

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)

 IL PROGETTISTA Dott. Ing. F. Colla Ordine Ingegneri Milano n° 20355 Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n° 15408 	IL CONTRAENTE GENERALE Project Manager (Ing. P.P. Marcheselli)	STRETTO DI MESSINA Direttore Generale e RUP Validazione (Ing. G. Fiammenghi)	STRETTO DI MESSINA Amministratore Delegato (Dott. P. Ciucci)
--	---	--	---

<i>Unità Funzionale</i>	COLLEGAMENTI SICILIA	PA0105_F0
<i>Tipo di sistema</i>	VIADOTTO PANTANO - INFRASTRUTTURA STRADALE/FERROVIARIA	
<i>Raggruppamento di opere/attività</i>	OPERE CIVILI STRADALI/FERROVIARI	
<i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i>	VIADOTTO	
<i>Titolo del documento</i>	RELAZIONE DESCRITTIVA	

CODICE	C	G	0	7	0	0	P	R	G	D	S	V	P	C	I	V	I	0	0	0	0	0	0	1	F0
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

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

NOME DEL FILE: PA0105_F0

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

INDICE

INDICE.....	i
1 Introduzione	1
1.1 Elaborati grafici di riferimento.....	10
1.2 Relazioni complementari	14
2 Normativa di riferimento.....	15
3 Caratteristiche dei materiali	17
4 Carichi agenti.....	23
4.1 Pesi propri degli elementi (g_1)	23
4.2 Pesi permanenti (g_2).....	23
4.3 Sovraccarichi variabili da traffico stradale e relativi coefficienti dinamici (q_1).....	24
4.4 Sovraccarichi variabili da traffico ferroviario e relativi coefficienti dinamici (q_2).....	24
4.4.1 Coefficiente dinamico Φ	24
4.5 Vento (F_{wk}).....	25
4.6 Variazioni termiche (ε_1)	26
4.7 Cedimenti differenziali (ε_1).....	26
4.8 Avviamento($q_3 - q_{3b}$)	26
4.9 Frenatura (q_4)	26
4.10 Centrifuga ($q_5 - q_6$).....	27
4.11 Serpeggio (q_7)	27
4.12 Sisma (E).....	27
5 Stati limite	29
5.1 Stati limite ultimi per azioni statiche	29
5.2 Stati limite d'esercizio per azioni statiche.....	30
5.3 Stati limite ultimo per azioni sismiche.....	31
5.4 Stati limite d'esercizio per azioni sismiche	31
5.5 Combinazione delle azioni	31
6 Analisi effettuate	37
6.1 Effetti globali.....	37
6.1.1 Modello di calcolo.....	37
6.1.2 Proprietà delle sezioni.....	41
6.2 Verifiche per gli effetti globali	43

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

6.3	Impalcato stradale: effetti locali e fatica	48
6.3.1	Modello di calcolo.....	48
6.4	Impalcato ferroviario: effetti locali e fatica	51
6.4.1	Modello di calcolo per gli effetti sulla soletta in calcestruzzo	51
7	Software utilizzati.....	55
8	Aspetti geotecnici.....	57
8.1	Valutazione approfondita del potenziale di liquefazione	57
8.2	Coefficienti di rigidità statici e dinamici	58
8.2.1	Coefficienti di rigidità statici	58
8.2.2	Coefficienti di rigidità dinamici	59
8.3	Spinte sismiche su spalla	59
8.4	Opere provvisorie.....	60
8.5	Software utilizzati	60
9	Caratterizzazione idrologico-idraulica	63
10	Sistema di smaltimento acque	67
11	Impianti.....	69
11.1	Impianti a servizio dei collegamenti stradali	69
11.2	Impianti a servizio dei collegamenti ferroviari.....	71
11.3	Impianto di deumidificazione	72
12	Monitoraggio	75
12.1	Introduzione.....	75
12.2	Definizioni.....	75
12.3	Criteri di progetto.....	76
12.3.1	Obiettivi generali.....	76
12.3.2	Concezione e ottimizzazione.....	77
12.3.3	Sistema di monitoraggio	77
12.3.3.1	Monitoraggio statico.	77
12.3.3.2	Monitoraggio dinamico.	78
12.3.3.3	Composizione del sistema di monitoraggio.	79
12.4	Tipologie strumentali	80
12.4.1	Assestometro ad asta.....	80
12.4.2	Piezometro	80
12.4.3	Estensimetro	80

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

12.4.4	Inclinometro biassiale	81
12.4.5	Sonda termica	81
12.4.6	Accelerometro triassiale	81
12.4.7	Misuratore di giunti	81
12.4.8	Cella di carico	81
12.4.9	Modalità di installazione degli strumenti	82
12.5	Esecuzione delle letture	82
12.5.1	Esecuzione delle letture manuali.....	83
12.5.2	Modalità di archiviazione delle letture.....	84
12.6	Criteri e modalità per la manutenzione del sistema	84
12.6.1	Manutenzione degli strumenti	85
12.6.2	Manutenzione dei collegamenti	85
12.6.3	Manutenzione delle centraline di acquisizione	86

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

1 Introduzione

Il viadotto Pantano è situato nel versante Sicilia e collega a terra l'Opera di Attraversamento propriamente detta, compresa tra le 2 strutture terminali lato Sicilia e lato Calabria. Trovandosi immediatamente all'uscita dell'Opera di Attraversamento, il Pantano ha la necessità di proseguirne le caratteristiche stradali planimetriche ed altimetriche, nonché gli aspetti formali architettonici.

Dal punto di vista paesaggistico il viadotto attraversa il primo tratto di costa sottostante l'abitato di Ganzirri, disponendosi planimetricamente tra i 2 Pantani e attraversando il canale di collegamento degli stessi e la strada provinciale Sp 48 fino a raggiungere terra a Sud del cimitero di Ganzirri, quando il livello del terreno naturale ha raggiunto i 30 m circa sul livello del mare.

Il Progetto preliminare proposto a base di gara vede un viadotto composto da tre impalcati separati in sezione mista acciaio calcestruzzo con andamento planimetrico parallelo ed altimetrico pressoché coincidente. Le sezioni di ciascun impalcato sono state concepite per riproporre la sagoma degli impalcati dell'Opera di Attraversamento come previsti in quella fase progettuale, come pure sono state adottate per le pile forme geometriche simili a quelle metalliche utilizzate per le strutture terminali.

L'impalcato centrale, in continuità con il Ponte, accoglie la linea ferroviaria a doppio binario, mentre i 2 esterni accolgono le corsie autostradali. Sempre in continuità con il Ponte sono previste le corsie di manutenzione ANAS per una larghezza di 3.0m ciascuna.

Ciascun allineamento di pile è composto da 2 fusti, planimetricamente posizionati sotto gli impalcati stradali. I 2 fusti sono poi uniti in sommità da una trave metallica in semplice appoggio avente lo scopo di sorreggere gli impalcati ferroviari.

Lo sviluppo complessivo del viadotto è pari a circa 438 m divisi in 6 campate da circa 73 m cadauna. Gli impalcati stradali hanno uno schema longitudinale continuo appoggiandosi sui fusti delle pile su descritte, mentre gli impalcati ferroviari presentano uno schema di semplice appoggio sui trasversi posizionati in testa pila. Le figure seguenti rappresentano in modo sommario le caratteristiche peculiari del progetto in parola.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

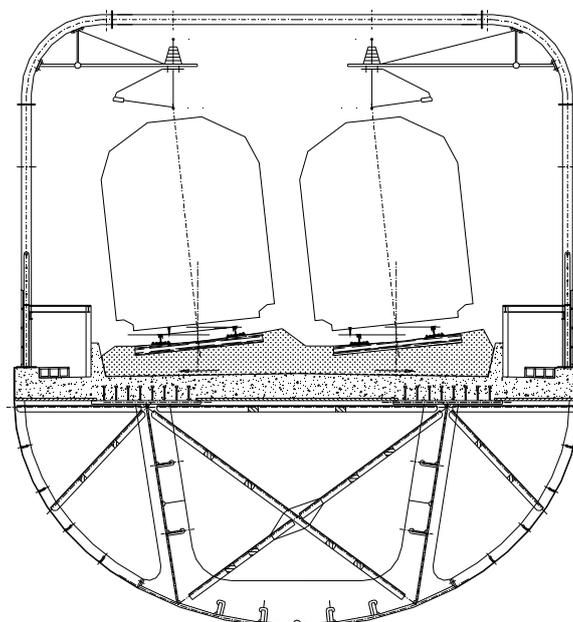


Figura 1: Progetto Preliminare - sezione trasversale dell'impalcato ferroviario

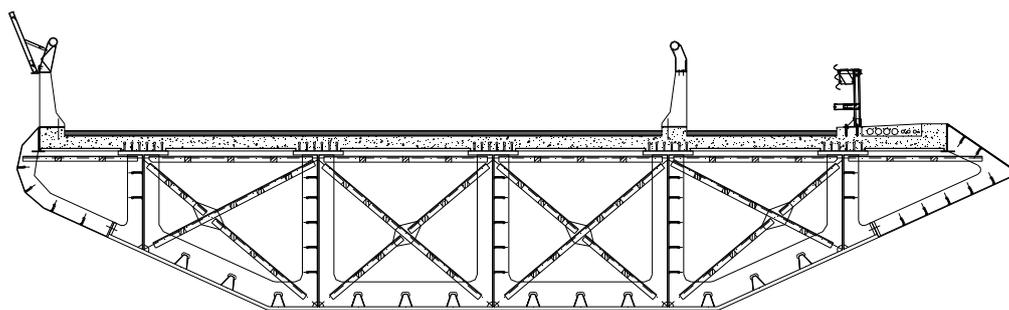


Figura 2: Progetto Preliminare - sezione trasversale dell'impalcato stradale

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

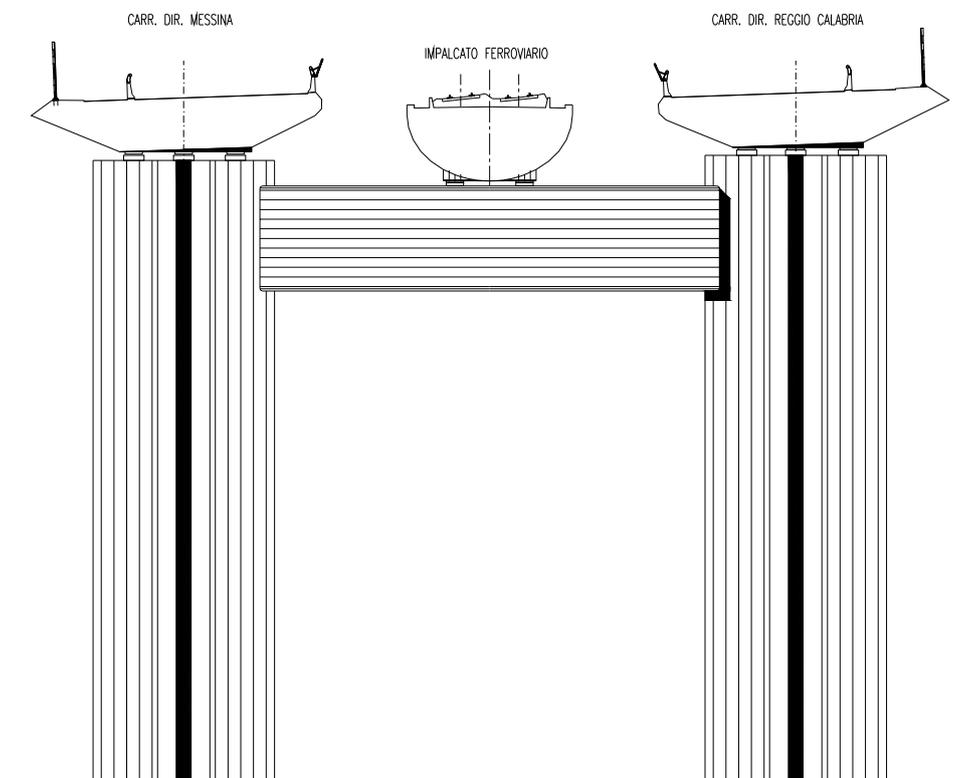


Figura 3: Progetto Preliminare - sezione trasversale dell’impalcato ferroviario e stradale in corrispondenza della pila

In sede di gara il concorrente non ha presentato varianti riguardanti il viadotto, che pertanto è stato ripresentato immutato, tuttavia alcune varianti attuate per l’Opera di Attraversamento e le prescrizioni contenute nella delibera del CIPE intervenuta in data 1.08.2003 hanno richiesto la necessità di procedere ad una rivisitazione del viadotto in questa fase progettuale. In particolare, nella prima fase progettuale, si proceduto ad una revisione dell’impianto generale dell’opera tenendo conto dei seguenti aspetti:

1. La variante progettuale presentata per le strutture terminali, le quali in sede di progetto preliminare, lato terra, appoggiavano su una pila che ospitava anche la prima campata del viadotto Pantano. La variante proposta ha modificato l’impalcato delle strutture terminali realizzando uno sbalzo lato terra di circa 18 m di fatto spostando il primo appoggio del viadotto Pantano .
2. La delibera CIPE n° 66 del 1.08.2003 che così recita: *“Attesa la valenza paesaggistico-ambientale della zona e la presenza del canale di collegamento dei due pantani di*

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Ganzirri, si raccomanda di valutare la possibilità di ridurre l'area di cantiere quanto più possibile e compatibilmente alle esigenze tecniche, allontanandosi dal canale di collegamento, tenuto conto della morfologia delle aree e degli aspetti tecnico-economici"

3. La mutata forma dei cassoni stradali e del cassone ferroviario dell'Opera di Attraversamento, nonché la variante realizzata alle pile delle strutture terminali che diventano a questo punto fortemente diverse da quelle previste per il Viadotto Pantano in sede di progetto preliminare.
4. Il mutato quadro normativo nazionale con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC 2008) e le conseguenze non irrilevanti nel dimensionamento delle fondazioni e delle spalle, con al necessità di diminuire l'altezza dei muri frontali per ridurre le spinte del terreno in fase sismica.

In considerazione di ciò il Contraente Generale ha proposto a Stretto di Messina diverse soluzioni che ripercorrevano nella sostanza le scelte progettuali presenti nel progetto preliminare, adeguando le sezioni delle pile e degli impalcati per ricondurle alle mutate forme dell'Opera di attraversamento e delle strutture terminali. La scansione delle pile e il posizionamento delle stesse, in questa fase, veniva ristudiato per generare la minore interferenza possibile con il canale di collegamento dei due Pantani. La figura seguente mostra la soluzione presentata a Stretto di Messina recependo le prescrizioni dettate dalla delibera CIPE e da quanto sopra illustrato:

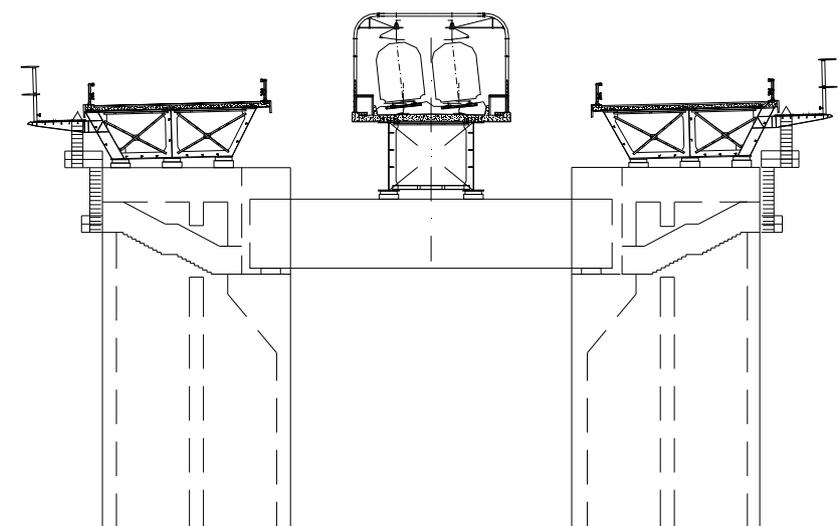


Figura 4: Proposta intermedia - sezione trasversale dell'impalcato ferroviario e stradale in corrispondenza della pila

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Stretto di Messina SPA, valutando la soluzione proposta dal Contraente Generale, esprimeva alcune perplessità sulla soluzione proposta, chiedendo di proporre una nuova soluzione che meglio richiamasse l'Opera di Attraversamento (rif. Rapporto di riunione 114_10). Su tale richiesta il Contraente Generale ha conseguentemente sviluppato due ulteriori soluzioni progettuali: la prima che riproponeva affinamenti estetici alla prima soluzione presentata, la seconda proponeva una soluzione architettonica più snella volta a conseguire maggiore leggerezza estetica. Le due soluzioni sono state presentate in un secondo incontro con Stretto di Messina S.p.A. a valle del quale si è definito di seguire la seconda soluzione presentata in quanto ritenuta più aderente alle Specifiche Contrattuali, alle richieste Cipe ed al risultato atteso da Stretto di Messina (rif. Rapporto di riunione 132_10).

Il progetto sviluppato prevede un viadotto sempre con i tre impalcati separati, i due stradali esterni con il ferroviario centrale, tuttavia, in corrispondenza delle pile, un trasverso metallico formalmente simile a quelli dell'Opera di Attraversamento, collega i 2 impalcati stradali realizzando un appoggio su una unica pila posta planimetricamente in corrispondenza dell'impalcato ferroviario. Gli impalcati stradali, interamente in acciaio, sono mutuati dall'impalcato del Ponte, del quale ripropongono completamente la forma differendo dallo stesso solo per l'altezza della sezione che diventa pari a 3552 mm. Lo schema statico risulta quello di una trave continua appoggiata in corrispondenza dei trasversi suddetti. Questi ultimi sono composti da un cassone irrigidito monocellulare di altezza costante pari a 4.40 m. per i 12.0 m centrali in corrispondenza del pulvino, per permettere il passaggio del sovrastante cassone ferroviario, per poi aumentare di sezione subito dopo fino agli appoggi ove raggiunge la sua massima altezza di 6.097 m. Il trasverso ha la funzione di scaricare le azioni dei due impalcati stradali sulla pila.

L'impalcato ferroviario viene invece realizzato a struttura mista acciaio-calcestruzzo con schema statico di trave in semplice appoggio. Le luci delle campate sono state ampliate rispetto al progetto preliminare e portate a 78.5 m interasse appoggio misurate sullo sviluppo del binario pari. Le corsie di manutenzione ANAS e gli elementi di arredo degli impalcati stradali e dell'impalcato ferroviario vengono riproposti in continuità con l'Opera di Attraversamento

La pila risulta formalmente a doppio fusto, tuttavia i 2 fusti, di sezione rettangolare di dimensioni 5x6m sono relativamente vicini tra loro e sono riuniti in testa da un pulvino di forma tronco conica con altezza per tutte le pile di 10.15m. La dimensione di base è pari 15.0x5.0 m e si allarga verso l'alto fino a raggiungere dimensioni di 24.10x7.80 m in corrispondenza degli impalcati ferroviari. Il pulvino prevede un inspessimento longitudinale sempre tronco conico che porta la larghezza complessiva a 7.80 m. in modo da accogliere gli appoggi degli impalcati ferroviari.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

I fusti hanno altezze variabili da un minimo di 18.0 m., per la pila 5, ad un massimo di 36.0 m., per la pila 1. Alla base delle pile si hanno fondazioni dirette su terreno consolidato composte da plinti rettangolari di dimensione 35.0x15.0 m e altezza 6.0m. Il terreno sottostante viene consolidato con colonne di jet-grouting per una profondità massima di 30 m. dal piano di posa delle fondazioni.

Il trattamento di jet-grouting viene esteso, con diverso interasse anche fuori dall'impronta della fondazione come intervento a salvaguardia della liquefazione in caso di sisma.

L'impalcato ferroviario ed il traverso principale non hanno alcuna connessione e supportano azioni differenti poste su impalcati differenti. L'unico elemento che si trova in comune tra impalcato stradale e impalcato ferroviario risulta essere la pila con la fondazione.

Lo schema di disposizione degli apparecchi di appoggio prevede un vincolo fisso longitudinale e trasversale sia per gli impalcati stradali che per l'impalcato ferroviario in corrispondenza della spalla. Gli impalcati ferroviari proseguono poi con il classico schema fisso/mobile per terminare con un appoggio mobile longitudinale in corrispondenza della struttura terminale. Gli impalcati stradali viceversa hanno appoggi scorrevoli longitudinalmente su tutte le pile e sulla struttura terminale. Le azioni trasversali sulle pile vengono scaricate su un dispositivo posto in asse al trasverso che non assorbe forze verticali o longitudinali.

L'accessibilità agli impalcati e alle pile è garantita attraverso percorsi interni agli impalcati e ai trasversi, ai quali è possibile accedere dalla spalla, dalla struttura terminale o da ogni singola pila percorrendo la scala interna ad uno dei 2 fusti. La testa del pulvino consente di ispezionare completamente gli apparecchi di appoggio e di posizionare i martinetti per l'eventuale sollevamento degli impalcati per la sostituzione degli apparecchi di appoggio stessi.

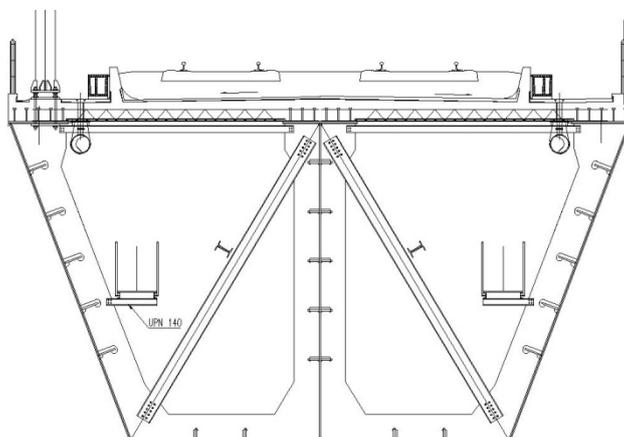


Figura 5: sezione trasversale dell'impalcato ferroviario

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

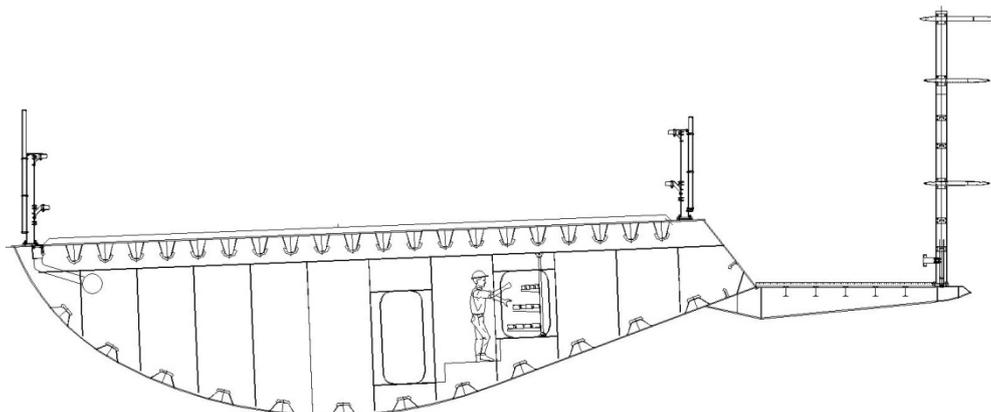


Figura 6: sezione trasversale dell'impalcato stradale

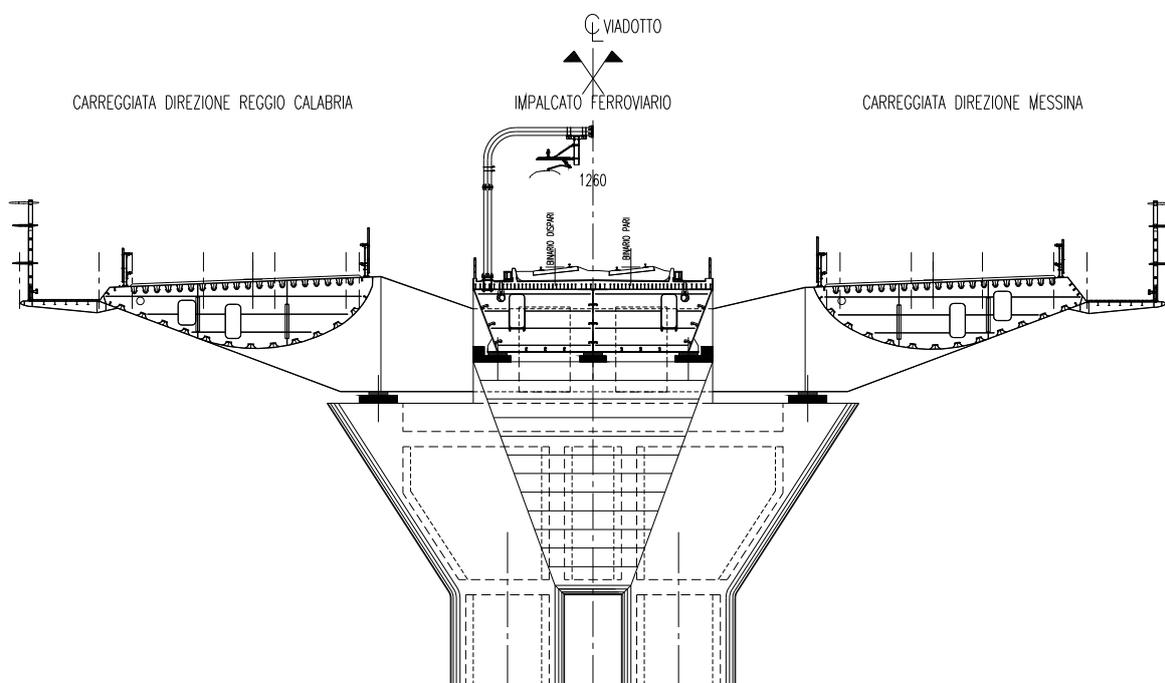


Figura 7: sezione trasversale dell'impalcato ferroviario e stradale in corrispondenza della pila

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

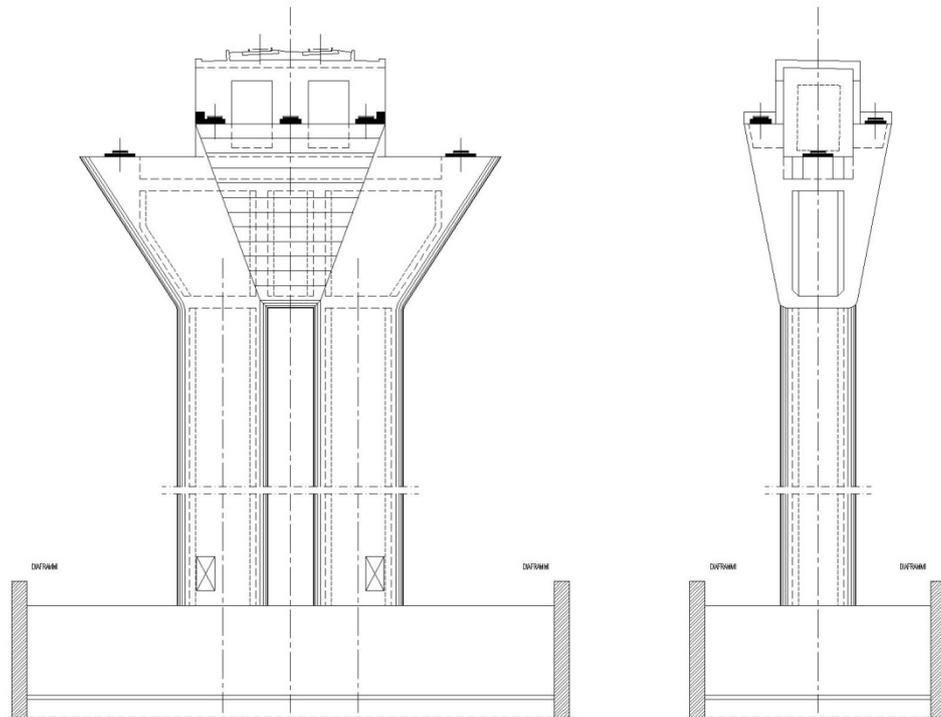


Figura 8: sezione trasversale e longitudinale di una pila

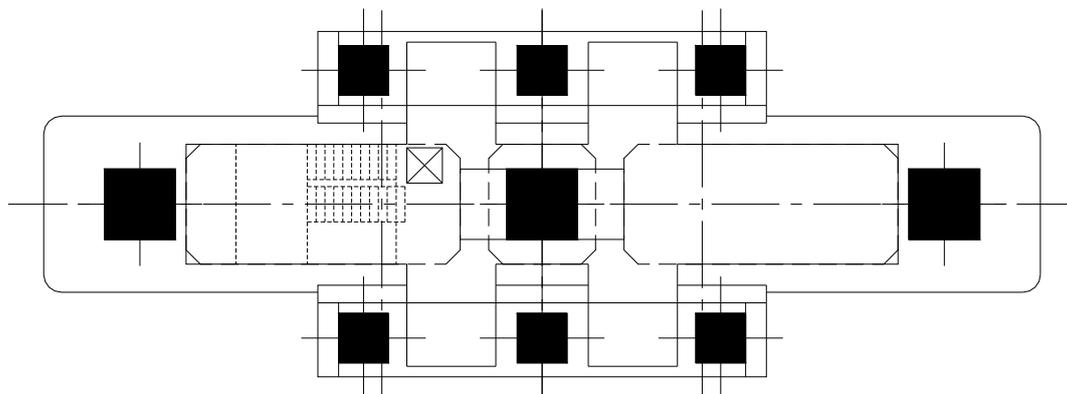


Figura 9: pianta tipo del pulvino

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

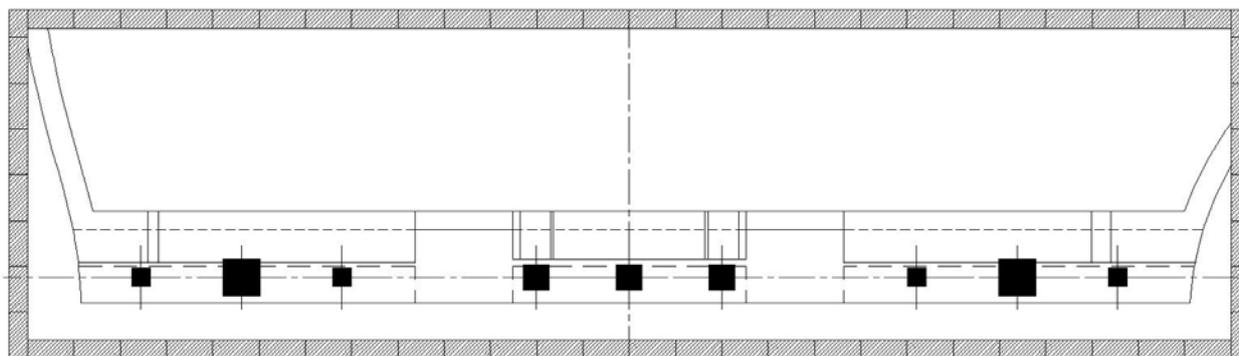


Figura 10: pianta spalla 'B'

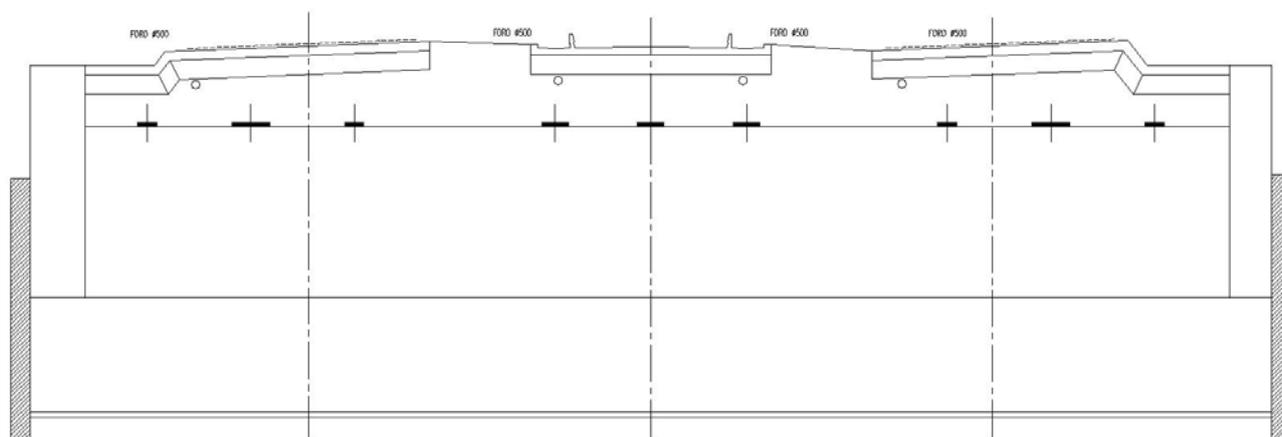


Figura 11: prospetto frontale spalla 'B'

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

1.1 Elaborati grafici di riferimento

TAVOLE GENERALI	
Planimetria individuazione dell'opera	CG0700-P-P8-D-S-VP-CI-VI-000000-01_B
Tavola di assieme del viadotto	CG0700-P-AZ-D-S-VP-CI-VI-000000-01_B
Fasi costruttive - tavola 1	CG0700-P-SZ-D-S-VP-CI-VI-000000-02_B
Planimetria tracciamento fondazioni 1/3	CG0700-P-P8-D-S-VP-CI-VI-000000-02_B
Planimetria tracciamento fondazioni 2/3	CG0700-P-P8-D-S-VP-CI-VI-000000-03_B
Planimetria tracciamento fondazioni 3/3	CG0700-P-P8-D-S-VP-CI-VI-000000-04_B
Fasi costruttive - tavola 2	CG0700-P-SA-D-S-VP-CI-VI-000000-01_B
Percorsi per accesso ed ispezione delle strutture	CG0700-P-SZ-D-S-VP-CI-VI-000000-04_B
Tabella materiali	CG0700-P-TT-D-S-VP-CI-VI-000000-01_B
Pianta impalcato stradale dir. ME e dir. RC 1/3	CG0700-P-P9-D-S-VP-CI-VI-000000-01_B
Pianta impalcato stradale dir. ME e dir. RC 2/3	CG0700-P-P9-D-S-VP-CI-VI-000000-02_B
Pianta impalcato stradale dir. ME e dir. RC 3/3	CG0700-P-P9-D-S-VP-CI-VI-000000-03_B
Prospetti longitudinali impalcato stradale dir. ME e dir. RC 1/3	CG0700-P-P9-D-S-VP-CI-VI-000000-04_B
Prospetti longitudinali impalcato stradale dir. ME e dir. RC 2/3	CG0700-P-P9-D-S-VP-CI-VI-000000-05_B
Prospetti longitudinali impalcato stradale dir. ME e dir. RC 3/3	CG0700-P-P9-D-S-VP-CI-VI-000000-06_B
Pianta impalcato e prospetto longitudinale impalcato ferroviario 1/3	CG0700-P-P9-D-S-VP-CI-VI-000000-07_B
Pianta impalcato e prospetto longitudinale impalcato ferroviario 2/3	CG0700-P-P9-D-S-VP-CI-VI-000000-08_B
Pianta impalcato e prospetto longitudinale impalcato ferroviario 3/3	CG0700-P-P9-D-S-VP-CI-VI-000000-09_B
Pianta fondazioni e sezione longitudinale 1/3	CG0700-P-P9-D-S-VP-CI-VI-000000-10_B
Pianta fondazioni e sezione longitudinale 2/3	CG0700-P-P9-D-S-VP-CI-VI-000000-11_B
Pianta fondazioni e sezione longitudinale 3/3	CG0700-P-P9-D-S-VP-CI-VI-000000-12_B
Sezioni trasversali sugli appoggi 1/3	CG0700-P-WA-D-S-VP-CI-VI-000000-01_B
Sezioni trasversali sugli appoggi 2/3	CG0700-P-WA-D-S-VP-CI-VI-000000-02_B

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Sezioni trasversali sugli appoggi 3/3	CG0700-P-WA-D-S-VP-CI-VI-000000-03_B
SOVRASTRUTTURE	
Carpenteria metallica impalcato stradale dir. ME - tavola 1	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-27_B
Carpenteria metallica impalcato stradale dir. ME - tavola 2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-28_B
Carpenteria metallica impalcato stradale dir. ME - tavola 3	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-29_B
Carpenteria metallica impalcato stradale dir. ME - tavola 4	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-30_B
Carpenteria metallica impalcato stradale dir. ME - tavola 5	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-31_B
Carpenteria metallica impalcato stradale dir. ME - tavola 6	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-32_B
Carpenteria metallica impalcato stradale dir. RC - tavola 1	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-33_B
Carpenteria metallica impalcato stradale dir. RC - tavola 2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-34_B
Carpenteria metallica impalcato stradale dir. RC - tavola 3	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-35_B
Carpenteria metallica impalcato stradale dir. RC - tavola 4	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-36_B
Carpenteria metallica impalcato stradale dir. RC - tavola 5	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-37_B
Carpenteria metallica impalcato stradale dir. RC - tavola 6	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-38_B
Carpenteria trasverso pila1	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-63_B
Carpenteria trasverso pila2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-64_B
Carpenteria trasverso pila3	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-65_B
Carpenteria trasverso pila4	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-66_B
Carpenteria trasverso pila5	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-67_B
Sezioni trasversali impalcato stradale - 1/3	CG0700-P-WZ-D-S-VP-CI-VI-000000-01_B
Sezioni trasversali impalcato stradale - 2/3	CG0700-P-WZ-D-S-VP-CI-VI-000000-02_B
Sezioni trasversali impalcato stradale - 3/3	CG0700-P-WZ-D-S-VP-CI-VI-000000-03_B
Carpenteria e sezioni corsia di servizio ANAS dir. ME e dir. RC	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-68_B
Carpenteria soletta impalcato ferroviario Pila terminale - P1	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-39_B
Carpenteria metallica impalcato ferroviario Pila terminale - P1 - 1/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-40_B
Carpenteria metallica impalcato ferroviario Pila terminale - P1 - 2/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-41_B

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Carpenteria soletta impalcato ferroviario P1 - P2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-42_B
Carpenteria metallica impalcato ferroviario P1 - P2 - 1/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-43_B
Carpenteria metallica impalcato ferroviario P1 - P2 - 2/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-44_B
Carpenteria soletta impalcato ferroviario P2 - P3	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-45_B
Carpenteria metallica impalcato ferroviario P2 - P3 - 1/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-46_B
Carpenteria metallica impalcato ferroviario P2 - P3 - 2/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-47_B
Carpenteria soletta impalcato ferroviario P3 - P4	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-48_B
Carpenteria metallica impalcato ferroviario P3 - P4 - 1/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-49_B
Carpenteria metallica impalcato ferroviario P3 - P4 - 2/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-50_B
Carpenteria soletta impalcato ferroviario P4 - P5	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-51_B
Carpenteria metallica impalcato ferroviario P4 - P5 - 1/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-52_B
Carpenteria metallica impalcato ferroviario P4 - P5 - 2/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-53_B
Carpenteria soletta impalcato ferroviario P5 - Spalla	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-54_B
Carpenteria metallica impalcato ferroviario P5 - Spalla - 1/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-55_B
Carpenteria metallica impalcato ferroviario P5 - Spalla - 2/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-56_B
Schema disposizione apparecchi di appoggio, giunti e dispositivi antisismici tav 1/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-57_B
Schema disposizione apparecchi di appoggio, giunti e dispositivi antisismici tav 2/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-58_B
Particolari costruttivi e finiture impalcato stradale dir. ME e RC	CG0700-P-SZ-D-S-VP-CI-VI-000000-01_B
Particolari costruttivi e finiture impalcato ferroviario	CG0700-P-SZ-D-S-VP-CI-VI-000000-03_B
SOTTOSTRUTTURE E OPERE PROVVISORIALI	
Carpenteria spalla 1/3	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-01_B
Carpenteria spalla 2/3	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-02_B
Carpenteria spalla 3/3	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-03_B
Schema di armatura ed incidenza spalla	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-04_B
Opere provvisorie spalla	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-05_B
Carpenteria Pila 1 tav1/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-06_B

RELAZIONE DESCRITTIVA

Codice documento

PA0105_F0.doc

Rev.

F0

Data

20/06/2011

Carpenteria Pila 1 tav2/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-07_B
Schemi di armatura ed incidenze Pila 1	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-08_B
Carpenteria fondazione pila 1	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-09_B
Opere provvisionali pila 1	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-10_B
Carpenteria Pila 2 1/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-11_B
Carpenteria Pila 2 2/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-59_B
Schemi di armatura ed incidenze Pila 2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-12_B
Carpenteria fondazione pila 2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-13_B
Opere provvisionali pila 2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-14_B
Carpenteria Pila 3 1/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-15_B
Carpenteria Pila 3 2/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-60_B
Schemi di armatura ed incidenze Pila 3	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-16_B
Carpenteria fondazione pila 3	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-17_B
Opere provvisionali pila 3	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-18_B
Carpenteria Pila 4 1/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-19_B
Carpenteria Pila 4 2/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-61_B
Schemi di armatura ed incidenze Pila 4	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-20_B
Carpenteria fondazione pila 4	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-21_B
Opere provvisionali pila 4	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-22_B
Carpenteria Pila 5 1/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-23_B
Carpenteria Pila 5 2/2	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-62_B
Schemi di armatura ed incidenze Pila 5	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-24_B
Carpenteria fondazione pila 5	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-25_B
Opere provvisionali pila 5	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-26_B
Armatura fondazioni pile	CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-69_B

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

1.2 Relazioni complementari

Relazione descrittiva	CG0700-P-RG-D-S-VP-CI-VI-000000-01_B
Relazione di calcolo impalcato stradale	CG0700-P-CL-D-S-VP-CI-VI-000000-01_B
Relazione di calcolo impalcato ferroviario	CG0700-P-CL-D-S-VP-CI-VI-000000-02_B
Relazione di calcolo sottostrutture	CG0700-P-CL-D-S-VP-CI-VI-000000-03_B
Relazione geotecnica	CG0700-P-RB-D-S-VP-CI-VI-000000-01_B
Relazione sismica	CG0700-P-RX-D-S-VP-CI-VI-000000-01_B
Scheda riassuntiva di rintracciabilità dell'opera d'arte	CG0700-P-SH-D-S-VP-CI-VI-000000-01_B

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

2 Normativa di riferimento

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate in accordo con le prescrizioni contenute nelle seguenti normative:

Decreto Ministeriale 14.01.2008	"Norme tecniche per le costruzioni" 2008 (NTC08).
Circ. Min. 02.02.2009 n. 617	Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni (NTC08)
EN 1993 - Eurocodice 3: Parte 1-1	Progettazione delle strutture di acciaio: Regole generali per gli edifici
EN 1993 - Eurocodice 3: Parte 1-5	Progettazione delle strutture di acciaio: Elementi strutturali a lastra
EN 1993 - Eurocodice 3: Parte 1-8	Progettazione delle strutture di acciaio: Progettazione dei collegamenti
EN 1993 - Eurocodice 3: Parte 1-9	Progettazione delle strutture di acciaio: Fatica
EN 1993 - Eurocodice 3: Parte 1-10	Progettazione delle strutture di acciaio: Resilienza del materiale e proprietà attraverso lo spessore
EN 1993 - Eurocodice 3: Parte 2	Ponti di acciaio
EN 1998 - Eurocodice 8	Progettazione delle strutture per la resistenza sismica
Rete Ferroviaria Italia	"Istruzioni per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari"
Rete Ferroviaria Italia - Istruzione N. 44 F	"Verifiche a fatica dei ponti ferroviari"

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">RELAZIONE DESCRITTIVA</p>		<p><i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc</p>	<p><i>Rev.</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

3 Caratteristiche dei materiali

In questo capitolo sono elencate le caratteristiche di resistenza e le specifiche tecniche per i materiali impiegati per la struttura.

CALCESTRUZZO MAGRO

Classe C 12/15			
R _{ck} =	15.00	Mpa	resistenza caratteristica cubica minima
f _{ck} =	12.00	Mpa	resistenza caratteristica cilindrica
γ _M =	1.5	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
f _{cd} =	7	Mpa	resistenza di progetto
	X0	-	Classe di esposizione (UNI 11104 e UNI 206-1)

CALCESTRUZZO PER SOLETTA E CORDOLI IMPALCATO FERROVIARIO, MURI PARABALLAST E LASTRE TRALICCIATE

Classe C35/45			
R _{ck} =	45.00	Mpa	resistenza caratteristica a compressione cubica
f _{ck} =	35.00	Mpa	resistenza caratteristica a compressione cilindrica
f _{cm} =	43	Mpa	resistenza caratteristica a compressione media
f _{ctk} =	2.24	Mpa	resistenza caratteristica a trazione
f _{ctm} =	3.2	Mpa	resistenza media a trazione semplice
E _{cm}	34077	Mpa	modulo elastico istantaneo
γ _M =	1.5	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
f _{cd} =	20	Mpa	resistenza di progetto
A/C _{max}	0.45	-	massimo rapporto A/C
D =	20	mm	dimensione massima aggregato

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

	XS1 – XF4	-	Classe di esposizione (UNI 11104 e UNI 206-1)
--	-----------	---	---

ACCIAIO PER ARMATURE ORDINARIE

B 450 C			
$f_{yk} =$	450.0	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$f_{tk} =$	540	MPa	tensione caratteristica a rottura
$\gamma_M =$	1.15	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU elastico
$f_{yd} =$	391.3	MPa	resistenza di progetto
$E_s =$	206000	MPa	modulo elastico
$\epsilon_{uk} =$	7.5	%	deformazione caratteristica al carico massimo
$\epsilon_{ud} =$	6.75	%	deformazione di progetto

ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA IMPALCATO (elementi saldati $s \leq 40$ mm)

S 355J2G3 UNI EN 10025			
$f_{yk} =$	355	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$f_u =$	510	MPa	tensione caratteristica a rottura
$\gamma_M =$	1.05	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU elastico
$f_{yd} =$	338	MPa	resistenza di progetto
$E_s =$	210000	MPa	modulo elastico
$\epsilon_{uk} =$	21	%	Allungamento minimo

ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA IMPALCATO (elementi saldati $s > 40$ mm)

S 355K2G3 (ex 510 DD) UNI EN 10025			
$f_{yk} =$	335	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$f_u =$	470	MPa	tensione caratteristica a rottura
$\gamma_M =$	1.05	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU elastico
$f_{yd} =$	319	MPa	resistenza di progetto
$E_s =$	210000	MPa	modulo elastico
$\epsilon_{uk} =$	21	%	Allungamento minimo

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA IMPALCATO (elementi non saldati)

S 355J0 (ex 510 C) UNI EN 10025			
$f_{yk} =$	355	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$f_u =$	510	MPa	tensione caratteristica a rottura
$\gamma_M =$	1.05	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU elastico
$f_{yd} =$	338	MPa	resistenza di progetto
$E_s =$	210000	MPa	modulo elastico
$\epsilon_{uk} =$	21	%	Allungamento minimo

ACCIAIO PIOLI NELSON

Acciaio ST 37-3K (S235J2G3 + C450) UNI EN ISO 13918			
$f_{yk} \geq$	350	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$f_u \geq$	450	MPa	tensione caratteristica a rottura
$\gamma_M =$	1.05	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU elastico
$f_{yd} =$	333	MPa	resistenza di progetto
$E_s =$	210000	MPa	modulo elastico
$A \geq$	15	%	allungamento
$Z \geq$	50	%	strizione

CALCESTRUZZO PER OPERE IN ELEVAZIONE PILE E SPALLE

Classe C32/40			
$R_{ck} =$	40.00	Mpa	resistenza caratteristica a compressione cubica
$f_{ck} =$	32.00	Mpa	resistenza caratteristica a compressione cilindrica
$f_{cm} =$	41	Mpa	resistenza caratteristica a compressione media
$f_{ctk} =$	2.11	Mpa	resistenza caratteristica a trazione

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

ftcm=	3	Mpa	resistenza media a trazione semplice
Ecm	33593	Mpa	modulo elastico istantaneo
$\gamma_M =$	1.5	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
fcd =	18	Mpa	resistenza di progetto
A/C _{max}	0.45	-	massimo rapporto A/C
D =	32	mm	dimensione massima aggregato
	XC-4 XS1 - XF4	-	Classe di esposizione (UNI 11104 e UNI 206-1)

CALCESTRUZZO PER OPERE IN FONDAZIONE

Classe C 25/30			
Rck =	30.00	Mpa	resistenza caratteristica a compressione cubica
fck =	25.00	Mpa	resistenza caratteristica a compressione cilindrica
fcm=	31	Mpa	resistenza caratteristica a compressione media
fctk=	1.78	Mpa	resistenza caratteristica a trazione
ftcm=	2.56	Mpa	resistenza media a trazione semplice
Ecm	30891	Mpa	modulo elastico istantaneo
$\gamma_M =$	1.5	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
fcd =	18	Mpa	resistenza di progetto
A/C _{max}	0.55	-	massimo rapporto A/C
D =	32	mm	dimensione massima aggregato
	XC-2	-	Classe di esposizione (UNI 11104 e UNI 206-1)

ACCIAIO BULLONI E DADI

Acciaio ad alta resistenza secondo UNI 3740 e 20898 parte I e II

Vite: classe 10.9 (UNI 5712)

Dado: classe 10 (UNI 5713)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Rosette: acciaio C50 EN10083 (HRC 32-40) (UNI 5714)

Copriferri

Il valore del copri ferro minimo deve rispettare i limiti imposti da EN- 206 in funzione delle classi di esposizione dei calcestruzzi

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4 Carichi agenti

I carichi agenti sul viadotto stradale e ferroviario sono di seguito elencati:

- Pesì propri degli elementi (g_1)
- Pesì permanenti (g_2)
- Sovraccarichi variabili da traffico stradale e relativi coefficienti dinamici (q_1)
- Sovraccarichi variabili da traffico ferroviario e relativi coefficienti dinamici (q_2)
- Vento (F_{wk})
- Variazioni termiche (ε_1)
- Cedimenti differenziali (ε_2)
- Avviamento ($q_3 - q_{3b}$)
- Frenatura (q_4)
- Centrifuga ($q_5 - q_6$)
- Serpeggio (q_7)
- Sisma (E)
- Ritiro e viscosità nella soletta del cassone ferroviario.

L'azione dovuta alla neve è stata valutata ma non è stata inserita tra le azioni di calcolo, in quanto non dimensionante per nessuna delle combinazioni da esaminare.

4.1 Pesì propri degli elementi (g_1)

Il peso proprio degli elementi strutturali (travi longitudinali, controventi, trasversi e soletta) è computato considerando un peso specifico pari a $\gamma_s=78.5 \text{ KN/m}^3$ per l'acciaio e $\gamma_{cls}=25.0 \text{ KN/m}^3$ per il calcestruzzo.

4.2 Pesì permanenti (g_2)

I permanenti portati sono costituiti dai pesì propri degli elementi non strutturali (bitumato, guard-rail) che gravano direttamente sulla struttura per l'intera vita dell'opera, senza subire sostanziali variazioni d'intensità nel tempo. L'intensità di tali carichi si può quindi considerare definita in maniera univoca in termini di valori caratteristici..

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4.3 Sovraccarichi variabili da traffico stradale e relativi coefficienti dinamici (q_1)

I sovraccarichi da traffico stradale definiti dalla normativa vigente (NTC 2008) per le analisi globali e locali sono individuati dallo Schema di carico 1 e 2.

Si prevede la suddivisione della carreggiata in corsie convenzionali di traffico di larghezza pari a 3.0 m. Nel presente caso la carreggiata autostradale presenta una larghezza complessiva del bitumato di 11.95 m, sulle quali è possibile definire tre corsie convenzionali. Essendo i due impalcati collegati da un unico elemento (il trasverso), le corsie vengono numerate considerando come se ci fosse la condizione di una unica carreggiata, cosicché ai fini del dimensionamento del trasverso esiste una sola corsia 1, una sola corsia 2 e così via.

Le corsie sono caricate con veicoli ideali composti da quattro impronte quadrate disposte su due assi, più un carico uniformemente distribuito per l'intera larghezza della corsia. La zona rimanente non occupata dalle corsie di traffico convenzionali è caricata con un carico uniformemente distribuito pari a 2.5 kN/m^2 .

Esternamente ad ogni viadotto è presente una corsia di manutenzione ANAS del tutto identica a quella prevista sull'Opera di Attraversamento. L'intensità de carico accidentale gravante su tale corsia viene assunto pari a 5 kN/m^2 in accordo a quanto riportato nel documento F.05.03.

4.4 Sovraccarichi variabili da traffico ferroviario e relativi coefficienti dinamici (q_2)

Per la progettazione dei viadotti ferroviari, la norma vigente (NTC 2008) e le istruzioni RFI, definiscono una serie di modelli di carico ideali convenzionali, aventi la seguente nomenclatura: LM 71, SW/0, SW/2 ed il "Treno scarico".

Essendo il cassone ferroviario semplicemente appoggiato, in base alle istruzioni per la progettazione dei ponti ferroviari, si considerano solo l'LM 71 e l'SW/2 oltre che il Treno scarico.

Il treno LM71 è composto da quattro forze concentrate ed un carico uniforme distribuito interamente segmentabile. Il treno SW/2 ha una lunghezza totale di 57 m. di cui 50 sono uniformemente carichi mentre i sette centrali sono scarichi. Il treno scarico prevede un carico uniformemente distribuito segmentabile di lunghezza infinita.

4.4.1 Coefficiente dinamico Φ

Il coefficiente dinamico Φ tiene conto degli effetti dinamici indotti dal passaggio dei carichi mobili

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

sulla struttura. Per quanto riguarda l'impalcato ferroviario il coefficiente dinamico dipende dallo standard manutentivo previsto per la linea in esame. Nel presente caso per la determinazione dei valori da assegnare al coefficiente, si fa riferimento ad una linea ad elevato standard manutentivo. I carichi stradali forniti dalle norme, sono invece già comprensivi dell'incremento dovuto al coefficiente dinamico.

4.5 Vento (F_{wk})

L'azione del vento è stata valutata in base alle relazioni fornite dalla normativa, la quale, fornisce il valore di una pressione orizzontale uniforme il cui valore si calcola come:

$$p = q_b \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d$$

dove:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2$$

pressione cinematica di riferimento

$$v_{b,0} = v_{b,0} \alpha_R = 29.10 \text{ m/s}$$

velocità di riferimento (Zona 4)

$$\alpha_R = 1.04$$

coefficiente funzione del periodo di ritorno T_R (100 anni)

$$q_b = 529.2 \text{ Pa}$$

pressione cinematica di riferimento di calcolo

vento impalcato

Imponendo $a_s=50$ m pari all'altezza media della struttura in corrispondenza della quota di progetto si ottiene:

$$C_e = 3.82$$

coefficiente di esposizione (Cat. 1)

$$C_p = 1$$

coefficiente di forma

$$C_d = 1$$

coefficiente dinamico

risulta quindi:

$$p = 2020 \text{ kPa}$$

Essendo l'azione del vento individuata minore di 2.5 kPa, per il solo cassone ferroviario, si prende in considerazione tale valore di pressione uniformemente distribuita, per il calcolo delle sollecitazioni agenti.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4.6 Variazioni termiche (ϵ_1)

Sull'impalcato si considerano agenti due diverse tipologie di variazioni termiche. Le variazioni termiche volumetriche, che interessano la sezione degli impalcati per la loro intera altezza con un valore costante del ΔT applicato, e le variazioni termiche differenziali. La norma impone per quest'ultimo tipo di variazione termica, una variazione lineare sull'altezza fra l'estradosso e l'intradosso dell'impalcato.

La variazione termica uniforme è considerata pari a $\Delta T = \pm 15^\circ\text{C}$ sull'impalcato ferroviario e pari a $\Delta T = \pm 25^\circ\text{C}$ sull'impalcato stradale. Ai soli fini del dimensionamento degli apparecchi d'appoggio si applicano dei valori di variazione termica doppi.

4.7 Cedimenti differenziali (ϵ_1)

I cedimenti differenziali sono deformazioni impresse permanenti sulla struttura dovuti alla possibile formazione di cedimenti delle strutture di fondazione. Il valore di tali spostamenti dipende da analisi geologico –tecniche, oppure può essere calcolato applicando i valori minimi imposti dalla normativa.

4.8 Avviamento ($q_3 - q_{3b}$)

L'azione di avviamento, o accelerazione, è un'azione orizzontale longitudinale agente parallelamente all'asse dell'impalcato alla quota del piano di rotolamento.

Per quanto riguarda l'impalcato ferroviario tale azione determina degli effetti d'interazione treno-binario – struttura, da valutarsi attraverso apposite analisi dinamiche. Per gli aspetti circa l'interazione statica treno-binario-struttura si fa riferimento alla CG0700-P-CL-D-S-VP-CI-VI-000000-02_B

4.9 Frenatura (q_4)

L'azione di frenatura, analogamente a quella di avviamento, è un'azione orizzontale longitudinale agente parallelamente all'asse dell'impalcato. Per tale azione valgono le stesse considerazioni fatte per l'azione di avviamento.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4.10 Centrifuga ($q_5 - q_6$)

L'azione della forza centrifuga consiste in un'azione orizzontale trasversale perpendicolare all'asse dell'impalcato agente alla quota ove agiscono le forze verticali per i carichi da traffico. Il valore di tale forza dipende dal valore del raggio di curvatura dell'asse di tracciamento.

4.11 Serpeggio (q_7)

L'azione di serpeggio è prevista per la verifica dei cassoni ferroviari. E' un'azione orizzontale applicata al livello della rotaia più alta. Il valore di tale forza concentrata è di 100 kN.

4.12 Sisma (E)

Gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti orizzontali e verticale delle azioni sismiche, vengono determinate, secondo quanto indicato nelle NTC 2008, in base alle coordinate del sito, al tipo di terreno su cui si fonda l'opera e con riferimento al tempo di ritorno dell'azione di progetto.

Per l'opera in questione si considera una classe d'uso IV e una vita nominale dell'opera di 100 anni.

Con queste assunzioni si assume un periodo di riferimento dell'azione pari a:

$$V_r \geq V_N \cdot C_U = 100 \times 2 = 200 \text{ anni}$$

Il tempo di riferimento per tale azione è pari per lo S.L.V. a:

$$T_r = 9.50 \cdot V_r = 9.50 \times 200 = 1900 \text{ anni}$$

Il terreno è stato classificato in base alla caratterizzazione geotecnica come terreno tipo "C". Con riferimento alla tabella 3.2. Il si definiscono terreni di tipo C: "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u,30 < 250$ kPa nei terreni a grana fina)."

Le coordinate di riferimento dell'opera sono:

N: 38.26519

E: 15.63027

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Si faccia riferimento alla Relazione sismica (CG0700-P-RX-D-S-VP-CI-VI-00000001_A) per tutte le altre specifiche tecniche.

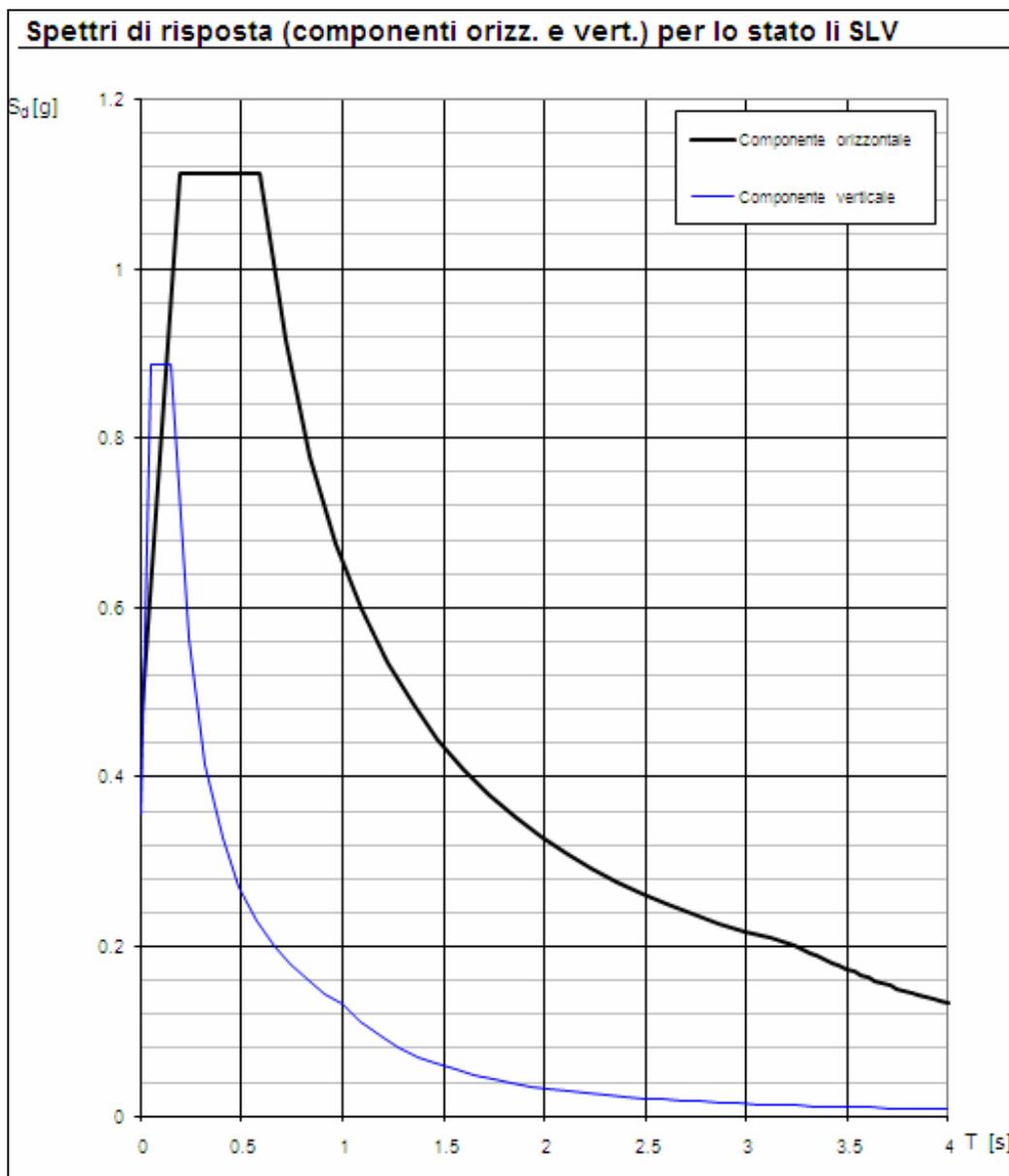


Figura 12: Spettro di progetto per lo S.L.V. e q=1

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

5 Stati limite

La normativa (NTC 2008) impone che la sicurezza e le prestazioni di un'opera, o di una parte di essa, devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Con Stato limite si definisce la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.

L'opera deve essere progettata per garantire la sicurezza e l'incolumità della vita umana e la funzionalità dell'opera stessa.

In base a considerazioni di tipo probabilistico la norma prevede un'articolazione in, essenzialmente, tre Stati limite.

Lo Stato Limite Ultimo (o S.L.U.) è lo Stato limite più severo, superato il quale la costruzione subisce gravi danni e perde totalmente o quasi la sua funzionalità generando grave pericolo per l'incolumità della vita umana e gravi danni socio-economici. Per tal ragione si prevede una probabilità di superamento di tale Stato limite nel periodo di vita utile dell'opera di 10^{-5} .

Si sfrutta l'intera capacità resistente dei materiali inclusa la "riserva di duttilità" degli elementi. Per tal ragione il superamento di tale Stato limite comporta essenzialmente il collasso della struttura in termini strutturali e/o di funzionalità.

Lo Stato Limite d'Esercizio (o SLE) è uno stato limite meno "severo" superato il quale si hanno dissesti reversibili o non-reversibili ma di entità tale da mantenere l'intera o parziale funzionalità dell'opera. Si tiene in conto che il superamento di tale Stato limite comporti conseguenze non gravi e pertanto si assume una probabilità di superamento nel periodo di "Vita utile" della struttura di 10^{-1} .

L'altro Stato limite definito è quello di robustezza nei confronti delle azioni eccezionali. Tale stato limite viene definito in relazione a considerazioni probabilistiche che prevedono l'evenienza di azioni quali esplosioni, urti, etc. nelle costruzioni. E' possibile definire verifiche per tali azioni proprio in relazione alla definizione degli Stati limite stessi e ai concetti probabilistici su cui essi si basano.

Per quanto riguarda i coefficienti di sicurezza ed i coefficienti parziali sui materiali corrisponde ad una verifica allo S.L.U.

5.1 Stati limite ultimi per azioni statiche

I principali Stati Limite Ultimi sono elencati nel seguito:

- a) perdita di equilibrio della struttura o di una sua parte;
- b) spostamenti o deformazioni eccessive;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- c) raggiungimento della massima capacità di resistenza di parti di strutture, collegamenti, fondazioni;
- d) raggiungimento della massima capacità di resistenza della struttura nel suo insieme;
- e) raggiungimento di meccanismi di collasso nei terreni;
- f) rottura di membrature e collegamenti per fatica;
- g) rottura di membrature e collegamenti per altri effetti dipendenti dal tempo;
- h) instabilità di parti della struttura o del suo insieme;

Nel presente progetto sono state eseguite verifiche a stato limite ultimo su elementi in acciaio ed in calcestruzzo. Le verifiche sono essenzialmente verifiche del raggiungimento della massima capacità resistente degli elementi in relazione anche alla nascita di fenomeni d'instabilità nonché verifiche di rottura degli elementi per fatica

5.2 Stati limite d'esercizio per azioni statiche

I principali Stati Limite di esercizio sono elencati nel seguito:

- a) danneggiamenti locali (ad es. eccessiva fessurazione del calcestruzzo) che possano ridurre la durabilità della struttura, la sua efficienza o il suo aspetto;
- b) spostamenti e deformazioni che possano limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto;
- c) spostamenti e deformazioni che possano compromettere l'efficienza e l'aspetto di elementi non strutturali, impianti, macchinari;
- d) vibrazioni che possano compromettere l'uso della costruzione;
- e) danni per fatica che possano compromettere la durabilità;
- f) corrosione e/o eccessivo degrado dei materiali in funzione dell'ambiente di esposizione;

Sono state eseguite verifiche a fessurazione per tutte le parti in cemento armato (soletta del cassone ferroviario, pile, fondazioni e spalle) .

Sono state altresì effettuate, verifiche degli spostamenti e delle deformazioni dei cassoni stradali, del cassone ferroviario e delle pile soggette a forze orizzontali e/o verticali nelle varie fasi costruttive.

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

5.3 Stati limite ultimo per azioni sismiche

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali scelte

5.4 Stati limite d'esercizio per azioni sismiche

- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Per ulteriori dettagli circa gli stati limite per azioni sismiche si può fare riferimento alla Relazione Sismica.

Le verifiche sono state effettuate allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

5.5 Combinazione delle azioni

Le azioni indicate nei paragrafi precedenti sono state combinate fra loro per determinare le

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

massime sollecitazioni agenti sulle varie parti strutturali del viadotto, con riferimento ai diversi Stati Limite imposti dalla normativa vigente (NTC2008).

Per i singoli implacati e per i traversi principali i coefficienti di combinazione verranno riportati più avanti nel presente paragrafo.

Per quanto riguarda quelle parti ove agiscono carichi variabili da traffico, sia ferroviari sia stradali, vengono applicate altre combinazioni che tengono conto della presenza di differenti tipi di carico variabile da traffico.

Di seguito vengono indicate le metodologie adottate per la combinazione delle azioni sui vari elementi, con riferimento alle combinazioni allo S.L.U.. Il concetto è estendibile agli altri stati limite.

Per la combinazione allo S.L.U. le azioni si combinano secondo la seguente relazione generale:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_p \cdot P + \psi_{q1} \cdot Q_{k1} + \psi_{q2} \cdot Q_{k2} + \dots + \psi_{qi} \cdot Q_{ki}$$

Trascurando i coefficienti parziali di sicurezza γ e concentrando l'attenzione sui coefficienti di combinazione ψ si possono trarre alcune conclusioni.

A meno della precompressione e dei carichi permanenti strutturali e non, le azioni variabili sono combinate con dei coefficienti $\psi \leq 1$. Tali coefficienti tengono in conto della probabilità di accadimento contemporaneo di azioni variabili differenti.

Nel caso quindi della presenza di due tipi di carico variabile da traffico, si dovranno considerare combinazioni ove il carico variabile dominante Q_{k1} è rappresentato, alternativamente, o dai carichi da traffico stradale dai carichi variabili da traffico ferroviario.

Con riferimento alle tabelle di normativa, si riportano i coefficienti di combinazione ψ_0 per le azioni variabili da traffico.

Carichi variabili da traffico	ψ_{0i}	Tabella
Stradali:		
Concentrati	0.75	5.1.VI
Distribuiti	0.40	
Ferroviari	0.80/0.6	5.2.VI
Corsia di manutenzione ANAS	0.5/0	5.1.VI

Tabella 1: tabella dei coefficienti di combinazione ψ_0

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Per quanto riguarda la corsia di manutenzione ANAS il carico uniformemente distribuito di 5 kN/m² viene associato alla condizione di “carichi su marciapiedi e piste ciclabili” (vedi tab. 5.1.IV), ed è assimilabile al carico da folla. Per tale ragione, nel caso in cui si consideri dominante l’azione dei carichi da traffico stradali, l’azione sulla corsia di manutenzione, si considera pari a quella prevista nel gruppo di azione stradale 1, quindi con un valore uniforme pari a 2.5 kN/m² (vedi tab. 5.1.IV), in cui i carichi variabili da traffico sono assunti col loro valore caratteristico.

Nel caso si considerino dominanti i carichi variabili da traffico ferroviario l’azione non viene presa in considerazione in quanto, essendo assimilabile ad un carico da folla, questa assume $\psi_0=0$ (vedi tab. 5.1.VI - folla).

La stessa assunzione è valida anche nel caso in cui si compongano i gruppi di azione stradali 2a e 2b (vedi tab. 5.1.IV), nei quali il carico dominante è il carico orizzontale (centrifuga o frenatura). Per questi gruppi quindi l’azione della corsia di manutenzione ANAS è nulla.

Per i carichi da traffico ferroviari, nel caso l’azione da traffico ferroviario non sia dominante, si considera un coefficiente di combinazione $\psi_0=0.80$ se si considera un solo binario caricato, e pari a $\psi_0=0.60$ se con due binari caricati.

Si riportano le tabelle di combinazione per gli stati limite ultimi.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

COEFFICIENTI GLOBALI $\gamma_M \times \Psi_{0/1/2}$

tipo combinazione	STATI LIMITE ULTIMI																
	n° combinazione	dead	permanenti	ballast	Traffico gr1 (POS 1)	Traffico gr1 (POS 2)	Traffico gr1 (POS 3)	Traffico gr1 (POS 4)	Traffico gr1 (POS 5)	Traffico gr1 (POS 6)	Traffico gr1 (POS 7)	Traffico gr1 (POS 8)	vento	termica differenziale	cedimenti 2	SISMA TRASVERSALE	SISMA VERTICALE
1	1,35	1,35	1,5	1,45	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0,9	0	0	0
2	1,35	1,35	1,5	0	1,45	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0,9	0	0	0
3	1,35	1,35	1,5	0	0	1,45	0	0	0	0	0	0	0,9	0,9	0	0	0
4	1,35	1,35	1,5	0	0	0	1,45	0	0	0	0	0	0,9	0,9	0	0	0
5	1,35	1,35	1,5	0	0	0	0	1,45	0	0	0	0	0,9	0,9	0	0	0
6	1,35	1,35	1,5	1,45	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,9	0,9	0	0	0
7	1,35	1,35	1,5	0	1,45	0	0	0	0	0	0	0	-0,9	0,9	0	0	0
8	1,35	1,35	1,5	0	0	1,45	0	0	0	0	0	0	-0,9	0,9	0	0	0
9	1,35	1,35	1,5	0	0	0	1,45	0	0	0	0	0	-0,9	0,9	0	0	0
10	1,35	1,35	1,5	0	0	0	0	1,45	0	0	0	0	-0,9	0,9	0	0	0
11	1,35	1,35	1,5	1,45	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	-0,9	0	0	0
12	1,35	1,35	1,5	0	1,45	0	0	0	0	0	0	0	0,9	-0,9	0	0	0
13	1,35	1,35	1,5	0	0	1,45	0	0	0	0	0	0	0,9	-0,9	0	0	0
14	1,35	1,35	1,5	0	0	0	1,45	0	0	0	0	0	0,9	-0,9	0	0	0
15	1,35	1,35	1,5	0	0	0	0	1,45	0	0	0	0	0,9	-0,9	0	0	0
16	1,35	1,35	1,5	1,45	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,9	-0,9	0	0	0
17	1,35	1,35	1,5	0	1,45	0	0	0	0	0	0	0	-0,9	-0,9	0	0	0
18	1,35	1,35	1,5	0	0	1,45	0	0	0	0	0	0	-0,9	-0,9	0	0	0
19	1,35	1,35	1,5	0	0	0	1,45	0	0	0	0	0	-0,9	-0,9	0	0	0
20	1,35	1,35	1,5	0	0	0	0	1,45	0	0	0	0	-0,9	-0,9	0	0	0

Tabella 1: tabella dei coefficienti $\gamma_M \times \Psi_0$ per l'impalcato ferroviario per lo S.L.U.

COEFFICIENTI GLOBALI $\gamma_M \times \Psi_{0/1/2}$

tipo combinazione	n° combinazione VERIFICATE	dead	permanenti	Traffico gr1 (valori caratteristici) max M2	Traffico gr1 (valori caratteristici) min M2	Traffico gr1 (valori caratteristici) max V3	Traffico gr1 (valori caratteristici) max T	Traffico gr1 (valori frequenti) max M2	Traffico gr1 (valori frequenti) min M2	Traffico gr1 (valori frequenti) max V3	Traffico gr1 (valori frequenti) max T	vento	termica differenziale	cedimenti 1	cedimenti 2	SISMA TRASVERSALE	SISMA VERTICALE
STATI LIMITE ULTIMI	1	1,35	1,35	1,35	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0,72	0,72	0	0	0
	2	1,35	1,35	1,35	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0,72	0	0,72	0	0
	3	1,35	1,35	0	1,35	0	0	0	0	0	0	0,9	0,72	0,72	0	0	0
	4	1,35	1,35	0	1,35	0	0	0	0	0	0	0,9	0,72	0	0,72	0	0
	5	1,35	1,35	0	0	1,35	0	0	0	0	0	0,9	0,72	0,72	0	0	0
	6	1,35	1,35	0	0	1,35	0	0	0	0	0	0,9	0,72	0	0,72	0	0
	7	1,35	1,35	0	0	0	1,35	0	0	0	0	0,9	0,72	0,72	0	0	0
	8	1,35	1,35	0	0	0	1,35	0	0	0	0	0,9	0,72	0	0,72	0	0
	9	1,35	1,35	1,35	0	0	0	0	0	0	0	-0,9	0,72	0,72	0	0	0
	10	1,35	1,35	1,35	0	0	0	0	0	0	0	-0,9	0,72	0	0,72	0	0
	11	1,35	1,35	0	1,35	0	0	0	0	0	0	-0,9	0,72	0,72	0	0	0
	12	1,35	1,35	0	1,35	0	0	0	0	0	0	-0,9	0,72	0	0,72	0	0
	13	1,35	1,35	0	0	1,35	0	0	0	0	0	-0,9	0,72	0,72	0	0	0
	14	1,35	1,35	0	0	1,35	0	0	0	0	0	-0,9	0,72	0	0,72	0	0
	15	1,35	1,35	0	0	0	1,35	0	0	0	0	-0,9	0,72	0,72	0	0	0
	16	1,35	1,35	0	0	0	1,35	0	0	0	0	-0,9	0,72	0	0,72	0	0
	17	1,35	1,35	1,35	0	0	0	0	0	0	0	0,9	-0,72	0,72	0	0	0
	18	1,35	1,35	1,35	0	0	0	0	0	0	0	0,9	-0,72	0	0,72	0	0
	19	1,35	1,35	0	1,35	0	0	0	0	0	0	0,9	-0,72	0,72	0	0	0
	20	1,35	1,35	0	1,35	0	0	0	0	0	0	0,9	-0,72	0	0,72	0	0
	21	1,35	1,35	0	0	1,35	0	0	0	0	0	0,9	-0,72	0,72	0	0	0
	22	1,35	1,35	0	0	1,35	0	0	0	0	0	0,9	-0,72	0	0,72	0	0
	23	1,35	1,35	0	0	0	1,35	0	0	0	0	0,9	-0,72	0,72	0	0	0
	24	1,35	1,35	0	0	0	1,35	0	0	0	0	0,9	-0,72	0	0,72	0	0
	25	1,35	1,35	1,35	0	0	0	0	0	0	0	-0,9	-0,72	0,72	0	0	0
	26	1,35	1,35	1,35	0	0	0	0	0	0	0	-0,9	-0,72	0	0,72	0	0
	27	1,35	1,35	0	1,35	0	0	0	0	0	0	-0,9	-0,72	0,72	0	0	0
	28	1,35	1,35	0	1,35	0	0	0	0	0	0	-0,9	-0,72	0	0,72	0	0
	29	1,35	1,35	0	0	1,35	0	0	0	0	0	-0,9	-0,72	0,72	0	0	0
	30	1,35	1,35	0	0	1,35	0	0	0	0	0	-0,9	-0,72	0	0,72	0	0
	31	1,35	1,35	0	0	0	1,35	0	0	0	0	-0,9	-0,72	0,72	0	0	0
	32	1,35	1,35	0	0	0	1,35	0	0	0	0	-0,9	-0,72	0	0,72	0	0

Tabella 1: tabella dei coefficienti $\gamma_M \times \Psi_0$ per l'impalcato stradale e i traversi per lo S.L.U.

Per quanto riguarda le sottostrutture, essendo le tabelle di combinazione molto più corpose, in quanto considerano sia i carichi stradali che ferroviari, per la loro esplicitazione si faccia riferimento alla "Relazione di calcolo sottostrutture" CG0700-P-CL-D-S-VP-CI-VI-000000-03_B.

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">RELAZIONE DESCRITTIVA</p>		<p><i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc</p>	<p><i>Rev.</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6 Analisi effettuate

6.1 Effetti globali

Per la determinazione delle sollecitazioni sugli elementi che compongono l'opera, sono state effettuate analisi mediante un modello agli elementi finiti, di seguito analizzato.

La struttura è stata caricata con tutte le azioni elementari definite al precedente capitolo. In particolare per i carichi mobili sono stati definiti dei carichi viaggianti (moving loads) che massimizzano e minimizzano le caratteristiche di sollecitazione sulle varie membrature.

Tali analisi hanno fornito il valore caratteristico della sollecitazione per i singoli carichi, in tutti i punti della struttura, permettendo di eseguire meccanicamente le combinazioni e le verifiche globali.

Il medesimo modello è stato impiegato per la determinazione delle sollecitazioni e delle deformazioni a cui sono sottoposti gli apparecchi d'appoggio.

6.1.1 Modello di calcolo

Per la valutazione delle sollecitazioni è stato implementato un modello agli elementi finiti attraverso il software SAP2000[®] v.14.

Il modello completo della struttura ingloba anche le pile e presenta un vincolo in corrispondenza dell'estradosso del plinto di fondazione delle pile stesse. In corrispondenza della spalla e della strutta terminale, le aste sono state vincolate attraverso vincoli che considerando la rigidità assiale di tali elementi infinita.

Il modello ha l'origine sul baricentro geometrico della carreggiata del cassone interno (direzione Calabria) in corrispondenza della spalla. Il sistema di riferimento globale è ruotato di 44° rispetto all'asse della prima campata.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

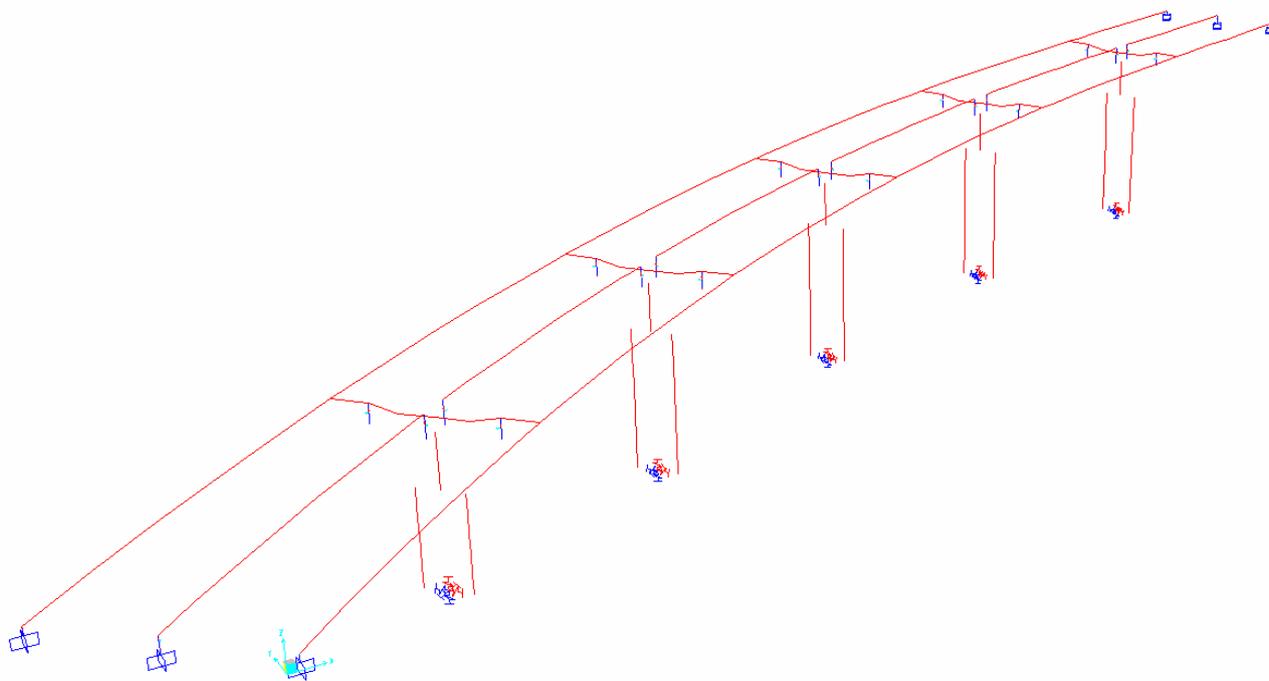


Figura 13: rappresentazione assonometrica del modello di calcolo viadotto.

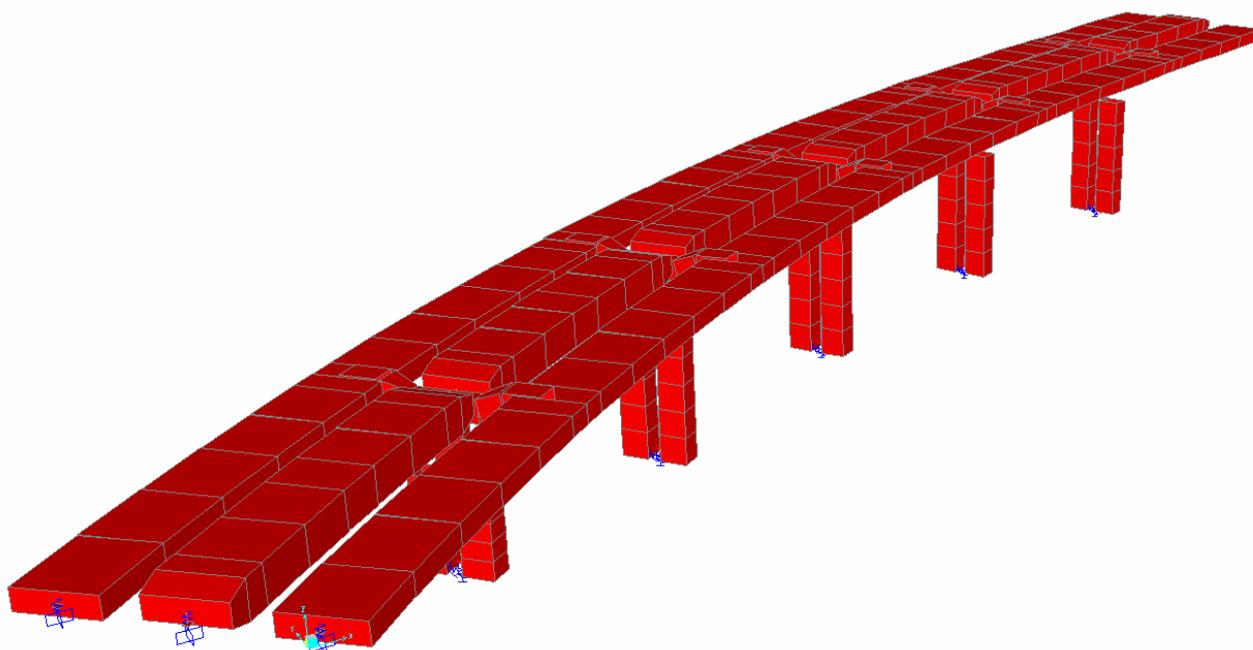


Figura 14: rappresentazione assonometrica estrusa del modello di calcolo viadotto.

Il modello è costituito da:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

numeri di nodi: 278

numero di aste: 228

numero di links: 26

I tre cassoni sono modellati mediante l'uso di elementi trave (frames) a cui sono attribuite caratteristiche inerziali equivalenti a quelle dei reali cassoni. Ciascun frame corrisponde ad un concio costruttivo dell'implacato.

Per il cassone ferroviario sono state assegnate le proprietà equivalenti omogeneizzando la soletta in calcestruzzo ad acciaio.

Per i cassoni stradali, al fine di rendere più agevole il calcolo di tutte le caratteristiche della sezione e per una più realistica modellazione, è stata implementata nel modello stesso, attraverso la funzione "Section Designer", la reale sezione a meno degli irrigidimenti longitudinali.

Sono stati assegnati dei moltiplicatori d'inerzia e di area per tener conto anche degli irrigidimenti longitudinali di cui sopra.

Al fine di tener conto delle incertezze relative al computo dei pesi propri dei cassoni (presenza di traversi, bulloni, etc.) sono stati utilizzati dei coefficienti amplificativi del peso e della massa dei cassoni specificati nei precedenti capitoli.

I cassoni stradali sono direttamente collegati ai traversi principali che costituiscono degli appoggi cedevoli per gli stessi, in relazione alle caratteristiche inerziali del traverso.

Il sistema di vincoli è stato modellato mediante l'impiego di elementi link che hanno permesso di tener conto dell'orientamento del vincolo reale e di vincolare opportunamente i gradi di libertà del vincolo stesso. Tutti link sono elastici lineari con rigidità infinita

Gli appoggi dei cassoni stradali sulla spalla e sulla struttura terminale Sicilia sono modellati con degli elementi link di altezza pari a 0.30 m. sulla base di ognuno di essi è presente un'asta infinitamente rigida incastrata alla base alta 0.10 m per un'altezza complessiva di 0.40 m. , pari a quella stimata degli appoggi reali.

In corrispondenza della spalla vi sono due appoggi per ogni cassone stradale e tre per quello ferroviario. Nel modello è stato implementato, come detto, un solo appoggio posto in corrispondenza dell'asse che garantisce gli stessi spostamenti e rotazioni dei reali appoggi.

Nel caso dei cassoni stradali, sulla spalla, il reale schema statico prevede un appoggio fisso ed uno multi direzionale. Pertanto il singolo appoggio ha tutti gli spostamenti fissati ed anche la rotazione attorno all'asse longitudinale in quanto i due appoggi determinano nella realtà un effetto tira e spingi che non permette rotazioni longitudinali. La situazione si ripete identica per il cassone

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

ferroviario.

Sulla strutture terminali, al contrario, i reali vincoli permettono soli spostamenti longitudinali e pertanto i link consentono solo tale spostamento oltre che le rotazioni verticali e trasversali.

Gli appoggi dei traversi sono modellati, identicamente, con dei links cinematici rigidi che permettono solo lo spostamento longitudinali e tutte le rotazioni.

I due links per ogni traverso sono collegati in sommità direttamente al traverso, mentre alla base sono collegati al pulvino con un vincolo cinematico (“constrain” di tipo “body”) che generano un corpo rigido fra gli appoggi e il baricentro della testa pulvino.

I links e le sottostanti aste rigide poste in corrispondenza degli appoggi dei tre cassoni sulla spalla, sono ruotati parallelamente alla direzione degli assi locali degli elementi frame dei cassoni a cui sono collegati.

I links e le sottostanti aste rigide, poste in corrispondenza di tutti gli appoggi dei traversi sulle pile, nonché in corrispondenza degli appoggi sulla struttura terminale, hanno l’asse locale avente la direzione longitudinale ruotata verso l’appoggio fisso posto sulla spalla, al fine di evitare eccessivi sforzi normali dovuti agli effetti da termica globale.

Gli appoggi del cassone ferroviario sono anch’essi, come accennato, composti da un link con un’asta rigida sottostante per un’altezza complessiva di 0.40 m., posti in corrispondenza del baricentro degli appoggi del cassone ferroviario.

Dato lo schema statico di trave in semplice appoggio, il singolo cassone ferroviario prevede un appoggio fisso affiancato da due multidirezionali su un lato e, un appoggio uni-direzionale longitudinale affiancato anch’esso da due multidirezionali sulla’altro lato. Pertanto, il singolo “link”, rappresentante il sistema di vincolo presente nel modello, dal lato ove è presente l’appoggio fisso, ha tutti gli spostamenti impediti e la rotazione longitudinale bloccata, mentre sull’altro lato, ove è presente l’appoggio uni-direzionale longitudinale, il vincolo permette il solo spostamento longitudinale e tutte le rotazioni.

Lo schema adottato prevede un appoggio fisso sulla spalla Sicilia e unidirezionale longitudinale sulla Pila 5, con tale schema che si ripete in maniera simmetrica su tutte le altre campate. Quindi la spalla e tutte le pile hanno un appoggio fisso su di essi.

Nel modello, per il cassone ferroviario, il link rappresentante l’appoggio unidirezionale longitudinale, ha l’asse locale longitudinale ruotato verso il fisso a cui afferisce, in modo da evitare sforzi normali per azioni termiche globali.

Gli appoggi dei cassoni ferroviari sulle pile sono collegati attraverso un “costrain” di tipo body che genera un corpo rigido fra testa pulvino, appoggi stradali e gli stessi appoggi ferroviari.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Su ogni testa pila è, quindi, definito un vincolo cinematico denominato “Traverso-n° pila” che collega i quattro appoggi presenti nel modello alla testa pulvino.

Allo stesso modo, per ogni pila, i due fusti sono collegati in testa alla base del pulvino mediante un vincoli cinematici denominati “Pila-n° pila”.

Il plinto è modellato con un elemento asta infinitamente rigido di altezza pari a quella della fondazione (6.0 m), incastrato alla base e collegato in sommità alla base dei due fusti mediante un vincolo cinematico denominato “base-pila-n°pila”.

Tutti gli elementi frame dei tre impalcati hanno l’asse 1 orientato parallelamente all’asse viadotto e diretto dalla spalla verso la struttura terminale, l’asse 2 orientato verso l’interno curva e l’asse 3 verso l’alto.

I traversi hanno l’asse 1 parallelo all’asse del traverso diretto dal cassone stradale esterno verso quello interno, l’asse 2 verso mare e l’asse 3 verso l’alto.

Le pile, sia fusti che pulvino, hanno gli assi locali ruotati parallelamente all’asse di tracciamento impalcato. L’asse 1 è diretto verso l’alto parallelamente alla asse dell’elemento, l’asse 2 in direzione trasversale e l’asse 3 in direzione longitudinale.

Lo stesso orientamento dei fusti vale per le aste rigide che modellano la fondazione.

I nodi non hanno mai l’asse locale ruotato.

Alla base delle pile sono poste delle molle che modellano la rigidità offerta dal terreno e dalla fondazione attraverso l’assegnazione della rigidità trasazionale e rotazionale per tutti e sei i gradi di libertà del nodo.

Per la determinazione dei valori delle rigidità, si rimanda a quanto riportato nell’elaborato “*Relazione geotecnica CG0700PRBDSVPCIVI00000001B*”.

6.1.2 Proprietà delle sezioni

Nel modello sono state definite le proprietà dei vari elementi assegnando per ogni sezione i valori della caratteristiche geometriche ed inerziali, qualora non sia stato possibile definire direttamente la geometria della sezione all’interno del software.

Le sezioni direttamente definite all’interno del programma di calcolo sono i fusti della pila e le sezioni del traverso. Per queste sezioni il software calcola automaticamente le proprietà geometriche ed inerziali della sezione stessa.

Per le altre sezioni si riportano i valori di tali proprietà:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Le proprietà inerziali delle sezioni di cassone stradale sono state determinate direttamente dagli elaborati grafici digitali sfruttando apposite funzioni del CAD.

	<i>str_18_16_16_16</i>	<i>str_20_16_16_16</i>	<i>str_20_18_18_16</i>	<i>str_20_20_20_16</i>	<i>str_25_25_25_20</i>
Area [m²]	0.7	0.73	0.76	0.79	0.94
Costante torsionale [m⁴]	3.096	3.096	3.096	3.096	3.096
Momento di inerzia verticale [m⁴]	1.25	1.28	1.36	1.44	1.73
Momento di inerzia orizzontale [m⁴]	12.35	12.76	13.36	13.96	16.78
Area taglio verticale [m²]	0.2159	0.2159	0.2159	0.2159	0.2159
Area taglio orizzontale [m²]	0.4669	0.4669	0.4669	0.4669	0.4669

Tabella 1: proprietà del cassone stradale

	C0	C1	C2	C3	C4
Area [m²]	1.3389	1.4944	1.4311	1.4356	1.4936
Costante torsionale [m⁴]	5.992	15.6425	14.1178	14.061	14.6794
Momento di inerzia verticale [m⁴]	2.5779	9.3224	8.860	9.5245	10.5251
Momento di inerzia orizzontale [m⁴]	19.0198	21.0286	19.6037	19.4705	10.5251
Area taglio verticale [m²]	0.2156	0.4207	0.3525	0.2985	0.2980
Area taglio orizzontale [m²]	1.098	1.0533	1.0533	1.1118	1.1703

Tabella 2: proprietà della trave composta del cassone ferroviario (n=6)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

	Sez. A	Sez. B
Area [m²]	0.4832	0.5168
Costante torsionale [m⁴]	1.3595	3.7729
Momento di inerzia verticale [m⁴]	1.4677	3.2605
Momento di inerzia orizzontale [m⁴]	0.6436	2.0721
Area taglio verticale [m²]	0.264	0.2422
Area taglio orizzontale [m²]	0.224	0.2718

Tabella 3: proprietà del traverso

6.2 Verifiche per gli effetti globali

Conformemente alle prescrizioni normative in materia di costruzioni in acciaio vengono eseguite le verifiche di resistenza e stabilità delle membrature, condotte col metodo semiprobabilistico agli stati limite, tenendo conto delle sollecitazioni indotte dai carichi precedentemente descritti, combinate come riportato nelle tabelle di combinazione inserite nel capitolo precedente.

I pannelli costituenti le sezioni dei cassoni vanno verificati nei confronti dell'instabilità per taglio e compressione, secondo quanto indicato nei paragrafi C4.2.4.1.3.4.1 e C4.2.4.1.3.4.2 della Circolare 02 febbraio 2009 n. 617/C.S.LL.PP.

Il calcolo dei parametri "efficaci" dei pannelli compressi, irrigiditi longitudinalmente, viene eseguito calcolando il coefficiente di riduzione ρ_c per l'instabilità globale, tenendo in conto gli effetti dovuti all'instabilità di colonna e di piastra, secondo quanto riportato nei paragrafi C4.2.4.1.3.4.4, C4.2.4.1.3.4.5 e C4.2.4.1.3.4.6 della suddetta Normativa.

Nelle verifiche si fa anche riferimento alle indicazioni contenute negli Eurocodici, in particolare al documento EN1993-1-5 (Eurocodice 3 parte 5).

I risultati della verifica vengono riepilogati dai valori assunti da due coefficienti η_1 e η_3 , che indicano le risultanze ottenute nei riguardi delle sollecitazioni presso flessionali e taglianti; la verifica è soddisfatta se lo risultano le seguenti disuguaglianze:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0} \cdot f_y \cdot A_{eff}} + \frac{M_{y,Ed} + (N_{Ed} \cdot e_{y,N})}{\gamma_{M0} \cdot f_y \cdot W_{y,eff}} + \frac{M_{z,Ed} + (N_{Ed} \cdot e_{z,N})}{\gamma_{M0} \cdot f_y \cdot W_{z,eff}} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1,0$$

Inoltre, per tenere conto delle interazioni tra le sollecitazioni assiali, di momento e taglio, viene definito un terzo coefficiente denominato in questa sede η_c , per il quale, nel caso in cui η_3 superi il valore 0.5, la soddisfazione delle verifiche implica il rispetto della disuguaglianza:

$$\eta_c = \bar{\eta}_1 + (2\bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0 \leq 1.$$

Le verifiche sono state effettuate per tutti gli elementi di acciaio e quindi per i cassoni stradali, il cassone ferroviario ed i traversi

Per l'impalcato stradale sono state condotte le verifiche lungo tutto il suo sviluppo, andando ad interessare le diverse tipologie di concio presenti, con stazioni di verifica poste ad un interasse medio di 3.45 m in campata e 1,375 m sui conci connessi ai traversi. Per i dettagli dimensionali e gli spessori delle diverse sezioni dei conci si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

Le verifiche vengono condotte scomponendo la sezione dell'impalcato in pannelli così come indicato in figura: analizzando le sollecitazioni assiali, flettenti, taglianti e torcenti agenti sulla sezione viene determinato il corrispondente stato tensionale, la cui integrazione sui singoli pannelli porta ai valori delle azioni presso o tenso flettenti e taglianti utilizzate nelle verifiche degli stessi.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

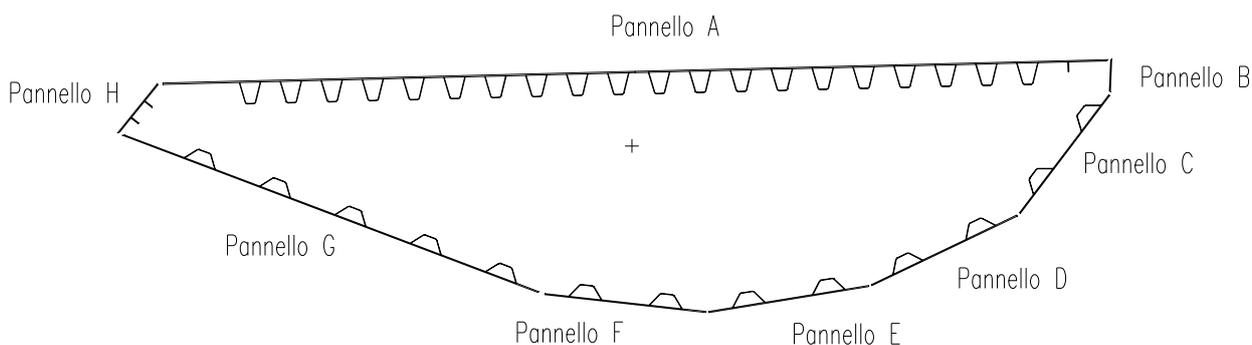


Figura 15: Schema suddivisione sezione in sottopannelli.

In particolare, sulla lastra ortotropa costituente il Pannello A, alle azioni dovute alle sollecitazioni proprie del modello globale della struttura vengono sommati gli effetti locali.

La verifica del cassone costituente il traverso di collegamento degli impalcati stradali avviene in completa analogia con quanto effettuato per il cassone stradale.

Il cassone presenta una sezione rettangolare, i lati hanno dimensioni costanti nella zona centrale dell'elemento e variabili in corrispondenza della zona di inserimento del cassone stradale.

La procedura di analisi prevede per ognuno dei cinque traversi la verifica di 17 sezioni posizionate lungo lo sviluppo dell'elemento, equamente ripartite tra le zone ad altezza costante e variabile.

In ciascuna stazione di verifica la sezione del cassone viene suddivisa in singoli pannelli, su ognuno dei quali vengono effettuate le verifiche di resistenza e di instabilità.

Per i dettagli dimensionali e gli spessori delle diverse sezioni dei conci si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

Le verifiche vengono condotte scomponendo la sezione dell'impalcato in 4 pannelli così come indicato in figura: analizzando le sollecitazioni assiali, flettenti, taglianti e torcenti agenti sulla sezione viene determinato il corrispondente stato tensionale, la cui integrazione sui singoli pannelli porta ai valori delle azioni presso o tenso flettenti e taglianti utilizzate nelle verifiche.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

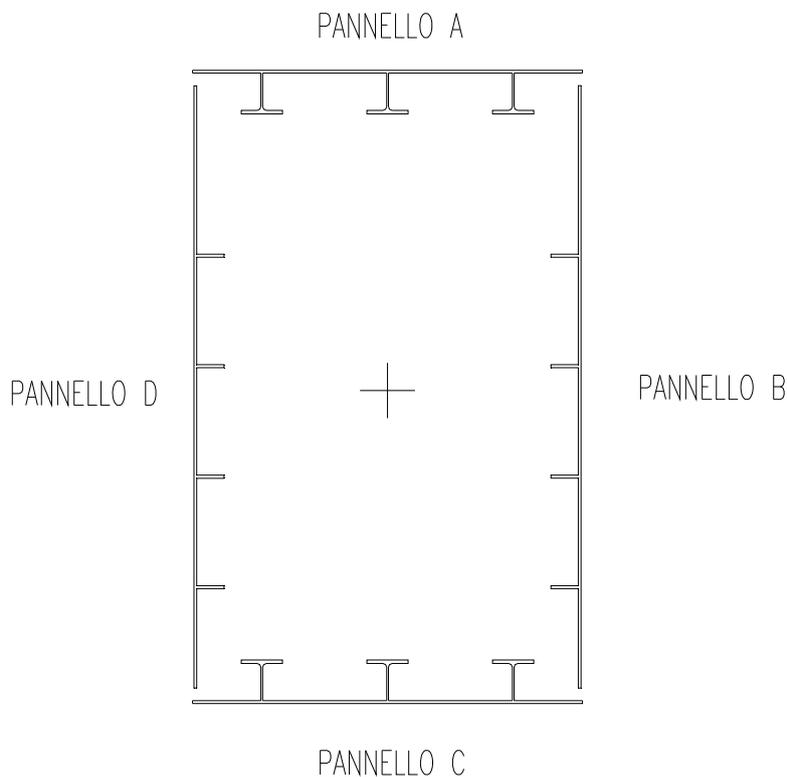


Figura 16: Schema suddivisione sezione trasverso in sottopannelli.

Per l'impalcato ferroviario le verifiche sono state effettuate per tutte le sezioni della campata più lunga, andando ad interessare tutte le tipologie di concio presenti, con stazioni di verifica poste ad un interasse medio di 3,45 m in campata e 1,375 m sui conci connessi ai traversi.

Per i dettagli dimensionali e gli spessori delle diverse sezioni dei conci si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

Le verifiche vengono condotte scomponendo la sezione dell'impalcato in pannelli così come indicato in figura: analizzando le sollecitazioni assiali, flettenti, taglianti e torcenti agenti sulla sezione viene determinato il corrispondente stato tensionale, la cui integrazione sui singoli pannelli porta ai valori delle azioni presso o tenso flettenti e taglianti utilizzate nelle verifiche.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

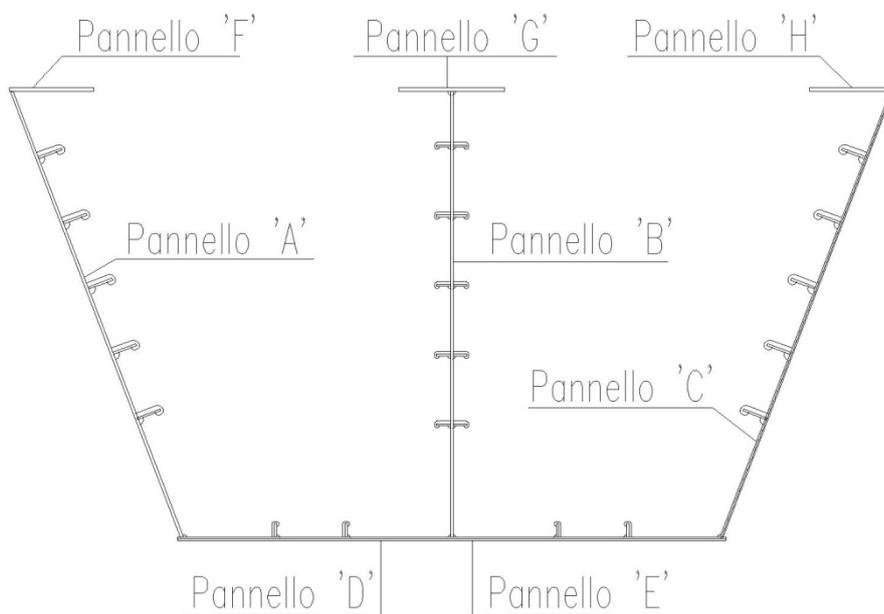


Figura 17: Schema suddivisione sezione in sottopannelli.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6.3 Impalcato stradale: effetti locali e fatica

Sono state svolte analisi di dettaglio al fine di determinare le sollecitazioni sulla lastra ortotropa superiore del cassone stradale dovute agli effetti locali dei carichi elementari agenti.

Tali analisi sono state svolte mediante l'ausilio di un modello agli elementi finiti composto da elementi shell di cui si parlerà in seguito. Sono stati applicati i carichi relativi ai sovraccarichi permanenti (bitumato e guard-rails) e ai sovraccarichi accidentali, quali i carichi da traffico veicolare, nonché all'azione eccezionale di urto del veicolo in svio sulle barriere.

Con queste analisi è stato possibile determinare lo stato di sollecitazione nella lastra superiore e sulle canalette longitudinali per poi eseguire le verifiche di resistenza sugli elementi stessi.

Inoltre tale modello ha fornito il valore di sollecitazione dovuto agli effetti locali da combinare mediante un coefficiente riduttivo ψ con le sollecitazioni relative agli effetti globali in accordo con le prescrizioni dell'Eurocodice 3 (UNI EN 1993-2 Appendice "E").

Per quanto riguarda le analisi svolte per le verifiche a rottura per fatica dei dettagli soggetti a tale fenomeno, tali analisi sono state svolte sia per gli effetti globali che per gli effetti locali a fatica.

Per quanto riguarda le analisi a fatica per gli effetti locali tali analisi sono risultate superflue in relazione allo spessore adottato per la lastra superiore e allo spessore previsto per il manto d'asfalto. Per ulteriori specifiche si faccia riferimento alla "Relazione di calcolo impalcati stradali CG0700-P-CL-D-S-VP-CI-VI-000000-01_B".

Per quanto riguarda gli effetti globali di fatica sono state misurate le delta-tensioni massime per le sezioni in campata ed in appoggio. E' stata eseguita la verifica a fatica della saldature dei conci nella sezione per i delta tensione di cui prima.

6.3.1 Modello di calcolo

Per la valutazione delle sollecitazioni dovute ad effetti locali sulla lastra ortotropa superiore inclusi gli irrigidimenti longitudinali, si è ricorsi all'impiego di un modello agli elementi finiti, che schematizza la lastra superiore e gli irrigidimenti longitudinali. Il modello ha una larghezza pari a quella della lastra superiore ed una lunghezza pari a sei campi fra i trasversi ossia $6 \times 3.75 = 22.5$ m.

Nel modello in parola, la lastra è modellata con elementi shell così come le canalette longitudinali. I trasversi sono modellati come semplici appoggi.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

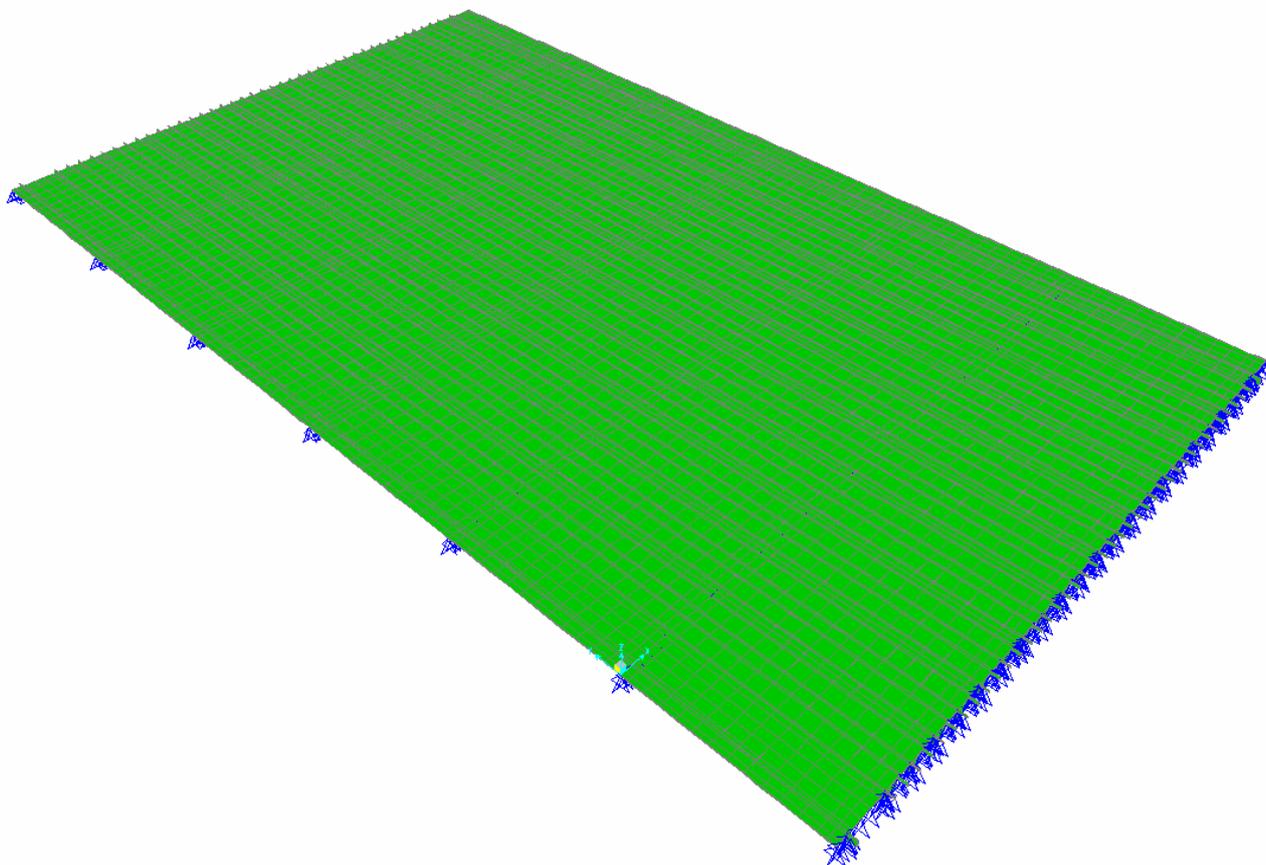


Figura 18: rappresentazione assometrica del modello utilizzato per il calcolo degli effetti locali.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

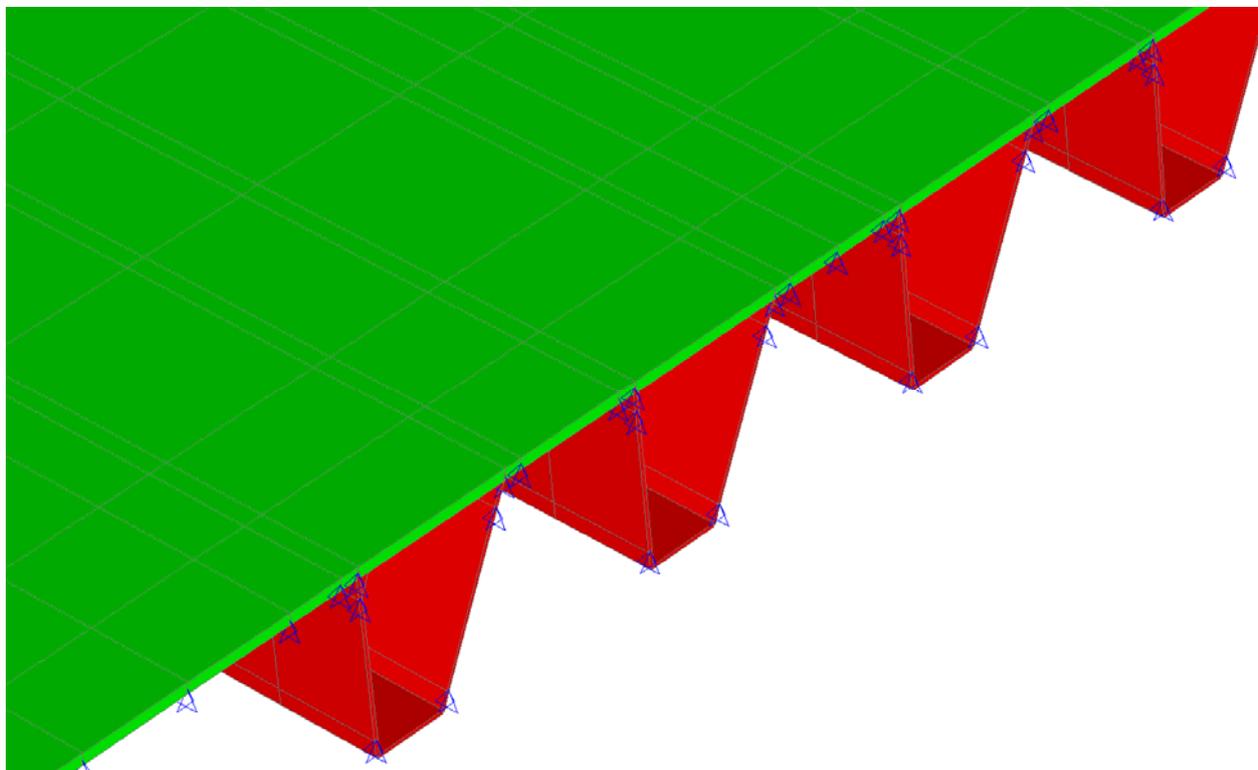


Figura 19: vista estrusa delle canalette longitudinali in corrispondenza degli appoggi del traverso.

Il modello è costituito da:

Numero di nodi:	20412
Numero di elementi frame:	172
Numero di elementi shell:	20916

I carichi considerati sono sotto elencati:

- Sovraccarichi permanenti;
- Sovraccarichi accidentali e relativi incrementi dinamici;
- Urto di veicoli in svio sulle barriere sicurvia;

Per l'applicazione dei suddetti carichi al modello in esame, si è proceduto come descritto di seguito:

Le azioni associate al peso proprio della pavimentazione ed ai sovraccarichi accidentali sono state assegnate come forze uniformemente distribuite sulla superficie degli elementi piastra interessati.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

L'azione associata al peso proprio dei sicurvia è stata modellata come forza uniformemente ripartita su elementi trave fittizi, dotati di rigidità flessionale nulla e disposti in modo da simulare l'effettiva ripartizione del carico reale.

6.4 Impalcato ferroviario: effetti locali e fatica

Sono state eseguite delle analisi per la determinazione delle sollecitazioni sulla soletta in calcestruzzo in fase d'esercizio, sulle predalles in fase di getto e sui traversi per le azioni di fatica. Per lo svolgimento di tali analisi sono stati impiegati tre modelli differenti, uno per ogni analisi, che verranno descritti brevemente in seguito.

Le analisi sulla predalle in fase di getto ha permesso di determinare lo spessore della stessa nonché l'armatura che compone i tralicci di rinforzo della predalle. Sono state svolte analisi di resistenza ed instabilità sugli elementi che compongono il traliccio di rinforzo.

Per quanto riguarda la soletta in calcestruzzo è stato determinato lo stato di sollecitazione generato dai sovraccarichi permanenti (ballast e armamento, canaletta portacavi, etc...), dai sovraccarichi variabili da traffico ferroviario (treni ideali e serpeggio), dall'azione del vento e dall'azione eccezionale del deragliamento del convoglio.

Sono state svolte anche analisi per la determinazione degli effetti dei carichi da fatica sui traversi diagonali.

6.4.1 Modello di calcolo per gli effetti sulla soletta in calcestruzzo

Per la valutazione delle sollecitazioni dovute ad effetti locali sulla soletta d'impalcato, si è ricorsi all'impiego di un modello agli elementi finiti, che schematizza la sezione trasversale e la soletta superiore in corrispondenza del traverso per una lunghezza di un metro

Il modello è composto da soli elementi frame che hanno le caratteristiche degli elementi che compongono la sezione.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

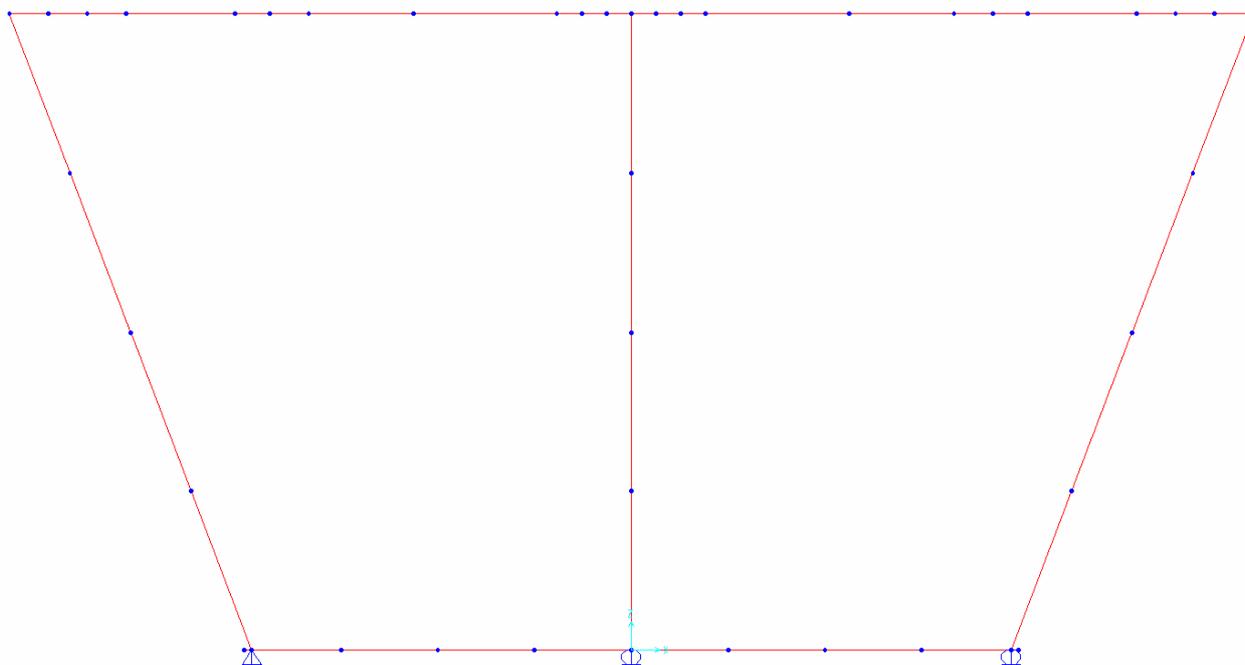


Figura 20: Modello agli elementi finiti della sezione trasversale

Il modello è composto da:

numero di nodi: 43

numero di elementi frames: 44

I carichi considerati sono elencati più sotto:

Sovraccarichi permanenti;

Sovraccarichi accidentali e relativi incrementi dinamici;

Vento;

Deragliamenti del convoglio ferroviario.

Il modello di calcolo utilizzato per le predalles è un modello a semplice trave appoggiata, descritto più dettagliatamente nella relazione dell'impalcato ferroviario al paragrafo dedicato.

Il modello agli elementi finiti per la determinazione degli effetti di fatica sui diagonali è il medesimo utilizzato per determinare gli effetti sulla soletta nel quale sono però presenti i diagonali.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

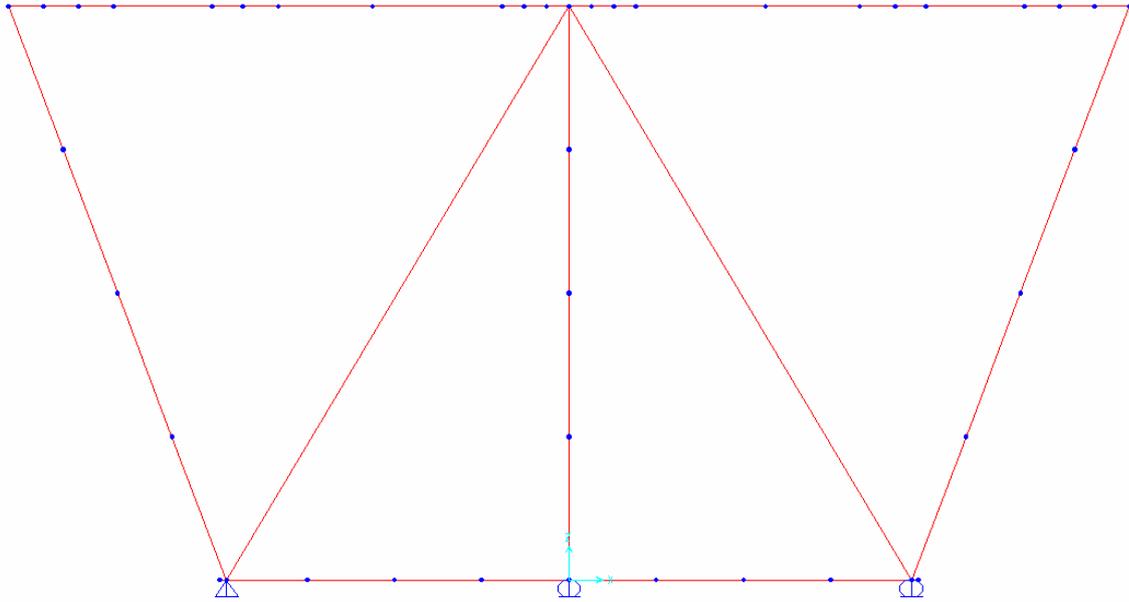


Figura 21: modello di calcolo per gli effetti di fatica

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">RELAZIONE DESCRITTIVA</p>		<p><i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc</p>	<p><i>Rev.</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

7 Software utilizzati

Nella presente sezione si forniscono delle indicazioni circa i software utilizzati nelle analisi e nelle verifiche

Per lo svolgimento delle analisi e per la verifica degli elementi sono stati impiegati software di cui lo scrivente possiede regolare licenza d'uso. Ciascun software svolge particolari funzioni che sono state sfruttate nel presente progetto.

SAP2000 v.14[®]

Per la modellazione agli elementi finiti di ciascuna parte della struttura è stato impiegato il software agli elementi finiti SAP2000[®] versione 14 (Structural Analysis Program) della CSI.

Tale software consente la modellazione agli elementi finiti di elementi tipo asta, piastra e solido. Consente di definire materiali lineari e non, con la possibilità di definire variazioni delle proprietà del materiale nel tempo. E' inoltre impiegato per lo svolgimento sia di analisi classiche, analisi lineari e non-lineari statiche o dinamiche, che di particolari analisi come:

- ✓ Analisi modale agli autovalori,
- ✓ Analisi spettrali definendo uno spettro nel software stesso,
- ✓ Analisi Time-History per storie di carico complesse.

RC_SEC

Per le verifiche delle sezioni in calcestruzzo allo stato limite ultimo e d'esercizio sottoposte a sollecitazioni qualsiasi è stato impiegato il software di verifica RC_SEC della Geo-stru Software.

Tale software consente di definire sezioni di forma qualunque in cemento armato, permette di inserire le barre di armatura nella sezione e di definire le caratteristiche dei materiali.

Consente la verifica anche di sezioni cave e fornisce per la sezione definita il diagramma momento curvatura e il diagramma d'interazione momento sforzo normale della sezione stessa.

M_C STEEL

Foglio di calcolo sviluppato in ambiente Excel dalla E.D.IN. s.r.l. che permette la verifica delle lastre irrigidite. Considera irrigidimenti sia aperti (piatti, L, etc..) che chiusi (canalette).

Svolge il calcolo di stabilità del pannello e dei sub pannelli in rispetto delle ultime normative vigenti

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">RELAZIONE DESCRITTIVA</p>		<p><i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc</p>	<p><i>Rev.</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>

NTC 2008 e Eurocodice 3).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

8 Aspetti geotecnici

Gli aspetti geotecnici analizzati (per il dettaglio si rimanda alla relazione geotecnica di riferimento) sono costituiti:

- in un approfondimento dell'analisi del pericolo di liquefazione dei litotipi incoerenti sotto falda (depositi costieri e Ghiaie di Messina);
- nella definizione della geometria e tipologia dell'intervento di consolidamento del terreno contro il pericolo di liquefazione riscontrato;
- nella definizione delle rigidità statiche e dinamiche che schematizzano l'interazione terreno-strutture di fondazione;
- nello studio attraverso un modello agli elementi finiti delle spinte sismiche sulla spalla;
- nell'analisi delle opere provvisorie necessarie per la realizzazione delle strutture di fondazione.

8.1 Valutazione approfondita del potenziale di liquefazione

L'analisi dei risultati sul potenziale di liquefazione dei terreni incoerenti sotto falda non si è stata ridotta ai soli primi 20m da p.c (attraverso lo studio dell'indice di liquefazione I_L). L'ipotesi dell'insorgere del pericolo di liquefazione è stata considerata anche per profondità maggiori specialmente per le pile 1, 2 e 3 fondate in zone dove gli spessori dei depositi costieri sono maggiori.

Da un lato quindi attraverso l'utilizzo di un appropriato input sismico che non considerasse esclusivamente gli spettri elastici di normativa ma anche attraverso:

- accelerogrammi generati tramite la simulazione del meccanismo di sorgente e della propagazione detti "di scenario" riportati nel documento *DT.ISP.S.E.R1.001 "Approfondimenti relativi al terremoto di progetto per l'opera di attraversamento"*. Tale studio fornisce uno set di accelerogrammi sia per il lato Sicilia che per il lato Calabria (20 nella direzione longitudinale del ponte e 20 nella direzione trasversale del ponte) riferiti ad un *moment magnitude* di $M=6.8$;
- accelerogrammi reali "di scenario" selezionati dal prof.Braga (New Zealand 1987/03/02 01:51, Koeceli, Turkey 1999/08/17);

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

si è potuto determinare i dei profili delle resistenze cicliche direttamente dai profili di a_g lungo il profilo del terreno e fino al bedrock di calcolo. Questo ha permesso l'affinamento della stima del profilo di I_L anche se solo per i primi 20m da p.c.

Dall'altro lato lo studio è stato approfondito, oltre tali profondità, attraverso una ragionata valutazione dei confronti fra carichi ciclici e resistenze cicliche cosiccome indicato nella Figura 16, Figura 18, Figura 22 e Figura 24 della relazione geotecnica di riferimento.

Relativamente alla configurazione delle pile 1, 2, 3 le analisi combinate dei valori riportati in Tabella 13 con Figura 16 e Figura 2 conferma un medio alto potenziale di collasso per liquefazione per i primi 20m da p.c. Tale assunzione si conferma fino a circa 30m da p.c. oltre i quali poi invece si denota che i carichi ciclici sono pari se non inferiori alle resistenza cicliche con un indice di liquefazione che si può tranquillamente ipotizzare nullo.

Relativamente alla configurazione delle pile 4, 5 e spalla le analisi combinate dei valori riportati in Tabella 14 con Figura 18 e Figura 24 conferma un alto potenziale di collasso per liquefazione solo per i primi 20m da p.c. Oltre tale quota si denota che i carichi ciclici sono pari se non inferiori alle resistenza cicliche con un indice di liquefazione che si può tranquillamente ipotizzare nullo.

Rimarcando la necessità di un intervento di consolidamento contro il pericolo di liquefazione esteso in profondità fino alle quote da p.c. sopra indicate si è rimandato agli elaborati grafici specifici per le indicazioni dettagliate sulla geometria ed il tipo di intervento previsto.

8.2 Coefficienti di rigidità statici e dinamici

8.2.1 Coefficienti di rigidità statici

La valutazione dei coefficienti di rigidità elastica statici è stata necessaria per rappresentare, nei modelli strutturali statici agli elementi finiti del viadotto, il comportamento globale del sistema suolo-fondazione per i punti di contatto del viadotto stesso con la superficie del terreno.

Il risultato è rappresentato da una specifica matrice dei coefficienti di rigidità associata ad ogni punto di contatto. Tale matrice contiene i coefficienti di rigidità relativa a forze e momenti per gli spostamenti e le rotazioni corrispondenti.

I punti di contatto considerati in tale studio sono le fondazioni del viadotto Pantano. I coefficienti di rigidità sono stati valutati utilizzando soluzioni sviluppate per le fondazioni rigide approfondite in uno strato elastico di profondità finita. Le proprietà elastiche dello strato

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

elastico sono state calibrate, ove possibile, facendo corrispondere gli spostamenti forniti dalle soluzioni elastiche con quelli ottenuti da apposite analisi statiche su modelli tridimensionali non lineari agli elementi finiti.

8.2.2 Coefficienti di rigidezza dinamici

La valutazione dei coefficienti di rigidezza elastica dinamici è stata necessaria per rappresentare, nei modelli strutturali dinamici agli elementi finiti del viadotto, il comportamento globale del sistema suolo-fondazione per i punti di contatto del viadotto stesso con la superficie del terreno.

In relazione geotecnica è stato ripotato, come lavoro propedeutico per la definizione di tali rigidezze, un riassunto dei risultati di una certa quantità di analisi alle risposte sismiche eseguite nei siti delle fondazioni delle pile e della spalla del viadotto Pantano. Le analisi della risposta sismica sono state eseguite in condizioni di campo libero unidimensionale, in modo da valutare i valori equivalenti della rigidità del suolo e dell'ammortizzazione che vengono mobilitati durante il terremoto studiato nel progetto del viadotto. Il risultato di queste analisi è stato utilizzato per valutare le matrici di impedenza dinamica su ognuno dei punti di contatto del modello strutturale con il suolo. L'input sismico di riferimento è quello indicato nel §8.1.

8.3 Spinte sismiche su spalla

Le analisi dinamiche agli elementi finiti eseguite sono state necessarie al fine di stabilire dettagliatamente l'entità delle spinte sulla superficie ideale di rottura e sul paramento della spalla del viadotto Pantano. L'entità geometrica, i volumi di terreno coinvolti, le dimensioni di terreni spingenti, presenti, i carichi variabili (ferroviari e stradali) a tergo spalla coinvolti e l'entità degli eventi sismici da considerare imposti dalle NTC2008 ha portato alla conclusione che l'utilizzo di metodi semplificati (come i metodi dell'equilibrio limite statico e dinamico), quand'anche testati e riconosciuti dalla letteratura corrente e dalle norme, possono in questo caso portare a sovra stime anche importanti delle spinte in gioco. In special modo questo si risente nelle analisi sismiche nelle quali il fatto di dover portare in conto completamente, secondo le NTC2008, le azioni inerziali delle strutture e dei terreni su di esse portati può fornire spinte finali (nei vari stati limite considerati) eccessivamente conservative. Ad esempio le classiche metodologie semplificate di cui sopra fra le altre cose non portano in conto l'effetto dissipativo, durante sisma, dei rinterri con conseguente possibile mancata riduzione delle spinte sismiche.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

A tal fine quindi si è pensato di eseguire analisi dinamiche complete, bidimensionali, con modelli elasto plastici incrudenti e attraverso l'utilizzo di time-histories adatte che fornissero risultati da confrontare con le indicazioni di letteratura e norma al fine di determinare uno sgravio utile e condivisibile delle spinte sulle strutture. L'input sismico di riferimento è quello indicato nel §8.1.

8.4 Opere provvisoriale

Al fine di realizzare le strutture di fondazione di pile e spalla sono state esaminate due sezioni di riferimento dimensionanti fra quelle previste. In questo senso le opere provvisoriale di calcolo sono costituite da:

- Spalla e pila 5 – da un diaframma $s=100\text{cm}$ di lunghezza totale di calcolo minima pari a $L=25.00\text{m}$, altezza di scavo $H=13.00\text{m}$ ed un ordine di tiranti attivi in acciaio armonico 0.6" con 4 trefoli di lunghezza libera $l=6.00\text{m}$, lunghezza del bulbo $l=12.00\text{m}$ interasse longitudinale $i=2.50\text{m}$ ed inclinazione $\alpha=30^\circ$.
- Spalla e pila 5 – un diaframma a sbalzo $s=100\text{cm}$ di lunghezza totale pari a $L=16.00\text{m}$, altezza di scavo $H=8.00\text{m}$;
- Pile 1, 2, 3 e 4 un diaframma a sbalzo $s=100\text{cm}$ di lunghezza totale pari a $L=16.00\text{m}$, altezza di scavo $H=8.00\text{m}$.

Tutte le configurazioni presentano entro i diaframmi ed a partire da fondo scavo un trattamento con jet-grouting dello spessore variabile di stabilizzazione e contrasto per le paratie.

8.5 Software utilizzati

Nella presente sezione si forniscono delle indicazioni circa i software utilizzati nelle analisi e nelle verifiche

Paratie v.7[®]

Lo stato tenso-deformativo delle strutture è stato investigato mediante il software di calcolo PARATIE v.7.0. [Ce.A.S. s.r.l. - Milano].

Tale software è un codice agli elementi finiti che simula il problema di uno scavo sostenuto da diaframmi flessibili e permette di valutare il comportamento della parete di sostegno durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale.

Il problema è visto ad un problema piano in cui viene analizzata una "fetta" di parete di larghezza unitaria. Tale schematizzazione non è quindi idonea a studiare problemi in cui vi siano importanti

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

effetti tridimensionali.

La modellazione numerica dell'interazione terreno-struttura è del tipo "trave su suolo elastico": le pareti di sostegno vengono rappresentate con elementi finiti trave il cui comportamento è definito dalla rigidità flessionale EJ, mentre il terreno viene simulato attraverso elementi elastoplastici monodimensionali (molle) connessi ai nodi delle paratie: ad ogni nodo convergono uno o al massimo due elementi terreno.

RC_SEC[®]

Per le verifiche delle sezioni in calcestruzzo allo stato limite ultimo e d'esercizio sottoposte a sollecitazioni qualsiasi è stato impiegato il software di verifica RC_SEC della Geo-stru Software. Tale software consente di definire sezioni di forma qualunque in cemento armato, permette di inserire le barre di armatura nella sezione e di definire le caratteristiche dei materiali. Consente la verifica anche di sezioni cave e fornisce per la sezione definita il diagramma momento curvatura e il diagramma d'interazione momento sforzo normale della sezione stessa.

LIQ_EDIN

Foglio di calcolo sviluppato in ambiente Excel dalla E.D.IN. s.r.l. che permette la determinazione del potenziale di liquefazione di terreni incoerenti sotto falda.

Ogni analisi si svolge nel rispetto delle ultime normative vigenti NTC 2008 e dell'Eurocodice 7 ed 8.

RIG_STAT_EDIN

Foglio di calcolo sviluppato in ambiente Excel dalla E.D.IN. s.r.l. che permette la determinazione delle rigidità statiche simulanti l'interazione terreno e strutture di fondazione.

Ogni analisi si svolge nel rispetto delle ultime normative vigenti NTC 2008 e dell'Eurocodice 7 ed 8.

RIG_SIS_EDIN

Foglio di calcolo sviluppato in ambiente Excel dalla E.D.IN. s.r.l. che permette la determinazione delle rigidità dinamiche simulanti l'interazione terreno e strutture di fondazione sotto sisma.

Ogni analisi si svolge nel rispetto delle ultime normative vigenti NTC 2008 e dell'Eurocodice 7 ed 8.

EERA

Il problema della risposta sismica locale in condizioni monodimensionale è stato analizzato adottando l'approccio a strati continui lineari equivalente implementato nel codice EERA (Bardet *et*

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

al., 2000). Il codice di calcolo *EERA* valuta la risposta sismica di un deposito di terreno, schematizzandolo come un sistema di N strati orizzontali omogenei, isotropi e visco-elastici, sovrastanti un semispazio uniforme, attraversati da un treno di onde di taglio che incidono verticalmente le superfici. Il codice è sviluppato come componente aggiuntivo Excel nel rispetto delle ultime normative vigenti NTC 2008 e dell'Eurocodice 7 ed 8.

PLAXIS 2D[®]

PLAXIS è un codice di calcolo agli elementi finiti utilizzabile per eseguire analisi di stabilità e di deformazione nell'ambito di molteplici applicazioni geotecniche. Il programma permette di simulare situazioni reali riconducibili a condizioni di deformazione piane (*plane strain*) o a condizioni assialsimmetriche (*axisymmetric*). Per le potenzialità e le caratteristiche del programma si rimanda al "*Plaxis Reference Manual v.9 (2008)*".

Il codice è sviluppato come componente aggiuntivo Excel nel rispetto delle ultime normative vigenti NTC 2008 e dell'Eurocodice 7 ed 8.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9 Caratterizzazione idrologico-idraulica

Il viadotto Pantano si colloca nella zona denominata Capo Peloro e oltrepassa il canale dei Pantani, che rappresenta l'interconnessione tra i due bacini di Ganzirri, che viene regolato mediante specifiche regole operative dall'Ente gestore dei bacini. Il viadotto non ricade in nessuno dei bacini idrografici individuati.

Come descritto nella relazione idrologica generale, per ciascuna delle stazioni pluviometriche presenti sul territorio sono state ricavate delle curve di possibilità pluviometrica (CPP) di riferimento, per diversi tempi di ritorno. È stata inoltre definita una modalità di spazializzazione dei valori di precipitazione critica, mediante la quale per ciascun punto (o area) del bacino è stato possibile calcolare l'altezza di pioggia di progetto $h(t, TR)$ per una data durata e tempo di ritorno.

Utilizzando le linee di influenza si è proceduto alla costruzione di una mappa delle altezze di pioggia relative alla durata di 1 ora e al tempo di ritorno di 100 anni (cfr. Figura 9.1).

In ragione del significativo gradiente che si riscontra nell'intensità delle precipitazioni critiche sul versante siciliano e, in particolare, perchè nella zona del Capo Peloro gli eventi risultano mediamente meno intensi rispetto all'area più meridionale, la viabilità in progetto è stata suddivisa - per quanto attiene alla valutazione delle acqua di piattaforma - in quattro tratti omogenei, ciascuno caratterizzato da una propria curva di possibilità pluviometrica.

Poiché le superfici contribuenti drenate dalla rete in progetto sono di estensione assai limitata, i tempi di pioggia critici di dimensionamento risultano inferiori all'ora.

I parametri della curva di possibilità pluviometrica relativa al tratto 3 (viadotto Pantano), validi per durate inferiori all'ora ed espressi secondo la formulazione monomia $h = a \cdot t^n$, sono riportati in Tabella 9.2. In Tabella 9.2 vengono invece fornite le altezze di pioggia di progetto per alcune durate e per i tempi di ritorno di 200, 100, 50, 30, 10 e 5 anni.

TR [anni]	tempo di pioggia [minuti]				
	5	10	15	30	45
200	28,6	38,6	46,0	62,0	73,9

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

100	26,0	35,1	41,8	56,5	67,3
50	23,4	31,6	37,7	50,9	60,6
30	21,5	29,0	34,6	46,7	55,7
10	17,3	23,4	27,9	37,6	44,8
5	14,5	19,6	23,4	31,6	37,7

Tabella 9.1 - Altezze di pioggia di progetto [mm] per alcune durate inferiori all'ora (Sicilia).

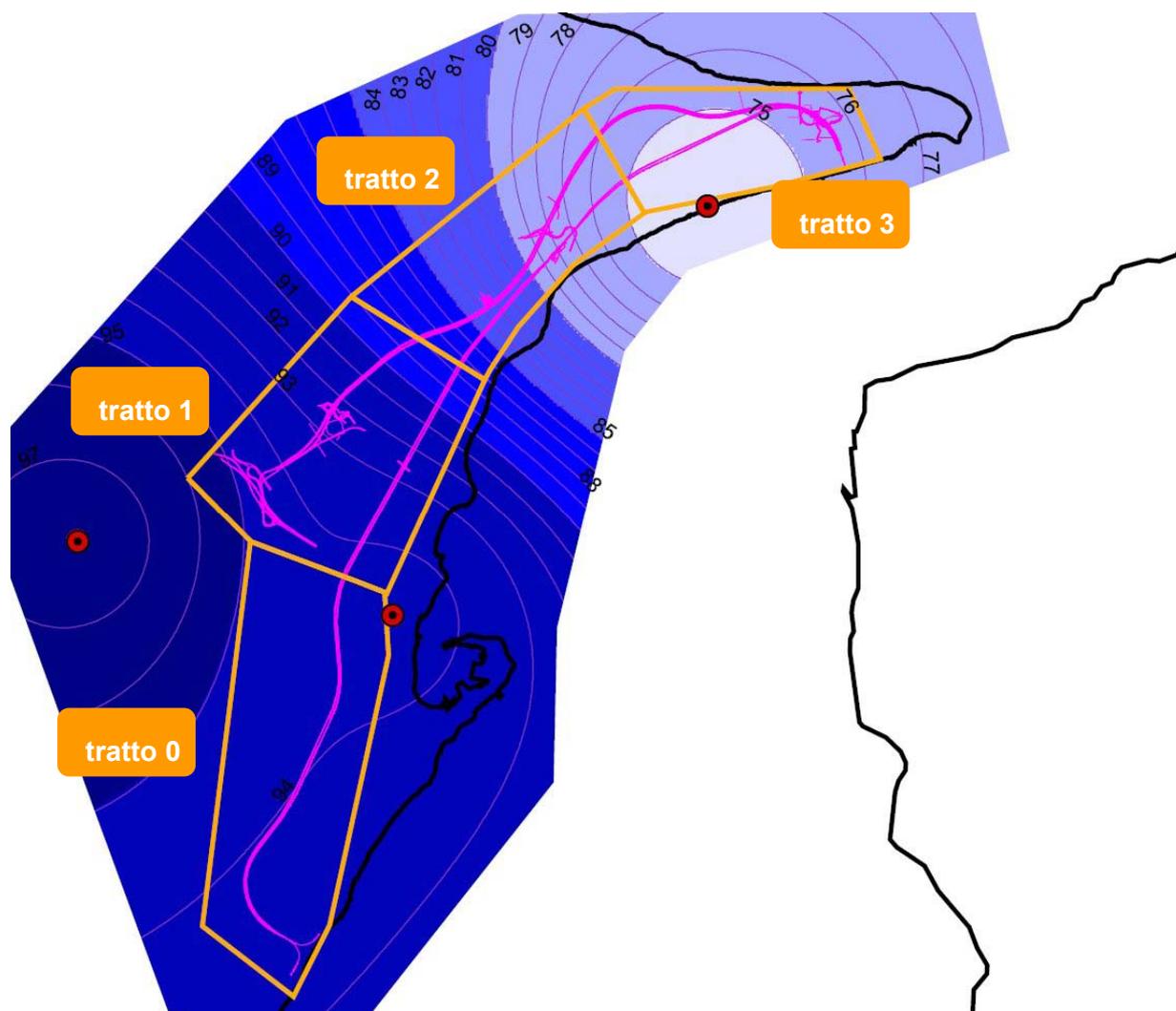


Figura 9.1 - Isoiete per la precipitazione critica di durata pari ad 1 ora (TR=100 anni). In rosso sono indicate le stazioni pluviometriche di riferimento; i poligoni arancioni rappresentano la suddivisione in tratti del tracciato (i parametri di pioggia di Tabella 9.2 sono mediati sull'area indicata).

TR [anni]	parametro	tratto 3
-----------	-----------	----------

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

200	<i>a [mm/hⁿ]</i>	83,75
	<i>n [-]</i>	0,433
100	<i>a [mm/hⁿ]</i>	76,22
	<i>n [-]</i>	0,433
50	<i>a [mm/hⁿ]</i>	68,66
	<i>n [-]</i>	0,433
30	<i>a [mm/hⁿ]</i>	63,05
	<i>n [-]</i>	0,433
10	<i>a [mm/hⁿ]</i>	50,77
	<i>n [-]</i>	0,433
5	<i>a [mm/hⁿ]</i>	42,65
	<i>n [-]</i>	0,433

Tabella 9.2 - Parametri della curve di possibilità pluviometrica validi per durate inferiori all'ora (versante Sicilia).

Per durate inferiori all'ora le curve risultano sempre maggioranti i dati disponibili. Si ritiene pertanto consistente e cautelativa la stima effettuata e l'adozione dei valori proposti per il dimensionamento idraulico delle opere.

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">RELAZIONE DESCRITTIVA</p>	<p><i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc</p>	<p><i>Rev.</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

10 Sistema di smaltimento acque

Sul viadotto si è previsto di intercettare le acque meteoriche ricadenti su entrambi i cigli della carreggiata stradale tramite caditoie, disposte ad una distanza massima di 15 m e, comunque, adeguatamente dimensionate.

Esse sono costituite da una griglia in acciaio zincato a caldo, di dimensione 0.15 x 0.15 m, da un bocchettone, posato sulla soletta dell'impalcato con tubazione discendente in acciaio zincato $\phi 150$, che si attesta sulla parte superiore di un collettore in acciaio DN400 mm, longitudinale al tracciato, e sorretto da apposite cinghie di sostegno ancorate all'impalcato tramite tirafondi in acciaio.

Giunti in corrispondenza delle spalle del viadotto i due collettori le attraversano ed entrano nei rispettivi pozzetti in cls, dove le acque che defluiscono sull'impalcato si congiungono con quelle collettate dai tubi di drenaggio della restante piattaforma.

Da qui una tubazione trasversale alla piattaforma stradale porta le acque della carreggiata sinistra nel pozzetto corrispondente sul ciglio destro e, con un unico tubo, queste vengono fatte scendere sotto il rilevato stradale fino alla vasca di trattamento. Per quanto concerne i criteri di dimensionamento e verifica dei collettori e degli interassi di scarico si rimanda alla relazione idraulica di progetto (CG0700PRGDSSCIDG000000001B e s.m.i).

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">RELAZIONE DESCRITTIVA</p>		<p><i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc</p>	<p><i>Rev.</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

11 Impianti

11.1 Impianti a servizio dei collegamenti stradali

Lungo l'impalcato stradale del viadotto Pantano sono previsti i seguenti impianti:

- impianto di illuminazione
- impianto di videosorveglianza TVCC
- condutture di dorsale

I sopra elencati impianti risulteranno omogenei ed integrati, dal punto di vista funzionale e gestionale, con gli impianti previsti al servizio dei collegamenti stradali.

Impianto di illuminazione

Per ciò che riguarda l'impianto di illuminazione si prevede l'utilizzo di apparecchi con sorgenti LED aventi corpo in pressofusione in alluminio. Tali apparecchi avranno le medesime caratteristiche degli apparecchi utilizzati nel tratto autostradale compreso fra l'area di esazione ed il viadotto Pantano.

Nel caso specifico l'apparecchio sarà equipaggiato di 120 LED ciascuno dotato di lenti "nano-ottiche" atte al controllo del flusso luminoso emesso dal singolo LED.

La dissipazione del calore è garantita da adeguati dissipatori montati superiormente ai moduli LED. L'alimentazione interna, in corrente continua a 700 mA è garantita attraverso reattori elettronici di pilotaggio (driver), caratterizzati da elevata efficienza (>90%) e da elevata durata (100.000 ore).

L'apparecchio sarà inoltre equipaggiato di un modulo ad onde convogliate per la gestione del punto luce sia in termini di accensione e spegnimento che in termini di regolazione del flusso luminoso emesso.

Altre caratteristiche degli apparecchi illuminanti si possono così riassumere:

- potenza nominale a pieno regime (compresi ausiliari) per ogni LED a 700mA: 2,36 W
- alimentazione in corrente continua con valori regolabili per regolazione di flusso
- durata LED (L_{80}): 60.000 ore a 15°C di temperatura ambiente con 700 mA di corrente di pilotaggio
- durata LED (L_{80}): >90.000 ore a 15°C di temperatura ambiente con 525 mA di corrente di pilotaggio
- durata LED (L_{80}): >150.000 ore a 15°C di temperatura ambiente con 375 mA di corrente di pilotaggio

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- grado di protezione: IP66
- doppio isolamento (classe II)
- resa cromatica: > 75
- temperatura di colore: 4.300 K
- fattore di potenza: 0,9
- efficienza luminosa apparecchio a 700 mA (compresi ausiliari): 73 lm/W
- reattore elettronico senza necessità di condensatori di rifasamento
- peso: 15,12 kg (120LED)
- superficie esposta al vento dell'apparecchio: 0,08 m²
- predisposizione per montaggio su palo
- temperatura di funzionamento da -40°C a +55°C.
- alimentazione da 220÷240Vac a 50Hz
- conforme a EN60598-1;EN 60598-2-3.

Gli apparecchi illuminanti saranno installati su pali collocati su mensole in acciaio dotate di cilindro verticale per l'incastro del palo ed ancorate alla struttura dell'impalcato a lato della corsia di sorpasso. Sarà garantita un'idonea distanza tra il palo e la barriera di sicurezza tale da non interferire con la sua deformazione a seguito di un eventuale incidente. Per il fissaggio verranno utilizzate apposite staffe dotate di cilindro verticale per l'incastro del palo, ancorate alla struttura dell'impalcato.

I sostegni avranno le seguenti caratteristiche meccaniche:

- palo conico diritto per posa del corpo illuminante a testa palo.
- altezza totale: 9,5 m;
- peso del palo: 137 kg;
- diametro di base: 152,4 mm;
- diametro di testa: 60 mm
- spessore non inferiore a 4 mm
- sbraccio a squadro semplice realizzato in tubo S235JR UNI EN 10025, zincato a caldo, lunghezza 2 m, alzata 0,6 m, spessore 3 mm, peso 10 kg
- foro ingresso cavi a circa 600mm dalla base
- asola per morsettiera posta a circa 1800 mm dalla base chiusa con portella in alluminio grado di protezione IP54
- morsettiera a doppio isolamento adatta per cavi fino a 4x16mm² completa di portafusibile e

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

fusibile di protezione

I pali dovranno essere lavorati in fabbrica per l'alloggiamento degli accessori elettrici e dei sistemi di ancoraggio prima del trattamento di superficie di zincatura e della verniciatura esterna.

L'alimentazione è ottenuta per mezzo di un tubo in acciaio staffato al cassone del viadotto e intercettato, in corrispondenza delle staffe di supporto, da cassette di derivazione.

Per la definizione puntuale degli aspetti impiantistici specifici si rimanda all'elaborato "Strada panoramica – Relazione di calcolo illuminotecnico" contenuto nella componente di progetto "Collegamenti Sicilia - Infrastrutture stradali – Impianti tecnologici".

Impianto TVCC

Il progetto prevede l'installazione di telecamere TVCC per la videosorveglianza delle due carreggiate autostradali del viadotto. Il sistema sarà in grado di rilevare, automaticamente, eventuali eventi anomali (sistema AID). Le telecamere, di tipo fisso a colori, complete di convertitore analogico/digitale, saranno collocate in itinere con passo adeguato (circa 200÷250m) in funzione del raggio di curvatura del tracciato stradale.

Le telecamere del viadotto Pantano saranno gestite dal nodo locale TVCC previsto nella cabina MT/BT della strada Panoramica.

Per la definizione puntuale degli aspetti impiantistici specifici si rimanda all'elaborato "Relazione tecnica specialistica impianti speciali esterni di sicurezza, di comunicazione e di controllo" contenuto nella componente di progetto "Collegamenti Sicilia - Infrastrutture stradali – Impianti tecnologici".

Condutture di dorsale

Al fine di garantire la distribuzione delle reti dorsali che si sviluppano lungo l'intera opera sono previste, all'interno di ciascuno dei cassoni dell'impalcato stradale, alcune canalizzazioni portacavi in acciaio inox di tipo forato. Più precisamente, per ogni cassone è prevista una canalizzazione per la rete MT ed una canalizzazione per la rete dati in fibra ottica (WAN). Inoltre risulta predisposta un'ulteriore canalizzazione, completa di setto separatore, dedicata alla futura posa di eventuali reti BT e speciali (SP).

11.2 Impianti a servizio dei collegamenti ferroviari

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Per ciò che riguarda l'impalcato ferroviario non sono presenti impianti ad uso esclusivo del viadotto in oggetto. Sono solamente presenti gli impianti "passanti", tra i quali:

- cavi per telecomunicazioni e segnalamento: a lato di ogni singolo binario corre una canaletta continua in cls., a doppia gola, contenente i cavi a servizio dei sistemi di segnalamento e telecomunicazione ferroviari;
- portali tubolari a doppio binario per la trazione elettrica T.E, caratterizzati da un raccordo curvo tra ciascuna gamba e il traverso orizzontale, ubicati alla distanza di circa 30 metri l'uno dall'altro, e fissati tramite opportuna piastra alla struttura del viadotto. Su questi portali sono installate le sospensioni che sorreggono la linea di contatto;
- posti di Blocco Automatico dell'impianto di segnalamento (due per binario), ciascuno dei quali caratterizzato dalla presenza di un segnale luminoso su palina, 1 coppia di giunti isolanti da circuito di binario (un giunto per rotaia) e una coppia di connessioni induttive. Quest'ultime posate sulla soletta dell'impalcato ai piedi del ballast, ad una distanza di circa 25 metri dal corrispondente segnale, in corrispondenza della coppia di giunti isolanti.

Per la definizione puntuale degli aspetti impiantistici si rimanda agli elaborati specifici contenuti nella componente di progetto "Impianti tecnologici elettroferroviari di linea".

11.3 Impianto di deumidificazione

A servizio del viadotto Pantano è previsto un impianto di deumidificazione dell'aria all'interno dei cassoni stradali e del cassone ferroviario.

La presenza di una quantità elevata di vapore acqueo all'interno di queste strutture in acciaio, può innescare dannosi fenomeni di corrosione; da questo la necessità di "essiccare" l'aria in essi contenuta.

L'impianto è costituito da deumidificatori ad assorbimento con ruota essiccante, che realizzano una deumidificazione di tipo "chimico", sfruttando le caratteristiche igroscopiche del *silica gel*.

E' prevista l'installazione di nr. 6 macchine, attraverso le quali viene trattata l'aria dei cassoni in modo da mantenere a condizioni interne di U.R. pari al 40 %, con una temperatura di 25 °C.

Le portate di aria da trattare vengono movimentate dai ventilatori di cui sono provviste le unità di deumidificazione, sfruttando i cassoni stessi come una sorta di canale e predisponendo delle apposite canalizzazione, per garantire la circolazione dell'aria fra strutture altrimenti separate.

Per ciascun deumidificatore è previsto un quadro elettrico di potenza e controllo, la cui

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

alimentazione elettrica è derivata dalla cabina elettrica Panoramica.

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">RELAZIONE DESCRITTIVA</p>	<p><i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc</p>	<p><i>Rev.</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

12 Monitoraggio

12.1 Introduzione

Il sistema di monitoraggio del Viadotto Pantano (situato nel versante Sicilia) che collega a terra l'Opera di Attraversamento propriamente detta, compresa tra le 2 strutture terminali lato Sicilia e lato Calabria e si sviluppa tra le progressive Km 0+256.24 e Km 0+705.90 della linea ferroviaria, si prefigge – in generale - lo scopo di:

- porre sotto sorveglianza il comportamento strutturale di sezioni particolarmente rilevanti o critiche, dell'opera;
- mantenere sotto controllo l'evoluzione nel tempo delle grandezze significative del comportamento dell'opera
- permettere l'elaborazione di previsioni sull'evoluzione di fenomeni specifici e fornire informazioni utilizzabili per le attività di manutenzione.

12.2 Definizioni

- Monitoraggio

Per "Monitoraggio" si intende l'insieme delle azioni finalizzate alla raccolta di dati significativi per la comprensione dei fenomeni di interesse.

- Sistema di Monitoraggio

Per "Sistema di Monitoraggio" si intende l'insieme dei componenti hardware e software necessari per effettuare il Monitoraggio

- Strumento

Per "Strumento" si intende un apparato idoneo alla misura di una particolare grandezza.

- Sensore

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Per “Sensore” si intende la parte dello strumento sensibile alle grandezza che si intende misurare, ed in grado di trasformare la stessa in un “segnale” ad essa univocamente correlato.

- Collegamento

Per “Collegamento” si intende un dispositivo atto a trasferire un segnale da un componente del sistema di monitoraggio ad un altro.

- Sistema di Alimentazione

Per “Sistema di Alimentazione” si intende un apparato in grado di fornire la necessaria alimentazione a tutti i componenti il sistema di monitoraggio. Sarà di tipo autonomo e/o derivato dalla rete elettrica di linea.

- Unità di Acquisizione Dati

Per “Unità di Acquisizione Dati” si intende un apparato intelligente in grado di svolgere più funzioni connesse alle finalità del sistema di monitoraggio, tra le quali l'alimentazione dei singoli strumenti, la lettura dei segnali strumentali con periodicità prestabilita o su richiesta, la loro conversione in unità ingegneristiche, la memorizzazione delle misure, il collegamento con i livelli superiori del sistema (Punti Periferici Fissi).

- Sezioni strumentate

Per “Sezioni Strumentate” si intendono le aree in cui saranno installati gli strumenti per la misura delle grandezze di interesse. Possono essere previste una o più sezioni strumentate nello stesso componente strutturale.

- Unità di Misura

Si utilizzeranno le Unità di Misura del Sistema Internazionale (S.I.).

12.3 Criteri di progetto

12.3.1 Obiettivi generali

Il progetto del sistema di monitoraggio Viadotto Pantano è stato redatto al fine di garantire il raggiungimento degli scopi previsti nel Progetto Definitivo, e quindi:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- a) in fase di costruzione:
 - la verifica delle ipotesi progettuali
 - il controllo della qualità delle opere

- b) in fase di esercizio:
 - la gestione/manutenzione dell'opera
 - il controllo dell'assetto configurazionale e deformativo

12.3.2 Concezione e ottimizzazione

Il progetto del sistema di monitoraggio è stato redatto secondo lo stato dell'arte in materia ed in accordo alle vigenti normative.

Le specifiche tecniche contenute nel presente progetto sono da considerarsi applicabili salvo diverse indicazioni che dovessero emergere durante l'esecuzione dei lavori.

Il sistema di monitoraggio è concepito in modo da contenere il numero di strumenti impiegati. Ciononostante è prevista una certa ridondanza di strumenti sia in funzione della mortalità strumentale, ma soprattutto per disporre di misure indipendenti di una stessa quantità fisica in modo da giudicare sull'affidabilità delle misure raccolte.

Considerata la rapida obsolescenza della strumentazione, il sistema di monitoraggio deve essere predisposto per il continuo aggiornamento ed essere il più possibile aperto ad includere gli avanzamenti tecnologici.

12.3.3 Sistema di monitoraggio

Il sistema di monitoraggio si compone di una parte per l'acquisizione (quasi)statica (cioè di grandezze a lenta evoluzione nel tempo) e di una parte per l'acquisizione dinamica (cioè di grandezze a rapida variazione nel tempo).

12.3.3.1 Monitoraggio statico.

Il monitoraggio statico a sua volta si compone di una parte di rilievo geometrico con operatore e di una parte operante in automatico (strumenti installati nelle varie parti della struttura).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Il rilievo geometrico dell'assetto configurazionale dell'opera avviene tramite misure topografiche di precisione. Deve essere previsto un numero adeguato di caposaldi per letture incrociate. I punti di misura sono costituiti da apposite mire disposte alla base e in testa alle pile. Le mire sono disposte in modo da poter ricostruire la posizione spaziale della sezione in misura. Le mire devono essere ridondanti per compensare errori di lettura.

Il monitoraggio statico-automatico prevede una serie di strumenti diversificati per tipo di misura da rilevare sui componenti strutturali principali dell'opera in punti e sezioni particolari (sezioni strumentali) come desumibile dagli elaborati grafici. Oltre alle misure di deformazione e di sollecitazione nei componenti strutturali dell'opera sono previste misure di assesto del terreno. I sensori per la misura delle deformazioni sono sempre accompagnati da sonde termiche per depurare le misure dagli effetti termici.

Terreno. Sono disposti assestimetri alla base di ogni pila per controllare movimenti verticali del terreno. In due punti sono presenti anche piezometri per il controllo della variazione del livello di falda

Struttura. La misura delle sollecitazioni avviene tramite celle di carico ed estensimetri. Le celle di carico sono disposte in due sezioni strumentate agli appoggi dei cassoni stradali e ferroviario per il controllo dei carichi trasmessi. Gli estensimetri sono disposti nelle sezioni più significative delle pile (tipicamente alla base), dei cassoni stradali e ferroviario (tipicamente mezzeria) e dei trasversi. La disposizione strumentale è associata alla sollecitazione flessionale negli elementi. La posizione di dettaglio degli estensimetri è desumibile dagli elaborati grafici. La misura delle variazioni geometriche avviene tramite trasduttori di spostamento per a misura del movimento nei giunti e tramite inclinometri per la misura delle rotazioni dei piani di appoggio. I misuratori di giunti saranno disposti in generale nelle stesse sezioni delle celle di carico. Gli inclinometri saranno posti alla base delle pile per il controllo della verticalità delle stesse. Saranno anche installate sonde termiche per la depurazione degli effetti termici dalle misure registrate.

12.3.3.2 Monitoraggio dinamico.

Il monitoraggio dinamico è esclusivamente rivolto alla misura automatizzata della risposta dinamica del ponte con particolare riguardo a quella sismica.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

E' prevista una unica tipologia strumentale costituita da accelerometri. Gli accelerometri sono di tipo triassiale idonei a garantire la stabilit  dello zero per tempi lunghi e debbono avere fondo scala e risoluzione compatibili con la dinamica-sismica dell'opera.

In considerazione dello scopo "sismico" del monitoraggio dinamico, gli accelerometri sono posizionati sulle pile. In particolare un accelerometro alla base sul plinto di fondazione ed un accelerometro in testa a livello della sommit  pulvino entrambi in posizione pi  possibile centrata sull'asse della pila e preferibilmente disposti lunga la stessa verticale.

Dove necessario informazioni di moto libero in free-field possono essere ottenute dalla rete di monitoraggio sismico locale dell'area. Non sono pertanto previsti strumenti allo scopo.

12.3.3.3 Composizione del sistema di monitoraggio.

Il sistema di monitoraggio automatico si compone di una rete di strumenti con sensori collegati a centraline di acquisizione UAD per le quali deve essere prevista idonea fornitura di energia elettrica.

I cablaggi devono avere grado di protezione idoneo alla massima riduzione del rumore ambientale.

Dove necessario i sensori possono essere dotati di amplificatori/convertitori di segnale.

I sensori che compongono la rete di monitoraggio statico acquisiscono dati ad intervalli predeterminati di tempo. La misura registrata   la media nell'intervallo. Fanno eccezione le celle di carico per le quali vengono memorizzati i valori massimi e minimi nell'intervallo.

I sensori che compongono la rete di monitoraggio dinamico hanno una soglia di attivazione programmabile da remoto ed acquisiscono con frequenza di campionamento calibrata sui modi significativi dell'opera.

Il sistema di monitoraggio deve essere predisposto per consentire letture manuali.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

12.4 Tipologie strumentali

Le tipologie strumentali prescelte in questo progetto sono:

- 1) ASSESTIMETRO
- 2) PIEZOMETRO
- 3) ESTENSIMETRO
- 4) INCLINOMETRO BIASSIALE
- 5) SONDA TERMICA
- 6) ACCELEROMETRO TRIASSIALE
- 7) MISURATORE DI GIUNTI
- 8) CELLA DI CARICO

12.4.1 Assestimetro ad asta

Misura i movimenti del terreno e viene disposto alla base di ogni pila.

Ogni assestimetro è dotato di 1 trasduttore di spostamento con cavo di alimentazione e trasmissione segnali, collegato alla scatola di giunzione posta nel pozzetto di alloggiamento della testa di ogni strumento.

12.4.2 Piezometro

Vengono posizionati in verticale in affiancamento alla fondazione delle pile P1 e P5 due piezometri, a 1 m dal bordo del cassone di fondazione per misurare la variazione del livello di falda. Ogni piezometro è dotato di cavo integrale di alimentazione e trasmissione segnali. Il cavo sarà cementato nel foro di installazione del piezometro dalla quota di installazione.

12.4.3 Estensimetro

Gli estensimetri sono sempre accoppiati con sonde termiche. Vengono posizionati nelle sezioni strumentali sia sulla piattabanda superiore che sulla piattabanda inferiore.

Per il cassone ferroviario le sezioni strumentali sono quelle in corrispondenza della mezzeria delle varie campate.

Per il cassone stradale le sezioni strumentali sono sia le sezioni in campata che quelle sugli appoggi.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Sui trasversi gli estensimetri vengono posizionati tra il cassone stradale e quello ferroviario per la misura delle tensioni da comportamento a mensola.

Sulle pile gli estensimetri vengono annegati nei getti alla base delle stesse sui quattro lati di un fusto per la ricostruzione delle sollecitazioni di assiali e flettenti.

Ogni estensimetro sarà dotato di proprio cavo di alimentazione e trasmissione segnali.

12.4.4 Inclinometro biassiale

L'inclinometro biassiale serve per misurare eventuali rotazioni subite dai plinti. L'inclinometro viene posizionato in posizione protetta sull'estradosso di ogni fondazione di tutte pile. Le letture inclinometriche vanno correlate con quelle topografiche per il controllo dell'orizzontalità dei relativi piani.

12.4.5 Sonda termica

La sonda termica viene sempre posizionata in accoppiamento con un estensimetro per depurare le misure di deformazione dagli effetti termici.

12.4.6 Accelerometro triassiale

L'elemento caratteristico per la risposta dinamico-sismica dell'opera è la pila e quindi viene posizionato un accelerometro triassiale sulla testa di tutte le pile in posizione il più possibile baricentrica. Ha anche importanza la stima dell'amplificazione sismica, pertanto vengono posizionati due accelerometri alla base delle pile P1(pila più alta) e P5 (pila più bassa).

12.4.7 Misuratore di giunti

Il misuratore di giunti rileva lo spostamento dei giunti. Vengono tenuti sotto controllo due linee di giunto: una all'interfaccia della struttura terminale e una nella mezzeria dell'opera. Viene disposto un giunto in corrispondenza di ciascun appoggio presente sulla sezione strumentata.

12.4.8 Cella di carico

La cella di carico rileva la misura delle reazioni trasmesse dall'impalcato alla pile. Viengono disposte celle di carico agli appoggi del cassone ferroviario e di quello stradale delle pile P2 e P4.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

12.4.9 Modalità di installazione degli strumenti

L'installazione degli strumenti dovrà essere eseguita secondo le seguenti modalità generali:

a) Operazioni preliminari

Prima dell'inizio della posa in opera devono essere effettuato un controllo sull'integrità degli strumenti; dovrà essere anche effettuata una verifica del corretto funzionamento degli strumenti tramite esecuzione di letture con centralina portatile.

b) Posa in opera

La posa in opera dovrà seguire fedelmente le specifiche fornite dalla casa fornitrice dello strumento. Le operazioni di montaggio dovranno essere effettuato da operatore di settore esperto. Una volta completata la posa in opera dovrà essere effettuata una seconda misura di controllo della buona funzionalità dello strumento sempre tramite centralina portatile.

Nei giorni successivi all'installazione di ogni strumento, dovranno essere eseguite alcune letture al fine di controllarne il corretto funzionamento e la stabilizzazione delle letture.

12.5 Esecuzione delle letture

Il sistema di monitoraggio è progettato per permettere un'acquisizione completamente automatica dei dati. Durante le prime fasi della vita del sistema – quando non siano ancora state installate le centraline di acquisizione dati potrà essere necessario eseguire misure manuali.

La frequenza di esecuzione delle misure in fase di costruzione sarà stabilita in relazione al programma di realizzazione dell'opera. In linea di massima si può assumere una frequenza di lettura pari a 1 ciclo completo di letture per ogni fase critiche della costruzione (p. es. completamento plinto di fondazione, completamento pila, installazione impalcato ferroviario, ecc...). Successivamente si potrà considerare 1 ciclo di letture al giorno per i primi tre mesi di esercizio e poi ogni settimana a regime.

Dovrà comunque essere possibile modificare la cadenza delle letture per adattarle alla rapidità di variazione dell'eventuale fenomeno in atto.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Si riportano le specifiche per l'esecuzione manuale delle letture della strumentazione nel periodo compreso tra la posa in opera della strumentazione e l'installazione delle centraline di acquisizione dati automatiche.

Le indicazioni riportate sono da intendersi quali riferimento generale da verificare nelle singole situazioni ed in funzione delle effettive condizioni operative e gestionali dei cantieri.

12.5.1 Esecuzione delle letture manuali

Le misure manuali saranno eseguite in accordo alle specifiche fornite dai costruttori dei vari strumenti e delle unità di lettura; in linea generale si seguiranno le seguenti modalità:

a) Operazioni preliminari

- verifica della disponibilità e della validità del certificato di controllo della apparecchiatura di misura (centralina)
- Verifica della carica delle batterie (per apparecchiature alimentate a batteria)
- Esecuzione dei tests funzionali previsti dal manuale d'uso delle apparecchiature
- Verifica della integrità del punto di misura,
- Verifica della integrità e leggibilità della targhetta identificativa dello strumento o del punto di misura e del canale collegato

b) Esecuzione delle letture

Le letture avverranno, di norma, secondo il seguente schema:

- Collegamento della apparecchiatura al punto di misura (connettore, morsettiera)
- Attivazione delle procedure eventualmente previste per selezionare la configurazione di lettura
- Attesa del segnale di conferma (se presente) o della stabilizzazione della misura
- Annotazione della misura sul foglio di lettura o attivazione della memorizzazione del dato nella memoria interna dello strumento
- Selezione del canale successivo (se vi è tale possibilità) oppure spegnimento dell'apparecchiatura, sconnessione dal punto di lettura e connessione al punto successivo.

L'operatore disporrà di riferimenti a letture precedenti - qualora la apparecchiatura non disponga di memoria con la serie storica delle letture - per verificare eventuali letture anomale o scostamenti eccessivi delle stesse che potrebbero essere sintomo di malfunzionamento di uno o più elementi

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

della catena di misura, oppure dell'insorgere di situazioni singolari.

12.5.2 Modalità di archiviazione delle letture

Le letture degli strumenti saranno presentate in forma tabulare e grafica corredando le stesse di tutte le informazioni necessarie alla loro corretta interpretazione, quali:

Le letture saranno memorizzate su supporto informatico contenente tutte le misure eseguite e le informazioni seguenti:

- Condizioni climatiche (con particolare riferimento alla temperatura ambiente)
- Orario di esecuzione della misura
- Riferimento alla fasi realizzative o di esercizio dell'opera.

I file di archivio saranno compatibili con i più comuni fogli elettronici in uso per consentire la restituzione grafica e le elaborazioni dei dati.

12.6 Criteri e modalità per la manutenzione del sistema

Il sistema di monitoraggio sarà oggetto di manutenzione da parte del G.C. per tutto il periodo contrattualmente concordato.

Scopo della attività di manutenzione è quello di assicurare il corretto funzionamento del sistema, inteso come capacità di fornire le indicazioni attese in numero e con frequenza adeguata alle necessità. Garantire l'economia di gestione, ovvero del rapporto tra il costo delle attività di gestione ed il costo degli interventi di manutenzione necessari a raggiungere gli scopi essenziali del sistema

Saranno predisposte le necessarie risorse (personale e mezzi) per garantire la corretta esecuzione delle attività di manutenzione che vengono di seguito descritte.

La manutenzione riguarderà tutti i tre principali componenti il sistema - strumenti, collegamenti, centraline di acquisizione - e comprenderà la manutenzione ordinaria, ovvero quella tesa a prevenire l'insorgere di situazioni di malfunzionamento, anomalia, mancanza di informazioni, e la manutenzione straordinaria, ovvero quella da attivarsi per il ripristino delle condizioni di corretto

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

funzionamento a seguito di eventi imprevisti, imprevedibili o comunque non evitabili.

I criteri base per la manutenzione ordinaria sono indicati nel paragrafo seguente, intendendosi che per la manutenzione straordinaria sarà garantita la disponibilità di personale qualificato e specializzato per intervenire nei modi e nei termini che verranno definiti in funzione delle fasi di avanzamento dei lavori e della natura dell'evento verificatosi.

12.6.1 Manutenzione degli strumenti

La manutenzione ordinaria degli strumenti sarà organizzata secondo i seguenti criteri:

- Sarà predisposto il programma di attività di manutenzione in accordo al programma di installazione della strumentazione, evidenziando le necessità in funzione delle fasi di lavoro, e delle peculiarità di ogni strumento;
- Verranno identificate le tipologie strumentali e le relative possibilità di interventi di verifica e manutenzione.
- Verranno identificati gli strumenti per i quali saranno possibili verifiche dirette ed indipendenti del corretto funzionamento (es.: misuratori di giunti, termometri, clinometri, per i quali è possibile utilizzare riferimenti manuali), e gli strumenti per i quali saranno possibili solamente verifiche indirette (p. es. barrette estensimetriche, piezometri elettrici).
- Verranno predisposti gli strumenti necessari alle attività di verifica e le procedure per la loro qualifica e certificazione.
- Saranno predisposte le procedure di manutenzione che includeranno le procedure di lettura, di verifica funzionale, di calibrazione, di sostituzione, di gestione delle schede di intervento, di modifica delle costanti nei programmi di elaborazione e restituzione dati.

Data la tipologia di strumenti prevista, si stabilisce, quale riferimento, una frequenza di verifica iniziale su base trimestrale e successivamente come necessario.

12.6.2 Manutenzione dei collegamenti

Per i collegamenti via cavo si prevede di effettuare manutenzione periodica con frequenza inizialmente trimestrale e successivamente come necessario consistente nell'ispezione visiva dell'integrità e del buono stato di conservazione dei cavi e delle targhette di identificazione nei

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> PA0105_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

pozzetti, nelle scatole di giunzione, nelle canalette e comunque in tutte le opere ispezionabili direttamente, provvedendo anche, in tali circostanze, a posizionare sostanze anti-roditori per evitare che i cavi vengano danneggiati. Per le situazioni non ispezionabili visivamente si verificherà solamente che le estremità si presentino in uno stato di conservazione accettabile, che non vi siano particolari ristagni di acqua non previsti o occlusioni, e che non vi siano schiacciamenti o curvature eccessive dei cavi.

12.6.3 Manutenzione delle centraline di acquisizione

Per quanto riguarda le centraline, la manutenzione consisterà in:

- verifica della integrità dei contenitori (armadi, quadri, ecc.);
- verifica delle morsettiere di collegamento dei cavi (presenza di ossidazioni, umidità, ecc.);