espansione è proposta dai costruttori sulla base delle specifiche tecniche di COWI.

Le specifiche tecniche sono conformi a:

- 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.

8.3 Articolazione

I principi essenziali del Sistema di Articolazione sono stati modificati rispetto al Progetto di Gara. Sono stati previsti dei buffer idraulici nelle direzioni longitudinali secondo le caratteristiche di carico/spostamento incluse nel Progetto di Gara. I buffer idraulici nelle direzioni trasversali sono stati invece eliminati.

Il disegno sotto indicato fornisce una visione d'insieme dell'articolazione delle strutture terminali:

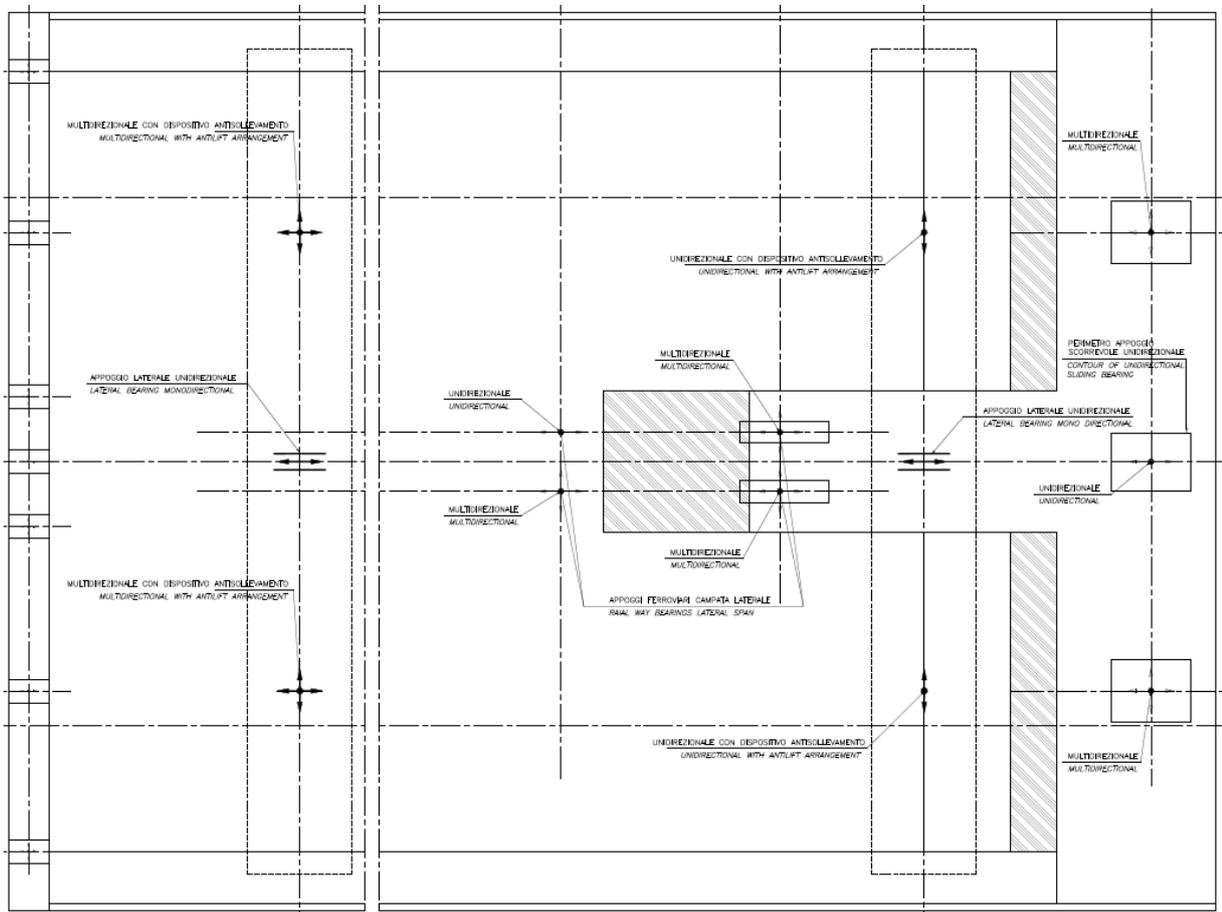


Figura 8-1: Articolazione delle strutture terminali

Un vincolo trasversale verrà installato in corrispondenza della trave trasversale delle pile in modo da bloccare i movimenti trasversali tra la sottostruttura e la superstruttura.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	Codice documento <i>PS0157_F0_ITA.docx</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20-06-2011</i>	

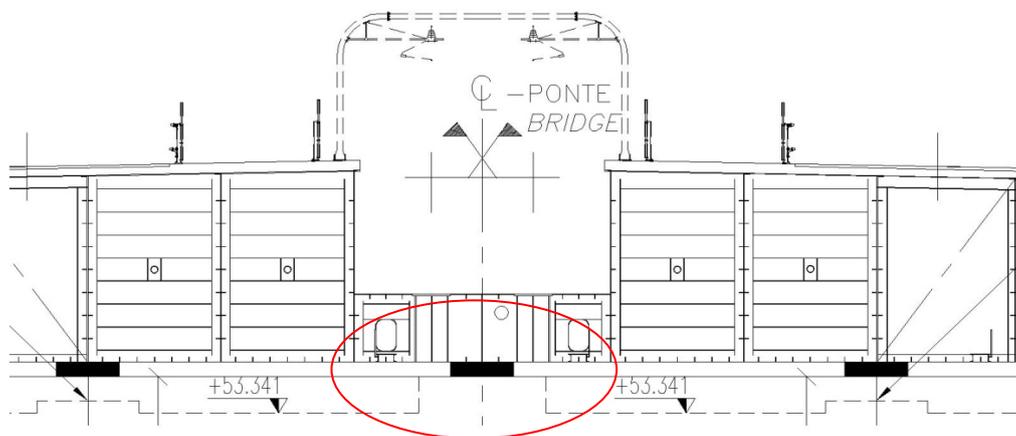


Figura 8-2: Appoggio laterale monodirezionale, movimenti trasversali non ammessi

I giunti d'espansione stradali proposti da MAGEBA sono stati modificati. Adesso sono più larghi sia per la strada sia per la ferrovia. Inoltre, sull'impalcato stradale, è richiesto per questi dispositivi uno spazio in verticale supplementare di ca. 1,2 m.

E' stata prevista un'area supplementare per i martinetti provvisori attorno agli appoggi tra le pile e la sovrastruttura in modo da consentire la manutenzione e la sostituzione di tali dispositivi.

8.3.1 Appoggi

Le sovrastrutture terminali sono sostenute da appoggi posti sulle pile. Ad entrambe le estremità della struttura del ponte sospeso, il cassone ferroviario sporge all'interno della struttura terminale e gli appoggi dei carichi verticali sono situati all'estremità del cassone ferroviario in corrispondenza del cassone tipo T8 e del cassone tipo T7. Due ulteriori appoggi dei carichi verticali si trovano in corrispondenza del traverso che collega i cassoni stradali e ferroviario alla struttura terminale.

In direzione trasversale, il cassone ferroviario e stradale è guidato dagli appoggi A11 e A8:

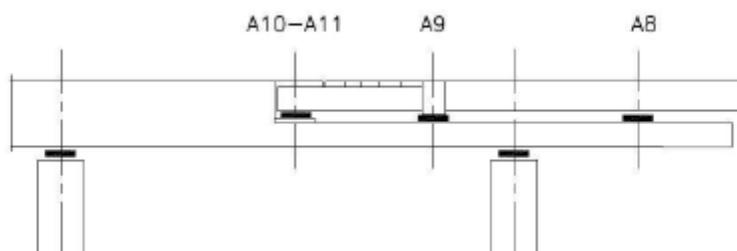


Figura 8-3: Layout degli appoggi nella struttura terminale, lato Sicilia – vista laterale

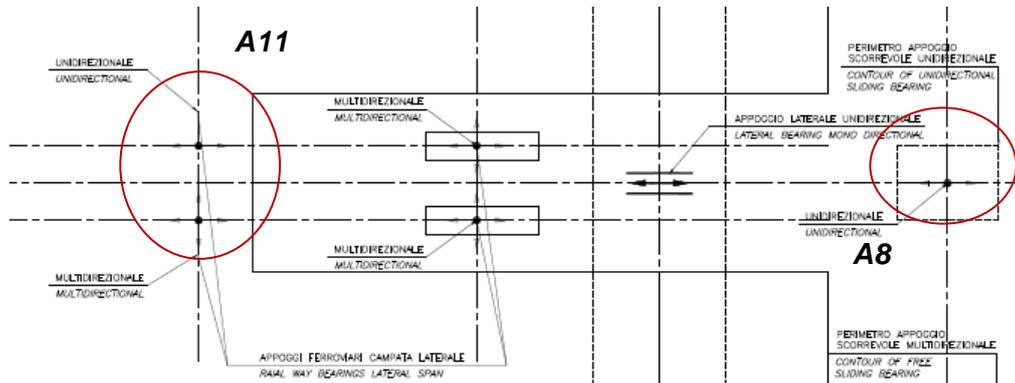


Figura 8-4: Layout degli appoggi nella struttura terminale, lato Sicilia

8.3.2 Dispositivi antisollevamento

A causa della presenza di forze di sollevamento negli appoggi, questi saranno di tipo fisso e dotati di vincoli antisollevamento.

La figura che segue mostra lo schema di tali dispositivi che verranno ulteriormente sviluppati durante la prossima fase di progettazione:

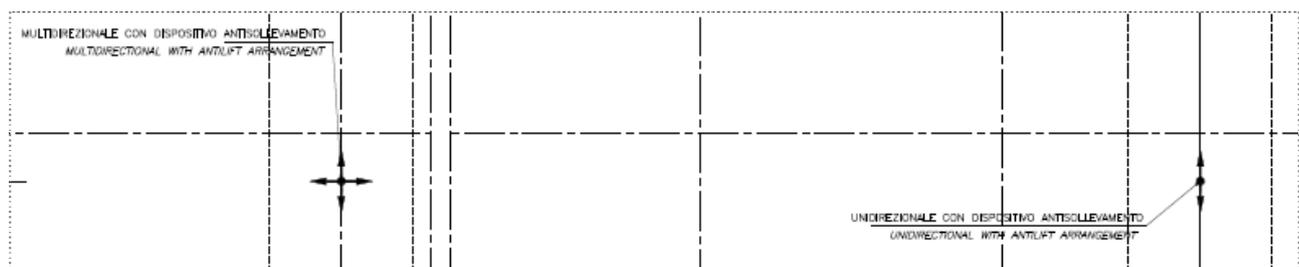


Figura 8-5: Dispositivi antisollevamento su un lato

8.3.3 Giunti d'espansione

Nelle strutture terminali vengono installati giunti d'espansione stradali e ferroviari.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali della progettazione per la sovrastruttura delle strutture terminali	<i>Codice documento</i> PS0157_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

8.3.3.1 Giunti d'espansione stradali

I giunti d'espansione stradali sono di tipo modulare e vengono adattati alle estremità della struttura terminale con una scatola per giunti onde facilitare i grossi movimenti strutturali durante eventuali terremoti.

8.3.3.2 Giunti d'espansione ferroviari

I giunti d'espansione ferroviari sono del tipo per rotaie contrago mobili longitudinalmente che facilitano grossi movimenti longitudinali e rotazionali.

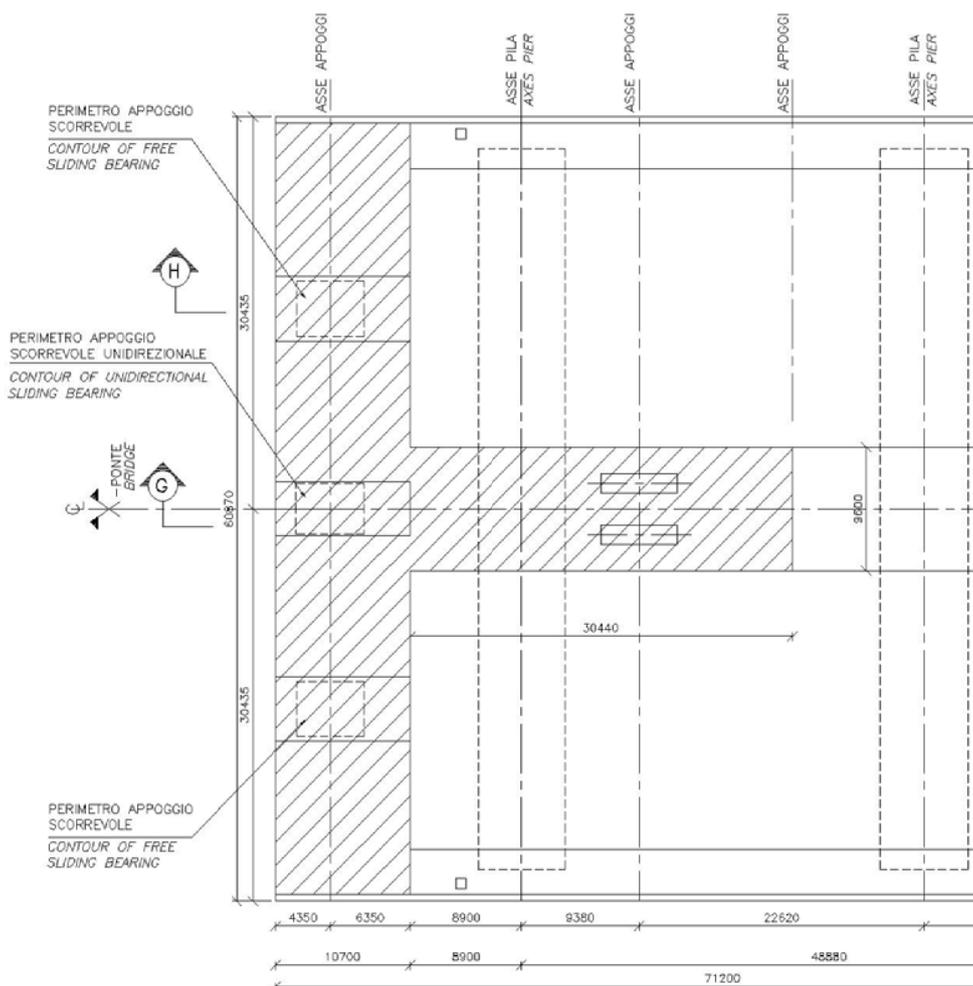


Figura 8-6: Zona dei giunti d'espansione stradali e ferroviari sulle strutture terminali, lato mare