



PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO DEFINITIVO

EUROLINK S.C.p.A.

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

<p>IL PROGETTISTA</p>  <p>S.p.A. CONSULENZA E ASSISTENZA TECNICA nel campo della GEOINGEGNERIA</p> <p>Dott. Ing. G. Cassani Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n° 15408</p> 	<p>IL CONTRAENTE GENERALE</p> <p>Project Manager (Ing. P.P. Marcheselli)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Direttore Generale e RUP Validazione (Ing. G. Fiammenghi)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Amministratore Delegato (Dott. P. Ciucci)</p>
---	---	--	--

<i>Unità Funzionale</i>	COLLEGAMENTI SICILIA	ST0073_F0
<i>Tipo di sistema</i>	STAZIONI – OPERE CIVILI	
<i>Raggruppamento di opere/attività</i>	STAZIONE EUROPA	
<i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i>	GENERALE-OPERE CIVILI	
<i>Titolo del documento</i>	RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	

CODICE	C	G	0	8	0	0	P	C	L	D	S	C	S	3	S	G	0	0	0	0	0	0	0	1	F0
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

INDICE

INDICE	3
1 Introduzione	8
2 Riferimenti normativi e documentazione di riferimento	11
2.1 Criteri di verifica delle opere civili secondo D.M. 14 /01/ 2008	13
2.1.1 Criteri di dimensionamento	13
2.2 Elaborati di riferimento.....	16
3 Software utilizzati	18
4 Inquadramento generale delle opere di prima fase della stazione.....	20
4.1 Fasi realizzative della stazione	21
4.2 Esecuzione dei pannelli di diaframmi.....	21
4.2.1 Breve descrizione della Tecnologia.....	21
4.3 Esecuzione dei consolidamenti.....	26
5 Inquadramento Geologico – Geotecnico	30
5.1 Descrizione delle litologie	30
5.2 Indagini previste	31
5.3 Caratterizzazione geotecnica.....	32
6 Caratteristiche dei materiali.....	42
6.1 Paratie di prima fase.....	42
6.2 Strutture interne.....	43
6.3 Classi di esposizione Ambientali.....	44
7 Paratie di prima fase	47
7.1 Analisi numeriche e verifiche di sicurezza.....	47
7.2 Descrizione del modello di calcolo	47
7.3 Definizione e combinazioni delle azioni	59
7.3.1 Combinazioni delle azioni	59
7.3.2 Definizione delle azioni sismiche.....	61
7.3.3 Spinte dei terreni.....	64
7.3.4 Spinta dell’acqua di falda	67
7.3.5 Spinte dovute ai fabbricati.....	67
7.3.6 Azioni accidentali	68
7.3.7 Incremento sismico di spinta dei terreni	68

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

7.3.8	Azioni inerziali delle strutture in fase sismica	69
7.4	Risultati delle analisi	69
7.4.1	Analisi STR_Statica - A1+M1+R1	70
7.4.2	Analisi GEO_Statica – A2+M2+R2.....	75
7.4.3	Analisi STR_SLV_+Y – 1+M1+R1	76
7.4.4	Analisi STR_SLV_-Y – 1+M1+R1	78
7.4.5	Analisi GEO_SLV_+Y – 1+M2+R2.....	79
7.4.6	Analisi GEO_SLV_-Y – 1+M2+R2.....	81
7.4.7	Analisi STR_SLD_+Y – 1+M1+R1	82
7.4.8	Analisi STR_SLD_-Y – 1+M1+R1	83
7.4.9	Analisi GEO_SLD_+Y – 1+M2+R2	84
7.4.10	Analisi GEO_SLD_-Y – 1+M2+R2.....	85
7.5	Verifiche di sicurezza.....	87
7.5.1	Criteri di verifica per gli Stati limite ultimi (SLU).....	87
7.5.1.1	Verifiche SLU di tipo STR	87
7.5.1.2	Verifiche SLU di tipo GEO.....	89
7.5.2	Criteri di verifica per gli Stati limite di esercizio (SLE).....	91
7.5.2.1	Verifiche delle tensioni di esercizio.....	92
7.5.2.2	Verifiche di fessurazione	92
7.5.3	Descrizione degli elementi resistenti	93
7.5.4	Risultati delle verifiche	94
7.5.4.1	Verifiche SLU di tipo strutturale	95
7.5.4.2	Verifiche SLU di tipo geotecnico	96
7.5.4.3	Verifiche agli SLE.....	103
7.5.4.4	Verifica di carico limite dei diaframmi centrali	104
8	Strutture interne	106
8.1	Metodi di analisi.....	107
8.1.1	Le fasi dell’analisi	107
8.1.2	Il modello di calcolo strutturale.....	111
8.2	Analisi dei carichi.....	117
8.2.1	Peso proprio strutture (caso di carico Ggk)	117
8.2.2	Sovraccarichi permanenti (caso di carico Gk)	117
8.2.3	Sovraccarichi accidentali (caso di carico Qk)	118

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

8.2.4	Carico sismico (caso di carico Esk)	119
8.2.5	Tabella riassuntiva applicazione carichi	122
8.3	Applicazione dei carichi al modello numerico	123
8.3.1	Definizione dei tipi di carico	123
8.3.2	Definizione dei casi di carico	128
8.3.3	Combinazioni di carico	130
8.4	Risultati delle analisi e verifiche	133
8.4.1	Verifiche degli elementi strutturali	134
8.4.1.1	Contropareti	134
8.4.1.2	Pareti interne	140
8.4.1.3	Solai	145
8.4.1.4	Travi miste acciaio calcestruzzo	153
8.4.1.5	Travi perimetrali	158
8.4.1.6	Chiavi di taglio	162
8.4.1.7	Puntoni	164
8.4.1.8	Puntoni provvisionali	173
8.4.1.9	Travi di collegamento diaframmi interni	177
8.4.1.10	Platea di fondazione	186
8.4.2	Verifica Stato Limite di Danno	190
8.4.3	Verifiche al galleggiamento	191
9	Paratie di secondo ordine	193
9.1	Verifiche delle opere provvisionali di imbocco	194
9.1.1	Modello di calcolo	194
9.1.2	Analisi numeriche	194
9.1.3	Criteri di verifica	195
9.1.3.1	Stati limite ultimi	196
9.1.3.2	Stati limite di esercizio	198
9.1.3.3	Verifica dei trefoli	198
9.1.3.4	Stati limite di progetto	199
9.1.4	Definizione dei carichi agenti	199
9.1.4.1	Spinta del Terreno	199
9.1.4.2	Carico accidentale	200
9.1.4.3	Carico permanente	200

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

9.1.4.4	Carico Edifici.....	200
9.1.4.5	Carico sismico.....	200
9.1.5	Verifiche strutturali dei diaframmi.....	204
9.1.5.1	Stato limite di esercizio	204
9.1.5.2	Stato limite ultimo.....	208
9.1.6	Verifiche strutturali dei tiranti.....	214
9.1.6.1	Verifica dei trefoli	214
9.1.6.2	Verifica dell’ancoraggio	215
9.1.7	Verifiche SLU di tipo geotecnico	217
9.1.7.1	Verifica collasso per rotazione intorno a un punto dell’opera.....	218
9.1.7.2	Verifica degli ancoraggi allo sfilamento	220
10	Valutazione del danno sulle Preesistenze	221
10.1	Caratteristiche degli scavi.....	221
10.2	Preesistenze interferenti con gli scavi.....	221
10.3	Valutazione del profilo di subsidenza di scavi a cielo aperto.....	223
10.3.1	Effetti di bordo sulla distribuzione degli spostamenti indotti dagli scavi a cielo aperto	225
10.4	Risultati delle analisi dei cedimenti	228
10.4.1	Edificio 1448	228
11	Pozzi di ventilazione.....	231
11.1	Descrizione del modello di calcolo.....	232
11.2	Definizione e combinazioni delle azioni	237
11.2.1	Definizione delle azioni sismiche.....	237
11.2.2	Spinte dei terreni.....	239
11.2.3	Azioni accidentali	239
11.2.4	Azioni inerziali delle strutture in fase sismica	239
11.3	Risultati delle analisi	239
11.3.1	Analisi STR_Statica	240
11.3.2	Analisi GEO_Statica	241
11.3.3	Analisi STR_Sismica SLV	243
11.3.4	Analisi Sismica SLD.....	244
11.3.5	Analisi GEO_Sismica SLV	246
11.4	Verifiche strutturali dei diaframmi.....	247

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

11.4.1	Stato limite di esercizio	247
11.4.2	Stato limite ultimo	249
11.5	Verifiche strutturali dei tiranti	250
11.5.1	Verifica dei trefoli	251
11.5.2	Verifica dell’ancoraggio	251
ALLEGATI.....		255

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

1 Introduzione

Nella presente relazione si analizzano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione delle opere inerenti la realizzazione della Stazione “Europa”, 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 prossimità di viale Annunziata (vedi fig.1). La posizione geografica dell’opera è rintracciabile planimetricamente dalla seguenti coordinate E = 193471.01 N = 528069.56. La quota assoluta del piano campagna allo stato attuale è di circa 50 m s.l.m.



Figura 1 - Localizzazione geografica dell’area della stazione

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

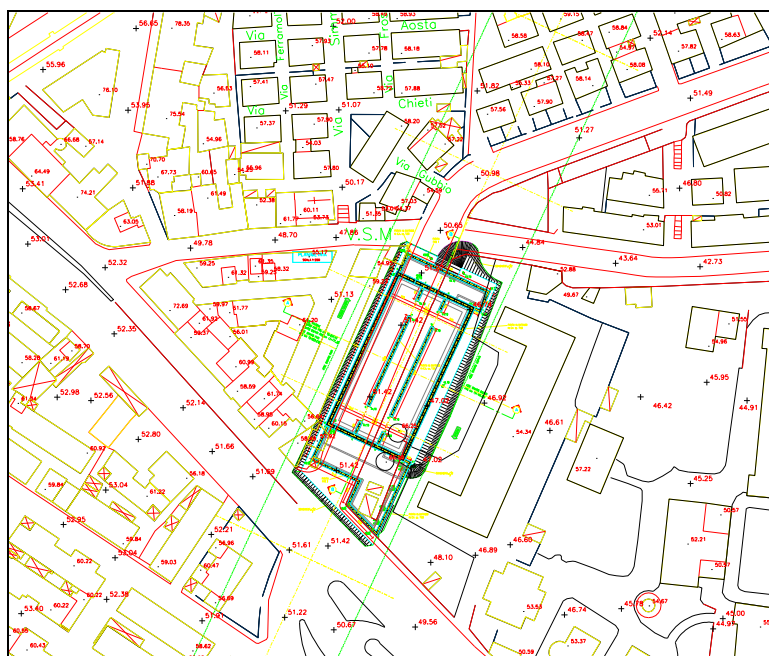


Figura 2- Planimetria generale della Stazione Europa

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. (150cm x 250cm) realizzati con la tecnologia dell’idrofresa, 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,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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 punto di vista geotecnico che dei carichi agenti (fase di terapia).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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*”

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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”*

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

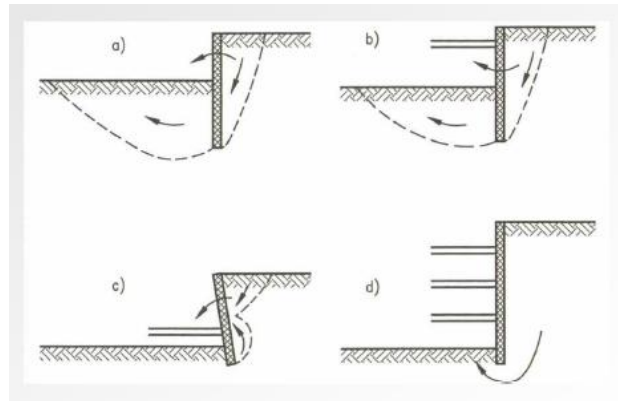


Figura 3– Meccanismi di collasso di una paratia (atto di moto rigido)

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.

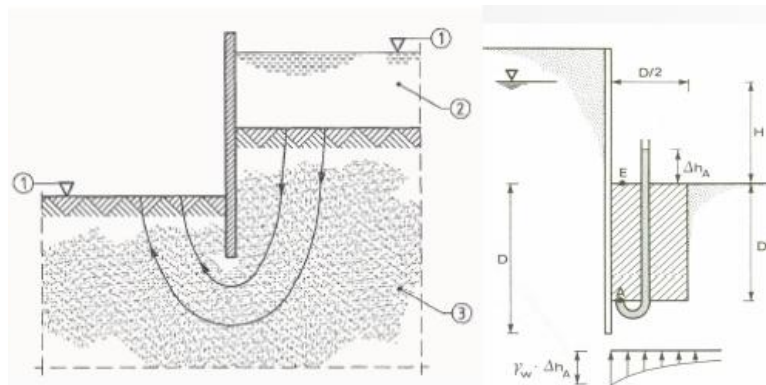


Figura 4- Esempio di verifica a sifonamento del fondo scavo

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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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 γ_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 γ_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	γ	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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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 considerato $V_R = 200$ anni. Per maggiori dettagli si rimanda agli specifici capitoli

2.2 Elaborati di riferimento

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

36 STUDI DI BASE												
36 Caratterizzazione geotecnica												
36 Generale												
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
36 Caratterizzazione geologica												
36 Generale												
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

48	STAZIONI - OPERE CIVILI													
48	Stazione Europa													
48	Generale - Opere civili													
48	Gallerie di Stazione - Carpenterie (TAV 1/2)	CG0800	P	BZ	D	S	CS	3S	G0	00	00	00	00	01
48	Gallerie di Stazione - Carpenterie (TAV 2/2)	CG0800	P	BZ	D	S	CS	3S	G0	00	00	00	00	02
48	Gallerie di Stazione - Scavi	CG0800	P	SZ	D	S	CS	3S	G0	00	00	00	00	01
48	Gallerie di Stazione - Consolidamenti	CG0800	P	SZ	D	S	CS	3S	G0	00	00	00	00	02
48	Opere sostegno scavi stazione - Planimetria e sezioni costruttive	CG0800	P	P9	D	S	CS	3S	G0	00	00	00	00	01
48	Opere sostegno scavi stazione - Schemi tampone di fondo	CG0800	P	DZ	D	S	CS	3S	G0	00	00	00	00	01
48	Opere si sostegno scavi stazione - Sviluppata e particolari costruttivi	CG0800	P	SZ	D	S	CS	3S	G0	00	00	00	00	03
48	Piante e sezioni strutturali - Carpenterie (TAV 1/2)	CG0804	P	BA	D	S	CS	3S	G0	00	00	00	00	01
48	Piante e sezioni strutturali - Carpenterie (TAV 2/2)	CG0804	P	BZ	D	S	CS	3S	G0	00	00	00	00	01
48	Inquadramento geologico	CG0800	P	P7	D	S	CS	3S	G0	00	00	00	00	01
48	Monitoraggio paratie	CG0800	P	SZ	D	S	CS	3S	G0	00	00	00	00	04

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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 rigidezza 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 rigidezza 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

4 Inquadramento generale delle opere di prima fase della stazione

La stazione ferroviaria Europa è prevista in corrispondenza della Pk 13+771.38 del binario dispari e della Pk 13+831.43 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 150cm x 250cm aventi altezze fuori terra e lunghezze di infissione variabili secondo quanto indicato negli specifici elaborati grafici, 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 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 Europa 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 x150cm.

- 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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. scavo di ribasso fino alla quota prevista per l'esecuzione dei diaframmi in c.a.;
4. realizzazione delle travi guida per l'esecuzione dei diaframmi in c.a.;
5. esecuzione dei diaframmi, di larghezza utile 250cm e di spessore 150cm (pannelli perimetrali) e 80cm (pannelli centrali), con scavo, posa in opera di armatura e getto del calcestruzzo;
6. realizzazione delle travi di testata dei diaframmi;
7. passaggio della fresa;
8. 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;
9. 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;
10. realizzazione delle controfodere perimetrali, previa posa dell'impermeabilizzazione, e delle strutture interne;
11. ripristino della viabilità locale.

4.2 Esecuzione dei pannelli di diaframmi

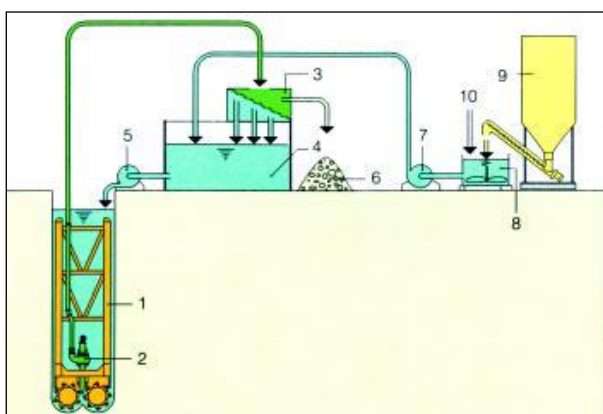
Come anticipato nei precedenti capitoli, la stazione in esame è interamente realizzata con il sistema “Top-down”; il sostegno delle pareti dello scavo, lungo tutto il perimetro della stazione, è ottenuto con diaframmi in calcestruzzo armato, di spessore 1,5 m e lunghezza variabile secondo quanto indicato negli elaborati grafici di progetto, realizzati con la tecnologia dell'idrofresa. Di seguito viene riportata un breve descrizione della tecnologia impiegata.

4.2.1 Breve descrizione della Tecnologia

In sintesi, lo scavo con idrofresa prevede la rimozione continua del terreno dal fondo dello scavo

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

tramite una testa fresante che riduce il materiale in una pezzatura tale da poter essere pompato in superficie, dopo essere stato mescolato alla sospensione bentonitica che riempie lo scavo in via di esecuzione e che lo sostiene in fase esecutiva. Il fango bentonitico, carico del materiale di smarino, viene pompato ad una unità di dissabbiamento posta in superficie e rientra nel circolo.



1. Idrofresa	6. Materiale scavato
2. Pompa aspirazione fanghi	7. Pompa centrifuga
3. Dissabbiatore	8. Mixer bentonite
4. Contenitore fanghi	9. Silos bentonite
5. Pompa centrifuga	10. Acqua

Figura 5- Layout di funzionamento dell'impianto

Tutte le altre operazioni (calaggio delle gabbie di armatura e getto del calcestruzzo) vengono eseguite analogamente a quanto avviene nel caso di scavo tradizionale con benna mordente.

I vantaggi che è possibile acquisire attraverso lo scavo con idrofresa sono sintetizzabili nei seguenti aspetti:

- velocità di esecuzione;
- controllo della verticalità (tenuta idraulica, regolarità delle strutture interne, sicurezza nei confronti di venute d'acqua improvvise);
- possibilità di evitare water-stop o altri giunti impermeabilizzanti;
- possibilità di superare facilmente strati litoidi o eventuali murature;
- migliore stabilità delle pareti dello scavo, grazie all'assenza dell'effetto pistone;
- assenza di vibrazioni.

Nel seguito si descrivono brevemente le principali componenti del sistema.

Testa di scavo

Il cuore del sistema idrofresa è costituito dalla testa di scavo, essa consiste in una struttura di acciaio con sezione orizzontale circa coincidente con quella del pannello da realizzare e altezza

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

superiore a 10 m circa.

Nella parte inferiore di tale struttura trovano posto le ruote fresanti, che ruotano attorno ad un asse orizzontale e sono azionate da riduttori idraulici indipendenti (in modo da consentire possibilità di manovra all’operatore). Il terreno rimosso dalle teste fresanti si mescola con il fango bentonitico presente nello scavo (a cui è demandata la funzione di supporto, durante lo scavo stesso) e viene aspirato da una scatola di aspirazione, dalla quale viene portato in superficie attraverso specifiche tubature idrauliche. Il sistema dispone di una elevata flessibilità, potendosi adattare a terreni di ogni natura: le ruote possono infatti essere attrezzate con cutter da roccia dura , roccia tenera, terreni granulari e anche argillosi; una accurata scelta dei taglienti consente di attraversare strati anche molto differenti tra loro senza alcun tipo di ripercussione su velocità di avanzamento e precisione del taglio. Inoltre, è possibile adattare la testa a differenti dimensioni dello scavo, attraverso la sostituzione delle ruote fresanti e la modifica della struttura di supporto.

La produttività dell’idrofresa è direttamente correlata con le seguenti caratteristiche:

- peso della testa fresante e conseguentemente forza di impatto verticale (eventualmente incrementabile attraverso una zavorra e regolabile attraverso un argano ad elevata sensibilità);
- coppia torcente generata dai riduttori delle ruote fresanti (da coordinare con la prima caratteristica, regolabile attraverso il circuito idraulico);
- caratteristiche dei taglienti (utensili fissi per terreni e rocce tenere, rotanti a bottone per rocce dure);
- portata della pompa centrifuga che aspira il fango carico di terreno e lo invia continuamente all’impianto dissabbiatore; le portate, in funzione della velocità di avanzamento, possono arrivare a 700 mc/h.

Le produzioni possono arrivare a valori molto elevati, con punte di 60mc/h; rispetto allo scavo con benna i maggiori vantaggi in termini di produzione si ottengono per pannelli profondi: essendo lo scavo continuo, si evitano infatti le ripetute operazioni di estrazione ed inserimento della benna.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

1. Struttura dell'idrofresa
2. Cilindro di spinta (opzionale)
3. Pompa fanghi
4. Riduttore
5. Ruote di taglio
6. Scatola di aspirazione
7. Pattini di sterzata
8. Puleggia
9. Tubi idraulici
10. Tubazione fanghi

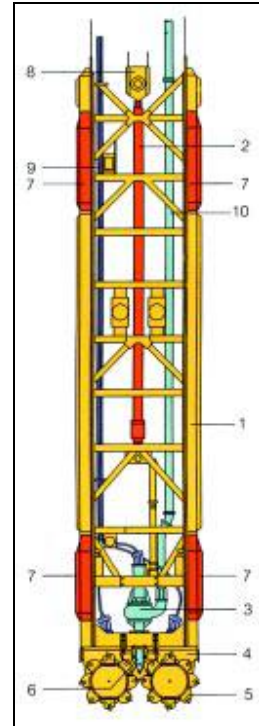


Figura 6- Schematizzazione del Cutter

Il controllo della verticalità avviene in continuo attraverso la lettura in remoto, da parte dell'operatore, di un inclinometro posto all'interno della struttura della testa fresante; in funzione di scostamenti e angolazioni rilevate, l'operatore può agire su pattini di guida, che intervengono sulla posizione della testa, correggendo in tempo reale eventuali deviazioni.

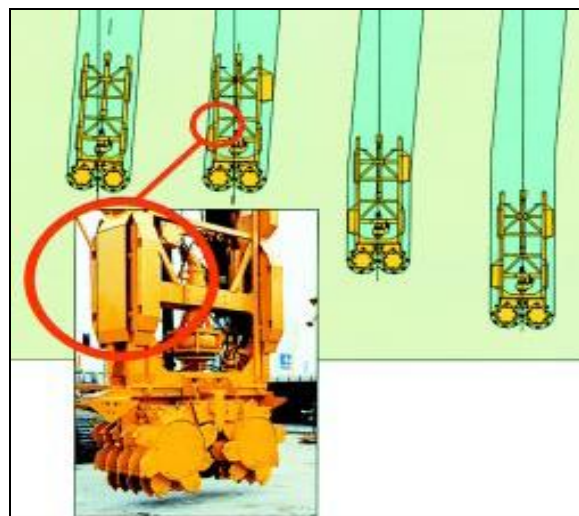


Figura 7- Controllo della verticalità

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Attrezzatura esterna

Sistema di guida dei condotti idraulici: per mantenere sempre in tensione i tubi idraulici il metodo classico (HTS Hose Tensioning System) prevede due ruote ad argano guidate, la cui corsa deve essere circa la metà della profondità di scavo; è quindi richiesta una gru con braccio di altezza importante; i più moderni sistemi di avvolgimento dei tubi by-passano tale problema, consentendo profondità di scavo anche superiori a 100 m con ingombri della macchina accettabili e con una antenna dell'ordine di 10-15 m.

Carro cingolato: le caratteristiche del carro possono essere anche molto differenti, in funzione della scelta del sistema di guida dei condotti idraulici (sopra descritta) e della scelta di posizionamento dei gruppi di potenza idraulica, che possono essere a bordo del carro o a terra.

Impianto fanghi: il fango bentonitico carico di terreno scavato viene inviato all'impianto di dissabbiamento, dove le particelle solide vengono rimosse; la bentonite viene rimessa in circolo e rinviata all'interno dello scavo.

La portata e la capacità di dissabbiamento dell'impianto devono essere dimensionate in funzione del tipo di terreno e delle produzioni previste; ove necessario è possibile utilizzare impianti modulari, per meglio adattare la capacità di dissabbiamento alle caratteristiche della fresa. Per le sue dimensioni e la sua importanza per il corretto funzionamento del sistema, l'impianto fanghi rappresenta il componente più importante dell'impianto tecnologico complessivo, assieme alla testa fresante.

Sistema di controllo: l'intero sistema viene controllato da un unico operatore; all'interno della cabina di comando convergono le seguenti informazioni relative alle procedure di scavo ed alla macchina:

- pressioni idrauliche;
- profondità dello scavo;
- velocità di rotazione delle ruote fresanti;
- portata della pompa di smarino;
- deviazione dalla verticale, sui due assi orizzontali, attuale e tendenziale;
- tempo e velocità di scavo.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Tutti i parametri, oltre ad essere visibili all’operatore, vengono registrati e possono entrare a far parte del report di scavo.

Metodologia operativa

1. Scavo in trincea fino alla quota testa diaframmi, tracciamento e getto in opera dei muri guida (o di correa) in cls;
2. Preparazione ed accumulo del fango bentonitico;
3. Prescavo con macchina a benna mordente per una profondità tale da garantire l’immorsamento della testa fresante e il pescaggio della pompa di smarino (circa 3 m minimo);
4. Eventuale posa della struttura di invito alla fresa, inserimento della testa fresante e collegamento dei circuiti del fango (mandata e aspirazione);
5. Scavo, continuo, fino alla quota prevista (durante tutto lo scavo le pareti sono sostenute dal fango bentonitico, il cui livello deve coincidere, circa, con la base dei muri guida
6. Inserimento della gabbia di armatura;
7. Getto del calcestruzzo con tubi getto componibili ad innesto rapido e recupero del fango bentonitico.
8. Realizzati, in questo modo, due pannelli primari, è possibile eseguire il pannello secondario tra essi compreso; lo scavo sarà sovrapposto a quello dei pannelli primari; le ruote freseranno quindi il calcestruzzo dei pannelli primari, in modo che il successivo getto del pannello secondario sia perfettamente compenetrato con il precedente; in tal modo si rende inutile l’utilizzo di giunti impermeabilizzanti (mezzi tubi, ecc.).
9. 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. E’ previsto inoltre un tampone di fondo sempre da realizzarsi tramite jet-grouting: l’intervento di riduzione della permeabilità ipotizzato è legato all’elevato grado di fratturazione

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

probabilmente presente al contatto litostratigrafico tra le metamorfite e i depositi alluvionali. Tale tampone di fondo non ha funzione statica e non viene considerato nelle analisi numeriche, ma ha il solo scopo di ridurre la permeabilità al fine di garantire il più agevolmente possibile il mantenimento del fondo scavo asciutto durante le fasi finali di ribasso.

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

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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 rotopercussione 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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

5 Inquadramento Geologico – Geotecnico

5.1 Descrizione delle litologie

Le litologie prevalenti sono costituite dalla formazione dei Depositi alluvionali e delle Metamorfiti. I Depositi alluvionali sono costituiti da ghiaie poligeniche ed eterometriche, giallastre o brune a clasti prevalentemente arrotondati di diametro da 2 a 30 cm, clasti sostenuti o a supporto di matrice argilloso-sabbiosa, alternate a rari sottili livelli di sabbie argillose rossastre; sabbie ciottolose a supporto di matrice argilloso-terrosa. L'età dei depositi alluvionali terrazzati è Pleistocene medio-superiore.

I depositi alluvionali recenti sono costituiti da limi e sabbie con livelli di ghiaie a supporto di matrice terroso-argillosa, talora terrazzati, localizzati in aree più elevate rispetto agli alvei fluviali attuali. La componente ruditica è rappresentata da ciottoli poligenici, prevalentemente cristallini, da spigolosi a subarrotondati di diametro tra 1 e 10 cm, mediamente di 4-5 cm. L'età dei depositi alluvionali recenti è l'Olocene.

Le Metamorfiti, parte di un complesso metamorfico intruso caratterizzante la zona dell'unità dell'Aspromonte, sono interessate da una tettonica responsabile di effetti da cataclastici e milonitici. La porzione geometricamente inferiore dell'unità è costituita da paragneiss biotitici passanti a micascisti, localmente associati a corpi di gneiss occhiadini e metagraniti, con intercalazioni di anfiboliti, quarziti e marmi.

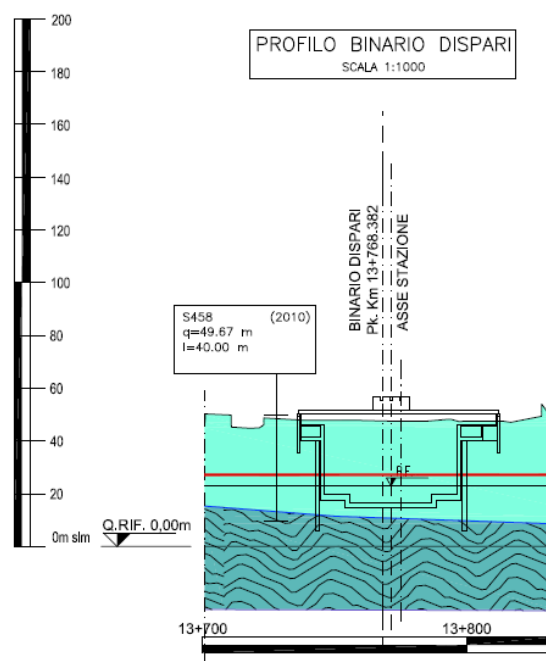
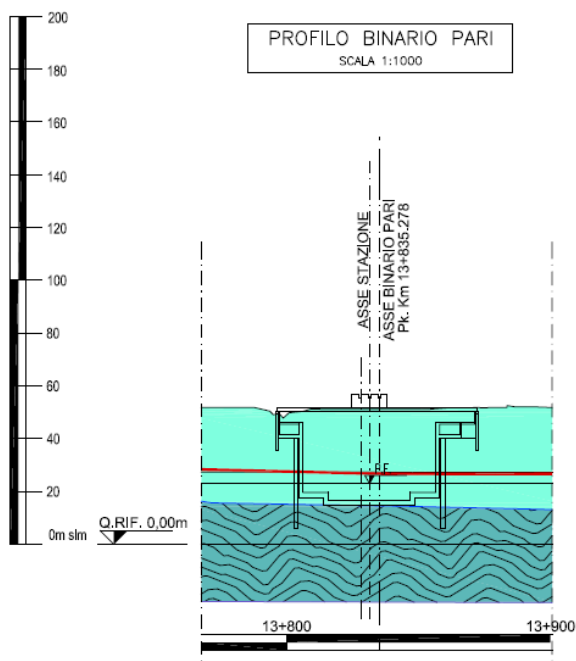
La falda risulta ad una quota di circa 24m da p.c. come si evince dagli elaborati grafici (si faccia riferimento a ST0071- “*Inquadramento Geologico*”).

LEGENDA GEOLOGICA

DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI E ATTUALI, DEPOSITI DI PIANA LITORALE:
Lini, sabbie e ghiaie costituenti gli alvei attuali. Lini, ghiaie e sabbie a supporto di matrice terroso-argillosa, a classi metamorfiche prevalenti, da spigolosi a subarrotondati di diametro tra 1 e 10 cm, e con locali lenti di limi torbosi, talora terrazzati, distribuiti lungo i conif d'acqua, nelle ampie valli e nelle pianure costiere.

METAMORFITI DELL'UNITÀ DELL'ASPRIMONTE
Paragneiss passanti a micascisti a grana medio-grossa, tessitura scistoosa e struttura porfiroblastica, cui si associano corpi di gneiss occhialini, lenti matriche di anfiboliti, banchi di marmi, e rari filoni plutonici acidi, discordanti. Gneiss occhialini a grana medio-grossa, tessitura orientata, con porfiroblasti centimetrici di K-feldspato in una matrice a biotite, quarzo e feldspati, cui si associano corpi di metagranitoidi a due miche a grana media e medio-fine, e filoni pegmatitico-sillitici concordanti.
PRE-CARBONIFERO - PERMIANO

SIMBOLI:
----- Contatto stratigrafico
----- Faglia diretta
----- Plezometrica



5.2 Indagini previste

I sondaggi di riferimento per la presente tratta sono S115 (campagna del 1992), S458 (campagna del 2010).

La categoria di suolo sismico (secondo N.T.C. 2008) risulta di categoria **C** (S458 - $N_{SPT30} = 23$).

Le prove localmente utilizzate nella caratterizzazione sono:

Depositi alluvionali

- prove SPT (S115, S458)
- prove di laboratorio per la determinazione dei parametri fisici (S458)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Metamorfiti

Data l'esiguità dei sondaggi che caratterizzano la presente formazione nella tratta in esame, si fa riferimento alla caratterizzazione generale, costituita da due rilievi geologici-strutturali (n° 15 e n°16).

5.3 Caratterizzazione geotecnica

Depositi alluvionali

L'andamento del fuso evidenzia che le caratteristiche granulometriche dei materiali in esame sono tipiche di materiali sia di materiali a grana grossa (ghiaie 39%), sia di materiali intermedi (sabbie 45%). Il contenuto di fino è mediamente del 14%.

Con riferimento al fuso medio:

- Il valore di D_{50} è pari a 0.8mm
- Il valore di D_{60} è pari a 2 mm
- Il valore di D_{10} è pari a 0.01 mm

Il peso di volume dei grani medio γ_s è risultato pari a circa 26.5 kN/m³.

Non si hanno a disposizione i valori di γ_{dmax} e γ_{dmin} .

Per quanto riguarda lo stato iniziale:

- **Dr:** I valori di N_{spt} sono stati corretti con il fattore correttivo $C_{sg}=0.75$ corrispondente al $d_{50}=0.8mm$,
- **e_o :** a partire dal d_{50} stimato si ottiene di $e_{max}-e_{min}$ pari a 0.305 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 risulta pari a 0.4-0.6;
- **γ_d :** si ottiene un pari a 17-18 KN/m³.
- **K_0 :** si considera la relazione di Jaky.

Dr(%)	K_0
50-70	0.36-0.38

Per quanto riguarda i parametri di resistenza, sulla base delle prove SPT si è ottenuto:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

ϕ'_p (°)	ϕ'_{cv} (°)
39-41	35-37

I valori operativi dei parametri di resistenza di picco possono porsi uguali a:

$$c'=0$$

$$\phi'=37^\circ-39^\circ$$

Per i parametri di deformabilità, i valori di G_0 da prove SPT hanno un andamento che, stimato graficamente con una linea di tendenza, risulta pari a:

$$G_o = 23 \cdot (z)^{0.65}$$

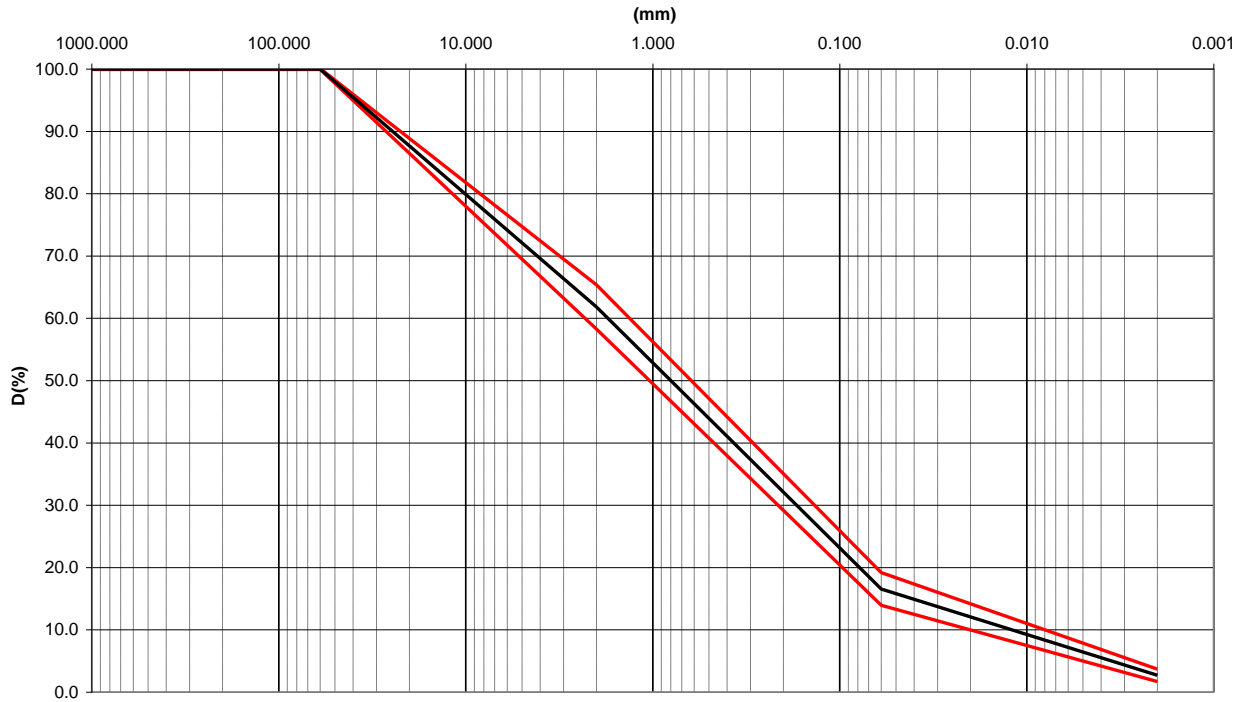
$$E_o = 55 \cdot (z)^{0.65}$$

I moduli di Young “operativi” a medie deformazioni, valutati sulla base dei criteri descritti nei capitoli precedenti risulteranno pari a:

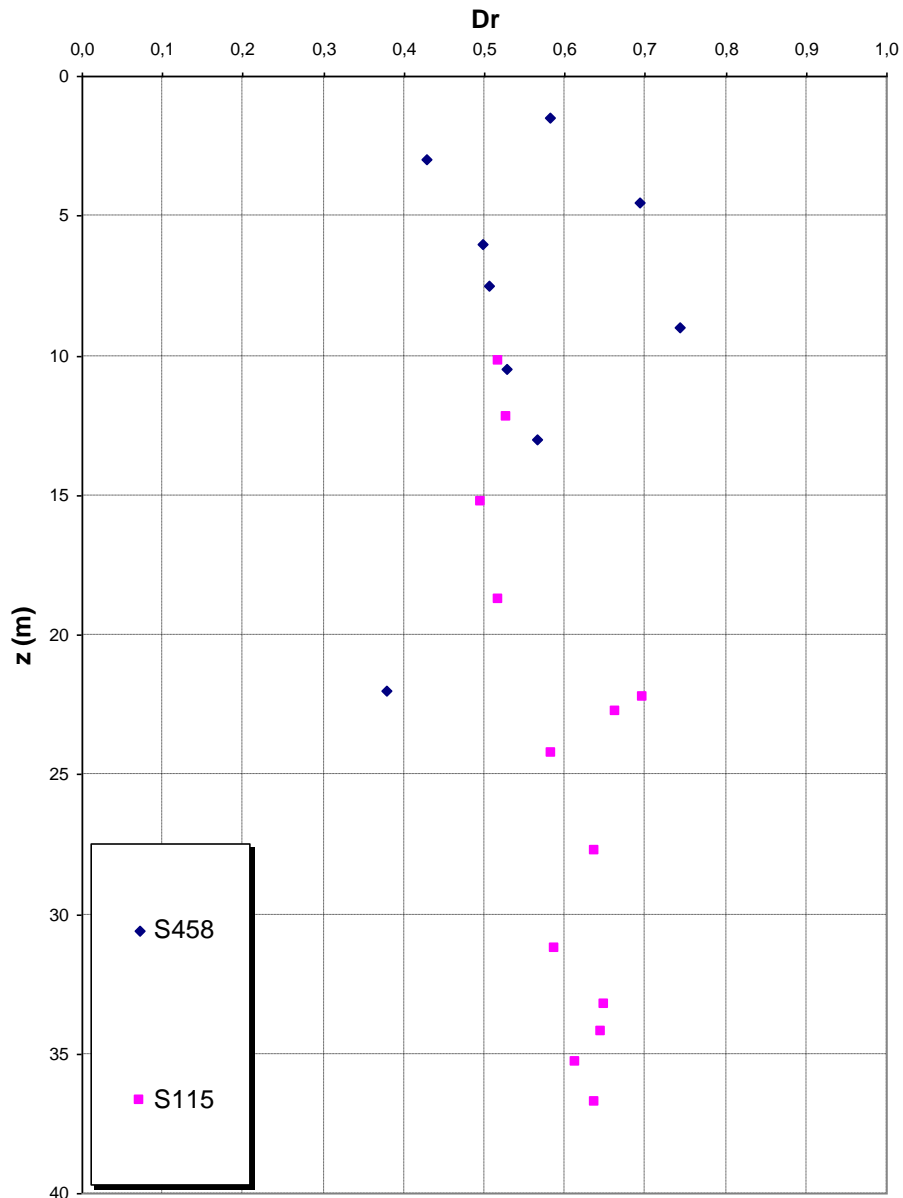
$$E = (7 \div 18) \cdot (z)^{0.65}$$

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

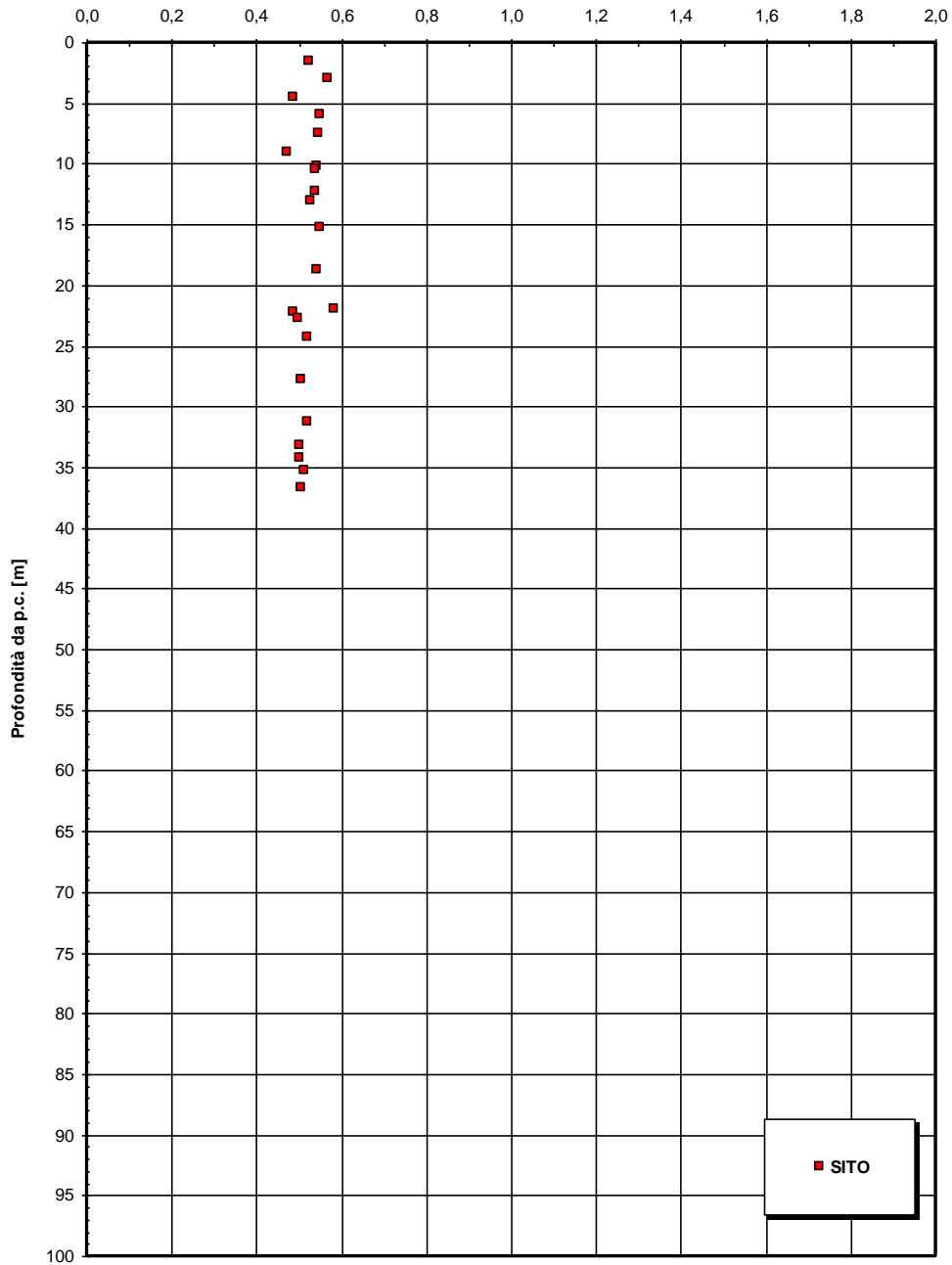
Depositi Alluvionali

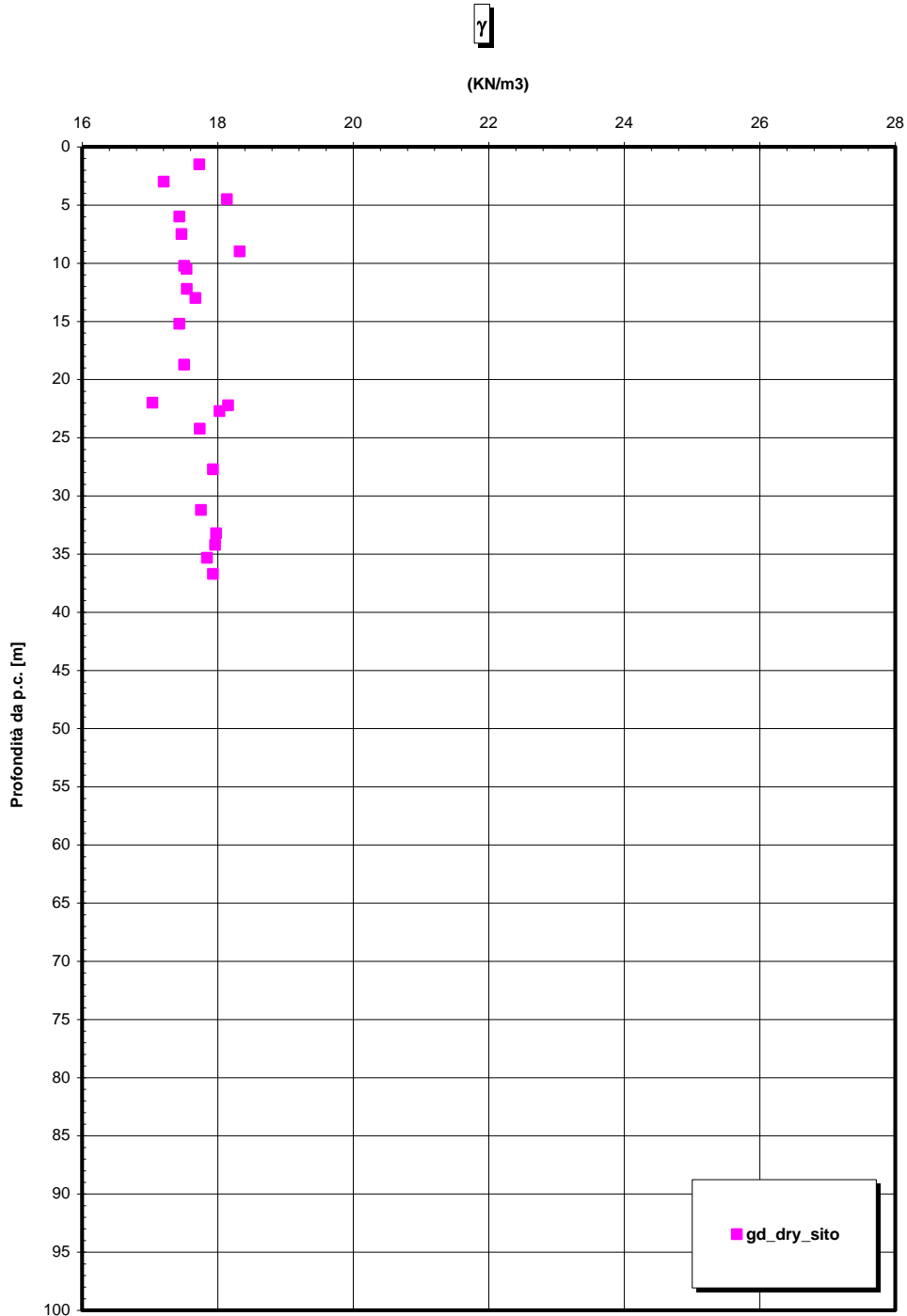


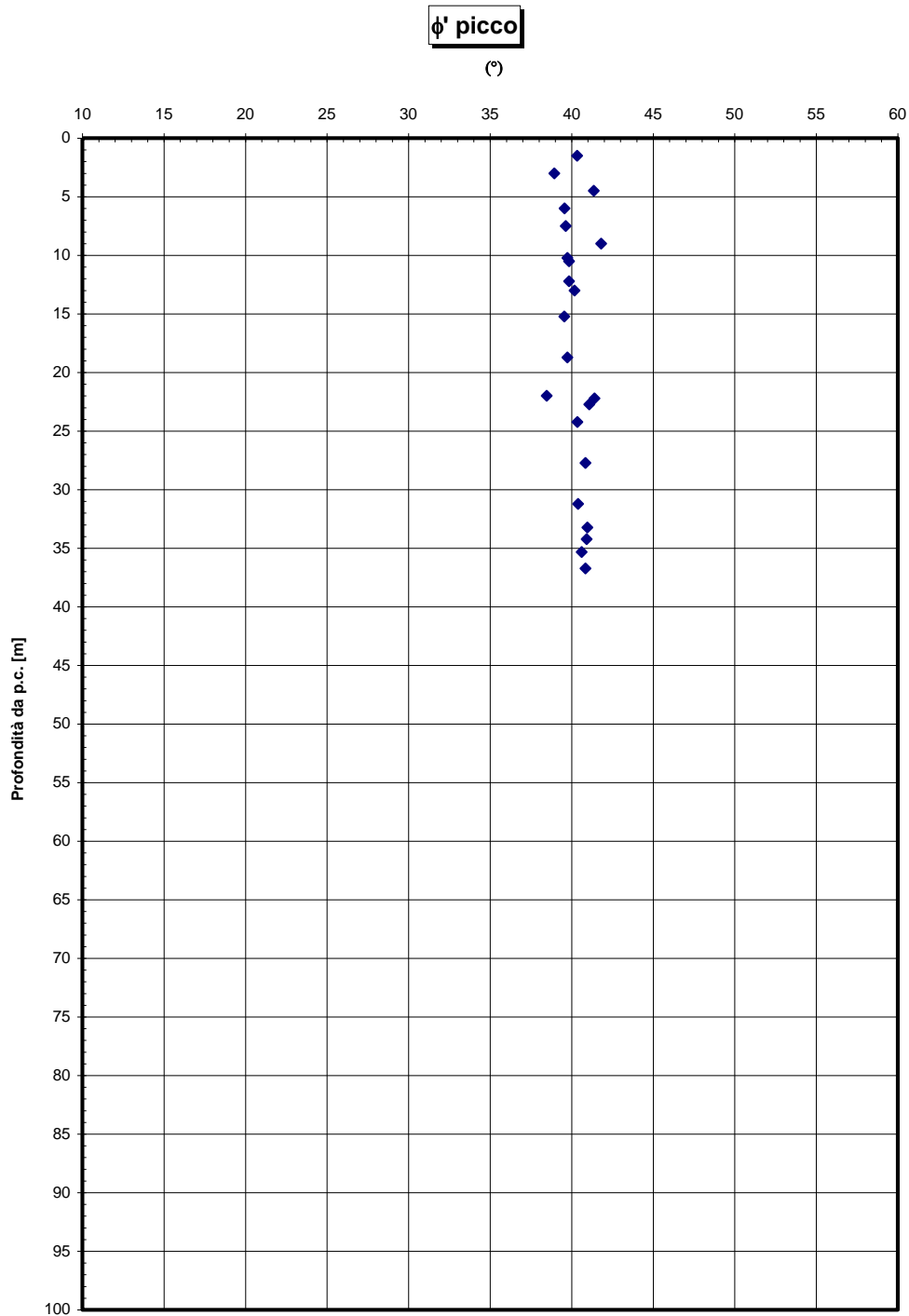
**Dr Cubrinovski e Ishihahara (1999)
Componente ghiaiosa e sabbiosa
DEPOSITI ALLUVIONALI**

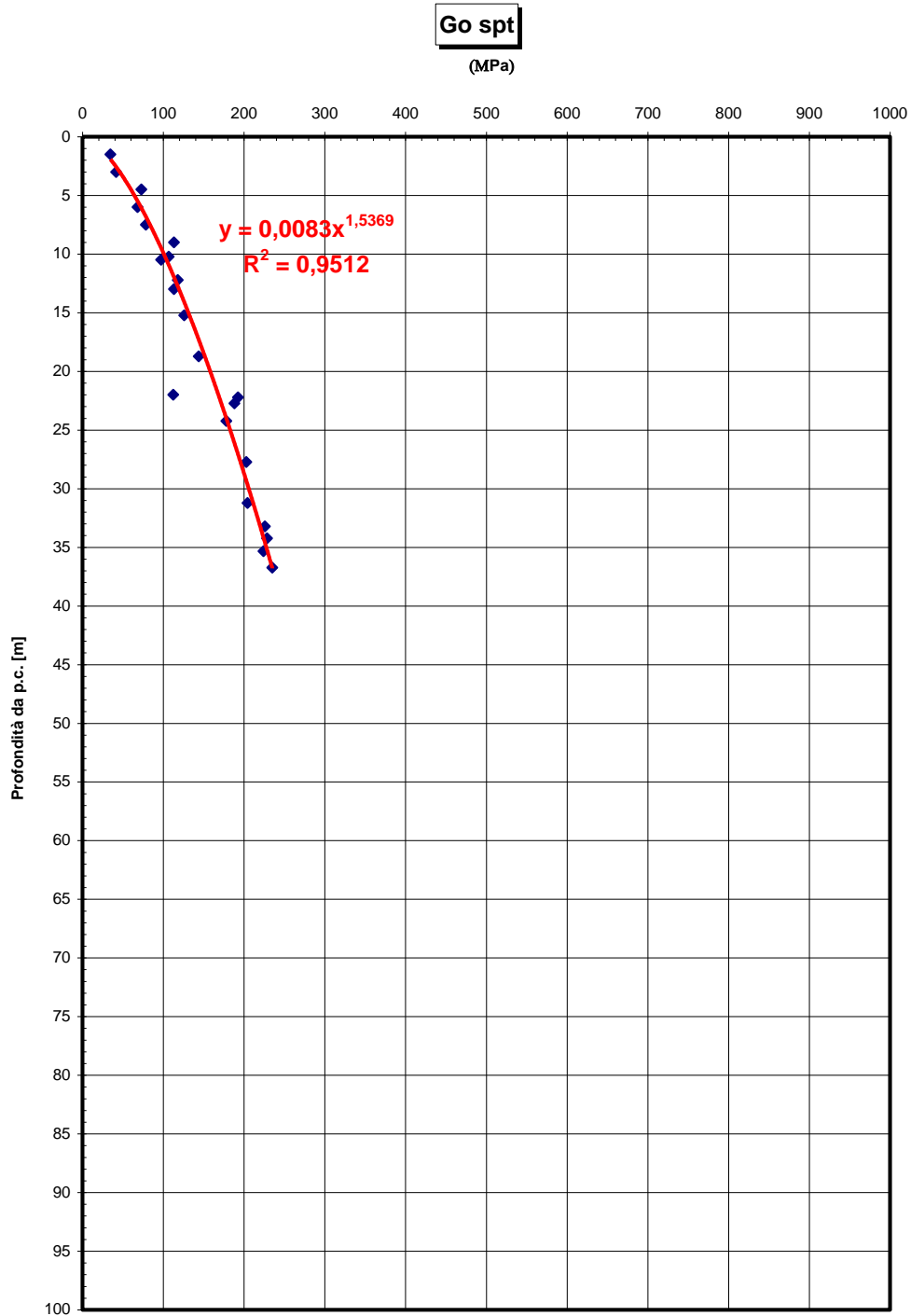


eo









		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Metamorfiti

In mancanza di prove specifiche, per la determinazione delle caratteristiche iniziali si rimanda alle informazioni di carattere geologico.

In mancanza di prove di laboratorio per il peso di volume γ assume un range di valori pari a 21-23 KN/m³.

Il modello utilizzato per la determinazione dei parametri di resistenza è un continuo equivalente.

L'interpretazione delle caratteristiche dell'ammasso parte dalla stima del parametro RMR_{89} che è stato valutato sulla base di due rilievi effettuati in corrispondenza delle gallerie Le Fosse e Santa Cecilia.

Il parametro RMR_{89} è risultato pari a 50. Il parametro GSI è quindi pari a 45.

Gli involucri di rottura dell'ammasso roccioso sono stati determinati tenendo conto:

- del valore GSI di cui in precedenza;
- dei valori della resistenza alla compressione semplice σ_c stimata (25MPa) e del parametro m_i della roccia intatta pari a 33.

I risultati che si otterrebbero, per $GSI = 40$ sono riportati nella tabella, sia per le condizioni di resistenza di picco (“undisturbed rock mass”) che per le condizioni di resistenza residua (“disturbed rock mass”).

copertura (m)	σ_n (Mpa)	Picco		Residuo	
		c' (MPa)	φ' (°)	c' (MPa)	φ' (°)
10.00	0.22	0.16	61	0.11	51
20.00	0.44	0.26	56	0.19	44
30.00	0.66	0.34	52	0.25	41
40.00	0.88	0.43	50	0.31	38
50.00	1.10	0.50	48	0.37	36
60.00	1.32	0.58	46	0.43	34
70.00	1.54	0.65	45	0.48	33
80.00	1.76	0.72	44	0.53	31
90.00	1.98	0.78	43	0.58	30
100.00	2.20	0.85	42	0.63	29

In contesti non caratterizzati da rotture pregresse o in atto e per analisi convenzionali in cui non

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

venga simulato il decadimento della resistenza si potranno considerare come valori operativi quelli rappresentati dai valori medi tra quelli “undisturbed” e “disturbed” oppure cautelativamente prossimi a quelli “disturbed”.

In contesti caratterizzati da rotture pregresse o in atto e per analisi convenzionali potranno considerarsi come valori operativi quelli rappresentati dai valori “disturbed”.

Per le zone tettonizzate si assume GSI=20 (classe IV-V RMR) e quindi si ottiene:

copertura (m)	σ_n (Mpa)	Picco		Residuo	
		c' (MPa)	φ' (°)	c' (MPa)	φ' (°)
10.00	0.22	0.11	52	0.07	34
20.00	0.44	0.19	46	0.12	28
30.00	0.66	0.25	42	0.16	24
40.00	0.88	0.32	39	0.20	22
50.00	1.10	0.38	37	0.24	20
60.00	1.32	0.43	35	0.27	18
70.00	1.54	0.49	34	0.30	17

Per le caratteristiche di deformabilità, considerando la relazione di [Serafim & Pereira, 1983](#) si ottiene:

$E' = 400 \div 650$ Mpa rispettivamente per $D=1$ e $D=0.5$ in ammassi di classe IV-V RMR (faglie)

$E' = 1800 \div 2800$ Mpa rispettivamente per $D=1$ e $D=0.5$ in ammassi di classe III-IV RMR

Dalle due prove dilatometriche in S461 (a 28 e 33m di profondità) si ottiene un modulo E' (valore di carico-scarico) pari a 225-250 MPa, in disaccordo con quanto calcolato precedentemente.

C'è da dire che si tratta della zona più superficiale e presumibilmente alterata dell'ammasso ed i valori sono comunque puntuali, non del tutto rappresentativi della deformabilità a grande scala.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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%)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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

CIs 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

CIs 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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 ^(*) (°) 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):

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0

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_a	Stato limite	w_a
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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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 ad una profondità di 22m dalla sommità delle pareti.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Litotipo	Quote da testa paratia [m]	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	φ [°]	E'_{vc} [MPa]	E'_{ur} [MPa]
Alluvioni	0 - 35	19	0	37	40	1.6 E'_{vc}
Metamorfiti	35 - ...	22	250	38	1000	E'_{vc}

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

γ = peso dell'unità di volume

c' = coesione efficace

φ = 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 L = 49.5m
2. Scavo a -3.8m dalla testa paratia
3. Realizzazione diaframmi L = 41.0m
4. Getto Solaio a +46.28m s.l.m.
5. Scavo a -8.9m dalla testa paratia
6. Getto Solaio a +41.80 s.l.m.
7. Scavo a -13.3m dalla testa paratia
8. Getto Solaio a +37.32 s.l.m.
9. Scavo a -17.8m dalla testa paratia
10. Getto Solaio a +32.84m s.l.m.
11. Scavo a -22.3m dalla testa paratia
12. Getto Solaio a +28.36m s.l.m.
13. Scavo a -27.1m dalla testa paratia
14. Getto Solaio a +23.56m s.l.m.
15. Scavo a -32.3m dalla testa paratia (fondo scavo)
16. Getto Solaio di Fondazione
17. Ripristino condizioni di falda
18. Sisma

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

La valutazione delle azioni esplicitate dalle opere di prima fase sui solai interni di stazione nelle condizioni di lungo termine, in cui le pressioni neutre interstiziali si trasferiscono dalle opere di prima fase alle strutture definitive, ha poi richiesto un’ulteriore fase di calcolo, dopo lo step 17, nella quale le pressioni idrostatiche sui due lati delle pareti si equilibrano.

È stata perciò condotta un’analisi apposita finalizzata alla determinazione di tali sforzi annullando gli effetti della falda sulle strutture in maniera da valutare le azioni sui solai dovute alla sola spinta dei terreni. Nello studio delle sollecitazioni sulle strutture interne, agli sforzi sui solai così determinati vengono quindi aggiunti gli effetti prodotti dalle pressioni idrostatiche agenti direttamente sulle strutture interne.

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

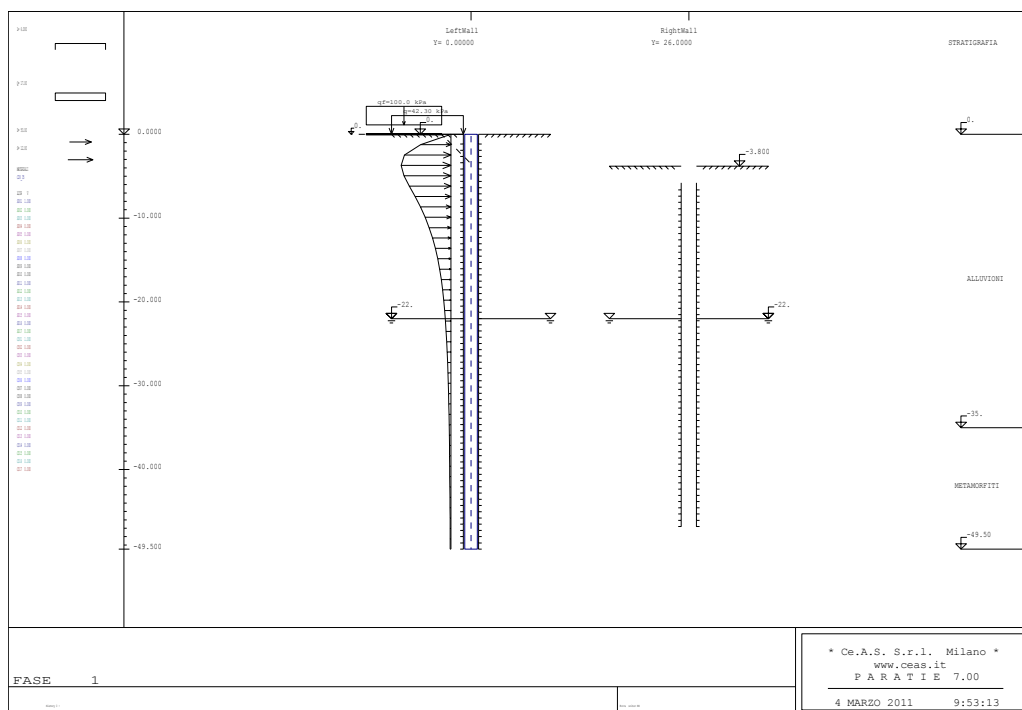


Figura 8 - Fase 1: Realizzazione diaframmi L=49.5m

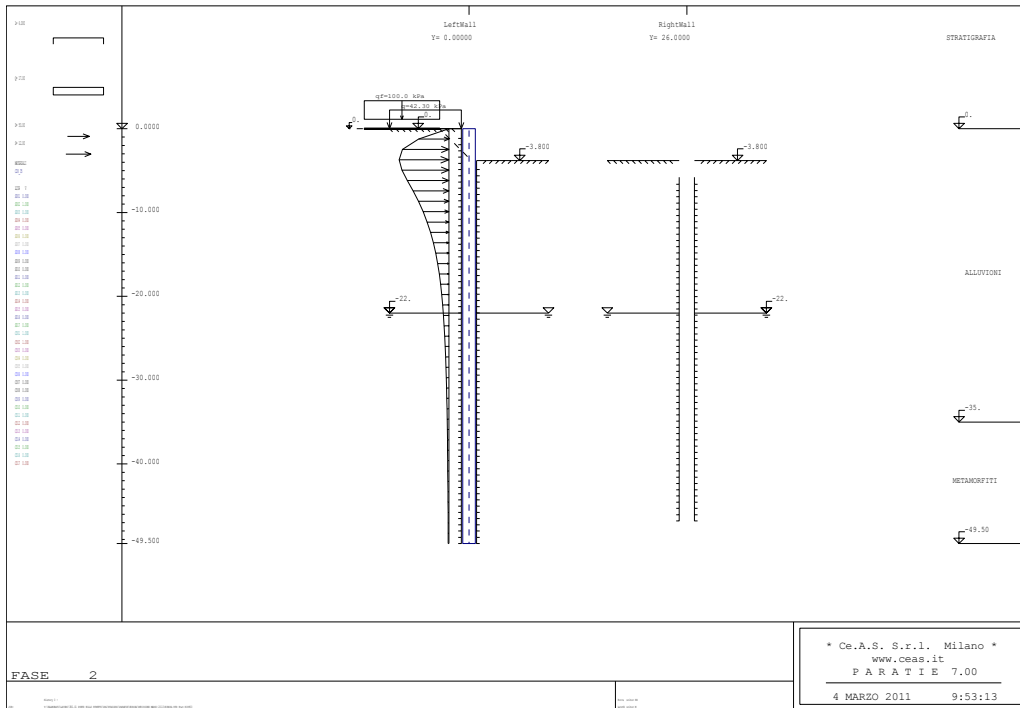


Figura 9- Fase 2: Scavo a -3.80m dalla testa paratia

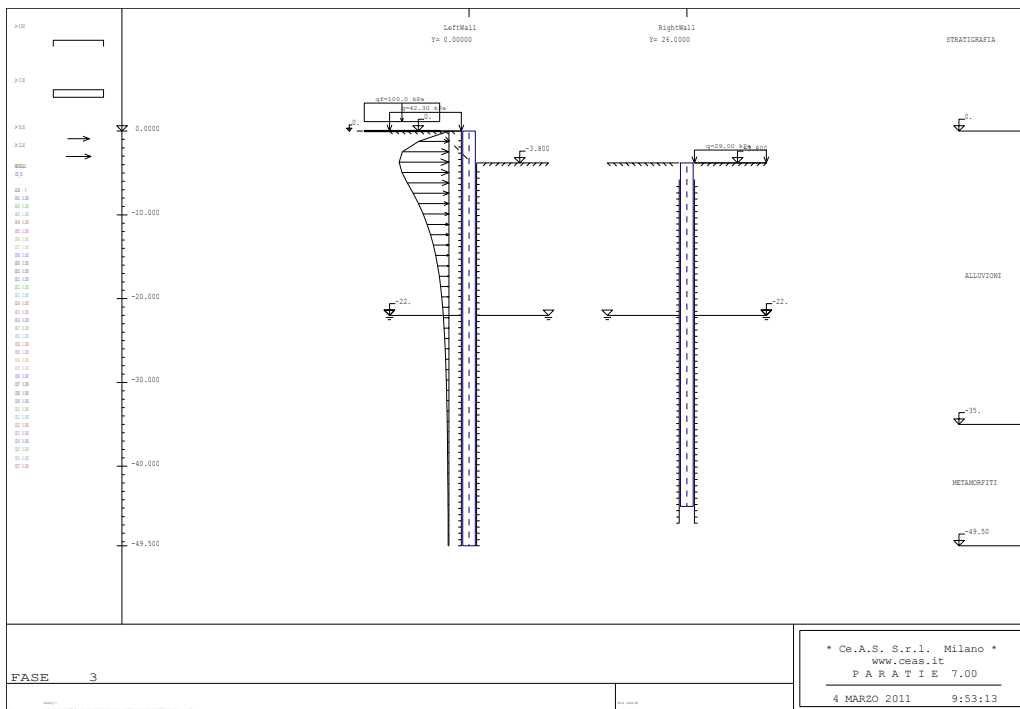


Figura 10 - Fase 3: Realizzazione diaframmi L=41.0m

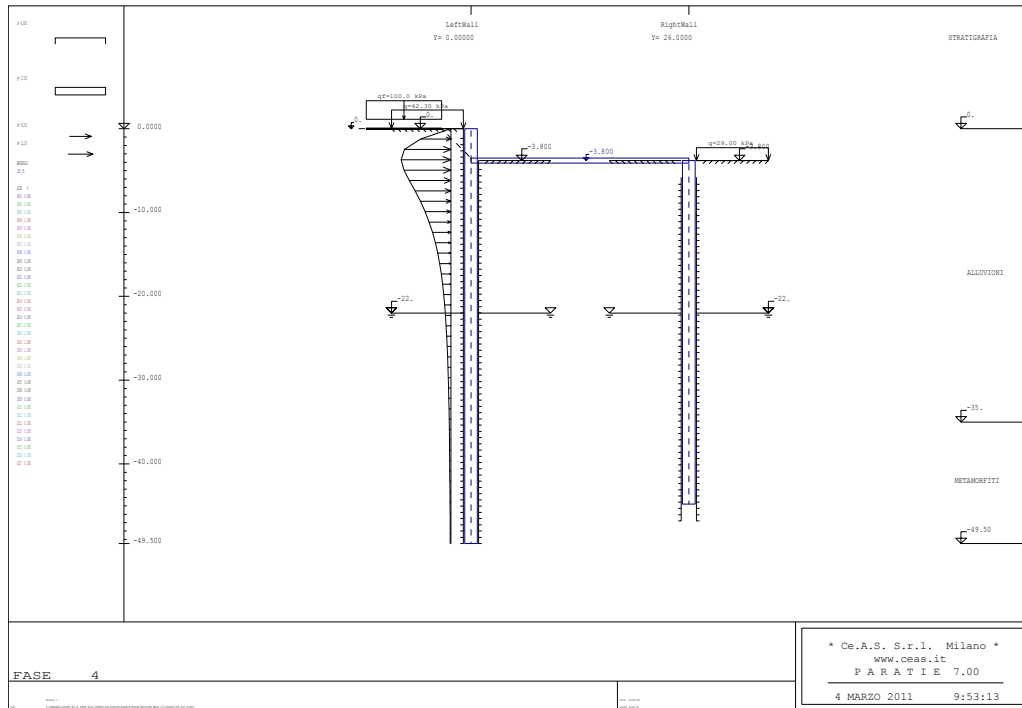


Figura 11- Fase 4: Getto Solaio a +46.28m s.l.m.

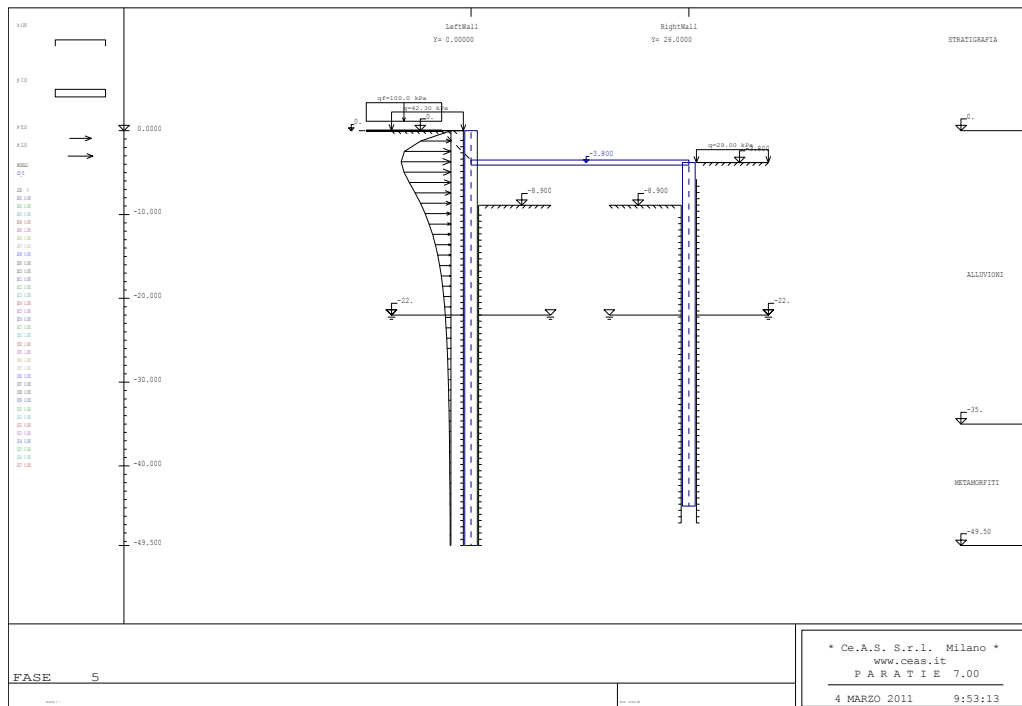


Figura 12- Fase 5: Scavo a -8.90m dalla testa paratia

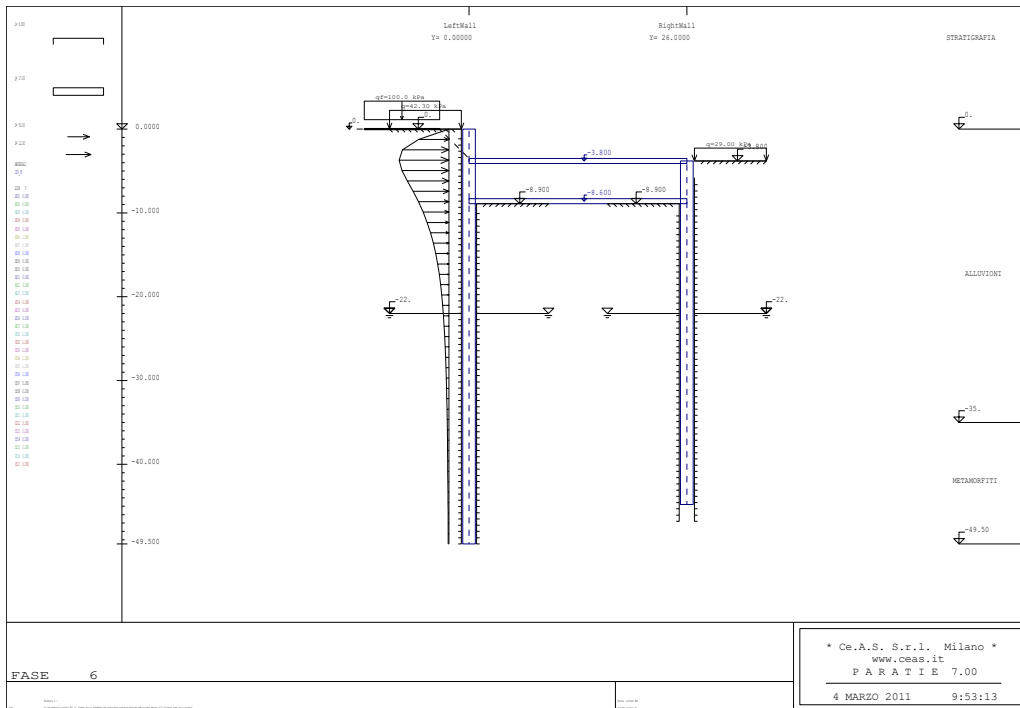


Figura 13 - Fase 6: Getto Solaio +41.80m s.l.m

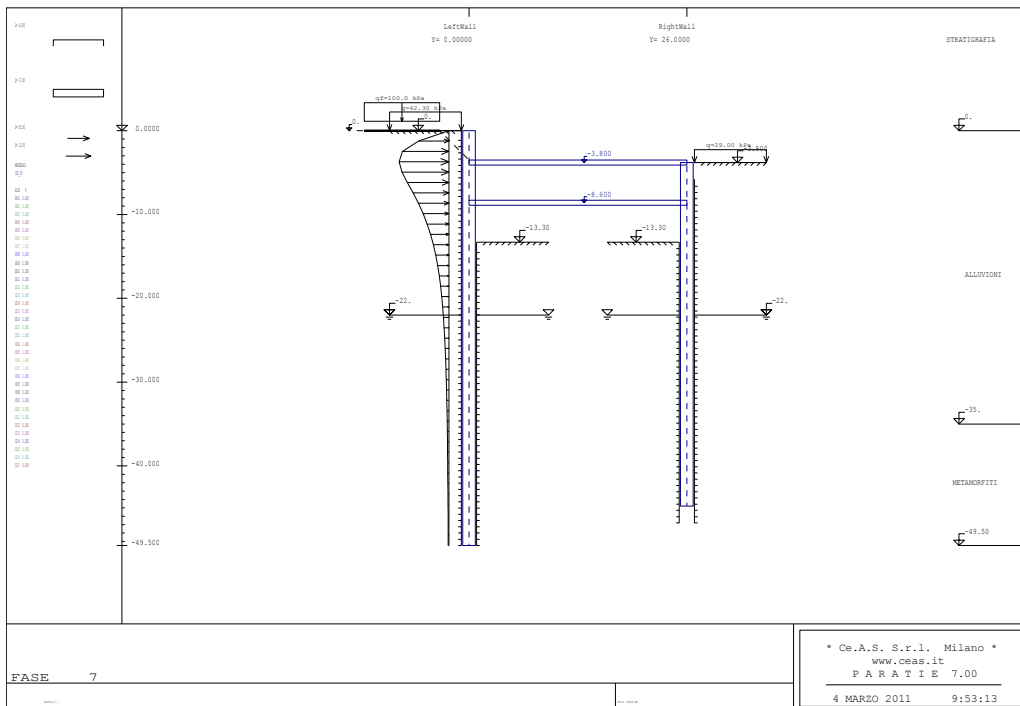


Figura 14- Fase 7: Scavo a -13.3m dalla testa paratia

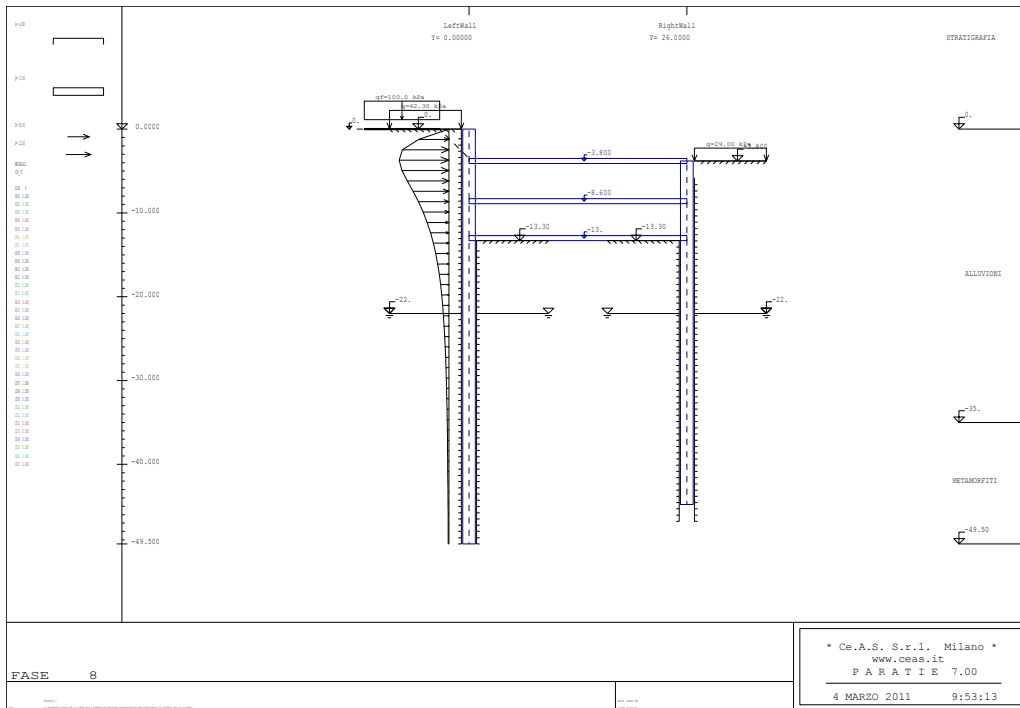


Figura 15 - Fase 8: Getto Solaio +37.32m s.l.m.

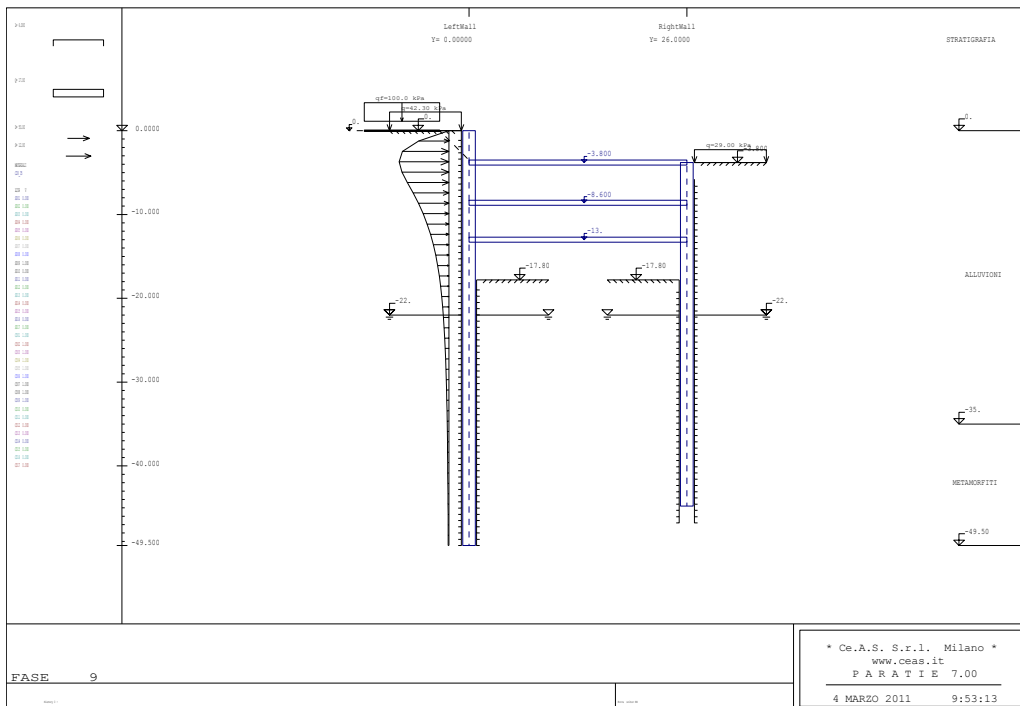


Figura 16- Fase 9: Scavo a -17.8m dalla testa paratia

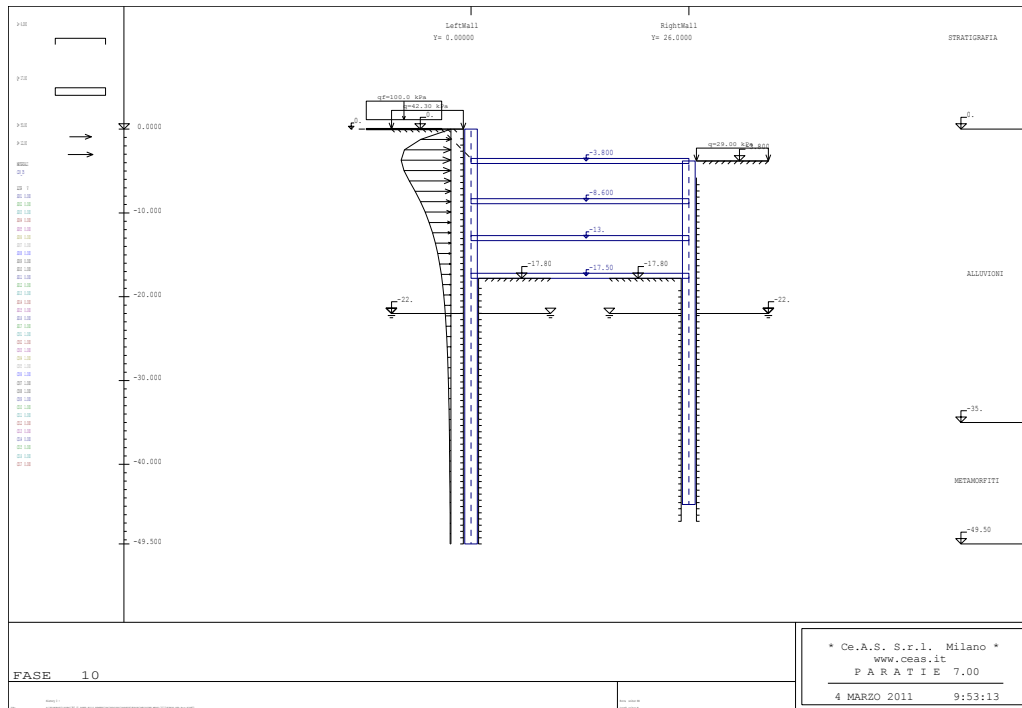


Figura 17 - Fase 10: Getto Solai +32.84m s.l.m.

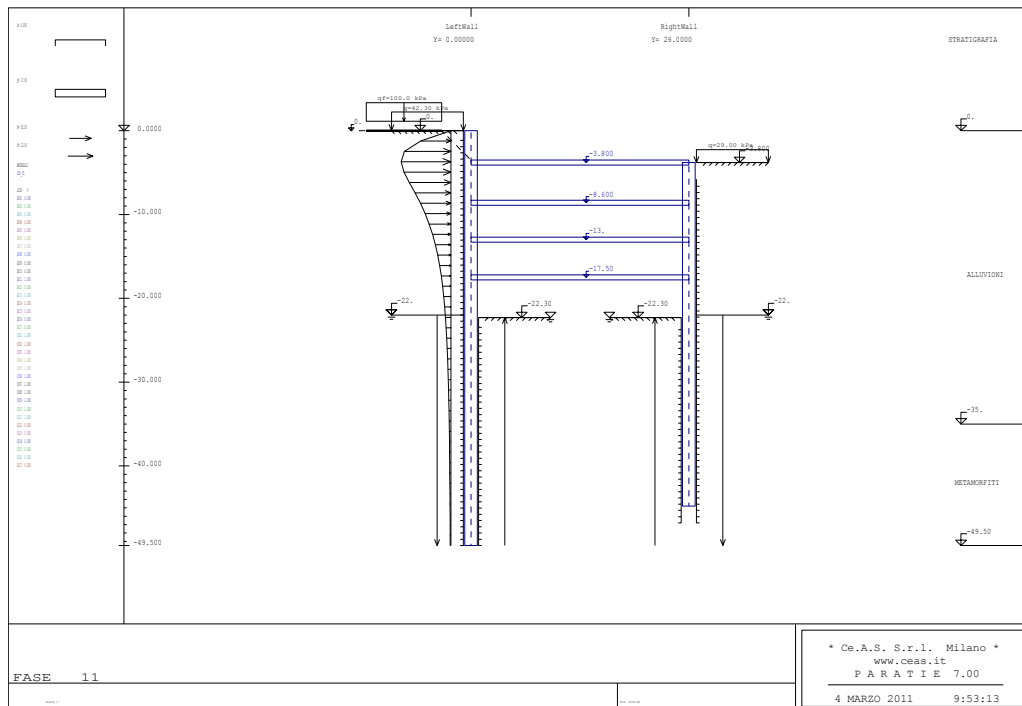


Figura 18- Fase 11: Scavo a -22.3m dalla testa paratia

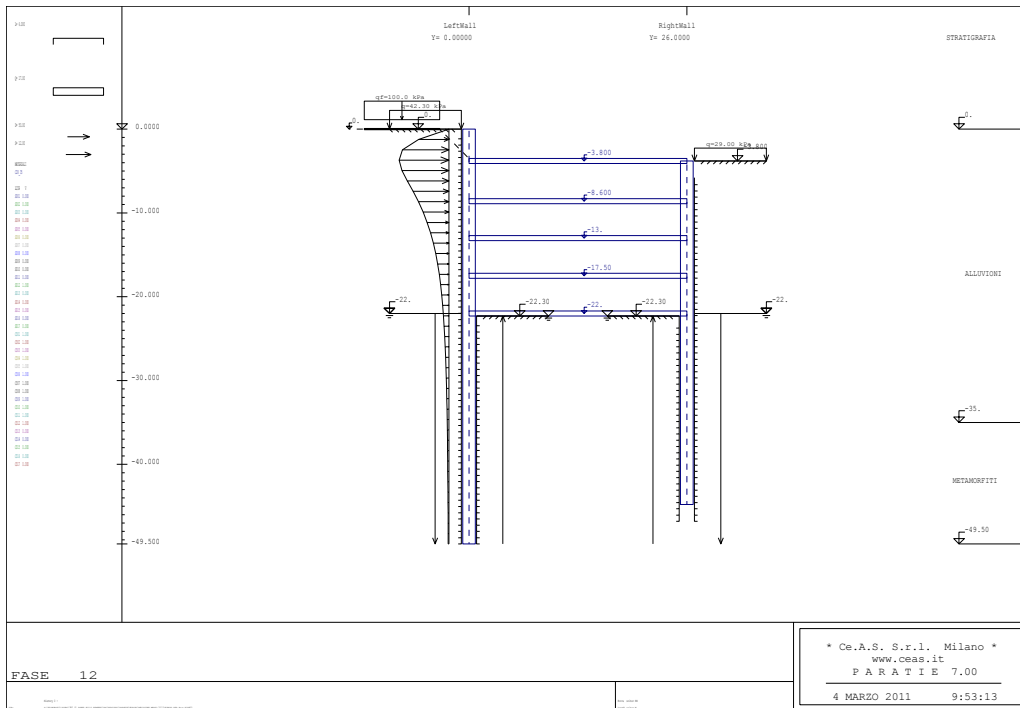


Figura 19 - Fase 12: Getto Solaio +28.36m s.l.m.

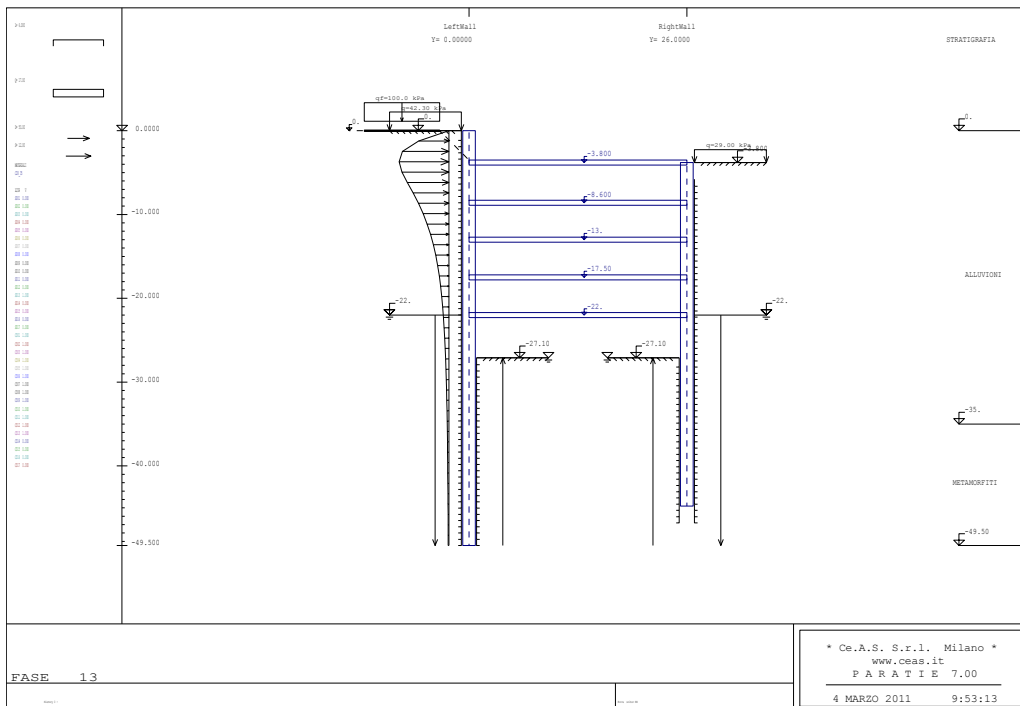


Figura 20- Fase 13: Scavo a -27.1m dalla testa paratia

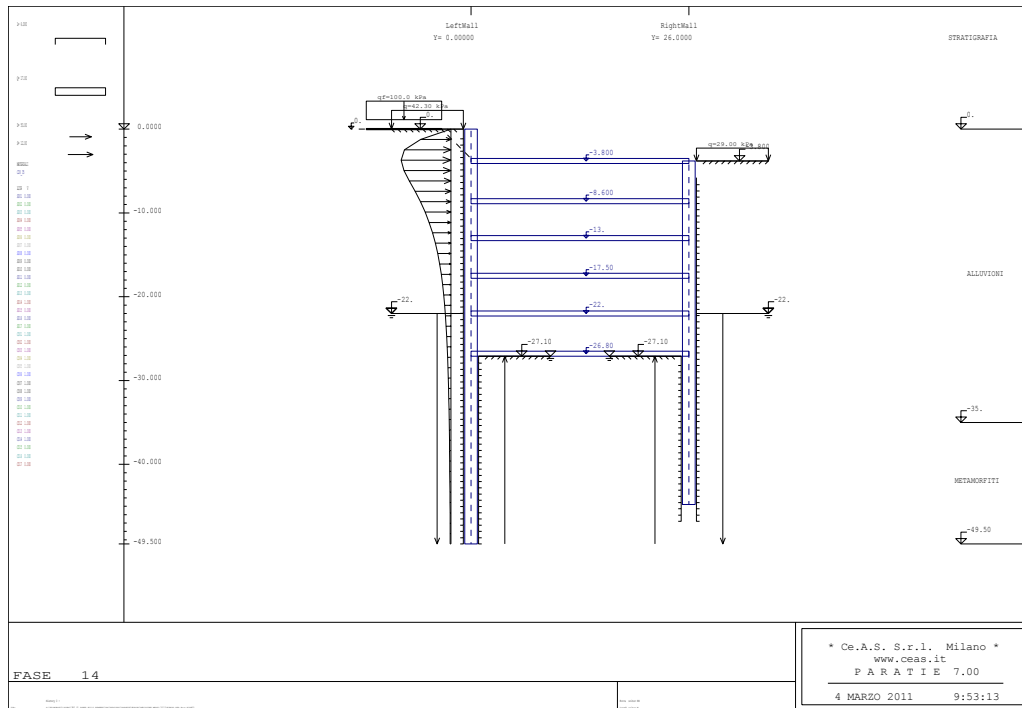


Figura 21 - Fase 14: Getto Solaio +23.56m s.l.m.

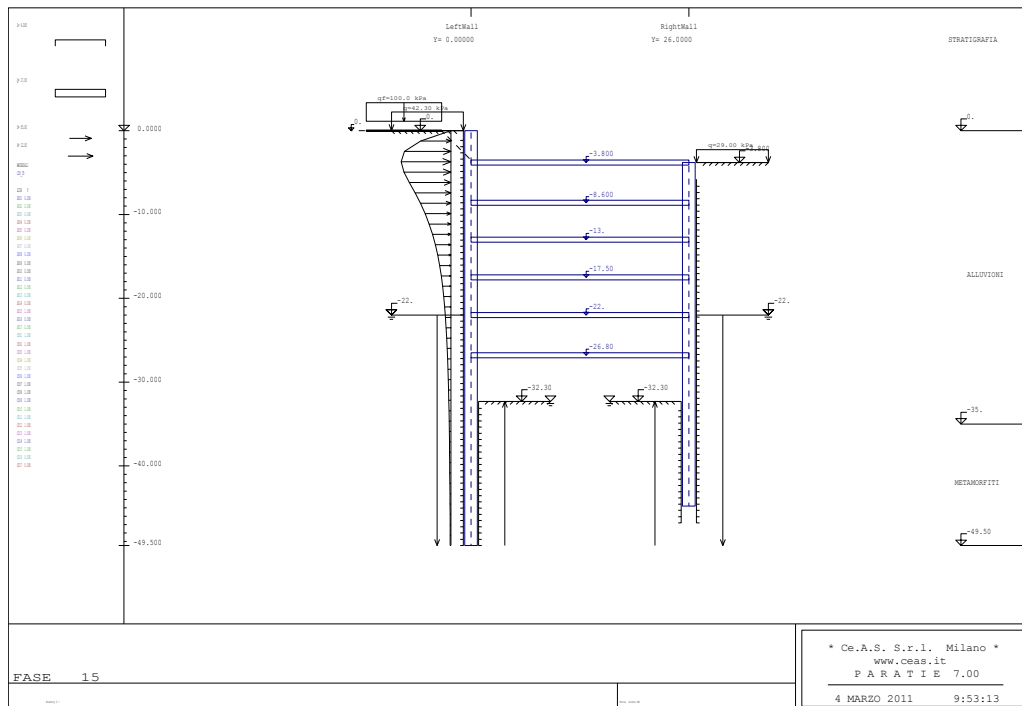


Figura 22- Fase 15: Scavo a -32.3m dalla testa paratia (fondo scavo)

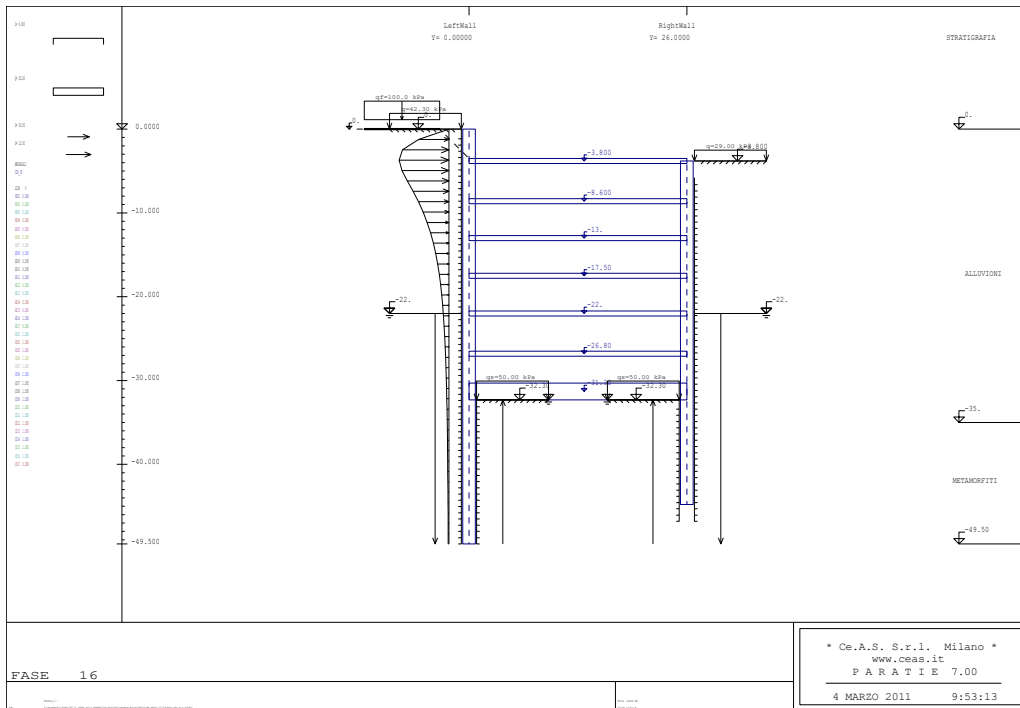


Figura 23 - Fase 16: Getto Solaio di Fondazione

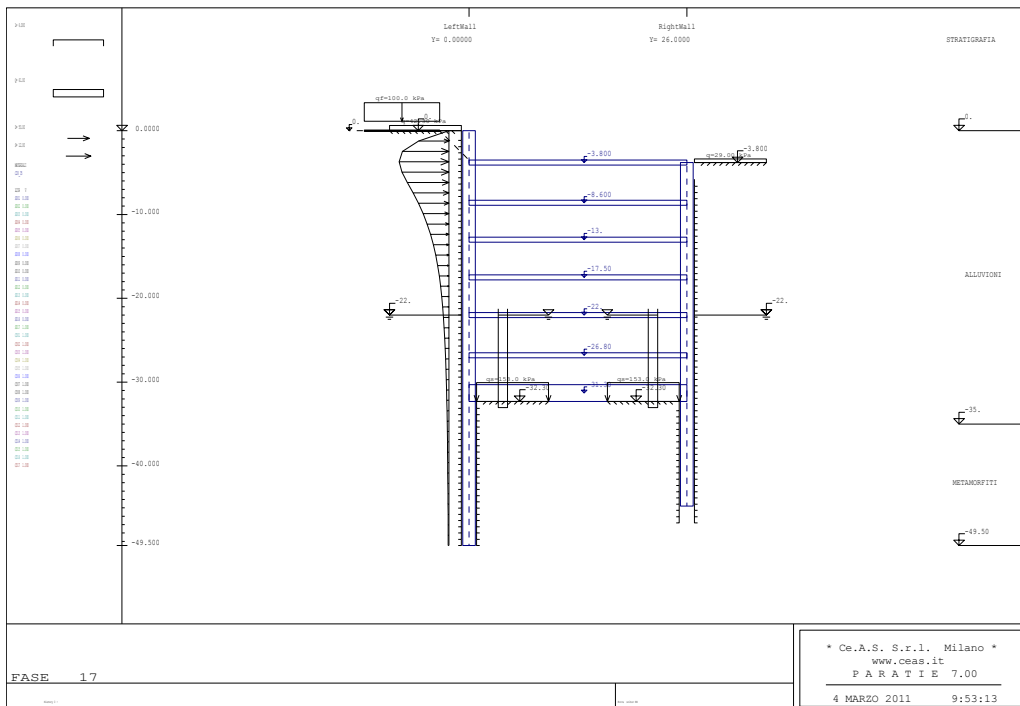
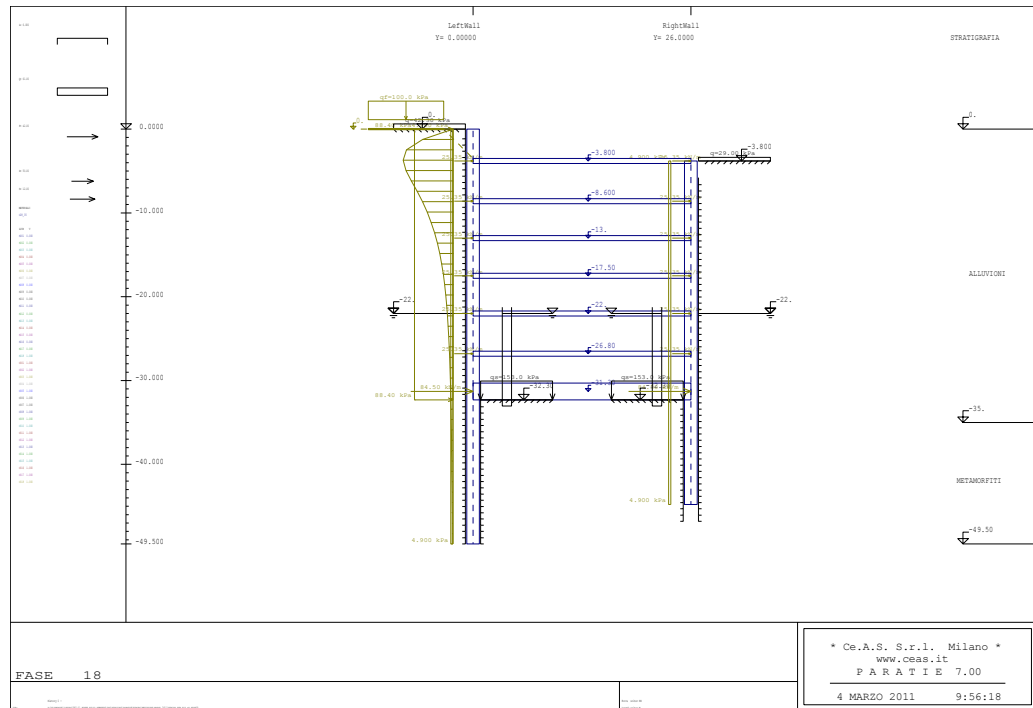
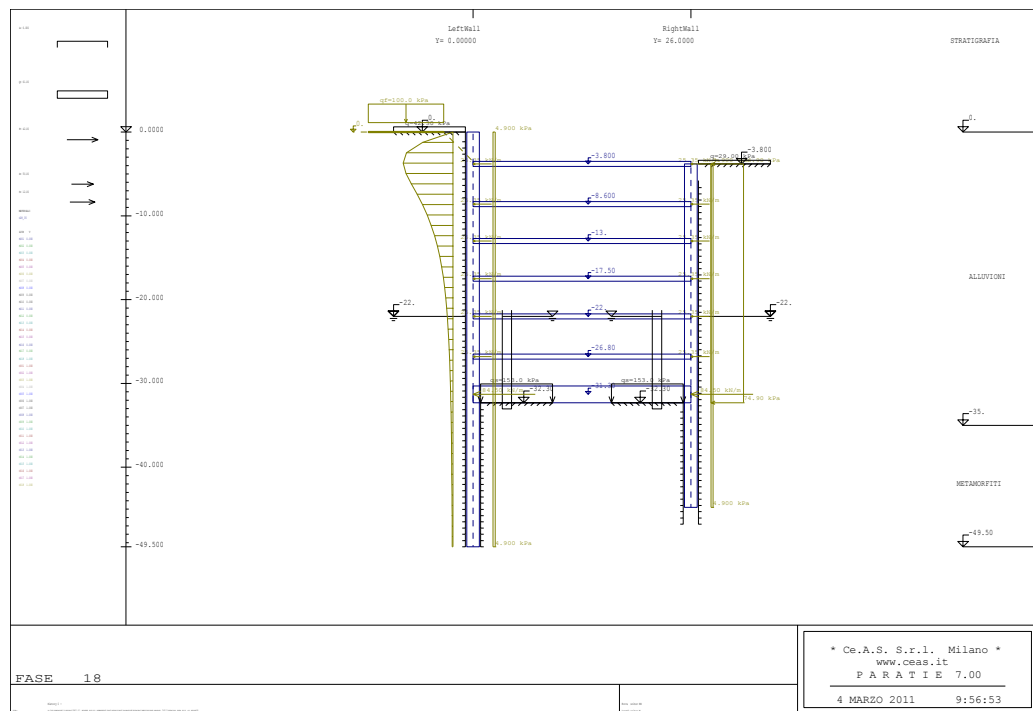


Figura 24- Fase 17: Ripristino condizioni di falda



a.



b.

Figura 25 - Fase 18: Sisma: a) +Y; b) - Y

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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 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	EQU	A1	A2
		γ_F		STR	GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

- γ_{G1} coefficiente parziale del peso proprio della struttura, nonché del peso proprio del terreno e dell’acqua, quando pertinenti;
- γ_{G2} coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- γ_{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 γ_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.

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_m	M1	M2
Tangente dell’angolo di resistenza al taglio	$\operatorname{tg} \varphi$	γ_φ	1.00	1.25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
Resistenza non drenata	c'_{uk}	γ_{cu}	1.00	1.40
Peso dell’unità di volume	γ	γ_γ	1.00	1.00

Tabella 10 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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 γ_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)

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

g = accelerazione di gravità

α = coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera

β = 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.

L'opera in esame è individuata dalle seguenti coordinate geografiche (WGS84)

Lat. 38°.18567

Long. 15°.54307

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 provvisoriale)

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	0.216	2.390	0.348
SLD	35	0.068	2.346	0.282

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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	1.39	1.00	0.300
SLD	1.50	1.00	0.102

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

I valori dei coefficienti α e β 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 riportati nelle figure 7.11.2 e 7.11.3 del D.M. 14/01/2008 di seguito richiamati.

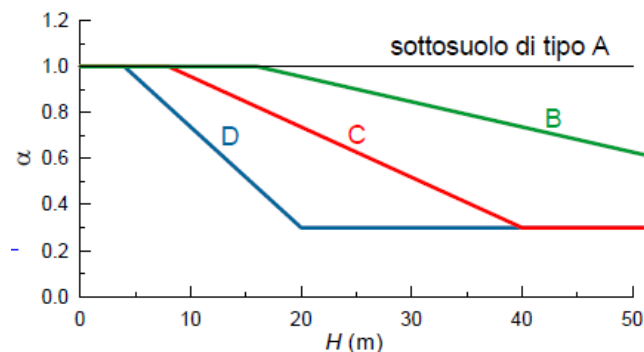


Figura 26-Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

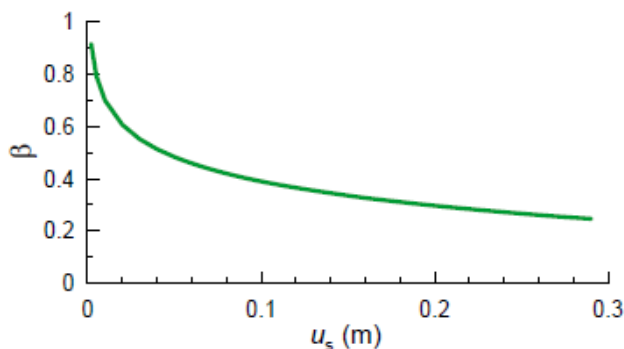


Figura 27- Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β

Per le opere in esame, ammettendo uno spostamento ammissibile di 1 cm e considerando l'altezza della paratia, il coefficiente β risulta pari a 0.71 mentre α 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	0.216	2.390	0.348	1.39	1.00	0.300	0.130
SLD	35	0.068	2.346	0.282	1.50	1.00	0.102	0.042

Tabella 14 – Sintesi dei parametri sismici di progetto

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Spinta attiva

Il coefficiente di spinta attiva k_A è stato calcolato con la teoria di Coulomb, ammettendo un angolo di attrito terra-parete δ 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 β 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 δ 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.

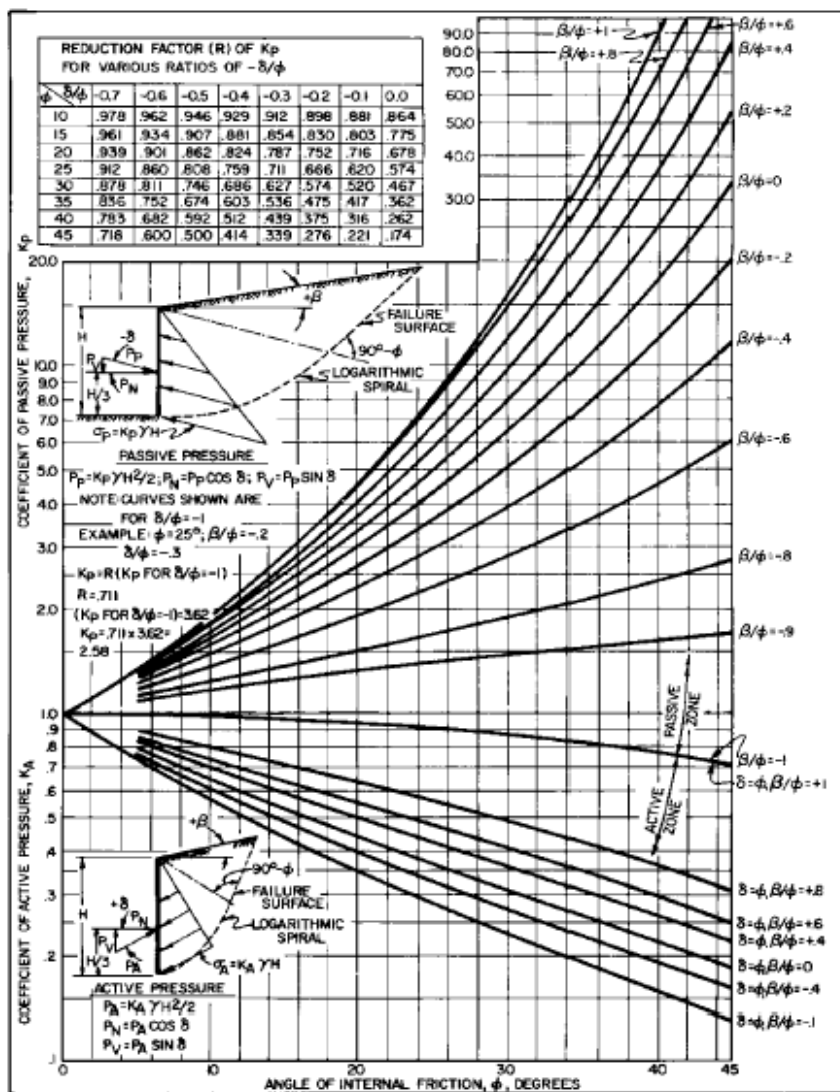


Figura 28 – Abaco per la valutazione del coefficiente di spinta passiva – Teoria di Caquot e Kerisel

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}
Alluvioni	0.398	0.215	4.023	0.249	4.023
Metamorfiti	0.384	0.205	4.204	0.238	4.204

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Litotipo	k_0	k_A	k_P	k_{AE}	k_{PE}
Alluvioni	0.485	0.279	4.735	0.320	3.124
Metamorfiti	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:

$$p_{\text{terrSX}} = 19 \times 1.70\text{m} = 32.3 \text{ kPa}$$

$$p_{\text{terrDX}} = 19 \times 1.00\text{m} = 19.0 \text{ kPa}$$

7.3.4 Spinta dell'acqua di falda

Le pressioni dell'acqua di falda sulle pareti sono state valutate mediante la relazione:

$$p = \gamma_w z$$

essendo $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$ il peso specifico dell'acqua e z l'affondamento del punto considerato rispetto al pelo libero della falda.

Si ipotizza infatti un'assenza di filtrazione al di sotto del piede delle pareti e, conseguentemente, un regime idrostatico delle pressioni neutre a tergo, poiché la base dei diaframmi si attesta all'interno dello strato di metamorfiti e, all'interno dello scavo, si prevede un intervento di impermeabilizzazione. Pur essendo tale formazione praticamente impermeabile, essa è comunque caratterizzata da permeabilità secondarie dovute ad eventuali stati di fratturazione; si ritiene che, grazie agli interventi locali di riduzione della permeabilità dovuta alla fratturazione dell'ammasso, lo scavo avvenga in condizioni asciutte e che in definitiva il regime delle pressioni neutre a tergo delle pareti sia di tipo idrostatico. Tale configurazione statica, come testimoniato da analisi comparative svolte, non risulta meno gravosa, sia dal punto di vista geotecnico che dal quello strutturale, di quella in cui si ammette una filtrazione al di sotto del piede delle paratie.

7.3.5 Spinte dovute ai fabbricati

In prossimità della paratia di lunghezza totale $L = 49.5\text{m}$, a circa 3.5m dai diaframmi, sono presenti gli edifici individuati, nelle schede dei fabbricati, dai numeri da 1446 a 1450, secondo le indicazioni fornite negli elaborati grafici di progetto.

La presenza dei fabbricati è stata schematizzata nelle analisi mediante una fondazione di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

larghezza pari a 9.0m posta ad una profondità di 1.70m dal p.c. (a profondità 0.0m rispetto al piano limite di monte della paratia di sinistra adottato nello schema di calcolo).

L'intensità del carico trasmesso è stata cautelativamente valutata assumendo un carico vuoto per pieno di 8 kN/m³ (valore desunto da capitolati prestazionali relativi ad opere metropolitane) ed assumendo un'altezza totale del fabbricato di 12.0m.

In definitiva, il carico applicato è pari a

$$p_{\text{fabb}} = 8.0 \times 12.0 = 96 \approx 100 \text{ kPa}$$

7.3.6 Azioni accidentali

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

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

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

7.3.7 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 Δp_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

γ = peso dell'unità di volume del terreno

H = altezza di scavo rispetto al p.c.

H' = altezza di scavo di calcolo

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

Si ha quindi

Stato limite	k_h	Δp_{d+Y} [kPa]	Δp_{d-Y} [kPa]
SLV	0.130	88.4	74.9
SLD	0.042	28.6	24.2

Tabella 17 – Incremento sismico di spinta dei terreni

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

7.3.8 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:

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

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

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

avendo indicato

$\gamma_{\text{c.a.}}$ = peso dell'unità di volume del calcestruzzo armato = 25 kN/m³

s_{diaf} = spessore dei diaframmi

s_{sol} = spessore dei solai

L = luce netta dei solai

s_{fond} = spessore della fondazione

La tabella seguente riassume le intensità dei carichi applicati:

Stato limite	k_h	I_{diaf} [kPa]	I_{sol} [kN/m]	I_{fond} [kN/m]
SLV	0.130	4.9	50.7	169.0
SLD	0.042	1.6	16.4	54.6

Tabella 18 – Azioni inerziali delle masse strutturali

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0 Data 20-06-2011

7.4.1 Analisi STR_Statica - A1+M1+R1

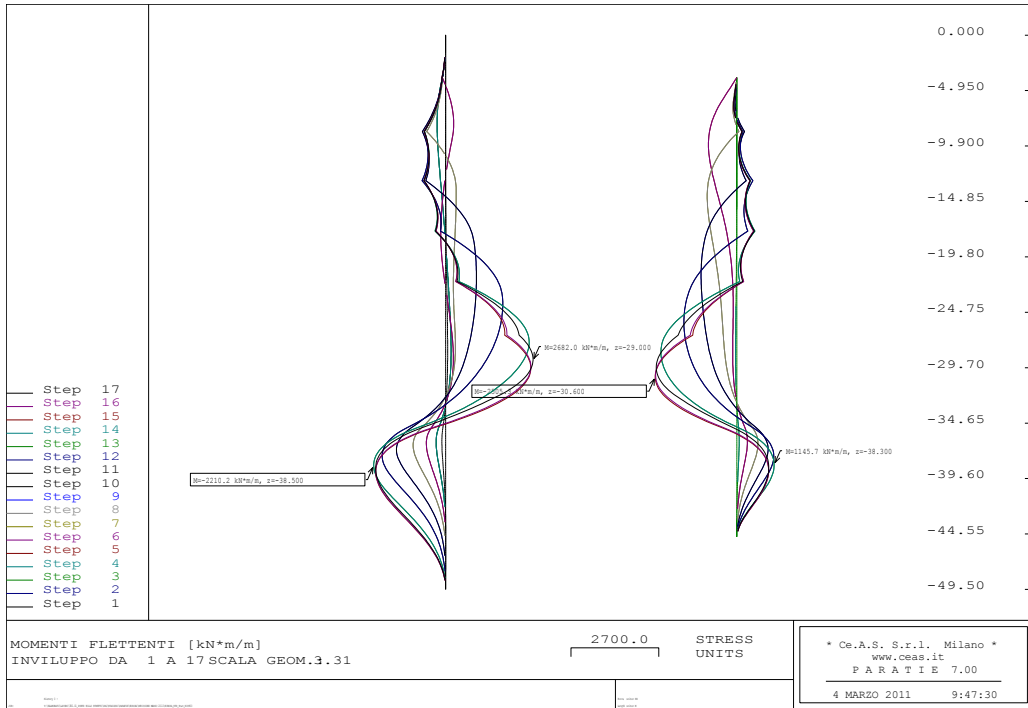


Figura 29 – Diagramma del momento flettente

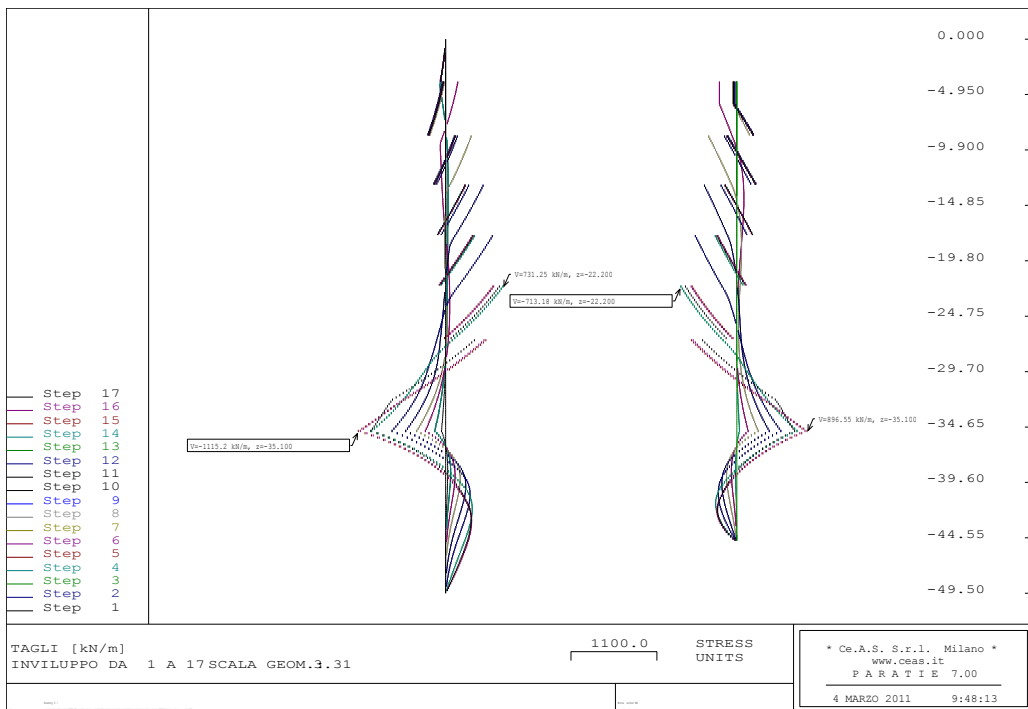


Figura 30 – Diagramma del taglio

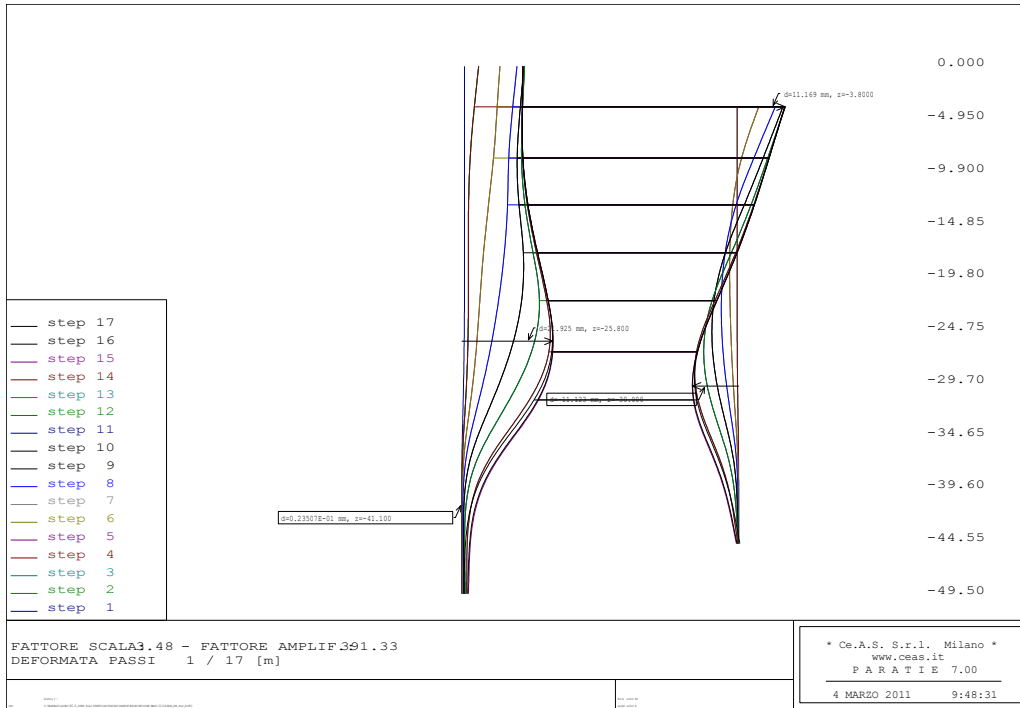


Figura 31 – Diagramma degli spostamenti orizzontali

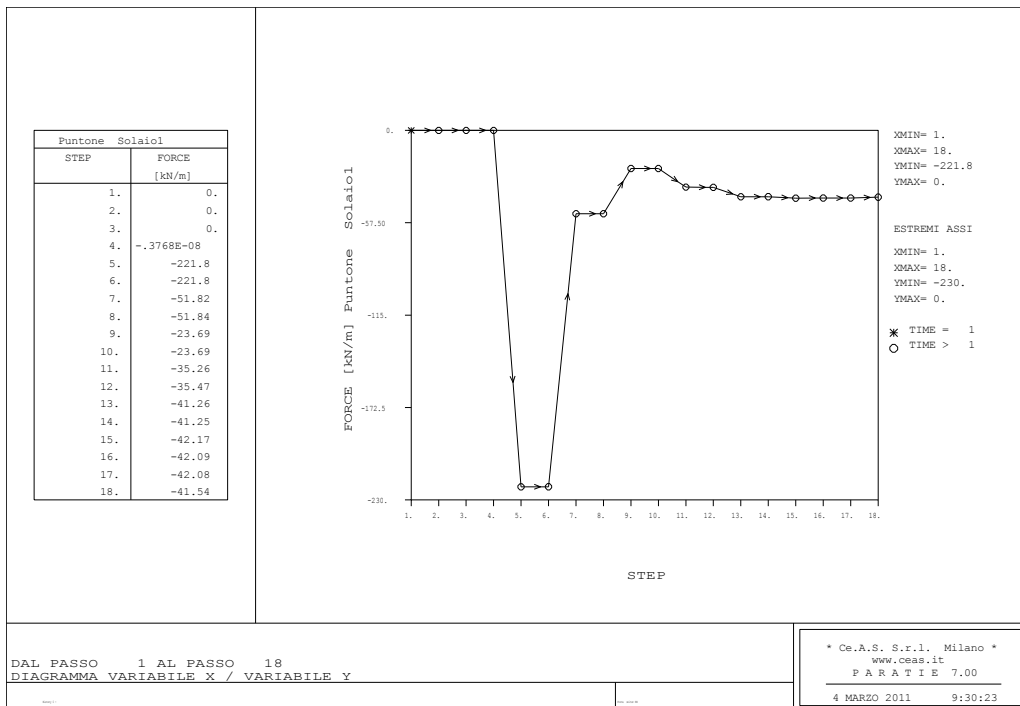


Figura 32 – Azioni assiali sul solaio a +46.28m s.l.m.

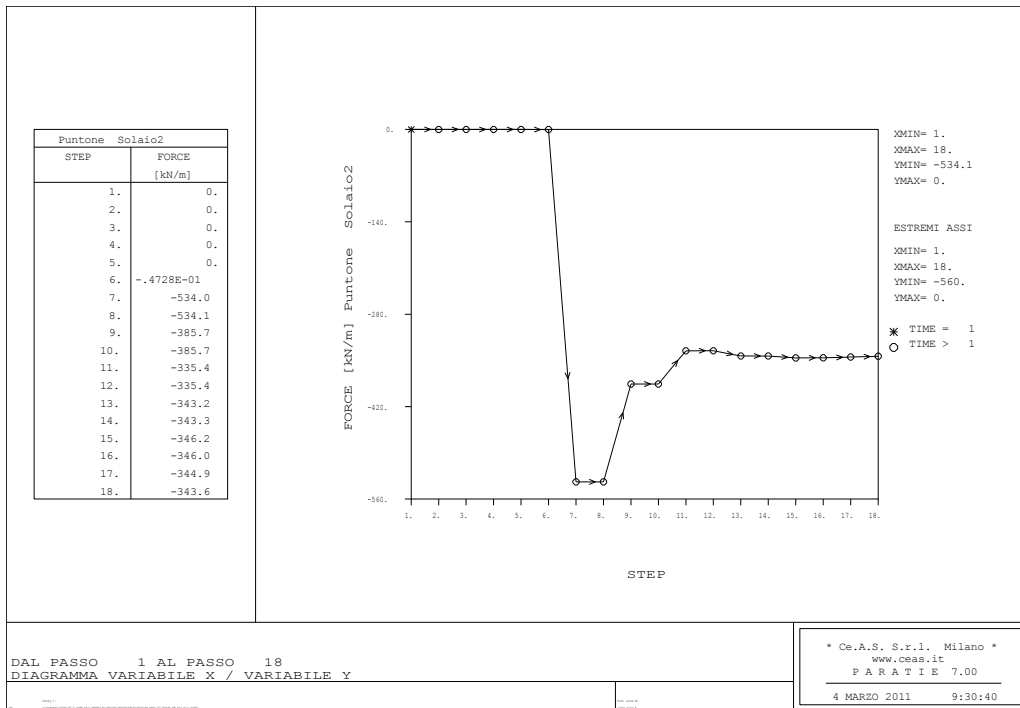


Figura 33 – Azioni assiali sul solaio a +41.80m s.l.m.

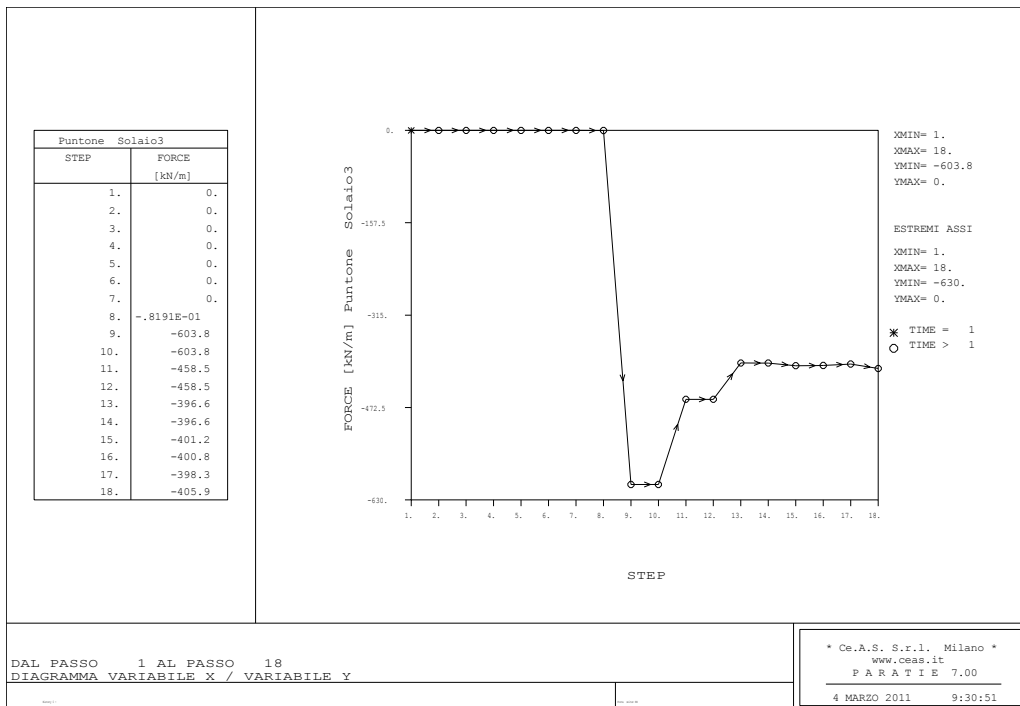


Figura 34 – Azioni assiali sul solaio a +37.32m s.l.m.

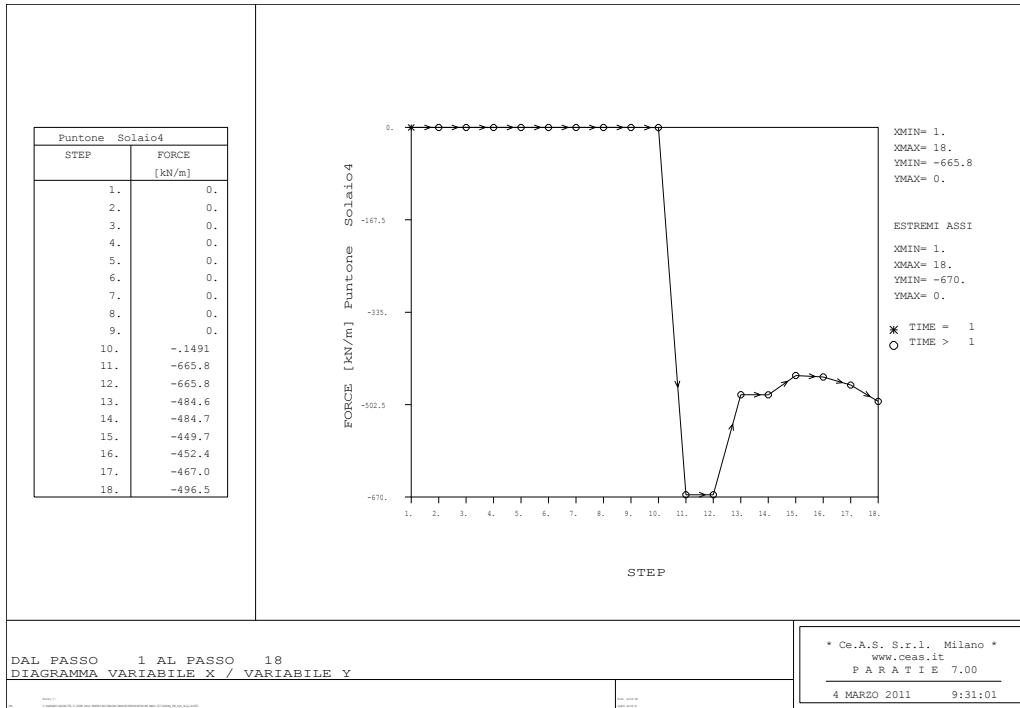


Figura 35 – Azioni assiali sul solaio a +32.84m s.l.m.

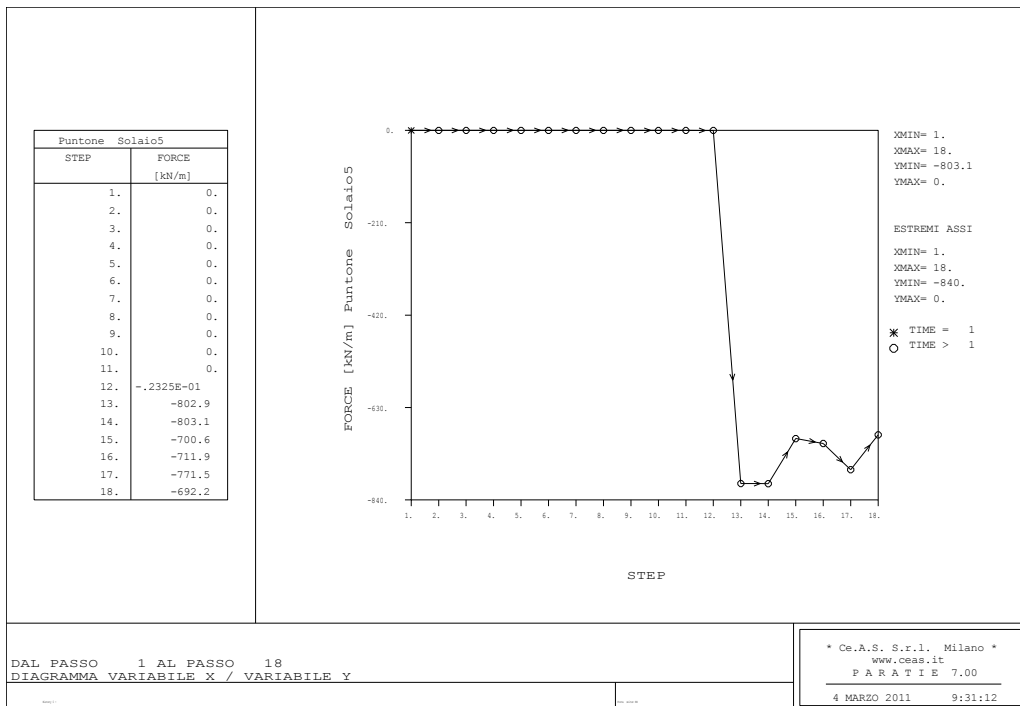


Figura 36 – Azioni assiali sul solaio a +28.36m s.l.m.

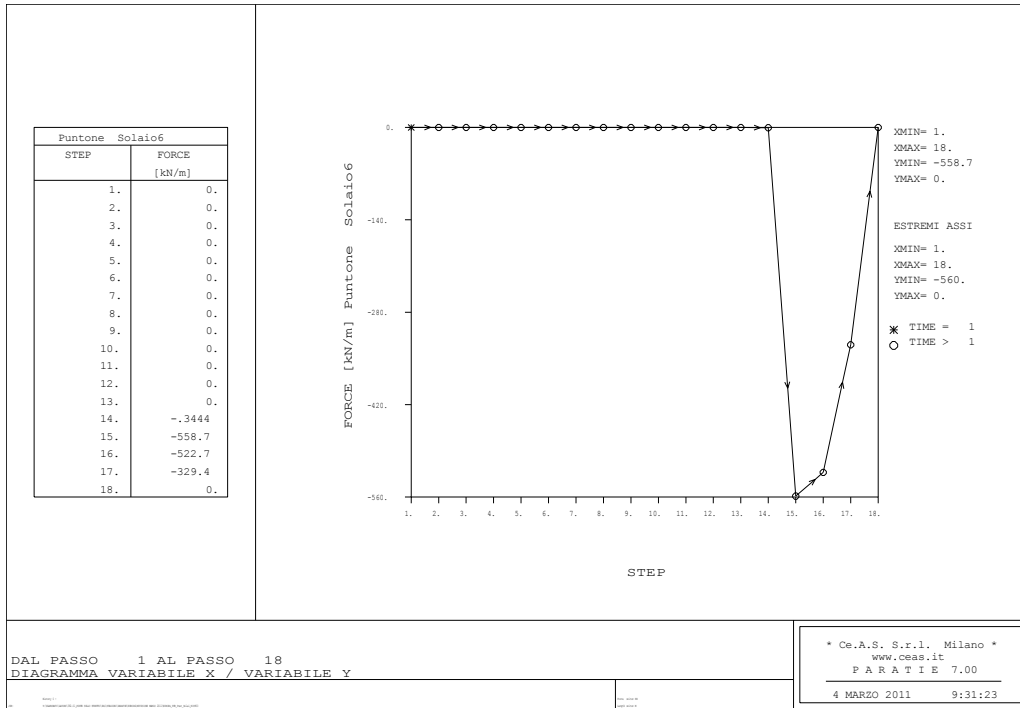


Figura 37 – Azioni assiali sul solaio a +23.56m s.l.m.

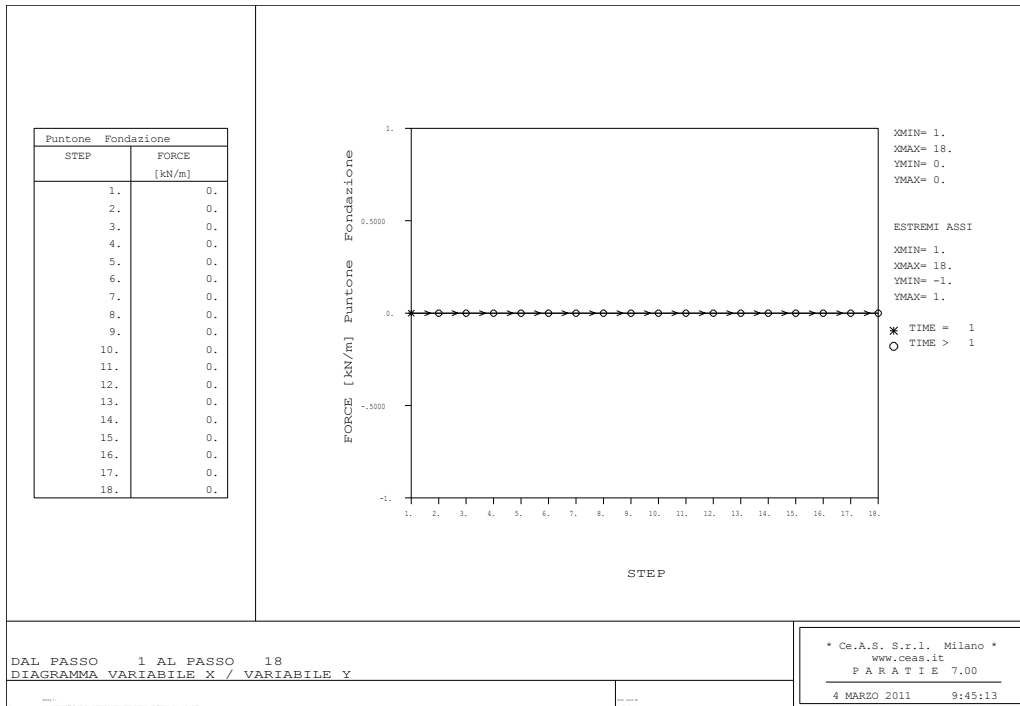


Figura 38 – Azioni assiali sul solaio di fondazione

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0 Data 20-06-2011

7.4.2 Analisi GEO_Statica – A2+M2+R2

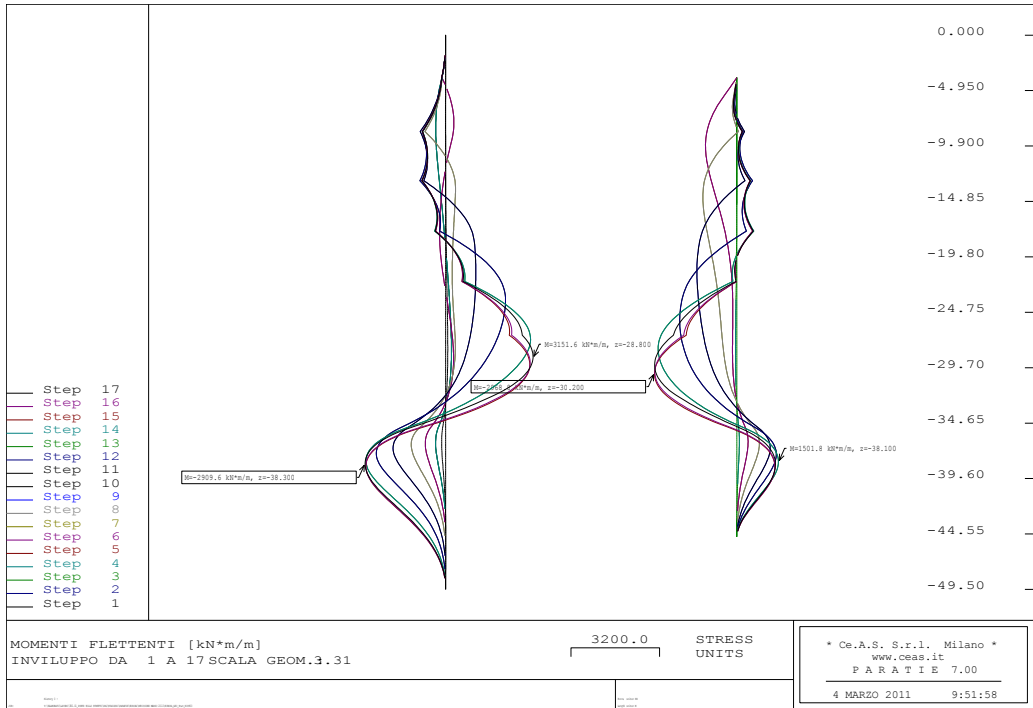


Figura 39 – Diagramma del momento flettente

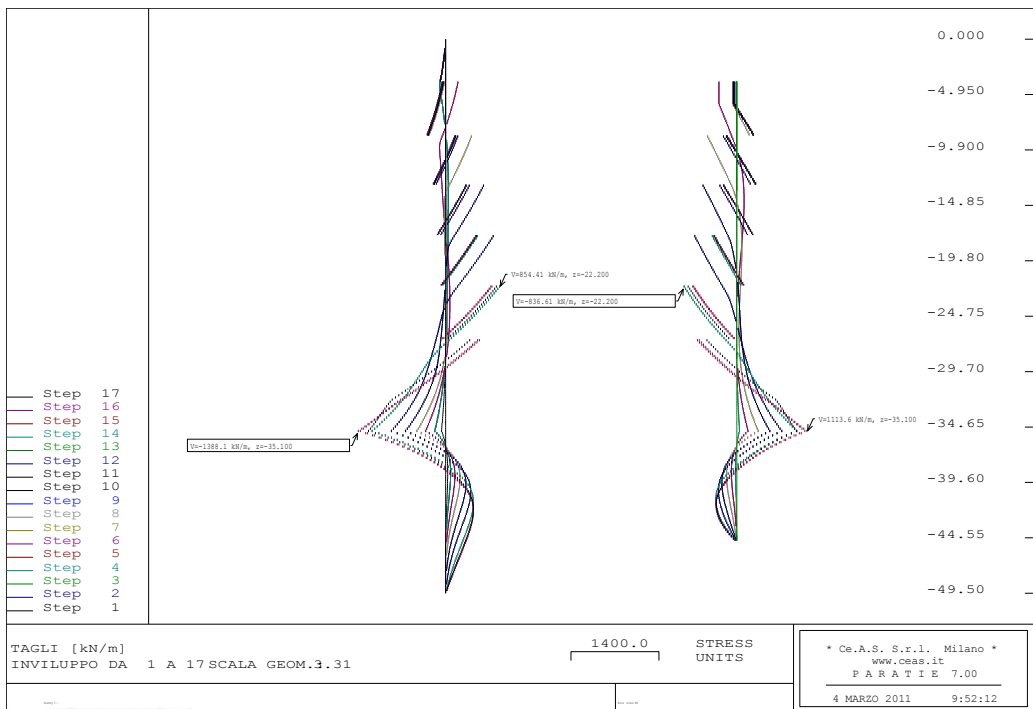


Figura 40 – Diagramma del taglio

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0	Data 20-06-2011

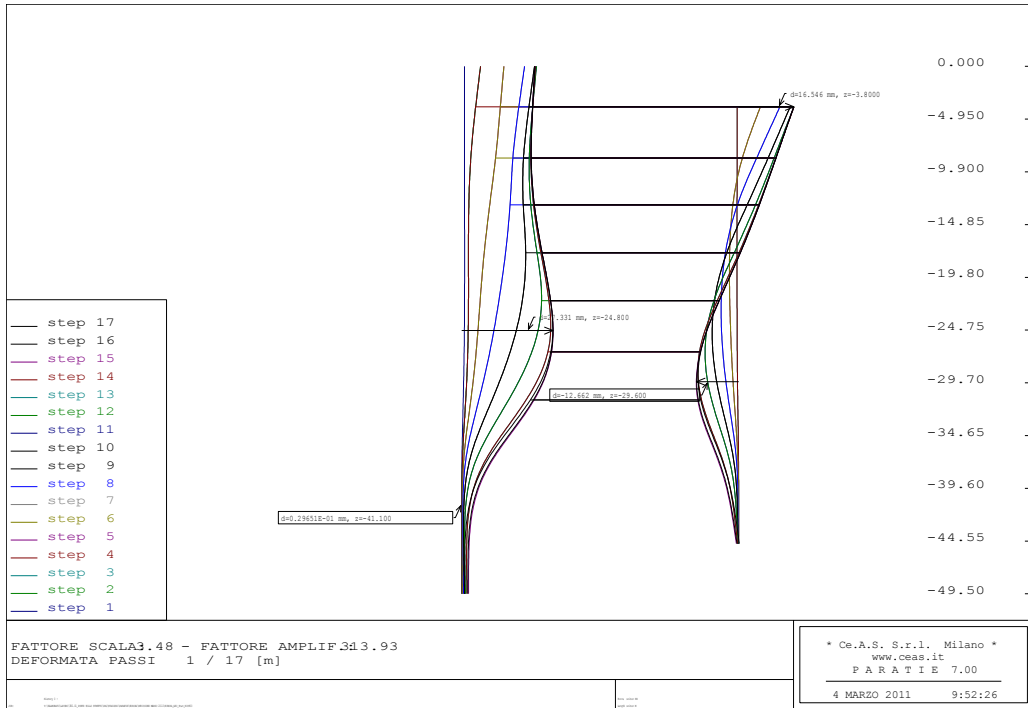


Figura 41 – Diagramma degli spostamenti orizzontali

7.4.3 Analisi STR_SLV_+Y – 1+M1+R1

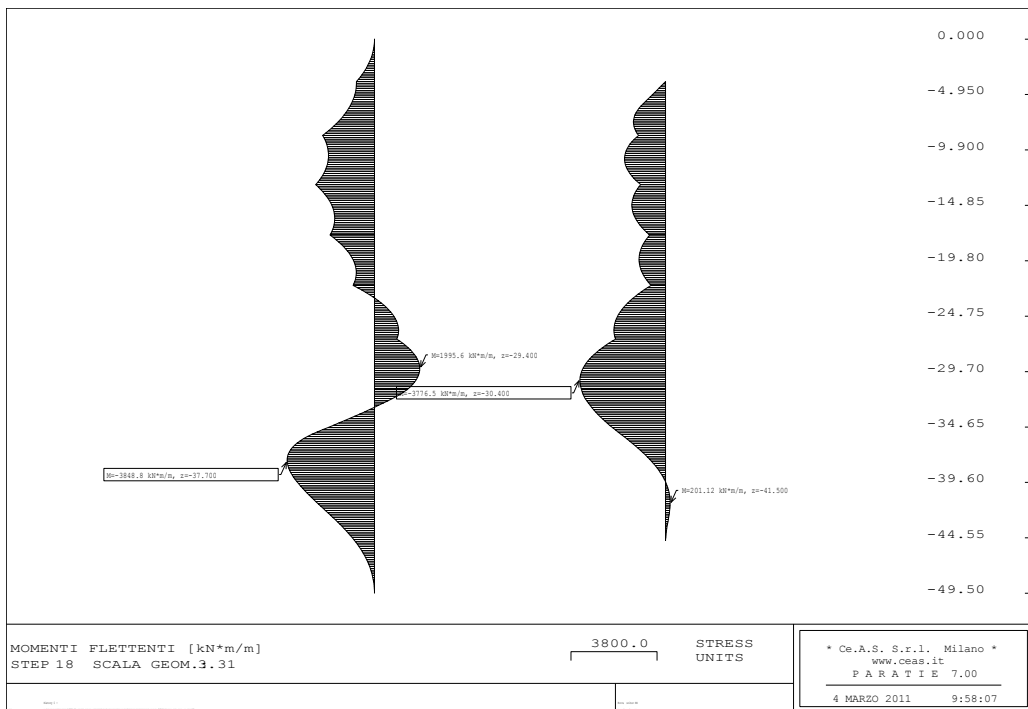


Figura 42 – Diagramma del momento flettente

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0 <i>Data</i> 20-06-2011

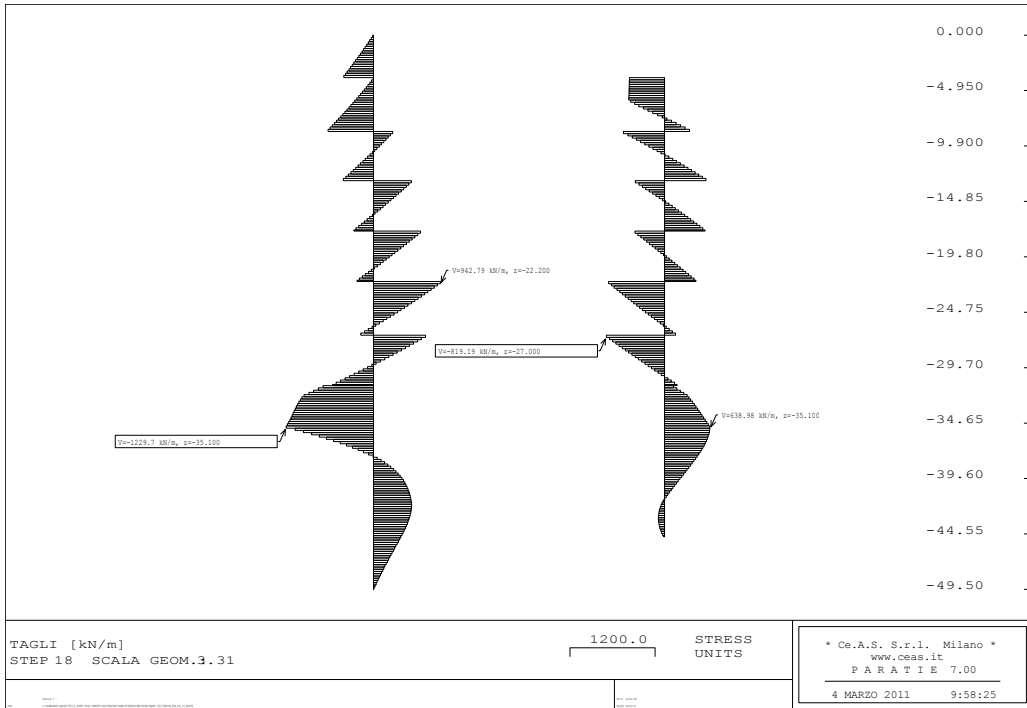


Figura 43 – Diagramma del taglio

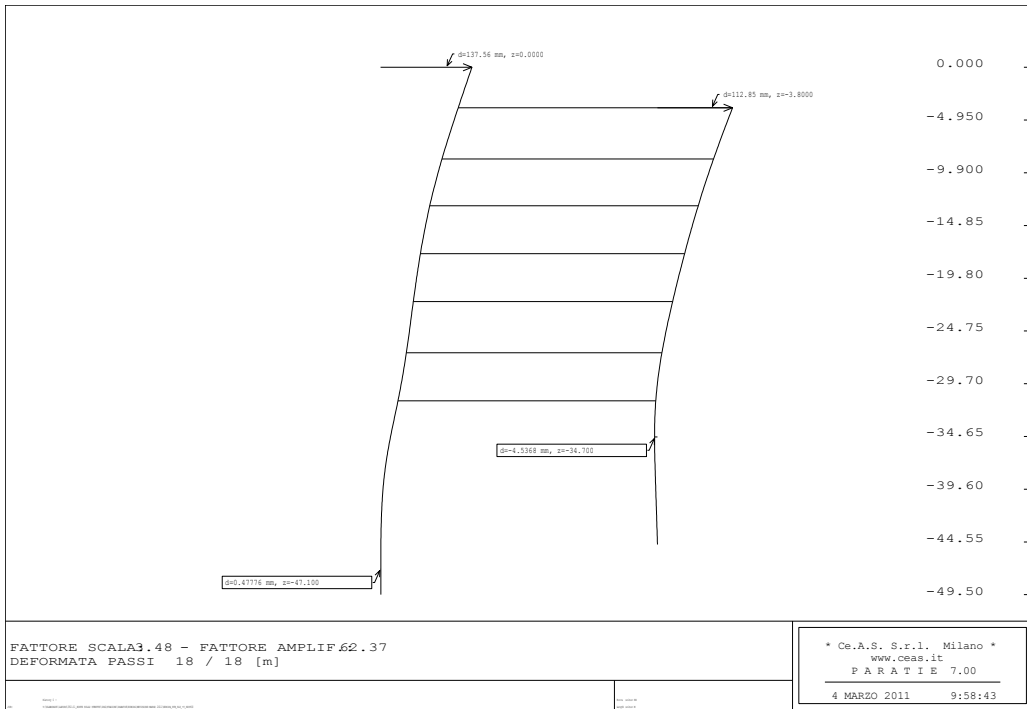


Figura 44 – Diagramma degli spostamenti orizzontali

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0 Data 20-06-2011

7.4.4 Analisi STR_SLV_-Y – 1+M1+R1

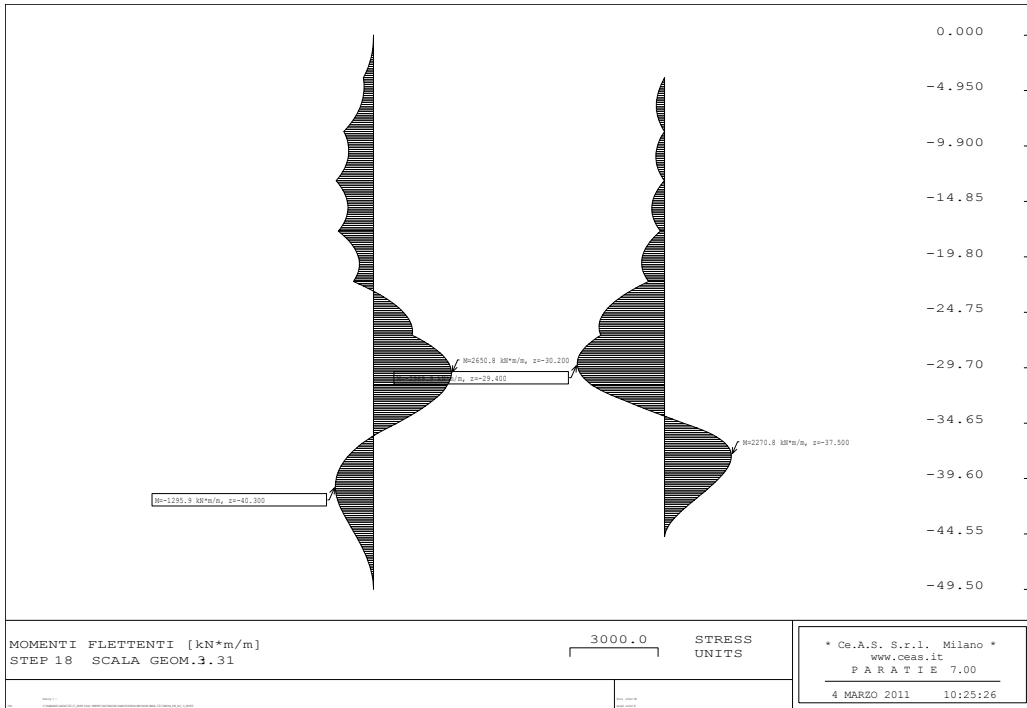


Figura 45 – Diagramma del momento flettente

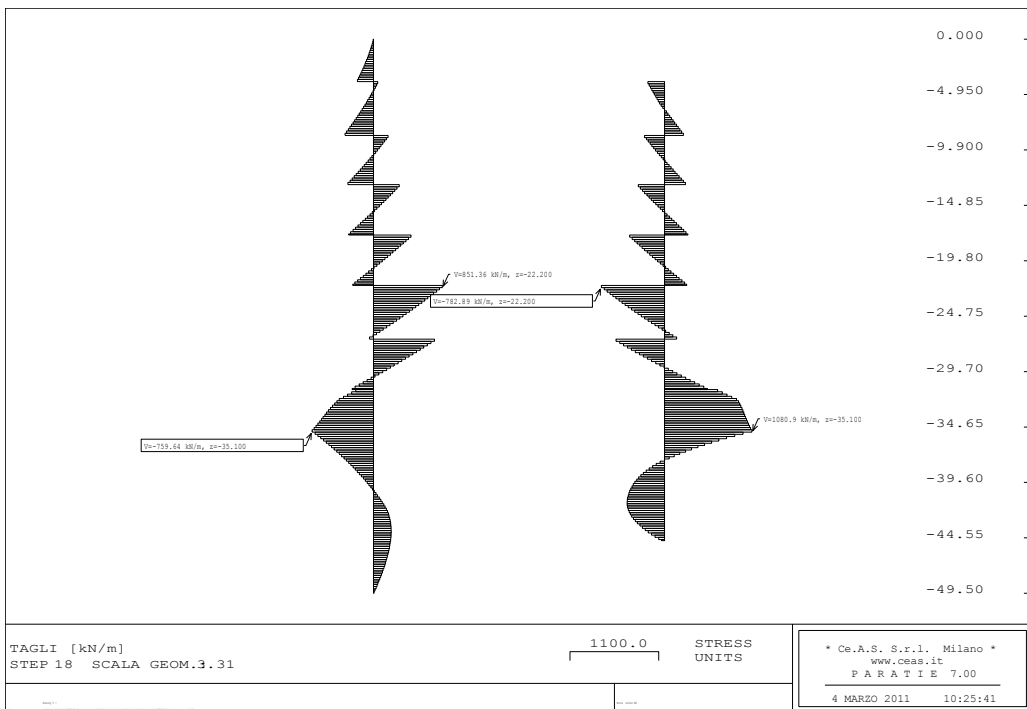


Figura 46 – Diagramma del taglio

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0 Data 20-06-2011

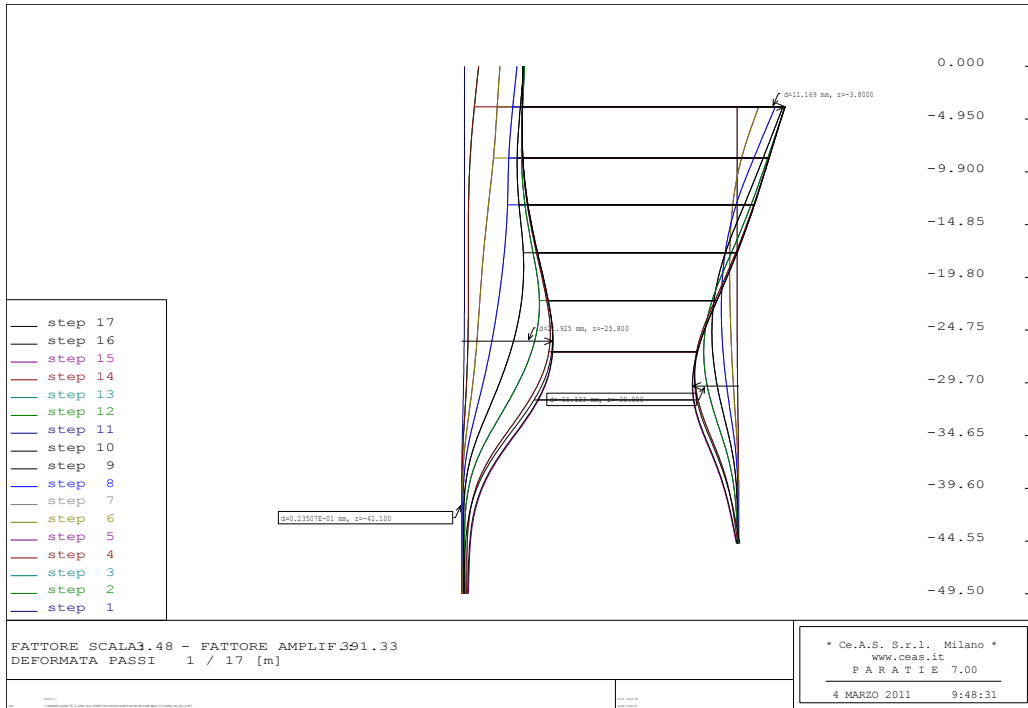


Figura 47 – Diagramma degli spostamenti orizzontali

7.4.5 Analisi GEO_SLV_+Y – 1+M2+R2

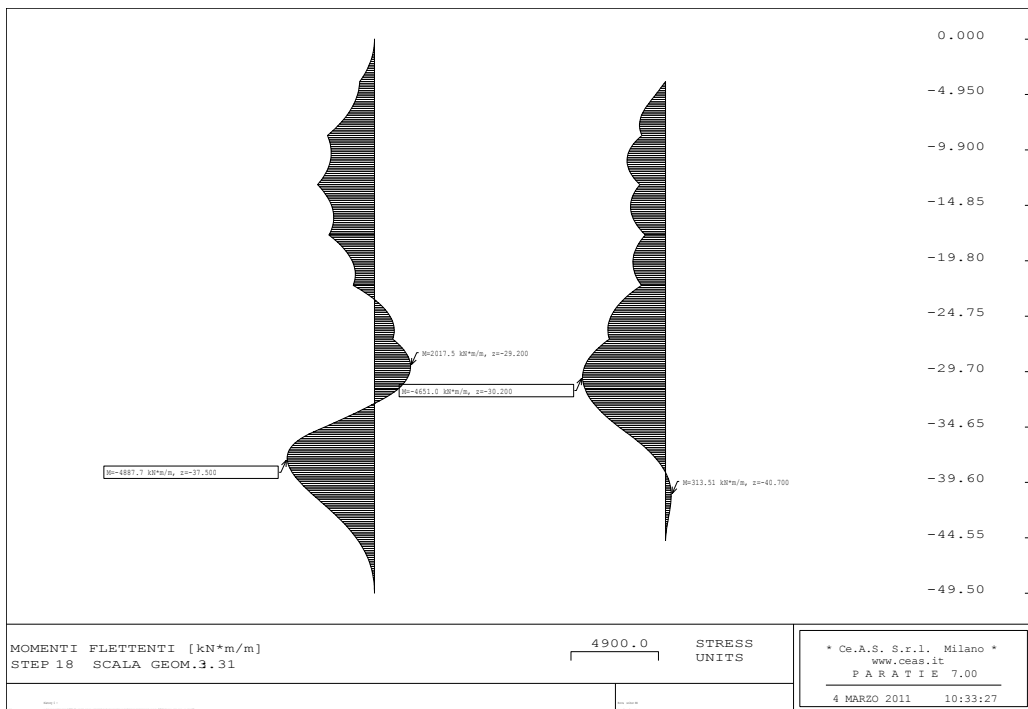


Figura 48 – Diagramma del momento flettente

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

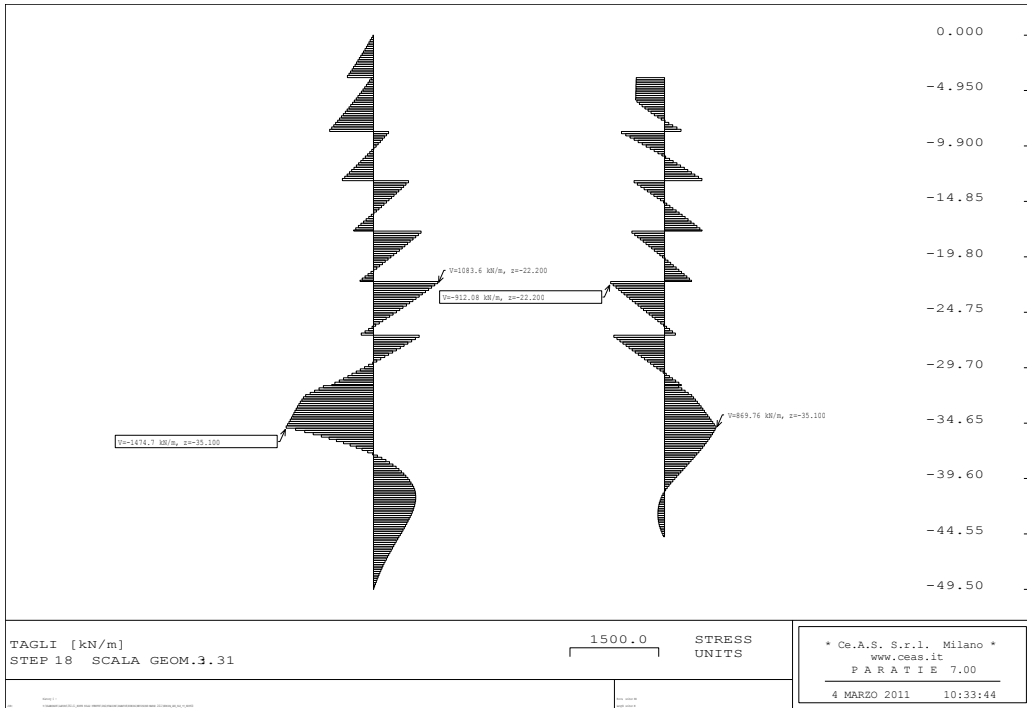


Figura 49 – Diagramma del taglio

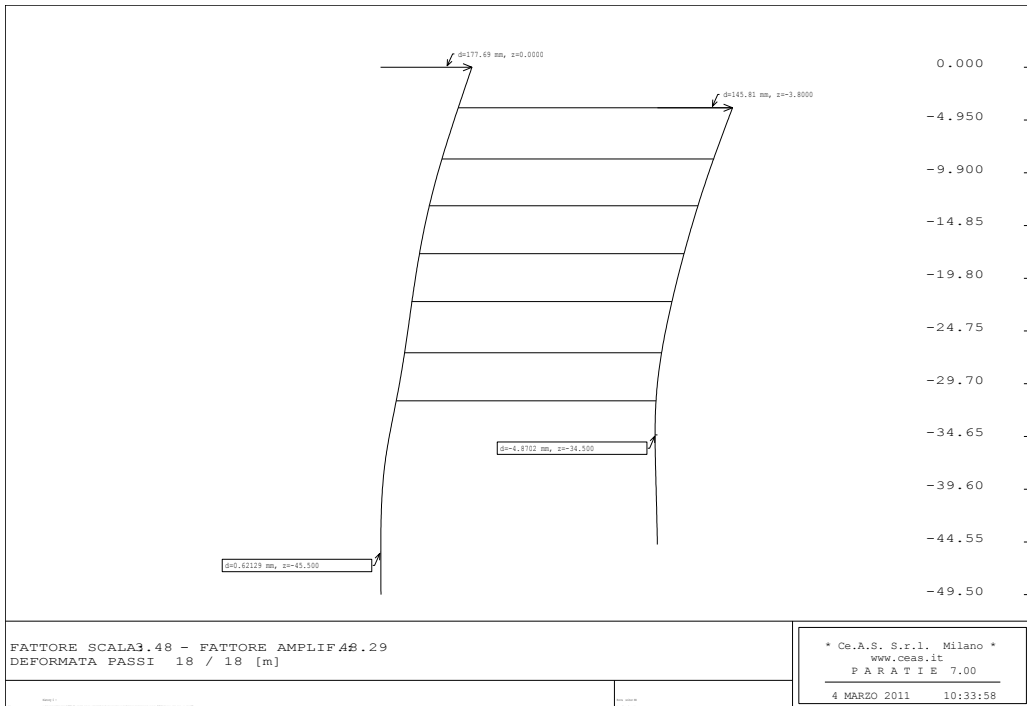


Figura 50 – Diagramma degli spostamenti orizzontali

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0	Data 20-06-2011

7.4.6 Analisi GEO_SLV_-Y – 1+M2+R2

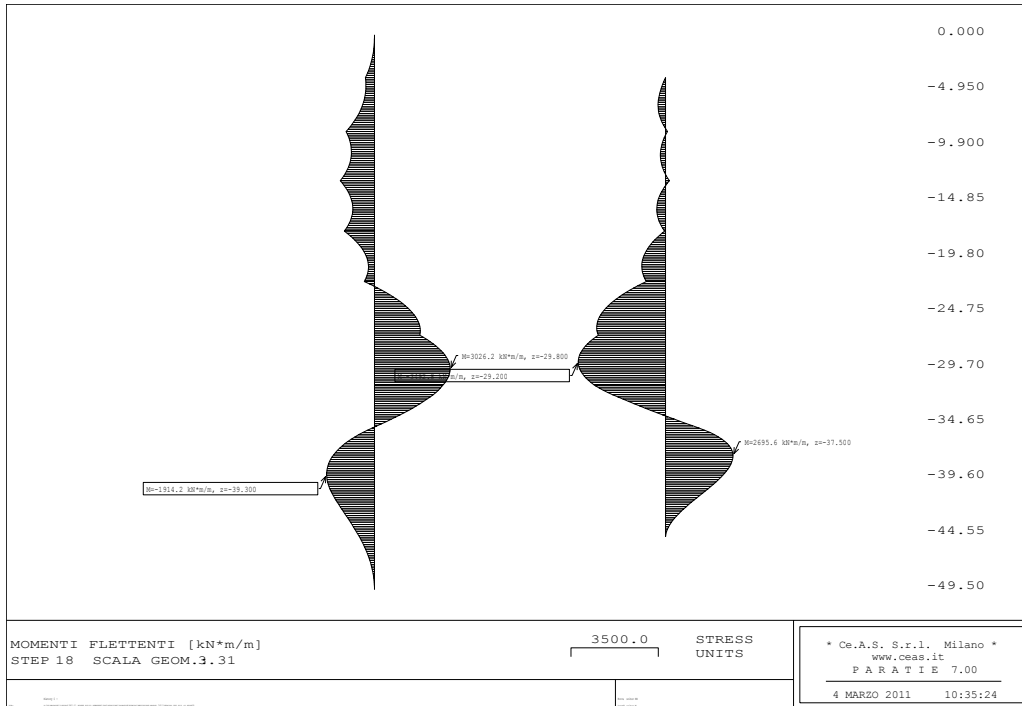


Figura 51 – Diagramma del momento flettente

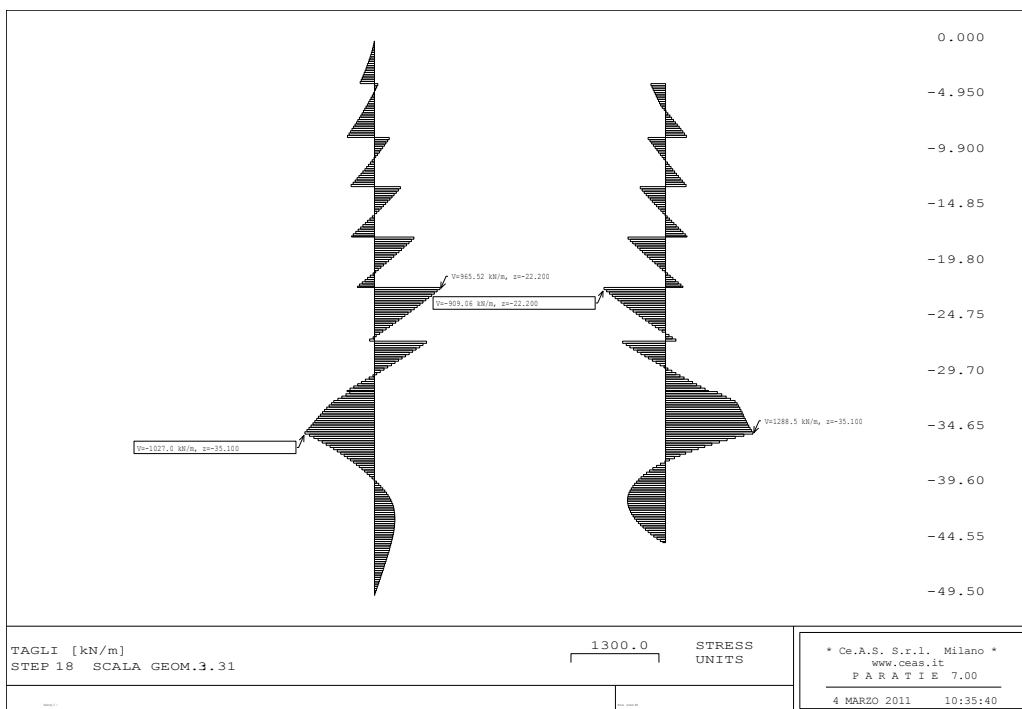


Figura 52 – Diagramma del taglio

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0 Data 20-06-2011

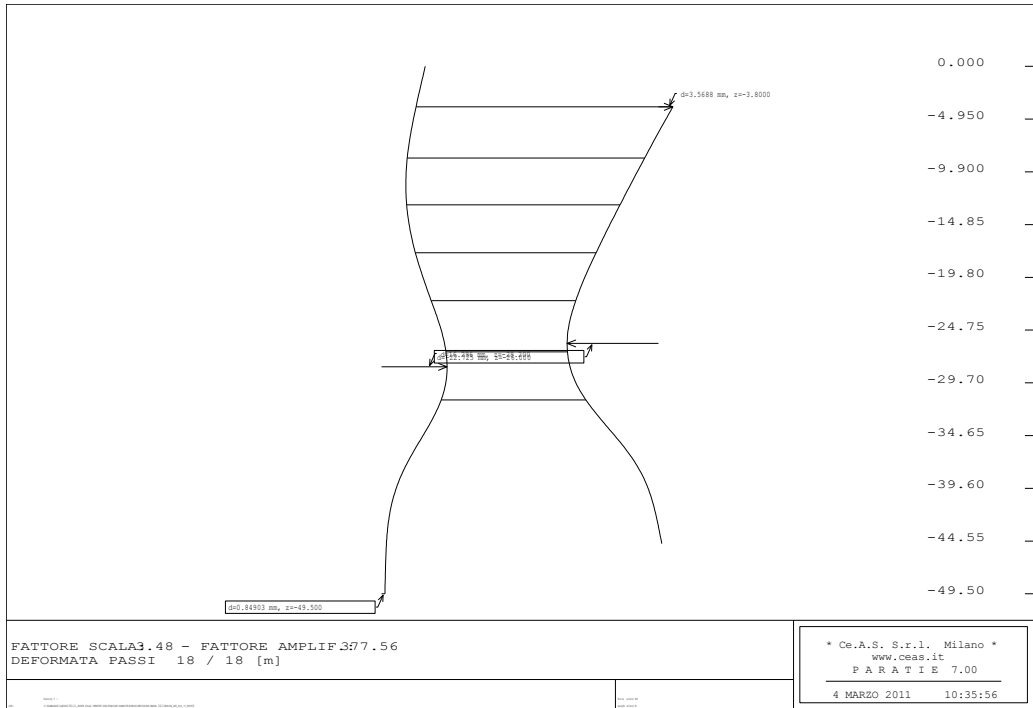


Figura 53 – Diagramma degli spostamenti orizzontali

7.4.7 Analisi STR_SLD_+Y – 1+M1+R1

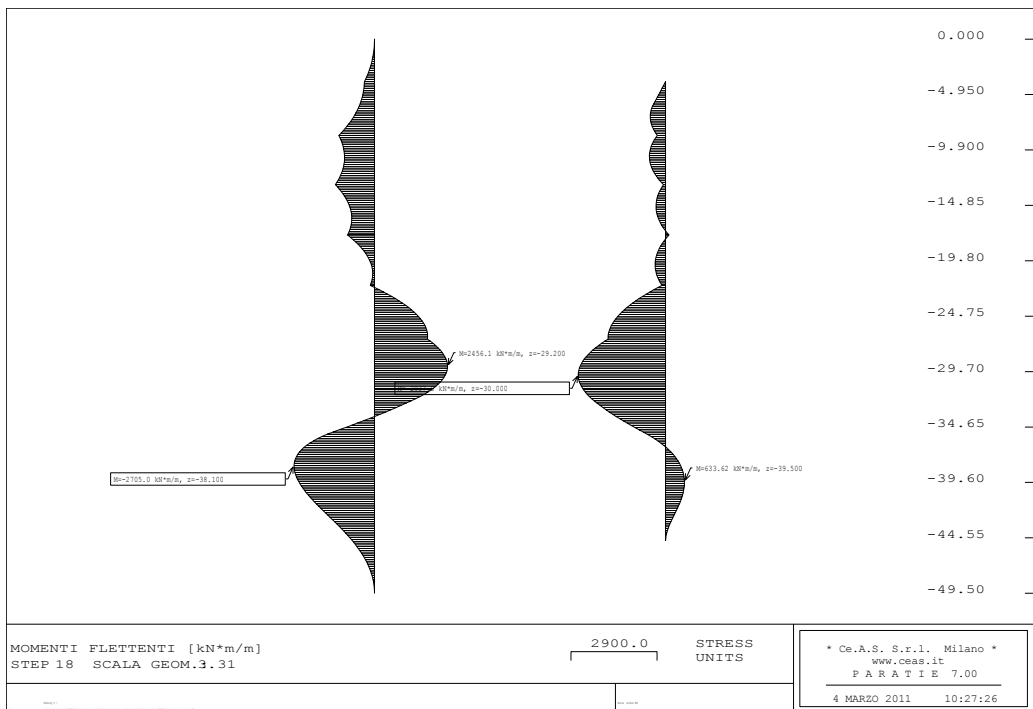


Figura 54 – Diagramma del momento flettente

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0 Data 20-06-2011

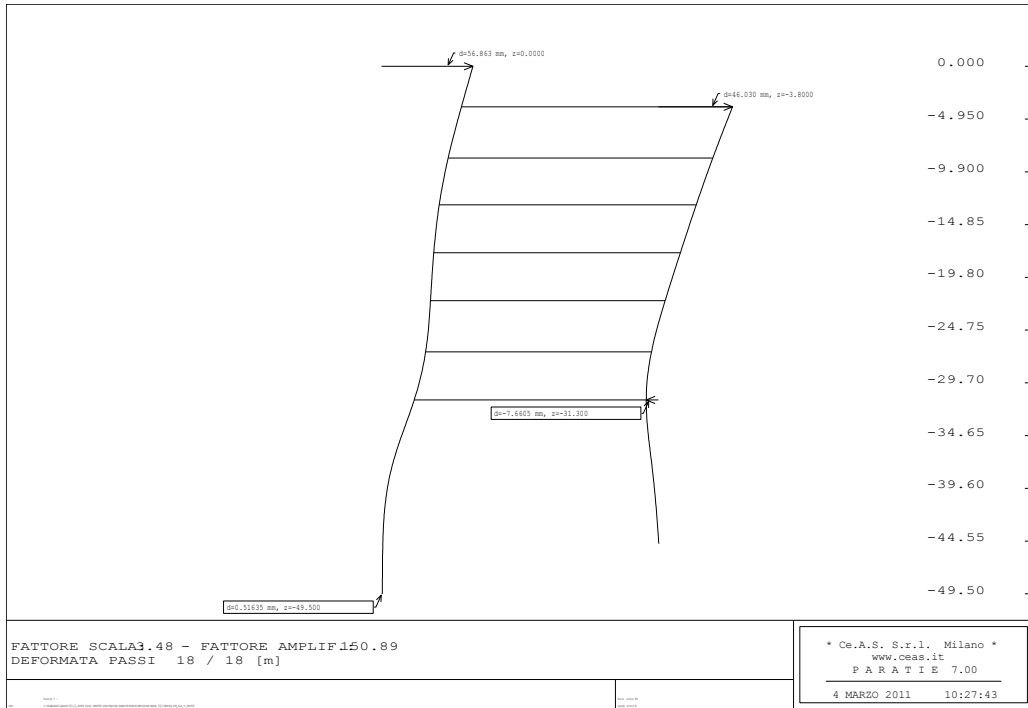


Figura 55 – Diagramma degli spostamenti orizzontali

7.4.8 Analisi STR_SLD_-Y – 1+M1+R1

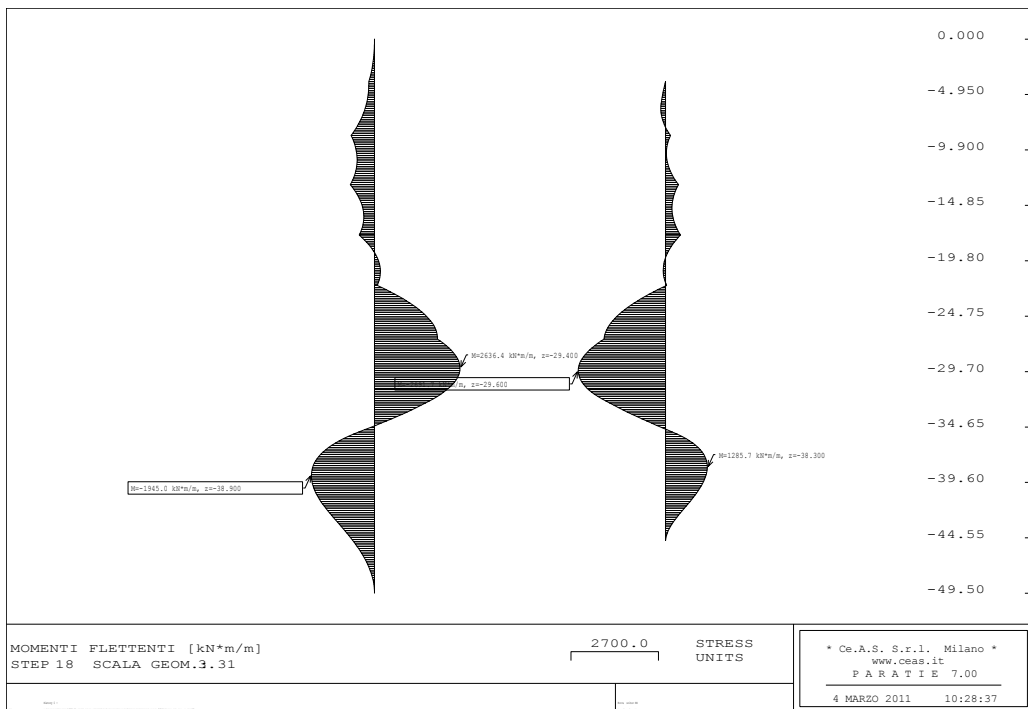


Figura 56 – Diagramma del momento flettente

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0 Data 20-06-2011

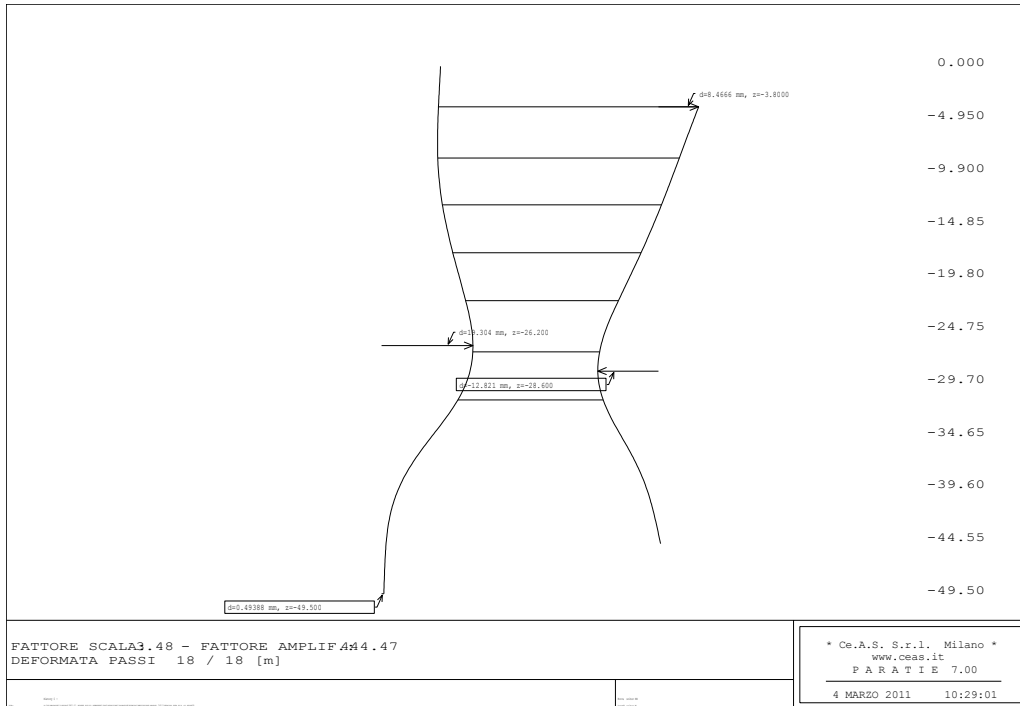


Figura 57 – Diagramma degli spostamenti orizzontali

7.4.9 Analisi GEO_SLD_+Y – 1+M2+R2

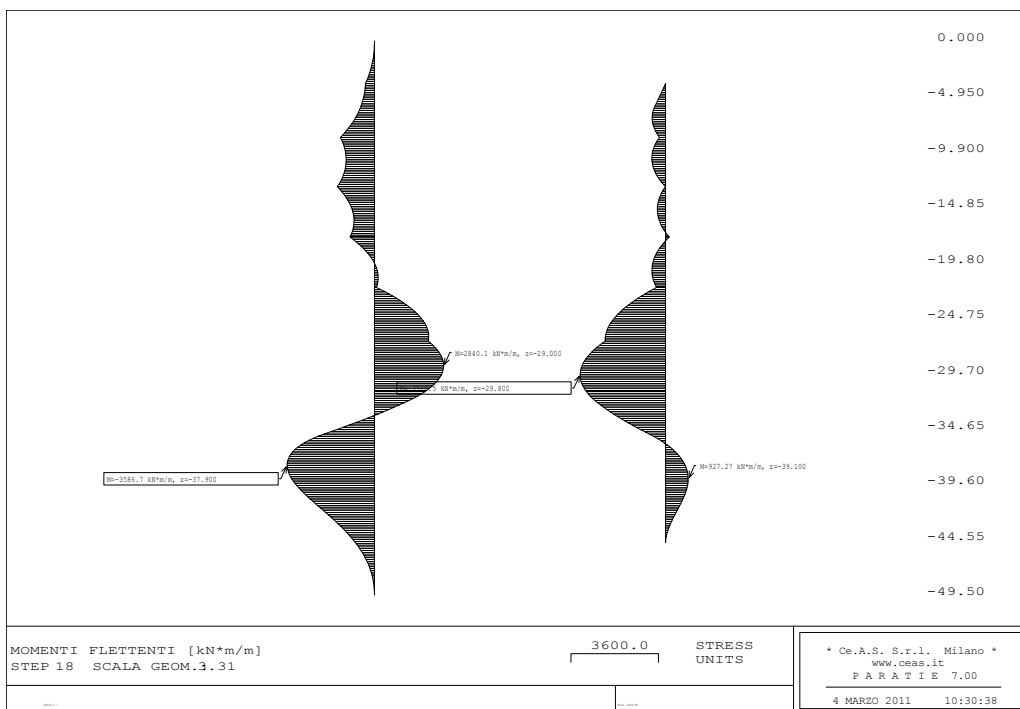


Figura 58 – Diagramma del momento flettente

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0 Data 20-06-2011

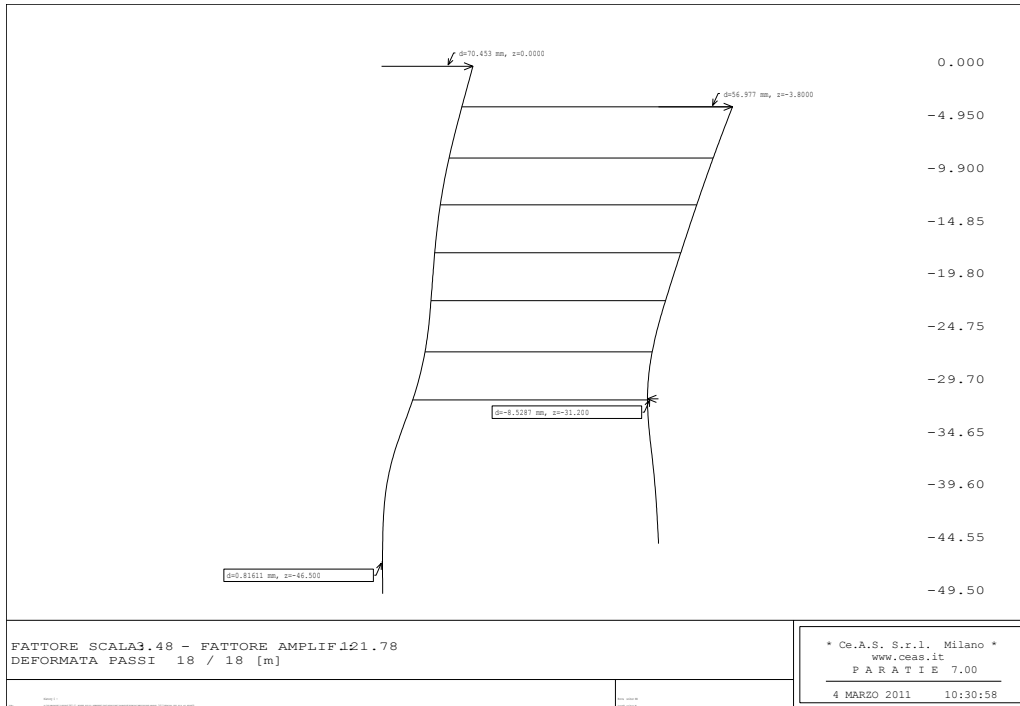


Figura 59 – Diagramma degli spostamenti orizzontali

7.4.10 Analisi GEO_SLD_-Y – 1+M2+R2

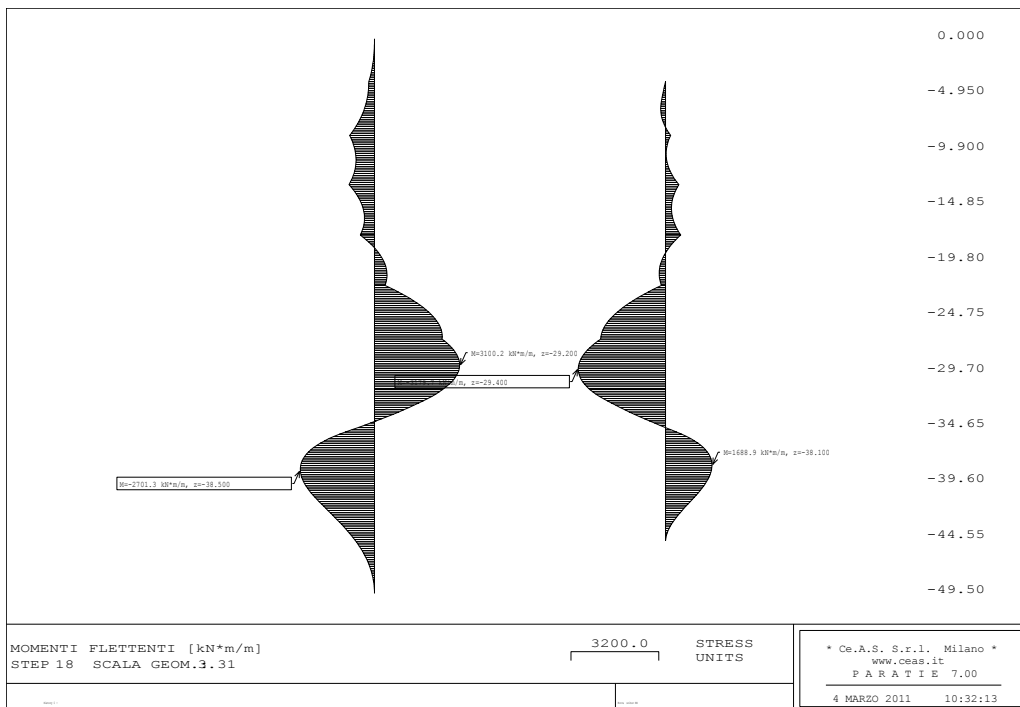


Figura 60 – Diagramma del momento flettente

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento <i>ST0073_F0.doc</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20-06-2011</i>

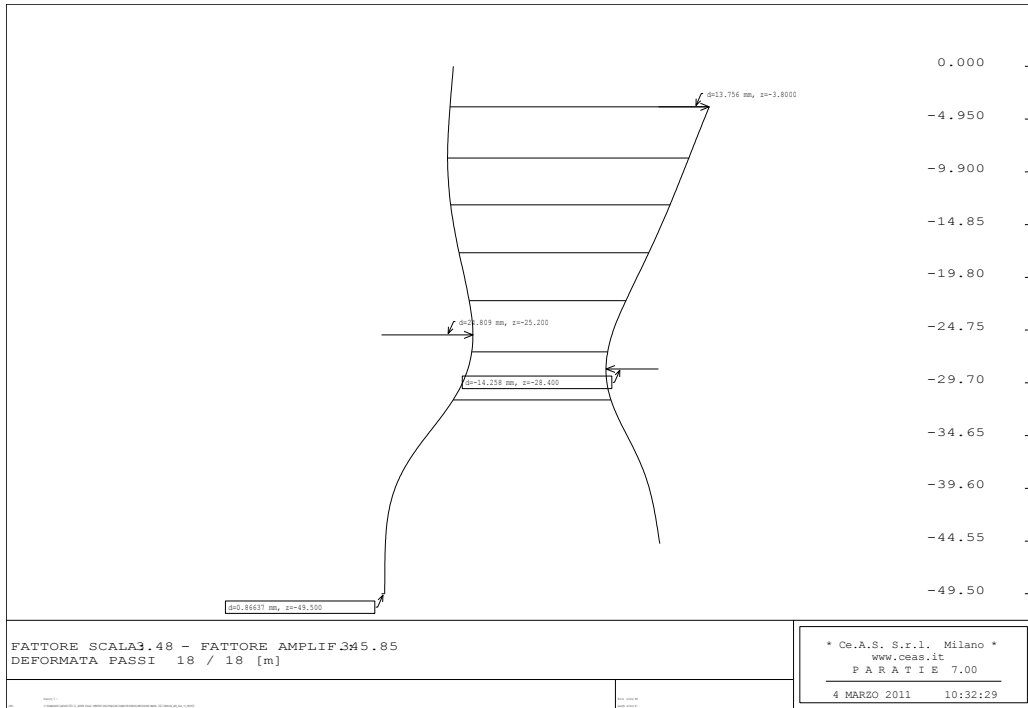


Figura 61 – Diagramma degli spostamenti orizzontali

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

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:

$$E_d \leq R_d$$

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;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

- 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:

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

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.

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);

$\rho_1 \square = A_{sl} / (b_w \times d)$ 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).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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 θ 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:

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

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 σ_{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;

α angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;

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

α_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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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 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	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{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 γ_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	≥ 10
ξ_s	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_A	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Tabella 20 – Fattori di correlazione ξ 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

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_γ i coefficienti di carico limite, con ψ_q , ψ_c , ψ_γ i coefficienti correttivi di punzonamento proposti da Vesic (1975), con u_p e σ'_{vp} rispettivamente la pressione neutra e la tensione verticale efficace litostatica agente alla base del pannello, con c' e γ' 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, μ è un coefficiente di attrito che dipende dalla scabrezza dell'interfaccia parete-terreno e σ'_{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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

✓ 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:

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

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

Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio:

Per l'acciaio la tensione massima σ_s , 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;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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:

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

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

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

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 ϵ_{sm} per la distanza media tra le fessure Δ_{sm} :

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

Per il calcolo di ϵ_{sm} , e Δ_{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 250x150cm con calcestruzzo C28/35.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Le armature previste sono riportate nella seguente tabella.

Gabbia	Quote da testa paratia (m)	Armatura Intradosso	Armatura Estradosso	Staffe
1	0 - ...	2 strati accoppiati 25 ϕ 26	2 strati accoppiati 25 ϕ 26	ϕ 16/20 a 4 bracci

Tabella 21 - Armature diaframmi

La figura successiva mostra la disposizione delle armature sulla sezione trasversale

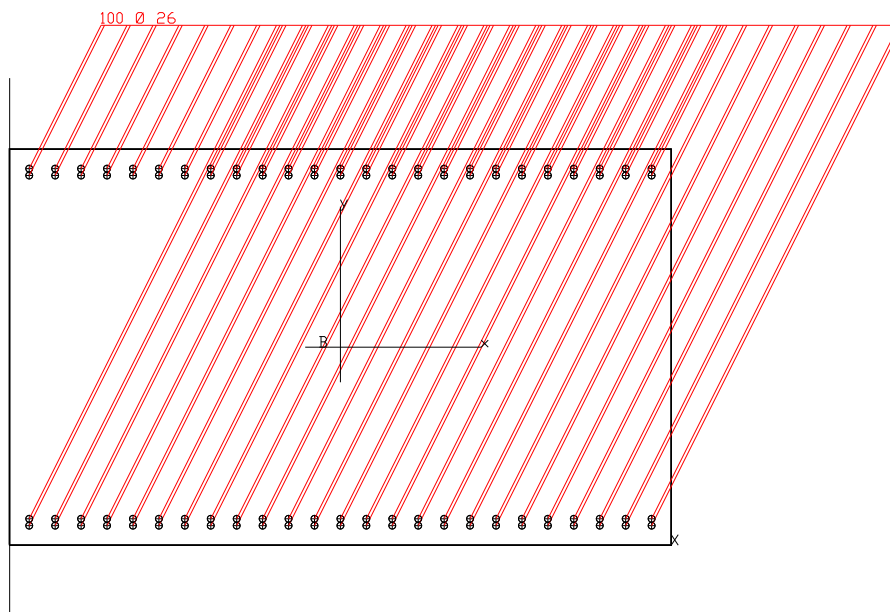


Figura 62 – Armature dei diaframmi

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)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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.

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 ≥ 1.000

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	249375	944125	0	249378	1556322	0	1.648
2	S	353438	-962200	0	353442	-1623654	0	1.687
3	S	329063	10	0	329074	1607928	0	999.000
4	S	247500	1162750	0	247527	1555120	0	1.337
5	S	351563	-1221925	0	351561	-1622440	0	1.328
6	S	329063	10	0	329074	1607928	0	999.000

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio agente [daN] = proiez. di V_x e V_y 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 ² /m]
A_Eff	Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz. [cm ² /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	10	914146	504861	142.6	250.0	21.80°	1.042	0.0	40.2(0.0)
2	S	0	1347771	201944	142.6	250.0	45.00°	1.059	0.0	40.2(0.0)
3	S	362440	925901	504861	142.6	250.0	21.80°	1.055	28.9	40.2(0.0)
4	S	0	1325111	201944	142.6	250.0	45.00°	1.042	0.0	40.2(0.0)
5	S	0	1347370	201944	142.6	250.0	45.00°	1.059	0.0	40.2(0.0)
6	S	368675	925901	504861	142.6	250.0	21.80°	1.055	29.4	40.2(0.0)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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	10073.	10073.	7016.4	7016.4
		SPINTA ACQUA	3781.2	3781.2	3075.2	3075.2
		SPINTA TOTALE VERA	13854.	13854.	10092.	10092.
		SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	3690.7	3011.1	2333.7	2333.7
		SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	0.12566E+06	0.10970E+06	82026.	82026.
		RAPPORTO PASSIVA/VERA	12.475	10.891	11.691	11.691
		SPINTA PASSIVA MOBILITATA	8.%	9.%	9.%	9.%
		RAPPORTO VERA/ATTIVA	2.7293	3.3453	3.0065	3.0065

FASE	2	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
		SPINTA EFFICACE VERA	8989.3	8989.3	7016.4	7016.4
		SPINTA ACQUA	3781.2	3781.2	3075.2	3075.2
		SPINTA TOTALE VERA	12771.	12771.	10092.	10092.
		SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	3690.7	2344.3	2333.7	2333.7
		SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	0.12566E+06	93098.	82026.	82026.
		RAPPORTO PASSIVA/VERA	13.979	10.357	11.691	11.691
		SPINTA PASSIVA MOBILITATA	7.%	10.%	9.%	9.%
		RAPPORTO VERA/ATTIVA	2.4356	3.8345	3.0065	3.0065

FASE	3	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
		SPINTA EFFICACE VERA	8989.3	8989.3	7199.1	7199.1
		SPINTA ACQUA	3781.2	3781.2	3075.2	3075.2
		SPINTA TOTALE VERA	12771.	12771.	10274.	10274.
		SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	3690.7	2344.3	2333.7	2570.0
		SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	0.12566E+06	93098.	82026.	87764.
		RAPPORTO PASSIVA/VERA	13.979	10.357	11.394	12.191

SPINTA PASSIVA MOBILITATA	7.%	10.%	9.%	8.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA	2.4356	3.8345	3.0848	2.8012

FASE	4	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA			8989.3	8989.3	7199.1	7199.1
SPINTA ACQUA			3781.2	3781.2	3075.2	3075.2
SPINTA TOTALE VERA			12771.	12771.	10274.	10274.
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)			3690.7	2344.3	2333.7	2570.0
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)			0.12566E+06	93098.	82026.	87764.
RAPPORTO PASSIVA/VERA			13.979	10.357	11.394	12.191
SPINTA PASSIVA MOBILITATA	7.%		10.%		9.%	8.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA			2.4356	3.8345	3.0848	2.8012

FASE	5	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA			7888.2	7605.7	5979.7	6262.2
SPINTA ACQUA			3781.2	3781.2	3075.2	3075.2
SPINTA TOTALE VERA			11669.	11387.	9054.9	9337.4
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)			3690.7	1569.8	1569.8	2570.0
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)			0.12566E+06	72855.	63284.	87764.
RAPPORTO PASSIVA/VERA			15.930	9.5790	10.583	14.015
SPINTA PASSIVA MOBILITATA	6.%		10.%		9.%	7.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA			2.1373	4.8450	3.8092	2.4367

FASE	6	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA			7888.2	7605.7	5979.7	6262.2
SPINTA ACQUA			3781.2	3781.2	3075.2	3075.2
SPINTA TOTALE VERA			11669.	11387.	9054.9	9337.4
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)			3690.7	1569.8	1569.8	2570.0
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)			0.12566E+06	72855.	63284.	87764.
RAPPORTO PASSIVA/VERA			15.930	9.5790	10.583	14.015
SPINTA PASSIVA MOBILITATA	6.%		10.%		9.%	7.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA			2.1373	4.8450	3.8092	2.4367

FASE	7	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA			7163.8	6416.4	4965.4	5712.7
SPINTA ACQUA			3781.2	3781.2	3075.2	3075.2
SPINTA TOTALE VERA			10945.	10198.	8040.6	8787.9
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)			3690.7	1012.4	1012.4	2570.0
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)			0.12566E+06	57270.	48840.	87764.
RAPPORTO PASSIVA/VERA			17.541	8.9256	9.8359	15.363
SPINTA PASSIVA MOBILITATA	6.%		11.%		10.%	7.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA			1.9410	6.3382	4.9049	2.2229

FASE	8	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA			7163.7	6416.4	4965.4	5712.7
SPINTA ACQUA			3781.2	3781.2	3075.2	3075.2
SPINTA TOTALE VERA			10945.	10198.	8040.6	8787.9
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)			3690.7	1012.4	1012.4	2570.0
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)			0.12566E+06	57270.	48840.	87764.
RAPPORTO PASSIVA/VERA			17.541	8.9256	9.8359	15.363
SPINTA PASSIVA MOBILITATA	6.%		11.%		10.%	7.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA			1.9410	6.3382	4.9049	2.2229

FASE	9	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA			6585.6	5288.1	3998.8	5296.0

SPINTA ACQUA	3781.2	3781.2	3075.2	3075.2
SPINTA TOTALE VERA	10367.	9069.4	7074.0	8371.2
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	3690.7	548.38	548.38	2570.0
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	0.12566E+06	43133.	35869.	87764.
RAPPORTO PASSIVA/VERA	19.081	8.1566	8.9699	16.572
SPINTA PASSIVA MOBILITATA	5.%	12.%	11.%	6.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.7844	9.6431	7.2920	2.0607

FASE 10	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA		6585.5	5288.2	3998.8	5296.1
SPINTA ACQUA		3781.2	3781.2	3075.2	3075.2
SPINTA TOTALE VERA		10367.	9069.4	7074.0	8371.3
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)		3690.7	548.38	548.38	2570.0
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)		0.12566E+06	43133.	35869.	87764.
RAPPORTO PASSIVA/VERA		19.081	8.1565	8.9699	16.571
SPINTA PASSIVA MOBILITATA		5.%	12.%	11.%	6.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA		1.7843	9.6432	7.2919	2.0607

FASE 11	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA		6096.5	4254.7	3139.6	4986.0
SPINTA ACQUA		3781.2	3699.2	3001.3	3075.2
SPINTA TOTALE VERA		9877.8	7954.0	6140.9	8061.2
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)		3690.7	202.50	202.50	2570.0
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)		0.12566E+06	31219.	25080.	87764.
RAPPORTO PASSIVA/VERA		20.612	7.3376	7.9885	17.602
SPINTA PASSIVA MOBILITATA		5.%	14.%	13.%	6.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA		1.6518	21.011	15.504	1.9401

FASE 12	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA		6095.0	4255.6	3139.4	4986.8
SPINTA ACQUA		3781.2	3699.2	3001.3	3075.2
SPINTA TOTALE VERA		9876.2	7954.8	6140.7	8062.0
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)		3690.7	202.50	202.50	2570.0
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)		0.12566E+06	31219.	25080.	87764.
RAPPORTO PASSIVA/VERA		20.617	7.3361	7.9890	17.599
SPINTA PASSIVA MOBILITATA		5.%	14.%	13.%	6.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA		1.6514	21.015	15.503	1.9404

FASE 13	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA		5489.2	4166.3	3104.2	4556.9
SPINTA ACQUA		3781.2	2508.8	1940.5	3075.2
SPINTA TOTALE VERA		9270.5	6675.2	5044.7	7632.1
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)		3690.7	78.356	78.356	2570.0
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)		0.12566E+06	25948.	20398.	87764.
RAPPORTO PASSIVA/VERA		22.892	6.2280	6.5711	19.260
SPINTA PASSIVA MOBILITATA		4.%	16.%	15.%	5.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA		1.4873	53.172	39.617	1.7731

FASE 14	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA		5486.0	4167.0	3103.8	4560.5
SPINTA ACQUA		3781.2	2508.8	1940.5	3075.2
SPINTA TOTALE VERA		9267.2	6675.9	5044.3	7635.7
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)		3690.7	78.356	78.356	2570.0
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)		0.12566E+06	25948.	20398.	87764.
RAPPORTO PASSIVA/VERA		22.906	6.2270	6.5720	19.244
SPINTA PASSIVA MOBILITATA		4.%	16.%	15.%	5.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA		1.4864	53.181	39.612	1.7745

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0	Data 20-06-2011

FASE	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
15					
	SPINTA EFFICACE VERA	5005.2	4233.1	3194.5	4244.5
	SPINTA ACQUA	3781.2	1479.2	1051.2	3075.2
	SPINTA TOTALE VERA	8786.4	5712.3	4245.7	7319.7
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	3690.7	9.1400	9.1400	2570.0
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	0.12566E+06	21345.	16434.	87764.
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	25.106	5.0424	5.1444	20.677
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	4.%	20.%	19.%	5.%
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.3562	463.14	349.50	1.6516
16					
	SPINTA EFFICACE VERA	5208.1	4464.9	3381.9	4402.8
	SPINTA ACQUA	3781.2	1479.2	1051.2	3075.2
	SPINTA TOTALE VERA	8989.3	5944.1	4433.1	7478.0
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	3690.7	48.200	48.200	2570.0
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	0.12566E+06	25671.	20077.	87764.
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	24.128	5.7495	5.9367	19.934
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	4.%	17.%	17.%	5.%
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.4111	92.632	70.163	1.7132
17					
	SPINTA EFFICACE VERA	6093.1	3692.2	2693.2	5093.9
	SPINTA ACQUA	3781.2	3261.1	2555.0	3075.2
	SPINTA TOTALE VERA	9874.3	6953.3	5248.2	8169.1
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	3690.7	48.200	48.200	2570.0
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	0.12566E+06	25671.	20077.	87764.
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	20.623	6.9527	7.4549	17.229
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	5.%	14.%	13.%	6.%
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.6509	76.601	55.874	1.9821
18					
	SPINTA EFFICACE VERA	6415.7	3946.5	2584.7	8825.8
	SPINTA ACQUA	3781.2	3261.1	2555.0	3075.2
	SPINTA TOTALE VERA	10197.	7207.6	5139.7	11901.
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	4259.7	55.283	55.283	2947.7
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	83996.	18617.	14629.	58901.
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	13.092	4.7173	5.6598	6.6737
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	8.%	21.%	18.%	15.%
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.5061	71.387	46.753	2.9942

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 delle azioni di progetto, per i casi in esame, è stato determinato come di seguito riportato.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0	Data 20-06-2011

DIAFRAMMI L=49.50m	DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO					
	Peso proprio dei diaframmi					
	Spessore (m)		1.50			
	Lunghezza (m)		49.50			
	Altezza fuori terra (m)		32.30			
	Lunghezza infissione (m)		17.20			
	Peso proprio (kN/m)		1856.25			
	Azioni trasmesse dai solai					
	Solaio	Larghezza di influenza (m)	Peso proprio a ml (kPa)	Carico accidentale a ml (kPa)	Q_{perm} (kN/m)	Q_{acc} (kN/m)
	+46.28 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55
+41.80 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55	
+37.32 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55	
+32.84 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55	
+28.36 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55	
+23.56 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55	
TOTALE (kN/m)				429.75	57.30	
Valori di progetto delle azioni						
Azione	Valore caratteristico (kN/m)	Coefficiente di amplificazione	Valore di progetto (kN/m)			
Peso proprio pannelli	1856.25	1.30	2413.13			
Peso proprio solai	429.75	1.30	558.68			
Azioni accidentali (in fase costruttiva)	57.30	1.50	85.95			
AZIONE DI PROGETTO (kN/m)			3057.75			
DIAFRAMMI L=41.00m	DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO					
	Peso proprio dei diaframmi					
	Spessore (m)		1.50			
	Lunghezza (m)		41.00			
	Altezza fuori terra (m)		28.50			
	Lunghezza infissione (m)		12.50			
	Peso proprio (kN/m)		1537.50			
	Azioni trasmesse dai solai					
	Solaio	Larghezza di influenza (m)	Peso proprio a ml (kPa)	Carico accidentale a ml (kPa)	Q_{perm} (kN/m)	Q_{acc} (kN/m)
	+46.28 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55
+41.80 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55	
+37.32 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55	
+32.84 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55	
+28.36 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55	
+23.56 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55	
TOTALE (kN/m)				429.75	57.30	
Valori di progetto delle azioni						
Azione	Valore caratteristico (kN/m)	Coefficiente di amplificazione	Valore di progetto (kN/m)			
Peso proprio pannelli	1537.50	1.30	1998.75			
Peso proprio solai	429.75	1.30	558.68			
Azioni accidentali (in fase costruttiva)	57.30	1.50	85.95			
AZIONE DI PROGETTO (kN/m)			2643.38			

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 ξ assunto pari a 1.70.

La tabella seguente riporta i risultati dei calcoli effettuati.

DIAFRAMMI
L=49.50m

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA DI PROGETTO						
Geometria dei diaframmi						
Spessore (m)		1.50				
Lunghezza (m)		49.50				
Altezza fuori terra (m)		32.30				
Lunghezza infissione (m)		17.20				
Caratteristiche del sottosuolo						
Parametri geotecnici dei terreni						
Strato	Spessore (m)	γ (kN/m³)	c (kPa)	ϕ (°)	E (MPa)	ν
Alluvioni sopra falda	22.00	19.00	0.00	37.00	40.00	0.20
Alluvioni sotto falda	13.00	9.00	0.00	37.00	40.00	0.20
Metamorfiti	14.50	12.00	250.00	38.00	1000.00	0.25
Profondità della falda (m)		22.00				
Coefficienti di carico limite						
N_d		48.93				
N_c		61.35				
N_r		78.02				
Correzione per punzonamento						
Modulo di rigidezza a taglio	G (MPa)		400.00			
Indice di rigidezza	I_r		969.86			
Indice di rigidezza critico	$I_{r,crit}$		400.37			
Coefficienti di punzonamento	ψ_q		1.00			
	ψ_c		1.00			
	ψ_r		1.00			
Tensioni litostatiche alla base dei diaframmi						
Tensione verticale totale	σ_{vp} (kPa)		378.40			
Pressione neutra	u_b (kPa)		172.00			
Tensione verticale efficace	σ'_{vp} (kPa)		206.40			
Resistenze di calcolo						
Resistenza alla base						
Resistenza unitaria	p (kPa)		25726.80			
Resistenza totale	P (kN/m)		38590.20			
Resistenza laterale - lato monte						
Strato	L_m (m)	k	μ	σ'_{vz} (kPa)	s (kPa)	S (kN/m)
Alluvioni sopra falda	22.00	0.40	0.33	209.00	27.97	615.39
Alluvioni sotto falda	13.00	0.40	0.33	476.50	63.77	829.06
Metamorfiti	14.50	0.40	0.34	622.00	85.67	1242.20
					TOTALE	2686.64
Resistenza laterale - lato valle						
Strato	L_v (m)	k	μ	σ'_{vz} (kPa)	s (kPa)	S (kN/m)
Alluvioni sopra falda	-	-	-	-	-	-
Alluvioni sotto falda	2.70	0.40	0.33	16.20	2.17	5.85
Metamorfiti	14.50	0.40	0.34	111.30	15.33	222.28
					TOTALE	228.13
Valori di progetto delle resistenze						
	Valore di calcolo (kN/m)	Fattore di correlazione (ξ)	Valore caratteristico (kN/m)	Coefficiente parziale di sicurezza (γ_R)	Valore di progetto (kN/m)	
Resistenza alla base	38590.20	1.70	22700.12	1.35	16814.90	
Resistenza laterale	2914.78	1.70	1714.57	1.15	1490.93	
			RESISTENZA DI PROGETTO (kN/m)		18305.84	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA DI PROGETTO						
Geometria dei diaframmi						
Spessore (m)		1.50				
Lunghezza (m)		41.00				
Altezza fuori terra (m)		28.50				
Lunghezza infissione (m)		12.50				
Caratteristiche del sottosuolo						
Parametri geotecnici dei terreni						
Strato	Spessore (m)	γ (kN/m³)	c (kPa)	ϕ (°)	E (MPa)	ν
Alluvioni sopra falda	18.20	19.00	0.00	37.00	40.00	0.20
Alluvioni sotto falda	13.00	9.00	0.00	37.00	40.00	0.20
Metamorfiti	9.80	12.00	250.00	38.00	1000.00	0.25
Profondità della falda (m)		22.00				
Coefficienti di carico limite						
N_d		48.93				
N_c		61.35				
N_r		78.02				
Correzione per punzonamento						
Modulo di rigidezza a taglio	G (MPa)	400.00				
Indice di rigidezza	I_r	1085.88				
Indice di rigidezza critico	$I_{r,crit}$	388.44				
Coefficienti di punzonamento	ψ_q	1.00				
	ψ_c	1.00				
	ψ_r	1.00				
Tensioni litostatiche alla base dei diaframmi						
Tensione verticale totale	σ_{vp} (kPa)	275.00				
Pressione neutra	u_b (kPa)	125.00				
Tensione verticale efficace	σ'_{vp} (kPa)	150.00				
Resistenze di calcolo						
Resistenza alla base						
Resistenza unitaria	p (kPa)	22919.97				
Resistenza totale	P (kN/m)	34379.95				
Resistenza laterale - lato monte						
Strato	L_m (m)	k	μ	σ'_{vz} (kPa)	s (kPa)	S (kN/m)
Alluvioni sopra falda	18.20	0.40	0.33	172.90	23.14	421.16
Alluvioni sotto falda	13.00	0.40	0.33	404.30	54.11	703.44
Metamorfiti	9.80	0.40	0.34	521.60	71.84	704.04
					TOTALE	1828.64
Resistenza laterale - lato valle						
Strato	L_v (m)	k	μ	σ'_{vz} (kPa)	s (kPa)	S (kN/m)
Alluvioni sopra falda	-	-	-	-	-	-
Alluvioni sotto falda	2.70	0.40	0.33	16.20	2.17	5.85
Metamorfiti	9.80	0.40	0.34	83.10	11.45	112.17
					TOTALE	118.02
Valori di progetto delle resistenze						
	Valore di calcolo (kN/m)	Fattore di correlazione (ξ)	Valore caratteristico (kN/m)	Coefficiente parziale di sicurezza (γ_R)	Valore di progetto (kN/m)	
Resistenza alla base	34379.95	1.70	20223.50	1.35	14980.37	
Resistenza laterale	1946.66	1.70	1145.09	1.15	995.73	
RESISTENZA DI PROGETTO (kN/m)					15976.10	

DIAFRAMMI
L=41.00m

Le verifiche di carico limite verticale dei pannelli sono sintetizzate nella successiva tabella.

DIAFRAMMI L=49.50m	VERIFICA DI CARICO LIMITE VERTICALE		
	AZIONI DI PROGETTO	E_d (kN/m)	3057.75
	RESISTENZA DI PROGETTO	R_d (kN/m)	18305.84
	FATTORE DI SICUREZZA	R_d/E_d	5.99

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0

DIAFRAMMI L=41.00m	VERIFICA DI CARICO LIMITE VERTICALE		
	<i>AZIONI DI PROGETTO</i>	<i>E_d (kN/m)</i>	2643.38
	<i>RESISTENZA DI PROGETTO</i>	<i>R_d (kN/m)</i>	15976.10
	FATTORE DI SICUREZZA	R_d/E_d	6.04

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.

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	245625	734450	0
2	357188	-676250	0
3	243750	877625	0
4	355313	-896675	0

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 Sc max Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm²]
 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/cm²]
 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 [cm²] 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	70.8	0.0	150.0	-1772	242.6	7.4	6988	183	0.202	0.171
2	S	67.6	250.0	0.0	-1427	17.2	142.6	6988	182	0.199	0.108
3	S	83.6	0.0	150.0	-2197	56.4	7.4	6988	183	0.203	0.255
4	S	87.5	250.0	0.0	-2075	36.8	142.6	6988	182	0.201	0.237

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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'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	271875	670500	0
2	360938	-552550	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	65.6	0.0	150.0	-1542	242.6	7.4	6988	182	0.201	0.182
2	S	56.4	250.0	0.0	-1063	7.4	142.6	6988	181	0.197	0.095

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 41.0m.

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					
Peso proprio dei diaframmi					
Spessore (m)		0.80			
Lunghezza (m)		41.00			
Altezza fuori terra (m)		28.50			
Lunghezza infissione (m)		12.50			
Peso proprio (kN/m)		820.00			
Azioni trasmesse dai solai					
Solaio	Larghezza di influenza (m)	Peso proprio a ml (kPa)	Carico accidentale a ml (kPa)	Q _{perm} (kN/m)	Q _{acc} (kN/m)
+46.28 m s.l.m.	8.98	15.00	2.00	134.63	17.95
+41.80 m s.l.m.	8.98	15.00	2.00	134.63	17.95
+37.32 m s.l.m.	8.98	15.00	2.00	134.63	17.95
+32.84 m s.l.m.	8.98	15.00	2.00	134.63	17.95
+28.36 m s.l.m.	8.98	15.00	2.00	134.63	17.95
+23.56 m s.l.m.	8.98	15.00	2.00	134.63	17.95
TOTALE (kN/m)				807.75	107.70
Valori di progetto delle azioni					
Azione	Valore caratteristico (kN/m)	Coefficiente di amplificazione	Valore di progetto (kN/m)		
Peso proprio pannelli	820.00	1.30	1066.00		
Peso proprio solai	807.75	1.30	1050.08		
Azioni accidentali (in fase costruttiva)	107.70	1.50	161.55		
AZIONE DI PROGETTO (kN/m)			2277.63		

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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 ξ assunto pari a 1.70.

La tabella seguente riporta i risultati dei calcoli effettuati.

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA DI PROGETTO						
Geometria dei diaframmi						
Spessore (m)	0.80					
Lunghezza (m)	41.00					
Altezza fuori terra (m)	28.50					
Lunghezza infissione (m)	12.50					
Caratteristiche del sottosuolo						
Parametri geotecnici dei terreni						
Strato	Spessore (m)	γ (kN/m³)	c (kPa)	ϕ (°)	E (MPa)	ν
Alluvioni sopra falda	18.20	19.00	0.00	37.00	40.00	0.20
Alluvioni sotto falda	13.00	9.00	0.00	37.00	40.00	0.20
Metamorfiti	9.80	12.00	250.00	38.00	1000.00	0.25
Profondità della falda (m)	22.00					
Coefficienti di carico limite						
N_q	48.93					
N_c	61.35					
N_γ	78.02					
Correzione per punzonamento						
Modulo di rigidezza a taglio	G (MPa)	400.00				
Indice di rigidezza	I_r	1087.49				
Indice di rigidezza critico	$I_{r,crit}$	409.04				
Coefficienti di punzonamento	ψ_q	1.00				
	ψ_c	1.00				
	ψ_γ	1.00				
Tensioni litostatiche alla base dei diaframmi						
Tensione verticale totale	σ_{vp} (kPa)	275.00				
Pressione neutra	u_p (kPa)	125.00				
Tensione verticale efficace	σ'_{vp} (kPa)	150.00				
Resistenze di calcolo						
Resistenza alla base						
Resistenza unitaria	p (kPa)	22865.35				
Resistenza totale	P (kN/m)	18292.28				
Resistenza laterale						
Strato	L_v (m)	k	μ	σ'_{vz} (kPa)	s (kPa)	S (kN/m)
Alluvioni sopra falda	-	-	-	-	-	-
Alluvioni sotto falda	2.70	0.40	0.75	16.20	4.88	26.37
Metamorfiti	9.80	0.40	0.78	83.10	25.97	509.01
					TOTALE	535.38
Valori di progetto delle resistenze						
	Valore di calcolo (kN/m)	Fattore di correlazione (ξ)	Valore caratteristico (kN/m)	Coefficiente parziale di sicurezza (γ_R)	Valore di progetto (kN/m)	
Resistenza alla base	18292.28	1.70	10760.16	1.35	7970.49	
Resistenza laterale	535.38	1.70	314.93	1.15	273.85	
RESISTENZA DI PROGETTO (kN/m)					8244.34	

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)	2277.63
RESISTENZA DI PROGETTO	R_d (kN/m)	8244.34
FATTORE DI SICUREZZA	R_d/E_d	3.62

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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 “Europa” in progetto a Messina.

La stazione in progetto ha il piano del ferro collocato a profondità rispetto al piano campagna di circa 27.30 m.

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

- setti perimetrali in calcestruzzo armato di spessore 130cm;
- setti interni in calcestruzzo armato di spessore 80cm 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 e 80x80cm di collegamento diaframmi interni;
- pilastri 80x120cm di sostegno piano sistemazioni esterne;
- travi 80x120cm e 100x100cm presenti al piano sistemazioni esterne.

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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 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 interrato 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

- 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:

- Contropareti aventi rigidità 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 rigidità 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 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

ϕ = angolo di attrito del terreno

di seguito viene riportata la tabella riassuntiva

	H' [cm]	D [cm]	ϕ	L	E [Kg/cm ²]	K _{area} [Kg/cm ³]	Area ELEMENTI SHELL [cm ³]	K _{molle} [Kg/cm]
STRATO 1 (0 - 11m)	4950,0	3800,0	37,0	605,1	1119,0	1,849	144000,0	266306,6
STRATO 2 (11 - 22m)	4950,0	3800,0	37,0	605,1	2202,1	3,639	144000,0	524053,2
STRATO 3 (22 - 33m)	4950,0	3800,0	37,0	605,1	3045,7	5,034	144000,0	724830,2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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. e puntoni provvisionali 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 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 rigidezza, 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 rigidezze 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 rigidezza dei terreni (vedi stratigrafia dell'opera e caratterizzazione geotecnica)

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

H = lunghezza totale dei diaframmi

D = profondità di scavo

ϕ = angolo di attrito del terreno

di seguito vengono riportate le tabelle riassuntive

Molle in direzione X

	H' [cm]	D [cm]	ϕ	L	E [Kg/cm ²]	K _{area} [Kg/cm ³]	Area ELEMENTI SHELL [cm ³]	K _{molle} [Kg/cm]
STRATO 1 (0 - 11m)	4950,0	3800,0	37,0	605,1	1119,0	1,849	48000,0	88768,9
STRATO 2 (11 - 22m)	4950,0	3800,0	37,0	605,1	2202,1	3,639	48000,0	174684,4
STRATO 3 (22 - 33m)	4950,0	3800,0	37,0	605,1	3045,7	5,034	48000,0	241610,1

Molle in direzione Y

	H' [cm]	D [cm]	ϕ	L	E [Kg/cm ²]	K _{area} [Kg/cm ³]	Area ELEMENTI SHELL [cm ³]	K _{molle} [Kg/cm]
STRATO 1 (0 - 11m)	4950,0	3800,0	37,0	605,1	1119,0	1,849	72000,0	133153,3
STRATO 2 (11 - 22m)	4950,0	3800,0	37,0	605,1	2202,1	3,639	72000,0	262026,6
STRATO 3 (22 - 33m)	4950,0	3800,0	37,0	605,1	3045,7	5,034	72000,0	362415,1

- Cordoli in c.a. incastrati alle contropareti perimetrali e vincolati ad elementi D2 rappresentanti le chiavi di taglio di collegamento ai diaframmi esterni;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

- 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.
- 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)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

- 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:

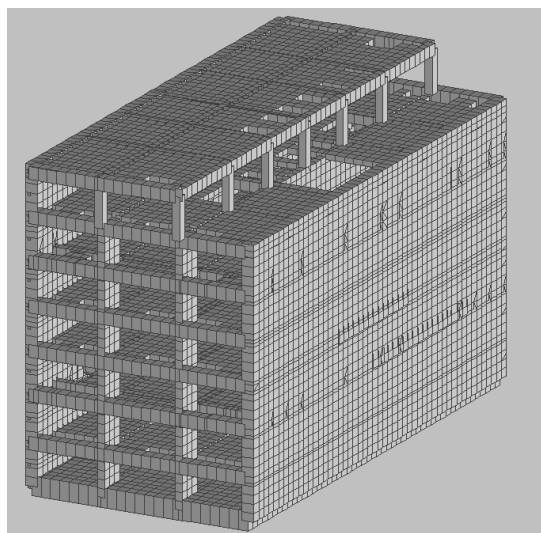
- gli spostamenti (orizzontali e verticali) e le rotazioni dei nodi
- l'azione assiale, il taglio e il momento flettente e lo stato tensionale negli elementi beam e shell
- i valori delle reazioni vincolari

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:

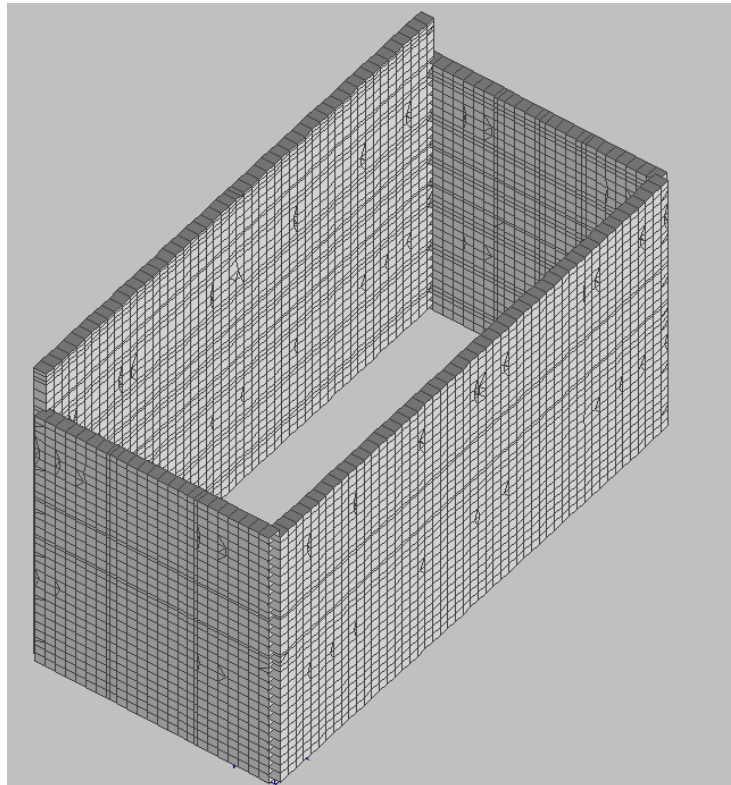


modello strutturale

- 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

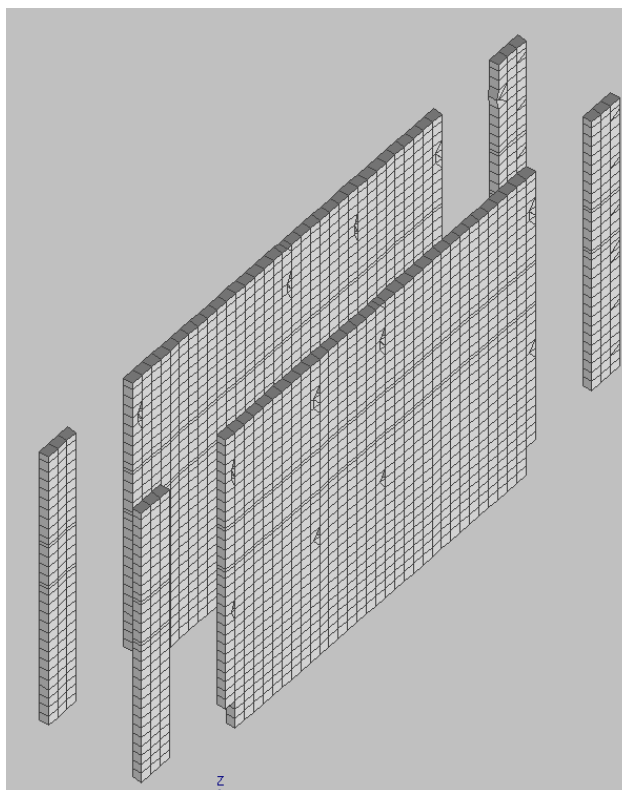
inserirli nei cordoli perimetrali e nella platea di fondazione, in modo da garantire continuità alle armature correnti prima del getto delle contropareti in risalita;



Contropareti in c.a.

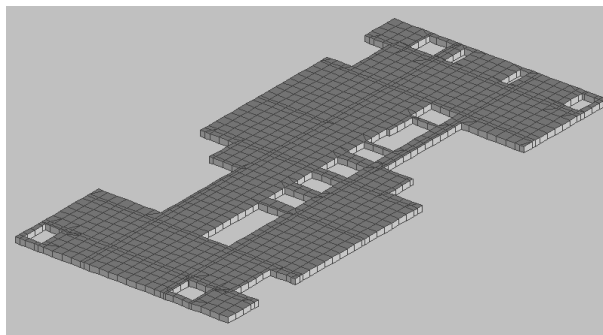
- Diaframmi interni (Elementi *Shell*) → questi elementi sono stati ipotizzati incastrati ai solai di piano, ai puntoni ed alla platea di fondazione;
 I vincoli d’incastro tra diaframmi interni, solai di piano e platea saranno realizzati disponendo localmente armature passanti all’interno dei diaframmi 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



Diaframmi interni in c.a.

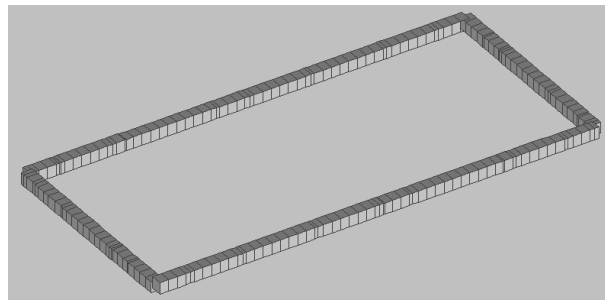
- Solai (Elementi *Shell*) → questi elementi sono stati ipotizzati incastrati ai cordoli perimetrali ed ai diaframmi interni attraverso le modalità descritte precedentemente;



Solaio in c.a.

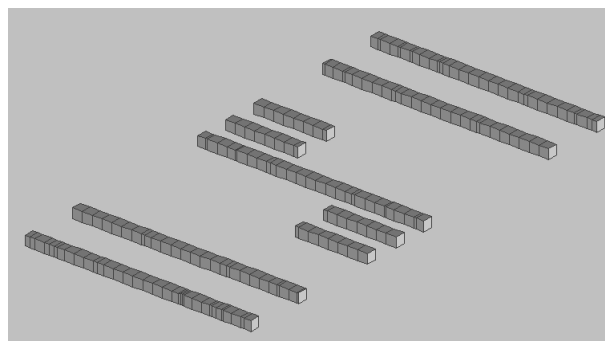
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

- 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.

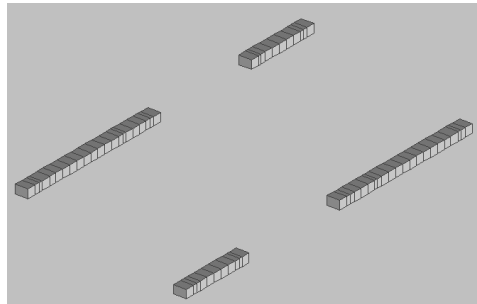
- Puntoni in c.a (Elementi *D2*) → questi elementi sono stati ipotizzati incastrati ai cordoli perimetrali ed ai diaframmi interni attraverso le modalità descritte precedentemente;



Puntoni in c.a.

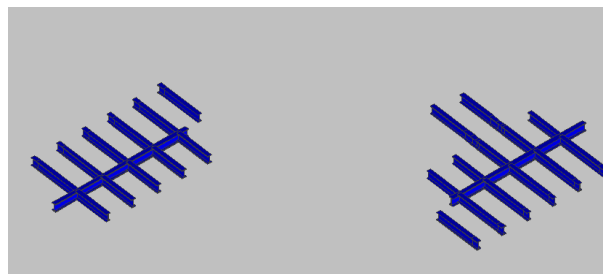
- Travi miste acciaio-calcestruzzo (Elementi *D2 a sezione omogeneizzata aventi rigidezza equivalente*) → questi elementi sono stati ipotizzati incastrati alle contropareti ai solai di piano ed ai puntoni, attraverso l'utilizzo di richiami d'armatura, in modo da garantire continuità alle armature correnti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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



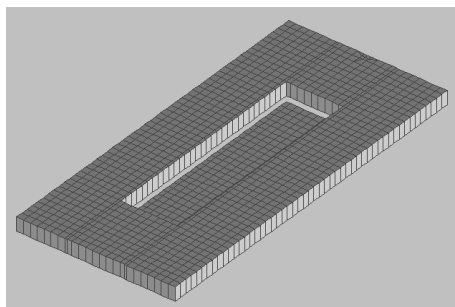
Travi miste acciaio-calcestruzzo

- 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 poggiante su suolo elastico alla winkler ed incastrato ai diaframmi interni attraverso le modalità descritte precedentemente;



Platea di fondazione

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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:

γ_{cls}	= 2500 daN/m ³
Acciaio	= 7860 daN/m ³

8.2.2 Sovraccarichi permanenti (caso di carico Gk)

Solai

pavimentazione industriale [massetto sp.60 cm]	= 500 daN/m ²
carico specifico locali tecnici (applicato solo in FASE 3)	= 1000 daN/m ²
terreno+pavimentazione stadale	= 2000 daN/m ²

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	0
5°	221.8
4°	534.1
3°	603.8
2°	665.8
1°	803.1
BANCHINA	558.7

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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	0
5°	41.54
4°	343.6
3°	405.9
2°	496.5
1°	692.2
BANCHINA	0

Spinta idrostatica applicata come carico distribuito triangolare sulle contropareti in FASE 3, con valore nullo a quota -10m e valore massimo a quota -28 m, calcolato come viene riportato di seguito:

$$P_{\text{idro}} = \gamma_w * H_{\text{falda}} = 1000 \text{ kg/m}^3 * 21.7 \text{ m} = 21700 \text{ kg/m}^2$$

Spinta idrostatica applicata come carico distribuito uniforme sull'intradosso della platea di fondazione in FASE 3, calcolato come viene riportato di seguito:

$$P_{\text{idro}} = \gamma_w * H_{\text{falda}} = 1000 \text{ kg/m}^3 * 21.7 \text{ m} = 21700 \text{ kg/m}^2$$

8.2.3 Sovraccarichi accidentali (caso di carico Qk)

Solai

ambienti suscettibili di affollamento = 500 daN/m²

carico stradale = 2500 daN/m²

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

8.2.4 Carico sismico (caso di carico Esk)

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 = 33.00m

u_s = spostamento ammissibile = 10mm

α = coefficiente di deformabilità dei terreni = 0.6

β = coefficiente di deformabilità dell'opera = 0.71

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

Stato limite	T_r [anni]	a_g [g]	F_0	T_{C^*} [s]	S_S	S_T	a_{max} [g]	k_h
SLV	332	0.211	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_h = coefficiente sismico orizzontale

γ = peso dell'unità di volume dei terreni = 20 kN/m³

h = altezza complessiva di scavo dal piano campagna = 33.00m

h' = altezza di scavo adottata nel calcolo della paratia = 33.00m

Stato limite	k_h	Δp_d [kPa]
SLV	0.123	81

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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:

$$\Delta P_d = \Delta p_d * H = 0.95 * 448 = 363.7 \text{ kg/cm}$$

FASE 3

Definizione dei coefficienti sismici orizzontali per ciascuno stato limite esaminato

V_N = vita nominale = 100 anni

C_U = coefficiente d'uso = 2.0

V_R = periodo di riferimento dell'azione sismica = 200 anni

Categoria di sottosuolo = C

H = altezza complessiva della paratia = 33.00m

u_s = 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.

Stato limite	T_r [anni]	a_g [g]	F_0	T_{C^*} [s]	S_S	S_T	a_{max} [g]	k_h
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_h = coefficiente sismico orizzontale

γ = peso dell'unità di volume dei terreni = 20 kN/m³

h = altezza complessiva di scavo dal piano campagna = 33.00m

h' = altezza di scavo adottata nel calcolo della paratia = 33.00m

Tabella di sintesi

Stato limite	k_h	Δp_d [kPa]
SLV	0.305	201.3
SLD	0.140	92.4

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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)	Spinta idrostatica (Gk)	Carico sismico (Esk)	Incremento sismico spinta terre FASE 1	Incremento sismico spinta terre FASE 3
1	•	•	•			•	•	
3	•	•		•	•	•		•

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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	daN/cm
1	DG:Fxi=802.90 Fxf=802.90 P1+X	0.0	802.90	0.0	0.0
		0.0	802.90	0.0	0.0
2	DG:Fxi=-802.90 Fxf=-802.90 P1-X	0.0	-802.90	0.0	0.0
		0.0	-802.90	0.0	0.0
3	DG:Fyi=802.90 Fyf=802.90 P1+Y	0.0	0.0	802.90	0.0
		0.0	0.0	802.90	0.0
4	DG:Fyi=-802.90 Fyf=-802.90 P1-Y	0.0	0.0	-802.90	0.0
		0.0	0.0	-802.90	0.0
5	DG:Fxi=665.80 Fxf=665.80 P2+X	0.0	665.80	0.0	0.0
		0.0	665.80	0.0	0.0
6	DG:Fxi=-665.80 Fxf=-665.80 P2-X	0.0	-665.80	0.0	0.0
		0.0	-665.80	0.0	0.0
7	DG:Fyi=665.80 Fyf=665.80 P2+Y	0.0	0.0	665.80	0.0
		0.0	0.0	665.80	0.0
8	DG:Fyi=-665.80 Fyf=-665.80 P2-Y	0.0	0.0	-665.80	0.0
		0.0	0.0	-665.80	0.0
9	DG:Fxi=603.80 Fxf=603.80 P3+X	0.0	603.80	0.0	0.0
		0.0	603.80	0.0	0.0
10	DG:Fxi=-603.80 Fxf=-603.80 P3-X	0.0	-603.80	0.0	0.0
		0.0	-603.80	0.0	0.0
11	DG:Fyi=603.80 Fyf=603.80 P3+Y	0.0	0.0	603.80	0.0
		0.0	0.0	603.80	0.0
12	DG:Fyi=-603.80 Fyf=-603.80 P3-Y	0.0	0.0	-603.80	0.0
		0.0	0.0	-603.80	0.0
13	DG:Fxi=534.10 Fxf=534.10 P4+X	0.0	534.10	0.0	0.0
		0.0	534.10	0.0	0.0
14	DG:Fxi=-534.10 Fxf=-534.10 P4-X	0.0	-534.10	0.0	0.0
		0.0	-534.10	0.0	0.0
15	DG:Fyi=534.10 Fyf=534.10 P4+Y	0.0	0.0	534.10	0.0
		0.0	0.0	534.10	0.0
16	DG:Fyi=-534.10 Fyf=-534.10 P4-Y	0.0	0.0	-534.10	0.0
		0.0	0.0	-534.10	0.0

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0	Data 20-06-2011

Id	Tipo	Pos.	fx	fy	fz
17	DG:Fxi=221.80 Fxf=221.80 P5+X	0.0	221.80	0.0	0.0
		0.0	221.80	0.0	0.0
18	DG:Fxi=-221.80 Fxf=-221.80 P5-X	0.0	-221.80	0.0	0.0
		0.0	-221.80	0.0	0.0
19	DG:Fyi=221.80 Fyf=221.80 P5+Y	0.0	0.0	221.80	0.0
		0.0	0.0	221.80	0.0
20	DG:Fyi=-221.80 Fyf=-221.80 P5-Y	0.0	0.0	-221.80	0.0
		0.0	0.0	-221.80	0.0
27	DG:Fyi=363.70 Fyf=363.70 INCREMENTO SPINTE TERRE - SISMA Y - SLV	0.0	0.0	363.70	0.0
		0.0	0.0	363.70	0.0
28	DG:Fxi=363.70 Fxf=363.70 INCREMENTO SPINTE TERRE - SISMA X - SLV	0.0	363.70	0.0	0.0
		0.0	363.70	0.0	0.0
29	DG:Fxi=558.70 Fxf=558.70 PB+X	0.0	558.70	0.0	0.0
		0.0	558.70	0.0	0.0
30	DG:Fxi=-558.70 Fxf=-558.70 PB-X	0.0	-558.70	0.0	0.0
		0.0	-558.70	0.0	0.0
31	DG:Fyi=558.70 Fyf=558.70 PB+Y	0.0	0.0	558.70	0.0
		0.0	0.0	558.70	0.0
32	DG:Fyi=-558.70 Fyf=-558.70 PB-Y	0.0	0.0	-558.70	0.0
		0.0	0.0	-558.70	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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Tipo	Sigla Id	Note
		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
1	DG:Fxi=692.20 Fxf=692.20 P1+X	0.0	692.20	0.0	0.0
			0.0	692.20	0.0
2	DG:Fxi=-692.20 Fxf=-692.20 P1-X	0.0	-692.20	0.0	0.0
			0.0	-692.20	0.0
3	DG:Fyi=692.20 Fyf=692.20 P1+Y	0.0	0.0	692.20	0.0
			0.0	0.0	692.20
4	DG:Fyi=-692.20 Fyf=-692.20 P1-Y	0.0	0.0	-692.20	0.0
			0.0	0.0	-692.20
5	DG:Fxi=496.50 Fxf=496.50 P2+X	0.0	496.50	0.0	0.0
			0.0	496.50	0.0
6	DG:Fxi=-496.50 Fxf=-496.50 P2-X	0.0	-496.50	0.0	0.0
			0.0	-496.50	0.0
7	DG:Fyi=496.50 Fyf=496.50 P2+Y	0.0	0.0	496.50	0.0
			0.0	0.0	496.50
8	DG:Fyi=-496.50 Fyf=-496.50 P2-Y	0.0	0.0	-496.50	0.0
			0.0	0.0	-496.50
9	DG:Fxi=405.90 Fxf=405.90 P3+X	0.0	405.90	0.0	0.0
			0.0	405.90	0.0
10	DG:Fxi=-405.90 Fxf=-405.90 P3-X	0.0	-405.90	0.0	0.0
			0.0	-405.90	0.0
11	DG:Fyi=405.90 Fyf=405.90 P3+Y	0.0	0.0	405.90	0.0
			0.0	0.0	405.90
12	DG:Fyi=-405.90 Fyf=-405.90 P3-Y	0.0	0.0	-405.90	0.0
			0.0	0.0	-405.90
13	DG:Fxi=343.60 Fxf=343.60 P4+X	0.0	343.60	0.0	0.0
			0.0	343.60	0.0
14	DG:Fxi=-343.60 Fxf=-343.60 P4-X	0.0	-343.60	0.0	0.0
			0.0	-343.60	0.0
15	DG:Fyi=343.60 Fyf=343.60 P4+Y	0.0	0.0	343.60	0.0
			0.0	0.0	343.60
16	DG:Fyi=-343.60 Fyf=-343.60 P4-Y	0.0	0.0	-343.60	0.0
			0.0	0.0	-343.60
17	DG:Fxi=41.54 Fxf=41.54 P5+X	0.0	41.54	0.0	0.0
			0.0	41.54	0.0
18	DG:Fxi=-41.54 Fxf=-41.54 P5-X	0.0	-41.54	0.0	0.0
			0.0	-41.54	0.0

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0

Id	Tipo	Pos.	fx	fy	fz
		0.0	-41.54	0.0	0.0
19	DG:Fyi=41.54 Fyf=41.54 P5+Y	0.0	0.0	41.54	0.0
		0.0	0.0	41.54	0.0
20	DG:Fyi=-41.54 Fyf=-41.54 P5-Y	0.0	0.0	-41.54	0.0
		0.0	0.0	-41.54	0.0
29	DG: PB+X	0.0	0.0	0.0	0.0
		0.0	0.0	0.0	0.0
30	DG: PB-X	0.0	0.0	0.0	0.0
		0.0	0.0	0.0	0.0
31	DG: PB+Y	0.0	0.0	0.0	0.0
		0.0	0.0	0.0	0.0
32	DG: PB-Y	0.0	0.0	0.0	0.0
		0.0	0.0	0.0	0.0

Tipo carico di pressione uniforme su piastra

Id	Tipo	pressione
		daN/cm2
37	P3:p=2.17 Spinta idrostatica verticale platea	2.17
39	P3:p=-2.17 Spinta idrostatica verticale vasca	-2.17
40	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	2.01	1.000e+06	2.01
28	QV:var y - Qx - Pres. INCREMENTO SPINTE TERRE - SISMA X - SLV				
	Y - Y Qx Pres. L2=0.0	0.0	2.01	1.000e+06	2.01
33	QV:var z - Qx - Pres.IDRO+X				
	Z - Z Qx Pres. L2=0.0	0.0	2.17	2170.00	0.0
34	QV:var z - Qx - Pres.IDRO-X				
	Z - Z Qx Pres. L2=0.0	0.0	-2.17	2170.00	0.0
35	QV:var z - Qy - Pres.IDRO+Y				
	Z - Z Qy Pres. L2=0.0	0.0	2.17	2170.00	0.0
36	QV:var z - Qy - Pres.IDRO-Y				
	Z - Z Qy Pres. L2=0.0	0.0	-2.17	2170.00	0.0
37	QV:var x - Qy - Pres. INCREMENTO SPINTA TERRE - SISMA Y - SLD				
	X - X Qy Pres. L2=0.0	0.0	0.92	1.000e+06	0.92
38	QV:var y - Qx - Pres. INCREMENTO SPINTE TERRE - SISMA X - SLD				
	Y - Y Qx Pres. L2=0.0	0.0	0.92	1.000e+06	0.92
41	QV:var x - Qz - Area PERM PIASTRE COPERTURA				
	X - X Qz Area L2=0.0	-1.000e+04	-0.20	1.000e+04	-0.20
42	QV:var x - Qz - Area ACC PIASTRE COPERTURA				
	X - X Qz Area L2=0.0	-1.000e+04	-0.25	1.000e+04	-0.25

Azione Sismica X

Tipo	Sigla Id	Note
Esk	CDC=Es (statico SLU) alfa=0.0 (ecc. R)	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Tipo	Sigla Id	Note
		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: 2.400
		fattore per spost. mu d: 2.400
		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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Tipo	Sigla Id	Note
		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 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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) $\alpha=0.0$ (ecc. R)
8	Esk	CDC=Es (statico SLU) $\alpha=90.00$ (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) $\alpha=0.0$ (ecc. R)
7	Esk	CDC=Es (statico SLU) verticale
8	Esk	CDC=Es (statico SLD) $\alpha=0.0$ (ecc. R)
9	Esk	CDC=Es (statico SLD) verticale
10	Gk	CDC=G1k (permanente generico) SPINTA IDROSTATICA

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

CDC	Tipo	Sigla Id
11	Gk	CDC=G1k INCREMENTO SPINTA TERRE SISMA X SLD
12	Gk	CDC=G1k Spinta idrostatica platea
13	Gk	CDC=G1k (permanente generico) CARICO SPECIFICO 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 Spinta idrostatica platea.
13	Gk	CDC=G1k (permanente generico) CARICO SPECIFICO 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

Cmb	Tipo	Sigla Id
-----	------	----------

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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	0.3
3	1.00	1.00	1.00	1.00	0.0	1.00	0.0	1.00	0.3

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	CDC 13
1	1.30	1.30	1.50	1.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.30	0.0	1.30	1.30
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.30	0.0	0.0	1.00	0.0	1.00	1.00
3	1.00	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	1.00	0.30	1.00	1.00	1.00	1.00
4	1.00	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.0	1.00	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	CDC 13
1	1.30	1.30	1.50	1.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.30	0.0	1.30	1.30

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

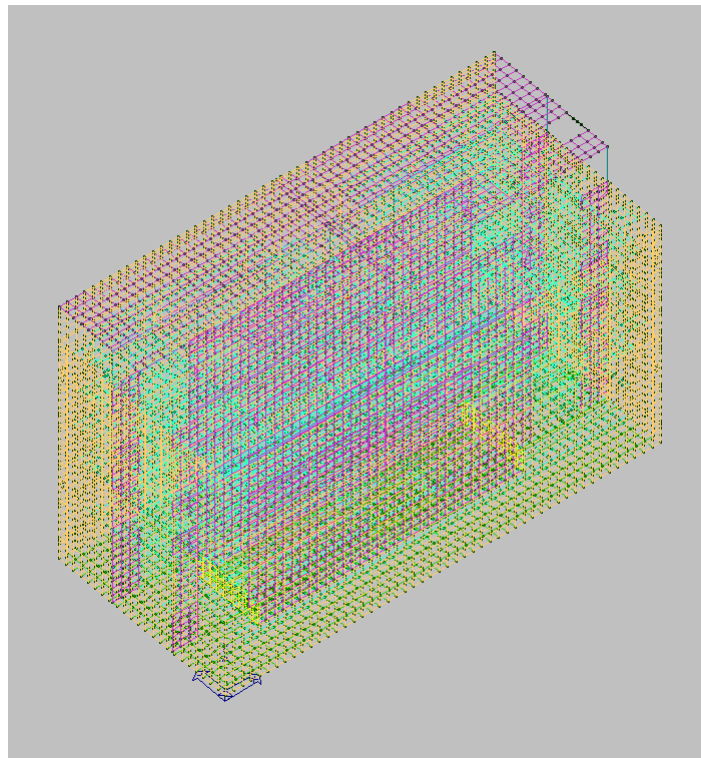
Cmb	CDC 1	CDC 2	CDC 3	CDC 4	CDC 5	CDC 6	CDC 7	CDC 8	CDC 9	CDC 10	CDC 11	CDC 12	CDC 13
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.30	0.0	0.0	1.00	0.0	1.00	1.00
3	1.00	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	1.00	0.30	1.00	1.00	1.00	1.00
4	1.00	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.0	1.00	1.00

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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.

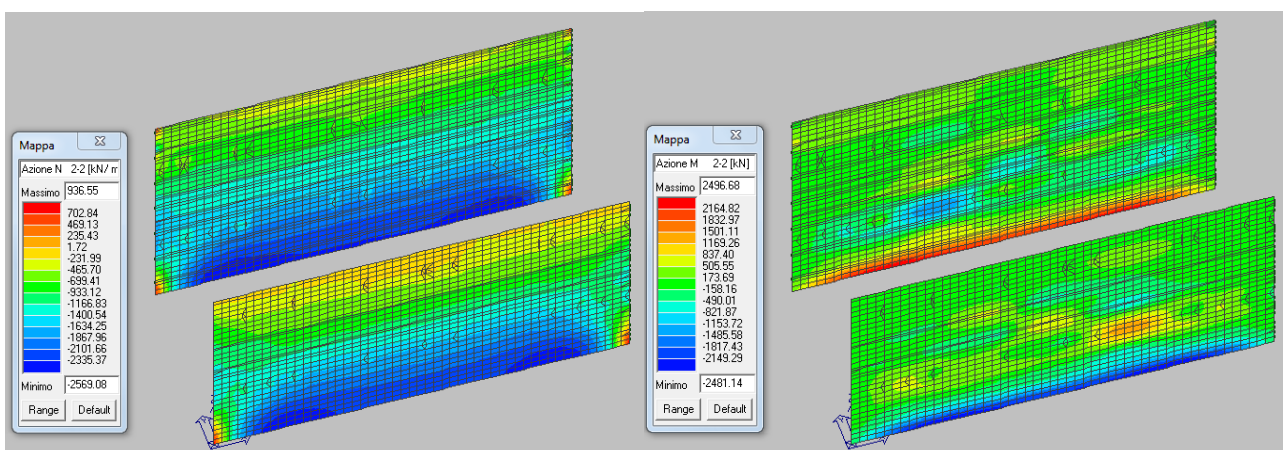
Le verifiche sono state effettuate relativamente ai setti in direzione X ed Y in FASE 3.

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

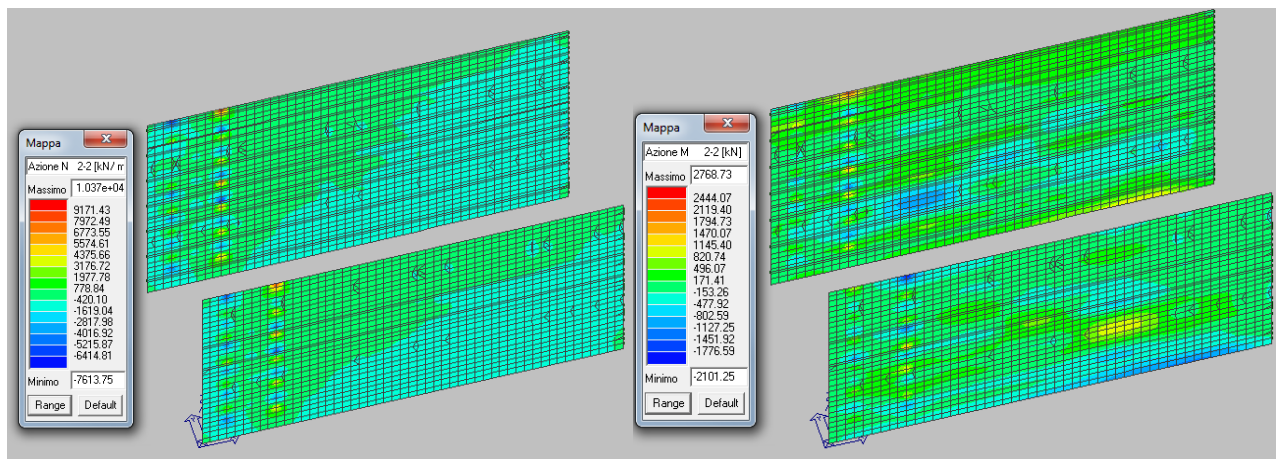


Azioni N2-2

Azioni M2-2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

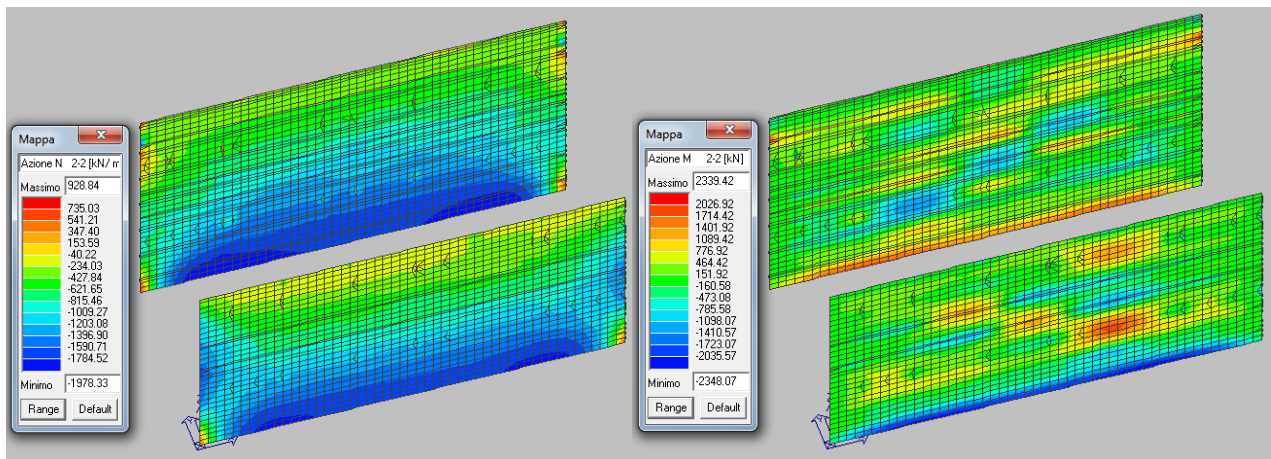
Combinazione Sisma X SLV (massima azione assiale)



Azioni N2-2

Azioni M2-2

Combinazione Sisma Y SLV (massima azione assiale)



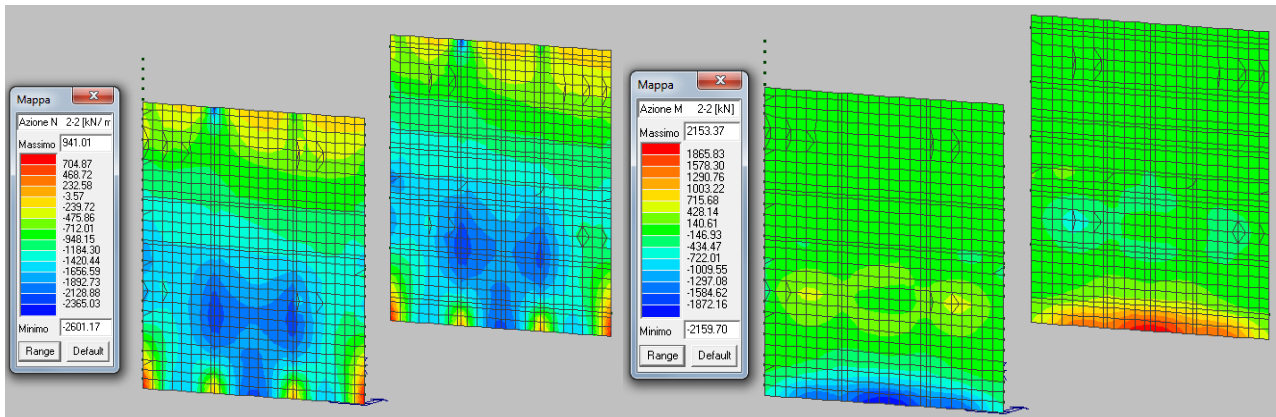
Azioni N2-2

Azioni M2-2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Setti Y

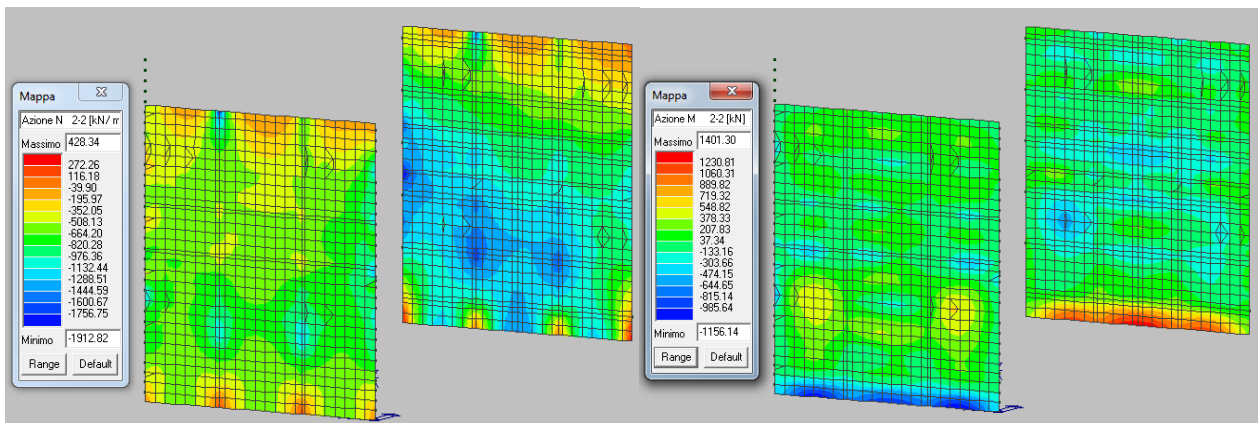
Combinazione SLU



Azioni N2-2

Azioni M2-2

Combinazione Sisma X SLV

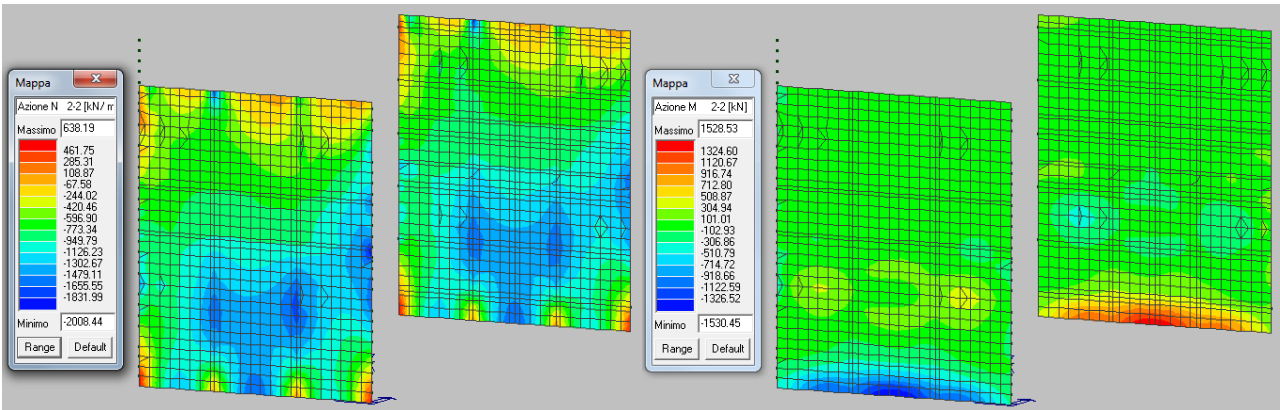


Azioni N2-2

Azioni M2-2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Combinazione Sisma Y SLV

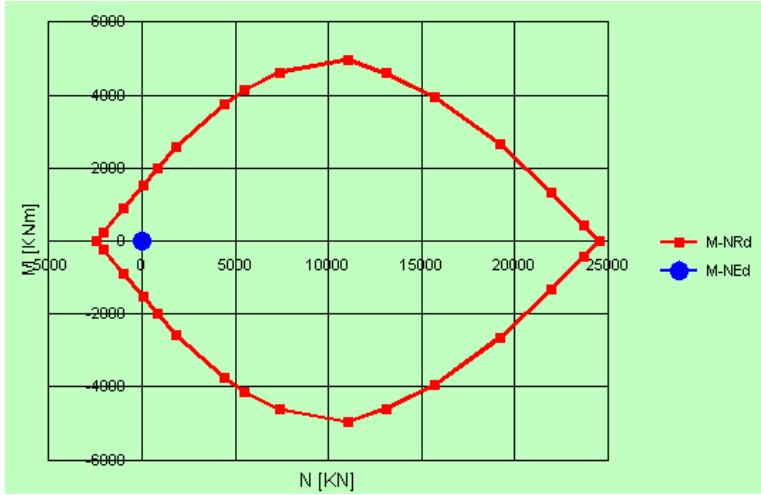


Azioni N2-2

Azioni M2-2

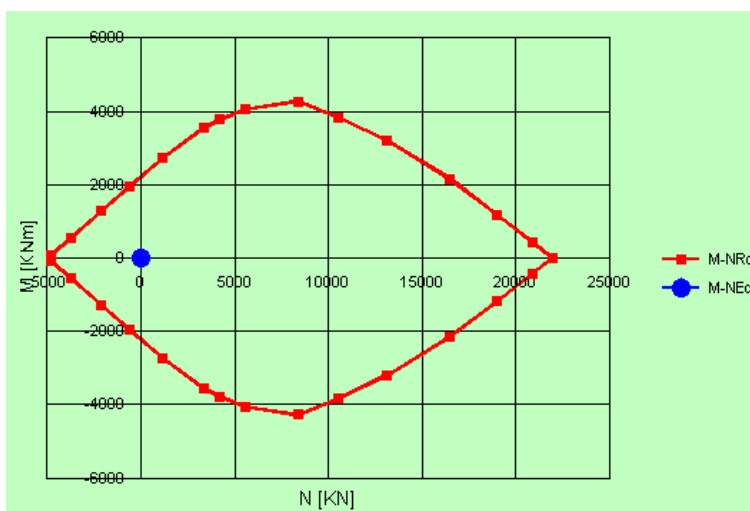
Verifiche SLU

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



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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

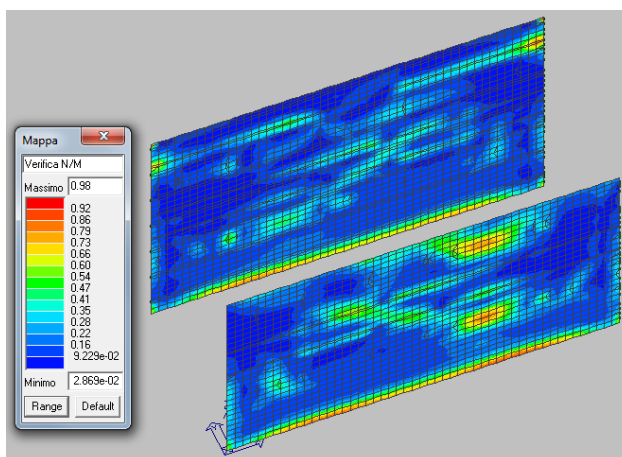


Osservando i domini resistenti M/N si nota come le sollecitazioni sopra riportate ricadano tutte al loro interno rendendo tale verifica soddisfatta.

Verifica N/M

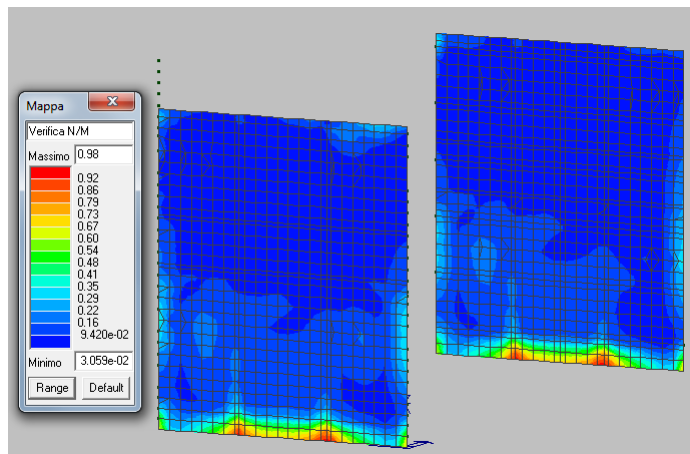
Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto Sd/Su con sollecitazioni ultime proporzionali; il valore del rapporto deve essere minore o uguale a 1 per verifica positiva (Sd = sollecitazione di progetto, Su = sollecitazione ultima)

Setti X



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Setti Y

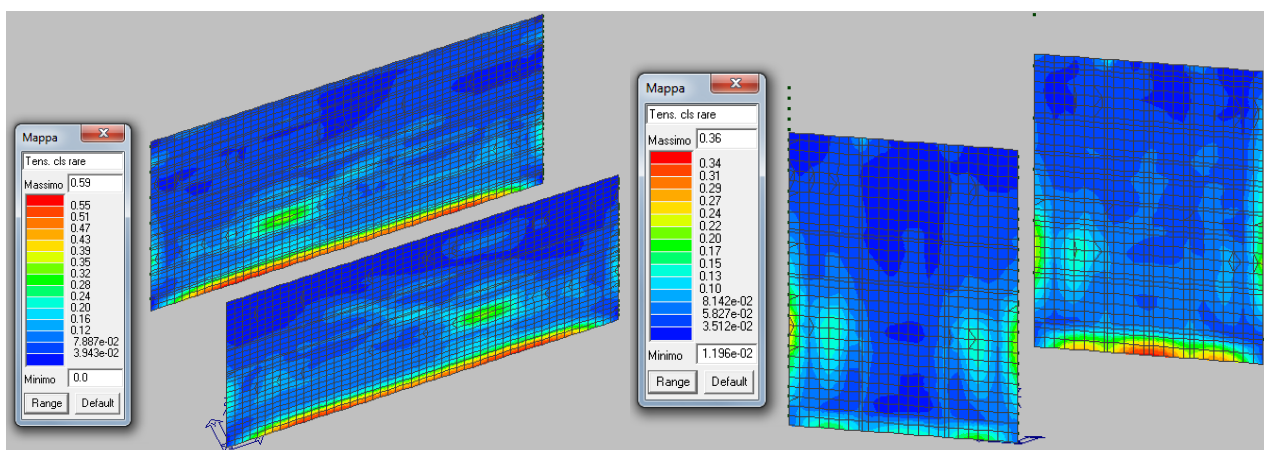


Verifiche SLE

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

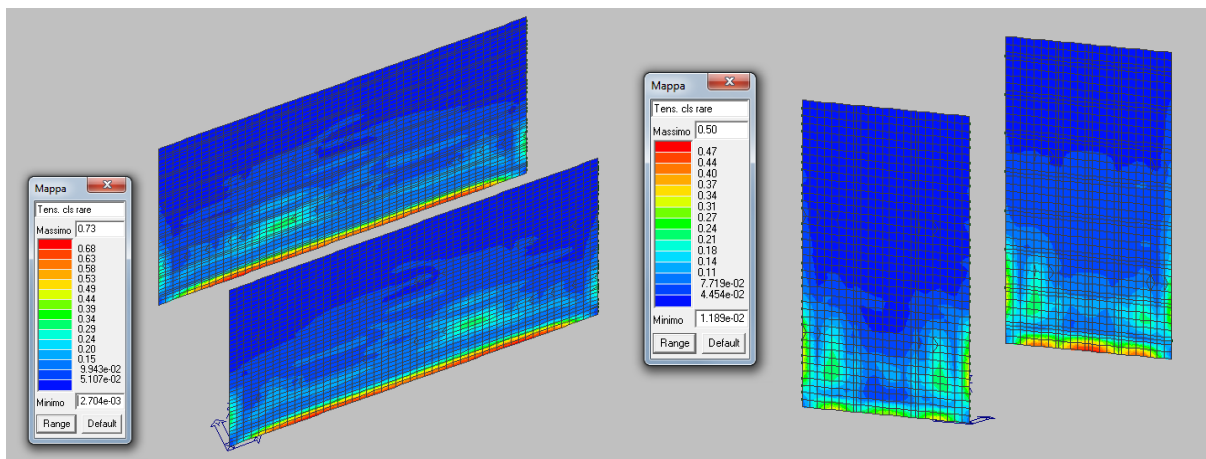
Tensioni totali Setti Y

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

fattorizzata in base ai casi previsti dalla normativa (ad es. $0.6x f_{ck}$); 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 Setti X

Verifica tensionale Setti Y

8.4.1.2 Pareti interne

Verifiche SLU

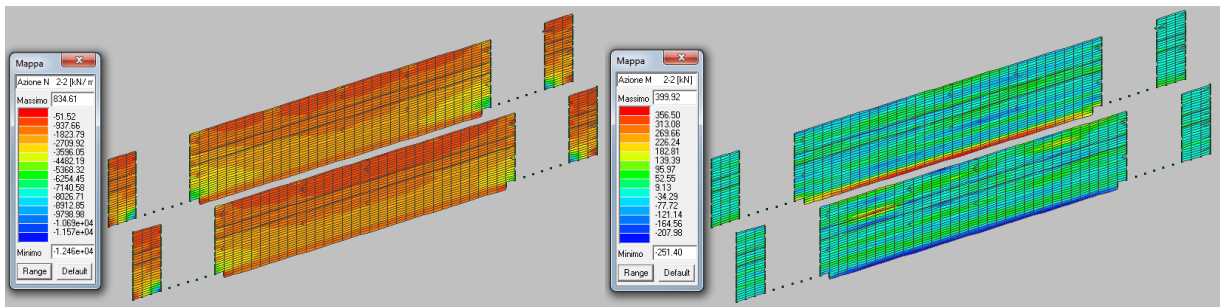
Le verifiche di resistenza delle pareti interne, aventi spessore $s=80$ cm, sono eseguite adottando il metodo semiprobabilistico agli stati limite; si assume un copriferro pari a 5 cm.

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.

Fase 1 (modello FASE 1)

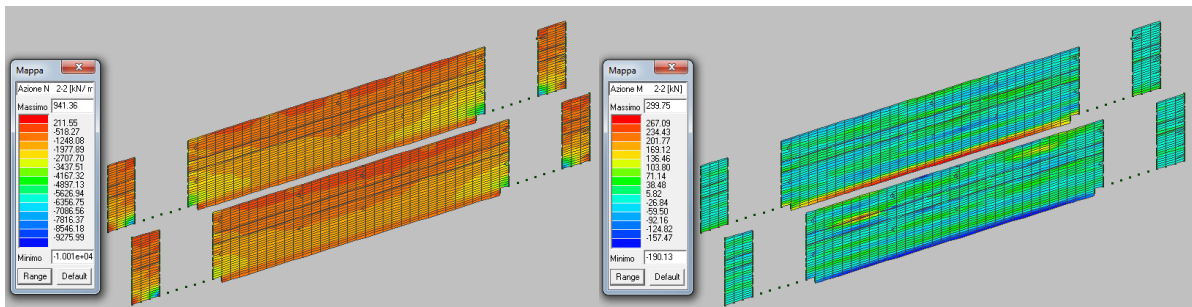
Combinazione SLU



Azioni N2-2

Azioni M2-2

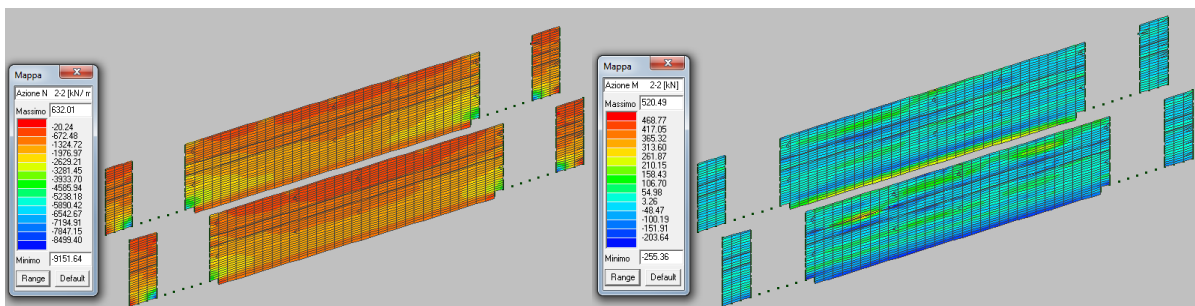
Combinazione Sisma X SLV



Azioni N2-2

Azioni M2-2

Combinazione Sisma Y SLV



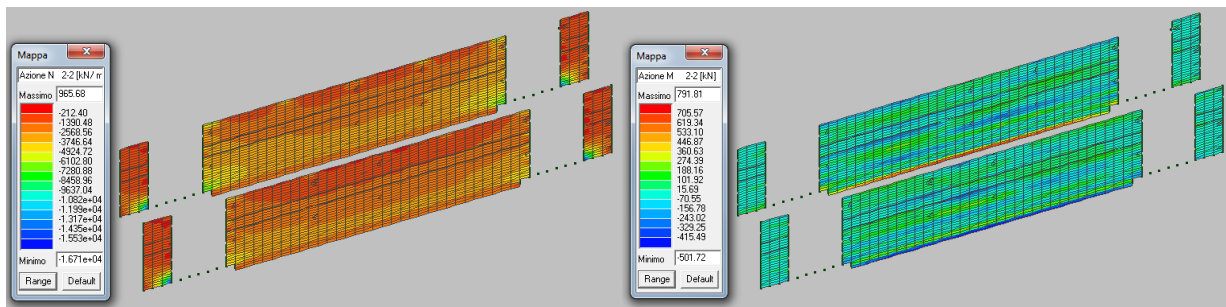
Azioni N2-2

Azioni M2-2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Fase 3

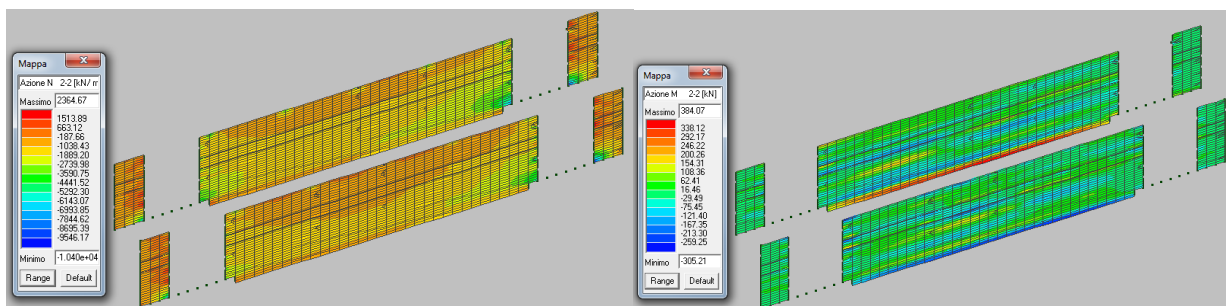
Combinazione SLU (massima azione assiale)



Azioni N2-2

Azioni M2-2

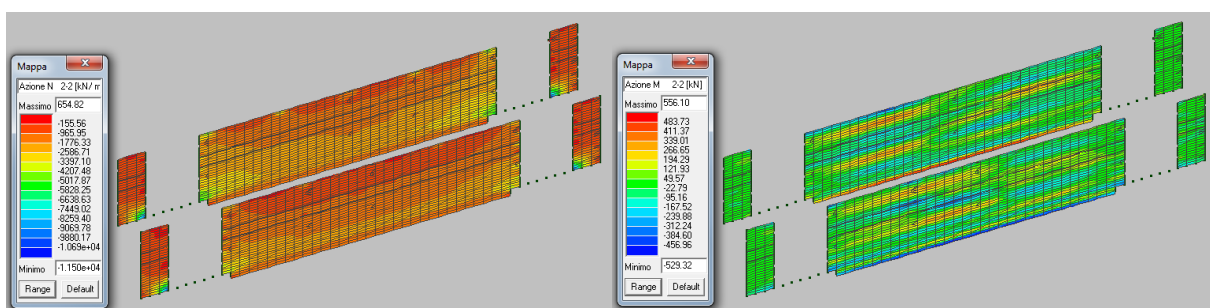
Combinazione Sisma X SLV



Azioni N2-2

Azioni M2-2

Combinazione Sisma Y SLV

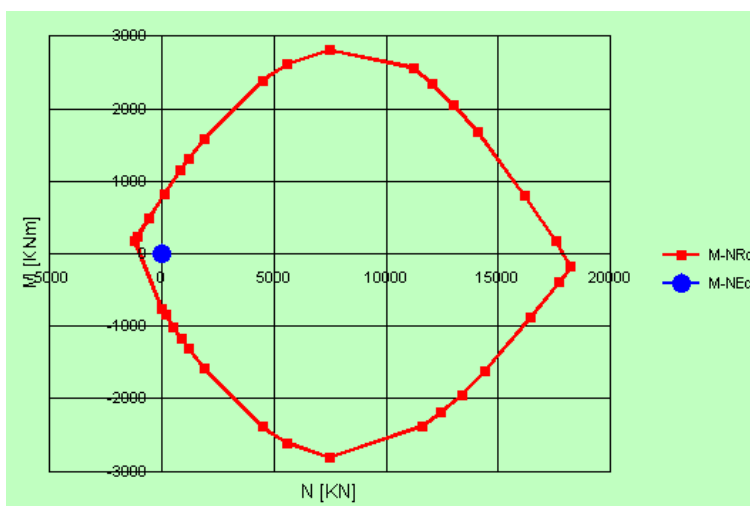


Azioni N2-2

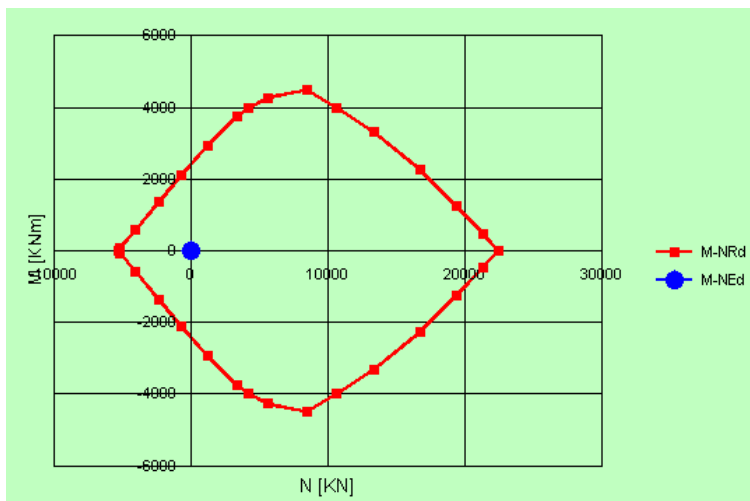
Azioni M2-2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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



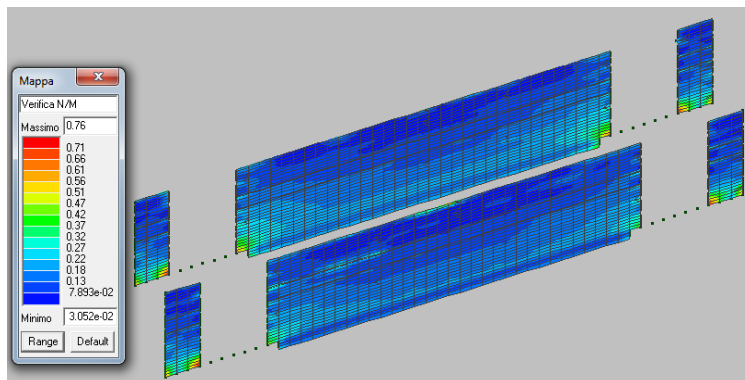
Osservando i domini resistenti M/N si nota come le sollecitazioni sopra riportate ricadano tutte al loro interno rendendo tale verifica soddisfatta.

Verifica N/M

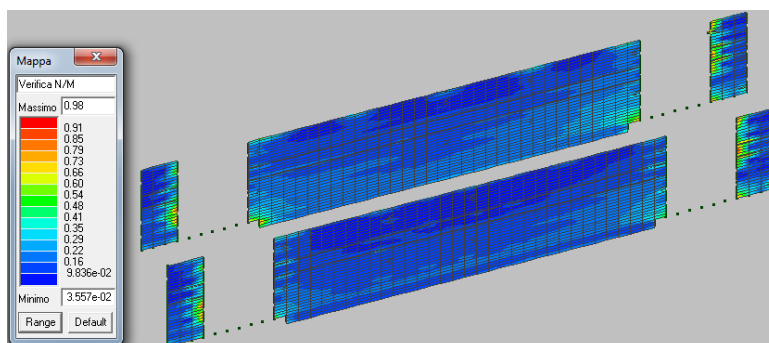
Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto Sd/Su con sollecitazioni ultime proporzionali; il valore del rapporto deve essere minore o uguale a 1 per verifica positiva (Sd = sollecitazione di progetto, Su = sollecitazione ultima)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Fase 1



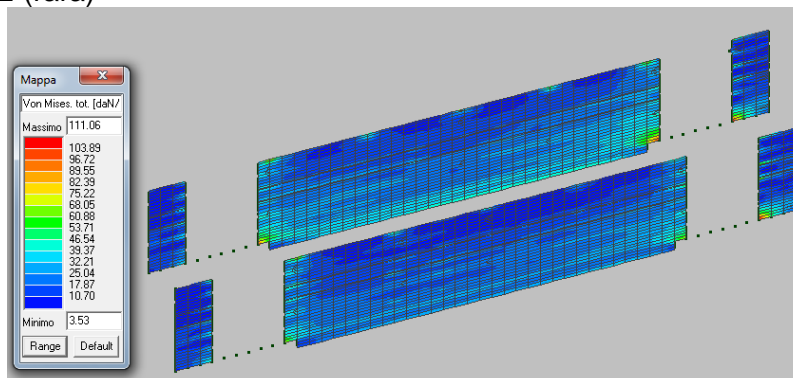
Fase 3



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.

Combinazione SLE (rara)

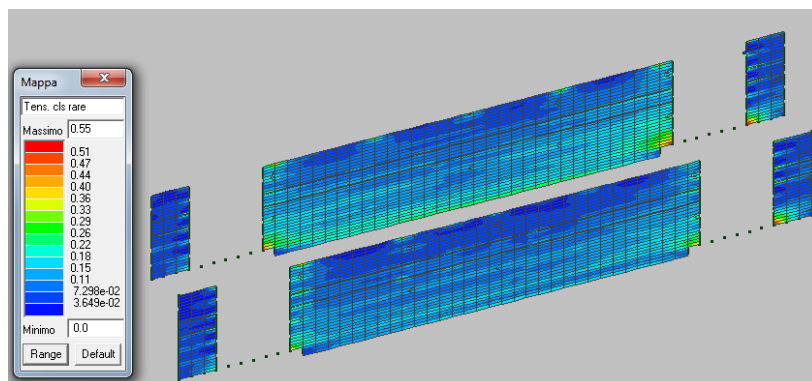


Tensioni totali

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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. $0.6xf_{ck}$); 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.

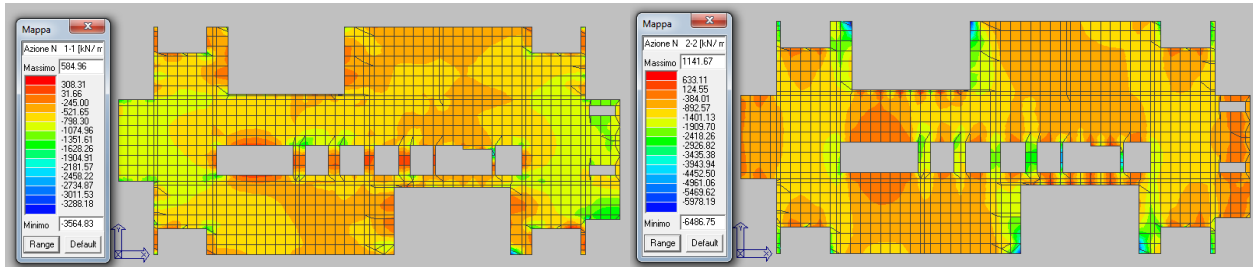
Le verifiche sono state effettuate relativamente al piano 1°, rappresentante le situazione più critica, in modo da poter estendere ed uniformare tali verifiche agli altri solai.

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.

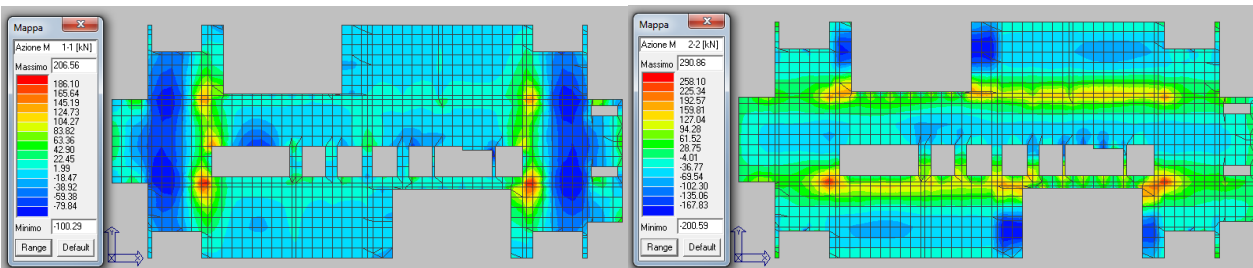
Fase 1 (modello FASE 1)

Combinazione SLU



Azioni N1-1

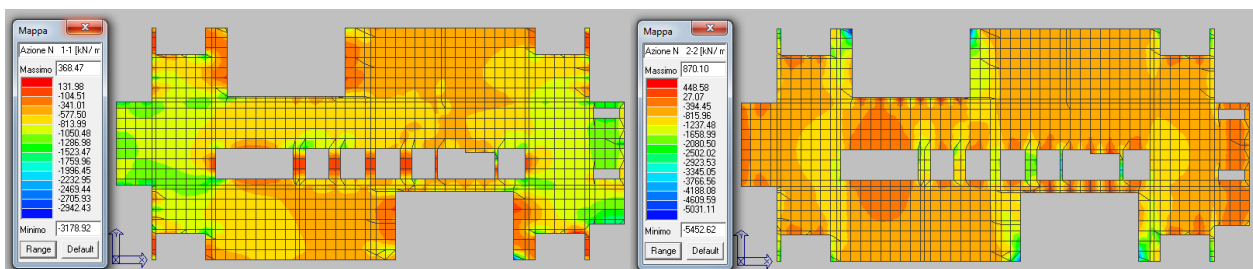
Azioni N2-2



Azioni M1-1

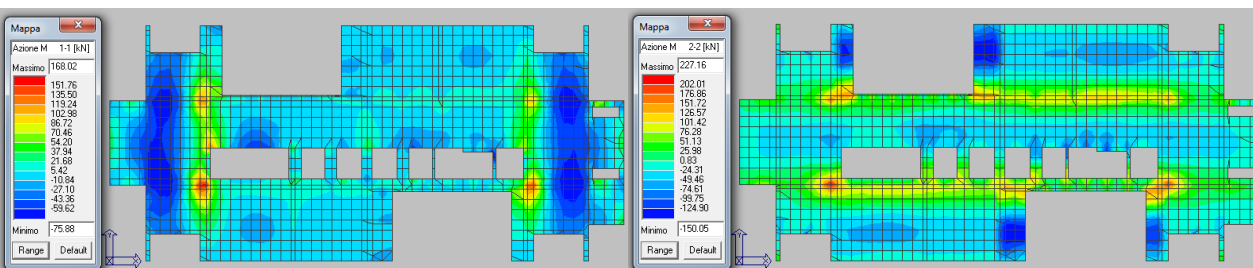
Azioni M2-2

Combinazione Sisma X SLV



Azioni N1-1

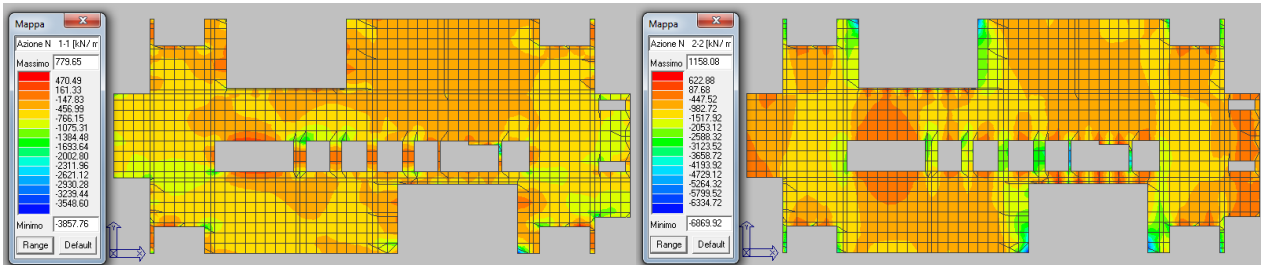
Azioni N2-2



Azioni M1-1

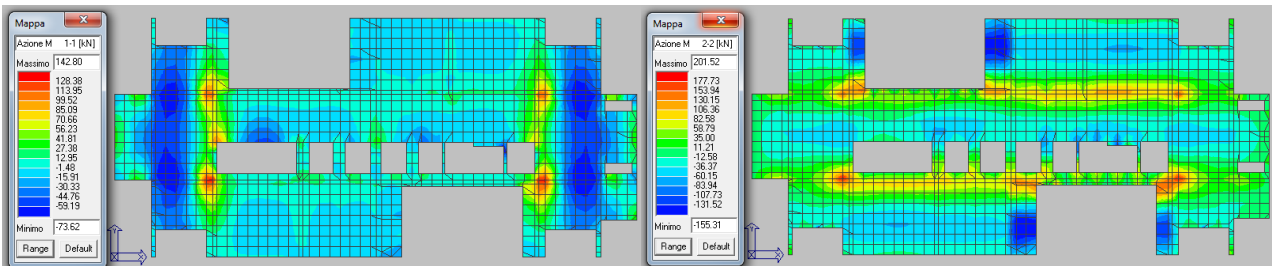
Azioni M2-2

Combinazione Sisma Y SLV



Azioni N1-1

Azioni N2-2

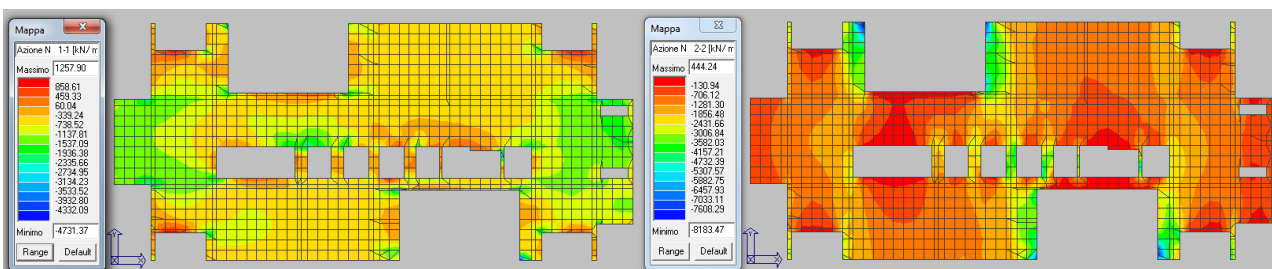


Azioni M1-1

Azioni M2-2

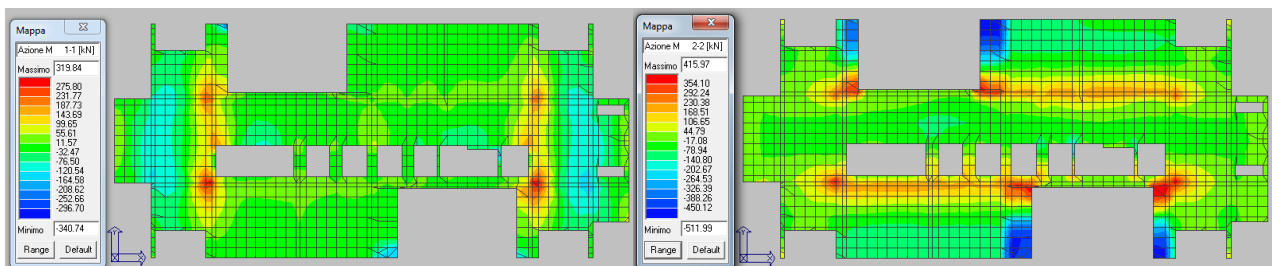
Fase 3

Combinazione SLU



Azioni N1-1

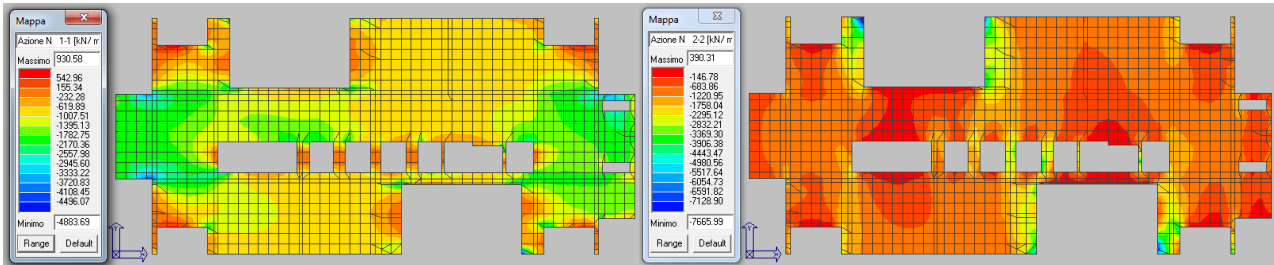
Azioni N2-2



Azioni M1-1

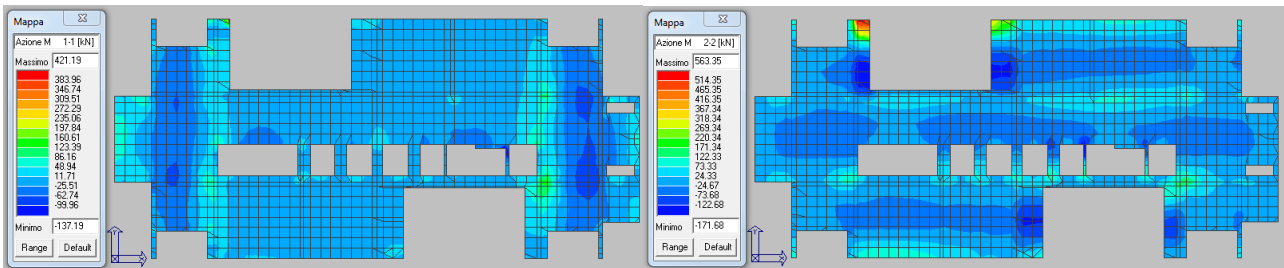
Azioni M2-2

Combinazione Sisma X SLV



Azioni N1-1

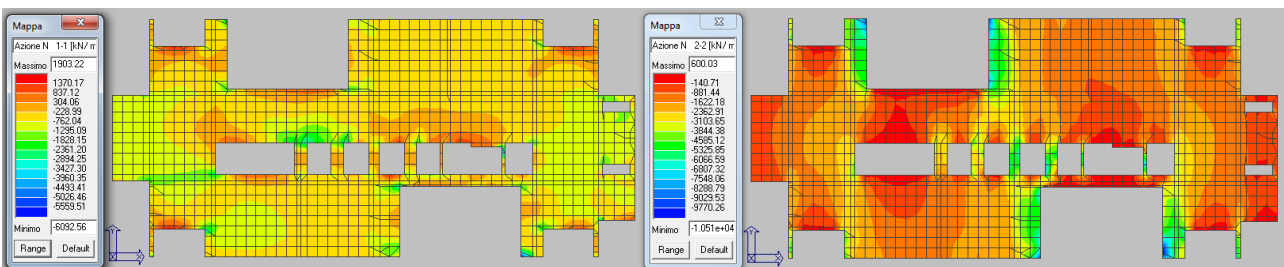
Azioni N2-2



Azioni M1-1

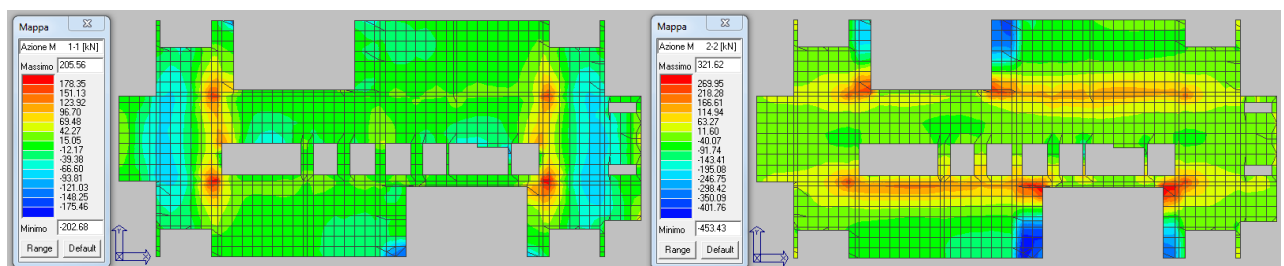
Azioni M2-2

Combinazione Sisma Y SLV



Azioni N1-1

Azioni N2-2

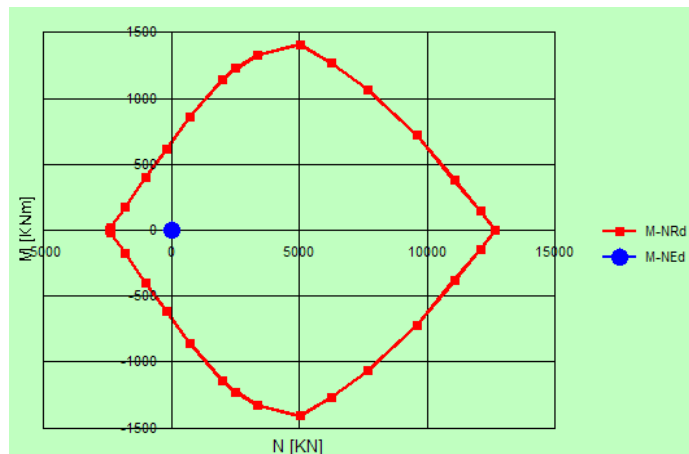


Azioni M1-1

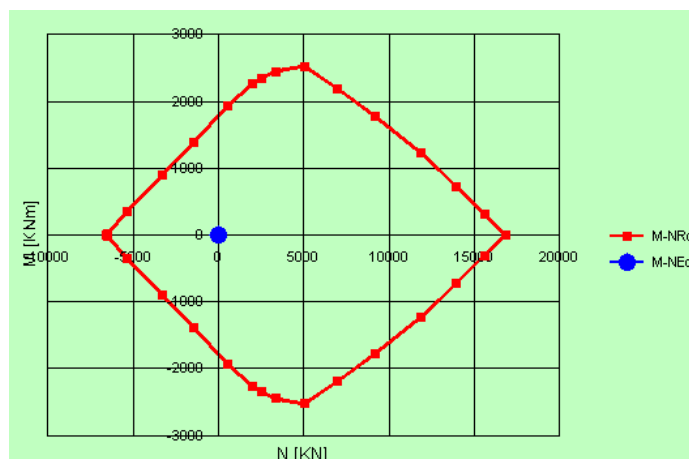
Azioni M2-2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Rev</th> <th>Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F0</td> <td>20-06-2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	F0	20-06-2011
Rev	Data						
F0	20-06-2011						

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



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



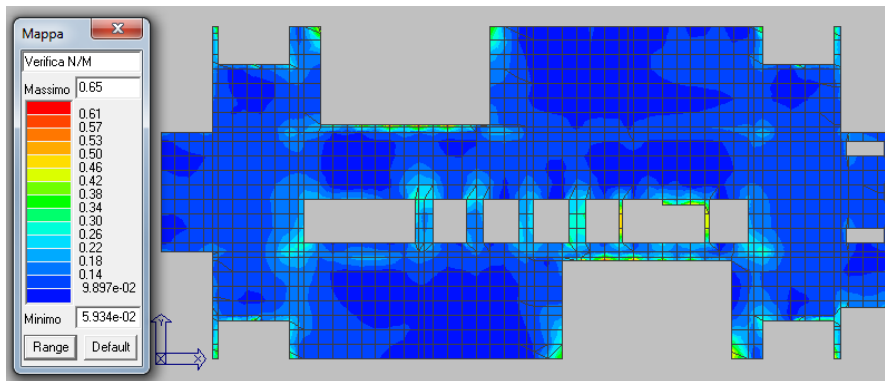
Nelle restanti situazioni estremamente localizzate si rilevano dei picchi di sollecitazione derivanti dalla tipologia di modellazione, da non ritenere validi ai fini del calcolo.

Verifica N/M

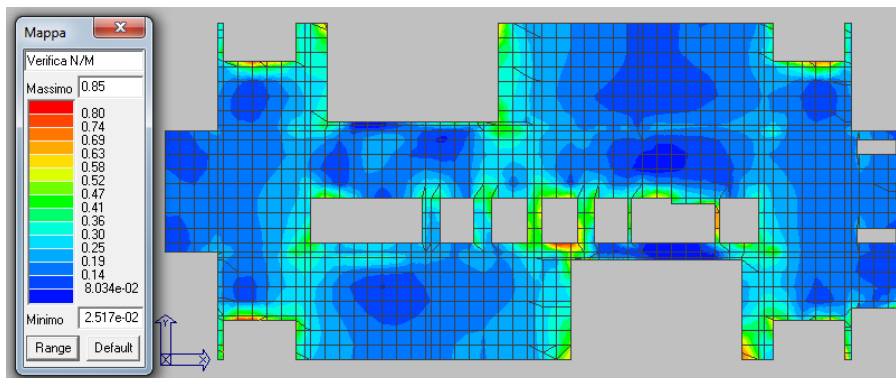
Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto Sd/Su con sollecitazioni ultime proporzionali; il valore del rapporto deve essere minore o uguale a 1 per verifica positiva (Sd = sollecitazione di progetto, Su = sollecitazione ultima)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Fase 1



Fase 3

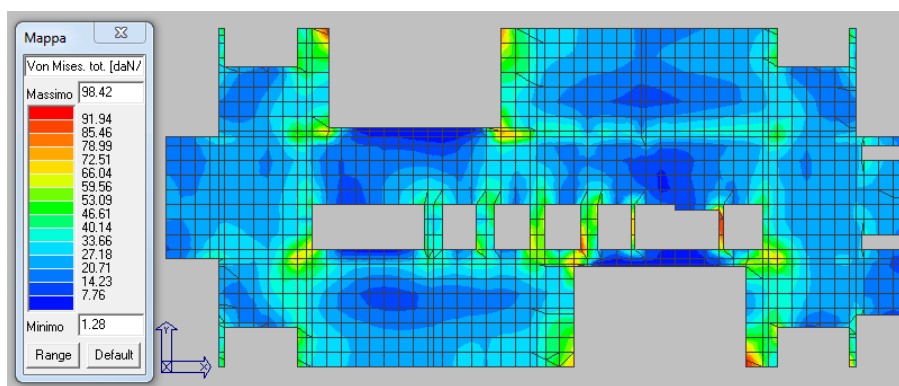


Verifiche SLE

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

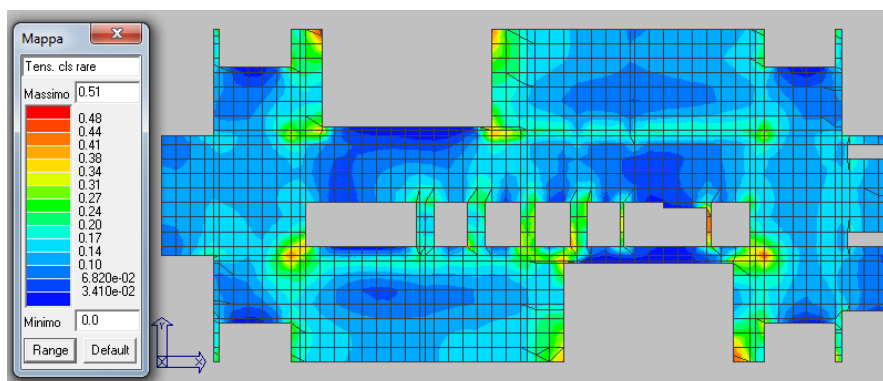
Combinazione SLE (rara)



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)

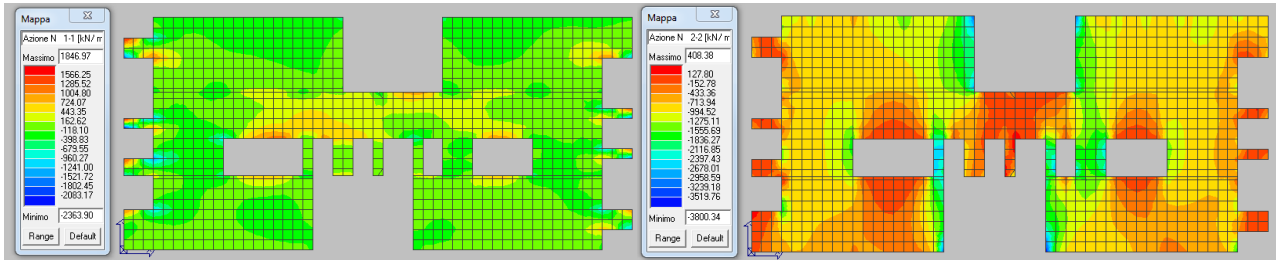


Verifica tensionale

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

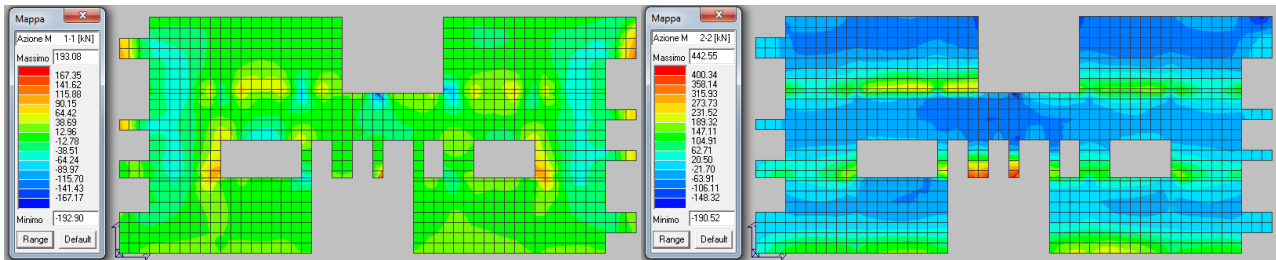
FASE 3

Combinazione Sisma Y SLV



Azioni N1-1

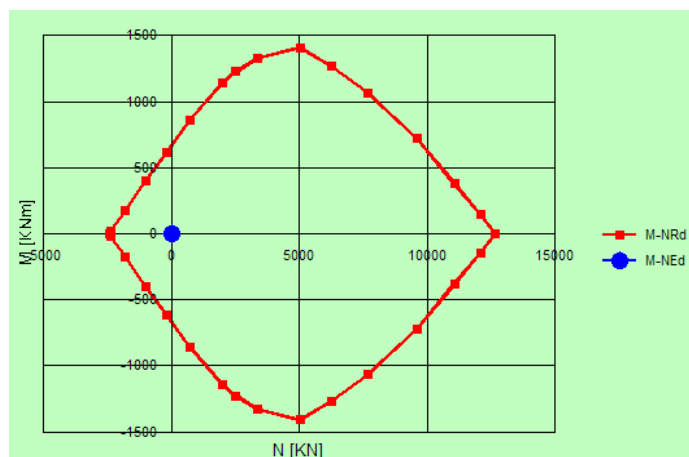
Azioni N2-2



Azioni M1-1

Azioni M2-2

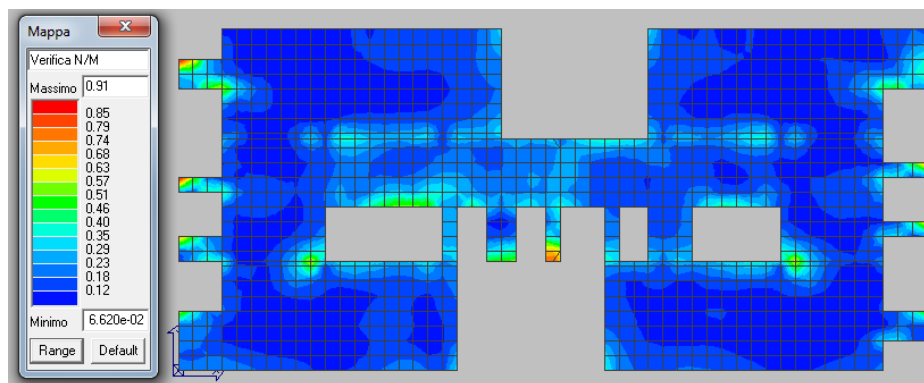
Dominio di rottura (N_{Rdu} , M_{Rdu}) – armatura diffusa Ø20 maglia 10x10cm



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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)



8.4.1.4 Travi miste acciaio calcestruzzo

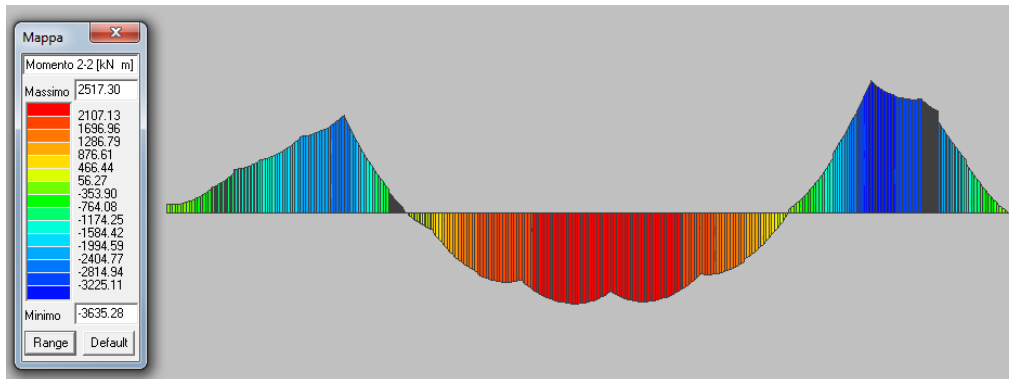
Per la verifica delle travi miste in acciaio calcestruzzo, costituite da 2 profili HEB1000 annegati in sezioni di calcestruzzo da 150x150cm, si sono utilizzate le azioni preponderanti riguardanti le reazioni determinate dalle spinte delle terre sui diaframmi. Ponendosi cautelativamente nella situazione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

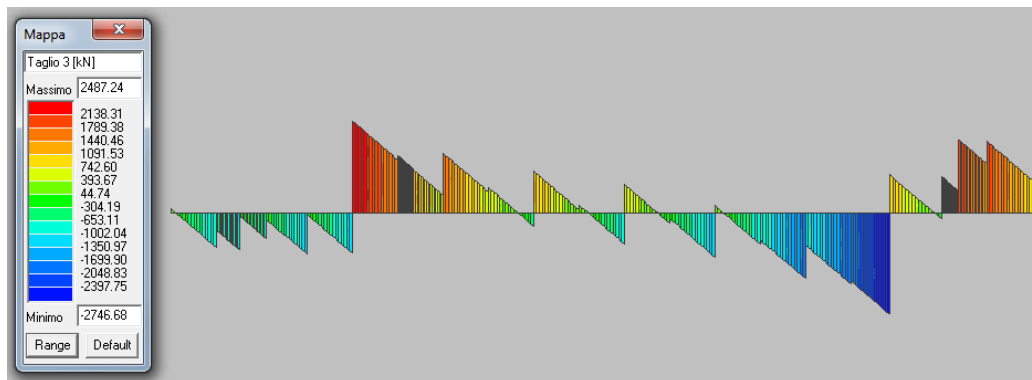
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Fase 1

Combinazione SLU



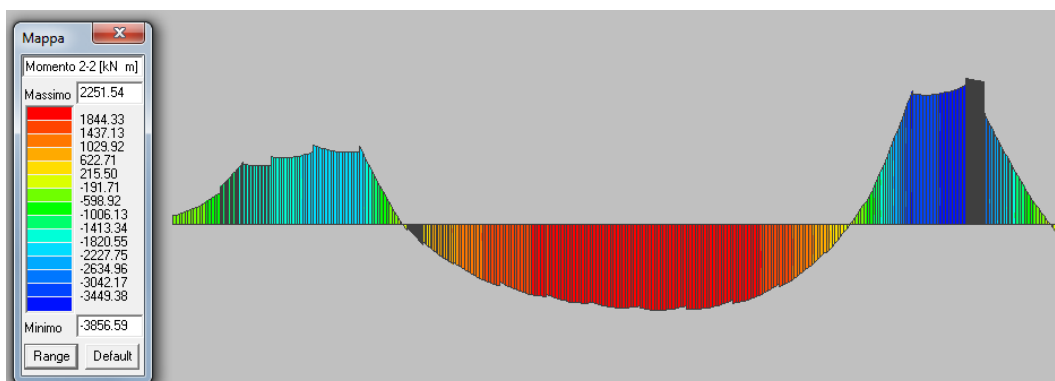
Azioni M2-2



Azioni V3-3

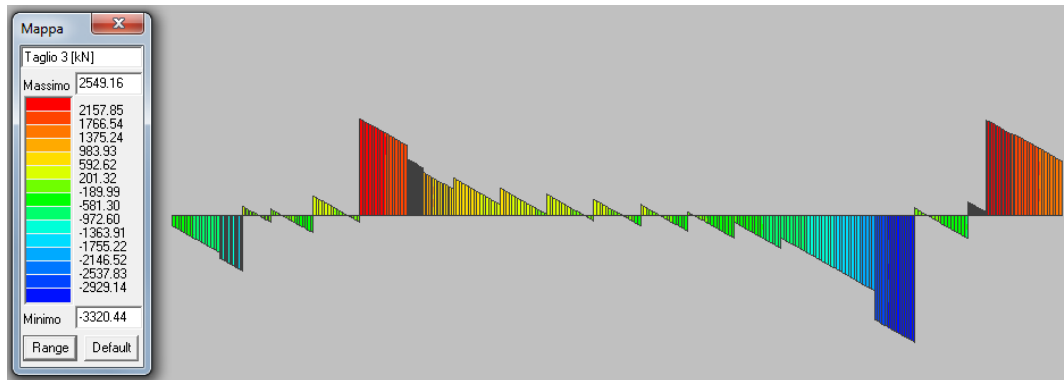
Fase 3

Combinazione Sisma Y SLV



Azioni M2-2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



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:

TRAVE MISTA ACCIAIO-CALCESTRUZZO					
C.A.	f _{cd} (kg/cm ²)=	188			
B(cm)=	150				
H(cm)=	150				
W(cm ³)=	562500	J=	42187500		
PROFILI METALLICI					
n. profili	2				
W(cm ³)=	25780	J=	1289400	J _{TOT} (cm ³)=	61528500
W _{omog} (cm ³)=	386700	J _{omog} =	19341000	W _{TOT} (cm ³)=	949200
→					
MOMENTO RESISTENTE (C.A.+PROFILI METALLICI)					
M _{rd} =		17845		[KN*m]	

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

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

$$V_{Rcd} > V_{sd,max} = 3320 \text{ KN}$$

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20-06-2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20-06-2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20-06-2011						

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

$$V_{Rsd} > V_{sd,max} = 3320 \text{ KN}$$

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

$$V_{Rsd} = 2 \cdot A_v \cdot f_{yk} / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 2 \cdot 28600 \cdot 355 / (3^{1/2} \cdot 1.05) = 111166 \text{ KN}$$

$$V_{Rsd} > V_{sd,max} = 3320 \text{ KN}$$

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:

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

dove

T = taglio massimo sollecitante → 3320 KN

S* = momento statico sollecitante sezione omogeneizzata → 578043 cm³

J = momento d'inerzia sezione omogeneizzata → 42187500 cm⁴

L = lunghezza trave tra gli appoggi → 13 m

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

$$s = 14784 \text{ KN}$$

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
- γ_v coefficiente parziale di sicurezza assunto generalmente pari a 1.25

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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:

$$n_c = 2*s / P_{Rd,min} = 2*14784 / 130.29 = 227$$

Disponendo su ogni ala di entrambi i profili HEB1000, 5 pioli ad un passo di 50 cm il valore di resistenza a scorrimento totale risulta:

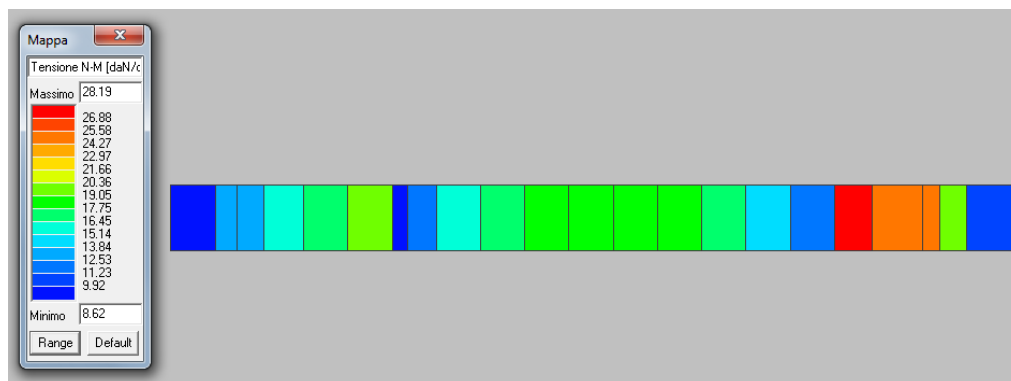
$$P_{Rd,totale} = P_{Rd,min} * n^{\circ} \text{ pioli} = 130.29 * 270/2 = 17589 \text{ KN} > s = 14784 \text{ KN}$$

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

normativa, come indicato di seguito:

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

essendo $\sigma_c = 28.19 \text{ kg/cm}^2$ inferiore a tale limitazione, la verifica risulta soddisfatta.

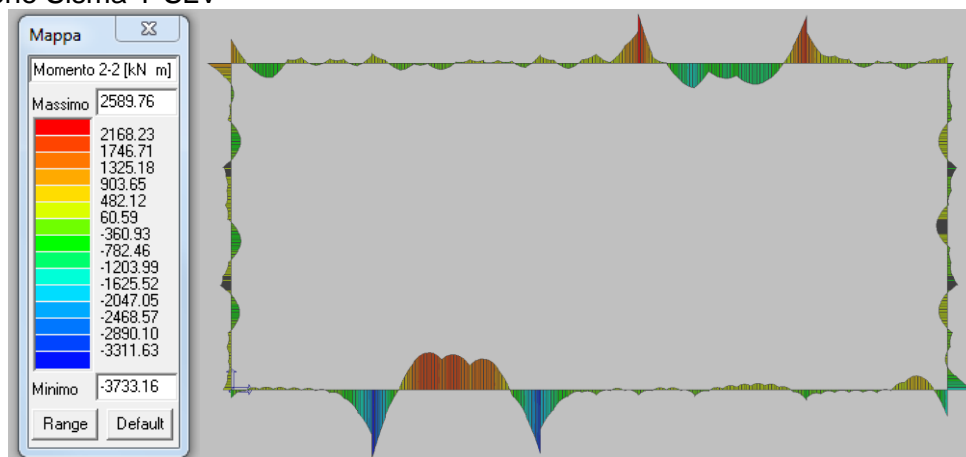
8.4.1.5 Travi perimetrali

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 terzo livello in FASE 1 e in 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 assiale e l'azione flettente, rapportate a grafici rappresentanti il dominio di rottura (N_{Rdu} , M_{Rdu}) per diverse configurazioni di armatura.

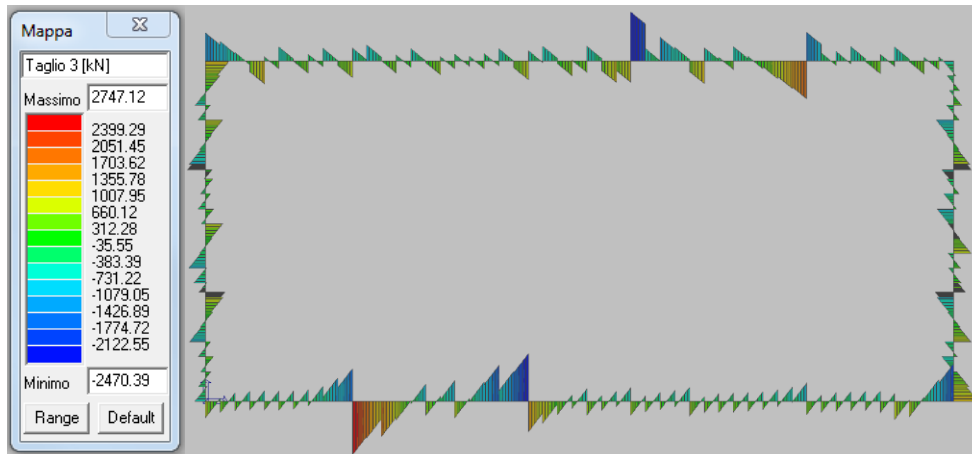
Fase 1

Combinazione Sisma Y SLV



Azioni M2-2

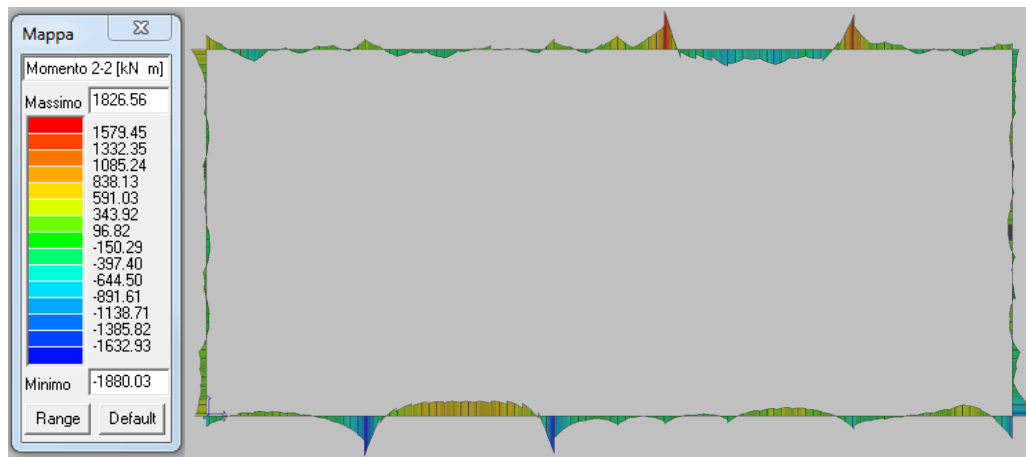
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



Azioni V3-3

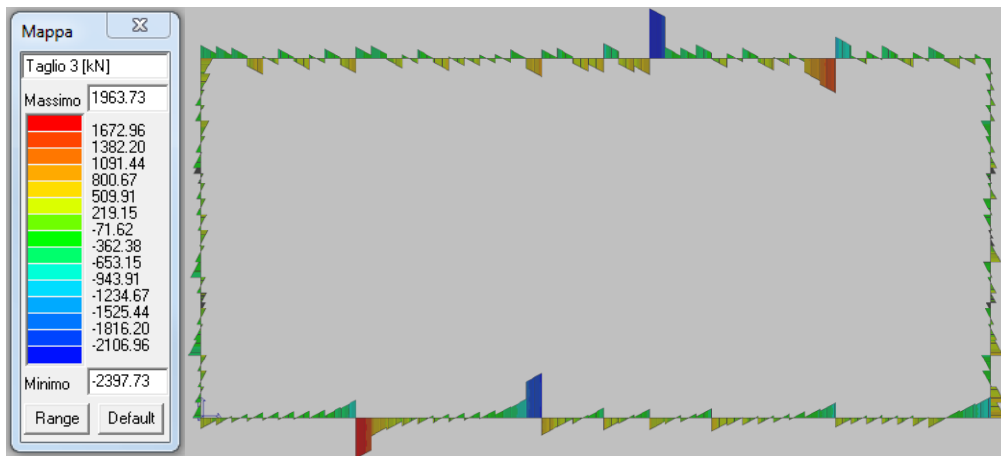
Fase 3

Combinazione Sisma Y SLV



Azioni M2-2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0



Azioni V3-3

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

N* b [cm] h [cm]		N* As [cm²] d [cm]	
1	130	130	1 90,48 5 2 90,48 125

Rettangoli Coord.
 a T Circolare

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Materiali
B450C **C30/37**
 ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² ϵ_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 17 N/mm²
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 11,5 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,6933
 τ_{c1} 2,029

M M_{xRd} 4.273 kNm
 σ_c -17 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 53,99 ‰
 d 125 cm
 x 7,61 x/d 0,06088
 δ 0,7

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N* rett. 100
 Calcola MRd Dominio M-N
 L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

$M_{rd}=4273 \text{ KNm} \rightarrow$ verificato

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

Resistenza a taglio compressione

$$V_{Rcd}=0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot 0.5 f_{cd}=0.9 \cdot 125 \cdot 130 \cdot 0.5 \cdot 1.74=12723 \text{ KN}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

$$V_{Rcd} > V_{sd,max} = 2747 \text{ KN}$$

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

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

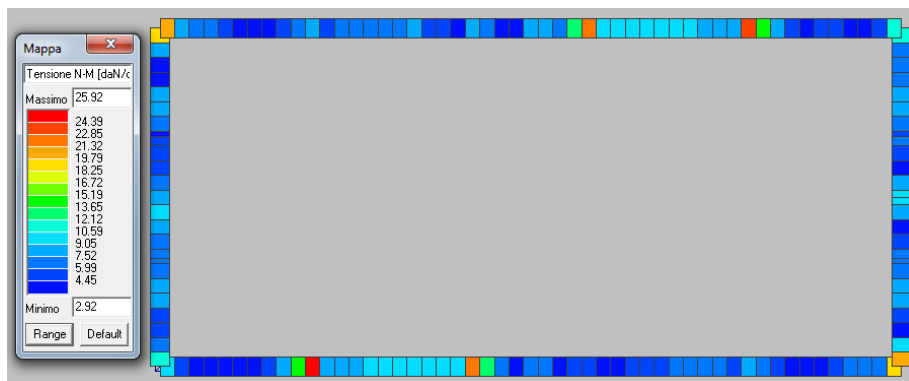
$$V_{Rsd} > V_{sd,max} = 2747 \text{ KN}$$

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.

Combinazione SLE (rara)

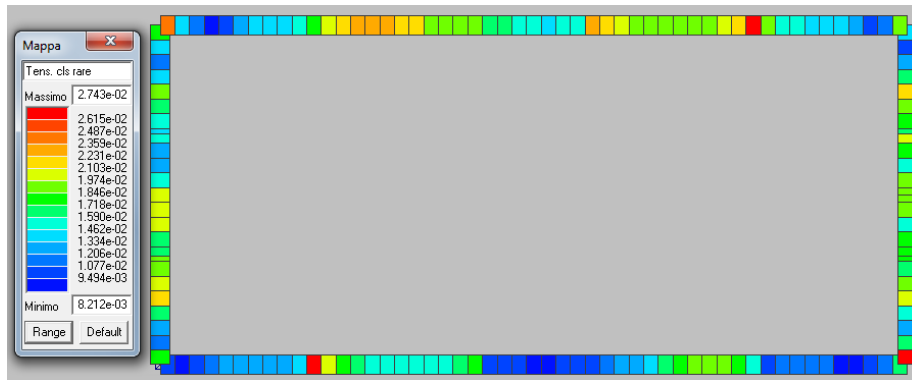


Tensioni totali

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)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



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 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
Pilastri	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 $p_{gk} = P_{gk} / A_{tot} = 1628 \text{ kg/m}^2$

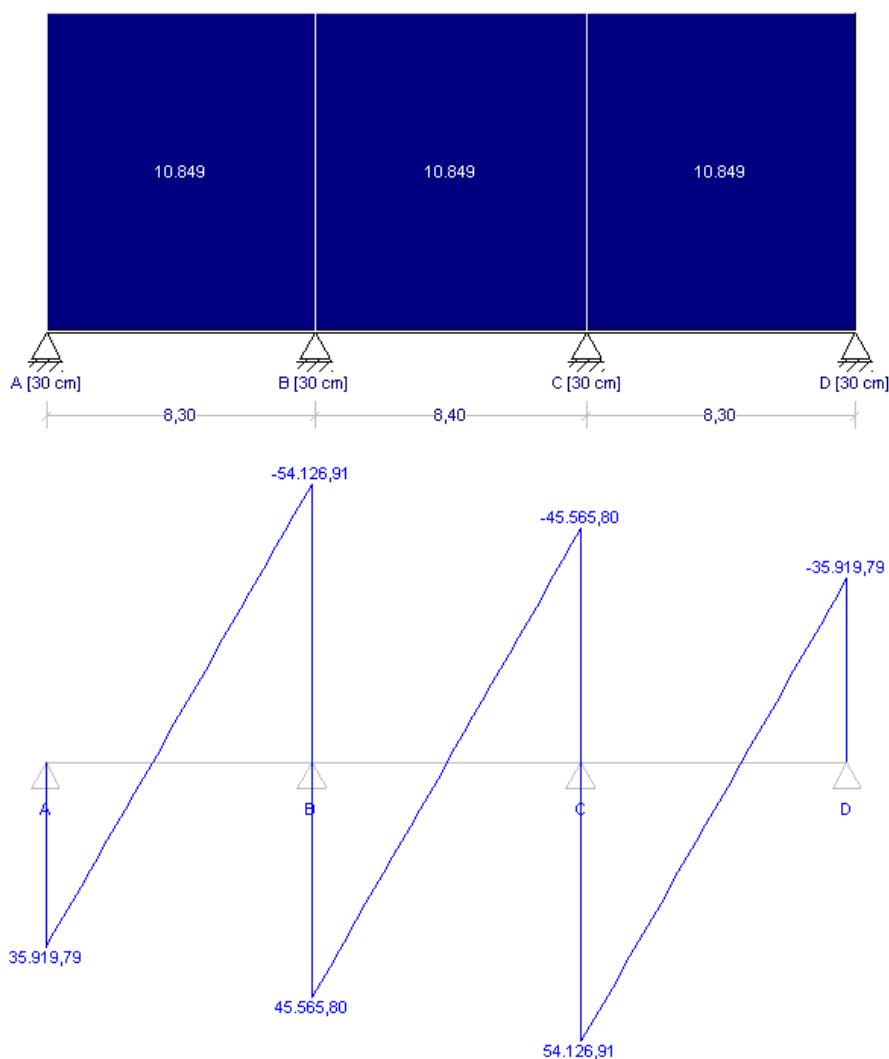
Si considera inoltre un carico accidentale pari a $p_{qk} = 1000 \text{ kg/m}^2$ nell'ipotesi di transito di mezzi di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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:

$$F_{dk} = (\gamma_{gk} * p_{gk}) + (\gamma_{qk} * p_{qk}) * l_{spettanza\ trave} = (1.3 * 1628) + (1.5 * 1000) * 3 = 10849 \text{ kg/m}$$



Sollecitazioni di Taglio

Il taglio massimo sugli appoggi laterali gravante su ogni chiave di taglio risulta esser :

$$V_{sd} = 35915 \text{ kg} \approx 359.15 \text{ KN.}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

Resistenza a taglio compressione

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot 0.5 f_{cd} = 0.9 \cdot 125 \cdot 60 \cdot 0.5 \cdot 1.74 = 5872 \text{ KN}$$

$$V_{Rcd} > V_{sd} = 359.15 \text{ KN}$$

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.

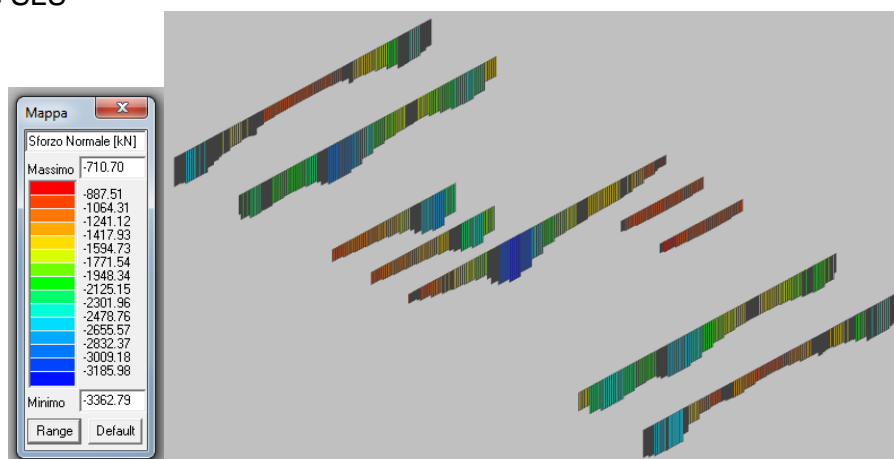
Le verifiche sono state effettuate relativamente al piano 1°, rappresentante la situazione più critica, in modo da poter estendere ed uniformare tali verifiche ai puntoni degli altri livelli.

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.

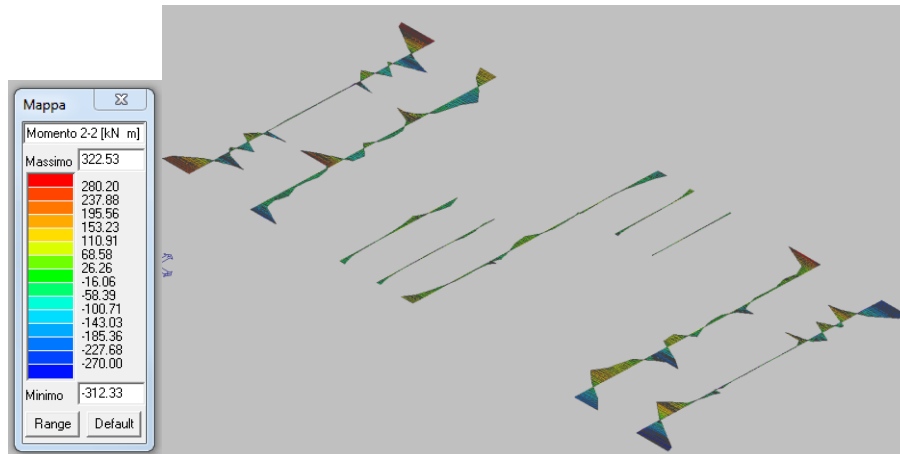
Combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.UU., sono riportate di seguito le mappature delle sollecitazioni, per ognuna delle 2 fasi, relative a tutte le combinazioni di carico, rapportate a grafici rappresentanti il dominio di rottura (N_{Rdu} , M_{Rdu}) per diverse configurazioni di armatura.

Fase 1

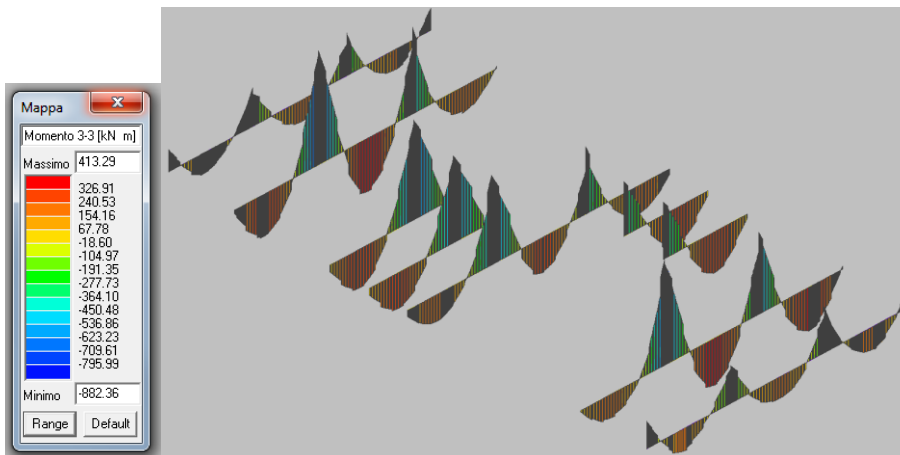
Combinazione SLU



Azioni N

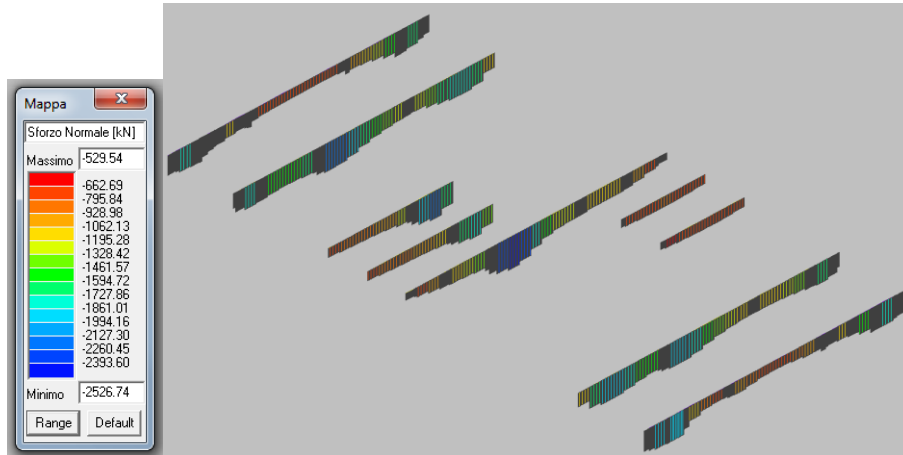


Azioni M2-2

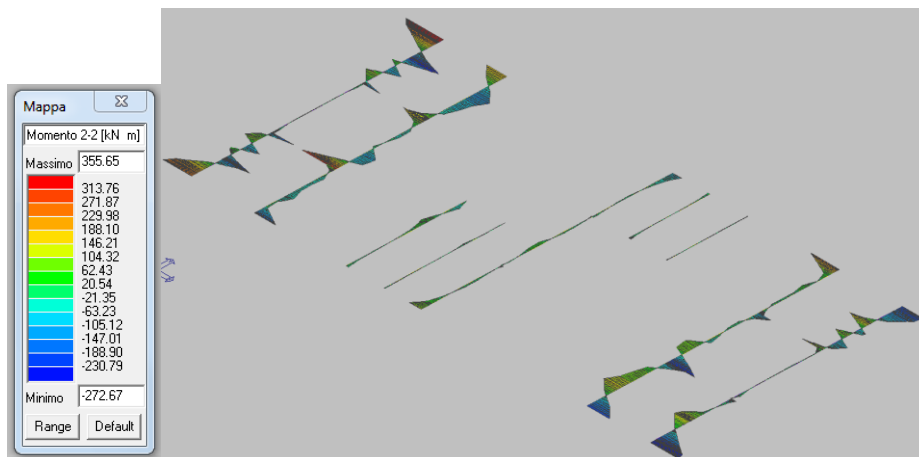


Azioni M3-3

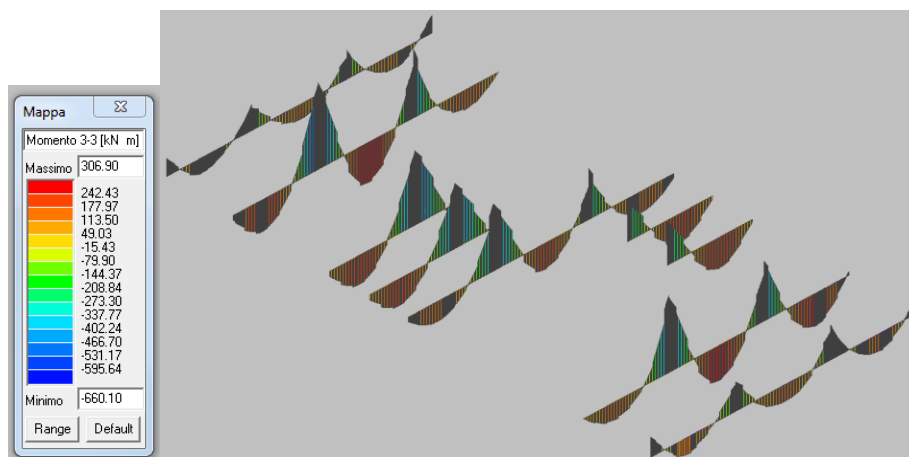
Combinazione Sisma X SLV



Azioni N



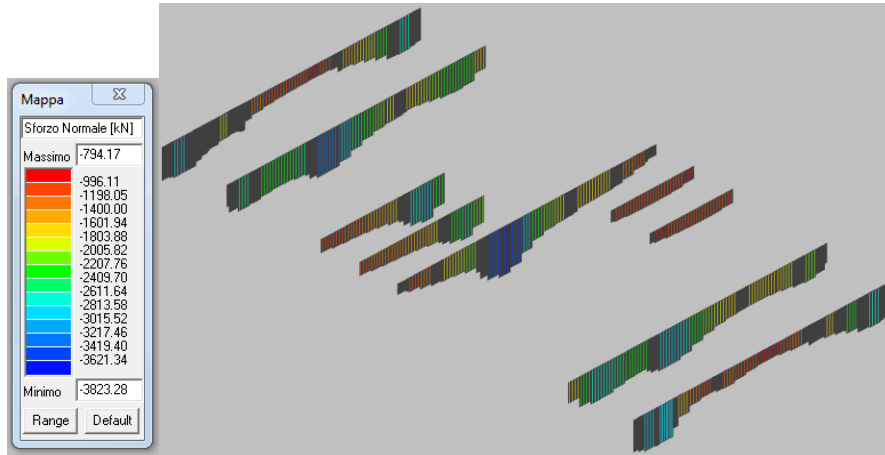
Azioni M2-2



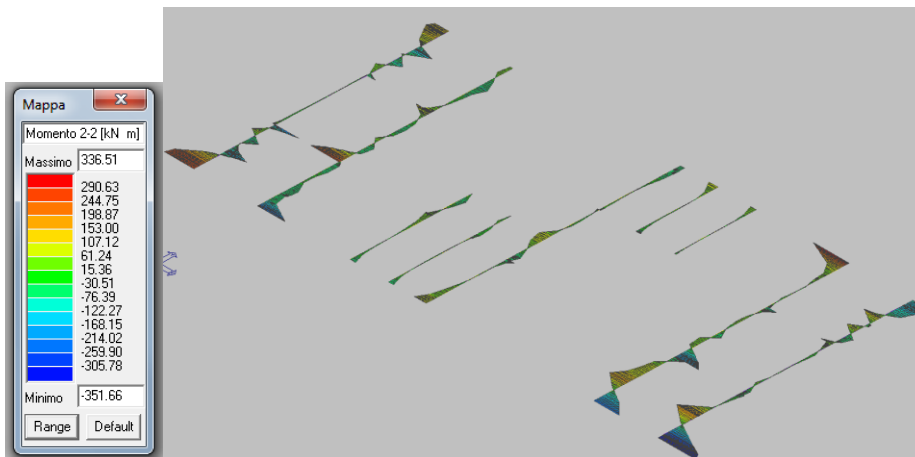
Azioni M3-3

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

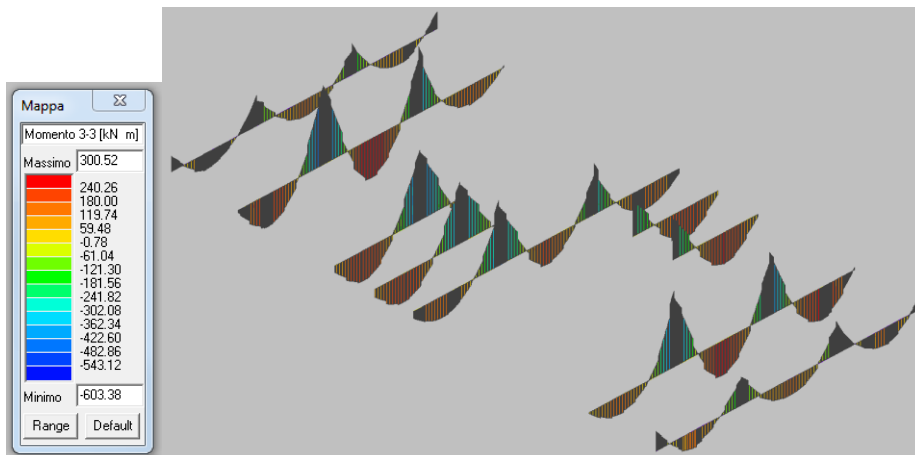
Combinazione Sisma Y SLV



Azioni N



Azioni M2-2

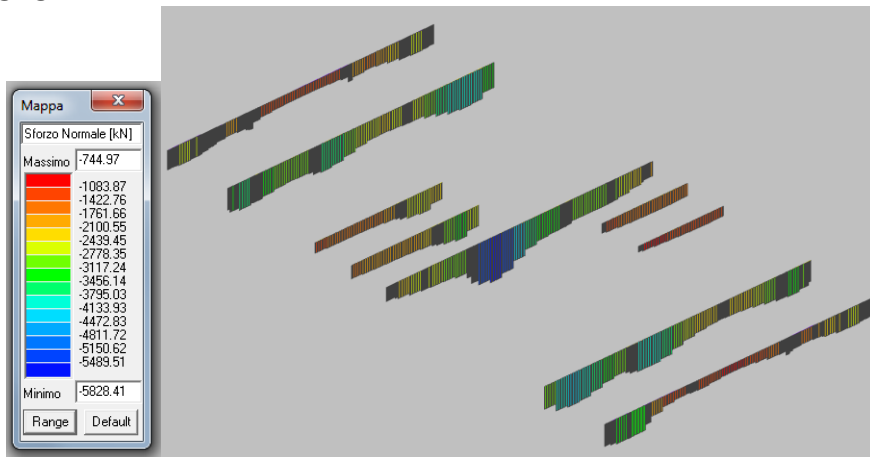


Azioni M3-3

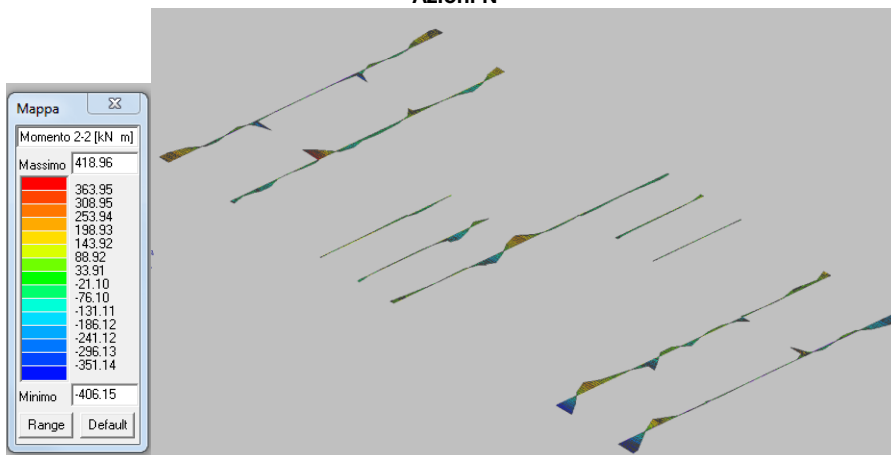
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Fase 3

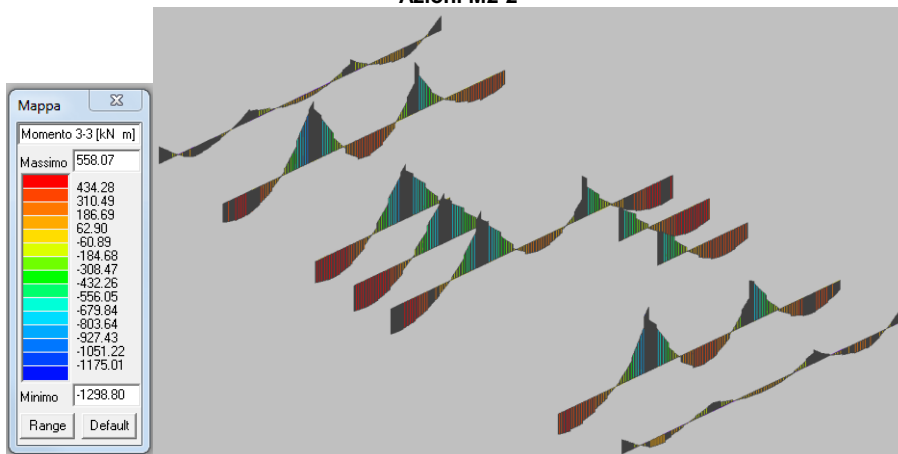
Combinazione SLU



Azioni N



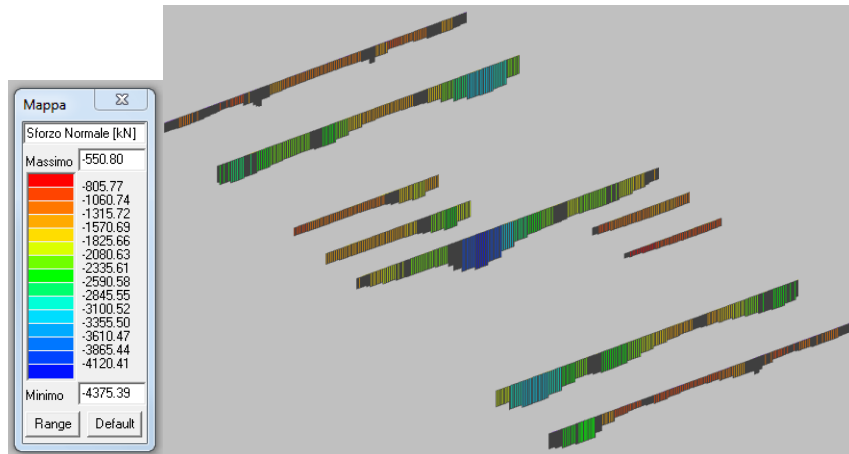
Azioni M2-2



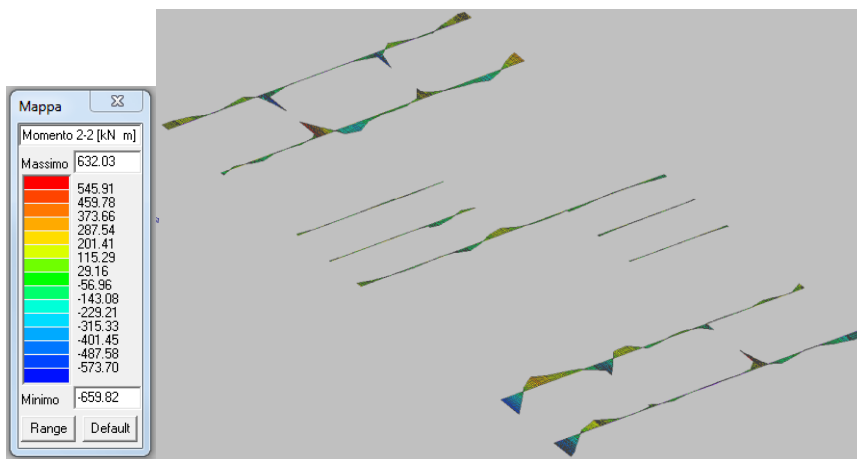
Azioni M3-3

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

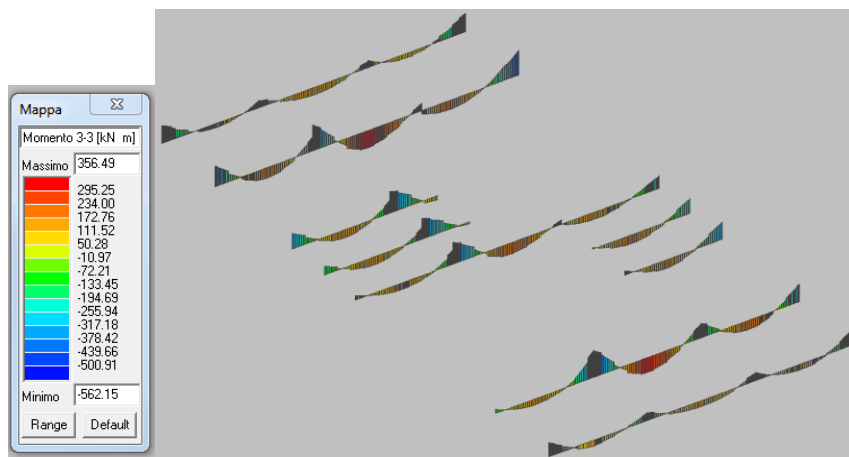
Combinazione Sisma X SLV



Azioni N

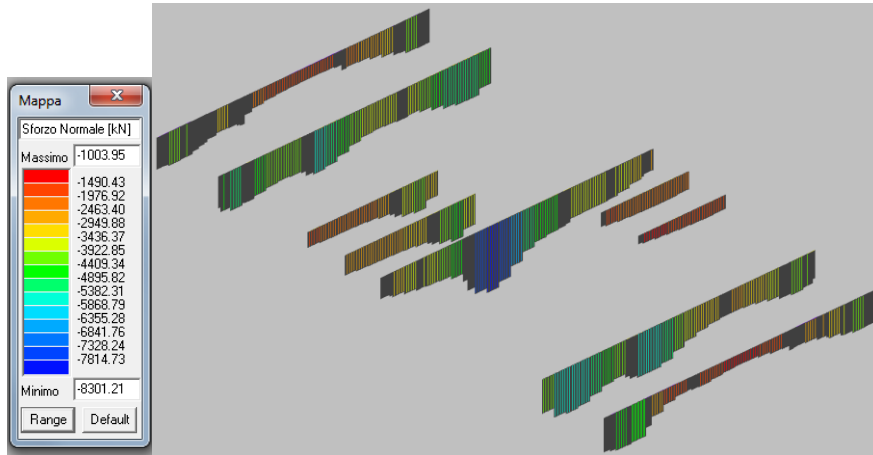


Azioni M2-2

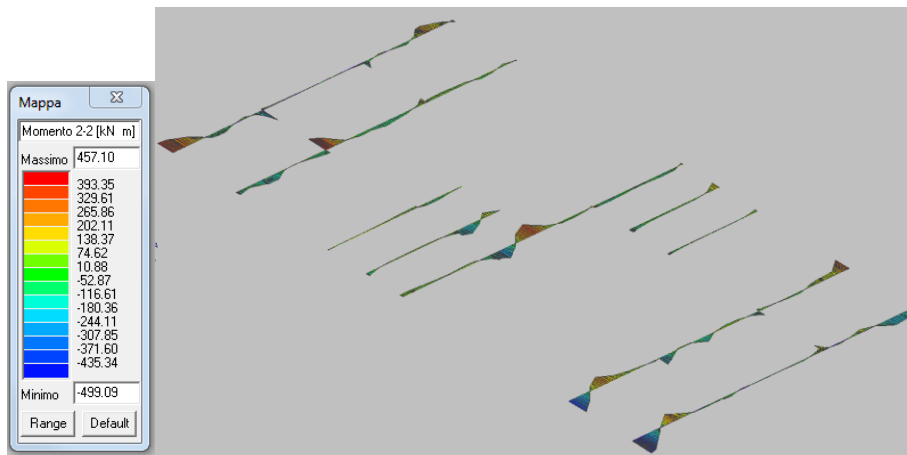


Azioni M3-3

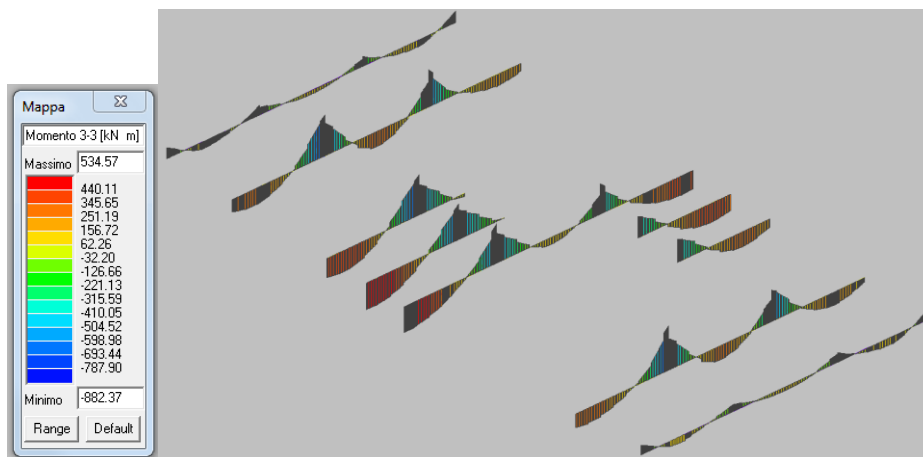
Combinazione Sisma Y SLV



Azioni N



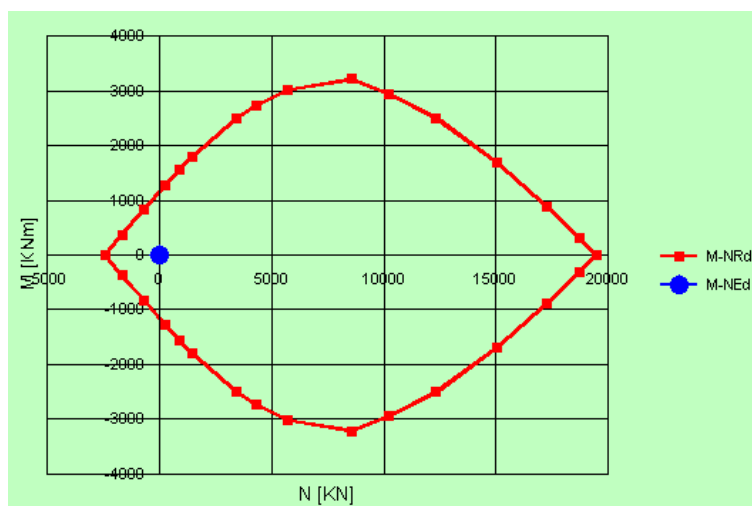
Azioni M2-2



Azioni M3-3

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	Rev Data F0 20-06-2011

Dominio di rottura (N_{Rdu} , M_{Rdu}) – armatura corrente 10Ø20 per lato

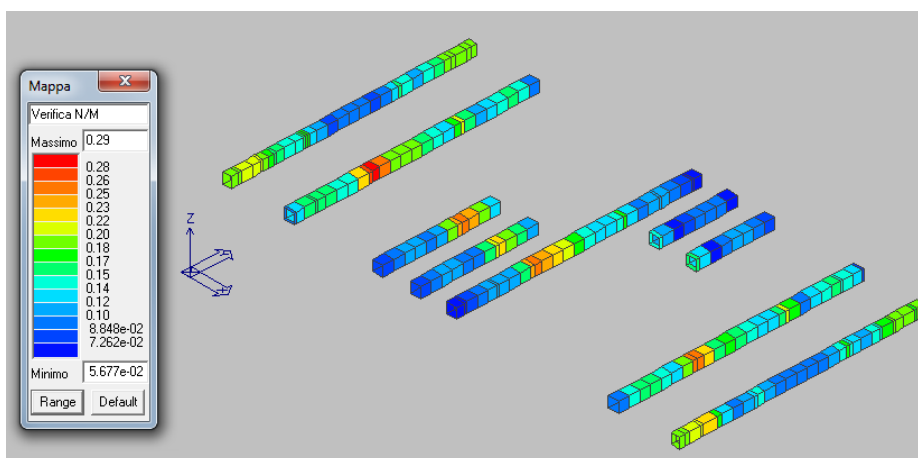


Osservando il dominio resistente M/N risulta evidente come le sollecitazioni sopra riportate ricadano tutte al suo interno rendendo tale verifica soddisfatta.

Verifica N/M

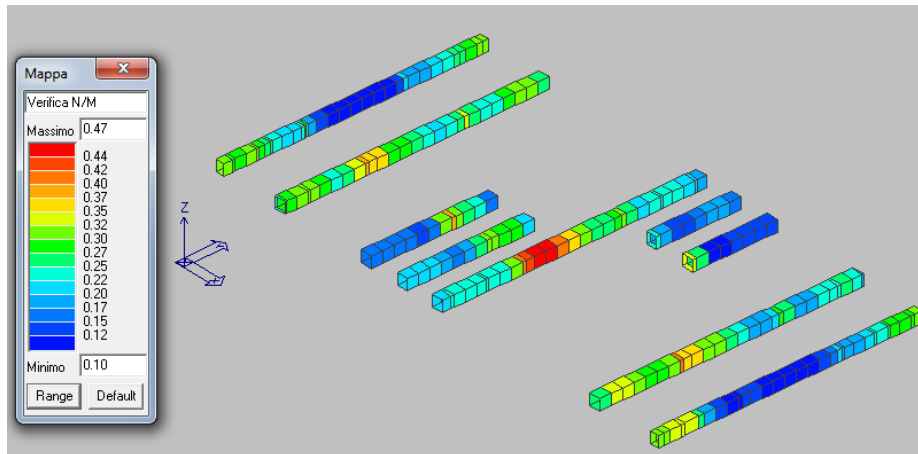
Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto Sd/Su con sollecitazioni ultime proporzionali; il valore del rapporto deve essere minore o uguale a 1 per verifica positiva (Sd = sollecitazione di progetto, Su = sollecitazione ultima)

Fase 1



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

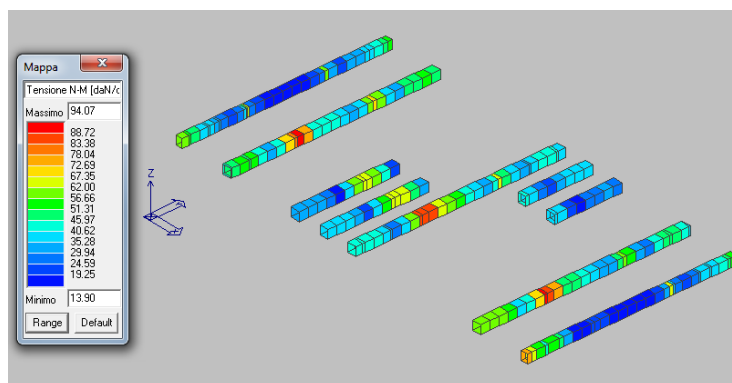
Fase 3



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)

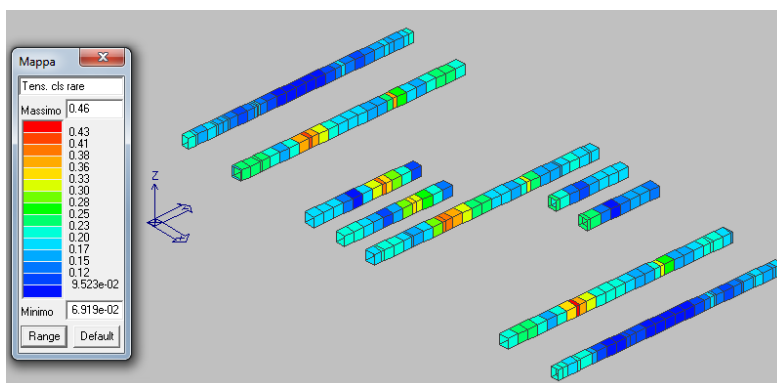


Tensioni totali

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. $0.6 \times f_{ck}$); 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)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



Verifica tensionale

8.4.1.8 Puntoni provvisionali

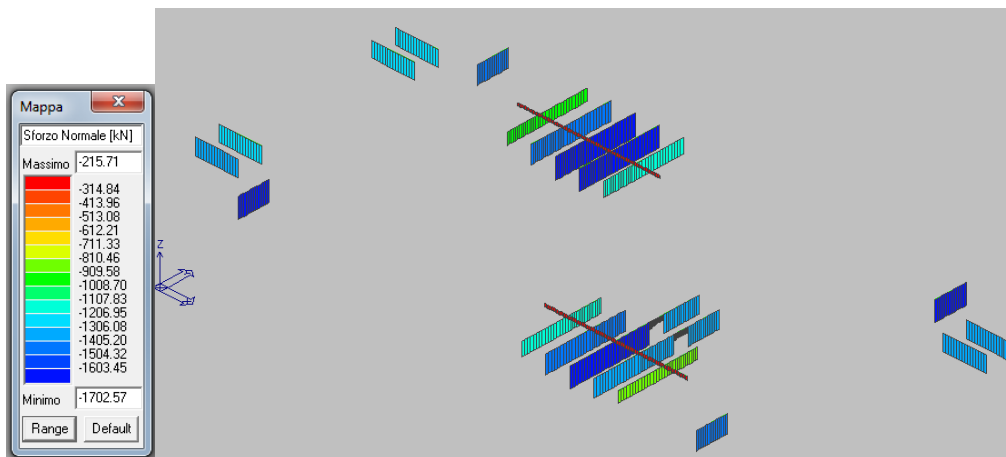
Le verifiche di resistenza dei puntoni provvisionali, costituiti da profili HEB600, sono eseguite adottando il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

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.

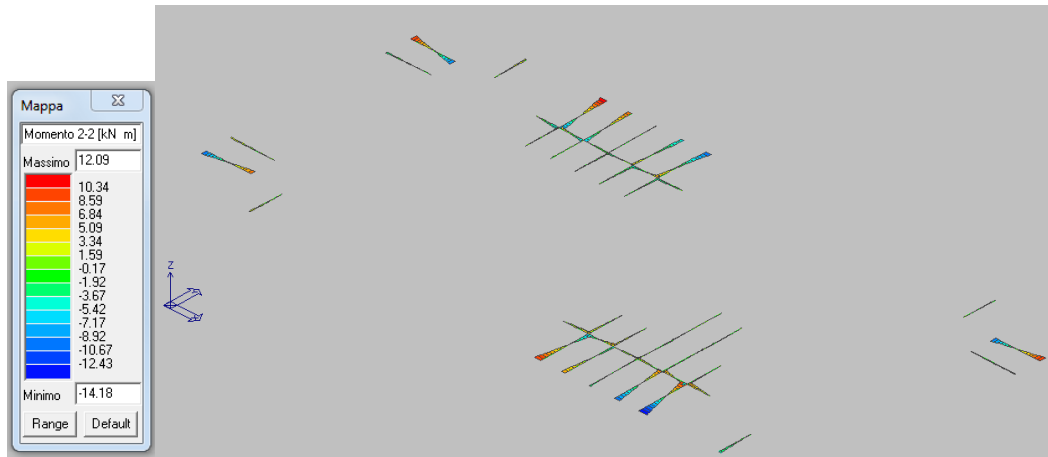
Combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.UU., sono riportate di seguito le mappature delle sollecitazioni, relative a tutte le combinazioni di carico, rapportate a grafici rappresentanti il dominio di rottura (N_{Rdu} , M_{Rdu}) per diverse configurazioni di armatura.

Fase 1

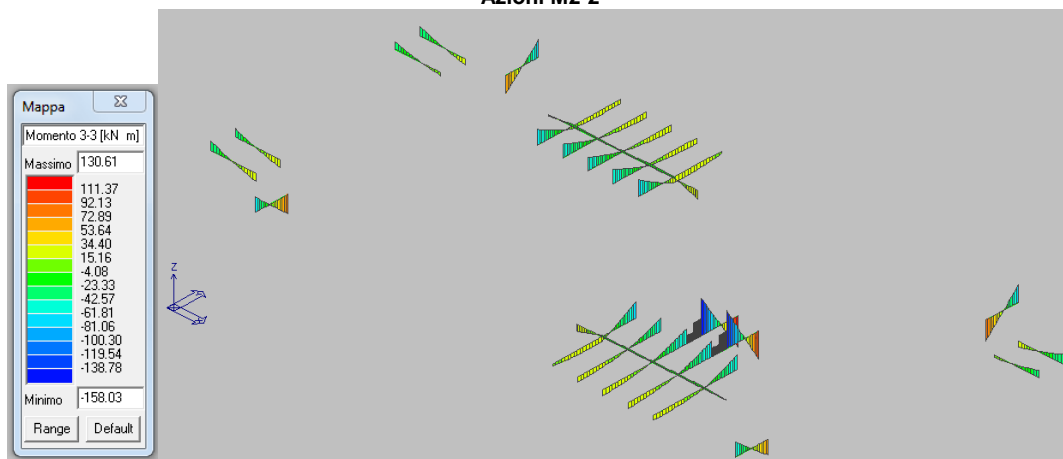
Combinazione SLU



Azioni N

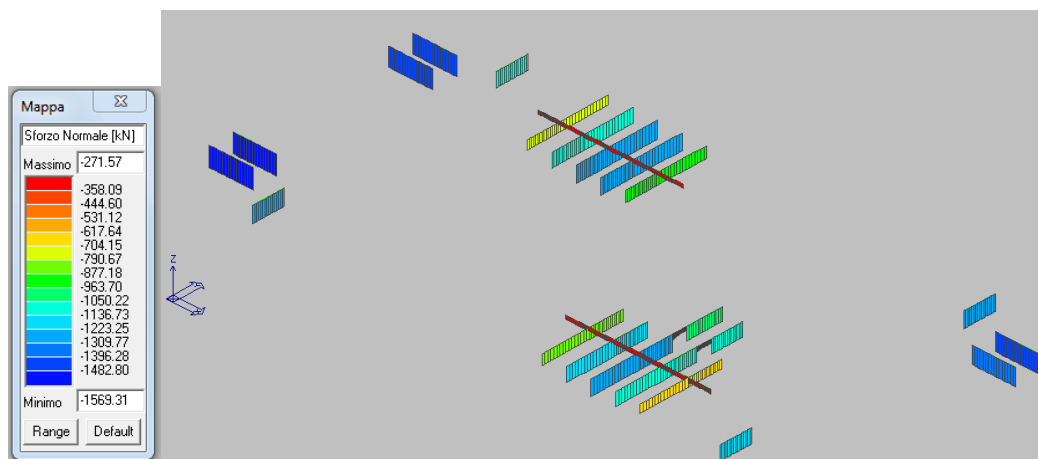


Azioni M2-2

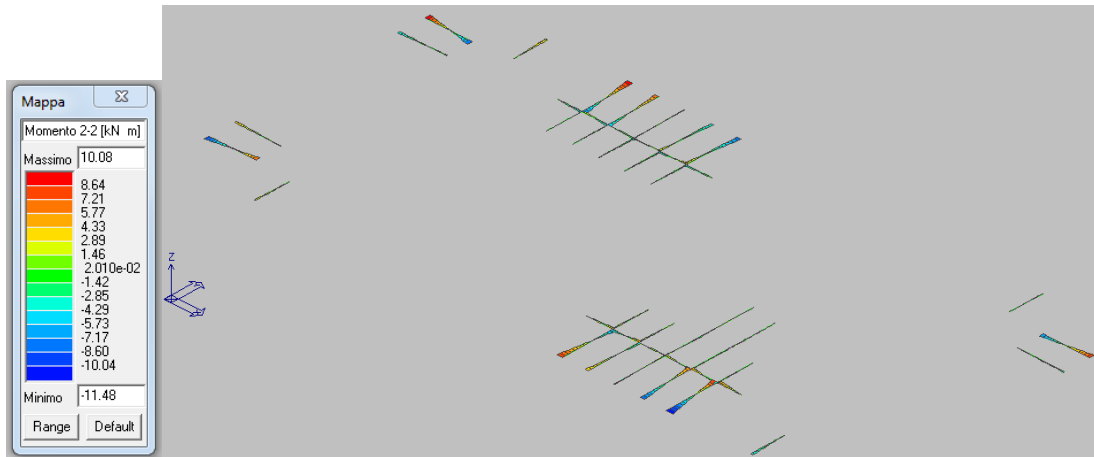


Azioni M3-3

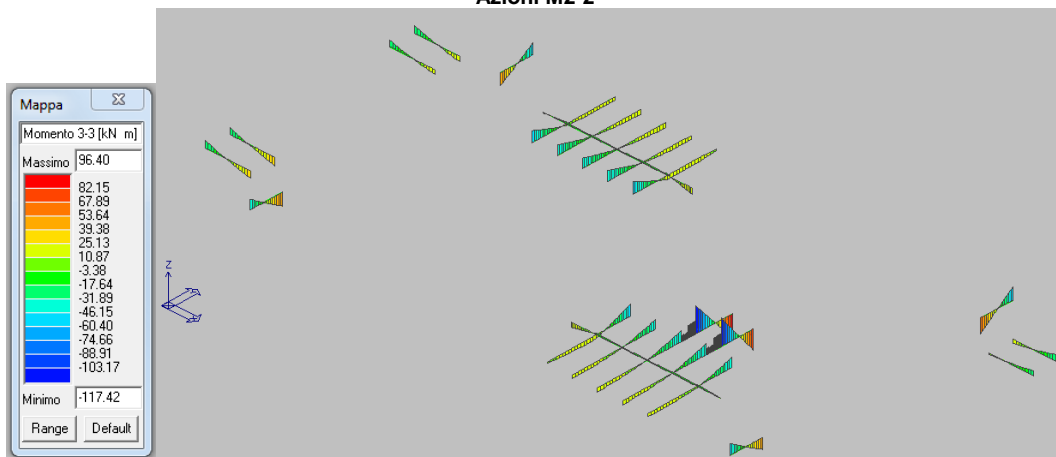
Combinazione Sisma X SLV



Azioni N

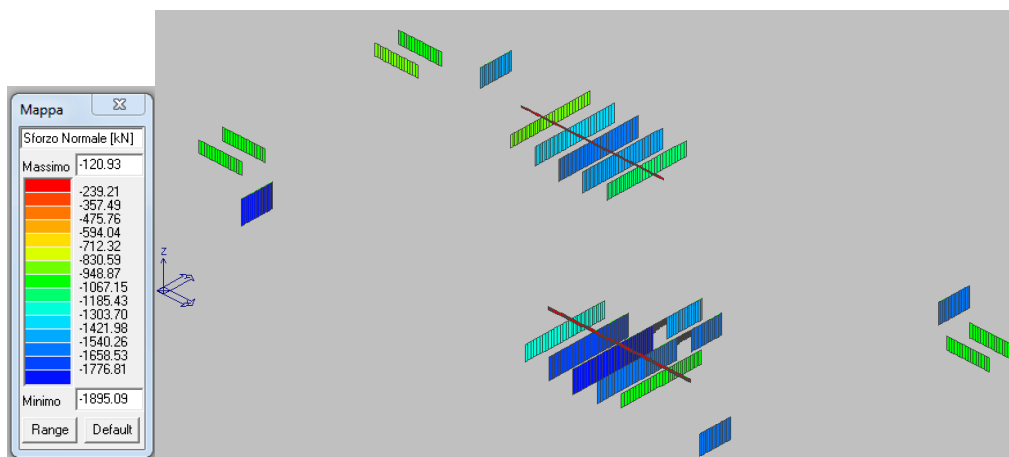


Azioni M2-2

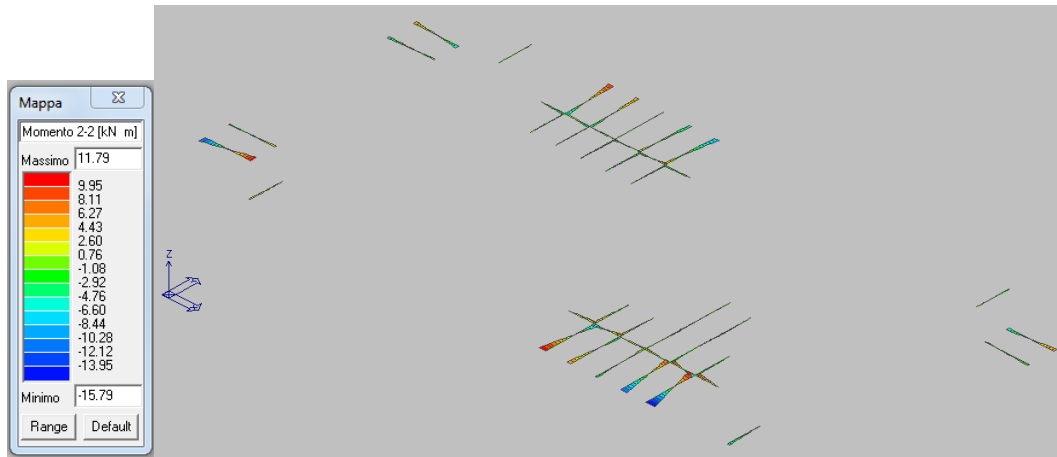


Azioni M3-3

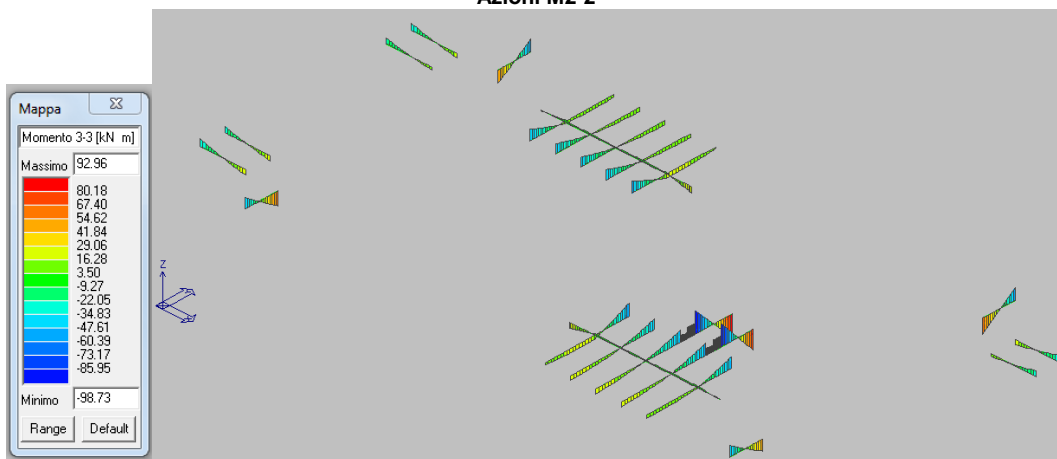
Combinazione Sisma Y SLV



Azioni N



Azioni M2-2

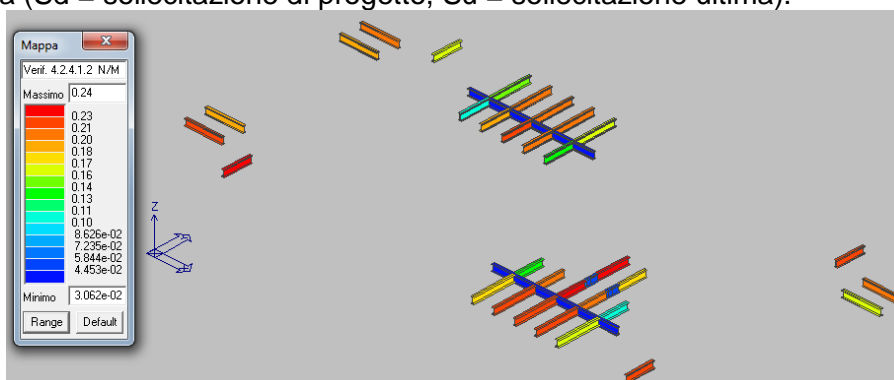


Azioni M3-3

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<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).



8.4.1.9 Travi di collegamento diaframmi interni

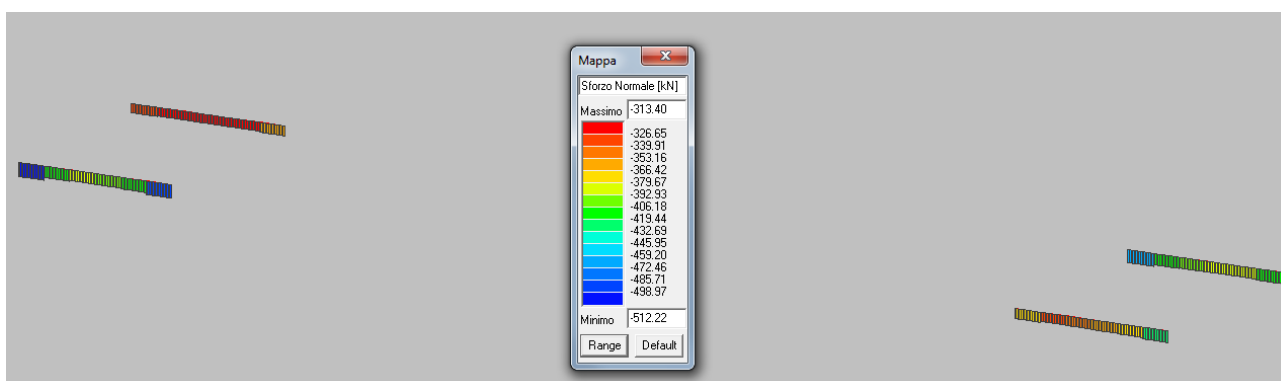
Le verifiche di resistenza delle travi di collegamento, aventi sezione 80x120cm, sono eseguite adottando il metodo semiprobabilistico agli stati limite; si assume un copriferro pari a 5 cm.

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.

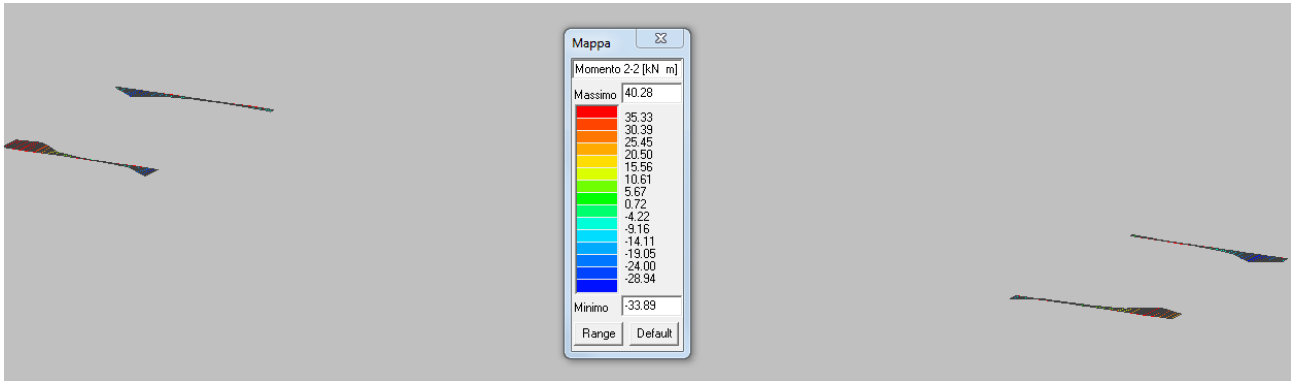
Fase 1

Combinazione SLU

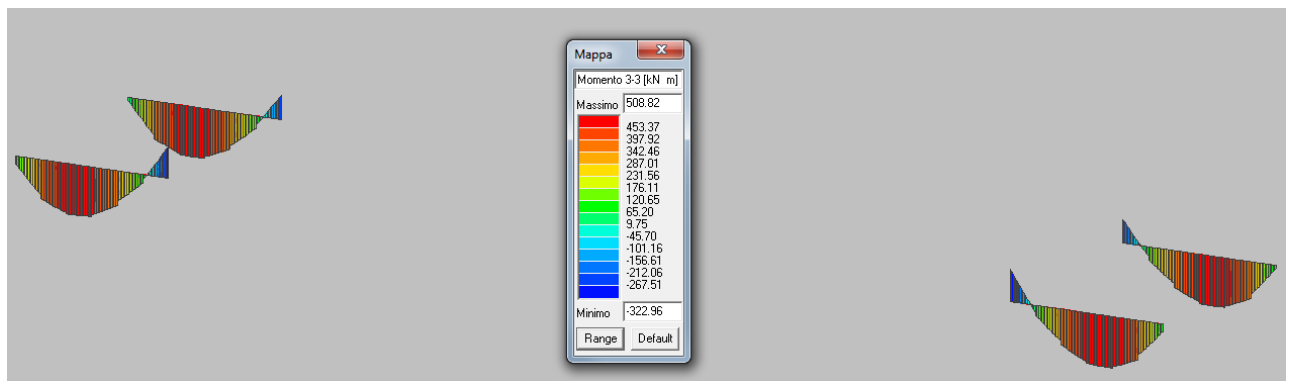


Azioni N

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

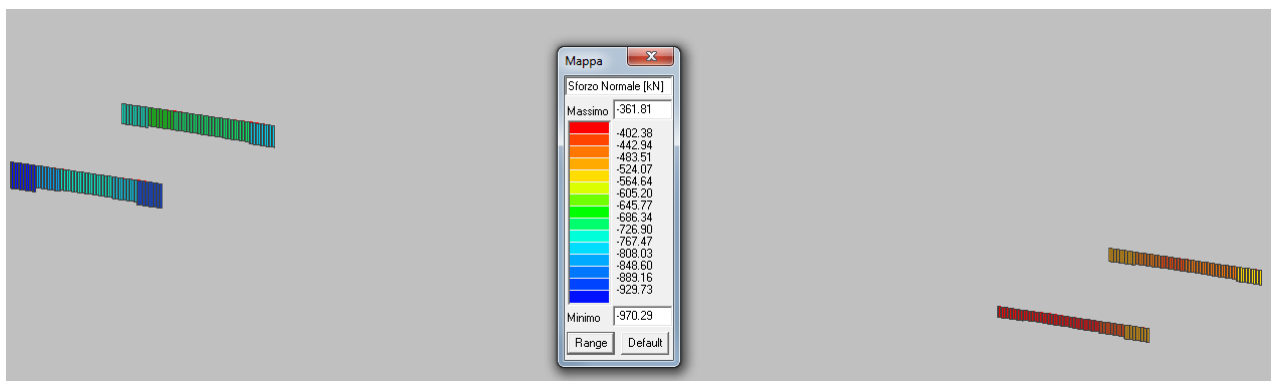


Azioni M2-2



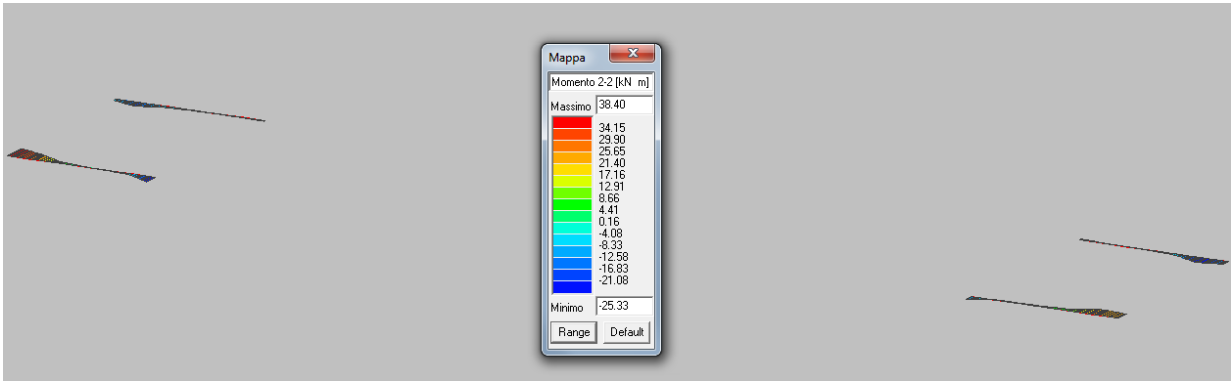
Azioni M3-3

Combinazione Sisma X SLV

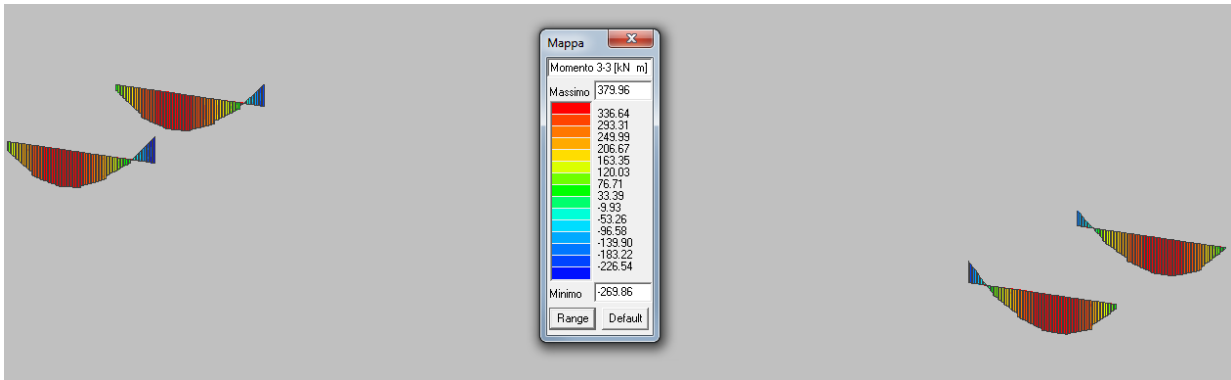


Azioni N

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

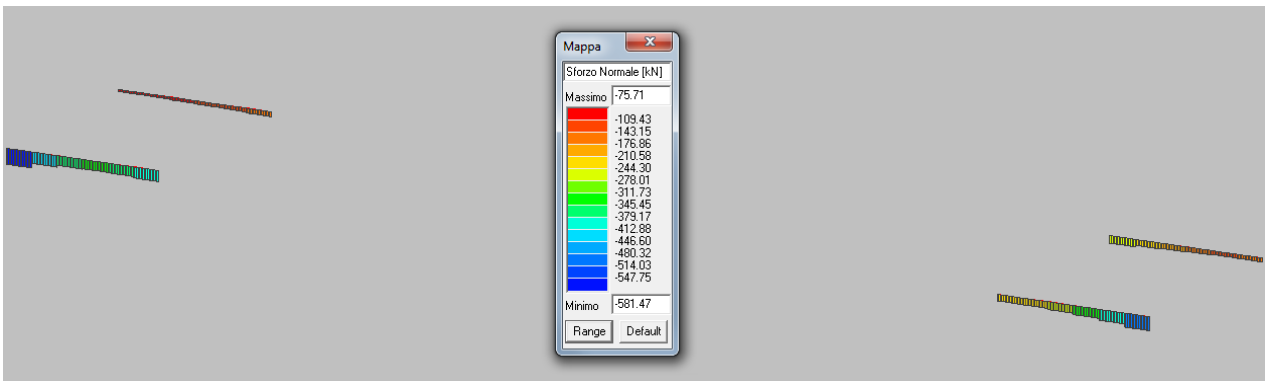


Azioni M2-2



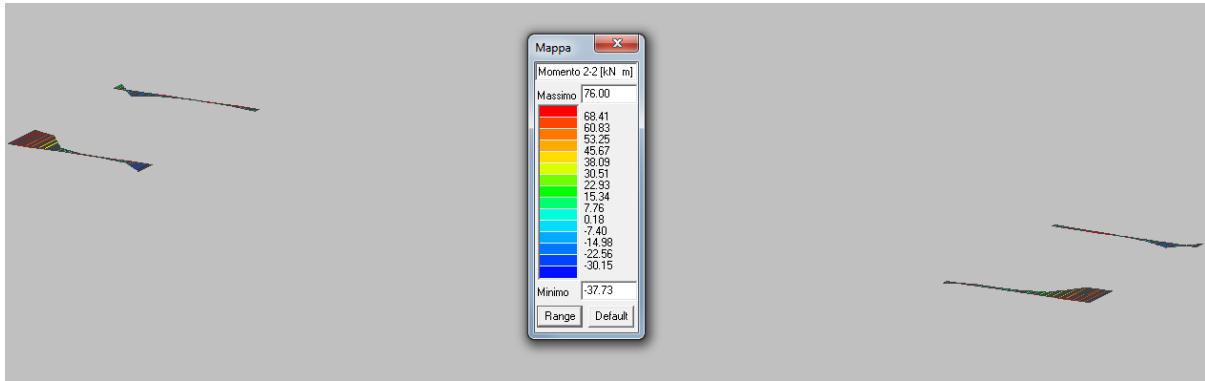
Azioni M3-3

Combinazione Sisma Y SLV

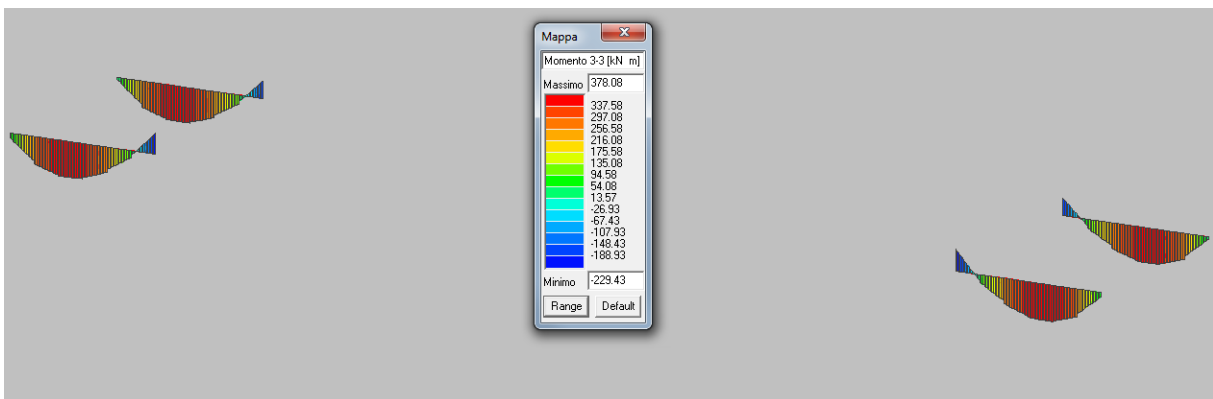


Azioni N

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



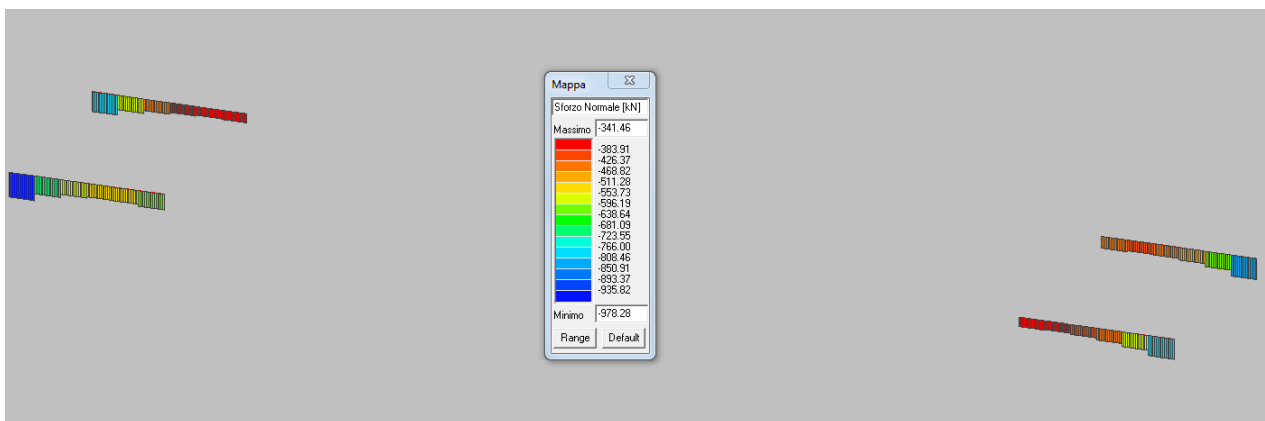
Azioni M2-2



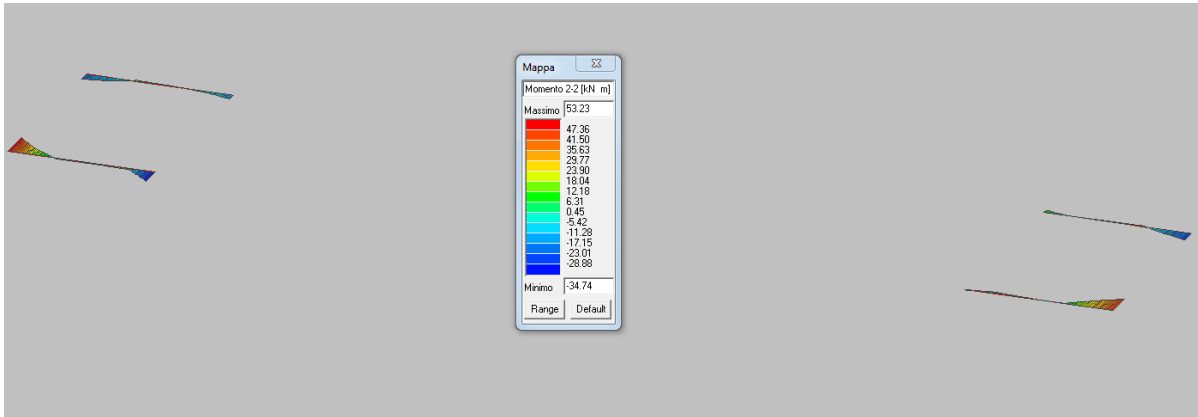
Azioni M3-3

Fase 3

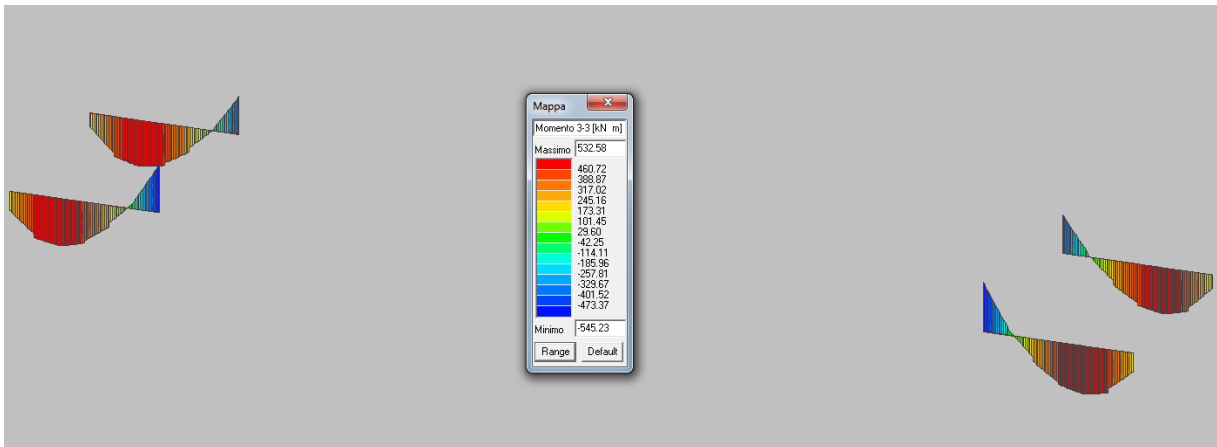
Combinazione SLU



Azioni N

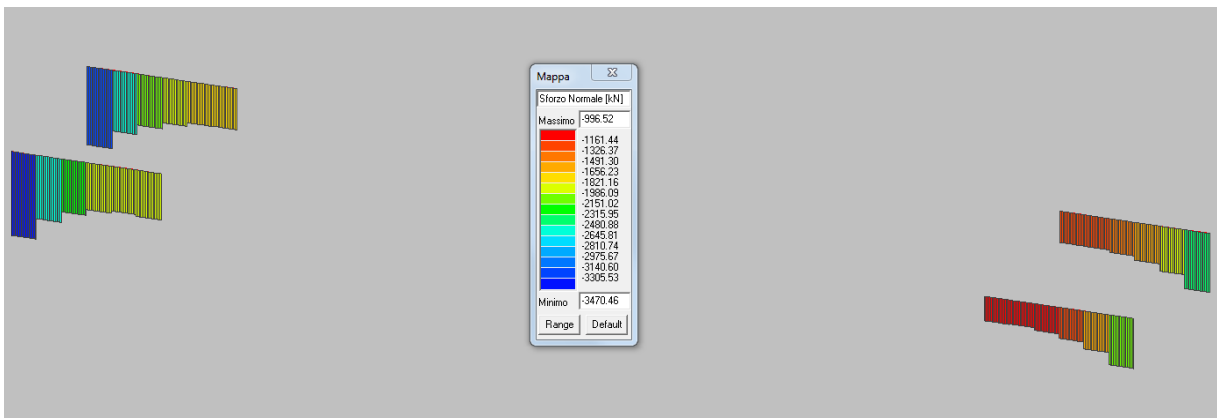


Azioni M2-2

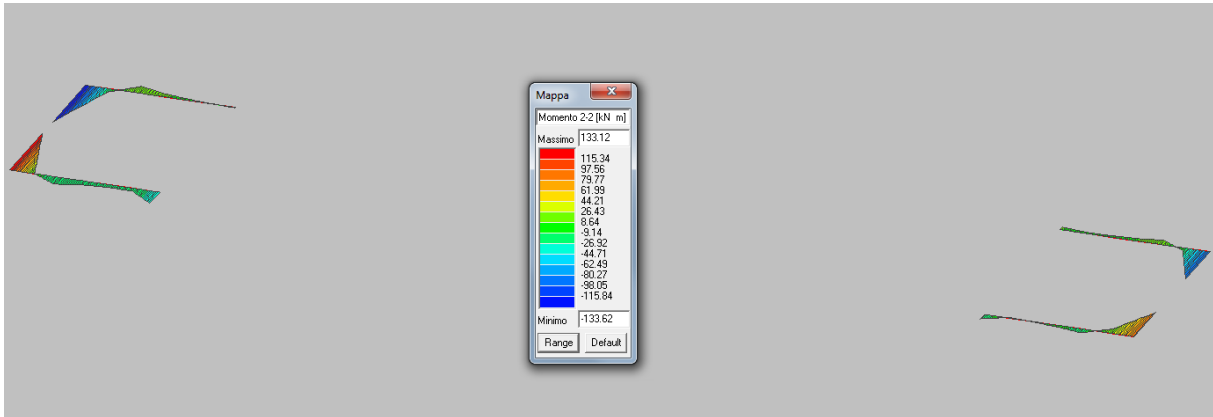


Azioni M3-3

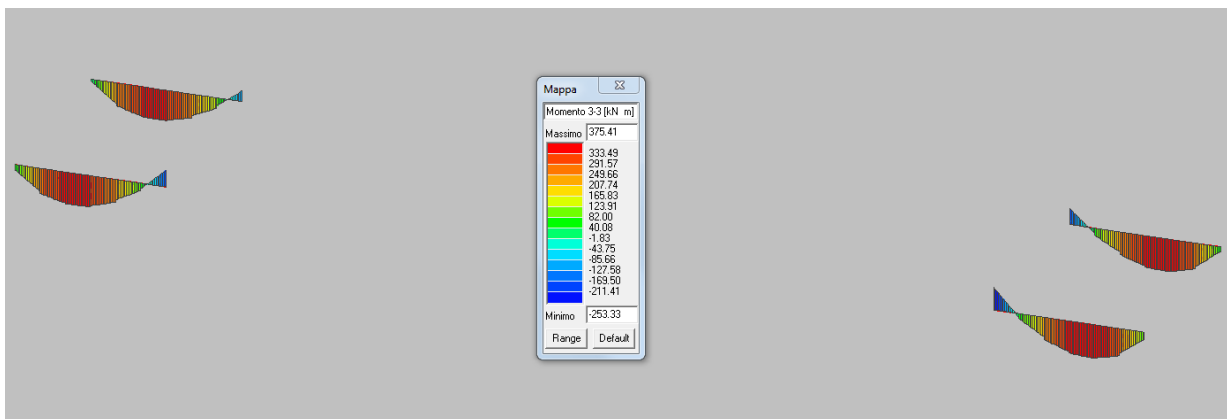
Combinazione Sisma X SLV



Azioni N

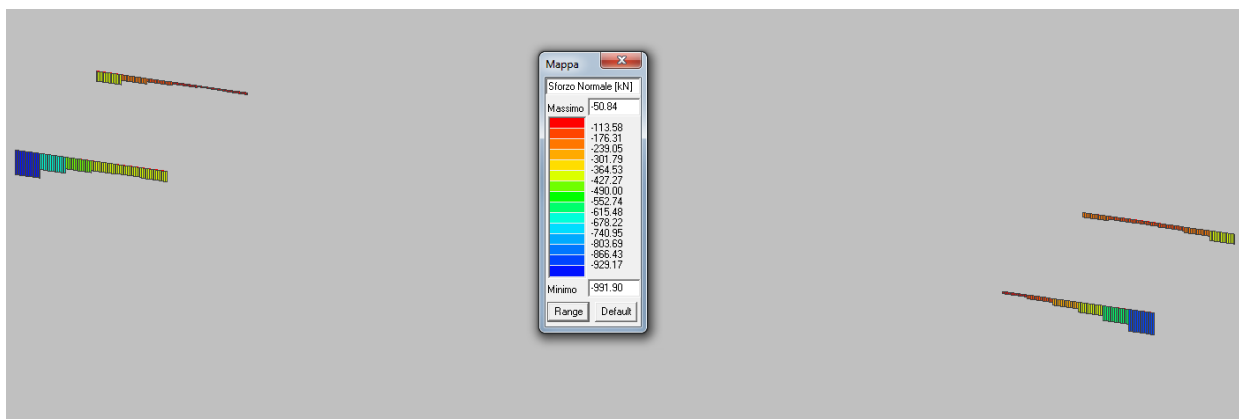


Azioni M2-2



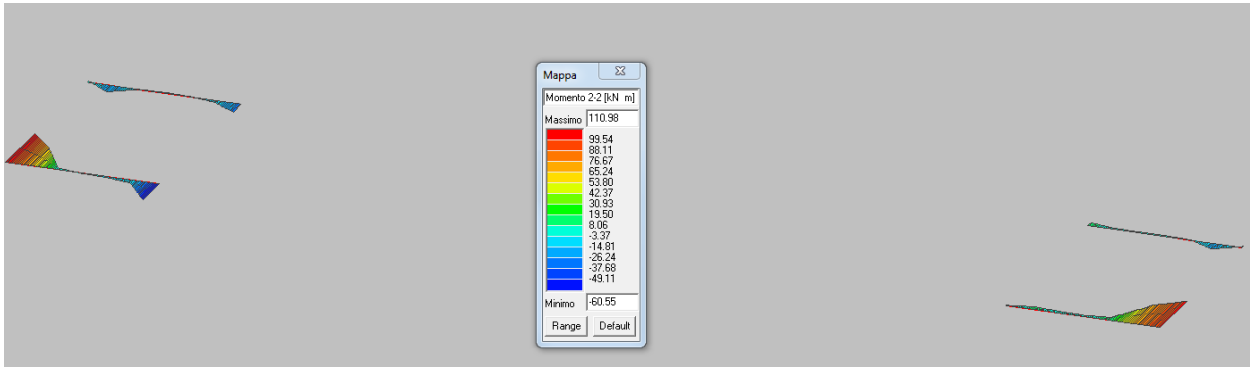
Azioni M3-3

Combinazione Sisma Y SLV

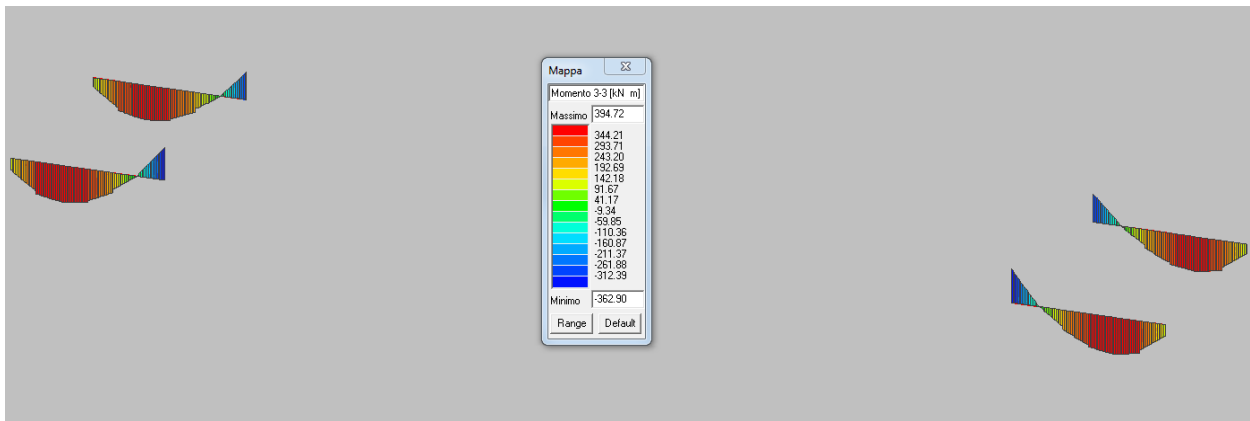


Azioni N

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

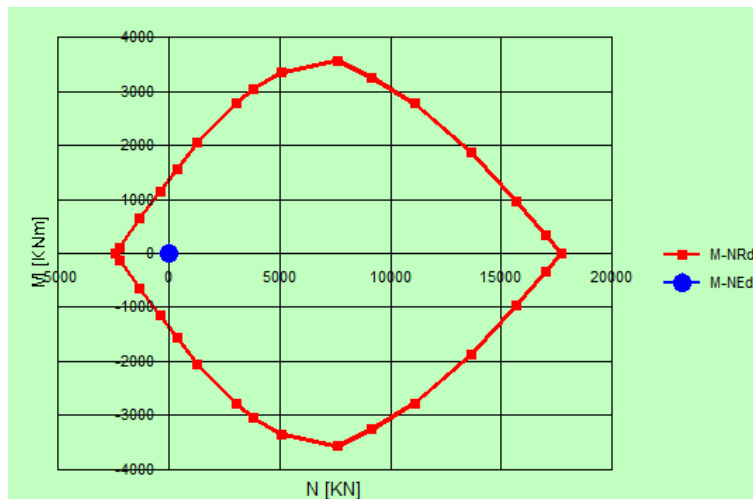


Azioni M2-2



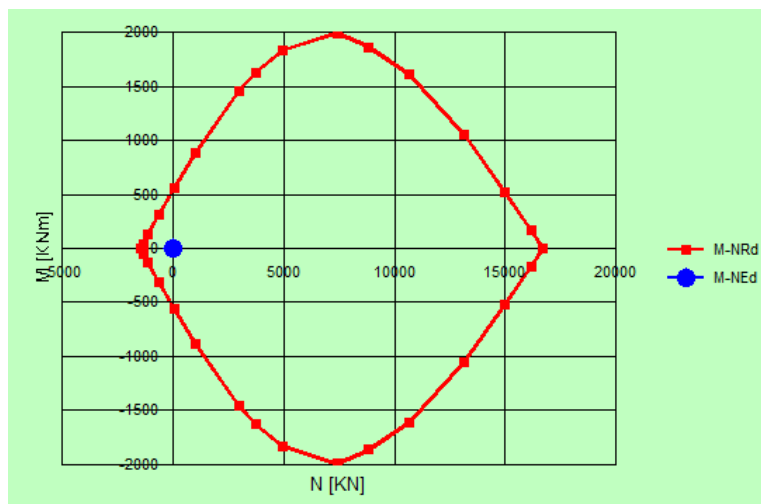
Azioni M3-3

Dominio di rottura (N_{Rdu} , $M3-3_{Rdu}$) – armatura corrente 10Ø20 per lato



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Dominio di rottura (N_{Rdu} , $M2-2R_{du}$) – armatura corrente 6Ø20 per lato

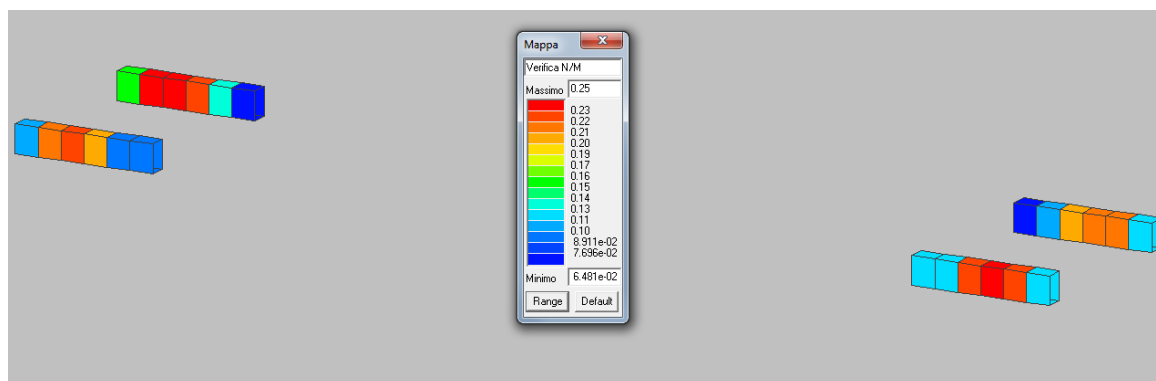


Osservando i domini resistenti M/N risulta evidente come le sollecitazioni sopra riportate ricadano tutte al loro interno rendendo tale verifica soddisfatta.

Verifica N/M

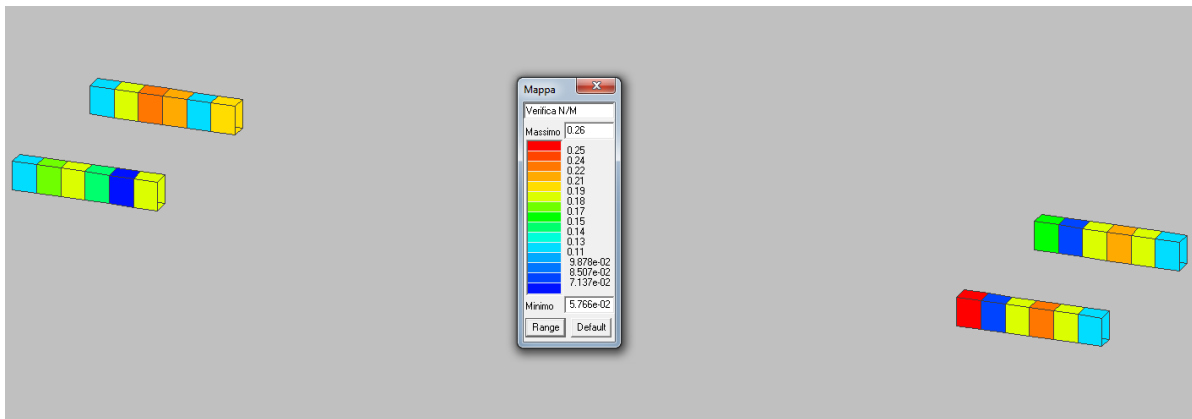
Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto Sd/Su con sollecitazioni ultime proporzionali; il valore del rapporto deve essere minore o uguale a 1 per verifica positiva (Sd = sollecitazione di progetto, Su = sollecitazione ultima)

Fase 1



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

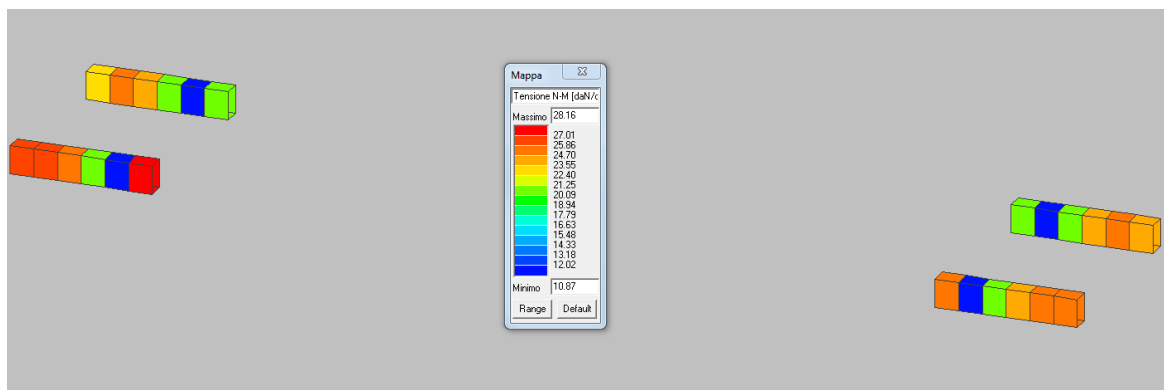
Fase 3



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)



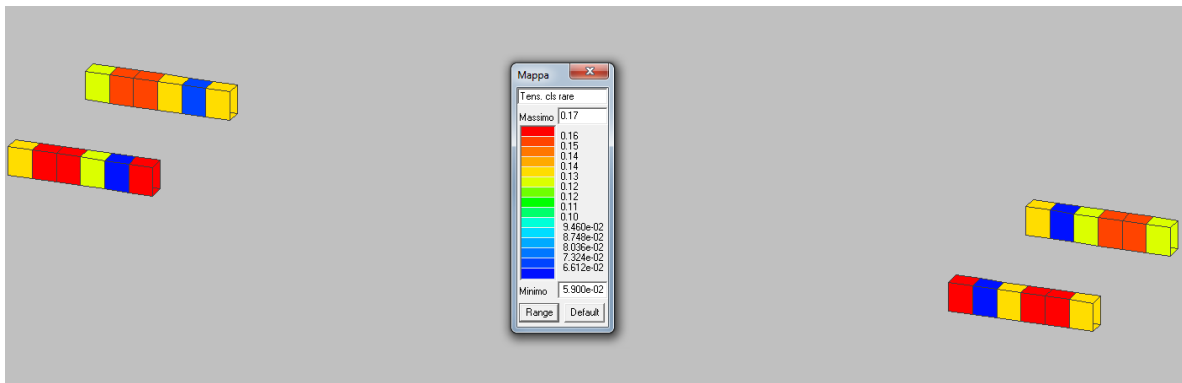
Tensioni totali

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. $0.6 \times f_{ck}$); 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

par. 4.1.2.2.5)



Verifica tensionale

8.4.1.10 Platea di fondazione

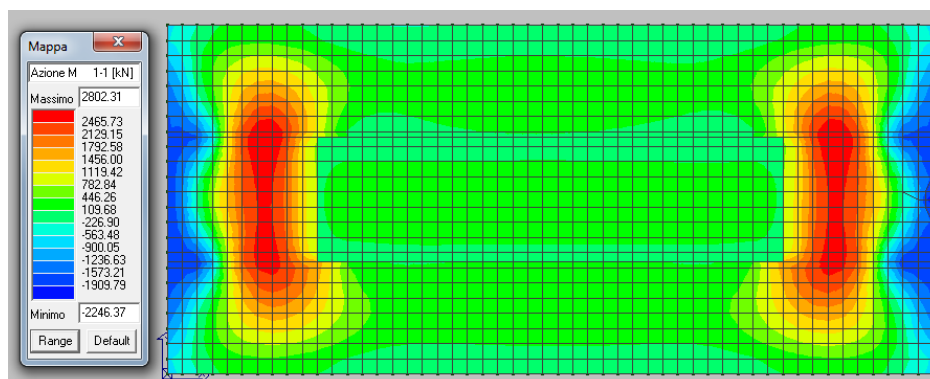
Le verifiche di resistenza della platea di fondazione, avente spessore $s=200\text{cm}$, sono eseguite adottando il metodo semiprobabilistico agli stati limite; si assume un copri ferro pari a 5 cm.

Le verifiche sono state effettuate considerando la FASE 3 in quanto ritenuta maggiormente critica per tali elementi strutturali.

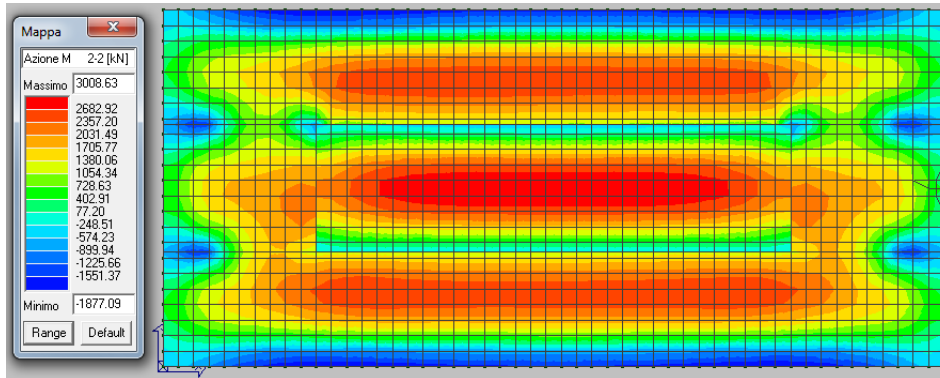
La platea è soggetta alle seguenti azioni ottenute combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.UU.

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

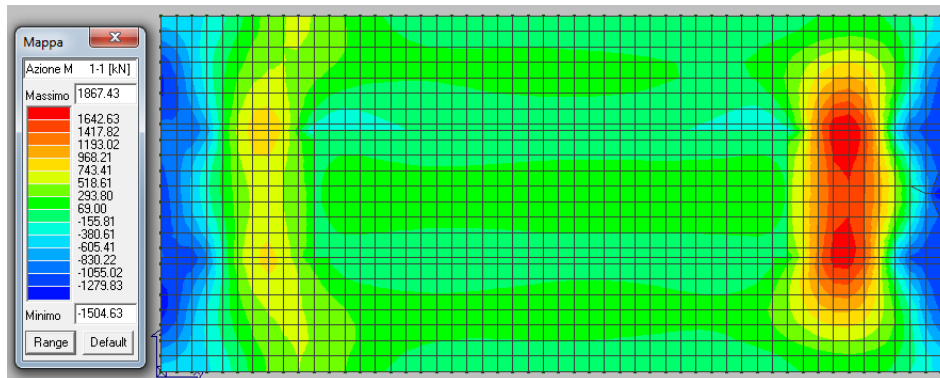


Azioni M1-1

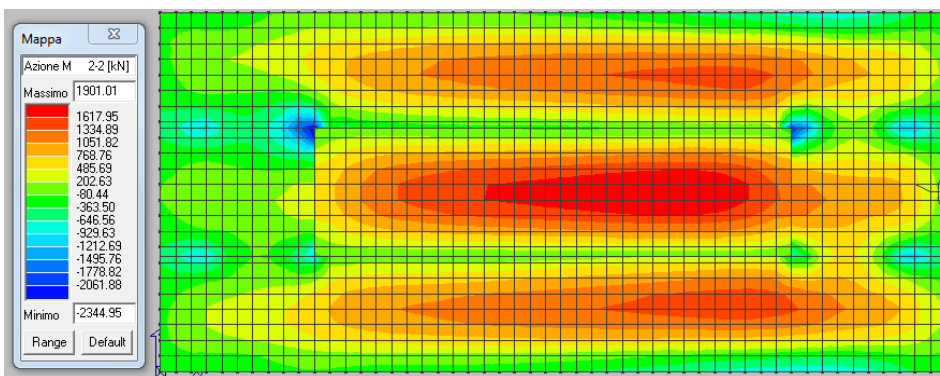


Azioni M2-2

Combinazione Sisma X SLV



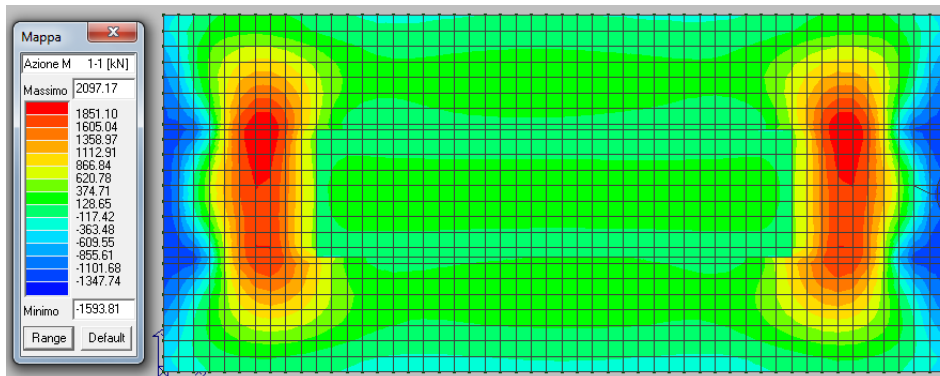
Azioni M1-1



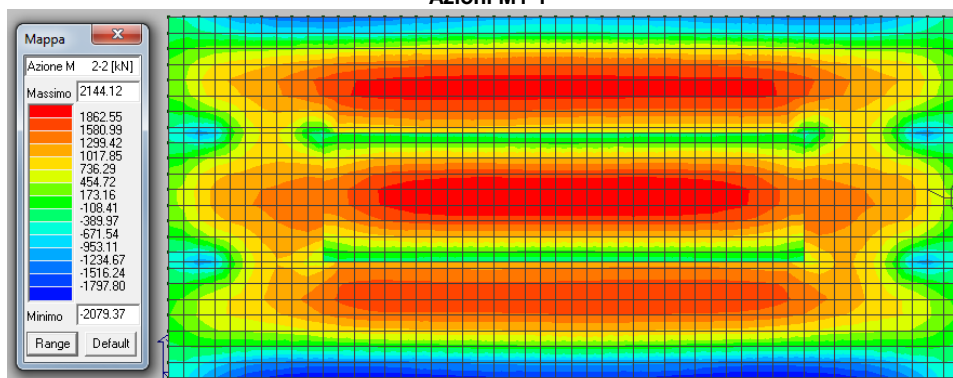
Azioni M2-2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0	Data 20-06-2011

Combinazione Sisma Y SLV



Azioni M1-1

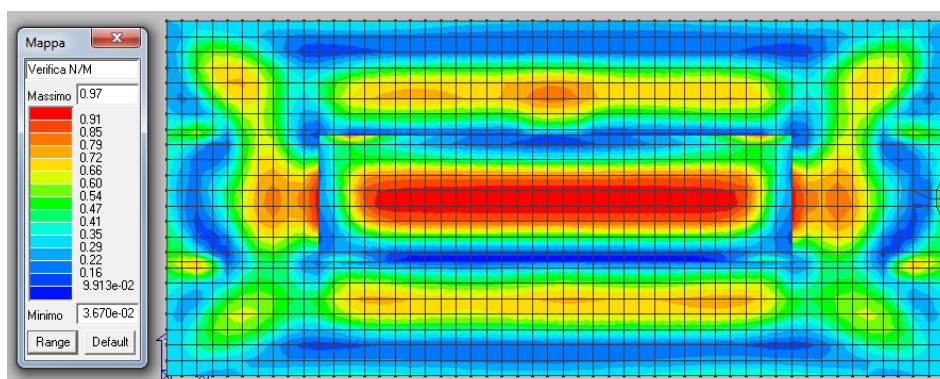


Azioni M2-2

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.

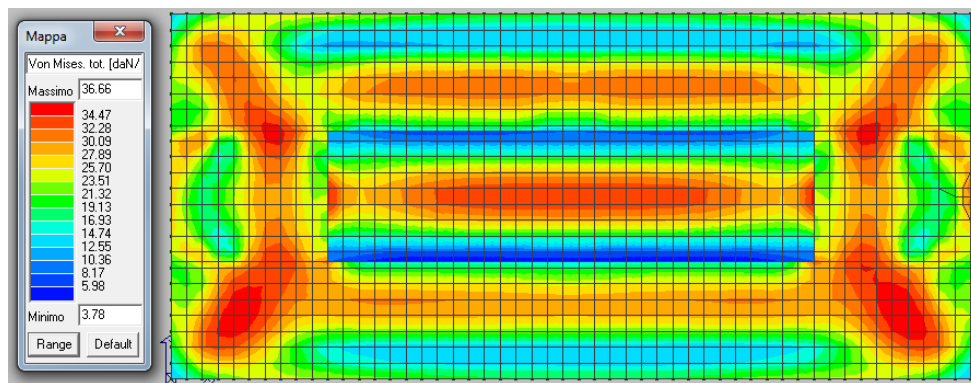


		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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.

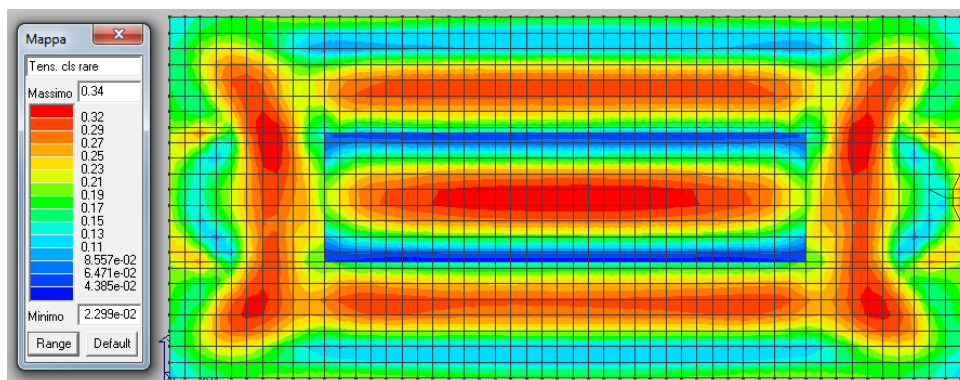
Combinazione SLE (rara)



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. $0.6 \cdot f_{ck}$); 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)



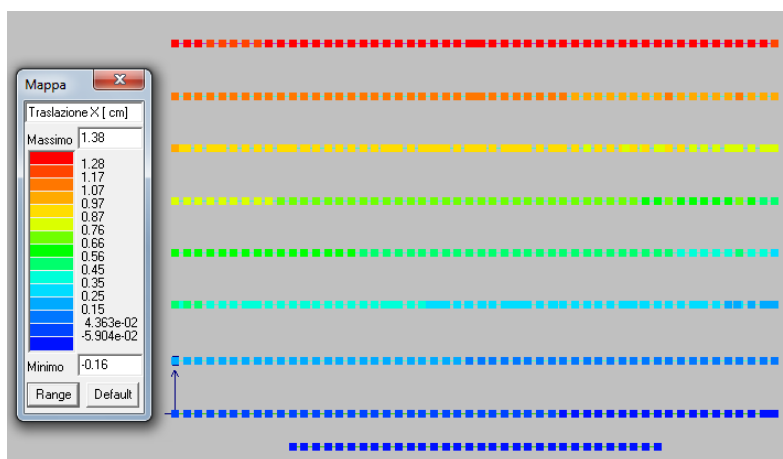
Verifica tensionale

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

8.4.2 Verifica Stato Limite di Danno

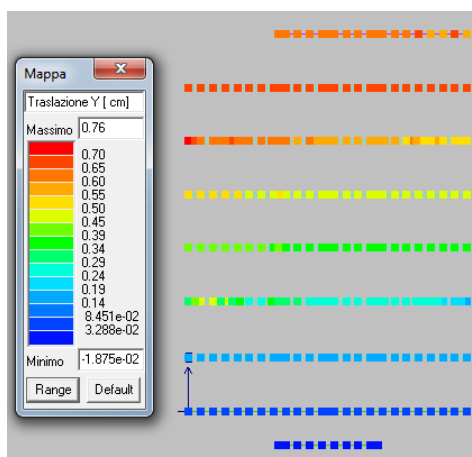
Di seguito viene riportata la verifica agli SLD, valutando gli spostamenti della struttura, relativi alla FASE 3, generati dalla condizione sismica con spettro di progetto calcolato allo stato limite di danno e verificando che gli spostamenti interpiano siano inferiori ai limiti da normativa.

Combinazione Sisma X SLD



Spostamenti X

Combinazione Sisma Y SLD



Spostamenti Y

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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.

8.4.3 Verifiche al galleggiamento

Nel presente paragrafo è riportata la verifica al galleggiamento condotta nei confronti delle sottospinte idrauliche eseguita in conformità a quanto previsto al par. 6.2.3 delle NTC2008.

La verifica al sollevamento è effettuata in base alla seguente relazione:

$$V_{inst,d} \leq G_{stb,d} + R_d$$

dove:

- $V_{inst,d}$ = somma delle azioni permanti e variabili instabilizzanti
- $G_{stb,d}$ = azioni stabilizzanti
- R_d = resistenze, in questo caso l'attrito del terreno sulle pareti laterali

A favore di sicurezza, si trascura l'attrito agente sulle pareti laterali. Per quanto riguarda le azioni stabilizzanti, il peso specifico degli elementi strutturali in c.a. è 25 KN/m³, di conseguenza il peso totale della struttura viene così calcolato:

- Puntoni e travi perimetrali → $2642 \text{ m}^3 * 25 \text{ KN/m}^3$ = 66050 KN
 - Platea di fondazione → $2405 \text{ m}^3 * 25 \text{ KN/m}^3$ = 60125 KN
 - Solai → $1605 \text{ m}^3 * 25 \text{ KN/m}^3$ = 40125 KN
 - Pareti → $7445 \text{ m}^3 * 25 \text{ KN/m}^3$ = 186125 KN
- Peso totale struttura = 352425 KN**

Tali valori andranno moltiplicati per un coefficiente parziale γ_g pari a 0.9, come previsto dalla tabella 6.2.III delle NTC 2008 per i carichi permanenti favorevoli. Si ottiene quindi

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

$$G_{stb,d} = 317182KN .$$

L'azione instabilizzante, ovvero la sottospinta idraulica, viene calcolata come di seguito utilizzando un coefficiente parziale pari a 1.1 (azione permanente sfavorevole):

$$V_{inst,d} = \Delta h \cdot \gamma_w \cdot A_{fond} \cdot \gamma_g = 12 \cdot 10 \cdot 1325 \cdot 1.1 \qquad \qquad \qquad = \mathbf{174900 KN}$$

avendo indicato con Δh la differenza tra la quota della falda e quella del fondo e con γ_w il peso specifico dell'acqua.

La verifica al galleggiamento risulta quindi soddisfatta in quanto $V_{inst,d} \leq G_{stb,d}$.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0

Calcolo	H_{TOT}	H_{Scavo}	$H_{Infissione}$	Ordini di tiranti
	[m]	[m]	[m]	[-]
Calcolo 1	15.00	9.80	5.20	3

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.

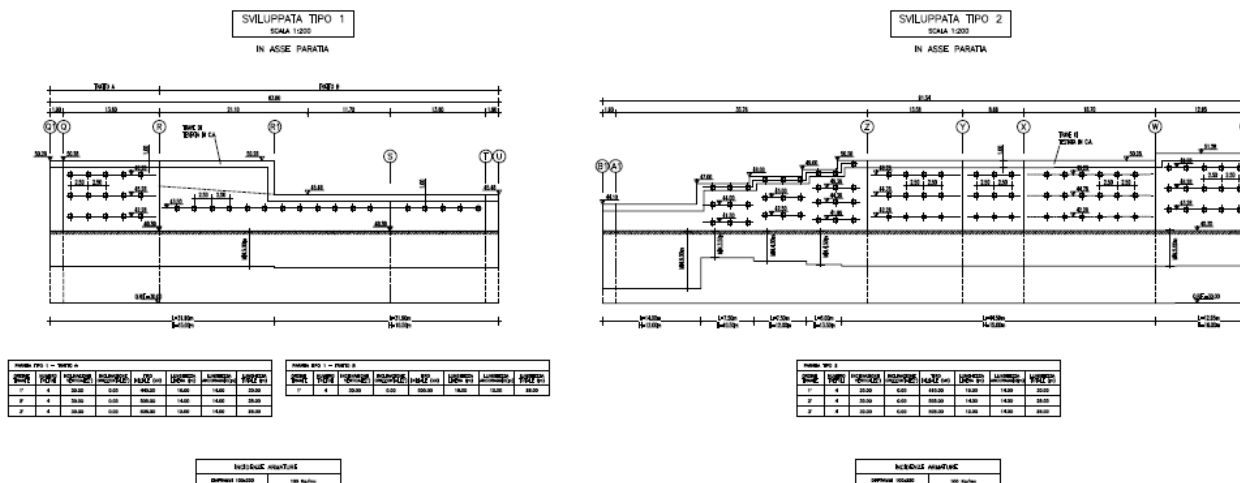


Figura 64 - Indicazione delle sezioni di calcolo

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

In riferimento ai risultati derivanti dall'inquadramento geologico geomorfologico dell'area in esame 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 -2.5 m
- Fase 3 : Messa in opera primo ordine di tiranti a -2 m
- Fase 4 : Scavo secondo ribasso a quota a -5.5 m
- Fase 5 :Messa in opera secondo ordine di tiranti a -5 m
- Fase 6 : Scavo terzo ribasso a quota a -8.5 m
- Fase 7: Messa in opera terzo ordine di tiranti a – 8 m
- Fase 8: Scavo fino al raggiungimento della quota fondo scavo -9.8 m
- Fase 9: Applicazione carico sismico

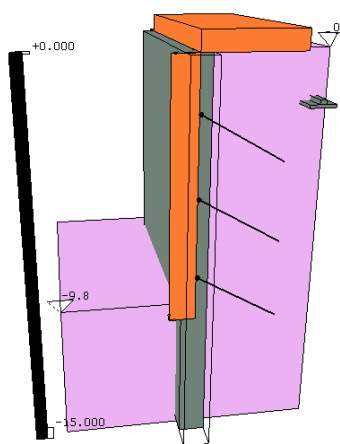


Figura 65 - Modello di calcolo per altezza fuori terra 9.80 m (sezione 1)

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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 parziale per le azioni γ_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 γ_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 γ_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 γ_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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0

Peso dell'unità di volume	γ	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).

Formazione	γ [KN/m ³]	c' [KN/m ²]	ϕ' [°]	Ka [i=0°]	Kp [i=0°]	E' [MPa]
Depositi alluvionali	19	0	37	0.215	4.023	40

Tabella 26 - Parametri di calcolo adottati nella combinazione A1+M1 (STRU) e E1+E2 (Esercizio)

Formazione	γ [KN/m ³]	c' [KN/m ²]	ϕ' [°]	Ka [i=0°]	Kp [i=0°]	E' [MPa]
Depositi alluvionali	19	0	32	0.267	3.255	40

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 γ_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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

$$\tau_{lim,Rd} = \frac{\tau_{lim}}{\xi_{a3}}$$

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).

condizione	Coeff. Parzia γ_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 γ_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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

della resistenza calcolato come:

$$R_d = (n \cdot A_{tr}) \cdot f_{p(1)k} / \gamma_s$$

con:

A_{tr} = area nominale del trefolo;

n = numero dei trefoli del tirante;

$f_{p(1)k}$ = tensione caratteristica di snervamento del trefolo.

$\gamma_s = 1,15$ come da par. 4.1.2 NTC2008

In condizioni sismiche le verifiche vengono condotte considerando una resistenza R_{sd} pari a:

$$R_{sd} = 0,9(n \cdot A_{tr}) \cdot f_{p(1)k} / \gamma_s$$

dove:

$f_{p(1)k}$ = tensione caratteristica di snervamento del trefolo.

$\gamma_s = 1,0$ come da par. 4.1.4 NTC2008

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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.

9.1.4.2 Carico accidentale

In aggiunta alla spinta del terreno si è considerato un carico accidentale di 10 KN/m^2 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

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 22 kN/mq .

9.1.4.4 Carico Edifici

In corrispondenza della sezione di paratia analizzata sorgono degli edifici, il cui scarico sulle fondazioni è stato cautelativamente modellato con una strip foundation, posta a circa 4 m dalla paratia, e con un carico di intensità pari a 100 kN/m .

9.1.4.5 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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 ¹	≤ 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).

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 (opera infrastrutturale)
- Classe d'uso = IV
- $C_u = 2$ (coefficiente d'uso della struttura)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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	0,129	2,333	0,322
SLD	201	0,167	2,361	0,334
SLV	1898	0,436	2,478	0,418
SLC	2475	0,484	2,491	0,432

Considerato che :

Calcolo	Tipo di sottosuolo	C
1	Ss*St	1.5
	α	0.8
	β	0,585

Da cui:

- Calcolo 1:

Accelerazione orizzontale di progetto (DM2008)	
k_h (SLD) = $a_{max} * S_s * S_t * \alpha * \beta$	0.117
k_h (SLV) = $a_{max} * S_s * S_t * \alpha * \beta$	0.306

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_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):

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0	Data 20-06-2011

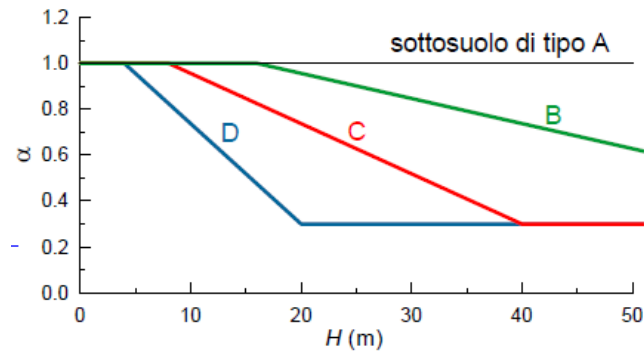


Tabella 31- Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α

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). In questo caso si è assunto uno spostamento ammissibile pari a 2,5 cm per la paratia a cui corrisponde un coefficiente β pari a 0.585, mentre α risulta uguale a 0.8 data l'altezza della paratia pari a 15m.

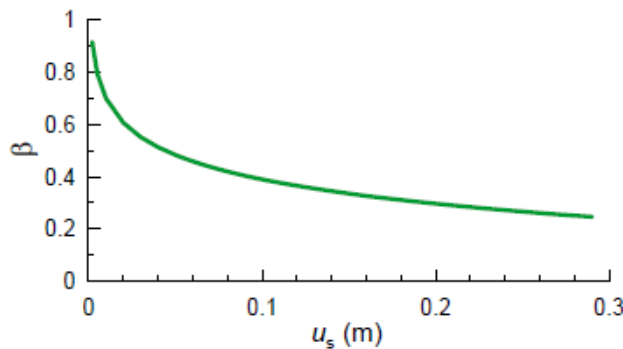


Tabella 32- Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β

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:

γ = peso dell'unità di volume del terreno

H = altezza fuori terra della paratia

Il carico sismico è stato applicata come un carico uniformemente distribuito su tutta l'altezza libera della paratia.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

9.1.5 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, 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	18φ24	18φ24

Tabella 33 - armature dei diaframmi

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

$$\sigma_c < 0.60f_{ck} = 14.94 \text{ MPa}$$

combinazione rara

$$\sigma_c < 0.45f_{ck} = 11.21 \text{ MPa}$$

combinazione quasi permanente

$$\sigma_s < 0.8f_{yk} = 360 \text{ MPa}$$

Di seguito si riportano sotto forma di tabelle e di diagrammi le sollecitazioni agenti sul diaframma relativamente alle sezioni di calcolo individuate.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

1. Sezione di calcolo 1:

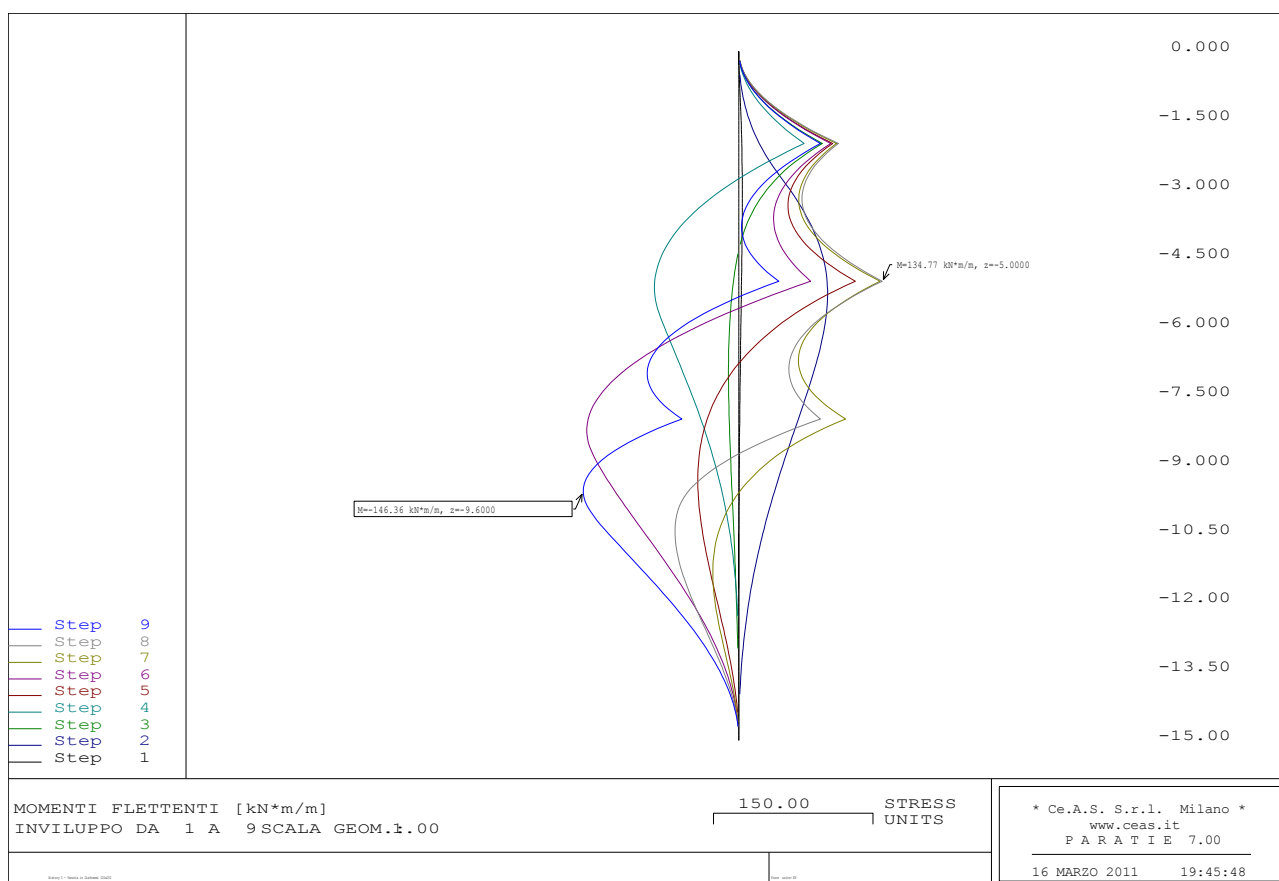


Figura 66 - Combinazione E1+E2 - Momento flettente

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0

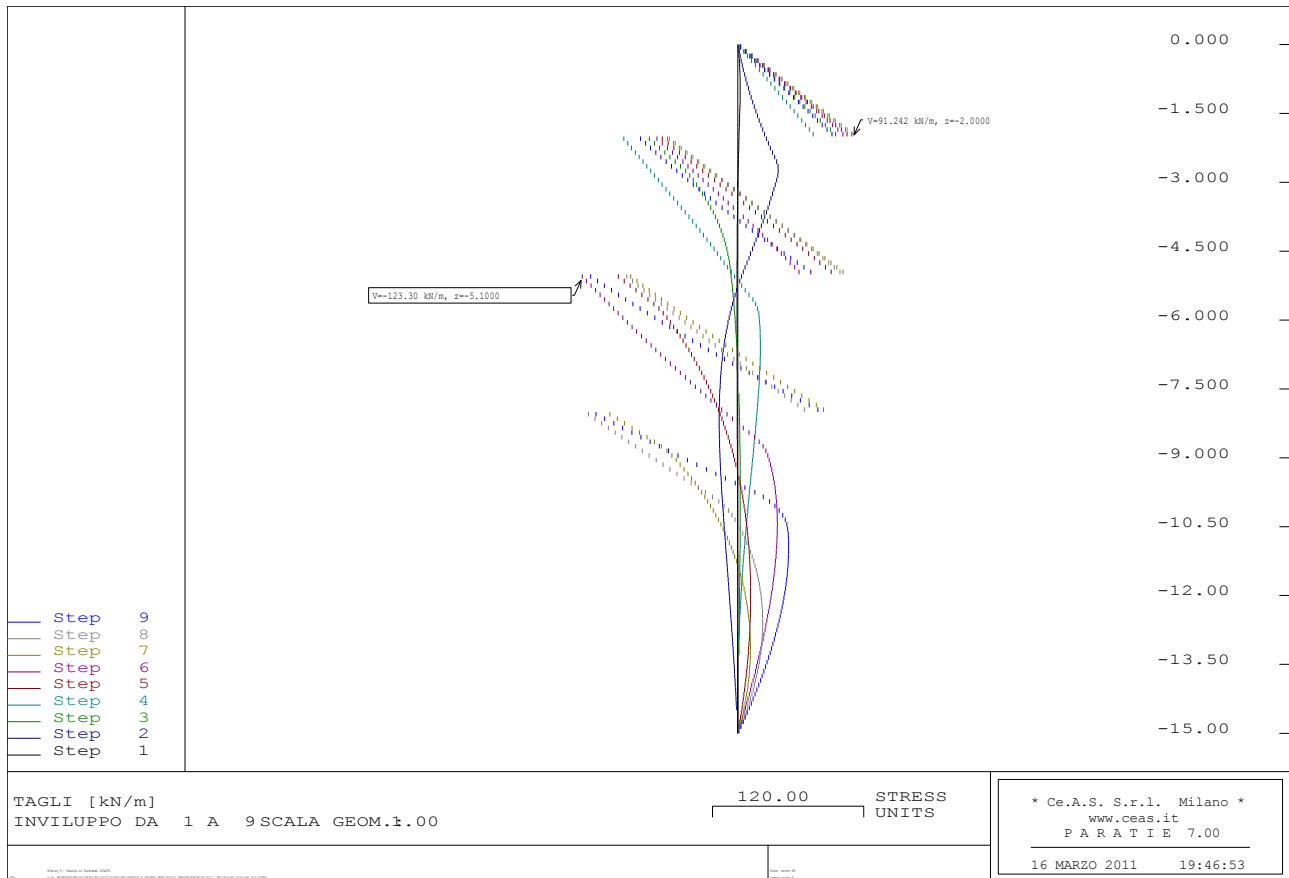


Figura 67 - Combinazione E1+E2 - Sollecitazioni di taglio

Combinazione	M _{SLE} [kNm]	N _{SLE} [kN]	σ _{cls} [MPa]	σ _s [MPa]	σ _{cls, limite} [MPa]	σ _{s, limite} [MPa]
A1+M1_SLE	355	500	1.2	26	11,21	360
A1+M1_SLD	365	600	1.3	24	11,21	360

Tabella 34 - sezione di calcolo 1 : 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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).

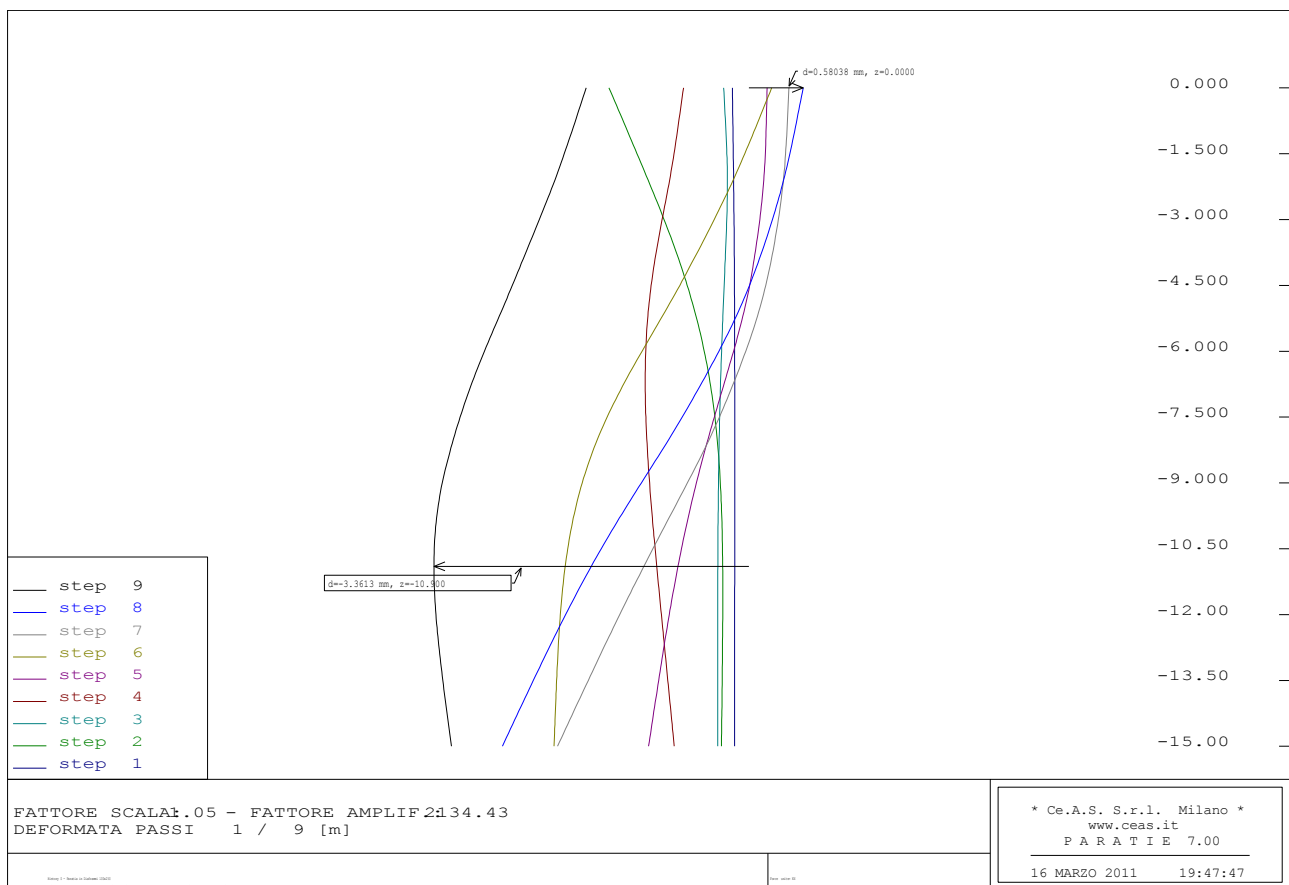


Figura 68 - Sezione di calcolo 1 : Deformata della struttura: fase 10 (SLE), fase 11 (SLD)

	z [m]	Spostamento max [mm]
Statica (SLE)	0	-0.6
	-15	-2.6
Sismica (SLD)	0	-0.6
	-10	-2.84

Tabella 35- Sezione di calcolo 1: spostamenti massimi previsti

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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.

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). La verifica del diaframma è stata eseguita considerando una sezione rettangolare pari a 100 cm x 250 cm.

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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:

Sezione di calcolo	As	A's
1	18φ24	18φ24

Tabella 36 - armature dei diaframmi

▪ Sezione di calcolo 1 :

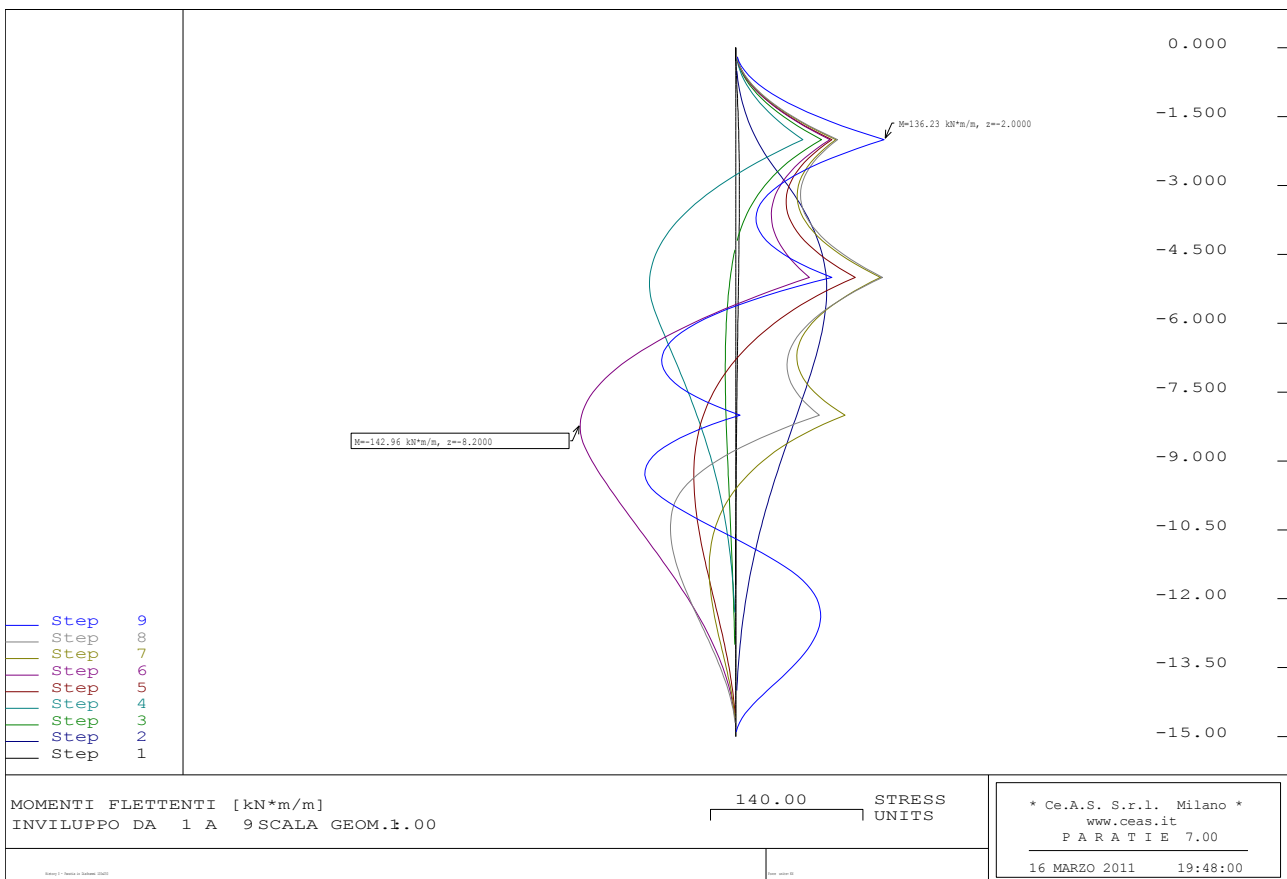


Figura 69 - Combinazione A1+M1 (Statica) e A1+M1 (SLV): Momento flettente

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

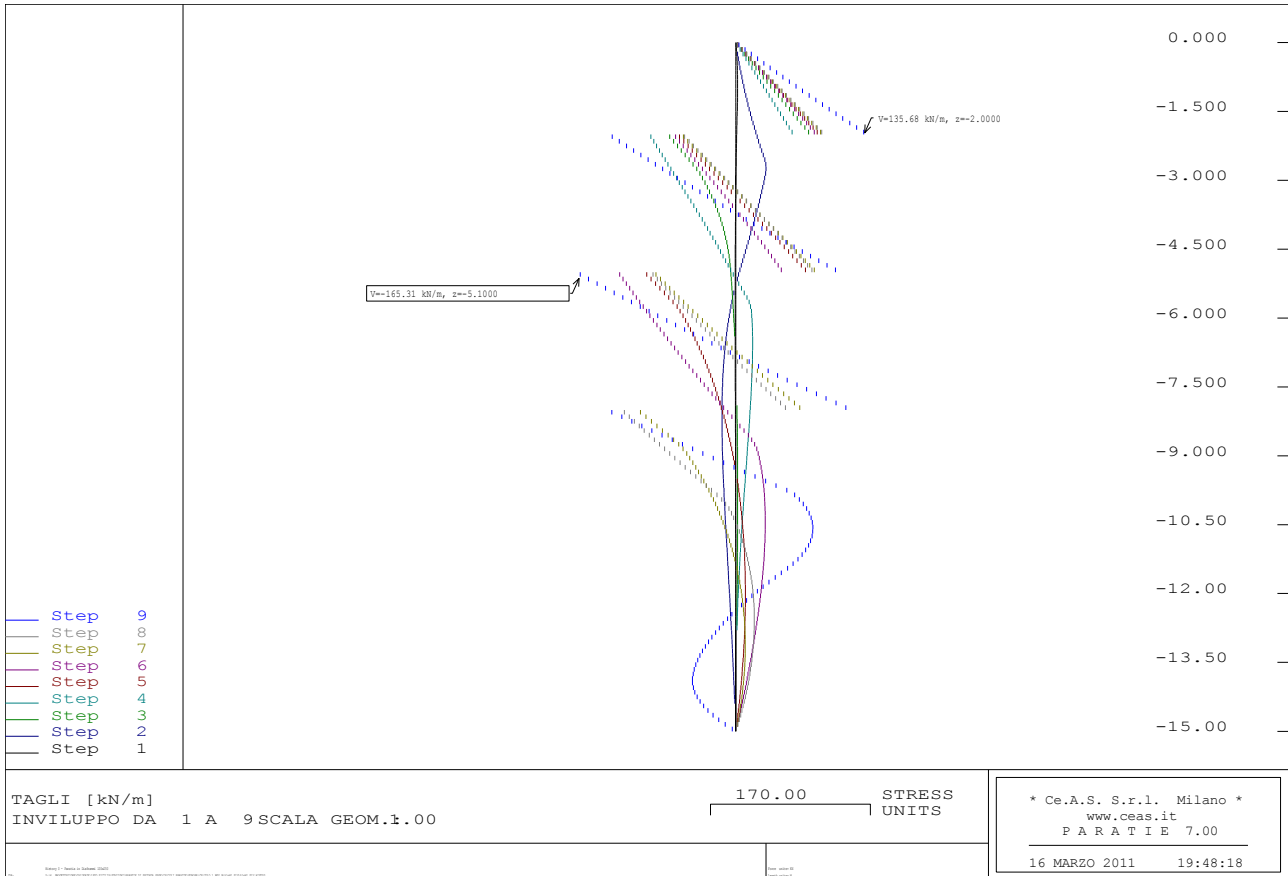


Figura 70 - Combinazione A1+M1 (Statica) e A1+M1 (SLV): Sollecitazioni di taglio

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0	Data 20-06-2011

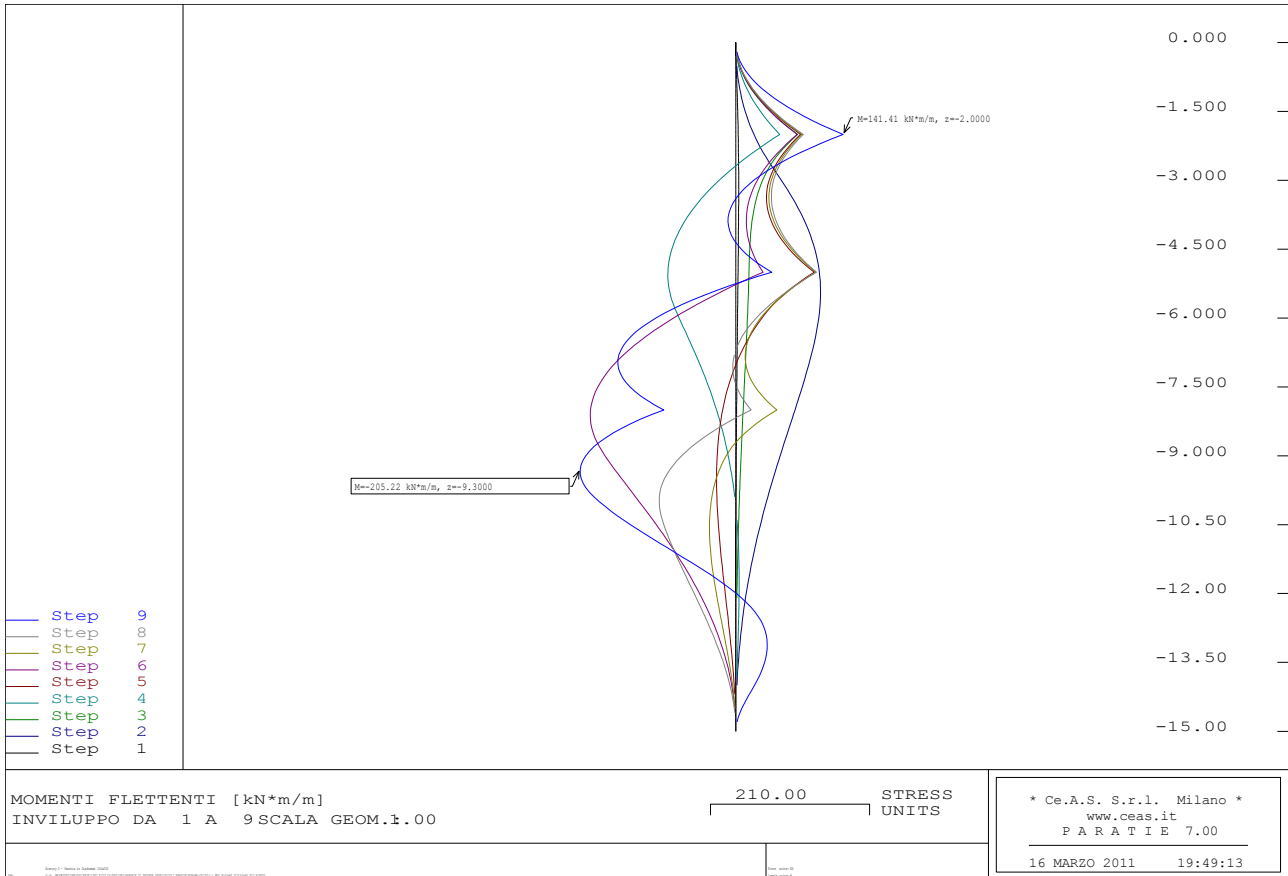


Figura 71 - Combinazione A2+M2 (Statica) e A2+M2 (SLV): Momento flettente

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

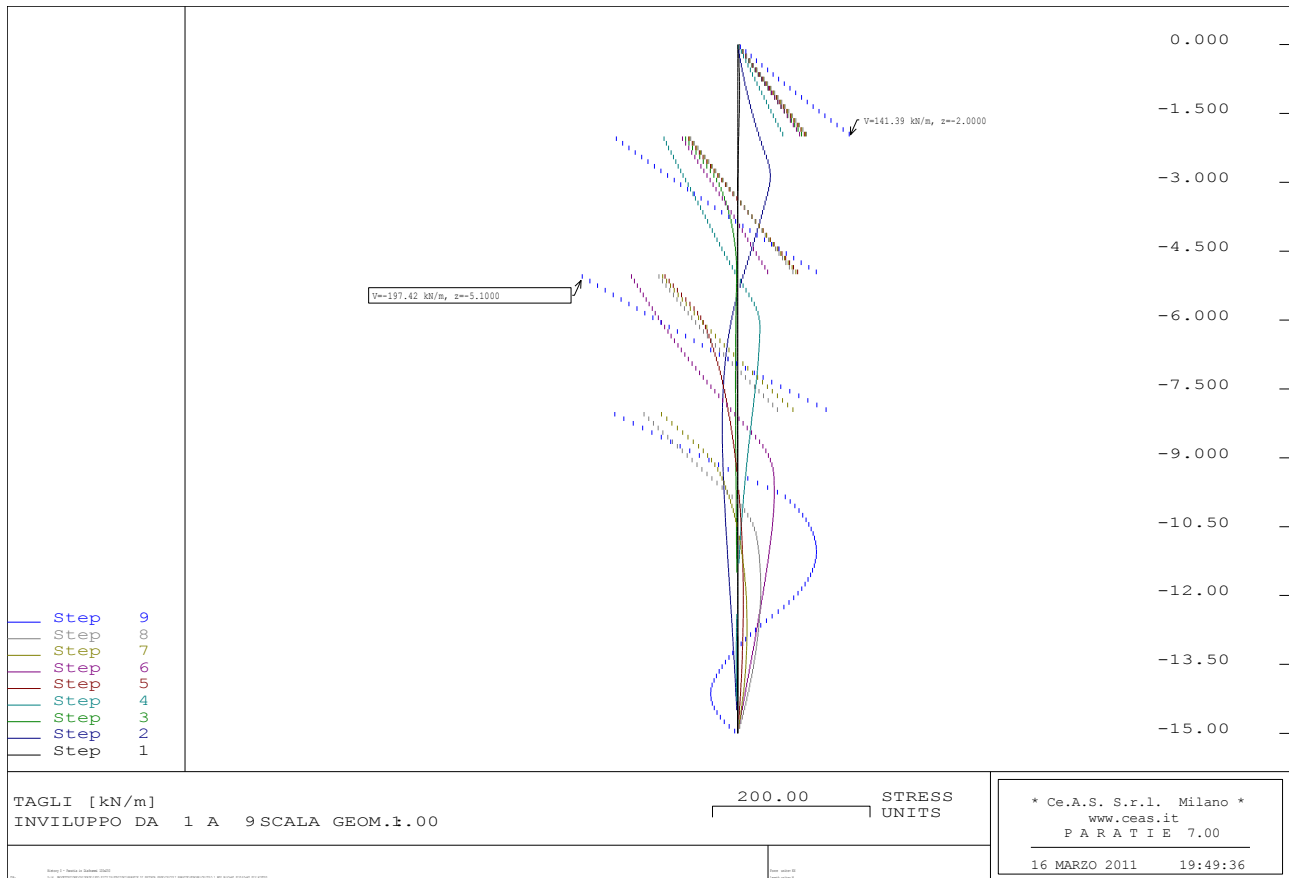


Figura 72 - Combinazione A2+M2 (Statica) e A2+M2 (SLV): Sollecitazioni di taglio

Di seguito si riassume in forma tabellare le sollecitazioni agenti:

Combinazione	M [kNm]	N [kN]
A1+M1_SLU	462	650
A1+M1_SLV	355	500
A2+M2_SLU	480	500
A2+M2_SLV	513	581

Tabella 37 - Verifica a Pressoflessione – Sollecitazioni di Progetto – calcolo 1

Di seguito si riporta il dominio di resistenza dei diaframmi.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

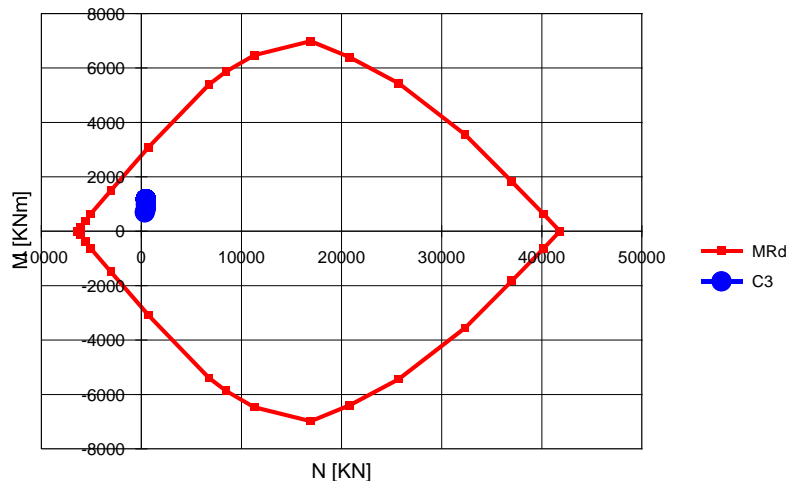


Figura 73 - Verifica a Pressoflessione – Dominio di resistenza – calcolo 1

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:

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

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

dove:

f'_{cd} = resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo;

f_{yd} = resistenza a snervamento di progetto;

α = angolo di inclinazione dell’armatura trasversale rispetto all’asse del palo;

θ = angolo di inclinazione dei puntoni compressi nello schema a traliccio;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

- 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;
 α_c = coefficiente migliorativo.

Per i diaframmi relativi al calcolo 1, l’armatura trasversale è costituita da staffe a 4 braccia ϕ 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]	ϕ [mm]	[cm]	[KN]	[KN]	[KN]
1	A1+M1 statica	400	1+1 ϕ 14	15	1338	7369	1338
	A1+M1 sismica	413					
	A2+M2 statica	338					
	A2+M2 sismica	493					

Tabella 38 – 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

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 $E_d = T_{\max \text{ paratie}} \times \text{passo tiranti}$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0

▪ Sezione di calcolo 1

VERIFICA STATICA S.L.U. (A1+M1+R1)										
Ordine	n _{trefoli}	i _{tiranti}	T _{paratie}	A _{trefolo}	f _{ptk}	γ _A	γ _R	E _d	R _d	R _d /E _d
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	4	2,50	176,5	1,39	1860	1,30	1,15	573,6	807,4	1,41
2	4	2,50	202,4	1,39	1860	1,30	1,15	657,8	807,4	1,23
3	4	2,50	204,0	1,39	1860	1,30	1,15	663,0	807,4	1,22

Tabella 39 – Sezione di calcolo 1: verifica trefoli fase statica

VERIFICA SISMICA S.L.U. (A1+M1+R1)										
Ordine	n _{trefoli}	i _{tiranti}	T _{paratie}	A _{trefolo}	f _{ptk}	γ _A	γ _R	E _d	R _d	R _d /E _d
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	4	2,50	316,5	1,39	1860	1,00	1,15	791,3	807,4	1,02
2	4	2,50	323,0	1,39	1860	1,00	1,15	807,5	807,4	1,00
3	4	2,50	299,0	1,39	1860	1,00	1,15	747,5	807,4	1,08

Tabella 40 - Sezione di calcolo 1 : verifica trefolo fase sismica (SLV)

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:

$$h' = 0.20h / \cos(45^\circ - \alpha - \varphi/2)$$

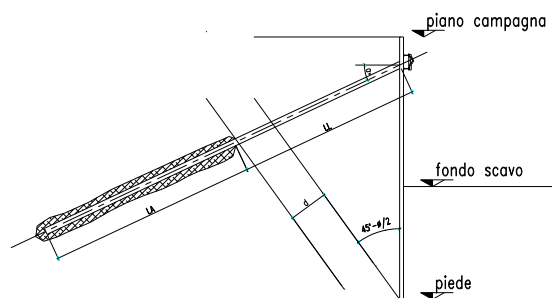


Tabella 41- Schema calcolo lunghezza libera del tirante

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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	8,4	15,1	16,0
2	7,3	13,1	14,0
3	6,2	11,1	12,0

Tabella 42- Sezione di calcolo 1: 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;

α = coefficiente amplificativo funzione delle modalità di iniezione e del tipo di terreno;

L_a = Lunghezza del bulbo di ancoraggio;

τ_{LIM} = tensione limite di aderenza fra la malta del bulbo ed il terreno;

γ_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} > 25MPa.

La tensione di aderenza malta-terreno può essere considerata, alla luce dei dati disponibili, variabile tra τ_{LIM} = 122-220 KPa; come richiesto dalla norma, τ_{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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0

$$\tau_{lim,Rd} = \frac{\tau_{lim}}{\xi_{a3}}$$

Nella seguente tabella sono riportati i valori dei parametri su citati adottati nelle verifiche:

	Ø
	[mm]
Tiranti a trefoli (3 - 4 trefoli)	150

Tabella 43: Diametro nominale di perforazione

VERIFICA SISMICA S.L.U. (A1+M1+R3)												
Ordine	$l_{tiranti}$	$T_{paratie}$	$L_{ancoraggi}$	τ_{lim}	$\varnothing_{perforazione}$	$\alpha_{sbulbamento}$	$\varnothing^*\alpha$	γ_A	γ_R	E_d	R_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,50	316,5	14,0	122	15	1,3	19,5	1,00	1,15	791,3	909,9	1,15
2	2,50	323,0	14,0	122	15	1,3	19,5	1,00	1,15	807,5	909,9	1,13
3	2,50	299,0	14,0	122	15	1,3	19,5	1,00	1,15	747,5	909,9	1,22

Tabella 44 - Sezione di calcolo 1 : verifica di ancoraggio dei tiranti in fase statica

VERIFICA STATICA S.L.U. (A2+M2+R3)												
Ordine	$l_{tiranti}$	$T_{paratie}$	$L_{ancoraggi}$	τ_{lim}	$\varnothing_{perforazione}$	$\alpha_{sbulbamento}$	$\varnothing^*\alpha$	γ_A	γ_R	E_d	R_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,50	177,0	14,0	122	150	1,3	195,0	1,00	1,15	442,5	909,9	2,06
2	2,50	204,0	14,0	122	150	1,3	195,0	1,00	1,15	510,0	909,9	1,78
3	2,50	202,0	14,0	122	150	1,3	195,0	1,00	1,15	505,0	909,9	1,80

Tabella 45 - Sezione di calcolo 1 : 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.

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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 :

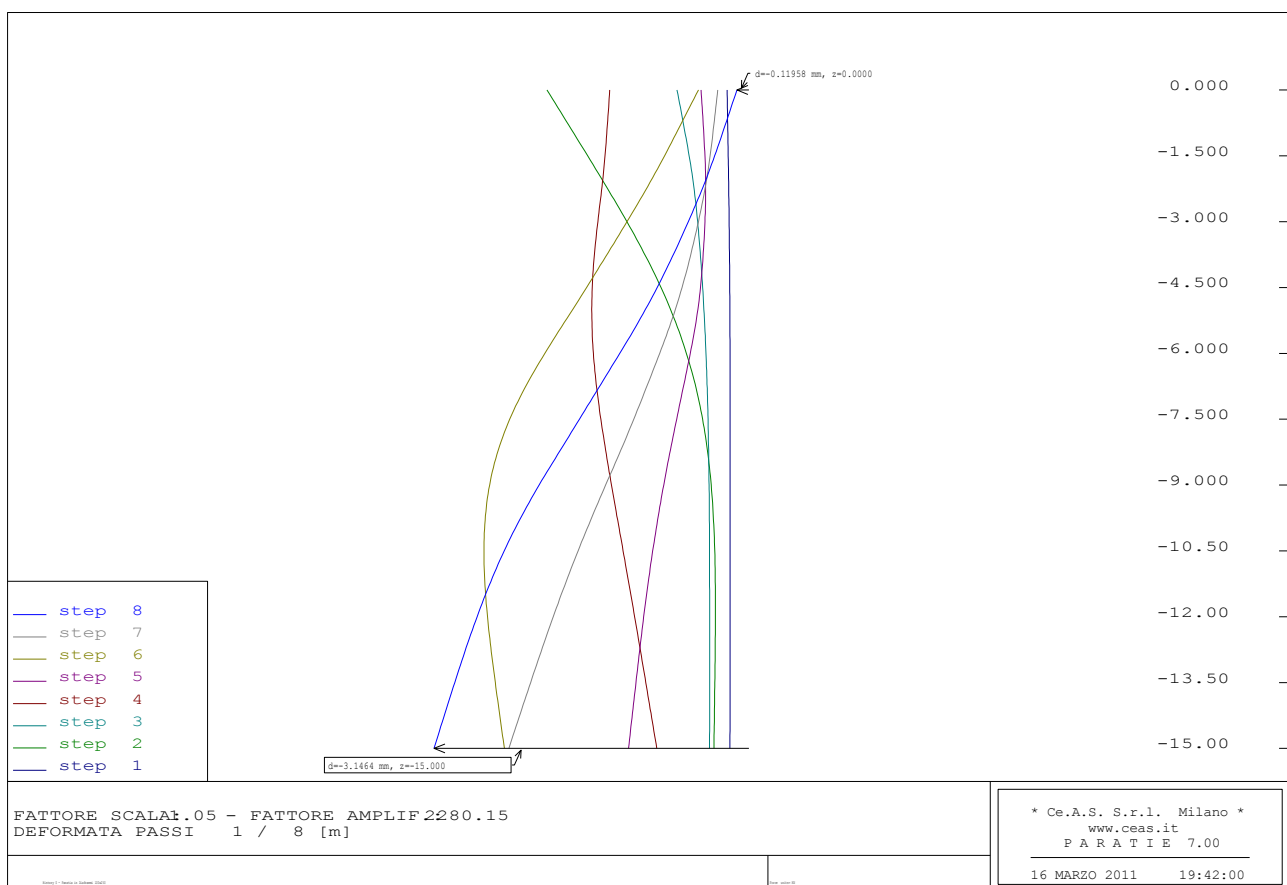


Figura 74 - Sezione di calcolo 1 : deformata paratia - combinazione A2+M2

Fase Statica (A2+M2)

FASE	GRUPPO -->	DHRi	UHRi
3			
	SPINTA EFFICACE VERA	949.96	1101.5
	SPINTA ACQUA	0.	0.
	SPINTA TOTALE VERA	949.96	1101.5
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	396.33	718.01
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	4831.6	8753.3
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	5.0861	7.9466
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	20.‰	13.‰
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	2.3969	1.5341

FASE	GRUPPO -->	DHRi	UHRi
4			
	SPINTA EFFICACE VERA	747.93	901.45
	SPINTA ACQUA	0.	0.
	SPINTA TOTALE VERA	747.93	901.45
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	228.92	718.01
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	2790.8	8753.3
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	3.7313	9.7102
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	27.‰	10.‰
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	3.2672	1.2555

FASE	GRUPPO -->	DHRi	UHRi
5			
	SPINTA EFFICACE VERA	716.30	1040.8
	SPINTA ACQUA	0.	0.
	SPINTA TOTALE VERA	716.30	1040.8
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	228.92	718.01
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	2790.8	8753.3
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	3.8961	8.4103
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	26.‰	12.‰
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	3.1291	1.4495

FASE	GRUPPO -->	DHRi	UHRi
6			
	SPINTA EFFICACE VERA	514.99	843.76
	SPINTA ACQUA	0.	0.
	SPINTA TOTALE VERA	514.99	843.76
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	107.17	718.01
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	1306.5	8753.3
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	2.5369	10.374
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	39.‰	10.‰
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	4.8055	1.1751

FASE	GRUPPO -->	DHRi	UHRi
7			
	SPINTA EFFICACE VERA	479.58	977.78
	SPINTA ACQUA	0.	0.
	SPINTA TOTALE VERA	479.58	977.78
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	107.17	718.01
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	1306.5	8753.3
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	2.7242	8.9522
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	37.‰	11.‰
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	4.4750	1.3618

FASE	GRUPPO -->	DHRi	UHRi
8			
	SPINTA EFFICACE VERA	399.10	899.78
	SPINTA ACQUA	0.	0.
	SPINTA TOTALE VERA	399.10	899.78
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	68.587	718.01
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	836.14	8753.3
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	2.0951	9.7282
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	48.‰	10.‰
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	5.8189	1.2532

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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	h_{tiranti}	T_{paratie}	$L_{\text{ancoraggi}}$	τ_{lim}	$\varnothing_{\text{perforazione}}$	$\alpha_{\text{sbulbamento}}$	$\varnothing^* \alpha$	γ_A	γ_R	E_d	R_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,50	177,0	14,0	122	150	1,3	195,0	1,00	1,15	442,5	909,9	2,06
2	2,50	204,0	14,0	122	150	1,3	195,0	1,00	1,15	510,0	909,9	1,78
3	2,50	202,0	14,0	122	150	1,3	195,0	1,00	1,15	505,0	909,9	1,80

Tabella 46 - Sezione di calcolo 1: verifica della lunghezza di ancoraggio - fase statica

VERIFICA SISMICA S.L.U. (A2+M2+R3)												
Ordine	h_{tiranti}	T_{paratie}	$L_{\text{ancoraggi}}$	τ_{lim}	$\varnothing_{\text{perforazione}}$	$\alpha_{\text{sbulbamento}}$	$\varnothing^* \alpha$	γ_A	γ_R	E_d	R_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,50	350,0	14,0	122	150	1,3	195,0	1,00	1,15	875,0	909,9	1,04
2	2,50	354,0	14,0	122	150	1,3	195,0	1,00	1,15	885,0	909,9	1,03
3	2,50	323,0	14,0	122	150	1,3	195,0	1,00	1,15	807,5	909,9	1,13

Tabella 47 - Sezione di calcolo 1: verifica della lunghezza di ancoraggio - fase sismica

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

10 Valutazione del danno sulle Preesistenze

Nel presente capitolo, dopo una breve descrizione delle principali grandezze relative agli scavi e delle preesistenze interferenti con la stazione Europa, sono riportati i criteri adottati per il calcolo dei cedimenti in condizioni di greenfield ed i risultati ottenuti.

10.1 Caratteristiche degli scavi

La stazione Europa presenta un'estensione in pianta di 27.50 m x 55.50 m ed un'altezza massima di scavo di circa 34.00 m dal p.c..

Lo scavo della stazione avverrà con la tecnica costruttiva del “Top-down”, come già descritto precedentemente.

10.2 Preesistenze interferenti con gli scavi

La principale interferenza tra la stazione Europa ed i manufatti preesistenti è costituita dall'insieme degli edifici prospicienti la stazione, individuati, nelle schede dei fabbricati, dai numeri 1446, 1447, 1448, 1449 e 1450.

Gli edifici si trovano sul lato nord-ovest della stazione ad una distanza di circa 3.3 m, come rappresentato in Figura 75.

Dalle schede dei fabbricati risulta che gli edifici in esame, ad uso residenziale, sono costituiti da una struttura in cemento armato di 2 piani fuori terra, per un'altezza complessiva di 6 m e che le fondazioni, costituite da travi continue, si trovano ad una quota di 50.13 m s.l.m., cioè a circa 1.5 m da piano campagna.

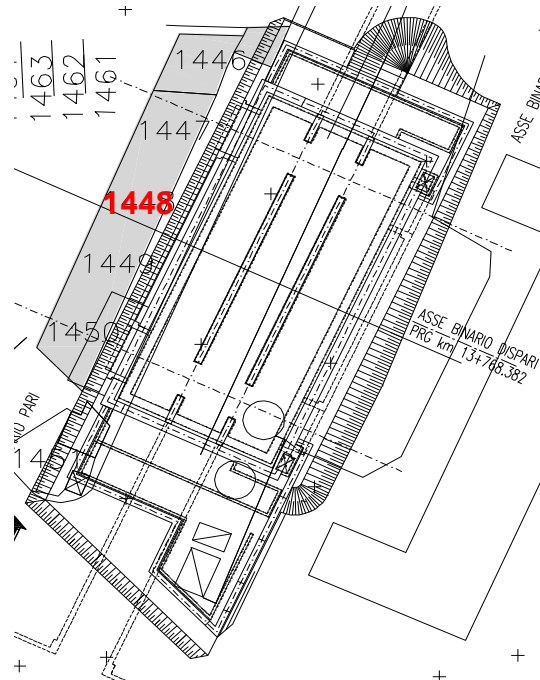


Figura 75: Ubicazione in pianta dell'edificio 975



Figura 76: Edificio 1446



Figura 77: Edificio 1447



Figura 78: Edificio 1448



Figura 79: Edificio 1449

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



Figura 80: Edificio 1450

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 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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 involuppo 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:

$$w_{max} / u_{max} = 0.94 \quad \text{cinematismi di tipo "profondo"}$$

$$w_{max} / u_{max} = 0.64 \quad \text{cinematismi di tipo "a sbalzo"}$$

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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.

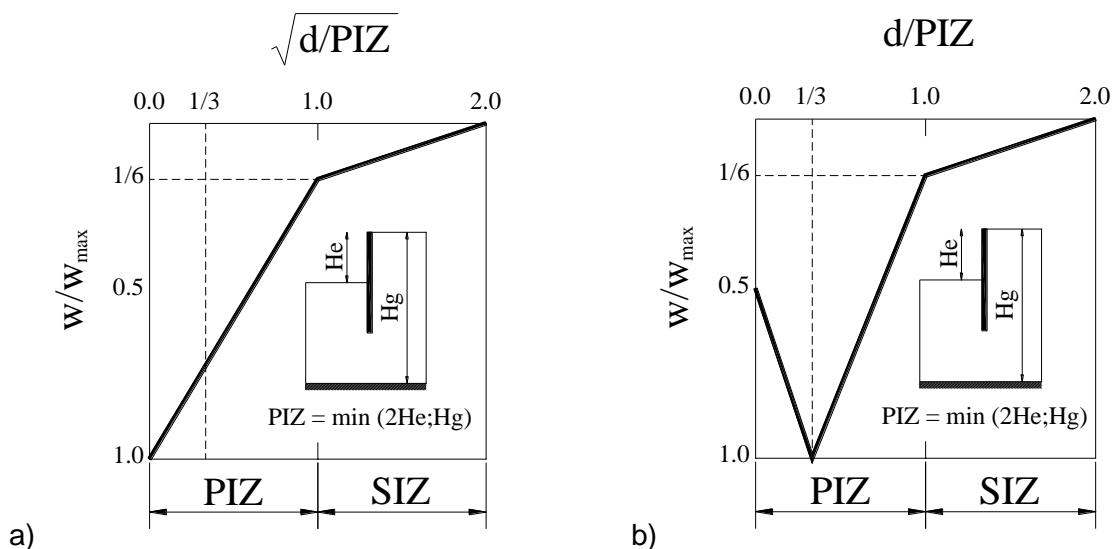


Figura 81: Profili di subsidenza normalizzati (Ou, 2006): a) per cinematismi superficiali; b) per cinematismi profondi.

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 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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 82) 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 84).

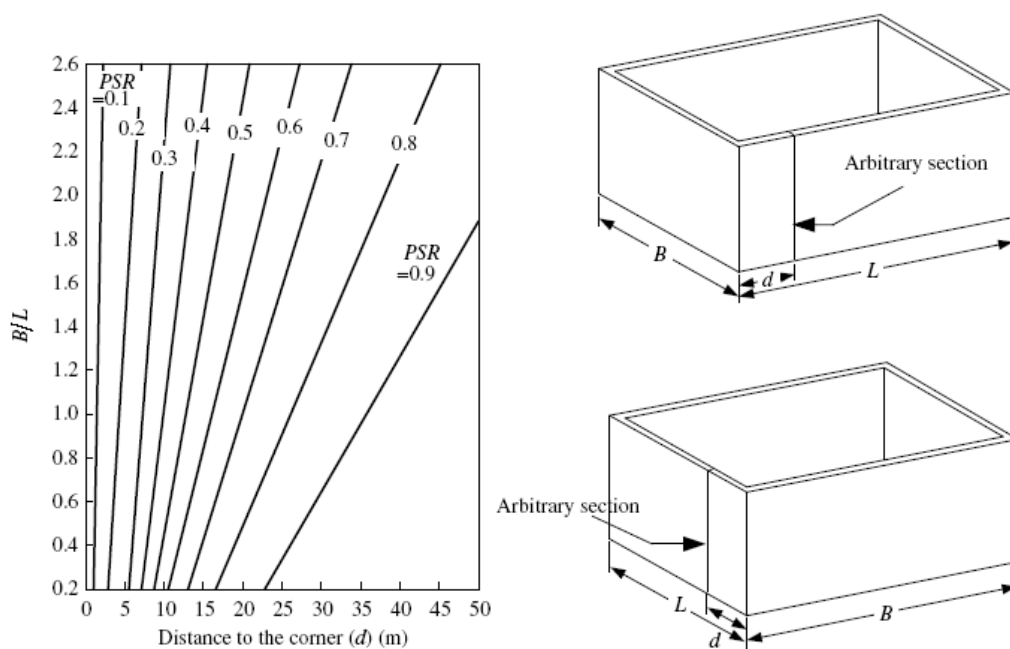


Figura 82. Fattori di riduzione degli spostamenti per gli effetti di bordo degli scavi (Ou et al., 1996)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

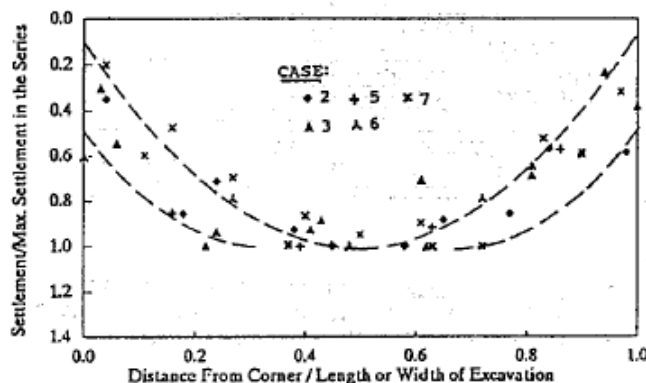


Figura 83: . Distribuzione dei cedimenti indotti dagli scavi in direzione parallela alle pareti (Wong e Patron, 1996)

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 82. 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 84, è stata considerata quella in corrispondenza dell'edificio preso in esame.

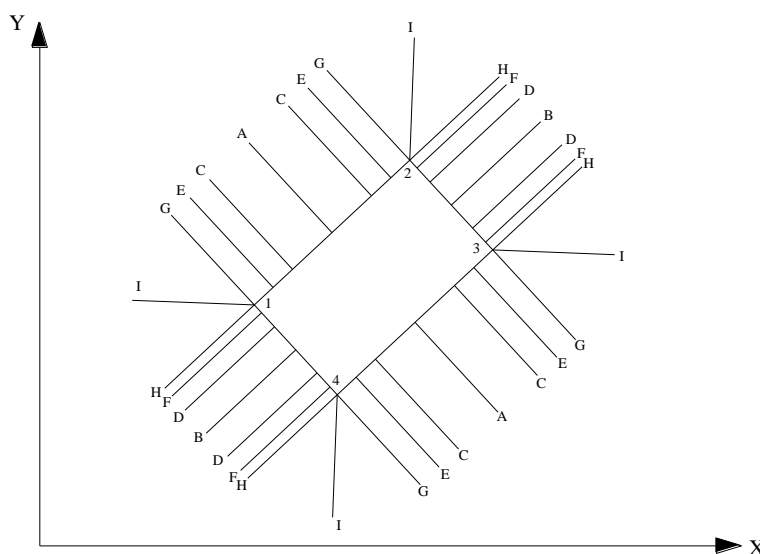


Figura 84 Sezioni trasversali considerate nella distribuzione degli spostamenti

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Le sezioni indicate in Figura 84 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 di subsidenza è stata svolta in corrispondenza dell'edificio 1448, che risulta rappresentativo delle condizioni anche degli altri edifici ed, in particolare, essendo situato in corrispondenza dell'asse di stazione, è caratterizzato dal valore atteso dei cedimenti massimo rispetto ai cedimenti indotti dallo scavo in altre sezioni più vicine ai bordi della stazione.

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.

10.4.1 Edificio 1448

Come anticipato, l'analisi di subsidenza è stata svolta in corrispondenza dell'edificio 1448, sezione in cui si verificano i massimi cedimenti attesi. L'edificio dista dalla stazione circa 3.30 m.

Il bacino di subsidenza che interessa tale edificio, dunque, è stato stimato con riferimento alla

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

sezione tipo A (Figura 85), 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 0.9.

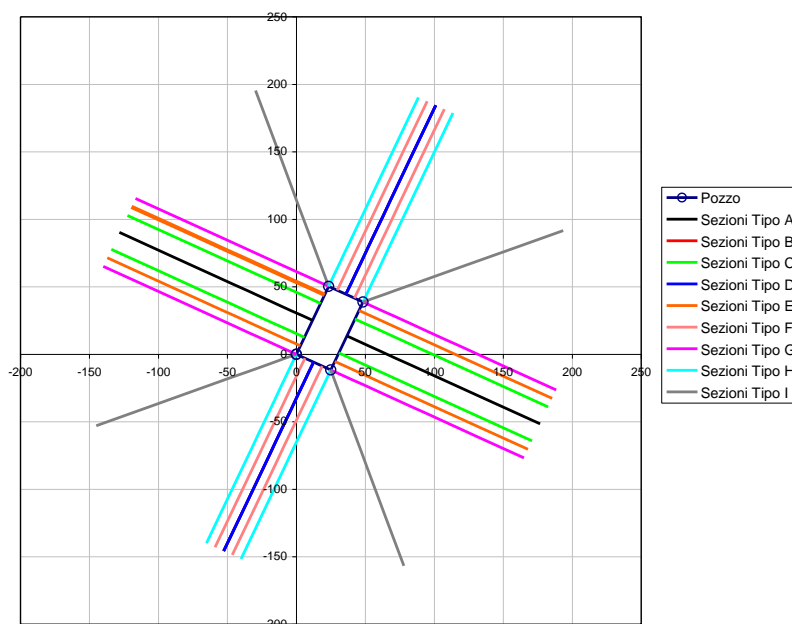
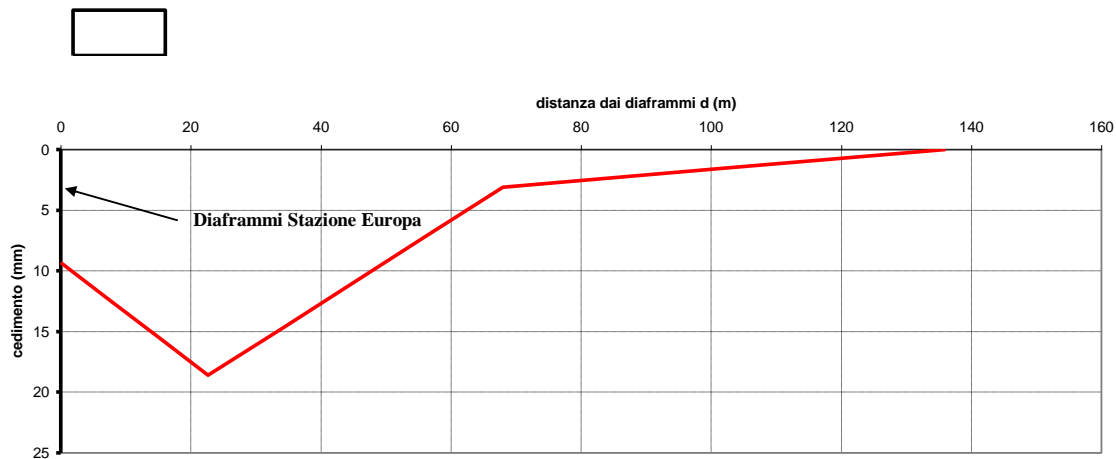


Figura 85: Sezioni trasversali tipo per il calcolo dei profili di cedimento della stazione Europa

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=0.9), è stato valutato il bacino di subsidenza indotto dalla stazione di seguito riportato.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

STRETTO DI MESSINA
Ponte sullo Stretto di Messina
Stazione Europa
Bacino di subsidenza - Edificio 1448



CARATTERISTICHE DELLO SCAVO		CARATTERISTICHE DEL MANUFATTO		RISULTATI	
altezza (m)	34	Profondità fondazioni (m)	1.5	Cedimento massimo (cm)	2.1
massimo spostamento orizzontale (cm)	2.2	Altezza (m)	7.5		

Valutazione dei cedimenti secondo la teoria proposta da Ou & Hsieh (Ou, 2006)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

11 Pozzi di ventilazione

Lungo il tracciato ferroviario, in prossimità delle stazioni 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+400e 13+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 e la verifica dei pozzi di ventilazione si faccia riferimento a quanto riportato all’interno della relazione CG0800PCLDSCS1SG000000001.

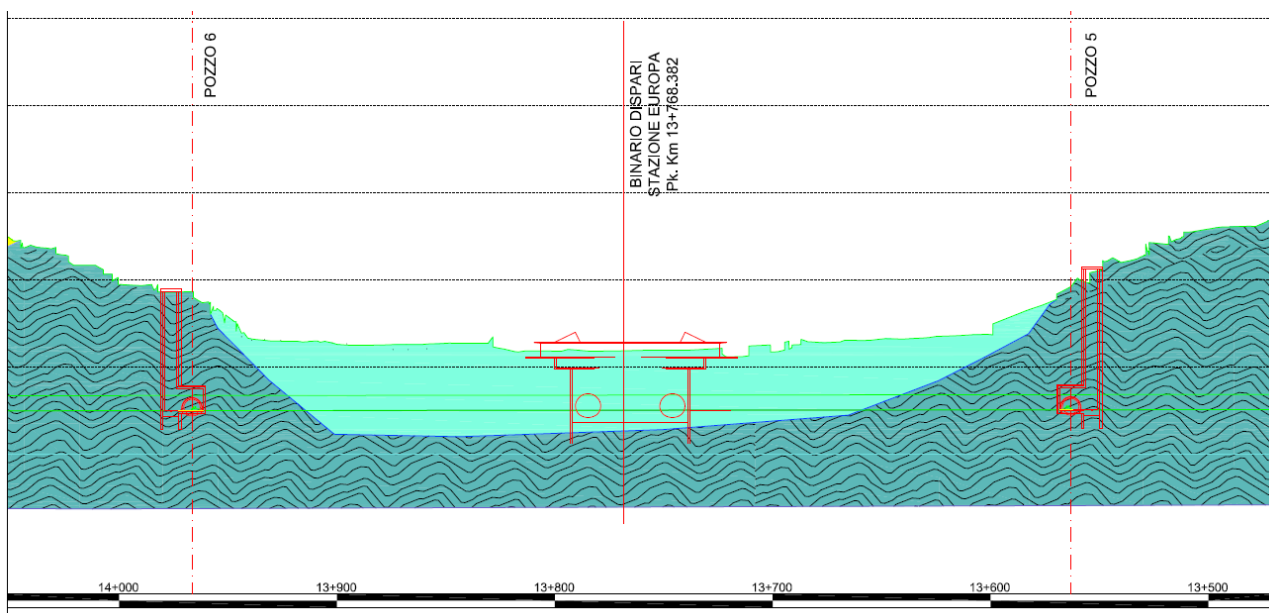


Figura 86 - Profilo stazione Europa con pozzi

Il pozzo di ventilazione n° 6 presenta caratteristiche geometriche differenti rispetto a tutti gli altri pozzi in progetto. Il diaframma di monte del pozzo verrà infatti costruito a partire da una quota

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

posta circa 10m al di sopra del piano di costruzione del pozzo, e fungerà da paratia definitiva per il rilevato a tergo.

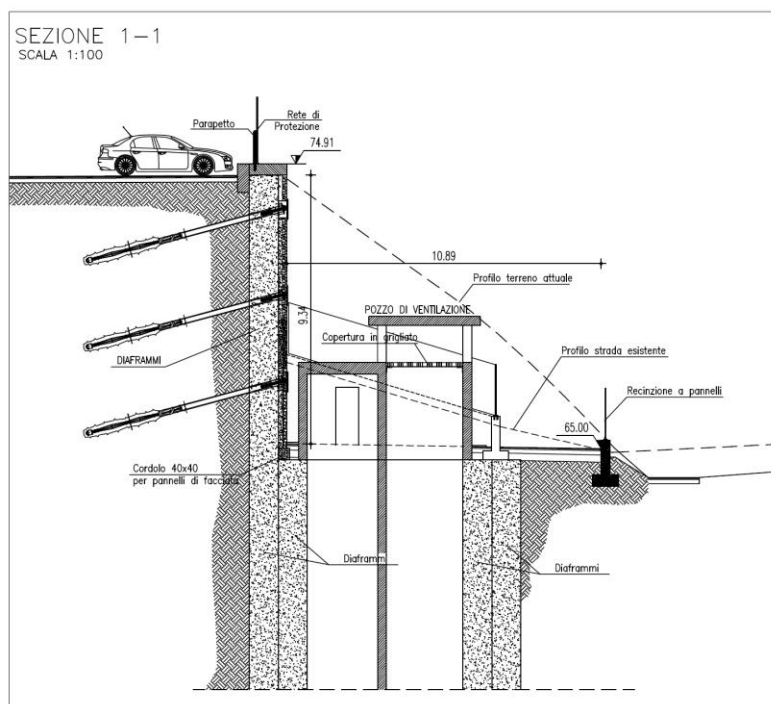


Figura 87 – Sezione pozzo 6

La presente analisi ha lo scopo di dimensionare la parte di diaframma che non verrà contrastato dalle contropareti in fase definitiva, ed inoltre verificare che la parte inferiore della struttura non subisca eccessivi aumenti delle sollecitazioni dovuti alla differente geometria dello scavo. A questo scopo, sono state simulate anche le prime fasi di scavo del pozzo, simulando il getto delle pareti per sottomurazione.

11.1 Descrizione del modello di calcolo

Il calcolo delle sollecitazioni sui diaframmi è stato effettuato impiegando il programma *Paratie v. 7.0*, già descritto in precedenza.

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

Litotipo	Quote da p.c. [m]	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ [°]	E'_{vc} [MPa]	E'_{ur} [MPa]
Metamorfiti	0-fondo scavo	22	250	38	1000	E'_{vc}

Tabella 48- Parametri geotecnici e stratigrafia di progetto adottati nelle analisi

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

γ = peso dell'unità di volume

c' = coesione efficace

φ = angolo di resistenza al taglio

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

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

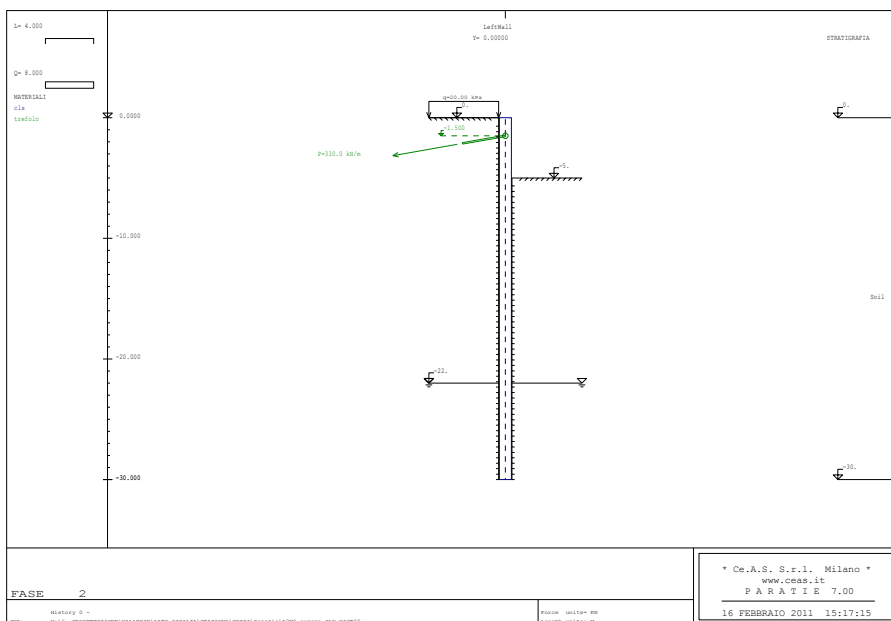
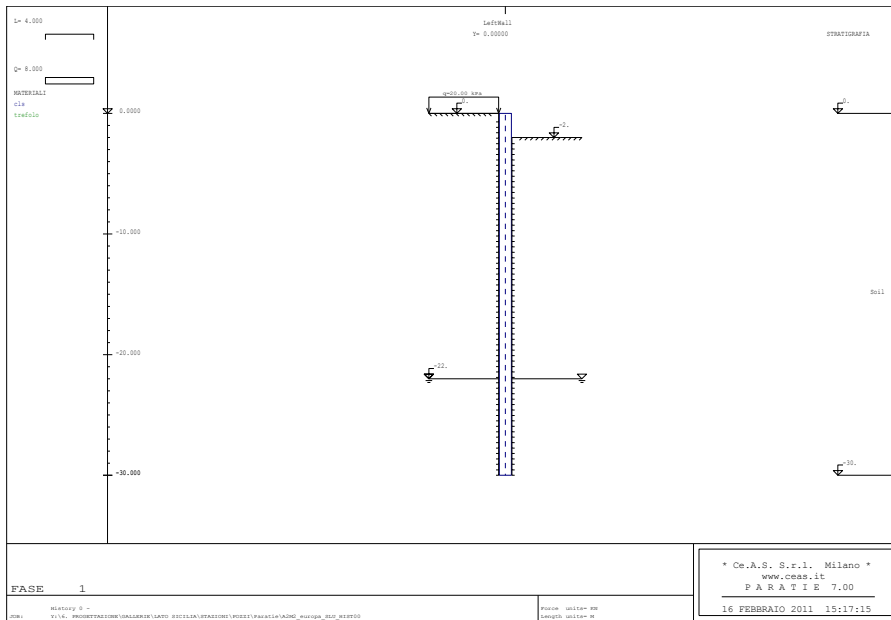
Le fasi di calcolo impostate per il dimensionamento della parte superiore dei diaframmi possono essere di seguito riassunte:

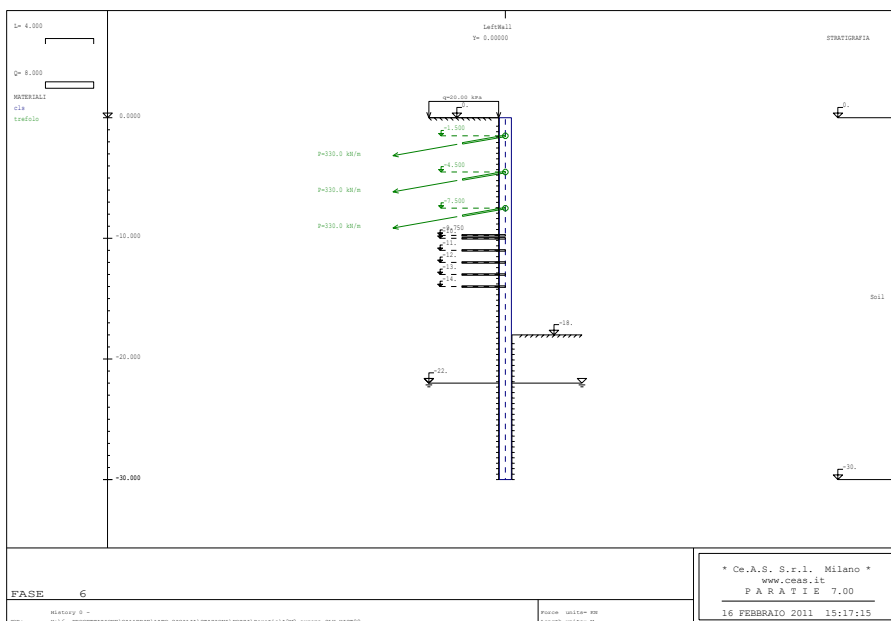
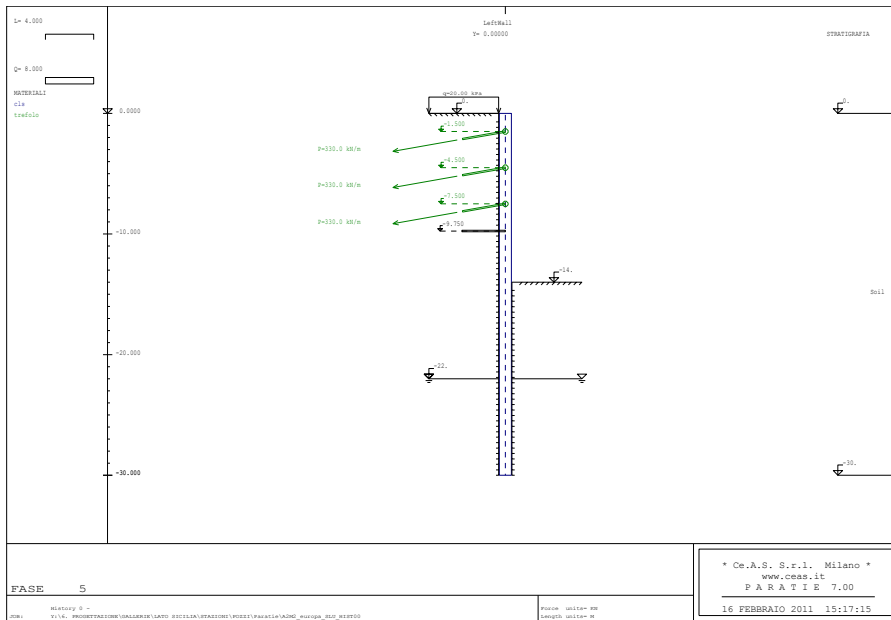
- 1) Realizzazione diaframmi;
- 2) Scavo a -2m da p.c.;
- 3) Installazione tirante a -1.5m e scavo a -5m;
- 4) Installazione tirante a -4.5m e scavo a -8m;
- 5) Installazione tirante a -7.5m e scavo a -9.75m ;
- 6) Scavo fino a -14m con contrasto a -9.75m rappresentato dalla trave di testa dei pozzi;
- 7) Scavo fino a -18m con contrasto tra -10m e -14m fornito dal getto delle contropareti interne del pozzo;
- 8) Getto contropareti tra -14m e -18m;
- 9) Sisma.

I vincoli sulla paratia rappresentati dall'effetto di contenimento dato dalle strutture interne al di sotto della quota -9.75m da p.c, sono stati simulati attraverso vincoli elastici aventi la rigidezza del sistema equivalente.

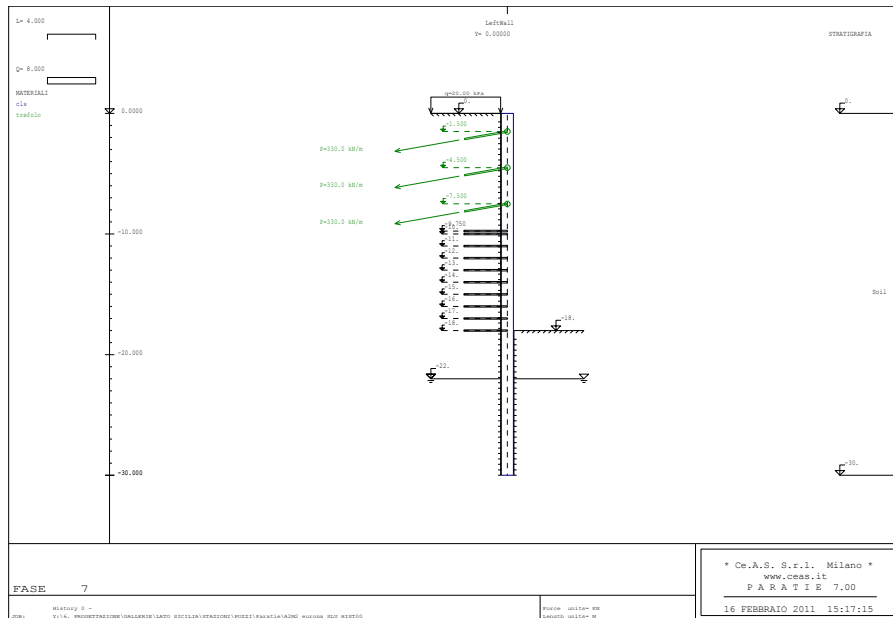
La rigidezza equivalente del sistema controparete, considerando il valore ottenuto da uno schema statico di trave incastrata alle estremità, risulta pari a 30000 kN/m.

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





		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Rev</th> <th>Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F0</td> <td>20-06-2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	F0	20-06-2011
Rev	Data						
F0	20-06-2011						



11.2 Definizione e combinazioni delle azioni

Le azioni di progetto che gravano sulle strutture in esame e le combinazioni delle stesse, utilizzate all'interno delle analisi numeriche sono già state presentate all'interno del paragrafo **Error! Reference source not found.** Di seguito si riporta solo una sintesi delle azioni considerate.

11.2.1 Definizione delle azioni sismiche

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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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
α		0.600
β		0.627
$\alpha \cdot \beta$		0.376

Accelerazione orizz. di progetto

a_H	[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_{max}	[g]	0.332
F_0	[-]	2.444
T_{c^*}	[s]	0.383
Tipo sottosuolo		B
u_s	[m]	0.020
$S_s \cdot S_T$		1.076
α		0.600
β		0.627
$\alpha \cdot \beta$		0.376

Accelerazione orizz. di progetto

a_H	[g]	0.134
-------	-----	-------

Lo spostamento ammissibile considerato per il calcolo dei coefficienti α e β 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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

γ = peso dell'unità di volume del terreno

H = altezza fuori terra della paratia. Per il dimensionamento della porzione di paratia posta al di sopra del pozzo di ventilazione, quale altezza fuori terra per il calcolo dell'azione sismica è stata assunta l'intera altezza di scavo del pozzo di ventilazione in esame.

Il carico sismico è stato applicata come un carico uniformante distribuito su tutta l'altezza libera della paratia.

11.2.2 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 stati descritti nel paragrafo 7.3.

11.2.3 Azioni accidentali

Il sovraccarico accidentale a tergo delle paratie, durante tutte le fasi di realizzazione e di esercizio della paratia, è stato assunto pari a:

$$- q_{sov} = 20 \text{ kN/m}^2$$

11.2.4 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 trascurabili per la porzione di struttura in esame.

11.3 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0 Data 20-06-2011

11.3.1 Analisi STR_Statica

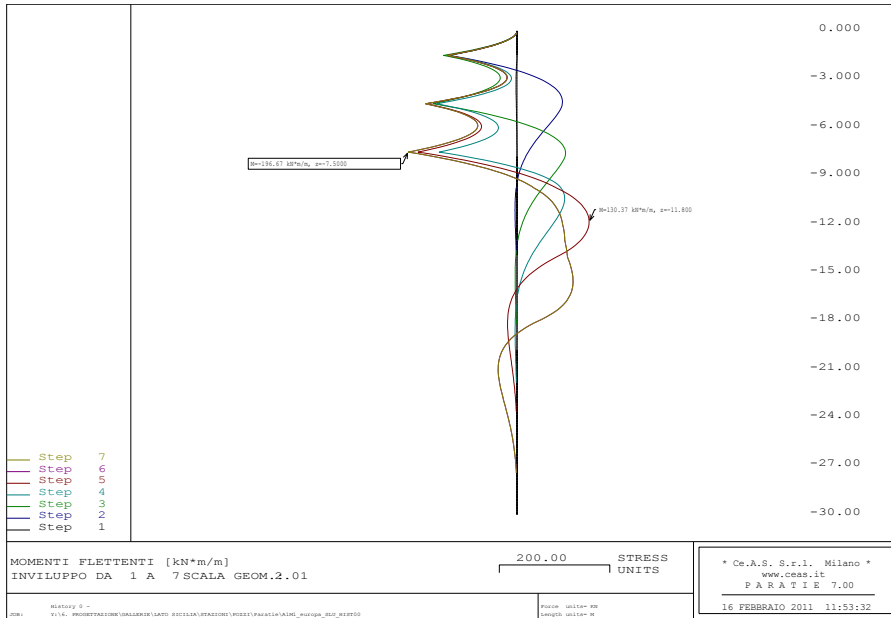


Figura 88 – Momento flettente nel diaframma

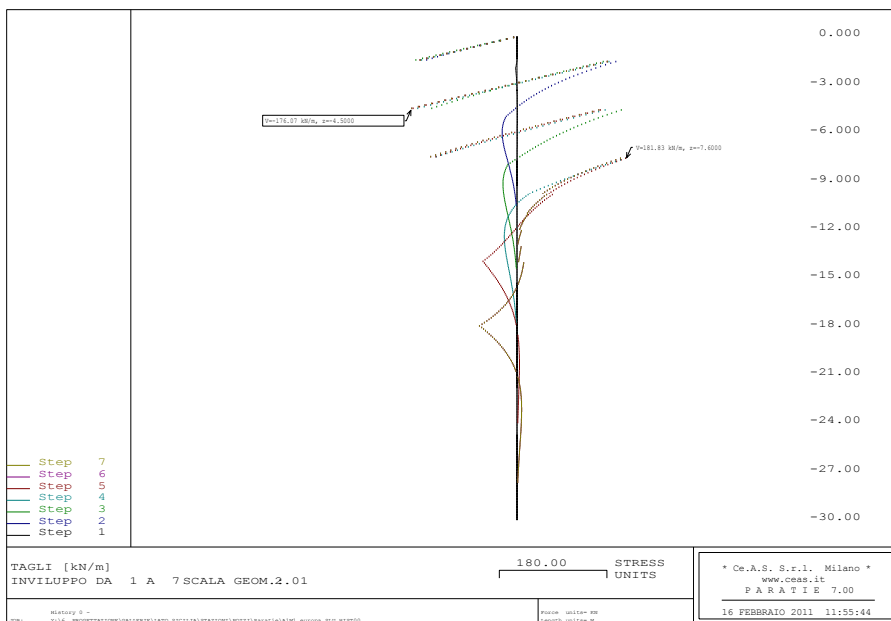


Figura 89 – Taglio nel diaframma

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	<table border="1"> <tr> <td>Rev</td> <td>Data</td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20-06-2011</td> </tr> </table>	Rev	Data	F0	20-06-2011
Rev	Data						
F0	20-06-2011						

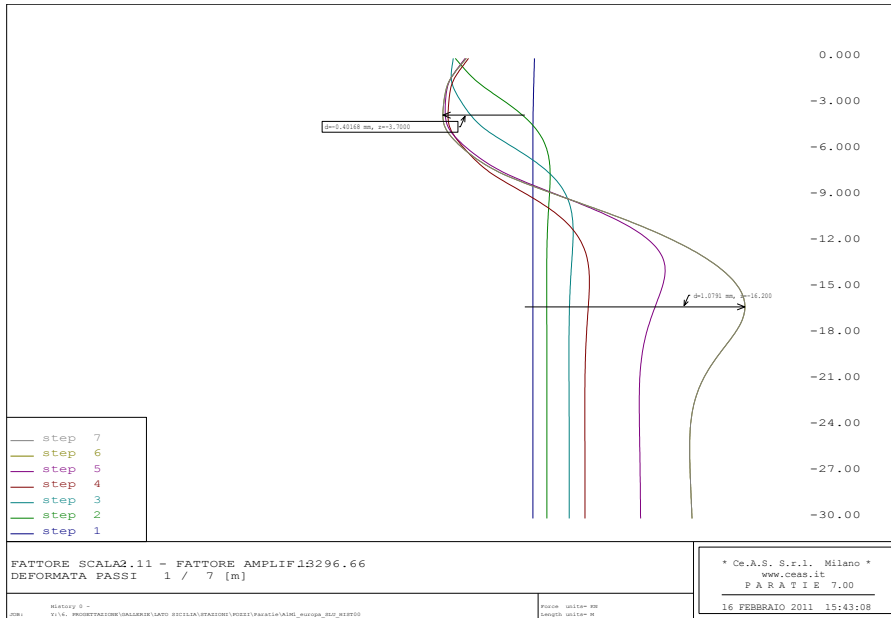


Figura 90 – Deformazione diaframma

11.3.2 Analisi GEO_Statica

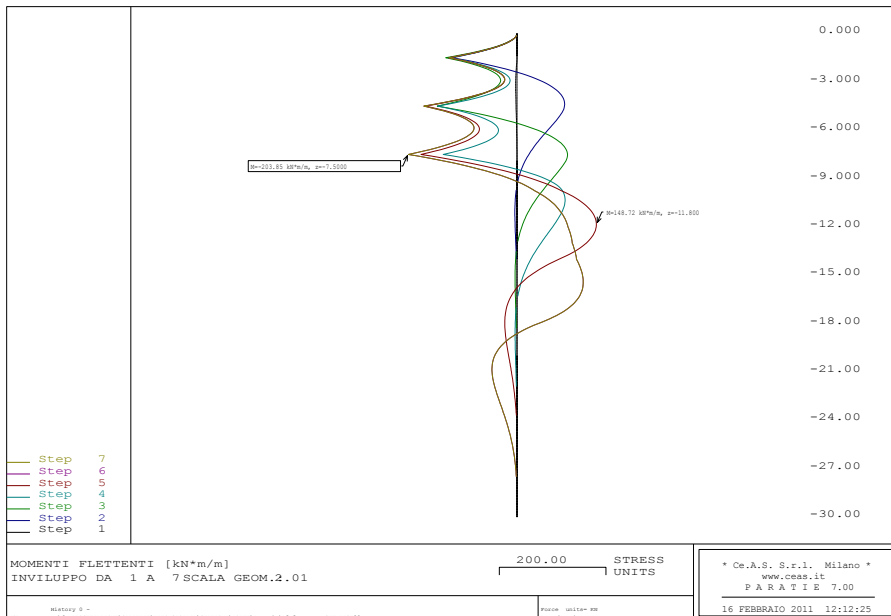


Figura 91 – Momento flettente nel diaframma

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	<table border="1"> <tr> <td>Rev</td> <td>Data</td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20-06-2011</td> </tr> </table>	Rev	Data	F0	20-06-2011
Rev	Data						
F0	20-06-2011						

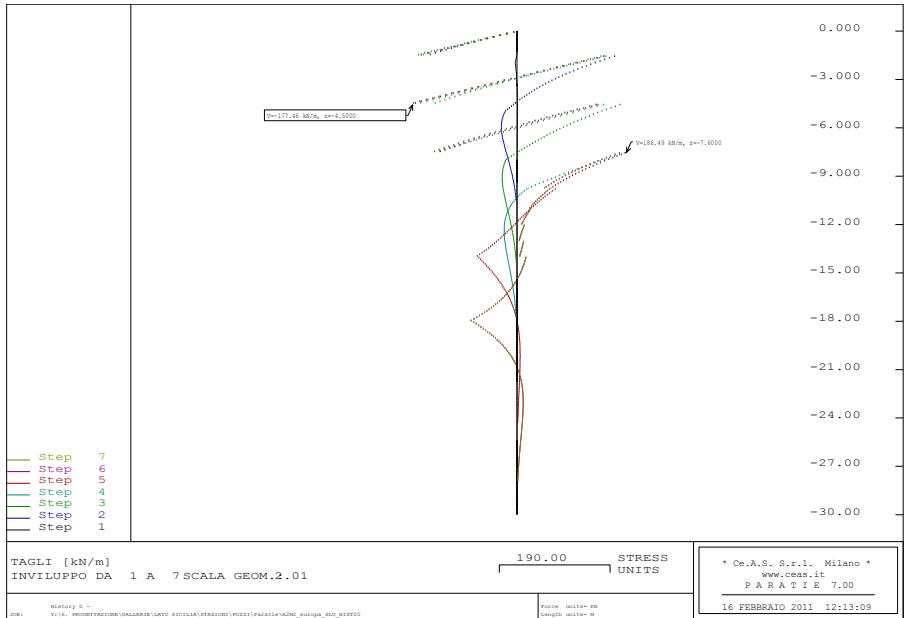


Figura 92 – Taglio nel diaframma

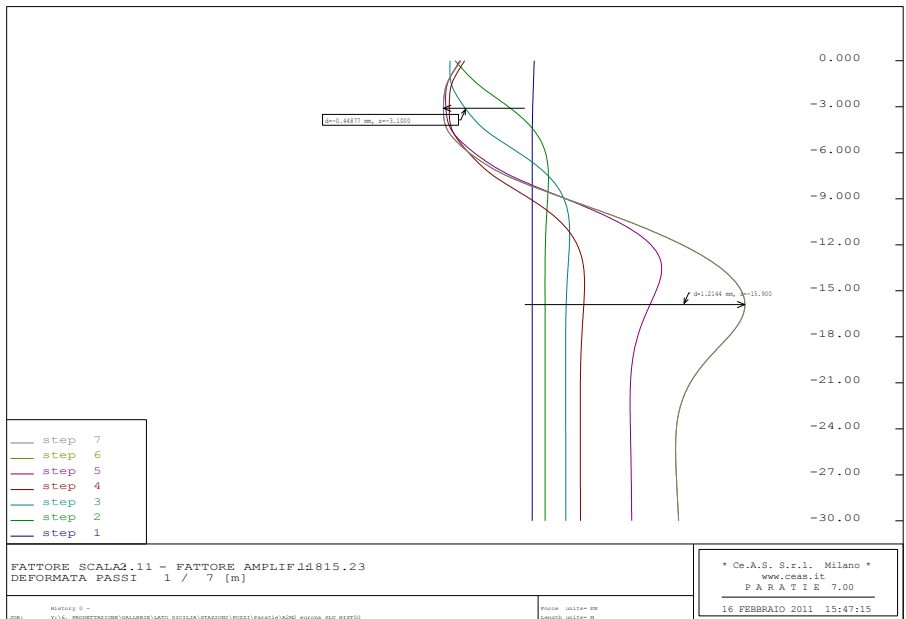


Figura 93 – Deformazione diaframma

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0 Data 20-06-2011

11.3.3 Analisi STR_Sismica SLV

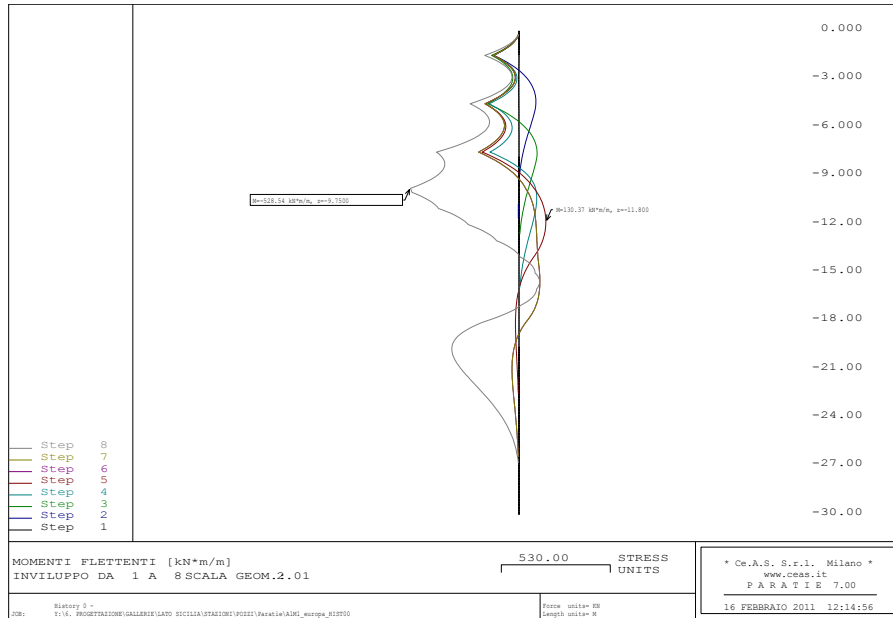


Figura 94 – Momento flettente nel diaframma

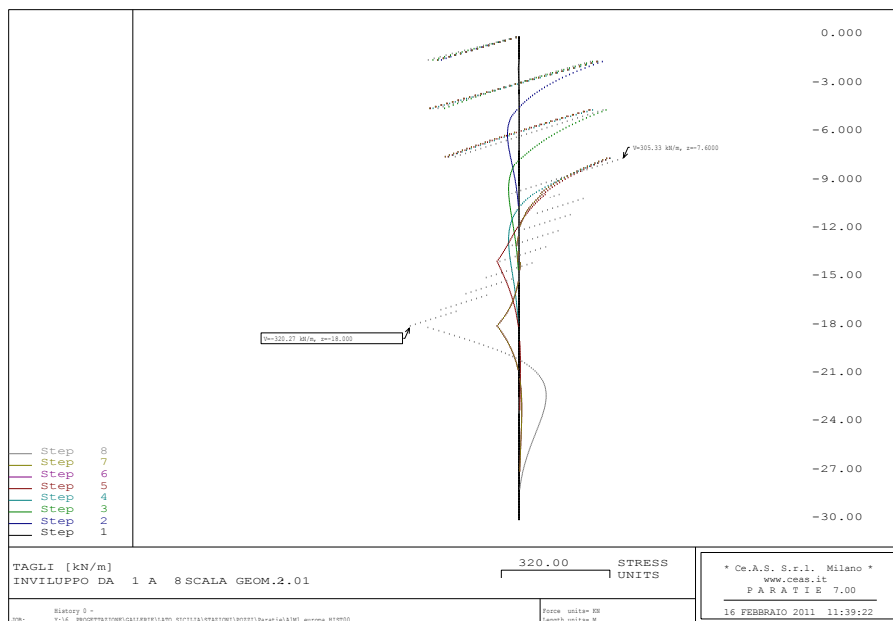


Figura 95 – Taglio nel diaframma

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	<table border="1"> <tr> <td>Rev</td> <td>Data</td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20-06-2011</td> </tr> </table>	Rev	Data	F0	20-06-2011
Rev	Data						
F0	20-06-2011						

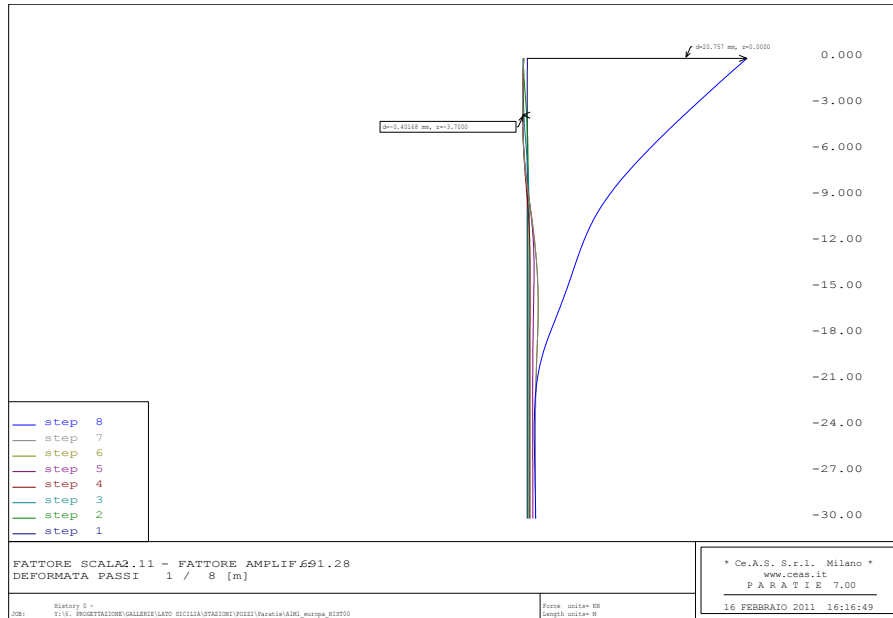


Figura 96 – Deformazione diaframma

11.3.4 Analisi Sismica SLD

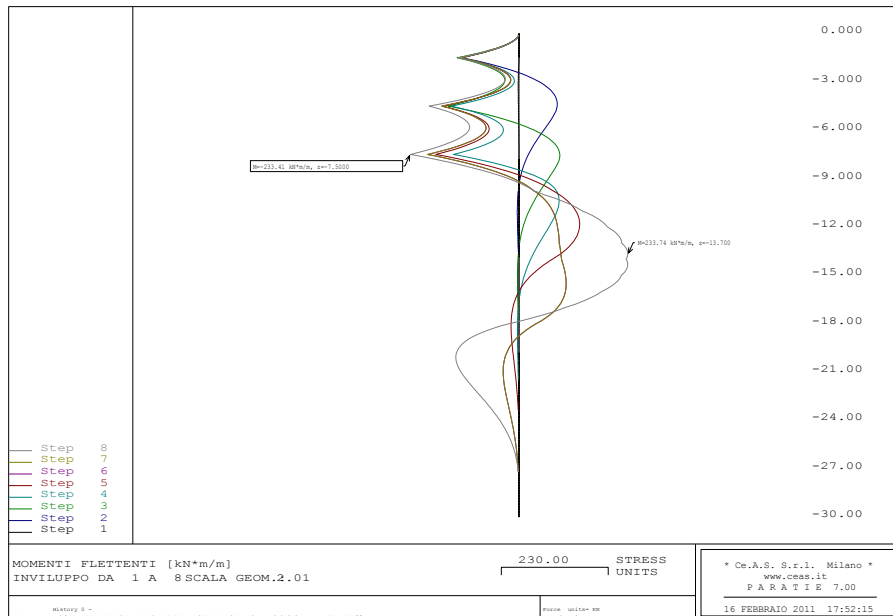


Figura 97 – Momento flettente nel diaframma

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	<table border="1"> <tr> <td>Rev</td> <td>Data</td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20-06-2011</td> </tr> </table>	Rev	Data	F0	20-06-2011
Rev	Data						
F0	20-06-2011						

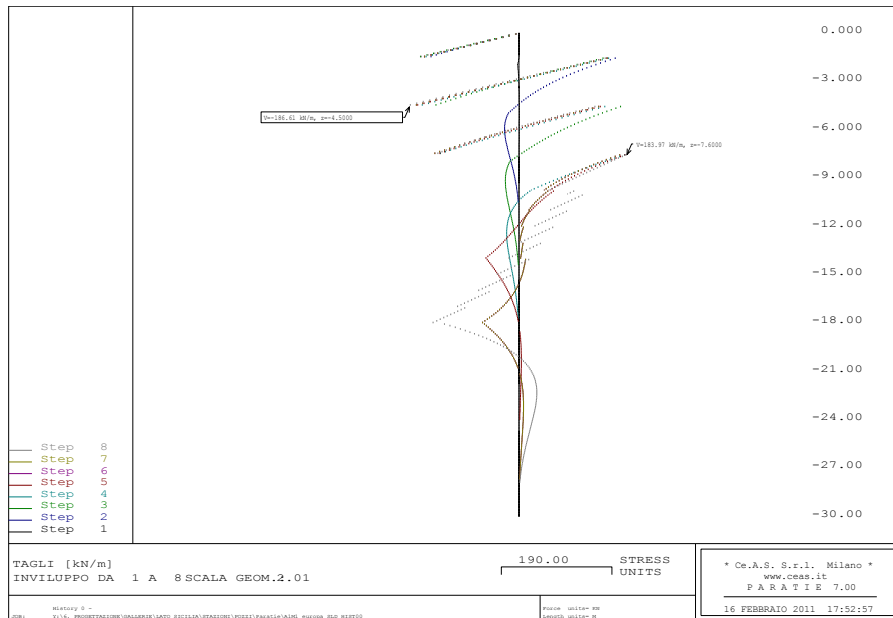


Figura 98 – Taglio nel diaframma

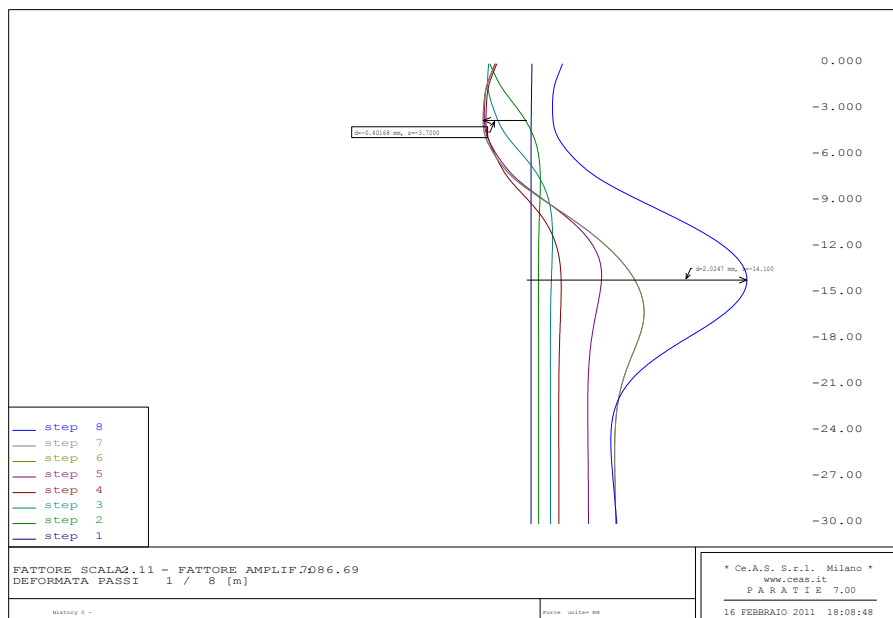


Figura 99 – Deformazione diaframma

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	<table border="1"> <tr> <td>Rev</td> <td>Data</td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20-06-2011</td> </tr> </table>	Rev	Data	F0	20-06-2011
Rev	Data						
F0	20-06-2011						

11.3.5 Analisi GEO_Sismica SLV

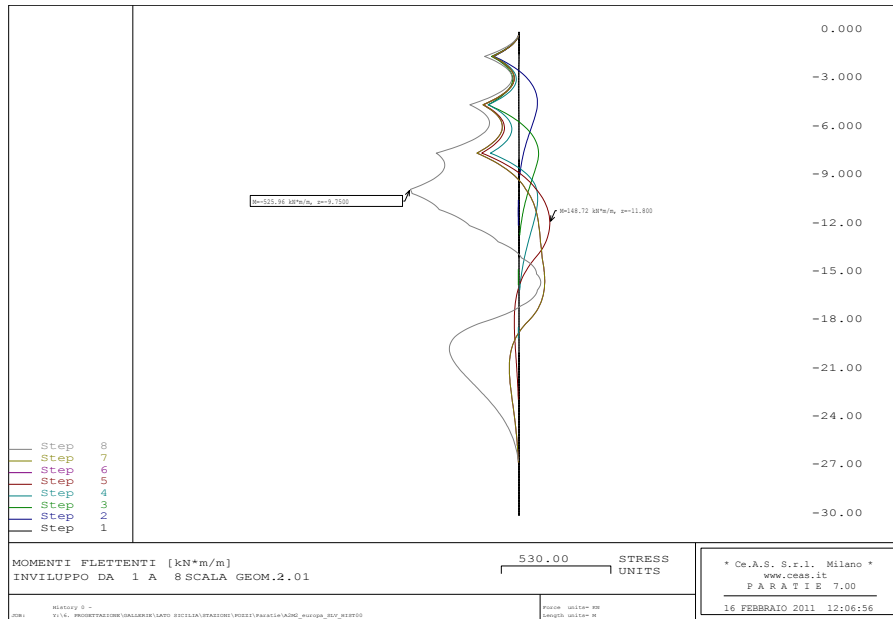


Figura 100 – Momento flettente nel diaframma

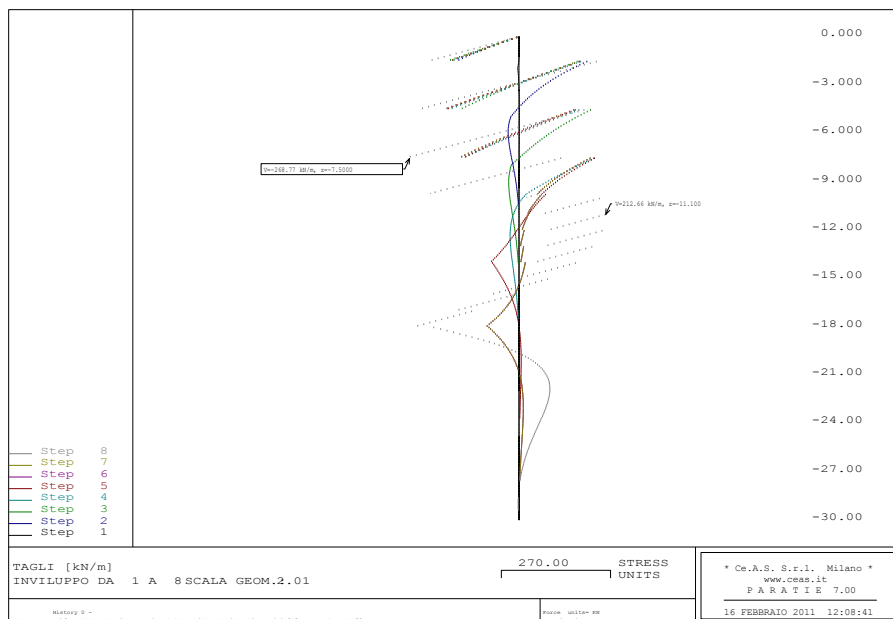


Figura 101 – Taglio nel diaframma

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0 Data 20-06-2011

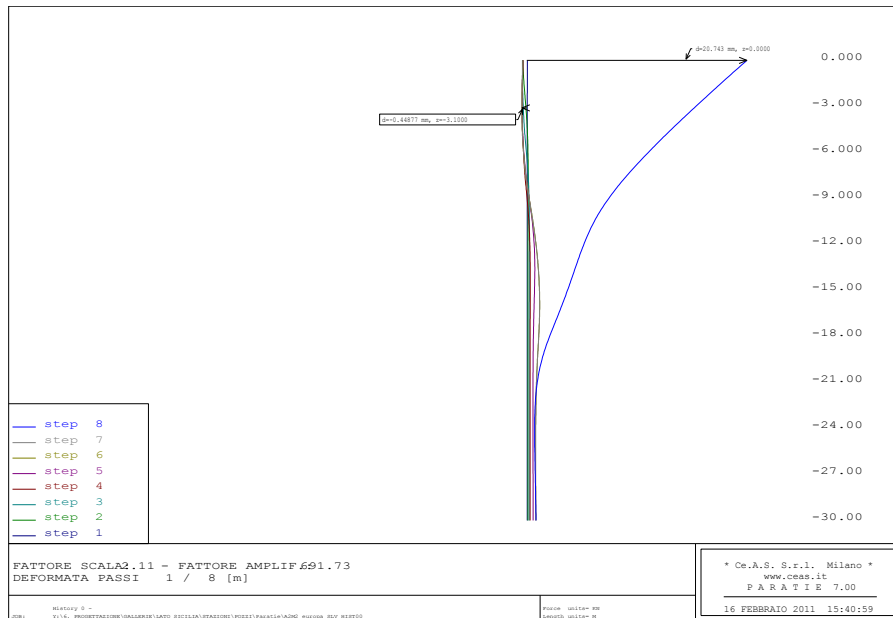


Figura 102 – Deformazione diaframma

11.4 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 verifiche della parte superiore dei diaframmi risultano soddisfatte, predisponendo un’armatura analoga a quella già dimensionata per i diaframmi perimetrali del pozzo.

DIAFRAMMA	PROFONDITA'	A _{s1}	A _{s2}	A _w
Europa	0-30m	φ20/20	φ20/20	φ12/20, 3 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).

11.4.1 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0073_F0.doc	Rev F0	Data 20-06-2011

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:

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 ²])										
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 ²])										
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 ²]										
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 ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)										
Af eff.	Area Barre tese di acciaio [cm ²] 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
22.0	1	S	13.1	100.0	0.0	100.0	-206	94.0	20.0	2000	15.7
22.0	2	S	22.2	0.0	0.0	0.0	-881	6.0	20.0	2000	15.7
22.0	3	S	15.4	100.0	0.0	100.0	-306	94.0	20.0	2000	15.7
22.0	4	S	23.0	0.0	0.0	0.0	-932	6.0	20.0	2000	15.7
22.0	5	S	25.6	100.0	0.0	100.0	-740	94.0	20.0	2000	15.7
22.0	6	S	26.4	0.0	0.0	0.0	-1141	6.0	20.0	2000	15.7

• **Verifiche a fessurazione**

Le verifiche sono state condotte in accordo con quanto illustrato nel paragrafo **Error! Reference source not found.**

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte:

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 ²]										
ScImin	Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm ²]										
Sc Eff	Tensione al limite dello spessore efficace nello STATO I [daN/cm ²]										
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										

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0

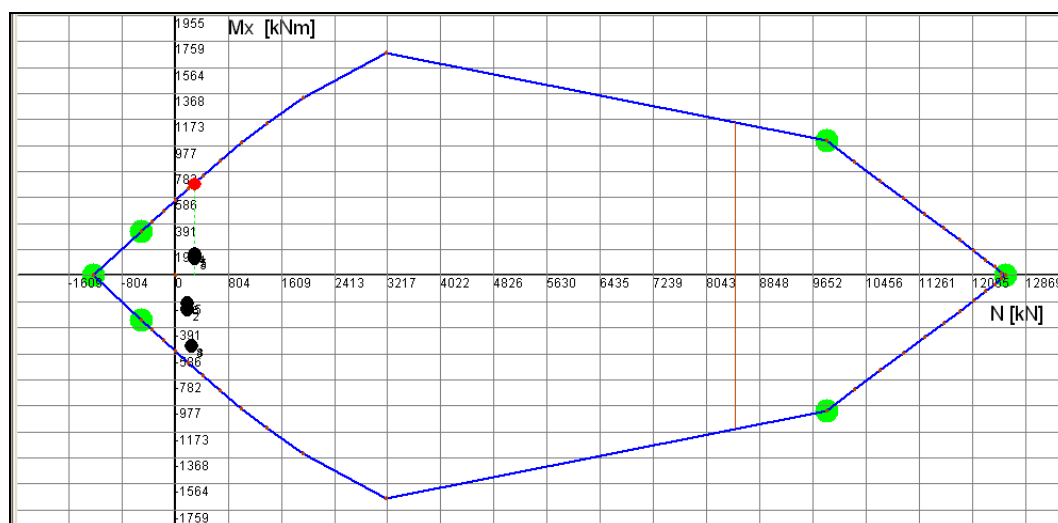
N.Comb.	Ver	ScImax	ScImin	Sc Eff	K3	Beta12	Eps	Srm	Ap.Fess.
1	S	9.9	-4.2	-1.4	0.167	1.0	0.000041	314	0.022
2	S	12.4	-8.9	-4.6	0.190	1.0	0.000176	337	0.101
3	S	10.9	-5.2	-2.0	0.173	1.0	0.000061	320	0.033
4	S	12.8	-9.2	-4.8	0.190	1.0	0.000186	338	0.107
5	S	15.9	-9.4	-4.3	0.183	1.0	0.000148	330	0.083
6	S	14.4	-10.8	-5.8	0.192	1.0	0.000228	339	0.132

Le verifiche risultano soddisfatte.

11.4.2 Stato limite ultimo

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche di sicurezza a pressoflessione e taglio relative alle sollecitazioni massime.

- **Verifiche a Presso flessione**



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)= 15.7 cm ² Area efficace barre sup. (per presenza di torsione)= 15.7 cm ²

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0

N.Comb.	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	Yneutro
1	S	29500	16950	29525	69060	4.074	92.5
2	S	18750	-25570	18737	-64315	2.515	7.0
3	S	29500	13040	29525	69060	5.296	92.5
4	S	24400	-52850	24372	-66797	1.264	7.3
5	S	29500	14870	29525	69060	4.644	92.5
6	S	18700	-20390	18681	-64290	3.153	7.0
7	S	29500	14870	29525	69060	4.644	92.5
8	S	24400	-52590	24372	-66797	1.270	7.3

- **Verifiche a taglio**

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte:

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: 3
 Area staffe/m : 17.0 cm²/m [Area Staffe Minima normativa = 2.4 cm²/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 [cm²/m]

N.Comb.	Ver	Vsdu	Vrd	Vcd	Vwd	bw	Teta	Acw	Afst
1	S	0	28804	245870	56160	100.0	45.00	1.026	0.0
2	S	23600	27288	167998	140399	100.0	21.80	1.017	2.9
3	S	0	28804	245870	56160	100.0	45.00	1.026	0.0
4	S	26910	28084	168822	140399	100.0	21.80	1.022	3.3
5	S	0	28804	245870	56160	100.0	45.00	1.026	0.0
6	S	18650	27281	167990	140399	100.0	21.80	1.017	2.3
7	S	0	28804	245870	56160	100.0	45.00	1.026	0.0
8	S	26870	28084	168822	140399	100.0	21.80	1.022	3.2

11.5 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

11.5.1 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 $E_d = T_{\max \text{ paratie}} \times \text{passo tiranti}$

VERIFICHE DEI TREFOLI

VERIFICA STATICA S.L.U. (A1+M1+R1)

Ordine	n_{trefoli}	i_{tiranti}	T_{paratie}	E_d	R_d	FS
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[kN]	[kN]	[-]
1	4	1.4	330.0	600.6	807.4	1.34
2	4	1.4	330.0	600.6	807.4	1.34
3	4	1.4	330.5	601.5	807.4	1.34

Tabella 49 –verifica trefoli fase statica

VERIFICA SISMICA S.L.U. (A1+M1+R1)

Ordine	n_{trefoli}	i_{tiranti}	T_{paratie}^S	E_d	R_d	FS
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[kN]	[kN]	[-]
1	4	1.4	426.7	597.4	807.4	1.35
2	4	1.4	420.0	588.0	807.4	1.37
3	4	1.4	392.4	549.4	807.4	1.47

Tabella 50 –verifica trefoli fase sismica (SLV)

11.5.2 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:

$$h' = 0.20h / \cos(45^\circ - \alpha - \varphi/2)$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

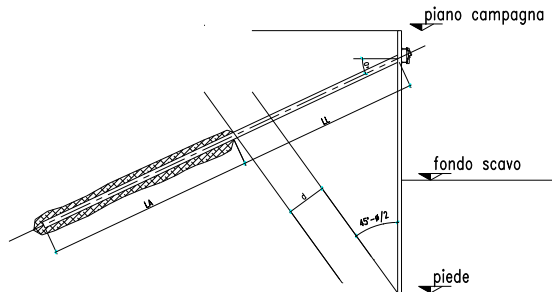


Figura 103 - Schema calcolo lunghezza libera del tirante

con $\alpha = \square$ inclinazione tirante
 $\varphi = \square$ angolo di attrito del terreno
 $d = (h + t - h_i) \sin(45^\circ - \varphi/2) \square \square \square \sin(45^\circ + \alpha + \varphi/2 \square)$

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:

$$L_{s \text{ sismica}} = L_{s \text{ statica}} (1 + 1,5 S_s S_T a_g)$$

DIMENSIONAMENTO LUNGHEZZA LIBERA TIRANTI

Ordine	Quota	l_{tiranti}	ω	n_{trefoli}	A_{trefoli}^T	$T_{\text{iniz.}}$	T_{ic}	$L_L^{(M1)}$	$L_S^{(M1)}$	$L_L^{(M2)}$	$L_S^{(M2)}$	L_L^*
[-]	[m]	[m]	[°]	[-]	[mm ²]	[kN]	[kN/m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	1.5	1.4	10	4	556	495	354	10.4	13.5	11.5	14.9	15.0
2	4.5	1.4	10	4	556	495	354	9.1	11.7	10.0	12.9	13.0
3	7.5	1.4	10	4	556	495	354	9.1	11.7	10.0	12.9	13.0

Tabella 51 – dimensionamento 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:

$$R_d = \frac{\pi \cdot D \cdot \alpha \cdot L_a \cdot \tau_{LIM}}{\gamma_R}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

dove:

D = diametro nominale di perforazione;

α = coefficiente amplificativo funzione delle modalità di iniezione e del tipo di terreno;

L_a = Lunghezza del bulbo di ancoraggio;

τ_{LIM} = tensione limite di aderenza fra la malta del bulbo ed il terreno;

γ_R = il 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 $\tau_{LIM} = 400\text{-}500\text{KPa}$; come richiesto dalla norma, τ_{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:

	D	α	γ_R
	[mm]	[-]	[-]
Tiranti a trefoli (3 - 4 trefoli)	150	1.2	1,2

Tabella 52: Parametri utilizzati nella verifica allo sfilamento dei tiranti

VERIFICHE DEGLI ANCORAGGI

VERIFICA STATICA S.L.U. (A1+M1+R3)

Ordine	$i_{tiranti}$	$n_{trefoli}$	α	d_p	τ_{lim}	L_b	L_b^*	E_d	R_d	FS
[-]	[m]	[-]	[-]	[mm]	[kPa]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[-]
1	1.4	4	1.2	150.0	250	4.7	8.0	600.6	942.5	1.57
2	1.4	4	1.2	150.0	250	4.7	6.0	600.6	706.9	1.18
3	1.4	4	1.2	150.0	250	4.7	6.0	601.5	706.9	1.18

γ_{azioni} **1.3**

γ_r **1.2**

Tabella 53 - verifica di ancoraggio dei tiranti in fase statica

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

VERIFICA SISMICA S.L.U. (A1+M1+R3)

Ordine	i_{tiranti}	n_{trefoli}	α	d_p	τ_{lim}	L_b	L_b^*	E_d	R_d	FS	γ_{azioni}
[-]	[m]	[-]	[-]	[mm]	[kPa]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[-]	1.0
1	1.4	4	1.2	150.0	250	4.6	8.0	597.4	942.5	1.58	γ_r 1.2
2	1.4	4	1.2	150.0	250	4.6	6.0	588.0	706.9	1.20	
3	1.4	4	1.2	150.0	250	4.3	6.0	549.4	706.9	1.29	

Tabella 54 - verifica di ancoraggio dei tiranti in fase sismica

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “EUROPA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0073_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

ALLEGATI

Per gli allegati fare riferimento al file ST0073_ALLEGATI