



# PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



## PROGETTO DEFINITIVO

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

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



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

<i>Unità Funzionale</i>	OPERA DI ATTRAVERSAMENTO	<b>PF0130_F0</b>
<i>Tipo di sistema</i>	SOTTOSTRUTTURE	
<i>Raggruppamento di opere/attività</i>	FONDAZIONI STRUTTURE TERMINALI	
<i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i>	Generale	
<i>Titolo del documento</i>	Principi generali di progettazione	

CODICE    C G 1 0 0 2    P    R G    D    P    S T    F 4    0 0    0 0    0 0    0 0    0 1    F0



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





		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

## INDICE

INDICE .....	3
1 Relazione di sintesi .....	7
1.1 Introduzione .....	7
1.2 Scopo .....	9
1.3 Materiali .....	9
1.4 Analisi strutturale .....	10
1.5 Descrizione generale .....	10
1.6 Pilastrini .....	11
1.7 Fondazioni .....	13
1.8 Cassone trasversale .....	13
1.9 Diaframma tie-down .....	14
2 Introduzione .....	14
2.1 Scopo .....	15
2.2 Panoramica della relazione .....	15
2.3 Studi di base .....	16
2.3.1 Basi del progetto .....	16
2.4 Riferimenti .....	17
2.4.1 Specifiche di progettazione .....	17
2.4.2 Codici di progettazione .....	18
2.4.3 Specifiche dei materiali .....	18
2.4.4 Disegni .....	19
2.4.5 Relazioni complementari .....	21
3 Nomenclatura .....	21
4 Stati Limite .....	22
4.1 Stati Limite di Esercizio .....	23
4.2 Stati Limite Ultimi .....	23
5 Materiali .....	24
5.1 Calcestruzzo e armatura .....	24
5.1.1 Calcestruzzo .....	24
5.1.2 Armatura .....	26
6 Considerazioni sulla progettazione della sottostruttura .....	26



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

6.1	Fondazioni delle strutture terminali .....	27
6.2	Pilastri.....	30
6.3	Cavo di tie-down e diaframma .....	33
7	Analisi strutturale .....	36
7.1	Descrizione del modello semi-locale agli elementi finiti .....	36
7.1.1	Presupposti di modellazione .....	37
7.1.2	Sistema di riferimento globale.....	38
7.1.3	Presupposti di base e materiali.....	38
7.1.4	Sistema di coordinate degli elementi.....	39
7.2	Rigidità, masse e pesi.....	39
7.2.1	Proprietà della sezione trasversale .....	39
7.2.2	Masse e pesi .....	39
7.3	Condizioni al contorno e di supporto.....	39
7.3.1	Supporti fra la sovrastruttura e la sottostruttura .....	40
7.3.2	Interfaccia suolo-fondazioni .....	40
7.4	Carichi e combinazioni di carico.....	42
7.4.1	Carico permanente (PP e PN) .....	43
7.4.2	Azioni variabili generate dall'uomo (QL).....	44
7.4.2.1	Carico stradale .....	44
7.4.2.2	Carico ferroviario .....	47
7.4.3	Carico da vento.....	52
7.4.3.1	Vento statico.....	52
7.4.4	Carichi da temperatura .....	53
7.4.5	Carichi sismici.....	53
7.5	Combinazioni di carico.....	54
7.6	Analisi modale .....	54
7.7	Analisi sismica .....	55
7.7.1	Analisi dello spettro di risposta.....	55
7.8	Risultati dei calcoli .....	57
7.9	Supporto pendino tie-down .....	58
7.9.1	Descrizione modellazione agli Elementi Finiti .....	58
7.10	Carichi e combinazioni.....	58
8	Verifiche di progettazione.....	60

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> <i>PF0130_F0_ITA.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20-06-2011</i>	

8.1	Basi di verifica.....	60
8.1.1	Input – Output del programma .....	60
8.2	Verifica strutturale.....	61
8.3	Verifica geotecnica .....	65
8.3.1	Introduzione.....	65
8.3.2	Verifica al ribaltamento .....	65
8.3.3	Verifica $Q_{lim}$ .....	65
9	Verifica.....	68
9.1	Struttura terminale, lato Sicilia .....	68
9.1.1	Sottostruttura terminale.....	68
9.1.2	Fondazione terminale .....	69
9.2	Struttura terminale, lato Calabria.....	70
9.2.1	Sottostruttura terminale.....	70
9.2.2	Fondazione terminale .....	71
10	Sommario.....	72
	Appendice 1 – Calcolo della forza congiunta di taglio .....	74



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

# 1 Relazione di sintesi

## 1.1 Introduzione

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

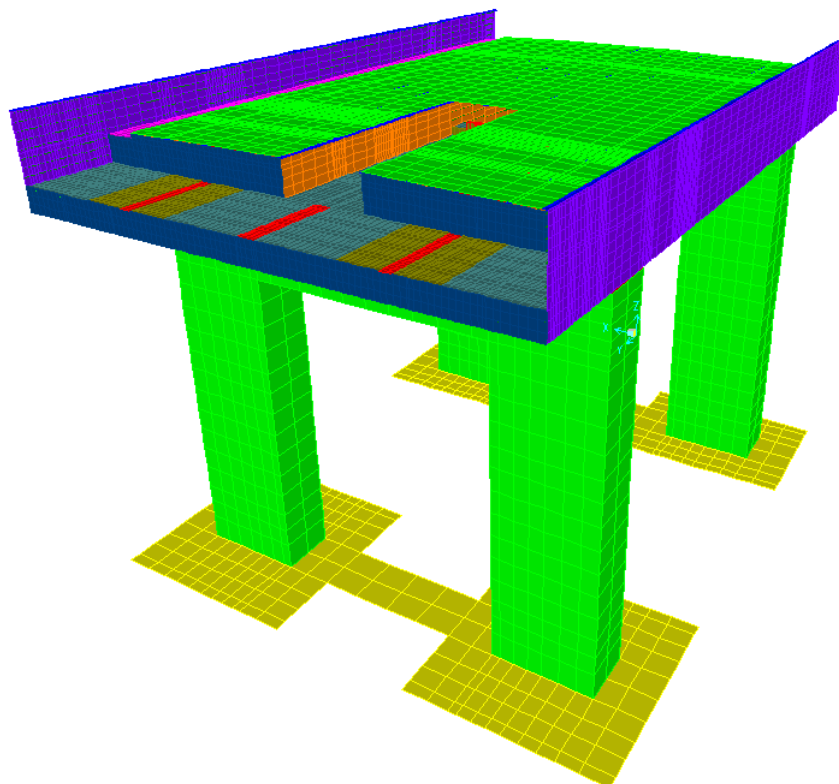
- Pilastrì
- Fondazioni
- Cassone trasversale
- Diaframma tie-down

Il progetto si basa su quanto illustrato nel Progetto di Gara (Tender Design).

Per alcune voci, appare vantaggioso introdurre modifiche al progetto e pertanto vengono apportate le seguenti modifiche:

- I muri di diaframma trasversi sotto le fondazioni sono stati rimossi.
- Le dimensioni delle lastre delle fondazioni sono state modificate rispetto al progetto di gara (26 m x 70 m max. per il lato Sicilia e 21 m x 70 m per il lato Calabria, ad esclusione dei muri di diaframma intorno all'area scavata).
- Le elevazioni dei pilastrì sono state modificate conformemente alle modifiche apportate nei profili principali e nelle pendenze del ponte sospeso.
- La sezione del pilastro è stata suddivisa in due differenti sezioni (una spessa 0,80 m e l'altra 0,50 m).
- É stato aggiunto un ulteriore diaframma, adiacente al diaframma del tie-down, insieme a un diaframma in corrispondenza al fondo della lastra della trave che collega i pilastrì.
- Sono state ridotte le dimensioni dei cassoni trasversali e la dimensione dei pilastrì sopra il diaframma.

Il layout della struttura terminale è mostrato nella Figura 1-1.





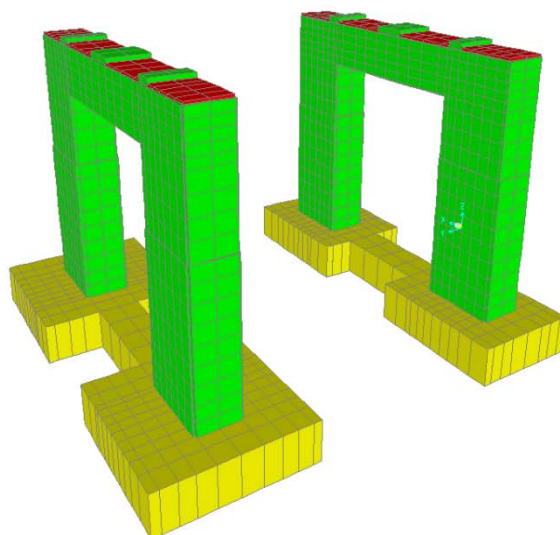
*Figura 1-1: Layout generale*

Le sottostrutture consistono in due pilastri e un cassone trasversale, fondati su lastre di calcestruzzo collegate. Ciascun pilastro consiste in una struttura bicellulare e il cassone trasversale consiste in una struttura scatolare singola.

Una vista della sottostruttura è riportata alla Figura 1-2.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	



*Figura 1-2: Vista laterale di sottostrutture*

## 1.2 Scopo



La presente relazione descrive la progettazione degli elementi strutturali delle sottostrutture terminali, sia lato Sicilia sia lato Calabria.

Nel Technical Design Report (Relazione specialistica di progettazione tecnica) è riassunta la progettazione, che è verificata nel dettaglio nella relazione di progetto Design Report (CG1002-P-CL-D-P-SV-S8-00000000-01).

## 1.3 Materiali

Il calcestruzzo strutturale è di grado C32/40 ed è conforme a EN 206-1 per le fondazioni, e di grado C40/50 e conforme a EN 206-1 per i pilastri. La dimensione massima di aggregazione è 25 mm.

Le armature sono in acciaio al carbonio di grado B450C e conformi a EN 10080.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

## 1.4 Analisi strutturale

Le Strutture Terminali sono modellate ed analizzate utilizzando il modello SAP2000, mentre l'intero Ponte sullo Stretto di Messina è stato analizzato nel programma di analisi IBDAS (Sistema Integrato per l'Analisi e Progettazione del Ponte), brevettato COWI.

Le reazioni portanti per i pesi fissi scelti dal modello IBDAS sono state applicate al modello SAP 2000 unitamente alle reazioni portanti derivanti dai viadotti adiacenti, allo scopo di riflettere l'interazione fra la struttura terminale e l'impalcato sospeso.

L'analisi strutturale prende in considerazione la sequenza di costruzione della struttura terminale.

## 1.5 Descrizione generale



Le strutture terminali sono le infrastrutture di accesso che collegano il ponte sospeso con la rete ferroviaria e stradale esistente, sui due lati.

Sul versante della Sicilia, la struttura terminale è collegata al ponte sospeso e al Viadotto Pantano, mentre sul versante della Calabria, essa è collegata al ponte sospeso e ad un viadotto di accesso.

Il ponte sospeso poggia a terra su un certo numero di supporti situati sulla struttura terminale, dove è disposto uno scavo per il cassone ferroviario, che prosegue nella struttura terminale più a lungo del cassone stradale.

Anche il viadotto Pantano poggia a terra su supporti predisposti per la sua geometria, e sia per il viadotto sia per il ponte sospeso la struttura terminale è preparata per l'installazione di grandi giunti di dilatazione che, all'interfaccia dell'impalcato sospeso, si adattano approssimativamente per  $\pm 2000$  mm.

La struttura terminale è composita, consistendo in un impalcato in calcestruzzo e in una struttura a cassone in acciaio. Nel piano di progetto, le dimensioni complessive della struttura terminale sono 60,870 m e 94,200 m rispettivamente per la larghezza e la lunghezza, lato Sicilia, e 60,870 m e 94,200 m rispettivamente per la larghezza e la lunghezza, lato Calabria; mentre l'altezza varia tra 2,810 m al supporto dell'impalcato sospeso e 10,800 m alla facciata. La lastra dell'impalcato in calcestruzzo ha uno spessore che varia fra 300 mm e 400 mm, compresi 50 mm di elementi in calcestruzzo prefabbricati (chiamati anche predalles).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

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

La corsia di servizio è situata all'esterno del piano stradale per tutta la lunghezza dell'impalcato sospeso e della struttura terminale. È la via di accesso primaria per l'ispezione e la manutenzione.

Lungo la ferrovia, vi è una piattaforma situata su entrambi i lati del cassone ferroviario per eventuali evacuazioni. Suddetta piattaforma si estende per tutta la lunghezza della struttura terminale.

Entrambe le strutture terminali hanno una sola campata, con una sporgenza a sbalzo di 19,600 m a ciascuna estremità. Esse sono collegate al sistema di cavi sospesi mediante pendini che, attraverso un'apertura nella sovrastruttura della struttura terminale, sono fissati con tie-down alla sottostruttura.

I supporti su ciascuna sottostruttura sostengono la sovrastruttura verticalmente e trasversalmente, mentre un certo numero di supporti sostengono l'impalcato sospeso e l'adiacente viadotto Pantano.

I pilastri sono fatti di cemento armato con una sezione a cassone bi-cellulare, di spessore decrescente sopra il diaframma. In alto, essi sono collegati con una trave di cemento armato (28 m x 7 m), con una sezione conformata in modo tale da permettere l'alloggiamento dei martinetti.



Le fondazioni sono dirette su lastre di calcestruzzo. Esse comprendono un'area di scavo di 73 m x m per il lato della Sicilia e un'area di 51,5 m x 70 m per il lato della Calabria. Le fondazioni hanno un'altezza di 7 metri. L'area di scavo è delimitata da muri di diaframma.

La struttura terminale è dotata di passerelle e portelli per consentire la manutenzione e ispezione dei componenti strutturali.

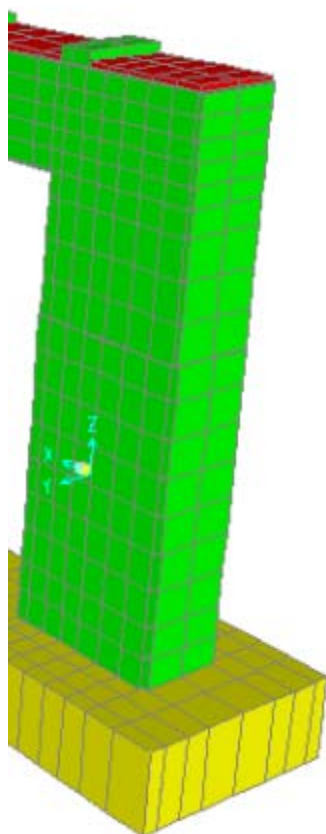
La struttura terminale riceve, nella parte esterna, una verniciatura anticorrosione, mentre solo una mano di fondo è applicata alle superfici interne, che sono protette da un sistema di deumidificazione.

## 1.6 Pilastri

I pilastri sono fatti di cemento armato ed hanno una sezione modellata bi-cellulare.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



Alla Figura 1.3 è mostrata una sezione del pilastro:



*Figura 1-3: Vista del pilastro*

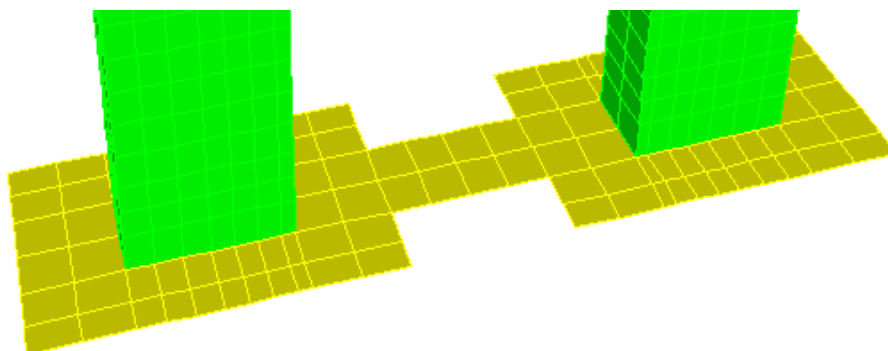
Per lo stato limite ultimo con EQ, il massimo utility ratio nella curvatura flessionale è 1,126 nel pilastro in Sicilia, lato mare, ciò che è stato verificato soddisfacentemente come la capacità di taglio.

Per lo stato limite ultimo con EQ, il massimo utility ratio nella curvatura flessionale è 1,51 nel pilastro in Calabria, lato mare, ciò che è stato verificato soddisfacentemente come la capacità di taglio.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

## 1.7 Fondazioni

Le fondazioni sono dirette su lastre di calcestruzzo. Esse comprendono un'area di scavo di 73 m x m per il lato della Sicilia e un'area di 51,5 m x 70 m per il lato della Calabria. Le fondazioni hanno un'altezza di 7 metri. L'area di scavo è delimitata da muri di diaframma.



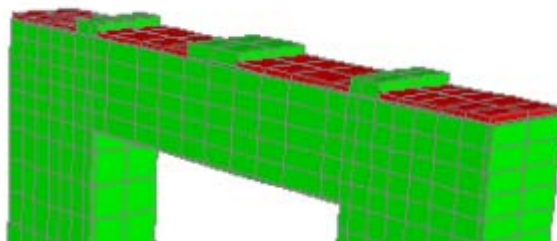
*Figura 1-4: Strutture Terminali – Lastra di fondazione*

La fondazione della struttura terminale, lato Sicilia, è stata verificata e, per lo stato limite ultimo con EQ, il massimo utility ratio nella curvatura flessionale è 1,039 nella lastra, lato mare.



La fondazione della struttura terminale, lato Calabria, è stata verificata e, per lo stato limite ultimo senza EQ, il massimo utility ratio nella curvatura flessionale è 1,05 nella lastra, lato mare.

## 1.8 Cassone trasversale

Ciascun pilastro è collegato mediante una trave di cemento armato, modellata in modo tale da ricavare una zona per l'alloggiamento dei martinetti ed una zona per posizionare il dispositivo che fissa trasversalmente l'impalcato.



*Figura 1-5: Strutture terminali – Cassone trasversale*

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Nella sottostruttura della struttura terminale, lato Sicilia, per lo stato limite ultimo con EQ il massimo utility ratio in curvatura flessionale è 1,198 nel cassone trasversale del pilastro.

Nella sottostruttura della struttura terminale, lato Calabria, per lo stato limite ultimo con EQ il massimo utility ratio in curvatura flessionale è 1,32 nel cassone trasversale del pilastro.

## 1.9 Diaframma tie-down

Il diaframma di tie-down è una trave in cemento armato avente le seguenti dimensioni: 7,0 m x 7,0 m e 2,0 m di altezza.

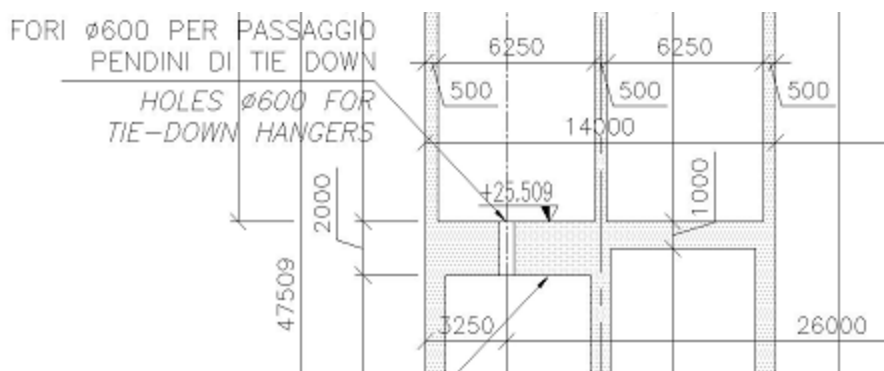


Figura 1-6: Strutture terminali – Diaframma di tie-down



Il carico da terremoto controlla interamente la sottostruttura delle strutture terminali e, nello stato di servizio, la sottostruttura è sollecitata solo leggermente, ossia le ampiezze delle fessure sono risultate di .

Il massimo utility ratio in curvatura flessionale è 0,57 nel diaframma di tie-down.

## 2 Introduzione

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

- Pilastrini
- Fondazioni

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

- Cassone trasversale
- Supporto di tie-down

Il progetto si basa su quanto illustrato nel Progetto di Gara (Tender Design).

Per alcune voci, appare vantaggioso introdurre modifiche al progetto e pertanto vengono apportate le seguenti modifiche:

- I muri di diaframma trasversi sotto le fondazioni sono stati rimossi.
- Le dimensioni delle lastre delle fondazioni sono state modificate rispetto al progetto di gara (26 m x 70 m max. per il lato Sicilia e 21 m x 70 m per il lato Calabria, ad esclusione dei muri di diaframma intorno all'area scavata).
- Le elevazioni dei pilastri sono state modificate conformemente alle modifiche apportate nei profili principali e nelle pendenze del ponte sospeso.
- La sezione del pilastro è stata suddivisa in due differenti sezioni (una spessa 0,80 m e l'altra 0,50 m).
- È stato aggiunto un ulteriore diaframma, adiacente al diaframma del tie-down, insieme a un diaframma in corrispondenza al fondo della lastra della trave che collega i pilastri.
- Sono state ridotte le dimensioni dei cassoni trasversali e la dimensione dei pilastri sopra il diaframma.



Le sottostrutture consistono in due pilastri e un cassone trasversale, fondati su lastre di calcestruzzo collegate. Ciascun pilastro consiste in una struttura bicellulare e il cassone trasversale consiste in una struttura scatolare singola.

## 2.1 Scopo

La presente relazione contiene i principi di progettazione, la descrizione della modellazione e la progettazione degli elementi strutturali della sottostruttura della struttura terminale, sia lato Sicilia sia lato Calabria.

## 2.2 Panoramica della relazione

La presente relazione si suddivide nelle seguenti sezioni:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

- *Sezione 1* include la relazione di sintesi che fornisce una breve descrizione della relazione.
- *Sezione 2* include un'introduzione, fornisce una lista dei materiali di riferimento, comprendente specifiche di progettazione, codici di progettazione, specifiche sui materiali, disegni di riferimento e relazioni complementari;
- *Sezione 3* fornisce una definizione dei termini comunemente utilizzati per fare riferimento a particolari componenti di strutture terminali;
- *Sezione 4* descrive i tre stati limite considerati nella progettazione della sottostruttura della struttura terminale, l'integrità ultima e strutturale.
- *Sezione 5* fornisce descrizioni dei materiali utilizzati per ciascun componente della sottostruttura della struttura terminale;
- *Sezione 6* fornisce descrizioni e considerazioni progettuali delle sottostrutture delle strutture terminali
- *Sezione 7* descrive i metodi di analisi strutturale ed i Modelli di Elementi Finiti (FEM) utilizzati per analizzare i componenti delle sottostrutture terminali;
- *Sezione 8* descrive i criteri di progettazione, inclusa filosofia e codici di riferimento mediante i quali vengono verificati gli stati limite dei componenti della sovrastruttura della struttura terminale;
- *Sezione 9* descrive i risultati dell'analisi FEM e delle verifiche di progettazione.



## **2.3 Studi di base**

In ragione del lasso di tempo intercorrente tra la firma del contratto e l'inizio effettivo dei lavori, i codici e gli standard italiani ed europei sono stati aggiornati.

### **2.3.1 Basi del progetto**

In Italia vigono nuovi standard tecnici in materia di costruzione, NTC08, e nuovi codici per le ferrovie italiane, RFI DTC-ICI-PO SP INF. Suddetti codici si basano sugli Eurocodici. Le seguenti modifiche concernono le Basi del Progetto, come definito nel Progetto di Gara:



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

- I carichi QL e le combinazioni di carico sono definite conformemente a NTC08 e RFI DTC-ICI-PO SP INF 001 A che è ora uguale ai carichi da traffico per strade e ferrovie definiti in EN1991-2 (Carichi da traffico sui ponti).

- La progettazione geotecnica si basa sui requisiti di NTC08.

I requisiti dell'analisi di fatica sono definiti conformemente a NTC08 e RFI DTC-ICI-PO SP INF 003 A (RFI 44F). Solo il metodo di valutazione "safe life" (vita sicura) è applicabile per la progettazione di elementi portanti carico primario.

Uno studio generale è stato condotto al fine di aggiornare i criteri di progettazione sismica in Italia. I risultati non sono stati adattati alle condizioni del sito del Ponte sullo Stretto di Messina. Viene quindi mantenuto lo spettro di progetto definito per il Progetto di Gara.

## 2.4 Riferimenti

### 2.4.1 Specifiche di progettazione

GCG.F.04.01 "Engineering – Definitive and Detailed Design: Basis of Design and Expected Performance Levels" (Ingegneria – Progetto Definitivo e Dettagliato: Basi del Progetto e Livelli di Performance Attesi) Stretto di Messina, 27 ottobre 2004.



GCG.F.05.03 "Design Development – Requirements and Guidelines" (Sviluppo del Progetto – Requisiti e Linee Guida) Stretto di Messina, 22 ottobre 2004.

GCG.G.03.02 "Structural Steel Works and Protective Coatings" (Opere strutturali in acciaio e Rivestimenti protettivi) Stretto di Messina, 30 luglio 2004.

CG1000-P-RG-D-P-GE-00-00-00-00-02 "Design Basis, Structural, Annex" (Basi del progetto, Strutturale, Allegato)

CG.10.03-P-CL-D-P-CG-S4-00-00-00-00-01, "Equivalent Stiffness matrices for the Soil-Foundation System" (Matrici di rigidità equivalente per il sistema suolo-fondazioni)

CG.10.03-P-CL-D-P-CG-S4-00-00-00-00-02, "Equivalent Stiffness and Damping Matrices for the Soil-Foundation System" (Matrici di rigidità equivalente e di smorzamento per il sistema suolo-fondazioni).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

### 2.4.2 Codici di progettazione

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

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

EN 1993 Eurocodice 3: Progettazione di strutture in acciaio - Parte 1-5: Elementi strutturali a lastra.

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

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

EN 1993 Eurocodice 3: Progettazione di strutture in acciaio - Parte 1-10: Scelta dell'acciaio in base a resilienza alla frattura e proprietà attraverso lo spessore.

EN 1993 Eurocodice 3: Progettazione di strutture in acciaio - Parte 1-10: Scelta dell'acciaio in base a resilienza alla frattura e proprietà attraverso lo spessore.

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

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



Rete Ferroviaria Italia - Istruzione n. 44F “Verifiche a fatica dei ponti ferroviari”

### 2.4.3 Specifiche dei materiali

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

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

EN 10164:1993 Acciai con caratteristiche di deformazione migliorate nella direzione perpendicolare alla superficie del prodotto – Condizioni tecniche di fornitura.

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

EN 20898-2:1994 Proprietà meccaniche degli elementi di collegamento – Parte 2: Dadi con carichi di prova determinati. Filettatura a passo grosso (ISO 898-2:1992).

UNI EN 14399:2005-3 Elementi di collegamento strutturali ad alta resistenza adatti al precarico - Parte 3: Sistema HR – Assieme vite e dado esagonali

EN ISO 14555:1998 Saldatura ad arco di prigionieri su materiali metallici. maggio 1995.

EN ISO 13918:1998 Perni a saldare e bussole in ceramica per saldatura di testa ad arco - gennaio 1997.

#### 2.4.4 Disegni

<b>Struttura terminale – Sottostruttura - lato Sicilia</b>	
CG1002-P-AX-D-P-ST-F4-VS-00-00-00-03_A	Layout generale
CG1002-P-AX-D-P-ST-F4-VS-00-00-00-01_B	General Arrangement (Progetto generale)
CG1002-P-BX-D-P-ST-F4-VS-00-00-00-01_B	Foundation plan and sections (Pianta e sezioni delle fondazioni)
CG1002-P-BX-D-P-ST-F4-VS-00-00-00-02_B	Concrete Dimensions Piers 1/2 (Dimensioni calcestruzzo – Pilastrini 1/2)
CG1002-P-BX-D-P-ST-F4-VS-00-00-00-03_B	Concrete Dimensions Piers 2/2 (Dimensioni calcestruzzo – Pilastrini 2/2)
CG1002-P-PX-D-P-ST-F4-VS-00-00-00-01_B	Reinforcement Foundation Plan 1/2 (Armatura – Pianta delle fondazioni 1/2)
CG1002-P-PX-D-P-ST-F4-VS-00-00-00-02_A	Reinforcement Foundation Plan 2/2 (Armatura – Pianta delle fondazioni 2/2)
CG1002-P-WX-D-P-ST-F4-VS-00-00-00-01_B	Reinforcement Foundation and Sections 1/3 (Armatura – Fondazioni e sezioni 1/3)

Principi generali di progettazione

*Codice documento*

PF0130\_F0\_ITA.doc



*Rev*

F0

*Data*

20-06-2011

CG1002-P-WX-D-P-ST-F4-VS-00-00-00-02_B	Reinforcement Foundation and Sections 2/3 (Armatura – Fondazioni e sezioni 2/3)
CG1002-P-WX-D-P-ST-F4-VS-00-00-00-06_A	Reinforcement Foundation and Sections 3/3 (Armatura – Fondazioni e sezioni 3/3)
CG1002-P-WX-D-P-ST-F4-VS-00-00-00-03_B	Reinforcement - Piers, Sections and Details 1 (Armatura - Pilastrì, sezioni e dettagli 1)
CG1002-P-WX-D-P-ST-F4-VS-00-00-00-04_B	Reinforcement - Piers, Sections and Details 2 (Armatura - Pilastrì, sezioni e dettagli 2)
CG1002-P-WX-D-P-ST-F4-VS-00-00-00-05_B	Reinforcement - Piers, Sections and Details 3 (Armatura - Pilastrì, sezioni e dettagli 3)
CG1002-P-AX-D-P-ST-F4-VS-00-00-00-02_B	Opere temporanee e malta da iniezione
<b>Struttura terminale – Sottostruttura - lato Calabria</b>	
CG1002-P-AX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-03_A	Layout generale
CG1002-P-AX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-01_B	General Arrangement (Progetto generale)
CG1002-P-BX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-01_B	Foundation plan and sections (Pianta e sezioni delle fondazioni)
CG1002-P-BX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-02_B	Concrete Dimensions Piers 1/2 (Dimensioni calcestruzzo – Pilastrì 1/2)
CG1002-P-BX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-03_B	Concrete Dimensions Piers 2/2 (Dimensioni calcestruzzo – Pilastrì 2/2)
CG1002-P-PX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-01_B	Reinforcement Foundation Plan 1/2 (Armatura – Pianta delle fondazioni 1/2)
CG1002-P-WX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-01_B	Reinforcement Foundation and Sections 1/3 (Armatura – Fondazioni e sezioni 1/3)
CG1002-P-WX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-02_B	Reinforcement Foundation and Sections 2/3 (Armatura – Fondazioni e sezioni 2/3)
CG1002-P-WX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-06_A	Reinforcement Foundation and Sections 3/3 (Armatura – Fondazioni e sezioni 3/3)
CG1002-P-WX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-03_B	Reinforcement - Piers, Sections and Details 1 (Armatura - Pilastrì, sezioni e dettagli 1)
CG1002-P-WX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-04_B	Reinforcement - Piers, Sections and Details 2 (Armatura - Pilastrì, sezioni e dettagli 2)
CG1002-P-WX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-05_B	Reinforcement - Piers, Sections and Details 3 (Armatura - Pilastrì, sezioni e dettagli 3)
CG1002-P-AX-D-P-ST-F4-VC-00-00-00-02_B	Opere temporanee e malta da iniezione

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

### 2.4.5 Relazioni complementari

CG1000-P-RG-D-P-SV-00-00-00-00-01, "Global IBDAS Model Description" (Descrizione del modello globale IBDAS).

COWI Documento: A9055-NOT-3-001, "QL Road Traffic Loads" (Carichi da traffico stradale QL), 20 maggio 2010

COWI Documento: A9055-NOT-3-002, "QL Rail Traffic Loads" (Carichi da traffico ferroviario QL), 20 maggio 2010

COWI Documento: A9055-NOT-3-003 "QL Load Combinations" (Combinazioni di carico stradale QL), 20 maggio 2010

CG1000-P-CL-D-P-SS-A0-AP-00-00-00-01, "Design report - Bridge Bearings" (Relazione di progetto – Appoggi ponte)

CG1000-P-CL-D-P-SS-A0-AM-00-00-00-01, "Design report - Expansion joints" (Relazione di progetto – Giunti di dilatazione)

CG1000-P-SP-D-P-SS-A0-AP-00-00-00-01, "Performance Specification - Bridge Bearings" (Specifica di prestazione – Appoggi ponte)

CG1000-P-SP-D-P-SS-A0-AM-00-00-00-01, "Performance Specification - Buffers" (Specifica di prestazione – Ammortizzatori)



CG1000-P-SP-D-P-SS-A0-AM-00-00-00-02, "Performance Specification - Expansion joints, Railway" (Specifica di prestazione – Giunti di dilatazione, ferrovia)

CG1000-P-SP-D-P-SS-A0-AM-00-00-00-03, "Performance Specification - Expansion joints, Roadway" (Specifica di prestazione – Giunti di dilatazione, piano stradale)

## 3 Nomenclatura

La sezione fornisce le descrizioni di termini comunemente utilizzati nella relazione per indicare i diversi componenti delle strutture terminali:

*Pilastro* – gli elementi verticali della sottostruttura terminali, che si estendono dalla parte superiore della lastra in cemento delle fondazioni, alla parte inferiore del cassone trasversale.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

*Cassone trasversale* – trave trasversale che collega i pilastri e che regge i supporti per la sovrastruttura della struttura terminale.

*Lastra delle fondazioni - la fondazione diretta dei pilastri.*

*Muri di diaframma* – muri disposti in verticale per contenere l'area di scavo contenente le fondazioni della struttura terminale.

*Anime longitudinali* – le piastre longitudinali verticali, interne alla struttura terminale, che ne collegano la sommità e il fondo.

*Diaframmi* – le piastre trasversali verticali, all'interno della struttura terminale, che collegano le facciate.

*Travatura reticolare trasversale* – la struttura di travatura reticolare trasversale in acciaio, all'interno della struttura terminale, che collega le facciate.

*Predalles* – elementi prefabbricati in calcestruzzo, utilizzati per supportare l'impalcato in calcestruzzo colato in sito.



*Tasca di alloggiamento dei martinetti* – Spazio lasciato all'interno dei cassoni trasversali per alloggiare temporaneamente i martinetti.

*Tie-down – Pendino di collegamento alla sottostruttura terminale.*

*U.R.* – *utility ratio*, ossia il rapporto domanda/capacità.

## **4 Stati Limite**

Questa sezione descrive gli stati limite e i corrispondenti requisiti in termine di prestazione che governano la proporzione dei componenti delle torri, conformemente alle basi di progetto GCG.F.04.01 e NTC08. La prestazione dei componenti della struttura terminale è verificata agli Stati Limite di Esercizio (1 e 2), agli Stati Limite Ultimi e agli Stati Limite di Fatica.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

#### 4.1 Stati Limite di Esercizio

La Sezione 2.2.2 del NTC08 definisce i seguenti Stati Limite di Esercizio (SLS) da valutare nel progetto strutturale:

- Danno locale che può ridurre la durabilità della struttura.
- Spostamenti o deformazioni che possono limitare l'uso della struttura, la sua efficienza e il suo aspetto estetico.
- Spostamenti o deformazioni che possono compromettere l'efficienza o l'aspetto di elementi non strutturali, impianti e macchinari.
- Vibrazioni che possono compromettere l'uso della struttura.
- Danno causato da fatica, suscettibile di compromettere la durabilità.
- Corrosione e/o deterioramento eccessivo dei materiali, dovuto ad esposizione atmosferica.

Il documento Basi di progetto GCG.F.04.01, sezione 3.1, specifica i requisiti di prestazione per la struttura, sotto due livelli di esercizio o carichi di normale utilizzo. I requisiti per la prestazione in termini di Stati Limite di Esercizio sono elencati alla Tabella 4-.



<b>Stato limite</b>	<b>Requisito di prestazione</b>
<b>SLS1</b>	<i>Garanzia funzionamento strada e ferrovia.</i> <i>No danno strutturale.</i> <i>La struttura rimane elastica e tutte le deformazioni sono reversibili.</i>
<b>SLS2</b>	<i>Come per SLS1 salvo che è garantita solo la funzionalità della ferrovia.</i>

Tabella 4-1: Requisiti di prestazione degli Stati Limite di Esercizio.

#### 4.2 Stati Limite Ultimi

La Sezione 2.2.1 di NTC08 definisce i seguenti Stati Limite Ultimi (ULS) da valutare nella progettazione strutturale:

- Perdita di equilibrio della struttura o parte di essa.
- Eccessivo spostamento o deformazione.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

- Arrivo alla capacità di resistenza massima di parti della struttura, giunti o fondazioni.
- Arrivo alla capacità di resistenza massima della struttura nel suo insieme.
- Arrivo a meccanismi di collasso al suolo.
- Cedimento delle strutture e dei giunti per fatica.
- Cedimento delle strutture e dei giunti in ragione di altri effetti legati al tempo.
- Instabilità di parti della struttura o della struttura nel suo insieme.

Il documento Basi di progetto GCG.F.04.01 alla sezione 3.1 specifica i requisiti di prestazione per la struttura sotto carichi ultimi o rari. I requisiti di prestazione sono elencati nella Tabella 4-2.

<b>Stato limite</b>	<b>Requisito di prestazione</b>
<i>ULS</i>	<i>È permessa la temporanea perdita di esercizio.</i> <i>Il sistema strutturale principale mantiene la propria totale integrità.</i> <i>Danno strutturale a componenti secondari, riparabile con lavori di manutenzione straordinaria.</i>

Tabella 4-2: *Requisiti di prestazione degli Stati Limite Ultimi.*

## 5 Materiali

Le proprietà meccaniche dei materiali di costruzione della struttura terminale sono descritte in questa sezione.

### 5.1 Calcestruzzo e armatura

#### 5.1.1 Calcestruzzo



Tutto il calcestruzzo strutturale deve essere conforme a EN 206-1:2001, con le seguenti modifiche e aggiunte:

Tipo di calcestruzzo	Fondazioni	Pilastrini
Grado calcestruzzo	C32/40	C40/50



Tempo per sviluppare resistenza	28 giorni	28 giorni
Classe ambientale	XC4+XS1	XC4+XS1
Classe di consistenza	S4/S5	S4/S5
Dimensione massima di aggregazione	32 mm	25 mm
Cemento	CEM III/B conformemente a EN 197-1	
Contenuto totale max. di alcali cemento	0,6%	0,6%
Min. contenuto di cemento in Kg/m <sup>3</sup>	360	360
Max rapporto acqua/cemento	0,42	0,42
Classe di contenuto di cloruri	0,2	0,2
Max. contenuto di alcali del calcestruzzo	3kg equiv. Na <sub>2</sub> O per m <sup>3</sup> di calcestruzzo	
Max. contenuto di solfati del calcestruzzo	4% SO <sub>3</sub> in peso di cemento	
Composizione del calcestruzzo	Test preliminare delle miscele per verificare la compatibilità con i requisiti di durabilità/resistenza	
Acqua	Dalla rete di distribuzione pubblica	
Aggregati	Sabbia naturale, ghiaia naturale o roccia frantumata conformemente a EN 12620	
Espansione max. aggregato (Alcali/Silice)	0,10% dopo 14 giorni conformemente a ASTM C1260	
Contenuto max. di solfato solubile in acido degli aggregati	0,2% conformemente a EN 1744-1	
Miscela	Non utilizzare miscele contenenti cloruri	
Max coefficiente di migrazione cloruri	4x10 <sup>-2</sup> m <sup>2</sup> /s conformemente a NT build 492 dopo 60 giorni	
Copertura nominale acciaio al carbonio	75	100
Copertura nominale acciaio inossidabile	-	50
Requisiti e controllo per incrinature precoci	Non sono permesse incrinature precoci; occorre eseguire un'analisi temperatura/stress al fine di documentare che le misure per il controllo della temperatura, assicurino un calcestruzzo privo di incrinature. I parametri di input per l'analisi devono basarsi su proprietà del calcestruzzo realmente documentate e transitorie (tempo/età). Rapporto max. sforzo di trazione / resistenza alla trazione di 0,9.	
Max. temperatura calcestruzzo durante idratazione	70°C	
Max. riscaldamento in condizioni adiabatiche dopo 3 gg.	300kJ/kg cemento	
Periodo di maturazione minimo	14 giorni (uso alternativo di agenti stagionanti, indice di efficienza di ritenzione idrica >75% dopo 72 ore)	
Giunti di costruzione	I giunti di costruzione devono essere puliti, senza polvere e residui e completamente saturati in acqua. Gli aggregati grezzi devono essere visibili fino ad una profondità di 5/10 mm.	

*Tabella 5-1: Proprietà meccaniche del calcestruzzo*

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

### 5.1.2 Armatura

Le barre di armatura devono essere fatte di acciaio al carbonio grado di qualità B450C (barre laminate a caldo, con nervatura, di qualità saldabile e con elevate duttilità), conformemente a EN 10080.

## 6 Considerazioni sulla progettazione della sottostruttura



La presente sezione descrive i principi di progettazione e di modellamento dei seguenti elementi strutturali delle strutture terminali:

- Pilastrì
- Fondazioni
- Cassone trasversale
- Diaframma tie-down

Il progetto si basa su quanto illustrato nel Progetto di Gara (Tender Design).

Per alcune voci, appare vantaggioso introdurre modifiche al progetto e pertanto vengono apportate le seguenti modifiche:

- I muri di diaframma trasversi sotto le fondazioni sono stati rimossi.
- Le dimensioni delle lastre delle fondazioni sono state modificate rispetto al progetto di gara (26 m x 70 m max. per il lato Sicilia e 21 m x 70 m per il lato Calabria, ad esclusione dei muri di diaframma intorno all'area scavata).
- Le elevazioni dei pilastrì sono state modificate conformemente alle modifiche apportate nei profili principali e nelle pendenze del ponte sospeso.
- La sezione del pilastro è stata suddivisa in due differenti sezioni (una spessa 0,80 m e l'altra 0,50 m).
- È stato aggiunto un ulteriore diaframma, adiacente al diaframma del tie-down, insieme a un diaframma in corrispondenza al fondo della lastra della trave che collega i pilastrì.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> <i>PF0130_F0_ITA.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20-06-2011</i>	

- Sono state ridotte le dimensioni dei cassoni trasversali e la dimensione dei pilastri sopra il diaframma.

## 6.1 Fondazioni delle strutture terminali

Le dimensioni totali delle strutture terminali contenute nel Progetto di Gara sono state confermate, con l'introduzione di qualche piccola modifica. Tali modifiche sono qui di seguito illustrate:

- La geometria delle lastre è stata modificata. La sezione rettangolare che collega i 2 pilastri a ciascun lato della struttura terminale è stata modificata con 2 lastre più piccole, collegate mediante una trave in cemento armato.
- L'uso di barre di armatura  $\varnothing$  46mm è stato sostituito dall'uso di barre con un diametro massimo di 32mm.

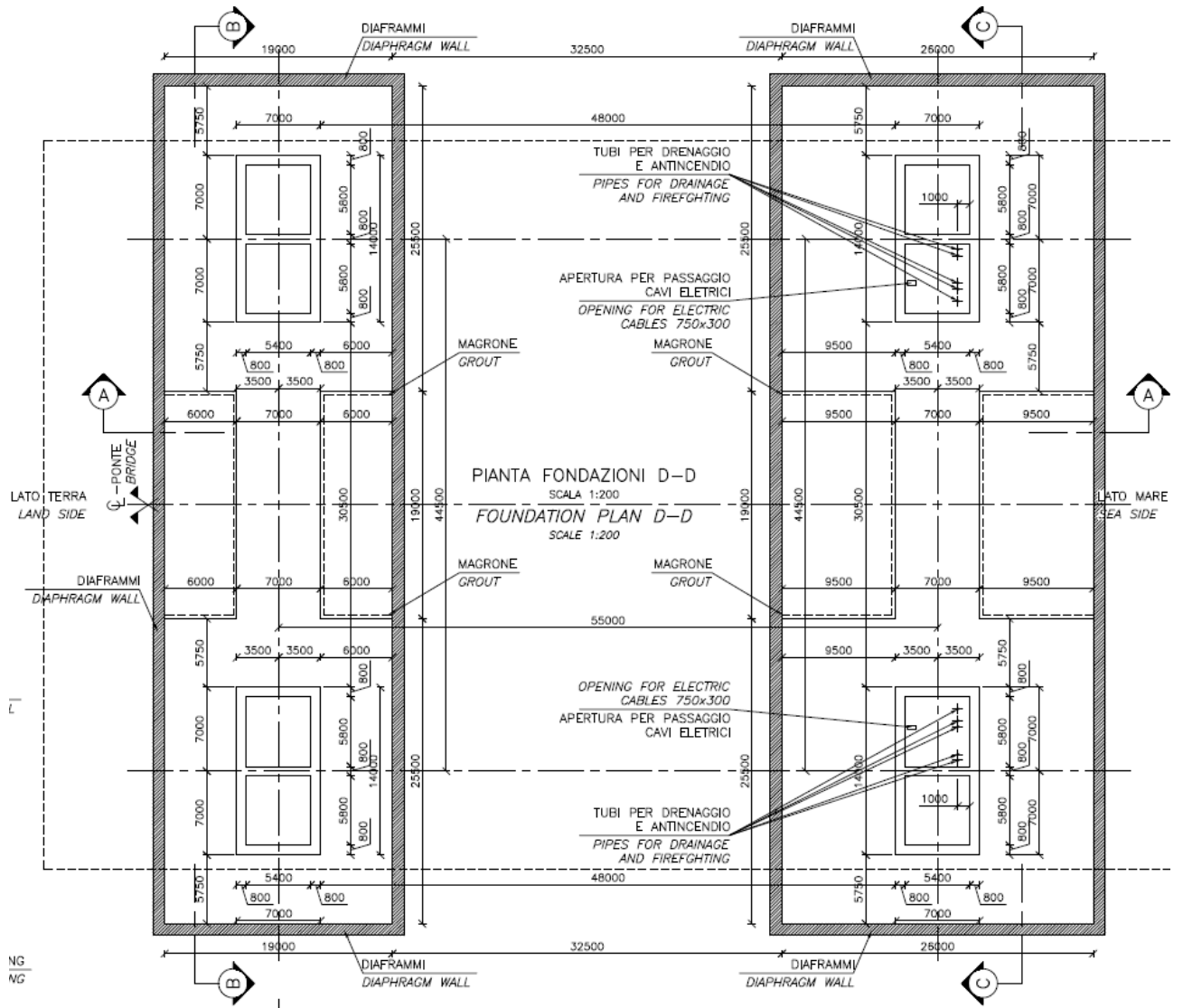


Figura 6.1 Fondazioni Sicilia - Pianta

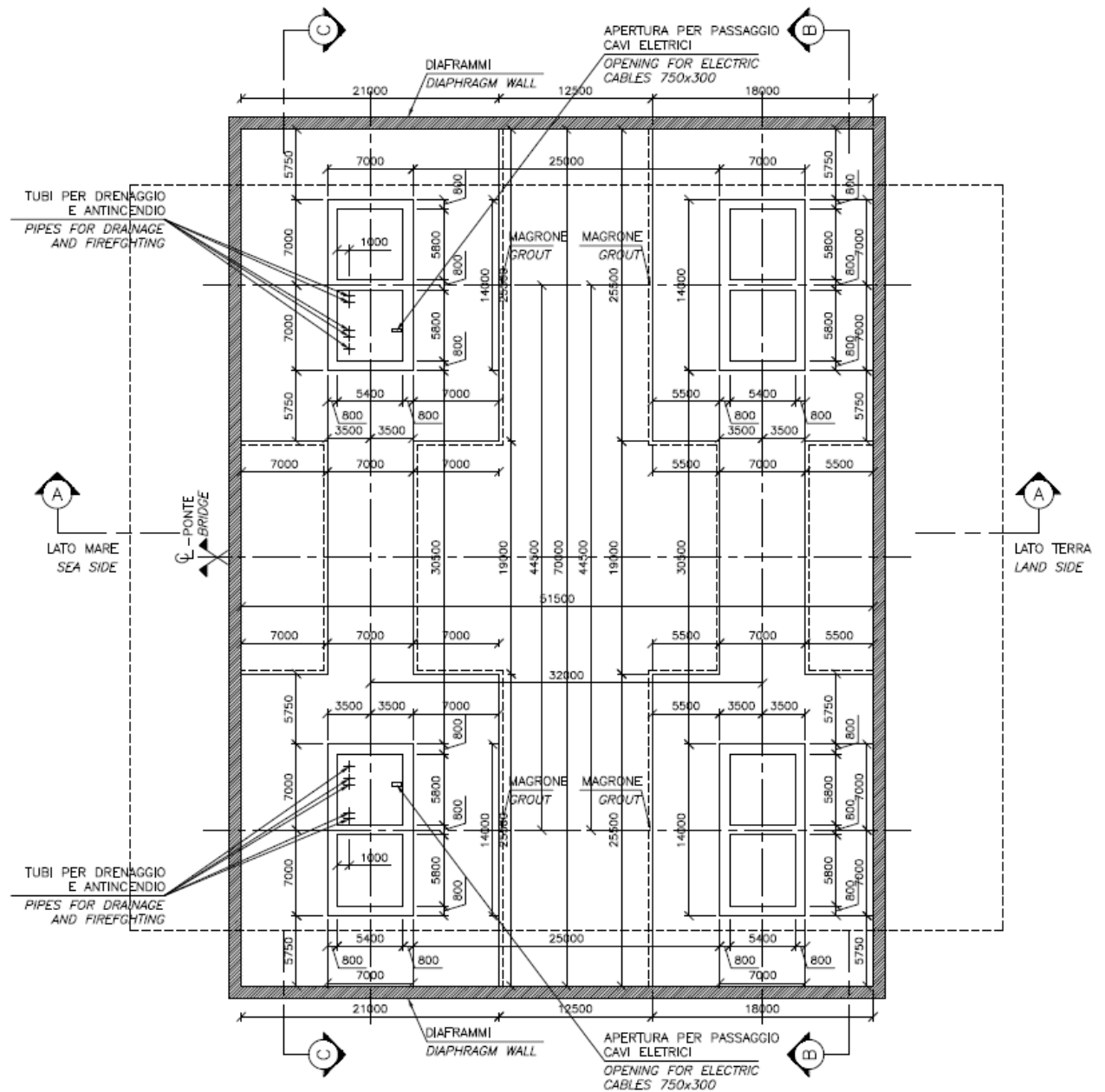




Figura 6.2 Fondazioni Calabria - Pianta

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

## 6.2 Pilastrì

I pilastrì delle strutture terminali sono fatti, su ciascun lato, di 2 gambe e 1 trave trasversale. I pilastrì sono fatti di cemento armato ed hanno una sezione modellata bi-cellulare.

Ciascun pilastro è collegato mediante una trave di cemento armato, modellata in modo tale da ricavare una zona per l'alloggiamento dei martinetti ed una zona per posizionare il dispositivo che fissa trasversalmente l'impalcato.

I disegni che seguono mostrano l'elevazione dei pilastrì sul versante rispettivamente della Sicilia e della Calabria:

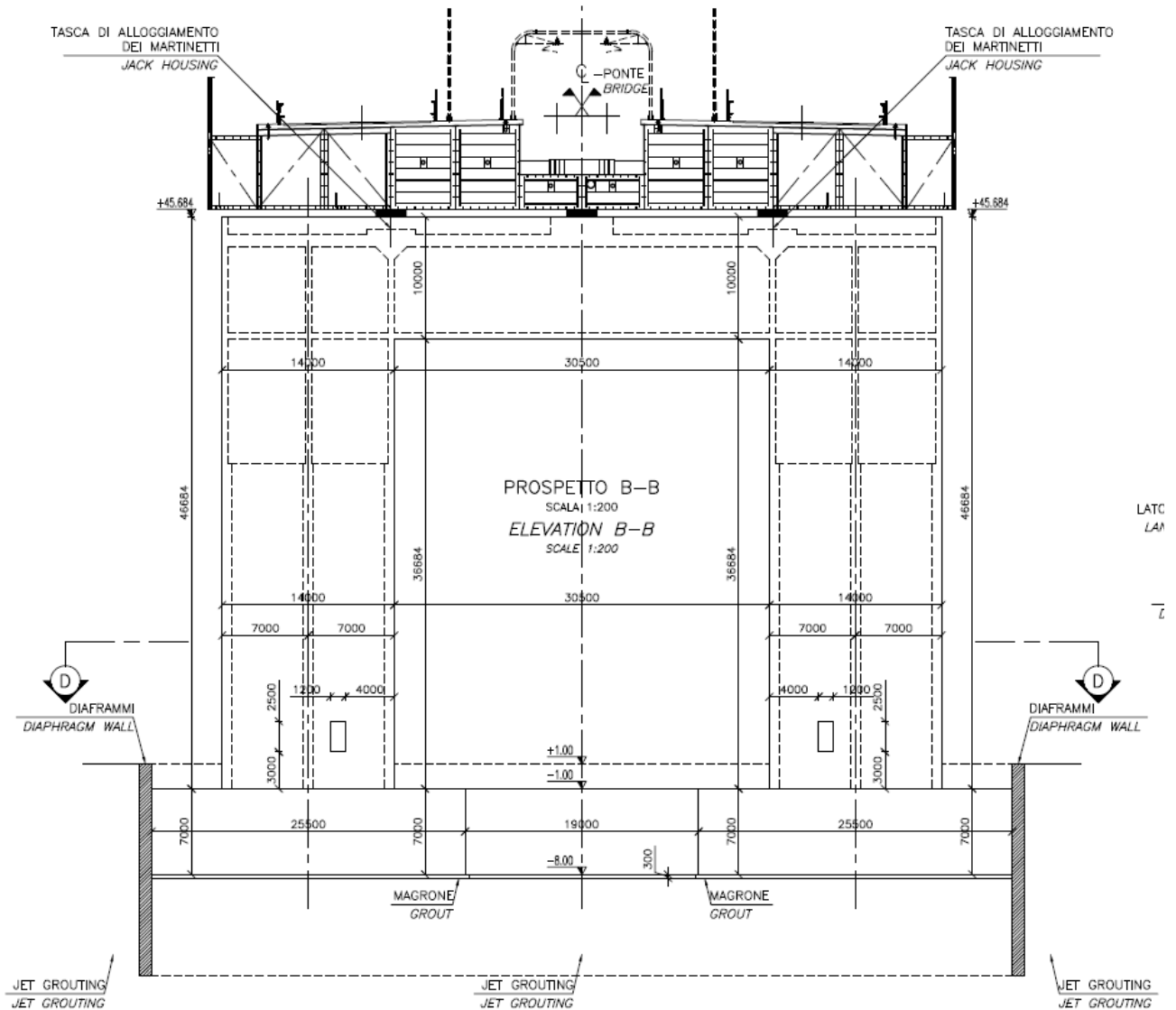


Figura 6.3 Pilastrici Sicilia – Prospetto

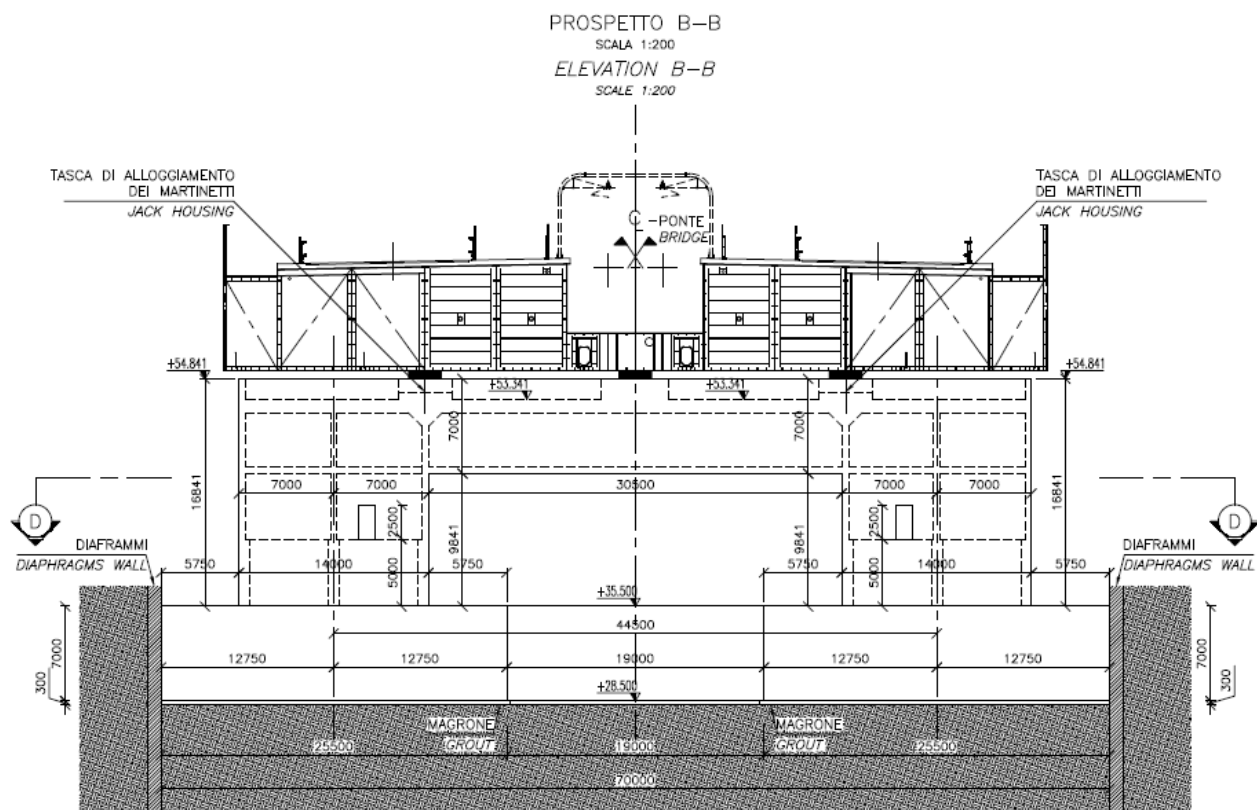


Figura 6.4 Pilastrì Calabria – Prospetto

All'interno dei pilastrì, è posizionato il supporto tie-down, come illustrato dal disegno seguente che mostra il versante della Calabria:



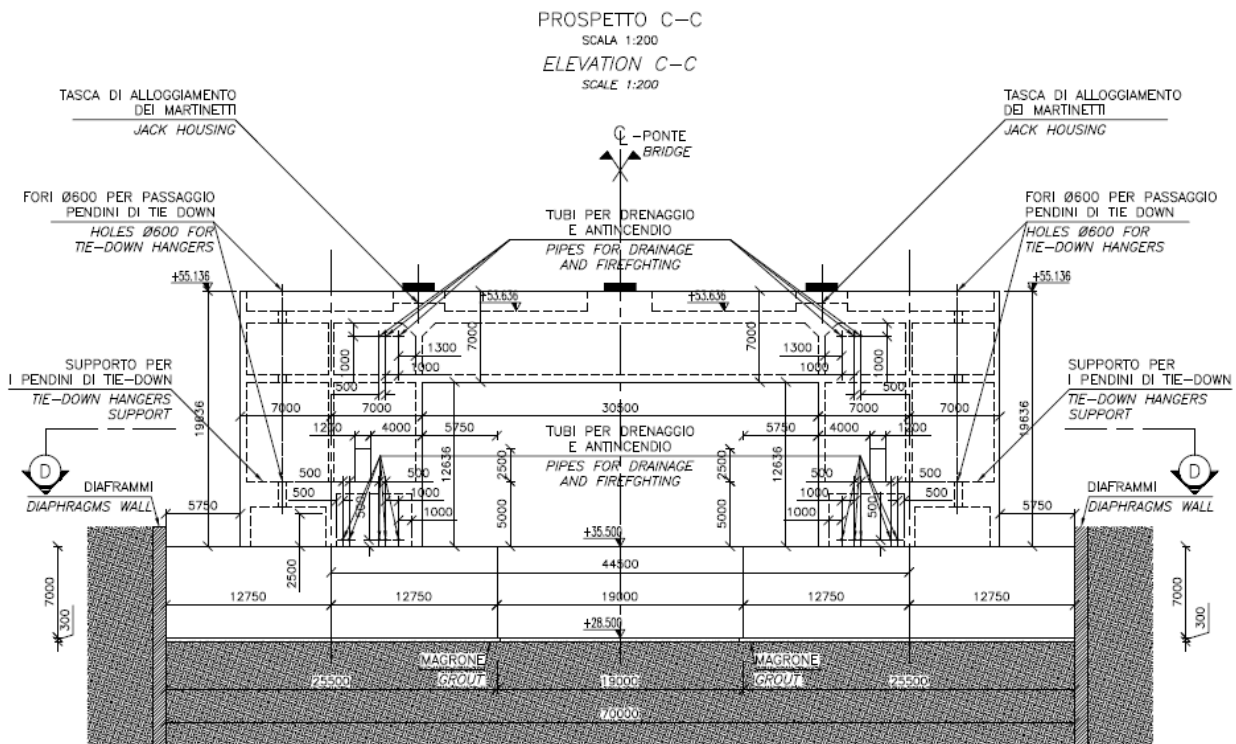


Figura 6.5 Pilastrì Calabria – Sezione

### 6.3 Cavo di tie-down e diaframma

Il pendino sarà un trefolo a fili paralleli (PWS), scelto per la sua migliorata prestazione in condizioni di fatica, maggiore resistenza alla rottura e rigidità assiale. Il trefolo a fili paralleli comporta una dimensione minore del pendino rispetto ai cavi chiusi o altri sistemi di grado di filo similare.

Conformemente alle Basi del Progetto, sono formulate le seguenti ipotesi:

Non è richiesto che i pendini resistano a scenari di carico di Stati Limite di Integrità Strutturale.

- I pendini sono soggetti a combinazioni di carico QL locale a Stati Limite Ultimi.

Ciascun cavo di tie-down è collegato mediante capicorda al supporto in calcestruzzo all'interno dei pilastrì delle strutture terminali, come illustrato nelle seguenti figure

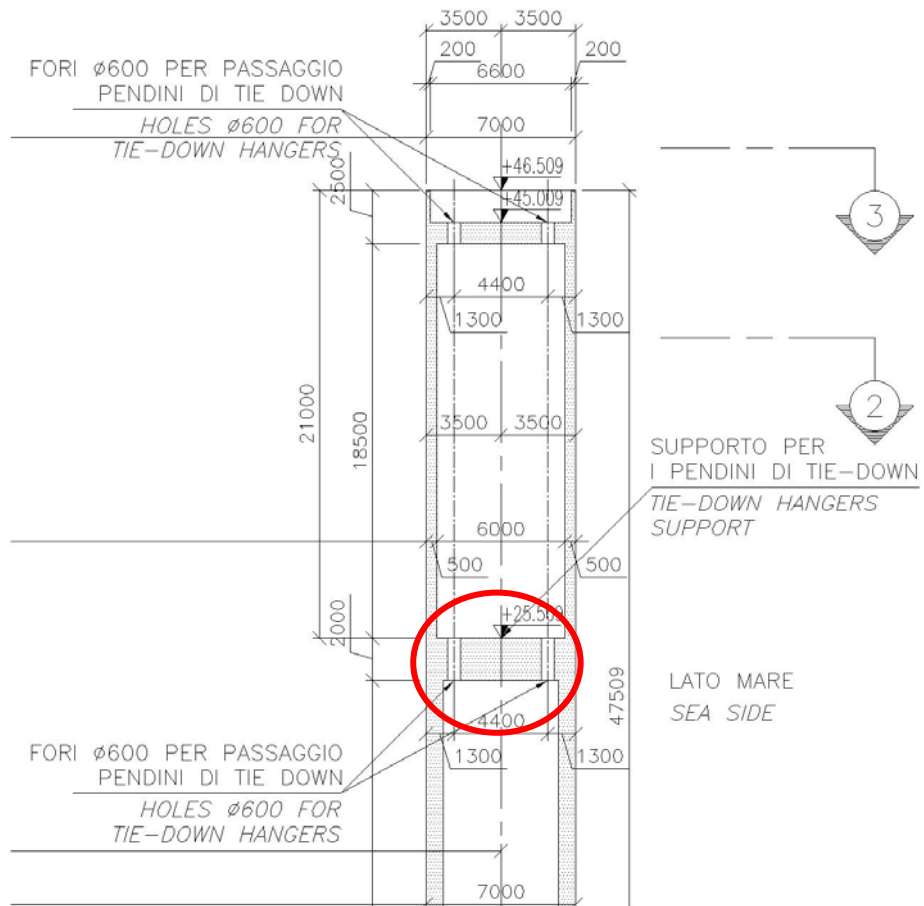




Figura 6.6 Cavi e supporto di tie-down



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione		<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 7 Analisi strutturale

Le sottostrutture terminali sono modellate ed analizzate nel programma sviluppato di analisi SAP 2000 (Programma di Analisi Strutturale). La presente sezione descrive l'approccio a particolari aspetti dell'analisi strutturale che influiscono sulla progettazione delle sottostrutture terminali.

Il SAP 2000 è un sistema computerizzato integrato per la progettazione di strutture e fornisce analisi specialistiche come:

- Analisi di frequenza propria
- Analisi spettrale sismica
- Analisi storie temporali (es. per analisi storie temporali sismiche)

Tutti i calcoli eseguiti si basano sulla teoria dell'elasticità e sono condotti come analisi di 1° ordine.

Il modello SAP 2000 consiste generalmente nelle 4 voci seguenti :

1. Modello Strutturale (modello geometrico), che definisce la geometria e i materiali
2. Modello di Elemento Finito (o modello di analisi)
3. Modello di Processo di Costruzione, che definisce le fasi della costruzione
4. Modello di carico, che definisce i carichi di base e le combinazioni di carico.



I modelli completi della struttura terminale e dell'analisi strutturale sono descritti nelle relazioni "CG.10.02-P-RX-D-P-SV-S8-VT-000-01-C, Specialist Technical Design Report, Sicily" (Relazione specialistica di progettazione tecnica, Sicilia) e "CG.10.02-P-RX-D-P-SV-S8-VC-000-02-C, Specialist Technical Design Report, Calabria" (Relazione specialistica di progettazione tecnica, Calabria).

### 7.1 Descrizione del modello semi-locale agli elementi finiti

Il presente capitolo descrive il modello di Elemento Finito semi-locale, realizzato per studiare il comportamento delle sottostrutture terminali e progettare gli elementi principali della sottostruttura.

Il modello, descritto in modo più dettagliato nei capitoli successivi, si basa sulle seguenti caratteristiche:

- 2 pilastri, ciascuno composto da 2 gambe e 1 trasverso

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

- Fondazioni. È stata presa in considerazione la geometria delle fondazioni dei pilastri.

### 7.1.1 Presupposti di modellazione

Le fondazioni dei pilastri sono state modellate con elementi *shell* che ne riproducono la geometria. Il piano di inserimento dell'elemento *shell* coincide con il piano medio dei plinti di fondazione.

Le sottostrutture sono costituite da 4 gambe e 2 trasversi. Questi elementi rappresentano i pilastri in cemento armato, con sezione modellata bi-cellulare, delle strutture terminali. Come mostrato nella figura sottostante, essi sono stati tutti modellati con elementi *shell* nel piano medio delle varie pareti:

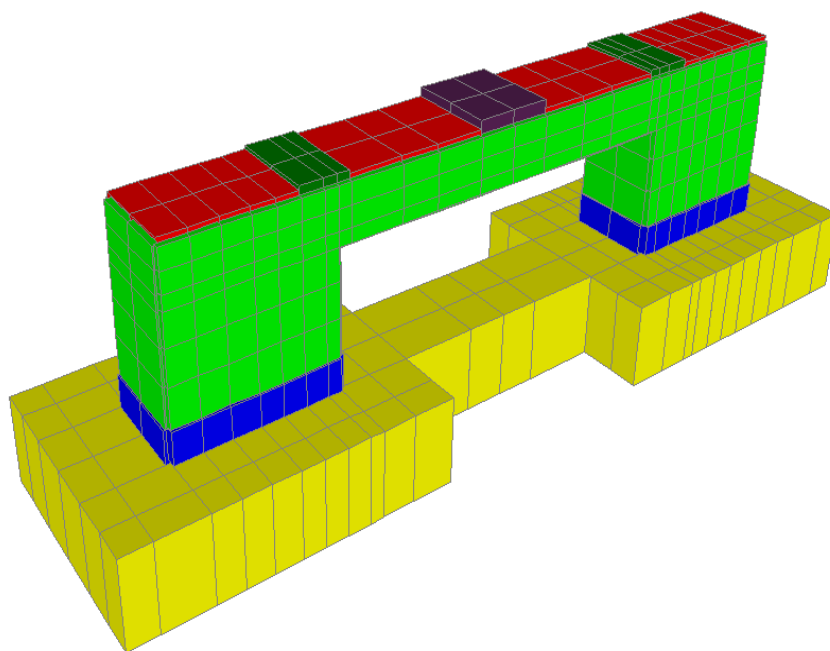




Figura 7.1 Vista dei pilastri – Versante Calabria

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

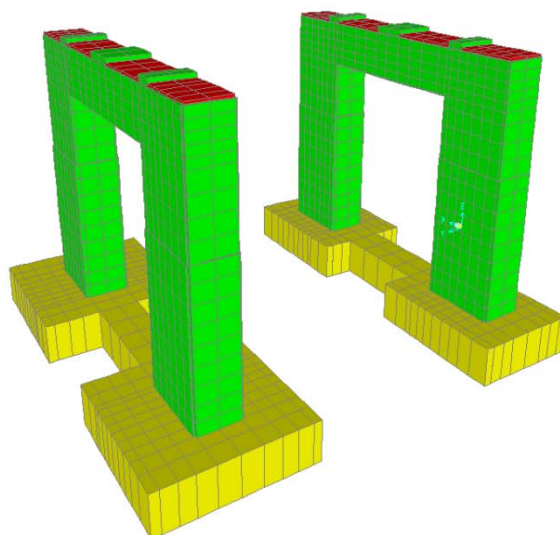


Figura 7.2 Vista dei pilastri – Versante Sicilia



### 7.1.2 Sistema di riferimento globale

Il sistema di riferimento globale è un sistema destrorso. In questo modello sono definite le coordinate nodali e le sollecitazioni. In particolare: l'asse X, il primo asse, è sul piano orizzontale, ortogonale all'asse del ponte, l'asse Y, il secondo asse, è allineato lungo l'asse del ponte e l'asse Z, il terzo asse, è verticale e orientato verso l'alto.

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

### 7.1.3 Presupposti di base e materiali

Pilastri in calcestruzzo:	Densità:	25,0 kN/m <sup>3</sup>
	Resistenza (cilindro)	40 N/mm <sup>2</sup>
	Modulo di elasticità:	35.220 N/mm <sup>2</sup>
Fondazioni in calcestruzzo:	Densità:	25,0 kN/m <sup>3</sup>
	Resistenza (cilindro)	32 N/mm <sup>2</sup>
	Modulo di elasticità:	33.346 N/mm <sup>2</sup>

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Il coefficiente di espansione termica è assunto:

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

#### 7.1.4 Sistema di coordinate degli elementi

Il sistema di coordinate degli elementi è descritto nel manuale di programma, come riportato nei documenti “CG.10.02-P-RX-D-P-SV-S8-VT-000-01-C, Specialist Technical Design Report, Sicily” (Relazione specialistica di progettazione tecnica, Sicilia) e “CG.10.02-P-RX-D-P-SV-S8-VC-000-02-C, Specialist Technical Design Report, Calabria” (Relazione specialistica di progettazione tecnica, Calabria).

## 7.2 Rigidità, masse e pesi

### 7.2.1 Proprietà della sezione trasversale

La modellizzazione dettagliata della sottostruttura, fornita dagli elementi *shell*, è in grado di riprodurre le reali caratteristiche meccaniche ed inerziali della sezione trasversale dell’impalcato.



### 7.2.2 Masse e pesi

Nel modello SAP, le masse ed i pesi propri degli elementi strutturali primari, sono calcolati automaticamente dal programma, con la possibilità di fissare il valore della massa ai materiali utilizzati nelle varie sezioni.

## 7.3 Condizioni al contorno e di supporto

Gli elementi che rappresentano condizioni al contorno della sottostruttura terminale possono essere suddivisi in 2 categorie:

- Elementi che rappresentano supporto fra la sovrastruttura e la sottostruttura
- Elementi che rappresentano l’interfaccia suolo-fondazioni

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	Codice documento PF0130_F0_ITA.doc	Rev F0	Data 20-06-2011	

### 7.3.1 Supporti fra la sovrastruttura e la sottostruttura

I dispositivi di supporto sono modellati con collegamenti le cui caratteristiche li rendono in grado di realizzare la data condizione al contorno, come mostrato nello schema seguente per il versante della Sicilia:

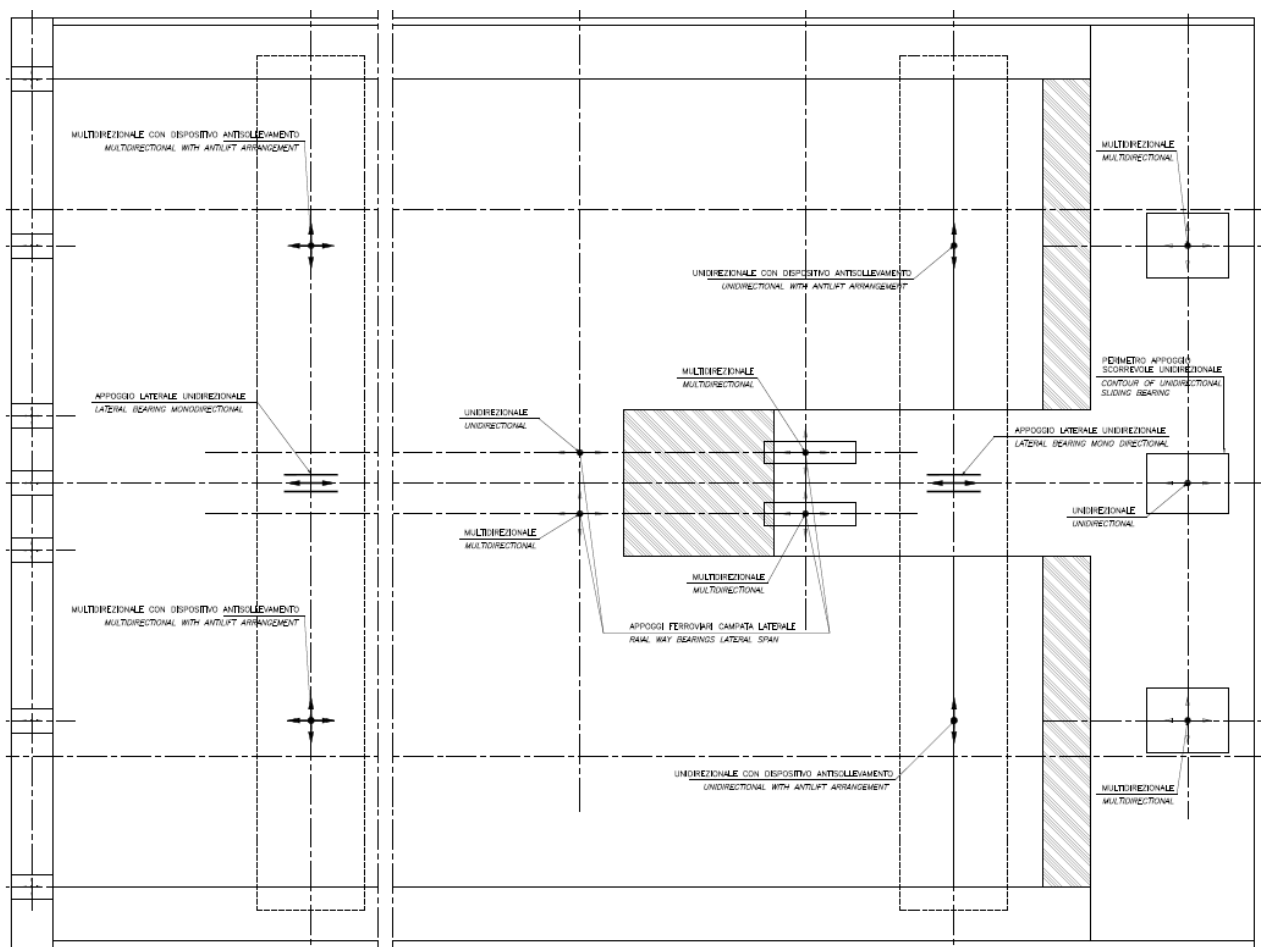


Figura 7.3: Condizioni di supporto: Supporti dell'impalcato sui pilastri

### 7.3.2 Interfaccia suolo-fondazioni

L'interfaccia suolo-fondazioni è modellata applicando elementi molla lineari ai punti che rappresentano gli elementi *shell* dei nodi delle fondazioni.

La rigidità delle molle è stata dedotta utilizzando la seguente matrice di rigidità



	<b>X [kN/m]</b>	<b>Y [kN/m]</b>	<b>Z [kN/m]</b>	<b>r<sub>x</sub> [kNm]</b>	<b>r<sub>y</sub> [kN]</b>	<b>r<sub>z</sub> [kNm]</b>
<b>X [kN/m]</b>	2,1 E+07	0	0	0	-1,5 E+08	0
<b>Y [kN/m]</b>	0	2,2 E+07	0	-1,5 E+08	0	0
<b>Z [kN/m]</b>	0	0	1,9 E+07	0	0	0
<b>r<sub>x</sub> [kNm]</b>	0	-1,5 E+08	0	9,8 E+10	0	0
<b>r<sub>y</sub> [kN]</b>	-1,5 E+08	0	0	0	1,3 E+11	0
<b>r<sub>z</sub> [kNm]</b>	0	0	0	0	0	1,7 E+11

*Tabella 7-1: Matrice di rigidità del suolo versante Sicilia – situazione statica*

Sul versante della Calabria, la rigidità delle molle è stata dedotta per mezzo della seguente matrice:



	<b>X [kN/m]</b>	<b>Y [kN/m]</b>	<b>Z [kN/m]</b>	<b>r<sub>x</sub> [kNm]</b>	<b>r<sub>y</sub> [kN]</b>	<b>r<sub>z</sub> [kNm]</b>
<b>X [kN/m]</b>	5,3 E+07	0	0	0	1,6 E+08	0
<b>Y [kN/m]</b>	0	5,6 E+07	0	1,7 E+08	0	0
<b>Z [kN/m]</b>	0	0	5,6 E+07	0	0	0
<b>r<sub>x</sub> [kNm]</b>	0	1,7E+08	0	3,0 E+10	0	0
<b>r<sub>y</sub> [kN]</b>	1,6 E+08	0	0	0	3,9 E+11	0
<b>r<sub>z</sub> [kNm]</b>	0	0	0	0	0	5,6 E+11

*Tabella 7-2: Matrice di rigidità del suolo versante Calabria – situazione statica*

La rigidità delle molle per la situazione dinamica è stata dedotta utilizzando la seguente matrice:

	<b>X [kN/m]</b>	<b>Y [kN/m]</b>	<b>Z [kN/m]</b>	<b>r<sub>x</sub> [kNm]</b>	<b>r<sub>y</sub> [kN]</b>	<b>r<sub>z</sub> [kNm]</b>
<b>X [kN/m]</b>	5,0 E+07	0	0	0	-1,7 E+08	0
<b>Y [kN/m]</b>	0	4,8 E+07	0	-1,6 E+08	0	0
<b>Z [kN/m]</b>	0	0	5,8 E+07	0	0	0
<b>r<sub>x</sub> [kNm]</b>	0	-1,6 E+08	0	1,4 E+10	0	0
<b>r<sub>y</sub> [kN]</b>	-1,7 E+08	0	0	0	1,8 E+11	0
<b>r<sub>z</sub> [kNm]</b>	0	0	0	0	0	2,7 E+11

*Tabella 7-3: Matrice di rigidità del suolo versante Sicilia – situazione dinamica*

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Sul versante della Calabria, la rigidità delle molle è stata dedotta per mezzo della seguente matrice:

	<i>X [kN/m]</i>	<i>Y [kN/m]</i>	<i>Z [kN/m]</i>	<i>r<sub>x</sub> [kNm]</i>	<i>r<sub>y</sub> [kN]</i>	<i>r<sub>z</sub> [kNm]</i>
<i>X [kN/m]</i>	2,2 E+07	0	0	0	9,6 E+08	0
<i>Y [kN/m]</i>	0	2,1 E+07	0	9,1 E+08	0	0
<i>Z [kN/m]</i>	0	0	3,4 E+07	0	0	0
<i>r<sub>x</sub> [kNm]</i>	0	9,1 E+08	0	4,8 E+10	0	0
<i>r<sub>y</sub> [kN]</i>	9,6 E+08	0	0	0	6,1 E+11	0
<i>r<sub>z</sub> [kNm]</i>	0	0	0	0	0	1,0 E+11

*Tabella 7-4: Matrice di rigidità del suolo versante Calabria – situazione dinamica*

Per queste matrici di rigidità per il suolo è stato fatto riferimento alle seguenti relazioni:

- CG.10.03-P-CL-D-P-CG-S4-00-00-00-01, “Equivalent Stiffness matrices for the Soil-Foundation System” (Matrici di rigidità equivalente per il sistema suolo-fondazioni)
- CG.10.03-P-CL-D-P-CG-S4-00-00-00-02, “Equivalent Stiffness and Damping Matrices for the Soil-Foundation System” (Matrici di rigidità equivalente e di smorzamento per il sistema suolo-fondazioni).



## 7.4 Carichi e combinazioni di carico

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

- Carichi di base definiti come 1,0 volte il carico caratteristico
- Combinazioni di carico semplice
- Combinazioni di carico complesso
- Carichi fissi e combinazioni di carico

I carichi sono di norma definiti nel sistema a coordinate globale (destrorso).

I carichi di base definiti sono:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

- Carichi permanenti (peso strutturale PP, componenti non-strutturali PN)
- Azioni variabili generate dall'uomo (QL)
- Carichi da vento (statico e dinamico) (VV)
- Carichi di temperatura (VT)
- Carichi sismici (VS)

I carichi permanenti includono tutti i carichi gravitazionali come carico fisso, carico fisso sovrapposto (superficie dell'impalcato e "altri carichi").

Il carico fisso è calcolato automaticamente da SAP 2000 sulla base del modello geometrico (carichi definiti e inclusi nel modello del processo di costruzione). Il peso dei materiali di base può essere osservato alla sezione 6.2.3 della presente relazione.



#### 7.4.1 Carico permanente (PP e PN)

Le azioni permanenti e semi-permanenti si suddividono in peso proprio strutturale (PP) e peso proprio non strutturale (PN), come precisato qui di seguito:

- **PP:** il peso strutturale è calcolato per tutti i componenti strutturali. Gli incrementi di pesi dovuti ad elementi che non sono presenti nel modello (come rivestimenti e collegamenti) sono presi in considerazione utilizzando un fattore d'incremento del 10%.
- **PN:** il peso dei componenti non strutturali include il peso di superficie stradale, piano di appoggio dei binari, protezioni, parapetti e schermi per il vento, materiali e servizi tecnologici che devono essere garantiti per tutto l'attraversamento; sono stati presi in considerazione scenari in cui qualcuno di questi pesi sia rimosso durante la vita di servizio della struttura, per motivi di manutenzione ordinaria e straordinaria.

In aggiunta ai carichi sopra menzionati, nel modello FE sono stati inseriti, in corrispondenza dei nodi delle posizioni portanti, carichi permanenti derivanti dal ponte principale di Messina e dal viadotto Pantano.

Le forze all'interfaccia ponte - strutture terminali sono state calcolate con il modello globale IBDAS e sono state applicate come forze nodali.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

#### 7.4.2 Azioni variabili generate dall'uomo (QL)

Le forze variabili generate dall'uomo per il dimensionamento locale (QL) sono state attuate conformemente ai seguenti documenti:

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

I carichi stradali e ferroviari sono stati disposti lungo la struttura in modo tale da non produrre l'effetto di carico più sfavorevole. Una volta identificate le sezioni di progetto, la posizione del carico che induce le massime sollecitazioni nelle sezioni è determinata utilizzando le linee d'influenza calcolate sul modello IBDAS del ponte.

Individuate le posizioni dei carichi ferroviari e dei carichi stradali che massimizzano le sollecitazioni nella sezione di progetto, le azioni corrispondenti vengono riportate sul modello delle strutture terminali in due diverse maniere:

- I carichi vengono applicati sui supporti all'interfaccia tra il ponte e la sovrastruttura terminale e all'interfaccia tra il viadotto Pantano e la sovrastruttura terminale, e calcolati con il modello IBDAS per la particolare situazione di carico.
- Una parte dei carichi mobili viene applicata alla struttura terminale stessa (a seconda della posizione di massimizzazione).



I carichi applicati sono descritti qui di seguito.

##### 7.4.2.1 Carico stradale

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

L'area della carreggiata include tutte le aree che possono essere incorporate, in modo permanente o provvisorio, per essere utilizzate dal traffico veicolare. In tal modo è stata caricata l'area totale della carreggiata di un impalcato stradale di 11,95 m<sup>2</sup>/m. 3 corsie di carico, larghe 3 m, sono state prese in considerazione unitamente ad una corsia rimanente di 2,95 m per ciascuna carreggiata.

Sono stati considerati 2 schemi di carico:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	



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

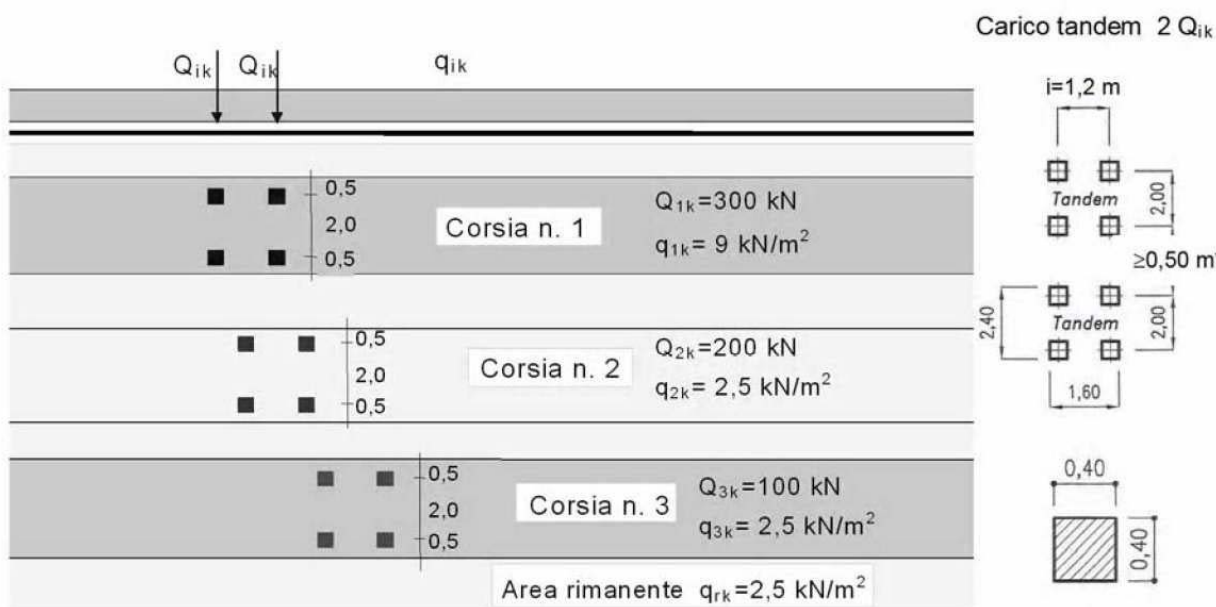
La lunghezza di carico è limitata ad un massimo di 300m.

Ubicazione	Sistema tandem - TS	Sistema UDL
	Carico asse $Q_{ik}$ (kN)	$q_{ik}$ (kN/m <sup>2</sup> )
Corsia convenzionale numero 1	300	9
Corsia convenzionale numero 2	200	2.5
Corsia convenzionale numero 3	100	2.5
Area rimanente	0	2.5

Tabella: Modello di carico 1

Nella figura seguente è illustrata l'applicazione dello schema di carico1:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Principi generali di progettazione	Codice documento PF0130_F0_ITA.doc	Rev F0	Data 20-06-2011



Schema di carico 1 (dimensioni in [m])

Figura 7-4: Applicazione del modello di carico 1

Il modello di carico 2 consiste in un carico asse singolo di:  $Q_k = 400 \text{ kN}$

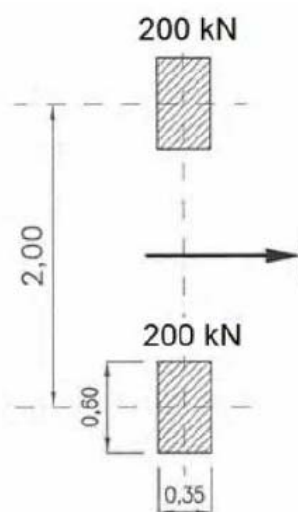




Figura 7-5: Applicazione del modello 2 (schema di carico 2)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Identificati gli allineamenti degli elementi *shell* rappresentanti le corsie, i carichi di sistema tandem sono stati applicati distribuendoli uniformemente sull'elemento *shell*, in corrispondenza dell'elemento stesso.

Ai carichi sopra menzionati la seguente forza longitudinale di frenatura o di accelerazione dei carichi sarà applicata nella corsia numero 1 come segue:

$$Q_{Lk} = 360 + 2,7 \cdot L$$

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

dove L è la lunghezza effettiva caricata che viene presa in considerazione.

Si assume che la forza agisca nella direzione longitudinale della carreggiata, parallelamente alla superficie della carreggiata e al livello della stessa. La forza sarà uniformemente distribuita sulla lunghezza caricata.

#### 7.4.2.2 Carico ferroviario

Nel modello 2 sono stati identificati gli allineamenti *shell* che rappresentano il binario ferroviario, e su questi elementi *shell* sono stati applicati i carichi ferroviari rappresentati dai modelli di carico LM71, SW/0 o SW/

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

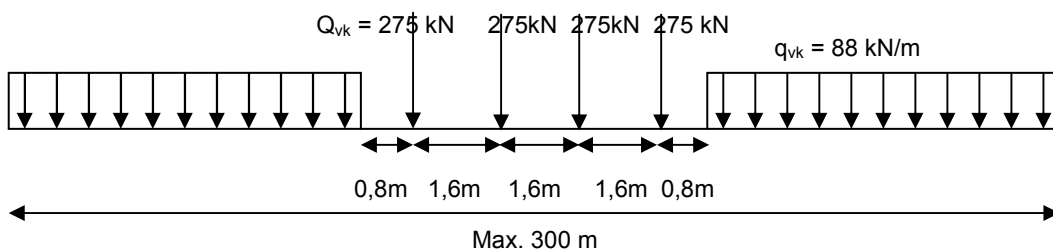




Figura 7-6: Modello di carico 71 con  $\alpha=1,10$

Il modello di carico 71 è stato applicato su un binario o su entrambi i binari contemporaneamente. Il carico è stato collocato nella posizione più sfavorevole per l'elemento; inoltre la parte uniforme

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

del LM71 può essere applicata in modo segmentato sul cassone in modo da aumentare gli effetti del carico dell'elemento che viene progettato.  $\alpha=1,10$  per LM71.

Il modello di carico SW/0 rappresenta l'effetto statico del carico verticale dovuto al normale traffico ferroviario, mentre il modello di carico SW/2 rappresenta l'effetto statico del carico verticale dovuto al traffico ferroviario pesante.

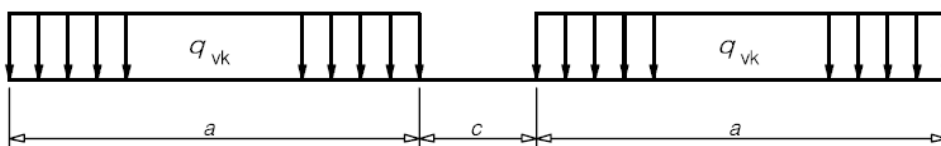


Figura 7-7: Modello di carico SW/0 e SW/2

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

Modello di carico SW/0 e SW/2 incluso  $\alpha= 1,10$  per SW/0 e  $\alpha= 1,00$  per SW/2.

In un binario sarà applicato solo un SW/0 o un SW/2.

Nel modello FEM sono stati inseriti soltanto modelli di carichi LM71 e SW/2, poiché il modello SW/0 non è stato considerato controllante né dimensionante, ai fini della valutazione, per gli elementi dell'impalcato.

Un modello ad elementi *beam* liberamente appoggiati della struttura terminale lato Sicilia, è stato utilizzato per valutare le forze indotte dai 3 modelli di carico ferroviario (LM71, SW/2 e SW/0). È stato riscontrato che SW/0 produce forze minori rispetto a LM71 e SW/2.

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





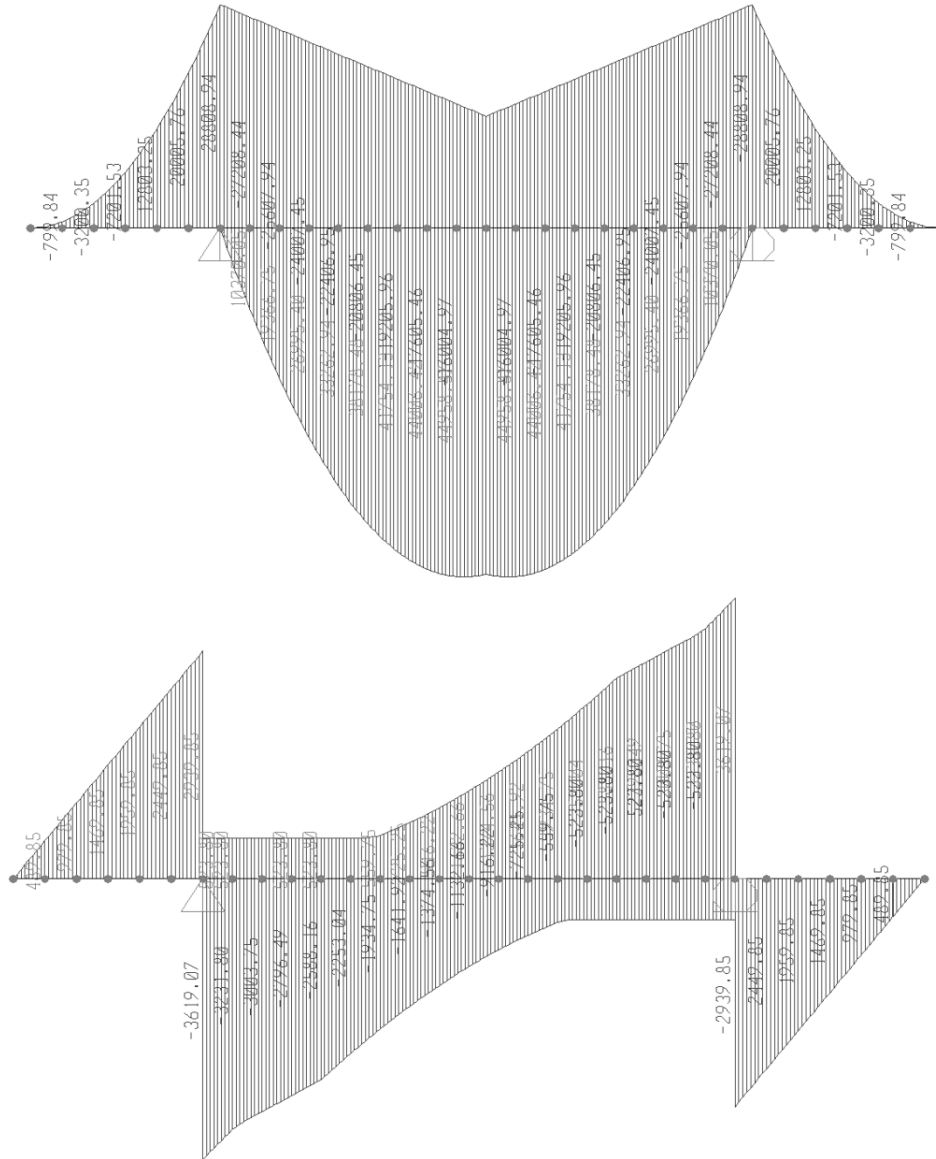


Figura 7-9: Forze indotte dal modello di carico SW/2

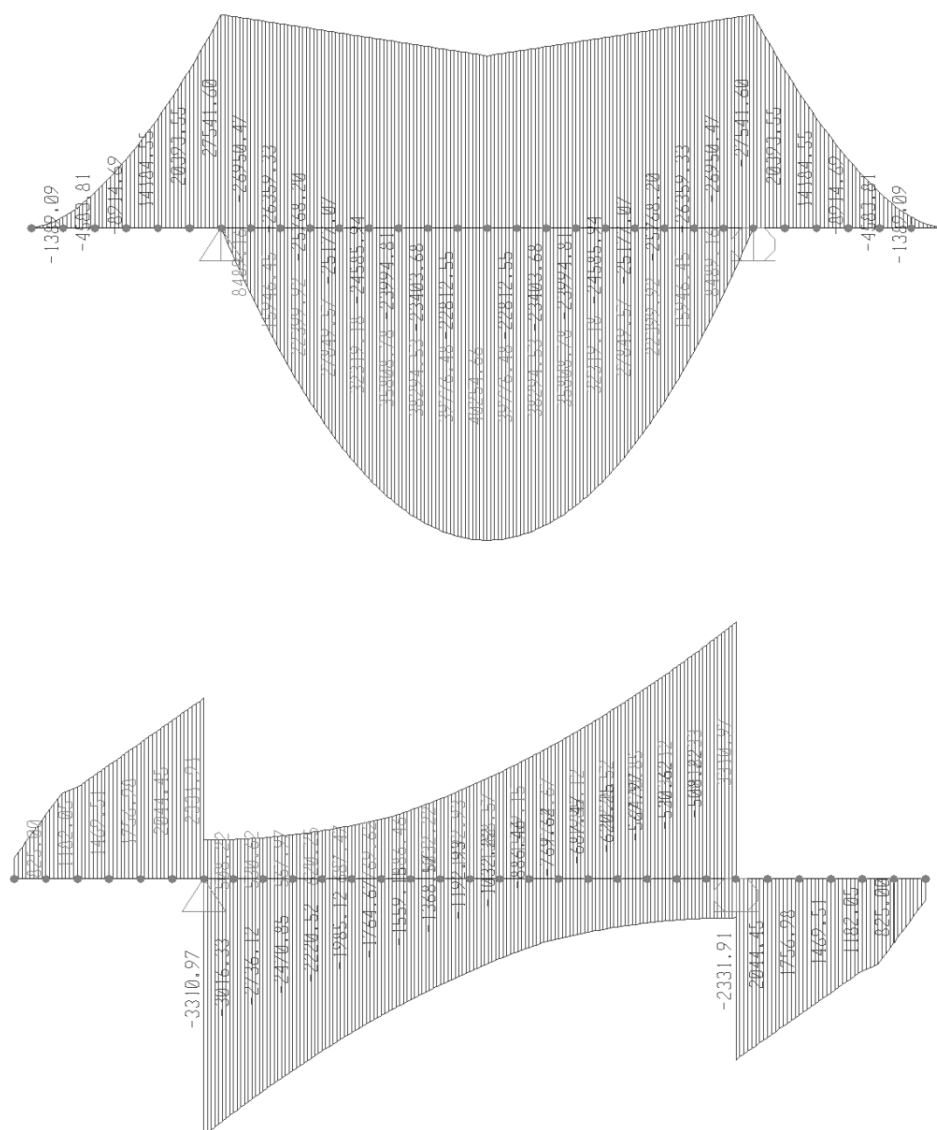




Figura 7-10: Forze indotte dal modello di carico LM71

Le forze risultanti dai modelli di carico ferroviario sono state amplificate con il coefficiente dinamico  $\Phi = 1,06$ , calcolato con lo strumento di analisi dinamica nel modello globale IBDAS.

Le forze di trazione e di frenatura sono state applicate sulla sommità dei binari, in direzione longitudinale, con distribuzione uniforme sulla lunghezza di influenza  $L_{ab}$ . Le forze di trazione e di frenatura sono state combinate con i corrispondenti carichi verticali. La frenatura su un binario è

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

stata combinata con la contemporanea trazione sull'altro binario.

É stato assunto che sui due binari sia consentito il traffico in direzioni opposte, cioè che non possano verificarsi frenatura o trazione su entrambi i binari.

Forza di trazione:

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

per il modello di carico 71 e SW/2

Forza di frenatura:

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

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 di influenza, espressa in m, degli effetti di carico dell'elemento considerato.

I carichi di trazione e di frenatura sopra indicati devono essere moltiplicati per i seguenti fattori:

$$\alpha = 1,1 \quad \text{per LM 71}$$

$$\alpha = 1,0 \quad \text{per SW/2}$$

La forza di serpeggio è stata applicata alla sommità delle rotaie in direzione trasversale.

$Q_{sk} = 100 \text{ kN}$  con azione orizzontale, sulla sommità delle rotaie, perpendicolare all'asse del binario.

La forza di serpeggio sopra indicata è stata moltiplicata per il fattore  $\alpha$ .



### 7.4.3 Carico da vento

Il carico da vento è attuato conformemente ai Criteri di Progettazione GCG.F.04.01, sezione 5.3.

#### 7.4.3.1 Vento statico

Il vento medio statico è implementato con un profilo verticale come descritto nei Criteri di Progettazione GCG.F.04.01.

Per inserire nel modello una variazione della velocità media del vento lungo la verticale, come indicato nella seguente formula:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

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

è stato definito un joint pattern a 2 linee, che vi si avvicina, come mostrato nel seguente grafico:

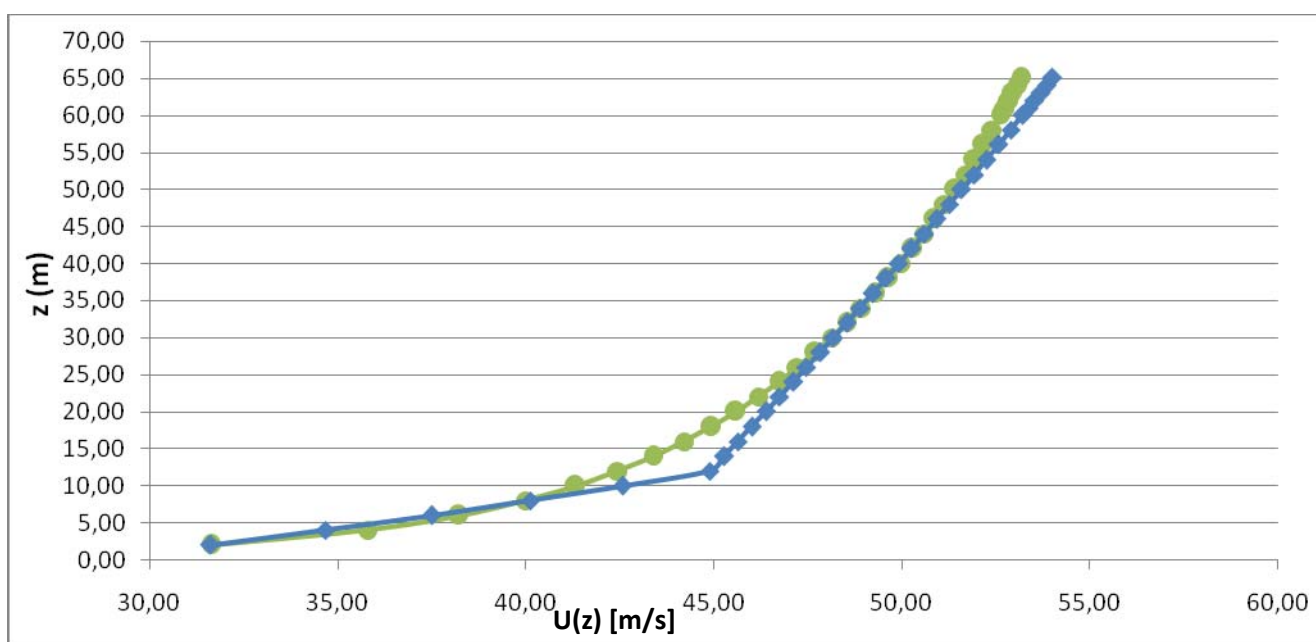


Figura 7-11: Vento statico vs elevazione

Nel modello SAP, la 1<sup>a</sup> variazione lineare del vento lungo la verticale è applicata fino ad un'elevazione di 12 m e la 2<sup>a</sup> variazione oltre questo limite.



#### 7.4.4 Carichi da temperatura

I carichi da temperatura sono implementati conformemente ai Criteri di Progettazione GCG.F.04.01, sezione 5.3.

I coefficienti di espansione termica sono definiti alla sezione 6.2.3 della presente relazione. Le variazioni di temperatura sono introdotte nel modello aggiungendo joint pattern in grado di riprodurre la variazione lungo gli elementi *shell*.

#### 7.4.5 Carichi sismici

Il carico sismico è attuato conformemente ai Criteri di Progettazione GCG.F.04.01, sezione 5.3.2.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

I principi utilizzati per l'analisi sismica sono descritti nella relazione: CG1000-P-RG-D-P-SV-00-00-00-00-01, "Global IBDAS Model Description" (Descrizione del modello globale IBDAS).

La combinazione quadratica completa (CQC) è utilizzata per combinare gli effetti di diversi modi.

Sul modello semi-locale della struttura terminale le analisi sismiche non sono state implementate: le sollecitazioni dovute alle azioni sismiche sulle sezioni di progettazione della struttura sono state calcolate con il modello SAP di elemento finito globale.

## 7.5 Combinazioni di carico



I componenti dell'impalcato sono verificati relativamente alle combinazioni di carico elencate nei Criteri di Progettazione (GCG.F.04.01) sezione 6.8. I componenti di carico considerati nelle tabelle delle combinazioni di carico sono definiti nella Tabella 2.9. Le combinazioni e i relativi fattori parziali per ciascun componente di carico sono presentati nella Tabella 2.10 e Tabella 2.11, rispettivamente per gli stati limite di servizio e per gli stati limite ultimi. Il fattore parziale  $\mu$  può assumere il valore di 0,95 o 1,15 per i componenti in acciaio oppure di 0,95 o 1,25 per i componenti in calcestruzzo, il che dipende dal punto in cui il carico fisso causa un effetto distensivo o sfavorevole. Un trattino in una cella sotto la colonna dei componenti di carico indica che tale componente di carico non è incluso nella combinazione rappresentata dalla riga.

Le combinazioni di carico così definite, la numerazione e i fattori applicati sono riportati nelle seguenti relazioni, in Appendice:

- CG1002-P-CL-D-P-ST-S6-00-00-00-01\_C\_Design Report Sicilia Terminal Foundation (Rapporto di progettazione – fondazioni terminali Sicilia)
- CG1002-P-CL-D-P-ST-S6-00-00-00-01\_C\_Design (Rapporto di progettazione – fondazioni terminali Calabria)

## 7.6 Analisi modale

L'analisi modale della struttura terminale non fa parte di questa relazione. Il comportamento dinamico della struttura è stato analizzato da COWI con il modello globale IBDAS. Riferimento: relazione CG1000-P-RG-D-P-SV-00-00-00-00-01, "Global IBDAS Model Description".

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

## 7.7 Analisi sismica

### 7.7.1 Analisi dello spettro di risposta

L'analisi sismica della sottostruttura terminale è stata eseguita con il modello globale IBDAS.

Per l'analisi sismica si fa riferimento alla relazione CG1000-P-RG-D-P-SV-00-00-00-00-01, "Global IBDAS Model Description".

Le forze sismiche che agiscono nelle strutture terminali sono state scelte direttamente dal modello globale per la combinazione di forze che potrebbe massimizzare le sollecitazioni nelle sezioni di progettazione scelte.



Le forze risultanti dal modello IBDAS sono state suddivise in:

- 4 pilastri per il versante della Sicilia (2 pilastri lato mare e 2 pilastri lato terra) e 4 pilastri per il versante della Calabria (2 pilastri lato mare e 2 pilastri lato terra)
- 2 lastre di fondazione per il versante della Sicilia (1 lastra di fondazione sotto i pilastri lato mare e 1 sotto i pilastri lato terra) e 2 per il versante della Calabria (1 lastra di fondazione sotto i pilastri lato mare e 1 sotto i pilastri lato terra).

Le forze risultanti nei pilastri, derivanti dal modello IBDAS, sono state direttamente utilizzate per verificare le sezioni dei pilastri delle strutture terminali nell'ubicazione di progetto scelta.

Le forze risultanti sulla fondazione non sono state utilizzate direttamente in quanto le forze di reazione erano date in un singolo punto all'intersezione di 2 elementi rigidi di connessione dei pilastri calcolati nel modello globale IBDAS.

Per modellare la lastra di fondazione è stato creato un modello di elemento finito locale in SAP 2000. Le forze risultanti dal modello IBDAS sono state applicate al modello locale.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

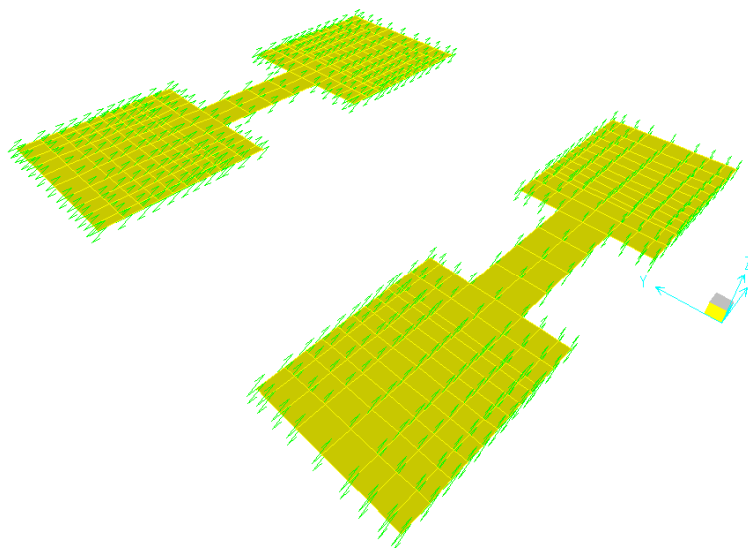


Figure 7-3: Foundation Local Model



Le molle dinamiche sono state utilizzate per modellare il comportamento del terreno. La rigidità delle molle per la situazione dinamica è stata dedotta utilizzando la seguente matrice:

	<i>X [kN/m]</i>	<i>Y [kN/m]</i>	<i>Z [kN/m]</i>	<i>r<sub>x</sub> [kNm]</i>	<i>r<sub>y</sub> [kN]</i>	<i>r<sub>z</sub> [kNm]</i>
<i>X [kN/m]</i>	5,0 E+07	0	0	0	-1,7 E+08	0
<i>Y [kN/m]</i>	0	4,8 E+07	0	-1,6 E+08	0	0
<i>Z [kN/m]</i>	0	0	5,8 E+07	0	0	0
<i>r<sub>x</sub> [kNm]</i>	0	-1.6 E+08	0	1.4 E+10	0	0
<i>r<sub>y</sub> [kN]</i>	-1.7 E+08	0	0	0	1.8 E+11	0
<i>r<sub>z</sub> [kNm]</i>	0	0	0	0	0	2.7 E+11

Tabella 7-5: Matrice di rigidità del suolo versante Sicilia – situazione dinamica

Sul versante della Calabria, la rigidità delle molle è stata dedotta per mezzo della seguente matrice:



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

	<i>X [kN/m]</i>	<i>Y [kN/m]</i>	<i>Z [kN/m]</i>	<i>r<sub>x</sub> [kNm]</i>	<i>r<sub>y</sub> [kN]</i>	<i>r<sub>z</sub> [kNm]</i>
<i>X [kN/m]</i>	2,2 E+07	0	0	0	9,6 E+08	0
<i>Y [kN/m]</i>	0	2,1 E+07	0	9,1 E+08	0	0
<i>Z [kN/m]</i>	0	0	3,4 E+07	0	0	0
<i>r<sub>x</sub> [kNm]</i>	0	9,1 E+08	0	4,8 E+10	0	0
<i>r<sub>y</sub> [kN]</i>	9,6 E+08	0	0	0	6,1 E+11	0
<i>r<sub>z</sub> [kNm]</i>	0	0	0	0	0	1,0 E+11

Tabella 7-6: Matrice di rigidità del suolo versante Calabria – situazione dinamica

## 7.8 Risultati dei calcoli

Al fine di verificare gli elementi strutturali, nei calcoli sono state definite sezioni trasversali (section cuts). Esse si compongono di gruppi di *shell* e giunti e sono le sezioni in cui il programma calcola direttamente le sollecitazioni necessarie nella verifica.



Per default, gli assi locali positivi 1,2 e 3 della section cut corrispondono rispettivamente agli assi globali X,Y e Z.

Le forze della section cut sono riportate in un singolo punto nel sistema di coordinate locali, definito per la section cut. Sei diverse componenti di forza sono riportate in quel singolo punto.

Esse sono:

- **F1:** Una forza nella direzione dell' asse locale 1 della section cut.
- **F2:** Una forza nella direzione dell' asse locale 2 della section cut.
- **F3:** Una forza nella direzione dell' asse locale 3 della section cut.
- **M1:** Un momento rispetto all'asse locale 1 della section cut.
- **M2:** Un momento rispetto all'asse locale 2 della section cut.
- **M3:** Un momento rispetto all'asse locale 3 della section cut.

Le forze delle section cut sono riportate come forze che agiscono sugli elementi che costituiscono il gruppo che definisce la sezione di taglio. Ne viene di seguito riportato un esempio.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Le forze di sezione positive agiscono nella stessa direzione dell'asse locale positivo della section cut. Il senso dei momenti positivi può essere determinato utilizzando la regola della mano destra.

## 7.9 Supporto pendino tie-down

### 7.9.1 Descrizione modellazione agli Elementi Finiti

Il modello utilizzato per determinare le sollecitazioni sulla trave di supporto del cavo di tie-down è realizzato interamente mediante elementi *shell*. Il modello è stato implementato con il software SAP 200 della *Computers and Structures*.

Il supporto è stato modellato con una piastra fissata su ciascun lato, come mostrato nel seguente disegno:

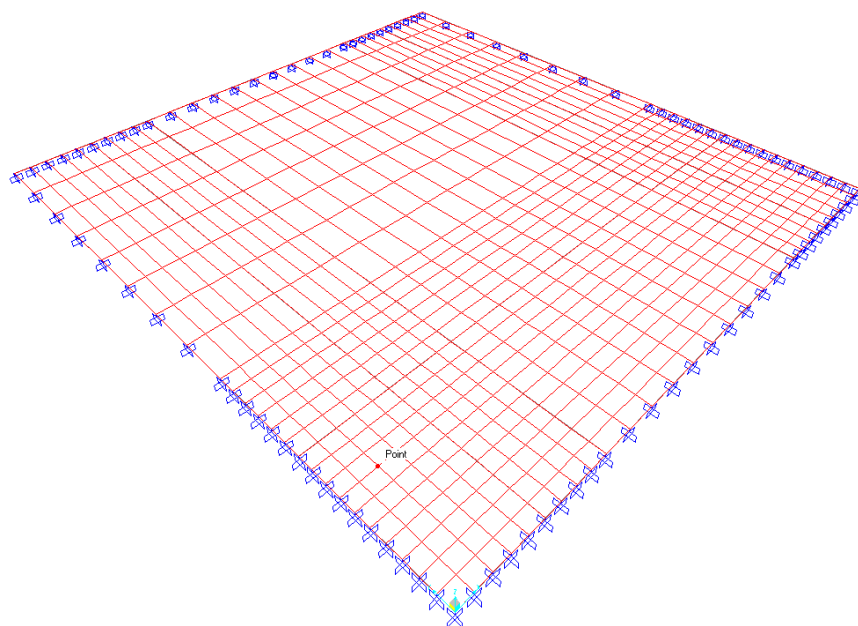




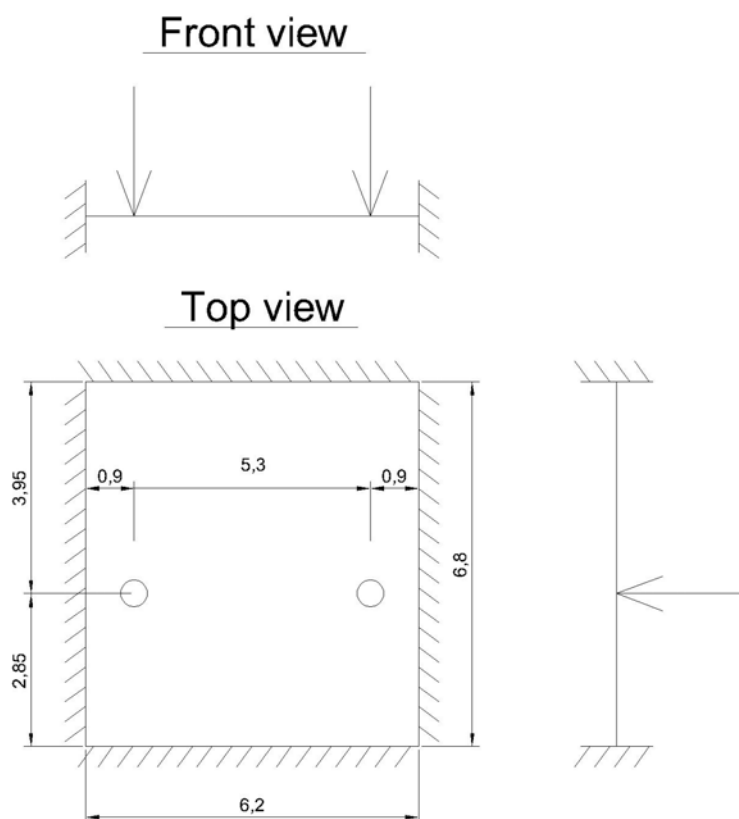
Figura 7.13 Modello per supporto di tie-down

### 7.10 Carichi e combinazioni

Il peso proprio della trave di supporto è stato calcolato dal software, attribuendo l'esatto valore dello spessore di sezione agli elementi *shell*.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	



I carichi dati dal tie-down al supporto, sono stati applicati conformemente al seguente schema di carico:



*Figura 7.14 Schema di carico per supporto tie-down*

I carichi sono stati combinati come richiesto dai Criteri di Progettazione GCG.F.04.01.

Per maggiori informazioni cfr. Documento CG1002-PCLDP-ST6-00000000-01\_C e Documento CG1002-PCLDP-ST6-00000000-02\_C.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

## 8 Verifiche di progettazione

### 8.1 Basi di verifica

Le verifiche sono eseguite conformemente alle linee guida formulate nel NTC08. I calcoli si basano sulle forze sezionali del modello elemento finito SAP.

Il programma utilizzato per verificare le sezioni in calcestruzzo è il GEOSTRU.

#### 8.1.1 Input – Output del programma

Le verifiche presentate qui di seguito sono eseguite utilizzando il programma commerciale GEOSTRU e contengono i seguenti step:

##### Input

Le forze sezionali per le combinazioni per gli stati limite ultimi e gli stati limite di servizio (car., freq. e quasi perm.) sono tabellarizzate. Le forze sono state dedotte in modo da massimizzare sia la forza assiale (F3), i momenti (M1 o M2) e le forze di taglio (F1 or F2).

Le forze tabellarizzate sono state derivate dal modello SAP 2000.



Per la verifica sono dati parametri materiali, e per gli stati limite di servizio sono date anche le ampiezze di fessura permesse, a seconda che si tratti di una combinazione di carichi frequente o quasi permanente.

La sezione da verificare è definita geometricamente ed è anche definita l'armatura. Nota: in alcuni casi si applica una barra di diametro Ø45 mm, che non è il diametro reale della barra ma che è stato applicato come l'equivalente di 2 barre più piccole.

Le forze sezionali elencate inizialmente sono inserite nel programma, che poi verifica le sezioni in relazione alle forze sezionali applicate.

##### Output

Le verifiche sono date in relazione al carico flettente e assiale, in relazione al taglio e, infine, in relazione alle larghezze delle fessurazioni.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

La verifica è confermata con S (= sì) o N (= no) e la conferma è elencata sotto la colonna "Ver".

### Peso assiale – Curvatura flessionale

Per l'interazione di peso assiale – curvatura flessionale viene anche dato il rapporto di capacità vs domanda sotto la colonna "Mis. Sic" (misura sicurezza) – si veda l'esempio riportato qui di seguito.

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 di carico assiale – curvatura flessionale, la capacità assiale "Nult" è impostata appr. uguale al carico assiale applicato, allo scopo di trovare la rimanente capacità di curvatura flessionale.

### Taglio

Il taglio è verificato comparando il carico applicato e il valore minimo della capacità individuale del calcestruzzo (Vcd) o dell'armatura (Vvd).



### Ampiezza delle fessure

La fessurazione è calcolata comparando l'ampiezza delle fessure calcolata e l'ampiezza delle fessure permessa.

Nel calcolare l'ampiezza delle fessure si tiene conto del tension stiffening.

## **8.2 Verifica strutturale**

Le sezioni in cui le fondazioni della struttura terminale sono state verificate, vengono presentate nelle bozze che seguono:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

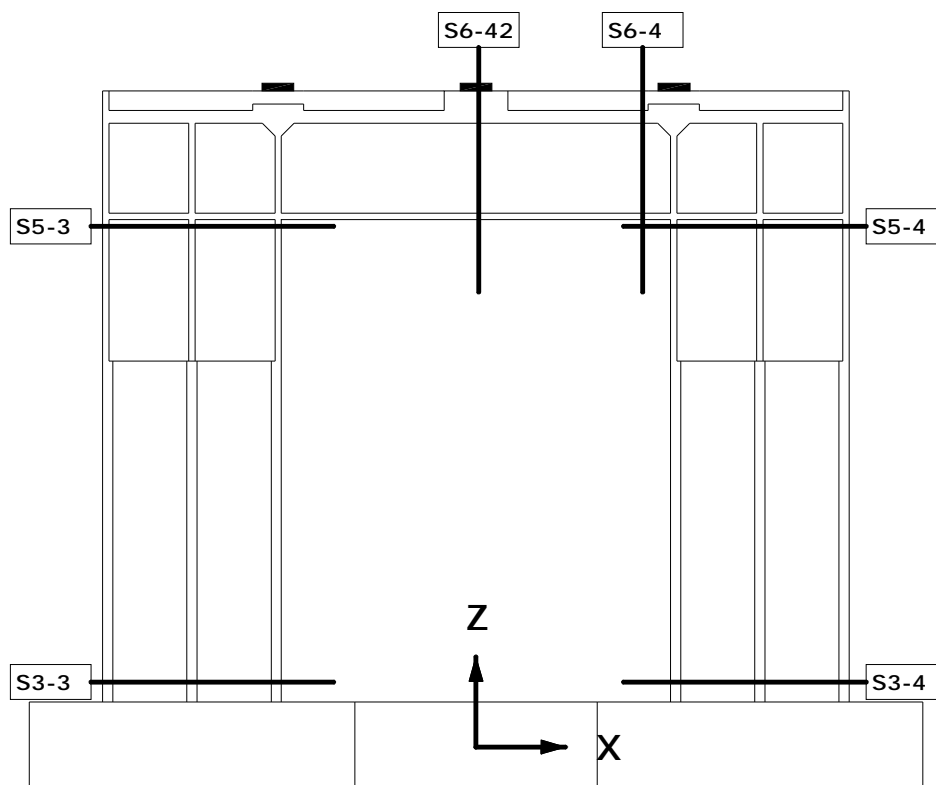


Figura 8.1 *Struttura terminale pilastro – lato terra*

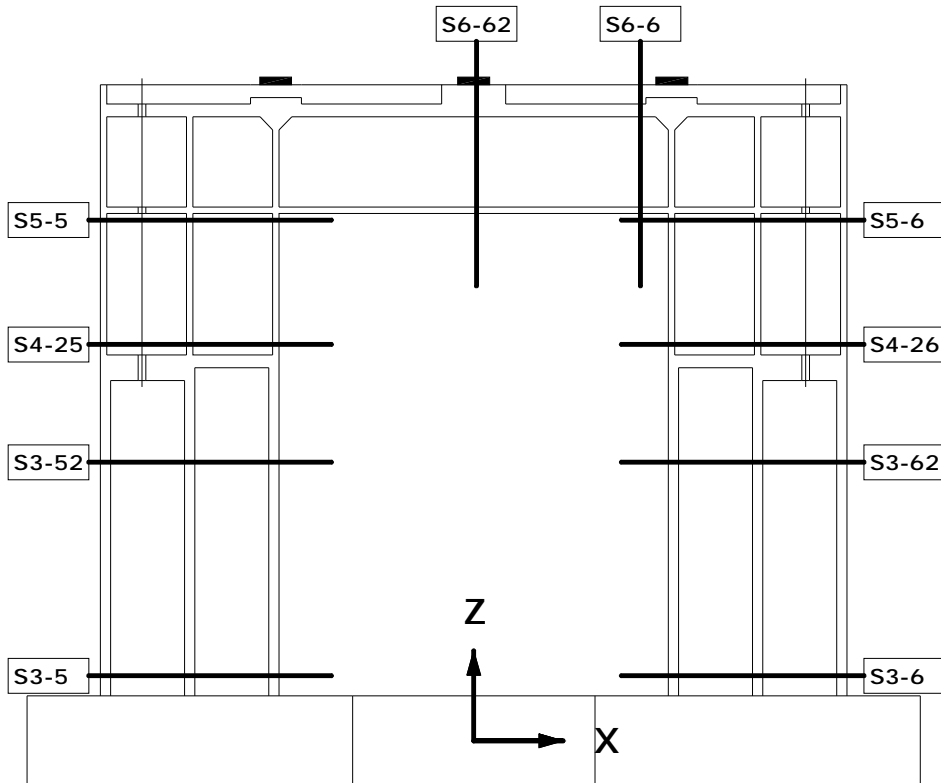


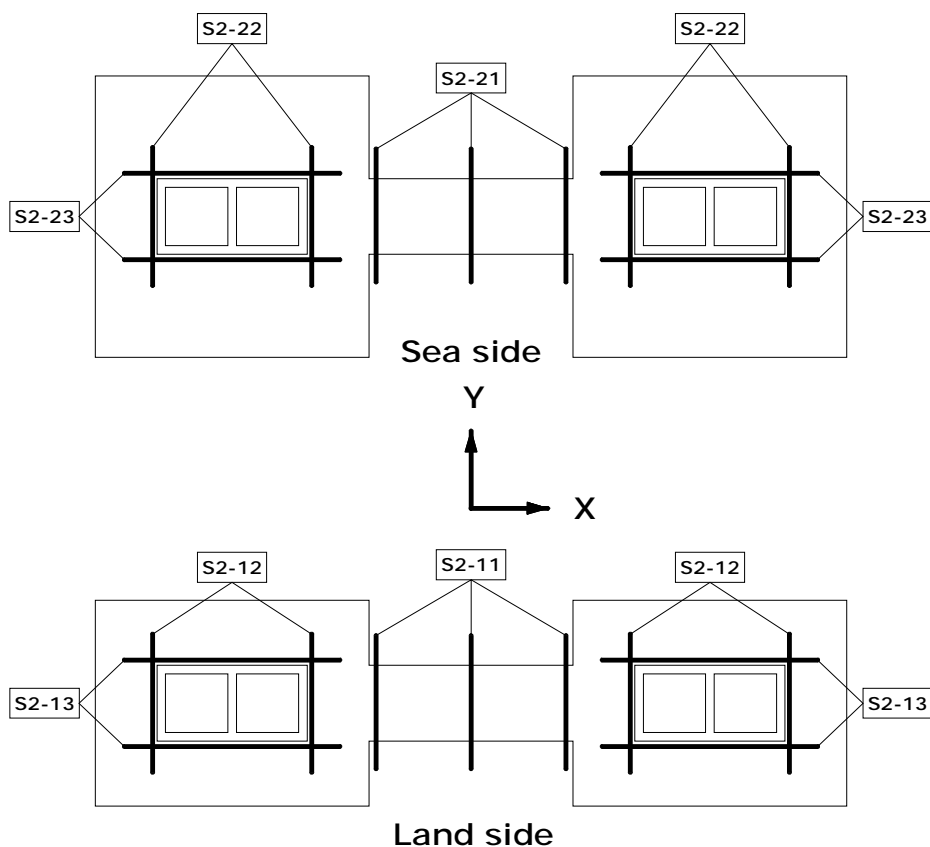


Figura 8.2 Struttura terminale pilastro – lato mare

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011





*Figura 8.3 Fondazioni terminali*

Le sezioni sopra indicate sono le seguenti:

- Base e parte superiore dei pilastri (S3, S5).
- Sezioni intermedie del cassone trasversale dei pilastri (S3.X2).
- Lastra fondazioni (S1, S2).
- Sezioni di chiusura del cassone trasversale dei pilastri (S6).
- Sezioni intermedie del cassone trasversale dei pilastri (S6.X2).

Queste sono le sezioni necessarie alla progettazione dei pilastri per le peggiori condizioni di carico



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

## 8.3 Verifica geotecnica

### 8.3.1 Introduzione

Con riferimento alle indagini del suolo disponibili, le fondazioni della struttura terminale del versante della Sicilia si estenderanno su un deposito costiero mentre le fondazioni del versante della Calabria si estenderanno sul conglomerato di Pezzo.

Le verifiche geotecniche svolte sono:

- Verifica al ribaltamento
- Verifica  $Q_{lim}$

### 8.3.2 Verifica al ribaltamento

È stato considerato un modello superficiale delle fondazioni. Le forze agenti (scomposte in componenti orizzontali e verticali) e le relative distanze di applicazione sono determinate rispetto ad un punto di rotazione. I carichi (permanenti e variabili) sono stati moltiplicati per i coefficienti parziali definiti dal NTC 08.

I momenti ribaltanti  $M_{rib}$  e l' $M_{stab}$  sono poi calcolati per determinare il coefficiente di sicurezza per il ribaltamento:  $F = M_{stab} / M_{rib}$



### 8.3.3 Verifica $Q_{lim}$

Per la verifica  $Q_{lim}$  è stata considerata la superficie di contatto suolo-fondazioni.

Sono stati studiati i 3 seguenti meccanismi di cedimento possibili:

- Cedimento generale delle fondazioni diffuse
- Cedimento locale delle fondazioni diffuse
- Cedimento al taglio

Un'indicazione quantitativa del verificarsi di uno dei meccanismi qui sopra riportati è data dalle soluzioni di Vesic, dove viene fornito un indice di rigidità per il terreno sabbioso

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

$$I_R = \left[ \frac{G}{c' + \sigma_v' \tan \varphi'} \right]$$

dove: G è il modulo di taglio, q è l'effettiva pressione sotto le fondazioni a elevazione B/2 (B = larghezza delle fondazioni).

Questo valore è confrontato con valori critici che possono essere trovati in letteratura e che sono funzione delle dimensioni delle fondazioni.

Se  $I_R$  è maggiore dei valori della letteratura, si possono utilizzare le formule convenzionali, altrimenti devono essere presi in considerazione i seguenti coefficienti:

$$\Psi_q = \Psi_\gamma = \exp \left[ \left( 0,6 \frac{B}{L} - 4,4 \right) \tan \varphi' + \frac{3,07 \sin \varphi' \log(2I_R)}{1 + \sin \varphi'} \right] = 0,41$$

$$\Psi_c = \Psi_q - \frac{1 - \Psi_q}{N_q \operatorname{tg} \varphi'} = 0,35$$

La seguente formula è utilizzata per il calcolo Qlim:

$$q \lim = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot b_c \cdot g_c \cdot i_c + q_0 \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot b_q \cdot g_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma \cdot i_\gamma$$



dove:

$$N_q = e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} \operatorname{tg}^2 (45 + \varphi' / 2), \quad N_c = (N_q - 1) \operatorname{cotg} \varphi, \quad N_\gamma = 2(N_q + 1) \operatorname{tg} \varphi$$

$$S_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \varphi'$$

$$S_c = 1 + \frac{B}{L} \frac{N_q}{N_c}$$

$$S_\gamma = 1 - 0,4 \frac{B}{L}$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

$$i_q = \left( 1 - \frac{T}{(N + B' \cdot c' \cdot \cot g\varphi')} \right)^m ;$$

$$i_c = i_q - \frac{(1 - i_q)}{(N_q - 1)} ;$$

$$i_\gamma = \left( 1 - \frac{T}{(N + B' \cdot c' \cdot \cot g\varphi')} \right)^{m+1}$$

L'effettiva area equivalente deve essere evacuata, introducendo nel calcolo l'eccentricità lungo B ed L dovuta all'applicazione dei momenti flettenti ML e MB. Nel calcolo occorre utilizzare le seguenti dimensioni per l'area delle fondazioni B'=B-2eB e L'=L-2eL, dove 'e' è l'eccentricità.



Il coefficiente di sicurezza si ottiene con:

$$F = \frac{q_{lim}}{q_{es}}$$

dove:

$$q_{es} = N / (B' \cdot L)$$

ed N è il carico verticale e L la lunghezza delle fondazioni.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

## 9 Verifica

La presente sezione riassume le combinazioni di carico controllanti e le verifiche di progettazione completate per i componenti delle strutture terminali. I principi di progettazione sono descritti come necessario per chiarire gli effetti delle combinazioni di carico controllanti e i risultati delle verifiche, tuttavia, per avere maggiori particolari sulle descrizioni e sulle basi delle procedure di verifica si dovranno consultare i Principi Generali di Progettazione (CG.10.00-P-RG-D-P-SV-S8-00-00-00-00-01\_C).

Si noti che il carico da terremoto controlla interamente la sottostruttura delle strutture terminali e che, nello stato di servizio, la sottostruttura è sollecitata solo leggermente, ossia che le ampiezze delle fessure sono risultate nulle. Si noti anche che è il lato terra che riporta utiity ratio più elevati.

I risultati delle verifiche di progettazione sono consultabili nelle seguenti relazioni:



- “CG1002-P-CL-D-P-ST-S6-00-00-00-00-01\_C\_Design Report Sicilia Terminal Foundation” (Rapporto di Progettazione – Fondazioni terminali, Sicilia).
- “CG1002-P-CL-D-P-ST-S6-00-00-00-00-02\_C\_Design Report Calabria Terminal Foundation” (Rapporto di Progettazione – Fondazioni terminali, Calabria).

### 9.1 Struttura terminale, lato Sicilia

#### 9.1.1 Sottostruttura terminale

Si riscontra che la sottostruttura terminale è interamente controllata dal carico sismico e quanto segue è il riepilogo delle verifiche.

Posizione	Sezione	Posizione	Rapporto (senza EQ)	Rapporto (incluso EQ)
Lato terra	S3-3 + S3-4	Base	28,104	1,299
Lato terra	S5-3 + S3-4	Superiore	4,461	2,498
Lato mare	S3-5 + S3-6	Base	21,571	1,126
Lato mare	S3-52 + S3-62	Intermedia	13,488	1,590

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
Principi generali di progettazione		Codice documento PF0130_F0_ITA.doc	Rev F0	Data 20-06-2011

Lato mare	S4-25 + S4-26	Intermedia	23,497	1,556
Lato mare	S5-5 + S5-6	Superiore	9,801	2,839

Tabella 9-1: Rapporto capacità –domanda pilastri – curvatura flessionale

Posizione	Sezione	Posizione	Rapporto (senza EQ)	Rapporto (incluso EQ)
Lato terra	S6-4 + S6-42	Finale	2,904	1,198
Lato mare	S6-6 + S6-62	Finale	3,929	1,246

Tabella 9-2: Rapporto capacità –domanda cassone trasversale – curvatura flessionale

Il rapporto capacità-domanda in relazione alla curvatura flessionale per non-EQ è un'unità superiore da considerare globalmente ed è verificata soddisfacentemente nell'output di GEOSTRU. Analogamente, il taglio è riportato come verificato soddisfacentemente.

In conformità con i bassi utility ratio nella curvatura flessionale, le ampiezze delle fessure negli stati limite di servizio sono calcolate nulle e, pertanto, anche per queste la verifica è soddisfacente.

EQ controlla interamente la progettazione, e si è trovato che i rapporti capacità-domanda variano in un range tra 1,126 e 2,839 per i pilastri, e tra 1,198 e 1,246 per il cassone trasversale.

Si noti che è il lato terra che riporta utility ratio più elevati.



Per il diaframma del tie-down si riporta quanto segue:

Posizione	Posizione	Rapporto (incluso EQ)	Ampiezza fessure
Lato mare	Pilastro interno	1,746	Wmax = 0,1 mm

Tabella 9-3: Rapporto capacità –domanda diaframma del tie-down – curvatura flessionale

### 9.1.2 Fondazione terminale

Si riscontra che la fondazione terminale è interamente controllata dal carico sismico e quanto segue è il riepilogo delle verifiche.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione		<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Posizione	Sezione	Posizione	Rapporto (senza EQ)	Rapporto (incluso EQ)
Lato terra	S2-11	Collegamento	1,050	2,579
Lato terra	S2-12	Trasversale	4,436	6,704
Lato terra	S2-13	Longitudinale	8,462	1,558
Lato mare	S2-21	Collegamento	1,728	1,760
Lato mare	S2-22	Trasversale	7,121	5,974
Lato mare	S2-23	Longitudinale	8,542	1,039

Tabella 9-4: Rapporto capacità –domanda lastre di fondazione – curvatura flessionale

Il rapporto capacità-domanda in relazione alla curvatura flessionale per non EQ è un'unità superiore da considerare globalmente ed è verificata soddisfacentemente nell'output di GEOSTRU. Analogamente, il taglio è riportato come verificato soddisfacentemente.

In conformità con i bassi utility ratio nella curvatura flessionale, le ampiezze delle fessure negli stati limite di servizio sono calcolate nulle e, pertanto, anche per queste la verifica è soddisfacente.



Sia EQ sia ULS controllano la progettazione, e i rapporti capacità-domanda risultano variare nel range tra 1,039 e 8,542.

## 9.2 Struttura terminale, lato Calabria

### 9.2.1 Sottostruttura terminale

Si riscontra che la sottostruttura terminale è interamente controllata dal carico sismico e quanto segue è il riepilogo delle verifiche.

Posizione	Sezione	Posizione	Rapporto (senza EQ)	Rapporto (incluso EQ)
Lato terra	S3-3 + S3-4	Base	8,17	4,09
Lato terra	S5-3 + S3-4	Superiore	3,83	3,34
Lato mare	S3-5 + S3-6	Base	11,34	1,51

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0

Lato mare	S4-25 + S4-26	Intermedia	6,45	1,35
Lato mare	S5-5 + S5-6	Superiore	9,04	3,39

*Tabella 9-5: Rapporto capacità –domanda pilastri – curvatura flessionale*

Posizione	Sezione	Posizione	Rapporto (senza EQ)	Rapporto (incluso EQ)
Lato terra	S6-4 - S6-42	Finale - intermedia	2,89	1,32
Lato mare	S6-6 - S6-62	Finale - intermedia	4,67	1,76

*Tabella 9-6: Rapporto capacità –domanda cassone trasversale – curvatura flessionale*

Il rapporto capacità-domanda in relazione alla curvatura flessionale per non EQ è un'unità superiore da considerare globalmente ed è verificata soddisfacentemente nell'output di GEOSTRU. Analogamente, il taglio è riportato come verificato soddisfacentemente.

In conformità con i bassi utility ratio nella curvatura flessionale, le ampiezze delle fessure negli stati limite di servizio sono calcolate nulle e, pertanto, anche per queste la verifica è soddisfacente.

EQ controlla interamente la progettazione, e i rapporti capacità-domanda risultano in un range che varia tra 4,09 e 1,32.

Per il diaframma del tie-down si riporta quanto segue:



Posizione	Posizione	Rapporto (incluso EQ)	Ampiezza fessure
Lato mare	Pilastro interno	1.746	W max = 0,1 mm

*Tabella 9-7: Rapporto capacità –domanda diaframma del tie-down – curvatura flessionale*

### 9.2.2 Fondazione terminale

Si riscontra che la fondazione terminale è interamente controllata dal carico sismico e quanto segue è il riepilogo delle verifiche.

Posizione	Sezione	Posizione	Rapporto (senza EQ)	Rapporto (incluso EQ)
-----------	---------	-----------	---------------------	-----------------------

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Lato terra	S2-11 – S2-14	Collegamento	1,05	8,85
Lato terra	S2-12	Trasversale	1,92	9,39
Lato terra	S2-13	Longitudinale	8,27	3,86
Lato mare	S2-21 – S2-24	Collegamento	2,40	4,92
Lato mare	S2-22	Trasversale	3,62	12,52
Lato mare	S2-23	Longitudinale	10,16	1,10

*Tabella 9-8: Rapporto capacità –domanda lastre di fondazione – curvatura flessionale*

Il rapporto capacità-domanda in relazione alla curvatura flessionale per non EQ è un'unità superiore da considerare globalmente ed è verificata soddisfacentemente nell'output di GEOSTRU. Analogamente, il taglio è riportato come verificato soddisfacentemente.

In conformità con i bassi utility ratio nella curvatura flessionale, le ampiezze delle fessure negli stati limite di servizio sono calcolate nulle e, pertanto, anche per queste la verifica è soddisfacente.

Sia EQ sia ULS controllano la progettazione, e i rapporti capacità-domanda risultano nel range che varia tra 12,52 e 1,05.

## 10 Sommario

Il carico da terremoto controlla interamente la sottostruttura delle strutture terminali e, nello stato di servizio, la sottostruttura è sollecitata solo leggermente, ossia le ampiezze delle fessure risultano nulle.



### Struttura terminale, lato Sicilia

Per lo stato limite ultimo con EQ, il massimo utility ratio nella curvatura flessionale è 1,198 nel cassone trasversale del pilastro, e 1,126 nel pilone lato mare, ciò che è stato verificato soddisfacentemente come la capacità di taglio.

Le fondazioni sono state verificate e, per lo stato limite ultimo con EQ, il massimo utility ratio nella curvatura flessionale è 1,039 nella lastra lato terra.

### Struttura terminale, lato Calabria



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Per lo stato limite ultimo con EQ, il massimo utility ratio nella curvatura flessionale è 1,32 nel cassone trasversale del pilastro, e 1,51 nel pilone lato mare, ciò che è stato verificato soddisfacentemente come la capacità di taglio.

Le fondazioni sono state verificate, e il massimo utility ratio nella curvatura flessionale è 1,05 nello stato limite ultimo in condizione statica nella lastra lato mare.

Si noti che è il lato terra che riporta utility ratio più elevati.

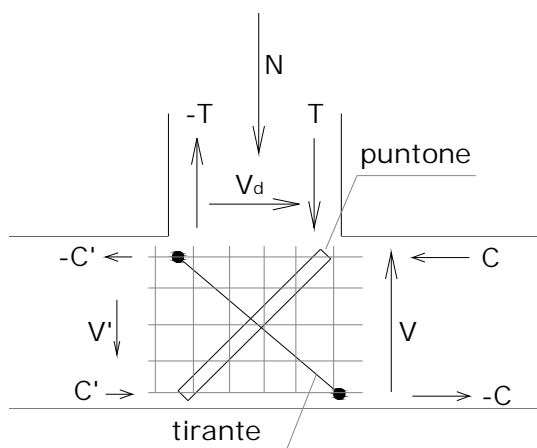
Per il diaframma del tie-down è riportato che il carico da terremoto controlla e che il diaframma lato mare è più sollecitato. Il massimo utility ratio in curvatura flessionale è 0,57.

Lo stato di servizio è sollecitato solo leggermente, ossia le ampiezze massime delle fessure nel diaframma del tie-down risultano essere di 0,1 mm.

## Appendice 1 – Calcolo della forza congiunta di taglio

Il meccanismo di forza congiunta di taglio, che si presenta nel nodo plinto – base del pilastro, è caratterizzato dalla convergenza delle forze nel nodo, come mostrato nella figura sottostante.

Nella figura,  $N$ ,  $T$ ,  $T'$  e  $V_d$  sono rispettivamente la forza normale, le forze di spinta e di trazione dovute al momento flettente, e la forza di taglio che agisce alla base del pilastro, mentre  $V$ ,  $C$  e  $-C$  sono rispettivamente le forze di taglio e le forze risultanti di compressione e trazione che agiscono nel calcestruzzo e nelle barre di armatura in corrispondenza della base del pilastro, a causa dell'effetto delle reazioni del terreno e, infine,  $V'$ ,  $C'$  e  $-C'$  sono le forze equivalenti che agiscono nell'altro lato del nodo a causa dell'effetto del peso proprio della parte a sbalzo del plinto rispetto alla sezione alla base del pilastro.





La forza che agisce nella travatura reticolare in trazione è assorbita dalle barre di armatura orizzontali e verticali nel nodo.

Le forze sopra descritte sono proiettate lungo le direzioni delle travature reticolari in compressione e in tensione, ottenendo una risultante zero per entrambe le componenti verticali delle forze e per entrambe le forze orizzontali di compressione e di tensione dovute ai momenti flettenti, che si verificano nella sezione del plinto in corrispondenza della sezione della base del pilastro.

La forza di taglio  $V_d$  alla base del pilastro è proiettata lungo la direzione della travatura reticolare in trazione per verificare l'armatura nel nodo.

Nel caso considerato, la condizione peggiore si verifica per la combinazione di carichi, che massimizza i momenti (e quindi anche la forza di taglio) in direzione longitudinale dell'impalcato; la

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Principi generali di progettazione	<i>Codice documento</i> PF0130_F0_ITA.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

valutazione per questa condizione di carico è riportata nel presente documento. In particolare, poiché il plinto è alto 7,0 m e il pilastro è largo 7,0 m, la travatura reticolare in trazione e quella in compressione formano un angolo di 45° con l'orizzontale.

Considerando le forze che agiscono alla base dei pilastri, la condizione peggiore si verifica in corrispondenza del pilastro della struttura terminale lato Sicilia, lato mare, dove il valore della forza di taglio base pilastro è  $V_d = 67465 \text{ kN}$ .

Nella verifica si considera una sezione data dalla sezione diffusa a 45° della longitudinale, la larghezza del pilastro è 7,0 m nella sezione media della fondazione, dove l'armatura è realizzata in barre verticali  $\phi 32/90 \times 90$  e barre orizzontali  $\phi 32/30 \times 90$ , ciò che garantisce un valore di forza di taglio resistente di:

#### Armatura verticale

$$V_{Rsd} = (0,9 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot f_{yd} / s) = 32808,1 \quad \text{KN}$$

#### Armatura orizzontale

$$V_{Rsd} = (0,9 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot f_{yd} / s) = 100611,4 \quad \text{KN}$$

Questi valori sono proiettati lungo le direzioni delle travature reticolari che forniscono un valore resistente totale di:

$$V_{Rd} = 32808,1 / \sqrt{2} + 100611,4 / \sqrt{2} = 94341,8 \text{ kN.}$$

La verifica è soddisfatta:

$$V_{Rd} > V_d$$