

# 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**  
  
CONSULENZA E ASSISTENZA TECNICA  
nel campo della GEOINGEGNERIA  
Dott. Ing. G. Cassani  
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)

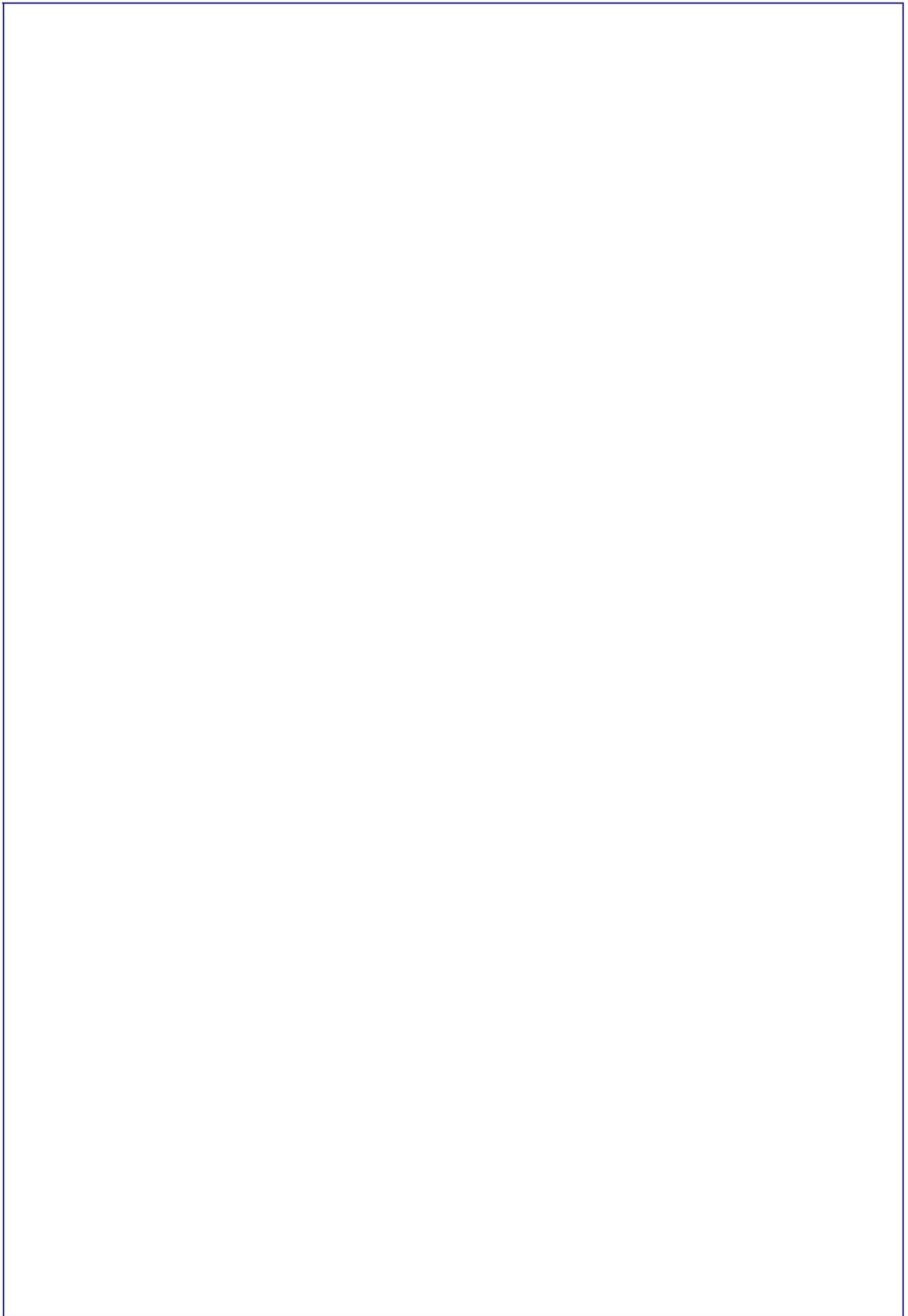
**STRETTO DI MESSINA**  
Amministratore Delegato  
(Dott. P. Ciucci)

<i>Unità Funzionale</i>	COLLEGAMENTI SICILIA	ST0140_F0
<i>Tipo di sistema</i>	STAZIONI – OPERE CIVILI	
<i>Raggruppamento di opere/attività</i>	STAZIONE PAPARDO	
<i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i>	GENERALE-OPERE CIVILI	
<i>Titolo del documento</i>	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO	

CODICE

C G 0 8 0 0 P C L D S C S 1 S G 0 0 0 0 0 0 0 1 F 0

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20-06-2011	PRIMA EMISSIONE	M.FRANDINO	A.BELLOCCHIO	G. CASSANI



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## INDICE

INDICE.....	3
1 Introduzione .....	8
2 Riferimenti normativi e documentazione di riferimento.....	10
2.1 Criteri di verifica delle opere civili secondo D.M. 14 /01/ 2008.....	12
2.1.1 Criteri di dimensionamento.....	12
2.2 Elaborati di riferimento .....	15
3 Software utilizzati.....	17
4 Inquadramento generale delle opere di prima fase della stazione .....	19
4.1 Fasi realizzative della stazione.....	20
4.2 Esecuzione dei pannelli di diaframmi.....	20
4.2.1 Breve descrizione della Tecnologia.....	21
4.3 Esecuzione dei consolidamenti.....	24
5 Inquadramento Geologico – Geotecnico .....	27
5.1 Descrizione delle litologie.....	27
5.2 Indagini previste .....	28
5.3 Caratterizzazione geotecnica .....	28
6 Caratteristiche dei materiali .....	38
6.1 Paratie di prima fase .....	38
6.2 Strutture interne.....	39
6.3 Classi di esposizione Ambientali.....	40
7 Paratie di prima fase.....	43
7.1 Analisi numeriche e verifiche di sicurezza.....	43
7.2 Descrizione del modello di calcolo .....	43
7.3 Definizione e combinazioni delle azioni.....	53
7.3.1 Combinazioni delle azioni.....	53
7.3.2 Definizione delle azioni sismiche.....	56
7.3.3 Spinte dei terreni .....	59
7.3.4 Azioni accidentali.....	61
7.3.5 Incremento sismico di spinta dei terreni .....	61
7.3.6 Azioni inerziali delle strutture in fase sismica .....	62
7.4 Risultati delle analisi.....	63

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

7.4.1	Analisi STR_Statica - A1+M1+R1 .....	63
7.4.2	Analisi GEO_Statica – A2+M2+R2.....	69
7.4.3	Analisi STR_SLV_+Y– 1+M1+R1.....	70
7.4.4	Analisi STR_SLV_-Y– 1+M1+R1 .....	72
7.4.5	Analisi GEO_SLV_+Y – 1+M2+R2.....	73
7.4.6	Analisi GEO_SLV_-Y – 1+M2+R2.....	75
7.4.7	Analisi STR_SLD_+Y – 1+M1+R1 .....	76
7.4.8	Analisi STR_SLD_-Y – 1+M1+R1 .....	77
7.4.9	Analisi GEO_SLD_+Y – 1+M2+R2.....	78
7.4.10	Analisi GEO_SLD_-Y – 1+M2+R2.....	79
7.5	Verifiche di sicurezza .....	80
7.5.1	Criteri di verifica per gli Stati limite ultimi (SLU).....	80
7.5.1.1	Verifiche SLU di tipo STR.....	81
7.5.1.2	Verifiche SLU di tipo GEO .....	83
7.5.2	Criteri di verifica per gli Stati limite di esercizio (SLE) .....	85
7.5.2.1	Verifiche delle tensioni di esercizio.....	85
7.5.2.2	Verifiche di fessurazione .....	86
7.5.3	Descrizione degli elementi resistenti .....	87
7.5.4	Risultati delle verifiche.....	88
7.5.4.1	Verifiche SLU di tipo strutturale .....	88
7.5.4.2	Verifiche SLU di tipo geotecnico.....	89
7.5.4.3	Verifiche agli SLE .....	95
7.5.4.4	Verifica di carico limite dei diaframmi centrali.....	96
8	Strutture interne .....	98
8.1	Metodi di analisi.....	98
8.1.1	Le fasi dell’analisi .....	98
8.1.2	Il modello di calcolo strutturale .....	103
8.2	Analisi dei carichi.....	109
8.2.1	Peso proprio strutture (caso di carico Ggk).....	109
8.2.2	Sovraccarichi permanenti (caso di carico Gk).....	109
8.2.3	Sovraccarichi accidentali (caso di carico Qk).....	110
8.2.4	Carico sismico (caso di carico Gk).....	110
8.2.5	Tabella riassuntiva applicazione carichi .....	112

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

8.3	Applicazione dei carichi al modello numerico.....	113
8.3.1	Definizione dei tipi di carico.....	113
8.3.2	Definizione dei casi di carico.....	118
8.3.3	Combinazioni di carico.....	120
8.4	Risultati delle analisi e verifiche.....	123
8.4.1	Verifiche degli elementi strutturali.....	124
8.4.1.1	Contropareti.....	124
8.4.1.2	Pareti interne.....	130
8.4.1.3	Solai.....	135
8.4.1.4	Travi miste acciaio calcestruzzo.....	143
8.4.1.5	Travi perimetrali.....	148
8.4.1.6	Chiavi di taglio.....	152
8.4.1.7	Puntoni.....	155
8.4.1.8	Puntoni provvisionali.....	164
8.4.1.9	Travi di collegamento diaframmi interni.....	168
8.4.1.10	Platea di fondazione.....	177
8.4.1.11	Verifica Stato Limite di Danno.....	181
9	Paratie di secondo ordine.....	183
9.1	Verifiche delle opere provvisionali di imbocco.....	184
9.1.1	Modello di calcolo.....	184
9.1.2	Analisi numeriche.....	184
9.1.3	Criteri di verifica.....	186
9.1.3.1	Stati limite ultimi.....	186
9.1.3.2	Stati limite di esercizio.....	188
9.1.3.3	Verifica dei trefoli.....	189
9.1.3.4	Stati limite di progetto.....	190
9.1.4	Definizione dei carichi agenti.....	190
9.1.4.1	Spinta del Terreno.....	190
9.1.4.2	Carico accidentale.....	191
9.1.4.3	Carico permanente.....	191
9.1.4.4	Carico sismico.....	191
9.1.5	Verifiche strutturali delle paratie.....	194
9.1.5.1	Stato limite di esercizio.....	195

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

<i>Verifiche a Pressoflessione</i> .....	195
<i>Analisi degli spostamenti</i> .....	198
9.1.5.2    Stato limite ultimo .....	199
<i>Verifiche a Pressoflessione</i> .....	199
<i>Verifiche a taglio</i> .....	206
9.1.6    Verifiche strutturali dei tiranti .....	207
9.1.6.1    Verifica dei trefoli .....	208
9.1.6.2    Verifica dell'ancoraggio .....	209
9.1.7    Verifiche SLU di tipo geotecnico .....	211
9.1.7.1    Verifica collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera .....	212
9.1.7.2    Verifica degli ancoraggi allo sfilamento .....	215
10    Valutazione del danno sulle Preesistenze .....	216
10.1    Caratteristiche degli scavi .....	216
10.2    Preesistenze interferenti con gli scavi.....	216
10.3    Valutazione del profilo di subsidenza di scavi a cielo aperto .....	218
10.3.1    Effetti di bordo sulla distribuzione degli spostamenti indotti dagli scavi a cielo aperto.    220	
10.4    Risultati delle analisi dei cedimenti.....	223
10.4.1    Edificio 1100.....	223
10.4.2    Edificio 1105.....	226
11    Pozzi di ventilazione.....	227
11.1    Descrizione delle opere.....	228
11.1.1    Fasi esecutive .....	228
11.1.2    Inquadramento geotecnico .....	228
11.2    Verifiche dei pozzi di ventilazione .....	229
11.2.1    Analisi numeriche .....	229
11.2.2    Criteri di verifica.....	232
11.2.2.1    Stati limite ultimi.....	232
11.2.2.2    Stati limite di esercizio .....	233
11.2.3    Definizione dei carichi agenti.....	234
11.2.3.1    Spinta del Terreno .....	234
11.2.3.2    Carico sismico .....	234
11.2.3.3    Carico idraulico .....	238

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

11.2.4	Risultati delle analisi numeriche .....	238
11.2.4.1	Diaframmi .....	238
11.2.4.2	Pareti .....	243
11.2.5	Verifiche strutturali dei diaframmi .....	247
11.2.5.1	Stato limite di esercizio .....	248
11.2.5.2	Stato limite ultimo .....	250
11.2.6	Verifiche strutturali delle contropareti .....	255
11.2.6.1	Stato limite di esercizio – direzione 1-1 .....	260
11.2.6.2	Stato limite ultimo – direzione 1-1 .....	262
11.2.6.3	Stato limite di esercizio – direzione 2-2 .....	265
11.2.6.4	Stato limite ultimo – direzione 2-2 .....	267
11.2.7	Verifica dei telai di contrasto .....	271
11.2.7.1	Stato limite di esercizio .....	273
11.2.7.2	Stato limite ultimo .....	274

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 1 Introduzione

Nella presente relazione si analizzano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione della Stazione “Papardo”, facente parte dei lavori di costruzione dei collegamenti ferroviari tra il Ponte sullo Stretto e la città di Messina. La stazione è ubicata nel comune di Messina in contrada Serre (vedi fig.1). La posizione geografica dell’opera è rintracciabile planimetricamente dalla seguenti coordinate E = 198605.51 N = 536678.55 (relative al Sistema Ponte). La quota assoluta del piano campagna allo stato attuale è di circa 55-60 m s.l.m.



Figura 1 - Localizzazione geografica dell’area della stazione

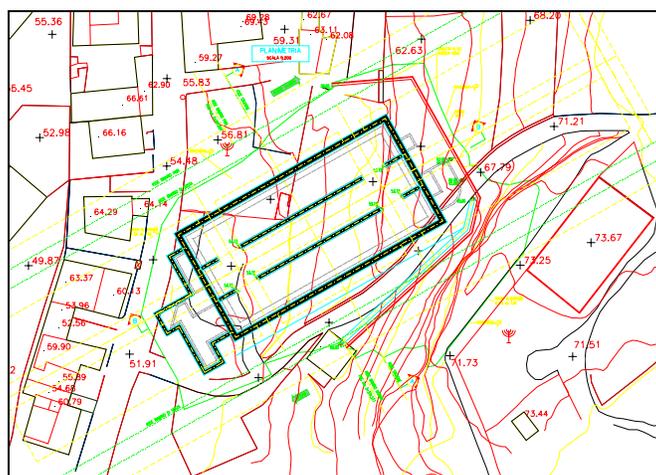


Figura 2- Planimetria generale della Stazione Papardo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Lo scavo viene effettuato mediante il sistema denominato “Top-Down”: il getto dei solai interni alla stazione, effettuato dall’alto verso il basso, garantisce l’adeguato contrasto dei diaframmi perimetrali in fase di scavo in maniera tale da minimizzare gli spostamenti del terreno a tergo delle pareti e, quindi, gli effetti sulle strutture esistenti.

La struttura di sostegno è costituita da diaframmi in c.a. (250cm x 120cm) realizzati con “benna a mordente”, contrastati dai solai interni, aventi spessore di 0.60m, e dal solaio di fondazione, di spessore pari a 2.0m.

Allo scopo di ridurre le luci dei solai, è prevista la realizzazione di due allineamenti di diaframmi interni in c.a. dello spessore di 80cm.

Una volta realizzata la fondazione, le opere verranno completate dal getto in risalita dal basso verso l’alto delle fodere perimetrali e delle strutture interne.

La sistemazione definitiva delle aree prevede infine gli interventi esterni che contemplano il totale ripristino dei luoghi nonché della viabilità locale, così come indicato negli specifici elaborati di progetto.

Nei paragrafi seguenti vengono dapprima richiamate le principali caratteristiche relative al modello geologico – geotecnico dei luoghi (fase conoscitiva), rilevate nel corso dei sopralluoghi effettuati in sito e desunte dalle prove disponibili.

Sono state altresì descritte le fasi esecutive previste per la realizzazione della stazione, fornendo, tra l’altro, le caratteristiche meccaniche dei materiali da impiegare per la realizzazione delle stesse (fase di diagnosi).

Infine, per tutte le opere civili previste, vengono riportati i risultati delle analisi e delle verifiche strutturali svolte in condizioni statiche e sismiche, relativamente alle condizioni più gravose, sia dal punto di vista geotecnico che dei carichi agenti (fase di terapia).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 2 Riferimenti normativi e documentazione di riferimento

Nel progetto è stato fatto riferimento alle seguenti Normative ed Istruzioni:

- Circolare 02/02/2009 “ Istruzione C.S.LL.PP. per l’applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 14 Gennaio 2008
- D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni” (pubblicato sulla G.U. n.29 –Suppl. Ordinario n.30 – del 4 febbraio 2008);
- D.M. 14/09/2005 “Norme Tecniche per le Costruzioni” (pubblicato sulla G.U. n.222 del 23 settembre 2005);
- Eurocodice 8 (UNI ENV 1998 :5) “*Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici*”.
- EC8\_UNI-ENV-1998 :“*Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture*”;
- EC7\_UNI-ENV-1997 : “*Progettazione geotecnica*”;
- EC3\_UNI-ENV-1993 : “*Progettazione delle strutture in acciaio*”;
- EC2\_UNI-ENV-1992 : “*Progettazione Strutture in c.a.*”;
- Circ. Min. LL.PP 04/07/1996 n.156AA.GG./S.T.C. “*Istruzioni per l’applicazione delle Norme tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi di cui al D.M. LL.PP. 16/01/1996*”.
- D.M. LL.PP. 09/01/1996: “*Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche*”.
- Circ. Min. LL.PP 15/10/96 n.252 “*Istruzioni per l’applicazione delle Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al decreto ministeriale 09/01/1996*”.
- D.M. LL.PP. 16/01/1996: “*Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*”

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

- D.M. LL.PP. 16/01/1996: *“Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”*
- Circ. Min. LL.PP 10/04/97 n.65 *“Istruzioni per l’applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. LL.PP. 16/01/1996 ”*
- D.M. LL.PP. 11/03/1988: *“Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”*.
- Circ. Min. LL.PP 24/09/88 n.30483. Legge 02/02/74, n.64 art.1. D.M. 11/03/1988 *“Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l’applicazione”*.
- Legge 5 Novembre 1971 n. 1086 *“Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica”*.
- Decreto ministeriale 14 febbraio 1992 *“Norme tecniche per l’esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche”*
- Circolare 24 giugno 1993, n. 37406/S.T.C. *“Istruzioni relative alle norme tecniche per l’esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche, di cui al D.M. 14 febbraio 1992”*
- Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR 10011/88) *“Costruzioni in acciaio. Istruzioni per il calcolo, l’esecuzione, il collaudo e la manutenzione”*
- Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR 10016/85) *“ Travi composte di acciaio e calcestruzzo. Istruzioni per l’impiego nelle costruzioni”*
- Legge 02 febbraio 1974, n. 64 *“Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”*

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

- Decreto Ministeriale 20 novembre 1987 *“Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento”*
- Circolare 4 gennaio 1989 n. 30787 *“Istruzioni in merito alle “Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento”, di cui al D.M. 20 novembre 1987”*
- Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”*
- Bozza di Testo coordinato dell’Allegato 2 – Edifici – aggiornamento del 09 settembre 2004 *“Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l’adeguamento sismico degli edifici”*

## **2.1 Criteri di verifica delle opere civili secondo D.M. 14 /01/ 2008**

Nel presente paragrafo sono illustrate le linee guida utilizzate per il dimensionamento strutturale delle opere civili previste per la realizzazione della stazione.

In generale, le NTC 2008 richiedono che le opere siano verificate nei confronti di stati limite di esercizio (SLE) a loro volta distinti in stati limite di operatività (SLO) e stati limite di danno (SLD), e stati limite ultimi (SLU), distinti a loro volta in stati limite di collasso (SLC) e stati limite di salvaguardia della vita umana (SLV). Per le opere in questione si sono svolte verifiche relative agli SLD, per quanto riguarda le condizioni di esercizio, e SLV, per quanto riguarda gli stati limite ultimi: la verifica riferita a questi stati limite comporta che siano implicitamente soddisfatte le verifiche agli SLO e SLC ( cfr paragrafo 7.1 DM 2008).

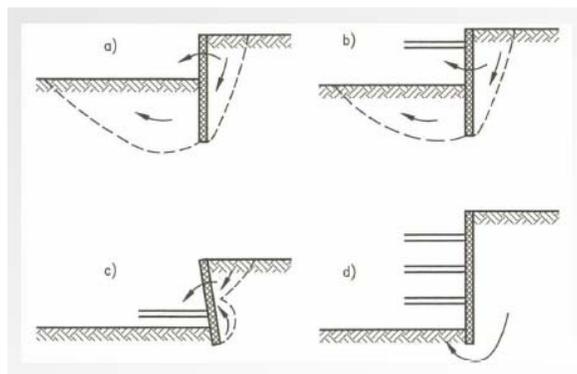
### **2.1.1 Criteri di dimensionamento**

Per il progetto delle opere di sostegno le NTC 2008 richiedono di considerare stati limite ultimi (SLU) di tipo Geotecnico e Strutturale.

Gli SLU di tipo geotecnico (GEO) presi in considerazione nelle verifiche dei diaframmi riguardano esclusivamente il collasso per rotazione intorno ad un punto dell’opera (atto di moto rigido).

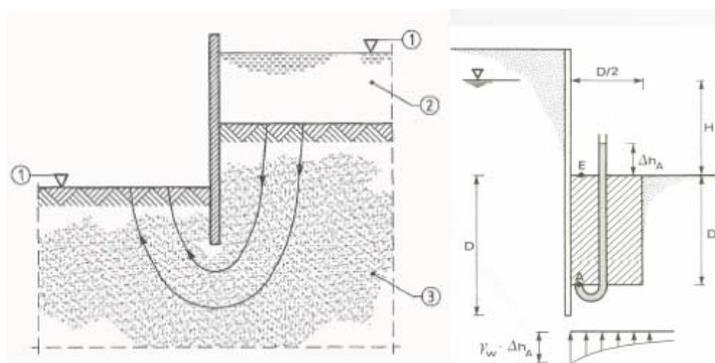
La verifica richiede di considerare tutti i possibili criteri di collasso geotecnico della paratia nel suo insieme, questi possono essere molteplici e, in generale, un moderno programma di calcolo ne tiene già conto quando converge ad una soluzione stabile, in tal modo implicitamente è stato verificato ogni possibile meccanismo di moto rigido.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



**Figura 3– Meccanismi di collasso di una paratia ( atto di moto rigido)**

La normativa prevede anche la verifica di SLU di tipo idraulico (UPL e HYD) che va presa in considerazione qualora le condizioni al contorno, ovvero condizioni idrauliche e caratteristiche di permeabilità dei terreni, permettano l’instaurarsi di regimi di filtrazione che inficino la stabilità del fondo scavo.



**Figura 4- Esempio di verifica a sifonamento del fondo scavo**

Gli SLU di tipo strutturale (STR) presi in considerazione riguardano il raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.

Per ogni stato limite considerato (GEO e STR) è stata verificata la condizione  $E_d \leq R_d$ , dove  $E_d$  è il valore caratteristico dell’azione di progetto ed  $R_d$  è la resistenza di progetto.

Le verifiche strutturali sono state svolte considerando l’approccio 1 che prevede due tipologie di combinazioni:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

- Combinazione 1: A1+M1+R1
- Combinazione 2: A2+M2+R2

Nelle tabelle riportate di seguito sono stati riportati i coefficienti parziali adottati nelle varie combinazioni richieste dalla norma.

Azione	Coeff. Parzia $\gamma_f$	
	A1	A2
Permanente sfavorevole	1,30	1,00
Permanente favorevole	1,00	1,00
Variabile sfavorevole	1,50	1,30
Variabile favorevole	0,00	0,00

**Tabella 1- Coefficienti Parziale per le azioni o per l'effetto delle azioni**

Parametro al quale applicare il coefficiente parziale		Coeff. Parziale $\gamma_m$	
		M1	M2
Angolo d'attrito	$\tan \phi'$	1,00	1,25
Coesione efficace	$c'$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	$c_u$	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	1,00	1,00

**Tabella 2 – Coefficienti Parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Oltre alle verifiche agli stati limite ultimi sono state svolte verifiche in condizioni di esercizio (SLE). Le verifiche agli SLE hanno riguardato essenzialmente l'analisi degli spostamenti dell'opera valutandone la compatibilità con la funzionalità della stessa.

Si è altresì verificato che lo stato tensionale dei vari elementi strutturali sia compatibile con il valore ammissibile per i materiali impiegati e che il valore di calcolo dell'ampiezza delle fessure garantisce la funzionalità dei diaframmi in relazione alle condizioni ambientali dei luoghi.

Infine, per quanto riguarda le verifiche sismiche della struttura (SLE e SLU) è stato utilizzato il metodo pseudostatico: l'azione sismica è stata definita mediante un' accelerazione equivalente costante nel tempo e nello spazio. Le componenti dell'accelerazione equivalente orizzontale e

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

verticale sono state ricavate in funzione delle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno significativo per l'opera e della sua capacità di subire spostamenti senza significative cadute di resistenza. Le azioni sismiche sono state valutate in relazione a un periodo di riferimento ( $V_R$ ) che dipende dalla vita nominale delle opere e dalla classe d'uso della struttura: in particolare per le opere provvisorie è stato assunto  $V_R = 35$  anni, mentre per le opere definitive si è assunto  $V_R = 200$  anni.

## 2.2 Elaborati di riferimento

Di seguito si riporta l'elenco degli elaborati di riferimento:

<b>36 STUDI DI BASE</b>												
<b>36 Caratterizzazione geotecnica</b>												
<b>36 Generale</b>												
36	relazione geotecnica generale	CG0800	P	RB	D	S	SB	C8	G0	00	00	01
36	Relazione sismica generale	CG0800	P	RG	D	S	SB	C8	G0	00	00	01
<b>36 Caratterizzazione geologica</b>												
<b>36 Generale</b>												
36	Relazione geologica generale	CG0800	P	RG	D	S	SB	C6	G0	00	00	01
36	Carta geologica - TAV. 1/4	CG0800	P	N5	D	S	SB	C6	G0	00	00	01
36	Carta geologica - TAV. 2/4	CG0800	P	N5	D	S	SB	C6	G0	00	00	02
36	Carta geologica - TAV. 3/4	CG0800	P	N5	D	S	SB	C6	G0	00	00	03
36	Carta geologica - TAV. 4/4	CG0800	P	N5	D	S	SB	C6	G0	00	00	04
36	Relazione geomorfologica	CG0800	P	RG	D	S	SB	C6	G0	00	00	02
36	Carta geomorfologica - Tav. 1/4	CG0800	P	N5	D	S	SB	C6	G0	00	00	05
36	Carta geomorfologica - Tav. 2/4	CG0800	P	N5	D	S	SB	C6	G0	00	00	06
36	Carta geomorfologica - Tav. 3/4	CG0800	P	N5	D	S	SB	C6	G0	00	00	07
36	Carta geomorfologica - Tav. 4/4	CG0800	P	N5	D	S	SB	C6	G0	00	00	08
36	Relazione idrogeologica	CG0800	P	RG	D	S	SB	C6	G0	00	00	03
36	Carta idrogeologica - Tav. 1/4	CG0800	P	N5	D	S	SB	C6	G0	00	00	09
36	Carta idrogeologica - Tav. 2/4	CG0800	P	N5	D	S	SB	C6	G0	00	00	10
36	Carta idrogeologica - Tav. 3/4	CG0800	P	N5	D	S	SB	C6	G0	00	00	11
36	Carta idrogeologica - Tav. 4/4	CG0800	P	N5	D	S	SB	C6	G0	00	00	12
36	Carta dei dissesti - Relazione generale	CG0800	P	RG	D	S	SB	C6	G0	00	00	04
36	Carta dei dissesti - Tav. 1/4	CG0800	P	N5	D	S	SB	C6	G0	00	00	13
36	Carta dei dissesti - Tav. 2/4	CG0800	P	N5	D	S	SB	C6	G0	00	00	14
36	Carta dei dissesti - Tav. 3/4	CG0800	P	N5	D	S	SB	C6	G0	00	00	15
36	Carta dei dissesti - Tav. 4/4	CG0800	P	N5	D	S	SB	C6	G0	00	00	16

STAZIONI - OPERE CIVILI												
Elementi di carattere generale												
Generale												
Pozzi di Ventilazione - Tipologico di intervento - Carpenteria	CG0800	P	SA	D	S	CS	00	G0	00	00	00	01
Pozzi di Alimentazione LFM ed antincendio - carpenteria, scavi e consolidamenti	CG0800	P	BB	D	S	CS	00	G0	00	00	00	01
Collegamento Galleria di Linea pozzi di ventilazione - Tipologico di intervento - Scavi e consolidamenti	CG0800	P	SB	D	S	CS	00	G0	00	00	00	01
Pozzo di ventilazione - Tipologico di intervento - scavi e consolidamenti	CG0800	P	SA	D	S	CS	00	G0	00	00	00	03
Inquadramento pozzi di ventilazione	CG0800	P	P6	D	S	CS	00	G0	00	00	00	01
Inquadramento pozzo antincendio	CG0800	P	P6	D	S	CS	00	G0	00	00	00	02
Pozzo di ventilazione - tipologico di intervento - Fasi esecutive	CG0800	P	S9	D	S	CS	00	G0	00	00	00	01
Stazione Papardo												
Generale - Opere civili												
Gallerie di Stazione - Carpenterie (TAV 1/2)	CG0800	P	BZ	D	S	CS	1S	G0	00	00	00	01
Gallerie di Stazione - Carpenterie (TAV 2/2)	CG0800	P	BZ	D	S	CS	1S	G0	00	00	00	02
Gallerie di Stazione - Scavi	CG0800	P	SZ	D	S	CS	1S	G0	00	00	00	01
Gallerie di Stazione - Consolidamenti	CG0800	P	SZ	D	S	CS	1S	G0	00	00	00	02
Opere sostegno scavi stazione - Planimetria e sezioni costruttive	CG0800	P	P9	D	S	CS	1S	G0	00	00	00	01
Opere si sostegno scavi stazione - Sviluppata e particolari costruttivi	CG0800	P	SZ	D	S	CS	1S	G0	00	00	00	03
Piante e sezioni strutturali - Carpenterie (TAV 1/8)	CG0804	P	BA	D	S	CS	1S	G0	00	00	00	01
Piante e sezioni strutturali - Carpenterie (TAV 2/8)	CG0804	P	BA	D	S	CS	1S	G0	00	00	00	02
Piante e sezioni strutturali - Carpenterie (TAV 3/8)	CG0804	P	BA	D	S	CS	1S	G0	00	00	00	03
Piante e sezioni strutturali - Carpenterie (TAV 4/8)	CG0804	P	BA	D	S	CS	1S	G0	00	00	00	04
Piante e sezioni strutturali - Carpenterie (TAV 5/8)	CG0804	P	BZ	D	S	CS	1S	G0	00	00	00	01
Piante e sezioni strutturali - Carpenterie (TAV 6/8)	CG0804	P	BA	D	S	CS	1S	G0	00	00	00	05
Piante e sezioni strutturali - Carpenterie (TAV 7/8)	CG0804	P	BA	D	S	CS	1S	G0	00	00	00	06
Piante e sezioni strutturali - Carpenterie (TAV 8/8)	CG0804	P	BA	D	S	CS	1S	G0	00	00	00	07
Inquadramento geologico	CG0800	P	P7	D	S	CS	1S	G0	00	00	00	01
Monitoraggio paratie	CG0800	P	SZ	D	S	CS	1S	G0	00	00	00	04
Relazione tecnica e di calcolo gallerie di Stazione	CG0800	P	CL	D	S	CS	1S	G0	00	00	00	02

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

### 3 Software utilizzati

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza degli elementi strutturali illustrate nella presente relazione sono state condotte mediante i seguenti codici di calcolo:

- PARATIE per Windows, Versione 7.0. Programma per il progetto e la verifica di paratie, CEAS;
- RC-SEC, Versione 2010. Programma per le verifiche di sicurezza delle sezioni in c.a., prodotto dalla GEOSTRU Software (Reggio Calabria);
- PRO SAP (versione PROFESSIONAL 8.0.0 - build 2010-07-152).

Il programma **Paratie** affronta il problema della simulazione di uno scavo sostenuto da diaframmi flessibili attraverso il metodo degli elementi finiti. La schematizzazione del fenomeno fisico è del tipo “Trave su suolo elastico” detto anche terreno alla Winkler.

I diaframmi vengono rappresentati come elementi trave il cui comportamento flessionale è definito dalla rigidità flessionale EJ, mentre il terreno viene simulato attraverso elementi elastoplastici monodimensionali (molle) connessi ai nodi delle paratie.

Con questo modello di calcolo la realizzazione dello scavo sostenuto da paratie tirantate viene seguita in tutte le varie fasi elencate in precedenza. L’analisi con il modello ad elementi finiti è quindi un’analisi “Statica Incrementale”: ogni passo coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una certa quota di scavo, da un certo insieme di tiranti applicati, da una distribuzione di carichi applicati. Poiché il comportamento degli elementi finiti (terreno) è di tipo elastoplastico, ogni step richiede più iterazioni ed ogni configurazione dipende in generale dalle configurazioni precedenti: lo sviluppo di deformazioni plastiche ad un certo step di carico condiziona la risposta della struttura negli step successivi.

I parametri che caratterizzano il modello possono essere distinti in due classi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo  $K_0$ , il coefficiente di spinta attiva  $K_a$  e il coefficiente di spinta passiva  $K_p$ . I parametri di deformabilità del terreno compaiono nella definizione della rigidità delle molle.

Le due componenti di sforzo verticale ed orizzontale vengono intese come sforzi principali. Viene definita una funzione di plasticità dipendente da esse, e la funzione anzidetta determina i confini di una regione entro la quale è determinato lo stato tensionale. A seconda dello stato in cui

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

l'elemento si trova, esso reagisce con differenti caratteristiche di rigidità. Sono possibili tre situazioni:

- Fase elastica: l'elemento si comporta elasticamente; questa fase corrisponde ad una porzione di terreno in fase di scarico-ricarico, sollecitato a livelli di sforzo al di sotto dei massimi livelli precedentemente sperimentati. Questa fase viene identificata con la sigla UL-RL (Unloading-Reloading).
- Fase incrudente: l'elemento viene sollecitato a livelli di tensione mai ancora sperimentati. La fase incrudente è identificata dalla sigla V - C (Virgin Compression).
- Collasso: il terreno è sottoposto ad uno stato di sollecitazione coincidente con i limiti minimo o massimo dettati dalla resistenza del materiale. Questa fase corrisponde a quelle che solitamente vengono chiamate condizioni di spinta attiva o passiva. Il collasso viene identificato attraverso la parola Active o Passive.

Il programma **RC-SEC** distribuito dalla GeoStru Software S.a.s. (RC) è stato utilizzato, per la verifica delle sezioni strutturali in c.a. agli stati limite ultimi e di esercizio.

Il programma tiene conto, nel caso di calcolo sismico, della classe di duttilità richiesta e della posizione della sezione nell'asta (se ricade in zona critica o meno).

Per le verifiche di resistenza (e semiprogetto delle armature) a presso-tenso flessione (retta e deviata) il programma prevede l'uso del diagramma tensioni-deformazione parabola rettangolo per il conglomerato e bilineare per l'acciaio. Nelle verifiche a taglio il software utilizza la nuova metodologia introdotta nella normativa vigente che prevede l'uso dell'inclinazione variabile delle bielle compresse. Nella valutazione della duttilità in curvatura il programma consente di impiegare per il conglomerato confinato un diagramma tensioni deformazioni tipo Kent-Park (parabola crescente + ramo rettilineo decrescente) e per il conglomerato non confinato (copriferro) il diagramma di resistenza non confinato ma con tensione massima pari a quella caratteristica.

Possono essere analizzate sezioni di qualsiasi forma, da quelle più comuni (rettangolari, a T, T doppio, ad L, circolari) a quelle più complesse (a contorno poligonale costituite da uno o più domini di conglomerato, cave, miste).

Le sezioni possono essere verificate anche secondo la nuova versione dell'Eurocodice 2 (UNI EN 1992-1-1).

È inoltre sempre possibile calcolare contemporaneamente la medesima sezione col metodo delle tensioni ammissibili secondo le norme tecniche del DM LLPP 14.02.92.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 4 Inquadramento generale delle opere di prima fase della stazione

La stazione ferroviaria Papardo è prevista in corrispondenza della Pk 3+374.517 del binario dispari e della Pk 3+401.59 del binario pari.

Il metodo costruttivo individuato dalla Scrivente per la realizzazione dell’opera in oggetto è il “**Top-Down**”. Tale metodologia risulta essere, tra le altre, la più adeguata per affrontare la realizzazione di scavi in ambiente urbano, sia in termini di tempi di realizzazione (ragionevoli tempi di esecuzione dell’opera) sia di impatto sulle preesistenze (controllo e limitazione dei cedimenti indotti in superficie).

L’opera verrà realizzata entro uno scavo a pareti verticali la cui stabilità ed impermeabilità, è assicurata da paratie a pannelli in c.a., di dimensioni 250cm x 120cm aventi altezze fuori terra di circa 34.0m e lunghezze di infissione di 15.0m, e dai solai interni che, in fase provvisoria, esplicano la necessaria azione di contrasto dei diaframmi mentre, in fase definitiva, costituiscono gli orizzontamenti delle strutture interne di stazione.

All’interno dello scavo, per ridurre le luci libere dei solai, sono previsti due allineamenti di diaframmi in c.a. dello spessore di 80cm e della lunghezza totale di 54.0m disposti secondo le indicazioni fornite negli specifici elaborati grafici di progetto.

Dopo aver realizzato i pannelli perimetrali ed interni, si procede allo scavo di ribasso alternato con il getto dei solai in c.a., disposti su più livelli secondo le geometrie riportate sugli elaborati grafici, fino al raggiungimento della quota prevista per il fondo scavo.

Più in dettaglio, le opere afferenti la stazione Papardo possono essere suddivise in:

- a) **Opere di prima fase:** che consistono in:
  - Opere i sostegno degli scavi: costituite da paratie in c.a., formate da pannelli rettangolari 250cm x120cm.
  
- b) **Strutture interne:** costituite dal solettone di fondo in c.a. con spessore di 200cm, dai solai interni di 60cm, dalle pareti di controfodera aventi spessore minimo pari a 130cm. Per i dettagli si rinvia agli specifici elaborati di progetto.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

#### 4.1 Fasi realizzative della stazione

La realizzazione della stazione in questione prevede l'esecuzione dei seguenti interventi:

1. Acquisizione delle aree di cantiere (eventuale deviazione del traffico locale) e installazione del cantiere. In questa fase si provvederà allo spostamento di servizi pubblici interferenti, eventualmente, con gli scavi;
2. consolidamento dall'alto delle gallerie adiacenti alla stazione;
3. protezione alveo fiumara
4. scavo di ribasso fino alla quota prevista per l'esecuzione dei diaframmi in c.a.;
5. realizzazione delle travi guida per l'esecuzione dei diaframmi in c.a.;
6. esecuzione dei diaframmi, di larghezza utile 250cm e di spessore 120cm (pannelli perimetrali) e 80cm (pannelli centrali), con scavo, posa in opera di armatura e getto del calcestruzzo;
7. realizzazione delle travi di testata dei diaframmi;
8. passaggio della fresa;
9. scavo della stazione con metodo Top-Down: getto dei solai e scavo per singoli ribassi fino alla quota solettone di fondo e getto delle contropareti in risalita;
10. getto delle solette di fondo in c.a.: prima del getto del solettone di fondo si dovrà realizzare uno strato di cls magro di pulizia; successivamente verrà posta in opera l'impermeabilizzazione;
11. realizzazione delle controfodere perimetrali, previa posa dell'impermeabilizzazione, e delle strutture interne;
12. ripristino della viabilità locale.

#### 4.2 Esecuzione dei pannelli di diaframmi

Come anticipato nei precedenti capitoli, la stazione in esame è interamente realizzata con il sistema “Top-down”; il sostegno delle pareti dello scavo, lungo tutto il perimetro della stazione, è ottenuto con diaframmi in calcestruzzo armato, di spessore 1,2 m e lunghezza di 49.0m, realizzati con “benna a mordente”. Di seguito viene riportata un breve descrizione della tecnologia impiegata.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

#### 4.2.1 Breve descrizione della Tecnologia

Per la realizzazione degli scavi dei pannelli dei diaframmi (o paratie di pali) si possono distinguere diverse tipologie di macchina legate essenzialmente alla classe di lavorabilità del terreno: le classi di lavorabilità sono, a loro volta, legate alle caratteristiche di resistenza del terreno.

A tale scopo i terreni sono classificati come segue:

- Classe 1: terreni con coesione drenata compresa da 5 -10 KPa quali sabbie, torba, limo asciutto e ghiaia asciutta;
- Classe 2 : terreni con coesione drenata compresa tra 10 – 20 KPa quali argille umide, limo bagnato, ghiaia umida;
- Classe 3 : terreni con coesione drenata compresa tra 20 – 150 KPa quali argille asciutte, calcare, arenaria e roccia tenere in genere.

Conseguentemente in funzione di ogni classe di terreno si dovranno prevedere accorgimenti diversi nella scelta dell'opportuna attrezzatura.

In genere ogni benna è composta da :

- a) un corpo benna in acciaio elettrosaldato;
- b) un carrello di azionamento delle bielle;
- c) due bielle esterne di azionamento delle valve;
- d) un paranco con carrucole;
- e) una testa automatica per aggancio e sgancio benna in azionamento monofune, oppure un bilanciamento per azionamento bi-fune;
- f) un collare porta valve e due valve.

**Figura 5- Tipologie di benne**

All'interno del corpo benna scorre, in apposite guide, un carrello di spinta al quale sono incernierate, tramite due perni, due bielle che servono per l'azionamento delle valve.

Tale carrello è azionato da un sistema di carrucole che permettono di operare con tiro in sesta fune; nella parte inferiore è applicato un collare porta valva tramite bulloni.

Per il loro peso, la particolare geometria delle valve ed il tiro del paranco in sesta fune, le benne possono operare anche in terreni particolarmente difficili; qualora per particolari caratteristiche del terreno sia necessario scalpellare, si dovrà lavorare in doppia fune con il bilancino al posto della testa automatica di aggancio facendo cadere la benna a valve aperte da altezze modeste.

Le benne per paratie con sospensione a fune e chiusura a fune sono in generale utilizzate per la loro robustezza e l'accurata verticalità di scavo che permettono di raggiungere. Le moderne benne sono caratterizzate da valve e stabilizzatori laterali intercambiabili; le valve, che possono essere di sezione rettangolare o semicircolare per l'impiego di giunti o tubi a spalla, sono completata da denti intercambiabili e da espulsione del terreno di risulta. Le benne sono generalmente libere in fase di scavo, fuori dallo stesso, sono guidate da un guida telescopica dotata di un dispositivo di rotazione; quest'ultimo consente di sia di ridurre i tempi di manovra durante le fasi di carico e scarico, sia di facilitare il posizionamento dell'attrezzatura all'inizio del lavoro.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

8. Terminata la realizzazione di una zona di diaframmi, si procederà alla scapitozzatura ed al getto della trave di testata / solaio di copertura.

### 4.3 Esecuzione dei consolidamenti

Il progetto della stazione prevede l'utilizzo trattamenti in jet-grouting per la realizzazione dei tamponi di arrivo e partenza TBM. La funzione affidata al jet-grouting è duplice: miglioramento delle caratteristiche meccaniche dei volumi interessati e drastica riduzione della permeabilità degli stessi.

#### Descrizione della tecnologia

Il trattamento jet-grouting consiste nella realizzazione di un rimescolamento del terreno naturale con miscele leganti acqua-cemento immerse con getti ad alta pressione, attraverso ugelli posti su opportuni “monitor” posizionati alla base delle aste di perforazione. L'azione della miscela cementizia potrà essere coadiuvata da getti di aria e/o acqua.

In funzione del numero di fluidi (miscela cementizia, acqua, aria) che contemporaneamente vengono utilizzati sono state sviluppate diverse tecnologie.

La sequenza base di esecuzione del trattamento è la seguente:

- preparazione del piano di lavoro;
- perforazione utilizzando le aste di iniezione (diametro usuale 60-90 mm.) o con rivestimento
- (diametro 100-200 mm.). Come fluido di perforazione si utilizza acqua, fango bentonico, miscela cementizia, aria o altri materiali a seconda delle esigenze.
- (solo nel caso di uso del rivestimento) posa delle aste di iniezione all'interno del rivestimento con parziale o totale sua estrazione.
- esecuzione del trattamento con rotazione ed estrazione delle aste e contemporanea iniezione ad alta pressione della miscela cementizia (30÷50 MPa) e di un getto coassiale di aria (0.6÷1.2 MPa) avente la funzione di incrementare il raggio d'azione e favorire l'allontanamento del materiale di spurgo.

#### Modalità di perforazione

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Il metodo di perforazione verrà scelto in base alla natura prevalente del terreno, alle condizioni generali del sito ed alle specifiche di progetto per quanto riguarda la lunghezza e l'eventuale inclinazione dei fori.

La perforazione deve essere eseguita direttamente tramite la batteria di aste che successivamente verranno utilizzate per l'iniezione, attrezzate con una testa (“monitor”) autopercorante.

L'avanzamento avverrà a rotazione (preferibile nei terreni a granulometria medio-fine) mentre solo in presenza di terreni incoerenti grossolani o comunque in presenza di blocchi lapidei, si potrà far uso della rotopercolazione che però richiede attrezzature più ingombranti.

La scelta della sonda sarà fatta in modo da avere comunque il minor numero di manovre necessarie per realizzare l'intera colonna. Questo per una maggiore rapidità di esecuzione e per ridurre al minimo la possibilità di tappare gli ugelli ogni volta che si interrompe il flusso e di creare discontinuità.

Il metodo di perforazione utilizzato (attrezzature e diametro foro) dovrà essere tale da consentire, successivamente, durante il trattamento di jet-grouting, la continua risalita del materiale di spurgo.

#### Iniezione in risalita

Una volta raggiunta la profondità di progetto, si procederà al trattamento di iniezione ad alta pressione, attraverso gli ugelli laterali del monitor, realizzando così la colonna di terreno consolidato.

In tale fase la batteria verrà ruotata ed estratta con velocità variabili in funzione delle caratteristiche dei terreni da trattare e del diametro da ottenere. La regolazione della velocità di estrazione e di rotazione delle aste dovrà essere regolata automaticamente da un sistema idraulico collegato ad un temporizzatore, che determini una risalita continua, o quantomeno a scatti uniformi (3÷5 cm) a intervalli prestabiliti. Il passo dovrà comunque garantire un trattamento continuo. Dovranno essere previsti opportuni accorgimenti per consentire la rilevazione diretta della velocità di rotazione e di risalita.

#### Miscela di iniezione

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

I componenti ed i dosaggi atti a soddisfare le esigenze di progetto possono essere definiti con criteri meno selettivi rispetto al caso delle iniezioni convenzionali. Per quanto riguarda le proprietà reologiche iniziali, la viscosità sarà abbastanza contenuta per consentire un efficace trattamento di adeguata estensione. Nei problemi di consolidamento si potrà usare una semplice sospensione cementizia, scegliendo il rapporto acqua/cemento (normalmente in una gamma fra 0.7 e 1.5) in base alle proprietà meccaniche da ottenere e tenendo conto di vari altri fattori quali: la granulometria e la permeabilità del terreno in ogni caso, il grado di umidità nelle formazioni coesive di bassa permeabilità, la quantità media di miscela in rapporto al volume di terreno trattato.

Nelle formazioni granulari permeabili è da prevedersi un considerevole effetto di drenaggio contrariamente al caso di terreni coesivi di bassa permeabilità. L'aggiunta di un prodotto stabilizzante come la bentonite sarà necessario per ridurre il drenaggio nei terreni granulari quando l'obiettivo principale è la riduzione della permeabilità.

Nel caso si debba operare in condizioni di falde in movimento è opportuno l'uso di additivi “antidilavanti” che riducono il dilavamento della miscela iniettata.

Se saranno necessari tempi di maturazione brevi sarà consentito l'utilizzo di acceleranti (nei casi più comuni si può utilizzare del calcio cloruro in dosi dal 2% al 4%).

Infine, per incrementare la resistenza finale e ridurre il tempo per l'indurimento si potrà aumentare il rapporto cemento/acqua, utilizzare dei cementi ad alta resistenza e rapido indurimento.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 5 Inquadramento Geologico – Geotecnico

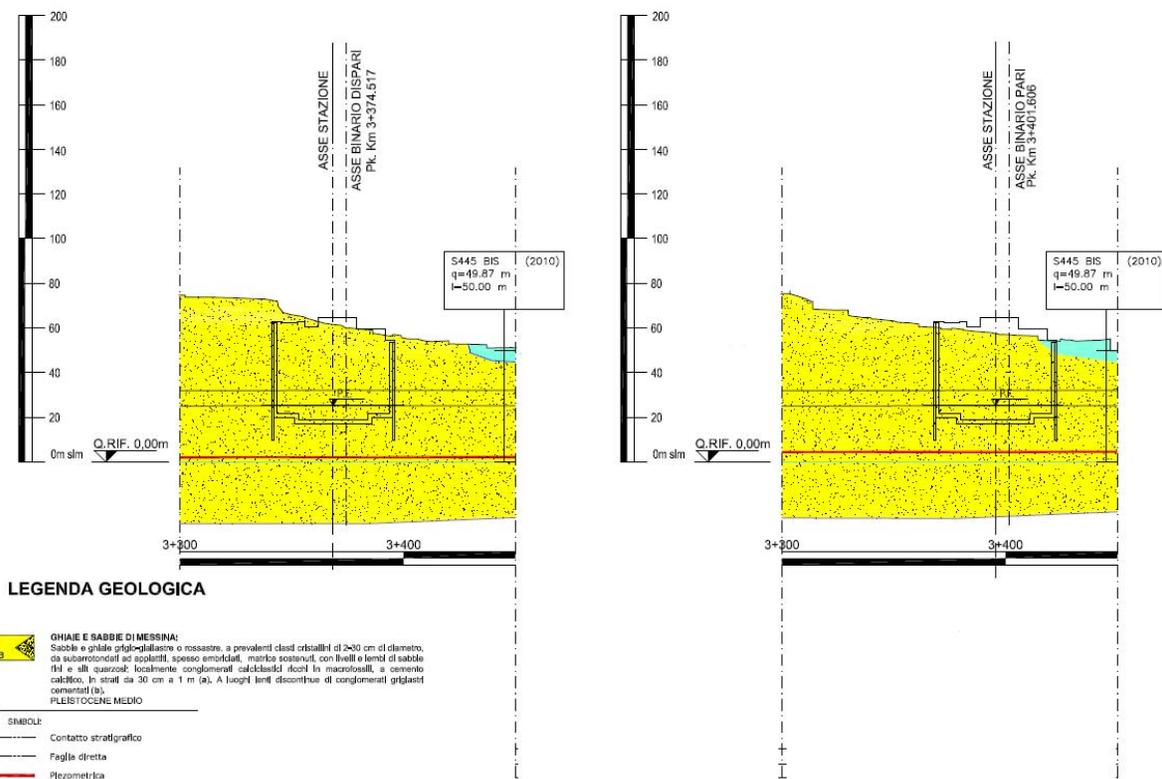
### 5.1 Descrizione delle litologie

La litologia prevalente è costituita dalla formazione delle Sabbie e Ghiaie di Messina.

I materiali in oggetto sono granulometricamente descritti come ghiaie e ciottoli da sub arrotondati ad appiattiti con matrice di sabbie grossolane.

Si rilevano strati di ghiaie cementate, come si evidenzia nei rilievi effettuati nelle aree di imbocco della galleria stradale Faro Superiore; in questi rilievi la ghiaia si presenta più o meno debolmente cementata e molto addensata. Lo scheletro si presenta costituito da ghiaie e ciottoli eterometrici arrotondati ed appiattiti.

La falda non risulta interferente con le opere, come si evince dagli elaborati grafici (si faccia riferimento a ST0138- “Inquadramento Geologico”).



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 5.2 Indagini previste

I sondaggi di riferimento per la presente tratta sono S104 (campagna del 1992), S445 e S445bis (campagna del 2010).

La categoria di suolo sismico (secondo N.T.C. 2008) risulta di categoria **C** (S445bis -  $N_{SPT30} = 42$ ).

Le prove localmente utilizzate nella caratterizzazione sono:

### Sabbie e Ghiaie di Messina

- Prove granulometriche (sondaggio S445) ;
- SPT (sondaggi S104, S445, S445bis) ;
- prove pressiometriche (sondaggio S445);
- 2 prove Le Franc (sondaggio S445bis).

## 5.3 Caratterizzazione geotecnica

### **Sabbie e ghiaie di Messina**

In questa tratta la formazione si presenta, dalle prove SPT analizzate, in egual misura composta da sabbie e ghiaie con densità relative di che sembrerebbero diminuire con la profondità mostrando uno stato di addensamento medio.

Con riferimento al fuso medio si ha che:  $d_{50}=0.55\text{mm}$ ,  $d_{60}=1\text{mm}$  e  $d_{10}=0.07\text{mm}$ . le percentuali medie di ghiaia, sabbia e limo sono rispettivamente di 31%, 51%, 14%.

- **Dr**: i valori di  $N_{spt}$  sono stati corretti con il fattore correttivo  $C_{sg}=0.85$  corrispondente al  $d_{50}=0.55\text{mm}$ .
- **$e_o$** : a partire dal  $d_{50}$  stimato si ottiene di  $e_{max}-e_{min}$  pari a 0.34. Stimando per  $e_{max}$  un valore pari a 0.7 a partire dai valori di  $Dr$  è stato possibile determinare i valori di  **$e_o$**  in sito. Il valore di  **$e_o$**  determinato in funzione di  $z$ , risulta pari a  $0.5\div 0.6$  nei primi 7m e a  $0.4\div 0.5$  sotto i 7m.
- **$\gamma_d$**  : in base a tali valori di  **$e_o$**  e da  $\gamma_s$  si può stimare  $\gamma_d = 18\div 20\text{KN/m}^3$ ;
- **$K_0$** : si considera la relazione di Mesri (1989) per tenere conto degli effetti di “aging”.

I primi 30 m sembrerebbero maggiormente addensati soprattutto nella porzione sabbio-ghiaiosa.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

<b>Dr(%) Sabbie e ghiaie</b>	<b>Dr(%) Componente sabbiosa prevalente</b>	$\phi'_p$ (pff=0-272KPa) (°)	$\phi'_p$ (pff=272-350KPa) (°)	$\phi'_{cv}$ (°)	<b>K<sub>0</sub></b>
60-80	z=0÷7m 30-60 z>7m 60-80	36-38 37-42	35-37	33-35	0.4-0.5

I valori operativi dei parametri di resistenza di picco, per z>7m, possono porsi uguali a

$$c'=0$$

$$\phi'=38^\circ-40^\circ$$

Per quanto riguarda i parametri di deformabilità  $G_0$  ed  $E_0$ , dalle correlazioni di prove SPT, si ha:

$$G_0 = 35 z^{0.65}$$

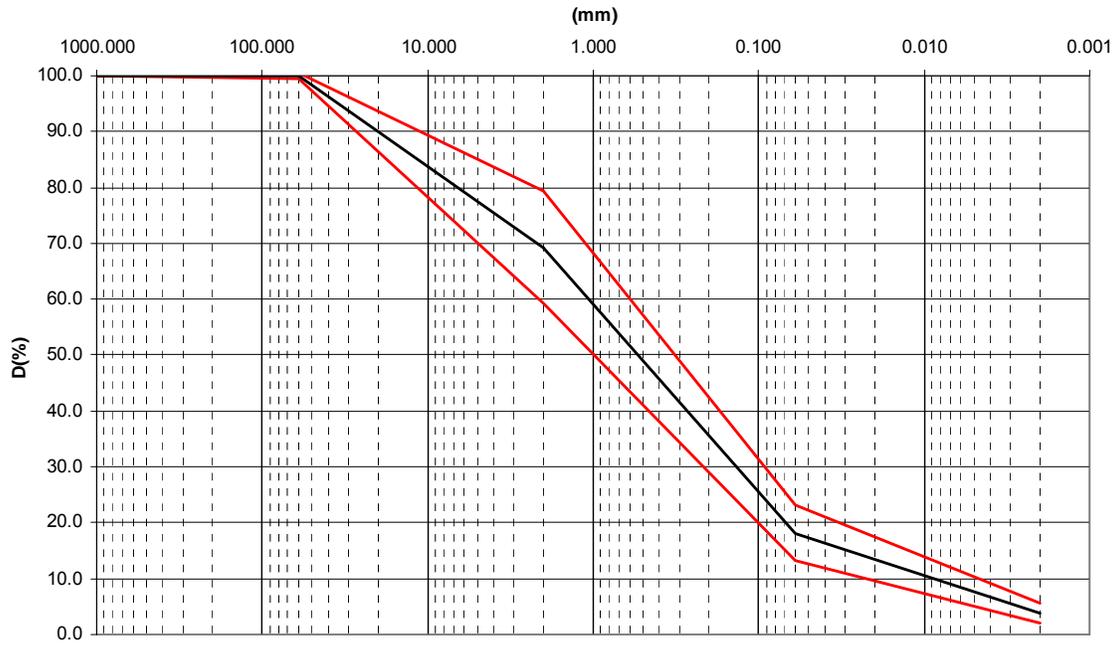
$$E_0 = 84 z^{0.65}$$

$$E' = (11 \div 28) z^{0.65}$$

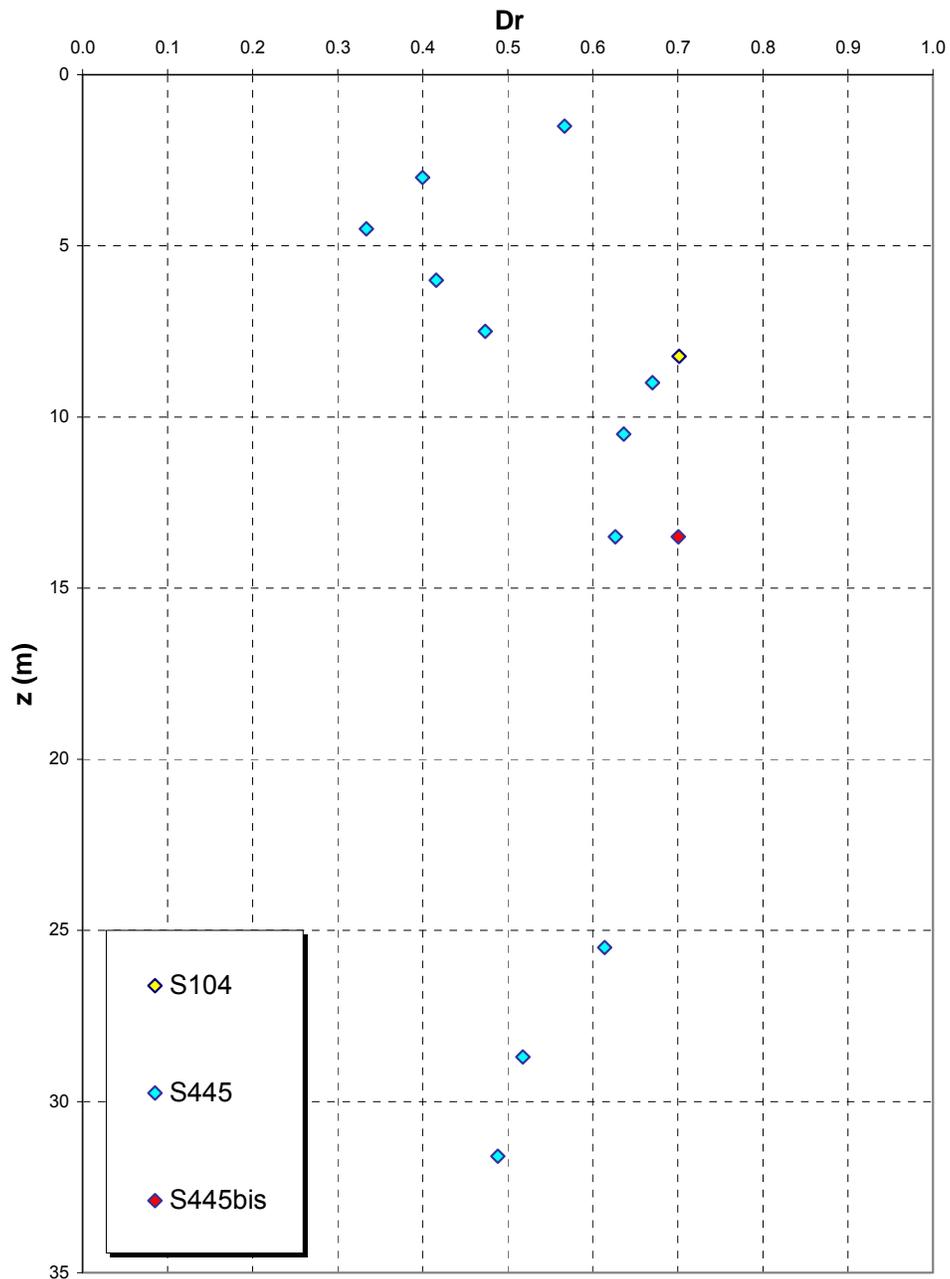
con  $E'$  pari rispettivamente a circa 1/10÷1/5 (medie e grandi deformazioni) ed a 1/3 (piccole deformazioni) di quelli iniziali.

I corrispondenti valori operativi di  $E'$  non risultano in buon accordo con quelli che si ottengono dalle prove pressiometriche (S445bis) che, pur rappresentando il comportamento a medie deformazioni, evidenziano spesso valori più alti (380-800MPa rispettivamente a 25 e 35m da p.c.).

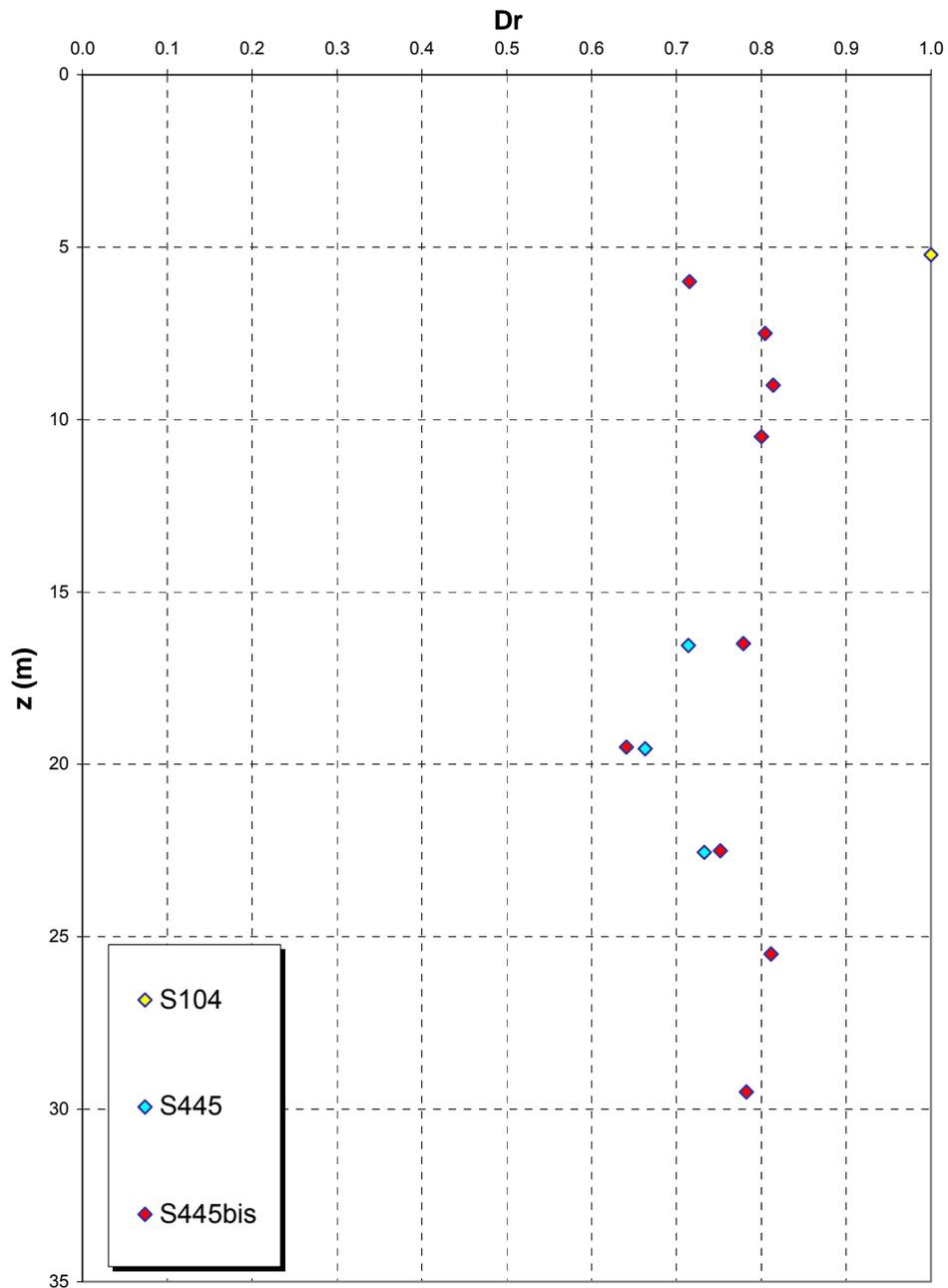
**Sabbie e ghiaie di Messina**



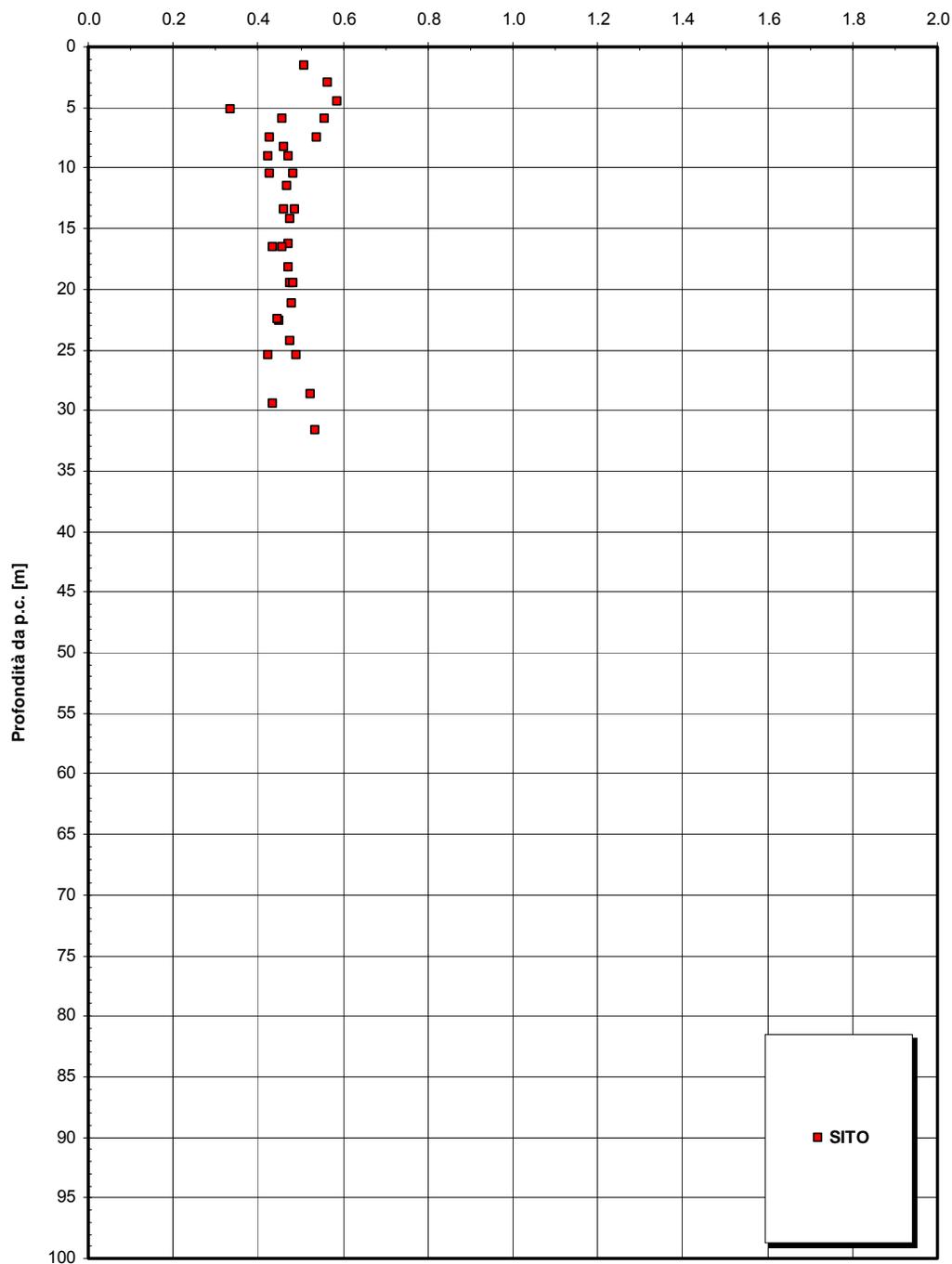
**Dr Skempton (1986)**  
**Componente sabbiosa prevalente**  
**SABBIE E GHIAIE DI MESSINA**

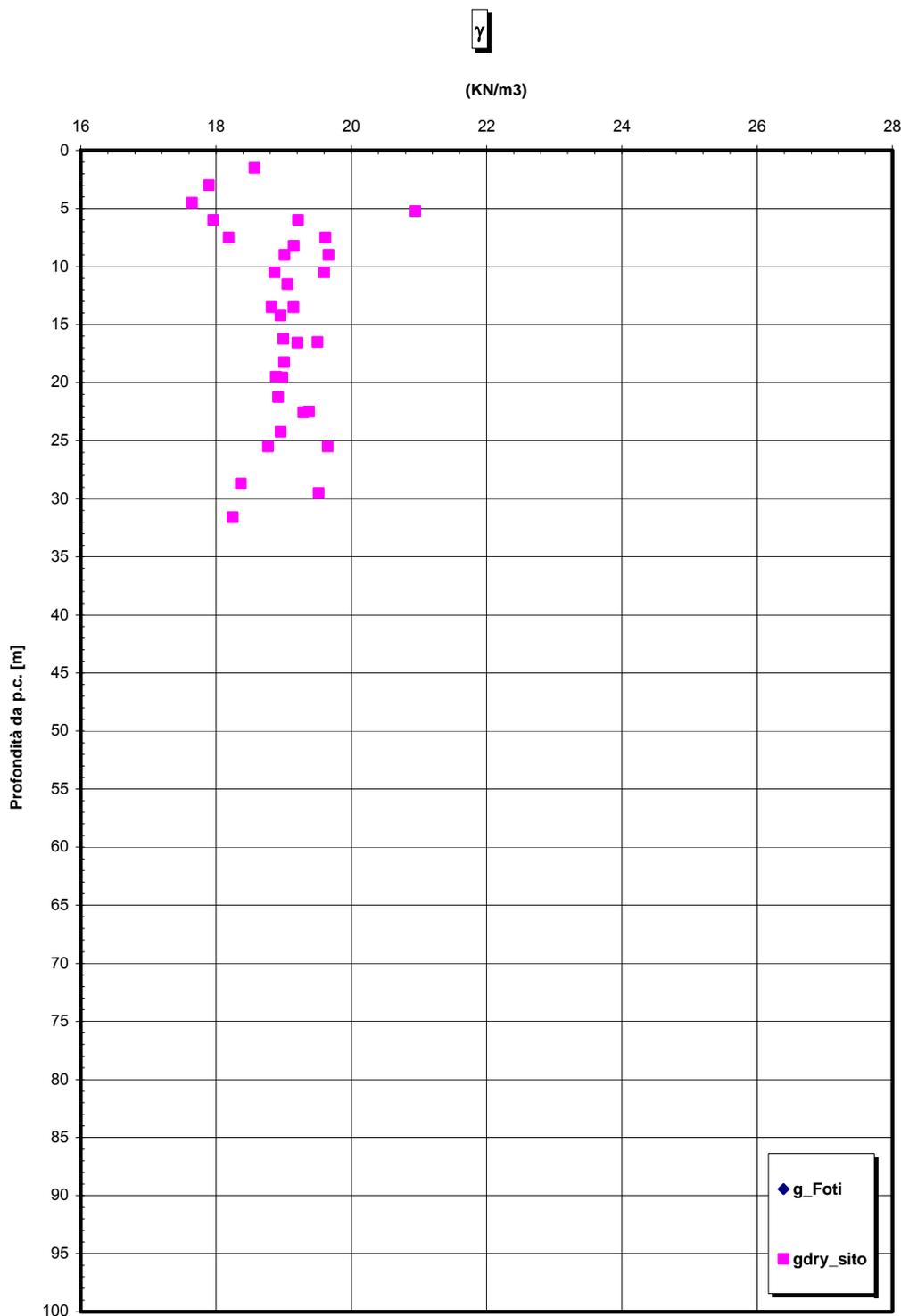


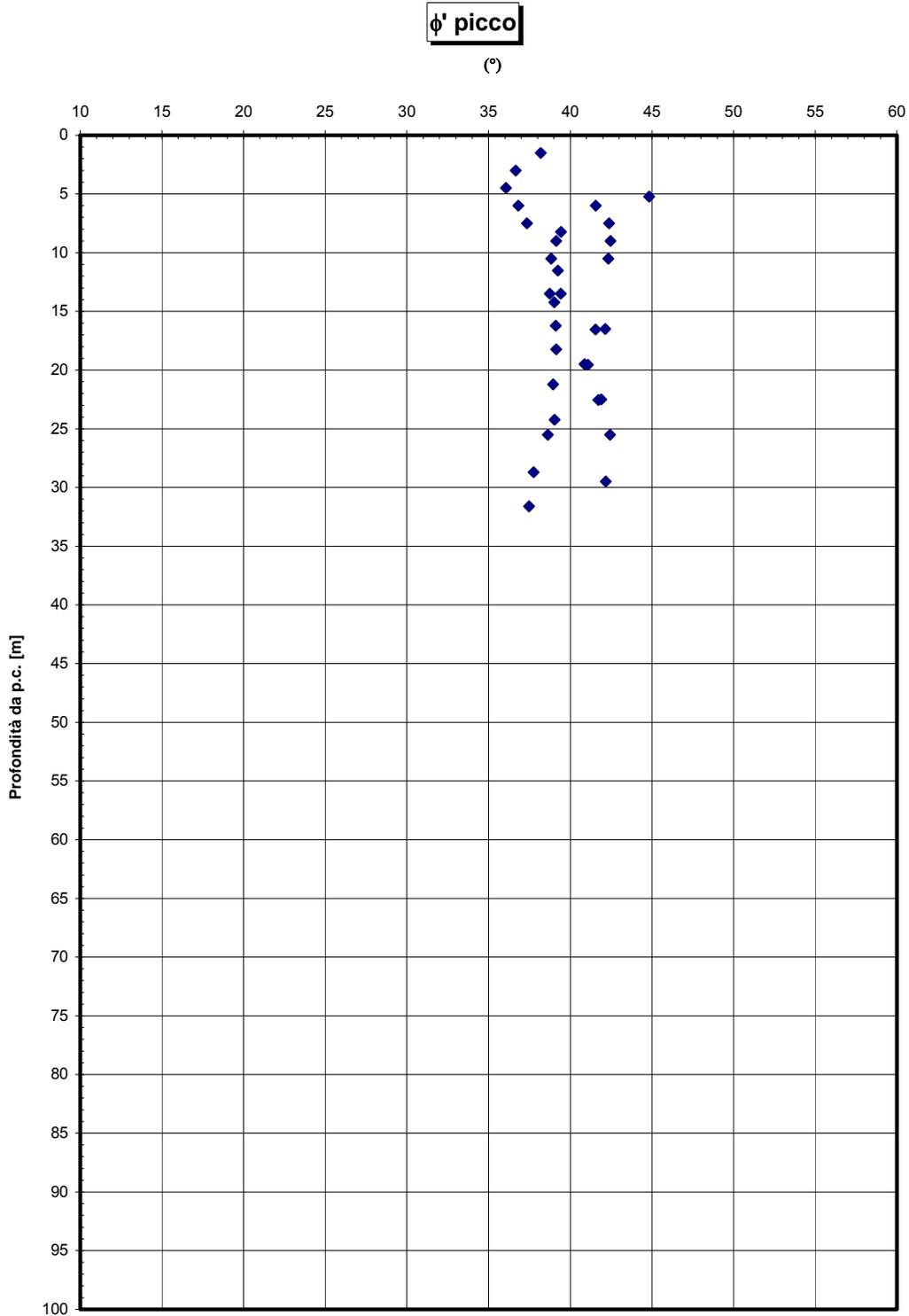
**Dr Cubrinovski e Ishihahara (1999)**  
**Componente ghiaiosa e sabbiosa**  
**SABBIE E GHIAIE DI MESSINA**



eo

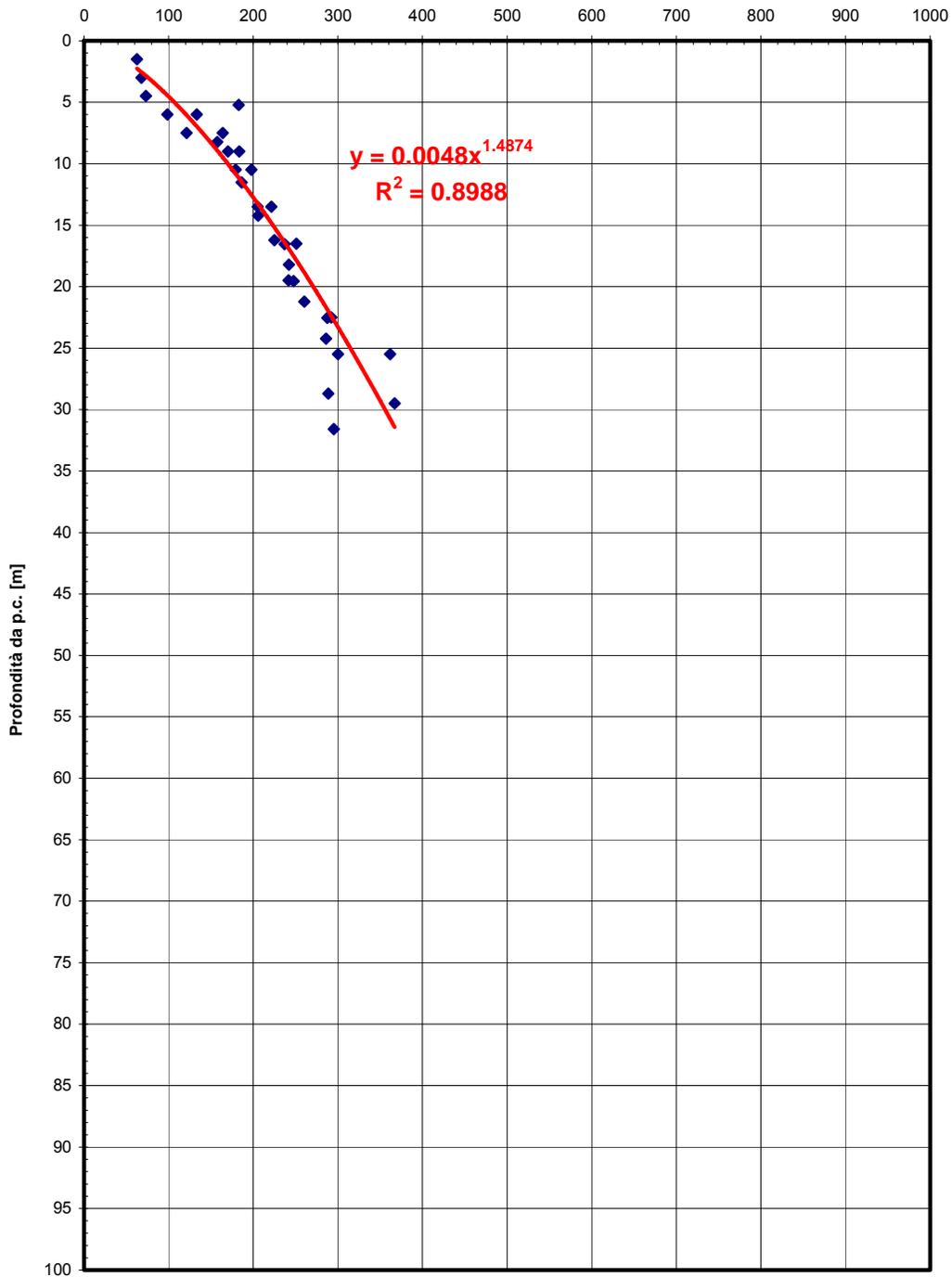




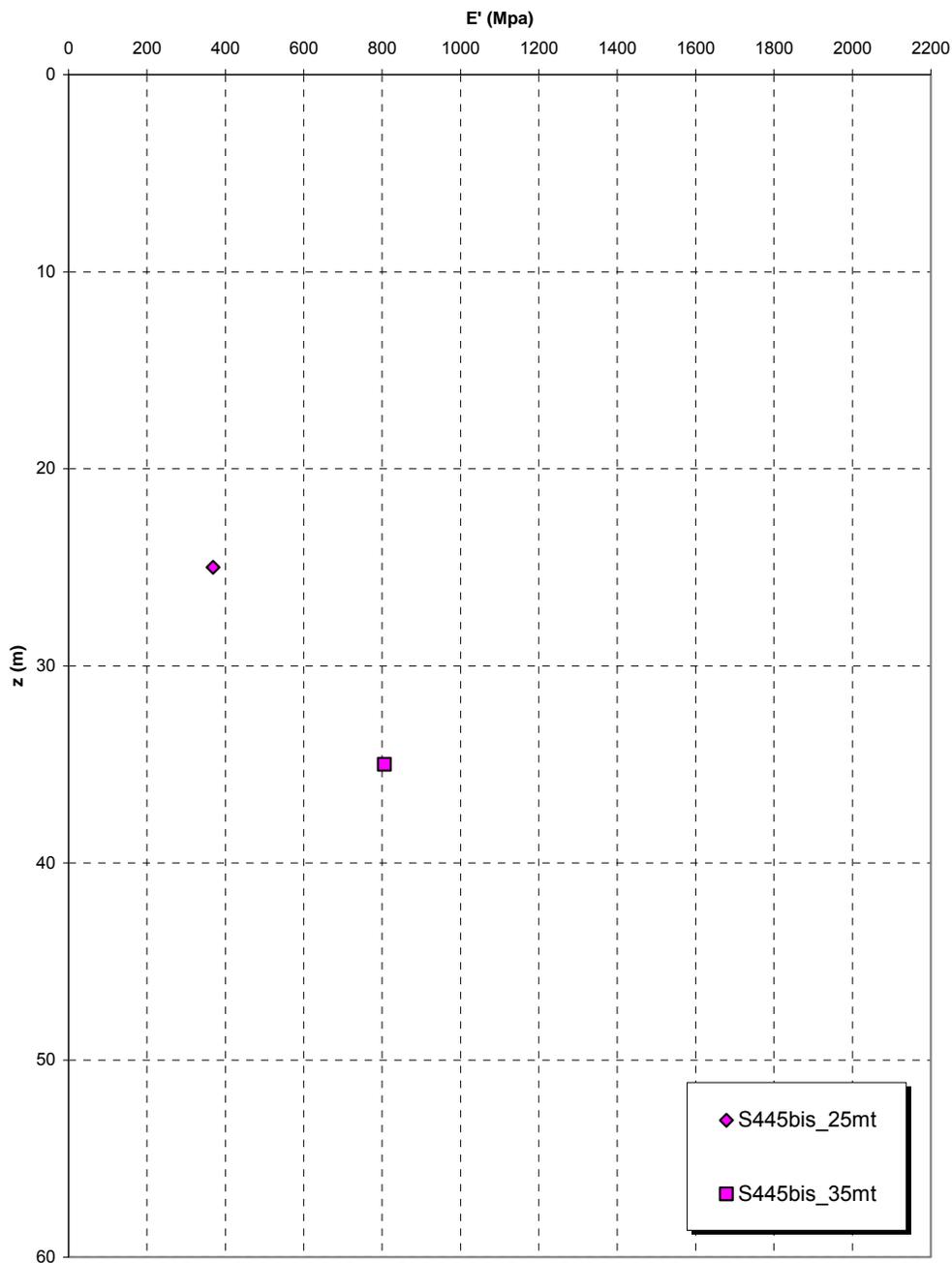


**Go spt**

(MPa)



Prove pressiometriche  
SABBIE E GHIAIE DI MESSINA



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 6 Caratteristiche dei materiali

Per la progettazione dell’opera in oggetto si prevede l’impiego dei seguenti materiali, le caratteristiche meccaniche sono state valutate secondo le indicazioni contenute nella normativa di riferimento:

### 6.1 Paratie di prima fase

*Calcestruzzo per diaframmi (laterali e centrali) e travi di testata* : C 28/35

*Magrone* : C 12/15

*Spritz – beton* :  
 Resistenza media su carote 48h > 15MPa  
 Resistenza media su carote 28gg > 25 MPa

*Acciaio Armature (\*)* B450C  
 $f_{yk} = 450 \text{ MPa}$   
 $f_{tk} = 540 \text{ MPa}$

*Acciaio da carpenteria Metallica tipo S 355 (profilati a sezione cava):*  
 $f_{yk} = 355 \text{ MPa}$   
 $f_{tk} = 510 \text{ MPa}$   
 $E = 210000 \text{ MPa}$

*Acciaio per piastre:* S 355  
 $f_{yk} = 355 \text{ MPa}$   
 $f_{tk} = 510 \text{ MPa}$

*Acciaio armonico per tiranti:* trefoli stabilizzati da 0.6”  
 $f_{ptk} \geq 1860 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{p(1)k} \geq 1670 \text{ N/mm}^2$

*Impermeabilizzazione* :  
 telo in PVC spessore 8mm  
 geotessuto (TNT in propilene puro al 100%)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

(\*) In alternativa all'acciaio, per le armature dei diaframmi che saranno interessati da successive demolizioni per l'esecuzione degli scavi delle gallerie, potranno essere poste in opera barre di vetroresina al fine di facilitare le operazioni di rimozione delle strutture demolite e di ridurre gli oneri economici derivanti da questa lavorazione. L'impiego delle barre in vetroresina dovrà essere conseguente ad un calcolo di dimensionamento dell'equivalenza statica fra gli elementi d'armatura realizzati con i due diversi materiali.

## 6.2 Strutture interne

**Cls C16/20** per sottofondi e riempimenti:

### *Caratteristiche di resistenza*

Resistenza cilindrica	$f_{ck} = 16 \text{ MPa}$
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = 9 \text{ MPa}$
Modulo di elasticità	$E = 28608 \text{ MPa}$

### *Caratteristiche fisiche*

Dimensione massima nominale inerti	30 mm
Classe di esposizione ambientale	X0
Classe di consistenza	S3

**Cls C30/37** per opere strutturali in c.a. tradizionale:

### *Caratteristiche di resistenza*

Resistenza cilindrica	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = 17 \text{ MPa}$
Modulo di elasticità	$E = 32837 \text{ MPa}$

### *Caratteristiche fisiche*

Dimensione massima nominale inerti	30 mm
Classe di esposizione ambientale	XC1/XC2
Classe di consistenza	S3
Massimo rapporto acqua/cemento	0.55
Aggregati	non gelivi, D. max 30 mm
Copriferro minimo	5.0 cm

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

**Cls C35/45** per opere strutturali miste acciaio-calcestruzzo:

*Caratteristiche di resistenza*

Resistenza cilindrica	$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = 19.8 \text{ MPa}$
Modulo di elasticità	$E = 34077 \text{ MPa}$

*Caratteristiche fisiche*

Dimensione massima nominale inerti	20 mm
Classe di esposizione ambientale	XC1/XC2
Classe di consistenza	S4
Massimo rapporto acqua/cemento	0.50
Aggregati	non gelivi, D. max 16 mm
Copriferro minimo	5.0 cm

**Acciaio B450C controllato in stabilimento** per le armature delle opere in calcestruzzo:

*Caratteristiche*

Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$
Modulo di elasticità	$E = 210000 \text{ MPa}$

**Acciaio Fe510 B** per carpenteria metallica:

*Caratteristiche*

Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$
Modulo di elasticità	$E = 210000 \text{ MPa}$

### 6.3 Classi di esposizione Ambientali

Ai fini della durabilità dei materiali si è fatto utile riferimento alle “*Linee guida su calcestruzzo preconfezionato, calcestruzzo strutturale ad alta resistenza e calcestruzzo strutturale*” della Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Servizio Tecnico Centrale, come previsto al par. 11.2.11 delle vigenti *Norme tecniche*.

Le classi di esposizione relative all’opera in esame, in funzione delle condizioni ambientali presunte, sono riportate nella seguente tratta dalla Tabella 3 delle Linee guida della Presidenza del

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0140_F0	Rev F0	Data 20-06-2011

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici:

Denominazione della classe	Descrizione dell’ambiente di esposizione	Esempi di condizioni ambientali
XC1	Secco	Interni di edifici con umidità relativa molto bassa
XC2	Bagnato, raramente secco	Interni di edifici con umidità da moderata ad alta; calcestruzzo
XA2	Aggressività moderata acque (per attacco chimico)	Da Tab. 9 Linee guida CSLP
XS1	Esposizione alla salsedine marina ma non in contatto diretto con l’acqua di mare	Strutture sulla costa o in prossimità

**Tabella 3-Classi di esposizione ambientali da linee guida C.S.L.P.**

Si è ritenuto ragionevolmente cautelativo, in fase di progettazione definitiva, assumere per la zona in esame un grado di aggressività (attacco chimico) delle acque moderato. Le precedenti classi di esposizione sono correlate, in particolare, alle strutture costituenti l’opera secondo quanto sintetizzato nella seguente tabella:

Elemento strutturale	Classe di esposizione del cls
Diaframmi, trave di testata e opere controterra	XC2 + XA2
Soletta di fondo, copertura	XC2 + XA2+XS1 <sup>(°)</sup> (°) solo per strutture esterne
Strutture interne (fodere)	XC1

**Tabella 4- classi esposizione ambientale adottate per il progetto delle strutture**

Alla luce delle classi di esposizione precedentemente descritte, attraverso la seguente tabella (tratta dalla tab. 4.1.III del D.M. 14/01/2008):

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0140_F0	Rev F0	Data 20-06-2011

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

**Tabella 5- classi esposizione ambientale da DM 14/01/2008**

le condizioni ambientali ai fini della protezione contro la corrosione possono essere suddivise, per le strutture in esame, secondo quanto indicato:

Elemento strutturale	Condizioni ambientali ai fini della protezione contro la corrosione
Diaframmi, trave di testata e opere controterra	Aggressive
Soletta di fondo, copertura	Aggressive
Strutture interne (fodere)	Ordinarie

**Tabella 6 – Condizioni ambientali assunte per le verifiche delle strutture**

Attraverso la seguente classi di esposizione si sono indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione, secondo quanto indicato nel D.M. 14/01/2008, in funzione delle condizioni ambientali precedentemente descritte in tabella.

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	$w_d$	Stato limite	$w_d$
a	Ordinarie	frequente	ap.fessure	$\leq w_2$	ap.fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap.fessure	$\leq w_1$	ap.fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap.fessure	$\leq w_1$	ap.fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap.fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap.fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap.fessure	$\leq w_1$

**Tabella 7- Aperture limite delle fessure secondo NTC 2008**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 7 Paratie di prima fase

### 7.1 Analisi numeriche e verifiche di sicurezza

Nel presente capitolo vengono dettagliate l'origine e le caratteristiche dei modelli numerici impiegati per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione agenti sulle opere di prima fase della stazione in oggetto e le relative verifiche di sicurezza degli elementi strutturali secondo le disposizioni della vigente normativa.

In particolare, è stata individuata una sezione di calcolo ritenuta maggiormente significativa sia per le condizioni geometriche (altezze fuori terra dei diaframmi) che per quelle geologico-geotecniche (litologie differenti). Con riferimento a tale sezione sono state condotte le analisi numeriche in condizioni di deformazione piana (per metro lineare di parete) per la valutazione delle sollecitazioni sui diaframmi nelle differenti combinazioni delle azioni esaminate, utilizzando il codice di calcolo agli elementi finiti Paratie, che consente di simulare le fasi costruttive previste per la realizzazione dell'opera.

Sulla base dei risultati di tali analisi, sono state svolte le relative verifiche di sicurezza agli SLU ed agli SLE adottando il software RC-SEC.

Di seguito vengono descritte le modalità con cui sono state condotte le modellazioni numeriche delle strutture ed i risultati delle verifiche di sicurezza maggiormente significative.

### 7.2 Descrizione del modello di calcolo

Il calcolo delle sollecitazioni sui diaframmi è stato effettuato impiegando il programma *Paratie v. 7.0* che, nello studio dell'interazione terreno struttura, consente la simulazione delle fasi costruttive della stazione.

La stratigrafia di progetto ed i parametri geotecnici dei terreni sono riassunti nella successiva tabella.

La falda è stata assunta, cautelativamente, coincidente con il piano di scavo, ad una profondità di 34m dal p.c.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Litotipo	Quote da p.c. [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\varphi$ [°]	$E'_{vc}$ [MPa]	$E'_{ur}$ [MPa]
Sabbie e ghiaie di Messina	0 - ...	19	0	38	100 $(\sigma'_h/100)^{0.6}$	2.0 $E'_{vc}$

**Tabella 8- Parametri geotecnici e stratigrafia di progetto adottati nelle analisi**

$\gamma$  = peso dell'unità di volume

$c'$  = coesione efficace

$\varphi$  = angolo di resistenza al taglio

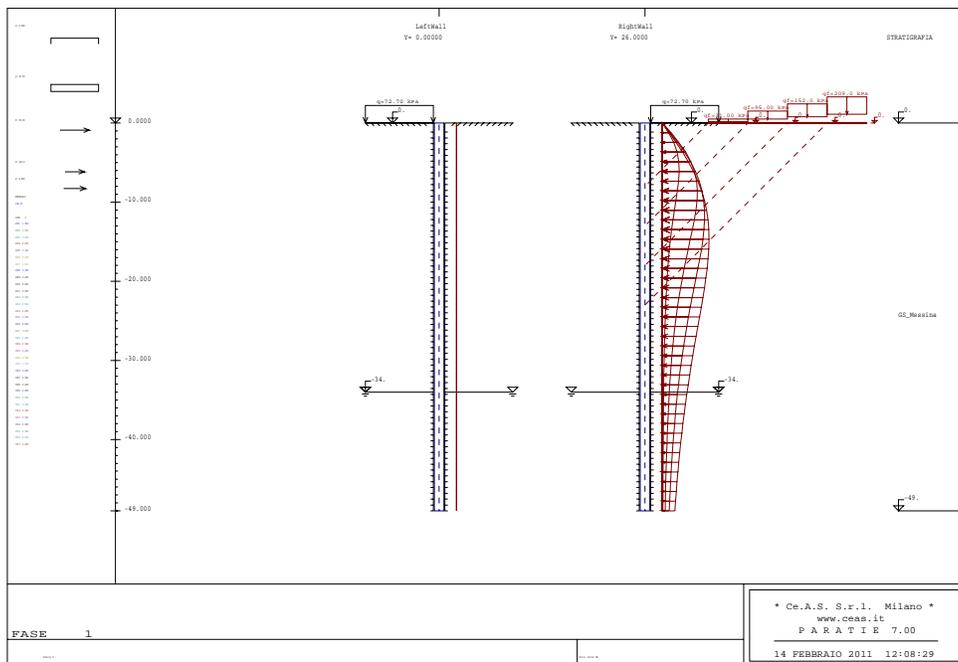
$E'_{vc}$  = modulo di Young in compressione vergine

$E'_{ur}$  = modulo di Young in scarico-ricarico

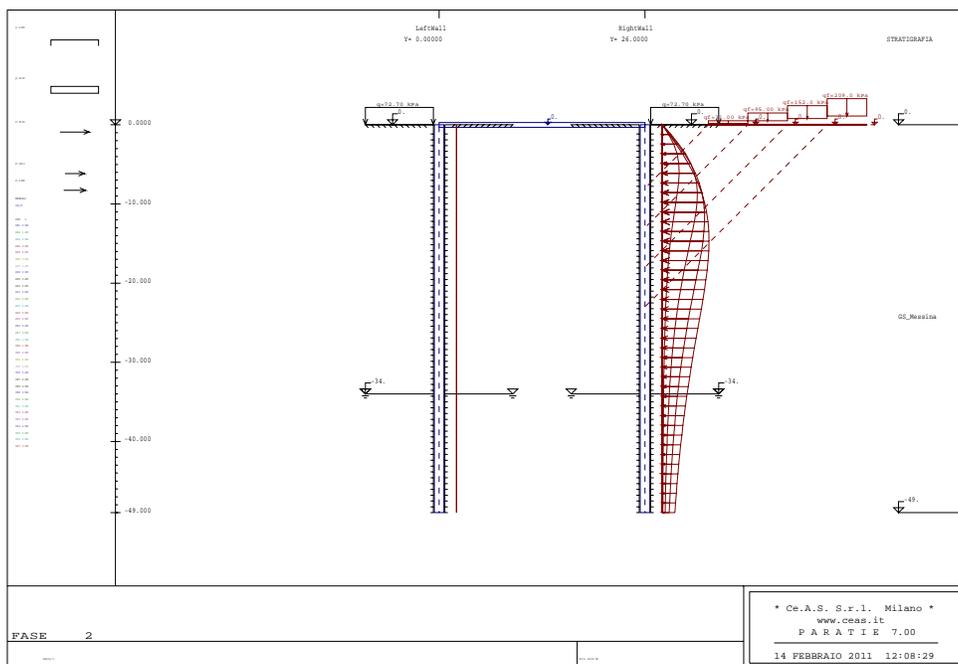
Le fasi di calcolo impostate per il dimensionamento dei diaframmi possono essere di seguito riassunte:

1. Realizzazione diaframmi
2. Getto solaio a +54.53m s.l.m.
3. Scavo a -4.8m dal p.c.
4. Getto solaio a +49.73m s.l.m.
5. Scavo a -9.6m dal p.c.
6. Getto solaio a +44.93m s.l.m.
7. Scavo a -14.4m dal p.c.
8. Getto solaio a +40.13m s.l.m.
9. Scavo a -19.2m dal p.c.
10. Getto solaio a +35.33m s.l.m.
11. Scavo a -24.0m dal p.c.
12. Getto solaio a +30.53m s.l.m.
13. Scavo a -28.8m dal p.c.
14. Getto solaio a +25.73m s.l.m.
15. Scavo a -34.0m dal p.c.
16. Getto Solaio di Fondazione
17. Sisma

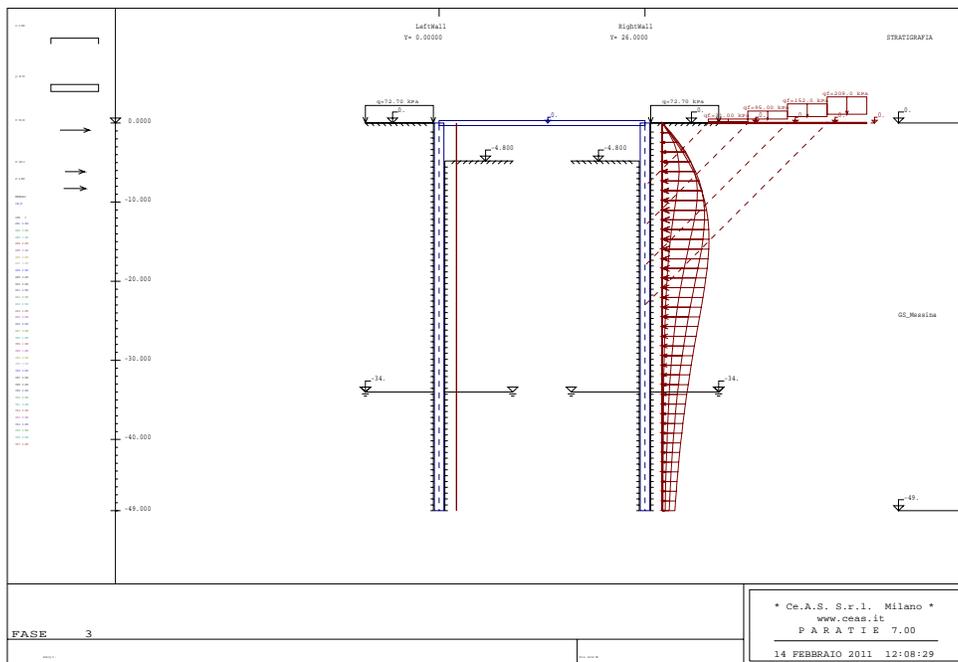
Di seguito si riportano i grafici rappresentativi degli step di calcolo impostati.



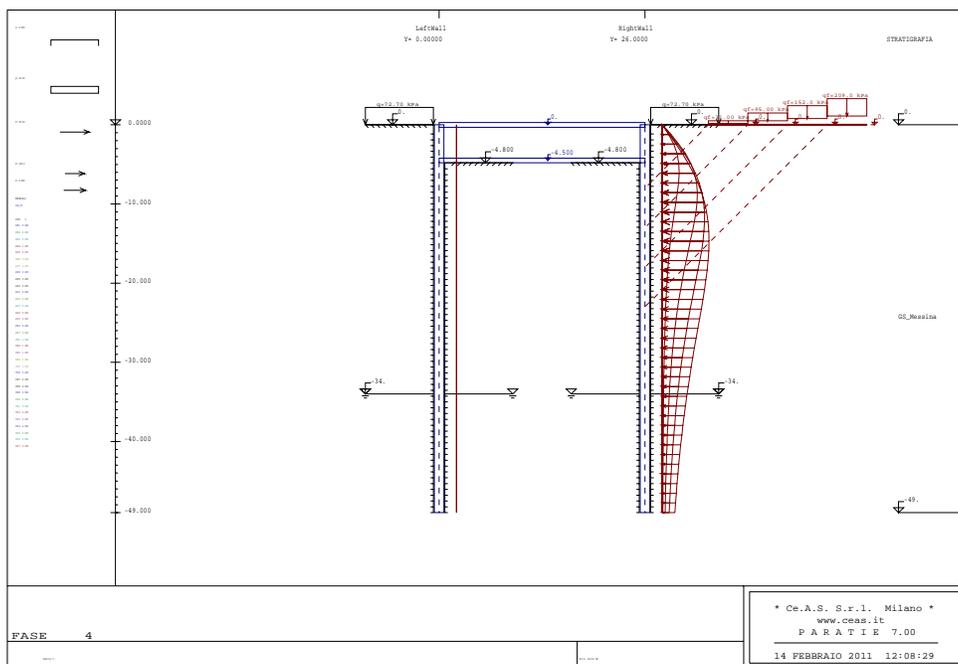
**Figura 7 - Fase 1: Realizzazione diaframmi**



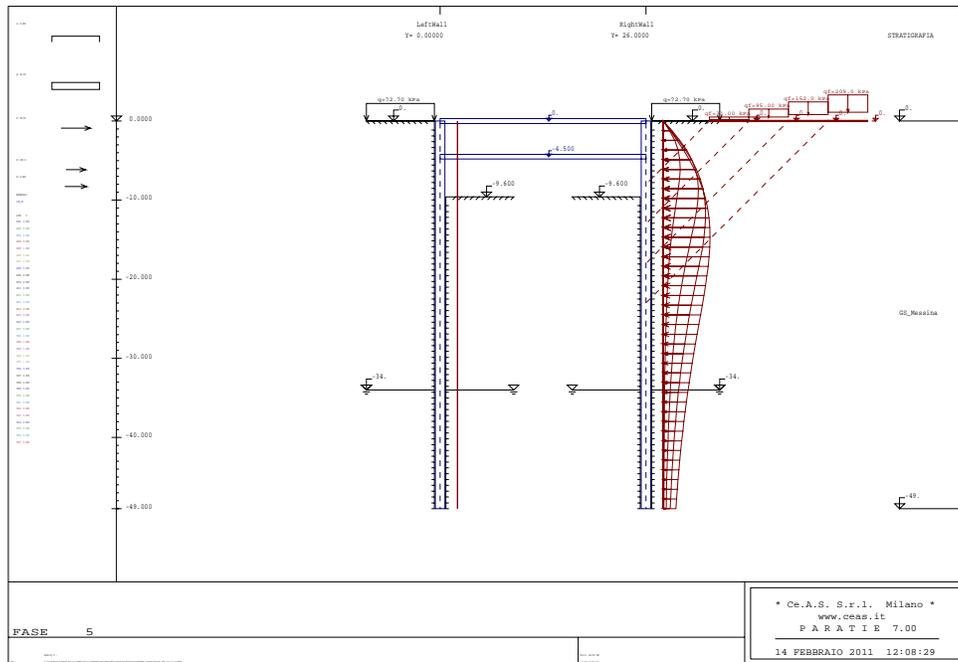
**Figura 8 - Fase 2: Getto solaio a +54.53m s.l.m.**



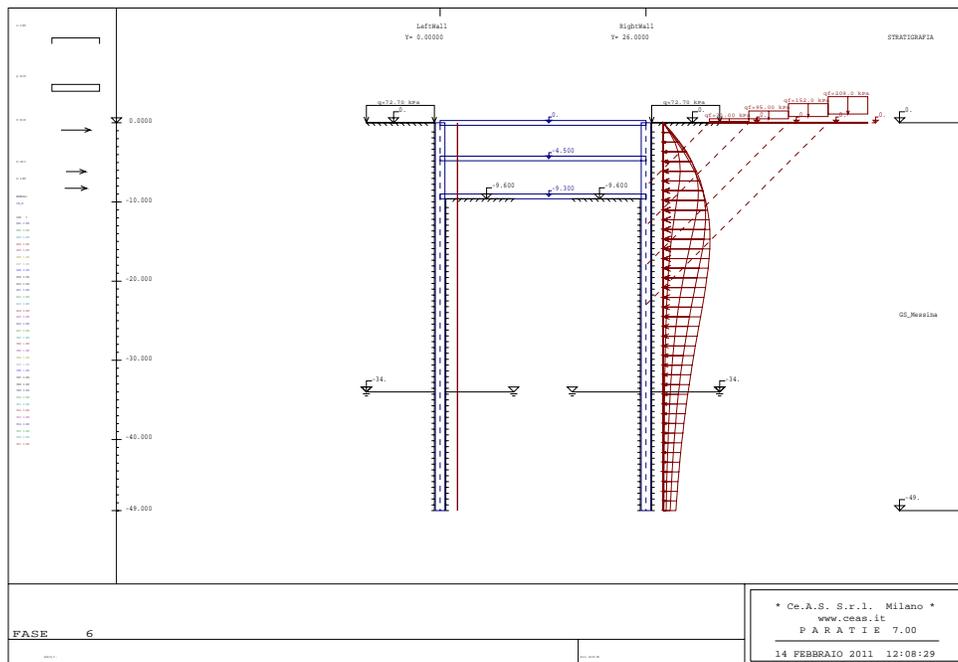
**Figura 9- Fase 3: Scavo a -4.80m dal p.c.**



**Figura 10 - Fase 4: Getto solaio a +49.73m s.l.m.**

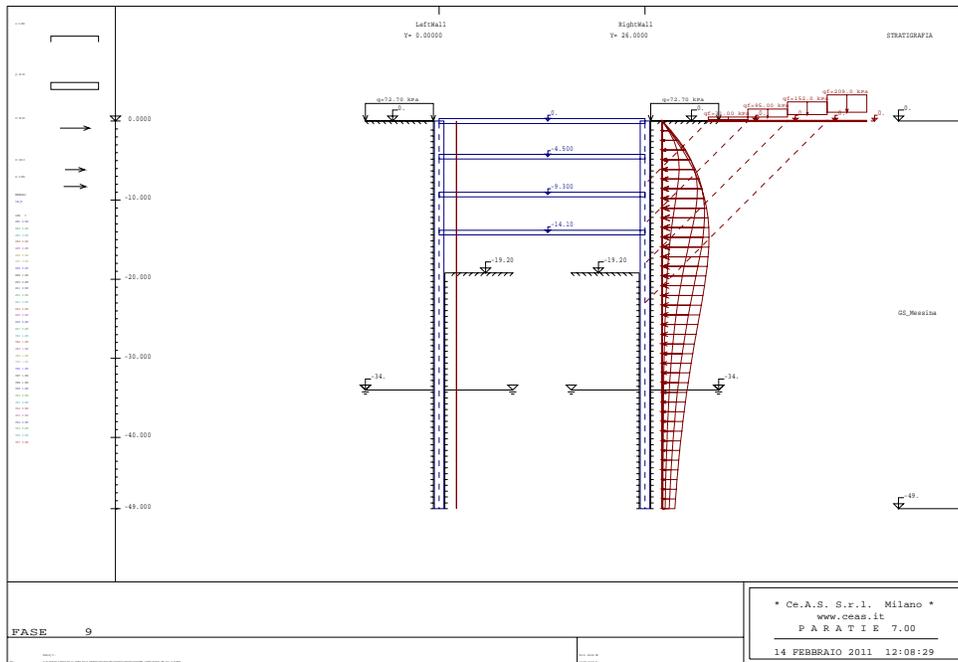


**Figura 11- Fase 5: Scavo a -9.60m dal p.c.**

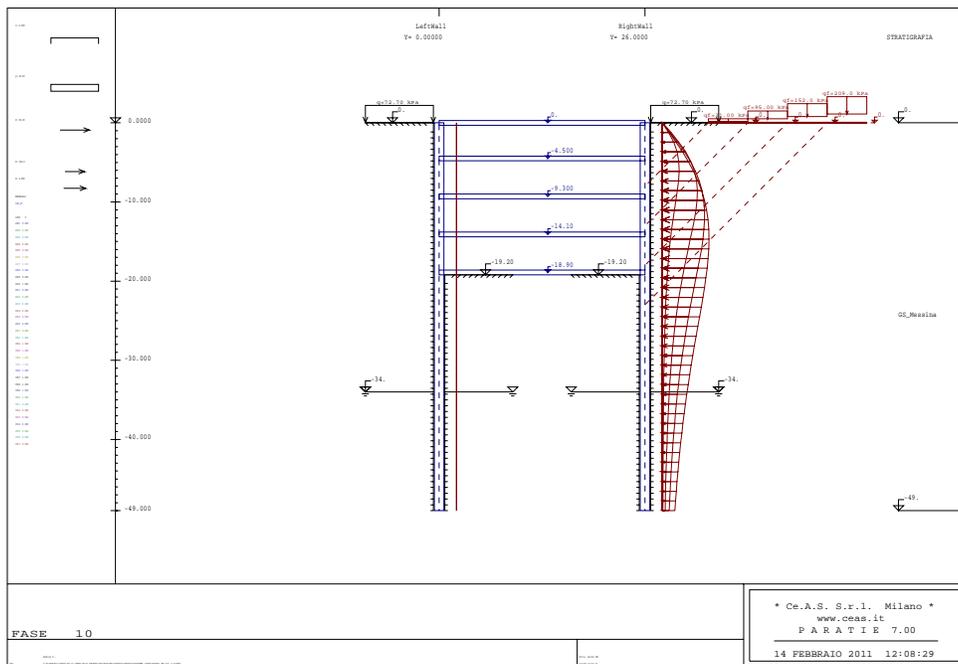


**Figura 12 - Fase 6: Getto solaio a +44.93m s.l.m.**



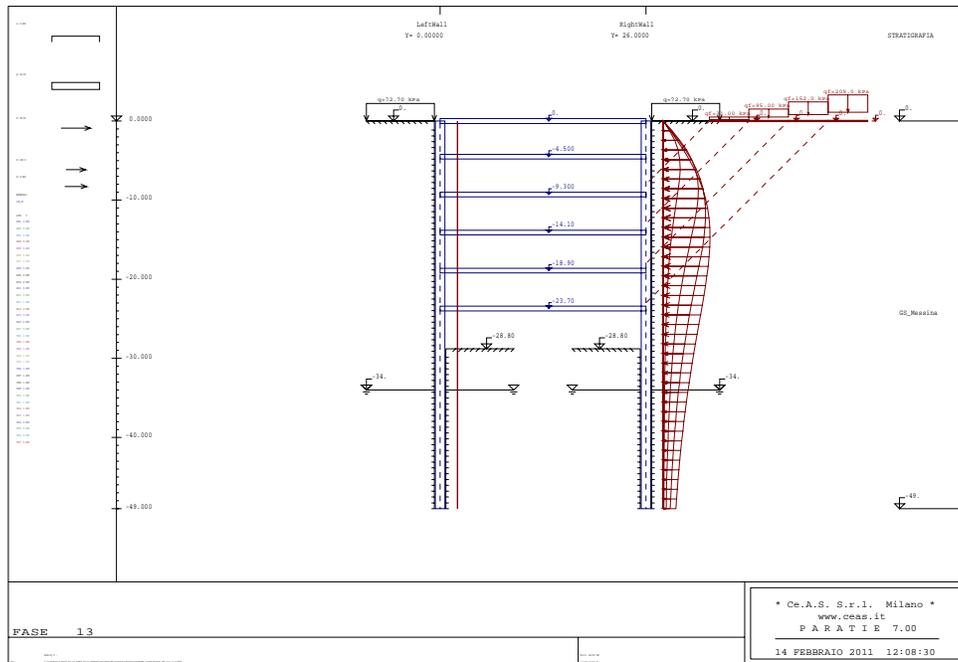


**Figura 15- Fase 9: Scavo a -19.20m dal p.c.**

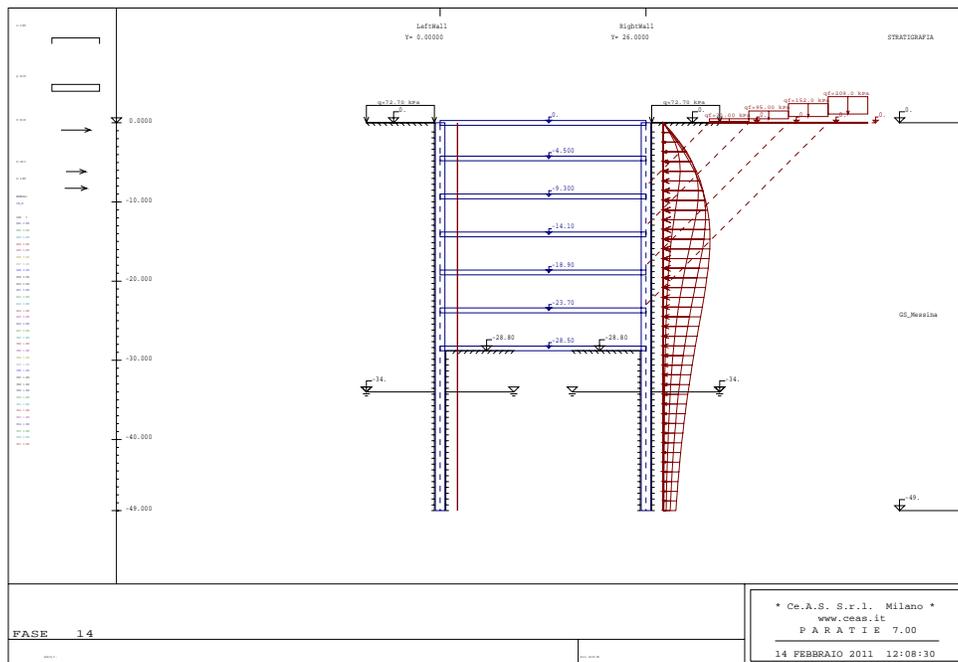


**Figura 16 - Fase 10: Getto solaio a +35.33m s.l.m.**

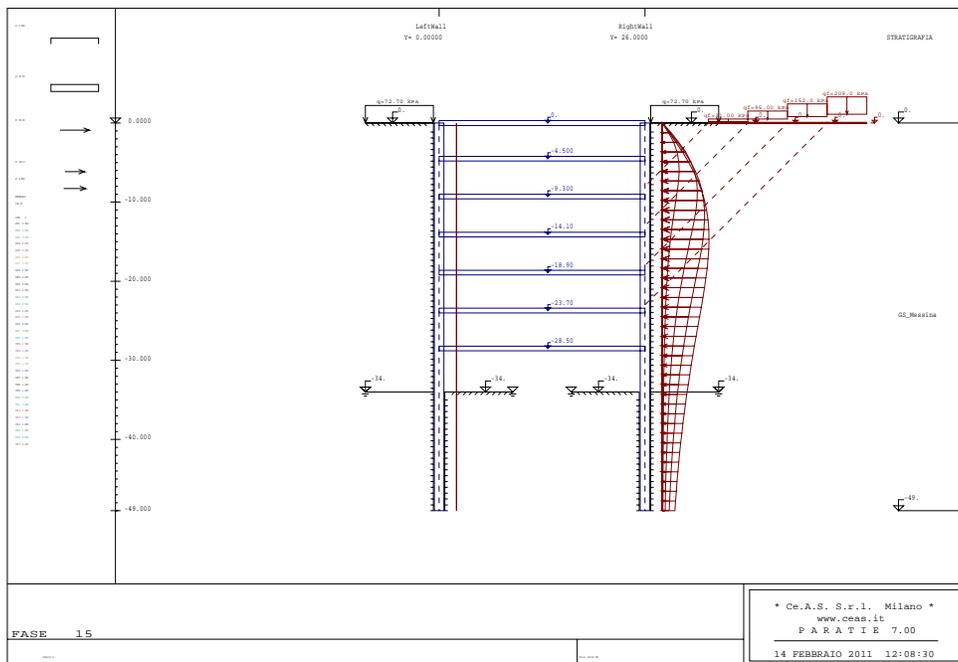




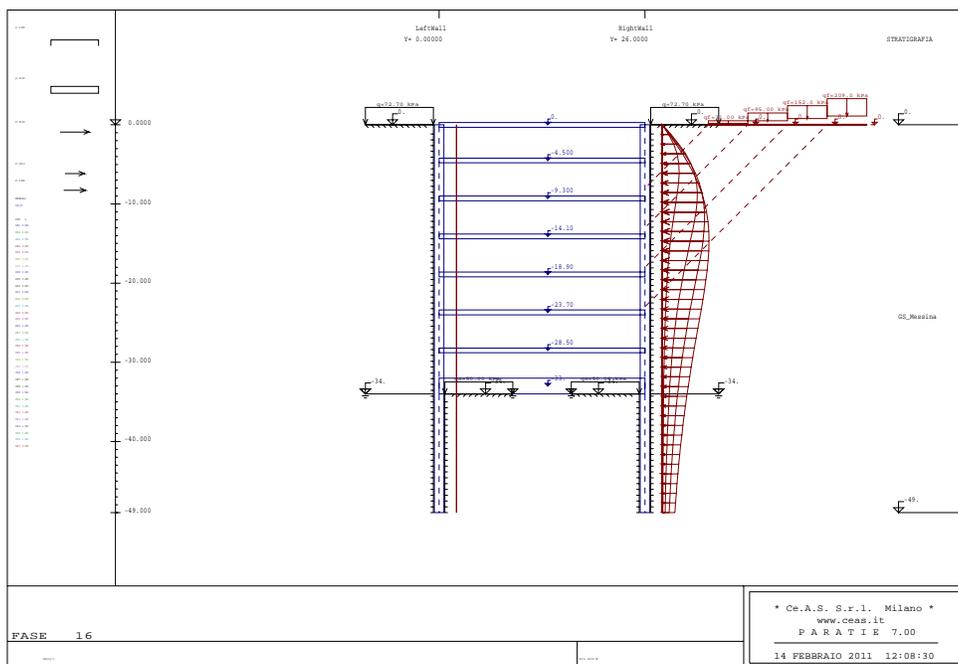
**Figura 19- Fase 13: Scavo a -28.80m dal p.c.**



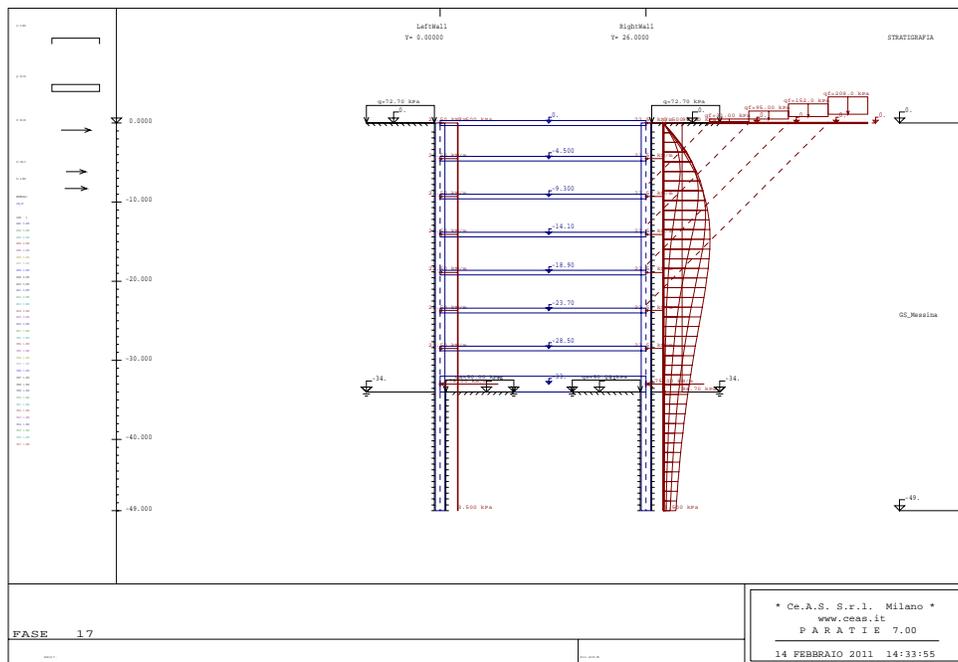
**Figura 20 - Fase 14: Getto solaio a +25.73m s.l.m.**



**Figura 21- Fase 15: Scavo a -34.00m dal p.c.**



**Figura 22 - Fase 16: Getto solaio di fondazione**



**Figura 23- Fase 17: Sisma**

### 7.3 Definizione e combinazioni delle azioni

Le azioni di progetto che gravano sulle strutture in esame previste nelle analisi numeriche sono costituite da:

- ✓ Spinta dei terreni in condizioni statiche
- ✓ Pressioni esercitate dall'acqua di falda, dove pertinenti
- ✓ Azioni accidentali
- ✓ Incremento sismico di spinta dei terreni
- ✓ Azioni inerziali delle strutture in fase sismica

Di seguito si riportano la definizione delle azioni di progetto e le combinazioni impiegate per le successive verifiche di sicurezza.

#### 7.3.1 Combinazioni delle azioni

In accordo con quanto definito dalle NTC 14.01.2008, per le verifiche nei confronti degli Stati Limite Ultimi Strutturali (**STR**) e Geotecnici (**GEO**) sia in fase statica che sismica, è stato adottato l'**Approccio 1** in cui si impiegano due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali rispettivamente definiti per le azioni (A), per la resistenza dei materiali (M) e per la resistenza

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

globale del sistema (R).

Nella seguente tabella sono indicati i valori dei **coefficienti parziali delle azioni (A)** assunti per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli SLU, come prescritto nel D.M. 2008.

		Coefficiente $\gamma_F$	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali: <sup>(1)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup>Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

**Tabella 9 - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU**

essendo:

- $\gamma_{G1}$  coefficiente parziale del peso proprio della struttura, nonché del peso proprio del terreno e dell'acqua, quando pertinenti;
- $\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- $\gamma_{Qi}$  coefficiente parziale delle azioni variabili.

Oltre ai coefficienti parziali indicati nelle colonne (A1) e (A2) sono stati considerati, per la condizione sismica, coefficienti parziali  $\gamma_f$  unitari (1) secondo quanto indicato nel paragrafo 3.2.4 del D.M. 14/01/2008.

Per la valutazione delle spinte dei terreni sono stati adottati i **coefficienti parziali riduttivi M** dei parametri dei terreni specificati nella successiva tabella.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0140_F0	Rev F0	Data 20-06-2011

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_m$	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\text{tg } \varphi$	$\gamma_\varphi$	1.00	1.25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1.00	1.25
Resistenza non drenata	$c'_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1.00	1.40
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1.00	1.00

**Tabella 10 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

I coefficienti riduttivi  $\gamma_r$  delle resistenze (R) sono invece riportati nella seguente Tabella 11.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_r=1$	$\gamma_r=1$	$\gamma_r=1.4$
Scorrimento	$\gamma_r=1$	$\gamma_r=1$	$\gamma_r=1.1$
Resistenza del terreno di valle	$\gamma_r=1$	$\gamma_r=1$	$\gamma_r=1.4$

**Tabella 11 - Coefficienti parziali  $\gamma_r$  per le verifiche agli stati limite STR e GEO**

Le combinazioni considerate per le verifiche agli SLU, tenuto conto di quanto precedentemente esposto, sono le seguenti:

**Combinazioni STR:**

**A1+M1+R1** (STR\_statico)

**1+M1+R1** (STR\_SLV)

**Combinazioni GEO:**

**A2+M2+R2** (GEO\_statico)

**1+M2+R2** (GEO\_SLV)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Le combinazioni considerate per le verifiche agli SLE delle opere, invece, sono le seguenti:

**1+M1+R1** (STR\_statico)

**1+M1+R1** (STR\_SLD)

**1+M2+R2** (GEO\_SLD)

### 7.3.2 Definizione delle azioni sismiche

Gli effetti prodotti sulle strutture dal sisma sono stati valutati mediante il metodo pseudostatico in cui si assume un’accelerazione equivalente costante nel tempo e nello spazio cui si associano le forze inerziali legate alle masse strutturali e, soprattutto, del terreno.

Per le paratie, la componente verticale  $a_v$  dell’accelerazione equivalente può essere assunta nulla mentre quella orizzontale  $a_h$  viene assunta pari a:

$$a_h = k_h g = \alpha \beta a_{max}$$

essendo

$k_h$  = coefficiente sismico in direzione orizzontale

$g$  = accelerazione di gravità

$\alpha$  = coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l’opera

$\beta$  = coefficiente funzione della capacità dell’opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza

$a_{max}$  = accelerazione massima attesa sul volume di terreno significativo per l’opera =  $S_S S_T a_g$

$S_S$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica

$S_T$  = coefficiente di amplificazione topografica

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido

L’accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido  $a_g$  viene valutata in funzione della posizione del sito di costruzione, del periodo di riferimento  $V_R$  dell’azione sismica e dello stato limite considerato.

$V_R$  viene determinato mediante la relazione

$$V_R = V_N C_U \geq 35 \text{ anni}$$

in cui

$V_N$  = vita nominale dell’opera

$C_U$  = coefficiente d’uso

Nel caso in esame, con riferimento alle tabelle 2.4.I e 2.4.II del D.M. 14/01/2008, si ha

$V_N = 10$  anni (opere provvisorie)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Classe d'uso = IV (costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti)

$C_U = 2$

$$V_N C_U = 20 \text{ anni}$$

Il periodo di riferimento dell'azione sismica viene comunque posto pari a

$$V_R = 35 \text{ anni}$$

A tale periodo di riferimento, per il sito in oggetto, corrispondono i seguenti parametri del moto sismico atteso:

Stato limite	$T_r$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_{C^*}$ [s]
SLV	332	0.206	2.393	0.353
SLD	35	0.065	2.353	0.286

**Tabella 12 – Parametri del moto sismico per il sito in esame**

essendo

$T_r$  = periodo di ritorno dell'azione sismica

$F_0$  = fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

$T_{C^*}$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

I coefficienti di amplificazione stratigrafica  $S_S$  e topografica  $S_T$  vengono rispettivamente valutati in funzione della categoria di sottosuolo e delle caratteristiche della superficie topografica.

Con riferimento alle tabelle 3.2.II e 3.2.IV del D.M. 14/01/2008, per la categoria di sottosuolo C, si ottengono i seguenti valori dei coefficienti di amplificazione e, conseguentemente, dell'accelerazione massima attesa sul volume di terreno significativo per l'opera

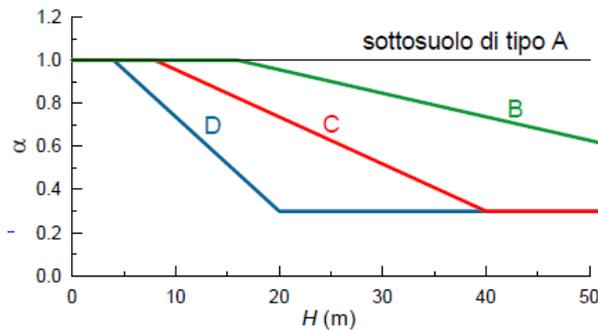
Stato limite	$S_S$	$S_T$	$a_{max}$ [g]
SLV	1.40	1.00	0.288
SLD	1.50	1.00	0.098

**Tabella 13 – Coefficienti di amplificazione ed accelerazioni massime orizzontali di progetto**

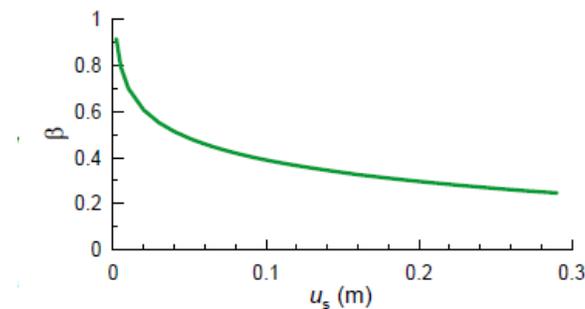
I valori dei coefficienti  $\alpha$  e  $\beta$  vengono rispettivamente determinati in funzione dell'altezza complessiva della parete  $H$ , della categoria di sottosuolo e dello spostamento massimo  $u_s$  ( $u_s \leq 0.005 H$ ) che la parete può tollerare senza riduzioni di resistenza mediante i diagrammi

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0

riportati nelle figure 7.11.2 e 7.11.3 del D.M. 14/01/2008 di seguito richiamati.



**Figura 24-Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità  $\alpha$**



**Figura 25- Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento  $\beta$**

Per le opere in esame, ammettendo uno spostamento ammissibile di 1 cm e considerando l'altezza della paratia, il coefficiente  $\beta$  risulta pari a 0.71 mentre  $\alpha$  pari a 0.35. A favore di sicurezza si assume

$$\alpha \beta = 0.4$$

dal quale si ottengono i valori dei coefficienti sismici orizzontali  $k_h$  da adottare nella valutazione delle azioni sismiche mediante il metodo pseudostatico riportati nella successiva tabella di sintesi insieme ai parametri sismici precedentemente determinati

Stato limite	$T_r$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_{C^*}$ [s]	$S_S$	$S_T$	$a_{max}$ [g]	$k_h$
SLV	332	0.206	2.393	0.353	1.40	1.00	0.288	0.115
SLD	35	0.065	2.353	0.286	1.50	1.00	0.098	0.040

**Tabella 14 – Sintesi dei parametri sismici di progetto**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

### 7.3.3 Spinte dei terreni

I criteri per la determinazione dei coefficienti di spinta dei terreni in condizioni di riposo, attive e passive adottati nelle analisi numeriche sono riportati di seguito.

#### Spinta a riposo

Il coefficiente di spinta a riposo  $k_0$  dei terreni è stato valutato mediante la nota relazione di Jaki

$$k_0 = 1 - \sin\varphi$$

#### Spinta attiva

Il coefficiente di spinta attiva  $k_A$  è stato calcolato con la teoria di Coulomb, ammettendo un angolo di attrito terra-parete  $\delta$  pari a:

- ✓  $\delta = 0.5 \varphi$ , in condizioni statiche
- ✓  $\delta = 0$ , in condizioni sismiche

$$k_A = \frac{\cos^2(\varphi' - \beta)}{\cos^2 \beta \cdot \cos(\beta + \delta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi') \cdot \sin(\varphi' - i)}{\cos(\beta + \delta) \cdot \cos(\beta - i)}} \right]^2}$$

Nella relazione precedente sono stati indicati con  $\beta$  l'angolo di inclinazione della parete rispetto alla verticale e con  $i$  l'angolo formato con l'orizzontale dalla superficie limite del pendio a monte.

#### Spinta passiva

Il coefficiente di spinta passiva  $k_P$  è stato stimato mediante l'abaco riportato nella figura successiva, ottenuto dall'applicazione della teoria di Caquot-Kerisel nelle ipotesi di superfici di rottura curvilinee.

L'angolo di attrito terra-parete  $\delta$  è stato posto pari a:

- ✓  $\delta = 0.5 \varphi$ , in condizioni statiche
- ✓  $\delta = 0$ , in condizioni sismiche

Per le sole analisi finalizzate alle verifiche di tipo strutturale (analisi STR – combinazioni A1+M1), l'angolo di attrito terra-parete, nella valutazione del coefficiente di spinta passiva, è stato cautelativamente posto pari a 0.

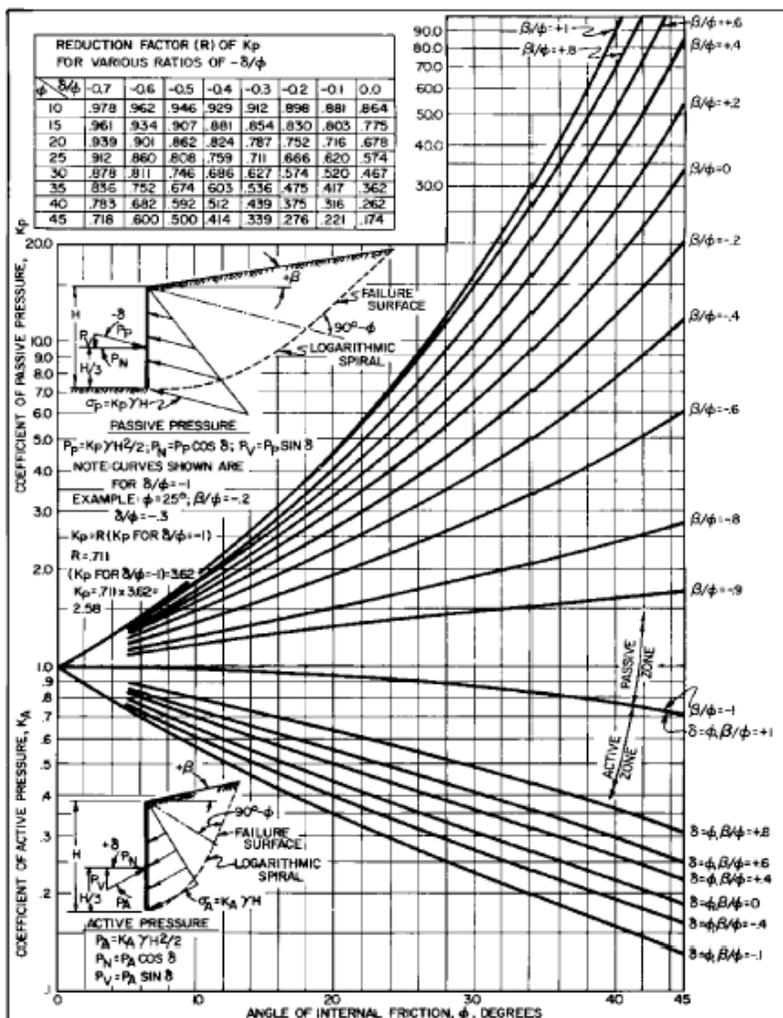


Figura 26 – Abaco per la valutazione del coefficiente di spinta passiva – Teoria di Caquot e Kerisel

Le tabelle successive riassumono i valori dei coefficienti di spinta adottati nelle analisi numeriche. Con il pedice E sono stati indicati i valori riferiti alle condizioni sismiche.

Litotipo	$k_0$	$k_A$	$k_P$	$k_{AE}$	$k_{PE}$
Sabbie e ghiaie di Messina	0.384	0.205	4.204	0.238	4.204

Tabella 15 – Coefficienti di spinta dei terreni – Analisi STR – A1 + M1 + R1

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Litotipo	$k_0$	$k_A$	$k_P$	$k_{AE}$	$k_{PE}$
Ghiaie di Messina	0.470	0.267	5.052	0.307	3.255

**Tabella 16 – Coefficienti di spinta dei terreni – Analisi GEO – A2 + M2 + R2**

Il peso del terreno naturale presente al di sopra della testa delle paratie è stato simulato mediante un sovraccarico indefinito su entrambe le paratie di intensità pari a:

$$p_{\text{terrSX}} = p_{\text{terrDX}} = 19 \times 3.30\text{m} = 62.7 \text{ kPa}$$

e, sulla sola paratia di destra, mediante strisce di carico indefinite di intensità crescente con la distanza dalla parete.

### 7.3.4 Azioni accidentali

Il sovraccarico accidentale a tergo delle paratie, durante le fasi realizzative, è stato assunto pari a:

$$- q_{\text{sov\_sx}} = 10 \text{ kN/m}^2 \quad \text{paratia di sinistra}$$

$$- q_{\text{sov\_dx}} = 10 \text{ kN/m}^2 \quad \text{paratia di destra}$$

### 7.3.5 Incremento sismico di spinta dei terreni

Gli effetti inerziali associati alle masse di terreno interagenti con le opere sono stati schematizzati mediante un carico uniformemente distribuito  $\Delta p_d$  agente su tutta l'altezza fuori terra delle pareti.

L'intensità di tale azione è stata valutata mediante la formulazione proposta da Wood:

$$\Delta p_d = k_h \gamma H^2 / H'$$

$k_h$  = coefficiente sismico orizzontale

$\gamma$  = peso dell'unità di volume del terreno

$H$  = altezza di scavo rispetto al p.c.

$H'$  = altezza di scavo di calcolo

Per il caso in esame si ha

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0140_F0	Rev F0	Data 20-06-2011

Stato limite	$k_h$	$\Delta p_d$ [kPa]
SLV	0.115	96.7
SLD	0.040	33.7

**Tabella 17 – Incremento sismico di spinta dei terreni**

Essendo la struttura caricata in maniera asimmetrica in condizioni statiche, le azioni sismiche sono state applicate in maniera non contemporanea in direzione orizzontale in entrambi i versi (sisma +Y e -Y)

### 7.3.6 Azioni inerziali delle strutture in fase sismica

Gli effetti inerziali associati alle masse strutturali sono stati schematizzati mediante carichi uniformemente distribuiti, per le inerzie dei diaframmi, e carichi concentrati agenti sulle pareti, per le inerzie dei solai.

Le intensità di tali azioni sono state valutate mediante le relazioni:

$$I_{\text{diaf}} = k_h \gamma_{c.a.} s_{\text{diaf}}$$

$$I_{\text{sol}} = k_h \gamma_{c.a.} s_{\text{sol}} L$$

$$I_{\text{fond}} = k_h \gamma_{c.a.} s_{\text{fond}} L$$

avendo indicato

$\gamma_{c.a.}$  = peso dell'unità di volume del calcestruzzo armato = 25 kN/m<sup>3</sup>

$s_{\text{diaf}}$  = spessore dei diaframmi

$s_{\text{sol}}$  = spessore dei solai

L = luce netta dei solai

$s_{\text{fond}}$  = spessore della fondazione

La tabella seguente riassume le intensità dei carichi applicati:

Stato limite	$k_h$	$I_{\text{diaf}}$ [kPa]	$I_{\text{sol}}$ [kN/m]	$I_{\text{fond}}$ [kN/m]
SLV	0.115	3.5	45.0	150.0
SLD	0.040	1.2	15.6	52.0

**Tabella 18 – Azioni inerziali delle masse strutturali**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 7.4 Risultati delle analisi

Nelle figure successive vengono riportati i diagrammi delle sollecitazioni e degli spostamenti ottenuti dalle analisi numeriche ed utilizzati per le successive verifiche di sicurezza.

### 7.4.1 Analisi STR\_Statica - A1+M1+R1

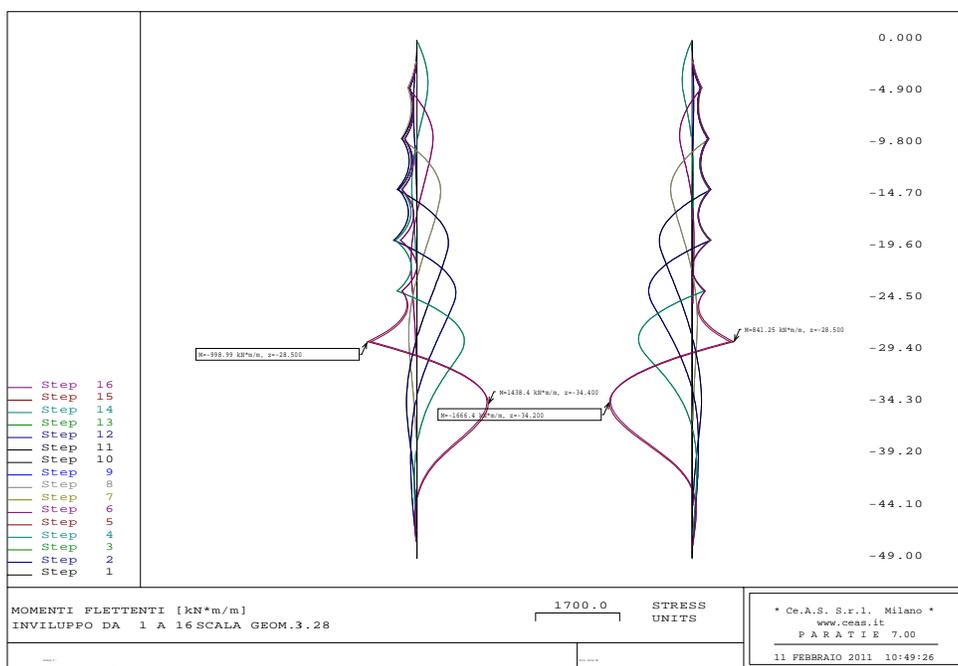
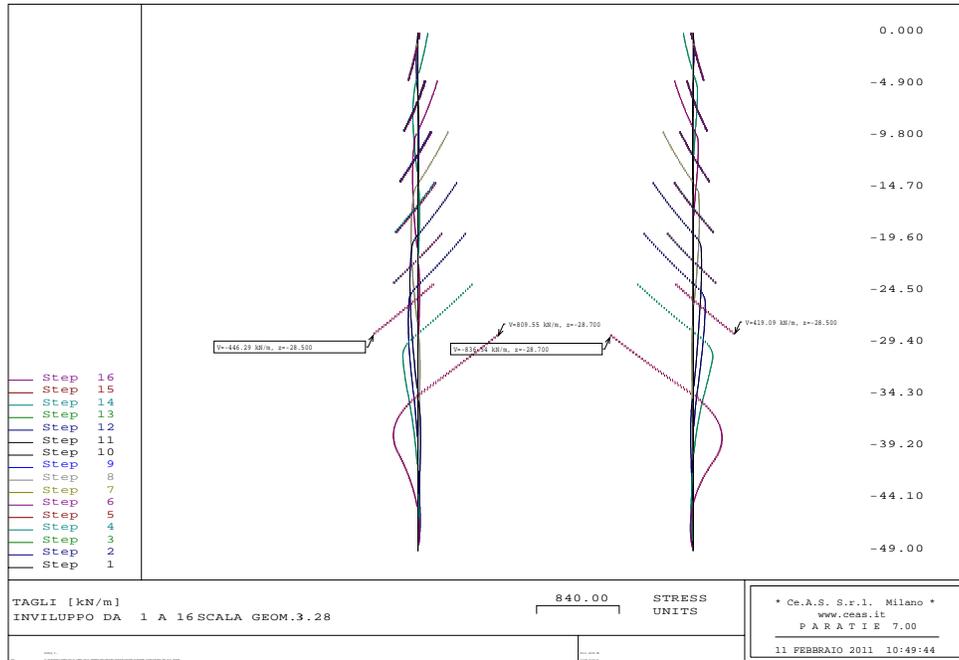
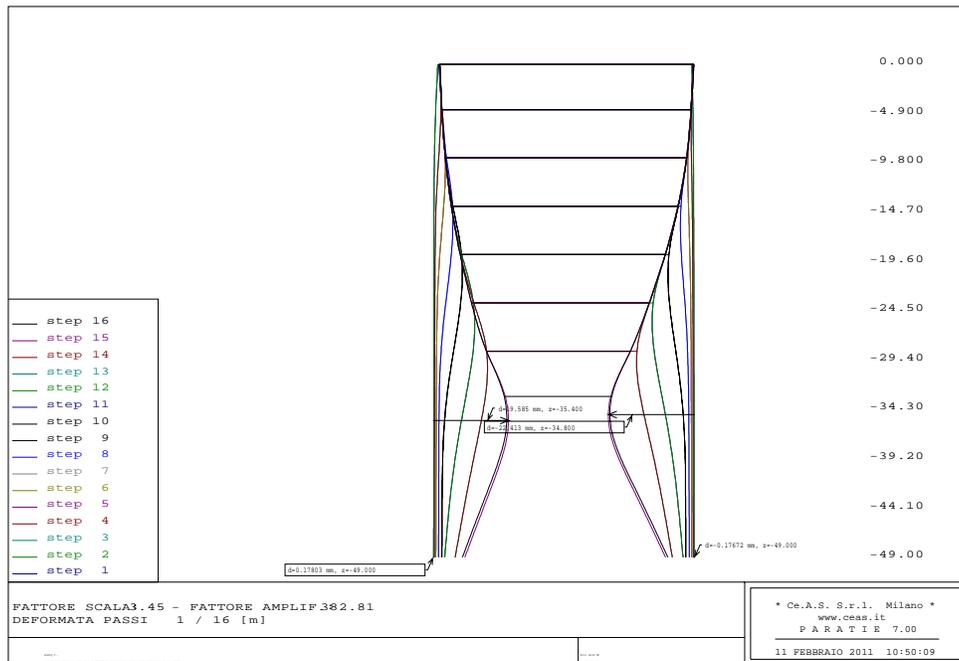


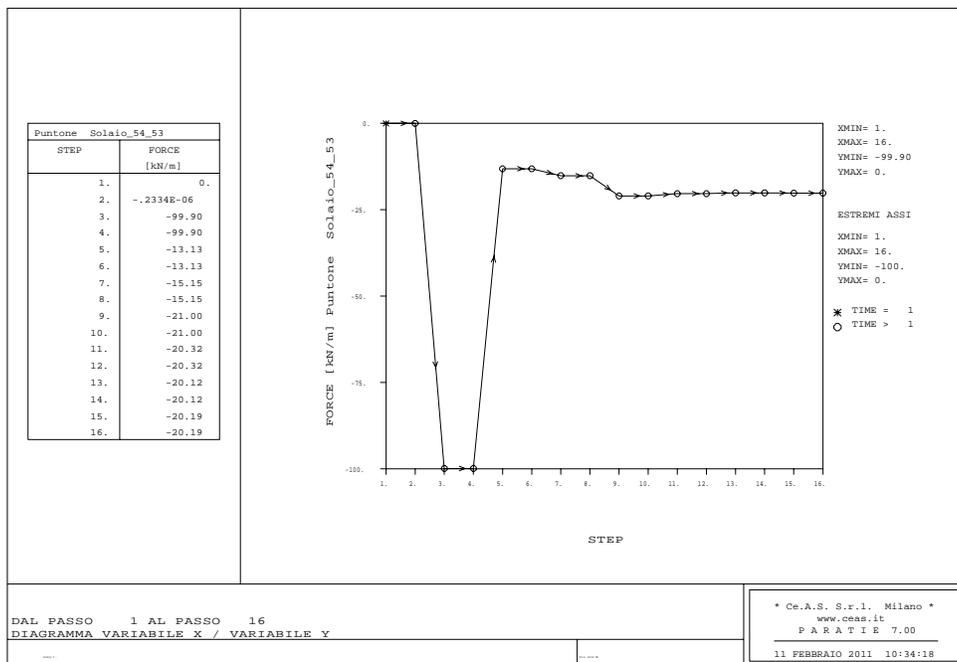
Figura 27 – Diagramma del momento flettente



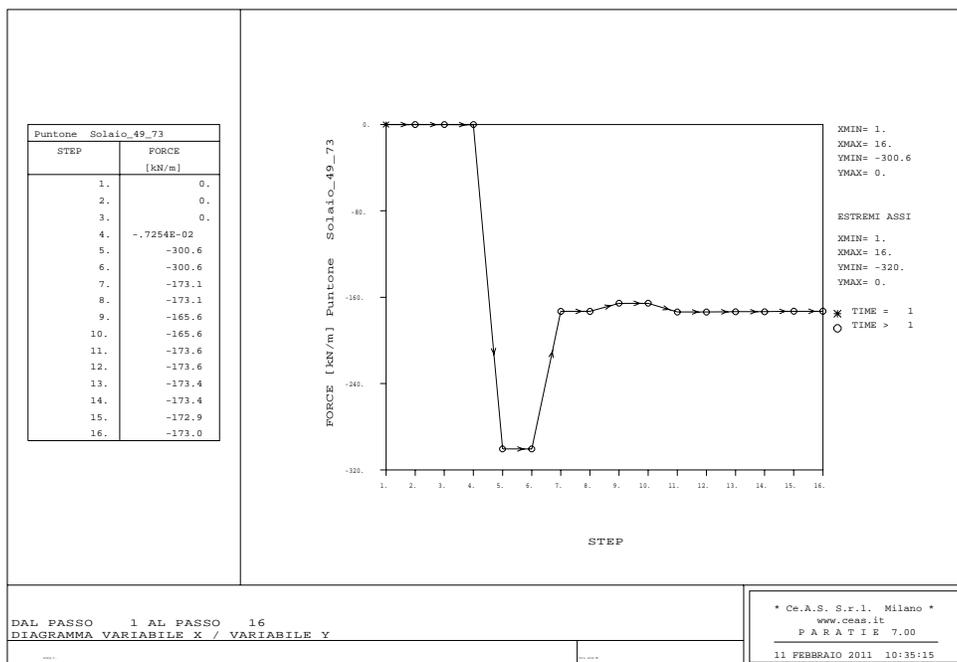
**Figura 28 – Diagramma del taglio**



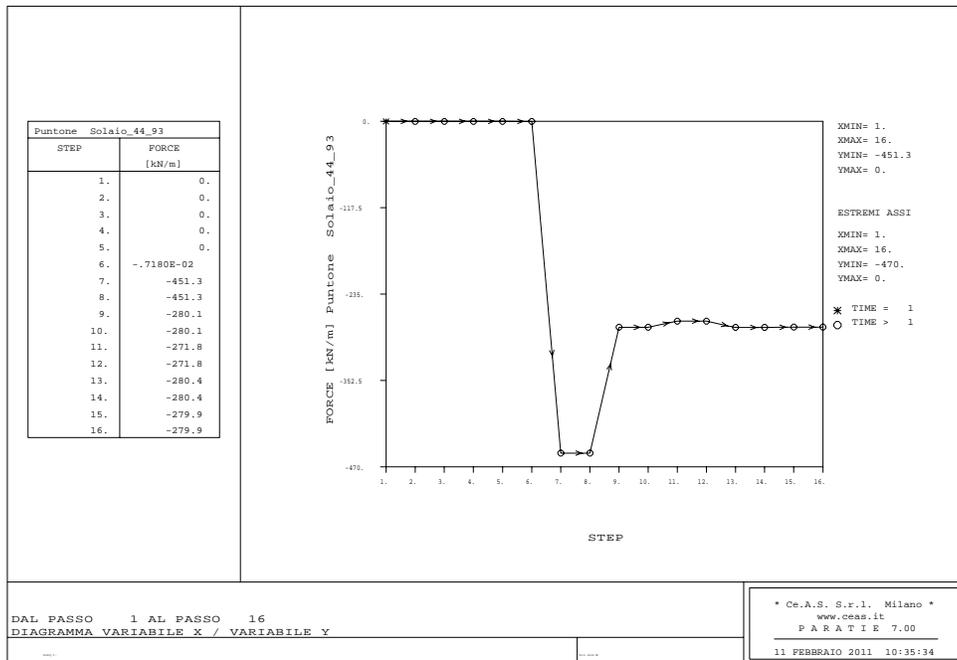
**Figura 29 – Diagramma degli spostamenti orizzontali**



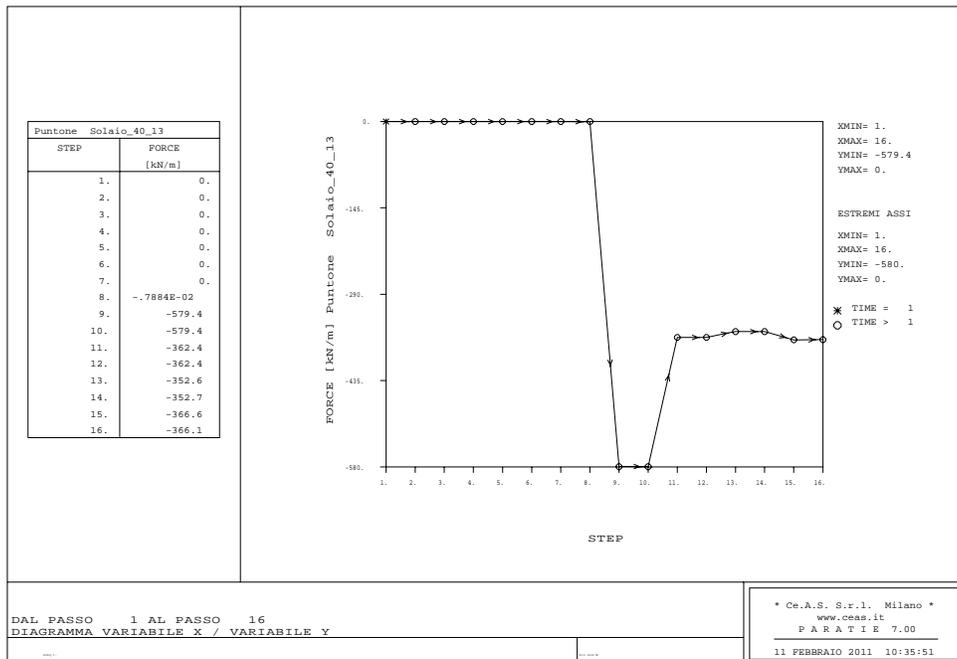
**Figura 30 – Azioni assiali sul solaio a +54.53m s.l.m.**



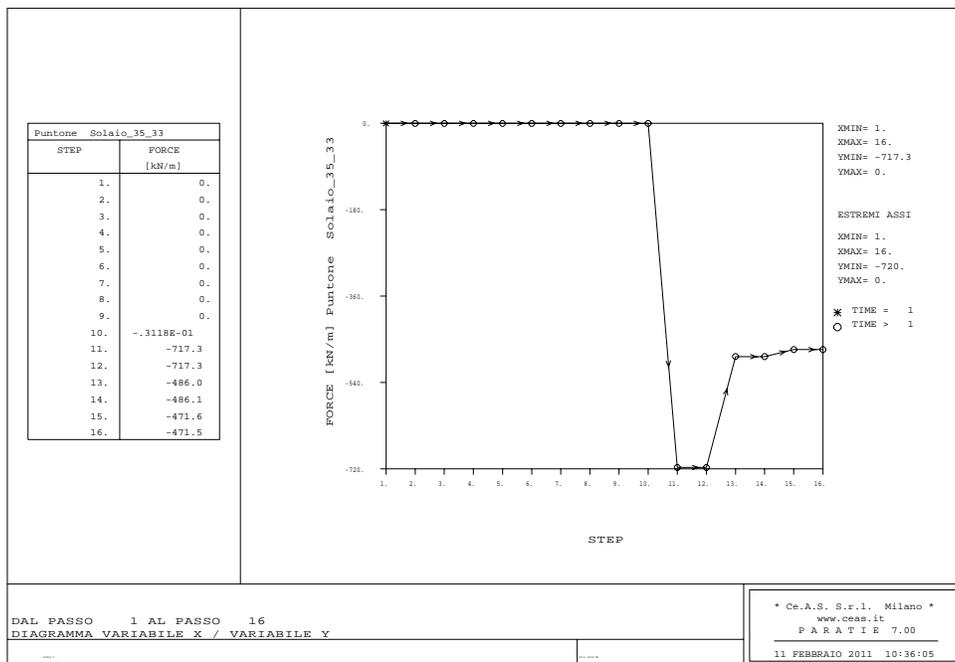
**Figura 31 – Azioni assiali sul solaio a Q = +49.73m s.l.m.**



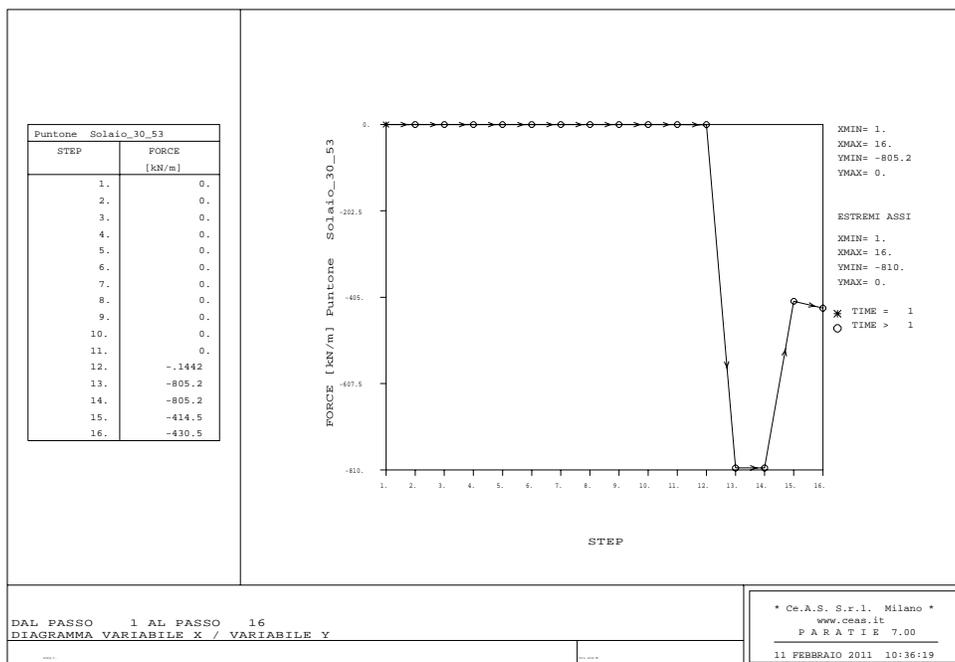
**Figura 32 – Azioni assiali sul solaio a Q = +44.93m s.l.m.**



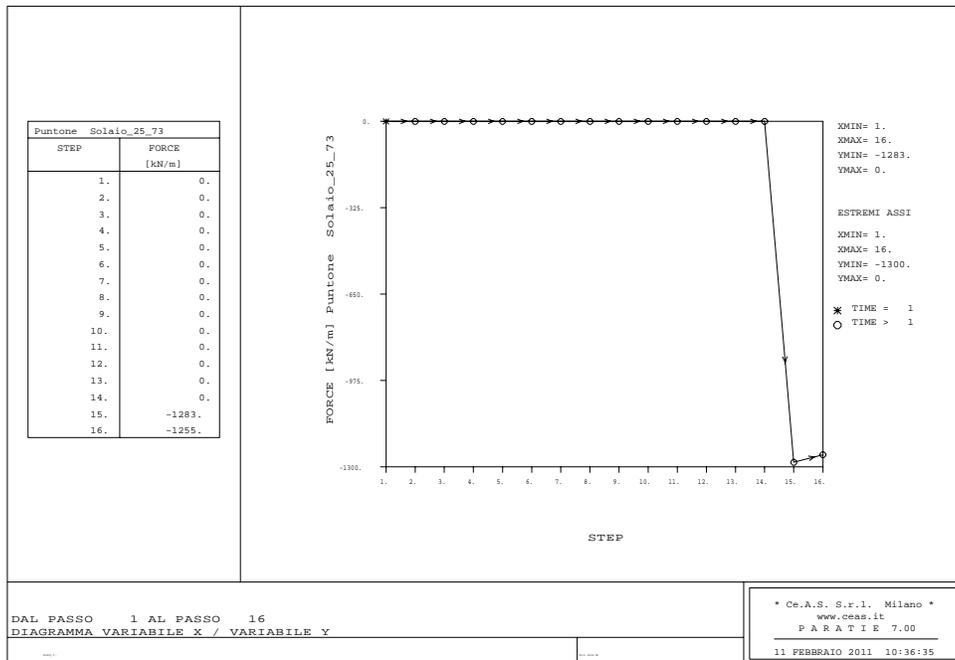
**Figura 33 – Azioni assiali sul solaio a Q = +40.13m s.l.m.**



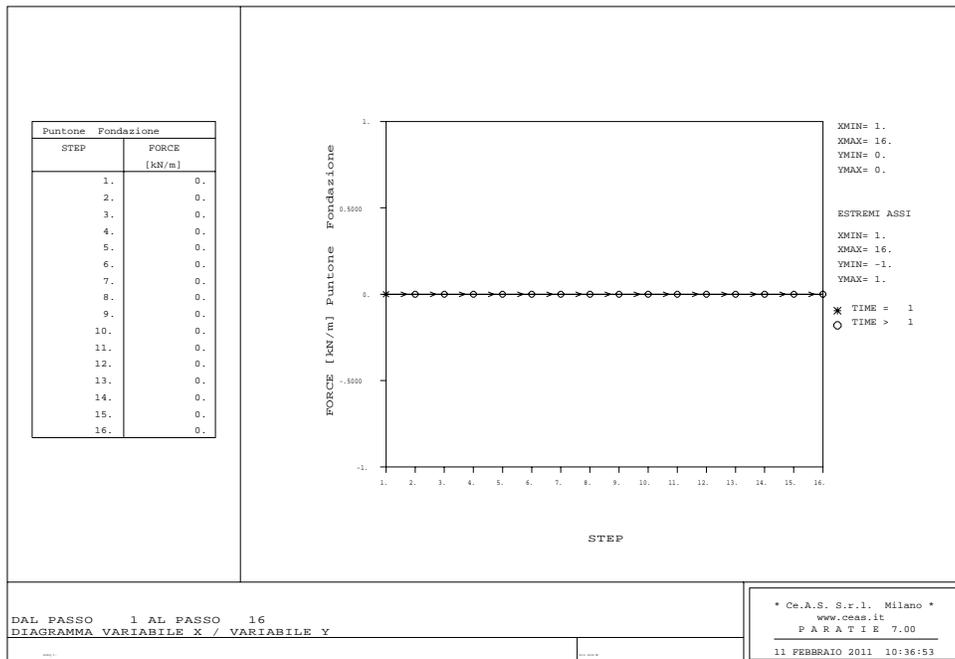
**Figura 34 – Azioni assiali sul solaio a Q = +35.33m s.l.m.**



**Figura 35 – Azioni assiali sul solaio a Q = +30.53m s.l.m.**



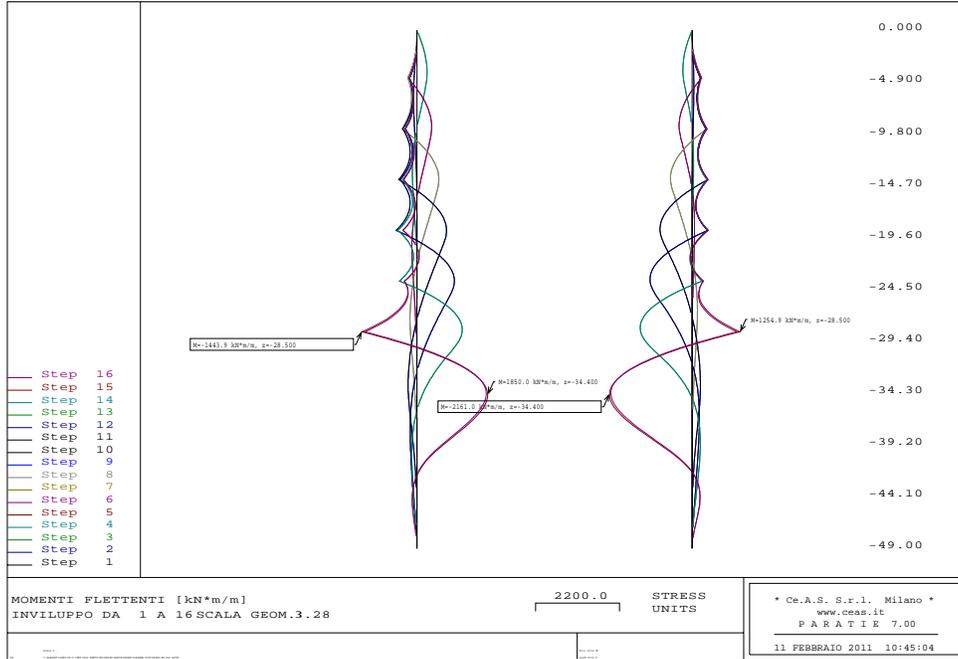
**Figura 36 – Azioni assiali sul solaio a Q = +25.73m s.l.m.**



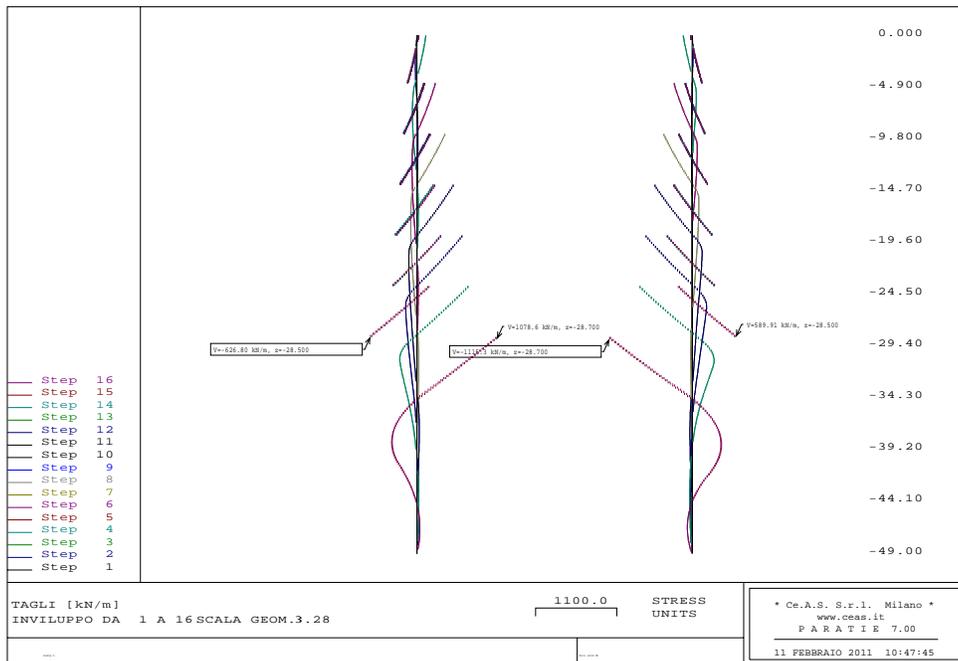
**Figura 37 – Azioni assiali sul solaio di fondazione**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> <b>ST0140_F0</b>	<i>Rev</i> <b>F0</b>	<i>Data</i> <b>20-06-2011</b>

### 7.4.2 Analisi GEO\_Statica – A2+M2+R2

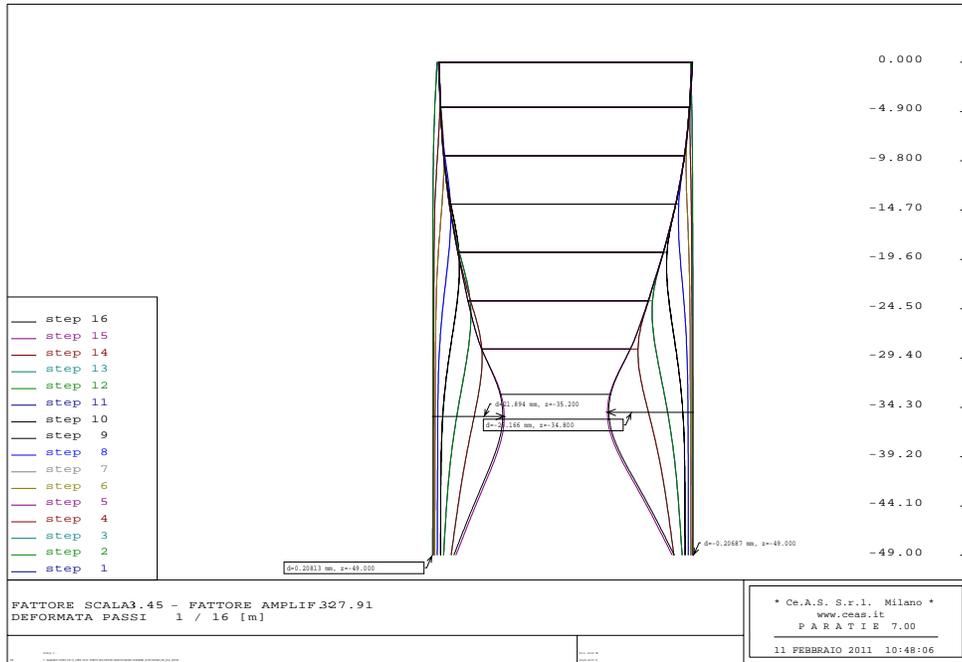


**Figura 38 – Diagramma del momento flettente**



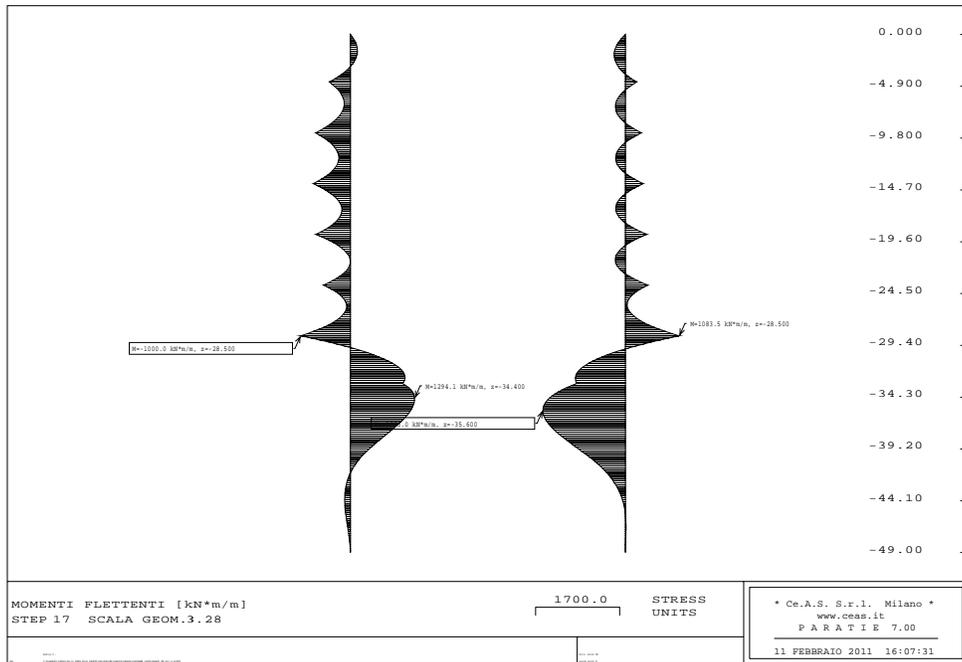
**Figura 39 – Diagramma del taglio**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> <b>ST0140_F0</b>	<i>Rev</i> <b>F0</b>	<i>Data</i> <b>20-06-2011</b>



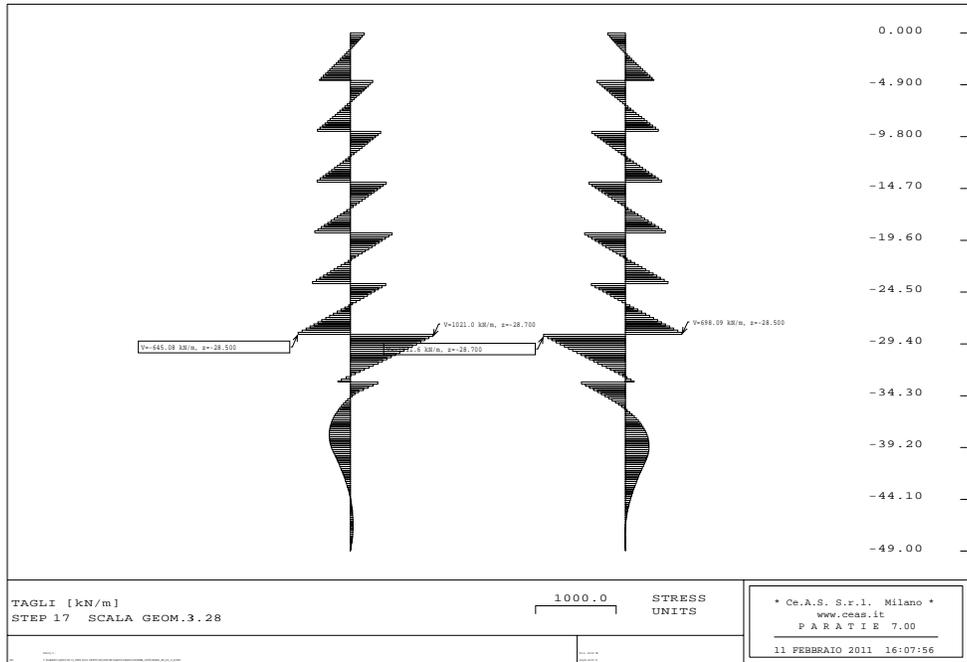
**Figura 40 – Diagramma degli spostamenti orizzontali**

**7.4.3 Analisi STR\_SLV\_+Y- 1+M1+R1**

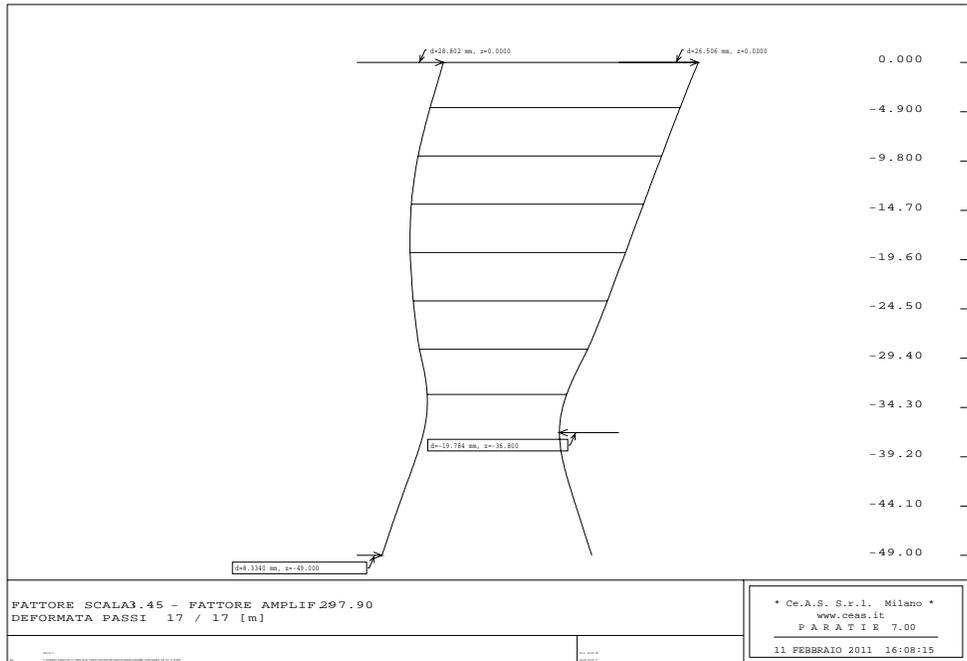


**Figura 41 – Diagramma del momento flettente**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



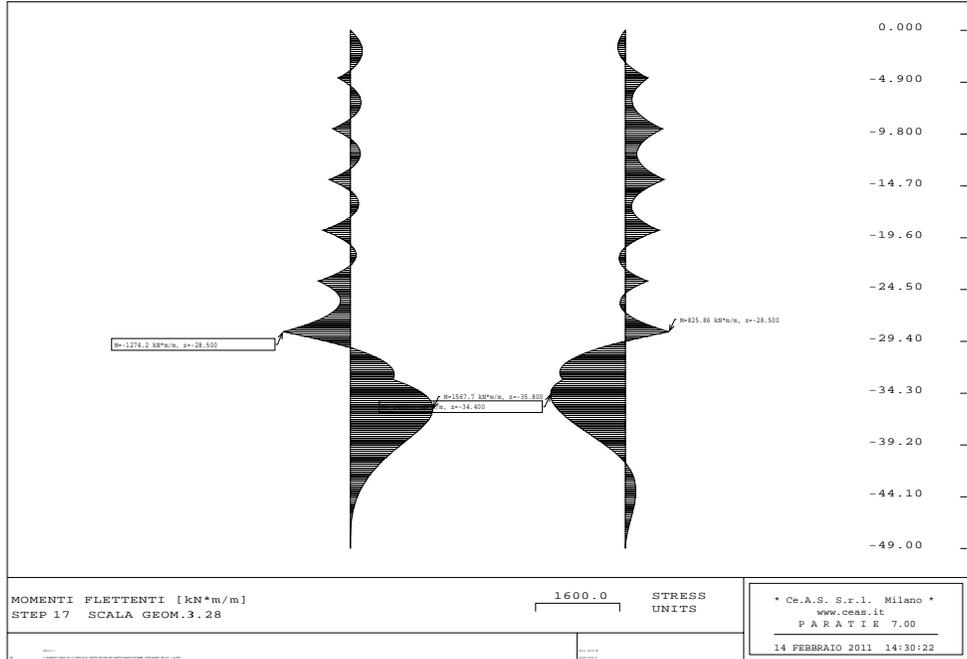
**Figura 42 – Diagramma del taglio**



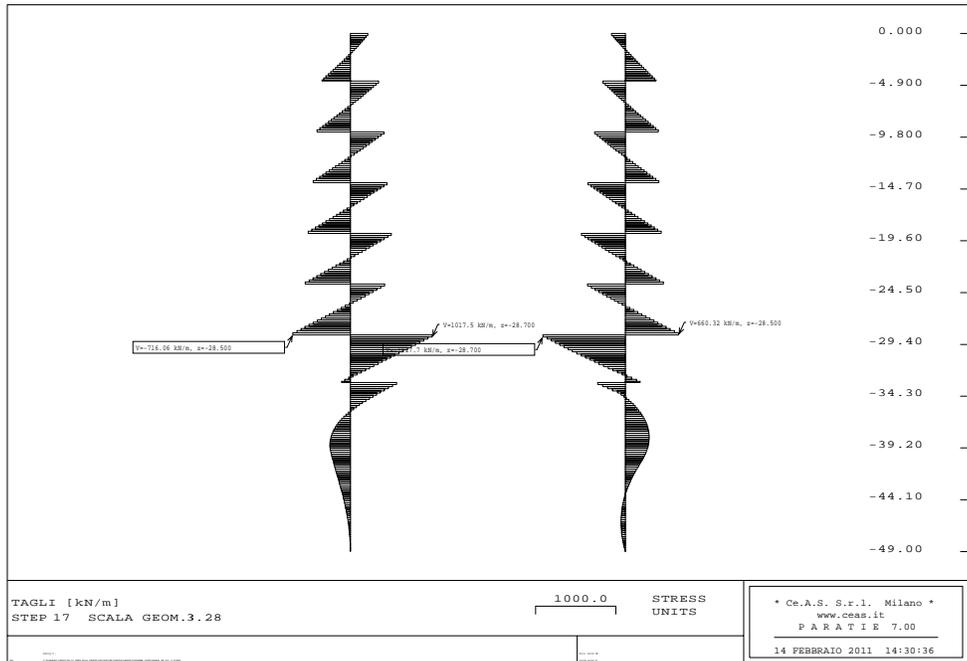
**Figura 43 – Diagramma degli spostamenti orizzontali**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

**7.4.4      Analisi STR\_SLV\_-Y- 1+M1+R1**

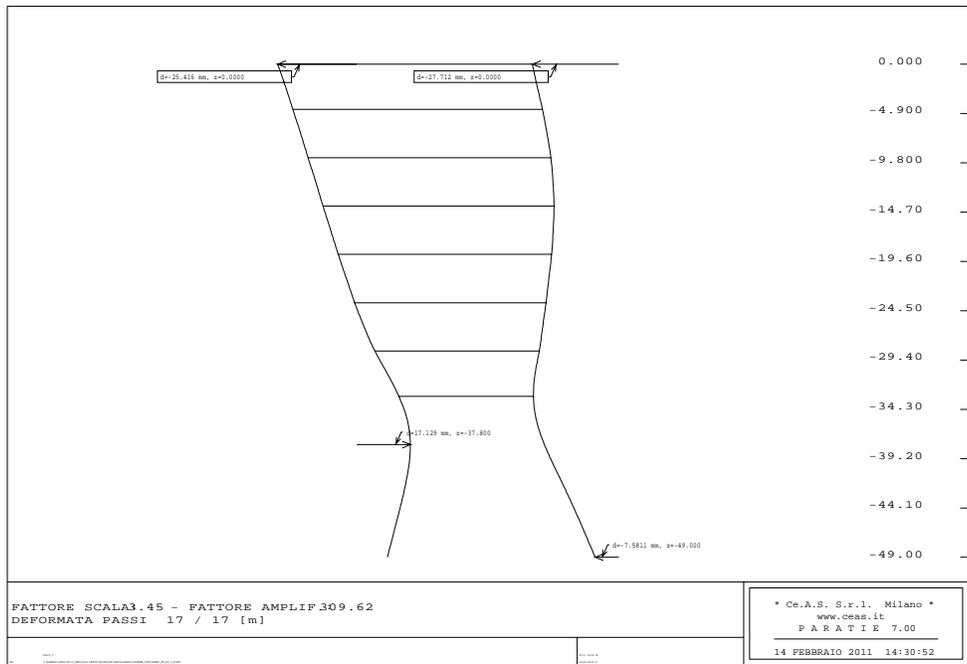


**Figura 44 – Diagramma del momento flettente**



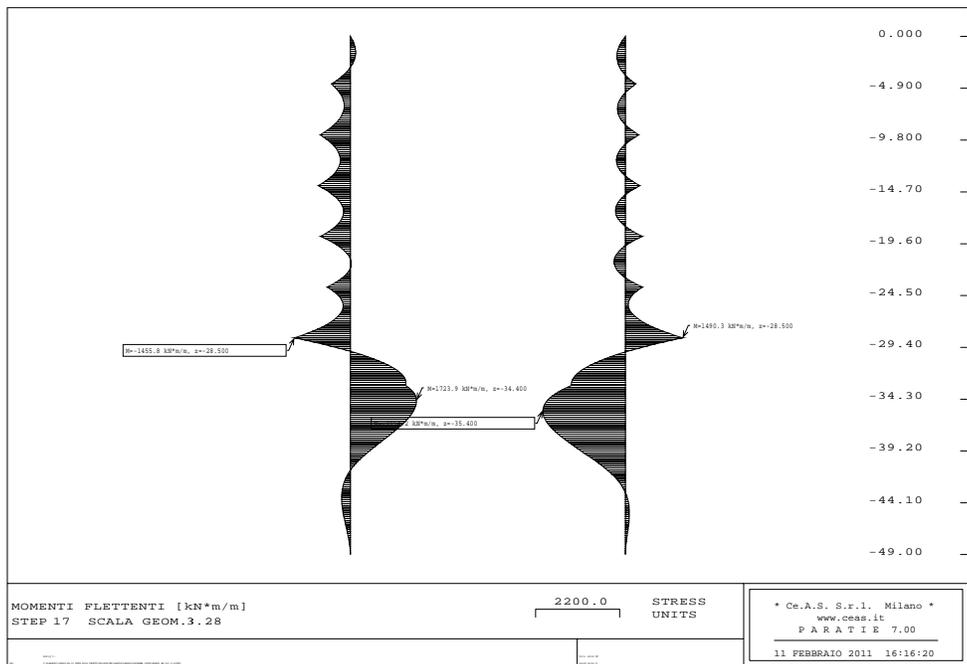
**Figura 45 – Diagramma del taglio**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> <b>ST0140_F0</b>	<i>Rev</i> <b>F0</b>	<i>Data</i> <b>20-06-2011</b>



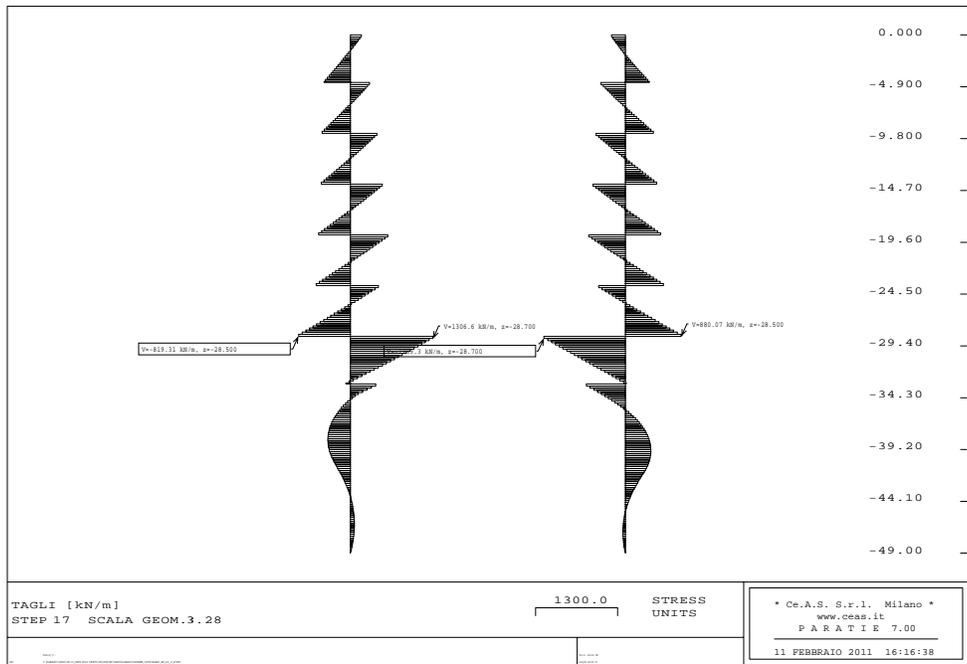
**Figura 46 – Diagramma degli spostamenti orizzontali**

**7.4.5 Analisi GEO\_SLV\_+Y – 1+M2+R2**

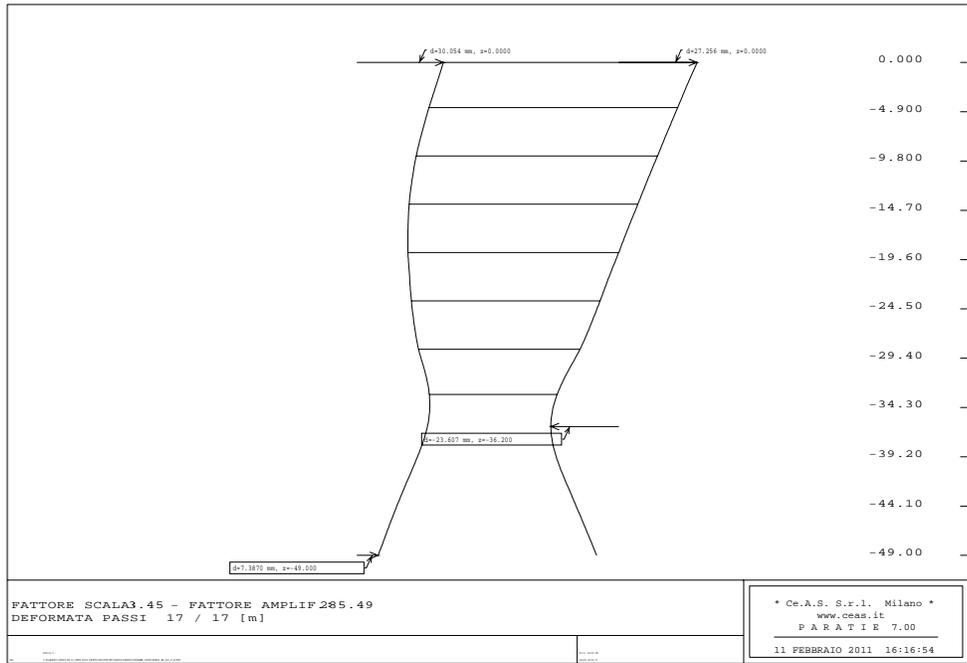


**Figura 47 – Diagramma del momento flettente**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> <b>ST0140_F0</b>	<i>Rev</i> <b>F0</b>	<i>Data</i> <b>20-06-2011</b>



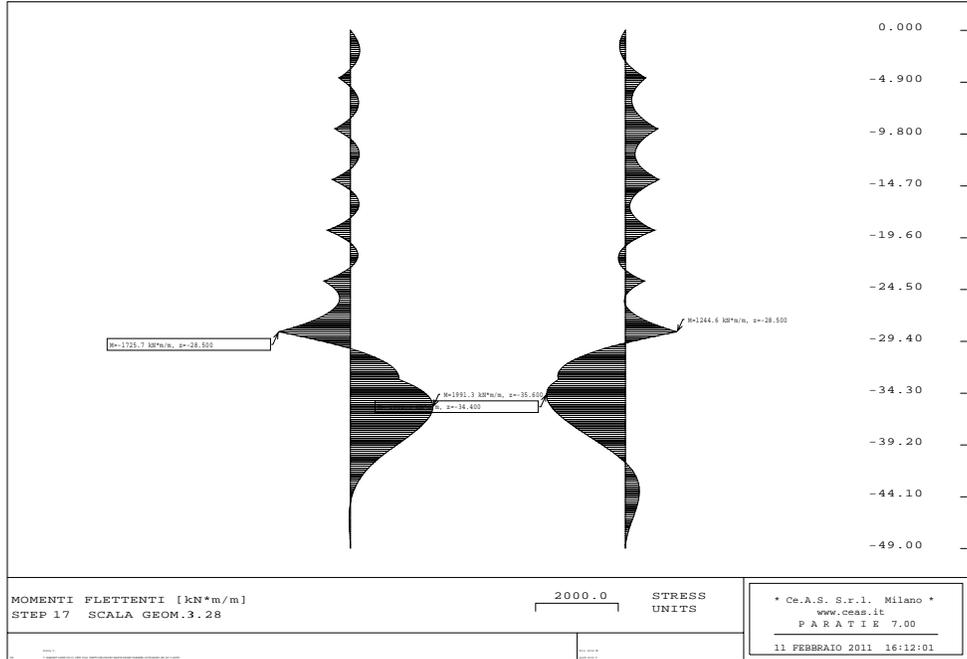
**Figura 48 – Diagramma del taglio**



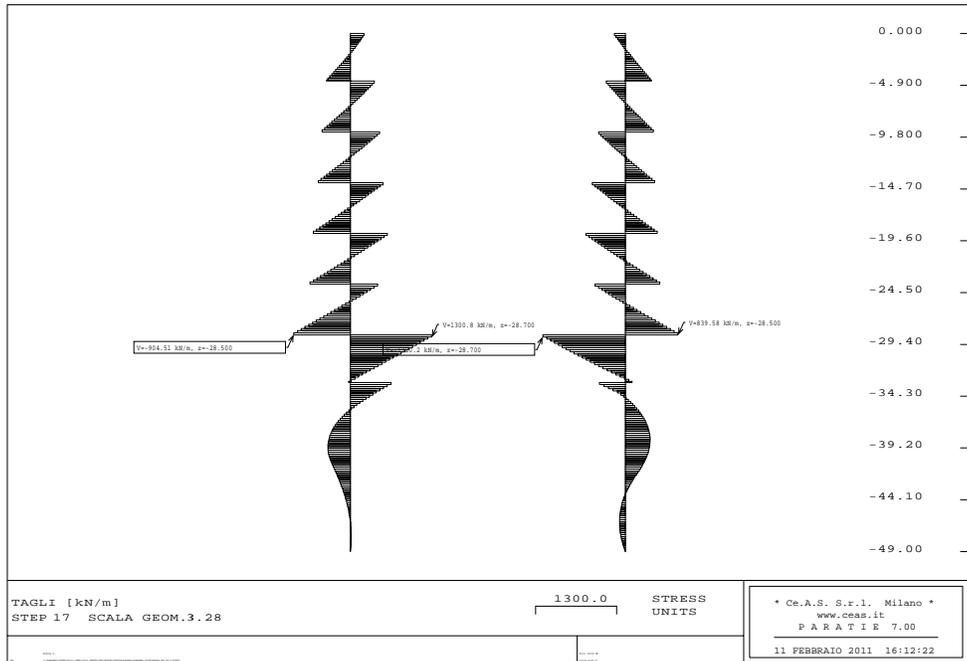
**Figura 49 – Diagramma degli spostamenti orizzontali**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

**7.4.6 Analisi GEO\_SLV\_-Y – 1+M2+R2**



**Figura 50 – Diagramma del momento flettente**



**Figura 51 – Diagramma del taglio**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

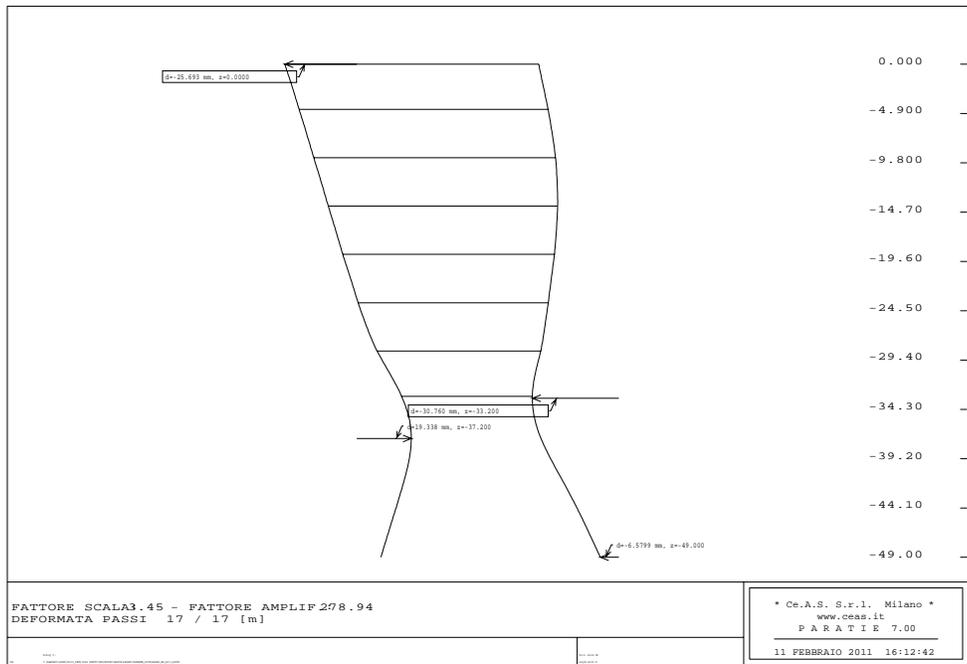


Figura 52 – Diagramma degli spostamenti orizzontali

### 7.4.7 Analisi STR\_SLD\_+Y – 1+M1+R1

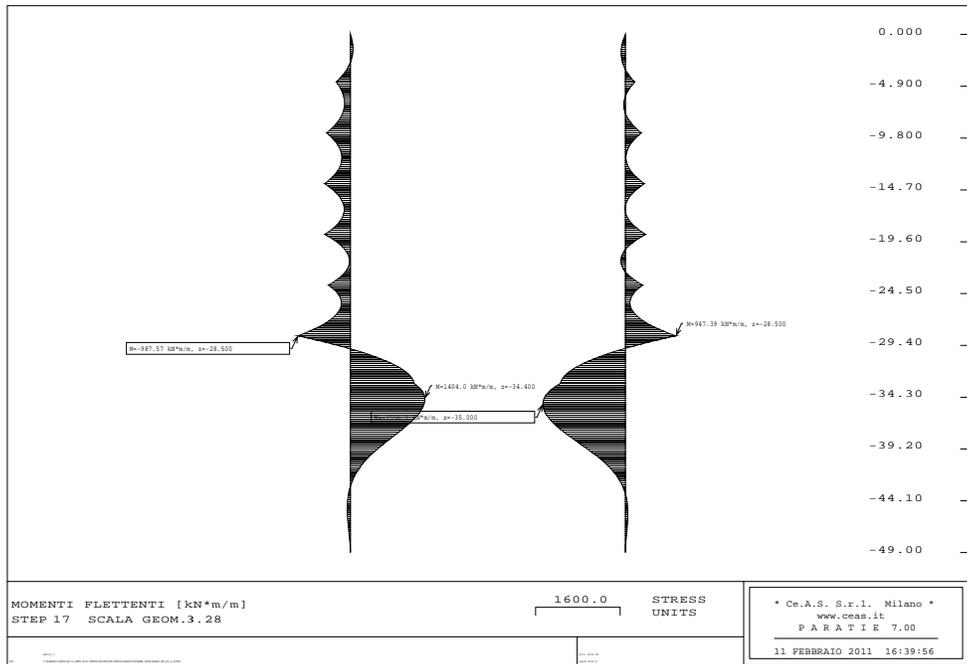
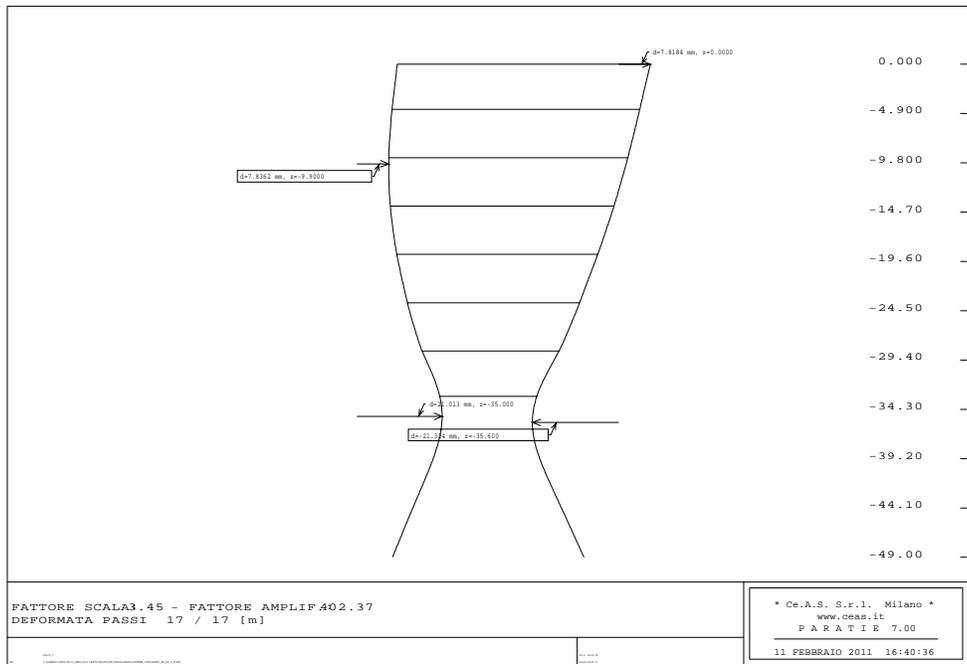


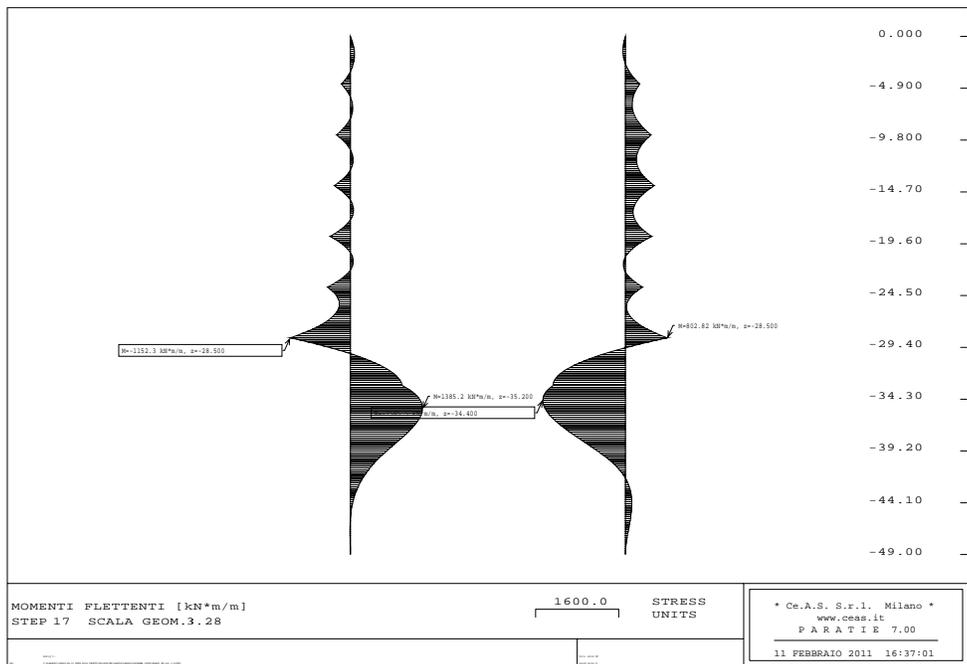
Figura 53 – Diagramma del momento flettente

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



**Figura 54 – Diagramma degli spostamenti orizzontali**

**7.4.8 Analisi STR\_SLD\_-Y – 1+M1+R1**



**Figura 55 – Diagramma del momento flettente**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

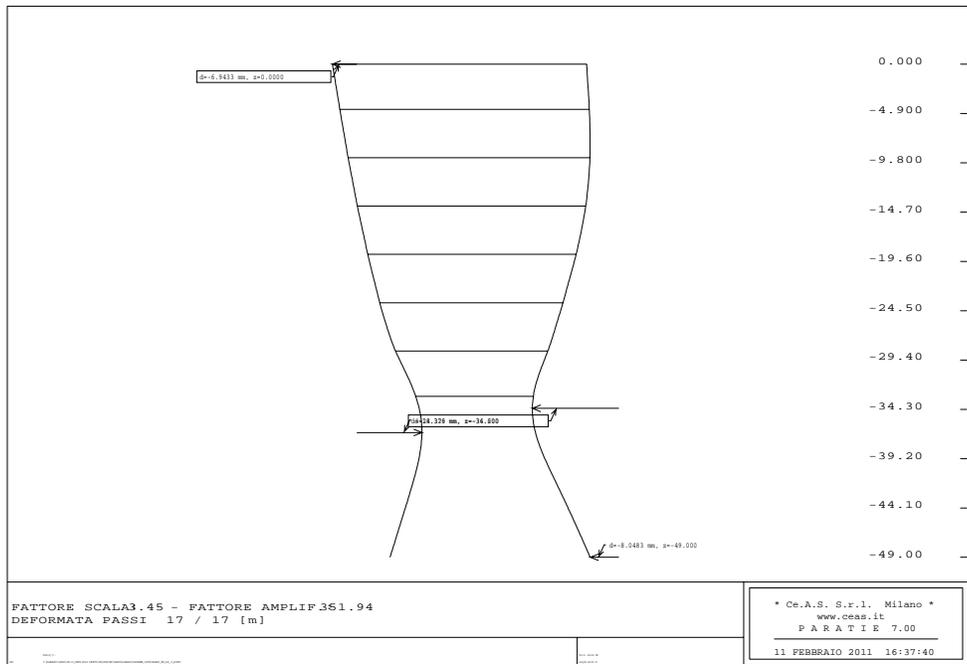


Figura 56 – Diagramma degli spostamenti orizzontali

**7.4.9 Analisi GEO\_SLD\_+Y – 1+M2+R2**

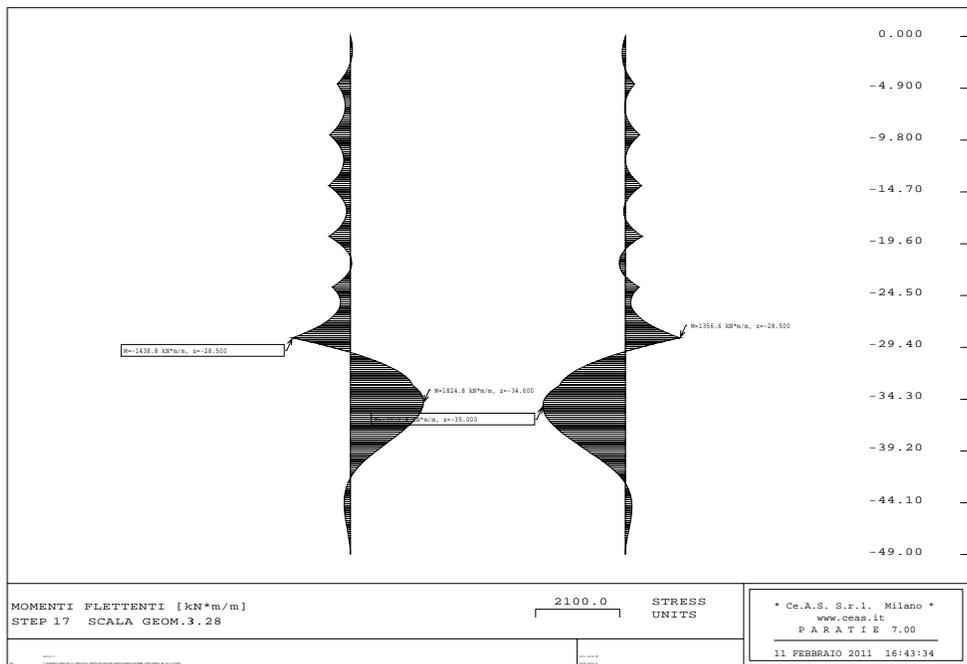


Figura 57 – Diagramma del momento flettente

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

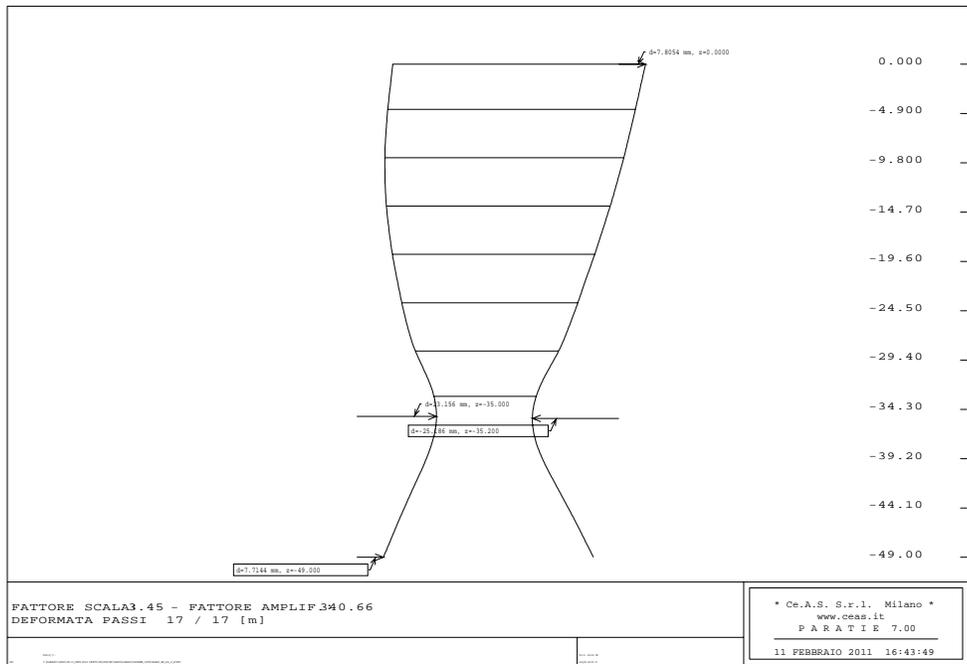


Figura 58 – Diagramma degli spostamenti orizzontali

**7.4.10 Analisi GEO\_SLD\_Y – 1+M2+R2**

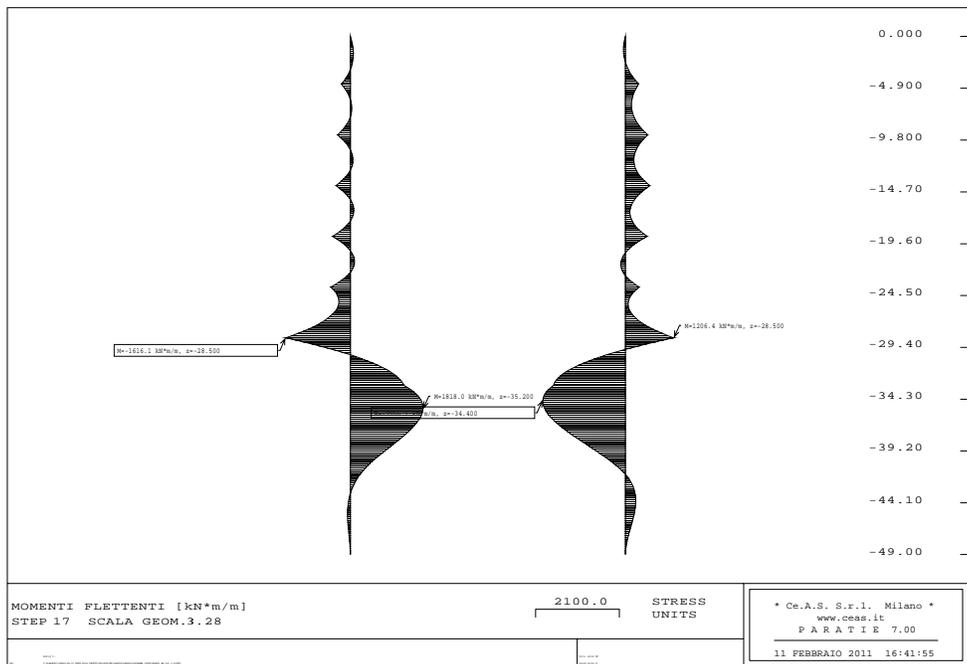
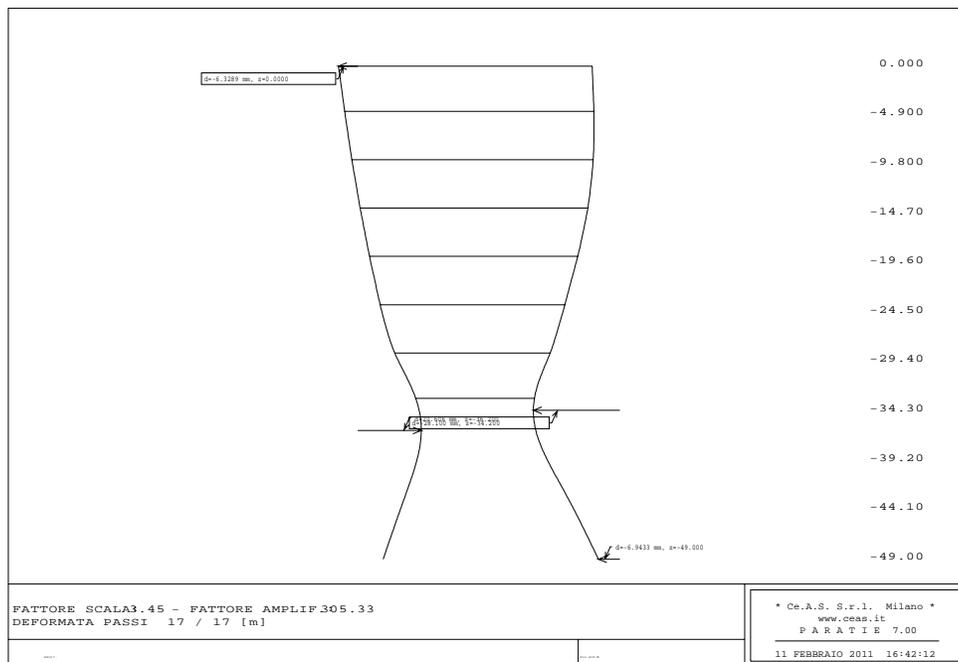


Figura 59 – Diagramma del momento flettente

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



**Figura 60 – Diagramma degli spostamenti orizzontali**

## 7.5 Verifiche di sicurezza

Le verifiche di sicurezza sono state svolte con riferimento ai seguenti stati limite ultimi (SLU):

- ✓ STR – raggiungimento della resistenza strutturale della paratia (pressoflessione e taglio)
- ✓ GEO - collasso per superamento della resistenza passiva del terreno nella parte infissa
- ✓ GEO - collasso per carico limite verticale

e di esercizio (SLE):

- ✓ Verifiche delle tensioni di esercizio
- ✓ Verifiche di fessurazione

Di seguito si riportano i criteri di calcolo adottati ed i risultati delle verifiche maggiormente gravose effettuate con il programma RC-SEC.

### 7.5.1 Criteri di verifica per gli Stati limite ultimi (SLU)

Per ogni stato limite ultimo viene effettuata la verifica garantendo il rispetto della condizione:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione ed  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

I valori di progetto delle azioni e delle resistenze si ottengono dall'opportuna combinazione dei coefficienti parziali di sicurezza sulle azioni (A), sui parametri geotecnici del terreno (M) e sulle resistenze (R) secondo i criteri precedentemente esposti.

#### 7.5.1.1 Verifiche SLU di tipo STR

Le verifiche di sicurezza di tipo strutturale effettuate per le opere in esame consistono nel confronto tra la massima sollecitazione di progetto ( $E_d$ ), intesa come effetto delle azioni agenti sulla parete in tutte le combinazioni esaminate, e la resistenza strutturale della paratia stessa ( $R_d$ ). Come è ovvio, il rapporto tra le due grandezze deve comunque risultare minore dell'unità.

La resistenza a sforzo normale e flessione viene valutata nelle ipotesi di:

- conservazione delle sezioni piane;
- perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo;
- resistenza a trazione del calcestruzzo nulla;
- rottura del calcestruzzo determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima a compressione;
- rottura dell'armatura tesa determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima.

Con riferimento alla sezione pressoinflessa, la verifica di resistenza (SLU) si esegue controllando che:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

dove:

$M_{Rd}$  è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a  $N_{Ed}$ ;

$N_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente assiale (sforzo normale) dell'azione;

$M_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione.

Per la valutazione delle resistenze ultime nei confronti di sollecitazioni taglianti (valido per elementi monodimensionali), è stato considerato quanto riportato di seguito.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

La resistenza a taglio  $V^*_{Rd}$  degli elementi strutturali sprovvisti di specifica armatura a taglio è stata valutata, utilizzando formule di comprovata affidabilità, sulla base della resistenza a trazione del calcestruzzo.

La verifica di resistenza (SLU) si pone con:

$$V^*_{Rd} \geq V_{Ed}$$

dove  $V_{Ed}$  è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza al taglio si valuta con:

$$V^*_{Rd} = 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

con:

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$v_{min} = 0,035 \times k^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}$$

e dove:

$d$  è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \times d)$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale ( $\leq 0,02$ );

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$  è la tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0,2 f_{cd}$ );

$b_w$  è la larghezza minima della sezione (in mm).

Elementi con armature trasversali resistenti al taglio

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio è stata valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione  $\theta$  dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$1 \leq \text{ctg } \theta \leq 2,5$$

La verifica di resistenza (SLU) si pone con:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

dove  $V_{Ed}$  è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a “taglio trazione” si calcola con:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot (A_{sw}/s \cdot f_{yd}) \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$$

Con riferimento al calcestruzzo d’anima, la resistenza di calcolo a “taglio compressione” si calcola

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

La resistenza al taglio della trave è la minore delle due sopra definite:

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

dove  $d$ ,  $b_w$  e  $\sigma_{cp}$  hanno il significato già visto in precedenza e inoltre si è posto:

$A_{sw}$  area dell’armatura trasversale;

$s$  interasse tra due armature trasversali consecutive;

$\alpha$  angolo di inclinazione dell’armatura trasversale rispetto all’asse della trave;

$f'_{cd}$  resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d’anima ( $f'_{cd} = 0,5 \cdot f_{cd}$ );

$\alpha_c$  coefficiente maggiorativo pari a:

1 per membrature non compresse

$1 + \sigma_{cp} / f_{cd}$  per  $0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$

1,25 per  $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$

$2,5 (1 - \sigma_{cp} / f_{cd})$  per  $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < 0,5 f_{cd}$

### 7.5.1.2 Verifiche SLU di tipo GEO

Le verifiche di tipo geotecnico effettuate per le opere in esame sono finalizzate a garantire le adeguate condizioni di sicurezza nei riguardi dei collassi per superamento della resistenza passiva del terreno a valle delle paratie e per carico limite verticale dei pannelli.

La verifica della profondità di infissione viene effettuata in maniera automatica nello studio dell’interazione terreno-parete attraverso la valutazione del rapporto tra la massima spinta agente a monte della parete ( $E_d$ ) e la resistenza passiva del terreno disponibile per la parte infissa ( $R_d$ ) che, come è ovvio, in tutte le combinazioni delle azioni considerate, deve comunque risultare minore dell’unità.

La verifica del collasso per carico limite verticale dei pannelli è stata sviluppata con riferimento alle indicazioni contenute nel § 6.4.3 delle NTC 2008 (“Fondazioni profonde”) secondo l’approccio 2 (combinazione A1+M1+R3).

Le azioni di calcolo sono state amplificate mediante i coefficienti A1 ( $\gamma_g = 1,3$ ,  $\gamma_q = 1,5$ ) della Tabella 9, i parametri geotecnici sono stati ottenuti applicando ai valori caratteristici i coefficienti parziali M1 ( $\gamma_c = \gamma_\phi = 1$ ) della **Tabella 10** e le resistenze caratteristiche sono state ridotte attraverso i coefficienti

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0

R3 indicati nella successiva Tabella 19.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	$\gamma_t$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(\*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

**Tabella 19 - Coefficienti parziali  $\gamma_r$  da applicare alle resistenze caratteristiche di carico limite verticale**

I valori caratteristici delle resistenze sono stati ottenuti dai valori di calcolo analitici mediante l'applicazione dei fattori di correlazione richiamati nella tabella seguente in funzione del numero di verticali indagate.

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

**Tabella 20 – Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate**

Il carico limite verticale Q viene convenzionalmente suddiviso in due aliquote, la resistenza alla punta P e la resistenza laterale S.

Nelle ipotesi di condizioni di deformazione piana, l'analisi viene svolta per metro lineare di profondità:

$$Q = P + S = b \cdot 1m \cdot p + \sum_{i=1}^n L_{mi} \cdot 1m \cdot s_i + \sum_{j=1}^m L_{vj} \cdot 1m \cdot s_j$$

essendo

b = spessore dei diaframmi

p = resistenza unitaria alla base

$L_{mi}$  = spessore dello strato i-esimo di terreno a monte della paratia

$s_i$  = resistenza allo scorrimento all'interfaccia laterale parete-terreno dello strato i-esimo a monte della paratia

n = numero degli strati di terreno a monte della paratia

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

$L_{vj}$  = spessore dello strato j-esimo di terreno a valle della paratia

$s_j$  = resistenza allo scorrimento all’interfaccia laterale parete-terreno dello strato j-esimo a valle della paratia

$m$  = numero degli strati di terreno a valle della paratia

La resistenza unitaria di base  $p$  viene valutata mediante la nota formula trinomia:

$$p = \psi_q N_q \sigma'_{vp} + \psi_c N_c c' + \psi_\gamma N_\gamma \gamma' \frac{b}{2} + u_p$$

in cui si sono indicati con  $N_q$ ,  $N_c$ ,  $N_\gamma$  i coefficienti di carico limite, con  $\psi_q$ ,  $\psi_c$ ,  $\psi_\gamma$  i coefficienti correttivi di punzonamento proposti da Vesic (1975), con  $u_p$  e  $\sigma'_{vp}$  rispettivamente la pressione neutra e la tensione verticale efficace litostatica agente alla base del pannello, con  $c'$  e  $\gamma'$  la coesione efficace ed il peso immerso dell’unità di volume del terreno al di sotto della punta.

La resistenza unitaria laterale  $s$  viene valutata mediante le relazione:

$$s = k\mu\sigma'_{vz}$$

in cui  $k$  è un coefficiente empirico rappresentativo del rapporto tra le tensioni orizzontale e verticale efficaci ed è funzione della tecnologia esecutiva dei pannelli e della natura del terreno,  $\mu$  è un coefficiente di attrito che dipende dalla scabrezza dell’interfaccia parete-terreno e  $\sigma'_{vz}$  è la tensione verticale efficace litostatica riferita alla profondità media del tratto immerso.

## 7.5.2 Criteri di verifica per gli Stati limite di esercizio (SLE)

In condizioni di esercizio, sono state effettuate le seguenti verifiche di sicurezza:

- ✓ Verifiche delle tensioni di esercizio
- ✓ Verifiche di fessurazione

In condizioni sismiche (SLD), sono state effettuate le sole verifiche delle tensioni di esercizio, con riferimento ai limiti indicati per le combinazioni rare delle azioni

### 7.5.2.1 Verifiche delle tensioni di esercizio

Una volta valutate le caratteristiche della sollecitazione nelle varie parti della struttura, vengono calcolate le massime tensioni sia sul calcestruzzo che sulle armature. Tali tensioni devono risultare inferiori ai massimi valori consentiti di seguito riportati.

Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

$\sigma_c < 0,60 f_{ck}$  per combinazione caratteristica (rara)

$\sigma_c < 0,45 f_{ck}$  per combinazione quasi permanente.

Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio:

Per l'acciaio la tensione massima  $\sigma_c$ , per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

$\sigma_s < 0,8 f_{yk}$ .

#### 7.5.2.2 Verifiche di fessurazione

Per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture si deve:

- garantire un sufficiente ricoprimento delle armature con calcestruzzo di buona qualità e compattezza, bassa porosità e bassa permeabilità;
- non superare uno stato limite di fessurazione adeguato alle condizioni ambientali, alle sollecitazioni ed alla sensibilità delle armature alla corrosione;
- tener conto delle esigenze estetiche.

In ordine di severità decrescente si distinguono i seguenti stati limite di fessurazione:

- a) stato limite di decompressione nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale è ovunque di compressione ed al più uguale a 0;
- b) stato limite di formazione delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata è:

$$\sigma_t = \frac{f_{ctm}}{1.2}$$

dove  $f_{ctm}$  rappresenta la resistenza a trazione media del cls.

- c) stato limite di apertura delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$$w_1 = 0,2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0,3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0,4 \text{ mm}$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Lo stato limite di fessurazione è stato fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione. Le verifiche condotte per i diversi stati limite di fessurazione sono di seguito riportate.

- **Stato limite di apertura delle fessure**

Il valore di calcolo di apertura delle fessure ( $w_d$ ) non deve superare i valori nominali  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$  secondo quanto riportato nella tabella 7 (crf par.7.1.0)

Il valore di calcolo è dato da:

$$w_d = 1,7 w_m$$

dove  $w_m$ , rappresenta l'ampiezza media delle fessure.

L'ampiezza media delle fessure  $w_m$  è calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d'armatura  $\epsilon_{sm}$  per la distanza media tra le fessure  $\Delta_{sm}$ :

$$w_m = \epsilon_{sm} \cdot \Delta_{sm}$$

Per il calcolo di  $\epsilon_{sm}$ , e  $\Delta_{sm}$  vanno utilizzati criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica.

### 7.5.3 Descrizione degli elementi resistenti

Le paratie vengono realizzate mediante diaframmi in c.a. aventi sezione trasversale 250x120cm con calcestruzzo C28/35.

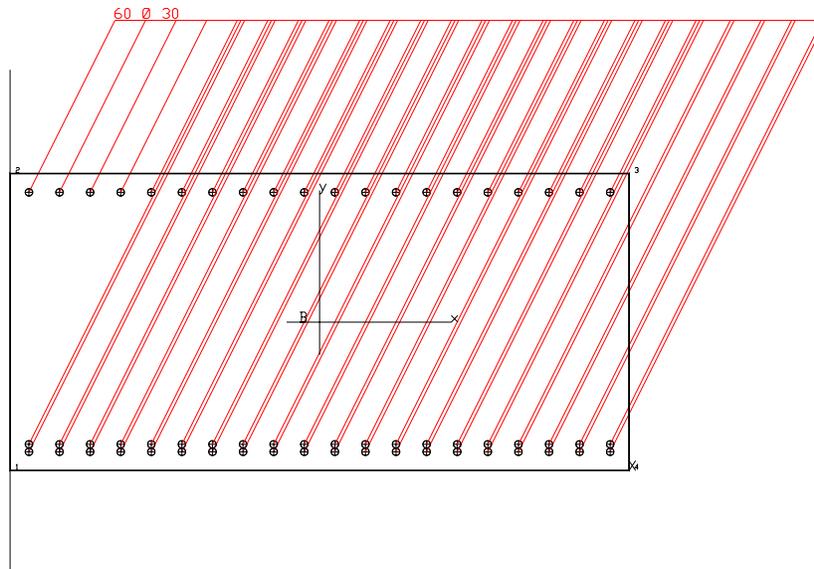
Le armature previste sono riportate nella seguente tabella.

Gabbia	Quote da p.c. (m)	Armatura Intradosso	Armatura Estradosso	Staffe
1	0 - ...	20 $\phi$ 30	40 $\phi$ 30 (1° e 2° strato 20 $\phi$ 30 accoppiati)	$\phi$ 14/20 a 6 bracci

**Tabella 21 - Armature diaframmi**

La figura successiva mostra la disposizione delle armature sulla sezione trasversale

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



**Figura 61 – Armature dei diaframmi**

#### **7.5.4 Risultati delle verifiche**

Di seguito sono riportati i risultati delle verifiche di sicurezza maggiormente gravose per le opere in esame ottenuti direttamente dalle analisi numeriche (verifiche GEO) e con l'ausilio del programma di verifica delle sezioni RC-SEC (verifiche STR e verifiche SLE).

##### **7.5.4.1 Verifiche SLU di tipo strutturale**

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche di sicurezza a pressoflessione e taglio relative alle sollecitazioni massime ( $M_{max}$ ,  $M_{min}$ ,  $V_{max}$ ) calcolate nelle combinazioni delle azioni STR e GEO precedentemente illustrate. Le verifiche si riferiscono ad una sezione di 250x120cm.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0140_F0	Rev F0	Data 20-06-2011

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)  
 Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)  
 Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	256500	541575	0	256518	1253872	0	2.289
2	S	213750	-324750	0	213766	-700097	0	2.189
3	S	215250	10	0	215260	1237556	0	135.870
4	S	258000	540250	0	257998	1254450	0	2.296
5	S	213750	-431425	0	213766	-700097	0	1.636
6	S	215250	10	0	215260	1237556	0	135.870

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
 Vsdu Taglio agente [daN] = proiezione di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro  
 Vcd Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso  
 Vwd Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe  
 Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.  
 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.  
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro.  
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
 Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
 A\_Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
 (Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
 ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio)

N.Comb.	Ver	Vsdu	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Teta	Acw	Ast	A_Eff
1	S	0	1056806	174099	112.4	250.0	45.00°	1.054	0.0	44.0(0.0)
2	S	0	1047796	174099	112.4	250.0	45.00°	1.045	0.0	44.0(0.0)
3	S	326650	722836	435248	112.4	250.0	21.80°	1.045	33.0	44.0(0.0)
4	S	0	1057122	174099	112.4	250.0	45.00°	1.054	0.0	44.0(0.0)
5	S	0	1047796	174099	112.4	250.0	45.00°	1.045	0.0	44.0(0.0)
6	S	330050	722836	435248	112.4	250.0	21.80°	1.045	33.4	44.0(0.0)

### 7.5.4.2 Verifiche SLU di tipo geotecnico

Di seguito si riportano i risultati delle analisi numeriche sviluppate con il programma Paratie ed i livelli di mobilitazione delle spinte nelle diverse fasi costruttive.

RIASSUNTO SPINTE NEGLI ELEMENTI TERRENO  
 (LE SPINTE SONO CALCOLATE INTEGRANDO GLI SFORZI NEI SINGOLI ELEMENTI MOLLA)

SPINTA EFFICACE VERA = Integrale delle pressioni orizzontali efficaci  
 in tutti gli elementi nel gruppo: unita' di  
 misura kN/m

SPINTA ACQUA = Integrale delle pressioni interstiziali in tutti gli elementi nel gruppo: unita' di misura kN/m

SPINTA TOTALE VERA = Somma della SPINTA EFFICACE e della SPINTA DELL'ACQUA: e' l' azione totale sulla parete: unita' di misura kN/m

SPINTA ATTIVA POSSIBILE = La minima spinta che puo' essere esercitata da questo gruppo di elementi terreno, in questa fase: unita' di misura kN/m

SPINTA PASSIVA POSSIBILE = La massima spinta che puo' essere esercitata da questo gruppo di elementi terreno, in questa fase: unita' di misura kN/m

RAPPORTO PASSIVA/VERA = e' il rapporto tra la massima spinta possibile e la spinta efficace vera: fornisce un'indicazione su quanta spinta passiva venga mobilitata;

SPINTA PASSIVA MOBILITATA = e' l'inverso del rapporto precedente, espresso in unita' percentuale: indica quanta parte della massima spinta possibile e' stata mobilitata;

RAPPORTO VERA/ATTIVA = e' il rapporto tra la spinta efficace vera e la minima spinta possibile: fornisce un'indicazione di quanto questa porzione di terreno sia prossima alla condizione di massimo rilascio.

FASE	1	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
		SPINTA EFFICACE VERA	10558.	10558.	11203.	11203.
		SPINTA ACQUA	1125.0	1125.0	1125.0	1125.0
		SPINTA TOTALE VERA	11683.	11683.	12328.	12328.
		SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	6740.9	5789.8	5789.8	7123.0
		SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	0.12755E+06	0.10955E+06	0.10955E+06	0.13478E+06
		RAPPORTO PASSIVA/VERA	12.081	10.376	9.7784	12.030
		SPINTA PASSIVA MOBILITATA	8.%	10.%	10.%	8.%
		RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.5662	1.8235	1.9350	1.5728

FASE	2	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
		SPINTA EFFICACE VERA	10558.	10558.	11203.	11203.
		SPINTA ACQUA	1125.0	1125.0	1125.0	1125.0
		SPINTA TOTALE VERA	11683.	11683.	12328.	12328.
		SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	6740.9	5789.8	5789.8	7123.0
		SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	0.12755E+06	0.10955E+06	0.10955E+06	0.13478E+06
		RAPPORTO PASSIVA/VERA	12.081	10.376	9.7784	12.030
		SPINTA PASSIVA MOBILITATA	8.%	10.%	10.%	8.%
		RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.5662	1.8235	1.9350	1.5728

FASE	3	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
		SPINTA EFFICACE VERA	9394.1	9273.8	9801.3	9921.6
		SPINTA ACQUA	1125.0	1125.0	1125.0	1125.0
		SPINTA TOTALE VERA	10519.	10399.	10926.	11047.
		SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	6740.9	4655.1	4655.1	7123.0
		SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	0.12755E+06	88080.	88080.	0.13478E+06
		RAPPORTO PASSIVA/VERA	13.577	9.4977	8.9865	13.584
		SPINTA PASSIVA MOBILITATA	7.%	11.%	11.%	7.%
		RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.3936	1.9922	2.1055	1.3929

FASE	4	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
		SPINTA EFFICACE VERA	9394.1	9273.8	9801.3	9921.6
		SPINTA ACQUA	1125.0	1125.0	1125.0	1125.0
		SPINTA TOTALE VERA	10519.	10399.	10926.	11047.
		SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	6740.9	4655.1	4655.1	7123.0
		SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	0.12755E+06	88080.	88080.	0.13478E+06

**COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE  
"PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**

*Codice documento*

ST0140\_F0

*Rev*

F0

*Data*

20-06-2011

RAPPORTO PASSIVA/VERA	13.577	9.4977	8.9865	13.584
SPINTA PASSIVA MOBILITATA	7.%	11.%	11.%	7.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.3936	1.9922	2.1055	1.3929

FASE	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
	SPINTA EFFICACE VERA	8433.7	8036.4	8420.2	8817.5
	SPINTA ACQUA	1125.0	1125.0	1125.0	1125.0
	SPINTA TOTALE VERA	9558.7	9161.4	9545.2	9942.5
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	6740.9	3637.2	3637.2	7123.0
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	0.12755E+06	68821.	68821.	0.13478E+06
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	15.123	8.5637	8.1733	15.285
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	7.%	12.%	12.%	7.%
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.2511	2.2095	2.3150	1.2379

FASE	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
	SPINTA EFFICACE VERA	8433.7	8036.4	8420.2	8817.4
	SPINTA ACQUA	1125.0	1125.0	1125.0	1125.0
	SPINTA TOTALE VERA	9558.7	9161.4	9545.2	9942.4
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	6740.9	3637.2	3637.2	7123.0
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	0.12755E+06	68821.	68821.	0.13478E+06
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	15.124	8.5636	8.1733	15.285
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	7.%	12.%	12.%	7.%
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.2511	2.2095	2.3150	1.2379

FASE	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
	SPINTA EFFICACE VERA	7690.8	6882.7	7181.2	7988.4
	SPINTA ACQUA	1125.0	1125.0	1125.0	1125.0
	SPINTA TOTALE VERA	8815.8	8007.7	8306.2	9113.4
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	6740.9	2736.2	2736.2	7123.0
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	0.12755E+06	51773.	51773.	0.13478E+06
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	16.584	7.5222	7.2096	16.871
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	6.%	13.%	14.%	6.%
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.1409	2.5154	2.6245	1.1215

FASE	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
	SPINTA EFFICACE VERA	7690.3	6882.9	7181.2	7988.6
	SPINTA ACQUA	1125.0	1125.0	1125.0	1125.0
	SPINTA TOTALE VERA	8815.3	8007.9	8306.2	9113.6
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	6740.9	2736.2	2736.2	7123.0
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	0.12755E+06	51773.	51773.	0.13478E+06
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	16.585	7.5220	7.2096	16.871
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	6.%	13.%	14.%	6.%
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.1408	2.5155	2.6245	1.1215

FASE	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
	SPINTA EFFICACE VERA	7148.7	5818.3	6099.2	7428.5
	SPINTA ACQUA	1125.0	1125.0	1125.0	1125.0
	SPINTA TOTALE VERA	8273.7	6943.3	7224.2	8553.5
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	6740.9	1952.2	1952.2	7123.0
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	0.12755E+06	36938.	36938.	0.13478E+06
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	17.842	6.3485	6.0561	18.143
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	6.%	16.%	17.%	6.%
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.0605	2.9804	3.1243	1.0429

FASE	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
	SPINTA EFFICACE VERA	7148.3	5818.5	6099.2	7429.0

SPINTA ACQUA	1125.0	1125.0	1125.0	1125.0
SPINTA TOTALE VERA	8273.3	6943.5	7224.2	8554.0
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	6740.9	1952.2	1952.2	7123.0
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	0.12755E+06	36938.	36938.	0.13478E+06
RAPPORTO PASSIVA/VERA	17.843	6.3483	6.0562	18.142
SPINTA PASSIVA MOBILITATA	6.%	16.%	17.%	6.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.0604	2.9805	3.1243	1.0430

FASE 11	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA		6876.5	4896.9	5183.8	7162.8
SPINTA ACQUA		1125.0	1125.0	1125.0	1125.0
SPINTA TOTALE VERA		8001.5	6021.9	6308.8	8287.8
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)		6740.9	1285.0	1285.0	7123.0
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)		0.12755E+06	24313.	24313.	0.13478E+06
RAPPORTO PASSIVA/VERA		18.548	4.9650	4.6902	18.816
SPINTA PASSIVA MOBILITATA		5.%	20.%	21.%	5.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA		1.0201	3.8109	4.0342	1.0056

FASE 12	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA		6876.1	4897.1	5183.9	7162.9
SPINTA ACQUA		1125.0	1125.0	1125.0	1125.0
SPINTA TOTALE VERA		8001.1	6022.1	6308.9	8287.9
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)		6740.9	1285.0	1285.0	7123.0
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)		0.12755E+06	24313.	24313.	0.13478E+06
RAPPORTO PASSIVA/VERA		18.549	4.9648	4.6902	18.816
SPINTA PASSIVA MOBILITATA		5.%	20.%	21.%	5.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA		1.0201	3.8111	4.0343	1.0056

FASE 13	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA		6884.4	4161.2	4423.5	7146.0
SPINTA ACQUA		1125.0	1125.0	1125.0	1125.0
SPINTA TOTALE VERA		8009.4	5286.2	5548.5	8271.0
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)		6740.9	734.64	734.64	7123.0
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)		0.12755E+06	13900.	13900.	0.13478E+06
RAPPORTO PASSIVA/VERA		18.527	3.3405	3.1424	18.860
SPINTA PASSIVA MOBILITATA		5.%	30.%	32.%	5.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA		1.0213	5.6642	6.0213	1.0032

FASE 14	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA		6884.0	4161.4	4423.5	7146.1
SPINTA ACQUA		1125.0	1125.0	1125.0	1125.0
SPINTA TOTALE VERA		8009.0	5286.4	5548.5	8271.1
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)		6740.9	734.64	734.64	7123.0
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)		0.12755E+06	13900.	13900.	0.13478E+06
RAPPORTO PASSIVA/VERA		18.528	3.3403	3.1424	18.860
SPINTA PASSIVA MOBILITATA		5.%	30.%	32.%	5.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA		1.0212	5.6646	6.0213	1.0032

FASE 15	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA		7002.5	3064.2	3226.3	7163.1
SPINTA ACQUA		1125.0	1125.0	1125.0	1125.0
SPINTA TOTALE VERA		8127.5	4189.2	4351.3	8288.1
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)		6740.9	270.34	270.34	7123.0
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)		0.12755E+06	5115.1	5115.1	0.13478E+06
RAPPORTO PASSIVA/VERA		18.214	1.6693	1.5855	18.815
SPINTA PASSIVA MOBILITATA		5.%	60.%	63.%	5.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA		1.0388	11.335	11.934	1.0056

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0

FASE	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
16					
	SPINTA EFFICACE VERA	7173.9	3253.0	3414.7	7335.6
	SPINTA ACQUA	1125.0	1125.0	1125.0	1125.0
	SPINTA TOTALE VERA	8298.9	4378.0	4539.7	8460.6
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	6740.9	471.92	471.92	7123.0
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	0.12755E+06	8929.4	8929.4	0.13478E+06
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	17.779	2.7450	2.6150	18.373
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	6.%	36.%	38.%	5.%
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.0642	6.8930	7.2357	1.0299
17					
	SPINTA EFFICACE VERA	11987.	3384.2	3883.6	8390.4
	SPINTA ACQUA	1125.0	1125.0	1125.0	1125.0
	SPINTA TOTALE VERA	13112.	4509.2	5008.6	9515.4
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	7750.8	542.62	542.62	8190.1
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	82178.	5753.2	5753.2	86836.
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	6.8558	1.7000	1.4814	10.349
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	15.%	59.%	68.%	10.%
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.5465	6.2368	7.1571	1.0245

### Verifica di carico limite verticale

Di seguito si riportano i risultati della verifica di capacità portante dei pannelli riferiti alla fase transitoria di raggiungimento del fondo scavo che rappresenta la condizione più gravosa per lo stato limite in esame.

Le azioni agenti sono costituite dal peso proprio dei pannelli e dall'aliquota di carico trasmessa dai solai di piano, a sua volta composta dal peso proprio delle solette e da un'azione accidentale che, in fase costruttiva, si assume cautelativamente pari a 2 kPa su tutti i solai.

Il valore dell'azione di progetto, per il caso in esame, è stata determinata come di seguito riportato.

DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO						
Peso proprio dei diaframmi						
Spessore (m)						1.20
Lunghezza (m)						49.00
Altezza fuori terra (m)						34.00
Lunghezza infissione (m)						15.00
Peso proprio (kN/m)						1470.00
Azioni trasmesse dai solai						
Solaio	Larghezza di influenza (m)	Peso proprio a ml (kPa)	Carico accidentale a ml (kPa)	Q <sub>perm</sub> (kN/m)	Q <sub>acc</sub> (kN/m)	
+54.53 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55	
+49.73 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55	
+44.93 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55	
+40.13 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55	
+35.33 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55	
+30.53 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55	
+25.73 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55	
<b>TOTALE (kN/m)</b>				<b>501.38</b>	<b>66.85</b>	
Valori di progetto delle azioni						
Azione	Valore caratteristico (kN/m)	Coefficiente di amplificazione	Valore di progetto (kN/m)			
Peso proprio pannelli	1470.00	1.30	1911.00			
Peso proprio solai	501.38	1.30	651.79			
Azioni accidentali (in fase costruttiva)	66.85	1.50	100.28			
<b>AZIONE DI PROGETTO (kN/m)</b>			<b>2663.06</b>			

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0

La resistenza analitica di carico limite verticale è stata determinata assumendo cautelativamente  $k = 0.4$  sia a monte che a valle della paratia e  $\mu = \tan(1/2\phi)$ , assumendo cioè un angolo di attrito di interfaccia  $\delta = 1/2\phi$ .

Il valore di progetto della resistenza è stato ottenuto applicando i coefficienti parziali di sicurezza richiamati nella Tabella 19 ai valori caratteristici, ottenuti a loro volta dai valori analitici tramite l'applicazione del fattore di correlazione  $\xi$  assunto pari a 1.70.

La tabella seguente riporta i risultati dei calcoli effettuati.

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA DI PROGETTO						
<b>Geometria dei diaframmi</b>						
Spessore (m)	1.20					
Lunghezza (m)	49.00					
Altezza fuori terra (m)	34.00					
Lunghezza infissione (m)	15.00					
<b>Caratteristiche del sottosuolo</b>						
<b>Parametri geotecnici dei terreni</b>						
<b>Strato</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>c (kPa)</b>	<b><math>\phi</math> (°)</b>	<b>E (MPa)</b>	<b><math>\nu</math></b>
Ghiaie di Messina	49.00	19.00	0.00	38.00	250.00	0.20
<b>Profondità della falda dal p.c. (m)</b>	34.00					
<b>Coefficienti di carico limite</b>						
$N_q$	48.93					
$N_c$	61.35					
$N_\gamma$	78.02					
<b>Correzione per punzonamento</b>						
<b>Modulo di rigidezza a taglio</b>	<b>G (MPa)</b>	104.17				
<b>Indice di rigidezza</b>	<b><math>I_r</math></b>	949.62				
<b>Indice di rigidezza critico</b>	<b><math>I_{r,crit}</math></b>	403.04				
<b>Coefficienti di punzonamento</b>	$\psi_q$	1.00				
	$\psi_c$	1.00				
	$\psi_\gamma$	1.00				
<b>Tensioni litostatiche alla base dei diaframmi</b>						
<b>Tensione verticale totale</b>	<b><math>\sigma_{vp}</math> (kPa)</b>	285.00				
<b>Pressione neutra</b>	<b><math>u_p</math> (kPa)</b>	150.00				
<b>Tensione verticale efficace</b>	<b><math>\sigma'_{vp}</math> (kPa)</b>	135.00				
<b>Resistenze di calcolo</b>						
<b>Resistenza alla base</b>						
<b>Resistenza unitaria</b>	<b>p (kPa)</b>	7177.32				
<b>Resistenza totale</b>	<b>P (kN/m)</b>	8612.78				
<b>Resistenza laterale - lato monte</b>						
<b>Strato</b>	<b><math>L_m</math> (m)</b>	<b>k</b>	<b><math>\mu</math></b>	<b><math>\sigma'_{vz}</math> (kPa)</b>	<b>s (kPa)</b>	<b>S (kN/m)</b>
Ghiaie di Messina - sopra falda	34.00	0.40	0.34	323.00	44.49	1512.56
Ghiaie di Messina - sotto falda	15.00	0.40	0.34	713.50	98.27	1474.07
					<b>TOTALE</b>	<b>1474.07</b>
<b>Resistenza laterale - lato valle</b>						
<b>Strato</b>	<b><math>L_v</math> (m)</b>	<b>k</b>	<b><math>\mu</math></b>	<b><math>\sigma'_{vz}</math> (kPa)</b>	<b>s (kPa)</b>	<b>S (kN/m)</b>
Ghiaie di Messina	15.00	0.40	0.34	142.50	19.63	294.40
					<b>TOTALE</b>	<b>294.40</b>
<b>Valori di progetto delle resistenze</b>						
	<b>Valore di calcolo (kN/m)</b>	<b>Fattore di correlazione (<math>\xi</math>)</b>	<b>Valore caratteristico (kN/m)</b>	<b>Coefficiente parziale di sicurezza (<math>\gamma_R</math>)</b>	<b>Valore di progetto (kN/m)</b>	
Resistenza alla base	8612.78	1.70	5066.34	1.35	3752.85	
Resistenza laterale	1768.47	1.70	1040.27	1.15	904.59	
<b>RESISTENZA DI PROGETTO (kN/m)</b>					<b>4657.43</b>	

La verifica di carico limite verticale dei pannelli è sintetizzata nella successiva tabella.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0

VERIFICA DI CARICO LIMITE VERTICALE		
AZIONI DI PROGETTO	$E_d$ (kN/m)	2663.06
RESISTENZA DI PROGETTO	$R_d$ (kN/m)	4657.43
<b>FATTORE DI SICUREZZA</b>	$R_d/E_d$	<b>1.75</b>

Si sottolinea il fatto che la verifica è stata condotta con riferimento a condizioni di carico particolarmente gravose (carico accidentale di 2 kPa presente contemporaneamente su tutti i solai) ed assumendo valori piuttosto cautelativi dei coefficienti per la determinazione delle resistenze di progetto (coefficiente  $k = 0.4$  anche nella parte di valle e coefficiente di attrito  $\mu = \tan(1/2\phi)$ ).

#### 7.5.4.3 Verifiche agli SLE

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche delle tensioni di esercizio e di fessurazione maggiormente gravose per le opere in esame. Le verifiche si riferiscono ad una sezione di 250x120cm.

#### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sez.
My	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.

N.Comb.	N	Mx	My
1	262500	389175	0
2	213750	-288075	0
3	258000	540250	0
4	213750	-404025	0

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm <sup>2</sup> ]
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Sf min	Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Ac eff.	Area di conglomerato [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre
D fess.	Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm
K3	Coeff. (§ B.6.6.2 Istruz.DM96) dipendente dalla forma del diagramma tensioni
Ap.fess.	Apertura fessure in mm. Calcolo secondo §4.1.2.2.4.6 NTC.

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	64.1	250.0	120.0	-1042	20.0	7.6	7822	186	0.175	0.066
2	S	47.9	250.0	0.0	-1297	7.6	112.4	7071	255	0.181	0.113
3	S	86.3	0.0	120.0	-1595	118.8	7.6	7822	187	0.179	0.178
4	S	66.0	250.0	0.0	-2081	20.0	112.4	7071	258	0.185	0.239

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inertza con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sez.  
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inertza con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.

N. Comb.	N	Mx	My
1	256500	416600	0
2	213750	-249750	0

N. Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	68.0	0.0	120.0	-1149	242.4	7.6	7822	186	0.176	0.133
2	S	41.9	250.0	0.0	-1040	32.3	112.4	7071	254	0.179	0.090

**7.5.4.4 Verifica di carico limite dei diaframmi centrali**

I diaframmi centrali sono costituiti da pannelli in c.a. di sezione trasversale 80x250cm della lunghezza totale di 54.0m.

Di seguito si riportano i risultati della verifica di capacità portante svolta secondo i criteri precedentemente esposti nella fase transitoria di raggiungimento del fondo scavo che, per lo stato limite in esame, rappresenta la condizione più gravosa.

Le azioni agenti sono costituite dal peso proprio dei pannelli e dall'aliquota di carico trasmessa dai solai di piano, a sua volta composta dal peso proprio delle solette e da un'azione accidentale che, in fase costruttiva, si assume cautelativamente pari a 2 kPa su tutti i solai.

Il valore dell'azione di progetto, per il caso in esame, è stata determinata come di seguito riportato.

DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO						
<b>Peso proprio dei diaframmi</b>						
Spessore (m)	0.80					
Lunghezza (m)	54.00					
Altezza fuori terra (m)	34.00					
Lunghezza infissione (m)	20.00					
Peso proprio (kN/m)	1080.00					
<b>Azioni trasmesse dai solai</b>						
Solaio	Larghezza di influenza (m)	Peso proprio a ml (kPa)	Carico accidentale a ml (kPa)	Q <sub>perm</sub> (kN/m)	Q <sub>acc</sub> (kN/m)	
+54.53 m s.l.m.	8.98	15.00	2.00	134.63	17.95	
+49.73 m s.l.m.	8.98	15.00	2.00	134.63	17.95	
+44.93 m s.l.m.	8.98	15.00	2.00	134.63	17.95	
+40.13 m s.l.m.	8.98	15.00	2.00	134.63	17.95	
+35.33 m s.l.m.	8.98	15.00	2.00	134.63	17.95	
+30.53 m s.l.m.	8.98	15.00	2.00	134.63	17.95	
+25.73 m s.l.m.	8.98	15.00	2.00	134.63	17.95	
				TOTALE (kN/m)	942.38	125.65
<b>Valori di progetto delle azioni</b>						
Azione	Valore caratteristico (kN/m)	Coefficiente di amplificazione	Valore di progetto (kN/m)			
Peso proprio pannelli	1080.00	1.30	1404.00			
Peso proprio solai	942.38	1.30	1225.09			
Azioni accidentali (in fase costruttiva)	125.65	1.50	188.48			
			<b>AZIONE DI PROGETTO (kN/m)</b>	<b>2817.56</b>		

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0

La resistenza analitica di carico limite verticale è stata determinata assumendo  $k = 0.4$  e  $\mu = \tan \phi$ . Il valore di progetto della resistenza è stato ottenuto applicando i coefficienti parziali di sicurezza richiamati nella Tabella 19 ai valori caratteristici, ottenuti a loro volta dai valori analitici tramite l'applicazione del fattore di correlazione  $\xi$  assunto pari a 1.70.

La tabella seguente riporta i risultati dei calcoli effettuati.

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA DI PROGETTO						
<b>Geometria dei diaframmi</b>						
Spessore (m)	0.80					
Lunghezza (m)	54.00					
Altezza fuori terra (m)	34.00					
Lunghezza infissione (m)	20.00					
<b>Caratteristiche del sottosuolo</b>						
<b>Parametri geotecnici dei terreni</b>						
<b>Strato</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>c (kPa)</b>	<b><math>\phi</math> (°)</b>	<b>E (MPa)</b>	<b><math>\nu</math></b>
Ghiaie di Messina	49.00	19.00	0.00	38.00	250.00	0.20
<b>Profondità della falda dal p.c. (m)</b>	34.00					
<b>Coefficienti di carico limite</b>						
$N_q$	48.93					
$N_c$	61.35					
$N_r$	78.02					
<b>Correzione per punzonamento</b>						
Modulo di rigidezza a taglio	G (MPa)	104.17				
Indice di rigidezza	$I_r$	726.18				
Indice di rigidezza critico	$I_{r,crit}$	418.20				
Coefficienti di punzonamento	$\psi_q$	1.00				
	$\psi_c$	1.00				
	$\psi_r$	1.00				
<b>Tensioni litostatiche alla base dei diaframmi</b>						
Tensione verticale totale	$\sigma_{vp}$ (kPa)	380.00				
Pressione neutra	$u_p$ (kPa)	200.00				
Tensione verticale efficace	$\sigma'_{vp}$ (kPa)	180.00				
<b>Resistenze di calcolo</b>						
<b>Resistenza alla base</b>						
Resistenza unitaria	p (kPa)	9288.87				
Resistenza totale	P (kN/m)	7431.10				
<b>Resistenza laterale</b>						
<b>Strato</b>	<b><math>L_v</math> (m)</b>	<b>k</b>	<b><math>\mu</math></b>	<b><math>\sigma'_{vz}</math> (kPa)</b>	<b>s (kPa)</b>	<b>S (kN/m)</b>
Ghiaie di Messina	20.00	0.40	0.78	90.00	28.13	1125.05
					TOTALE	1125.05
<b>Valori di progetto delle resistenze</b>						
	<b>Valore di calcolo (kN/m)</b>	<b>Fattore di correlazione (<math>\xi</math>)</b>	<b>Valore caratteristico (kN/m)</b>	<b>Coefficiente parziale di sicurezza (<math>\gamma_R</math>)</b>	<b>Valore di progetto (kN/m)</b>	
Resistenza alla base	7431.10	1.70	4371.23	1.35	3237.95	
Resistenza laterale	1125.05	1.70	661.79	1.15	575.47	
<b>RESISTENZA DI PROGETTO (kN/m)</b>					<b>3813.43</b>	

La verifica di carico limite verticale dei pannelli è sintetizzata nella successiva tabella.

VERIFICA DI CARICO LIMITE VERTICALE		
AZIONI DI PROGETTO	$E_d$ (kN/m)	2817.56
RESISTENZA DI PROGETTO	$R_d$ (kN/m)	3813.43
<b>FATTORE DI SICUREZZA</b>	<b><math>R_d/E_d</math></b>	<b>1.35</b>

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 8 Strutture interne

Nel presente capitolo vengono illustrati i criteri di verifica ed i risultati delle analisi numeriche effettuate per il dimensionamento strutturale della stazione profonda “Papardo” in progetto a Messina.

La stazione in progetto ha il piano del ferro collocato a profondità rispetto al piano campagna di circa 29.15 m.

Le opere strutturali caratterizzanti le stazioni sono costituite dai seguenti elementi principali:

- setti perimetrali in calcestruzzo armato di spessore 150cm;
- setti interni in calcestruzzo armato di spessore 100cm realizzati con la tecnologia a diaframmi;
- travi puntone in calcestruzzo armato da 100x100cm e da 80x100cm di contrasto ai setti perimetrali;
- travi puntone in acciaio con profili HEB600 di contrasto ai setti perimetrali in fase provvisoria;
- elementi di partizione orizzontale interni ad ogni stazione suddivisibili in soletta di copertura e solai intermedi aventi spessore pari a 60cm e solettone di fondo (platea) avente spessore pari a 200cm;
- travi in acciaio-calcestruzzo costituite da 2 profili HEB1000 annegati in sezioni di calcestruzzo da 150x150cm, utilizzate da contrasto ai diaframmi in corrispondenza dei fori presenti nei solai intermedi;
- travi in calcestruzzo armato da 80x120cm di collegamento diaframmi interni.

Nel seguito sono quindi descritti i metodi di analisi per lo sviluppo degli schemi strutturali della stazione e sono riportati i risultati delle analisi svolte per il predimensionamento delle stesse; questi ultimi sono raggruppati secondo tipologia dell'elemento strutturale; in fase di progettazione esecutiva saranno svolti tutti gli approfondimenti del caso al fine di giungere al dimensionamento di ogni singolo nodo strutturale.

### 8.1 Metodi di analisi

#### 8.1.1 Le fasi dell'analisi

I modelli di calcolo sono stati impostati in modo da consentire di effettuare l'analisi degli elementi

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

strutturali della stazione (setti solai e puntoni) in ogni fase caratteristica di esecuzione.

Nella tabella seguente è riportata la successione tipica delle fasi di modellazione eseguita per l’analisi delle strutture delle stazioni interrate considerando come condizioni al contorno la realizzazione dei diaframmi perimetrali ed interni per il sostegno delle terre.

FASE	DESCRIZIONE
1	- Scavo di ribasso per la realizzazione dei solai in c.a. collegati ai diaframmi e dei puntoni in c.a.; - posizionamento dei puntoni provvisionali nei fori dei solai e realizzazione delle travi composte acciaio-calcestruzzo; Fase eseguita con metodologia “top-down” fino al raggiungimento della platea di fondazione.
2	Realizzazione dei setti perimetrali in risalita.
3	Rimozione dei puntoni provvisionali.

La filosofia progettuale adottata per effettuare il dimensionamento e la verifica dei vari elementi strutturali è stata quella di rappresentare analiticamente le fasizzazioni 1 e 3 riguardanti rispettivamente le configurazioni provvisionali (breve termine) e le configurazioni permanenti (lungo termine) attraverso due differenti modellazioni. La FASE 2 non è stata considerata perché ritenuta poco significativa ai fini del dimensionamento, in quanto i setti perimetrali risulteranno scarichi fino alla rimozione dei puntoni provvisionali.

Di seguito vengono descritte in modo più dettagliato le ipotesi assunte nelle due modellazioni.

#### - MODELLO FASE 1

Per rappresentare la prima fase esecutiva caratterizzata dall’esecuzione in “top down” di tutti gli orizzontamenti quali solai, puntoni e cordoli perimetrali, vincolati attraverso chiavi di taglio alle paratie, si è proceduto realizzando un modello di calcolo costituito da tutti gli elementi prima descritti e caratterizzato dalle seguenti ipotesi:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

- Contropareti aventi rigidezza flessionale nulla in modo da poter garantire ai solai un appoggio verticale (chiavi di taglio) senza determinare alcun vincolo flessionale;
- Cordoli perimetrali in c.a. incastrati ai solai ed ai puntoni in c.a.. L'interazione tra cordoli perimetrali e paratie esterne in fase sismica è stata modellata disponendo su ogni cordolo degli elementi elastici “only compression” dimensionati con rigidezza elastica calcolata come di seguito descritto:

*MOLLE ORIZZONTALI (Teoria di Becci e Nova, 1987)*

$$K = E / L \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

avendo assunto:

E = modulo elastico rappresentativo della rigidezza dei terreni (vedi stratigrafia dell'opera e caratterizzazione geotecnica)

$$L = 2/3 (H' - D) \tan(45+\phi/2) \text{ dove}$$

$$H' = \min (2D; H)$$

H = lunghezza totale dei diaframmi

D = profondità di scavo

$\phi$  = angolo di attrito del terreno

di seguito viene riportata la tabella riassuntiva

	H' [cm]	D [cm]	$\phi$	L	E [Kg/cm <sup>2</sup> ]	K <sub>area</sub> [Kg/cm <sup>3</sup> ]	Area ELEMENTI SHELL [cm <sup>2</sup> ]	K <sub>molle</sub> [Kg/cm]
STRATO 1 (0 - 11m)	4900,0	3400,0	38,0	2347,9	1021,68	0,435	144000,0	62661,9
STRATO 2 (11 - 22m)	4900,0	3400,0	38,0	2347,9	1908,50	0,813	144000,0	117052,9
STRATO 3 (22 - 34m)	4900,0	3400,0	38,0	2347,9	2574,65	1,097	144000,0	157909,3

- Solai incastrati ai cordoli perimetrali, ai puntoni in c.a. ed ai diaframmi interni;
- Diaframmi interni incastrati ai solai di piano ed alla platea di fondazione;
- Puntoni in c.a. e puntoni provvisionali incastrati ai cordoli perimetrali, ai solai di piano ed ai diaframmi interni;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

- Platea di fondazione incastrata ai diaframmi interni ed alle pareti della vasca antincendio, l'interazione platea-terreno è stata modellata impostando ad ogni nodo un valore di  $K_{Winkler}$  unitario valutato con il seguente metodo:

**MOLLE VERTICALI** (Teoria di Bowles, 1991)

- $K = E / (B (1-\nu^2) I_s I_F) = 0,96 \text{ kg/cm}^3$
- essendo:
- E = modulo elastico dei terreni  $\rightarrow 2400 \text{ kg/cm}^2$
- B = larghezza della fondazione  $\rightarrow 2500 \text{ cm}$
- $[(1-\nu^2) I_s I_F] \approx 1$

In FASE 1 i carichi orizzontali statici e dinamici vengono applicati ad ogni cordolo perimetrale di piano. I carichi utilizzati in questa fase vengono meglio descritti nel relativo capitolo di analisi dei carichi.

- MODELLO FASE 3

Per analizzare la terza fase esecutiva rappresentativa dell'ultimazione delle strutture interne, si è proceduto realizzando un modello di calcolo costituito da tutti gli elementi prima descritti, caratterizzati dalle seguenti ipotesi:

- Contropareti alle quali viene ripristinata la rigidità, annullata in FASE 1 e vengono disposti vincoli elastici “only compression” distribuiti sui nodi degli elementi shell per rappresentare l'interazione terreno-struttura in fase sismica; la valutazione delle rigidità utilizzate per i vincoli elastici sono state calcolate come di seguito:

*MOLLE ORIZZONTALI (Teoria di Becci e Nova, 1987)*

$$K = E / L \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

avendo assunto:

E = modulo elastico rappresentativo della rigidità dei terreni (vedi stratigrafia dell'opera e caratterizzazione geotecnica)

$$L = 2/3 (H' - D) \tan(45+\phi/2) \text{ dove}$$

$$H' = \min (2D; H)$$

H = lunghezza totale dei diaframmi

D = profondità di scavo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

$\phi$  = angolo di attrito del terreno

di seguito vengono riportate le tabelle riassuntive

Molle in direzione X

	H' [cm]	D [cm]	$\phi$	L	E [Kg/cm <sup>2</sup> ]	K <sub>area</sub> [Kg/cm <sup>3</sup> ]	Area ELEMENTI SHELL [cm <sup>2</sup> ]	K <sub>molle</sub> [Kg/cm]
STRATO 1 (0 - 11m)	4900,0	3400,0	38,0	2347,9	1021,68	0,435	48000,0	20887,3
STRATO 2 (11 - 22m)	4900,0	3400,0	38,0	2347,9	1908,50	0,813	48000,0	39017,6
STRATO 3 (22 - 34m)	4900,0	3400,0	38,0	2347,9	2574,65	1,097	48000,0	52636,4

Molle in direzione Y

	H' [cm]	D [cm]	$\phi$	L	E [Kg/cm <sup>2</sup> ]	K <sub>area</sub> [Kg/cm <sup>3</sup> ]	Area ELEMENTI SHELL [cm <sup>2</sup> ]	K <sub>molle</sub> [Kg/cm]
STRATO 1 (0 - 11m)	4900,0	3400,0	38,0	2347,9	1021,68	0,435	72000,0	31331,0
STRATO 2 (11 - 22m)	4900,0	3400,0	38,0	2347,9	1908,50	0,813	72000,0	58526,5
STRATO 3 (22 - 34m)	4900,0	3400,0	38,0	2347,9	2574,65	1,097	72000,0	78954,7

- Cordoli in c.a. incastrati alle contropareti perimetrali e vincolati ad elementi D2 rappresentanti le chiavi di taglio di collegamento ai diaframmi esterni;
- Chiavi di taglio rappresentate da elementi che si sviluppano per 30cm in direzione perpendicolare ai cordoli perimetrali, per un'estremità incastrati ai cordoli e per l'altra vincolati a traslazione orizzontale attraverso l'inserimento di vincoli elastici.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

- Solai incastrati ai cordoli perimetrali, ai puntoni in c.a. ed ai diaframmi interni;
- Diaframmi interni incastrati ai solai di piano ed alla platea di fondazione;
- Puntoni in c.a. incastrati ai cordoli perimetrali, ai solai di piano ed ai diaframmi interni;
- Platea di fondazione incastrata ai diaframmi interni ed alle pareti della vasca antincendio, l'interazione platea-terreno è stata modellata impostando ad ogni nodo un valore di  $K_{Winkler}$  unitario valutato con il seguente metodo:

**MOLLE VERTICALI** (Teoria di Bowles, 1991)

- $K = E / (B (1-\nu^2) I_s I_F) = 0,96 \text{ kg/cm}^3$
- essendo:
- E = modulo elastico dei terreni  $\rightarrow 2400 \text{ kg/cm}^2$
- B = larghezza della fondazione  $\rightarrow 2500 \text{ cm}$
- $[(1-\nu^2) I_s I_F] \approx 1$

In FASE 3, i carichi orizzontali statici, relativi alle spinte delle terre, rimangono applicati ad ogni solaio mentre i carichi idrostatici ed i carichi dinamici, relativi all'incremento sismico di spinta delle terre, vengono applicati come carico distribuito sulle contropareti. I carichi utilizzati in questa fase vengono meglio descritti nel relativo capitolo di analisi dei carichi.

### 8.1.2 Il modello di calcolo strutturale

I calcoli della struttura sono stati eseguiti utilizzando il programma di calcolo PRO SAP (versione PROFESSIONAL 8.0.0 - build 2010-07-152).

Come dati di ingresso vengono forniti:

- i parametri caratteristici dei materiali utilizzati
- le caratteristiche geometriche delle sezioni utilizzate
- le coordinate dei nodi
- il numero di elementi beam e shell e i dati ad esse relativi (nodi di estremità, sezione, materiale)
- i vincoli (e le rigidezze equivalenti di eventuali vincoli elastici)
- i carichi (applicati ai nodi o agenti sugli elementi beam e shell)
- le eventuali distorsioni o salti termici applicati agli elementi beam e shell
- i coefficienti moltiplicativi delle singole condizioni di carico, e quindi le combinazioni di carico desiderate

Il programma fornisce in uscita:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

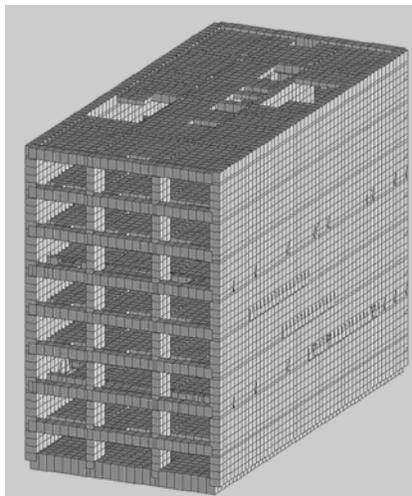
- gli spostamenti (orizzontali e verticali) e le rotazioni dei nodi
- l'azione assiale, il taglio e il momento flettente e lo stato tensionale negli elementi beam e shell
- i valori delle reazioni vincolari

I dati di input/output sono riportati in allegato.

Le strutture costituenti la stazione vengono modellate attraverso questi due elementi:

- Elementi D2: Sono elementi monodimensionali a due nodi formulati nello spazio, per questi elementi sono definiti al massimo tre gradi di libertà traslazionali e tre gradi di libertà rotazionali;
- Elementi Shell: Sono elementi a tre-quattro nodi formulati nello spazio. Per questi tipi di elementi sono definiti cinque gradi di libertà, tre traslazioni e due rotazioni nel piano dell'elemento, sono reagenti ad azioni membranali, flessionali e taglianti.

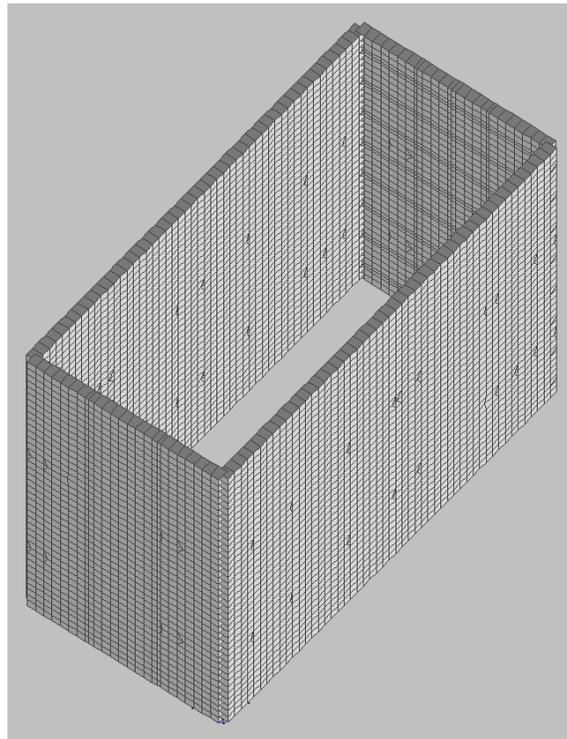
Di seguito vengono descritti i vincoli imposti ad ogni elemento e riportate le relative ipotesi per le quali si è adottata tale scelta di modellazione:



**modello strutturale**

- Contropareti (Elementi *Shell*) → questi elementi sono stati ipotizzati incastrati ai solai di piano, ai puntoni ed alla platea di fondazione, attraverso l'utilizzo di richiami d'armatura inseriti nei cordoli perimetrali e nella platea di fondazione, in modo da garantire continuità alle armature correnti prima del getto delle contropareti in risalita;

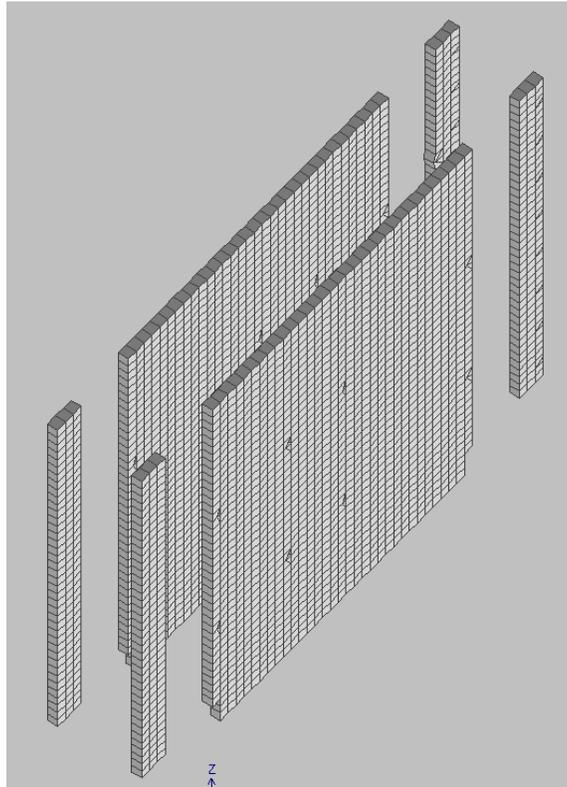
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



**Contropareti in c.a.**

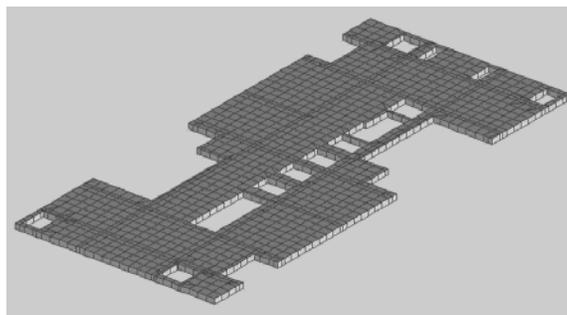
- Diaframmi interni (Elementi *Shell*) → questi elementi sono stati ipotizzati incastrati ai solai di piano, ai puntoni ed alla platea di fondazione;  
 I vincoli d'incastro tra diaframmi interni, solai di piano e platea saranno realizzati disponendo localmente armature passanti all'interno dei diaframmi con apposite riprese disposte al momento del getto degli elementi orizzontali. Localmente, in corrispondenza dei puntoni, verrà realizzato uno scasso nel diaframma e verrà disposta adeguata armatura passante a garantire continuità strutturale.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



**Diaframmi interni in c.a.**

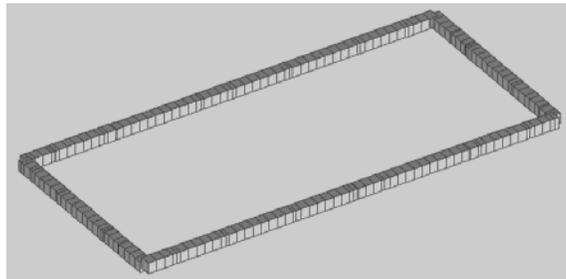
- Solai (Elementi *Shell*) → questi elementi sono stati ipotizzati incastrati ai cordoli perimetrali ed ai diaframmi interni attraverso le modalità descritte precedentemente;



**Solaio in c.a.**

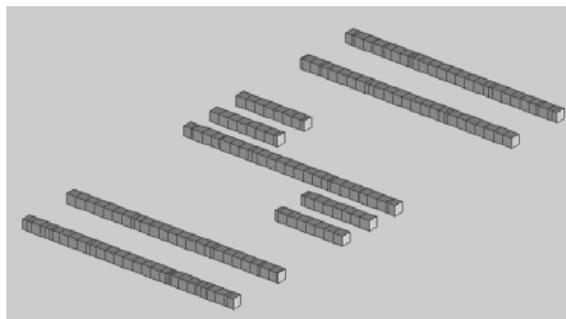
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

- Cordoli in c.a. (Elementi *D2*) → questi elementi sono stati ipotizzati incastrati alle contropareti perimetrali, ai solai ed ai puntoni attraverso le modalità descritte precedentemente;



**Cordoli perimetrali in c.a.**

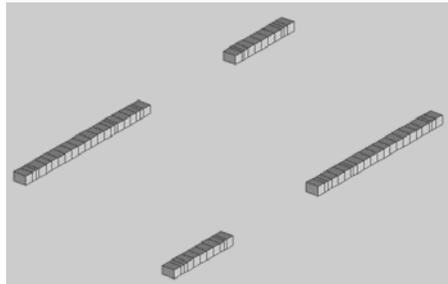
- Puntoni in c.a (Elementi *D2*) → questi elementi sono stati ipotizzati incastrati ai cordoli perimetrali ed ai diaframmi interni attraverso le modalità descritte precedentemente;



**Puntoni in c.a.**

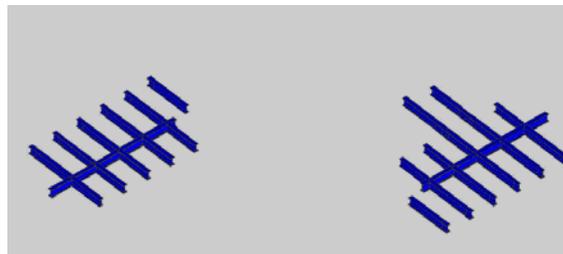
- Travi miste acciaio-calcestruzzo (Elementi *D2* a sezione omogeneizzata aventi rigidezza equivalente) → questi elementi sono stati ipotizzati incastrati alle contropareti ai solai di piano ed ai puntoni, attraverso l'utilizzo di richiami d'armatura, in modo da garantire continuità alle armature correnti prima del getto delle contropareti in risalita;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



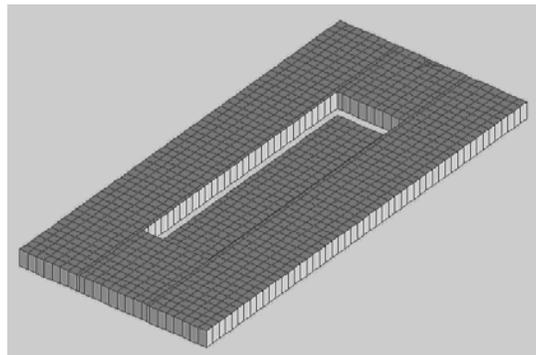
**Travi miste acciaio-calcestruzzo**

- Puntoni provvisionali in acciaio (Elementi *D2*) → questi elementi sono stati ipotizzati incastrati ai cordoli perimetrali ai solai ed ai diaframmi interni; questi vincoli d'incastro possono esser garantiti, annegando un'apposita piastra, provvista di tirafondi, all'interno dei cordoli perimetrali, dei solai e dei diaframmi interni, successivamente andando a montare i profili di acciaio;



**Puntoni provvisionali in acciaio**

- Platea di fondazione (Elementi *Shell*) → questo elemento è stato ipotizzato poggiate su suolo elastico alla winkler ed incastrato ai diaframmi interni attraverso le modalità descritte precedentemente;



**Platea di fondazione**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 8.2 Analisi dei carichi

### 8.2.1 Peso proprio strutture (caso di carico Ggk)

Il peso proprio degli elementi strutturali è determinato attribuendo il relativo peso specifico ai diversi materiali costituenti la struttura. In particolare, al fine della determinazione del carico da peso proprio, Ggk, si adottano i valori di peso di volume:

$\gamma_{cls}$	= 2500 daN/m <sup>3</sup>
Acciaio	= 7860 daN/m <sup>3</sup>

### 8.2.2 Sovraccarichi permanenti (caso di carico Gk)

Solai

pavimentazione industriale [massetto sp.60 cm]	= 500 daN/m <sup>2</sup>
carico specifico locali tecnici (applicato solo in FASE 3)	= 1000 daN/m <sup>2</sup>

Spinte delle terre sui solai FASE 1

Carichi applicati ai cordoli perimetrali di ogni piano corrispondenti alla spinta massima trasmessa dalle paratie nelle varie fasi esecutive.

PIANO	PRESSIONE (KN/m)
COPERTURA	99
5°	300
4°	451
3°	579
2°	717
1°	805
BANCHINA	1283

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Spinte delle terre sui solai FASE 3

Carichi applicati ai cordoli perimetrali di ogni piano corrispondenti alla spinta trasmessa dalle paratie nell'ultima fase esecutiva (trasferimento delle pressioni idrostatiche alle strutture interne).

PIANO	PRESSIONE (KN/m)
COPERTURA	20
5°	173
4°	279
3°	366
2°	471
1°	430
BANCHINA	1255

### 8.2.3 Sovraccarichi accidentali (caso di carico Qk)

Solai

ambienti suscettibili di affollamento

= 500 daN/m<sup>2</sup>

### 8.2.4 Carico sismico (caso di carico Gk)

#### FASE 1

*Definizione dei coefficienti sismici orizzontali per ciascuno stato limite esaminato*

$V_N$  = vita nominale = 10 anni

$C_U$  = coefficiente d'uso = 2.0

$V_R$  = periodo di riferimento dell'azione sismica = 35 anni

Categoria di sottosuolo = C

H = altezza complessiva del diaframma = 34.00m

$u_s$  = spostamento ammissibile = 10mm

$\alpha$  = coefficiente di deformabilità dei terreni = 0.6

$\beta$  = coefficiente di deformabilità dell'opera = 0.71

Avendo assunto i parametri  $\alpha$  e  $\beta$  in maniera analoga a quanto descritto nel par 7.3.2.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0140_F0	Rev F0	Data 20-06-2011

Stato limite	T <sub>r</sub> [anni]	a <sub>g</sub> [g]	F <sub>0</sub>	T <sub>C*</sub> [s]	S <sub>S</sub>	S <sub>T</sub>	a <sub>max</sub> [g]	k <sub>h</sub>
SLV	332	0.211	2.392	0.351	1.40	1.00	0.295	0.123

*Incremento sismico di spinta dei terreni (Teoria di Wood):*

Tale incremento viene considerato come carico statico calcolato come:

$$\Delta p_d = k_h \gamma \frac{h^2}{h'}$$

k<sub>h</sub> = coefficiente sismico orizzontale

γ = peso dell'unità di volume dei terreni = 20 kN/m<sup>3</sup>

h = altezza complessiva di scavo dal piano campagna = 34.00m

h' = altezza di scavo adottata nel calcolo della paratia = 34.00m

Stato limite	k <sub>h</sub>	Δp <sub>d</sub> [kPa]
SLV	0.123	83

In FASE 1 il valore di pressione viene moltiplicato per l'altezza netta di piano, ottenendo un carico distribuito applicato ai cordoli perimetrali di ogni solaio in direzione parallela all'azione sismica:

$$\Delta P_d = \Delta p_d * H = 0.83 * 480 = 381 \text{ kg/cm}$$

### FASE 3

*Definizione dei coefficienti sismici orizzontali per ciascuno stato limite esaminato*

V<sub>N</sub> = vita nominale = 100 anni

C<sub>U</sub> = coefficiente d'uso = 2.0

V<sub>R</sub> = periodo di riferimento dell'azione sismica = 200 anni

Categoria di sottosuolo = C

H = altezza complessiva della paratia = 34.00m

u<sub>s</sub> = spostamento ammissibile =(si è assunto cautelativamente uno spostamento ammissibile nullo)

α = coefficiente di deformabilità dei terreni = 0.6

β = coefficiente di deformabilità dell'opera = 1.0

Avendo assunto i parametri α e β in maniera analoga a quanto descritto nel par 7.3.2.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0

Stato limite	T <sub>r</sub> [anni]	a <sub>g</sub> [g]	F <sub>0</sub>	T <sub>C*</sub> [s]	S <sub>s</sub>	S <sub>T</sub>	a <sub>max</sub> [g]	k <sub>h</sub>
SLV	1898	0.437	2.48	0.42	1.05	1.00	0.458	0.30
SLD	201	0.167	2.36	0.33	1.46	1.00	0.243	0.14

*Incremento sismico di spinta dei terreni (Teoria di Wood):*

$$\Delta p_d = k_h \gamma \frac{h^2}{h'}$$

k<sub>h</sub> = coefficiente sismico orizzontale

γ = peso dell'unità di volume dei terreni = 20 kN/m<sup>3</sup>

h = altezza complessiva di scavo dal piano campagna = 34.00m

h' = altezza di scavo adottata nel calcolo della paratia = 34.00m

Tabella di sintesi

Stato limite	k <sub>h</sub>	Δp <sub>d</sub> [kPa]
SLV	0.305	207
SLD	0.140	95

In FASE 3 i valori di pressione vengono applicati direttamente alle contropareti.

### 8.2.5 Tabella riassuntiva applicazione carichi

Di seguito viene riassunta l'associazione tra i vari carichi e le due fasi riportate nei modelli:

FASI	Peso proprio (Ggk)	Sovracc. permanenti (Gk)	Spinte terre FASE 1 (Gk)	Spinte terre FASE 3 (Gk)	Carico sismico (Esk)	Incremento sismico spinta terre FASE 1	Incremento sismico spinta terre FASE 3
1	•	•	•		•	•	
3	•	•		•	•		•

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

### 8.3 Applicazione dei carichi al modello numerico

Si riportano nel seguito le tabelle di applicazione dei carichi al modello numerico utilizzato per le analisi.

#### 8.3.1 Definizione dei tipi di carico

Il programma consente l'uso di diverse tipologie di carico (azioni). Le azioni utilizzate nella modellazione sono individuate da una sigla identificativa ed un codice numerico (gli elementi strutturali richiamano quest'ultimo nella propria descrizione).

Nella tabella successiva vengono riportati i tipi di carico agenti sulla struttura, con l'indicazione dei dati relativi al tipo di carico stesso:

#### Modello - Fase 1

##### **Tipo** carico distribuito globale su trave

Id	Tipo	Pos.	fx	fy	fz
			cm	daN/cm	daN/cm
1	DG:Fxi=805.20 Fxf=805.20 P1+X	0.0	805.20	0.0	0.0
		0.0	805.20	0.0	0.0
2	DG:Fxi=-805.20 Fxf=-805.20 P1-X	0.0	-805.20	0.0	0.0
		0.0	-805.20	0.0	0.0
3	DG:Fyi=805.20 Fyf=805.20 P1+Y	0.0	0.0	805.20	0.0
		0.0	0.0	805.20	0.0
4	DG:Fyi=-805.20 Fyf=-805.20 P1-Y	0.0	0.0	-805.20	0.0
		0.0	0.0	-805.20	0.0
5	DG:Fxi=717.30 Fxf=717.30 P2+X	0.0	717.30	0.0	0.0
		0.0	717.30	0.0	0.0
6	DG:Fxi=-717.30 Fxf=-717.30 P2-X	0.0	-717.30	0.0	0.0
		0.0	-717.30	0.0	0.0
7	DG:Fyi=717.30 Fyf=717.30 P2+Y	0.0	0.0	717.30	0.0
		0.0	0.0	717.30	0.0
8	DG:Fyi=-717.30 Fyf=-717.30 P2-Y	0.0	0.0	-717.30	0.0
		0.0	0.0	-717.30	0.0
9	DG:Fxi=579.40 Fxf=579.40 P3+X	0.0	579.40	0.0	0.0
		0.0	579.40	0.0	0.0
10	DG:Fxi=-579.40 Fxf=-579.40 P3-X	0.0	-579.40	0.0	0.0
		0.0	-579.40	0.0	0.0
11	DG:Fyi=579.40 Fyf=579.40 P3+Y	0.0	0.0	579.40	0.0
		0.0	0.0	579.40	0.0
12	DG:Fyi=-579.40 Fyf=-579.40 P3-Y	0.0	0.0	-579.40	0.0
		0.0	0.0	-579.40	0.0
13	DG:Fxi=451.30 Fxf=451.30 P4+X	0.0	451.30	0.0	0.0
		0.0	451.30	0.0	0.0
14	DG:Fxi=-451.30 Fxf=-451.30 P4-X	0.0	-451.30	0.0	0.0
		0.0	-451.30	0.0	0.0
15	DG:Fyi=451.30 Fyf=451.30 P4+Y	0.0	0.0	451.30	0.0
		0.0	0.0	451.30	0.0
16	DG:Fyi=-451.30 Fyf=-451.30 P4-Y	0.0	0.0	-451.30	0.0
		0.0	0.0	-451.30	0.0

id	Tipo	Pos.	fx	fy	fz
17	DG:Fxi=300.60 Fxf=300.60 P5+X	0.0	300.60	0.0	0.0
		0.0	300.60	0.0	0.0
18	DG:Fxi=-300.60 Fxf=-300.60 P5-X	0.0	-300.60	0.0	0.0
		0.0	-300.60	0.0	0.0
19	DG:Fyi=300.60 Fyf=300.60 P5+Y	0.0	0.0	300.60	0.0
		0.0	0.0	300.60	0.0
20	DG:Fyi=-300.60 Fyf=-300.60 P5-Y	0.0	0.0	-300.60	0.0
		0.0	0.0	-300.60	0.0
21	DG:Fxi=99.90 Fxf=99.90 PC+X	0.0	99.90	0.0	0.0
		0.0	99.90	0.0	0.0
22	DG:Fxi=-99.90 Fxf=-99.90 PC-X	0.0	-99.90	0.0	0.0
		0.0	-99.90	0.0	0.0
23	DG:Fyi=99.90 Fyf=99.90 PC+Y	0.0	0.0	99.90	0.0
		0.0	0.0	99.90	0.0
24	DG:Fyi=-99.90 Fyf=-99.90 PC-Y	0.0	0.0	-99.90	0.0
		0.0	0.0	-99.90	0.0
27	DG:Fyi=381.40 Fyf=381.40 INCREMENTO SPINTE TERRE - SISMA Y - SLV	0.0	0.0	381.40	0.0
		0.0	0.0	381.40	0.0
28	DG:Fxi=381.40 Fxf=381.40 INCREMENTO SPINTE TERRE - SISMA X - SLV	0.0	381.40	0.0	0.0
		0.0	381.40	0.0	0.0
29	DG:Fxi=1283.00 Fxf=1283.00 PB+X	0.0	1283.00	0.0	0.0
		0.0	1283.00	0.0	0.0
30	DG:Fxi=-1283.00 Fxf=-1283.00 PB-X	0.0	-1283.00	0.0	0.0
		0.0	-1283.00	0.0	0.0
31	DG:Fyi=1283.00 Fyf=1283.00 PB+Y	0.0	0.0	1283.00	0.0
		0.0	0.0	1283.00	0.0
32	DG:Fyi=-1283.00 Fyf=-1283.00 PB-Y	0.0	0.0	-1283.00	0.0
		0.0	0.0	-1283.00	0.0

**Tipo** carico variabile generale

id	Tipo	ascissa	valore	ascissa	valore
		cm	daN/cm2	cm	daN/cm2
25	QV:var x - Qz - Area PERM PIASTRE				
	X - X Qz Area L2=0.0	-1.000e+04	-0.05	1.000e+04	-0.05
26	QV:var x - Qz - Area ACC PIASTRE				
	X - X Qz Area L2=0.0	-1.000e+04	-0.05	1.000e+04	-0.05

**Azione Sismica X**

Tipo	Sigla Id	Note
Esk	CDC=Es (statico SLU) alfa=0.0 (ecc. R)	
		categoria suolo: C
		fattore di sito S = 1.397
		ordinata spettro (tratto Tb-Tc) = 0.191 g
		angolo di ingresso:0.0
		eccentricità aggiuntiva: rapida
		periodo proprio T1: 1.213 sec.
		fattore di struttura q: 3.680
		fattore per spost. mu d: 3.680
		classe di duttilità CD: B
		coefficiente Lambda: 0.850
		ordinata spettro Sd(T1): 0.082

**Azione Sismica Y**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0

Tipo	Sigla Id	Note
Esk	CDC=Es (statico SLU) alfa=90.00 (ecc. R)	
		categoria suolo: C
		fattore di sito S = 1.397
		ordinata spettro (tratto Tb-Tc) = 0.255 g
		angolo di ingresso:90.00
		eccentricità aggiuntiva: rapida
		periodo proprio T1: 1.213 sec.
		fattore di struttura q: 2.760
		fattore per spost. mu d: 2.760
		classe di duttilità CD: B
		coefficiente Lambda: 0.850
		ordinata spettro Sd(T1): 0.110

### Azione Sismica Verticale

Tipo	Sigla Id	Note
Esk	CDC=Es (statico SLU) verticale	
		categoria suolo: C
		fattore di sito S = 1.000
		ordinata spettro (tratto Tb-Tc) = 0.208 g
		fattore di struttura q: 1.500
		classe di duttilità CD: B
		coefficiente Lambda: 0.850
		ordinata spettro Svd(T1): 0.042

### Modello - Fase 3

#### Tipo carico distribuito globale su trave

Id	Tipo	Pos.	fx	fy	fz
		cm	daN/cm	daN/cm	daN/cm
1	DG:Fxi=430.50 Fxf=430.50 P1+X	0.0	430.50	0.0	0.0
		0.0	430.50	0.0	0.0
2	DG:Fxi=-430.50 Fxf=-430.50 P1-X	0.0	-430.50	0.0	0.0
		0.0	-430.50	0.0	0.0
3	DG:Fyi=430.50 Fyf=430.50 P1+Y	0.0	0.0	430.50	0.0
		0.0	0.0	430.50	0.0
4	DG:Fyi=-430.50 Fyf=-430.50 P1-Y	0.0	0.0	-430.50	0.0
		0.0	0.0	-430.50	0.0
5	DG:Fxi=471.50 Fxf=471.50 P2+X	0.0	471.50	0.0	0.0
		0.0	471.50	0.0	0.0
6	DG:Fxi=-471.50 Fxf=-471.50 P2-X	0.0	-471.50	0.0	0.0
		0.0	-471.50	0.0	0.0
7	DG:Fyi=471.50 Fyf=471.50 P2+Y	0.0	0.0	471.50	0.0
		0.0	0.0	471.50	0.0
8	DG:Fyi=-471.50 Fyf=-471.50 P2-Y	0.0	0.0	-471.50	0.0
		0.0	0.0	-471.50	0.0
9	DG:Fxi=366.10 Fxf=366.10 P3+X	0.0	366.10	0.0	0.0
		0.0	366.10	0.0	0.0
10	DG:Fxi=-366.10 Fxf=-366.10 P3-X	0.0	-366.10	0.0	0.0
		0.0	-366.10	0.0	0.0
11	DG:Fyi=366.10 Fyf=366.10 P3+Y	0.0	0.0	366.10	0.0
		0.0	0.0	366.10	0.0
12	DG:Fyi=-366.10 Fyf=-366.10 P3-Y	0.0	0.0	-366.10	0.0
		0.0	0.0	-366.10	0.0
13	DG:Fxi=279.90 Fxf=279.90 P4+X	0.0	279.90	0.0	0.0
		0.0	279.90	0.0	0.0

Id	Tipo	Pos.	fx	fy	fz
14	DG:Fxi=-279.90 Fxf=-279.90 P4-X	0.0	-279.90	0.0	0.0
		0.0	-279.90	0.0	0.0
15	DG:Fyi=279.90 Fyf=279.90 P3+Y	0.0	0.0	279.90	0.0
		0.0	0.0	279.90	0.0
16	DG:Fyi=-279.90 Fyf=-279.90 P4-Y	0.0	0.0	-279.90	0.0
		0.0	0.0	-279.90	0.0
17	DG:Fxi=173.00 Fxf=173.00 P5+X	0.0	173.00	0.0	0.0
		0.0	173.00	0.0	0.0
18	DG:Fxi=-173.00 Fxf=-173.00 P5-X	0.0	-173.00	0.0	0.0
		0.0	-173.00	0.0	0.0
19	DG:Fyi=173.00 Fyf=173.00 P5+Y	0.0	0.0	173.00	0.0
		0.0	0.0	173.00	0.0
20	DG:Fyi=-173.00 Fyf=-173.00 P5-Y	0.0	0.0	-173.00	0.0
		0.0	0.0	-173.00	0.0
21	DG:Fxi=20.20 Fxf=20.20 PC+X	0.0	20.20	0.0	0.0
		0.0	20.20	0.0	0.0
22	DG:Fxi=-20.20 Fxf=-20.20 PC-X	0.0	-20.20	0.0	0.0
		0.0	-20.20	0.0	0.0
23	DG:Fyi=20.20 Fyf=20.20 PC+Y	0.0	0.0	20.20	0.0
		0.0	0.0	20.20	0.0
24	DG:Fyi=-20.20 Fyf=-20.20 PC-Y	0.0	0.0	-20.20	0.0
		0.0	0.0	-20.20	0.0
29	DG:Fxi=1255.00 Fxf=1255.00 PB+X	0.0	1255.00	0.0	0.0
		0.0	1255.00	0.0	0.0
30	DG:Fxi=-1255.00 Fxf=-1255.00 PB-X	0.0	-1255.00	0.0	0.0
		0.0	-1255.00	0.0	0.0
31	DG:Fyi=1255.00 Fyf=1255.00 PB+Y	0.0	0.0	1255.00	0.0
		0.0	0.0	1255.00	0.0
32	DG:Fyi=-1255.00 Fyf=-1255.00 PB-Y	0.0	0.0	-1255.00	0.0
		0.0	0.0	-1255.00	0.0

**Tipo carico di pressione uniforme su piastra**

Id	Tipo	pressione
		daN/cm2
39	P3:p=-0.10 CARICO SPECIFICO LOCALE TECNICO	-0.10

**Tipo carico variabile generale**

Id	Tipo	ascissa	valore	ascissa	valore
		cm	daN/cm2	cm	daN/cm2
25	QV:var x - Qz - Area PERM PIASTRE				
	X - X Qz Area L2=0.0	-1.000e+04	-0.05	1.000e+04	-0.05
26	QV:var x - Qz - Area ACC PIASTRE				
	X - X Qz Area L2=0.0	-1.000e+04	-0.05	1.000e+04	-0.05
27	QV:var x - Qy - Pres. INCREMENTO SPINTE TERRE - SISMA Y - SLV				
	X - X Qy Pres. L2=0.0	0.0	2.07	1.000e+06	2.07
28	QV:var y - Qx - Pres. INCREMENTO SPINTE TERRE - SISMA X - SLV				
	Y - Y Qx Pres. L2=0.0	0.0	2.07	1.000e+06	2.07
33	QV:var z - Qx - Pres.IDRO+X				
	Z - Z Qx Pres. L2=0.0	0.0	2.81	2810.00	0.0
34	QV:var z - Qx - Pres.IDRO-X				
	Z - Z Qx Pres. L2=0.0	0.0	-2.81	2810.00	0.0
35	QV:var z - Qy - Pres.IDRO+Y				
	Z - Z Qy Pres. L2=0.0	0.0	2.81	2810.00	0.0
36	QV:var z - Qy - Pres.IDRO-Y				
	Z - Z Qy Pres. L2=0.0	0.0	-2.81	2810.00	0.0

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Id	Tipo	ascissa	valore	ascissa	valore
37	QV:var x - Qy - Pres. INCREMENTO SPINTE TERRE - SISMA Y - SLD X - X Qy Pres. L2=0.0	0.0	0.95	1.000e+06	0.95
38	QV:var y - Qx - Pres. INCREMENTO SPINTE TERRE - SISMA X - SLD Y - Y Qx Pres. L2=0.0	0.0	0.95	1.000e+06	0.95

### Azione Sismica X

Tipo	Sigla Id	Note
Esk	CDC=Es (statico SLU) alfa=0.0 (ecc. R)	
		categoria suolo: C
		fattore di sito S = 1.049
		ordinata spettro (tratto Tb-Tc) = 0.356 g
		angolo di ingresso:0.0
		eccentricità aggiuntiva: rapida
		periodo proprio T1: 1.213 sec.
		fattore di struttura q: 3.200
		fattore per spost. mu d: 3.200
		classe di duttilità CD: B
		coefficiente Lambda: 0.850
		ordinata spettro Sd(T1): 0.171

Tipo	Sigla Id	Note
Esk	CDC=Es (statico SLD) alfa=0.0 (ecc. R)	
		categoria suolo: C
		fattore di sito S = 1.463
		ordinata spettro (tratto Tb-Tc) = 0.580 g
		angolo di ingresso:0.0
		eccentricità aggiuntiva: rapida
		periodo proprio T1: 1.213 sec.
		coefficiente Lambda: 0.850
		ordinata spettro Se(T1): 0.178

### Azione Sismica Y

Tipo	Sigla Id	Note
Esk	CDC=Es (statico SLU) alfa=90.00 (ecc. R)	
		categoria suolo: C
		fattore di sito S = 1.049
		ordinata spettro (tratto Tb-Tc) = 0.475 g
		angolo di ingresso:90.00
		eccentricità aggiuntiva: rapida
		periodo proprio T1: 1.213 sec.
		fattore di struttura q: 2.4
		fattore per spost. mu d: 2.4
		classe di duttilità CD: B
		coefficiente Lambda: 0.850
		ordinata spettro Sd(T1): 0.228

Tipo	Sigla Id	Note
Esk	CDC=Es (statico SLD) alfa=90.00 (ecc. R)	
		categoria suolo: C
		fattore di sito S = 1.463
		ordinata spettro (tratto Tb-Tc) = 0.580 g
		angolo di ingresso:90.00
		eccentricità aggiuntiva: rapida
		periodo proprio T1: 1.213 sec.
		coefficiente Lambda: 0.850
		ordinata spettro Se(T1): 0.178

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

### Azione Sismica Verticale

Tipo	Sigla Id	Note
Esk	CDC=Es (statico SLU) verticale	
		categoria suolo: C
		fattore di sito S = 1.000
		ordinata spettro (tratto Tb-Tc) = 0.646 g
		fattore di struttura q: 1.500
		classe di duttilità CD: B
		coefficiente Lambda: 0.850
		ordinata spettro Svd(T1): 0.088

Tipo	Sigla Id	Note
Esk	CDC=Es (statico SLD) verticale	
		categoria suolo: C
		fattore di sito S = 1.000
		ordinata spettro (tratto Tb-Tc) = 0.219 g
		coefficiente Lambda: 0.850
		ordinata spettro Sve(T1): 0.022

### 8.3.2 Definizione dei casi di carico

Il programma consente l'applicazione di diverse tipologie di casi di carico.

Sono previsti i seguenti 11 tipi di casi di carico:

	Sigla	Tipo	Descrizione
1	Ggk	A	caso di carico comprensivo del peso proprio struttura
2	Gk	NA	caso di carico con azioni permanenti
3	Qk	NA	caso di carico con azioni variabili
4	Gsk	A	caso di carico comprensivo dei carichi permanenti sui solai e sulle coperture
5	Qsk	A	caso di carico comprensivo dei carichi variabili sui solai
6	Qnk	A	caso di carico comprensivo dei carichi di neve sulle coperture
7	Qtk	SA	caso di carico comprensivo di una variazione termica agente sulla struttura
8	Qvk	NA	caso di carico comprensivo di azioni da vento sulla struttura
9	Esk	SA	caso di carico sismico con analisi statica equivalente
10	Edk	SA	caso di carico sismico con analisi dinamica
11	Pk	NA	caso di carico comprensivo di azioni derivanti da coazioni, cedimenti e precompressioni

Sono di tipo automatico A (ossia non prevedono introduzione dati da parte dell'utente) i seguenti casi di carico: 1-Ggk; 4-Gsk; 5-Qsk; 6-Qnk.

Sono di tipo semi-automatico SA (ossia prevedono una minima introduzione dati da parte dell'utente) i seguenti casi di carico:

7-Qtk, in quanto richiede solo il valore della variazione termica;

9-Esk e 10-Edk, in quanto richiedono il valore dell'angolo di ingresso del sisma e l'individuazione

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

dei casi di carico partecipanti alla definizione delle masse.

Sono di tipo non automatico NA ossia prevedono la diretta applicazione di carichi generici agli elementi strutturali (si veda il precedente punto Modellazione delle Azioni) i restanti casi di carico.

Si precisa che per i caso di carico 5-Qsk e 6-Qnk la partecipazione è prevista localmente per ogni elemento solaio o copertura presente nel modello e pertanto la loro partecipazione è di norma pari a uno.

Nella tabella successiva vengono riportati i casi di carico agenti sulla struttura, con l'indicazione dei dati relativi al caso di carico stesso: numero, tipo e sigla identificativa, valore di riferimento del caso di carico (se previsto).

Sono previsti i seguenti casi di carico:

#### FASE 1

CDC	Tipo	Sigla Id
1	Ggk	CDC=Ggk (peso proprio della struttura)
2	Gk	CDC=G1k (permanente generico) PERM
3	Qk	CDC=Qk (variabile generico) ACC
4	Gk	CDC=G1k (permanente generico) PERM TERRENO
5	Gk	CDC=G1k INCREMENTO SPINTA TERRE SISMA X SLV
6	Gk	CDC=G1k INCREMENTO SPINTA TERRE SISMA Y SLV
7	Esk	CDC=Es (statico SLU) alfa=0.0 (ecc. R)
8	Esk	CDC=Es (statico SLU) alfa=90.00 (ecc. R)
9	Esk	CDC=Es (statico SLU) verticale

#### FASE 3 (sisma X)

CDC	Tipo	Sigla Id
1	Ggk	CDC=Ggk (peso proprio della struttura)
2	Gk	CDC=G1k (permanente generico) PERM
3	Qk	CDC=Qk (variabile generico) ACC
4	Gk	CDC=G1k (permanente generico) PERM TERRENO
5	Gk	CDC=G1k INCREMENTO SPINTA TERRE SISMA X SLV
6	Esk	CDC=Es (statico SLU) alfa=0.0 (ecc. R)
7	Esk	CDC=Es (statico SLU) verticale
8	Esk	CDC=Es (statico SLD) alfa=0.0 (ecc. R)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

CDC	Tipo	Sigla Id
9	Esk	CDC=Es (statico SLD) verticale
10	Gk	CDC=G1k (permanente generico) SPINTA IDROSTATICA
11	Gk	CDC=G1k INCREMENTO SPINTA TERRE SISMA X SLD
12	Gk	CDC=G1k (permanente generico) CARICO LOCALE TECNICO

### FASE 3 (sisma Y)

CDC	Tipo	Sigla Id
1	Ggk	CDC=Ggk (peso proprio della struttura)
2	Gk	CDC=G1k (permanente generico) PERM
3	Qk	CDC=Qk (variabile generico) ACC
4	Gk	CDC=G1k (permanente generico) PERM TERRENO
5	Gk	CDC=G1k INCREMENTO SPINTA TERRE SISMA Y SLV
6	Esk	CDC=Es (statico SLU) alfa=90.00 (ecc. R)
7	Esk	CDC=Es (statico SLU) verticale
8	Esk	CDC=Es (statico SLD) alfa=90.00 (ecc. R)
9	Esk	CDC=Es (statico SLD) verticale
10	Gk	CDC=G1k (permanente generico) SPINTA IDROSTATICA
11	Gk	CDC=G1k INCREMENTO SPINTA TERRE SISMA Y SLD
12	Gk	CDC=G1k (permanente generico) CARICO LOCALE TECNICO

### 8.3.3 Combinazioni di carico

I diversi tipi di casi di carico (CDC) di cui al paragrafo precedente, sono combinati secondo le regole previste dalla normativa vigente. Le combinazioni previste sono destinate al controllo di sicurezza della struttura ed alla verifica delle sollecitazioni.

La prima tabella delle combinazioni riportata di seguito comprende le seguenti informazioni: Numero, Tipo, Sigla identificativa. Una seconda tabella riporta il peso nella combinazione, assunto per ogni caso di carico.

### FASE 1

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Cmb	Tipo	Sigla Id
1	SLU	SLU
2	SLU	SISMA X SLV
3	SLU	SISMA Y SLV

Cmb	CDC 1	CDC 2	CDC 3	CDC 4	CDC 5	CDC 6	CDC 7	CDC 8	CDC 9
1	1.30	1.30	1.50	1.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.0	1.00	0.0	0.30
3	1.00	1.00	1.00	1.00	0.0	1.00	0.0	1.00	0.30

### FASE 3 (sisma X)

Cmb	Tipo	Sigla Id
1	SLU	SLU
2	SLU	SISMA X SLV
3	SLD(sis)	SISMA X SLD
4	SLE(r)	SLE rara

Cmb	CDC 1	CDC 2	CDC 3	CDC 4	CDC 5	CDC 6	CDC 7	CDC 8	CDC 9	CDC 10	CDC 11	CDC 12
1	1.30	1.30	1.50	1.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.30
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.30	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00
3	1.00	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	1.00	0.30	0.0	1.00	1.00
4	1.00	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00

### FASE 3 (sisma Y)

Cmb	Tipo	Sigla Id
1	SLU	SLU
2	SLU	SISMA Y SLV
3	SLD(sis)	SISMA Y SLD
4	SLE(r)	SLE rara

Cmb	CDC 1	CDC 2	CDC 3	CDC 4	CDC 5	CDC 6	CDC 7	CDC 8	CDC 9	CDC 10	CDC 11	CDC 12
1	1.30	1.30	1.50	1.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.30

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

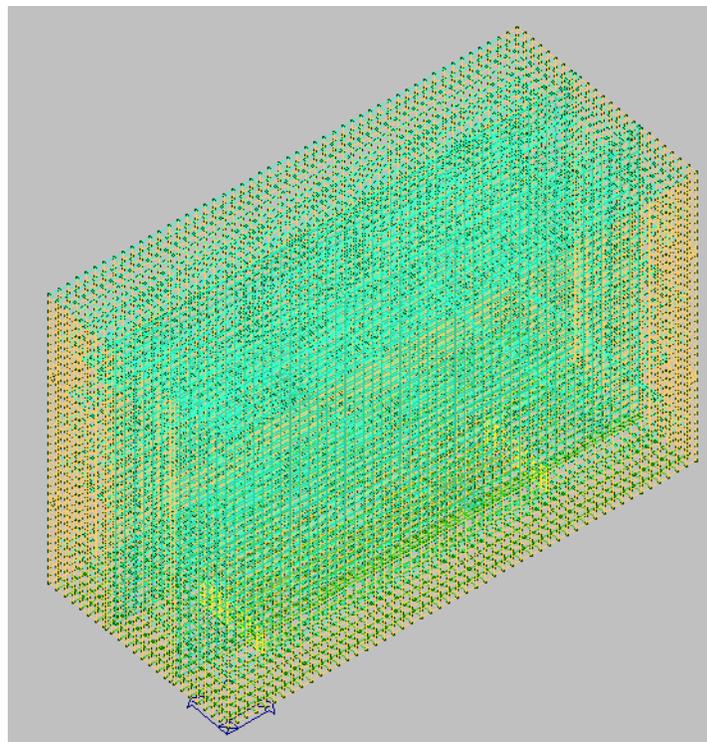
Cmb	CDC 1	CDC 2	CDC 3	CDC 4	CDC 5	CDC 6	CDC 7	CDC 8	CDC 9	CDC 10	CDC 11	CDC 12
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.30	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00
3	1.00	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	1.00	0.30	0.0	1.00	1.00
4	1.00	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 8.4 Risultati delle analisi e verifiche

I risultati delle analisi e delle verifiche sono consultabili nell'output del programma di calcolo, allegati alla relazione. I dati riportati in allegato sono divisi nelle seguenti sezioni:

- DATI DI INGRESSO: in cui sono riportati le caratteristiche geometriche, le caratteristiche dei materiali, la definizione degli elementi, la definizione dei carichi applicati (casi di carico e combinazioni);
- RISULTATI ANALISI: in cui vengono riportati i risultati dell'analisi simica, gli spostamenti e le reazioni in fondazione, le sollecitazioni e gli spostamenti dei vari elementi strutturali (travi, pilastri ,setti e piastre);
- PROGETTO E VERIFICA: in cui sono riportati gli stati di progettazioni e verifica di ogni elemento strutturale.



Vista complessiva

Si riportano di seguito le sollecitazioni e le verifiche più significative derivanti dall'output del programma di calcolo.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 8.4.1 Verifiche degli elementi strutturali

### 8.4.1.1 Contropareti

#### Verifiche SLU

Le verifiche di resistenza delle contropareti sono eseguite adottando il metodo semiprobabilistico agli stati limite; si assume un copriferro pari a 5 cm.

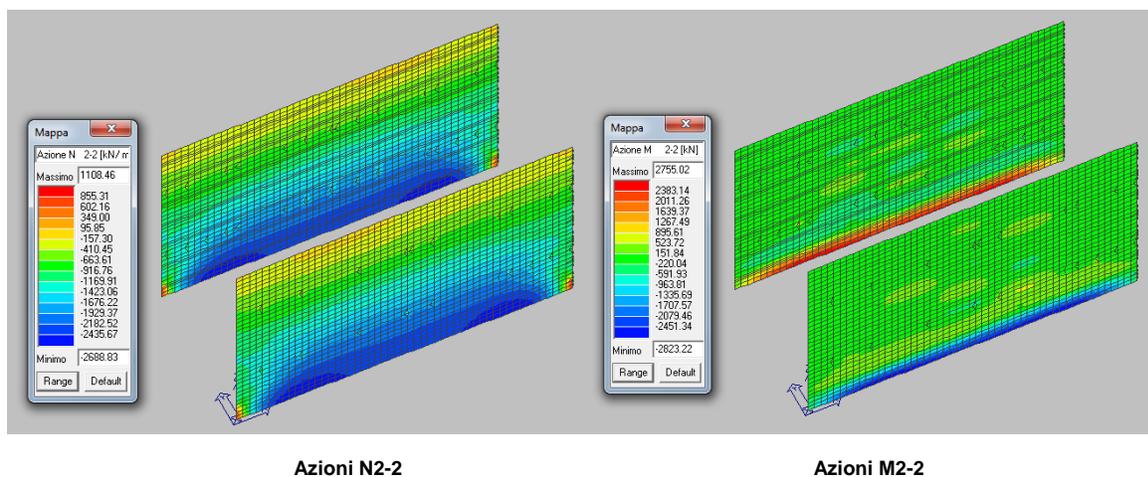
Le verifiche sono state effettuate relativamente ai setti in direzione X ed Y in FASE 3.

Per le sezioni di calcolo considerate, aventi spessore di 130 cm, la verifica a presso flessione è stata effettuata valutandone il dominio di rottura e verificando che le sollecitazioni ( $N_{Sdu}$ ,  $M_{Sdu}$ ) siano tutte interne ad esso.

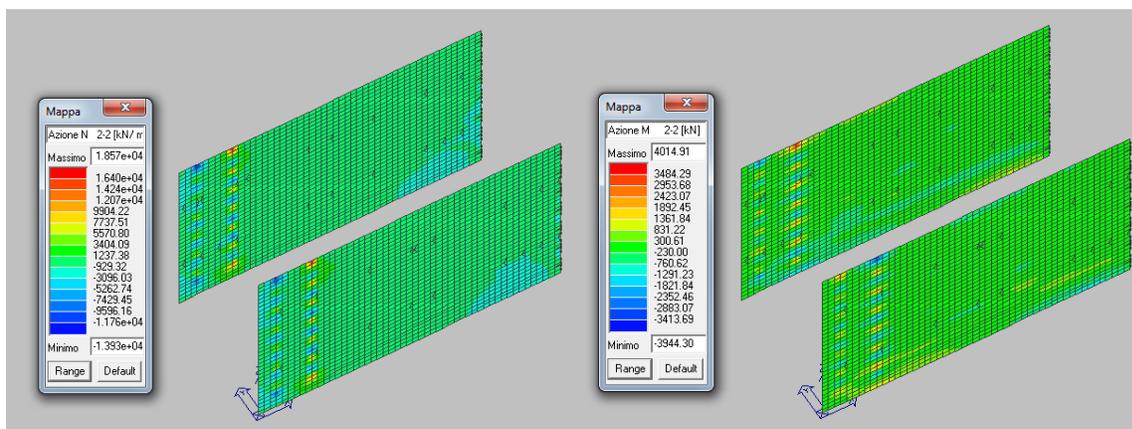
Combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.UU., sono riportate di seguito le mappature delle sollecitazioni, relative a tutte le combinazioni di carico, rapportate a grafici rappresentanti il dominio di rottura ( $N_{Rdu}$ ,  $M_{Rdu}$ ) per diverse configurazioni di armatura.

Setti X

Combinazione SLU



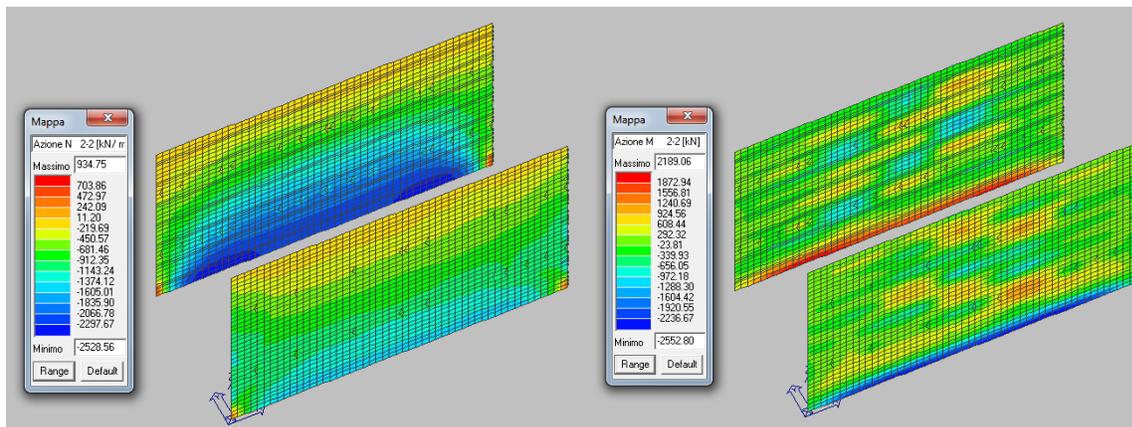
Combinazione Sisma X SLV (massima azione assiale)



Azioni N2-2

Azioni M2-2

Combinazione Sisma Y SLV (massima azione assiale)

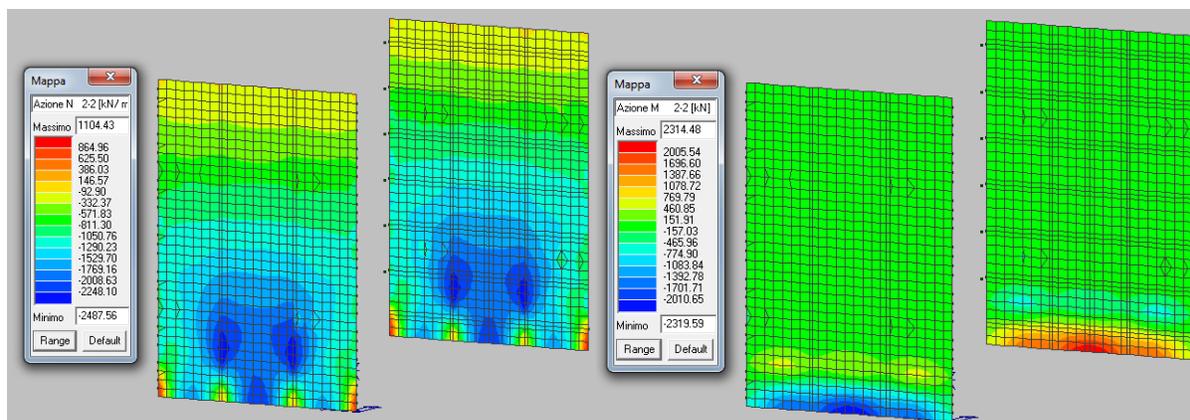


Azioni N2-2

Azioni M2-2

Setti Y

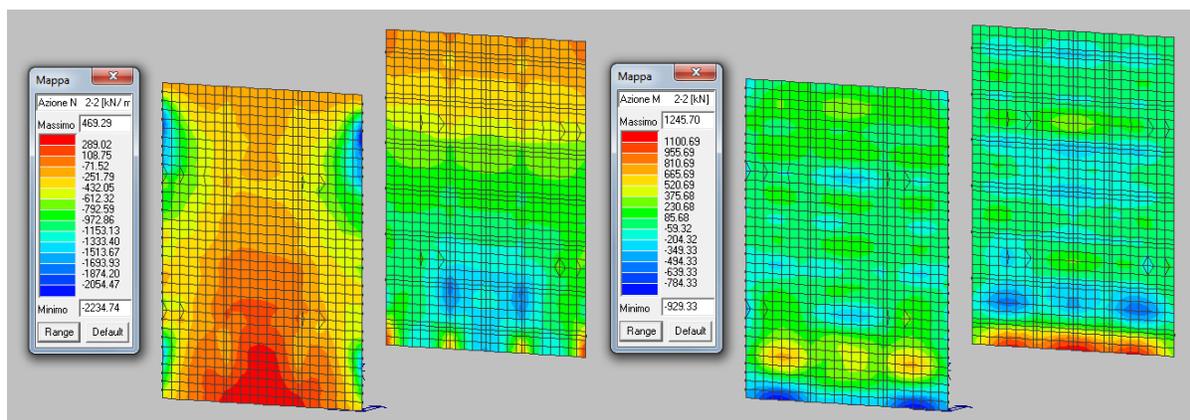
Combinazione SLU



Azioni N2-2

Azioni M2-2

Combinazione Sisma X SLV

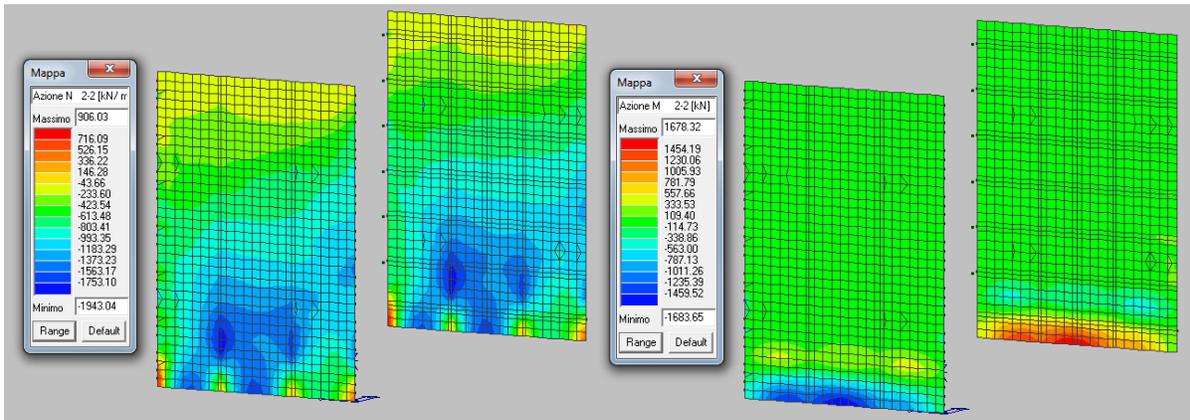


Azioni N2-2

Azioni M2-2

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Combinazione Sisma Y SLV

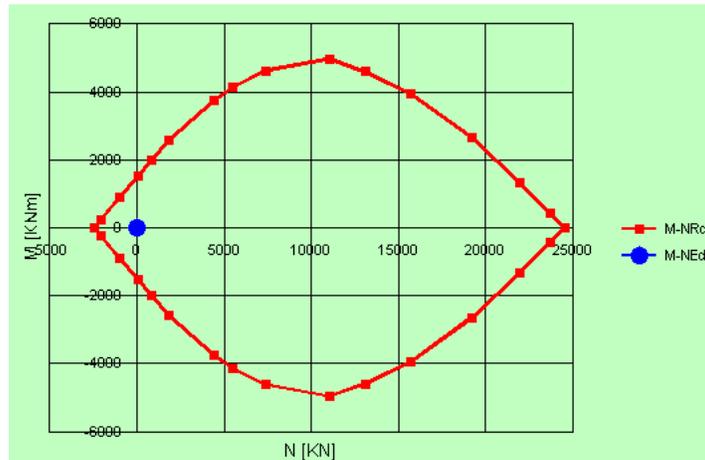


**Azioni N2-2**

**Azioni M2-2**

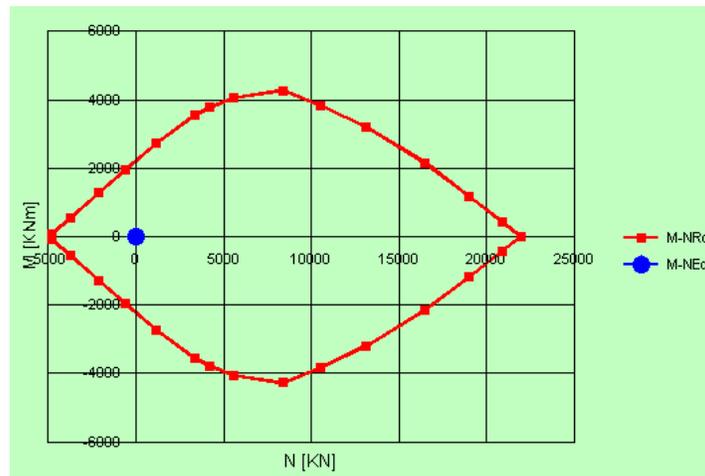
Verifiche SLU

Dominio di rottura ( $N_{Rdu}$ ,  $M_{Rdu}$ ) – armatura diffusa Ø20 maglia 10x10cm



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Dominio di rottura ( $N_{Rdu}$ ,  $M_{Rdu}$ ) – armatura Ø20 maglia 10x10cm+infittimento Ø20 maglia 10x10cm

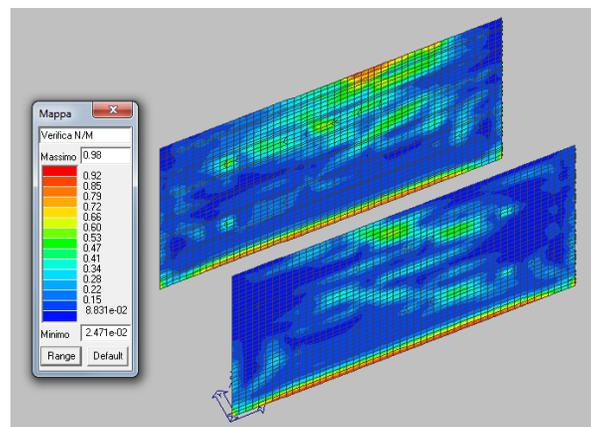


Osservando i domini resistenti M/N si nota come le sollecitazioni sopra riportate ricadano tutte al loro interno rendendo tale verifica soddisfatta.

### Verifica N/M

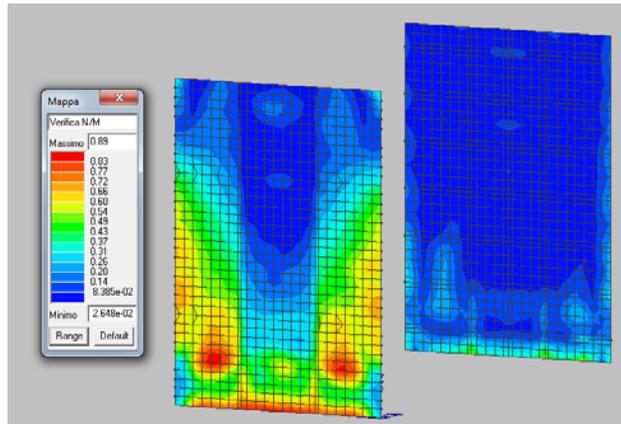
Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto  $S_d/S_u$  con sollecitazioni ultime proporzionali; il valore del rapporto deve essere minore o uguale a 1 per verifica positiva ( $S_d$  = sollecitazione di progetto,  $S_u$  = sollecitazione ultima)

Setti X



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## Setti Y

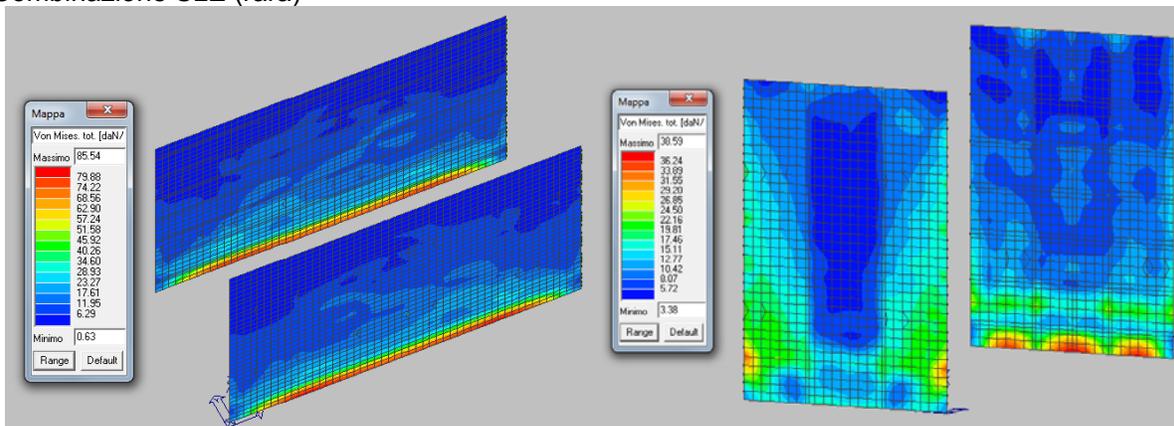


## Verifiche SLE

Di seguito sono riportate le mappature relative alle tensioni totali (membrana + flessione) ottenute mediante la formulazione di Von Mises, combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.EE.; vengono inoltre riportate le relative verifiche.

## Setti X

### Combinazione SLE (rara)



Tensioni totali Setti X

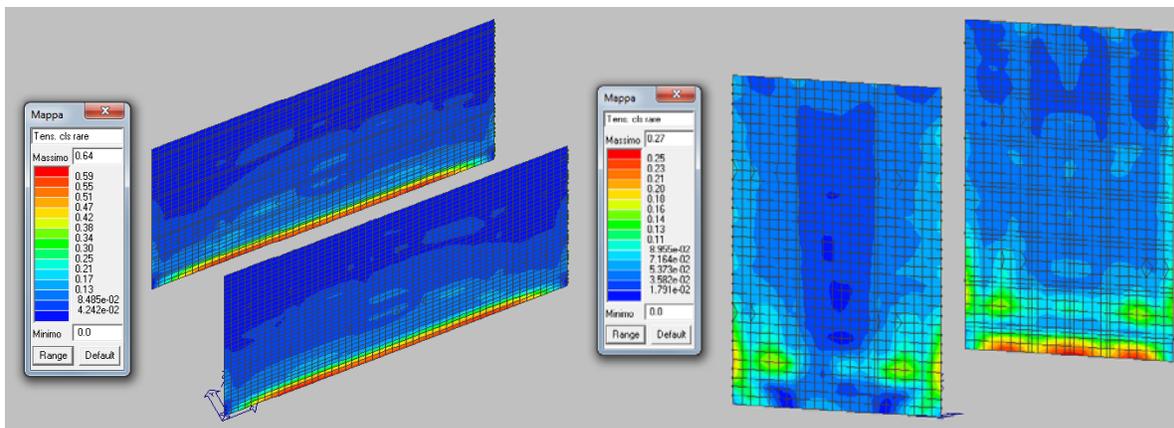
Tensioni totali Setti Y

## Verifica Tens. cls rare

Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto tra la massima compressione nel calcestruzzo e la tensione caratteristica del cls in combinazioni rare fattorizzata in base ai casi previsti dalla normativa (ad es.  $0.6 \cdot f_{ck}$ ); il valore del rapporto, per

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

verifica positiva, deve essere minore o uguale a 1 (D.M. 09/01/1996 par. 4.3.2, D.M. 14/02/2008 par. 4.1.2.2.5)



Verifica tensionale Setti X

Verifica tensionale Setti Y

#### 8.4.1.2 Pareti interne

##### Verifiche SLU

Le verifiche di resistenza delle pareti interne, aventi spessore  $s=80$  cm, sono eseguite adottando il metodo semiprobabilistico agli stati limite; si assume un copriferro pari a 5 cm.

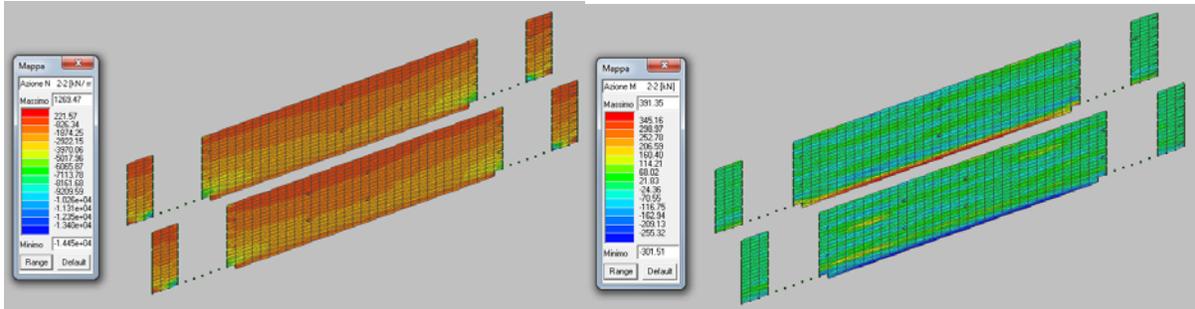
La verifica a presso-flessione è stata effettuata valutandone il dominio di rottura e verificando che le sollecitazioni ( $N_{Sdu}$ ,  $M_{Sdu}$ ) siano tutte interne ad esso.

Combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.UU., sono riportate di seguito le mappature delle sollecitazioni, per ognuna delle 2 fasi, relative a tutte le combinazioni di carico, rapportate a grafici rappresentanti il dominio di rottura ( $N_{Rdu}$ ,  $M_{Rdu}$ ) per diverse configurazioni di armatura.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Fase 1 (modello FASE 1)

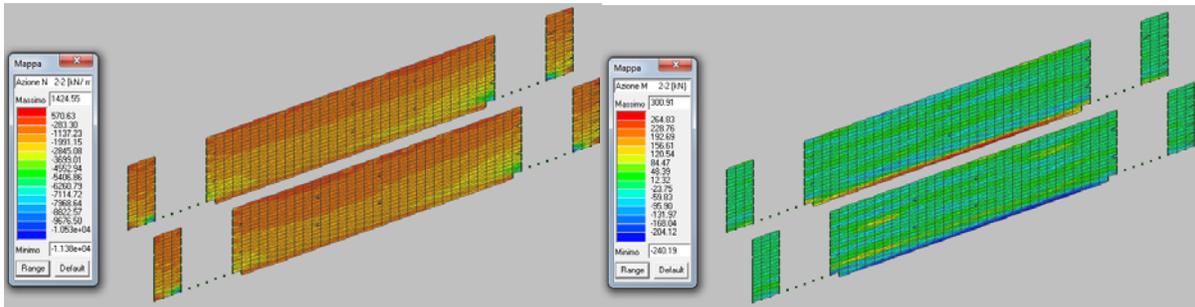
Combinazione SLU



Azioni N2-2

Azioni M2-2

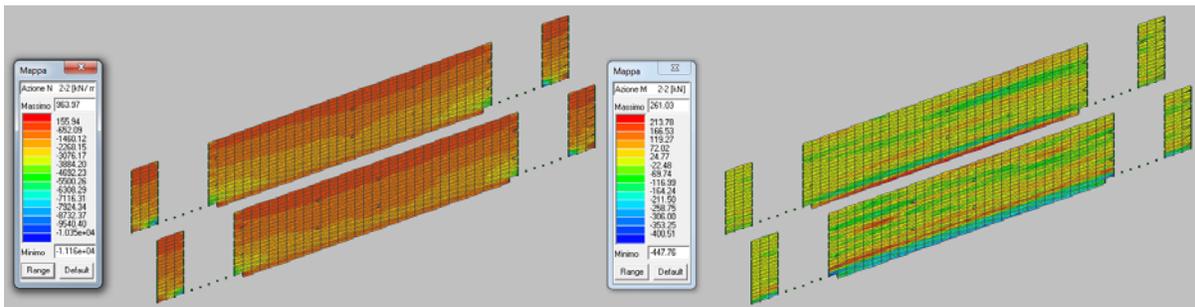
Combinazione Sisma X SLV



Azioni N2-2

Azioni M2-2

Combinazione Sisma Y SLV



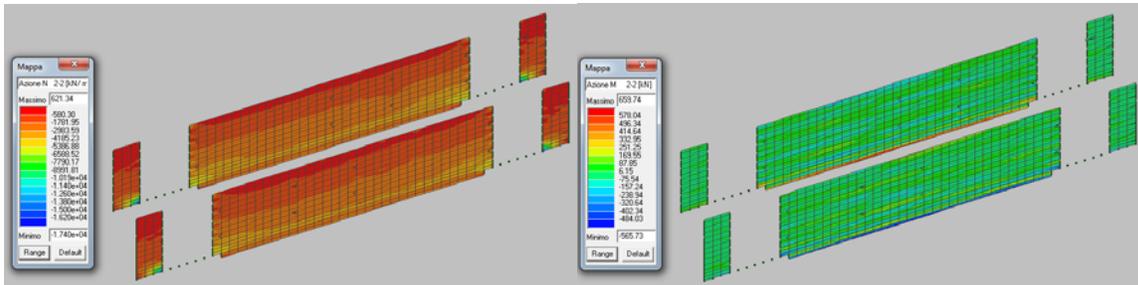
Azioni N2-2

Azioni M2-2

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

### Fase 3

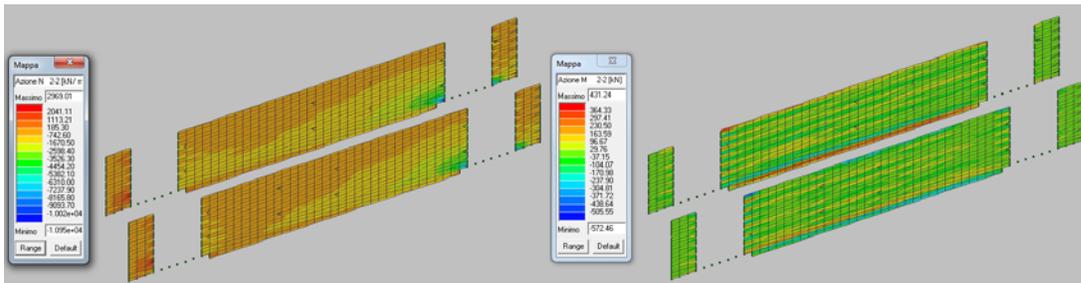
Combinazione SLU (massima azione assiale)



Azioni N2-2

Azioni M2-2

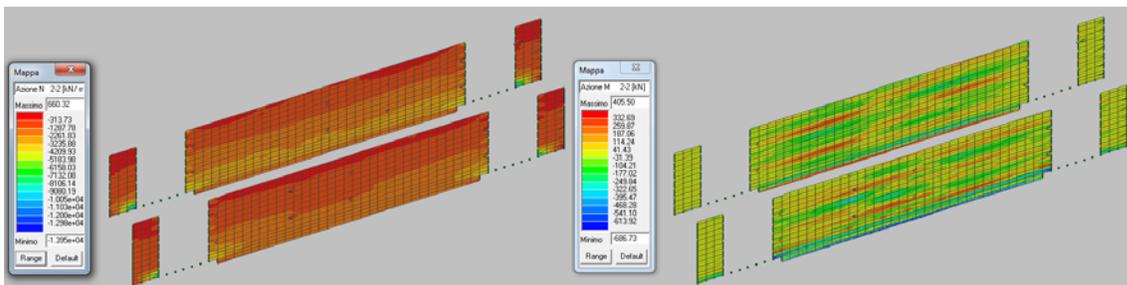
Combinazione Sisma X SLV



Azioni N2-2

Azioni M2-2

Combinazione Sisma Y SLV

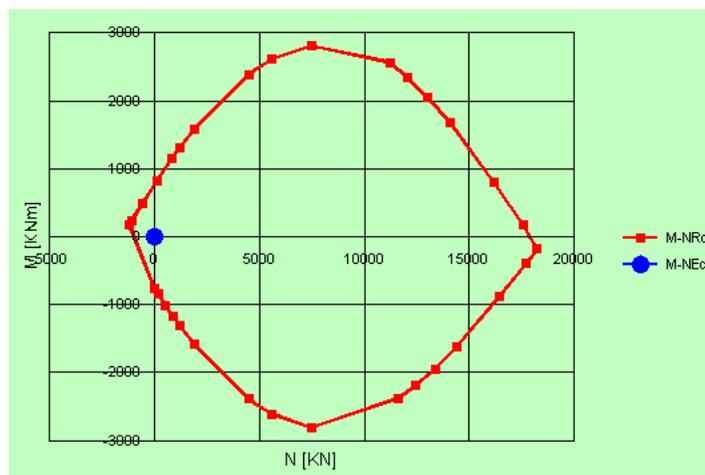


Azioni N2-2

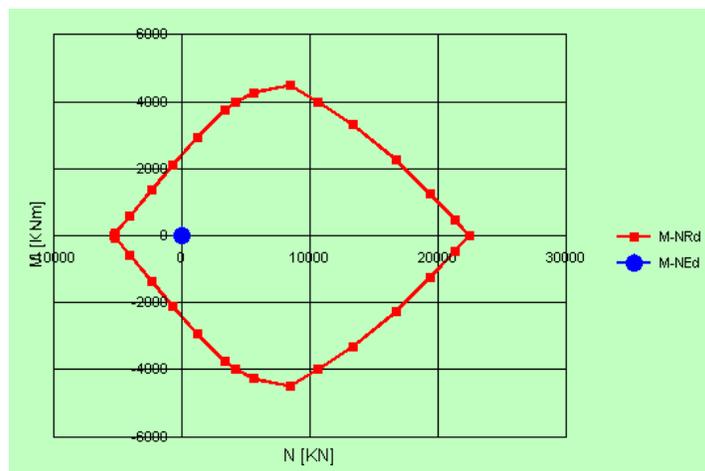
Azioni M2-2

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Dominio di rottura ( $N_{Rdu}$ ,  $M_{Rdu}$ ) – armatura diffusa Ø20 maglia 20x20cm



Dominio di rottura ( $N_{Rdu}$ ,  $M_{Rdu}$ ) – armatura Ø20 maglia 20x20cm+infittimento Ø26 maglia 10x10cm



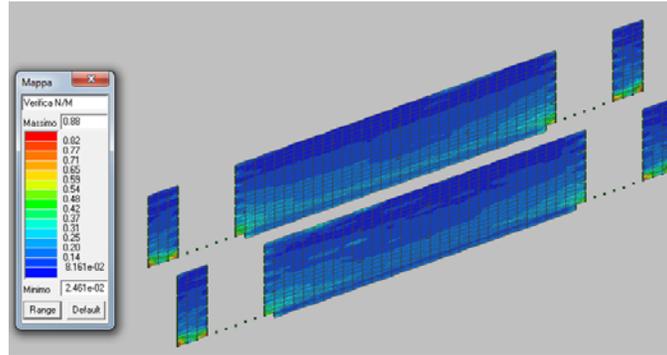
Osservando i domini resistenti M/N si nota come le sollecitazioni sopra riportate ricadano tutte al loro interno rendendo tale verifica soddisfatta.

### Verifica N/M

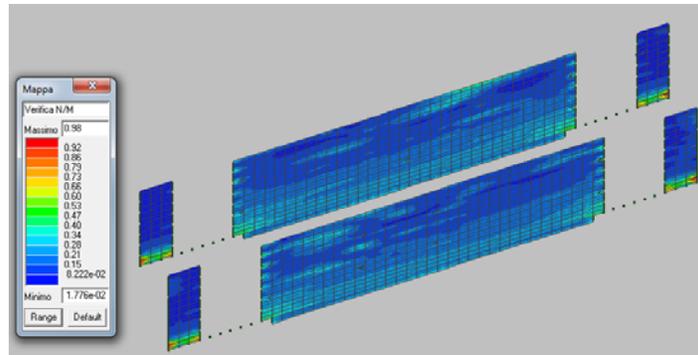
Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto  $Sd/Su$  con sollecitazioni ultime proporzionali; il valore del rapporto deve essere minore o uguale a 1 per verifica positiva ( $Sd$  = sollecitazione di progetto,  $Su$  = sollecitazione ultima)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Fase 1



Fase 3

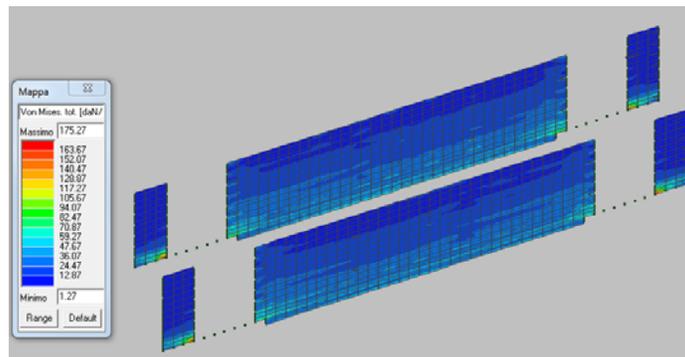


### Verifiche SLE

Di seguito sono riportate le mappature relative alle tensioni totali (membrana + flessione) in FASE 3, ottenute mediante la formulazione di Von Mises, combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.EE.; vengono inoltre riportate le relative verifiche.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

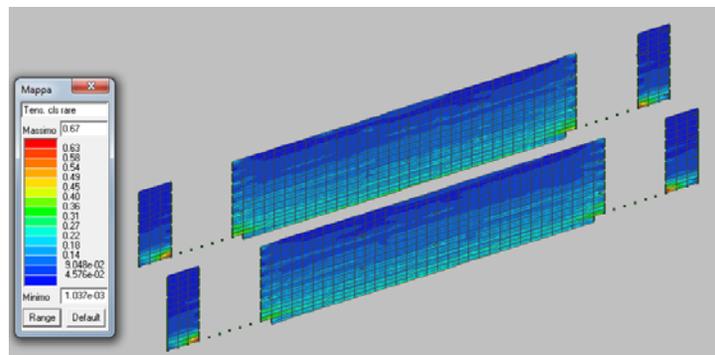
Combinazione SLE (rara)



**Tensioni totali**

#### Verifica Tens. cls rare

Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto tra la massima compressione nel calcestruzzo e la tensione caratteristica del cls in combinazioni rare fattorizzata in base ai casi previsti dalla normativa (ad es.  $0.6 \cdot f_{ck}$ ); il valore del rapporto, per verifica positiva, deve essere minore o uguale a 1 (D.M. 09/01/1996 par. 4.3.2, D.M. 14/02/2008 par. 4.1.2.2.5)



**Verifica tensionale**

### **8.4.1.3 Solai**

#### Verifiche SLU

Le verifiche di resistenza sui solai, aventi spessore  $s=60\text{cm}$ , sono eseguite adottando il metodo semiprobabilistico agli stati limite; si assume un copriferro pari a 5 cm.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

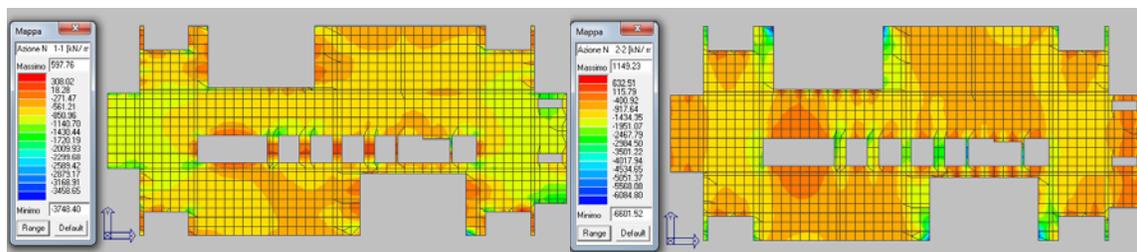
Le verifiche sono state effettuate relativamente al piano 1°, rappresentante le situazione più critica, in modo da poter estendere ed uniformare tali verifiche agli altri solai.

Per le sezioni di calcolo considerate, la verifica a presso flessione è stata effettuata valutandone il dominio di rottura e verificando che le sollecitazioni ( $N_{Sdu}$ ,  $M_{Sdu}$ ) siano tutte interne ad esso.

Combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.UU., sono riportate di seguito le mappature delle sollecitazioni, per ognuna delle 2 fasi, relative a tutte le combinazioni di carico, rapportate a grafici rappresentanti il dominio di rottura ( $N_{Rdu}$ ,  $M_{Rdu}$ ) per diverse configurazioni di armatura.

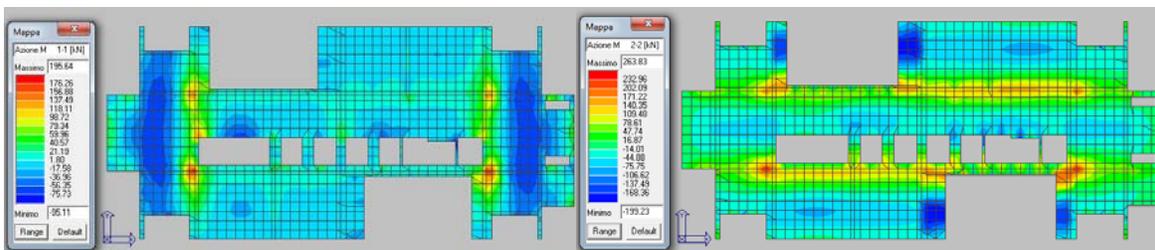
### Fase 1 (modello FASE 1)

#### Combinazione SLU



Azioni N1-1

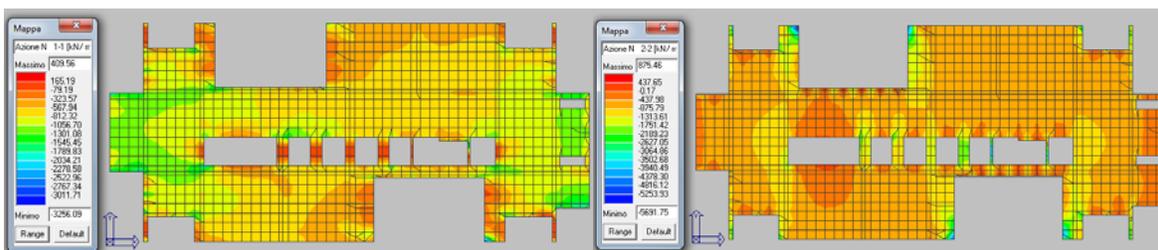
Azioni N2-2



Azioni M1-1

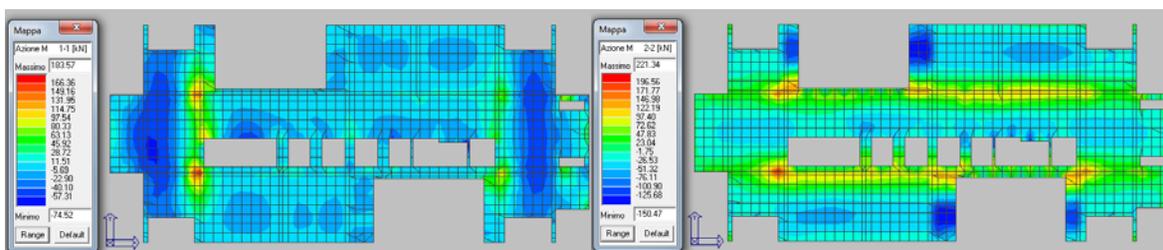
Azioni M2-2

#### Combinazione Sisma X SLV



Azioni N1-1

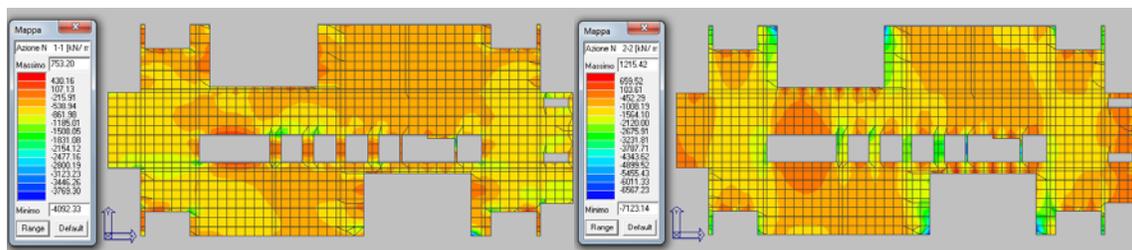
Azioni N2-2



**Azioni M1-1**

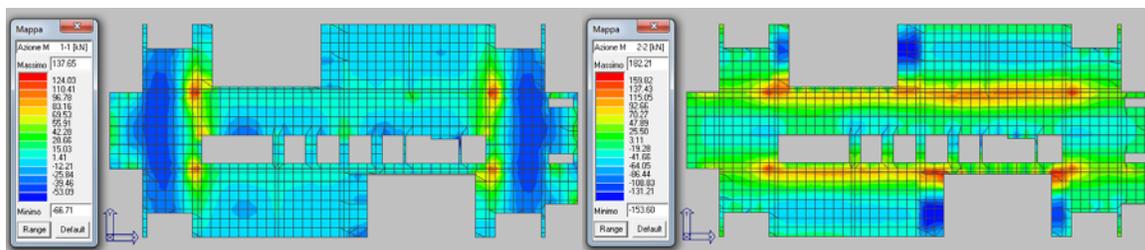
**Azioni M2-2**

Combinazione Sisma Y SLV



**Azioni N1-1**

**Azioni N2-2**

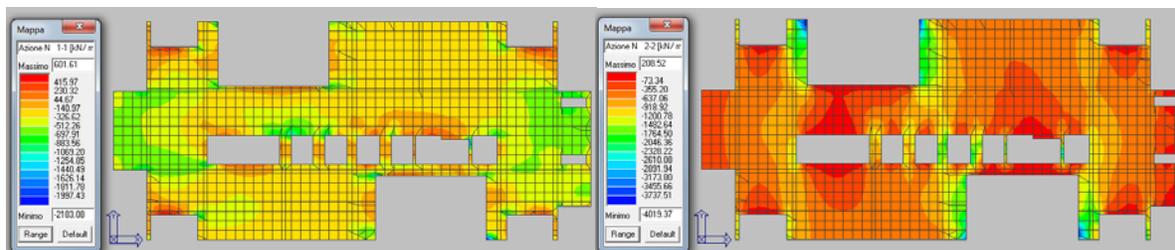


**Azioni M1-1**

**Azioni M2-2**

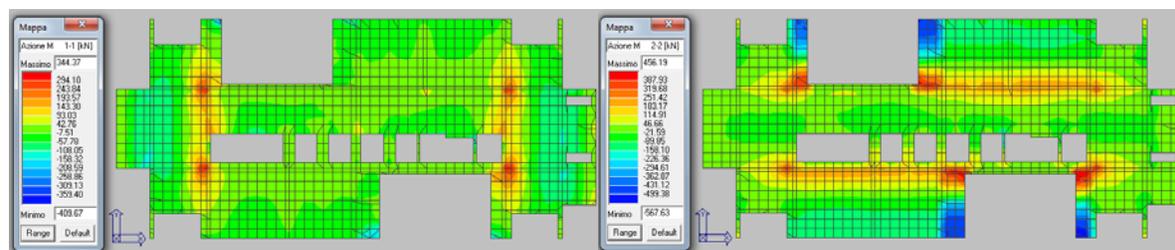
**Fase 3**

**Combinazione SLU**



**Azioni N1-1**

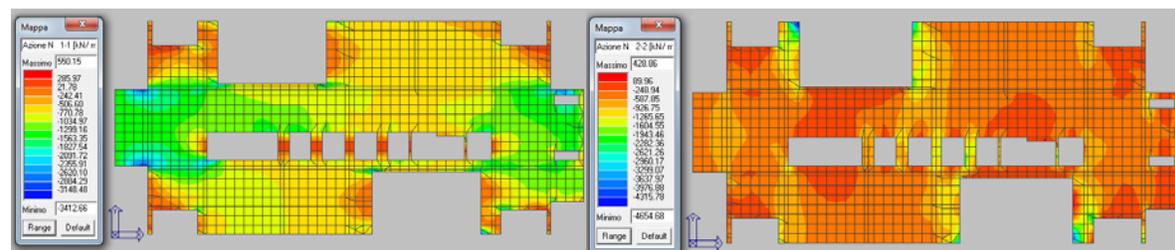
**Azioni N2-2**



**Azioni M1-1**

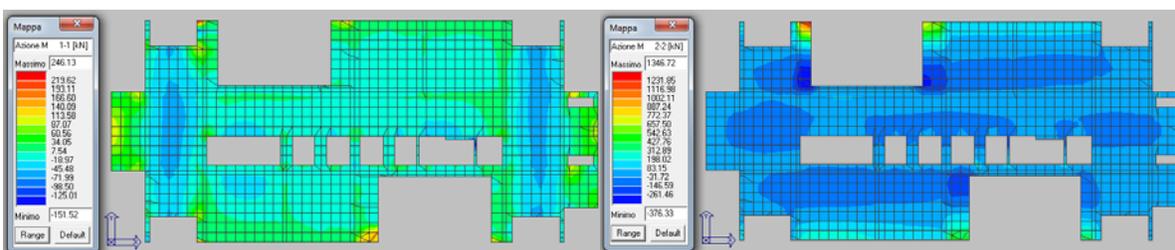
**Azioni M2-2**

**Combinazione Sisma X SLV**



**Azioni N1-1**

**Azioni N2-2**

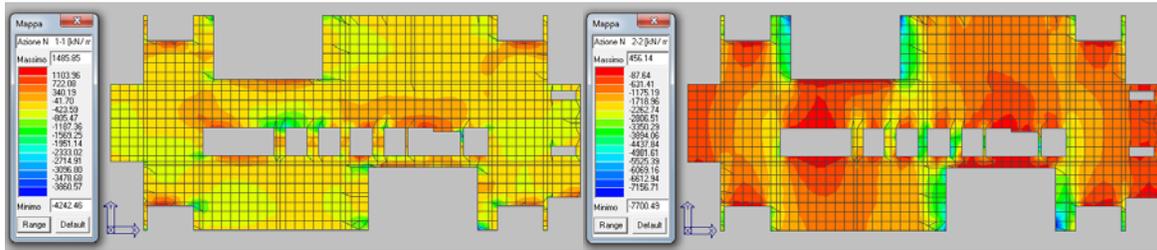


**Azioni M1-1**

**Azioni M2-2**

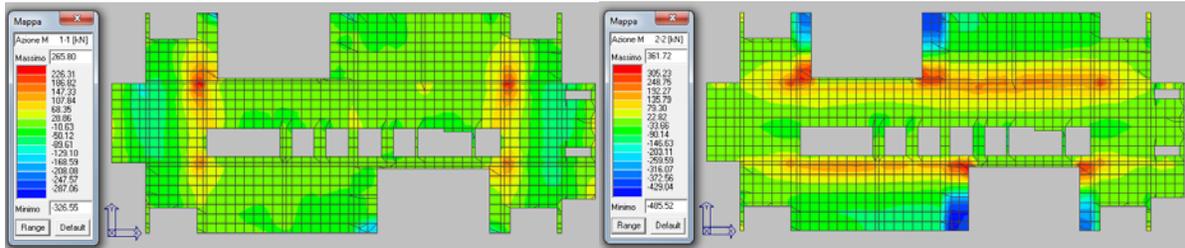
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Combinazione Sisma Y SLV



Azioni N1-1

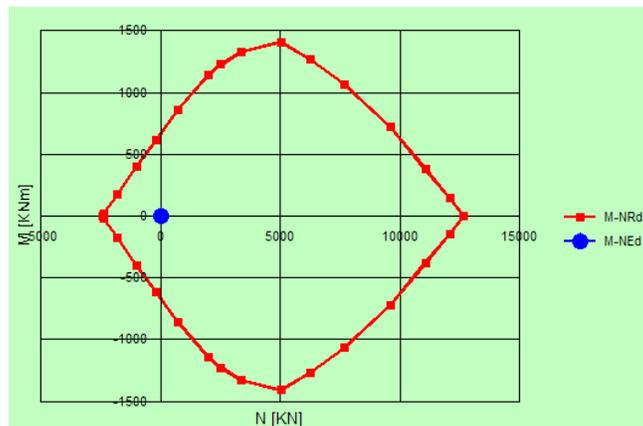
Azioni N2-2



Azioni M1-1

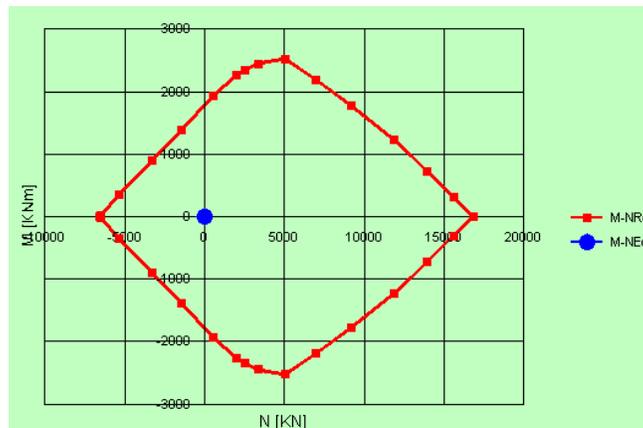
Azioni M2-2

Dominio di rottura ( $N_{Rdu}$ ,  $M_{Rdu}$ ) – armatura diffusa  $\varnothing 20$  maglia 10x10cm



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Dominio di rottura ( $N_{Rdu}$ ,  $M_{Rdu}$ ) – armatura Ø20 maglia 10x10cm+infittimento Ø26 maglia 10x10cm

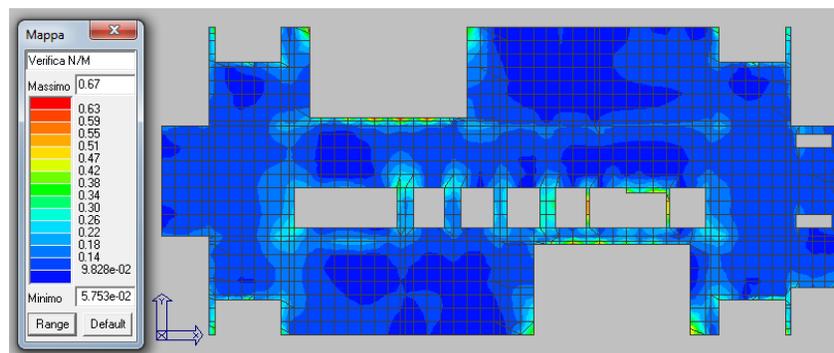


Nelle restanti situazioni estremamente localizzate si rilevano dei picchi di sollecitazione derivanti dalla tipologia di modellazione, da non ritenere validi ai fini del calcolo.

### Verifica N/M

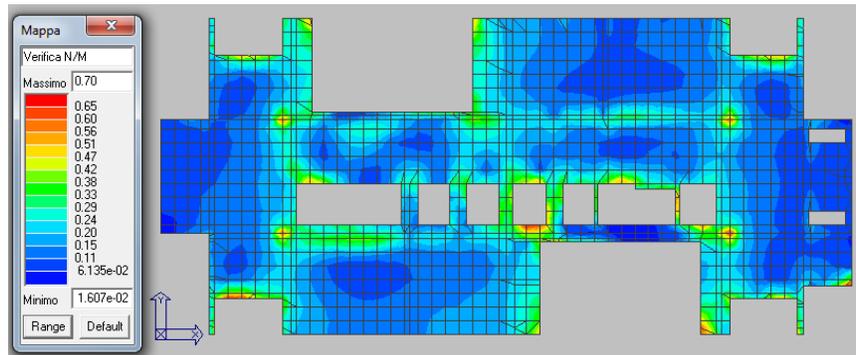
Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto  $Sd/Su$  con sollecitazioni ultime proporzionali; il valore del rapporto deve essere minore o uguale a 1 per verifica positiva ( $Sd$  = sollecitazione di progetto,  $Su$  = sollecitazione ultima)

Fase 1



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

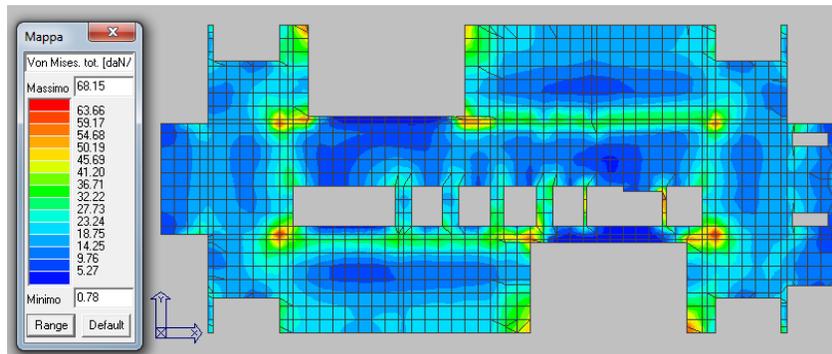
### Fase 3



### Verifiche SLE

Di seguito sono riportate le mappature relative alle tensioni totali (membrana + flessione) in FASE 3, ottenute mediante la formulazione di Von Mises, combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.EE.; vengono inoltre riportate le relative verifiche.

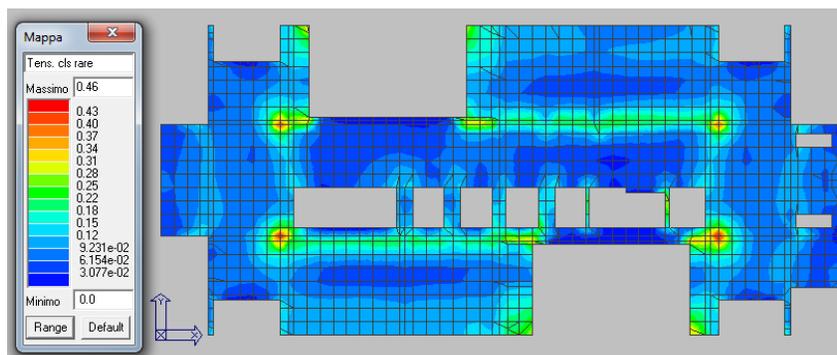
### Combinazione SLE (rara)



Tensioni totali

### Verifica Tens. cls rare

Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto tra la massima compressione nel calcestruzzo e la tensione caratteristica del cls in combinazioni rare fattorizzata in base ai casi previsti dalla normativa (ad es.  $0.6 \times f_{ck}$ ); il valore del rapporto, per verifica positiva, deve essere minore o uguale a 1 (D.M. 09/01/1996 par. 4.3.2, D.M. 14/02/2008 par. 4.1.2.2.5)

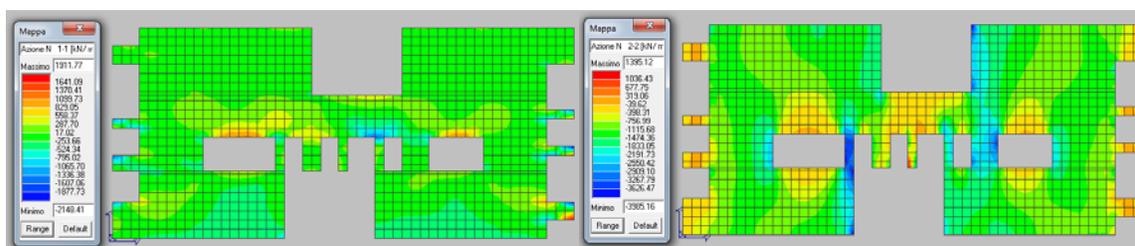


Verifica tensionale

Di seguito vengono indicate le sollecitazioni agenti al piano 5° a cui sono stati applicati i carichi specifici relativi ai locali tecnici ( $1000 \text{ kg/m}^2$ ) andando a considerare la combinazione di carico più sfavorevole.

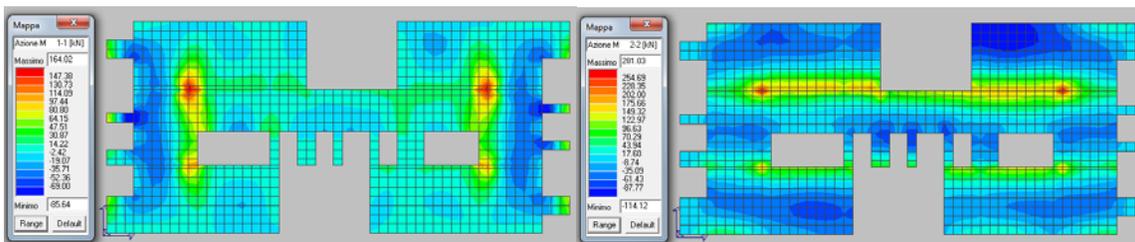
**FASE 3**

Combinazione Sisma Y SLV



Azioni N1-1

Azioni N2-2

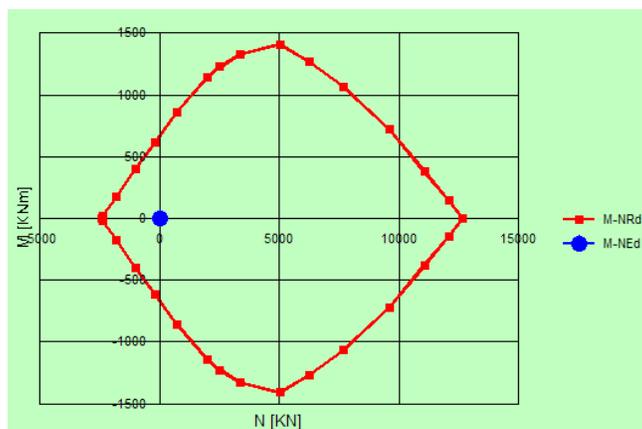


Azioni M1-1

Azioni M2-2

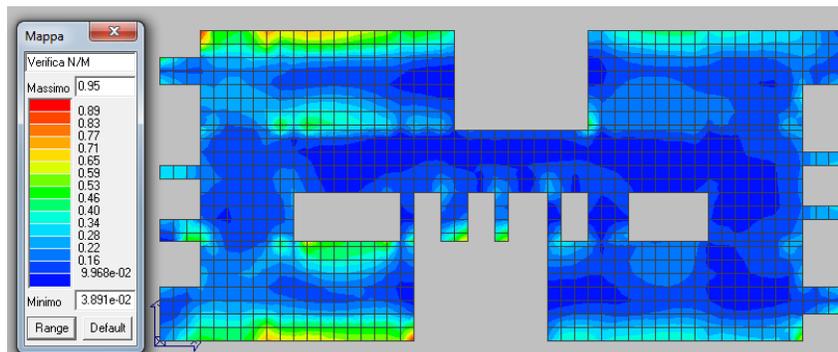
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Dominio di rottura ( $N_{Rdu}$ ,  $M_{Rdu}$ ) – armatura diffusa Ø20 maglia 10x10cm



### Verifica N/M

Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto  $Sd/Su$  con sollecitazioni ultime proporzionali; il valore del rapporto deve essere minore o uguale a 1 per verifica positiva ( $Sd$  = sollecitazione di progetto,  $Su$  = sollecitazione ultima)



#### 8.4.1.4 Travi miste acciaio calcestruzzo

Per la verifica delle travi miste in acciaio calcestruzzo, costituite da 2 profili HEB1000 annegati in sezioni di calcestruzzo da 150x150cm, si sono utilizzate le azioni preponderanti riguardanti le reazioni determinate dalle spinte delle terre sui diaframmi. Ponendosi cautelativamente nella situazione più critica si è considerato, in fase di dimensionamento, la trave mista relativa al primo

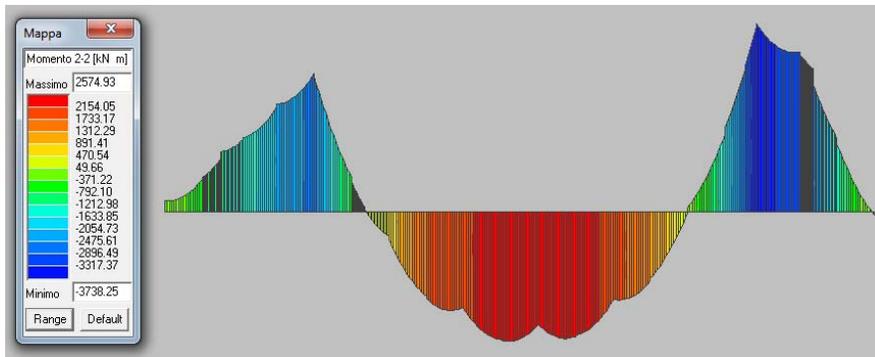
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

livello in FASE 1 e FASE 3.

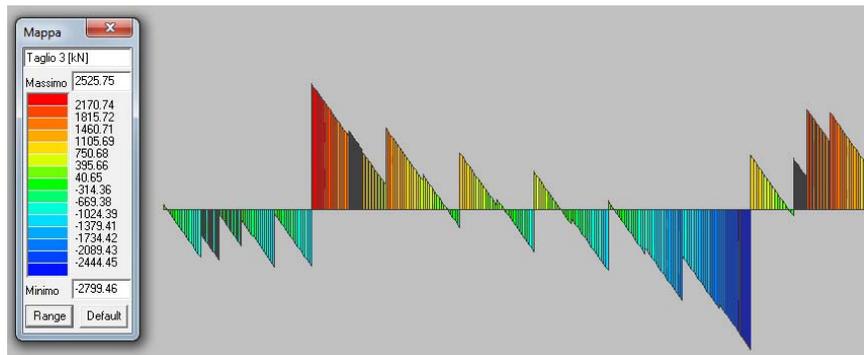
Combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.UU., sono riportate di seguito le mappature delle sollecitazioni, per ognuna delle 2 fasi, relative alle combinazioni di carico che massimizzano l'azione flettente e l'azione tagliante.

Fase 1

Combinazione SLU



Azioni M2-2

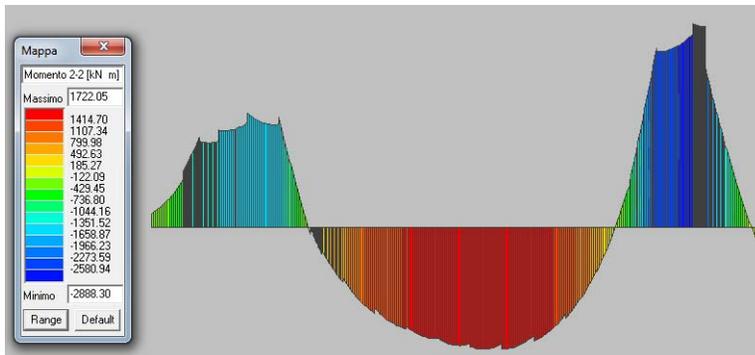


Azioni V3-3

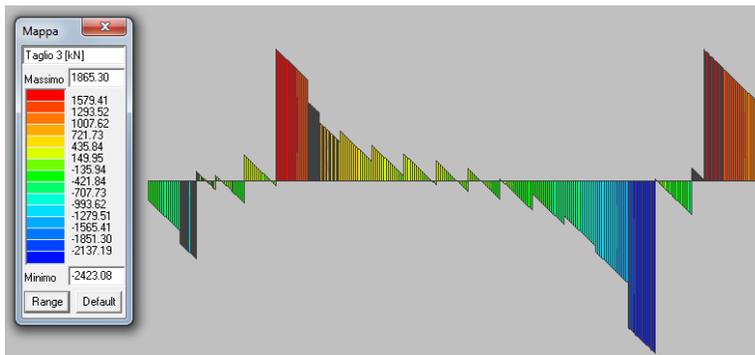
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

### Fase 3

#### Combinazione Sisma Y SLV



Azioni M2-2

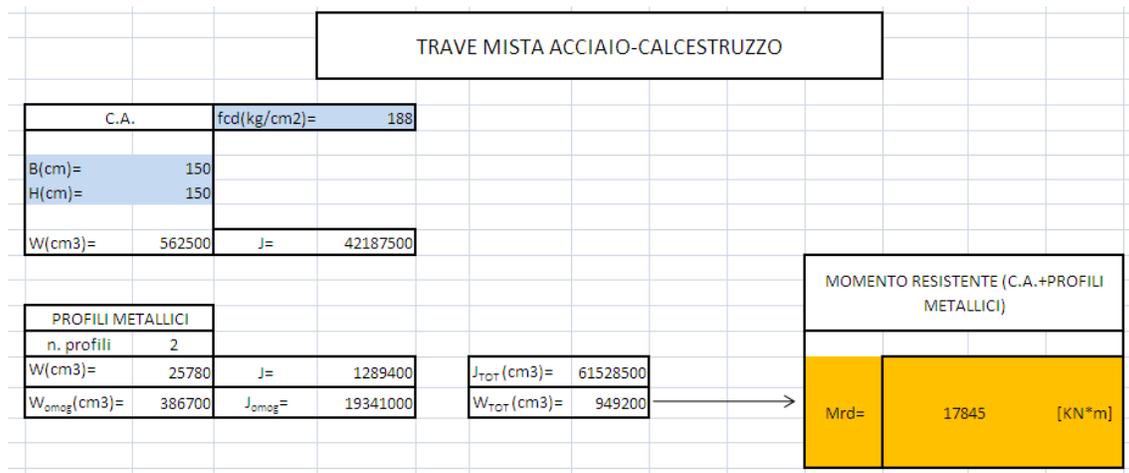


Azioni V3-3

Le verifiche di tali elementi sono effettuate mediante i classici metodi utilizzati in genere per sezioni composte acciaio calcestruzzo.

Di seguito viene calcolato il momento resistente della trave mista in acciaio calcestruzzo costituita da 2 profili in acciaio HEB1000 annegati in una sezione 150x150cm di calcestruzzo:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0140_F0	Rev F0	Data 20-06-2011



Come si può notare il momento resistente risulta verificato.

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$ , viene calcolata considerando in prima ipotesi il solo contributo della sezione in c.a. e risulta pari a:

Resistenza a taglio compressione

$$V_{Rcd}=0.9*d*b_w*0.5f_{cd}=0.9*145*150*0.5*1.88=18400.50 \text{ KN}$$

$$V_{Rcd} > V_{sd,max}=2799 \text{ KN}$$

Resistenza a taglio trazione (staffe Ø10/5cm a 6 bracci)

$$V_{Rsd}=0.9*d*(A_{sw}/s)*f_{yd}=0.9*145*(4.71/5)*39.1=4806 \text{ KN}$$

$$V_{Rsd} > V_{sd,max}=2799 \text{ KN}$$

In seconda ipotesi la resistenza a taglio  $V_{Rd}$ , viene calcolata considerando il solo contributo dei profili metallici e risulta pari a:

$$V_{Rsd}=2*A_v*f_{yk}/(3^{1/2}*Y_{M0})=2*28600*355/(3^{1/2}*1.05)=11166 \text{ KN}$$

$$V_{Rsd} > V_{sd,max}=2799 \text{ KN}$$

Il taglio risulta verificato.

### Verifica pioli

La verifica dei connettori a taglio tra profili metallici HEB1000 e sezione in calcestruzzo viene effettuata applicando la formula di Jourawski, secondo la quale la forza di scorrimento, ipotizzando la trave semplicemente appoggiata, risulta:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

$$s = (T \times S^* / J) \times L/2 \times 1/2$$

dove

T = taglio massimo sollecitante → 2799 KN

S\* = momento statico sollecitante sezione omogeneizzata → 578043 cm<sup>3</sup>

J= momento d'inerzia sezione omogeneizzata → 42187500 cm<sup>4</sup>

L= lunghezza trave tra gli appoggi → 13 m

per cui si ottiene la seguente forza di scorrimento affidata ai pioli di collegamento

$$s = 12463 \text{ KN}$$

Facendo l'ipotesi di utilizzare pioli Ø24, in acciaio 450 [MPa] , la resistenza di ogni singolo piolo si valuta come:

$$P_{Rd} = \min \left\{ \frac{0.8 \cdot f_u \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}}{\gamma_v}; \frac{0.29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_v} \right\}$$

Dove:

- $f_u$  resistenza ultima dell'acciaio del piolo
- $d$  diametro del piolo
- $f_{ck}$  resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo
- $E_{cm}$  modulo di Elasticità del calcestruzzo
- $\gamma_v$  coefficiente parziale di sicurezza assunto generalmente pari a 1.25

per cui risulta

$$P_{Rd,min} = 130.29 \text{ KN}$$

Il numero di connettori da distribuire su tutta la trave si valuta nel seguente modo:

$$n_c = 2 \cdot s / P_{Rd,min} = 2 \cdot 12463 / 152.91 = 163$$

Disponendo su ogni ala di entrambi i profili HEB1000, 5 pioli ad un passo di 30 cm il valore di resistenza a scorrimento totale risulta:

$$P_{Rd,totale} = P_{Rd,min} \cdot n^\circ \text{ pioli} = 152.91 \cdot 390/2 = 29817 \text{ KN} > s = 12463 \text{ KN}$$

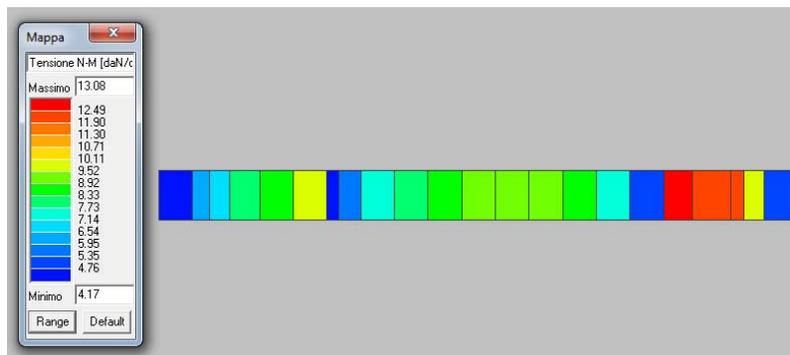
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

La verifica della resistenza a scorrimento risulta verificata.

### Verifiche SLE

Di seguito sono riportate le mappature relative ai valori di tensione ideale dovuti alle sollecitazioni che generano tensioni normali (sforzo normale e flessioni) in FASE 3, combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.EE.; vengono inoltre riportate le relative verifiche.

#### Combinazione SLE (rara)



**Tensioni totali**

### Verifica Tens. cls rare

Tale verifica confronta il massimo valore della tensione in compressione nel calcestruzzo e la tensione caratteristica del cls in combinazioni rare fattorizzata in base ai casi previsti dalla normativa, come indicato di seguito:

$$\sigma_c < 0.60 * f_{ck} = 0.60 * 290.5 = 174.3 \text{ kg/cm}^2$$

essendo  $\sigma_c = 13.08 \text{ kg/cm}^2$  inferiore a tale limitazione, la verifica risulta soddisfatta.

#### **8.4.1.5 Travi perimetrali**

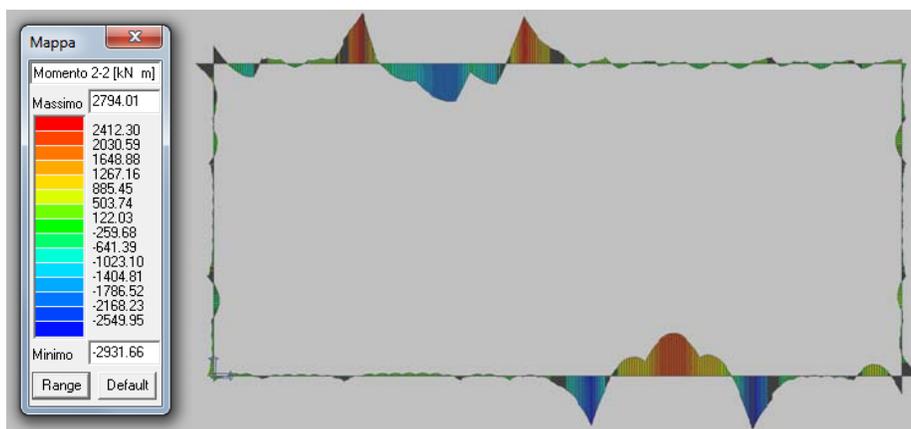
Per la verifica delle travi perimetrali in c.a., aventi sezione 130x130cm, si sono utilizzate le azioni preponderanti riguardanti le reazioni determinate dalle spinte delle terre sui diaframmi. Ponendosi cautelativamente nella situazione più critica si è considerato, in fase di dimensionamento, la trave perimetrale al quarto livello in FASE 1 e in FASE 3.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

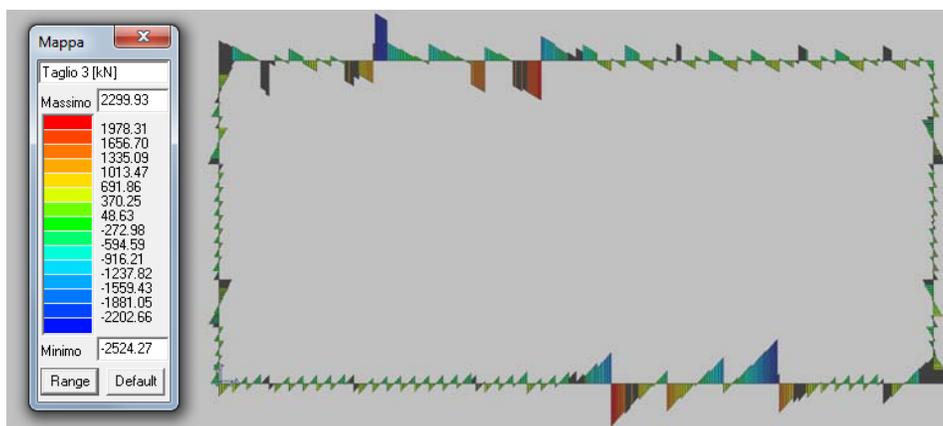
Combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.UU., sono riportate di seguito le mappature delle sollecitazioni, per ognuna delle 2 fasi, relative alle combinazioni di carico che massimizzano l'azione assiale e l'azione flettente, rapportate a grafici rappresentanti il dominio di rottura ( $N_{Rdu}$ ,  $M_{Rdu}$ ) per diverse configurazioni di armatura.

### Fase 1

Combinazione Sisma Y SLV



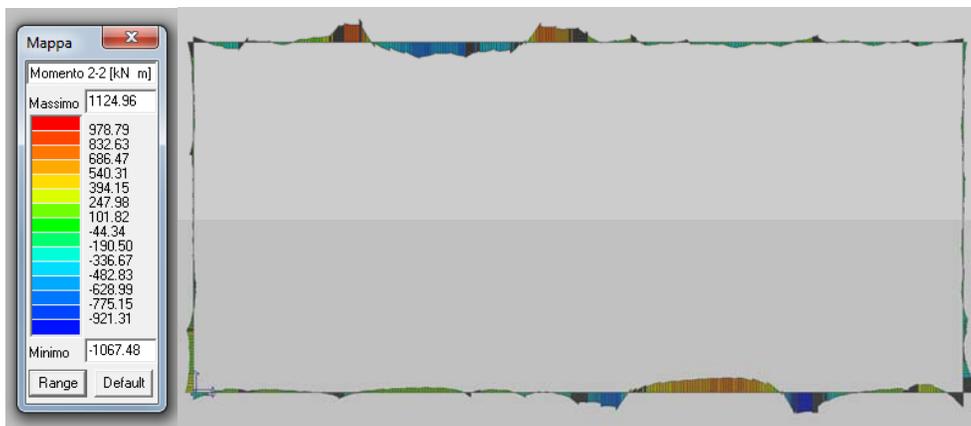
**Azioni M2-2**



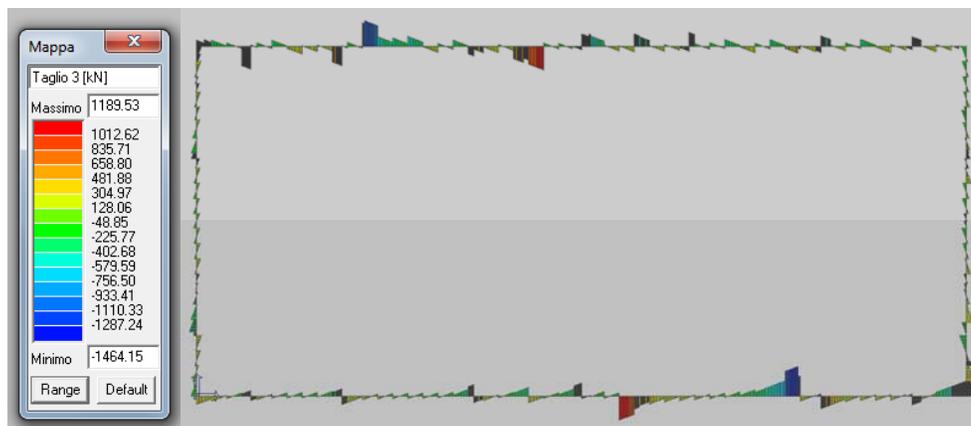
**Azioni V3-3**

**Fase 3**

Combinazione Sisma Y SLV



Azioni M2-2



Azioni V3-3

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0140_F0	Rev F0	Data 20-06-2011

Ipotizzando di disporre 20 barre Ø24 interne ed esterne il momento resistente risulta:

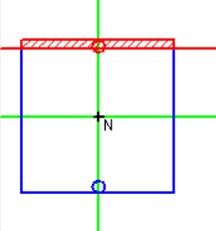
N*	b [cm]	h [cm]
1	130	130

N*	As [cm²]	d [cm]
1	90,48	5
2	90,48	125

N\* strati barre: 2 Zoom

a T     Circolare  
 Rettangoli     Coord.



Centro     Baricentro cls  
 Coord.[cm]    xN: 0    yN: 0

Tipo rottura:  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+     S.L.U.-  
 Metodo n

Tipo flessione:  
 Retta     Deviata

N\* rett. 100

L<sub>0</sub> 0 cm   

Precompresso

**Materiali**  
 B450C    C30/37  
 ε<sub>su</sub> 67,5 ‰    ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm²    ε<sub>cu</sub> 3,5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200.000 N/mm²    f<sub>cd</sub> 17 N/mm²  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15    f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0,8  
 ε<sub>syd</sub> 1,957 ‰    σ<sub>c,adm</sub> 11,5 N/mm²  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm²    τ<sub>co</sub> 0,6933    τ<sub>c1</sub> 2,029

M<sub>xRd</sub> 4.273 kN m  
 σ<sub>c</sub> -17 N/mm²    σ<sub>s</sub> 391,3 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3,5 ‰    ε<sub>s</sub> 53,99 ‰  
 d 125 cm  
 x 7,61    x/d 0,06088  
 δ 0,7

Mrd=4273 KNm → verificato

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$ , viene calcolata come riportato di seguito:

Resistenza a taglio compressione

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot 0.5 f_{cd} = 0.9 \cdot 125 \cdot 130 \cdot 0.5 \cdot 17 = 12723 \text{ KN}$$

$$V_{Rcd} > V_{sd,max} = 2524 \text{ KN}$$

Resistenza a taglio trazione (staffe Ø10/5cm a 6 bracci)

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot (A_{sw}/s) \cdot f_{yd} = 0.9 \cdot 125 \cdot (4.71/5) \cdot 39.1 = 4143 \text{ KN}$$

$$V_{Rsd} > V_{sd,max} = 2524 \text{ KN}$$

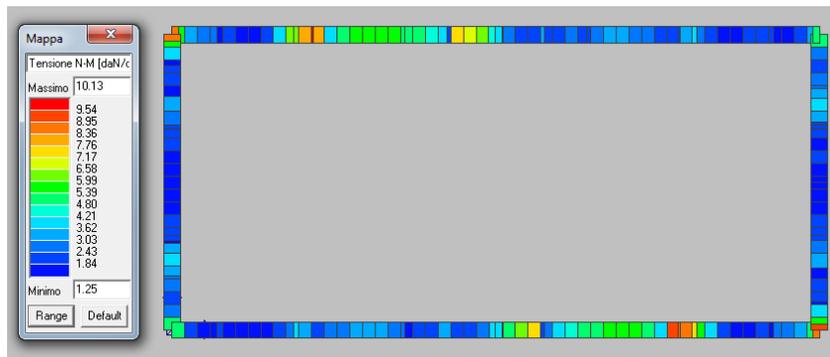
Il taglio risulta verificato.

### Verifiche SLE

Di seguito sono riportate le mappature relative ai valori di tensione ideale dovuti alle sollecitazioni che generano tensioni normali (sforzo normale e flessioni) in FASE 3, combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.EE.; vengono inoltre riportate le relative verifiche.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

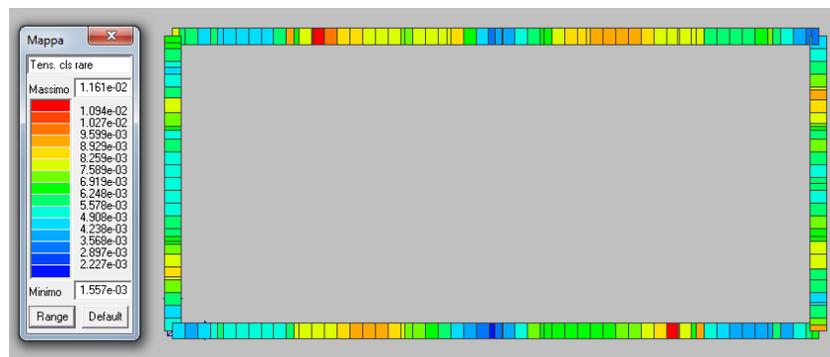
Combinazione SLE (rara)



**Tensioni totali**

#### Verifica Tens. cls rare

Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto tra la massima compressione nel calcestruzzo e la tensione caratteristica del cls in combinazioni rare fattorizzata in base ai casi previsti dalla normativa (ad es.  $0.6 \times f_{ck}$ ); il valore del rapporto, per verifica positiva, deve essere minore o uguale a 1 (D.M. 09/01/1996 par. 4.3.2, D.M. 14/02/2008 par. 4.1.2.2.5)



**Verifica tensionale**

#### **8.4.1.6 Chiavi di taglio**

I cordoli perimetrali, sono caratterizzati dalla presenza di elementi orizzontali in c.a. (chiavi di taglio) aventi sezione 60x130cm, vincolati alle paratie esterne attraverso delle tasche ricavate all'interno delle paratie stesse con profondità pari a 30cm. Questi elementi risultano necessari

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

come vincolo d'appoggio, in FASE 1, per l'esecuzione in "top down" degli orizzontamenti.

Gli elementi vengono verificati per supportare i carichi gravitazionali presenti in fase provvisoria, la verifica viene effettuata valutando il peso totale di ogni orizzontamento comprensivo di solai, cordoli perimetrali e puntoni, calcolato computando il volume delle successive carpenterie relative ad un piano tipo, come riportato nella seguente tabella:

Cubature	mc
Opere di fondazione	0.0
Travi di fondazione	0.0
Travi di elevazione	356.344
Pilastrini	0.0
Gusci di fondazione	0.0
Gusci in elevazione	506.577
Pareti	0.0

Il volume totale corrisponde a  $V_{tot}=863 \text{ m}^3$

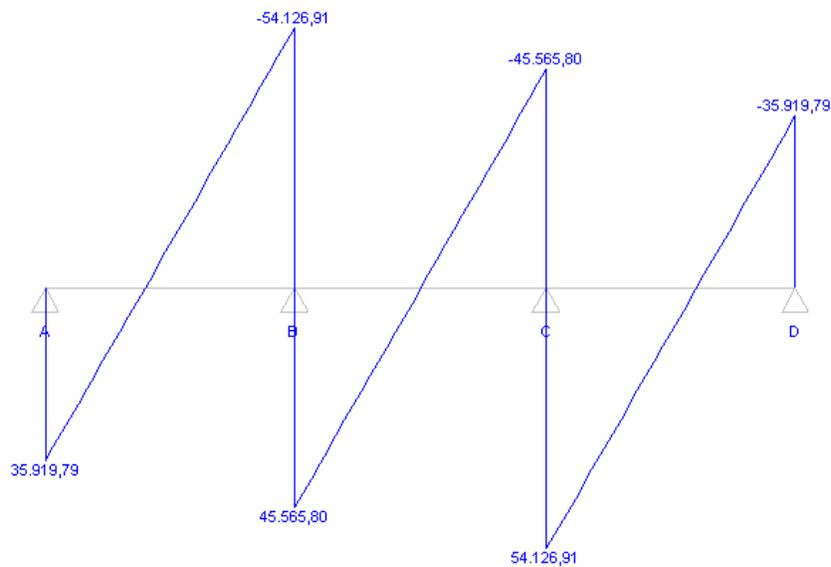
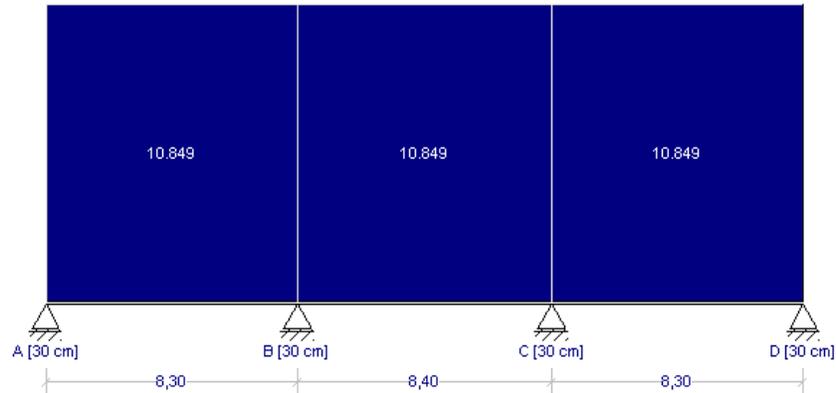
Il carico totale dovuto al peso proprio, corrisponde a  $P_{gk} = V_{tot} * \gamma_{cls} = 863 * 2500 = 2157500 \text{ kg}$ , che distribuito sulla superficie dell'intero piano, corrispondente a  $A_{tot} = (25 * 53) = 1325 \text{ m}^2$ , determina un carico distribuito  $p_{gk} = P_{gk} / A_{tot} = 1628 \text{ kg/m}^2$

Si considera inoltre un carico accidentale pari a  $p_{qk} = 1000 \text{ kg/m}^2$  nell'ipotesi di transito di mezzi di cantiere ovvero di stoccaggio.

Considerando la striscia di solaio di competenza ad ogni chiave di taglio (3m), si ipotizza uno schema statico di trave continua su 4 appoggi, caricata distribuendo e combinando opportunamente agli SS.LL.UU., i carichi prima citati, sull'intera lunghezza della trave, come viene indicato di seguito:

$$F_{dk} = (\gamma_{gk} * p_{gk}) + (\gamma_{qk} * p_{qk}) * l_{spettanza \ trave} = (1.3 * 1628) + (1.5 * 1000) * 3 = 10849 \text{ kg/m}$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



**Sollecitazioni di Taglio**

Il taglio massimo sugli appoggi laterali gravante su ogni chiave di taglio risulta esser :

$$V_{sd} = 35915 \text{ kg} \approx 359.15 \text{ KN.}$$

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di questi elementi, viene calcolata come riportato di seguito:

Resistenza a taglio compressione

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot 0.5 f_{cd} = 0.9 \cdot 125 \cdot 60 \cdot 0.5 \cdot 1.74 = 5872 \text{ KN}$$

$$V_{Rcd} > V_{sd} = 359.15 \text{ KN}$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Resistenza a taglio trazione (staffe Ø10/5cm a 2 bracci)

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot (A_{sw}/s) \cdot f_{yd} = 0.9 \cdot 125 \cdot (1.57/5) \cdot 39.1 = 1381 \text{ KN}$$

$$V_{Rsd} > V_{sd} = 315.15 \text{ KN}$$

Il taglio risulta verificato.

#### 8.4.1.7 Puntoni

Le verifiche di resistenza dei puntoni in c.a., aventi sezione 100x100cm e 80x100cm, sono eseguite adottando il metodo semiprobabilistico agli stati limite; si assume un copriferro pari a 5 cm.

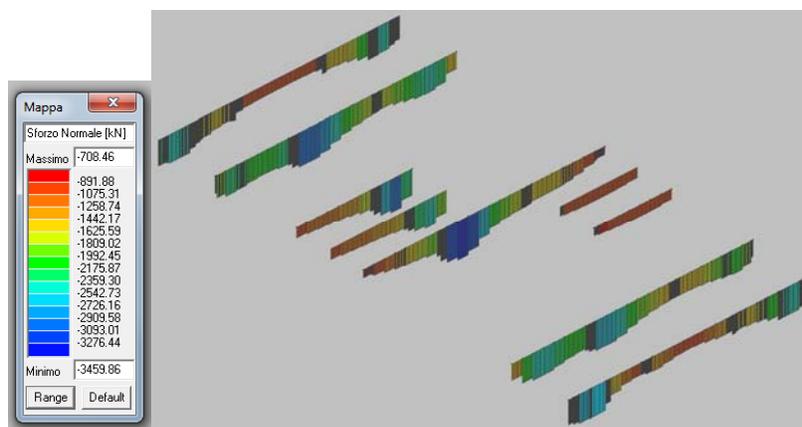
Le verifiche sono state effettuate relativamente al piano 1°, rappresentante la situazione più critica, in modo da poter estendere ed uniformare tali verifiche ai puntoni degli altri livelli.

La verifica a presso flessione è stata effettuata valutandone il dominio di rottura e verificando che le sollecitazioni ( $N_{Sdu}$ ,  $M_{Sdu}$ ) siano tutte interne ad esso.

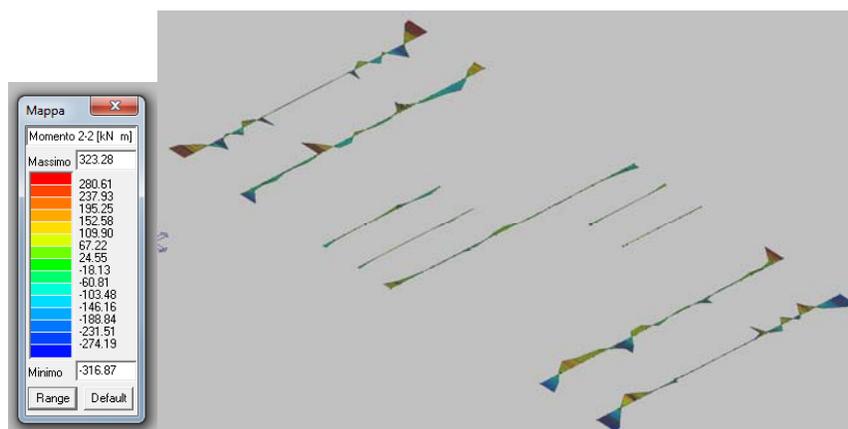
Combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.UU., sono riportate di seguito le mappature delle sollecitazioni, per ognuna delle 2 fasi, relative a tutte le combinazioni di carico, rapportate a grafici rappresentanti il dominio di rottura ( $N_{Rdu}$ ,  $M_{Rdu}$ ) per diverse configurazioni di armatura.

#### Fase 1

Combinazione SLU



Azioni N



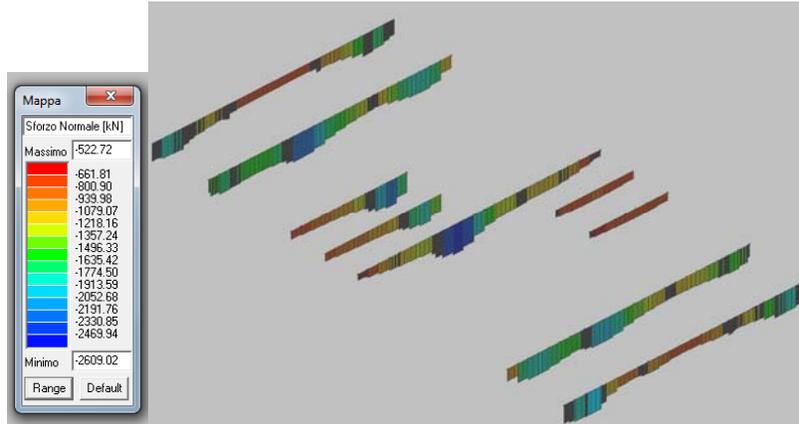
**Azioni M2-2**



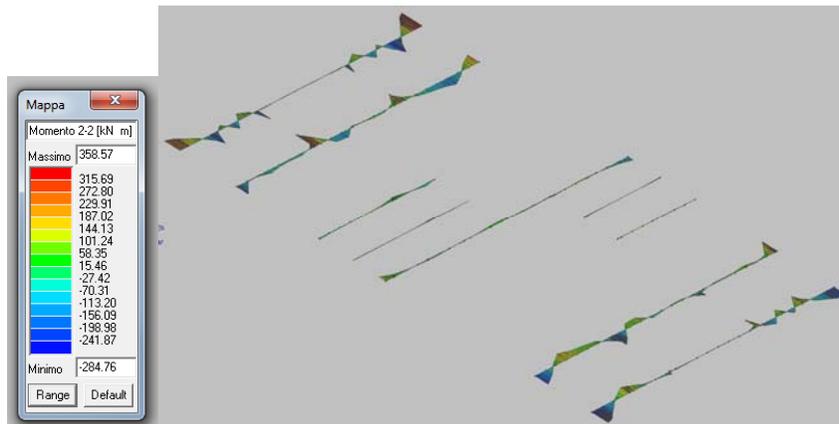
**Azioni M3-3**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Combinazione Sisma X SLV



Azioni N

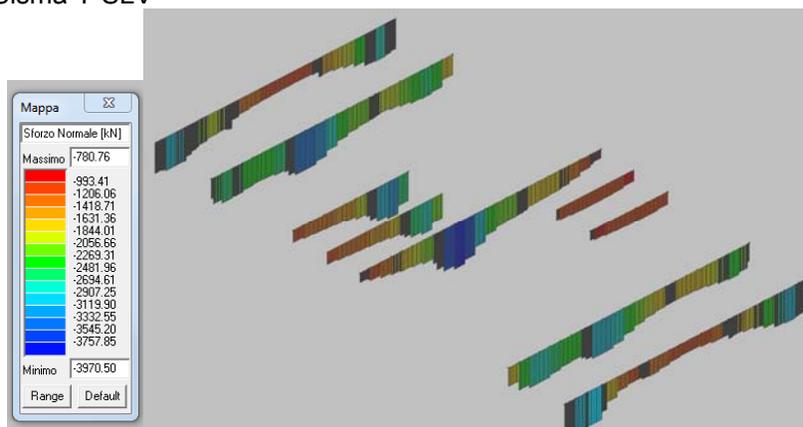


Azioni M2-2

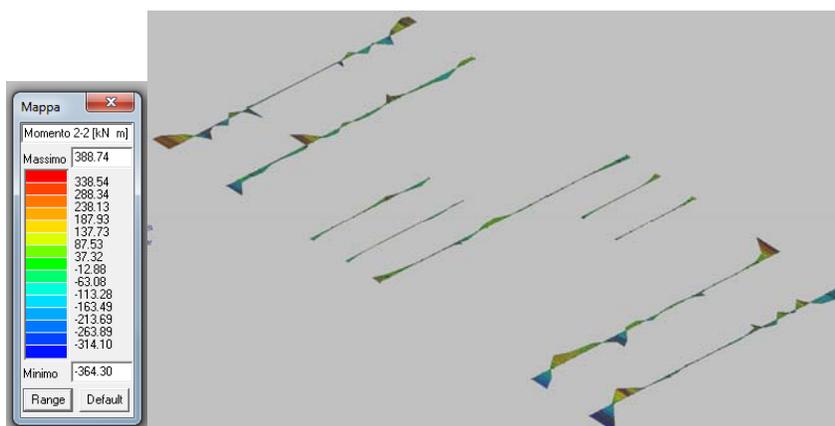


Azioni M3-3

Combinazione Sisma Y SLV



Azioni N



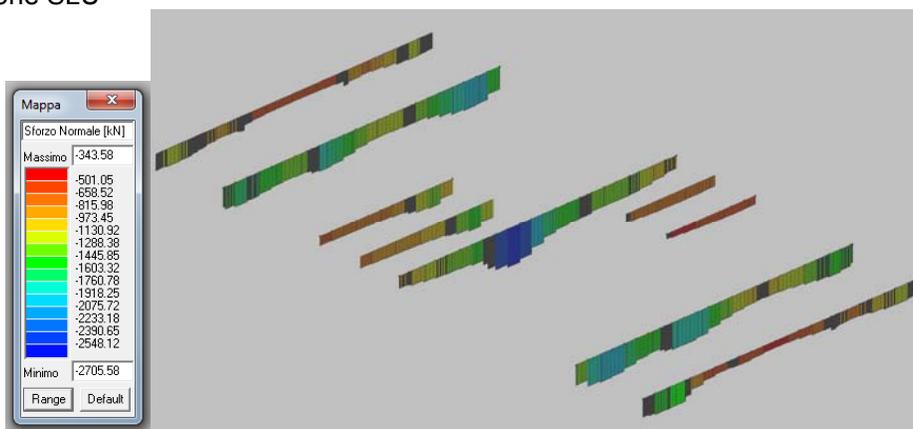
Azioni M2-2



Azioni M3-3

**Fase 3**

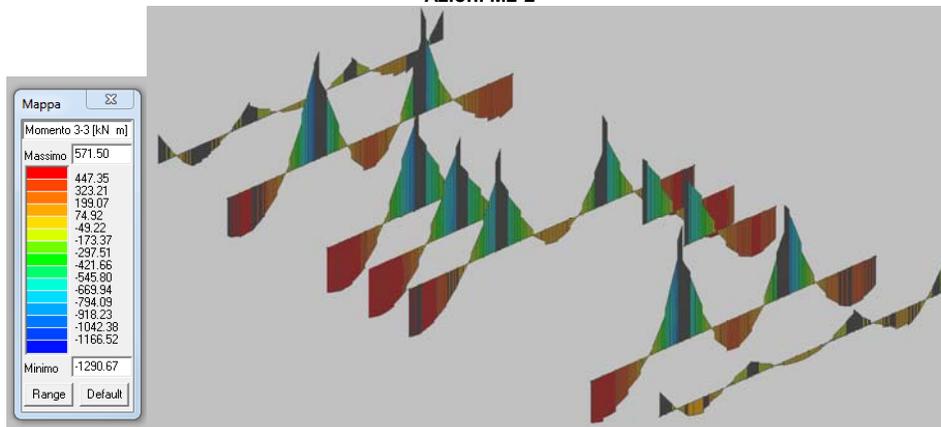
**Combinazione SLU**



**Azioni N**

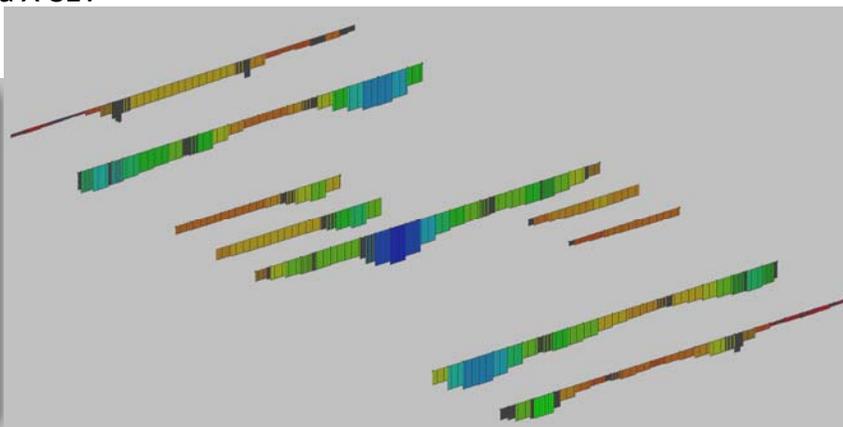
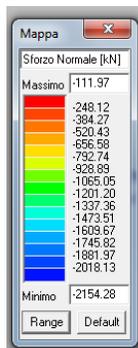


**Azioni M2-2**

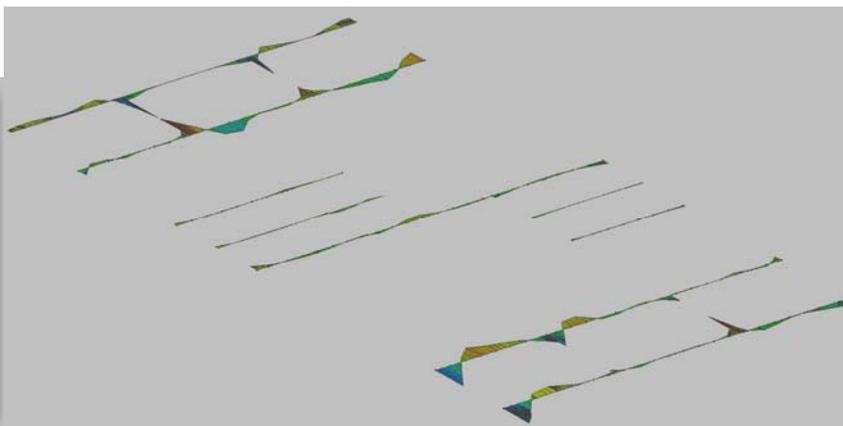
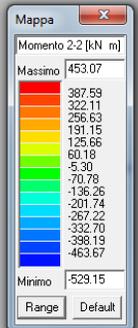


**Azioni M3-3**

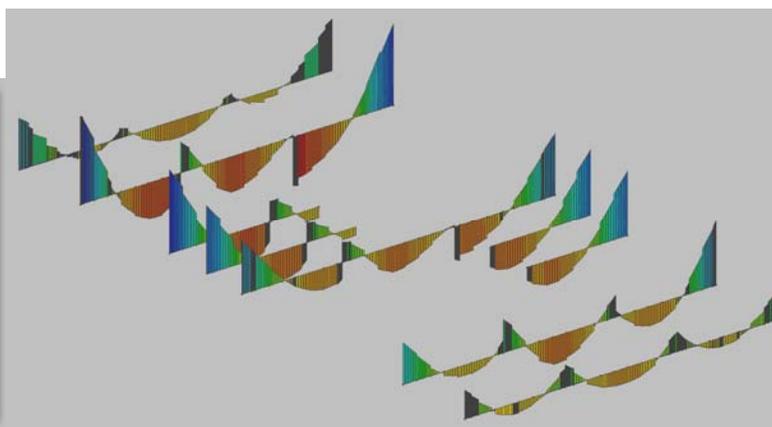
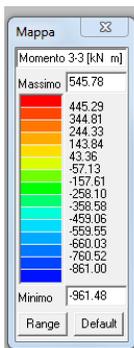
Combinazione Sisma X SLV



Azioni N

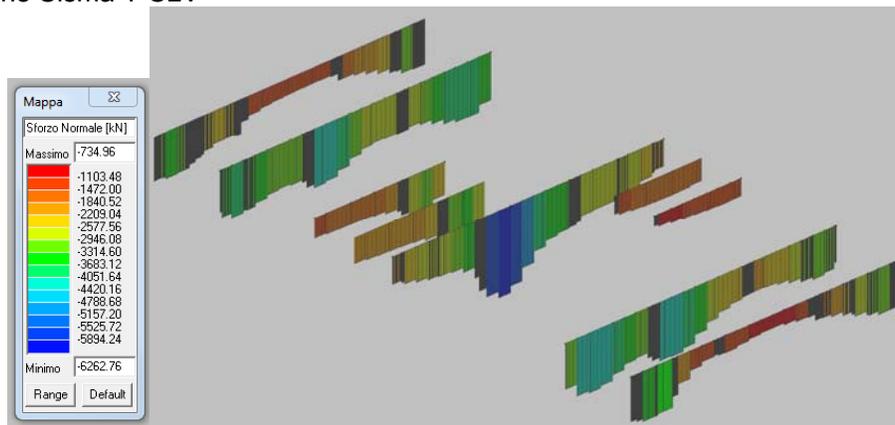


Azioni M2-2

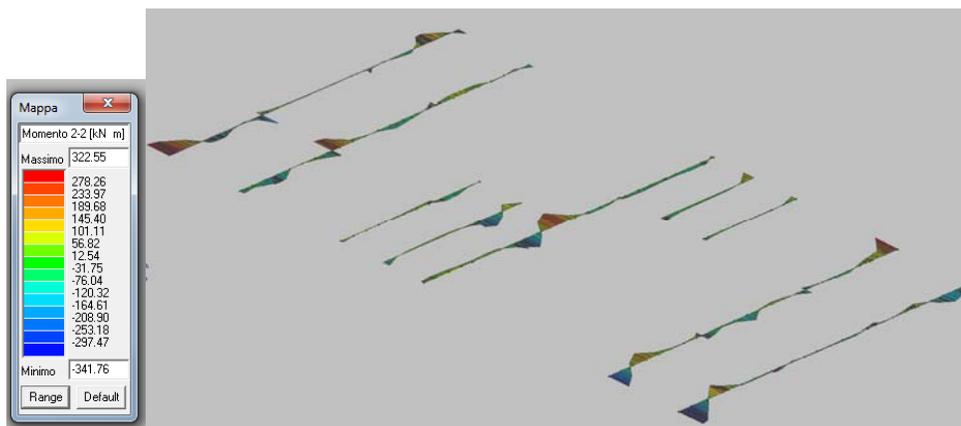


Azioni M3-3

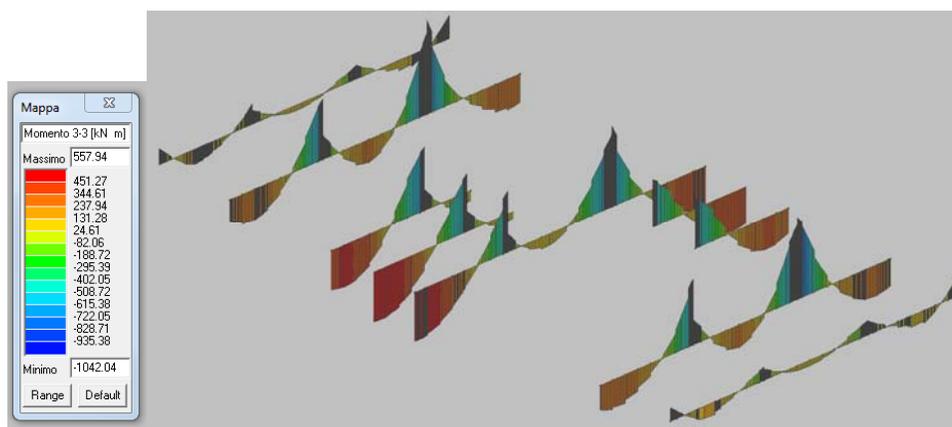
Combinazione Sisma Y SLV



Azioni N



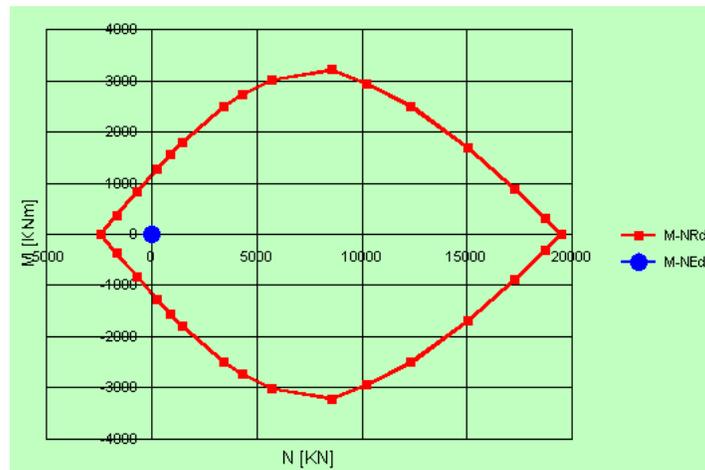
Azioni M2-2



Azioni M3-3

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Dominio di rottura ( $N_{Rdu}$ ,  $M_{Rdu}$ ) – armatura corrente 10Ø20 per lato

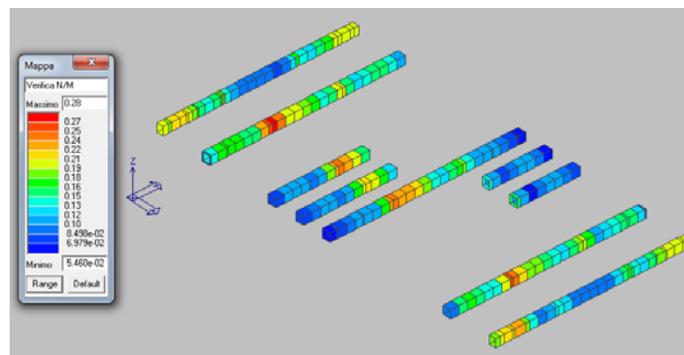


Osservando il dominio resistente M/N risulta evidente come le sollecitazioni sopra riportate ricadano tutte al suo interno rendendo tale verifica soddisfatta.

### Verifica N/M

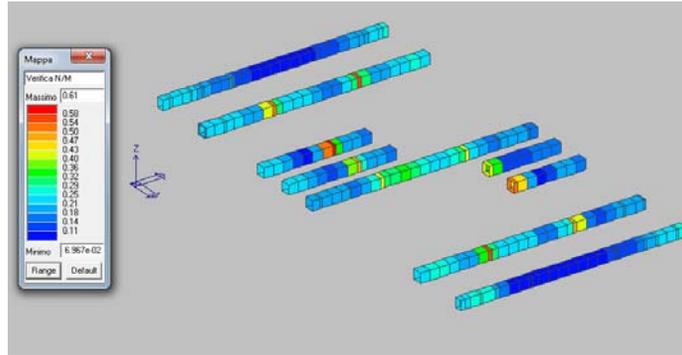
Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto  $Sd/Su$  con sollecitazioni ultime proporzionali; il valore del rapporto deve essere minore o uguale a 1 per verifica positiva ( $Sd$  = sollecitazione di progetto,  $Su$  = sollecitazione ultima)

Fase 1



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

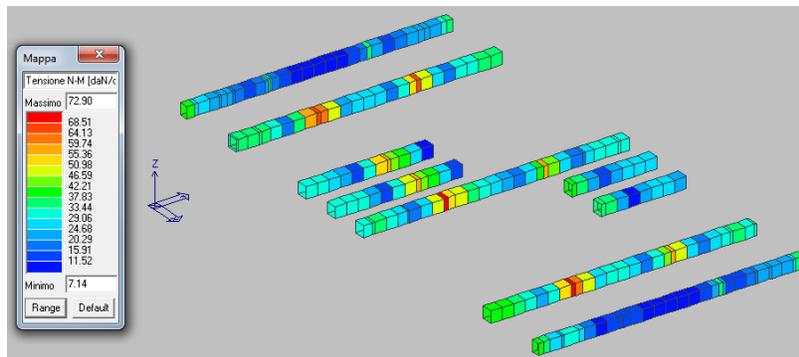
Fase 3



Verifiche SLE

Di seguito sono riportate le mappature relative ai valori di tensione ideale dovuti alle sollecitazioni che generano tensioni normali (sforzo normale e flessioni) in FASE 3, combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.EE.; vengono inoltre riportate le relative verifiche.

Combinazione SLE (rara)

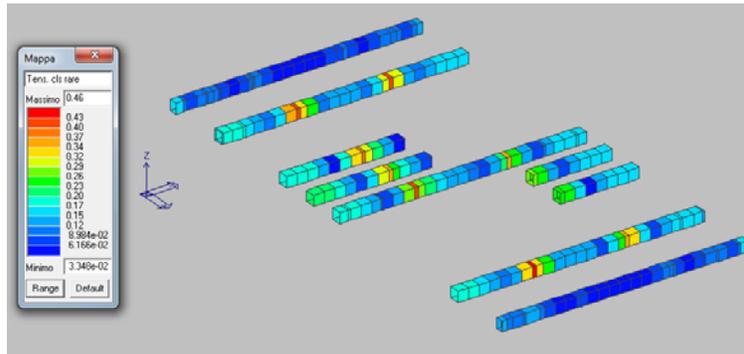


Tensioni totali

Verifica Tens. cls rare

Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto tra la massima compressione nel calcestruzzo e la tensione caratteristica del cls in combinazioni rare fattorizzata in base ai casi previsti dalla normativa (ad es.  $0.6 \cdot f_{ck}$ ); il valore del rapporto, per verifica positiva, deve essere minore o uguale a 1 (D.M. 09/01/1996 par. 4.3.2, D.M. 14/02/2008 par. 4.1.2.2.5)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



Verifica tensionale

#### 8.4.1.8 Puntoni provvisionali

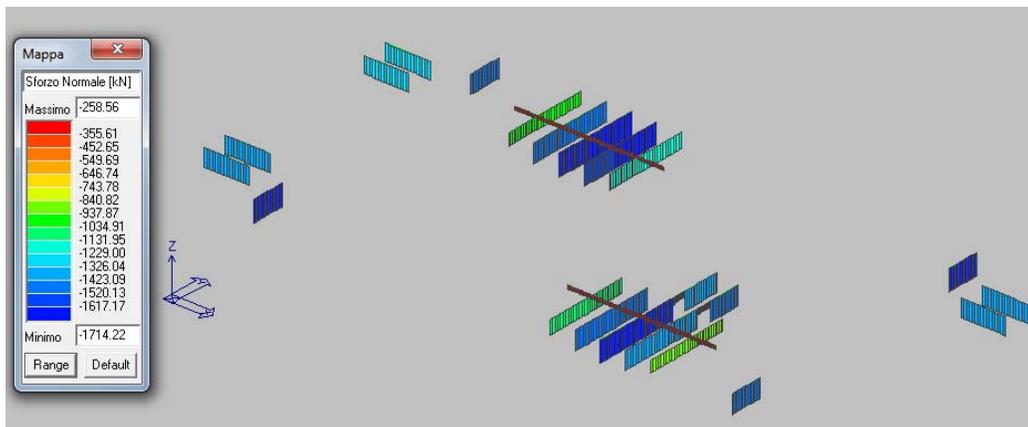
Le verifiche di resistenza dei puntoni provvisionali, costituiti da profili HEB600, sono eseguite adottando il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

Le verifiche relative ai puntoni provvisionali sono state effettuate relativamente al piano 1° in FASE 1, rappresentante la situazione più critica, in modo da poter estendere ed uniformare tali verifiche ai puntoni degli altri livelli.

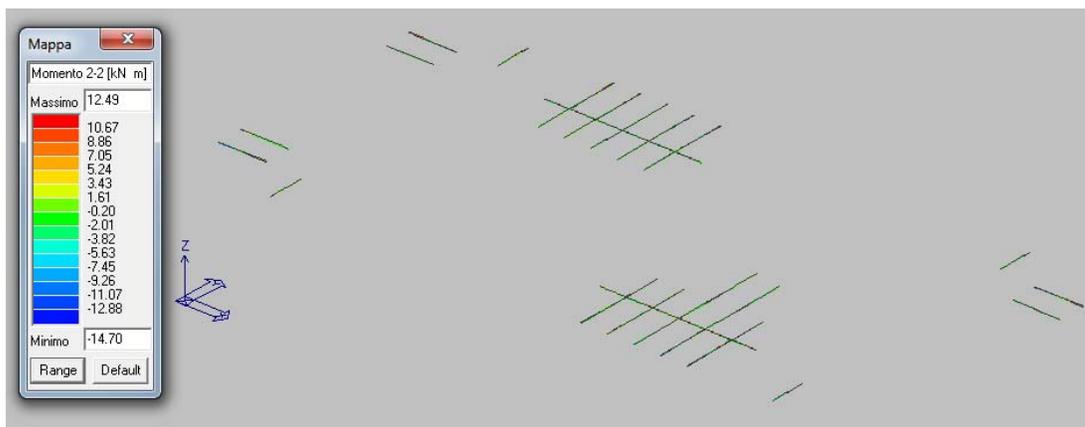
Combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.UU., sono riportate di seguito le mappature delle sollecitazioni, relative a tutte le combinazioni di carico, rapportate a grafici rappresentanti il dominio di rottura ( $N_{Rdu}$ ,  $M_{Rdu}$ ) per diverse configurazioni di armatura.

#### Fase 1

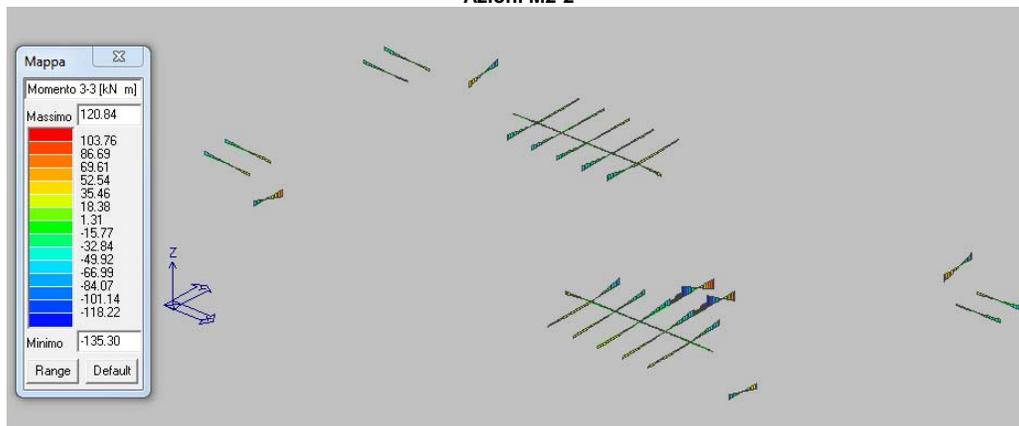
Combinazione SLU



Azioni N

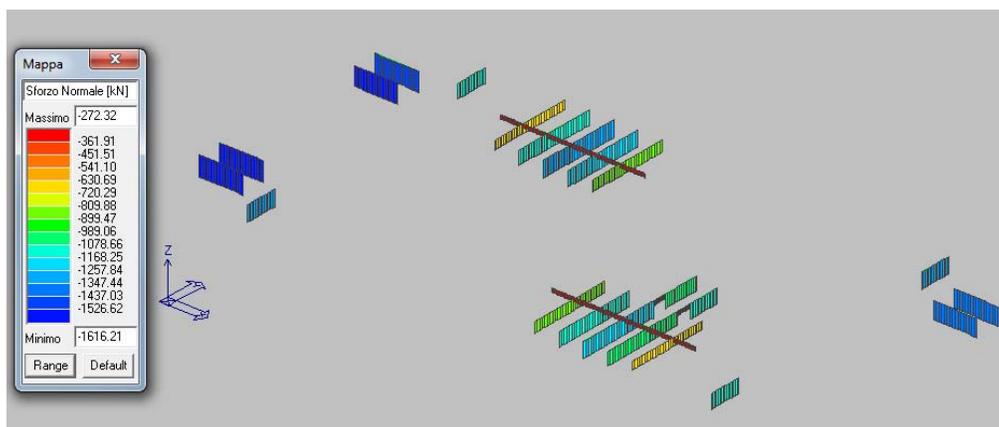


**Azioni M2-2**

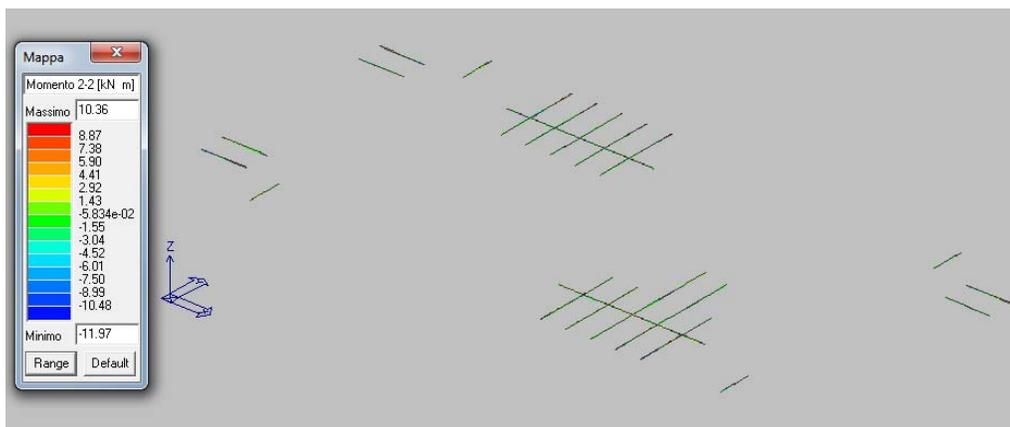


**Azioni M3-3**

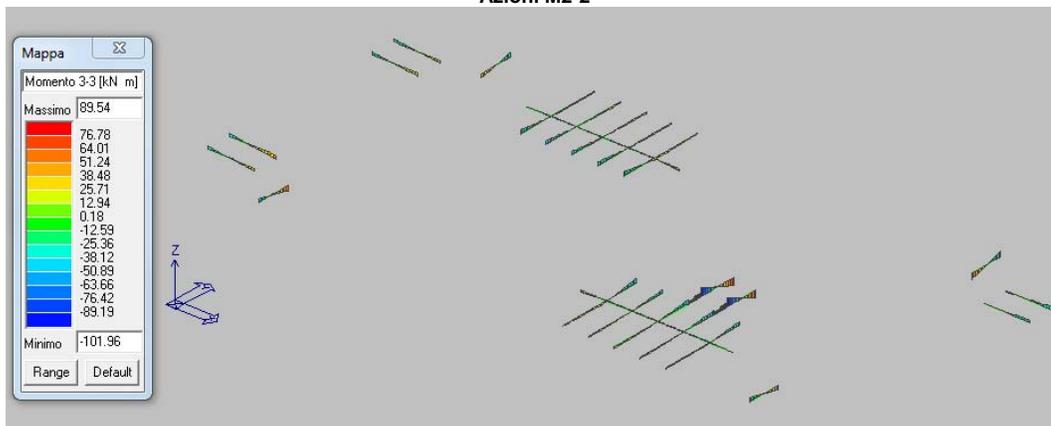
Combinazione Sisma X SLV



**Azioni N**

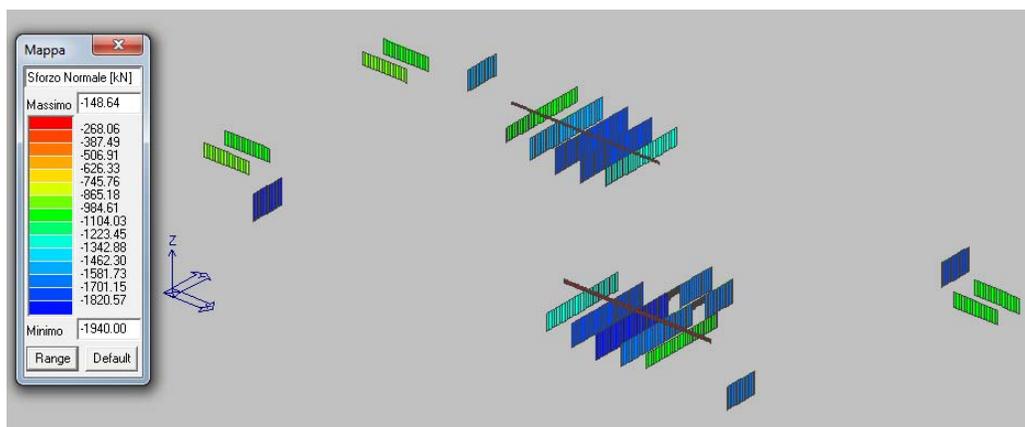


**Azioni M2-2**



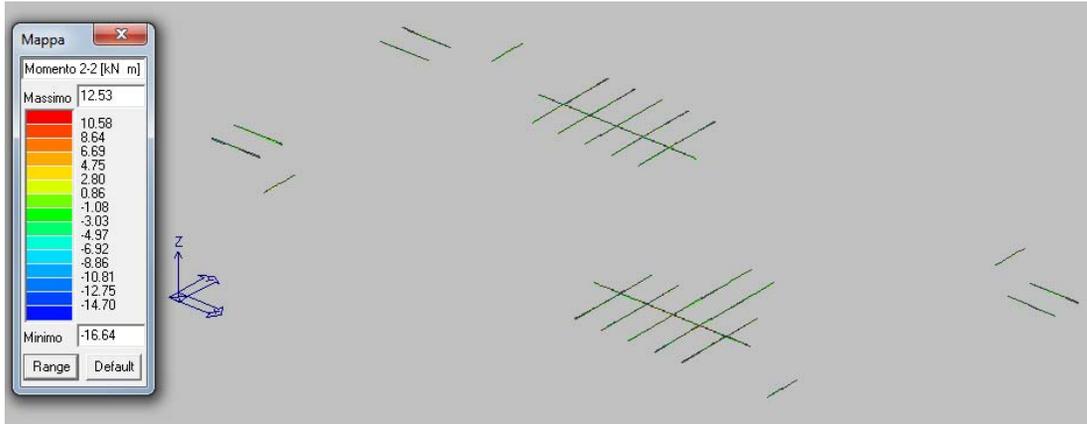
**Azioni M3-3**

Combinazione Sisma Y SLV

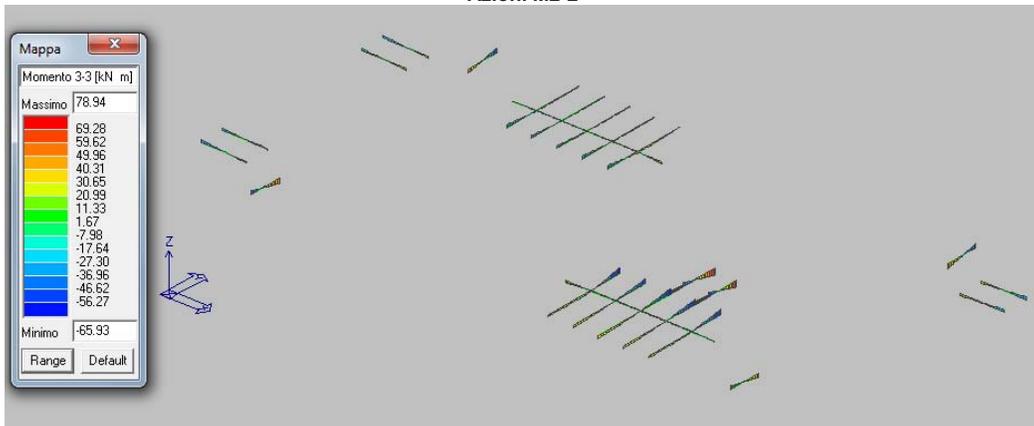


**Azioni N**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



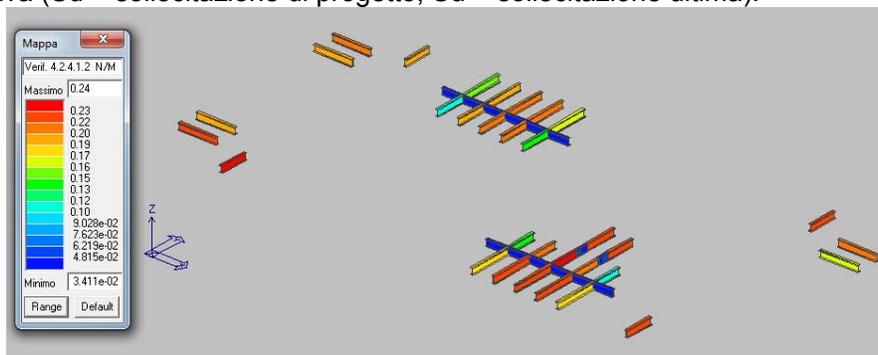
Azioni M2-2



Azioni M3-3

Verifica N/M

Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto  $S_d/S_u$  con sollecitazioni ultime proporzionali; il valore del rapporto deve essere minore o uguale a 1 per verifica positiva ( $S_d$  = sollecitazione di progetto,  $S_u$  = sollecitazione ultima).



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

#### 8.4.1.9 Travi di collegamento diaframmi interni

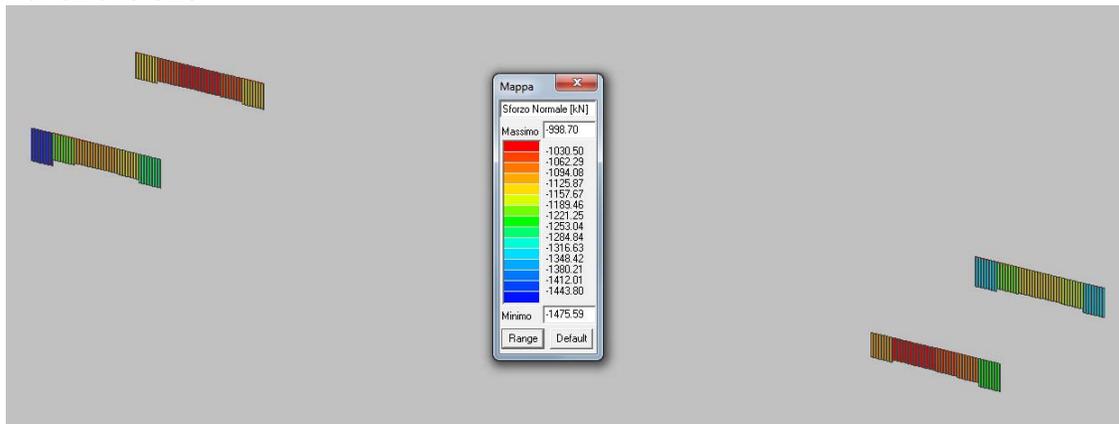
Le verifiche di resistenza delle travi di collegamento, aventi sezione 80x120cm, sono eseguite adottando il metodo semiprobabilistico agli stati limite; si assume un copriferro pari a 5 cm.

Le verifiche sono state effettuate relativamente al piano banchina, rappresentante la situazione più critica, in modo da poter estendere ed uniformare tali verifiche ai puntoni degli altri livelli.

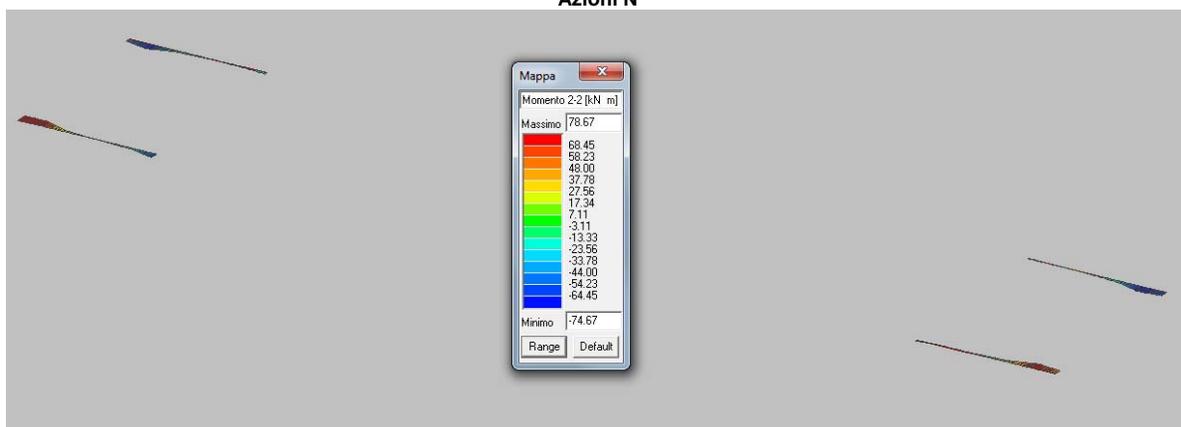
Combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.UU., sono riportate di seguito le mappature delle sollecitazioni, per ognuna delle 2 fasi, relative a tutte le combinazioni di carico, rapportate a grafici rappresentanti il dominio di rottura ( $N_{Rdu}$ ,  $M_{Rdu}$ ) per diverse configurazioni di armatura.

#### Fase 1

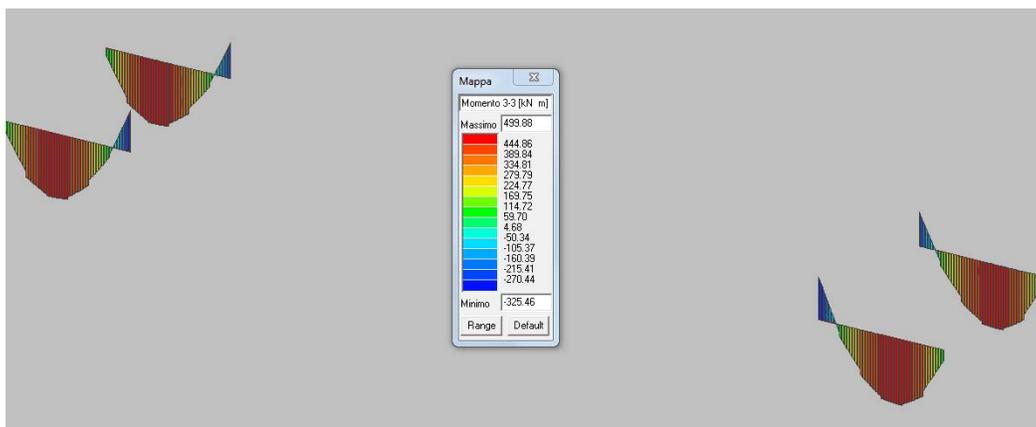
##### Combinazione SLU



##### Azioni N

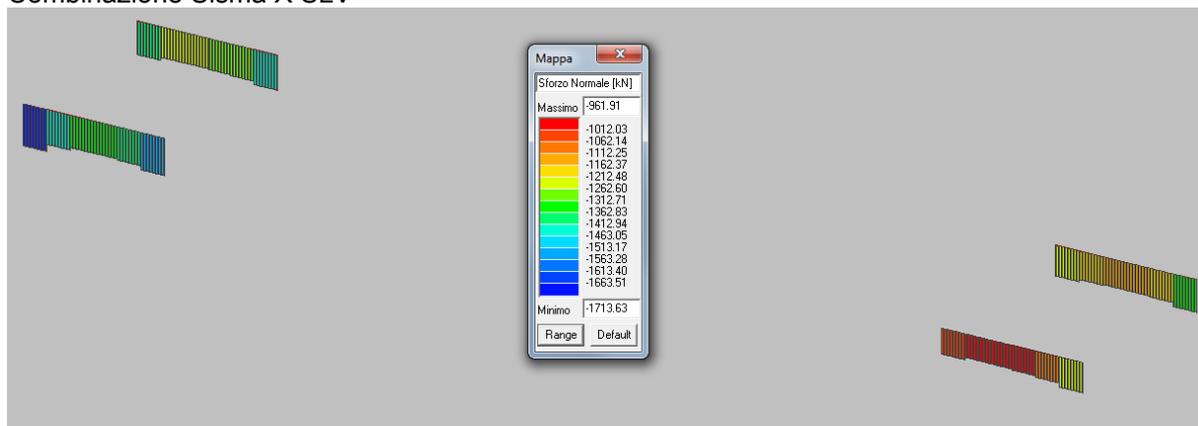


##### Azioni M2-2

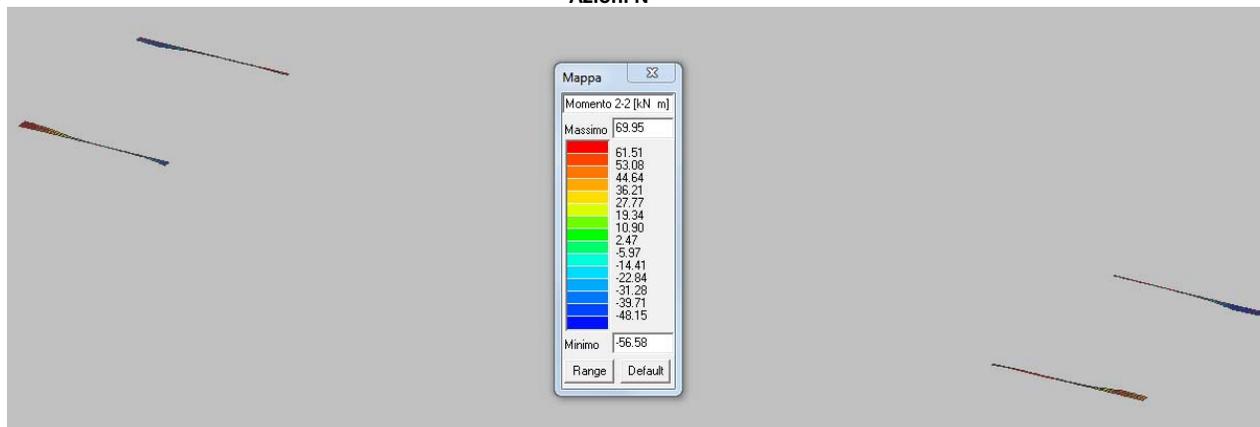


**Azioni M3-3**

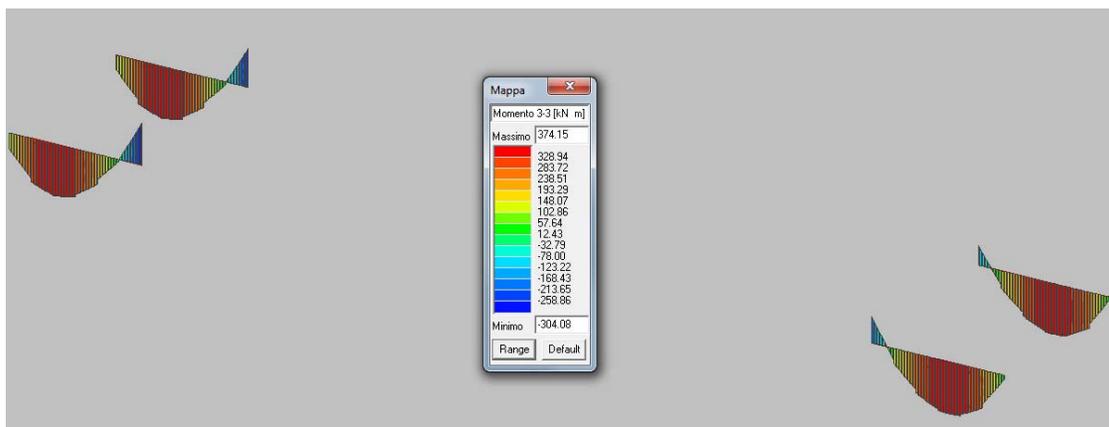
Combinazione Sisma X SLV



**Azioni N**

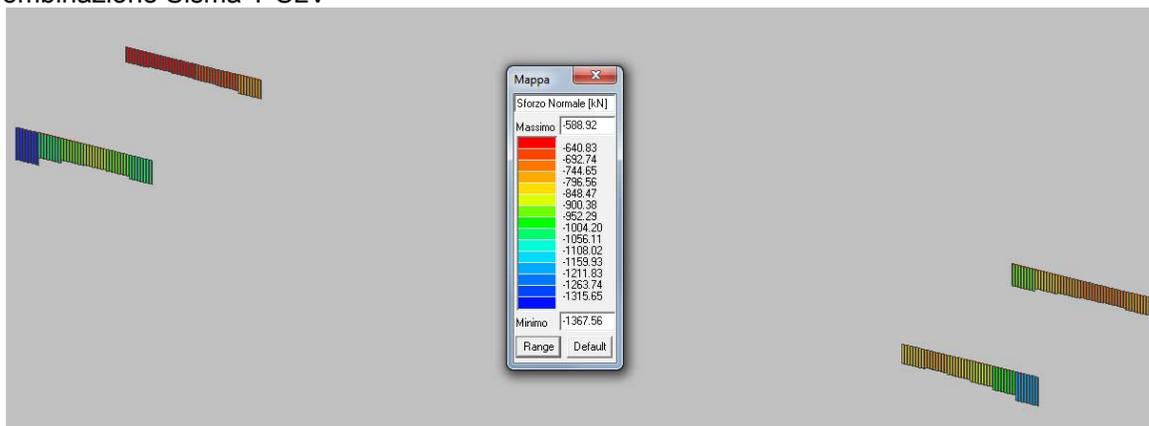


**Azioni M2-2**

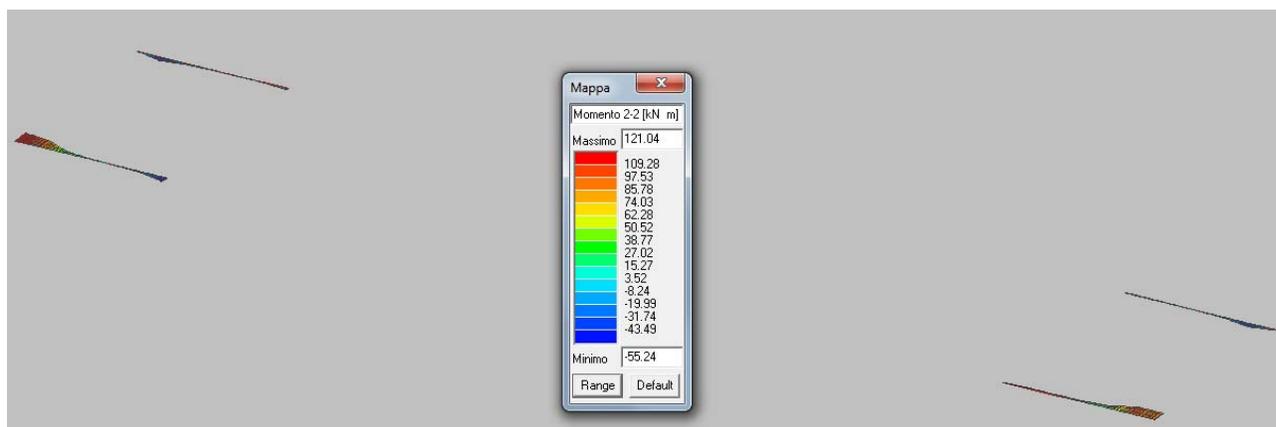


**Azioni M3-3**

Combinazione Sisma Y SLV

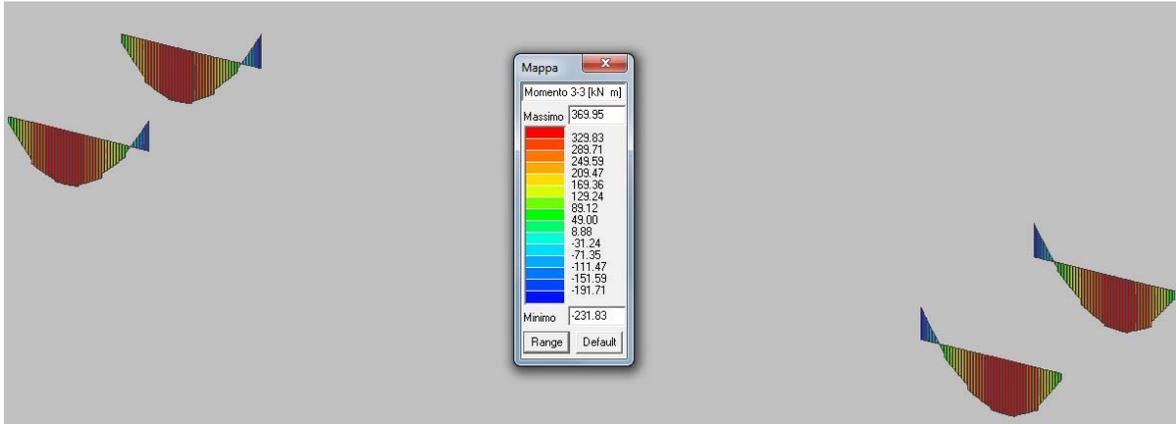


**Azioni N**



**Azioni M2-2**

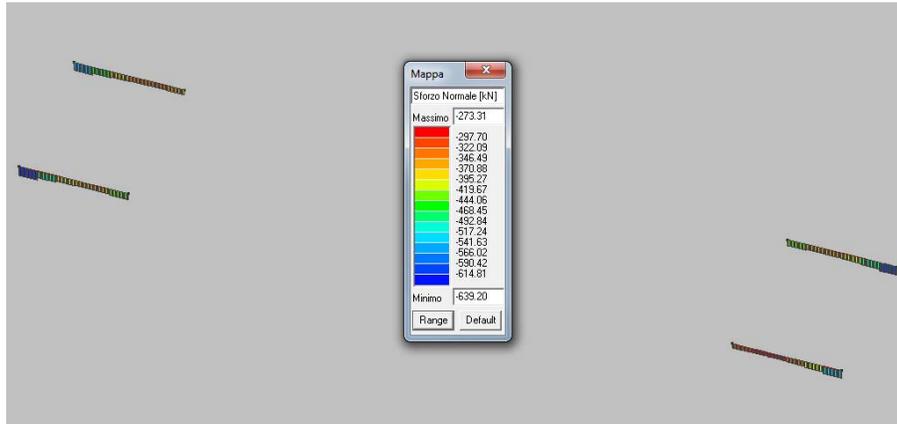
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



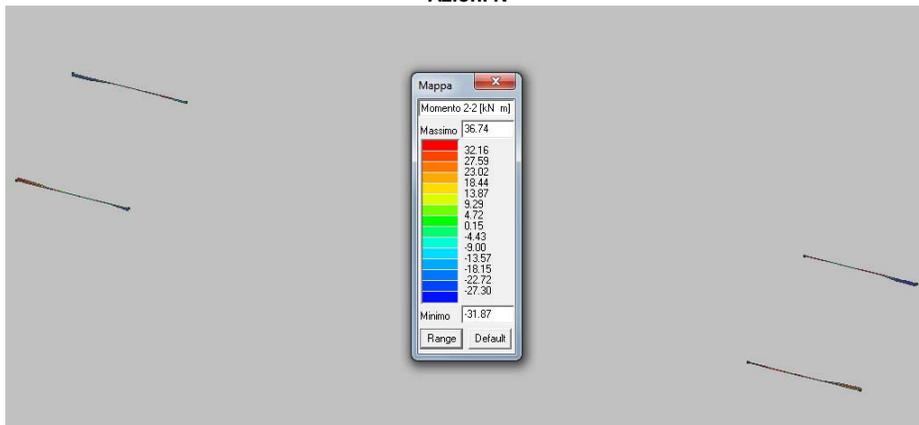
**Azioni M3-3**

**Fase 3**

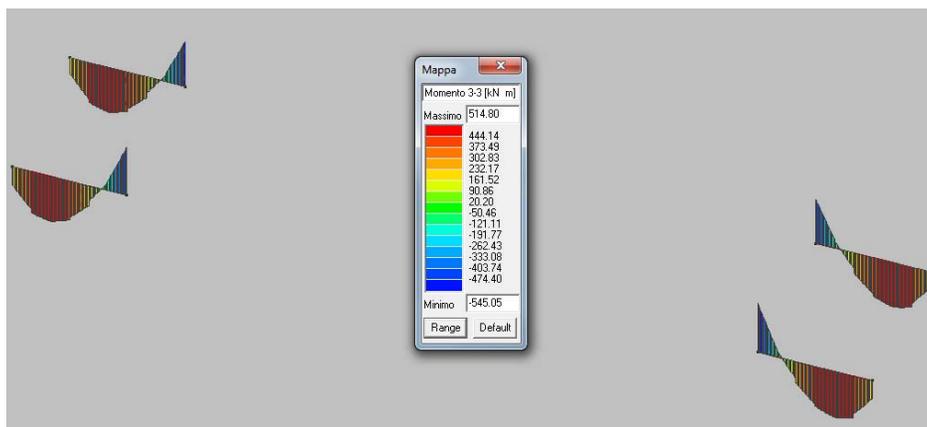
**Combinazione SLU**



**Azioni N**

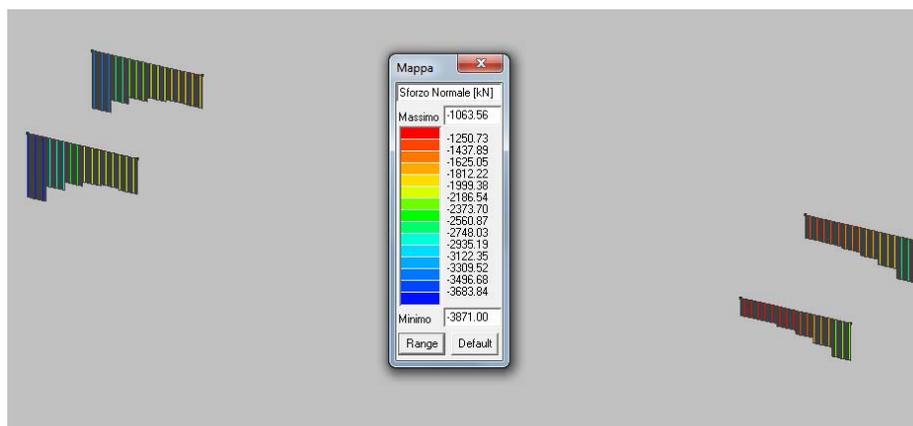


**Azioni M2-2**

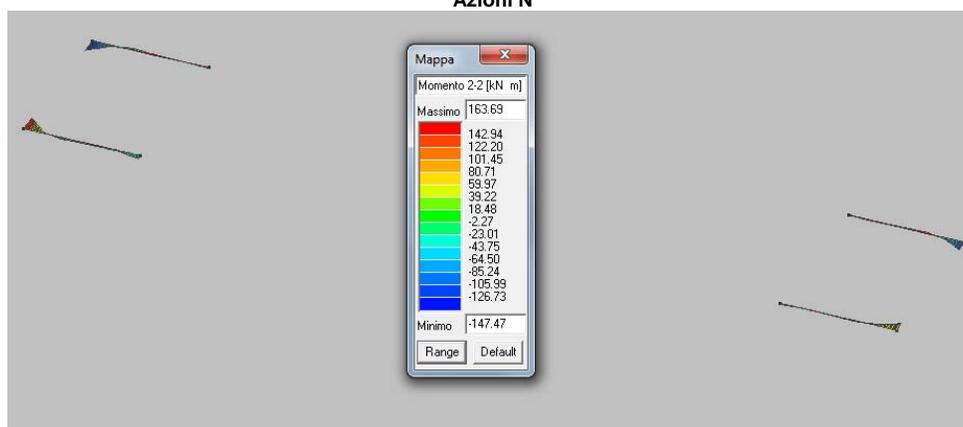


**Azioni M3-3**

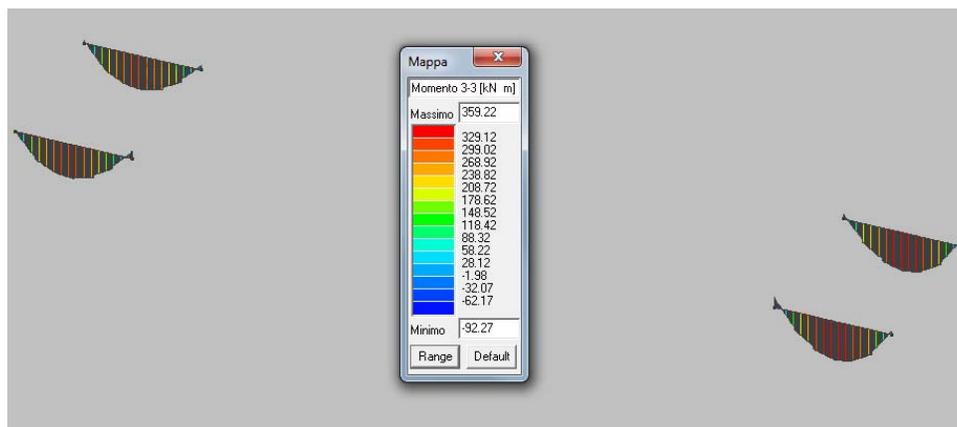
Combinazione Sisma X SLV



**Azioni N**

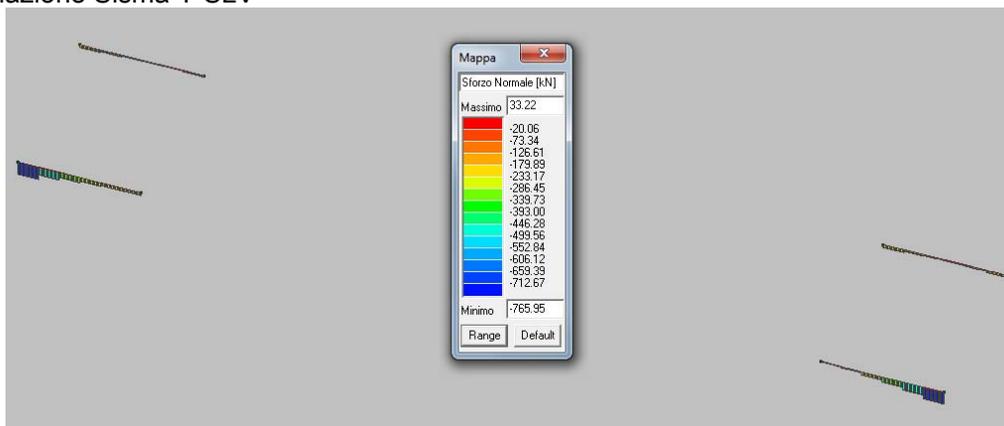


**Azioni M2-2**

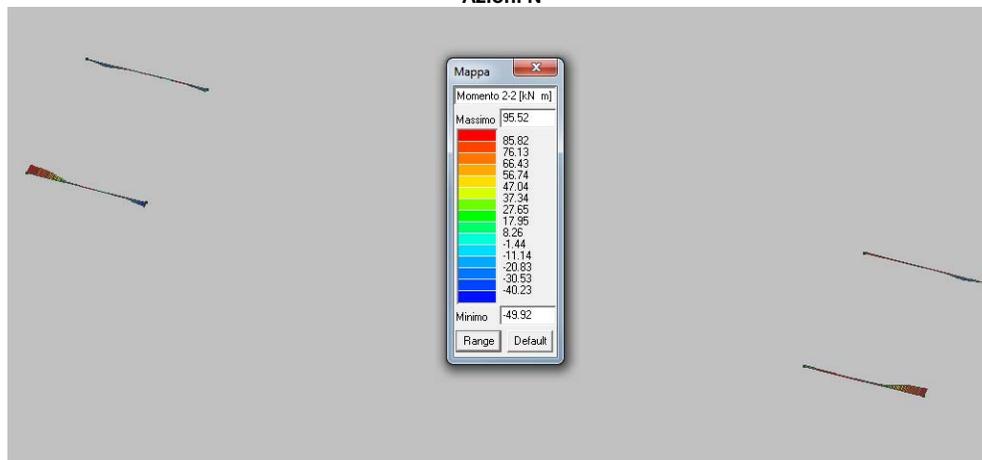


**Azioni M3-3**

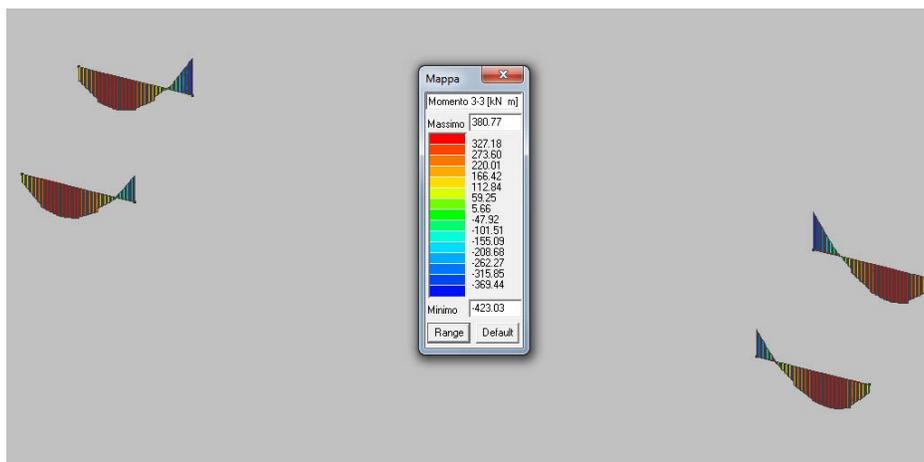
Combinazione Sisma Y SLV



**Azioni N**

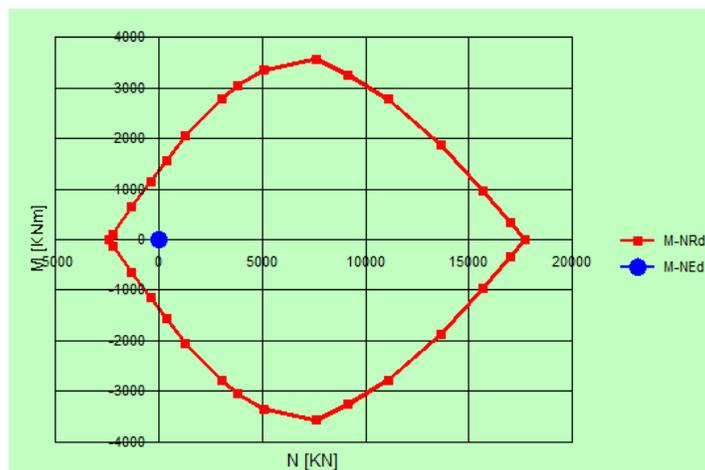


**Azioni M2-2**



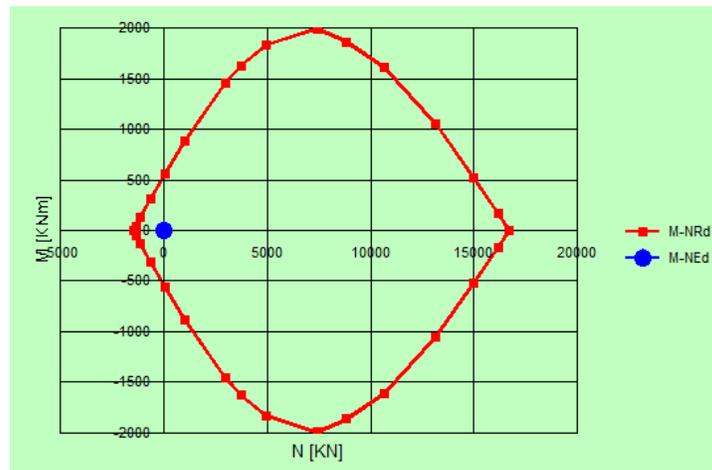
Azioni M3-3

Dominio di rottura ( $N_{Rdu}$ ,  $M3-3_{Rdu}$ ) – armatura corrente 10Ø20 per lato



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Domínio di rottura ( $N_{Rdu}$ ,  $M2-2_{Rdu}$ ) – armatura corrente 6Ø20 per lato

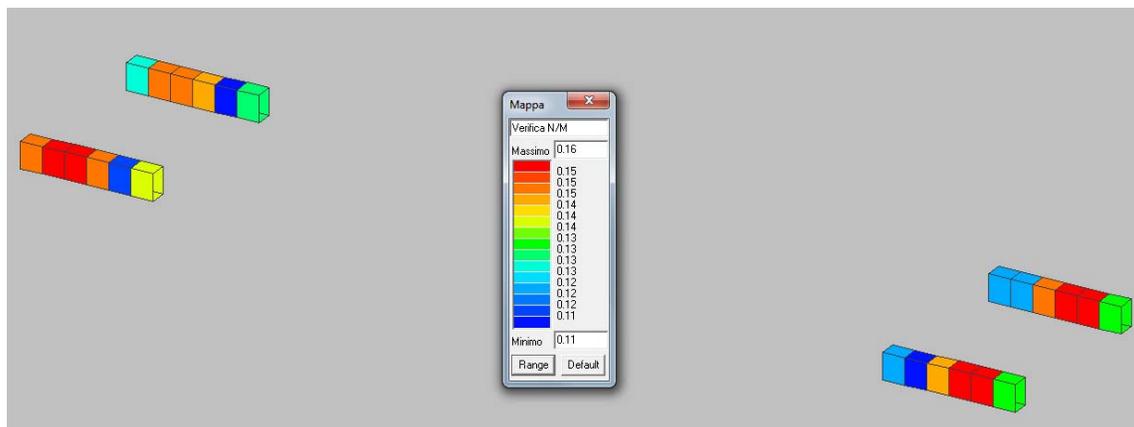


Osservando i domini resistenti M/N risulta evidente come le sollecitazioni sopra riportate ricadano tutte al loro interno rendendo tale verifica soddisfatta.

### Verifica N/M

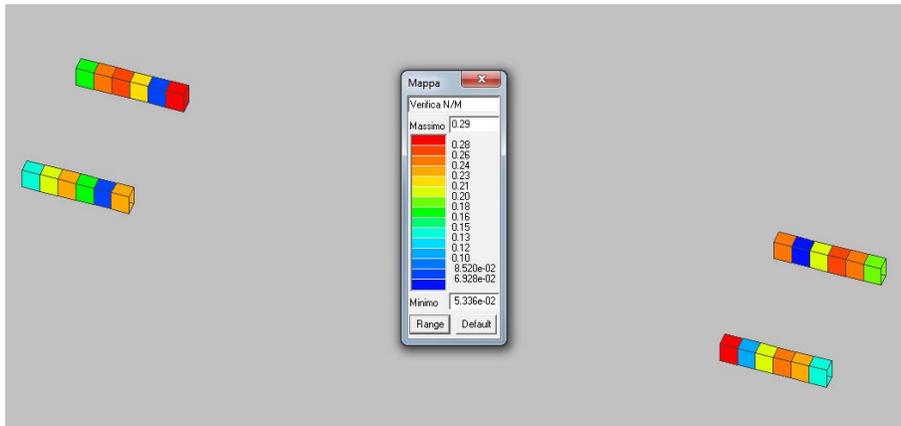
Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto  $Sd/Su$  con sollecitazioni ultime proporzionali; il valore del rapporto deve essere minore o uguale a 1 per verifica positiva ( $Sd$  = sollecitazione di progetto,  $Su$  = sollecitazione ultima)

Fase 1



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

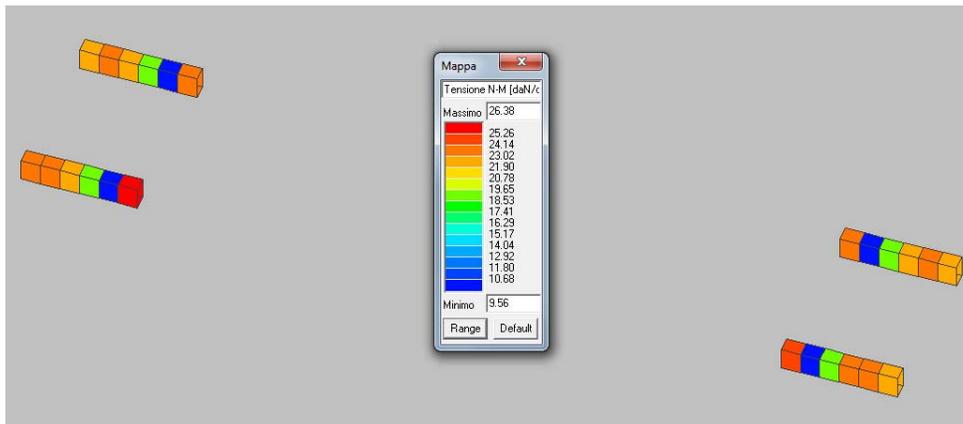
### Fase 3



### Verifiche SLE

Di seguito sono riportate le mappature relative ai valori di tensione ideale dovuti alle sollecitazioni che generano tensioni normali (sforzo normale e flessioni) in FASE 3, combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.EE.; vengono inoltre riportate le relative verifiche.

### Combinazione SLE (rara)

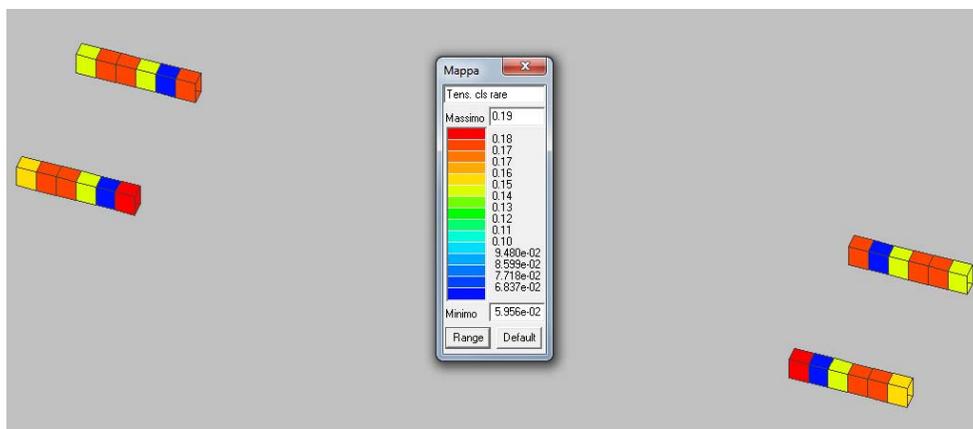


**Tensioni totali**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

### Verifica Tens. cls rare

Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto tra la massima compressione nel calcestruzzo e la tensione caratteristica del cls in combinazioni rare fattorizzata in base ai casi previsti dalla normativa (ad es. 0.6xfck); il valore del rapporto, per verifica positiva, deve essere minore o uguale a 1 (D.M. 09/01/1996 par. 4.3.2, D.M. 14/02/2008 par. 4.1.2.2.5)



**Verifica tensionale**

### **8.4.1.10 Platea di fondazione**

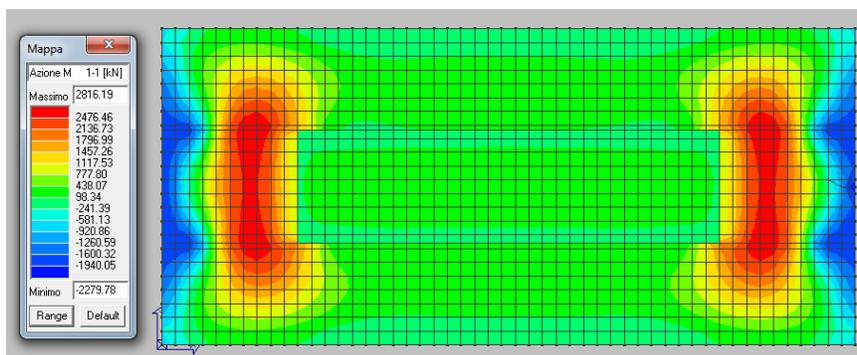
Le verifiche di resistenza della platea di fondazione, avente spessore  $s=200\text{cm}$ , sono eseguite adottando il metodo semiprobabilistico agli stati limite; si assume un copri ferro pari a 5 cm.

Le verifiche sono state effettuate considerando la FASE 3 in quanto ritenuta maggiormente critica per tali elementi strutturali.

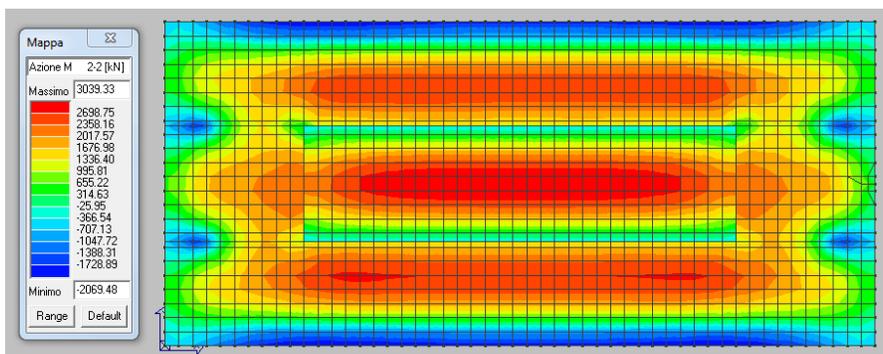
La platea è soggetta alle seguenti azioni ottenute combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.UU.

Combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.UU., sono riportate di seguito le mappature delle sollecitazioni, relative a tutte le combinazioni di carico.

Combinazione SLU

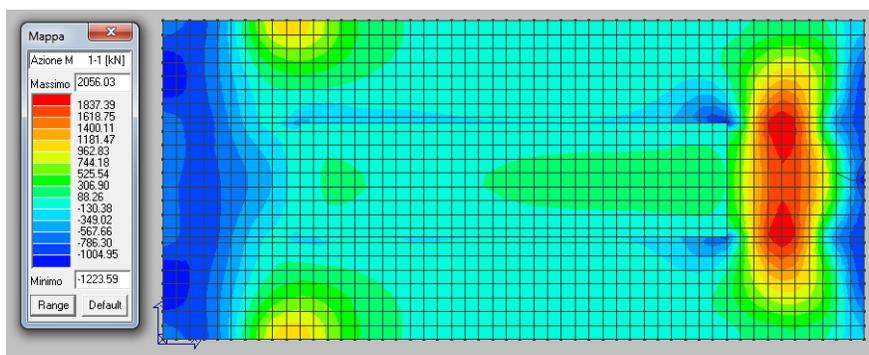


Azioni M1-1

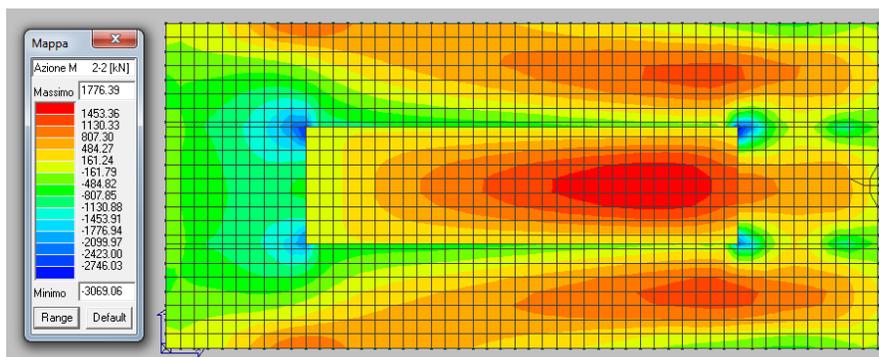


Azioni M2-2

Combinazione Sisma X SLV

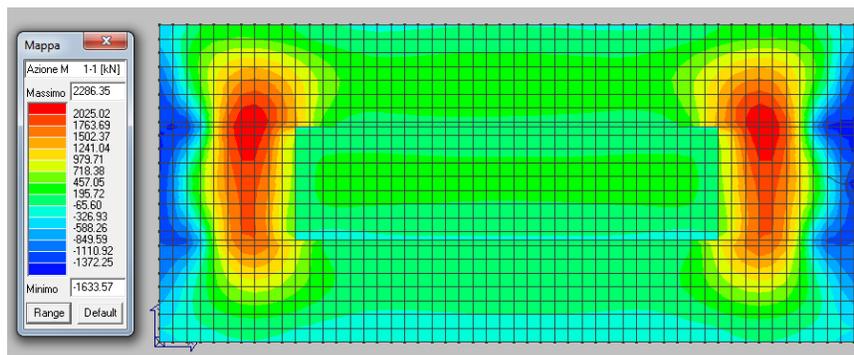


Azioni M1-1

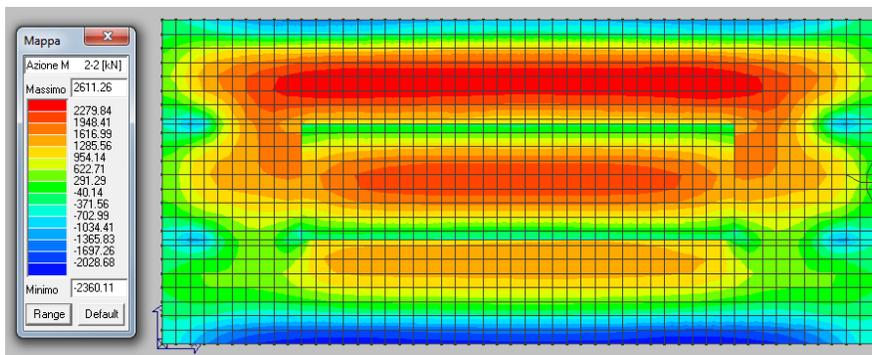


**Azioni M2-2**

Combinazione Sisma Y SLV



**Azioni M1-1**



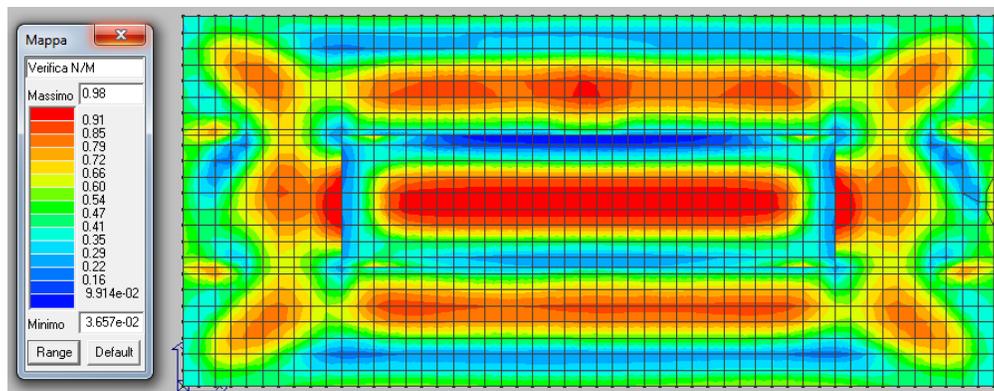
**Azioni M2-2**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Verifica N/M

Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto  $Sd/Su$  con sollecitazioni ultime proporzionali; il valore del rapporto deve essere minore o uguale a 1 per verifica positiva ( $Sd$  = sollecitazione di progetto,  $Su$  = sollecitazione ultima)

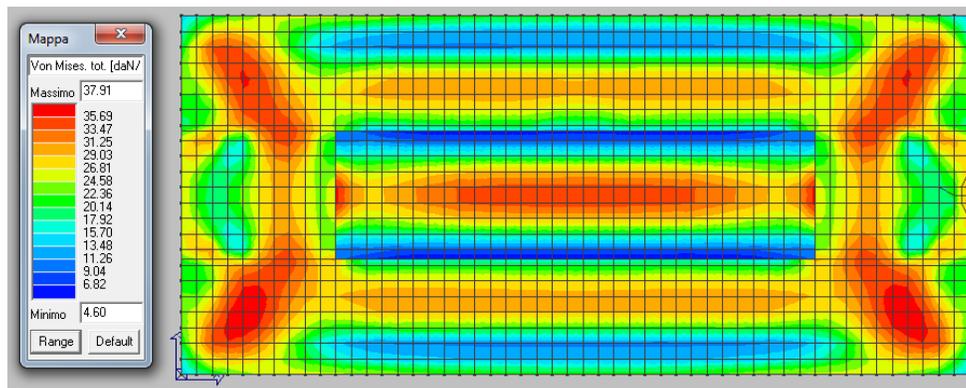
Considerando un’armatura diffusa Ø22 a maglia 10x10cm ed infittimenti Ø22 a maglia 10x10cm si ottiene la seguente mappatura.



Verifiche SLE

Di seguito sono riportate le mappature relative alle tensioni totali (membrana + flessione) in FASE 3, ottenute mediante la formulazione di Von Mises, combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.EE.; vengono inoltre riportate le relative verifiche.

Combinazione SLE (rara)

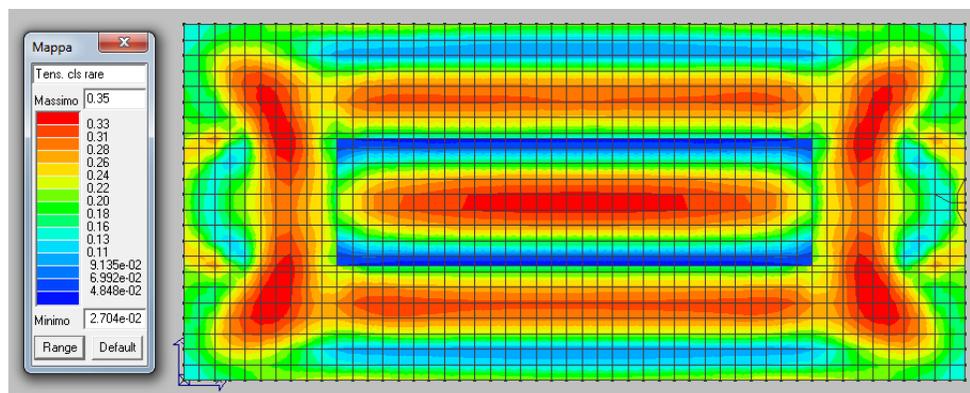


**Tensioni totali**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

### Verifica Tens. cls rare

Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto tra la massima compressione nel calcestruzzo e la tensione caratteristica del cls in combinazioni rare fattorizzata in base ai casi previsti dalla normativa (ad es.  $0.6 \cdot f_{ck}$ ); il valore del rapporto, per verifica positiva, deve essere minore o uguale a 1 (D.M. 09/01/1996 par. 4.3.2, D.M. 14/02/2008 par. 4.1.2.2.5)

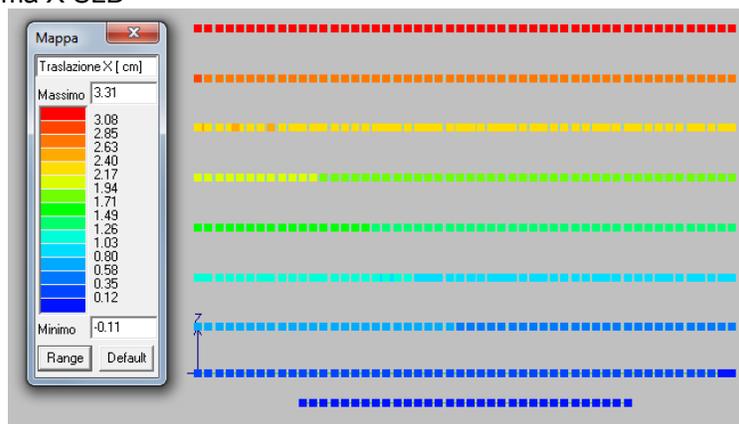


Verifica tensionale

### 8.4.1.11 Verifica Stato Limite di Danno

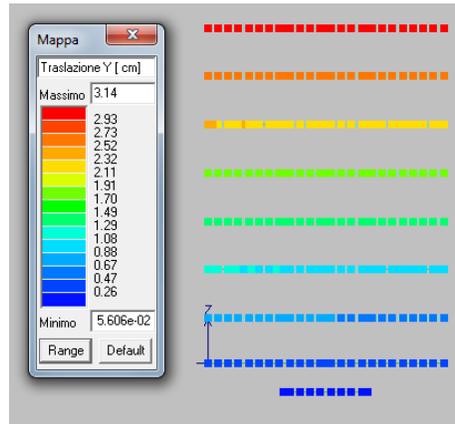
Di seguito viene riportata la verifica agli SLD, valutando gli spostamenti della struttura, relativi alla FASE 3, generati dalla condizione sismica con spettro di progetto calcolato allo stato limite di danno e verificando che gli spostamenti interpiano siano inferiori ai limiti da normativa.

#### Combinazione Sisma X SLD



Spostamenti X

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



**Spostamenti Y**

Lo spostamento limite interpiano corrispondente ad elementi collegati rigidamente alla struttura che interferiscono con la deformabilità della stessa viene così calcolato :

$$d_r < 0,005 * h$$

dove

h = altezza interpiano → 480 cm

$d_r$  = spostamento limite interpiano →  $0.005 * 480 = 2.4$  cm

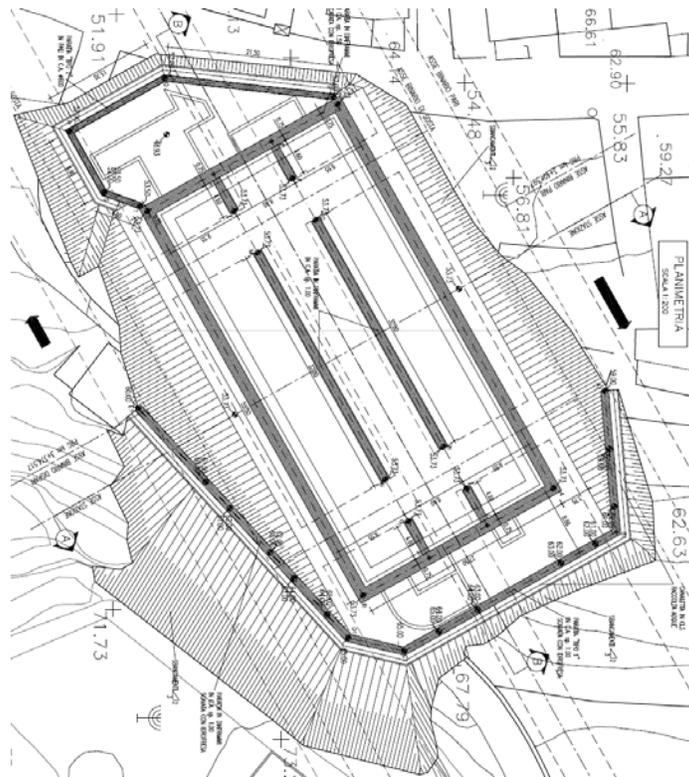
Osservando gli spostamenti assoluti di piano sopra riportati, si deduce come la verifica degli spostamenti relativi interpiano sia nettamente soddisfatta.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 9 Paratie di secondo ordine

Quale opera di contenimento degli scavi è stata prevista la realizzazione di paratie in diaframmi in calcestruzzo armato, dello spessore di 1,00 m, disposti a passo 250 mm, e di pali in c.a., con un diametro pari a 600 mm, con passo 800 mm.

Viene riportato di seguito uno stralcio della planimetria della stazione, in cui si evidenzia la presenza dell’opera in esame.



**Figura 62 – Planimetria**

Nell’opera in esame sono presenti varie tipologie di diaframmi. Per ognuna di esse si è ritenuto opportuno riportare il calcolo relativo alla situazione più significativa:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Calcolo	$H_{TOT}$	$H_{Scavo}$	$H_{Infissione}$	Ordini di tiranti
	[m]	[m]	[m]	[-]
Calcolo 1	17.50	11.30	6.20	4
Calcolo 2	7.60	4.60	3.00	1

**Tabella 22: Diaframmi – tipologie e caratteristiche**

## 9.1 Verifiche delle opere provvisionali di imbocco

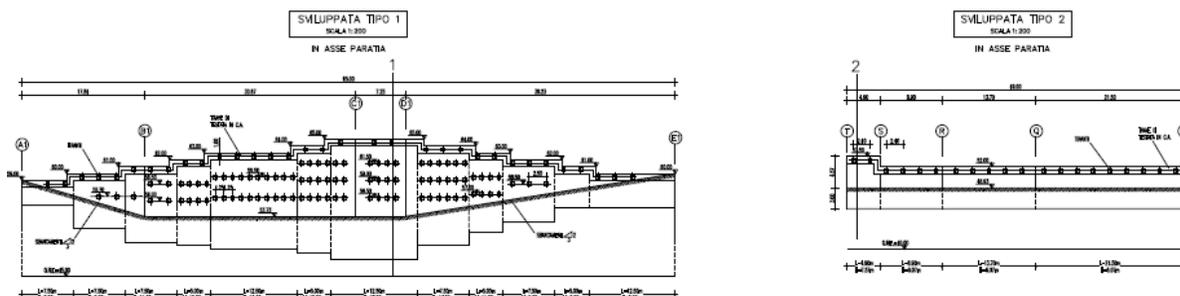
### 9.1.1 Modello di calcolo

Per la modellazione della paratie di secondo ordine è stato utilizzato il programma *Paratie v. 7.0* per il calcolo delle sollecitazioni e delle deformazioni nelle paratie.

### 9.1.2 Analisi numeriche

Il dimensionamento della paratia in esame è stato eseguito con riferimento ai risultati dedotti da un’analisi numerica che ha permesso di valutare il comportamento tenso-deformativo della struttura di sostegno nella sezione ritenuta maggiormente rappresentativa.

Sono stati quindi condotti i calcoli, di seguito riportati. Le sezioni di calcolo sono indicate nell’immagine seguente.



**Figura 63 - Indicazione delle sezioni di calcolo**

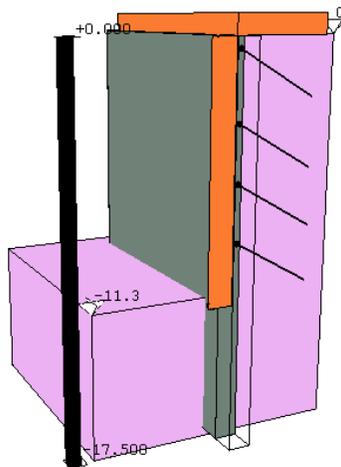
In riferimento ai risultati derivanti dall’inquadramento geologico geomorfologico dell’area in esame

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

si sono dedotti i parametri geotecnici e di spinta.

Nelle analisi numeriche della sezione 1 si è ripercorsa la sequenza costruttiva ipotizzata per l'esecuzione della paratia, attraverso le seguenti fasi operative:

- Fase 1 : Geostatico
- Fase 2: Scavo primo ribasso a quota -1.0 m
- Fase 3 : Messa in opera primo ordine di tiranti a -0.5 m
- Fase 4 : Scavo secondo ribasso a quota a -4.0 m
- Fase 5 :Messa in opera secondo ordine di tiranti a – 3.5 m
- Fase 6 : Scavo terzo ribasso a quota a -6.5 m
- Fase 7: Messa in opera terzo ordine di tiranti a – 6.0 m
- Fase 8: Scavo quarto ribasso a quota a -9.0 m
- Fase 9: Messa in opera quarto ordine di tiranti a – 8.5 m
- Fase 10: Scavo fino al raggiungimento della quota fondo scavo -11.3 m
- Fase 11: Applicazione carico sismico



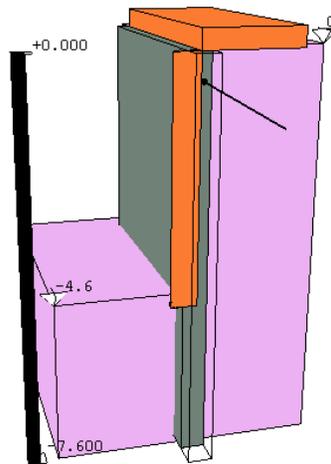
**Figura 64 - Modello di calcolo per altezza fuori terra 11.30 m ( sezione 1)**

Nelle analisi numeriche della sezione 2 si è ripercorsa la sequenza costruttiva ipotizzata per l'esecuzione della paratia, attraverso le seguenti fasi operative:

- Fase 1 : Geostatico
- Fase 2: Scavo primo ribasso a quota -1.0 m

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

- Fase 3 : Messa in opera primo ordine di tiranti a -0.5 m
- Fase 4: Scavo fino al raggiungimento della quota fondo scavo -4.6 m
- Fase 5: Applicazione carico sismico



**Figura 65 - Modello di calcolo per altezza fuori terra 4.60 m ( sezione 2)**

### 9.1.3 Criteri di verifica

La verifica dell’opera di sostegno è stata effettuata secondo un approccio agli Stati Limite, analizzando sia lo stato limite ultimo, con riferimento a quanto indicato nel Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14.01.2008 - Testo Unico “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

Il D.M. 2008 T.U. segue l’approccio agli Stati Limite degli Eurocodici: la sicurezza e la prestazione di un’opera devono essere valutati in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la sua vita nominale, Stati Limite Ultimi (S.L.U.), secondo il metodo semiprobabilistico basato sull’impiego dei “coefficienti parziali di sicurezza”.

#### 9.1.3.1 Stati limite ultimi

Per la sicurezza di opere e sistemi geotecnici i valori dei coefficienti di sicurezza sono riportati ai capitoli 6.2-7 del Testo Unico 2008. La Normativa impone che sia rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell’azione, pari all’azione caratteristica moltiplicata per il coefficiente

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

parziale per le azioni  $\gamma_f$ , mentre  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico, valutato con riferimento ai coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno  $\gamma_m$ .

Per la verifica delle paratie la condizione  $E_d \leq R_d$  deve essere rispettata impiegando due combinazioni di gruppi di coefficienti parziali per le azioni e per i parametri geotecnici (A1+M1 e A2+M2). In particolare la combinazione A1+M1 risulta rilevante per stabilire la capacità strutturale delle opere che interagiscono con il terreno, mentre la combinazione A2+M2 determina il dimensionamento geotecnico.

Azione	Coeff. Parzia $\gamma_f$	
	A1	A2
Permanente sfavorevole	1,30	1,00
Permanente favorevole	1,00	1,00
Variabile sfavorevole	1,50	1,30
Variabile favorevole	0,00	0,00

**Tabella 23- Coefficienti Parziale per le azioni o per l'effetto delle azioni**

Parametro al quale applicare il coefficiente parziale		Coeff. Parziale $\gamma_m$	
		M1	M2
Angolo d'attrito	$\tan \phi'$	1,00	1,25
Coesione efficace	$c'$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	$c_u$	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	1,00	1,00

**Tabella 24 – Coefficienti Parziali per i parametri geotecnici del terreno**

R1	R2	R3
1.0	1.0	1.1

**Tabella 25 - Coefficienti Parziali per le resistenze**

In condizioni sismiche le verifiche agli Stati Limite Ultimi vengono condotte impiegando sempre le stesse combinazioni ma ponendo pari all'unità solo i coefficienti parziali sulle azioni (A1=A2=1,0).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0

Formazione	$\gamma$ [KN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [KN/m <sup>2</sup> ]	$\phi'$ [°]	$K_a$ [i=20°]	$K_a$ [i=0°]	$K_p$ [i=0°]	$E'$ [MPa]
Ghiaie di Messina	19	0	38	0.262	0.205	7.716	100

**Tabella 26 - Parametri di calcolo adottati nella combinazione A1+M1 (STRU) e E1+E2 (Esercizio)**

Formazione	$\gamma$ [KN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [KN/m <sup>2</sup> ]	$\phi'$ [°]	$K_a$ [i=20°]	$K_a$ [i=0°]	$K_p$ [i=0°]	$E'$ [MPa]
Ghiaie di Messina	19	0	32	0.360	0.267	5.052	100

**Tabella 27- Parametri di calcolo adottati nella combinazione A2+M2 (GEO)**

Per quanto riguarda i tiranti (cap. 6.6 del Testo Unico 2008), ai fini della verifica della fondazione di ancoraggio, la condizione  $E_d \leq R_d$  deve essere rispettata confrontando l'azione di progetto (calcolata moltiplicando il tiro massimo del tirante per un coefficiente  $\gamma_f = 1,3$ , per la combinazione A1+M1+R3) con una resistenza  $R_d$  calcolata come

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}$$

dove  $\gamma_R$  è il coefficiente parziale per la resistenza di ancoraggi pretesi

Il valore caratteristico della resistenza allo sfilamento è stato valutato applicando dei coefficienti correttivi ai valori caratteristici della resistenza del terreno. Cautelativamente tale valore riduttivo è stato posto pari ad 1.8, pertanto si ha che:

$$\tau_{lim,Rd} = \frac{\tau_{lim}}{\xi_{a3}}$$

Con :

$$\xi_{a3} = 1.8$$

### 9.1.3.2 Stati limite di esercizio

La verifica allo stato limite di esercizio è stata condotta ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni ed impiegando i parametri geotecnici e le resistenze e le resistenze di progetto (vedi tabelle).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0140_F0	Rev F0	Data 20-06-2011

condizione	Coeff. Parzia $\gamma_f$	
	Permanenti	Temporanei
E 1	1,0	1,00

**Tabella 28 - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni per gli SLE**

Condizione	Coeff. Parziale $\gamma_m$		
	$\tan \phi'$	c'	cu
E2	1,0	1,0	1,0

**Tabella 29 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Le tensioni ricavate dalle sollecitazioni fornite dal programma dovranno essere confrontate con le tensioni di riferimento:

$$\sigma_c < 0.60 f_{ck} \quad \text{combinazione rara}$$

$$\sigma_c < 0.45 f_{ck} \quad \text{combinazione quasi permanente}$$

$$\sigma_s < 0.8 f_{yk}$$

$f_{ck}$  = Resistenza caratteristica di compressione del calcestruzzo

$f_{yk}$  = Tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio

### 9.1.3.3 Verifica dei trefoli

La tensione massima di esercizio nel tirante deve essere tale da rispettare la relazione  $E_d \leq R_d$ , dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'azione (pari all'azione nominale) mentre  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza calcolato come:

$$R_d = 0,8 \cdot (n \cdot A_{tr}) \cdot f_{ptk}$$

con:

$A_{tr}$  = area nominale del trefolo;

$n$  = numero dei trefoli (da 0,6") del tirante;

$f_{ptk}$  = tensione caratteristica a rottura del trefolo;

In condizioni sismiche le verifiche vengono condotte considerando una resistenza  $R_{sd}$  pari a:

$$R_{sd} = 0,9 \cdot (n \cdot A_{tr}) \cdot f_{p(0,1)k}$$

dove:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

$f_{p(0,1)k}$  = tensione caratteristica di snervamento del trefolo.

#### 9.1.3.4 Stati limite di progetto

Di seguito si riassumono gli stati limite considerati nel progetto dell'opera di imbocco:

STATI LIMITE PROGETTO	
SLE	E1+E2
SLE_SISMA (SLD)	E1+E2+sisma
SLU_1	A1+M1
SLU_2	A2+M2
SLU1_SISMA (SLV)	A1+M1+sisma
SLU2_SISMA (SLV)	A2+M2+sisma

**Tabella 30 - Stati limite considerati nel progetto**

#### 9.1.4 Definizione dei carichi agenti

Le opere di sostegno sono state verificate applicando i carichi indicati nel seguito.

##### 9.1.4.1 Spinta del Terreno

Il terreno esercita una spinta orizzontale sulla paratia proporzionale al carico verticale cui esso è soggetto. Il fattore di proporzionalità (coefficiente di spinta) dipende dallo stato deformativo del terreno e può variare dal coefficiente di spinta attiva  $K_a$  al coefficiente di spinta passiva  $K_p$ , i quali a loro volta dipendono dall'angolo d'attrito interno del terreno, dall'attrito paratia – terreno, dall'inclinazione della paratia e dall'inclinazione dal terreno adiacente.

Nelle analisi effettuate tali coefficienti sono stati impiegati sulla base di quanto dedotto come spiegato nel paragrafo precedente.

Nelle analisi effettuate si è ipotizzato un coefficiente d'attrito paratia-terreno pari a 0.5 dell'angolo d'attrito interno del terreno nel calcolo di  $K_a$  mentre, cautelativamente, si è considerato nullo il coefficiente di attrito- terreno nel caso di applicazione del carico sismico e nel calcolo di  $K_p$ .

Il programma di calcolo utilizzato, come già descritto, applica alla paratia la componente orizzontale della spinta del terreno, calcolata utilizzando un coefficiente di spinta ottenuto iterativamente ad ogni passo dell'analisi in funzione dello stato deformativo puntuale del terreno.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

#### 9.1.4.2 Carico accidentale

In aggiunta alla spinta del terreno si è considerato un carico accidentale di 10 KN/m<sup>2</sup> agente in superficie a monte della paratia per simulare la possibile presenza di mezzi d’opera durante le fasi di scavo.

#### 9.1.4.3 Carico permanente

Nel calcolo 2 è stato incrementato il carico distribuito a tergo della paratia, tenendo conto del peso della porzione di terreno che si troverà a monte della testa della paratia, a seguito dello sbancamento. L’intensità di tale carico è stata cautelativamente considerata pari a 50 kN/mq.

#### 9.1.4.4 Carico sismico

Il carico indotto dall’azione sismica è stato applicato secondo le indicazioni contenute nel DM2008. In particolare la normativa consente di valutare l’azione sismica in funzione della posizione geografica dell’opera (per la posizione dell’opera si rimanda allo specifico capitolo). Partendo dalla ubicazione dell’opera è possibile definire, per il sito di interesse, le accelerazioni orizzontali di progetto. Nota l’accelerazione sismica  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido, bisogna fissare la vita nominale  $V_N$  dell’opera in esame. Dalla tabella 2.4.I estratta dalle nuove Norme tecniche per le costruzioni 14/01/2008, risulta che le opere provvisorie hanno una vita nominale inferiore a 10 anni:

**Tabella 2.4.I – Vita nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere**

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

La vita nominale serve per definire la vita di riferimento  $V_R$  sulla quale viene valutata l’azione sismica agente sull’opera in esame:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

dove  $C_U$  rappresenta il valore del coefficiente d’uso della costruzione che, nel caso di opere infrastrutturali ricadenti in classe II (NTC 2008 par. 2.4.2), è pari a 1 (NTC 2008 par.2.4.3 tab. 2.4.I).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0140_F0	Rev F0	Data 20-06-2011

Nel caso in cui il Periodo di riferimento fosse inferiore a 35 anni, la norma impone di un  $V_R$  pari a 35 anni.

In base al periodo di riferimento, le norme definiscono la probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  a cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati (Tab 3.2.I NTC 2008)

**Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato**

Stati Limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Per il calcolo dell'azione sismica di Progetto si sono considerati i seguenti parametri:

- $V_n = 100$  anni ( tempo di costruzione per opera provvisoria)
- Classe d'uso = IV
- $C_u = 2$  (coefficiente d'uso della struttura)

Il valore dell'azione sismica di progetto relativo alle condizioni di stato limite di danno (SLD) e di salvaguardia della vita umana (SLV), è stato calcolato come descritto di seguito.

Posto  $V_R = 200$  anni si ottiene:

STATO LIMITE	$T_R$	$a_g$ [g]	$F_0$	$T^*_c$ [s]
SLO	120	0,123	2,341	0,328
SLD	201	0,158	2,369	0,340
SLV	1898	0,410	2,481	0,418
SLC	2475	0,455	2,495	0,432

Considerato che :

Calcolo	Tipo di sottosuolo	C
1	Ss*St	1,44
	$\alpha*\beta$	0.585
2	Ss*St	1,20
	$\alpha*\beta$	0.585

Da cui:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

- Calcolo 1:

<b>Accelerazione orizzontale di progetto (DM2008)</b>	
$k_h (SLD) = a_{max} * S_s * S_t * \alpha * \beta$	0.133
$k_h (SLV) = a_{max} * S_s * S_t * \alpha * \beta$	0.345

- Calcolo 2:

<b>Accelerazione orizzontale di progetto (DM2008)</b>	
$k_h (SLD) = a_{max} * S_s * S_t * \alpha * \beta$	0.111
$k_h (SLV) = a_{max} * S_s * S_t * \alpha * \beta$	0.288

Nelle relazioni di cui sopra i parametri introdotti hanno il seguente significato:

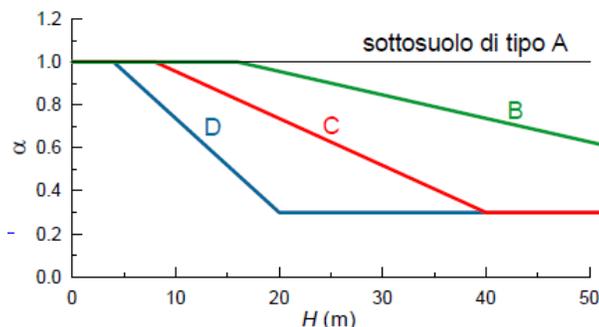
$\alpha$  = coefficiente che tiene conto della deformabilità del terreno;

$\beta$  = coefficiente che tiene conto degli spostamenti ammissibili per il sistema geotecnico;

$S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica;

$S_T$  = coefficiente di amplificazione topografica;

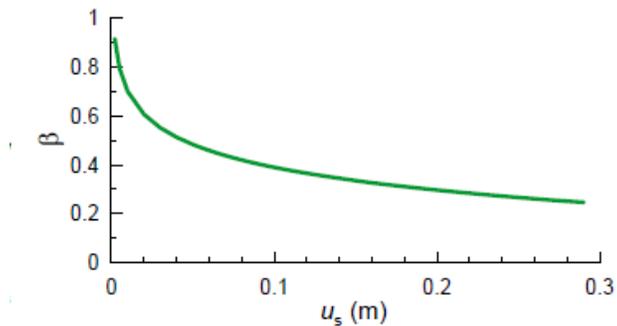
Con  $\alpha \leq 1$  si ammette che l'opera possa subire spostamenti senza cadute di resistenza ( vedi figura di seguito):



**Tabella 31- Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità  $\alpha$**

Invece con  $\beta \leq 1$  si ammette che il terreno possa subire spostamenti compatibili con l'opera (vedi figura di seguito), ovvero lo spostamento ammissibile per l'opera deve essere minore di  $0.005 H$  ( $H$  = altezza complessiva paratia). Nei calcoli paratia di altezza minore si è assunto uno spostamento ammissibile massimo di 2,5 cm, a cui corrisponde per la un coefficiente  $\beta$  pari a 0.585, mentre  $\alpha$  risulta uguale a 1 dato che  $H=7,6m$  e si è in presenza di un suolo di tipo C. Nel caso della paratia più alta si è considerato, a favore di sicurezza, lo stesso prodotto di  $\alpha * \beta$ , sebbene data l'altezza di 17,5 m si sarebbe potuta ridurre l'azione sismica utilizzando un valore di  $\alpha$  pari a 0,8.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



**Tabella 32- Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento  $\beta$**

Definiti i valori delle accelerazione orizzontale di progetto è stata valutata la spinta sismica del terreno avvalendosi del metodo proposto da Wood:

$$\Delta P_d = \left( \frac{a_g}{g} \right) \cdot \gamma \cdot H^2$$

dove:

$\gamma$  = peso dell'unità di volume del terreno

H = altezza fuori terra della paratia

Il carico sismico è stato applicata come un carico uniformante distribuito su tutta l'altezza libera della paratia.

### 9.1.5 Verifiche strutturali delle paratie

Nel seguito si riportano i risultati delle verifiche riguardanti le sezioni della paratia esaminate nei calcoli. Si è analizzata la sezione in corrispondenza della quota del diaframma ( o del palo) per la quale si verifica lo stato di sollecitazione più gravoso, considerando agente uno sforzo assiale N pari al peso della porzione di diaframma sovrastante la sezione considerata.

Le armature previste per i diaframmi in corrispondenza delle rispettive sezioni di calcolo sono di seguito indicate:

Sezione di calcolo	As	A's
1	18 $\phi$ 24	18 $\phi$ 24
2	20 $\phi$ 20	

**Tabella 33 - armature dei diaframmi e dei pali**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

### 9.1.5.1 Stato limite di esercizio

#### Verifiche a Pressoflessione

Le verifiche sono state condotte accertando che, in fase di esercizio, le tensioni di esercizio dei materiali siano inferiori a quelle ammissibili per il materiale, ovvero

$$\sigma_c < 0.60 f_{ck} = 14.94 \text{ MPa}$$

combinazione rara

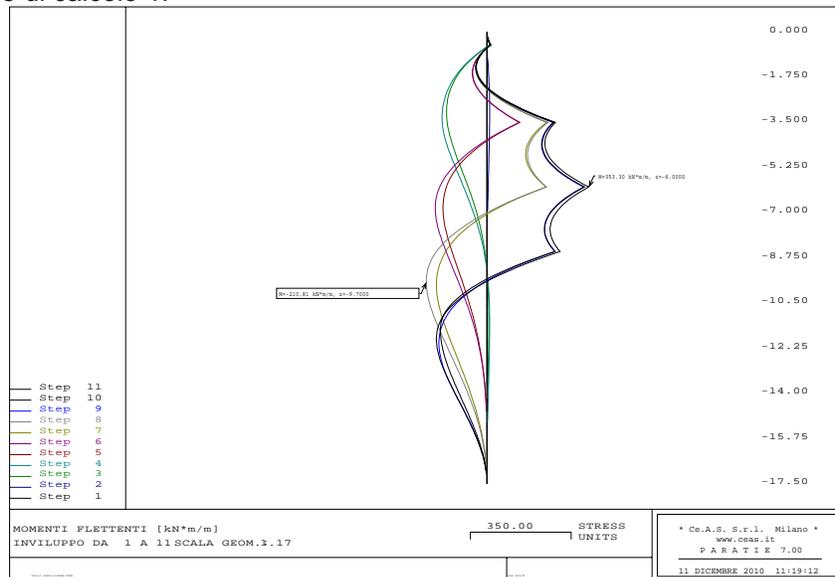
$$\sigma_c < 0.45 f_{ck} = 11.21 \text{ MPa}$$

combinazione quasi permanente

$$\sigma_s < 0.8 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$$

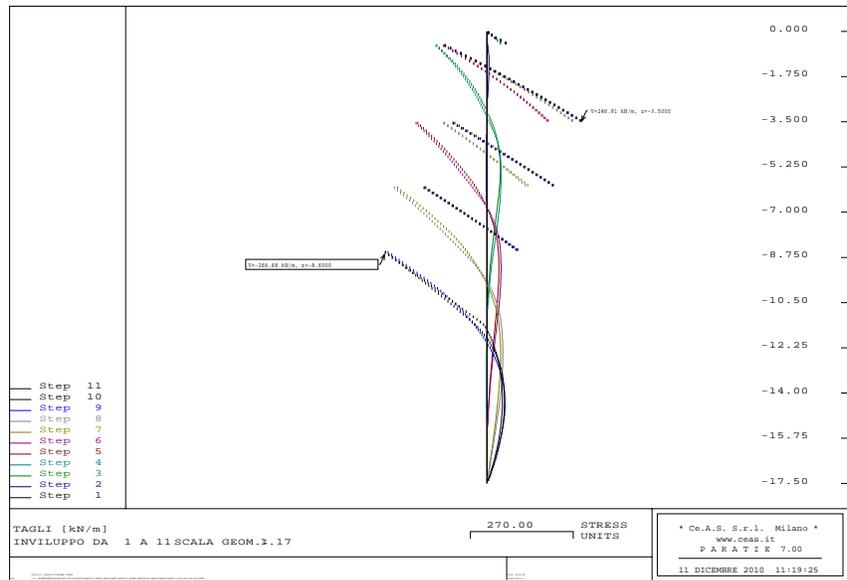
Di seguito si riportano sotto forma di tabelle e di diagrammi le sollecitazioni agenti sul diaframma relativamente alle sezioni di calcolo individuate.

#### 1. Sezione di calcolo 1:



**Figura 66 - Combinazione E1+E2 - Momento flettente**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



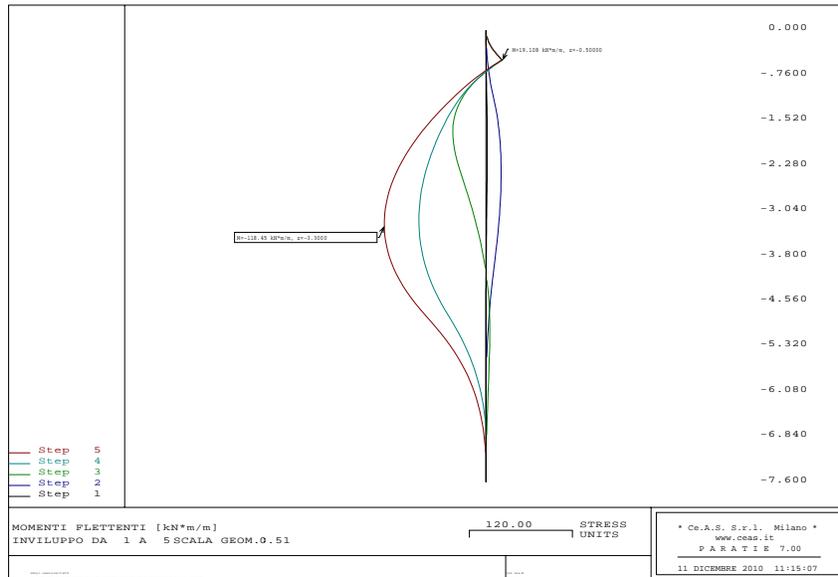
**Figura 67 - Combinazione E1+E2 - Sollecitazioni di taglio**

Combinazione	M <sub>SLE</sub> [kNm]	N <sub>SLE</sub> [kN]	$\sigma_{cls}$ [MPa]	$\sigma_s$ [MPa]	$\sigma_{cls, limite}$ [MPa]	$\sigma_s, limite$ [MPa]
A1+M1_SLE	883	375	2.9	107	11,21	360
A1+M1_SLD	883	375	2.9	107	11,21	360

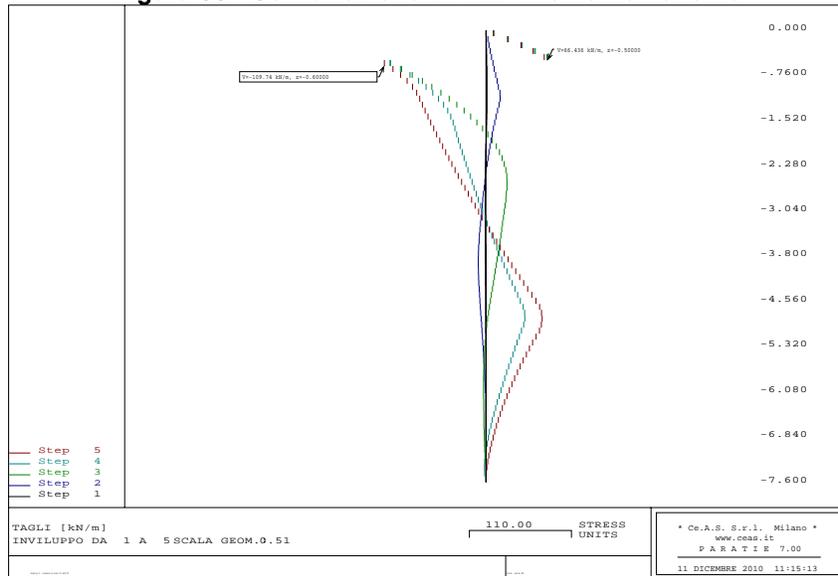
**Tabella 34 - sezione di calcolo 1 : verifica tensionale**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

2. Sezione di calcolo 2:



**Figura 68 - Combinazione E1+E2 - Momento flettente**



**Figura 69 - Combinazione E1+E2 - Sollecitazioni di taglio**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0

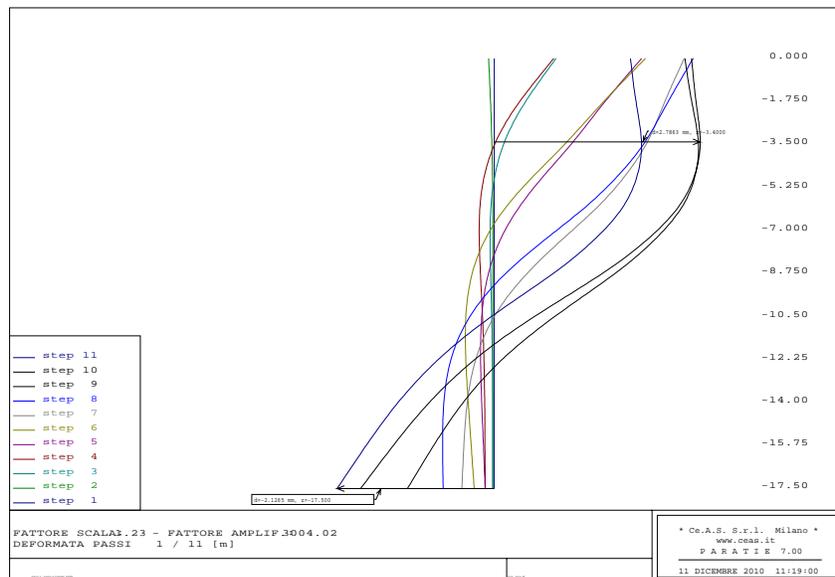
Combinazione	M <sub>SLE</sub> [kNm]	N <sub>SLE</sub> [kN]	$\sigma_{cls}$ [MPa]	$\sigma_s$ [MPa]	$\sigma_{cls, limite}$ [MPa]	$\sigma_{s, limite}$ [MPa]
A1+M1_SLE	62	18	3.3	68	11,21	360
A1+M1_SLD	95	19	5.1	106	11,21	360

**Tabella 35 – Sezione di calcolo 2 : verifica tensionale**

Come si evince dalle tabelle, le tensioni dei materiali rientrano entro i limiti previsti dalla normativa di riferimento.

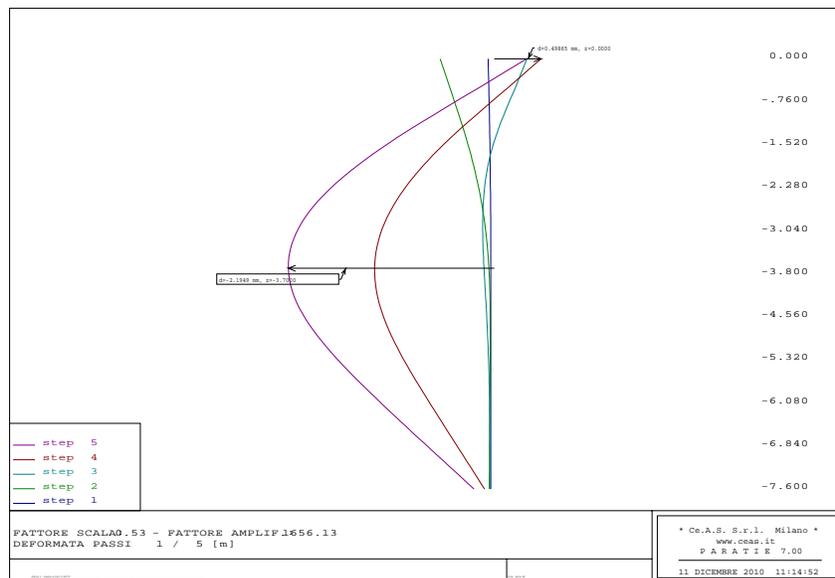
### Analisi degli spostamenti

Il codice di calcolo ha permesso di valutare il regime deformativo della struttura in corrispondenza di ogni fase di calcolo: di seguito sono stati riassunti in forma tabellare e di diagrammi i massimi valori degli spostamenti risultati dall'analisi numerica, sia in condizioni di esercizio (SLE), che in fase sismica (SLD).



**Figura 70 - Sezione di calcolo 1 : Deformata della struttura: fase 10 (SLE), fase 11 (SLD)**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



**Figura 71 - Sezione di calcolo 2 : Deformata della struttura: fase 4 (SLE), fase 5 (SLD)**

	z [m]	Spostamento max [mm]
Statica (SLE)	-3.4	2.78
	-17.5	-1.81
Sismica (SLD)	-3.4	2.78
	-17.5	2.13

**Tabella 36- Sezione di calcolo 1: spostamenti massimi previsti**

	z [m]	Spostamento max [mm]
Statica (SLE)	0	0.5
	-3.7	-1.28
Sismica (SLD)	0	0.5
	-3.7	-2.19

**Tabella 37 - Sezione di calcolo 2: spostamenti massimi previsti**

Il campo degli spostamenti ottenuto nelle due analisi risulta in ogni caso compatibile con la tipologia di struttura in oggetto.

### 9.1.5.2 Stato limite ultimo

#### Verifiche a Pressoflessione

La verifica a pressoflessione dei diaframmi è stata condotta considerando reagenti le armature e i diaframmi in calcestruzzo.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Si è analizzata la sezione in corrispondenza della quota del diaframma z per la quale si verifica lo stato di sollecitazione più gravoso, considerando agente uno sforzo assiale N pari alla porzione di diaframma sovrastante la sezione considerata.

Il momento flettente e l'azione assiale, ottenute dall'elaborazione numerica ed espresse in KNm/m e KN/m, vengono moltiplicati per 2.50 m (interasse tra i diaframmi) e 0.80 m per le paratie in pali. La verifica del diaframma è stata eseguita considerando una sezione rettangolare pari a 100 cm x 250 cm. Mentre per quanto riguarda le paratie in pali si è verificata una sezione circolare di diametro pari a 600mm.

Di seguito verranno riportate le sole verifiche inerenti i diaframmi primari, poiché più gravose ai fini della verifica.

Le verifiche allo stato limite ultimo sono state condotte accertando che:

$$M_{rd} > M_{sd}$$

$$N_{rd} > N_{sd}$$

dove:

$M_{rd}$ ,  $N_{rd}$  = sollecitazioni resistenti di progetto;

$M_{sd}$ ,  $N_{sd}$  = sollecitazioni di progetto.

A tal fine, è stato costruito il dominio di resistenza della sezione del diaframma, verificando che le sollecitazioni di progetto ricadano entro il dominio.

Le ipotesi considerate per la costruzione del dominio di resistenza sono:

1. conservazione delle sezioni piane;
2. legame costitutivo del calcestruzzo tipo parabola-rettangolo con un range costante di deformazione compreso tra 0,2% e 0,35%;
3. legame costitutivo dell'acciaio tipo elastico-perfettamente plastico, con deformazione limite di rottura dello 0,1%;
4. perfetta aderenza calcestruzzo-acciaio;
5. calcestruzzo non reagente a trazione.

Di seguito vengono riportati i diagrammi delle sollecitazioni agenti sul diaframma nelle combinazioni A1+M1 ed A2+M2 in fase statica e sismica (SLV) e le relative verifiche strutturali.

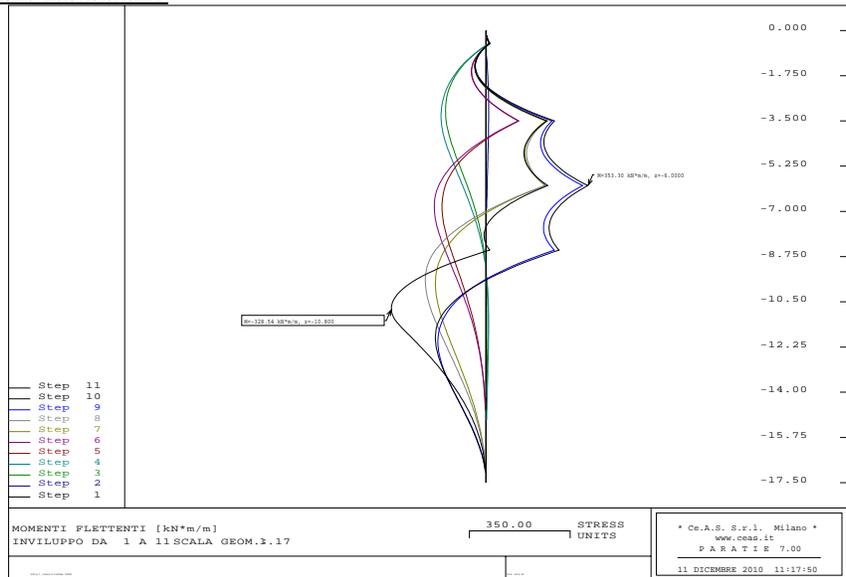
Si ricorda che le armature previste per i diaframmi in corrispondenza delle rispettive sezioni di calcolo sono di seguito indicate:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0

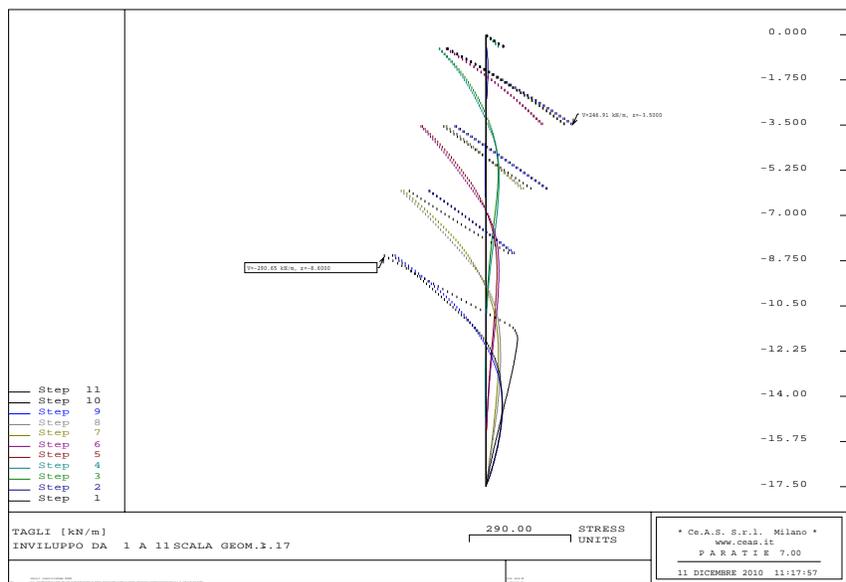
Sezione di calcolo	As	A's
1	18φ24	18φ24
2	20φ20	

**Tabella 38 - armature dei diaframmi e dei pali**

▪ Sezione di calcolo 1:

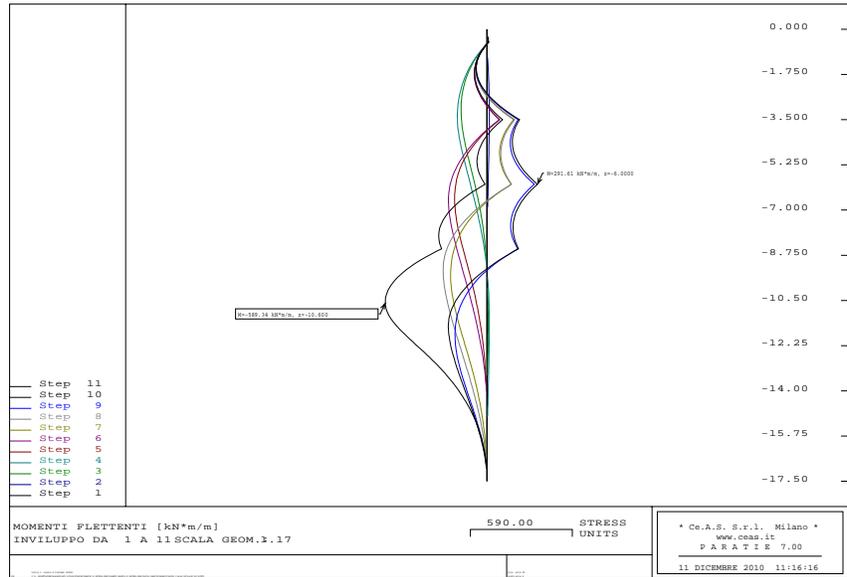


**Figura 72 - Combinazione A1+M1 (Statica) e A1+M1 (SLV): Momento flettente**

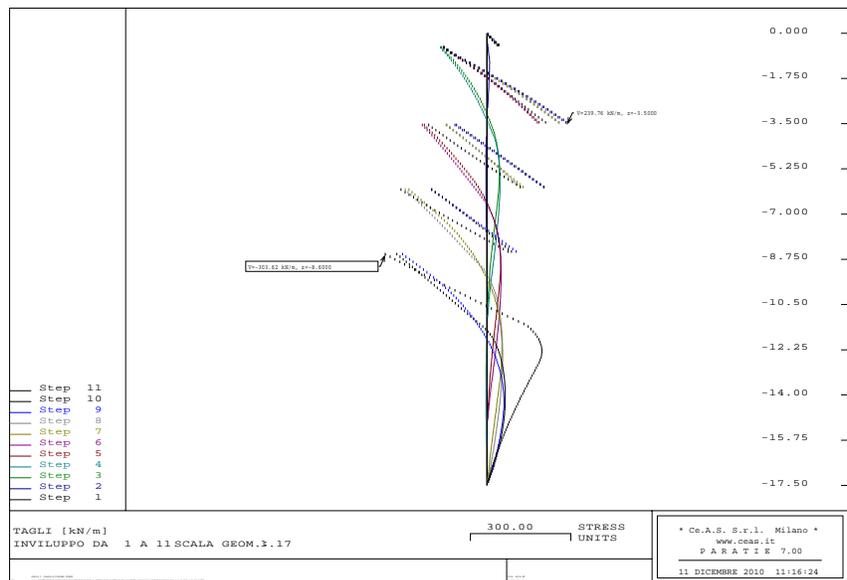


**Figura 73 - Combinazione A1+M1 (Statica) e A1+M1 (SLV): Sollecitazioni di taglio**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</b>		<b>Codice documento</b> <i>ST0140_F0</i>	<b>Rev</b> <i>F0</i>	<b>Data</b> <i>20-06-2011</i>



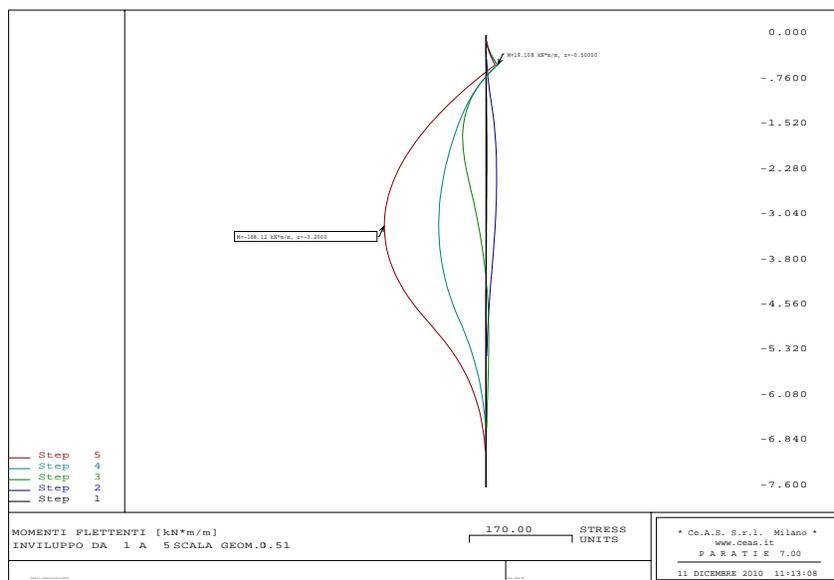
**Figura 74 - Combinazione A2+M2 (Statica) e A2+M2 (SLV): Momento flettente**



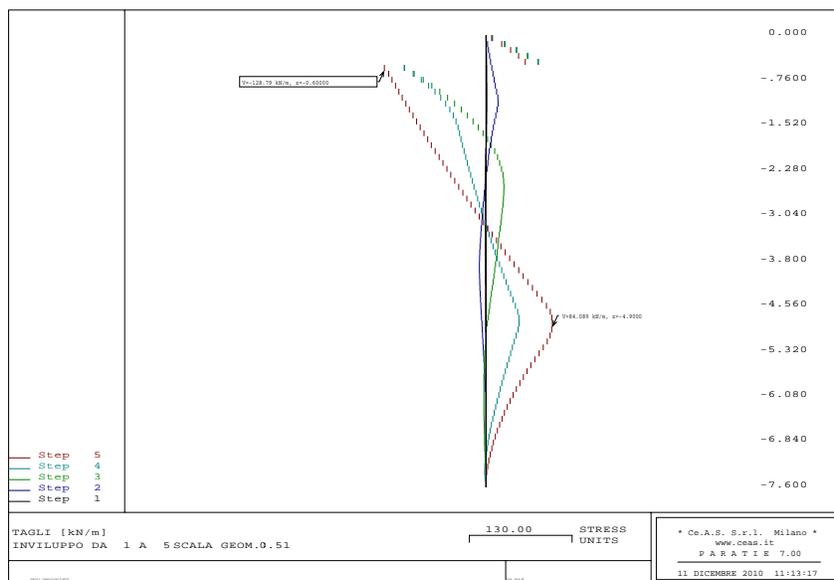
**Figura 75 - Combinazione A2+M2 (Statica) e A2+M2 (SLV): Sollecitazioni di taglio**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

▪ Sezione di calcolo 2 :

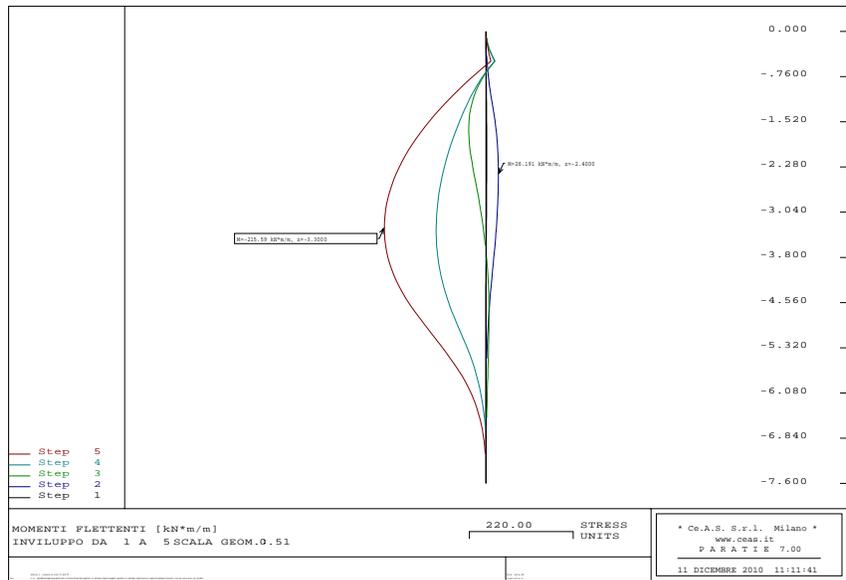


**Figura 76 - Combinazione A1+M1 (Statica) e A1+M1 (SLV): Momento flettente**

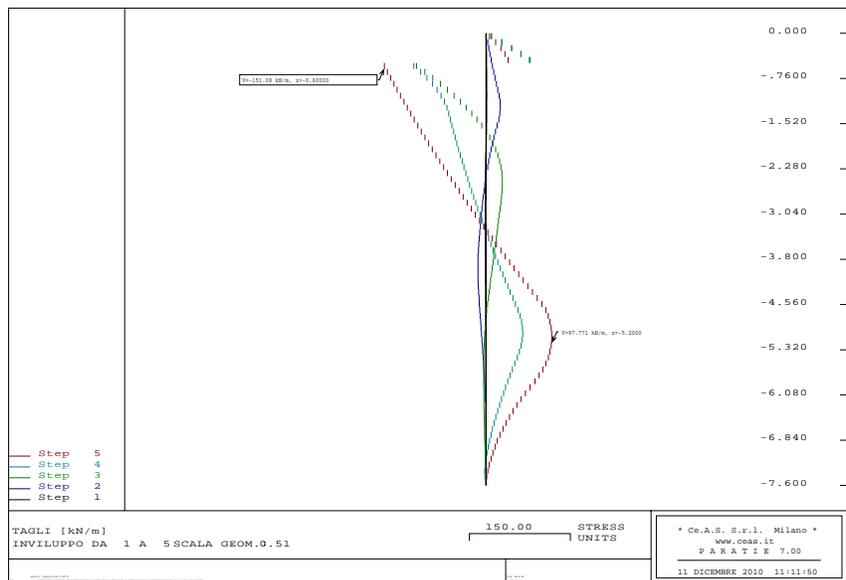


**Figura 77 - Combinazione A1+M1 (Statica) e A1+M1 (SLV): Sollecitazioni di taglio**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> <b>ST0140_F0</b>	<i>Rev</i> <b>F0</b>	<i>Data</i> <b>20-06-2011</b>



**Figura 78 - Combinazione A2+M2 (Statica) e A2+M2 (SLV): Momento flettente**



**Figura 79 - Combinazione A2+M2 (Statica) e A2+M2 (SLV): Sollecitazioni di taglio**

Di seguito si riassume in forma tabellare le sollecitazioni agenti:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

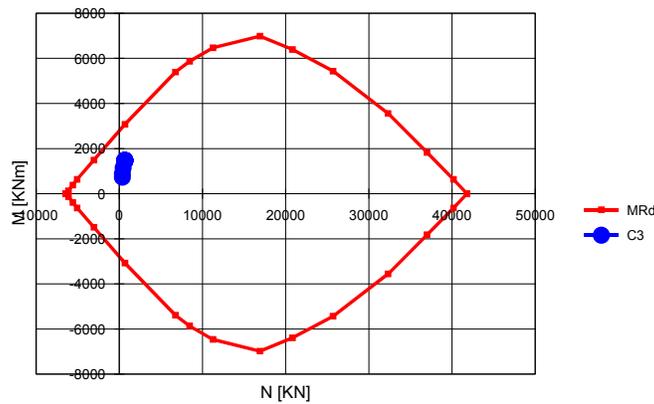
Combinazione	M [kNm]	N [kN]
A1+M1_SLU	1147	488
A1+M1_SLV	883	375
A2+M2_SLU	730	375
A2+M2_SLV	1473	663

**Tabella 39 - Verifica a Pressoflessione – Sollecitazioni di Progetto – calcolo 1**

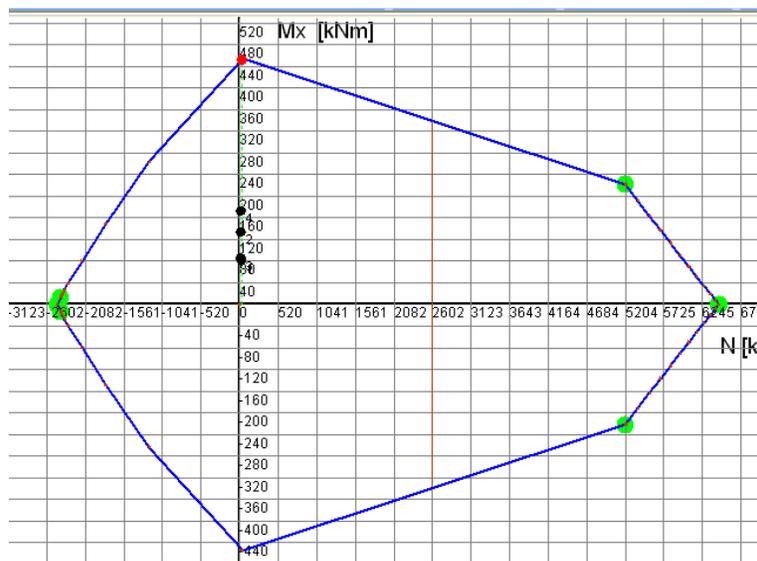
Combinazione	M [kNm]	N [kN]
A1+M1_SLU	81	24
A1+M1_SLV	134	18
A2+M2_SLU	85	19
A2+M2_SLV	173	19

**Tabella 40 - Verifica a Pressoflessione – Sollecitazioni di Progetto – calcolo 2**

Di seguito si riporta il dominio di resistenza dei diaframmi.



**Figura 80 - Verifica a Pressoflessione – Dominio di resistenza – calcolo 1**



**Figura 81 - Verifica a Pressoflessione – Dominio di resistenza – calcolo 2**

Come si evince dalle verifiche, per tutte le combinazioni previste dalla normativa di riferimento i valori delle sollecitazioni di progetto rientrano entro il dominio di resistenza della sezione.

Verifiche a taglio

Per quanto riguarda la verifica al taglio allo stato limite ultimo, deve essere:

$$V_{rd} \geq V_{sd}$$

dove:

$V_{rd}$  = azione tagliante resistente di progetto;

$V_{sd}$  = azione tagliante sollecitante di progetto.

In particolare, la resistenza a taglio  $V_{rd}$  è la minore tra la resistenza di calcolo "a taglio trazione" ( $V_{Rsd}$ ) con riferimento all'armatura trasversale e la resistenza di calcolo "a taglio compressione" ( $V_{Rcd}$ ) con riferimento al calcestruzzo d'anima:

$$V_{Rsd} = 0,9d \frac{A_{sw}}{s} f_{yd} (ctg\alpha + ctg\theta) \sin\alpha$$

$$V_{Rcd} = 0,9db_w \alpha_c f'_{cd} (ctg\alpha + ctg\theta) / (1 + ctg^2\theta)$$

dove:

$f'_{cd}$  = resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0140_F0	Rev F0	Data 20-06-2011

- $f_{yd}$  = resistenza a snervamento di progetto;  
 $\alpha$  = angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse del palo;  
 $\theta$  = angolo di inclinazione dei puntoni compressi nello schema a traliccio;  
 $b_w$  = larghezza della sezione ( ipotizzata quadrata ) di area uguale alla sezione del palo;  
 $d$  = altezza utile della sezione =  $0.9 \cdot b_w$ ;  
 $A_{sw}$  = area dell'armatura trasversale;  
 $s$  = passo dell'armatura trasversale;  
 $\alpha_c$  = coefficiente migliorativo.

Per i diaframmi relativi al calcolo 1, l'armatura trasversale è costituita da staffe a 4 braccia  $\phi$  14 a passo 15 cm nelle sezioni maggiormente sollecitate, e a passo 20 cm nelle zone restanti. Per la disposizione delle armature si rimanda ai relativi elaborati grafici.

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche condotte. Come si può osservare la verifica è sempre soddisfatta, risultando in ogni caso  $V_{sd} < \min(V_{Rcd}, V_{Rsd})$ .

Calcolo	Analisi	$V_{sd}$	Armatura	passo	$V_{Rsd}$	$V_{Rcd}$	$V_{Rd}$
		[KN]	$\phi$ [mm]	[cm]	[KN]	[KN]	[KN]
1	A1+M1 statica	868	1+1 $\phi$ 14	15	1338	7369	1338
	A1+M1 sismica	728					
	A2+M2 statica	673					
	A2+M2 sismica	759					
2	A1+M1 statica	108	$\phi$ 12	15	579	517	517
	A1+M1 sismica	103					
	A2+M2 statica	86					
	A2+M2 sismica	121					

**Tabella 41 – Verifica al taglio**

### 9.1.6 Verifiche strutturali dei tiranti

Nel seguito si riportano i risultanti delle verifiche riguardanti i tiranti previsti in progetto a sostegno della paratia; le verifiche riguardano sia la resistenza a trazione dei trefoli in acciaio sia la resistenza a sfilamento del bulbo di ancoraggio dal terreno

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0

### 9.1.6.1 Verifica dei trefoli

Le verifiche sono state condotte accertando che, nelle fasi statica e sismica, sia rispettata la condizione seguente:

$$E_d \leq R_d$$

Con  $E_d = T_{\max \text{ paratie}} \times \text{passo tiranti}$

- Sezione di calcolo 1

VERIFICA STATICA S.L.U. (A1+M1+R1)										
Ordine	$n_{\text{trefoli}}$	$l_{\text{tiranti}}$	$T_{\text{paratie}}$	$A_{\text{trefolo}}$	$f_{\text{ptk}}$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm <sup>2</sup> ]	[MPa]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	4	2,50	202,1	1,39	1860	1,30	0,80	656,8	827,3	1,26
2	4	1,25	404,4	1,39	1860	1,30	0,80	657,2	827,3	1,26
3	4	1,25	405,0	1,39	1860	1,30	0,80	658,1	827,3	1,26
4	4	1,25	405,0	1,39	1860	1,30	0,80	658,1	827,3	1,26

**Tabella 42 – Sezione di calcolo 1: verifica trefoli fase statica**

VERIFICA SISMICA S.L.U. (A1+M1+R1)										
Ordine	$n_{\text{trefoli}}$	$l_{\text{tiranti}}$	$T_{\text{paratie}}$	$A_{\text{trefolo}}$	$f_{\text{ptk}}$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm <sup>2</sup> ]	[MPa]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	4	2,50	202,0	1,39	1860	1,00	0,90	505,0	835,7	1,65
2	4	1,25	408,0	1,39	1860	1,00	0,90	510,0	835,7	1,64
3	4	1,25	414,0	1,39	1860	1,00	0,90	517,5	835,7	1,61
4	4	1,25	423,3	1,39	1860	1,00	0,90	529,1	835,7	1,58

**Tabella 43 - Sezione di calcolo 1 : verifica trefolo fase sismica (SLV)**

- Sezione di calcolo 2

VERIFICA STATICA S.L.U. (A1+M1+R1)										
Ordine	$n_{\text{trefoli}}$	$l_{\text{tiranti}}$	$T_{\text{paratie}}$	$A_{\text{trefolo}}$	$f_{\text{ptk}}$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm <sup>2</sup> ]	[MPa]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	4	2,40	210,3	1,39	1860	1,30	0,80	656,1	827,3	1,26

**Tabella 44 - Sezione di calcolo 2: verifica trefoli fase statica**

VERIFICA SISMICA S.L.U. (A1+M1+R1)										
Ordine	$n_{\text{trefoli}}$	$l_{\text{tiranti}}$	$T_{\text{paratie}}$	$A_{\text{trefolo}}$	$f_{\text{ptk}}$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm <sup>2</sup> ]	[MPa]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	4	2,40	214,3	1,39	1860	1,00	0,90	514,3	835,7	1,62

**Tabella 45 - Sezione di calcolo 2: verifica trefoli fase Sismica (SLV)**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

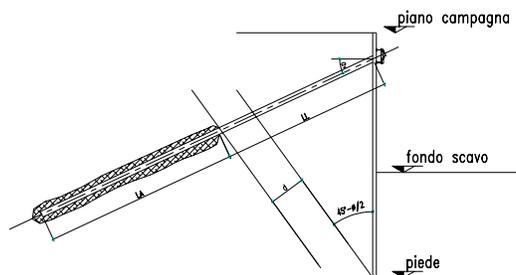
### 9.1.6.2 Verifica dell’ancoraggio

La *lunghezza libera* è definita dall’intersezione del tirante con un piano inclinato di  $(45^\circ - \varphi / 2)$  sulla verticale, parallelo al piano passante per il piede della paratia e da esso distante  $0.20 h$ . Si ha quindi:

$$L_s = h' + d$$

dove:

$$h' = 0.20h / \cos(45^\circ - \alpha - \varphi / 2)$$



**Tabella 46- Schema calcolo lunghezza libera del tirante**

con  $\alpha$  = inclinazione tirante

$\varphi$  = angolo di attrito del terreno

$$d = (h + t - h_i) \sin(45^\circ - \varphi / 2) \sin(45^\circ + \alpha + \varphi / 2)$$

con  $h$  = altezza fuori scavo paratia

$t$  = infissione paratia

$h_i$  = profondità tirante

Si deve inoltre tenere presente che, a causa dell’evento sismico, la potenziale superficie di scorrimento risulta più inclinata sull’orizzontale rispetto a quella relativa al caso statico. Questo comporta un incremento della lunghezza libera:

$$L_{s \text{ sismica}} = L_{s \text{ statica}} (1 + 1,5 S_s S_T a_g)$$

ordine	L. libera [m]	L. libera + sisma [m]	L. libera [m]
1	9,7	18,3	20,0
2	8,4	15,9	17,0
3	7,3	13,8	15,0
4	6,2	11,7	13,0

**Tabella 47- Sezione di calcolo 1: Lunghezza libera tiranti**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

ordine	L. libera [m]	L. libera + sisma [m]	L. libera [m]
1	4,0	7,0	10,0

**Tabella 48- Sezione di calcolo 2: Lunghezza libera tiranti**

Per quanto riguarda le fondazioni di ancoraggio le verifiche sono state condotte accertando, sia in fase statica che in fase sismica, che sia rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $R_d$  è la resistenza a trazione del bulbo di ancoraggio, calcolata come:

$$R_d = \frac{\pi \cdot D \cdot \alpha \cdot L_a \cdot \tau_{LIM}}{\gamma_R}$$

dove:

- D = diametro nominale di perforazione;
- $\alpha$  = coefficiente amplificativo funzione delle modalità di iniezione e del tipo di terreno;
- $L_a$  = Lunghezza del bulbo di ancoraggio;
- $\tau_{LIM}$  = tensione limite di aderenza fra la malta del bulbo ed il terreno;
- $\gamma_R$  = coefficiente parziale per la resistenza di ancoraggi pretesi.

L'iniezione dovrà essere eseguita ad alta pressione e ripetuta con l'utilizzo di miscela cementizia avente  $R_{ck} > 25 \text{ MPa}$ .

La tensione di aderenza malta-terreno può essere considerata, alla luce dei dati disponibili, variabile tra  $\tau_{LIM} = 122-220 \text{ KPa}$ ; come richiesto dalla norma,  $\tau_{LIM}$  è stato ulteriormente ridotto utilizzando dei coefficienti correttivi.

Cautelativamente tale valore riduttivo è stato posto pari a

$$\xi_{a3} = 1.8$$

pertanto si ha che

$$\tau_{lim,Rd} = \frac{\tau_{lim}}{\xi_{a3}}$$

Nella seguente tabella sono riportati i valori dei parametri su citati adottati nelle verifiche:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0

	Ø
	[mm]
Tiranti a trefoli (3 - 4 trefoli)	150

**Tabella 49: Diametro nominale di perforazione**

VERIFICA STATICA S.L.U. (A1+M1+R3)												
Ordine	$l_{\text{tiranti}}$	$T_{\text{paratie}}$	$L_{\text{ancoraggi}}$	$\tau_{\text{lim}}$	$\varnothing_{\text{perforazione}}$	$\alpha_{\text{subbamento}}$	$\varnothing^* \alpha$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,50	202,1	12,0	122	15	1,3	19,5	1,30	1,20	656,8	747,4	1,14
2	1,25	404,4	12,0	122	15	1,3	19,5	1,30	1,20	657,2	747,4	1,14
3	1,25	405,0	12,0	122	15	1,3	19,5	1,30	1,20	658,1	747,4	1,14
4	1,25	405,0	12,0	122	15	1,3	19,5	1,30	1,20	658,1	747,4	1,14

**Tabella 50 - Sezione di calcolo 1 : verifica di ancoraggio dei tiranti in fase statica**

VERIFICA SISMICA S.L.U. (A1+M1+R3)												
Ordine	$l_{\text{tiranti}}$	$T_{\text{paratie}}$	$L_{\text{ancoraggi}}$	$\tau_{\text{lim}}$	$\varnothing_{\text{perforazione}}$	$\alpha_{\text{subbamento}}$	$\varnothing^* \alpha$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,50	202,0	12,0	122	15	1,3	19,5	1,00	1,20	505,0	747,4	1,48
2	1,25	408,0	12,0	122	15	1,3	19,5	1,00	1,20	510,0	747,4	1,47
3	1,25	414,0	12,0	122	15	1,3	19,5	1,00	1,20	517,5	747,4	1,44
4	1,25	423,3	12,0	122	15	1,3	19,5	1,00	1,20	529,1	747,4	1,41

**Tabella 51 - Sezione di calcolo 1 : verifica di ancoraggio dei tiranti in fase Sismica (SLV)**

VERIFICA STATICA S.L.U. (A1+M1+R3)												
Ordine	$l_{\text{tiranti}}$	$T_{\text{paratie}}$	$L_{\text{ancoraggi}}$	$\tau_{\text{lim}}$	$\varnothing_{\text{perforazione}}$	$\alpha_{\text{subbamento}}$	$\varnothing^* \alpha$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,40	210,3	13,0	122	15	1,3	19,5	1,30	1,20	656,1	809,7	1,23

**Tabella 52 - Sezione di calcolo 2 : verifica di ancoraggio dei tiranti in fase statica**

VERIFICA SISMICA S.L.U. (A1+M1+R3)												
Ordine	$l_{\text{tiranti}}$	$T_{\text{paratie}}$	$L_{\text{ancoraggi}}$	$\tau_{\text{lim}}$	$\varnothing_{\text{perforazione}}$	$\alpha_{\text{subbamento}}$	$\varnothing^* \alpha$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,40	214,3	13,0	122	15	1,3	19,5	1,00	1,20	514,3	809,7	1,57

**Tabella 53 - Sezione di calcolo 2 : Verifica di ancoraggio dei tiranti in fase Sismica (SLV)**

### 9.1.7 Verifiche SLU di tipo geotecnico

Gli SLU di tipo geotecnico presi in considerazione nelle verifiche, come già anticipato, riguardano essenzialmente:

1. Collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera (atto di moto rigido)
2. Sfilamento di uno o più ancoraggi;
3. Instabilità globale dell'insieme terreno-opera.

Le verifica indicata nel punto 3 è stata eseguita con riferimento alle analisi numeriche svolte secondo la combinazione A2+M2.

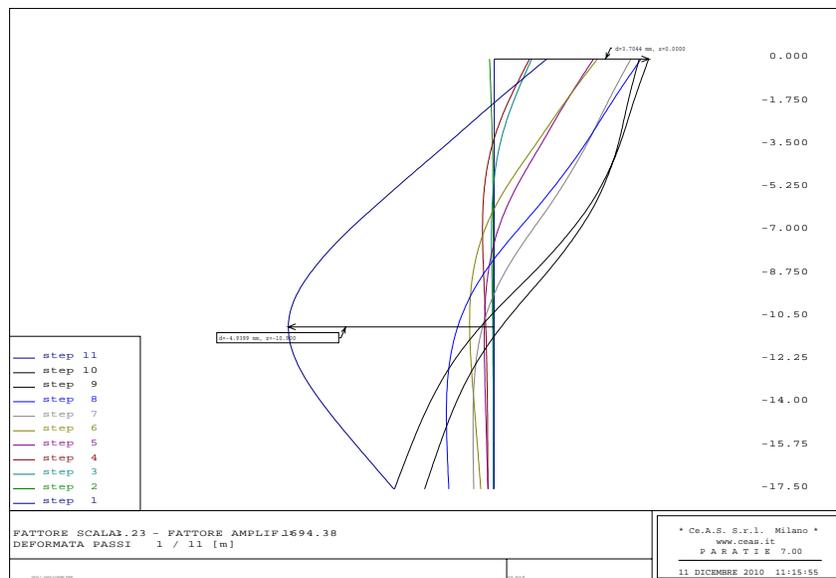
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Gli SLU di tipo idraulico (UPL e HYD), nel caso in questione, non sono stati esaminati in quanto la posizione della falda non è tale da influenzare l'andamento delle pressioni esercitate dal terreno sull'opera di contenimento.

### 9.1.7.1 Verifica collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera

Tale verifica richiede di considerare tutti i possibili criteri di collasso geotecnico della paratia nel suo insieme; questi possono essere molteplici e, in generale, un moderno programma di calcolo ne tiene già conto quando converge ad una soluzione stabile, in tal modo, implicitamente, è stato verificato ogni possibile meccanismo di moto rigido. Sono riportati di seguito i principali output di calcolo, relativamente alle due sezioni di calcolo, che attestano come l'analisi numerica, in ogni fase di calcolo abbia raggiunto una soluzione stabile.

- Sezione di calcolo 1 :



**Figura 82 - Sezione di calcolo 1 : deformata paratia - combinazione A2+M2**

### Fase Statica (A2+M2)

FASE 10	GRUPPO -->	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA		623.69	1832.7

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

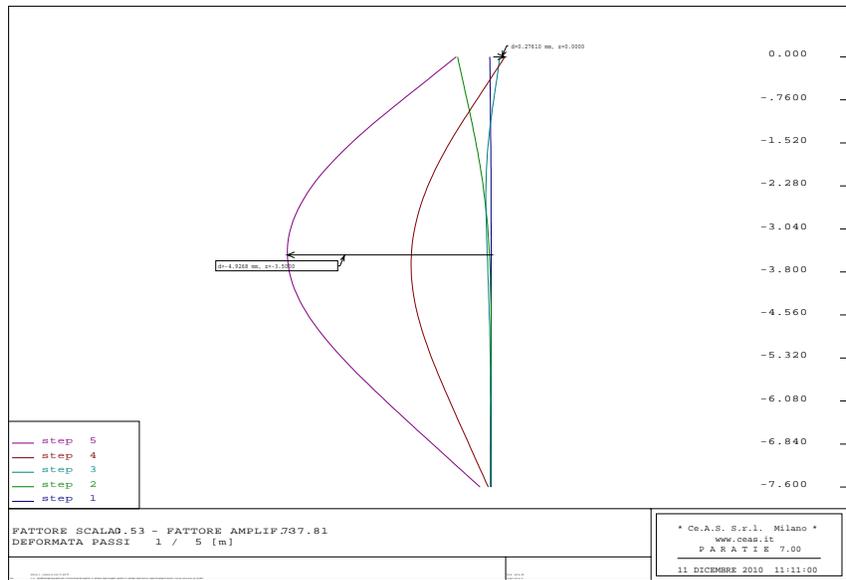
SPINTA ACQUA	0.	0.
SPINTA TOTALE VERA	623.69	1832.7
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	131.46	1110.4
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	1844.9	15582.
RAPPORTO PASSIVA/VERA	2.9580	8.5024
SPINTA PASSIVA MOBILITATA	34. %	12. %
RAPPORTO VERA/ATTIVA	4.7441	1.6505

FASE 11                      GRUPPO -->      DHRi                      UHRi

SPINTA EFFICACE VERA	819.83	1265.4
SPINTA ACQUA	0.	0.
SPINTA TOTALE VERA	819.83	1265.4
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	145.71	1230.7
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	1844.9	15582.
RAPPORTO PASSIVA/VERA	2.2503	12.314
SPINTA PASSIVA MOBILITATA	44. %	8. %
RAPPORTO VERA/ATTIVA	5.6266	1.0282

▪ Sezione di calcolo 2

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> <b>ST0140_F0</b>	<i>Rev</i> <b>F0</b>	<i>Data</i> <b>20-06-2011</b>



**Figura 83 - Sezione di calcolo 2 : deformatata paratia - combinazione A2+M2**

FASE	GRUPPO -->	DHRi	UHRi
4			
	SPINTA EFFICACE VERA	189.54	372.23
	SPINTA ACQUA	0.	0.
	SPINTA TOTALE VERA	189.54	372.23
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	22.829	268.26
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	431.95	5075.8
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	2.2789	13.636
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	44. %	7. %
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	8.3029	1.3876
5			
	SPINTA EFFICACE VERA	248.41	320.91
	SPINTA ACQUA	0.	0.
	SPINTA TOTALE VERA	248.41	320.91
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	26.249	308.45

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0

SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	431.95	5075.8
RAPPORTO PASSIVA/VERA	1.7389	15.817
SPINTA PASSIVA MOBILITATA	58. %	6. %
RAPPORTO VERA/ATTIVA	9.4637	1.0404

### 9.1.7.2 Verifica degli ancoraggi allo sfilamento

In questo paragrafo viene presentata la classica verifica a sfilamento del bulbo di ancoraggio del tirante con riferimento alla combinazione GEO (A2+M2). Per i criteri di verifica adottati si rimanda ai capitoli precedenti.

VERIFICA STATICA S.L.U. (A2+M2+R3)												
Ordine	$l_{\text{tiranti}}$	$T_{\text{paratie}}$	$L_{\text{ancoraggi}}$	$\tau_{\text{lim}}$	$\varnothing_{\text{perforazione}}$	$\alpha_{\text{subbamento}}$	$\varnothing^* \alpha$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,50	202,1	12,0	122	150	1,3	195,0	1,00	1,20	505,3	747,4	1,48
2	1,25	404,6	12,0	122	150	1,3	195,0	1,00	1,20	505,8	747,4	1,48
3	1,25	405,5	12,0	122	150	1,3	195,0	1,00	1,20	506,9	747,4	1,47
4	1,25	406,0	12,0	122	150	1,3	195,0	1,00	1,20	507,5	747,4	1,47

**Tabella 54 - Sezione di calcolo 1: verifica della lunghezza di ancoraggio - fase statica**

VERIFICA SISMICA S.L.U. (A2+M2+R3)												
Ordine	$l_{\text{tiranti}}$	$T_{\text{paratie}}$	$L_{\text{ancoraggi}}$	$\tau_{\text{lim}}$	$\varnothing_{\text{perforazione}}$	$\alpha_{\text{subbamento}}$	$\varnothing^* \alpha$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,50	201,7	12,0	122	150	1,3	195,0	1,00	1,20	504,3	747,4	1,48
2	1,25	414,8	12,0	122	150	1,3	195,0	1,00	1,20	518,5	747,4	1,44
3	1,25	426,5	12,0	122	150	1,3	195,0	1,00	1,20	533,1	747,4	1,40
4	1,25	439,3	12,0	122	150	1,3	195,0	1,00	1,20	549,1	747,4	1,36

**Tabella 55 - Sezione di calcolo 1: verifica della lunghezza di ancoraggio - fase sismica**

VERIFICA STATICA S.L.U. (A2+M2+R3)												
Ordine	$l_{\text{tiranti}}$	$T_{\text{paratie}}$	$L_{\text{ancoraggi}}$	$\tau_{\text{lim}}$	$\varnothing_{\text{perforazione}}$	$\alpha_{\text{subbamento}}$	$\varnothing^* \alpha$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,40	211,0	13,0	122	150	1,3	195,0	1,00	1,20	506,4	809,7	1,60

**Tabella 56 – Sezione di calcolo 2: verifica della lunghezza di ancoraggio fase statica**

VERIFICA SISMICA S.L.U. (A2+M2+R3)												
Ordine	$l_{\text{tiranti}}$	$T_{\text{paratie}}$	$L_{\text{ancoraggi}}$	$\tau_{\text{lim}}$	$\varnothing_{\text{perforazione}}$	$\alpha_{\text{subbamento}}$	$\varnothing^* \alpha$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,40	218,0	13,0	122	150	1,3	195,0	1,00	1,20	523,2	809,7	1,55

**Tabella 57 - Sezione di calcolo 2: verifica della lunghezza di ancoraggio fase sismica**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 10 Valutazione del danno sulle Preesistenze

Nel presente capitolo, dopo una breve descrizione degli scavi e delle preesistenze interferenti con la stazione Papardo, sono riportati i criteri adottati per il calcolo dei cedimenti ed i risultati ottenuti.

### 10.1 Caratteristiche degli scavi

La stazione Papardo un'estensione in pianta di 27.50 m x 55.50 m ed un'altezza massima di scavo di circa 34.00 m.

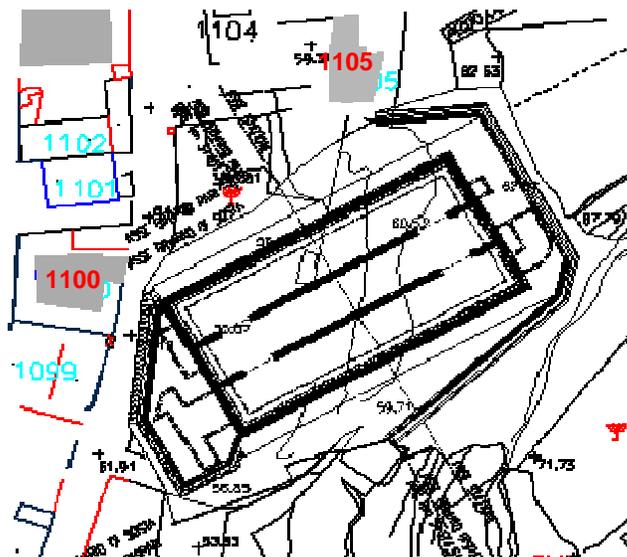
Lo scavo della stazione avverrà con la tecnica costruttiva del “Top-down”, come già descritto precedentemente.

precedentemente.

### 10.2 Preesistenze interferenti con gli scavi

Le principali interferenze tra la stazione Papardo ed i manufatti preesistenti sono costituite dagli edifici individuati, nelle schede dei fabbricati fornite, dai numeri 1100 e 1105, che si trovano rispettivamente sul lato nord e sul lato ovest della stazione, ad una distanza di circa 7.3 m e 14.7m dalla stazione, come rappresentato in Figura 84.

Dalle schede dei fabbricati risulta che gli edifici in esame, ad uso residenziale, sono costituiti da una struttura in cemento armato: l'edificio 1100 presenta 4 piani fuori terra, per un'altezza complessiva di 12 m, l'edificio 1105 presenta 1 solo piano fuori terra, per un'altezza complessiva di 3 m; le fondazioni, costituite da travi continue, si trovano a circa 1 m da piano campagna.

**Figura 84: Ubicazione in pianta degli edifici 1100 e 1105****Figura 85: Edificio 1100**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



**Figura 86: Edificio 1105**

### **10.3 Valutazione del profilo di subsidenza di scavi a cielo aperto**

Il profilo di subsidenza del terreno a tergo di uno scavo può essere stimato mediante metodi empirici, semi-empirici e numerici.

Numerosi autori hanno affrontato l'argomento (Peck, 1969; Bowles, 1986; Clough & O'Rourke, 1990; Hsieh & Ou, 1998; Ou, 2006), fornendo indicazioni, sulla base di dati raccolti per scavi di differenti entità, tipologia e condizioni di sottosuolo, sia sul massimo cedimento atteso, che sulla forma del bacino di subsidenza, in relazione ai possibili movimenti delle pareti di contenimento.

Clough & O'Rourke (1990) hanno raccolto e rielaborato una serie di misure di spostamento di scavi sostenuti prevalentemente da palancole metalliche ancorate su più livelli, raggruppando le osservazioni sperimentali in tre categorie principali:

- a) scavi in terreni granulari;
- b) scavi in terreni coesivi da consistenti a molto consistenti;
- c) scavi in terreni coesivi da teneri a mediamente consistenti.

In terreni granulari, gli spostamenti verticali  $w$  del piano campagna rappresentano una modesta percentuale dell'altezza di scavo totale  $H$ , con valori massimi compresi nell'intervallo  $0.1 \div 0.3\%$ . Gli spostamenti verticali misurati decrescono in misura approssimativamente lineare con la distanza  $d$  dalla parete fino ad annullarsi per  $d/H \approx 2$ .

Anche nei terreni coesivi, da consistenti a molto consistenti, i cedimenti del piano campagna a tergo di scavi sostenuti da paratie in c.a. o da palancole metalliche ancorate su più livelli

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

rappresentano una modesta frazione dell'altezza finale di scavo con valori massimi non superiori allo 0.3% linearmente decrescente con la distanza dalla parete. L'estensione della zona interessata dai movimenti è però maggiore, risultando pari a circa 3 volte l'altezza di scavo. In tali terreni, in alcuni casi sono stati registrati sollevamenti di entità massima pari allo 0.1% di H, probabilmente da attribuire agli effetti dello scarico tensionale prodotto dallo scavo.

Nei terreni coesivi da teneri a mediamente consistenti, invece, i movimenti misurati in corrispondenza di scavi sostenuti da palancole metalliche e paratie in c.a. ancorate su più livelli mostrano una dispersione notevole che si riduce se, nel rappresentare ciascun profilo di subsidenza, in luogo del rapporto tra il cedimento massimo e l'altezza di scavo con la distanza normalizzata  $d/H$  dalla parete, si utilizza il rapporto  $w/w_{max}$  tra lo spostamento verticale e lo spostamento verticale massimo. Le misure appaiono in questo caso limitate da un involucro di forma trapezoidale che si estende fino ad una distanza pari a  $2H$  e presenta un gradiente costante in corrispondenza della zona  $0.75 \leq d/H \leq 2$ .

In relazione alla tipologia di vincoli agenti sulle pareti e delle modalità costruttive dello scavo è possibile, in generale, distinguere due meccanismi deformativi:

- ✓ “a sbalzo”, quando non sono previsti livelli di supporto o quando questi sono sufficientemente deformabili da consentire significativi movimenti orizzontali; la struttura mostra una deformata tipica da struttura a sbalzo con spostamenti orizzontali decrescenti all'aumentare della profondità;
- ✓ “profondo”, quando i movimenti orizzontali della parte superiore dello scavo è impedito dalla presenza di uno o più livelli di supporti; la distribuzione degli spostamenti nel terreno è caratterizzata da movimenti profondi al di sotto del piano di scavo.

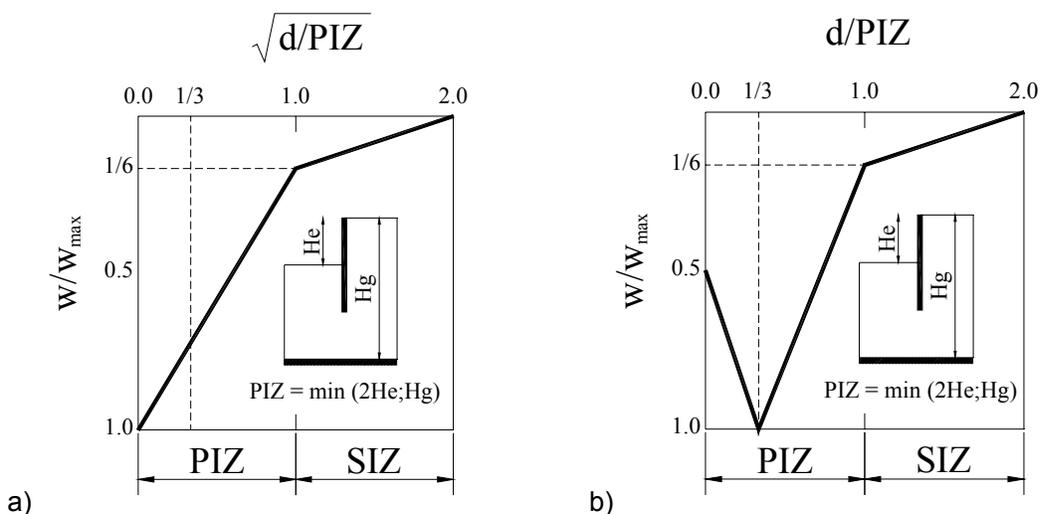
Per uno scavo, in base al meccanismo deformativo atteso, si può effettuare una stima del cedimento massimo al piano campagna a partire dalla valutazione dello spostamento orizzontale massimo della parete mediante l'impiego di correlazioni empiriche proposte nella letteratura scientifica.

Pane e Tamagnini (2004), sulla base dei dati relativi a 15 diversi case-histories di scavi di altezza variabile tra 5 e 60m, in terreni coesivi, stratificati o a grana grossa, e caratterizzati da cinematismi della parete del tipo a sbalzo o profondo, hanno proposto le seguenti correlazioni:

$w_{max} / u_{max} = 0.94$	cinematismi di tipo “profondo”
$w_{max} / u_{max} = 0.64$	cinematismi di tipo “a sbalzo”

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Per quanto riguarda il profilo trasversale di subsidenza, sulla base dei dati collezionati dalla letteratura e da scavi effettuati nella città di Taipei, Hsieh & Ou (1998) suggeriscono due tipologie di deformate, in relazione ai movimenti possibili delle pareti di sostegno: una per i cinematismi di tipo *superficiale* (*spandrel type*), in cui il cedimento diminuisce con la distanza dalla parete ed assume il suo valore massimo in corrispondenza della stessa, una per cinematismi di tipo *profondo* (*concave type*), caratterizzata da un cedimento che cresce allontanandosi dalla parete fino a raggiungere un massimo ad una certa distanza, al di là della quale gli effetti dello scavo si riducono. Ou & Hsieh (come riportato in Ou, 2006) riconoscono la distanza di estinzione degli effetti dello scavo individuando, all'interno del bacino di subsidenza, due zone distinte: una principale (Primary Influence Zone, PIZ), in cui la pendenza della deformata è elevata ed i danni attesi sulle costruzioni possono essere rilevanti, in relazione all'entità dei cedimenti indotti, ed una secondaria (Secondary Influence Zone, SIZ), caratterizzata da deformazioni ridotte generalmente poco significative per i fabbricati. Gli autori forniscono gli andamenti dei cedimenti in forma normalizzata secondo quanto riportato nella successiva figura.



**Figura 87: Profili di subsidenza normalizzati (Ou, 2006): a) per cinematismi superficiali; b) per cinematismi profondi.**

### 10.3.1 Effetti di bordo sulla distribuzione degli spostamenti indotti dagli scavi a cielo aperto.

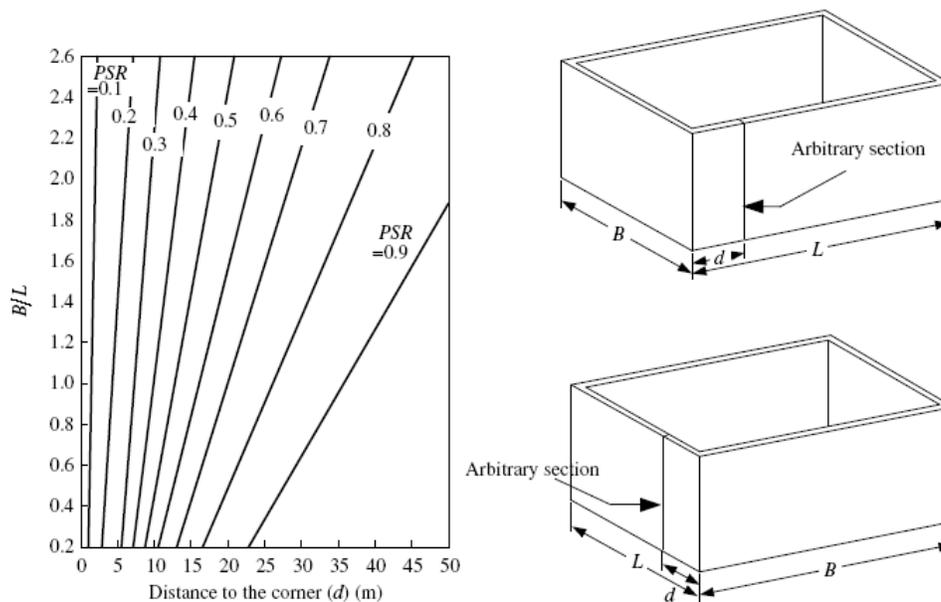
Le analisi adottate per il dimensionamento delle opere di sostegno dei terreni vengono generalmente condotte nelle ipotesi di deformazione piana. Lo studio viene quindi riferito ad una

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

sezione trasversale della struttura ipotizzando che, nella direzione ortogonale, le condizioni tensio-deformative nei terreni si ripetano identicamente. Se da un lato questo tipo di analisi fornisce valutazioni cautelative delle sollecitazioni che interessano le strutture di sostegno, dall'altro esso porta ad una stima degli spostamenti a tergo delle strutture che non può tener conto degli effetti tridimensionali della geometria degli interventi.

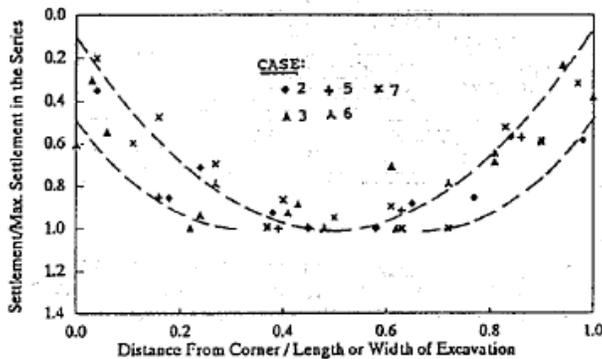
Degli effetti di bordo degli scavi si può opportunamente tener conto adottando le indicazioni fornite da Ou et al. (1996). Gli autori, sulla base di uno studio parametrico agli elementi finiti condotto per scavi di forma rettangolare, hanno stilato un abaco (Figura 88) con il quale, in relazione al rapporto tra le dimensioni in pianta dello scavo ed alla distanza della sezione in esame dai bordi, è possibile valutare un fattore di riduzione degli spostamenti (Plane Strain Ratio, PSR) da applicare a quelli valutati in condizioni piane.

In corrispondenza dei bordi dello scavo, il valore teorico del PSR fornito dalla trattazione è nullo, diversamente da quanto sperimentalmente osservato da Wong e Patron (1993) che, sulla base delle misure di cedimenti indotti da 8 scavi profondi monitorati nella città di Taipei, suggeriscono valori del rapporto di riduzione dei cedimenti in corrispondenza dei bordi variabili tra 0.2 e 0.6 (Figura 90).



**Figura 88. Fattori di riduzione degli spostamenti per gli effetti di bordo degli scavi (Ou et al., 1996)**

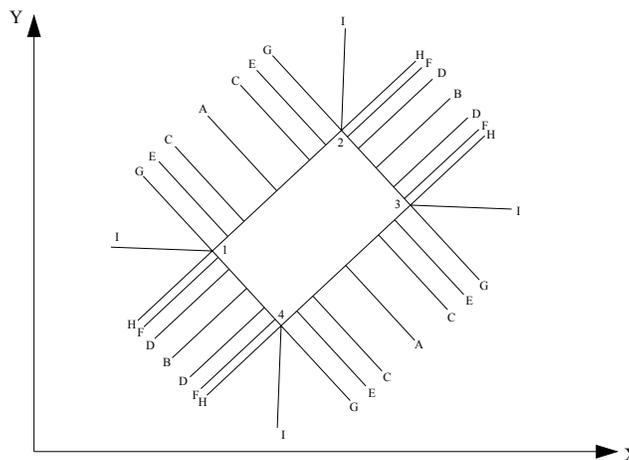
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



**Figura 89: . Distribuzione dei cedimenti indotti dagli scavi in direzione parallela alle pareti (Wong e Patron, 1996)**

Per uno scavo di forma rettangolare, quindi, la distribuzione degli spostamenti può essere stimata impiegando i profili di subsidenza derivanti dalle analisi in condizioni di deformazione piana ed applicando a questi i fattori di riduzione riportati nell’abaco di Figura 88. I valori dei PSRs assumono ovviamente un massimo in corrispondenza della mezzeria del lato preso in esame ed un minimo in corrispondenza dei bordi che, in questa sede, viene fissato pari a 0.2, per tenere conto dei riscontri sperimentali reperibili nella letteratura.

Per la stima dei profili di spostamento, tra le sezioni trasversali tipo riportate nella Figura 90, è stata considerata quella in corrispondenza dell’edificio preso in esame.



**Figura 90 Sezioni trasversali considerate nella distribuzione degli spostamenti.**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Le sezioni indicate in Figura 90 sono:

Sezioni tipo A = Sezioni di mezzeria lati lunghi

Sezioni tipo B = Sezioni di mezzeria lati corti

Sezioni tipo C = Sezioni a distanza  $d_{CG}$  dal bordo sui lati lunghi

Sezioni tipo D = Sezioni a distanza  $d_{DH}$  dal bordo sui lati corti

Sezioni tipo E = Sezioni a distanza  $d_{EG}$  dal bordo sui lati lunghi

Sezioni tipo F = Sezioni a distanza  $d_{FH}$  dal bordo sui lati corti

Sezioni tipo G = Sezioni sul bordo dei lati lunghi

Sezioni tipo H = Sezioni sul bordo dei lati corti

Sezioni tipo I = Sezioni in diagonale

## 10.4 Risultati delle analisi dei cedimenti

L'analisi dei cedimenti è stata svolta in corrispondenza dei due edifici più vicini alla stazione (1100 e 1105), che ricadono nel bacino di subsidenza indotto dallo scavo.

I risultati dell'analisi dei cedimenti sono presentati mediante schede nelle quali sono riportati:

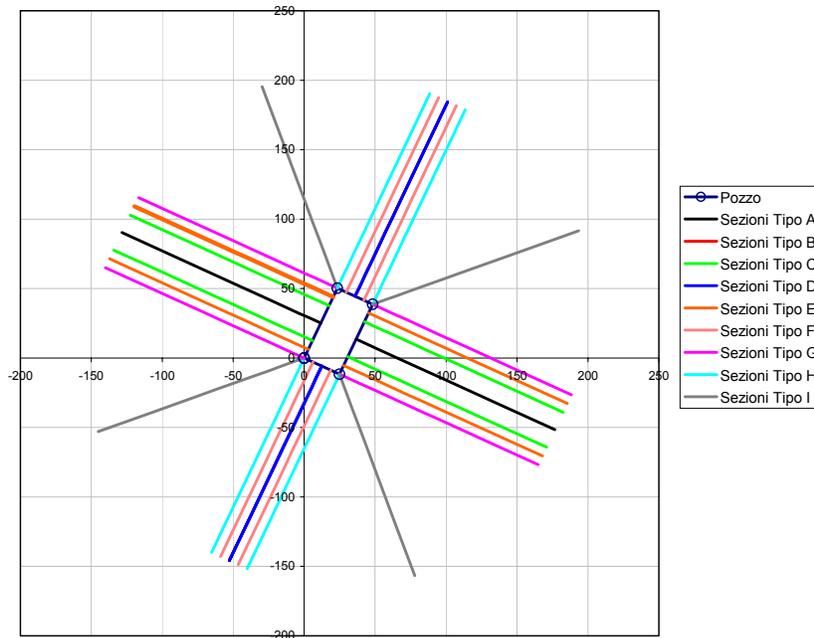
- l'altezza dello scavo;
- lo spostamento orizzontale massimo dell'opera di sostegno;
- la profondità delle fondazioni;
- l'altezza dell'edificio;
- il cedimento massimo in corrispondenza dell'edificio;
- la posizione dell'edificio lungo una sezione trasversale della stazione;
- l'andamento del bacino di subsidenza valutato secondo i metodi descritti al paragrafo.

### 10.4.1 Edificio 1100

Come anticipato, la realizzazione della stazione Papardo interferisce con l'edificio individuato dal numero 1100 nelle schede dei fabbricati fornite; tale edificio presenta un punto di distanza minima dalla stazione di circa 7.3 m.

Il bacino di subsidenza che interessa tale edificio è stato stimato con riferimento alla sezione tipo I (Figura 91), sulla base delle indicazioni fornite da Ou et al. (1996): per tale sezione il fattore PSR, che tiene conto degli effetti di bordo degli scavi, è pari a 0.2.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



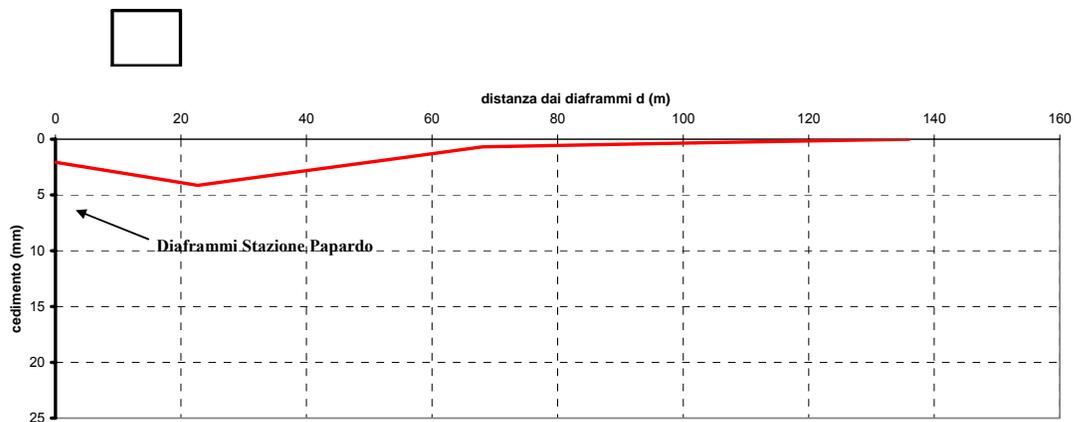
**Figura 91: Sezioni trasversali tipo per il calcolo dei profili di cedimento della stazione Europa**

Dunque, sulla base dello spostamento massimo della paratia (2.2cm), dell'altezza massima di scavo della stazione ( $H=34$  m) e del fattore “Plain Strain Ratio” ( $PSR=0.2$ ), è stato valutato il bacino di subsidenza indotto dalla stazione di seguito riportato.

**STRETTO DI MESSINA**  
**Ponte sullo Stretto di Messina**  
**Stazione Papardo**



Bacino di subsidenza - Edificio 1100



CARATTERISTICHE DELLO SCAVO		CARATTERISTICHE DEL MANUFATTO		RISULTATI	
altezza (m)	34	Profondità fondazioni (m)	1	Cedimento massimo (cm)	0.4
massimo spostamento orizzontale (cm)	2.2	Altezza (m)	13		

Valutazione dei cedimenti secondo la teoria proposta da Ou & Hsieh (Ou, 2006)

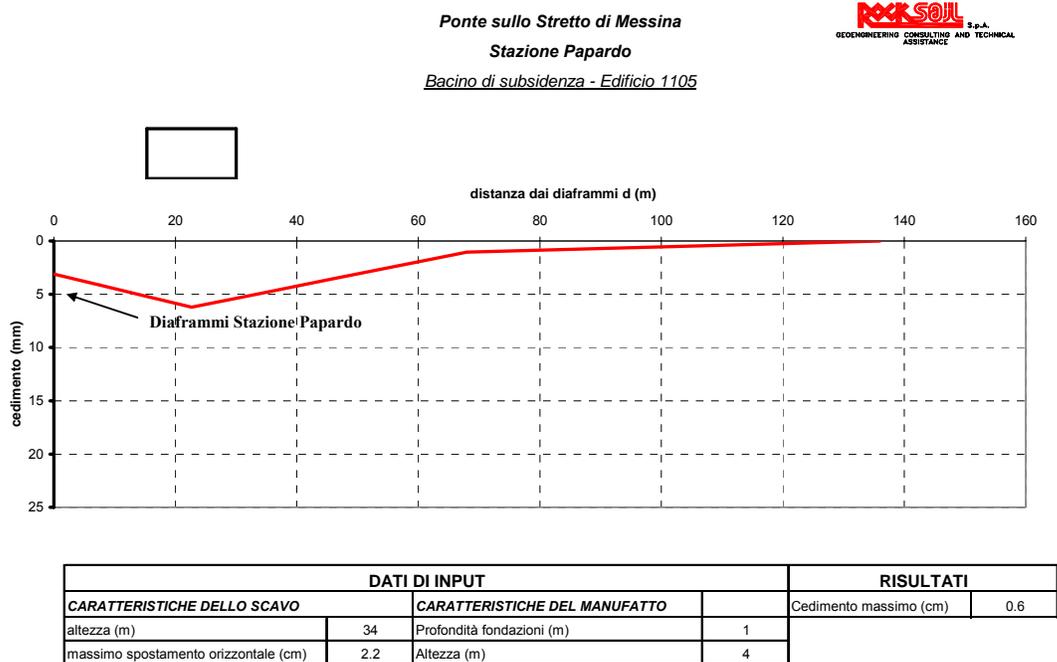
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

### 10.4.2 Edificio 1105

La realizzazione della stazione Papardo interferisce con l'edificio individuato dal numero 1105 nelle schede dei fabbricati fornite; tale edificio presenta un punto di distanza minima dalla stazione di circa 14.7 m.

Il bacino di subsidenza che interessa tale edificio è stato stimato con riferimento alla sezione tipo E (Figura 91), sulla base delle indicazioni fornite da Ou et al. (1996) (paragrafo 0): per tale sezione il fattore PSR, che tiene conto degli effetti di bordo degli scavi, è pari a 0.3.

Dunque, sulla base dello spostamento massimo della paratia (2.2cm), dell'altezza massima di scavo della stazione (H=34 m) e del fattore “Plain Strain Ratio” (PSR=0.3), è stato valutato il bacino di subsidenza indotto dalla stazione di seguito riportato.



Valutazione dei cedimenti secondo la teoria proposta da Ou & Hsieh (Ou, 2006)

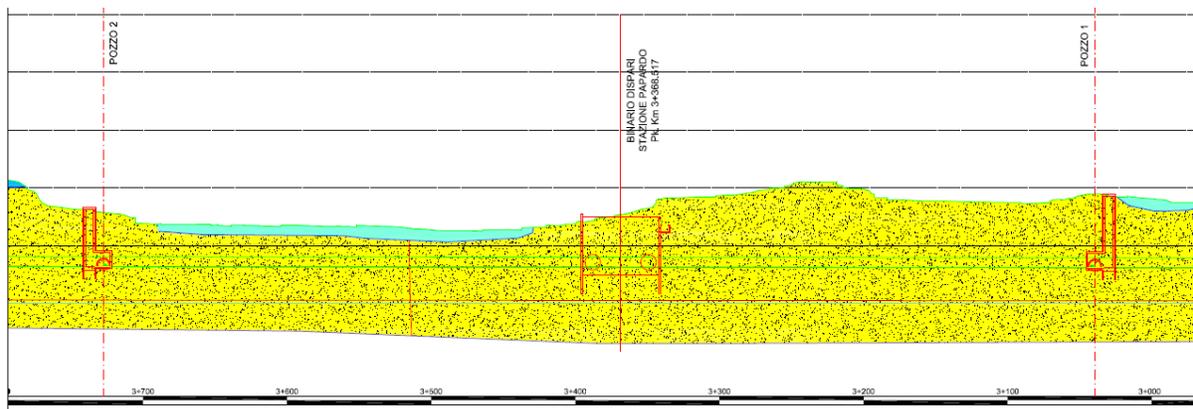
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 11 Pozzi di ventilazione

Scopo del presente capitolo è il dimensionamento e la verifica dei pozzi di ventilazione posti in prossimità delle stazioni ferroviarie. È prevista la realizzazione di sei pozzi di ventilazione:

- **Pozzi 1 e 2:** posti in prossimità della stazione Papardo, rispettivamente alle progressive km 3+040 e 3+730 circa, sono scavati interamente all'interno della formazione delle Sabbie e Ghiaie di Messina;
- **Pozzi 3 e 4:** posti in prossimità della stazione Annunziata, rispettivamente alle progressive km 9+330 e 9+590 circa, sono scavati all'interno dei Trubi e dei Calcari Brecciati;
- **Pozzi 5 e 6:** posti in prossimità della stazione Europa, rispettivamente alle progressive km 13+400 e 14+990 circa, sono scavati interamente all'interno della formazione delle Metamorfiti.

Per il dimensionamento delle strutture si è fatto riferimento ad uno schema tipologico, relativo alla sezione di calcolo considerata più critica sia dal punto di vista geologico che per le dimensioni geometriche. Per il dimensionamento di tutte le strutture si è dunque fatto riferimento al Pozzo 1.



**Figura 92 - Profilo stazione Papardo con pozzi**

Il pozzo esaminato presenta una geometria di forma rettangolare, di dimensioni 15m x 9.40m all'estradosso, le paratie si estendono fino a -63m da piano campagna, mentre il fondo scavo è posto a -57m.

Lo scavo verrà effettuato a cielo aperto tra diaframmi in c.a., che verranno contrastati, nella parte al di sopra della zona da cui si procederà allo scavo della galleria di innesto, dal getto per sottomurazione delle contropareti, e nella parte dei diaframmi interessata dalla successiva demolizione, da un sistema di telai metallici. In fase definitiva, il contrasto del fondo scavo verrà

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

offerto dal solettone di fondo, dello spessore di 3m, e dalle contropareti.

## 11.1 Descrizione delle opere

### 11.1.1 Fasi esecutive

Per la realizzazione dei pozzi di ventilazione si prevedono le seguenti fasi operative:

1. Realizzazione dei diaframmi in c.a fino alla quota di progetto;
2. Scavo e realizzazione per sottomurazione delle contropareti fino a 5.5m dalla quota di scavo della galleria di innesto;
3. Scavo pozzo di ventilazione fino a quota Q.P.+3.65m, con ribassi di massimo 3m, previa messa in opera di telai e puntoni di contrasto realizzati con profilati HEB600. Contemporanea esecuzione alla quote previste dei consolidamenti mediante VTR valvolati;
4. Rimozione dei puntoni metallici e getto parziale delle contropareti;
5. Scavo a mezza sezione e getto della calotta della galleria di innesto;
6. Scavo del pozzo fino a quota Q.P.-2.70m con ribassi di massimo 3m, previa messa in opera di telai e puntoni di contrasto realizzati con profilati HEB600. Contemporanea esecuzione alla quote previste dei consolidamenti mediante VTR valvolati;
7. Getto di completamento del pozzo e inizio dello scavo di ribasso in sottofondazione della galleria di innesto fino a quota Q.P.-1.55m.

### 11.1.2 Inquadramento geotecnico

Come già indicato nei paragrafi precedenti, la principale formazione interessata dagli scavi per il pozzo in oggetto, come desumibile dal profilo geologico di progetto, è costituita da Sabbie e Ghiaie di Messina.

Per i dettagli relativi alla determinazione delle proprietà fisico-meccaniche di tali formazioni, effettuata sulla base dei risultati delle indagini in sito e di laboratorio, si rinvia alla Relazione geotecnica di progetto e a quanto riportato nel capitolo 5. La falda è posta al di sotto delle profondità interessate dalle opere.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 11.2 Verifiche dei pozzi di ventilazione

### 11.2.1 Analisi numeriche

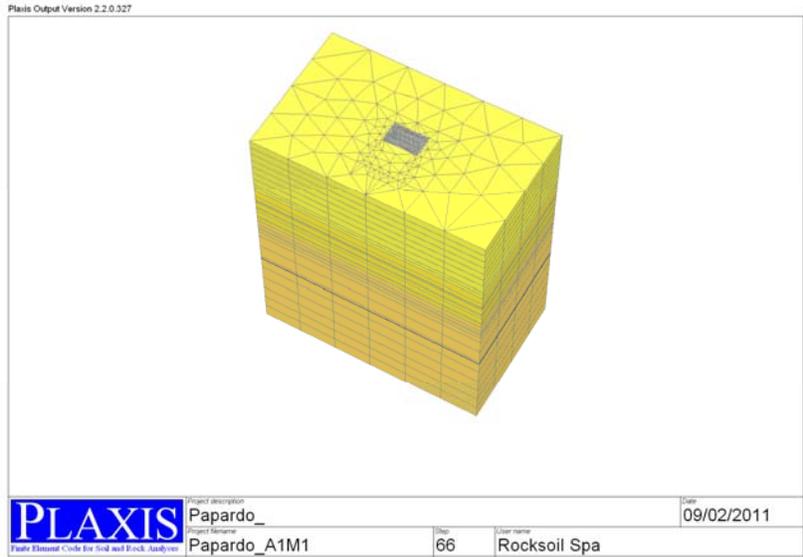
Vista la complessità delle fasi di costruzione dei pozzi, è stata svolta un’analisi numerica utilizzando il programma ad elementi finiti *Plaxis 3D Foundation*. In questo modo è stato possibile simulare l’interazione tra il terreno e le paratie, e tra le paratie e le strutture interne, ricreando numericamente tutte le reali condizioni in cui si troverà a lavorare l’opera.

Il programma *Plaxis 3D Foundation* è un programma a elementi finiti che permette di svolgere analisi tridimensionali deformative e di stabilità per varie tipologie di fondazioni e scavi in terreni e rocce.

Le paratie esterne e le pareti in c.a sono state simulate con elementi di “mesh” a cui vengono attribuite le proprietà del calcestruzzo, mentre i telai metallici di contrasto sono stati modellati utilizzando elementi tipo “*horizontal beam*”, ovvero elementi monodimensionali che presentano un’elevata rigidità flessionale. Gli elementi rappresentativi dei puntoni sono attivati “*free stress*” (senza sforzi iniziali) e sono soggetti a peso proprio ed agli spostamenti indotti dalle variazioni di rigidità e di sollecitazione che intervengono nello stesso step di calcolo e nei successivi.

Nell’analisi condotta, quale modello costitutivo del terreno è stato assunto un modello di comportamento elasto-plastico incrudente di tipo “*Hardening Soil*”, che riproduce in condizioni di primo carico triassiale e un legame tensione-deformazione di tipo iperbolico. L’incrudimento è funzione sia delle deformazioni distorsionali plastiche sia delle deformazioni volumetriche plastiche.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



Per la scelta dei parametri geomeccanici di calcolo utilizzati nelle analisi si rimanda a quanto riportato nel capitolo 5. Di seguito si riportano i parametri relativi alla stratigrafia considerata nelle analisi numeriche.

Ghiaie di Messina									
Applicazione	Gruppo	Copertura	$\gamma$	$c'$	$c'_{res}$	$\phi'$	$\phi'_{res}$	$E'$	$\nu'$
	-	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[kPa]	[°]	[kPa]	[MPa]	[-]
		0-150	19	0-40	0-25	38	30	100-650	0.3
Copertura 0-30m	GR1	0-30	19	10	8	38	30	100	0.3
Copertura 30-50m	GR2	30-50	19	10	8	38	30	275	0.3
Copertura 50-70m	GR3	50-70	19	10	8	38	30	350	0.3
Copertura 70-120m	GR4	70-120	19	10	8	38	30	450	0.3

**Tabella 58- Stratigrafia dei terreni e campi di variabilità dei parametri geotecnici**

PARAMETRI		GHIAIE DI ME A1M1	GHIAIE DI ME A2M2
Modello terreno		HS	HS
$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19	19
$c_{ref}$	[kPa]	5	4
$\phi$	[°]	38	32
$E_{50, ref}$	[MPa]	var.	var.
$E_{ed, ref}$	[MPa]	var.	var.
$E_{ur, ref}$	[MPa]	$3E_{50ref}$	$3E_{50ref}$
$m$	[-]	0	0
$p_{ref}$	[kPa]	100	100
$\nu_{ur}$	[-]	0.2	0.2
$K_0$	[-]	0.384	0.470

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Per le porzioni di terreno consolidato sono state considerate le seguenti caratteristiche meccaniche:

PARAMETRI		CONSOLIDAMENTO
Modello		MC
$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19
$C_{ref}$	[kPa]	100
$\phi$	[°]	30
$E_{ref}$	[MPa]	2*E'
$\nu$	[-]	0.3

Nelle analisi numeriche si è ripercorsa la sequenza costruttiva ipotizzata per l'esecuzione della paratia, attraverso le seguenti fasi operative:

- Fase 0 : geostatico;
- Fase 1: realizzazione paratie in diaframmi;
- Fase 2: scavo primo ribasso a -4m da piano campagna;
- Fase 3: getto contropareti tra 0 e -4m e scavo secondo ribasso a -8m da p.c.;
- Fase 4-10: ripetizione delle fasi 2 e 3
- Fase 11: getto contropareti tra -32 e -36m e scavo fino a -40m da p.c.;
- Fase 12: getto contropareti tra -36 e -38.5m;
- Fase 13: installazione telaio metallico a -40m e scavo fino a -43m da p.c.;
- Fase 14: attivazione consolidamento a tergo della paratie tra -38.5m e -43m, installazione telaio metallico a -43m e scavo fino a -46m da p.c.;
- Fase 15-16: ripetizione delle fasi 12-13
- Fase 17: attivazione consolidamento a tergo della paratie tra -46m e -49m, installazione telaio metallico a -49m e scavo fino a -52m da p.c.;
- Fase 18: rimozione dei puntoni metallici e getto parziale della controparete tra -38.5m e -52m;
- Fase 19: demolizione diaframma tra quote -39m a -52m da p.c.;
- Fase 20: installazione telaio metallico a -52m e scavo fino a -55m da p.c.;
- Fase 21: attivazione consolidamento a tergo della paratie tra -52m e -55m, installazione telaio metallico a -55m e scavo fino a -58m da p.c.;
- Fase 22: attivazione consolidamento a tergo della paratie tra -55m e -60m
- Fase 23: getto parziale delle contropareti fino a -55m e getto del solettone di fondo tra -58m e -55m da p.c.;
- Fase 24: demolizione diaframma tra le quote -52 e -57m da p.c.;
- Fase 25: applicazione del carico sismico

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

### 11.2.2 Criteri di verifica

La verifica dell’opera di sostegno è stata effettuata secondo un approccio agli Stati Limite, analizzando sia lo stato limite ultimo, con riferimento a quanto indicato nel Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14.01.2008 - Testo Unico “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

Il D.M. 2008 T.U. segue l’approccio agli Stati Limite degli Eurocodici: la sicurezza e la prestazione di un’opera devono essere valutati in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la sua vita nominale, Stati Limite Ultimi (S.L.U.), secondo il metodo semiprobabilistico basato sull’impiego dei “coefficienti parziali di sicurezza”.

#### 11.2.2.1 Stati limite ultimi

Per la sicurezza di opere e sistemi geotecnici i valori dei coefficienti di sicurezza sono riportati ai capitoli 6.2-7 del Testo Unico 2008. La Normativa impone che sia rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell’azione, pari all’azione caratteristica moltiplicata per il coefficiente parziale per le azioni  $\gamma_f$ , mentre  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico, valutato con riferimento ai coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno  $\gamma_m$ .

Per la verifica delle paratie la condizione  $E_d \leq R_d$  deve essere rispettata impiegando due combinazioni di gruppi di coefficienti parziali per le azioni e per i parametri geotecnici (A1+M1 e A2+M2). In particolare la combinazione A1+M1 risulta rilevante per stabilire la capacità strutturale delle opere che interagiscono con il terreno, mentre la combinazione A2+M2 determina il dimensionamento geotecnico.

Azione	Coeff. Parzia $\gamma_f$	
	A1	A2
Permanente sfavorevole	1,30	1,00
Permanente favorevole	1,00	1,00
Variabile sfavorevole	1,50	1,30
Variabile favorevole	0,00	0,00

**Tabella 59- Coefficienti Parziale per le azioni o per l’effetto delle azioni**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0140_F0	Rev F0	Data 20-06-2011

Parametro al quale applicare il coefficiente parziale		Coeff. Parziale $\gamma_m$	
		M1	M2
Angolo d'attrito	$\tan \phi'$	1,00	1,25
Coesione efficace	$c'$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	$c_u$	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	1,00	1,00

**Tabella 60 – Coefficienti Parziali per i parametri geotecnici del terreno**

R1	R2	R3
1.0	1.0	1.1

**Tabella 61 - Coefficienti Parziali per le resistenze**

In condizioni sismiche le verifiche agli Stati Limite Ultimi vengono condotte impiegando sempre le stesse combinazioni ma ponendo pari all'unità solo i coefficienti parziali sulle azioni ( $A1=A2=1,0$ ).

#### 11.2.2.2 Stati limite di esercizio

La verifica allo stato limite di esercizio è stata condotta ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni ed impiegando i parametri geotecnici e le resistenze e le resistenze di progetto (vedi tabelle).

condizione	Coeff. Parzia $\gamma_f$	
	Permanenti	Temporanei
E 1	1,0	1,00

**Tabella 62 - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni per gli SLE**

Condizione	Coeff. Parziale $\gamma_m$		
	$\tan \phi'$	$c'$	$c_u$
E2	1,0	1,0	1,0

**Tabella 63 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Le tensioni ricavate dalle sollecitazioni fornite dal programma dovranno essere confrontate con le tensioni di riferimento:

$$\sigma_c < 0.6f_{ck}$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

$$\sigma_s < 0.8 f_{yk}$$

$f_{ck}$  = Resistenza caratteristica di compressione del calcestruzzo

$f_{yk}$  = Tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio

### 11.2.3 Definizione dei carichi agenti

Le strutture sono state verificate applicando i carichi indicati nel seguito.

#### 11.2.3.1 Spinta del Terreno

Il terreno esercita una spinta orizzontale sulla paratia proporzionale al carico verticale cui esso è soggetto. Il fattore di proporzionalità (coefficiente di spinta) dipende dallo stato deformativo del terreno e può variare dal coefficiente di spinta attiva  $K_a$  al coefficiente di spinta passiva  $K_p$ , i quali a loro volta dipendono dall'angolo d'attrito interno del terreno, dall'attrito paratia – terreno, dall'inclinazione della paratia e dall'inclinazione dal terreno adiacente.

Nelle analisi effettuate tali coefficienti sono calcolati in automatico dal programma di calcolo utilizzato.

Nelle analisi effettuate si è ipotizzato un coefficiente d'attrito paratia-terreno nullo per il calcolo di  $K_a$  e  $K_p$ .

#### 11.2.3.2 Carico sismico

Il carico indotto dall'azione sismica è stato applicato secondo le indicazioni contenute nel DM2008. In particolare la normativa consente di valutare l'azione sismica in funzione della posizione geografica dell'opera (per la posizione dell'opera si rimanda allo specifico capitolo). Partendo dalla ubicazione dell'opera è possibile definire, per il sito di interesse, le accelerazioni orizzontali di progetto. Nota l'accelerazione sismica  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido, bisogna fissare la vita nominale  $V_N$  dell'opera in esame.

**Tabella 2.4.I – Vita nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere**

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

La vita nominale serve per definire la vita di riferimento  $V_R$  sulla quale viene valutata l'azione

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

sismica agente sull'opera in esame:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

dove  $C_U$  rappresenta il valore del coefficiente d'uso della costruzione che, nel caso di opere infrastrutturali ricadenti in classe II (NTC 2008 par. 2.4.2), è pari a 1 (NTC 2008 par.2.4.3 tab. 2.4.I).

In base al periodo di riferimento, le norme definiscono la probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  a cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati (Tab 3.2.I NTC 2008)

**Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato**

Stati Limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Per il calcolo dell'azione sismica di Progetto si sono considerati i seguenti parametri:

- $V_n = 100$  anni
- Classe d'uso = II ( opere infrastrutturali)
- $C_u = 1$  (coefficiente d'uso della struttura)

Il valore dell'azione sismica di progetto relativo alle condizioni di stato limite di danno (SLD) è stato calcolato come descritto di seguito.

Posto  $V_R = 100$  anni si ottiene:

Valutazione azione sismica SLD		
$a_{max}$	[g]	0.118
$F_0$	[-]	2.319
$T_c^*$	[s]	0.319
Tipo sottosuolo		B
$u_s$	[m]	0.020
$S_s \cdot S_T$		1.200
$\alpha$		0.600
$\beta$		0.627
$\alpha \cdot \beta$		0.376

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

#### Accelerazione orizz. di progetto

a <sub>H</sub>	[g]	0.053
----------------	-----	-------

Dove:  $a_H = a_{max} \cdot S_s \cdot S_T \cdot \alpha \cdot \beta$

Il valore dell'azione sismica di progetto relativo alle condizioni di stato limite di salvaguardia della vita umana (SLV) è stato calcolato come descritto di seguito.

#### Valutazione azione sismica SLV

a <sub>max</sub>	[g]	0.332
F <sub>0</sub>	[-]	2.444
T <sub>c</sub> *	[s]	0.383
Tipo sottosuolo		B
u <sub>s</sub>	[m]	0.020
S <sub>s</sub> *S <sub>T</sub>		1.076
α		0.600
β		0.627
α*β		0.376

#### Accelerazione orizz. di progetto

a <sub>H</sub>	[g]	0.134
----------------	-----	-------

Nelle relazioni di cui sopra i parametri introdotti hanno il seguente significato:

α = coefficiente che tiene conto della deformabilità del terreno;

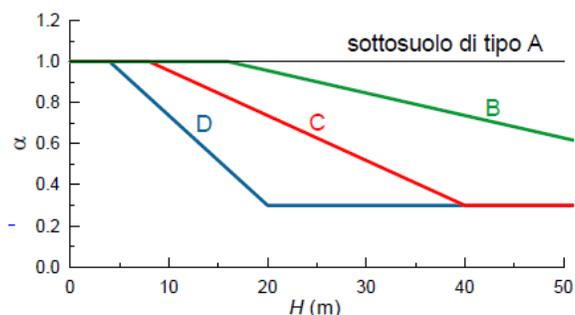
β = coefficiente che tiene conto degli spostamenti ammissibili per il sistema geotecnico;

S<sub>s</sub> = coefficiente di amplificazione stratigrafica;

S<sub>T</sub> = coefficiente di amplificazione topografica;

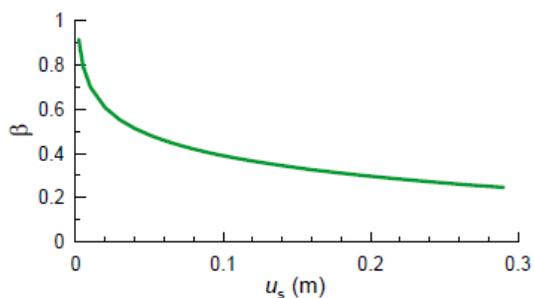
Con α ≤ 1 si ammette che l'opera possa subire spostamenti senza cadute di resistenza ( vedi figura di seguito):

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



**Figura 93 Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità  $\alpha$**

Invece con  $\beta \leq 1$  si ammette che il terreno possa subire spostamenti compatibili con l'opera (vedi figura di seguito), ovvero lo spostamento ammissibile per l'opera deve essere minore di  $0.005 H$  ( $H$  = altezza complessiva paratia). Si è assunto un valore del parametro  $\beta$  pari a 0.627 corrispondente ad uno spostamento ammissibile di circa un cm, mentre  $\alpha$  risulta uguale a 0.6 dato che l'altezza dell'opera è superiore a 50m e che si considera un suolo di tipo B.



**Figura 94 Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento  $\beta$**

Lo spostamento ammissibile considerato per il calcolo dei coefficienti  $\alpha$  e  $\beta$  è pari a 2cm. Definiti i valori delle accelerazione orizzontale di progetto è stata valutata la spinta sismica del terreno avvalendosi del metodo proposto da Wood:

$$\Delta P_d = \left( \frac{a_g}{g} \right) \cdot \gamma \cdot H^2$$

dove:

$\gamma$  = peso dell'unità di volume del terreno

$H$  = altezza fuori terra della paratia

Il carico sismico è stato applicata come un carico uniformante distribuito su tutta l'altezza libera della paratia.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

### 11.2.3.3 Carico idraulico

Dall’analisi dei dati dei piezometri, non si riscontra la presenza di falda interferente con l’opera in oggetto.

### 11.2.4 Risultati delle analisi numeriche

Come già illustrato nei paragrafi precedenti, per la modellazione numerica dei pozzi di ventilazione si è fatto riferimento a quanto riportato all’interno della normativa, svolgendo analisi, sia in condizioni statiche che sismiche, che permettessero di definire il peggiore quadro tensio-deformativo che interesserà l’opera secondo l’approccio 2 (combinazioni A1-M1-R1 e A2-M2-R2). Di seguito si riportano per semplicità di lettura i risultati dell’analisi numerica svolta in condizione A2-M2 sismica, che rappresenta, nella maggior parte dei casi, la condizione dimensionante per le strutture agli SLU. Si sottolinea che comunque le verifiche sono state svolte in tutte le condizioni previste.

#### 11.2.4.1 Diaframmi

Di seguito si riportano i risultati forniti dall’analisi in fase sismica in condizione A2M2 sulle paratie di sostegno.

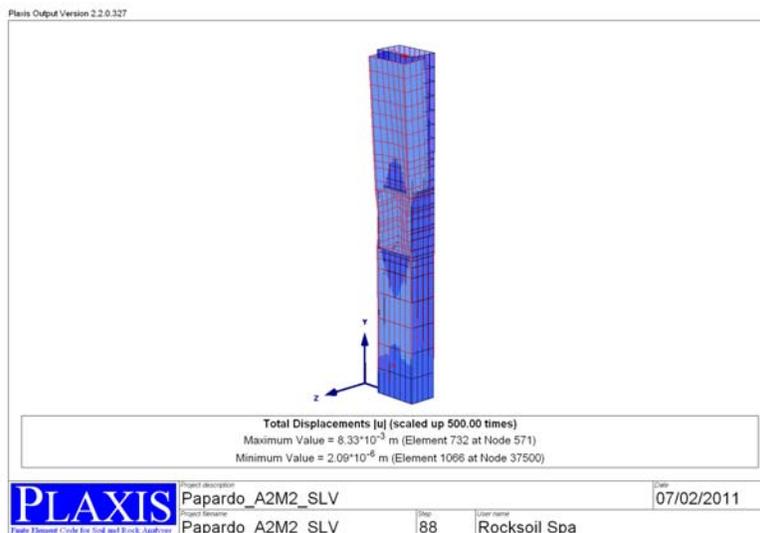
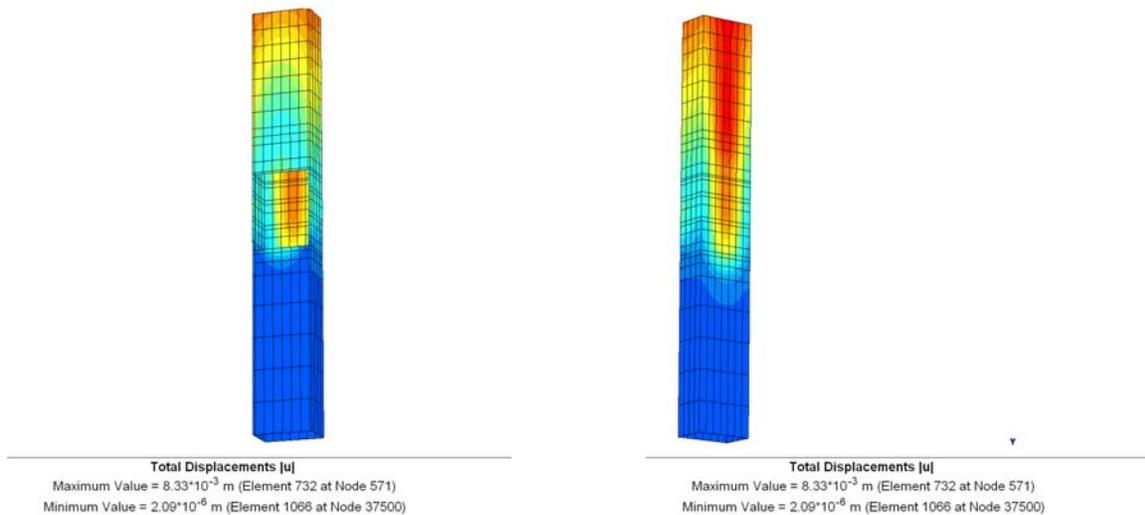
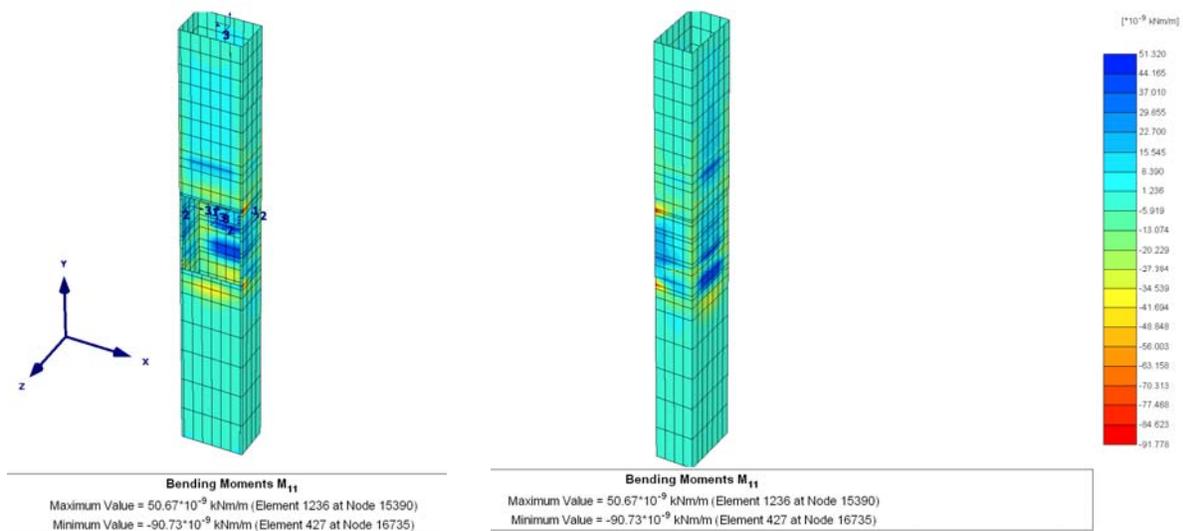


Figura 95 - deformazione del diaframma in fase finale

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



**Figura 96 - deformazione del diaframma in fase finale**



**Figura 97 – Andamento del momento M11 sui diaframmi**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

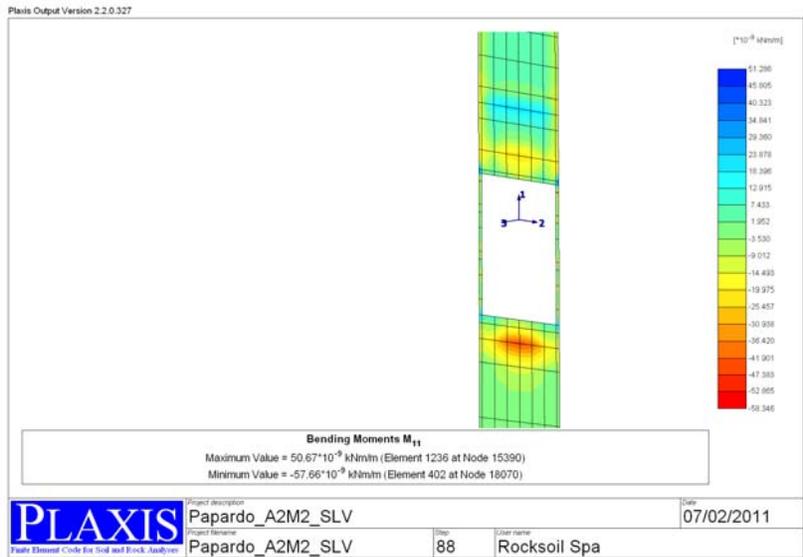


Figura 98 - Andamento del momento M11, diaframma 3

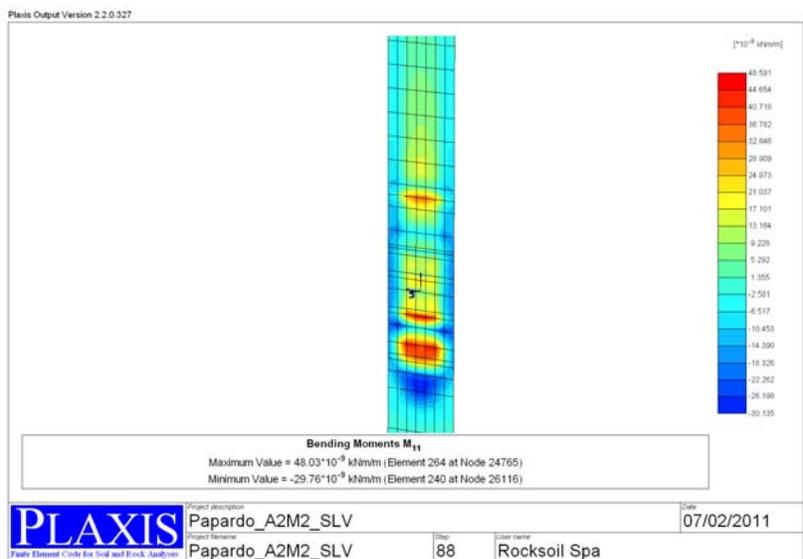
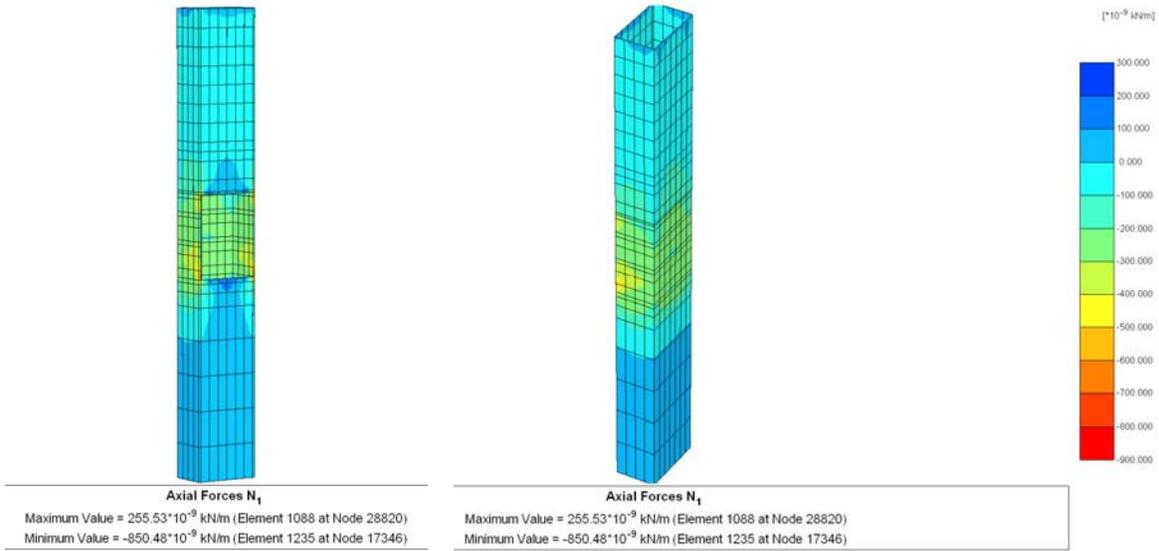
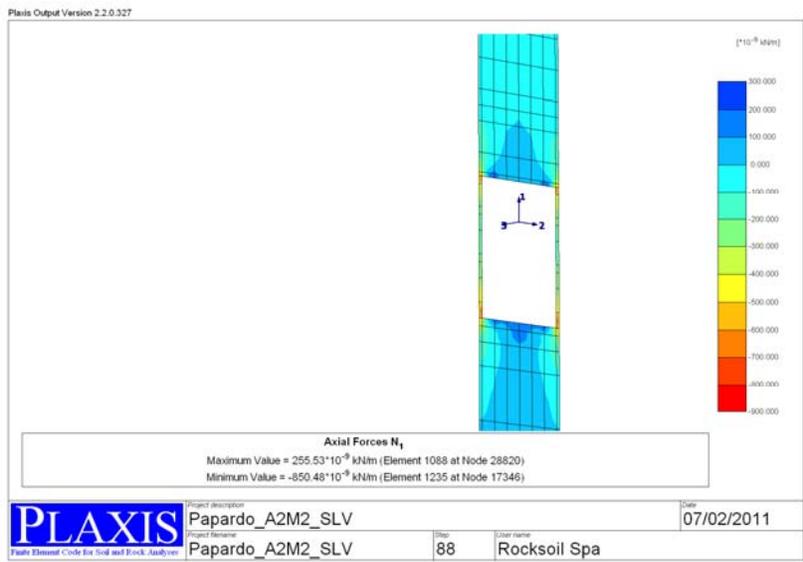


Figura 99 - Andamento del momento M11, diaframma 1

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

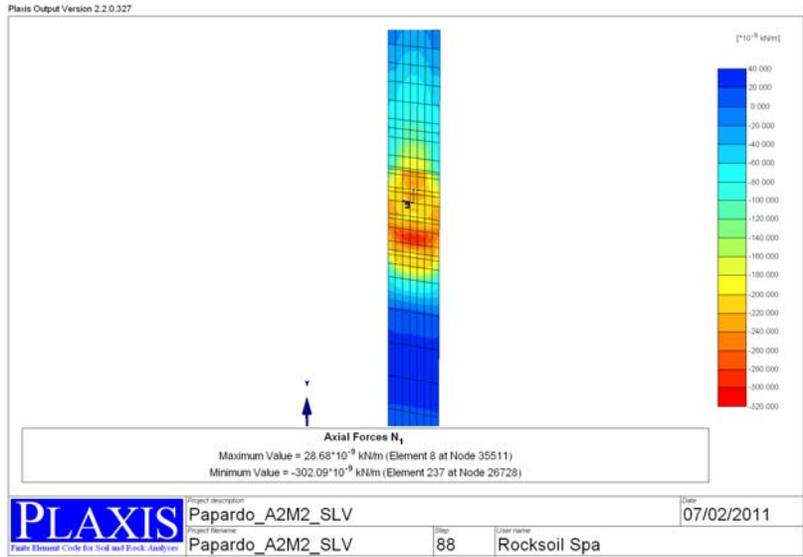


**Figura 100 – Andamento azione assiale N1 sui diaframmi**

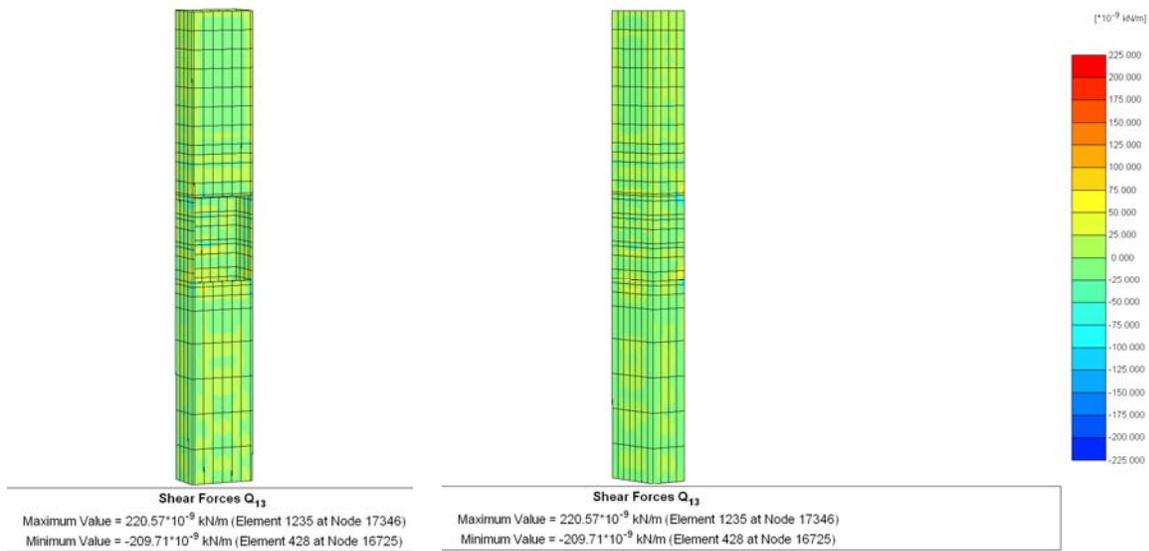


**Figura 101 - Andamento azione assiale N1, diaframma 3**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



**Figura 102 - Andamento azione assiale N1, diaframma 1**

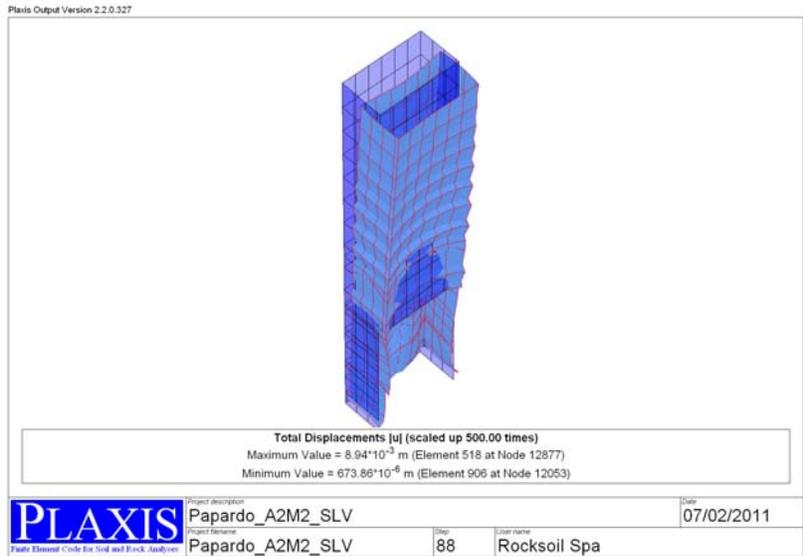


**Figura 103 – Andamento taglio Q13 sui diaframmi**

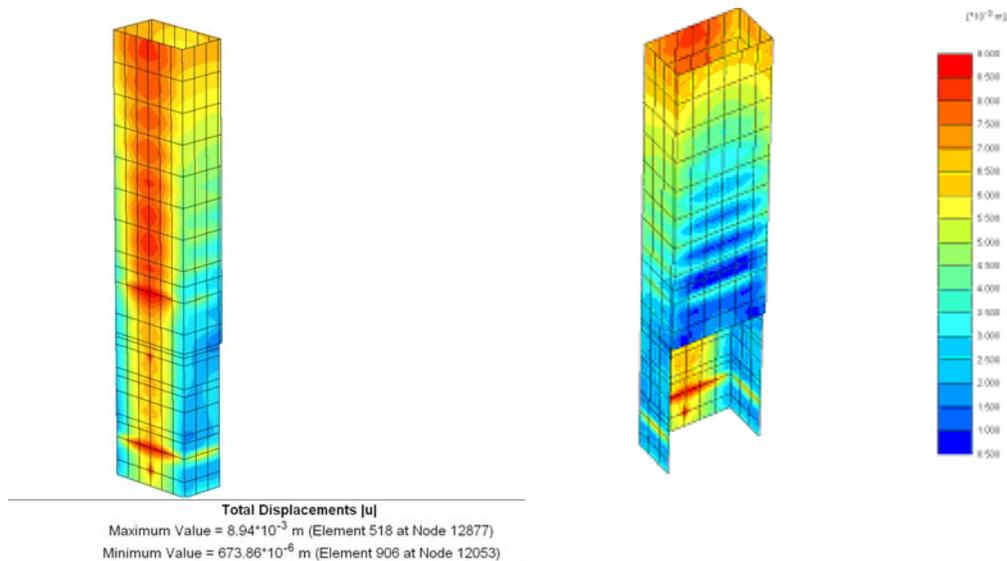
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

### 11.2.4.2 Pareti

Di seguito si riportano i risultati forniti dall’analisi in fase sismica in condizione A2M2 sulle contropareti.

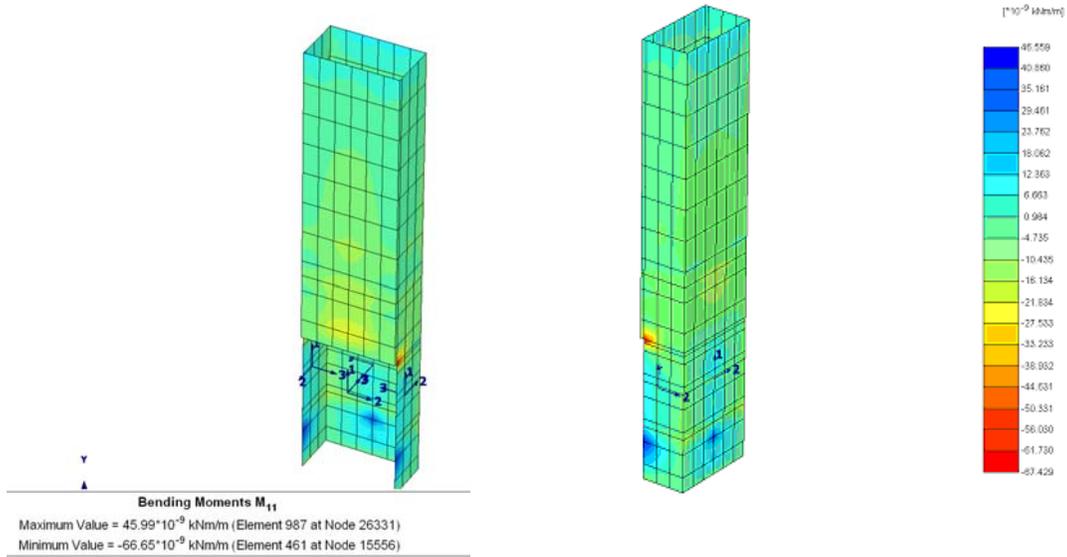


**Figura 104 - deformazione delle pareti in fase finale**

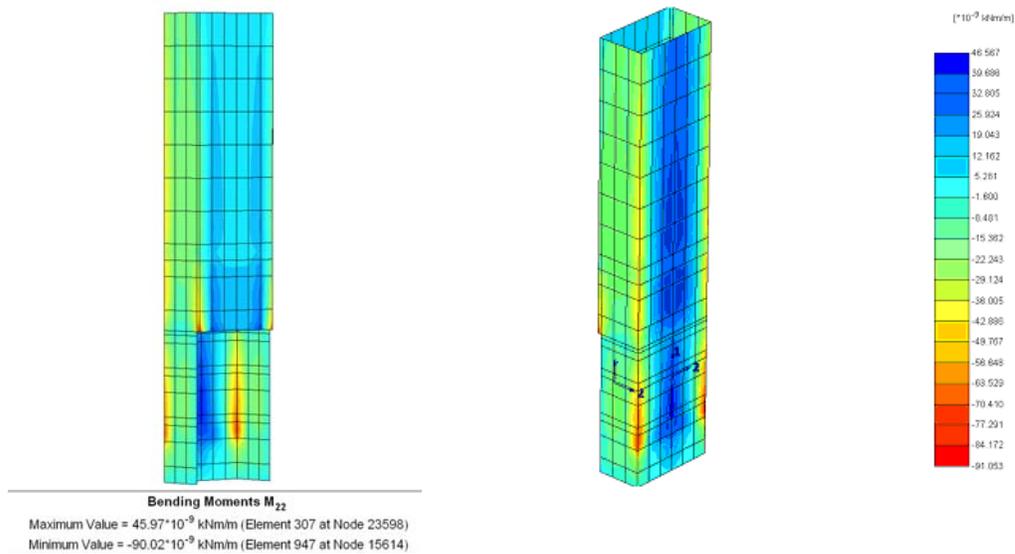


**Figura 105 - deformazione delle pareti in fase finale**

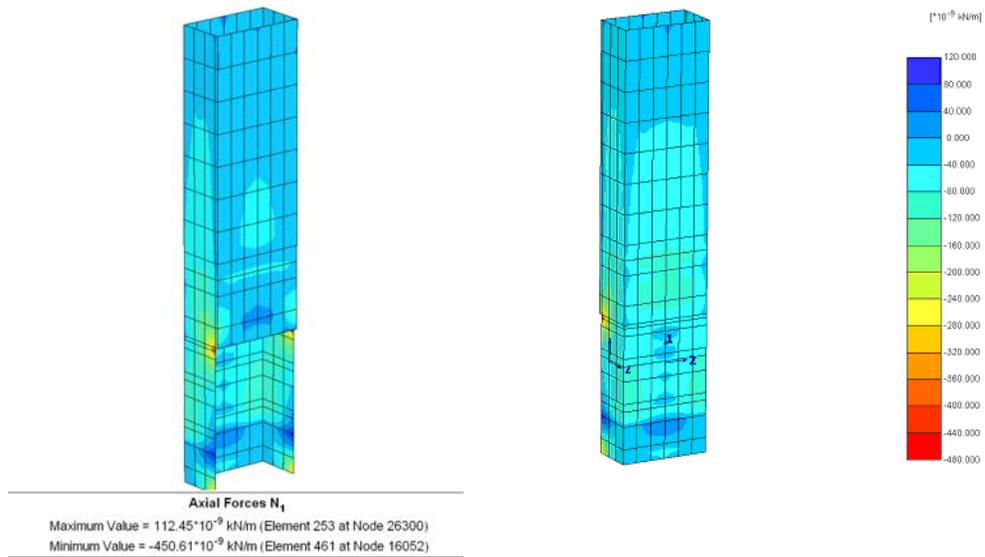
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



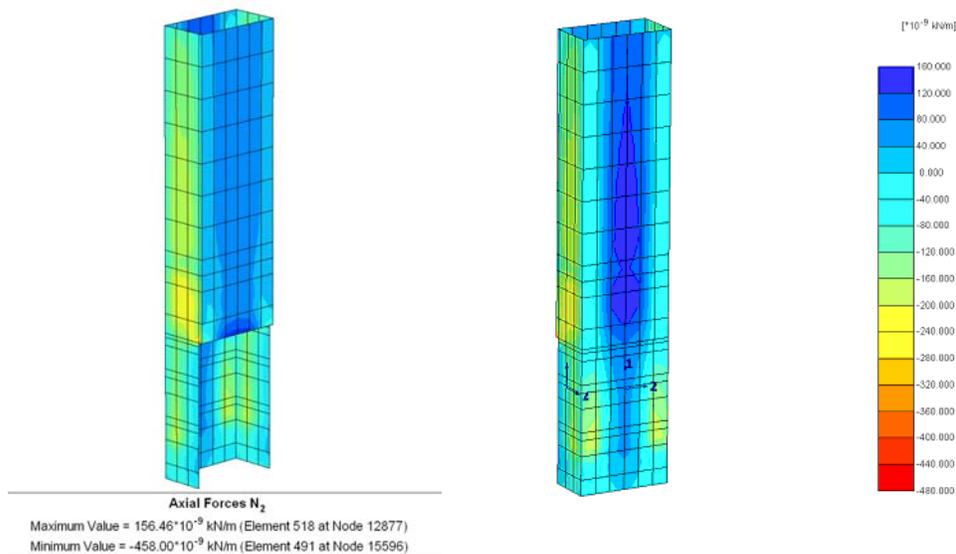
**Figura 106 – Andamento momento M11 sulle pareti**



**Figura 107 – Andamento momento M22 sulle pareti**

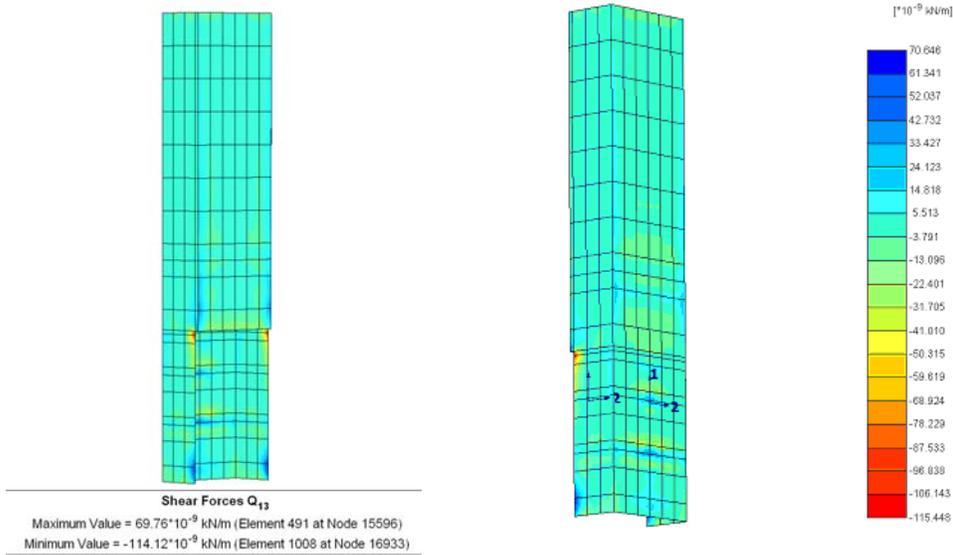


**Figura 108 – Andamento azione assiale N1 sulle pareti**

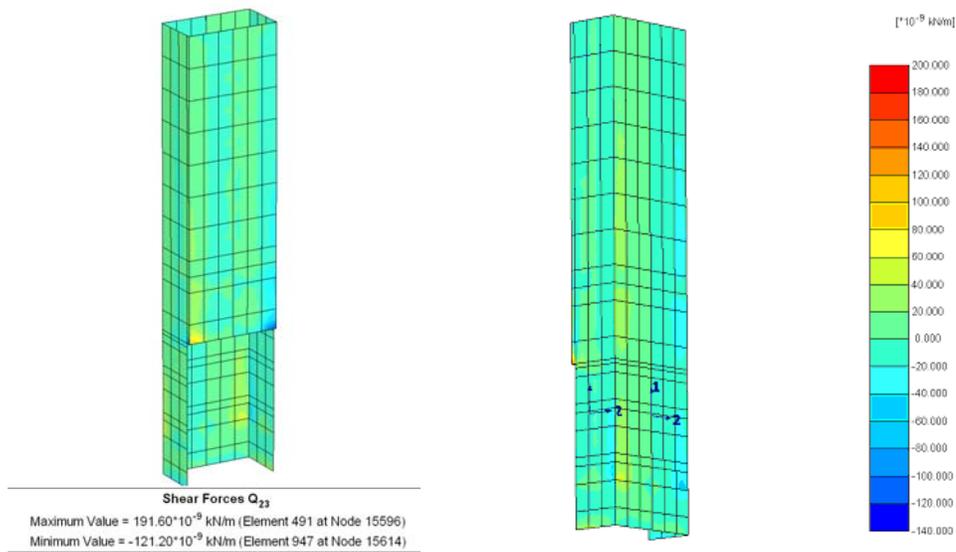


**Figura 109 – Andamento azione assiale N2 sulle pareti**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



**Figura 110 – Andamento taglio  $Q_{13}$  sulle pareti**



**Figura 111 – Andamento taglio  $Q_{23}$  sulle pareti**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0

### 11.2.5 Verifiche strutturali dei diaframmi

Nel seguito si riportano i risultati delle verifiche riguardanti le sezioni della paratia esaminate nei calcoli. Si è analizzata la sezione in corrispondenza della quota del diaframma per la quale si verifica lo stato di sollecitazione più gravoso.

Le armature previste per i diaframmi sono state differenziate lungo l'altezza dei diaframmi:

DIAFRAMMA	PROFONDITA'	A <sub>s1</sub>	A <sub>s2</sub>	A <sub>w</sub>
1	0-30m	φ20/20	φ20/20	φ12/20, 4 braccia/m
1	30m-piede	φ24/20	φ24/20	φ14/20, 4 braccia/m
2-4	0-30m	φ20/20	φ20/20	φ12/20, 4 braccia/m
2-4	30m-piede	φ24/20	φ24/20	φ14/20, 4 braccia/m
3	0-30m	φ20/20	φ20/20	φ12/20, 4 braccia/m
3	30m-piede	φ24/20	φ24/20	φ14/20, 4 braccia/m

Di seguito sono riportati i risultati delle verifiche di sicurezza maggiormente gravose per le opere in esame, svolte con l'ausilio del programma di verifica delle sezioni RC-SEC (verifiche STR e verifiche SLE). Le sollecitazioni utilizzate per le verifiche strutturali sono sintetizzate nelle tabelle di seguito riportate:

DIAFRAMMA 1															
	A1M1 SLU			A1M1 SLV			A2M2 SLU			A2M2 SLV			A1M1 SLD		
	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]
MAX	603.2	2743	119.6	495	3047	-73	520	2091	499	545	2312	335	476	2847	91
MIN	-483.6	3016	321.1	-464	1790	167	-299	2500	-220	-326	1175	189	-409	1950	218
0-30	209.3	332.8	3220.1	247	1132	-176	337	883	340	93	590	20	230	1016	-157

DIAFRAMMI 2 e 4															
	A1M1 SLU			A1M1 SLV			A2M2 SLU			A2M2 SLV			A1M1 SLD		
	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]
MAX	351	3588	266.5	273	3022	-194	337	2550	-64	337	2050	337	285	2453	215
MIN	-673.4	1712.1	1540.5	-568	2925	623	-730	1957	360	-740	2590	626	-545	1944	820
0-30	128.7	403	96.2	-83	552	17	-124	156	34	196	1170	169	-91	338	19

DIAFRAMMA 3															
	A1M1 SLU			A1M1 SLV			A2M2 SLU			A2M2 SLV			A1M1 SLD		
	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]
MAX	206.7	91	154.7	162	107	240	290	2920	263	322	70	356	159	1000	-116
MIN	-687.7	1339	529.1	-565	1100	-1003	-368	1020	51	-440	910	-15	-555	1090	889
0-30	211.9	494	169	167	640	132	261	80	-308	264	302	230	163	440	131

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

### 11.2.5.1 Stato limite di esercizio

- **Verifiche a Pressoflessione**

Le verifiche sono state condotte accertando che, in fase di esercizio, ovvero considerando i risultati delle analisi condotte agli SLE e SLD, le tensioni di esercizio dei materiali siano inferiori a quelle ammissibili per il materiale:

$$\sigma_c < 0.60f_{ck} = 14.94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s < 0.8f_{yk} = 360 \text{ MPa}$$

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte per la parte dei diaframmi compresa tra il piano campagna e -30m:

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm <sup>2</sup> ]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm <sup>2</sup> ]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,0)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
Af eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza media in cm tra le barre tese efficaci (verifica fess.)

N.Comb.	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Yf min	Dw Eff.	Ac eff.	Af eff.	Dbarre
22.0	1	S	22.5	100.0	0.0	100.0	-30	94.0	20.0	684	15.7
22.0	2	S	17.4	100.0	0.0	100.0	-463	94.0	6.8	684	15.7
22.0	3	S	8.5	0.0	0.0	0.0	-32	6.0	20.0	1227	15.7
22.0	4	S	9.4	100.0	0.0	100.0	-65	94.0	6.8	684	15.7
22.0	5	S	15.7	100.0	0.0	100.0	-166	94.0	6.8	684	15.7
22.0	6	S	16.3	100.0	0.0	100.0	-241	94.0	6.8	684	15.7

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte per la parte inferiore dei diaframmi:

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
-----	--

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm <sup>2</sup> ]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm <sup>2</sup> ]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
Af eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza media in cm tra le barre tese efficaci (verifica fess.)

N.Comb.	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Yf min	Dw Eff.	Ac eff.	Af eff.	Dbarre
22.0	1	S	39.4	0.0	0.0	0.0	-13	6.0	22.8	402	22.6
22.0	2	S	51.9	0.0	0.0	0.0	-69	6.0	4.0	402	22.6
22.0	3	S	44.1	100.0	0.0	100.0	-36	94.0	22.8	540	22.6
22.0	4	S	41.0	0.0	2.4	0.0	71	6.0	0.0	684	0.0
22.0	5	S	37.7	100.0	8.2	100.0	150	94.0	0.0	684	0.0
22.0	6	S	49.0	0.0	0.0	0.0	-187	6.0	4.0	402	22.6
22.0	7	S	39.8	100.0	11.9	100.0	203	94.0	0.0	0	0.0
22.0	8	S	46.6	0.0	0.0	0.0	-492	6.0	4.0	402	22.6
22.0	9	S	17.6	100.0	1.1	100.0	32	94.0	0.0	0	0.0
22.0	10	S	51.5	0.0	0.0	0.0	-875	6.0	4.0	402	22.6
22.0	11	S	15.1	100.0	0.0	100.0	-662	94.0	5.4	540	22.6
22.0	12	S	49.1	0.0	0.0	0.0	-846	6.0	4.0	402	22.6

Le verifiche risultano soddisfatte.

- **Verifiche a fessurazione**

Le verifiche sono state condotte in accordo con quanto illustrato nel paragrafo 7.5.4.3

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte per la parte dei diaframmi compresa tra il piano campagna e -30m:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
ScImax Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm<sup>2</sup>]  
ScImin Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm<sup>2</sup>]  
Sc Eff Tensione al limite dello spessore efficace nello STATO I [daN/cm<sup>2</sup>]  
K3 Coeff. di normativa = 0,25 (ScImin + ScEff)/(2 ScImin)  
Beta12 Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1\*Beta2  
Eps Deformazione unitaria media tra le fessure  
Srm Distanza media in mm tra le fessure  
Ap.fess. Apertura delle fessure in mm = 1,7\*Eps\*Srm

N.Comb.	Ver	ScImax	ScImin	Sc Eff	K3	Beta12	Eps	Srm	Ap.Fess.
1	S	22.1	-2.7	0.0	0.125	1.0	0.000006	188	0.002
2	S	11.2	-6.3	-5.1	0.226	1.0	0.000093	223	0.035
3	S	8.1	-1.7	0.0	0.125	1.0	0.000006	222	0.002
4	S	8.3	-2.4	-1.7	0.212	1.0	0.000013	218	0.005
5	S	13.0	-4.6	-3.4	0.217	1.0	0.000033	220	0.012
6	S	12.4	-5.2	-4.0	0.221	1.0	0.000048	221	0.018

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte per la parte inferiore dei diaframmi:

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
ScImax Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm<sup>2</sup>]  
ScImin Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm<sup>2</sup>]  
Sc Eff Tensione al limite dello spessore efficace nello STATO I [daN/cm<sup>2</sup>]  
K3 Coeff. di normativa = 0,25 (ScImin + ScEff)/(2 ScImin)  
Beta12 Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1\*Beta2  
Eps Deformazione unitaria media tra le fessure  
Srm Distanza media in mm tra le fessure  
Ap.fess. Apertura delle fessure in mm = 1,7\*Eps\*Srm

N.Comb.	Ver	ScImax	ScImin	Sc Eff	K3	Beta12	Eps	Srm	Ap.Fess.
1	S	39.2	-3.0	0.0	0.125	1.0	0.000003	161	0.001
2	S	51.1	-6.4	-4.1	0.205	1.0	0.000014	175	0.004
3	S	43.7	-4.4	0.0	0.125	1.0	0.000007	169	0.002
4	S	41.0	2.4	0.0	0.000	1.0	0.000000	0	0.000
5	S	37.7	8.2	0.0	0.000	1.0	0.000000	0	0.000
6	S	46.5	-10.0	-7.8	0.222	1.0	0.000037	178	0.011
7	S	39.8	11.9	0.0	0.000	1.0	0.000000	0	0.000
8	S	39.2	-14.5	-12.4	0.231	1.0	0.000098	179	0.030
9	S	17.6	1.1	0.0	0.000	1.0	0.000000	0	0.000
10	S	39.0	-18.6	-16.2	0.234	1.0	0.000175	180	0.054
11	S	8.9	-7.6	-6.7	0.235	1.0	0.000132	194	0.044
12	S	37.1	-17.8	-15.6	0.235	1.0	0.000169	180	0.052

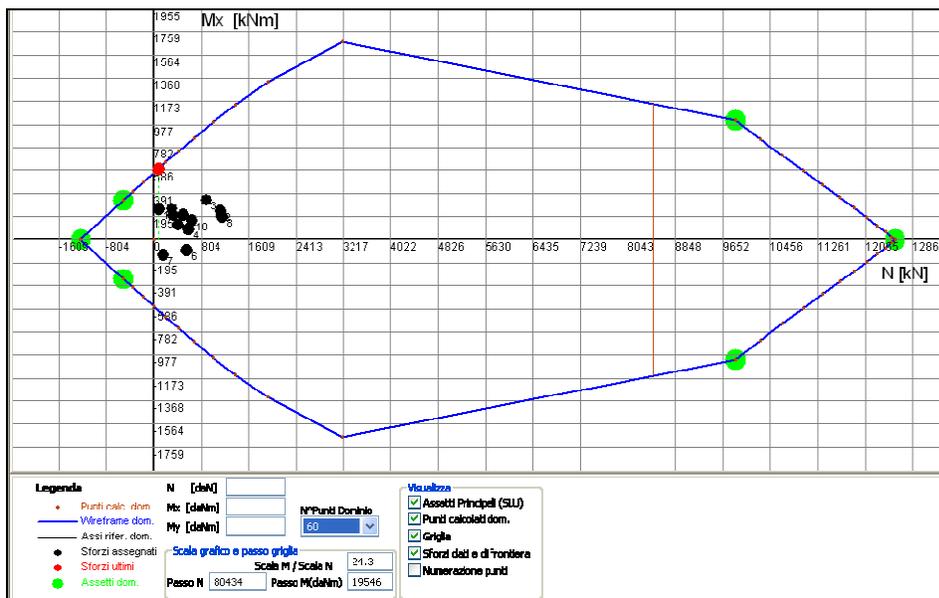
Le verifiche risultano soddisfatte.

**11.2.5.2 Stato limite ultimo**

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche di sicurezza a pressoflessione e taglio relative alle sollecitazioni massime.

• **Verifiche a Pressoflessione**

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte per la parte dei diaframmi compresa tra il piano campagna e -30m:

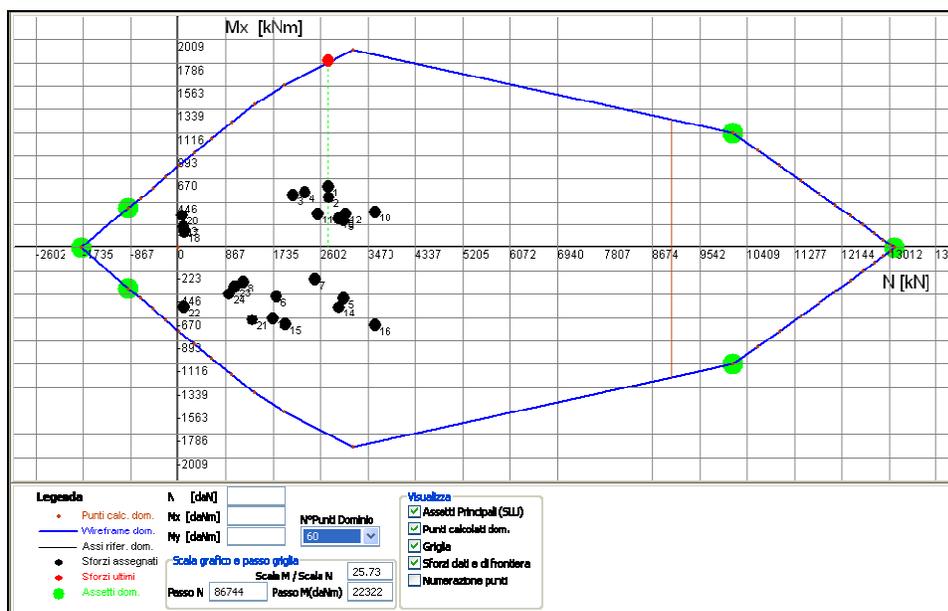


**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)  
 Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x baricentrico  
 N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)  
 Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x baricentrico  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult) e (N,Mx)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
 Yneutro Ordinata [in cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.  
 x/d Rapp. di duttilità a rottura misurato in presenza di sola flessione (travi)  
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue  
 Area efficace barre inf. (per presenza di torsione)= 15.7 cm<sup>2</sup>  
 Area efficace barre sup. (per presenza di torsione)= 15.7 cm<sup>2</sup>

N. Comb.	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	Yneutro	x/d
1	S	33280	20930	33250	70695	3.378	92.3	
2	S	113200	24700	113209	104731	4.240	87.3	
3	S	88300	33700	88307	94401	2.801	89.1	
4	S	59000	9300	58994	81897	8.806	90.9	
5	S	40300	12870	40309	73781	5.733	92.0	
6	S	55200	-8300	55171	-80245	9.668	8.9	
7	S	15600	-12400	15593	-62929	5.075	6.9	
8	S	117000	19600	117000	106273	5.422	87.0	
9	S	49400	21190	49377	77732	3.668	91.5	
10	S	64000	16700	63995	84053	5.033	90.6	
11	S	30200	26400	30172	69344	2.627	92.5	
12	S	8000	26100	7975	59565	2.282	93.4	

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte per la parte inferiore dei diaframmi:



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata								
N	Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)								
Mx	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x baricentrico								
N ult	Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)								
Mx ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x baricentrico								
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult) e (N,Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000								
Yneutro	Ordinata [in cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.								
x/d	Rapp. di duttilità a rottura misurato in presenza di sola flessione (travi)								
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue Area efficace barre inf. (per presenza di torsione)= 22.6 cm <sup>2</sup> Area efficace barre sup. (per presenza di torsione)= 22.6 cm <sup>2</sup>								
N.Comb.	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	Yneutro	x/d	C.Rid.
-----									
	1	S	274300	60300	274291	180912	3.000	70.1	
	2	S	274700	49500	274708	181016	3.657	70.1	
	3	S	209100	52000	209074	162601	3.127	77.2	
	4	S	231200	54500	231188	169242	3.105	74.8	
	5	S	301600	-48300	301590	-187432	3.881	32.9	
	6	S	179000	-46400	178979	-152849	3.294	19.5	
	7	S	250000	-29900	250024	-174550	5.838	27.3	
	8	S	117500	-32600	117504	-130249	3.995	13.1	
	9	S	302200	27300	302221	187574	6.871	67.1	
	10	S	358800	35100	358792	198901	5.667	60.9	
	11	S	255000	33700	255016	175902	5.220	72.2	
	12	S	305400	33700	305423	188294	5.587	66.7	
	13	S	171200	-67300	171228	-150205	2.232	18.7	
	14	S	292500	-56800	292471	-185329	3.263	31.9	
	15	S	195700	-73000	195693	-158366	2.169	21.3	
	16	S	359000	-74000	359009	-198939	2.688	39.1	
	17	S	9100	20670	9087	83869	4.058	92.6	
	18	S	10700	16200	10720	84586	5.221	92.5	
	19	S	292000	29000	291994	185217	6.387	68.2	
	20	S	7000	32200	6992	82949	2.576	92.7	
	21	S	133900	-68770	133891	-136702	1.988	14.6	
	22	S	10000	-56500	9979	-84260	1.491	7.4	
	23	S	102000	-36800	102005	-123849	3.365	12.1	
	24	S	91000	-44000	90992	-119240	2.710	11.4	

• **Verifiche a taglio**

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte per la parte dei diaframmi compresa tra il piano campagna e -30m:

**ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER TUTTE LE COMBINAZIONI ASSEGNATE**

Diametro staffe:	12 mm	
Passo staffe:	20.0 cm	[Passo massimo di normativa = 24.0 cm]
N.Bracci staffe:	4	
Area staffe/m :	22.6 cm <sup>2</sup> /m	[Area Staffe Minima normativa = 2.4 cm <sup>2</sup> /m]

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO**

Ver S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata  
Vsdu Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)  
Vrd Taglio resistente [daN] in assenza di staffe  
Vcd Taglio compressione resistente [daN] lato conglomerato  
Vwd Taglio trazione resistente [daN] assorbito dalle staffe  
bw Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro  
Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Afst Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm<sup>2</sup>/m]

N.Comb.	Ver	Vsdu	Vrd	Vcd	Vwd	bw	Teta	Acw	Afst
1	S	52000	29337	170117	187199	100.0	21.80	1.029	6.3
2	S	-17600	40605	181774	187199	100.0	21.80	1.100	2.1
3	S	34000	37094	178142	187199	100.0	21.80	1.078	4.1
4	S	2000	32963	173869	187199	100.0	21.80	1.052	0.2
5	S	9620	30326	171141	187199	100.0	21.80	1.036	1.2
6	S	1700	32427	173314	187199	100.0	21.80	1.049	0.2
7	S	3400	26844	167538	187199	100.0	21.80	1.014	0.4
8	S	16900	41141	182329	187199	100.0	21.80	1.103	2.0
9	S	16900	31609	172468	187199	100.0	21.80	1.044	2.0
10	S	13200	33668	174598	187199	100.0	21.80	1.056	1.6
11	S	23000	28902	169668	187199	100.0	21.80	1.027	2.8
12	S	-30800	26103	166430	187199	100.0	21.80	1.007	3.7

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte per la parte inferiore dei diaframmi:

**ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER TUTTE LE COMBINAZIONI ASSEGNATE**

Diametro staffe: 14 mm  
Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]  
N.Bracci staffe: 4  
Area staffe/m : 30.8 cm<sup>2</sup>/m [Area Staffe Minima normativa = 2.3 cm<sup>2</sup>/m]

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO**

Ver S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata  
Vsdu Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)  
Vrd Taglio resistente [daN] in assenza di staffe  
Vcd Taglio compressione resistente [daN] lato conglomerato  
Vwd Taglio trazione resistente [daN] assorbito dalle staffe  
bw Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro  
Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Afst Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm<sup>2</sup>/m]

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0

N. Comb.	Ver	Vsdu	Vrd	Vcd	Vwd	bw	Teta	Acw	Afst
1	S	11960	59780	205273	254798	100.0	21.80	1.242	1.4
2	S	-7300	59780	205331	254798	100.0	21.80	1.242	0.9
3	S	49900	57312	195762	254798	100.0	21.80	1.185	6.0
4	S	33500	59780	198986	254798	100.0	21.80	1.204	4.0
5	S	32100	59780	206578	254798	100.0	21.80	1.250	3.9
6	S	16700	53068	191372	254798	100.0	21.80	1.158	2.0
7	S	-22000	59780	201728	254798	100.0	21.80	1.221	2.7
8	S	18900	44397	182402	254798	100.0	21.80	1.104	2.3
9	S	-19400	59780	206578	254798	100.0	21.80	1.250	2.3
10	S	26650	59780	206578	254798	100.0	21.80	1.250	3.2
11	S	-6400	59780	202458	254798	100.0	21.80	1.225	0.8
12	S	33700	59780	206578	254798	100.0	21.80	1.250	4.1
13	S	154050	51968	190234	254798	100.0	21.80	1.151	18.6
14	S	62300	59780	206578	254798	100.0	21.80	1.250	7.5
15	S	36000	55423	193808	254798	100.0	21.80	1.173	4.3
16	S	62600	59780	206578	254798	100.0	21.80	1.250	7.6
17	S	15400	29112	166590	254798	100.0	21.80	1.008	1.9
18	S	24000	29338	166823	254798	100.0	21.80	1.009	2.9
19	S	26300	59780	206578	254798	100.0	21.80	1.250	3.2
20	S	35600	28816	166284	254798	100.0	21.80	1.006	4.3
21	S	52900	46709	184794	254798	100.0	21.80	1.118	6.4
22	S	-100300	29239	166721	254798	100.0	21.80	1.009	12.1
23	S	5100	42211	180141	254798	100.0	21.80	1.090	0.6
24	S	-1500	40660	178536	254798	100.0	21.80	1.080	0.2

### 11.2.6 Verifiche strutturali delle contropareti

Nel seguito si riportano i risultati delle verifiche riguardanti le sezioni delle pareti esaminate nei calcoli. Si è analizzata la sezione in corrispondenza della quota per la quale si verifica lo stato di sollecitazione più gravoso. Per tenere in conto di possibili errori di verticalità nella costruzione dei diaframmi, nei calcoli è stato tenuto in conto di uno spessore delle pareti di soli 50cm, a fronte dello spessore di un metro previsto.

Le armature longitudinali previste per le contropareti sono state differenziate lungo l'altezza:

PARETE	PROFONDITA'	A <sub>s1</sub>	A <sub>s2</sub>
1	0-30m	φ20/20	φ20/20
1	30m-piede	φ20/10	φ20/10
2-4	0-30m	φ20/20	φ20/20
2-4	30m-piede	φ20/10	φ20/10
3	0-30m	φ20/20	φ20/20
3	30m-piede	φ20/10	φ20/10

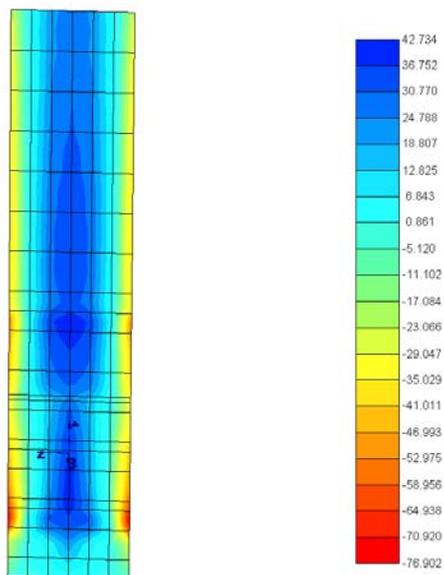
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Per quanto riguarda invece le armature da prevedere per le sollecitazioni nel piano 2-2, sono state dimensionate le armature per le massime sollecitazioni in campata e nelle zone di incastro:

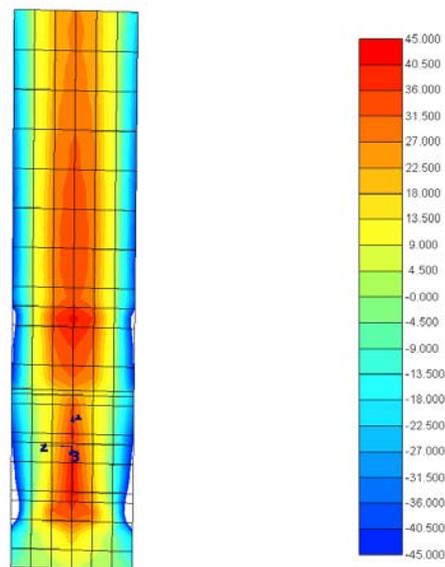
<b>MEZZERIA</b>				
<b>PARETE</b>	<b>PROFONDITA'</b>	<b>A<sub>s1</sub></b>	<b>A<sub>s2</sub></b>	<b>A<sub>w</sub></b>
1	0 m-PIEDE	φ20/10	φ20/20	10spilli φ12 al m2
2-4	0 m-PIEDE	φ20/10	φ20/20	10spilli φ12 al m2
3	0 m-PIEDE	φ20/10	φ20/20	10spilli φ12 al m2

<b>INCASTRO</b>				
<b>PARETE</b>	<b>PROFONDITA'</b>	<b>A<sub>s1</sub></b>	<b>A<sub>s2</sub></b>	<b>A<sub>w</sub></b>
1	0 m-PIEDE(*)	φ24/20	φ24/10	15spilli φ12 al m2
2-4	0 m-PIEDE(*)	φ24/20	φ24/10	15spilli φ12 al m2
3	0 m-PIEDE(*)	φ24/20	φ24/10	15spilli φ12 al m2

L'armatura prevista per la zona di incastro soddisfa le verifiche sulle contropareti, fatta eccezione per alcune aree localizzate, che vengono evidenziate in Figura 113, Figura 115 e Figura 117 riportate di seguito. In questi punti, del tutto trascurabili al fine del dimensionamento delle armature delle contropareti, verranno predisposti opportuni infittimenti dei ferri di armatura.



**Figura 112 – Andamento momenti M22**



**Figura 113 – Andamento M22 con sollecitazione  
compresa tra -450kNm/m e +450 kNm/m**

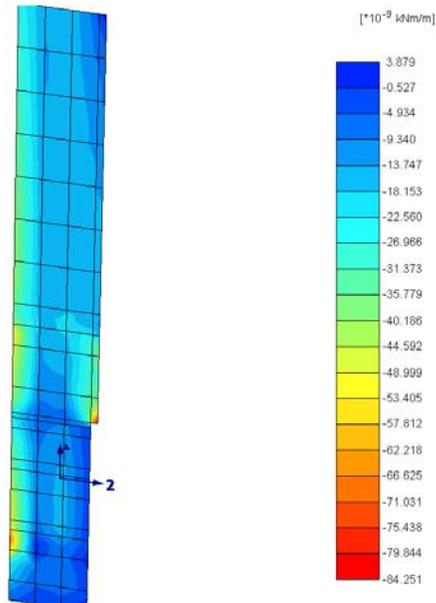


Figura 114 - Andamento momenti M22

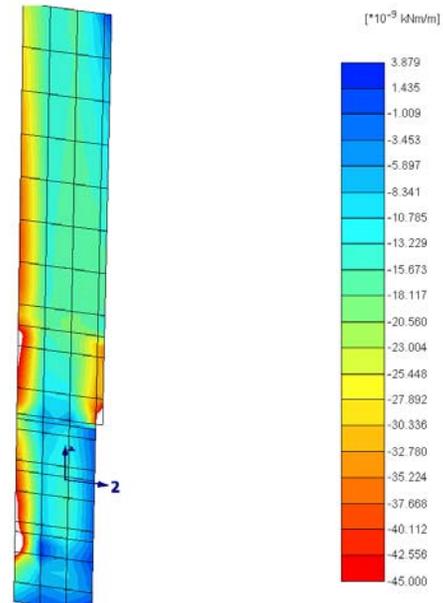


Figura 115 – Andamento M22 con sollecitazione compressa tra -450kNm/m e +40kNm/m

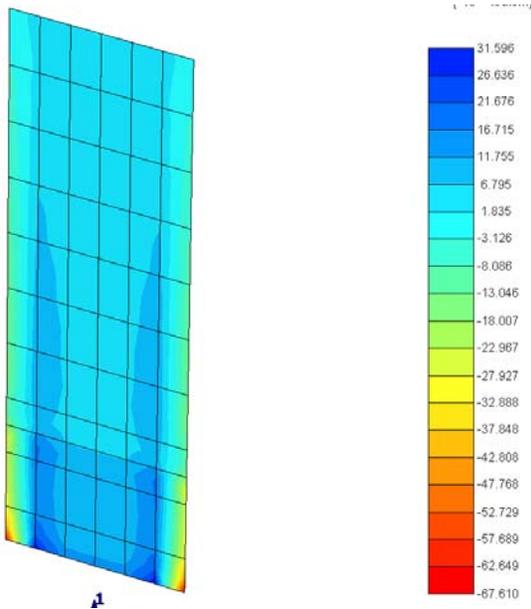


Figura 116 - Andamento momenti M22

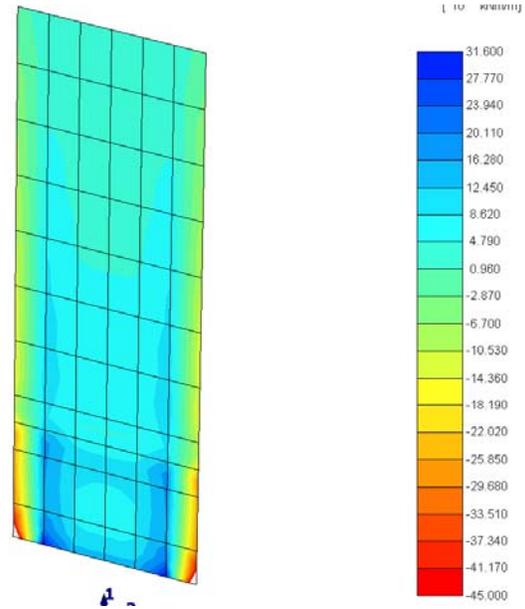


Figura 117 - Andamento M22 con sollecitazione compressa tra -450kNm/m e +300kNm/m

Di seguito sono riportati i risultati delle verifiche di sicurezza maggiormente gravose per le opere in esame, svolte con l'ausilio del programma di verifica delle sezioni RC-SEC (verifiche STR e verifiche SLE).

Le sollecitazioni utilizzate per le verifiche strutturali in direzione 1-1 sono sintetizzate nelle tabelle di seguito riportate:

PARETE 1 - SOLLECITAZIONI LONGITUDINALI															
	A1M1 SLU			A1M1 SLV			A2M2 SLU			A2M2 SLV			A1M1 SLD		
	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]
0-30	-176.8	925.6	68.9	-117	706	59	-158	890	144	144	1075	79	-132	774	21
30-..	377	497.9	20.8	360	350	120	311	345	-60	374	398	80	-325	1744	820

PARETI 2 e 4 - SOLLECITAZIONI LONGITUDINALI															
	A1M1 SLU			A1M1 SLV			A2M2 SLU			A2M2 SLV			A1M1 SLD		
	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]
0-30	117	796.9	247	-106	593	22	92	42	-155	96	883	166	94	681	21
30-..	-403	1985.1	97.5	-375	2452	-534	-440	1994	150	-445	2530	655	-320	1706	90

PARETE 3 - SOLLECITAZIONI LONGITUDINALI															
	A1M1 SLU			A1M1 SLV			A2M2 SLU			A2M2 SLV			A1M1 SLD		
	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]
0-30	-201.5	231.4	28.6	-158	283	16	-245	69	-68	-123	510	47	-155	195	20
30-..	-302.9	178.1	59.8	-250	55	13	-175	309	87	-235	112	66	-245	156	45

Le sollecitazioni utilizzate per le verifiche strutturali in direzione 2-2 sono sintetizzate nelle tabelle di seguito riportate:

PARETE 1 - SOLLECITAZIONI TRASVERSALI INCASTRO															
	A1M1 SLU			A1M1 SLV			A2M2 SLU			A2M2 SLV			A1M1 SLD		
	M <sub>22</sub> [kNm/m]	N <sub>2</sub> [kN/m]	Q <sub>23</sub> [kN/m]	M <sub>22</sub> [kNm/m]	N <sub>2</sub> [kN/m]	Q <sub>23</sub> [kN/m]	M <sub>22</sub> [kNm/m]	N <sub>2</sub> [kN/m]	Q <sub>23</sub> [kN/m]	M <sub>22</sub> [kNm/m]	N <sub>2</sub> [kN/m]	Q <sub>23</sub> [kN/m]	M <sub>22</sub> [kNm/m]	N <sub>2</sub> [kN/m]	Q <sub>23</sub> [kN/m]
0-30	468	737.1	286	-576	614	319	-455	679	296	-665	749	-392	-440	562	258
30-..	-776.1	1742	360.1	-760	1807	670	-660	1359	286	-800	1152	520	-590	1712	616

PARETI 2 e 4 - SOLLECITAZIONI TRASVERSALI INCASTRO															
	A1M1 SLU			A1M1 SLV			A2M2 SLU			A2M2 SLV			A1M1 SLD		
	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]
0-30	-406.9	1619.8	341.9	-416	816	-297	-402	1638	337	-464	883	145	-382	643	256
30-..	-851.5	3075.8	1120.6	-749	912	-793	-722	821	1114	-744	2900	923	-701	2560	867

PARETE 3 - SOLLECITAZIONI TRASVERSALI INCASTRO															
	A1M1 SLU			A1M1 SLV			A2M2 SLU			A2M2 SLV			A1M1 SLD		
	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]
0-30	-361.4	156	-491.4	-295	138	483	-356	17	-576	-372	170	627	-285	-47	-452
30-..	-868.4	1501.5	1235	-695	275	83	-700	1623	-876	-703	239	969	-689	987	948

PARETE 1 - SOLLECITAZIONI TRASVERSALI CAMPATA															
	A1M1 SLU			A1M1 SLV			A2M2 SLU			A2M2 SLV			A1M1 SLD		
	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]
0-30	295.1	1097.2	15.6	427	1641	13	282	1012	22	460	1562	80	301	1146	13
30-..	362.7	101.4	158.6	425	899	137	330	281	227	460	1562	80	340	1285	59

PARETI 2 e 4 - SOLLECITAZIONI TRASVERSALI CAMPATA															
	A1M1 SLU			A1M1 SLV			A2M2 SLU			A2M2 SLV			A1M1 SLD		
	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]
0-30	100.1	869.7	-24.7	121	1967	47	23	39	107	57	379	317	14	65	103
30-..	100.1	869.7	-24.7	22	159	153	107	821	30	57	379	317	125	1639	24

PARETE 3 - SOLLECITAZIONI TRASVERSALI CAMPATA															
	A1M1 SLU			A1M1 SLV			A2M2 SLU			A2M2 SLV			A1M1 SLD		
	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]	M <sub>11</sub> [kNm/m]	N <sub>1</sub> [kN/m]	Q <sub>13</sub> [kN/m]
0-30	263.9	204.1	226.2	272	73	205	260	196	247	328	32	277	229	68	186
30-..	440.7	575.9	830.7	459	74	679	376	732	400	473	248	731	391	289	633

### 11.2.6.1 Stato limite di esercizio – direzione 1-1

- **Verifiche a Presso flessione**

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte per la zona delle contropareti compresa tra il piano campagna e -30m:

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm <sup>2</sup> ])
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm <sup>2</sup> ])
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
Af eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza media in cm tra le barre tese efficaci (verifica fess.)

N.Comb.	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Yf min	Dw Eff.	Ac eff.	Af eff.
1	S	46.7	0.0	0.0	0.0	-287	6.0	20.0	939	15.7
2	S	48.5	0.0	0.0	0.0	-405	6.0	9.4	939	15.7
3	S	33.6	50.0	0.0	50.0	-89	44.0	20.0	629	15.7
4	S	32.0	50.0	0.0	50.0	-114	44.0	6.3	629	15.7
5	S	58.8	0.0	0.0	0.0	-1884	6.0	9.4	939	15.7
6	S	58.7	0.0	0.0	0.0	-1935	6.0	9.4	939	15.7

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte per la parte inferiore delle pareti:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0140_F0	Rev F0	Data 20-06-2011

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata										
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm <sup>2</sup> ])										
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)										
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm <sup>2</sup> ])										
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,0)										
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]										
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)										
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre										
Ac eff.	Area di congl. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)										
Af eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)										
D barre	Distanza media in cm tra le barre tese efficaci (verifica fess.)										
N.Comb.	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Yf min	Dw Eff.	Ac eff.	Af eff.	Dbarre

N.Comb.	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Yf min	Dw Eff.	Ac eff.	Af eff.	Dbarre
9.8	1	S	80.1	50.0	0.0	50.0	-1811	44.0	20.0	1622	31.4
9.8	2	S	96.8	0.0	0.0	0.0	-548	6.0	20.0	903	31.4
9.8	3	S	91.6	0.0	0.0	0.0	-634	6.0	9.0	903	31.4
9.8	4	S	92.2	0.0	0.0	0.0	-482	6.0	9.0	869	31.4
9.8	5	S	62.6	0.0	0.0	0.0	-1702	6.0	8.7	869	31.4
9.8	6	S	66.0	0.0	0.0	0.0	-1772	6.0	8.7	869	31.4

Le verifiche risultano soddisfatte.

• **Verifiche a fessurazione**

Le verifiche sono state condotte in accordo con quanto illustrato nel paragrafo 7.5.4.3

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte per la zona delle contropareti compresa tra il piano campagna e -30m. Viste le condizioni ambientali non aggressive, il valore limite di apertura delle fessure è stato assunto pari a  $w_3=0,4\text{mm}$ .

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata										
ScImax	Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm <sup>2</sup> ]										
ScImin	Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm <sup>2</sup> ]										
Sc Eff	Tensione al limite dello spessore efficace nello STATO I [daN/cm <sup>2</sup> ]										
K3	Coeff. di normativa = $0,25 (ScImin + ScEff) / (2 ScImin)$										
Beta12	Prodotto dei Coeff. di aderenza $Beta1 * Beta2$										
Eps	Deformazione unitaria media tra le fessure										
Srm	Distanza media in mm tra le fessure										
Ap.fess.	Apertura delle fessure in mm = $1,7 * Eps * Srm$										

N.Comb.	Ver	ScImax	ScImin	Sc Eff	K3	Beta12	Eps	Srm	Ap.Fess.
1	S	41.4	-13.1	0.0	0.125	1.0	0.000057	204	0.020
2	S	41.1	-15.0	-4.5	0.162	1.0	0.000081	222	0.031
3	S	31.8	-6.9	0.0	0.125	1.0	0.000018	184	0.006

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE "PAPARDO" – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0140_F0	Rev F0	Data 20-06-2011

4	S	29.8	-7.4	-2.7	0.171	1.0	0.000023	199	0.008
5	S	35.5	-28.4	-16.4	0.197	1.0	0.000377	238	0.153
6	S	35.2	-28.7	-16.7	0.198	1.0	0.000395	239	0.160

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte per la parte inferiore delle pareti:

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
ScImax	Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm <sup>2</sup> ]
ScImin	Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm <sup>2</sup> ]
Sc Eff	Tensione al limite dello spessore efficace nello STATO I [daN/cm <sup>2</sup> ]
K3	Coeff. di normativa = 0,25 (ScImin + ScEff)/(2 ScImin)
Beta12	Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2
Eps	Deformazione unitaria media tra le fessure
Srm	Distanza media in mm tra le fessure
Ap.fess.	Apertura delle fessure in mm = 1,7*Eps*Srm

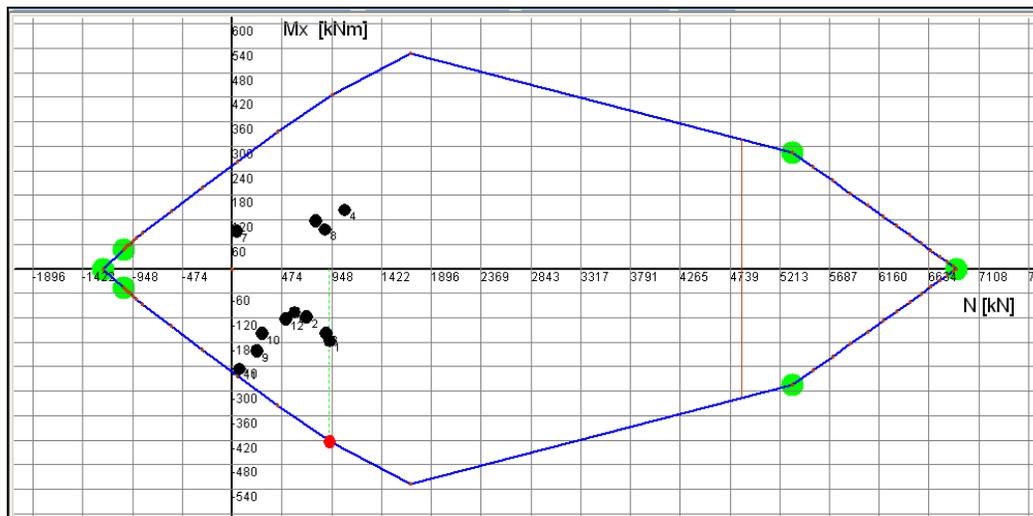
N.Comb.	Ver	ScImax	ScImin	Sc Eff	K3	Beta12	Eps	Srm	Ap.Fess.
1	S	58.9	-46.0	-4.0	0.136	1.0	0.000697	176	0.208
2	S	88.1	-29.4	0.0	0.125	1.0	0.000120	148	0.030
3	S	81.8	-30.4	-10.1	0.167	1.0	0.000149	158	0.040
4	S	84.5	-27.1	-6.9	0.157	1.0	0.000096	154	0.025
5	S	44.5	-39.8	-25.2	0.204	1.0	0.000589	165	0.165
6	S	46.9	-41.7	-26.3	0.204	1.0	0.000637	165	0.178

**11.2.6.2 Stato limite ultimo – direzione 1-1**

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche di sicurezza a pressoflessione e taglio relative alle sollecitazioni massime.

• **Verifiche a Pressoflessione**

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte per la zona delle contropareti compresa tra il piano campagna e -30m

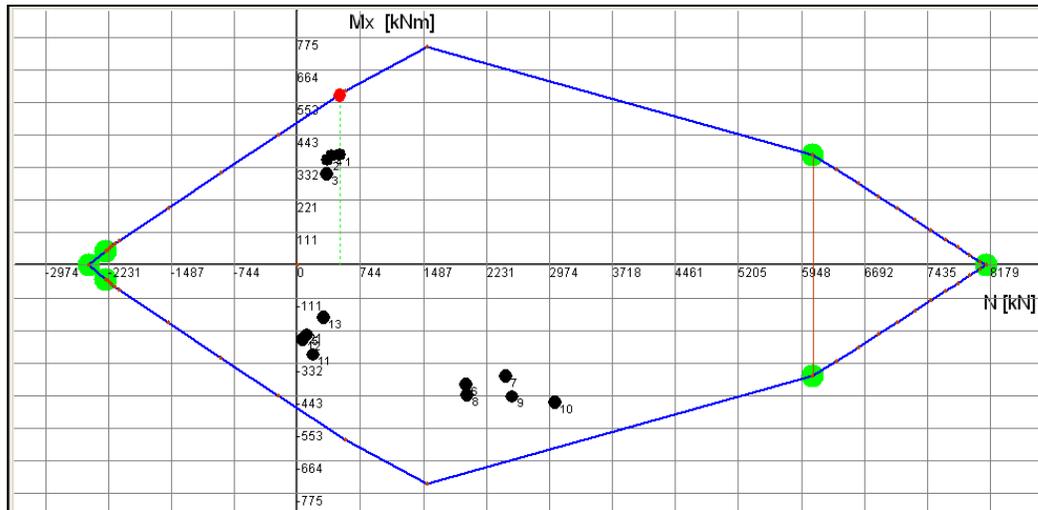


**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x baricentrico
N ult	Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$
Yneutro	Ordinata [in cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura misurato in presenza di sola flessione (travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue Area efficace barre inf. (per presenza di torsione)= 15.7 cm <sup>2</sup> Area efficace barre sup. (per presenza di torsione)= 15.7 cm <sup>2</sup>

N.Comb.	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	Yneutro
1	S	92560	-17680	92548	-42314	2.393	11.2
2	S	70600	-11700	70612	-38508	3.291	9.8
3	S	89000	-15800	88975	-41705	2.640	11.0
4	S	107000	14400	107014	44706	3.105	37.7
5	S	79690	11700	79687	40105	3.428	39.6
6	S	59300	-10600	59303	-36472	3.441	9.1
7	S	4200	9200	4185	26110	2.838	43.6
8	S	88300	9600	88304	41591	4.332	39.1
9	S	23140	-20150	23152	-29740	1.476	7.2
10	S	28300	-15800	28298	-30714	1.944	7.4
11	S	6900	-24500	6904	-26633	1.087	6.5
12	S	51000	-12300	50983	-34951	2.842	8.6

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte per la parte inferiore delle pareti:



**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)  
 Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x baricentrico  
 N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)  
 Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x baricentrico  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult) e (N, Mx)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
 Yneutro Ordinata [in cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,0 sez.  
 x/d Rapp. di duttilità a rottura misurato in presenza di sola flessione (travi)  
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue  
 Area efficace barre inf. (per presenza di torsione)= 31.4 cm<sup>2</sup>  
 Area efficace barre sup. (per presenza di torsione)= 31.4 cm<sup>2</sup>

N.Comb.	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	Yneutro
1	S	49790	37700	49813	57927	1.537	40.3
2	S	35000	36000	34992	55211	1.534	40.9
3	S	34500	31100	34496	55120	1.772	40.9
4	S	39800	37400	39801	56098	1.500	40.7
5	S	11200	-23500	11200	-50789	2.161	8.2
6	S	198500	-40300	198503	-78468	1.947	21.6
7	S	245200	-37500	245192	-80746	2.153	26.7
8	S	199400	-44000	199396	-78531	1.785	21.7
9	S	253000	-44500	253012	-80933	1.819	27.6
10	S	304000	-46500	304007	-76432	1.644	30.4
11	S	17810	-30290	17805	-52022	1.717	8.4
12	S	5500	-25000	5505	-49718	1.989	8.0
13	S	30900	-17500	30886	-54453	3.112	8.9

• **Verifiche a taglio**

La sollecitazione a taglio sulle pareti raggiunge valori elevati solo in alcune zone localizzate; verrà quindi predisposta un'armatura minima a taglio con eventuali infittimenti ove necessario.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

### 11.2.6.3 Stato limite di esercizio – direzione 2-2

- **Verifiche a Pressoflessione**

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte per la zona centrale delle contropareti:

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm <sup>2</sup> ])
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm <sup>2</sup> ])
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
Af eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza media in cm tra le barre tese efficaci (verifica fess.)

N.Comb.	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Yf min	Dw Eff.	Ac eff.	Af eff.	
Dbarre											
9.8	1	S	97.6	50.0	0.0	50.0	-992	44.0	20.0	1188	31.4
9.8	2	S	110.2	50.0	0.0	50.0	-1130	44.0	11.9	1188	31.4
9.8	3	S	73.5	50.0	0.0	50.0	-769	44.0	11.9	1188	31.4
9.8	4	S	24.9	50.0	0.0	50.0	-268	44.0	11.9	1188	31.4
9.8	5	S	97.6	50.0	0.0	50.0	-992	44.0	11.9	1188	31.4
9.8	6	S	110.2	50.0	0.0	50.0	-1130	44.0	11.9	1188	31.4
9.8	7	S	28.5	50.0	0.0	50.0	-10	44.0	11.9	348	31.4
9.8	8	S	4.6	50.0	0.0	50.0	-35	44.0	3.5	348	31.4
0.0	9	S	56.2	50.0	2.9	50.0	140	44.0	0.0	0	0.0
9.8	10	S	47.8	50.0	0.0	50.0	-997	44.0	3.5	348	31.4
9.8	11	S	103.6	50.0	0.0	50.0	-2155	44.0	3.5	348	31.4
9.8	12	S	66.7	50.0	0.0	50.0	-1778	44.0	3.5	348	31.4
9.8	13	S	116.4	50.0	0.0	50.0	-2786	44.0	3.5	348	31.4

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte per la zona di incastro delle contropareti:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [daN/cm <sup>2</sup> ]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [daN/cm <sup>2</sup> ]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,0)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
Af eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza media in cm tra le barre tese efficaci (verifica fess.)

N.Comb. Ver Sc max Yc max Sc min Yc min Sf min Yf min Dw Eff. Ac eff. Af eff.  
Dbarre

N.Comb.	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Yf min	Dw Eff.	Ac eff.	Af eff.	
9.8	1	S	115.9	0.0	0.0	0.0	-1996	6.0	22.8	1476	45.2
9.8	2	S	96.3	0.0	0.0	0.0	-1534	6.0	14.8	1433	45.2
9.8	3	S	102.7	0.0	0.0	0.0	-1590	6.0	14.3	1418	45.2
9.8	4	S	91.9	0.0	0.0	0.0	-724	6.0	14.2	1057	45.2
9.8	5	S	68.7	0.0	0.0	0.0	-1695	6.0	10.6	1057	45.2
9.8	6	S	45.4	0.0	0.0	0.0	-910	6.0	10.6	1057	45.2

• **Verifiche a fessurazione**

Le verifiche sono state condotte in accordo con quanto illustrato nel paragrafo 7.5.4.3. Viste le condizioni ambientali non aggressive, il valore limite di apertura delle fessure è stato assunto pari a  $w_3=0,4\text{mm}$ .

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte per la zona centrali delle contropareti:

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
ScImax	Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm <sup>2</sup> ]
ScImin	Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm <sup>2</sup> ]
Sc Eff	Tensione al limite dello spessore efficace nello STATO I [daN/cm <sup>2</sup> ]
K3	Coeff. di normativa = 0,25 (ScImin + ScEff)/(2 ScImin)
Beta12	Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2
Eps	Deformazione unitaria media tra le fessure
Srm	Distanza media in mm tra le fessure
Ap.fess.	Apertura delle fessure in mm = 1,7*Eps*Srm

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

N.Comb.	Ver	ScImax	ScImin	Sc Eff	K3	Beta12	Eps	Srm	Ap.Fess.
1	S	81.9	-38.0	0.0	0.125	1.0	0.000328	157	0.088
2	S	92.3	-43.0	-10.9	0.157	1.0	0.000416	167	0.118
3	S	61.4	-29.0	-7.5	0.157	1.0	0.000160	167	0.046
4	S	20.7	-9.9	-2.7	0.158	1.0	0.000054	168	0.015
5	S	81.9	-38.0	-9.5	0.156	1.0	0.000328	167	0.093
6	S	92.3	-43.0	-10.9	0.157	1.0	0.000416	167	0.118
7	S	28.1	-3.7	0.0	0.125	1.0	0.000002	131	0.000
8	S	4.0	-1.6	-1.2	0.219	1.0	0.000007	139	0.002
9	S	56.2	2.9	0.0	0.000	1.0	0.000000	0	0.000
10	S	35.2	-26.1	-21.9	0.230	1.0	0.000199	140	0.047
11	S	76.2	-56.5	-47.3	0.230	1.0	0.000913	140	0.217
12	S	47.0	-41.8	-35.6	0.232	1.0	0.000640	140	0.153
13	S	83.5	-68.6	-58.0	0.231	1.0	0.001248	140	0.297

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte per la zona di incastro delle contropareti:

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE**

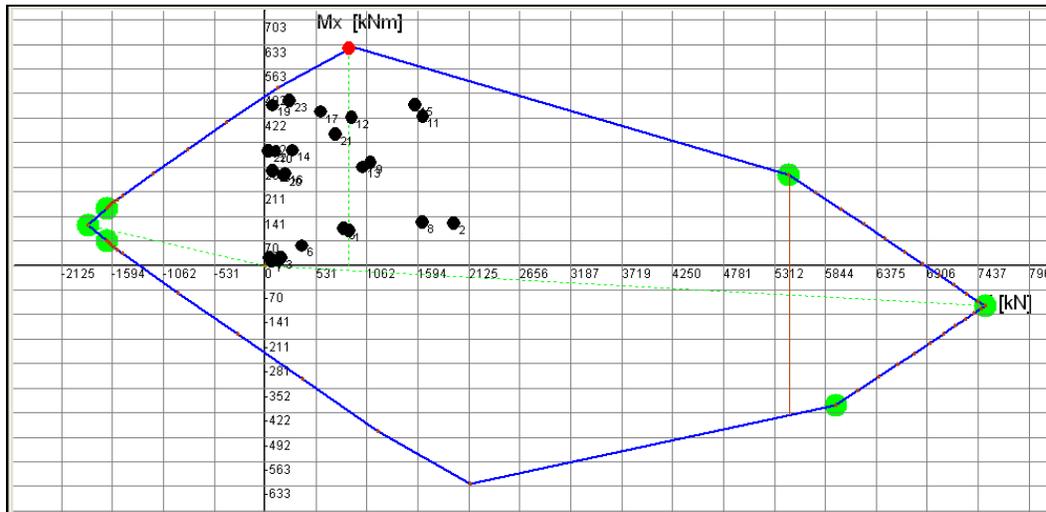
N.Comb.	Ver	ScImax	ScImin	Sc Eff	K3	Beta12	Eps	Srm	Ap.Fess.
1	S	92.3	-66.8	0.0	0.125	1.0	0.000888	155	0.234
2	S	77.5	-53.0	-14.5	0.159	1.0	0.000634	164	0.177
3	S	83.0	-55.7	-15.9	0.161	1.0	0.000670	164	0.187
4	S	81.4	-35.0	-2.0	0.132	1.0	0.000218	145	0.054
5	S	52.1	-49.3	-27.9	0.196	1.0	0.000677	159	0.184
6	S	35.3	-28.6	-15.1	0.191	1.0	0.000183	158	0.049

#### 11.2.6.4 Stato limite ultimo – direzione 2-2

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche di sicurezza a pressoflessione e taglio relative alle sollecitazioni massime.

- **Verifiche a Pressoflessione**

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte per la zona centrale delle contropareti:



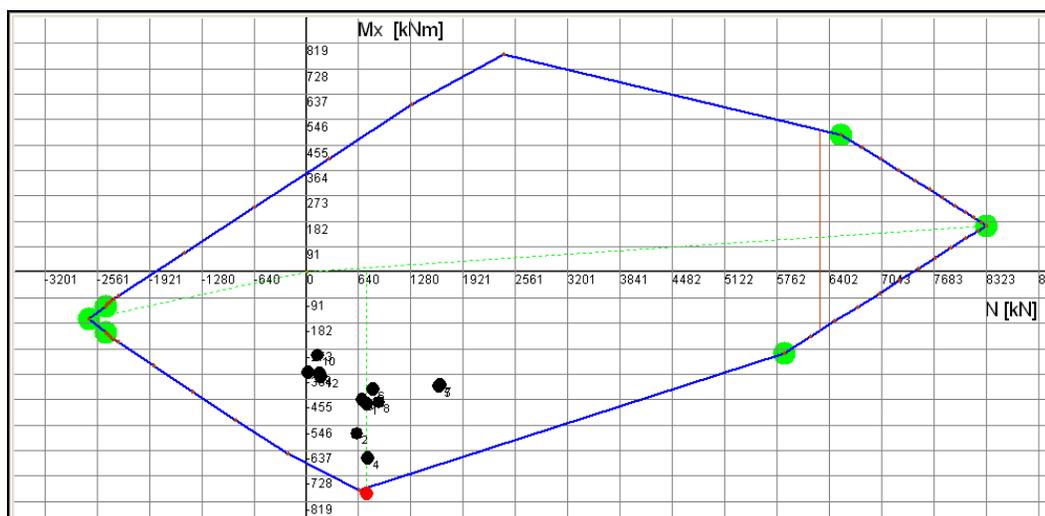
**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)  
 Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x baricentrico  
 N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)  
 Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x baricentrico  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult) e (N, Mx)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
 Yneutro Ordinata [in cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.  
 x/d Rapp. di duttilità a rottura misurato in presenza di sola flessione (travi)  
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue  
 Area efficace barre inf. (per presenza di torsione)= 31.4 cm<sup>2</sup>  
 Area efficace barre sup. (per presenza di torsione)= 15.7 cm<sup>2</sup>

N.Comb.	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	Yneutro
1	S	86970	10010	86982	62152	5.589	33.8
2	S	196700	12100	196712	69349	4.776	21.9
3	S	15900	2200	15904	51379	21.095	39.8
4	S	3900	2300	3930	49251	20.889	40.5
5	S	82100	10700	82116	61580	5.248	34.3
6	S	37900	5700	37922	55135	8.860	38.3
7	S	6500	1400	6481	49709	33.183	40.4
8	S	163900	12500	163898	68341	4.711	25.4
9	S	109700	29510	109706	64539	2.122	31.3
10	S	10140	32670	10148	50363	1.539	40.2
11	S	164100	42700	164119	68351	1.567	25.4

12	S	89900	42500	89927	62487	1.455	33.5
13	S	101200	28200	101210	63702	2.192	32.3
14	S	28100	33000	28082	53481	1.613	39.0
15	S	156200	46000	156224	67966	1.454	26.3
16	S	20410	26390	20402	52161	1.965	39.5
17	S	57590	44070	57581	58288	1.316	36.8
18	S	7300	27200	7307	49857	1.830	40.3
19	S	7400	45900	7424	49878	1.086	40.3
20	S	19600	26000	19589	52020	1.989	39.6
21	S	73200	37600	73192	60475	1.591	35.3
22	S	3200	32800	3202	49121	1.497	40.6
23	S	24800	47300	24800	52923	1.118	39.2

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte per la zona di incastro delle contropareti:



**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

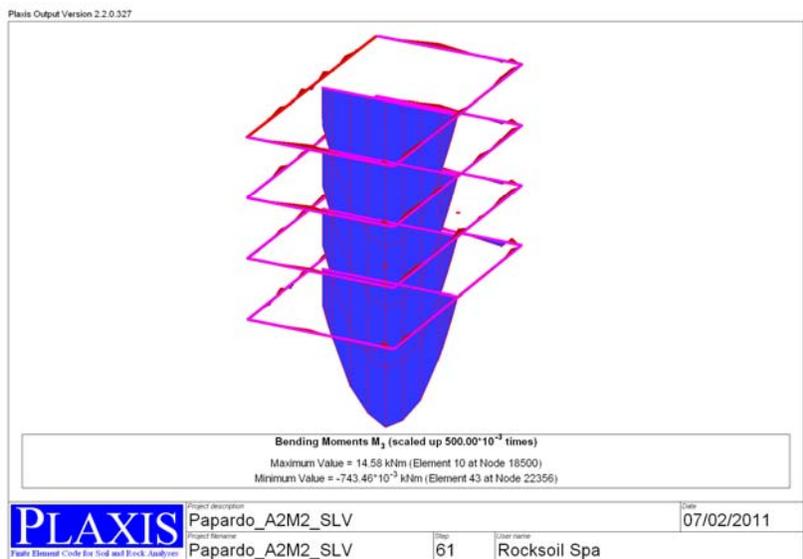
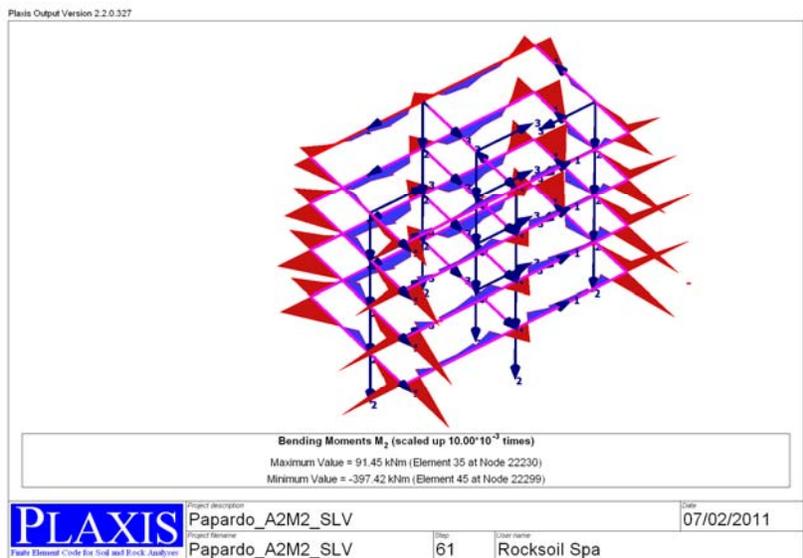
N.Comb.	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	Yneutro
1	S	73700	-46800	73724	-79072	1.668	17.7
2	S	61400	-57600	61388	-77734	1.342	16.3
3	S	67900	-45500	67880	-78454	1.703	17.0
4	S	74900	-66500	74895	-79192	1.187	17.8
5	S	161900	-40600	161923	-84615	2.003	27.3
6	S	81600	-41600	81619	-79854	1.885	18.5
7	S	163800	-40200	163805	-84655	2.022	27.5
8	S	88300	-46400	88279	-80473	1.707	19.3
9	S	15600	-36140	15610	-71263	1.963	12.2
10	S	13800	-29500	13810	-70962	2.392	12.1
11	S	1700	-35600	1715	-68923	1.935	11.4
12	S	17000	-37200	17010	-71493	1.913	12.3



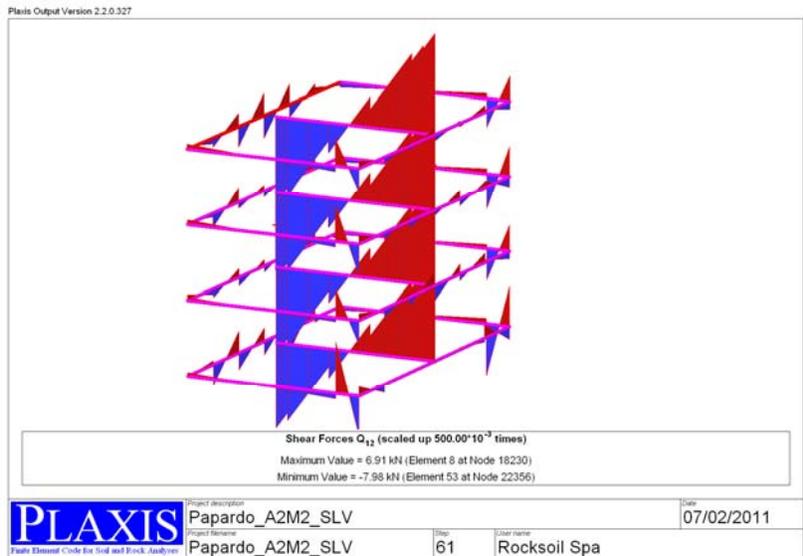
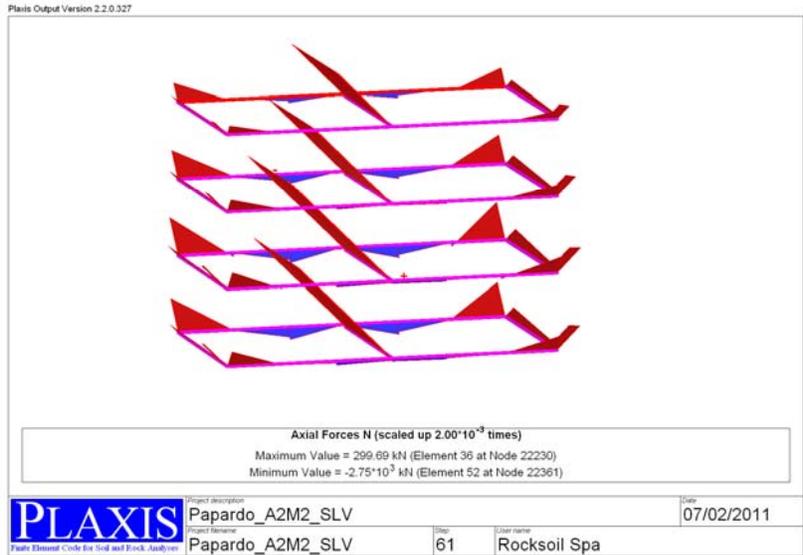
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

### 11.2.7 Verifica dei telai di contrasto

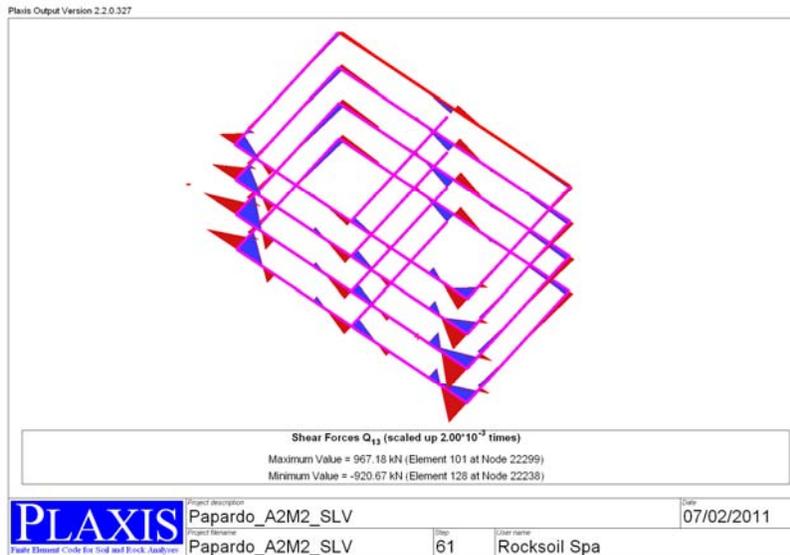
I telai di contrasto sono stati verificati tenendo conto delle massime sollecitazioni agenti sugli elementi della cerchiatura e sul puntone. Nelle immagini seguenti si riportano gli andamenti delle sollecitazione all'interno dei telai.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



### 11.2.7.1 Stato limite di esercizio

Le verifiche sono state condotte accertando che, in fase di esercizio, sia rispettata la seguente condizione:

$$\sigma_{id} \leq \sigma_s = 0.70 \times f_{yk} = 248.50 \text{ MPa}$$

dove

$$\sigma_{id} = \sqrt{\left(\sigma_{\max}^2(\bar{z}) + 3 \cdot \tau^2(\bar{z})\right)}$$

$$\sigma_{\max}(\bar{z}) = \frac{M_{\max}}{W} + \frac{N_{\max}}{A}$$

$$\tau(\bar{z}) = \frac{V_{\max}}{A_{ridotta}}$$

dove W e A sono pari rispettivamente al modulo di resistenza ed all'area della sezione metallica del profilato tipo HEB600.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

VERIFICA TELAI, SLE					
N	Mmax	Vmax	σ	τ	σ <sub>id</sub>
[kN]	[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
2750.0	15.0	8.0	103.2	0.5	103.2
899.0	168.0	250.0	48.0	14.9	54.6
666.0	381.0	970.0	58.1	57.9	116.0

**Tabella 64 – verifica dei telai di contrasto, SLE**

### 11.2.7.2 Stato limite ultimo

La verifica combinata momento flettente e taglio è stata condotta verificando che

$$M_{rd} \geq M_{sd} \text{ e } V_{rd} \geq V_{sd}$$

dove:

$M_{rd}, V_{rd}$  = sollecitazioni di progetto

$M_{sd}, V_{sd}$  = sollecitazioni resistenti di progetto

Le ipotesi che stanno alla base del calcolo a rottura richiedono che si possa formare, in corrispondenza della sezione sollecitata a momento flettente, una cerniera plastica prima che i fenomeni di instabilità locale penalizzino la resistenza della sezione.

La capacità della sezione di sviluppare rotazioni plastiche è assicurata se è rispettata la seguente condizione:

$$\frac{c}{f_f} \leq 10 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

dove :

c = lunghezza di metà profilato ;

$f_f$  = spessore dell'ala del profilato

$f_y$  = tensione di snervamento dell'acciaio

Dalle tabelle allegata è possibile evincere che le verifiche risultano tutte soddisfatte.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “PAPARDO” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0140_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

VERIFICA TELAI, SLU						
N <sub>Sd,max</sub> [kN]	M <sub>Sd,max</sub> [kNm]	V <sub>Sd,max</sub> [kN]	M <sub>cy,Rd</sub> [kNm]	V <sub>cy,Rd</sub> [kN]	N <sub>by,Rd</sub> [kN]	ρ [-]
3575.0	20.0	10.4	1927.5	2163.8	9128.6	0.38
1168.7	218.4	325.0	1927.5	2163.8	9128.6	0.23
865.8	495.3	1257.1	1927.5	2163.8	9128.6	0.35

**Tabella 65 - verifica dei telai di contrasto, SLU**