

PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO DEFINITIVO

EUROLINK S.C.p.A.

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

IL PROGETTISTA

CONSULENZA E ASSISTENZA TECNICA
nel campo della GEOINGEGNERIA
Dott. Ing. G. Cassani
Dott. Ing. E. Pagani
Ordine Ingegneri Milano
n° 15408


IL CONTRAENTE GENERALE
Project Manager
(Ing. P.P. Marcheselli)

STRETTO DI MESSINA
Direttore Generale e
RUP Validazione
(Ing. G. Fiammenghi)

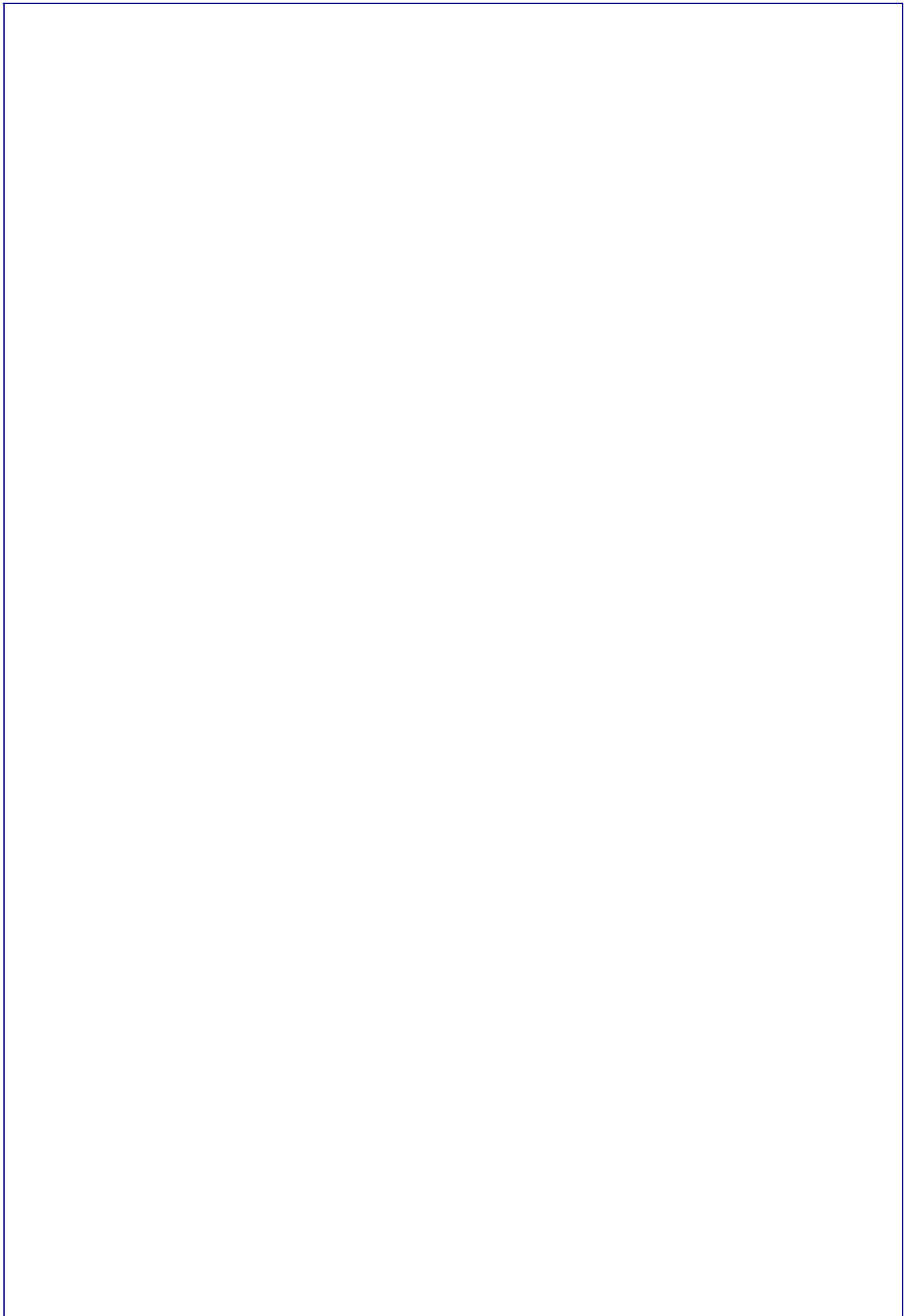
STRETTO DI MESSINA
Amministratore Delegato
(Dott. P. Ciucci)

<i>Unità Funzionale</i>	COLLEGAMENTI SICILIA	ST0212_F0
<i>Tipo di sistema</i>	STAZIONI – OPERE CIVILI	
<i>Raggruppamento di opere/attività</i>	STAZIONE ANNUNZIATA	
<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 2 S G 0 0 0 0 0 1 F 0

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 “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

INDICE

INDICE.....	3
1 Introduzione	7
2 Riferimenti normativi e documentazione di riferimento.....	9
2.1 Criteri di verifica delle opere civili secondo D.M. 14 /01/ 2008.....	11
2.1.1 Criteri di dimensionamento.....	11
2.2 Elaborati di riferimento	14
3 Software utilizzati.....	16
4 Inquadramento generale delle opere di prima fase della stazione	18
4.1 Fasi realizzative della stazione.....	20
4.2 Esecuzione dei pannelli di diaframmi.....	20
4.2.1 Breve descrizione della Tecnologia.....	21
4.3 Esecuzione dei consolidamenti.....	25
5 Inquadramento Geologico – Geotecnico	29
5.1 Descrizione delle litologie.....	29
5.2 Indagini previste	30
5.3 Caratterizzazione geotecnica	32
6 Caratteristiche dei materiali	71
6.1 Paratie di prima fase	71
6.2 Strutture interne.....	72
6.3 Classi di esposizione Ambientali.....	73
7 Paratie di prima fase.....	76
7.1 Analisi numeriche e verifiche di sicurezza.....	76
7.2 Descrizione del modello di calcolo	76
7.3 Definizione e combinazioni delle azioni.....	90
7.3.1 Combinazioni delle azioni.....	90
7.3.2 Definizione delle azioni sismiche.....	92
7.3.3 Spinte dei terreni	96
7.3.4 Spinta dell'acqua di falda	98
7.3.5 Azioni accidentali.....	98
7.3.6 Incremento sismico di spinta dei terreni	98
7.3.7 Azioni inerziali delle strutture in fase sismica	99

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

7.4	Risultati delle analisi.....	100
7.4.1	Analisi STR_Statica - A1+M1+R1	101
7.4.2	Analisi GEO_Statica – A2+M2+R2.....	107
7.4.3	Analisi STR_SLV – 1+M1+R1	109
7.4.4	Analisi GEO_SLV – 1+M2+R2	110
7.4.5	Analisi STR_SLD – 1+M1+R1	112
7.4.6	Analisi GEO_SLD – 1+M2+R2	113
7.5	Verifiche di sicurezza	114
7.5.1	Criteri di verifica per gli Stati limite ultimi (SLU).....	114
7.5.1.1	Verifiche SLU di tipo STR.....	114
7.5.1.2	Verifiche SLU di tipo GEO	117
7.5.2	Criteri di verifica per gli Stati limite di esercizio (SLE)	119
7.5.2.1	Verifiche delle tensioni di esercizio.....	119
7.5.2.2	Verifiche di fessurazione	120
7.5.3	Descrizione degli elementi resistenti	121
7.5.4	Risultati delle verifiche.....	122
7.5.4.1	Verifiche SLU di tipo strutturale	123
7.5.4.2	Verifiche SLU di tipo geotecnico.....	124
7.5.4.3	Verifiche agli SLE	131
7.5.4.4	Verifica dei puntoni metallici provvisori.....	132
7.5.4.5	Verifica di carico limite dei diaframmi centrali.....	133
8	Strutture interne	136
8.1	Metodi di analisi.....	137
8.1.1	Le fasi dell’analisi	137
8.1.2	Il modello di calcolo strutturale	142
8.2	Analisi dei carichi.....	148
8.2.1	Peso proprio strutture (caso di carico Ggk).....	148
8.2.2	Sovraccarichi permanenti (caso di carico Gk).....	148
8.2.3	Sovraccarichi accidentali (caso di carico Qk).....	149
8.2.4	Carico sismico (caso di carico Esk).....	150
8.2.5	Tabella riassuntiva applicazione carichi	152
8.3	Applicazione dei carichi al modello numerico.....	153
8.3.1	Definizione dei tipi di carico	153

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

8.3.2	Definizione dei casi di carico	158
8.3.3	Combinazioni di carico	161
8.4	Risultati delle analisi e verifiche	163
8.4.1	Verifiche degli elementi strutturali	164
8.4.1.1	Contropareti.....	164
8.4.1.2	Pareti interne	170
8.4.1.3	Solai.....	175
8.4.1.4	Travi miste acciaio calcestruzzo	183
8.4.1.5	Travi perimetrali.....	188
8.4.1.6	Chiavi di taglio	192
8.4.1.7	Puntoni	195
8.4.1.8	Puntoni provvisionali.....	204
8.4.1.9	Travi di collegamento diaframmi interni.....	208
8.4.1.10	Platea di fondazione	217
8.4.1.1	Verifica Stato Limite di Danno	221
8.4.2	Verifiche di stabilità	222
8.4.2.1	Verifiche al galleggiamento	222
9	Paratie di secondo ordine	224
9.1	Verifiche delle opere provvisionali di imbocco.....	225
9.1.1	Modello di calcolo.....	225
9.1.2	Analisi numeriche	225
9.1.3	Criteri di verifica.....	226
9.1.3.1	Stati limite ultimi.....	227
9.1.3.2	Stati limite di esercizio	229
9.1.3.3	Verifica dei trefoli	229
9.1.3.4	Stati limite di progetto	230
9.1.4	Definizione dei carichi agenti.....	230
9.1.4.1	Spinta del Terreno	230
9.1.4.2	Carico accidentale	231
9.1.4.3	Carico sismico	231
9.1.5	Verifiche strutturali dei diaframmi	234
9.1.5.1	Stato limite di esercizio.....	235
9.1.5.2	Stato limite ultimo	237

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

	<i>Verifiche a Pressoflessione</i>	237
	<i>Verifiche a taglio</i>	241
9.1.6	Verifiche strutturali dei tiranti	242
9.1.6.1	Verifica dei trefoli	243
9.1.6.2	Verifica dell’ancoraggio	243
9.1.7	Verifiche SLU di tipo geotecnico	246
9.1.7.1	Verifica collasso per rotazione intorno a un punto dell’opera	246
9.1.7.2	Verifica degli ancoraggi allo sfilamento	248
10	Valutazione dei cedimenti sulle Preesistenze	249
10.1	Caratteristiche degli scavi	249
10.2	Preesistenze interferenti con gli scavi	249
10.3	Valutazione del profilo di subsidenza di scavi a cielo aperto	251
10.3.1	Effetti di bordo sulla distribuzione degli spostamenti indotti dagli scavi a cielo aperto. 253	
10.4	Risultati delle analisi dei cedimenti.....	256
10.4.1	Edificio 975.....	256
11	Pozzi di ventilazione.....	259

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

1 Introduzione

Nella presente relazione si analizzano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione della Stazione “Annunziata”, 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 (si veda Figura 1). La posizione geografica dell’opera è rintracciabile planimetricamente dalla seguenti coordinate E = 194726.88 N = 532116.75 (relative al Sistema Ponte). La quota assoluta del piano campagna allo stato attuale è di circa 70 m s.l.m.



Figura 1 - Localizzazione geografica dell’area della stazione

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

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

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

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

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

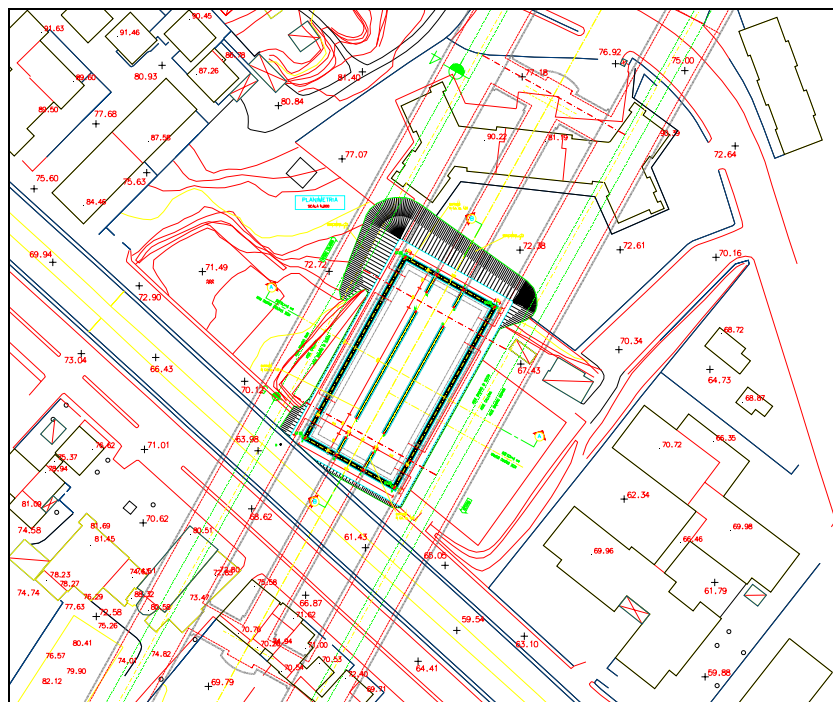


Figura 2- Planimetria generale della Stazione Annunziata

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

2 Riferimenti normativi e documentazione di riferimento

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

- Circolare 02/02/2009 “ Istruzione C.S.LL.PP. per l’applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 14 Gennaio 2008
- D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni” (pubblicato sulla G.U. n.29 –Suppl. Ordinario n.30 – del 4 febbraio 2008);
- D.M. 14/09/2005 “Norme Tecniche per le Costruzioni” (pubblicato sulla G.U. n.222 del 23 settembre 2005);
- Eurocodice 8 (UNI ENV 1998 :5) “Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”.
- EC8_UNI-ENV-1998 :“Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture”;
- EC7_UNI-ENV-1997 : “Progettazione geotecnica”;
- EC3_UNI-ENV-1993 : “Progettazione delle strutture in acciaio”;
- EC2_UNI-ENV-1992 : “Progettazione Strutture in c.a.”;
- Circ. Min. LL.PP 04/07/1996 n.156AA.GG./S.T.C. “Istruzioni per l’applicazione delle Norme tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi di cui al D.M. LL.PP. 16/01/1996”.
- D.M. LL.PP. 09/01/1996: “Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche”.
- Circ. Min. LL.PP 15/10/96 n.252 “Istruzioni per l’applicazione delle Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al decreto ministeriale 09/01/1996”.
- D.M. LL.PP. 16/01/1996: “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

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

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

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

2.1.1 Criteri di dimensionamento

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

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

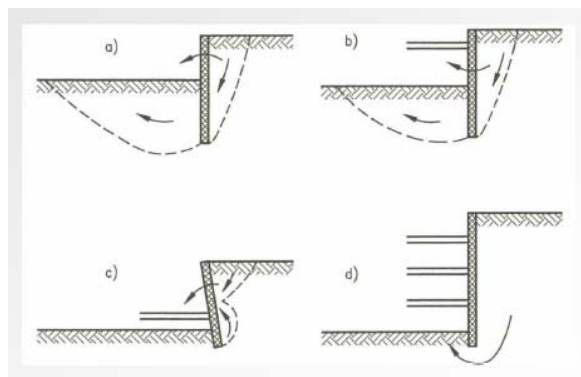


Figura 3– Meccanismi di collasso di una paratia (atto di moto rigido)

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

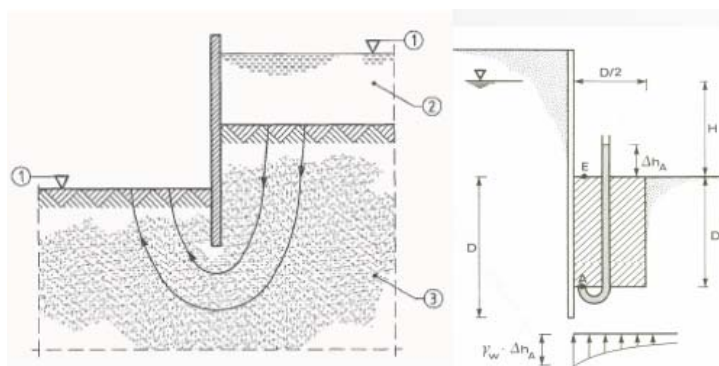


Figura 4- Esempio di verifica a sifonamento del fondo scavo

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

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

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

Azione	Coeff. Parzia 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 “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

**COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE
“ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**
Codice documento
 ST0212_F0

<i>Rev</i>	<i>Data</i>
F0	20-06-2011

COLLEGAMENTI SICILIA													
48	STAZIONI - OPERE CIVILI												
48	Stazione Annunziata												
48	Generale - Opere civili												
48	Gallerie di Stazione - Carpenterie (TAV 1/2)	CG0800	P	BZ	D	S	CS	2S	GO	00	00	00	01
48	Gallerie di Stazione - Carpenterie (TAV 2/2)	CG0800	P	BZ	D	S	CS	2S	GO	00	00	00	02
48	Gallerie di Stazione - Scavi	CG0800	P	SZ	D	S	CS	2S	GO	00	00	00	01
48	Gallerie di Stazione - Consolidamenti (TAV 1/2)	CG0800	P	SZ	D	S	CS	2S	GO	00	00	00	02
48	Gallerie di Stazione - Consolidamenti (TAV 2/2)	CG0800	P	SZ	D	S	CS	2S	GO	00	00	00	03
48	Opere sostegno scavi stazione - Planimetria e sezioni costruttive	CG0800	P	P9	D	S	CS	2S	GO	00	00	00	01
48	Opere si sostegno scavi stazione - Sviluppata e particolari costruttivi	CG0800	P	SZ	D	S	CS	2S	GO	00	00	00	04
48	Piante e sezioni strutturali - Carpenterie (TAV 1/2)	CG0804	P	BA	D	S	CS	2S	GO	00	00	00	01
48	Piante e sezioni strutturali - Carpenterie (TAV 2/2)	CG0804	P	BZ	D	S	CS	2S	GO	00	00	00	01
48	Inquadramento geologico	CG0800	P	P7	D	S	CS	2S	GO	00	00	00	01
48	Monitoraggio paratie	CG0800	P	SZ	D	S	CS	2S	GO	00	00	00	05

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

3 Software utilizzati

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

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

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

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

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

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

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

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

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

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

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

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

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

4 Inquadramento generale delle opere di prima fase della stazione

La stazione ferroviaria Annunziata è prevista in corrispondenza della Pk 9+429.329 del binario dispari e della Pk 9+478.093 del binario pari. Per la localizzazione geografica dell'opera si rimanda allo specifico capitolo.

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 variabili tra 37.6m e 38.6m e lunghezze di infissione di 20.0m, e dai solai interni che, in fase provvisoria, esplicano la necessaria azione di contrasto dei diaframmi mentre, in fase definitiva, costituiscono gli orizzontamenti delle strutture interne di stazione.

All'interno dello scavo, per ridurre le luci libere dei solai, sono previsti due allineamenti di diaframmi in c.a. dello spessore di 80cm e della lunghezza totale di 70.6m 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.

Per assicurare le adeguate condizioni di stabilità, l'ultimo step di ribasso viene suddiviso in due fasi previa la messa in opera di puntelli metallici provvisori $\Phi 1100$ sp.20mm ad interasse 6.00m.

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

a) **Opere di prima fase:** che consistono in:

- Opere di consolidamento dei terreni costituite dai tamponi eseguite con la tecnologia del jet-grouting, con maglia 0.90 m x 0.80 m e diametro della colonne pari a 100cm. Gli interventi di impermeabilizzazione/ consolidamento consistono nei tamponi all'ingresso previsti a tergo dei pannelli interferenti lo scavo della fresa. Tali tamponi

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

sono propedeutici all’arrivo della fresa, ed hanno una estensione longitudinale pari a circa 10.0m.

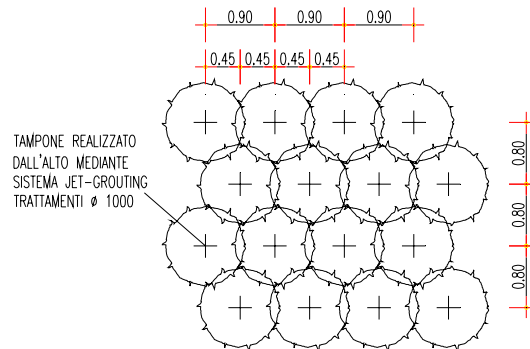


Figura 5- Maglia jet-grouting

- Opere di 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 “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

4.1 Fasi realizzative della stazione

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

1. Acquisizione delle aree di cantiere (eventuale deviazione del traffico locale) e installazione del cantiere. In questa fase si provvederà allo spostamento di servizi pubblici interferenti, eventualmente, con gli scavi;
2. consolidamento dall'alto delle gallerie adiacenti alla stazione;
3. protezione alveo fiumara
4. scavo di ribasso fino alla quota prevista per l'esecuzione dei diaframmi in c.a.;
5. realizzazione delle travi guida per l'esecuzione dei diaframmi in c.a.;
6. esecuzione dei diaframmi, di larghezza utile 250cm e di spessore 150cm (pannelli perimetrali) e 80cm (pannelli centrali), con scavo, posa in opera di armatura e getto del calcestruzzo;
7. realizzazione delle travi di testata dei diaframmi;
8. passaggio della fresa;
9. scavo della stazione con metodo Top-Down: getto dei solai e scavo per singoli ribassi fino alla quota solettone di fondo e getto delle contropareti in risalita;
10. getto delle solette di fondo in c.a.: prima del getto del solettone di fondo si dovrà realizzare uno strato di cls magro di pulizia; successivamente verrà posta in opera l'impermeabilizzazione;
11. realizzazione delle contropareti perimetrali, previa posa dell'impermeabilizzazione, e delle strutture interne;
12. ripristino della viabilità locale.

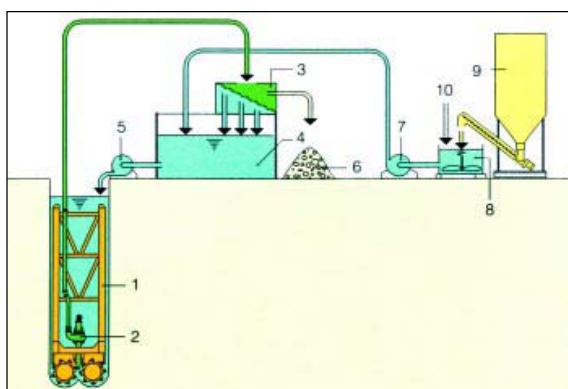
4.2 Esecuzione dei pannelli di diaframmi

Come anticipato nei precedenti capitoli, la stazione in esame è interamente realizzata con il sistema “Top-down”; il sostegno delle pareti dello scavo, lungo tutto il perimetro della stazione, è ottenuto con diaframmi in calcestruzzo armato, di spessore 1,5 m e lunghezza variabile tra 57.6m e 58.6m, realizzati con la tecnologia dell'idrofresa. Di seguito viene riportata una breve descrizione della tecnologia impiegata.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

4.2.1 Breve descrizione della Tecnologia

In sintesi, lo scavo con idrofresa prevede la rimozione continua del terreno dal fondo dello scavo 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 6- 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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 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.

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

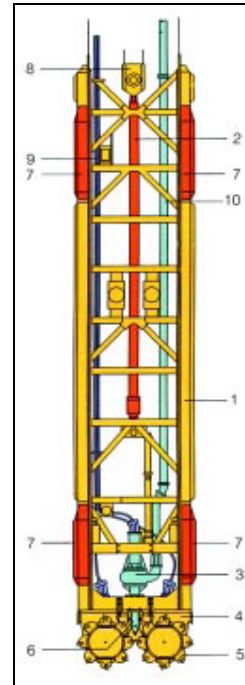


Figura 7- Schematizzazione del Cutter

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.

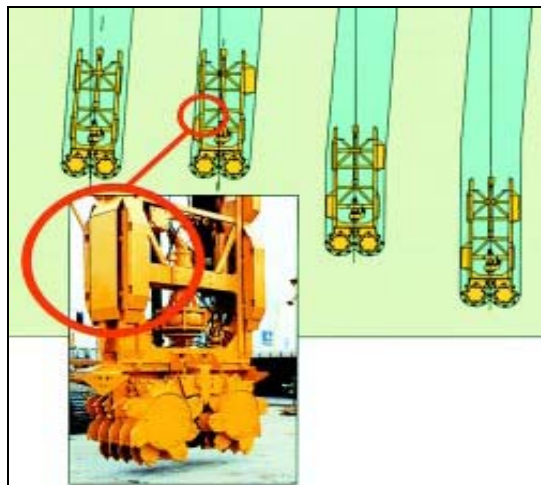


Figura 8- Controllo della verticalità

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<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 “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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”) autoperforante.

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

uso della rotopercolazione che però richiede attrezzature più ingombranti.

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

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

Iniezione in risalita

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

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

Miscela di iniezione

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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 “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<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 dai Depositi alluvionali, dalla Serie gessoso solfifera (Calcarei brecciati e argille gessose) e dal San Pier Niceto argilloso.

Depositi alluvionali: si tratta prevalentemente di depositi sabbioso-ghiaiosi olocenici di fondo alveo. L'incisione operata dai corsi d'acqua determina la diretta sovrapposizione di tali depositi sul substrato cristallino-metamorfico. Gli spessori massimi dedotti da affioramento e sondaggi non è superiore alla decina di metri.

Serie gessoso solfifera (Calcarei brecciati e Argille gessose): si tratta delle evaporiti relative alla crisi di salinità che ha interessato il Bacino Mediterraneo durante il Messiniano.

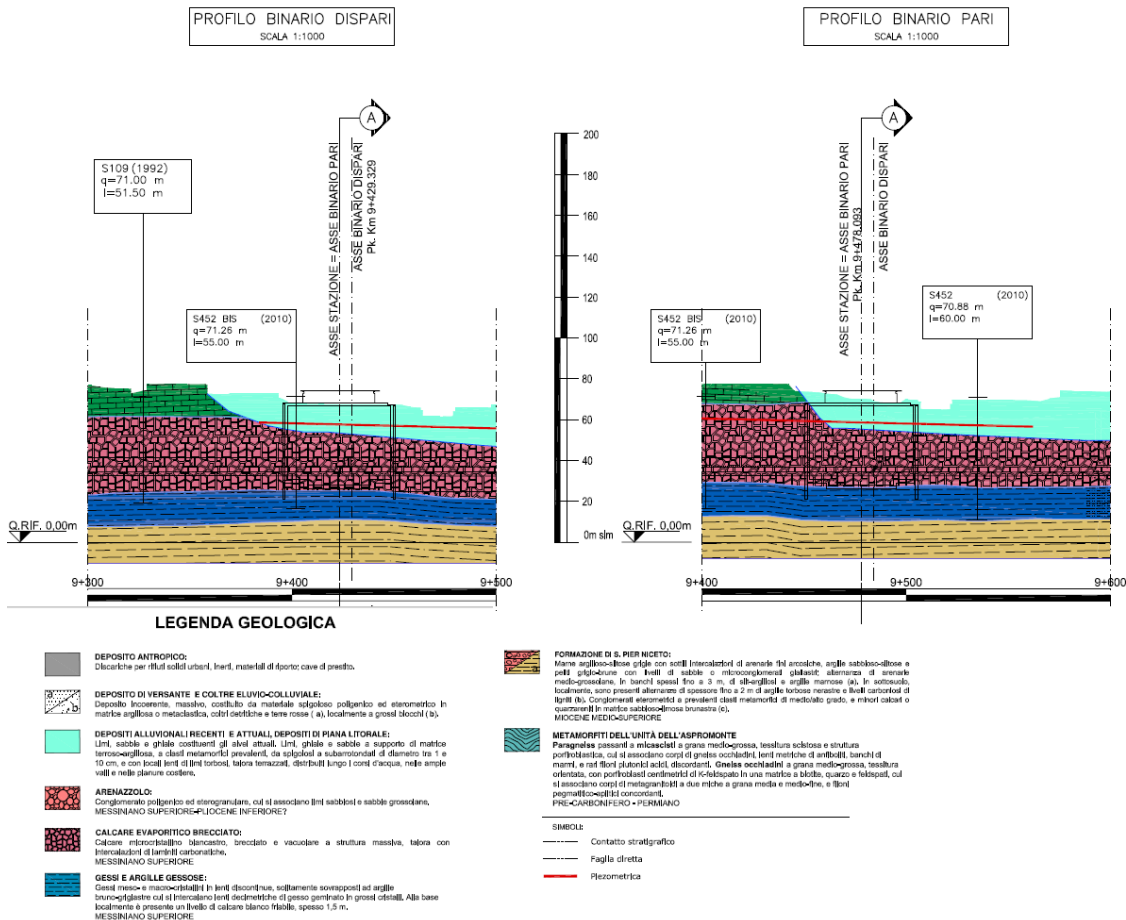
La litofacies evaporitica è caratterizzata da gessi e argille gessose, prevalentemente alla base della successione, e da calcari brecciati e vacuolari affioranti discontinuamente. L'appoggio della formazione è sempre sulle varie litofacies della Formazione di S. Pier Niceto.

La formazione del San Pier Niceto è costituita essenzialmente da due facies distinte, una basale conglomeratica ed arenacea e l'altra superiore di natura prevalentemente argillosa.

Alla base il conglomerato è costituito da grossi ciottoli poligenici arrotondati e ghiaie di colore marrone-avana in una matrice arenacea rossastra con sabbia sempre più fine man mano che ci si sposta verso l'alto. Nella parte superiore assume l'aspetto di un ammasso roccioso che affiora estesamente in banchi.

Superiormente la porzione arenacea lascia il posto a strati limo argillosi di potenza metrica.

La falda risulta interferente con le opere e localizzabile a profondità di circa 10m da p.c. (si faccia riferimento a ST0210- "Inquadramento Geologico").



5.2 Indagini previste

I sondaggi di riferimento per la presente tratta sono S452 e S452bis.

Data l'esiguità delle prove, si è scelto di tenere conto anche delle indagini effettuate in altre tratte.

Localmente non ci sono indagini che raggiungono i primi 30 m di profondità per la caratterizzazione sismica del suolo.

Le sismiche a rifrazione effettuate in località La Giostra (SR5-S454) in un contesto litostratigrafico simile forniscono una categoria di suolo variabile tra B ($Vs30=410m/s$) e C ($Vs30=300m/s$).

Le prove localmente utilizzate nella caratterizzazione sono:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Depositi alluvionali

Le prove localmente utilizzate nella caratterizzazione sono:

- prove SPT (S452, S452bis)
- prove sismiche a rifrazione (S454-SR5)
- prove di laboratorio per la determinazione delle granulometrie e delle caratteristiche fisiche (S452)

Calcri brecciati

Data l'esiguità dei sondaggi che caratterizzano la presente formazione nella tratta in esame, si fa riferimento alla caratterizzazione generale.

Le prove utilizzate nella caratterizzazione sono:

- prove pressiometriche (S451, S451bis)
- prove sismiche a rifrazione (SR5, SR10)

Argille gessose

Data l'esiguità dei sondaggi che caratterizzano la presente formazione nella tratta in esame, si fa riferimento alla caratterizzazione generale.

Le prove utilizzate nella caratterizzazione sono:

- prove pressiometriche (S432, S454)
- prove dilatometriche (S451, S452, S452bis, S455)
- prove sismiche a rifrazione (SR5, SR10)
- prove di laboratorio per la determinazione dei parametri di resistenza (I2, S434, SPP07, SPP08)
- prove di laboratorio per la determinazione dei parametri fisici.
- prove edometriche (SPP07, SPP08)

San Pier Niceto argilloso

Data l'esiguità dei sondaggi che caratterizzano la presente formazione nella tratta in esame, si fa

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

riferimento alla caratterizzazione generale.

Le prove utilizzate nella caratterizzazione sono:

- prove pressiometriche (S432, S454)
- prove dilatometriche (S459bis, S453)
- prove sismiche a rifrazione (SR2, SR3, SR5)
- prove di laboratorio per la determinazione dei parametri di resistenza (S457, S465)
- prove di laboratorio per la determinazione dei parametri fisici.

5.3 Caratterizzazione geotecnica

Per i criteri e per gli aspetti generali di caratterizzazione si rimanda a quanto riportato nella relazione Elab. CG0800PRBDSSBC8G00000001A. Per la definizione delle categorie di suolo si rimanda al medesimo elaborato ed alla relazione sismica di riferimento.

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 0.5-0.6;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

- γ_d : si ottiene un pari a 17-19 KN/m³.
- K_0 : si considera la relazione di Jaky.

z(m)	Dr(%) Sabbie e ghiaie	K_0
0-10	40-80	0.36-0.4
>10	50-60	0.38

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

z(m)	ϕ'_p (pff=0-272KPa) (°)	ϕ'_p (pff=272-350KPa) (°)	ϕ'_{cv} (°)
0-10	37-40	33-36	33-35
>10	38	35	33-35

Come parametri operativi di picco si utilizzeranno:

$$c'=0$$

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

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:

$$G_o = 39 \cdot (z)^{0.59}$$

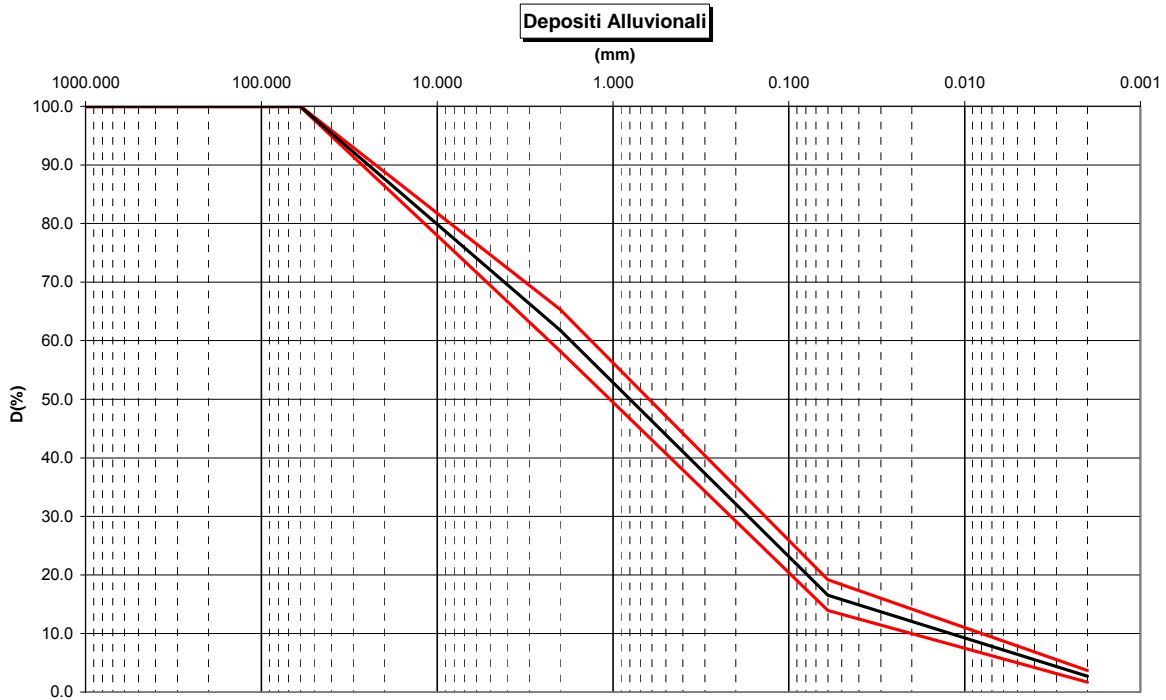
$$E_o = 93 \cdot (z)^{0.59}$$

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

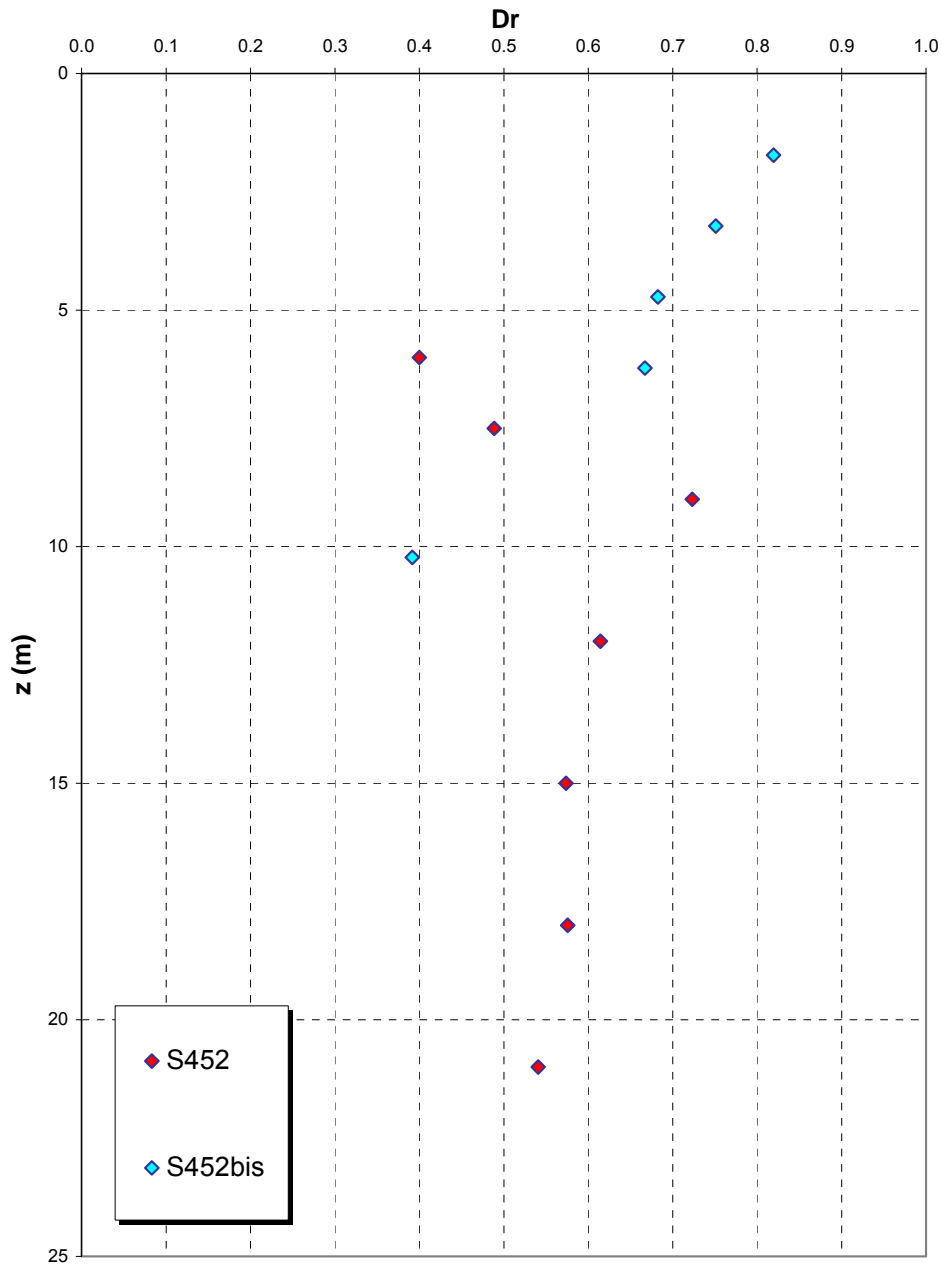
$$E = (12 \div 31) \cdot (z)^{0.59}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

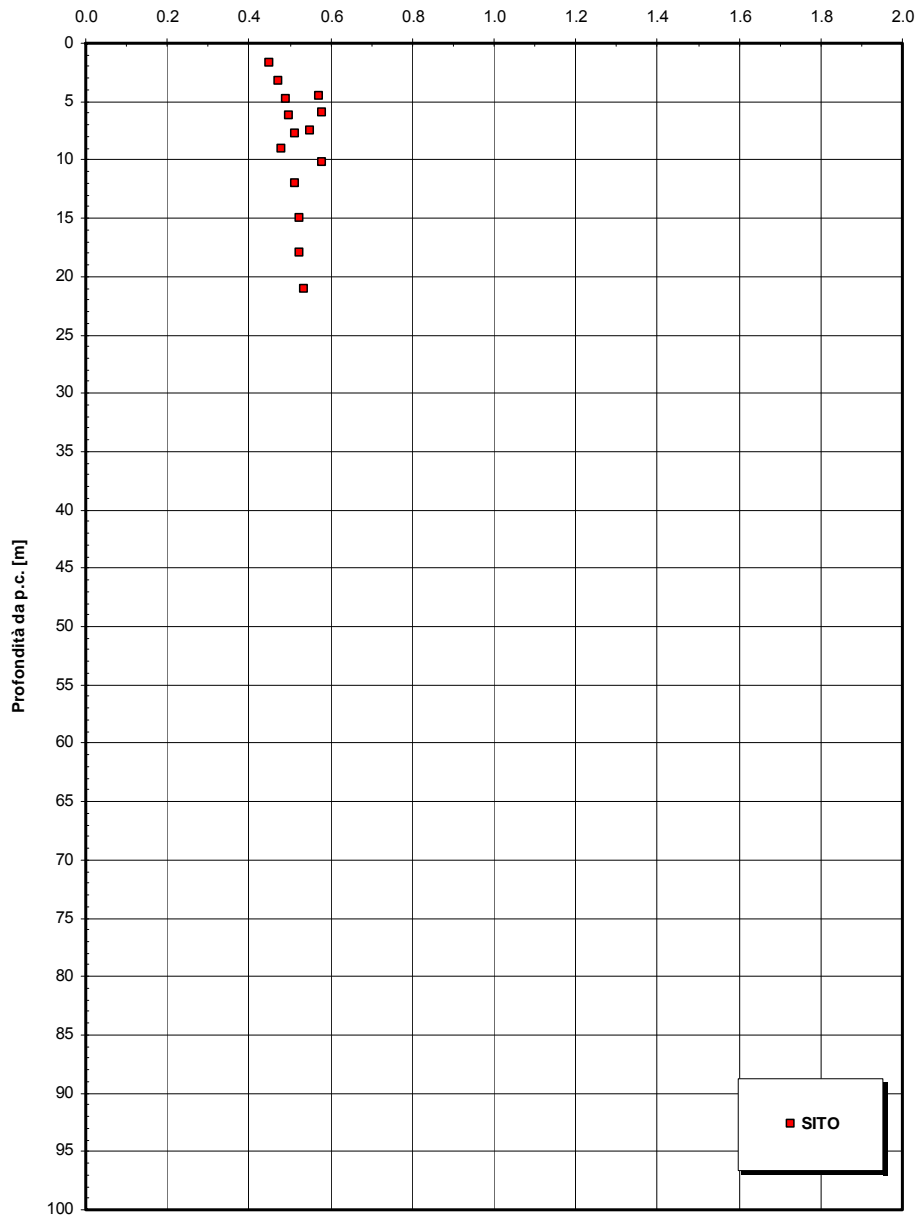
pari rispettivamente a circa 1/10÷1/5 (medie e grandi deformazioni) ed ad 1/3 (piccole deformazioni) di quelli iniziali.

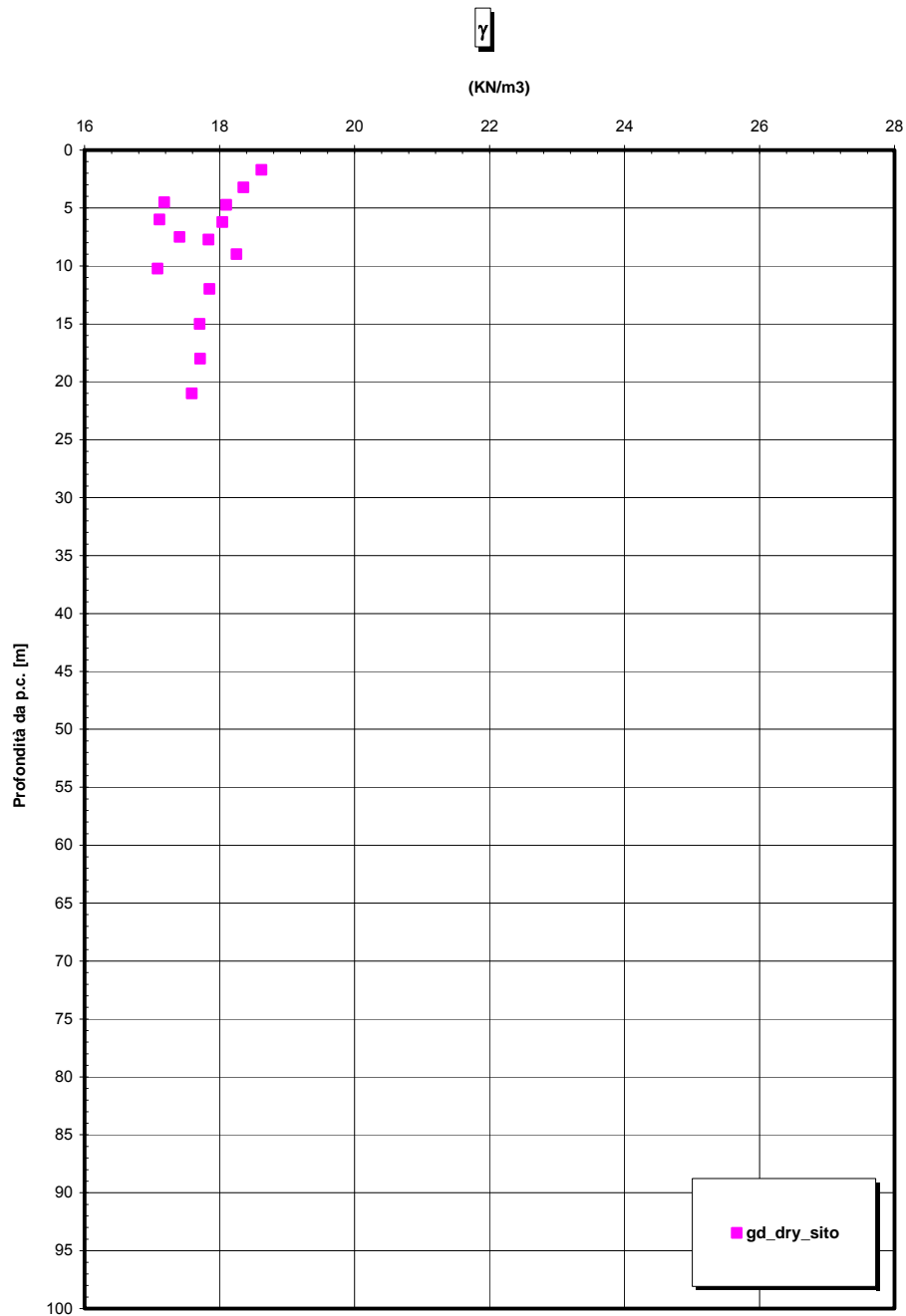


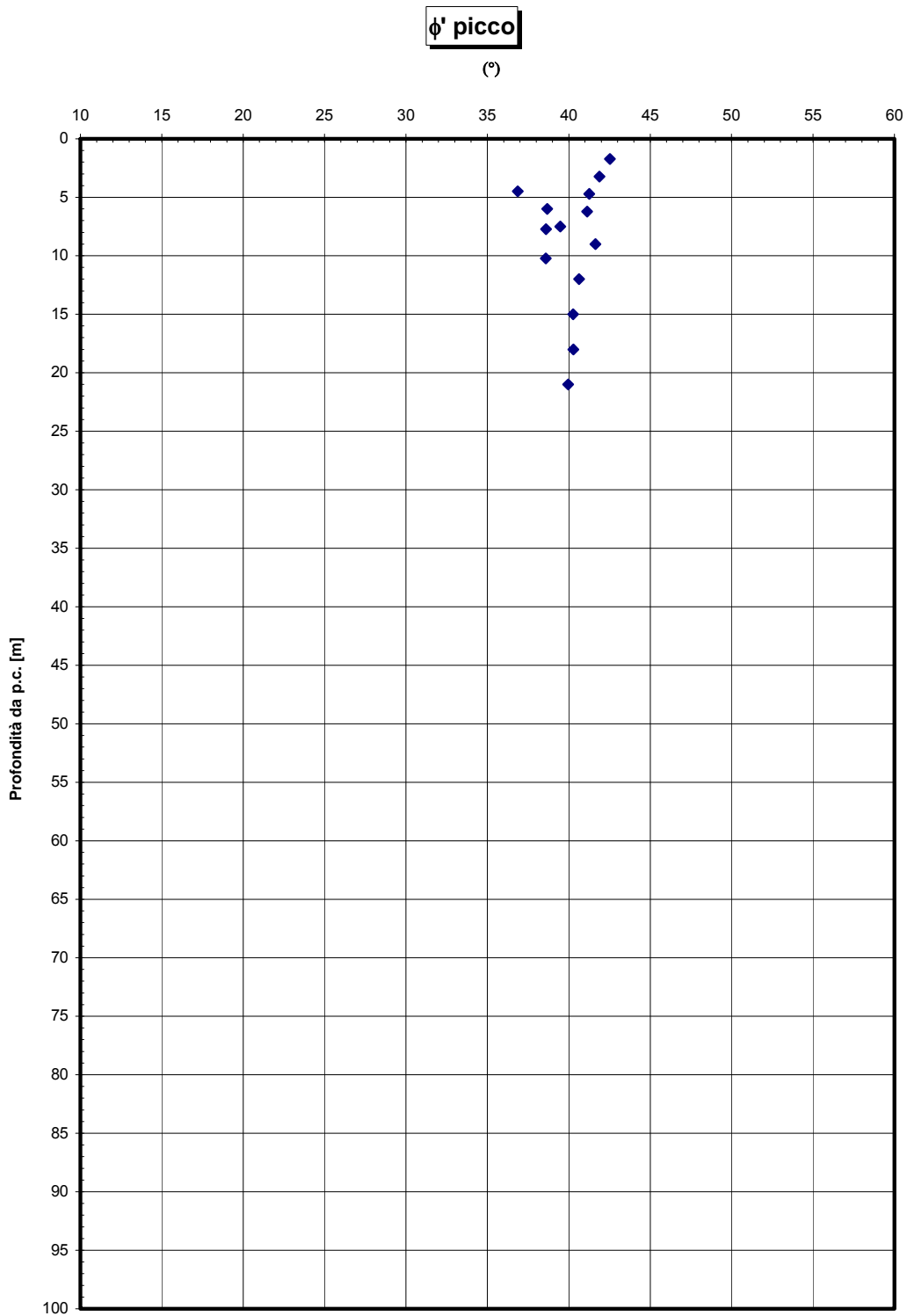
Dr Cubrinovski e Ishihahara (1999)
Componente ghiaiosa e sabbiosa
DEPOSITI ALLUVIONALI



eo

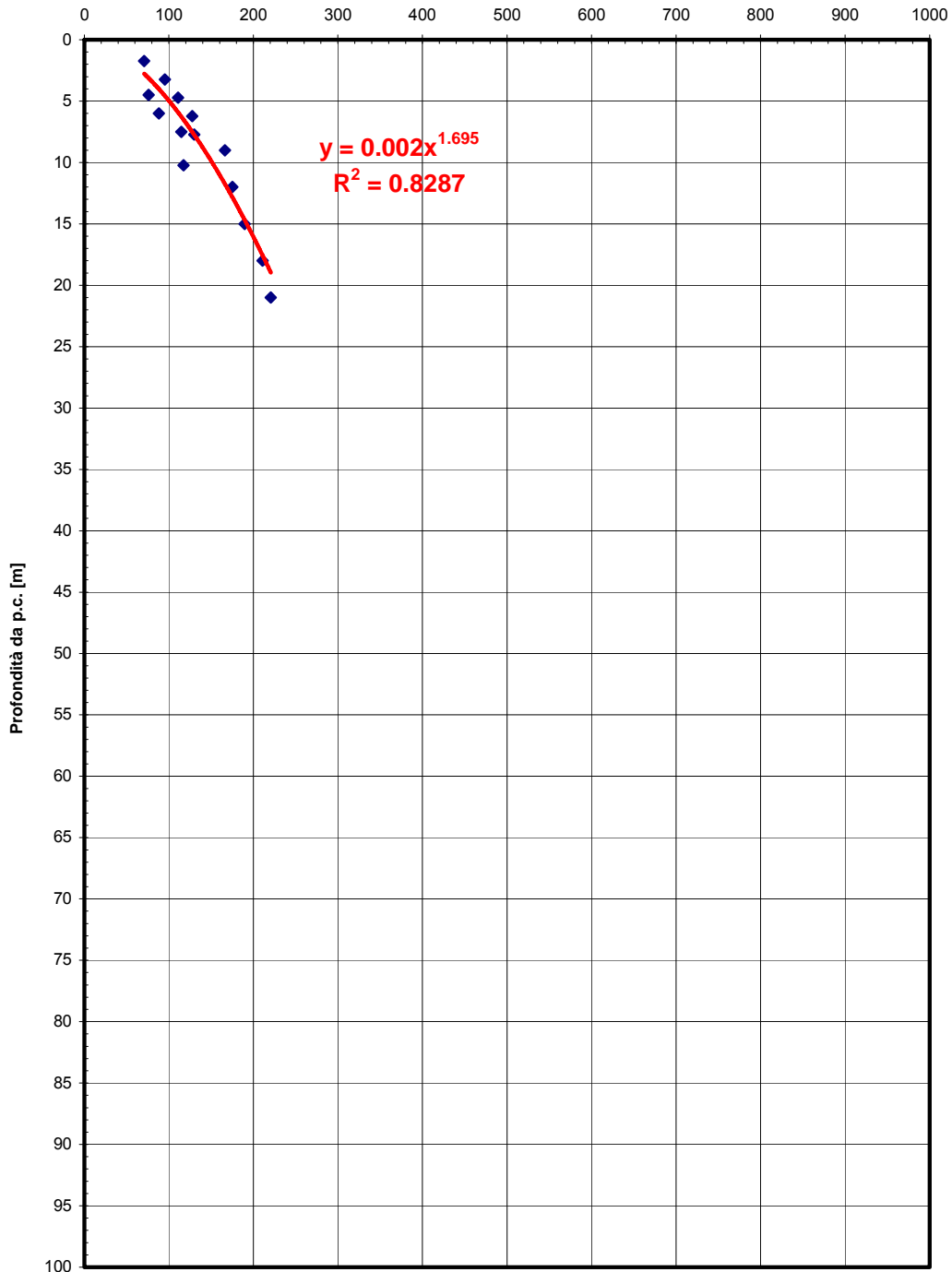






Go spt

(MPa)



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Calcri brecciati

Per le caratteristiche fisiche non avendo a disposizione prove di laboratorio si può stimare un peso di volume γ pari a 19-21 KN/m³.

Per i parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci in mancanza di rilievi su affioramenti, una stima del parametro RMR'89 risulta difficile a partire dalle informazioni ricavabili dalle stratigrafie e dalle foto delle cassette (es: RQD) anche a causa del disturbo causato dal carotaggio.

Cautelativamente quindi si pone:

$$c' = 0.020 \div 0.050 \text{ MPa}$$

$$\phi' = 25^\circ - 30^\circ$$

Per le caratteristiche di deformabilità i risultati dalle prove dilatometriche e pressiometriche effettuate negli strati più profondi (60-90m) nella nuova campagna di indagine 2010 (S451e S451bis) mostrano valori molto variabili di E' e pari a 800 ÷ 2500 MPa nel caso di scarico e ricarico e a 150 ÷ 400 MPa nel caso di primo carico. Ciò è da imputare alla struttura molto complessa della formazione costituita da calcari e brecce calcaree e da livelli di laminati marnosi.

Anche i risultati dalle prove sismiche a rifrazione risulterebbero fra loro variabili. Facendo riferimento alle stese sismiche in località Annunziata (SR10) ed in corrispondenza del sondaggio S454 (SR5) e riferendosi a profondità medie di 15-20m, si sono riscontrati velocità medie V_s rispettivamente pari a 300 (SR5) ÷ 400 m/s (SR10) circa, alle quali corrisponderebbe un modulo elastico iniziale medio G_0 pari a 250 MPa a cui corrisponde $E_0 = 600$ MPa. In zona Annunziata la formazione si presenta già a basse profondità come una breccia calcarea; in corrispondenza del sondaggio S454 (località Giostra), invece, è descritto come una sabbia limosa con inclusi clasti eterometrici. Le sismiche forniscono per gli strati un valore medio del modulo elastico ($1/10 E_0$ ed $1/3 E_0$) pari a 60 e 200 MPa.

Nella porzione più superficiale ed alterata (10-20m), si pone:

$$E' = 60 \div 200 \text{ MPa}$$

Per problemi di grandi deformazioni e caratterizzate da condizioni di primo carico (fondazioni, rilevati) si farà riferimento ai valori minimi del range mentre per opere di sostegno si farà riferimento a valori contenuti nel range.

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p>COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</p>		<p><i>Codice documento</i> ST0212_F0</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20-06-2011</p>

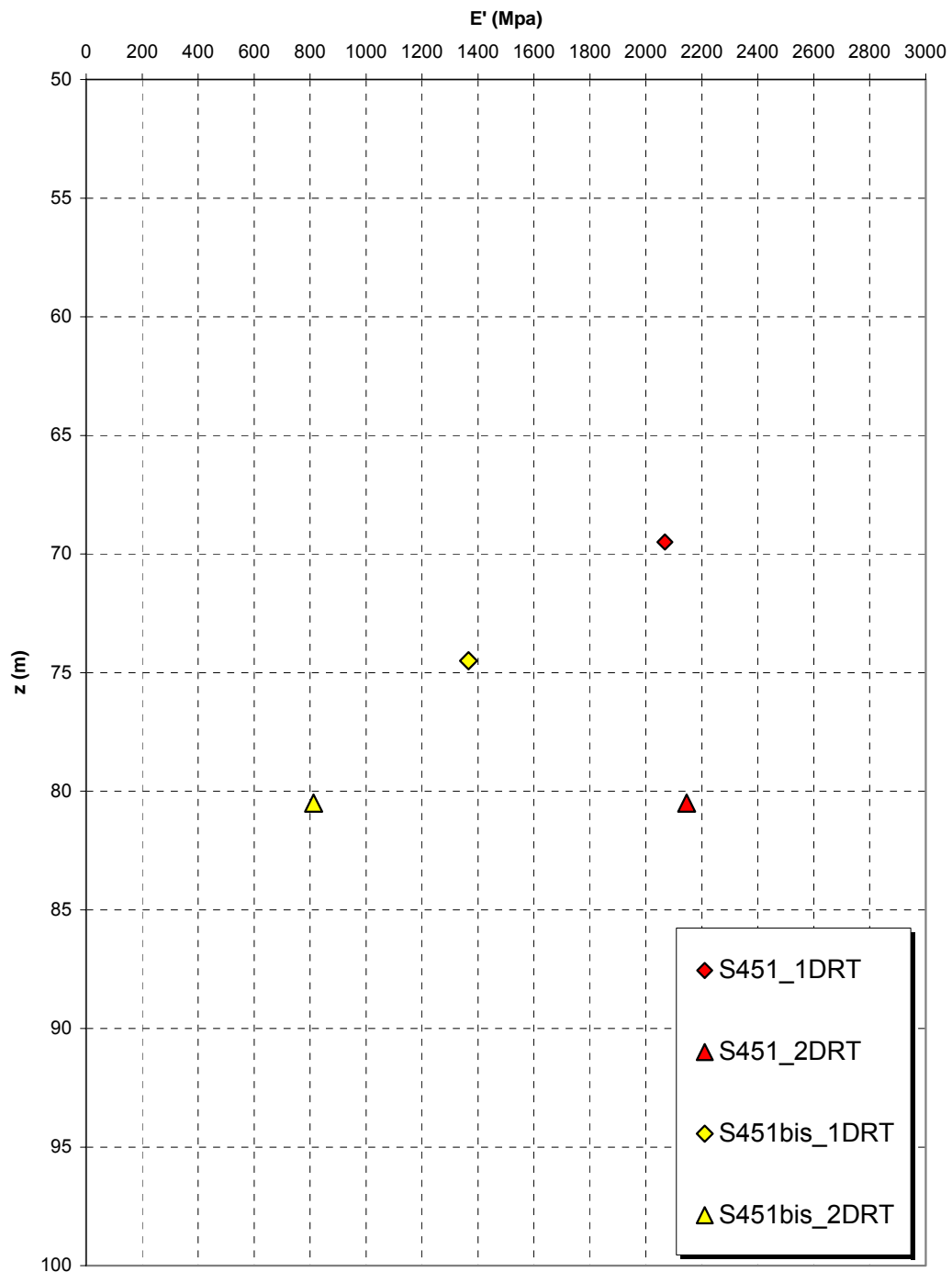
Nella parte più massiva e per problemi caratterizzati da piccole deformazioni in condizioni di scarico o scarico e ricarica (opere di sostegno) i valori operativi dei moduli potranno essere posti pari a:

$$E' = 200 \div 800 \text{ Mpa}$$

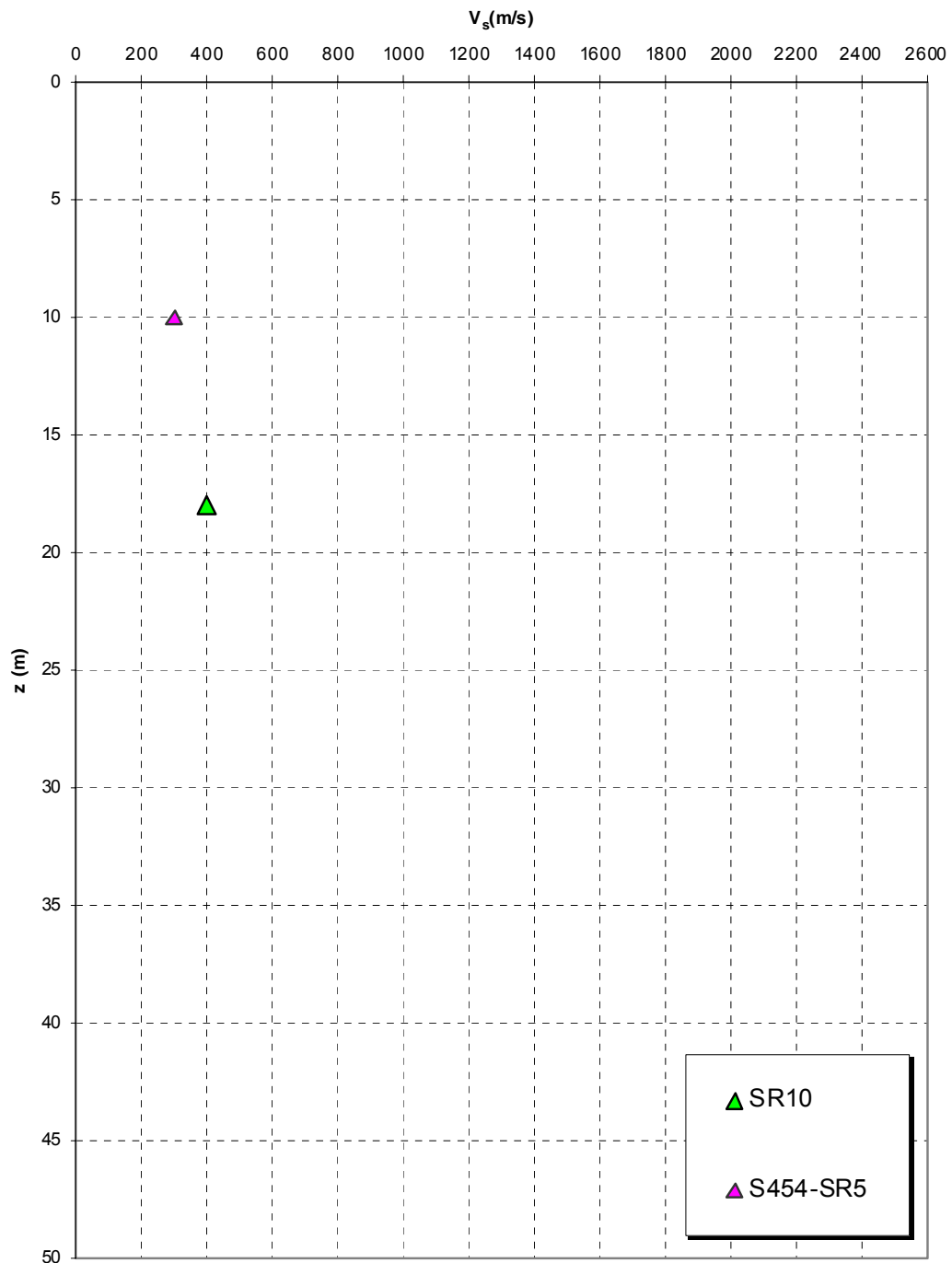
Il massimo valore è da riferire agli strati più profondi (60-90m).

Per la permeabilità le due prove Le Franc localmente previste danno un valore medio pari a circa 10^{-7} m/s.

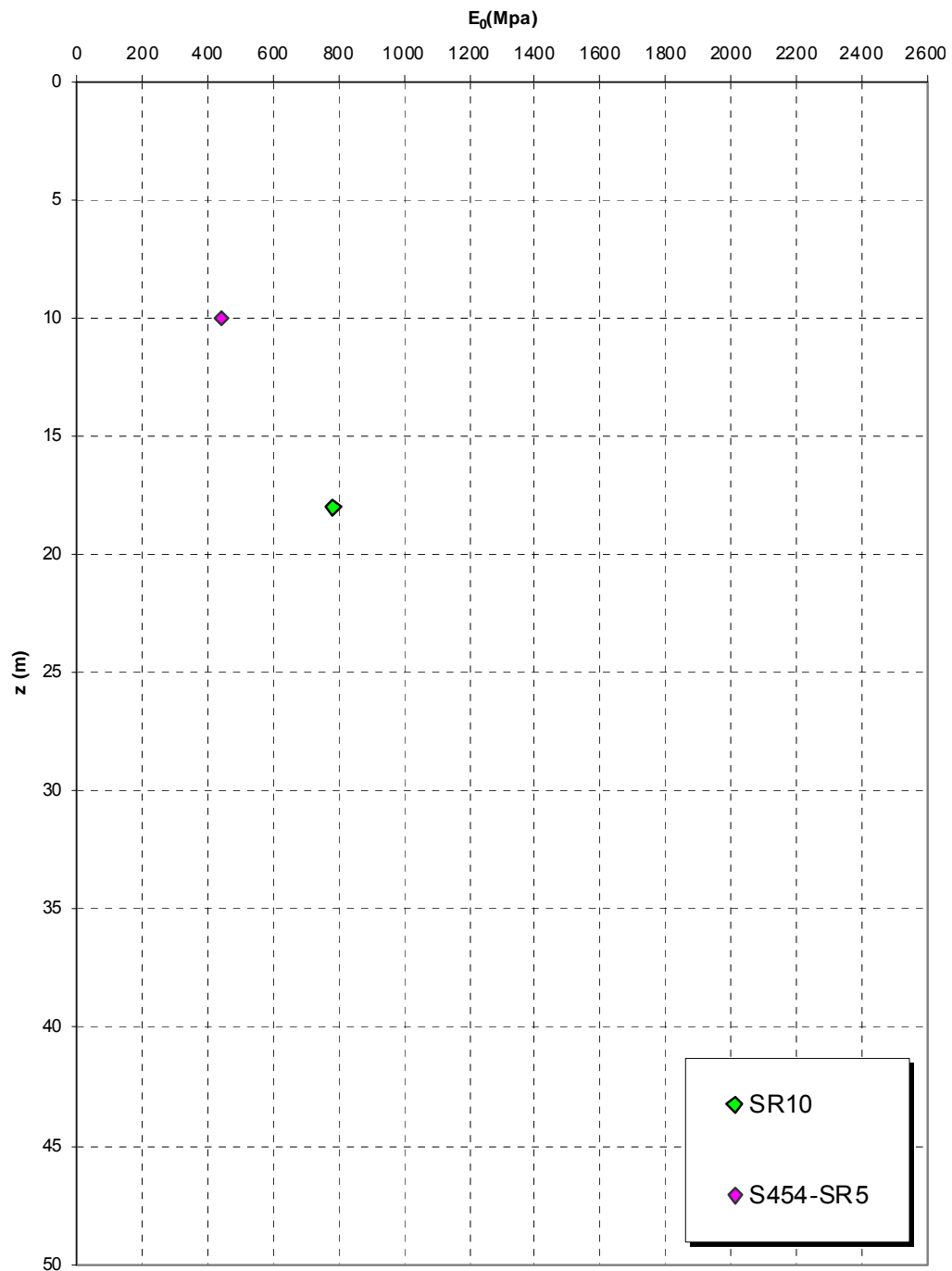
**Prove dilatometriche
CALCARI BRECCIATI**



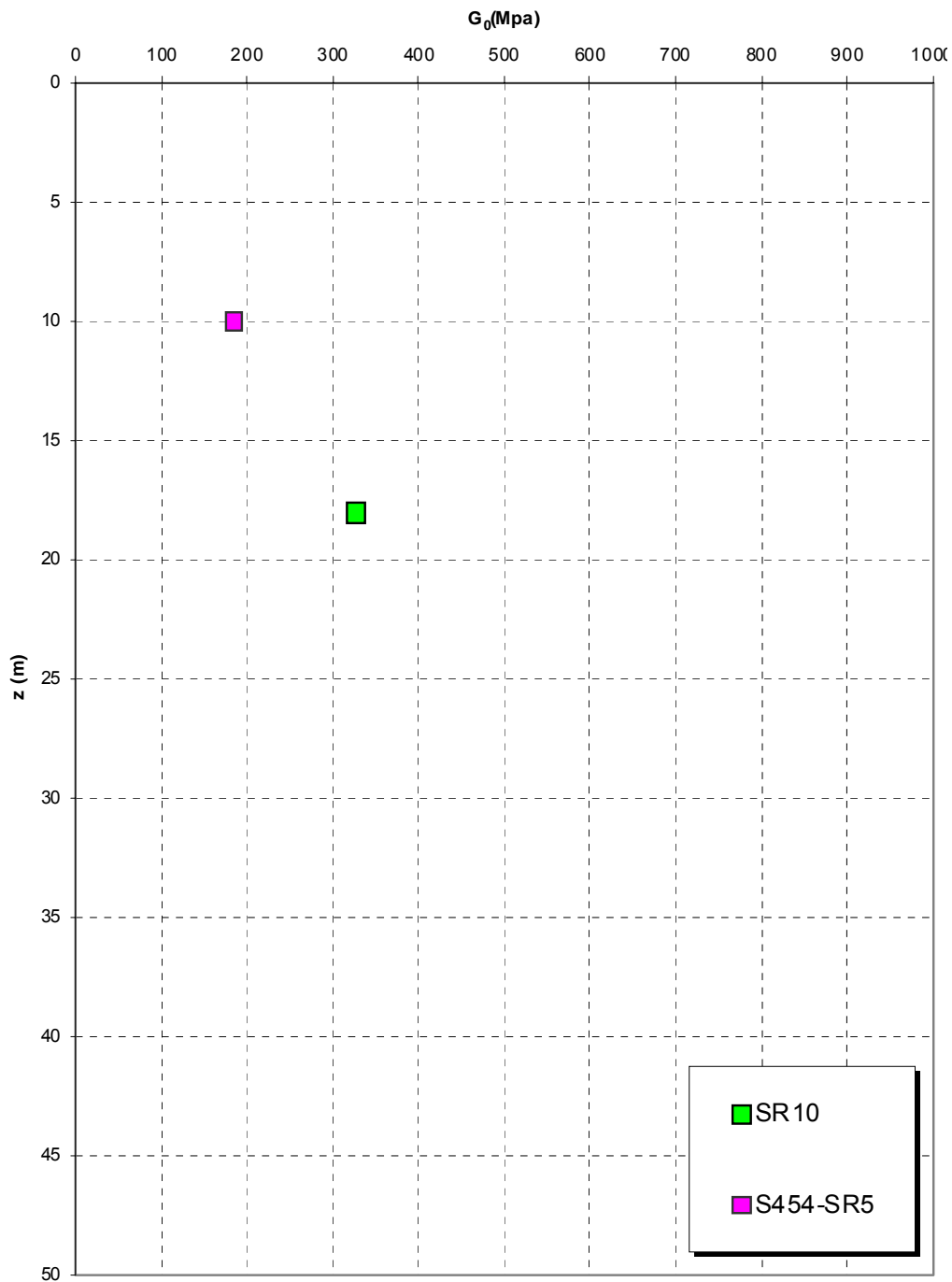
**Prove sismiche
CALCARI BRECCIATI**



**Prove sismiche
CALCARI BRECCIATI**



**Prove sismiche
CALCARI BRECCIATI**



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Argille gessose

Il fuso granulometrico mostra che le caratteristiche sono tipiche di materiali a grana fine con percentuale media di ghiaia al 14%, sabbia al 30%, limo al 43% ed argilla al 16%.

Inoltre $D_{50}=0.025\text{mm}$, $D_{60}=0.05\text{mm}$ e $D_{10}=0.001\text{mm}$

Per quanto riguarda i limiti di Atterberg si ha $W_n=33\%$, $W_l=46\%$, $W_p=24\%$, $IP=22\%$.

Dalla carta di Casagrande la posizione corrisponderebbe ad argille di medio-alta plasticità.

Per il peso di volume γ si è ottenuto un valore di $19\div 21\text{KN/m}^3$.

Per il peso di volume γ_s si è ottenuto un valore medio di 26.6KN/m^3 .

Per il peso di volume γ_d si è ottenuto un valore medio di 14.5KN/m^3 .

Per quanto riguarda la determinazione delle caratteristiche iniziali e per la determinazione delle pressioni verticali di consolidazione:

- **OCR:** è stato possibile stimare il grado di sovraconsolidazione a partire dai valori di C_u calcolati con le prove pressiometriche ottenendo un valore massimo pari a 3 tra 35 e 40m di profondità. A partire dalle prove SPT si ottiene che per $15\text{m}<z<20\text{m}$ il materiale è caratterizzato da un $OCR=2.5\div 4$ sino a 35m, diminuendo in profondità ($OCR=6.8-0.174 z$) ad un valore di OCR prossimo ad 1 per $z>35\text{m}$;
- e_o è stato stimato dalle prove di laboratorio: si è ottenuto un valore compreso tra 0.7 e 0.8;
- k_o è stimabile sulla base della seguente espressione:

$$k_o = (1 - \sin \varphi') \cdot \sqrt{OCR}$$

essendo:

φ' = angolo di attrito.

Per quanto riguarda i parametri di resistenza, si hanno a disposizione 12 prove di laboratorio su campioni prelevati fra 8m e 50m; le condizioni di rottura delle prove sono caratterizzate sia da $\sigma'_2 \neq \sigma'_3$ che da $\sigma'_2 = \sigma'_3$.

Dall'interpretazione dei dati, nell'ambito delle pressioni di prova, si ottengono i seguenti range di valori di resistenza di picco:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

	c' piccolo [Mpa]	φ' piccolo [°]	c' cv [Mpa]	φ' cv [°]	c' r [Mpa]	φ' r [°]
(σ' ₂ ≠σ' ₃)	0.010-0.050	30-20	0	28-30	0	16
(σ' ₂ =σ' ₃)	0.010-0.040	30-25	0	23	0	16

Il valore operativo è dato da:

$$c' = 0.010 \div 0.050 \text{ MPa}$$

$$\varphi' = 30^\circ \div 20^\circ$$

$$c'_{cv} = 0 \text{ MPa}$$

$$\varphi'_{cv} = 23^\circ \div 28^\circ$$

I valori più coesivi ed i corrispondenti angoli di attrito sono da associare allo strato superficiale più sovraconsolidato.

In mancanza di prove di laboratorio TXUU i valori di resistenza non drenata Cu sono stati determinati correlando i valori di N_{spt} ed i risultati delle prove pressiometriche.

In questo contesto dalle pressiometriche si ottengono valori di Cu molto alti e pari da 300-370 a 900 KPa a circa 40m di profondità, trascurando dei valori molto bassi ottenuti nella prove del sondaggio S455 effettuate in strati torbosi.

Invece dalle prove SPT si ottengono valori fra 250 e 400 KPa. Tale discrepanza con le pressiometriche può ricondursi alla elevata plasticità dell'argilla che dovrebbe suggerire l'utilizzo di un fattore moltiplicativo dei valori di N_{spt} maggiore di 5.

Comunque si può assumere:

$$Cu = 400 \text{ KPa per } z < 35\text{m}$$

$$Cu = 250 \text{ KPa per } z > 35\text{m}$$

Per quanto riguarda i parametri di deformabilità, dalle prove dilatometriche (S451, S452, S452bis) si evince un modulo medio variabile da circa 40 MPa a 100 MPa tra 17 e 53m di profondità, con valori ottenuti nel sondaggio S455 troppo bassi (15-30MPa) e da scartare perché effettuati su un livelletto torboso. I valori determinati dalle prove corrispondono al primo ciclo di carico.

Dalla prova sismica down hole effettuata nel sondaggio SPSS08 si ottengono valori di Vs molto elevati (1100 m/s) corrispondenti ad uno strato molto consistente. Il modulo G₀ corrispondente risulterebbe pari a 2300 MPa.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Dalla prove sismiche a rifrazione (S432-SR10, S454-SR5), ad una profondità media di 20-25m, si registra un valore medio di V_s pari a 400÷450m/s a cui corrisponde un valore di G_0 pari a circa 300÷400 Mpa e quindi $E_0 = 720 \div 960$ Mpa.

Vista la grande discrepanza fra i risultati e visto il numero esiguo di prove si ritiene cautelativo quindi assumere, un modulo operativo a medie - grandi deformazioni pari a:

$E' = 80 \div 160$ MPa

compatibile con

$E' = 200C_u$ nel valore minimo

$E' = 400C_u$ nel valore massimo

avendo posto un valore di $C_u = 400$ Kpa

Tale range corrisponde ad $1/10 \div 1/5$ del valore di E_0 determinato con le sismiche a rifrazione.

Le prove di laboratorio edometriche (SPP07, SPP08) per la determinazione delle caratteristiche di compressibilità e per la determinazione dei coefficienti di consolidazione non sono ritenute significative per il presunto disturbo dei campioni.

Il valore di E_{ed} medio si attesta infatti intorno a 14Mpa.

Il valore di C_c medio è pari a 0.13

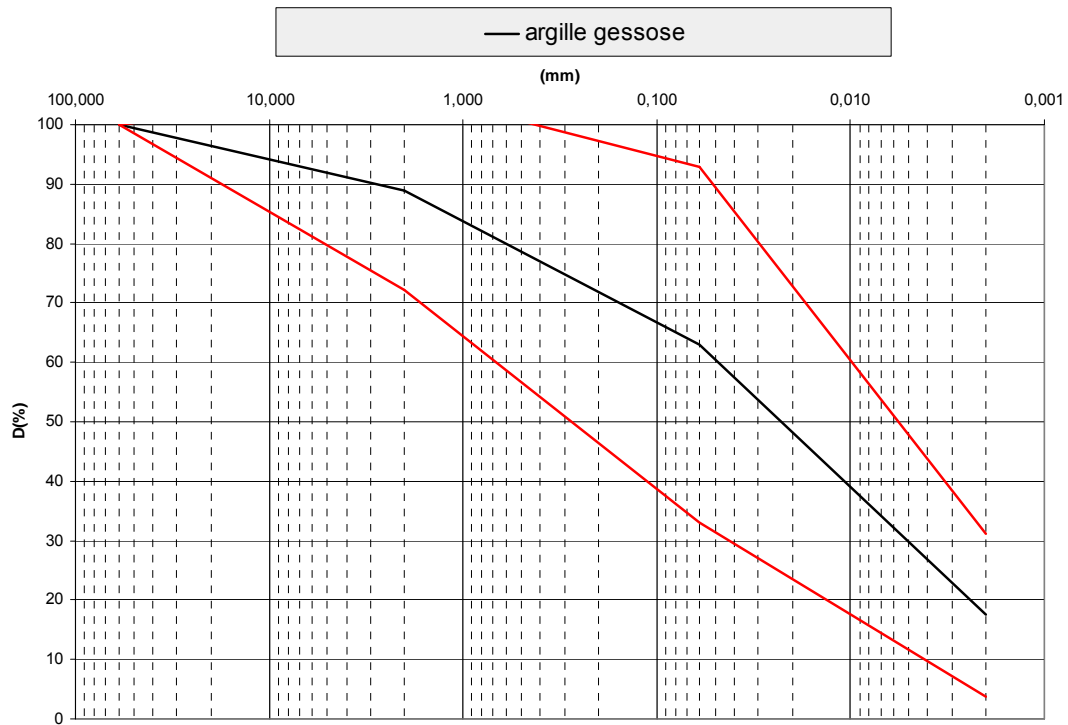
Il valore di c_s medio è pari a 0.034

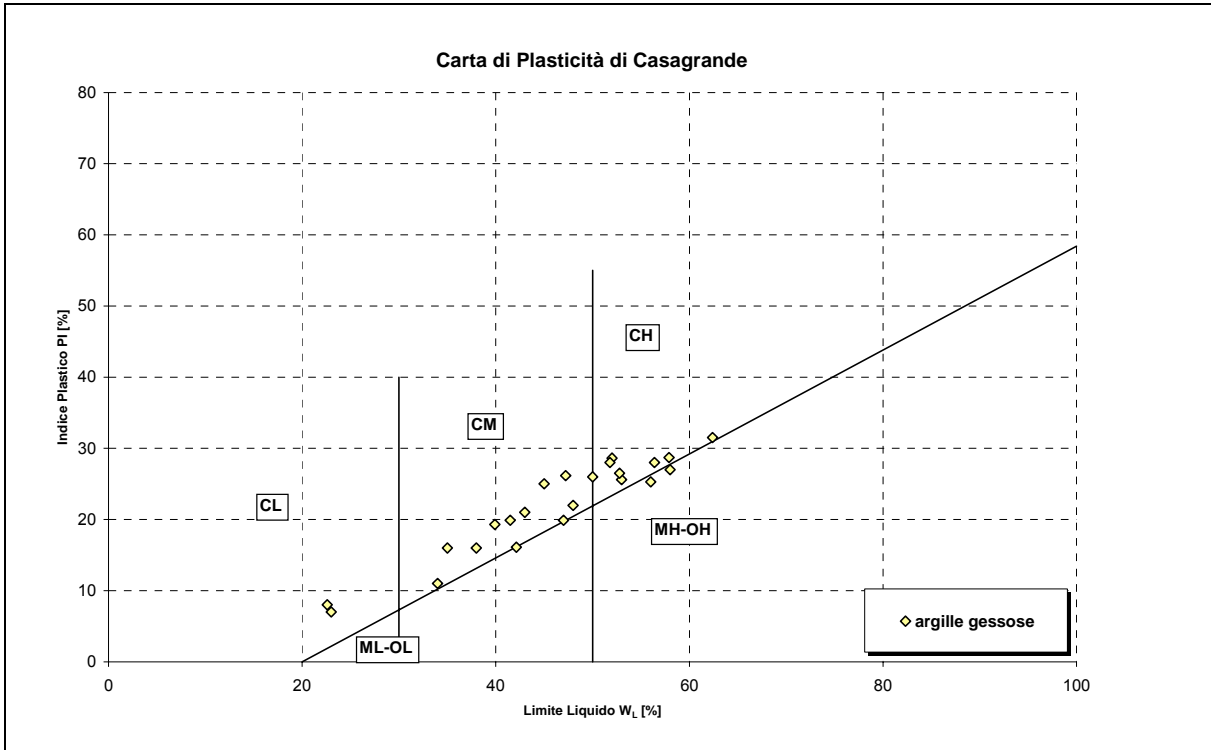
Il valore di c_v medio è pari a $1.87e^{-5}$ m²/s

Il valore di c_α medio è pari a $1.4e^{-3}$

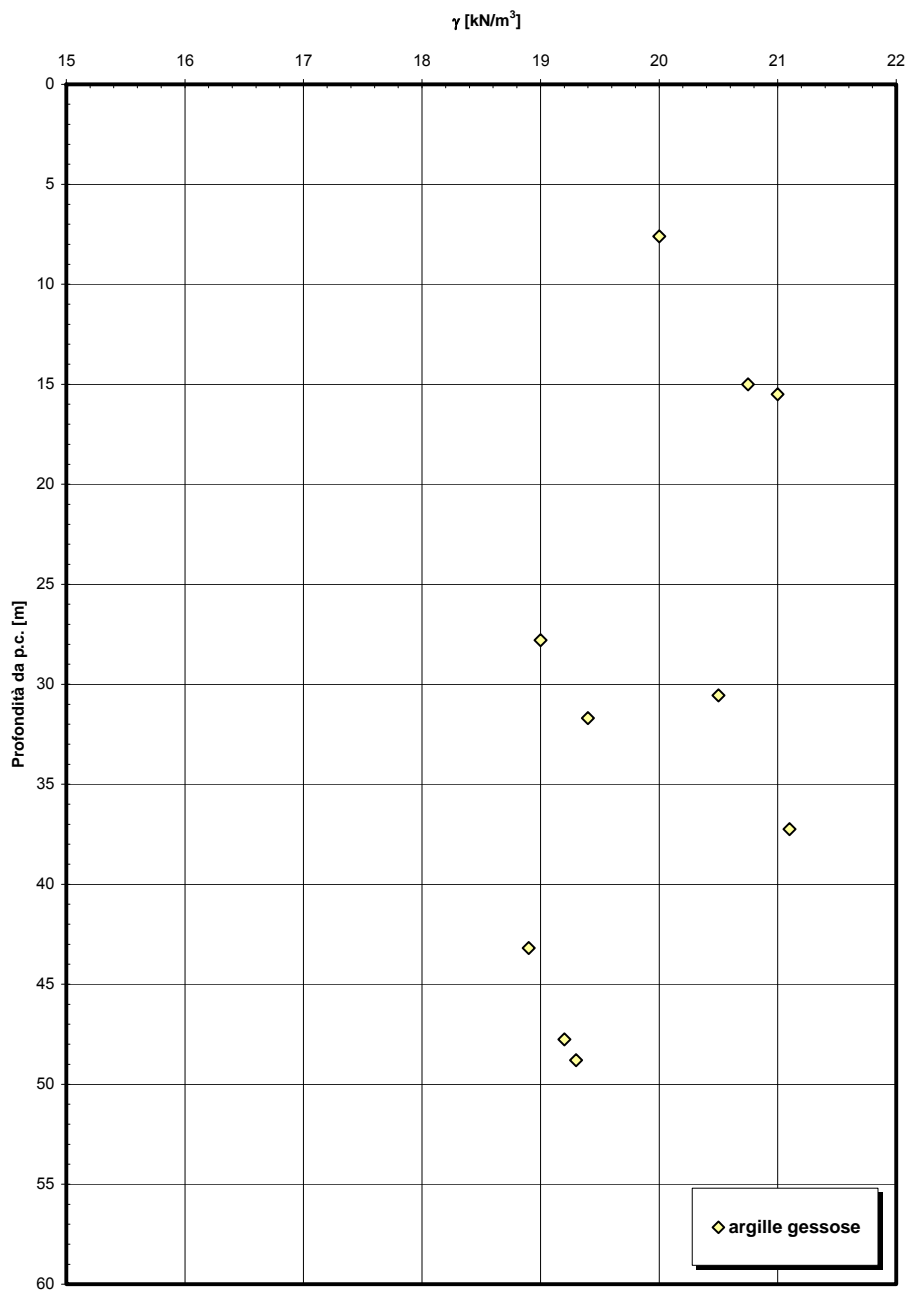
Per quanto concerne la permeabilità le prove edometriche non determinano il valore di K che quindi verrà stimato in base alla correlazione di Rocchi (2003): per e_L che assume un valore medio pari a 1.456 si ottiene un valore della permeabilità verticale di 1×10^{-8} m/sec.

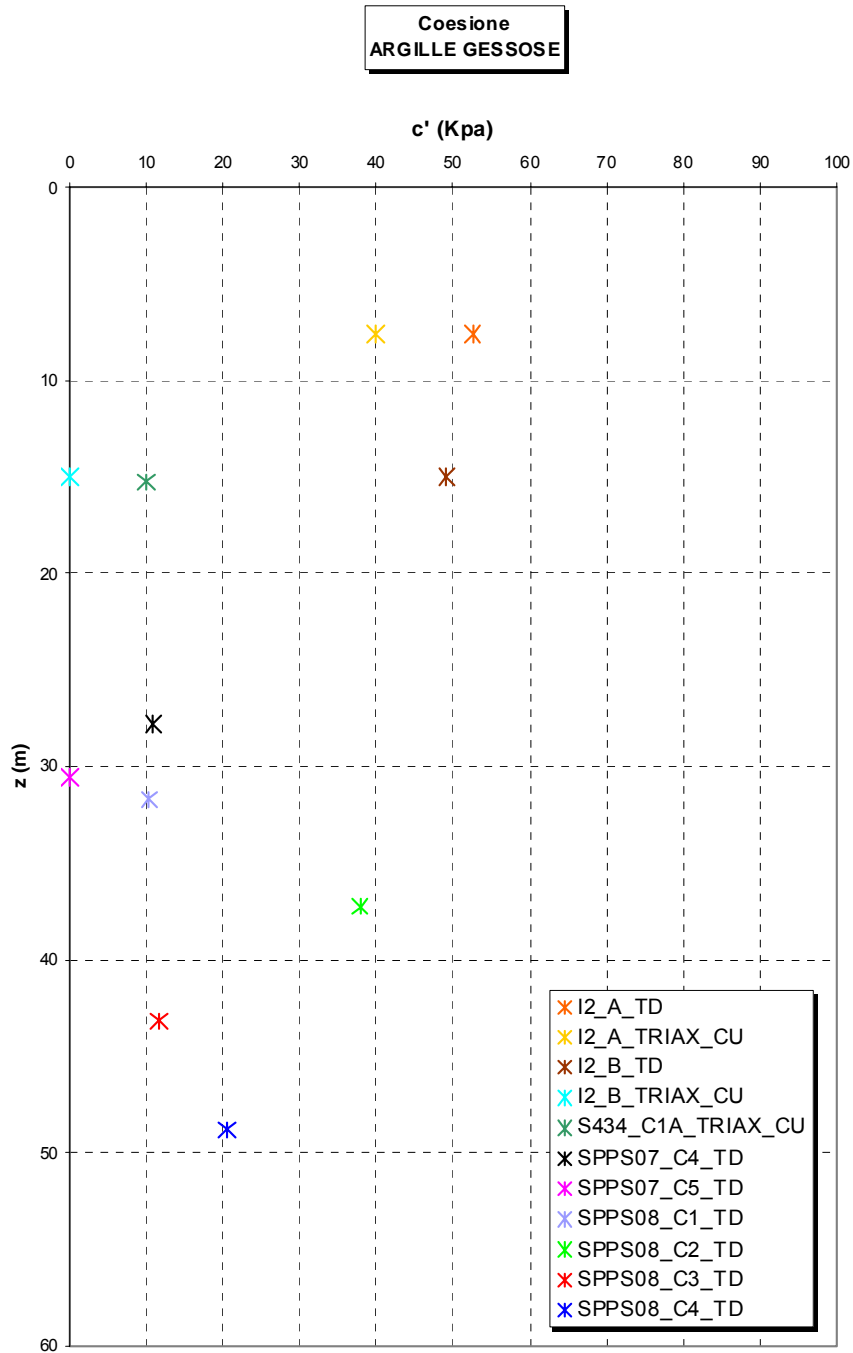
C'è da dire, però, che la permeabilità a grande scala di tale ammasso risente degli eventuali livelli più permeabili (sabbiosi, gessosi, etc,...) e quindi, considerando più rappresentativo l'esito delle prove in situ, si considerano invece valori della permeabilità (orizzontale) dell'ordine di 6×10^{-7} m/sec.



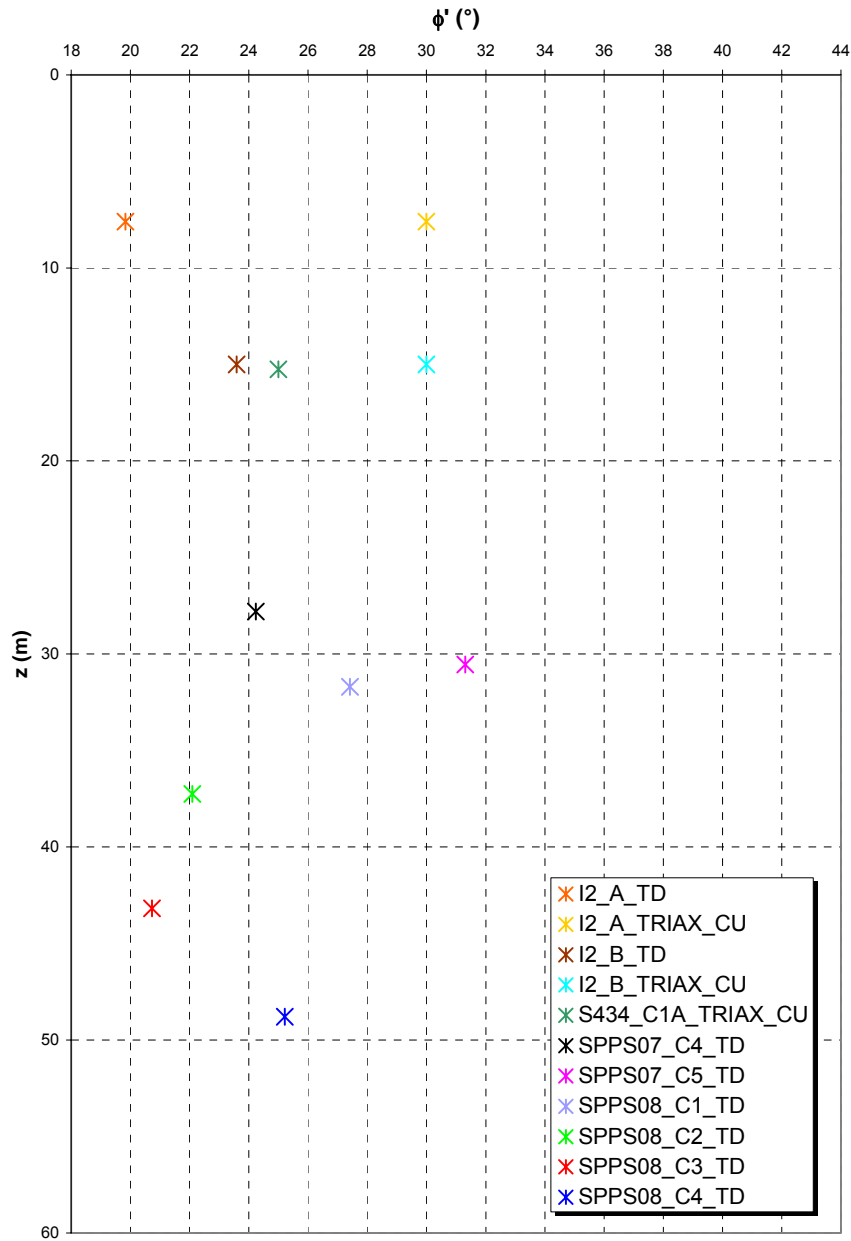


Peso di volume naturale

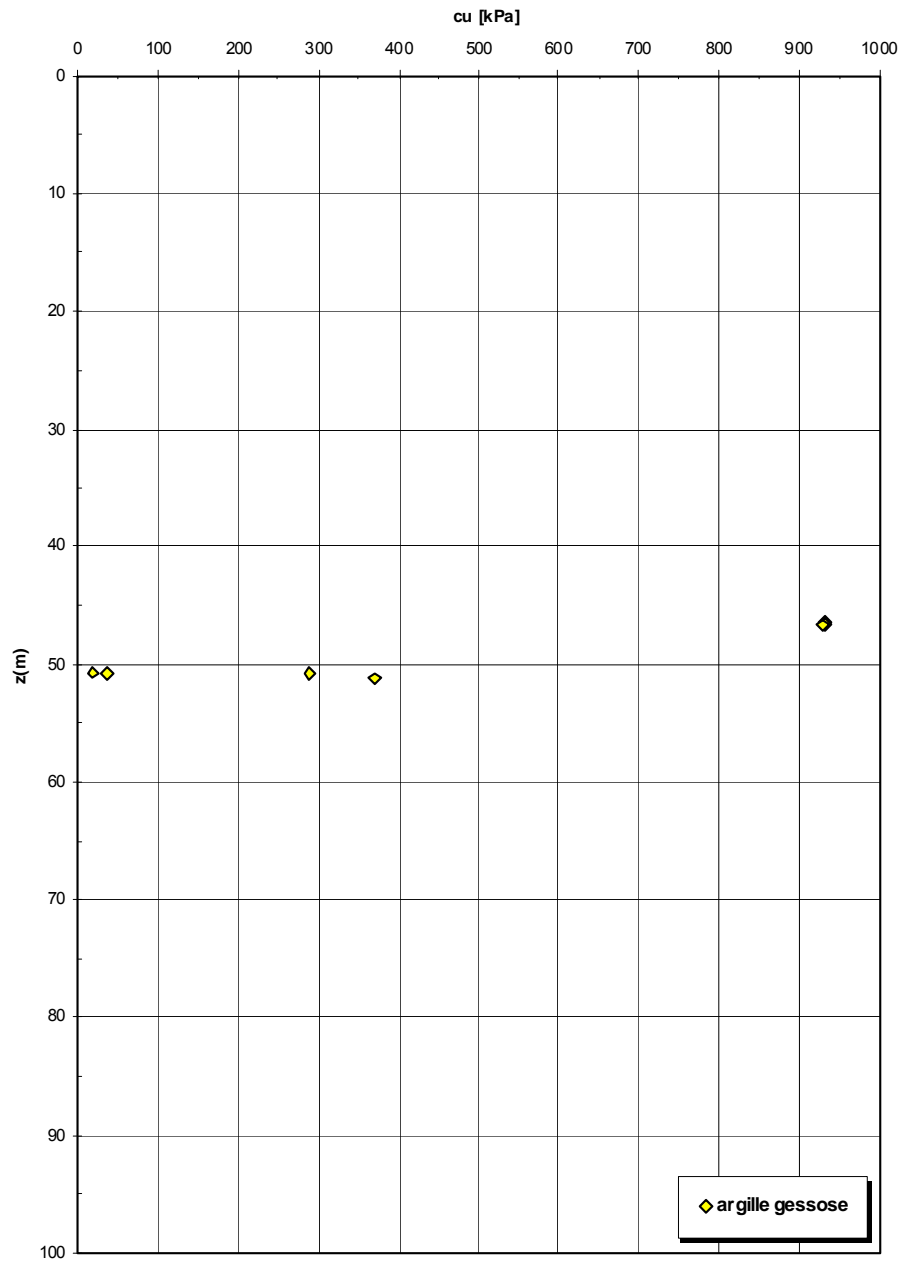




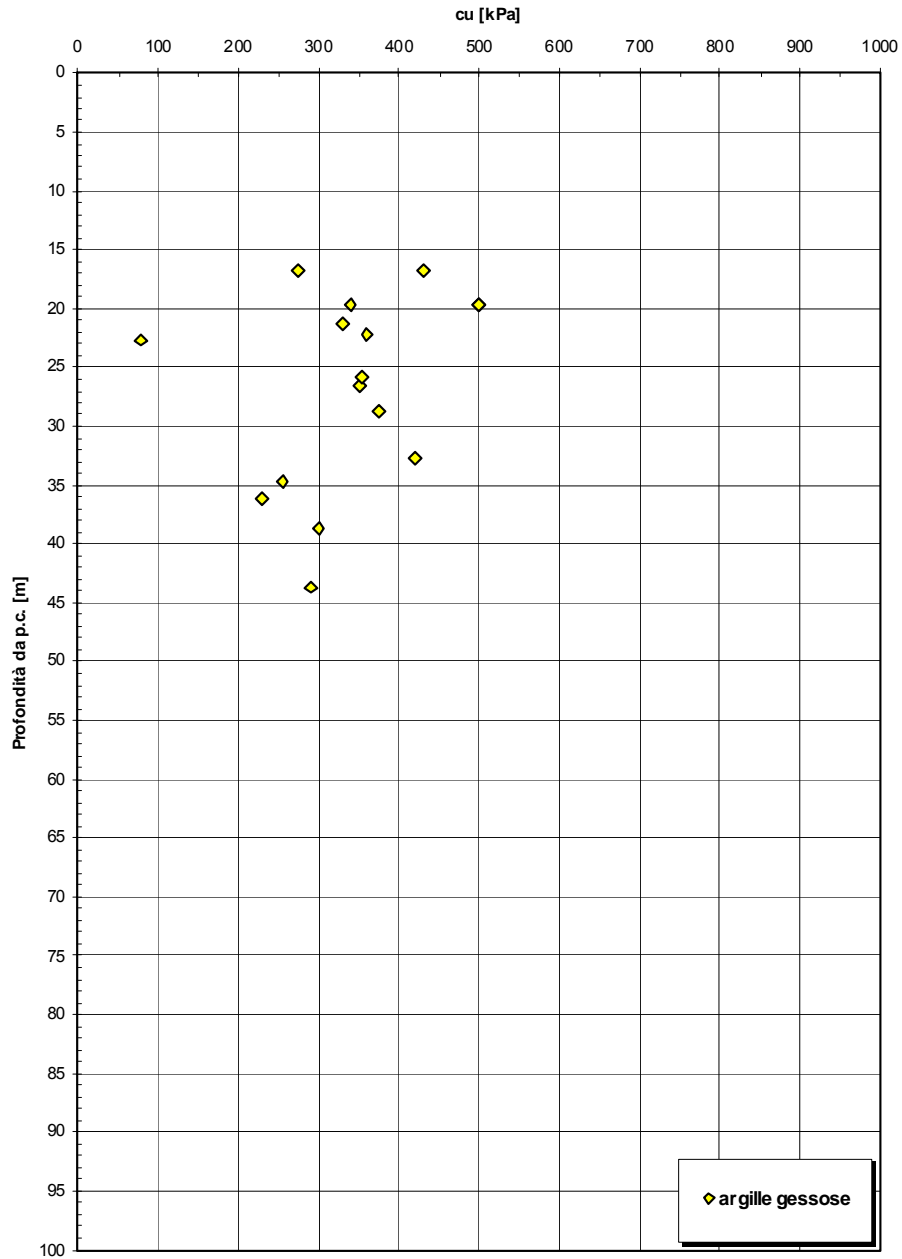
**Angolo di attrito
ARGILLE GESSOSE**



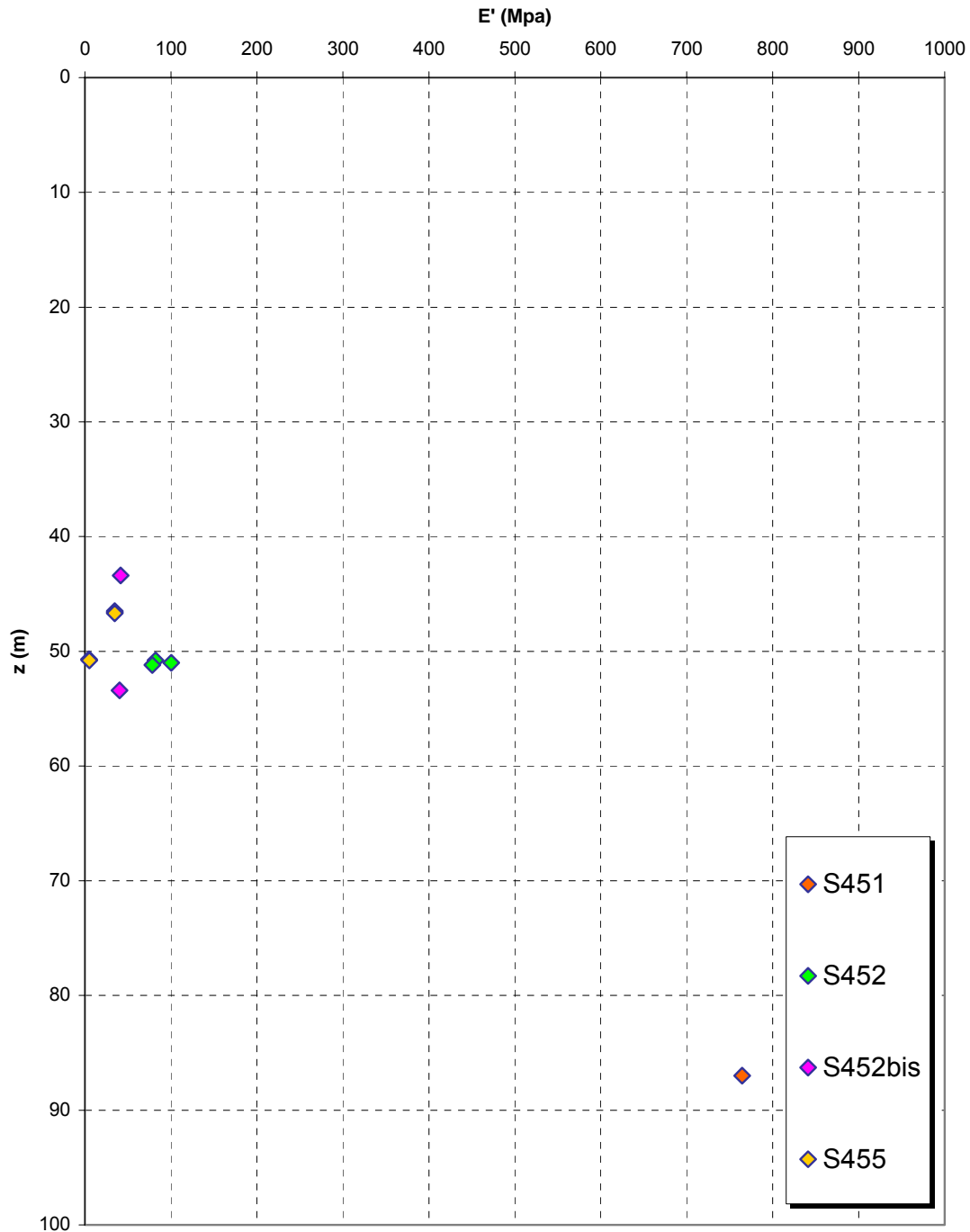
Coesione non drenata da prove pressiometriche



Coesione non drenata da prove SPT



**Prove dilatometriche
ARGILLE GESSOSE**



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

San Pier Niceto argilloso

Data l'esiguità dei sondaggi che caratterizzano la presente formazione nella tratta in esame, si fa riferimento alla caratterizzazione generale.

Per quanto riguarda le caratteristiche fisiche il fuso granulometrico mostra che le caratteristiche sono tipiche di materiali a grana medio fine con percentuale media di sabbia al 20%, limo al 62% ed argilla al 18%. Si ha che $D_{50}=0.06$, $D_{60}=0.15$ e $D_{10}=0.001$ mm.

Per quanto riguarda i limiti di Atterberg si ha $W_n=30\%$, $W_l=50\%$, $W_p=35\%$, $IP=15\%$

Dalla carta di Casagrande la posizione corrisponderebbe a limi di medio alta plasticità.

Per il peso di volume γ si assume un valore medio di 20KN/m^3 .

Per quanto concerne le caratteristiche di resistenza non si hanno a disposizione localmente delle prove per cui si fa riferimento alle 6 prove di laboratorio (4TD e 2 CID) su campioni prelevati fra 6m e 35m in altri sondaggi (S457, S465) .

	c'_{picco} [Mpa]	ϕ'_{picco} [°]	c'_{cv} [Mpa]	ϕ'_{cv} [°]
TD (S457)	0.050-0.080	27-20	0	25-20
TRIAX (S465)	0.016-0.020	21-22	0	21

Il valore operativo è dato da:

$$c'=0.020\div 0.050 \text{ MPa}$$

$$\phi'=30^\circ\div 22^\circ$$

$$c'_{\text{cv}}=0 \text{ MPa}$$

$$\phi'_{\text{cv}}=21^\circ\div 27^\circ$$

Dalle correlazioni con i valori di N_{spt} si ottiene un valore di C_u mediamente pari a 370 MPa.

Per i parametri di deformabilità, dalle prove dilatometriche (S459bis, S453) effettuate sulla componente argillosa si evince un range del modulo pari a 55-75 Mpa.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Un valore singolo (S459bis a 54m) raggiunge invece 1000 MPa ma sembrerebbe essere stato effettuato su un livello conglomeratico che si alterna a quello argilloso.

Dalle prove di sismica a rifrazione (S454-SR3 e SR5 e S434-SR2) si ottengono valori medi di velocità V_s ascrivibili all'intero pacchetto del San Pier Niceto argilloso molto elevate e pari a 800 e 1500 m/s fra 20 e 50m di profondità.

A tali valori corrisponderebbe un range di moduli G_0 pari a 1100 e a 4600 MPa, e quindi di E_0 pari a 2640 e a 11000 MPa con $E' = 264-1100$ MPa e $1100-3670$ MPa (rispettivamente pari a $1/10 E_0$ ed $1/3 E_0$).

Si ritiene cautelativo assumere, per la sola facies prettamente argillosa, un modulo operativo pari a:

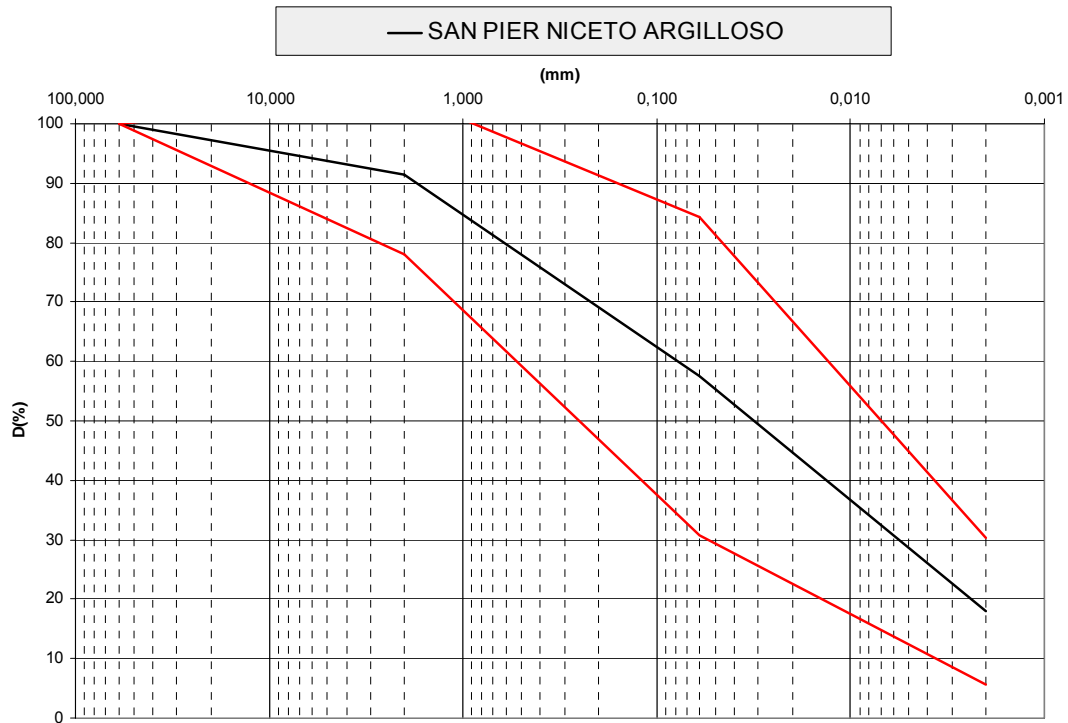
$E' = 70-120$ MPa

compatibili rispettivamente con:

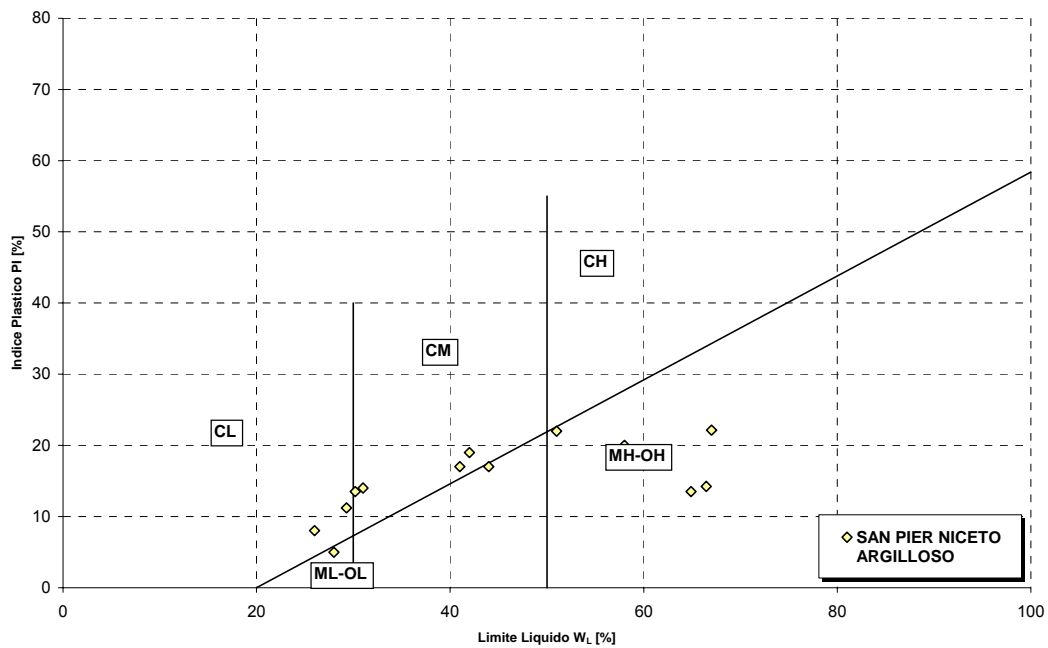
$E' = 200$ Cu (valore minimo)

$E' = 400$ Cu (valore massimo)

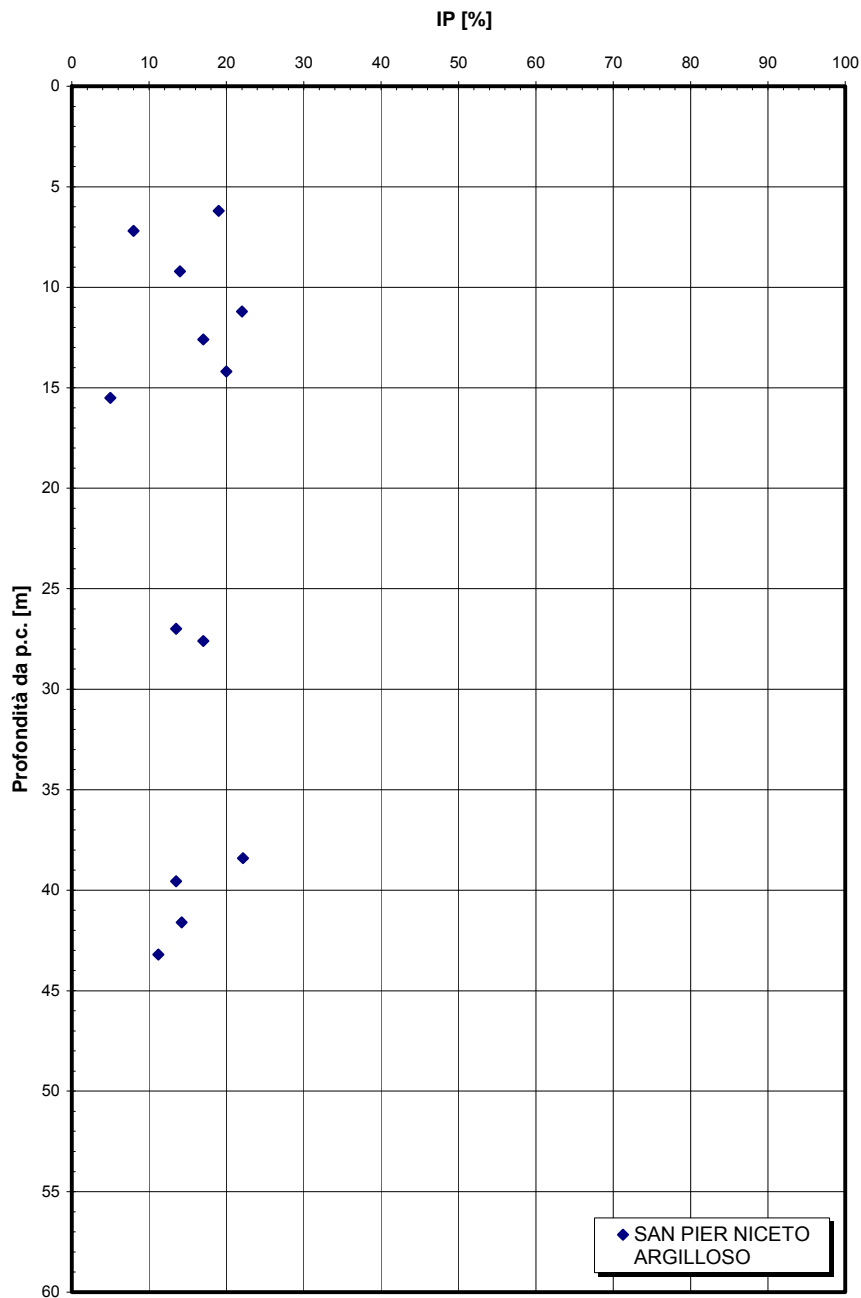
avendo posto un valore cautelativo di $Cu = 300$ Kpa



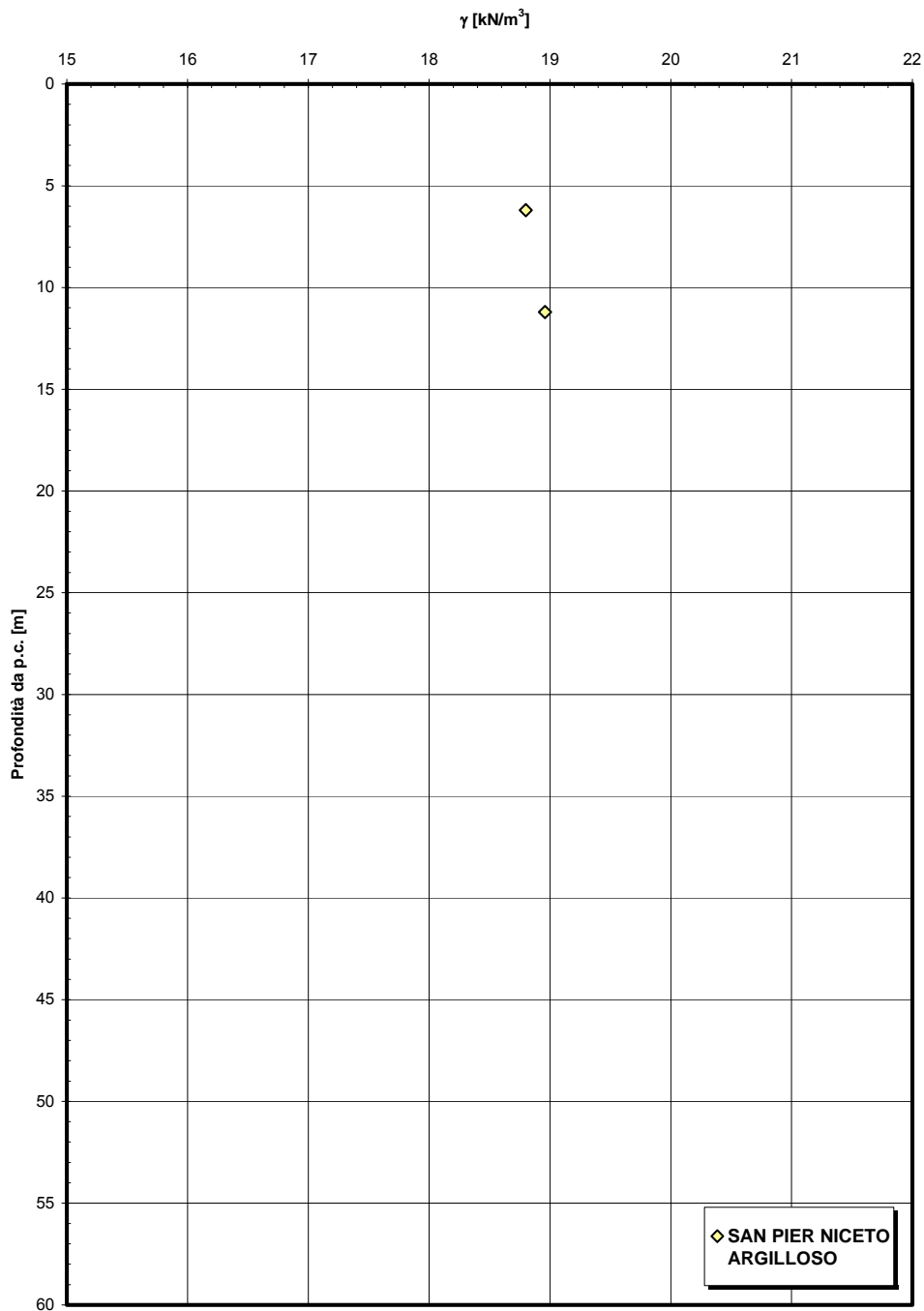
Carta di Plasticità di Casagrande



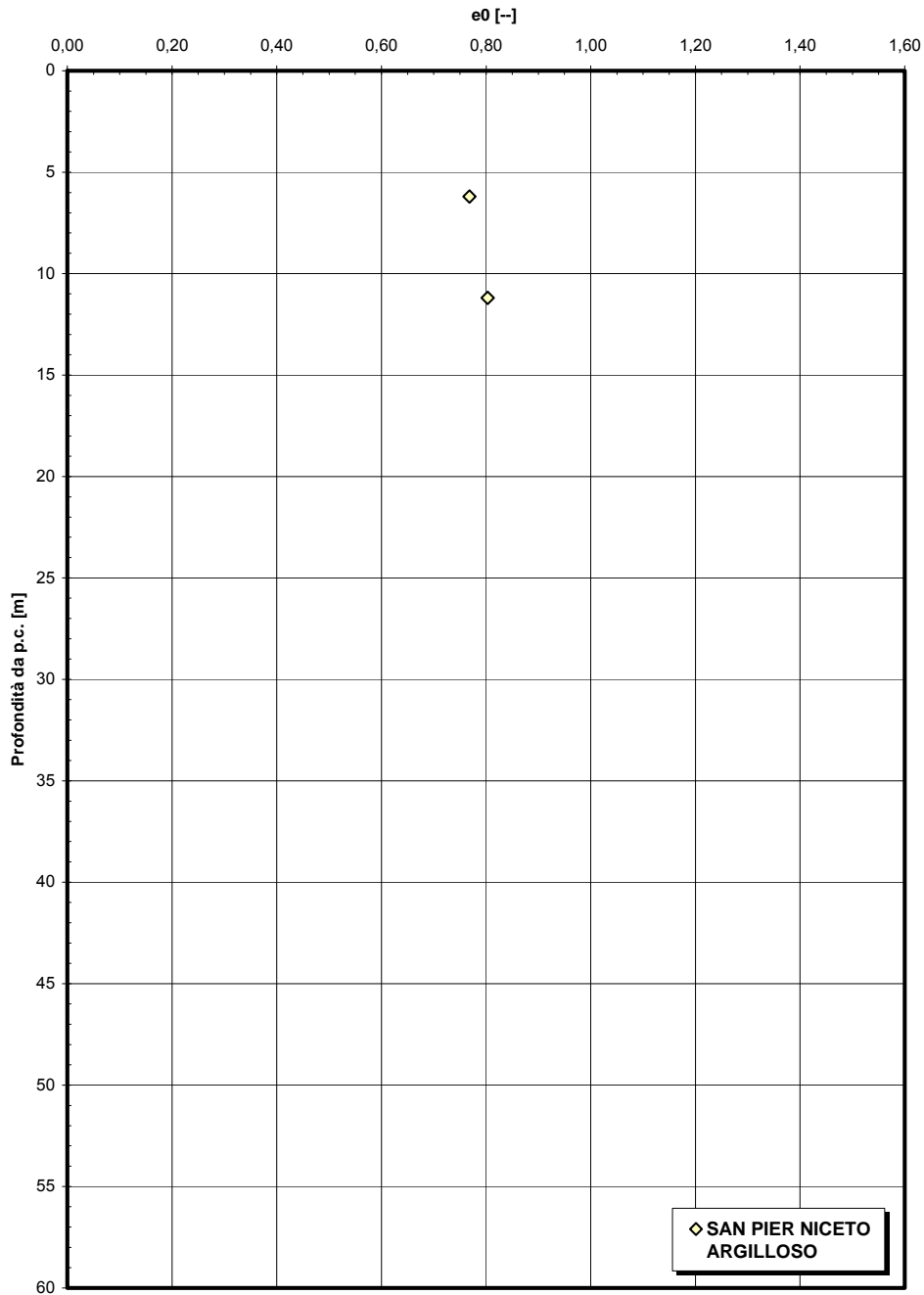
Indice di plasticità



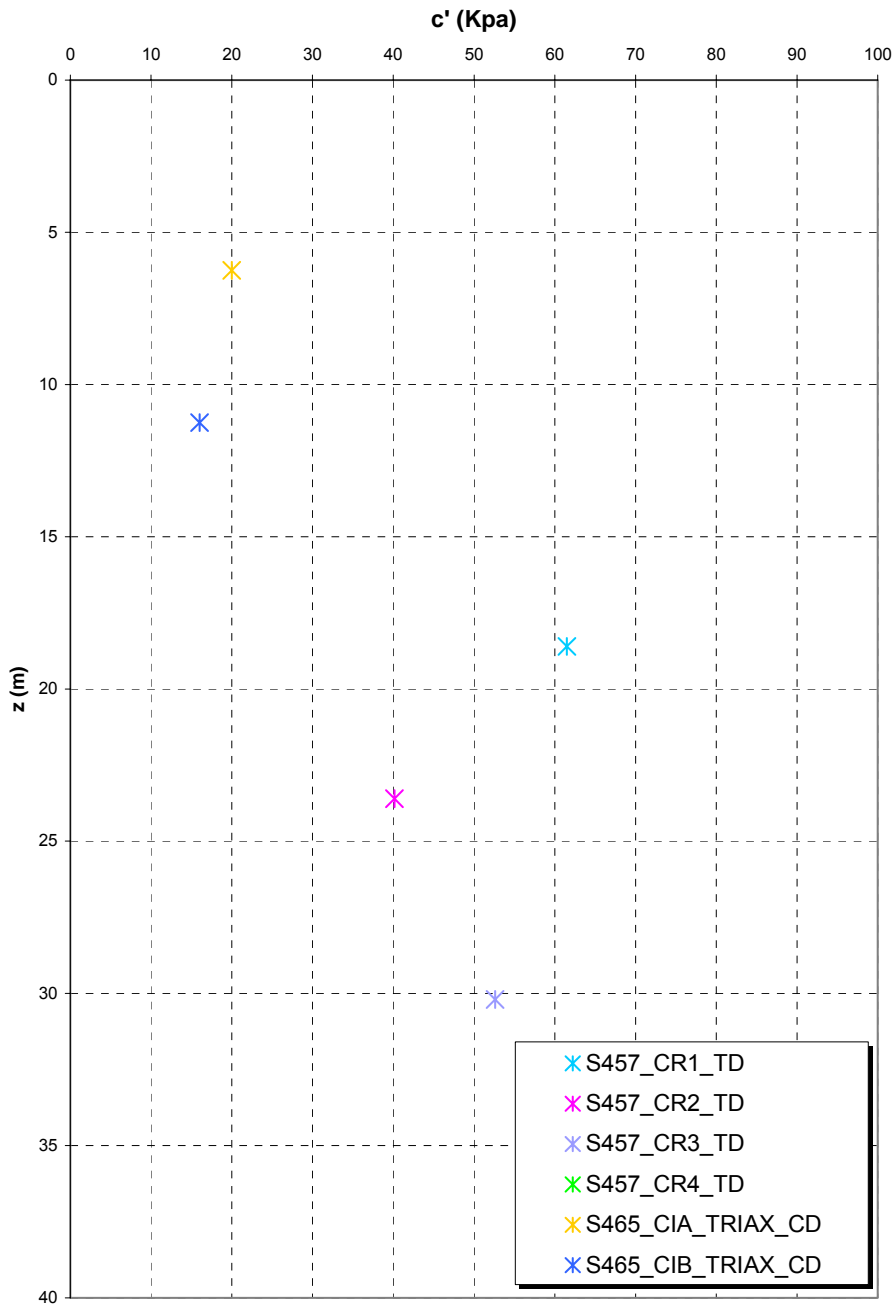
Peso di volume naturale



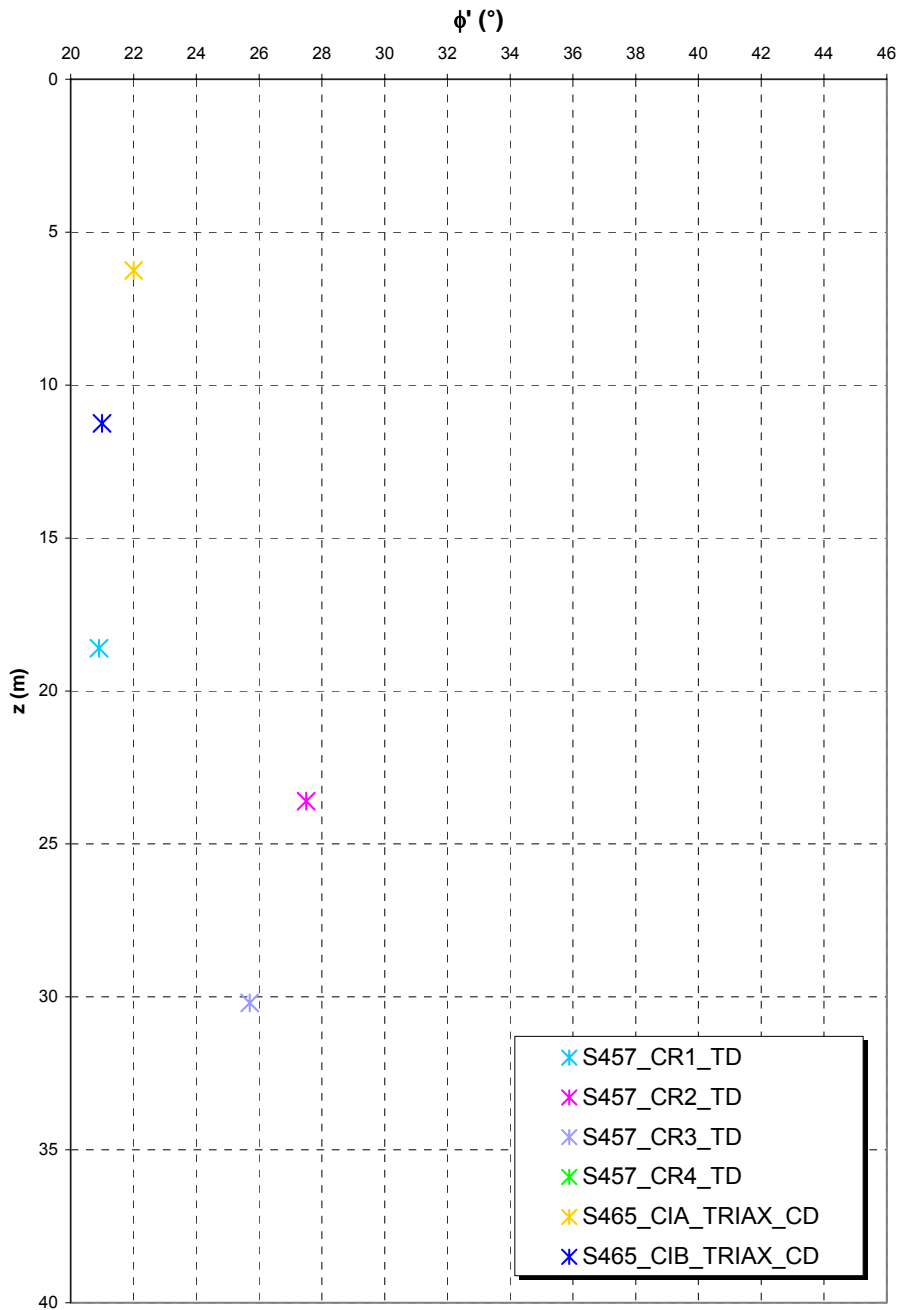
Indice dei vuoti iniziale



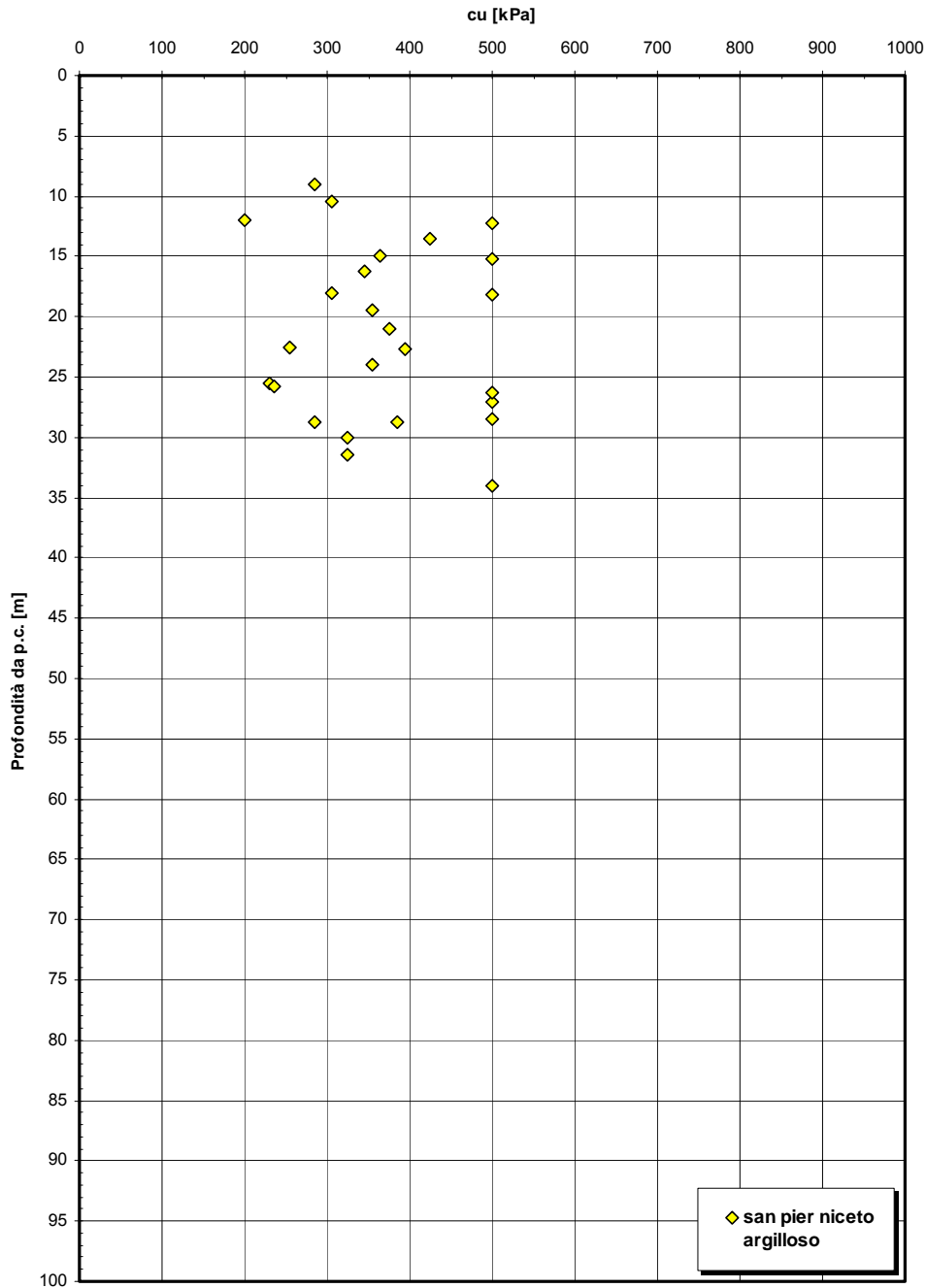
**Coesione
SAN PIER NICETO ARGILLOSO**

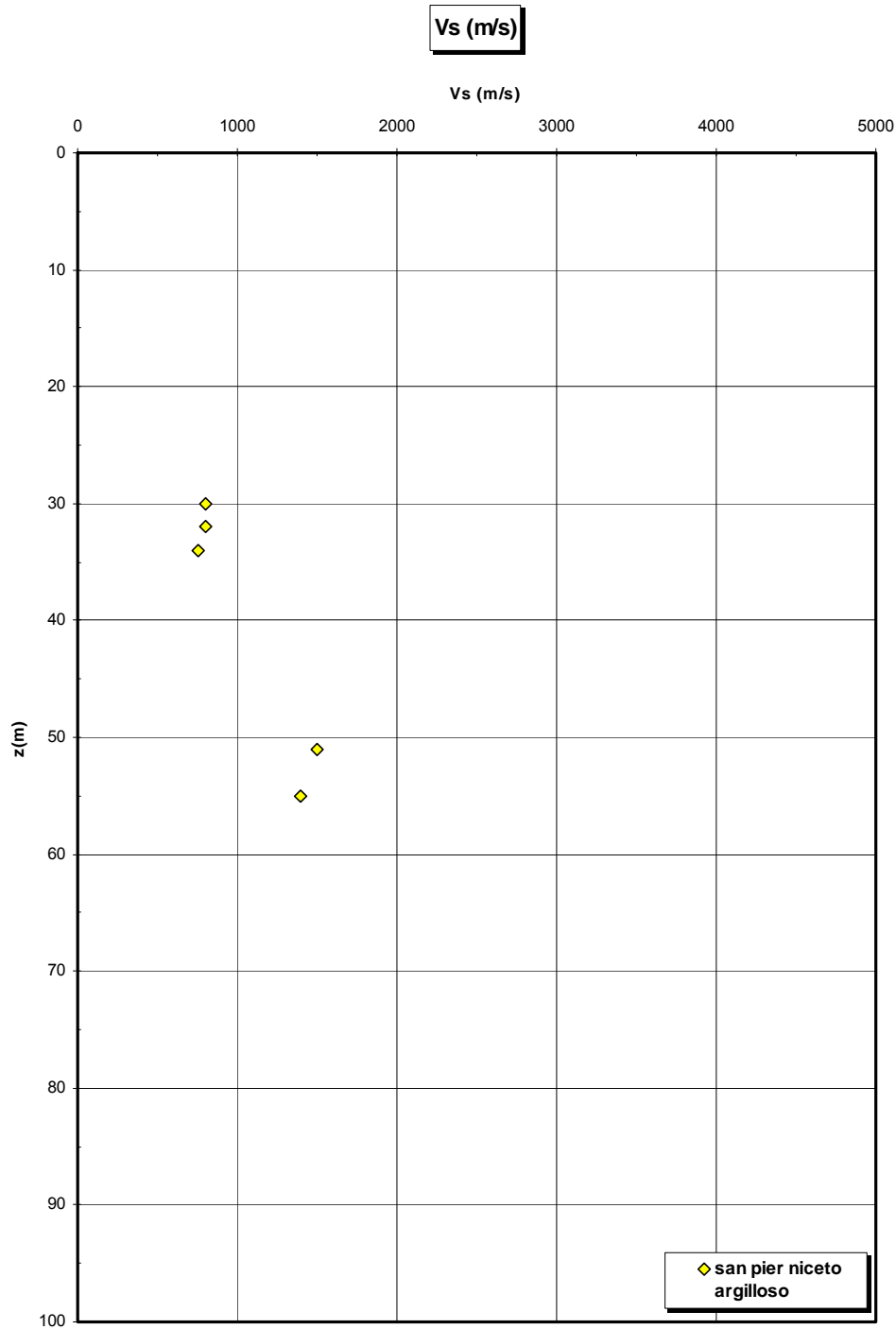


**Angolo di attrito
SAN PIER NICETO ARGILLOSO**

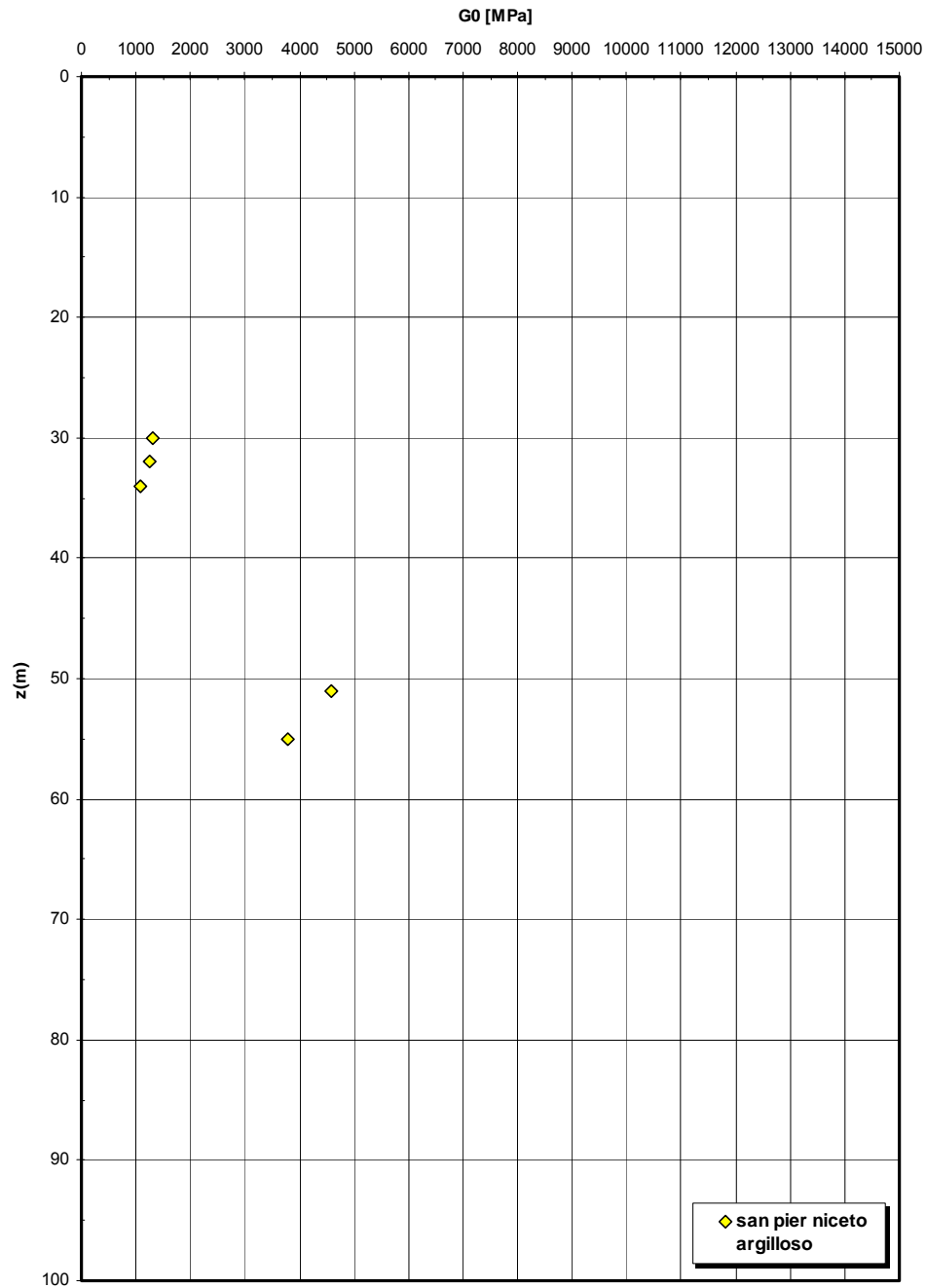


Coesione non drenata da prove SPT

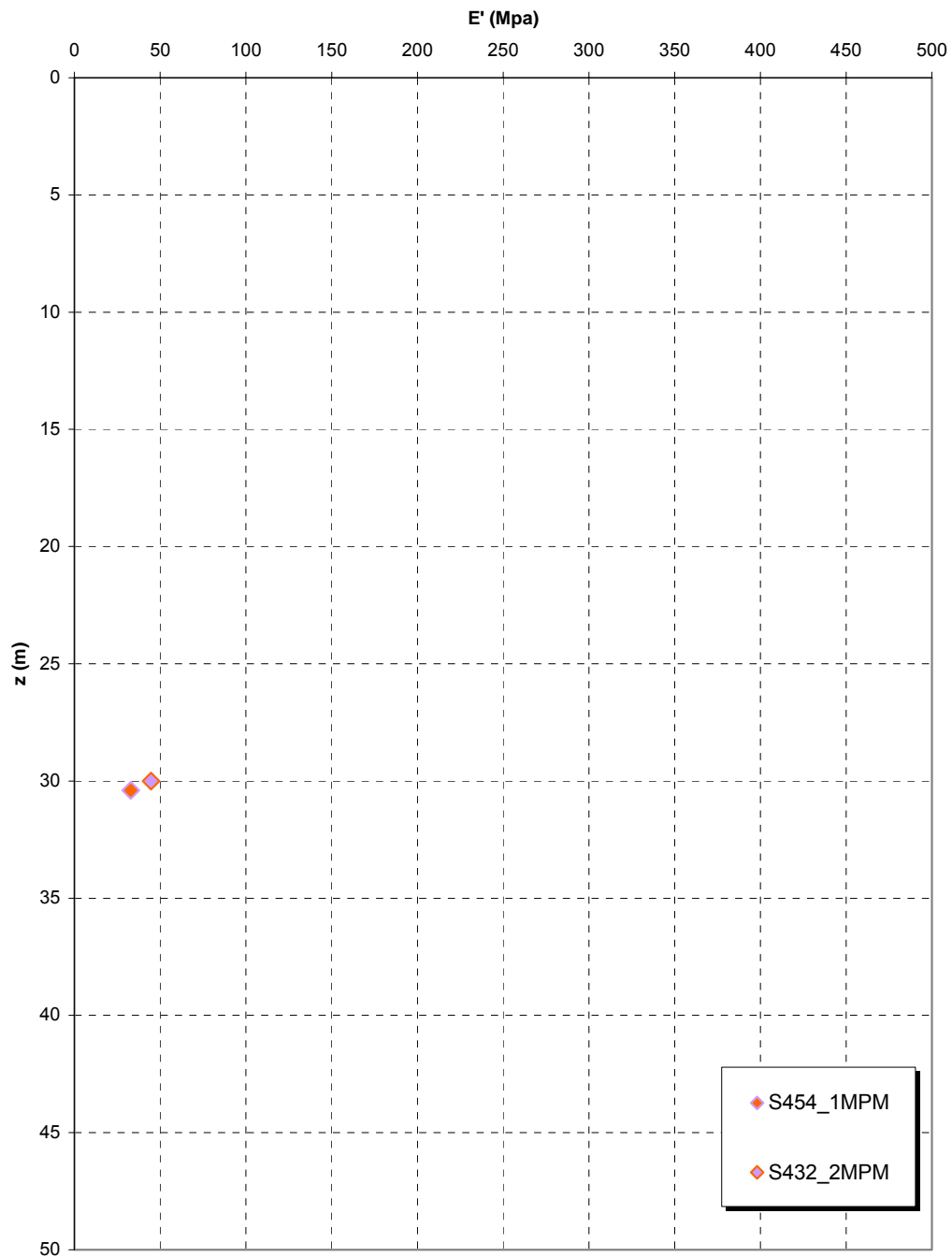




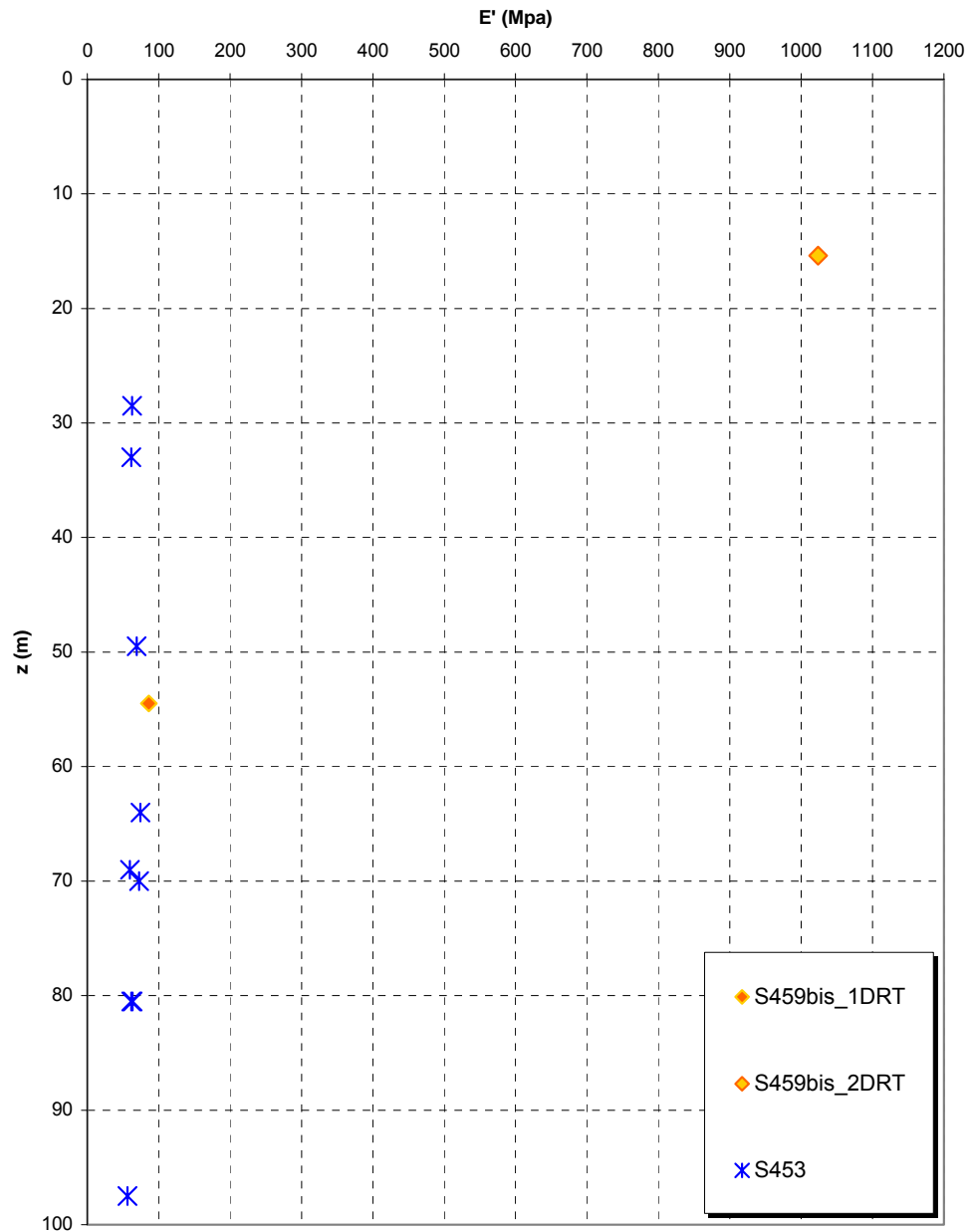
G0 (Mpa)



**Prove pressiometriche
SAN PIER NICETO ARGILLOSO**



**Prove dilatometriche
SAN PIER NICETO ARGILLOSO**



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

6 Caratteristiche dei materiali

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

6.1 Paratie di prima fase

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

Magrone : C 12/15

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

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

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

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

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

Impermeabilizzazione : telo in PVC spessore 8mm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

geotessuto (TNT in propilene puro al 100%)

(*) 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

	30 mm
Copriferro minimo	5.0 cm

CIs 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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 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 “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0212_F0	Rev F0	Data 20-06-2011

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

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

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

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

Tabella 6 – Condizioni ambientali assunte per le verifiche delle strutture

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

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

Tabella 7- Aperture limite delle fessure secondo NTC 2008

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

7 Paratie di prima fase

7.1 Analisi numeriche e verifiche di sicurezza

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

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

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

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

7.2 Descrizione del modello di calcolo

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

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

La falda è stata assunta ad una profondità di 10m dal p.c.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0212_F0	Rev F0	Data 20-06-2011

Litotipo	Quote da p.c. [m]	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	φ [°]	E'_{vc} [MPa]	E'_{ur} [MPa]
Alluvioni	0 - 15	19	0	37	40	1.6 E'_{vc}
Calcari Brecciati	15 - 42	20	30	30	100	1.6 E'_{vc}
Argille Gessose	42 - ...	20	25	30	100	3.0 E'_{vc}

Terreno consolidato a tergo delle paratie

Litotipo	Quote da p.c. [m]	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	φ [°]	E'_{vc} [MPa]	E'_{ur} [MPa]
Calcari Brecciati	21.5 – 39.5	20	100	30	200	1.6 E'_{vc}

γ = peso dell'unità di volume

c' = coesione efficace

φ = angolo di resistenza al taglio

δ = angolo di attrito terra-parete

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

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

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

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

1. Realizzazione consolidamenti, diaframmi e solaio di copertura
2. Scavo a -4.4m dal p.c.
3. Getto Solaio a +63.51m s.l.m.
4. Scavo a -9.2m dal p.c.
5. Getto Solaio a +58.71m s.l.m.
6. Scavo a -14.0m dal p.c.
7. Getto Solaio a +53.91m s.l.m.
8. Scavo a -18.8m dal p.c.
9. Getto Solaio a +49.11m s.l.m.
10. Scavo a -23.6m dal p.c.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

11. Getto Solaio a +44.31m s.l.m.
12. Scavo a -28.4m dal p.c.
13. Getto Solaio a +39.51m s.l.m.
14. Scavo a -33.2m dal p.c.
15. Getto Solaio a +34.71m s.l.m.
16. Scavo a -36.5m dal p.c.
17. Messa in opera puntelli metallici provvisori (Φ 1100 sp.20mm – Interasse 6.00m)
18. Scavo a -38.6m dal p.c.
19. Getto Solaio di Fondazione
20. Rimozione puntelli metallici provvisori
21. Ripristino condizioni di falda
22. Sisma

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 dai diaframmi alle strutture definitive, ha poi richiesto un'ulteriore fase di calcolo, dopo lo step 21, 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 assiali sui solai così determinati vengono quindi aggiunti gli effetti prodotti dalle pressioni idrostatiche agenti direttamente sulle strutture definitive.

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

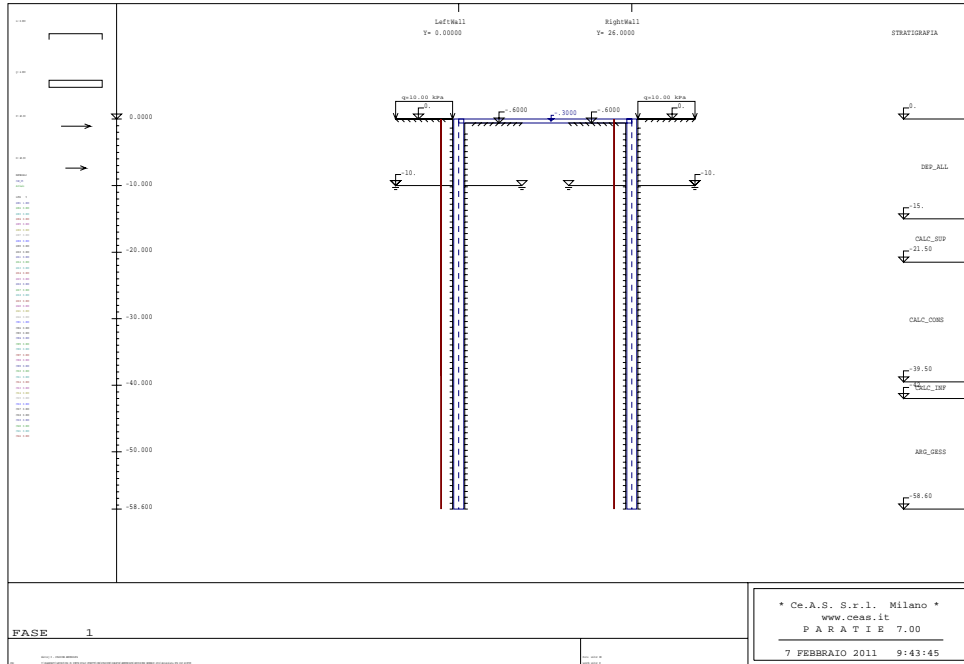


Figura 9 - Fase 1: Realizzazione consolidamenti, diaframmi e solaio di copertura

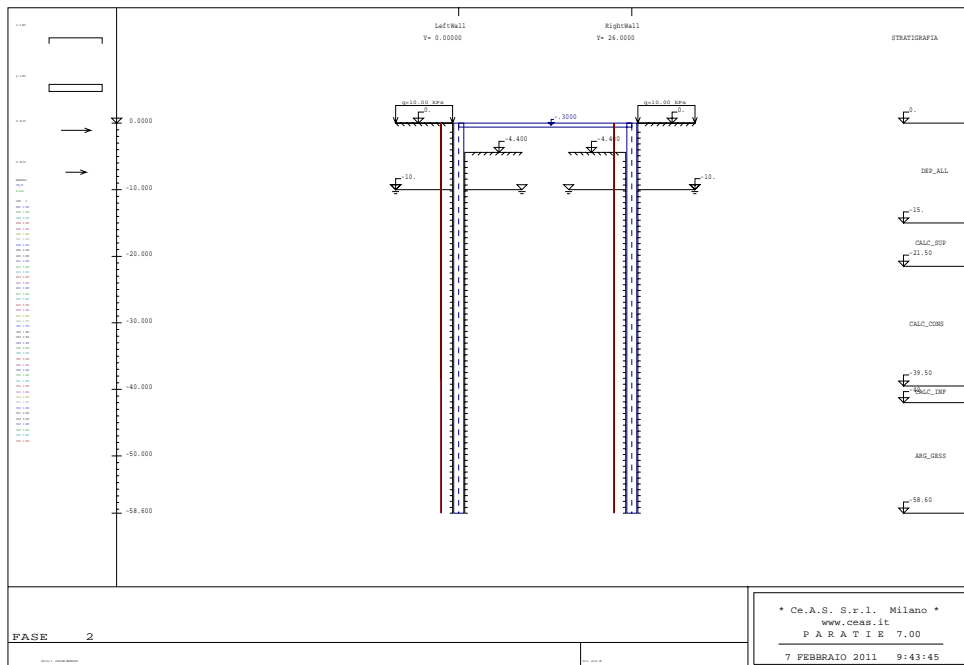


Figura 10- Fase 2: Scavo a -4.40m dal p.c.

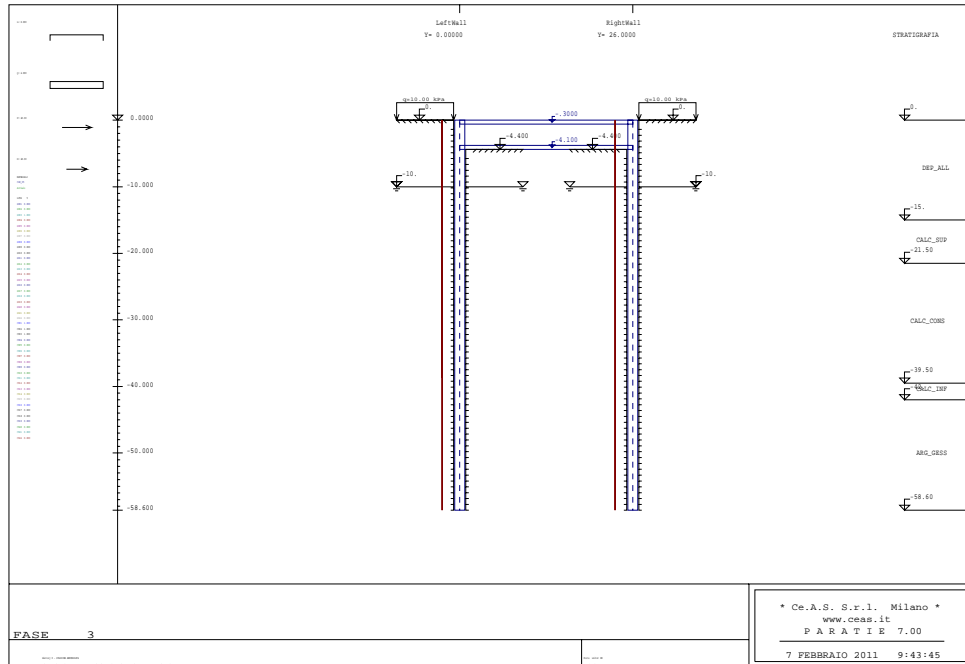


Figura 11 - Fase 3: Getto solaio a +63.51m s.l.m.

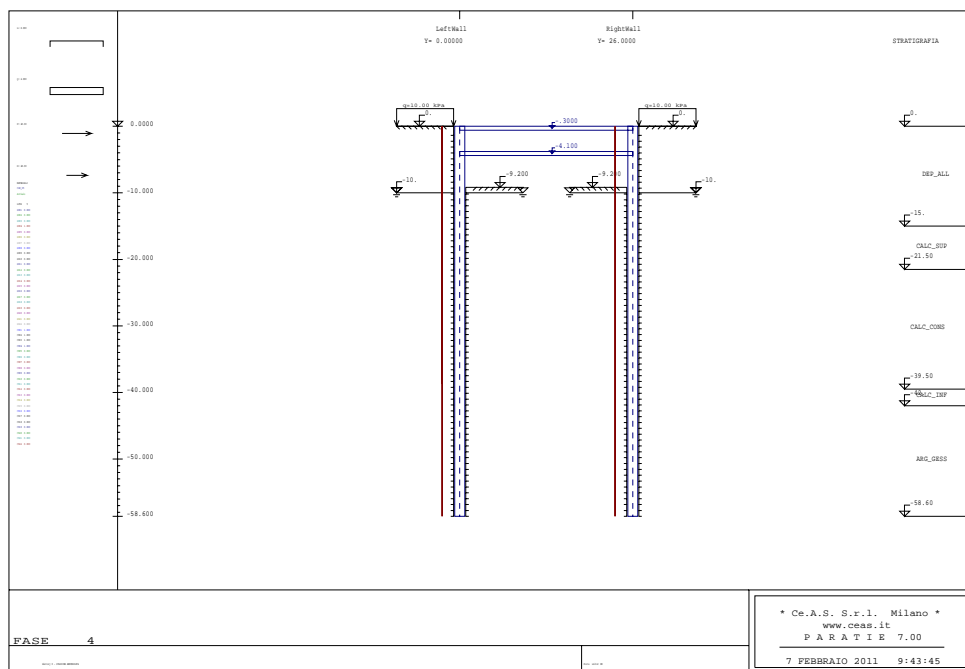


Figura 12- Fase 4: Scavo a -9.20m dal p.c.

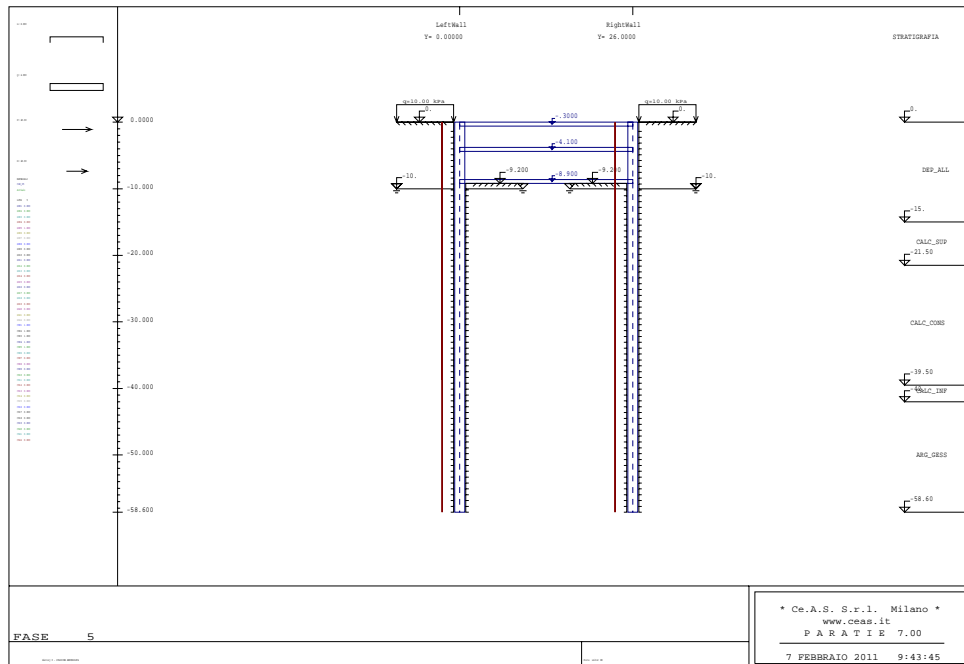


Figura 13 - Fase 5: Getto solaio a +58.71m s.l.m.

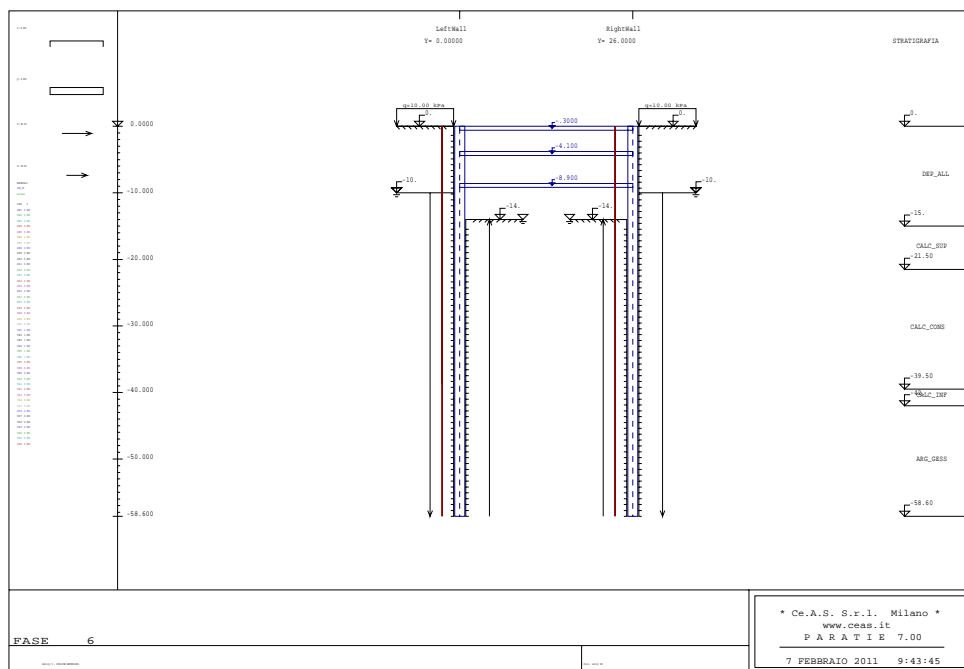


Figura 14- Fase 6: Scavo a -14.00m dal p.c.

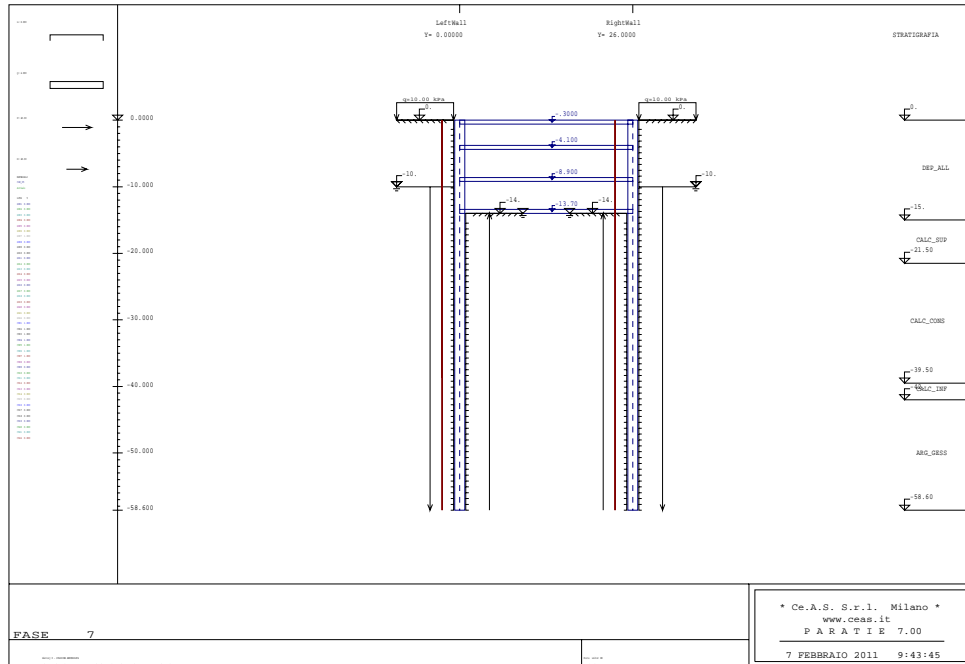


Figura 15 - Fase 7: Getto solaio a +53.91m s.l.m.

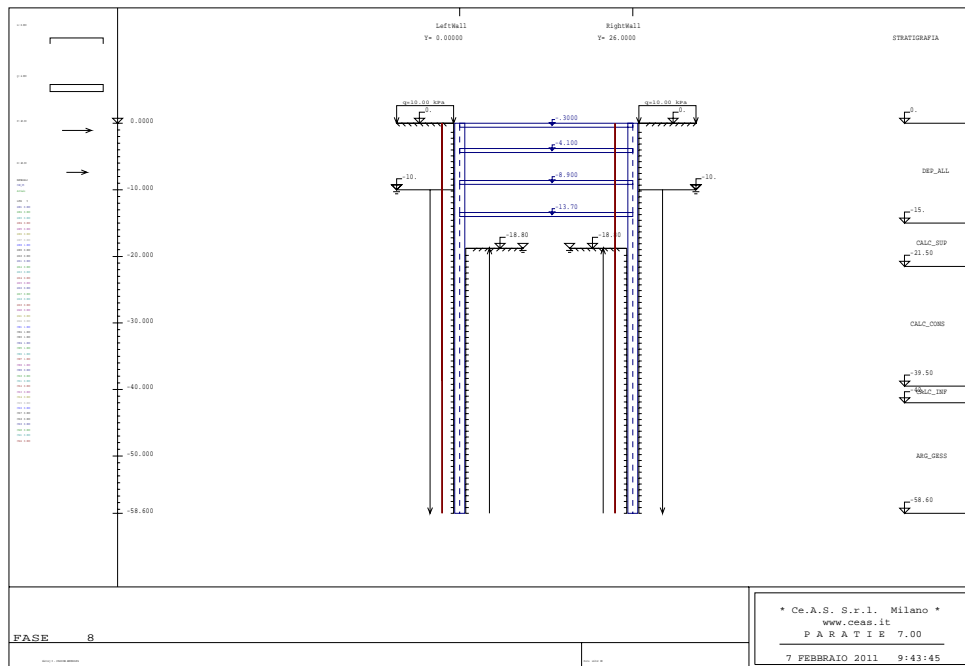


Figura 16- Fase 8: Scavo a -18.80m dal p.c.

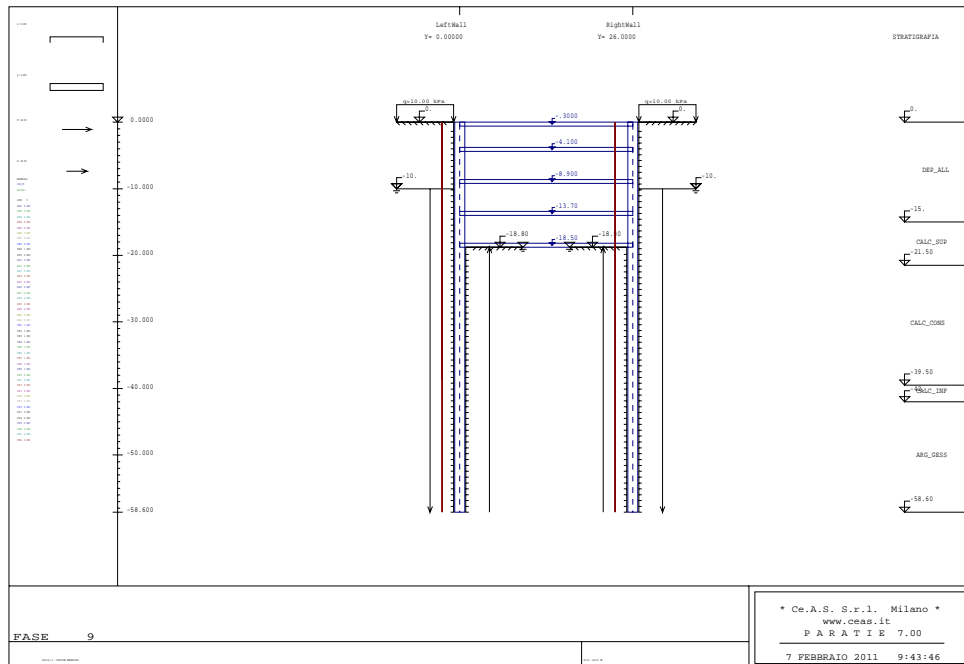


Figura 17 - Fase 9: Getto solaio a +49.11m s.l.m.

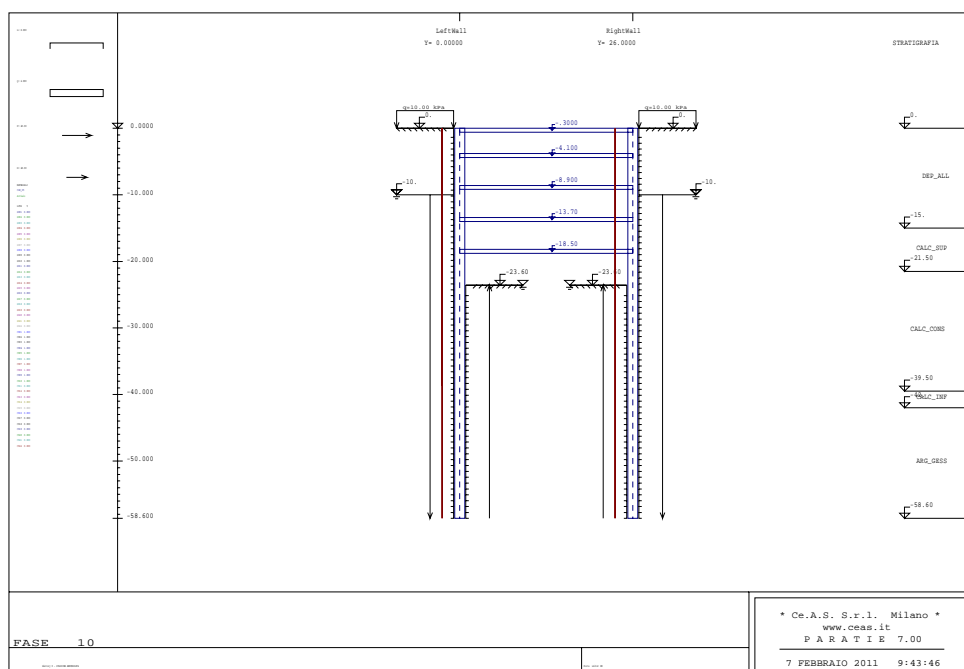


Figura 18- Fase 10: Scavo a -23.60m dal p.c.

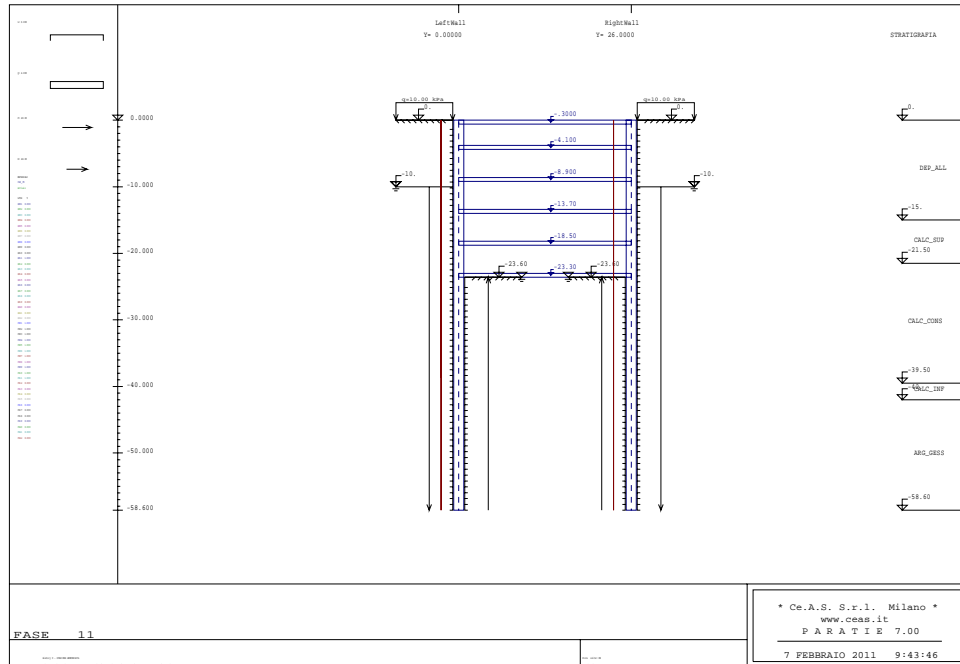


Figura 19 - Fase 11: Getto solaio a +44.31m s.l.m.

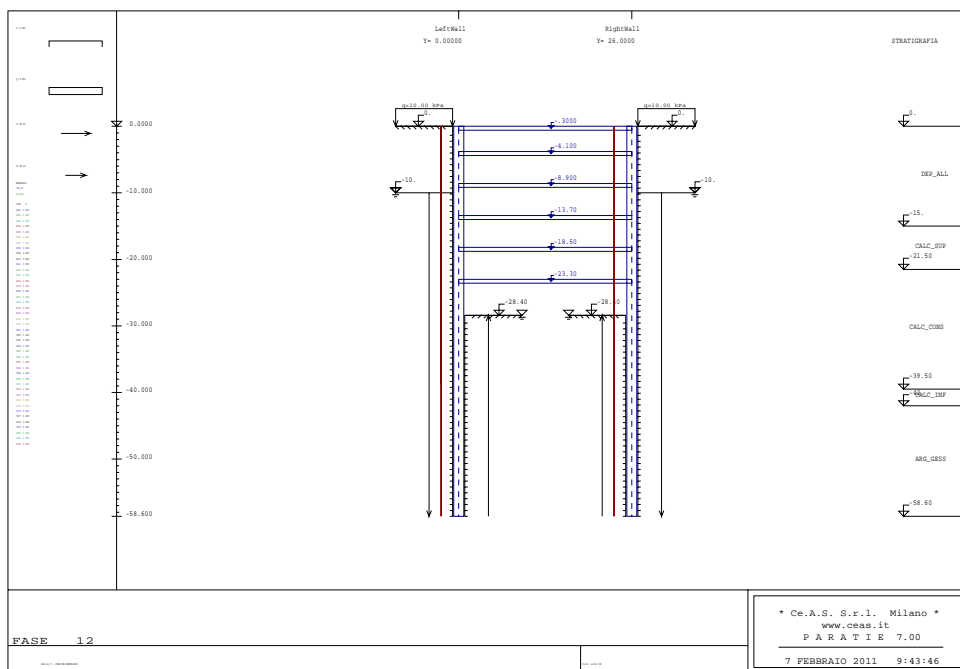


Figura 20- Fase 12: Scavo a -28.40m dal p.c.

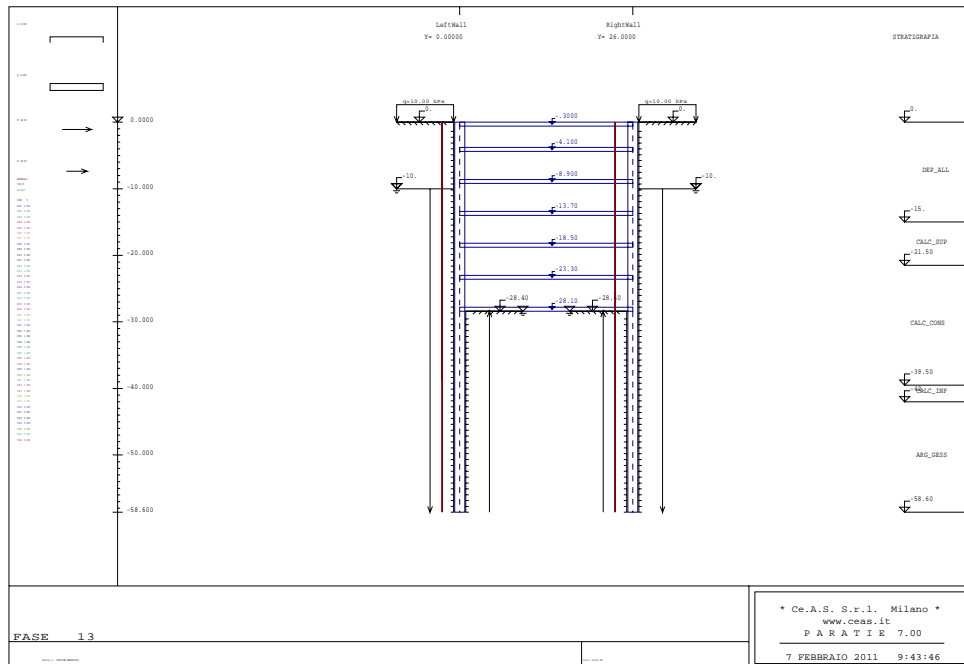


Figura 21 - Fase 13: Getto solaio a +39.51m s.l.m.

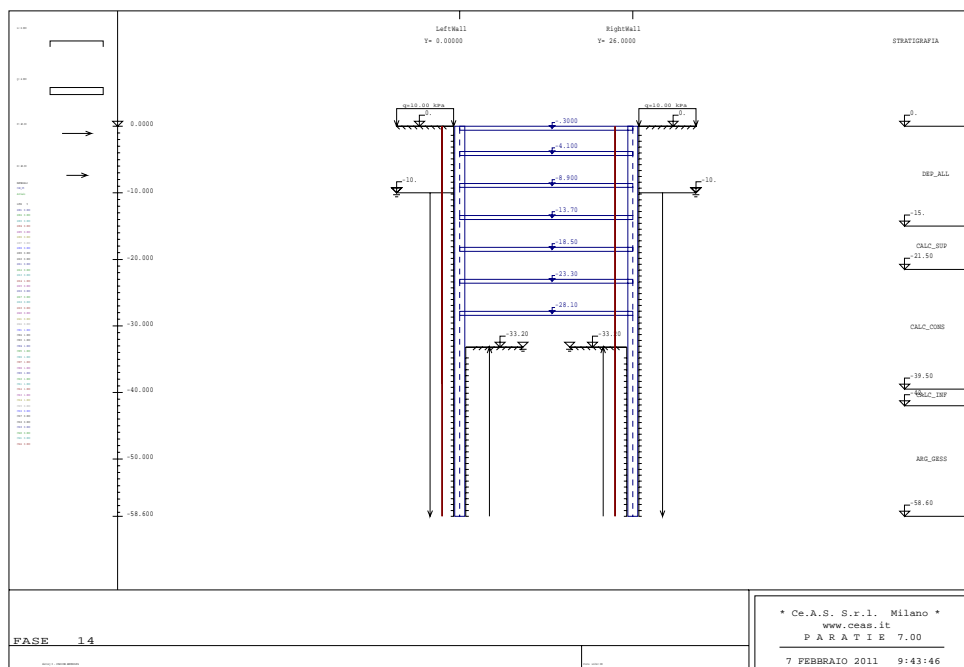


Figura 22- Fase 14: Scavo a -33.20m dal p.c.

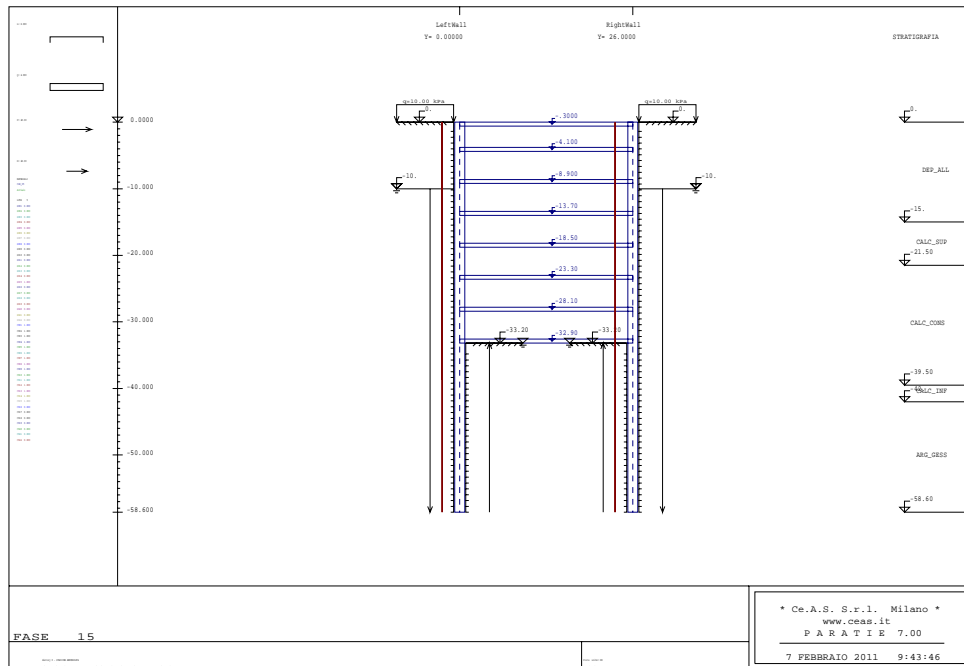


Figura 23 - Fase 15: Getto solaio a +34.71m s.l.m.

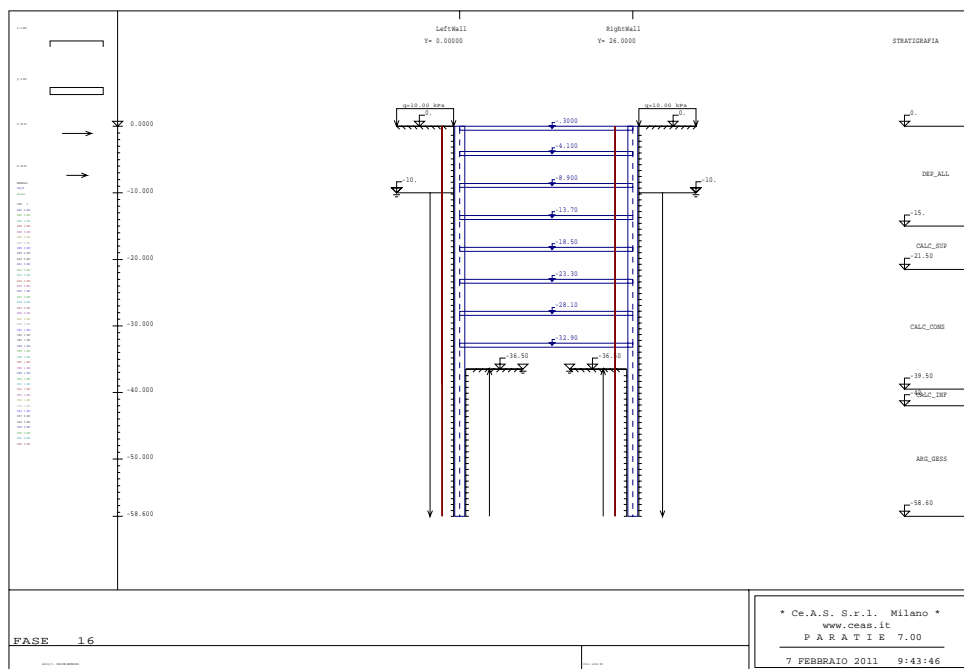


Figura 24- Fase 16: Scavo a -36.50m dal p.c.

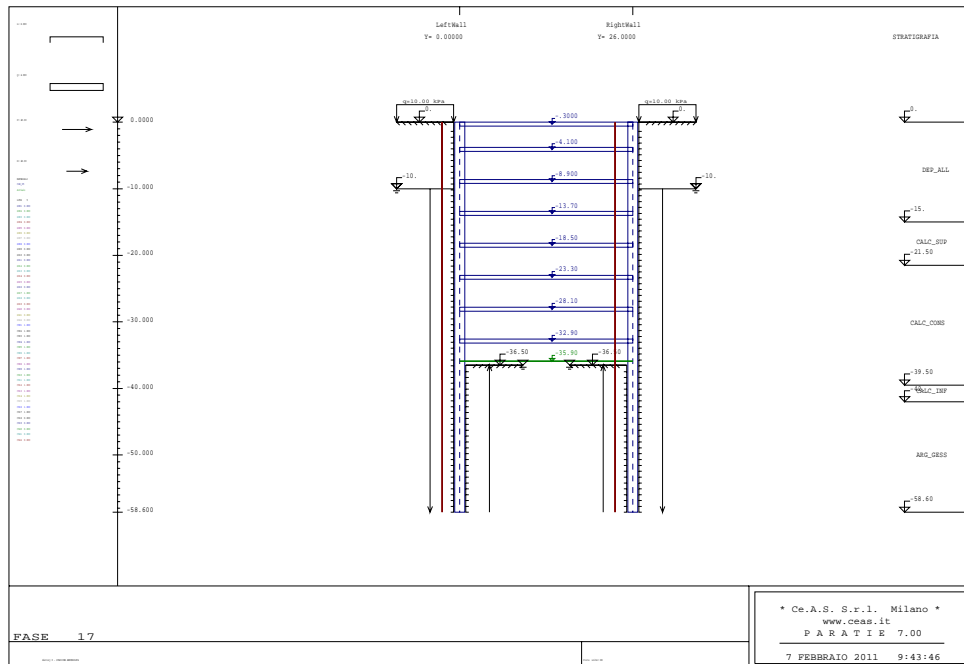


Figura 25 - Fase 17: Messa in opera puntelli metallici provvisori

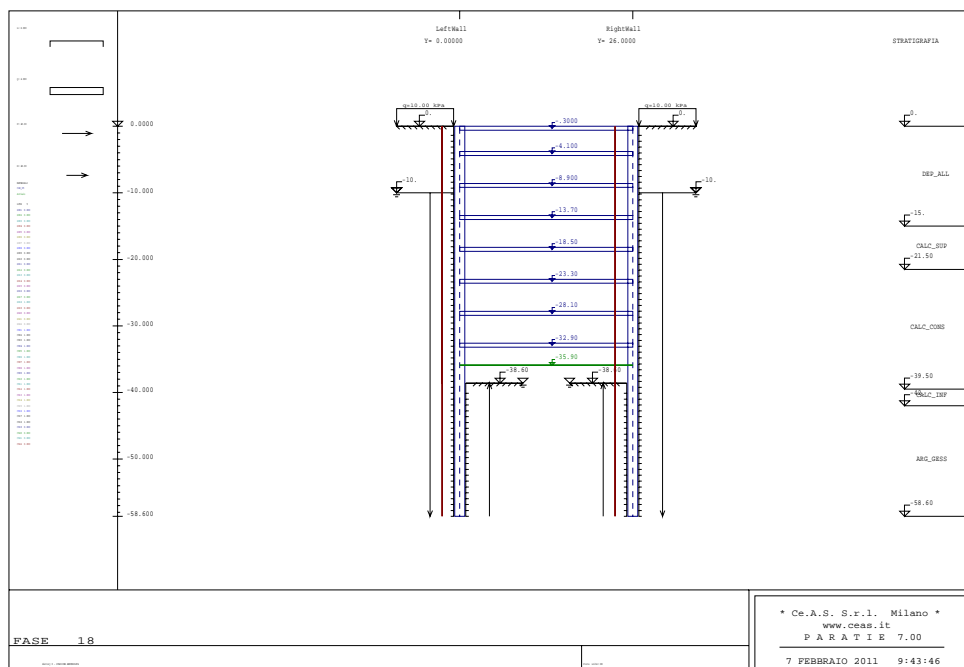


Figura 26- Fase 18: Scavo a -38.60m dal p.c.

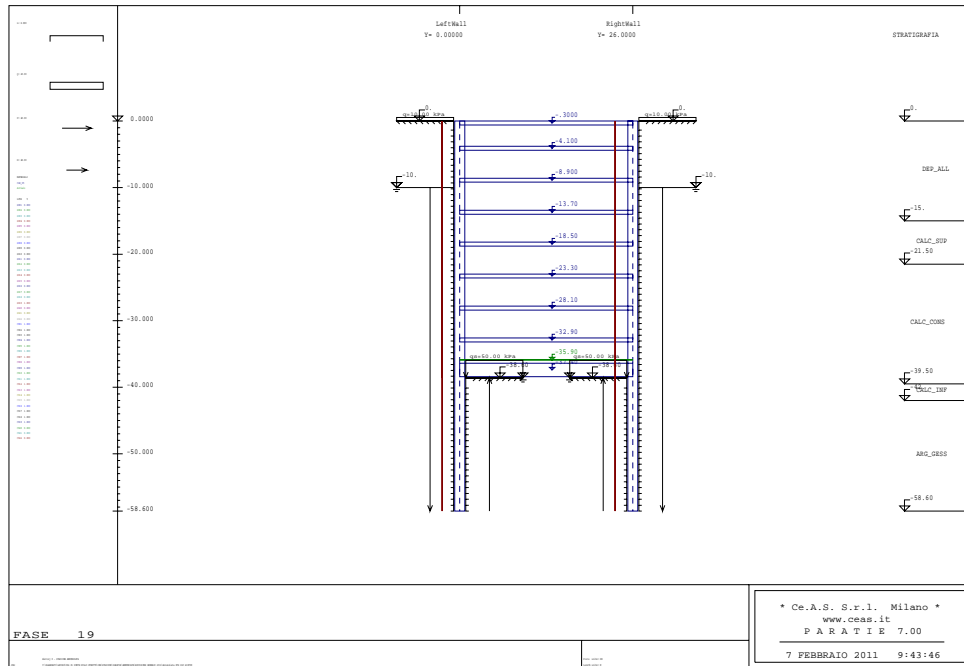


Figura 27 - Fase 19: Getto solaio fondazione

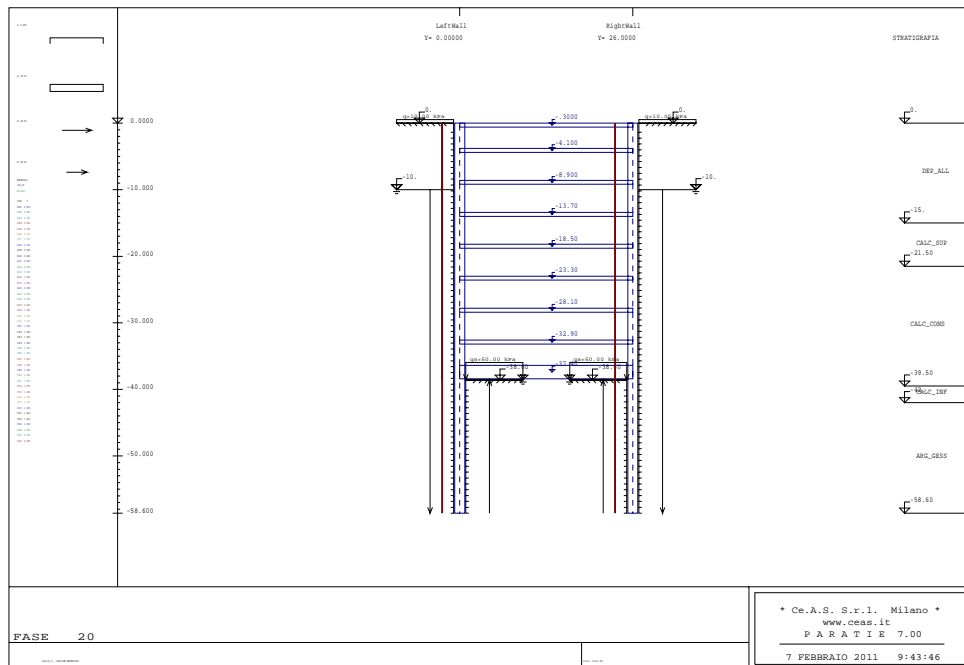


Figura 28- Fase 20: Rimozione puntelli metallici provvisori

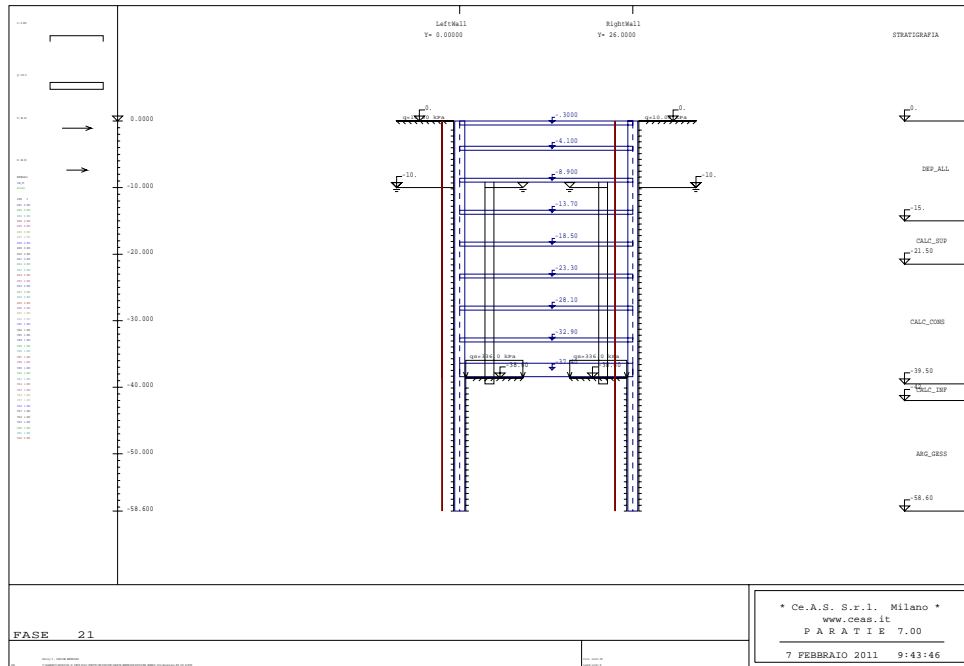


Figura 29 - Fase 21: Ripristino condizioni di falda

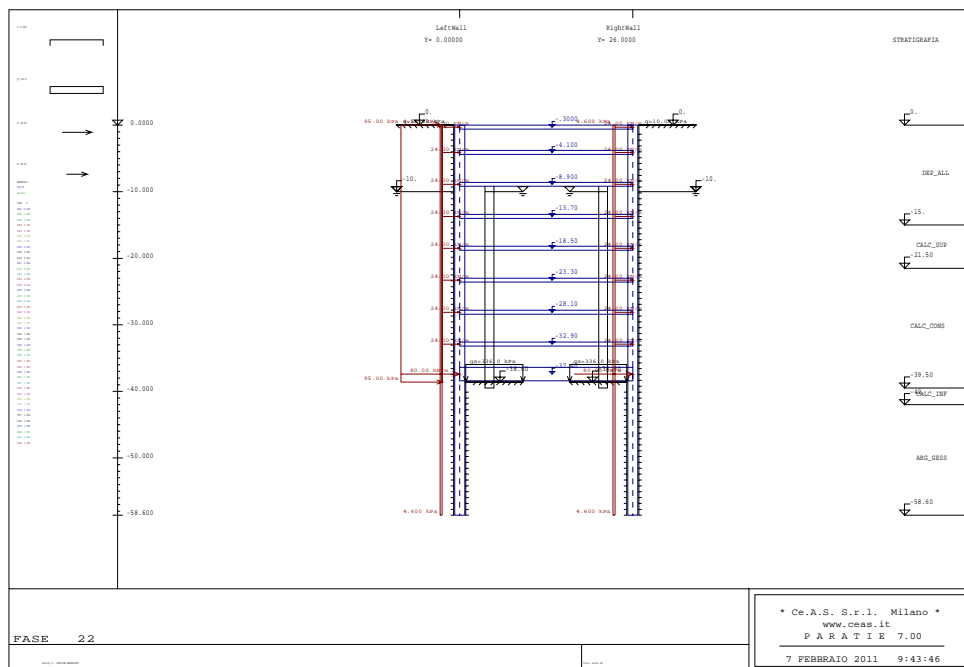


Figura 30- Fase 22: Sisma

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<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 γ_F	EQU	A1 STR	A2 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

essendo:

- 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	$\text{tg } \varphi$	γ_φ	1.00	1.25
Coesione efficace	c'_k	γ_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 “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<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 posta pari a:

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

essendo

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

k_h = coefficiente sismico in direzione orizzontale

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°.22097

Long. 15°.55651

V_R viene determinato mediante la relazione

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

in cui

V_N = vita nominale dell'opera

C_U = coefficiente d'uso

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

$V_N = 10$ anni (opere provvisorie)

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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Stato limite	T_r [anni]	a_g [g]	F_0	T_{C^*} [s]
SLV	332	0.205	2.392	0.351
SLD	35	0.065	2.361	0.285

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

essendo

T_r = periodo di ritorno dell'azione sismica

F_0 = fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

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

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

Non disponendo di sufficienti indagini utili per la corretta definizione della categoria di sottosuolo, in questa fase progettuale si assume la condizione più gravosa per il dimensionamento delle opere in oggetto.

Con riferimento alle tabelle 3.2.II e 3.2.IV del D.M. 14/01/2008, per la categoria di sottosuolo B, si ottengono i seguenti valori dei coefficienti di amplificazione e, conseguentemente, delle accelerazioni massime attese sul volume di terreno significativo per l'opera.

Stato limite	CATEGORIA B		
	S_S	S_T	a_{max} [g]
SLV	1.20	1.00	0.246
SLD	1.20	1.00	0.078

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.

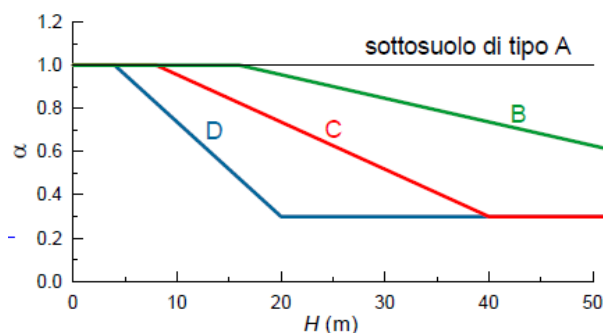


Figura 31-Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α

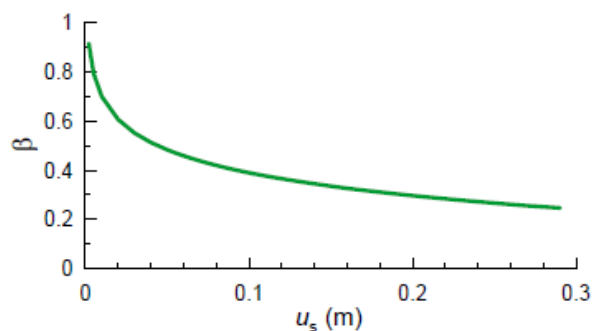


Figura 32- Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β

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 0.6. A favore di sicurezza si assume

$$\alpha \beta = 0.5$$

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	0.205	2.392	0.351	1.20	1.00	0.246	0.123
SLD	35	0.065	2.361	0.285	1.20	1.00	0.078	0.040

Tabella 14 – Sintesi dei parametri sismici di progetto

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

7.3.3 Spinte dei terreni

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

Spinta a riposo

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

$$k_0 = 1 - \operatorname{sen}\varphi$$

Spinta attiva

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

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

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

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.

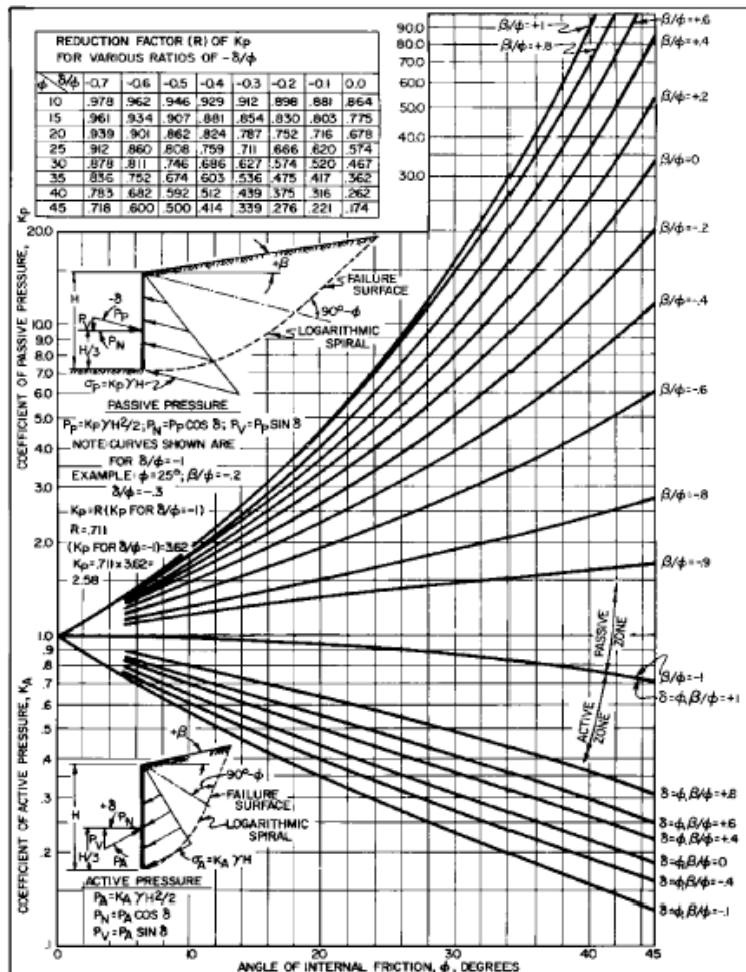


Figura 33 – Abaco per la valutazione del coefficiente di spinta passiva – Teoria di Caquot e Kerisel

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
Calcari Brecciati	0.500	0.291	3.000	0.333	3.000
Argille Gessose	0.500	0.291	3.000	0.333	3.000

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<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
Calcari Brecciati	0.581	0.362	3.282	0.409	2.445
Argille Gessose	0.581	0.362	3.282	0.409	2.445

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

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.

Data la ridotta permeabilità dei terreni presenti alla base dei diaframmi, in relazione ai tempi di realizzazione delle opere in oggetto, si ipotizza un'assenza di filtrazione al di sotto del piede delle pareti e, conseguentemente, un regime idrostatico delle pressioni neutre a tergo.

Tale configurazione di calcolo risulta conservativa per il dimensionamento delle paratie e si ritiene più opportuna in questa sede progettuale, rinviando alla fase di progetto esecutivo studi di maggiore dettaglio basati su una caratterizzazione geotecnica più avanzata dei litotipi interessati dagli interventi, con particolare riferimento alla valutazione delle caratteristiche di permeabilità.

7.3.5 Azioni accidentali

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

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

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

7.3.6 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

Per il caso in esame si ha

Stato limite	k_h	Δp_d [kPa]
SLV	0.123	95
SLD	0.040	31

Tabella 17 – Incremento sismico di spinta dei terreni

7.3.7 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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	0.123	4.6	48.0	160.0
SLD	0.040	1.5	15.6	52.0

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.

Con riferimento alle azioni assiali sui solai valutate nell'analisi STR_statica (A1+M1+R1), si sottolinea il fatto che i valori riportati per la fase di calcolo 22 sono riferiti alla condizione di lungo termine in cui le pressioni idrostatiche si sono trasferite dai diaframmi esterni alla scatola interna di stazione. Essi sono perciò rappresentativi della sola spinta dei terreni sopportata dai pannelli esterni.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

7.4.1 Analisi STR_Statica - A1+M1+R1

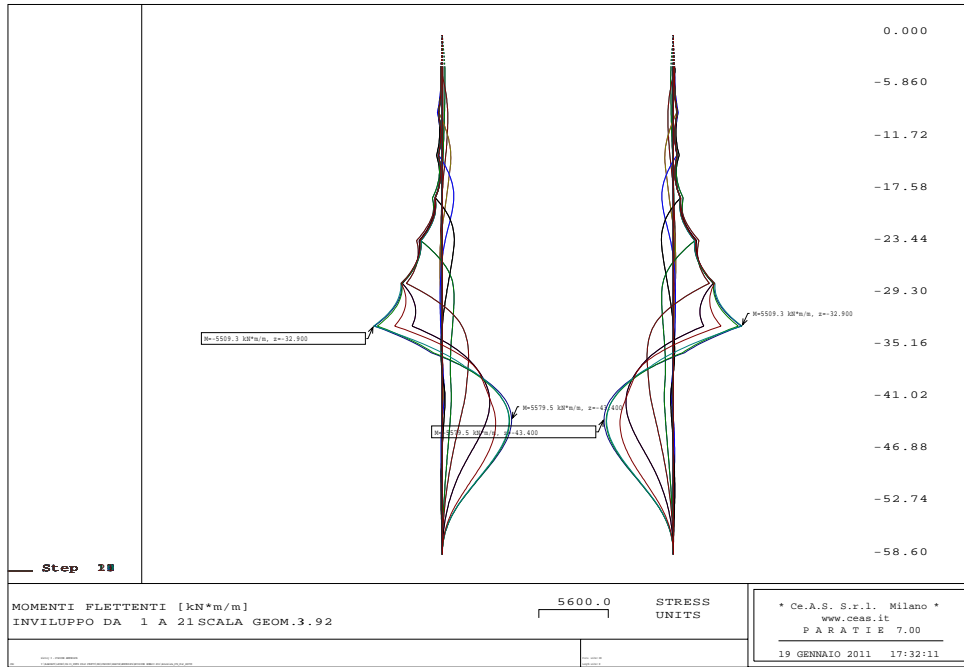


Figura 34 – Diagramma del momento flettente

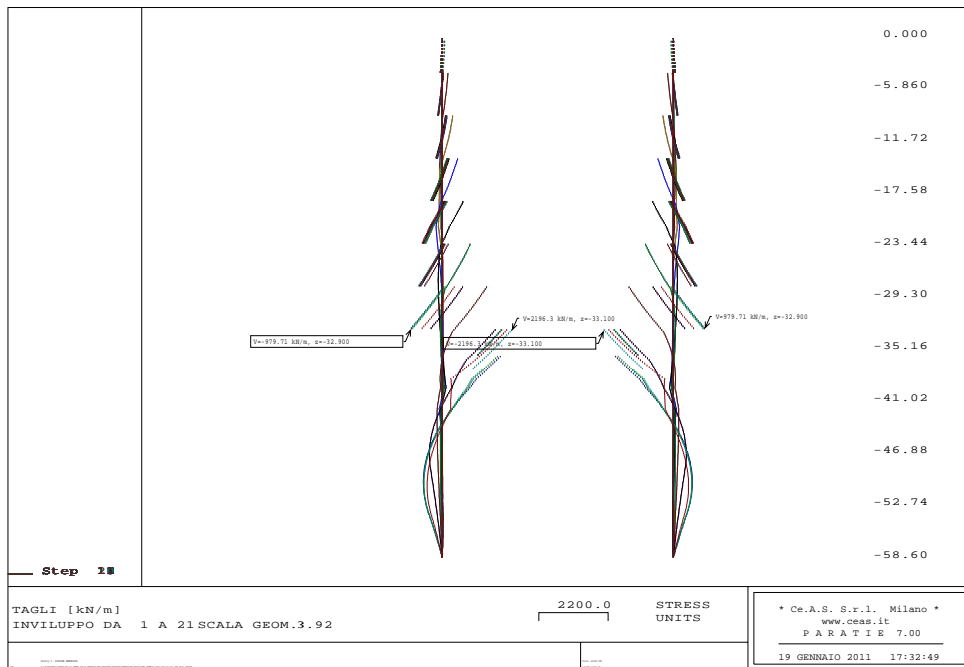


Figura 35 – Diagramma del taglio

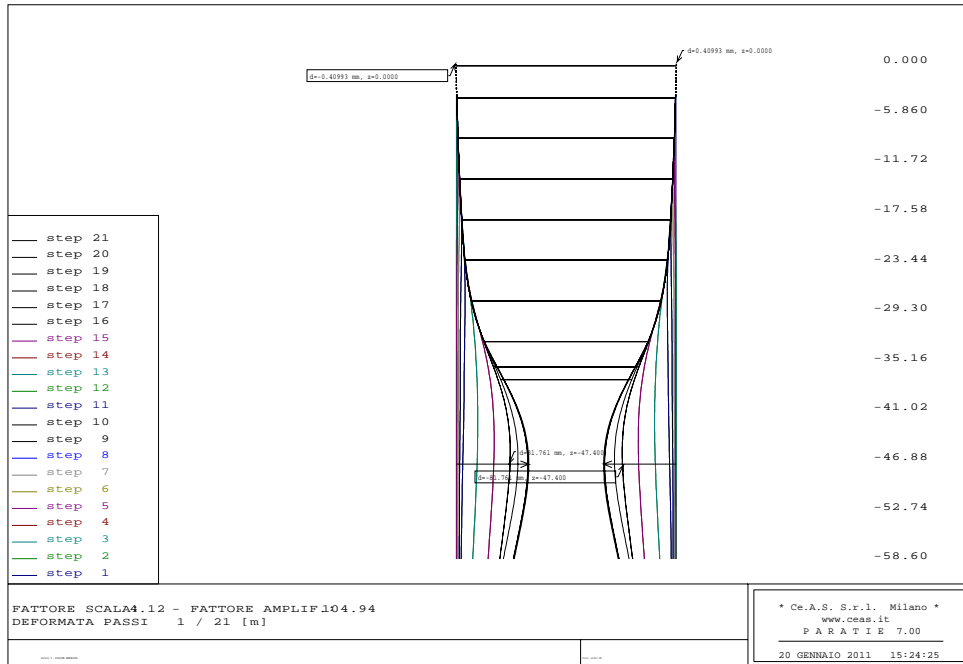


Figura 36 – Diagramma degli spostamenti orizzontali

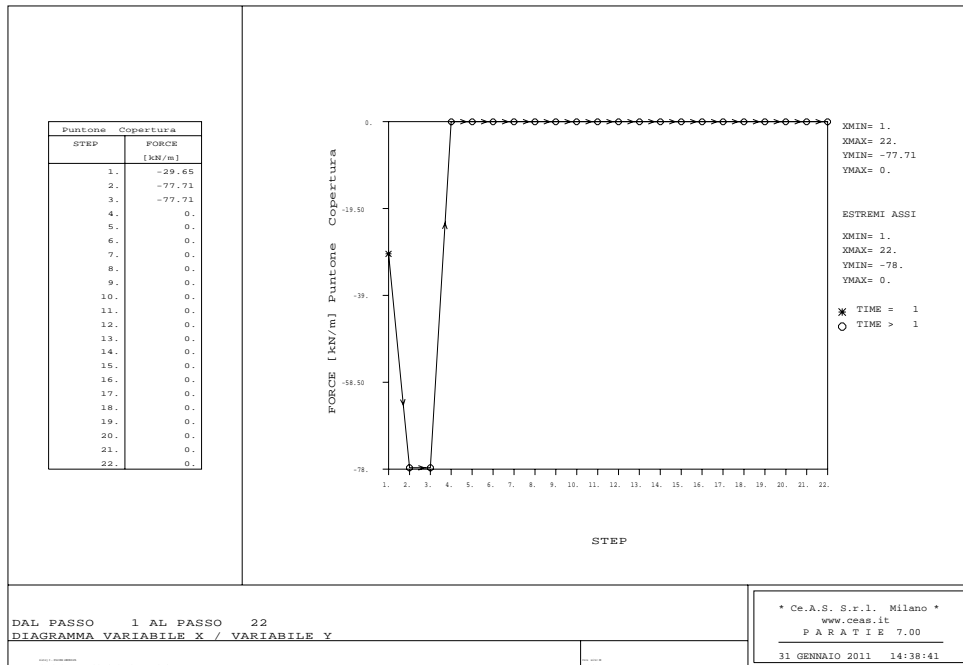


Figura 37 – Azioni assiali sul solaio di copertura

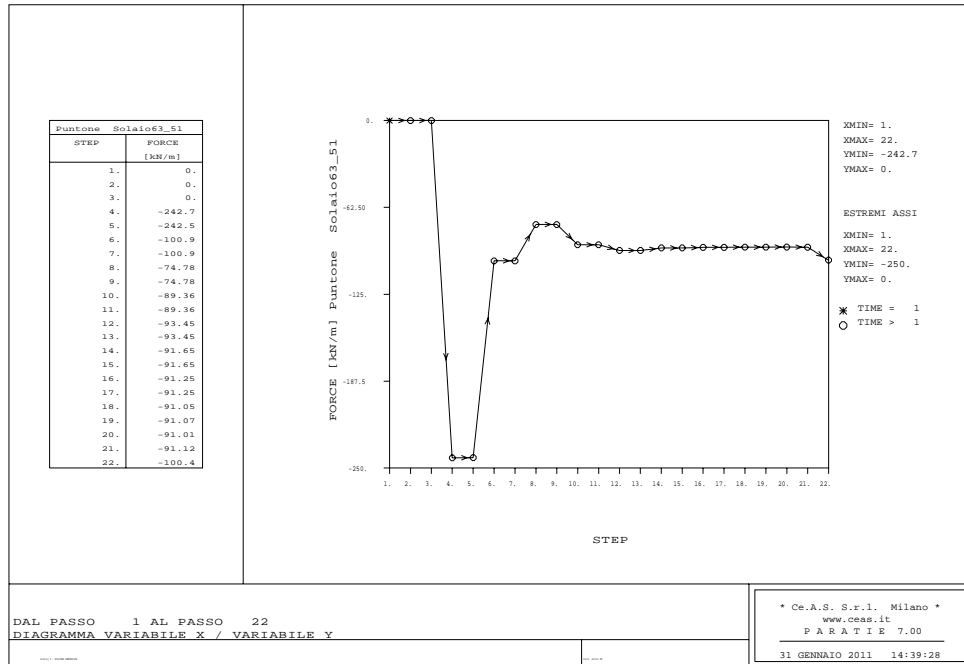


Figura 38 – Azioni assiali sul solaio a Q = +63.51m s.l.m.

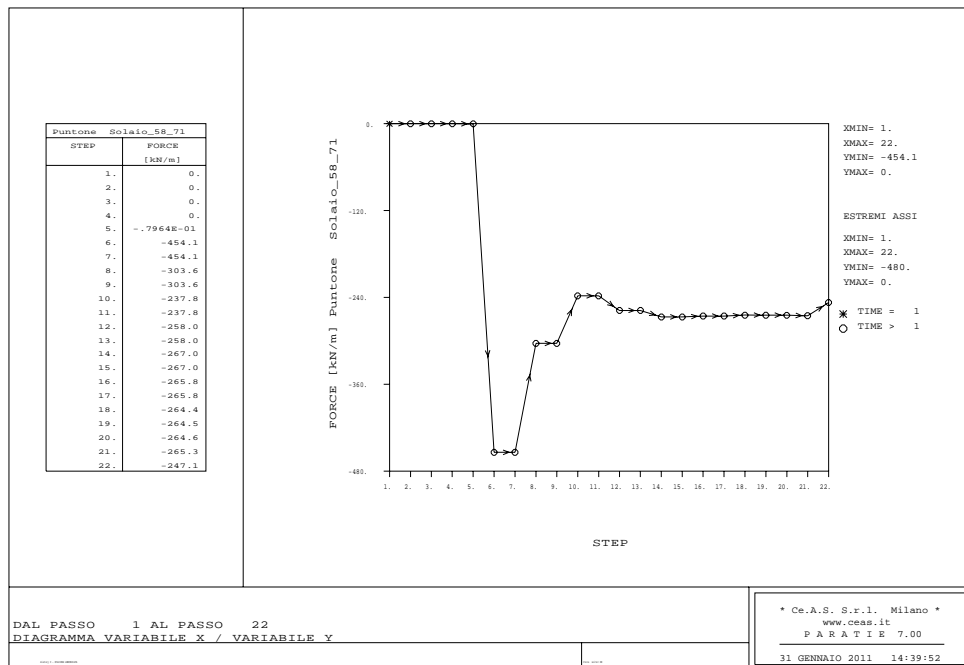


Figura 39 – Azioni assiali sul solaio a Q = +58.71m s.l.m.

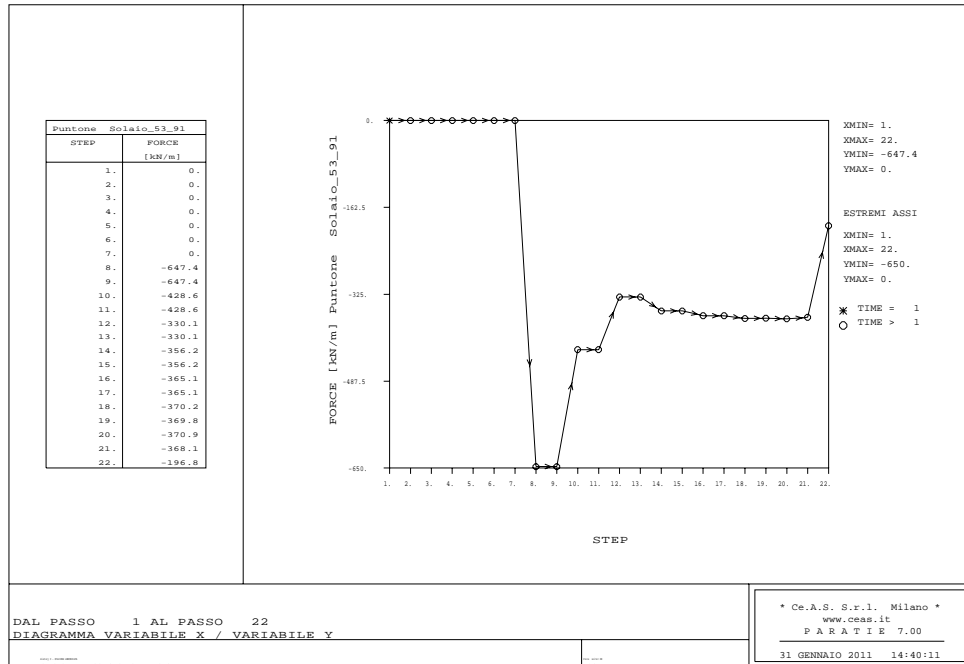


Figura 40 – Azioni assiali sul solaio a Q = +53.91m s.l.m.

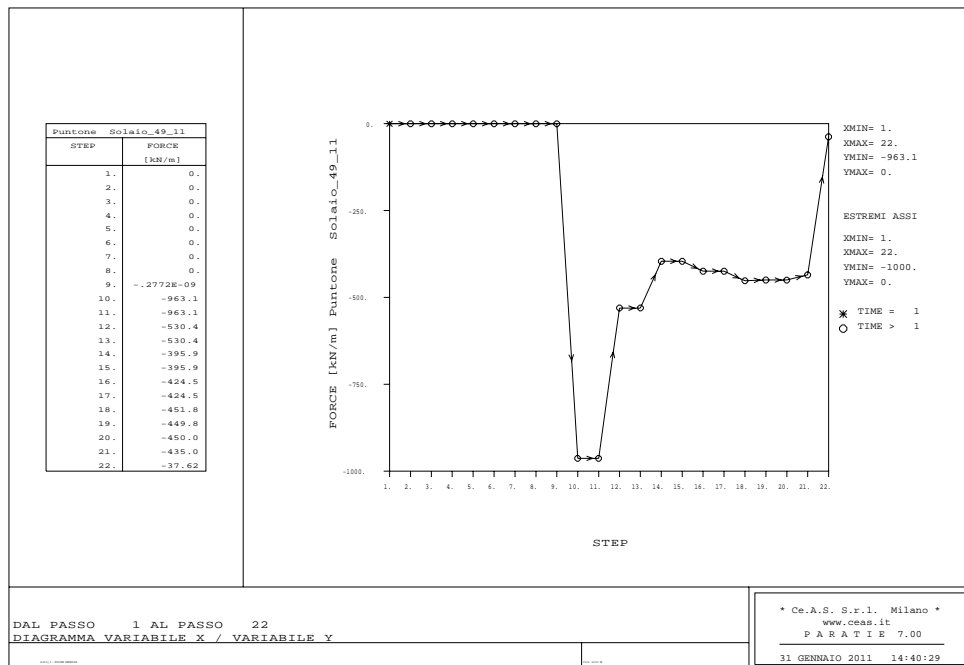


Figura 41 – Azioni assiali sul solaio a Q = +49.11m s.l.m.

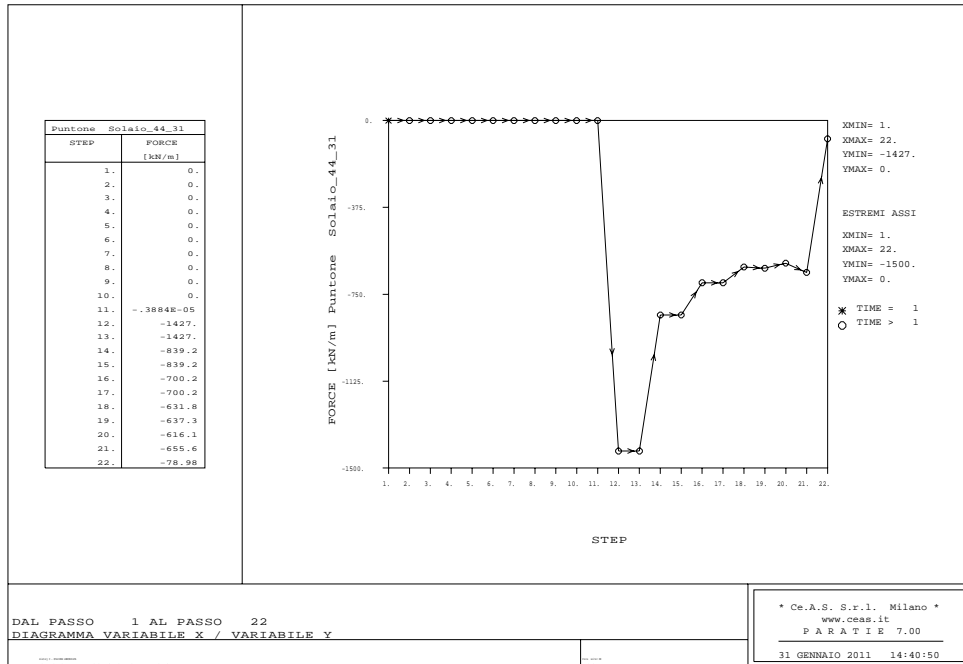


Figura 42 – Azioni assiali sul solaio a Q = +44.31m s.l.m.

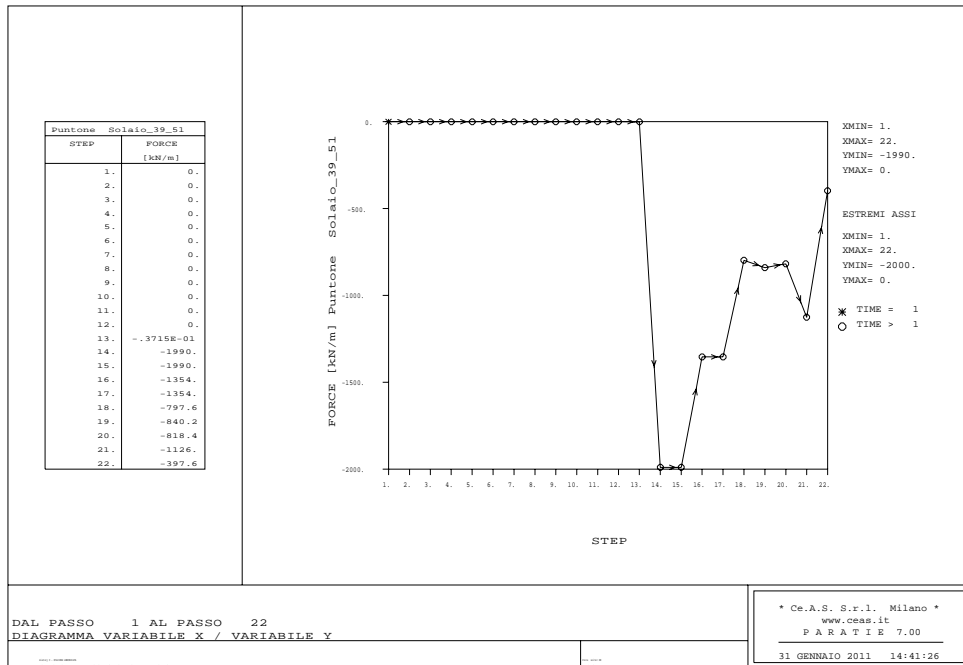


Figura 43 – Azioni assiali sul solaio a Q = +39.51m s.l.m.

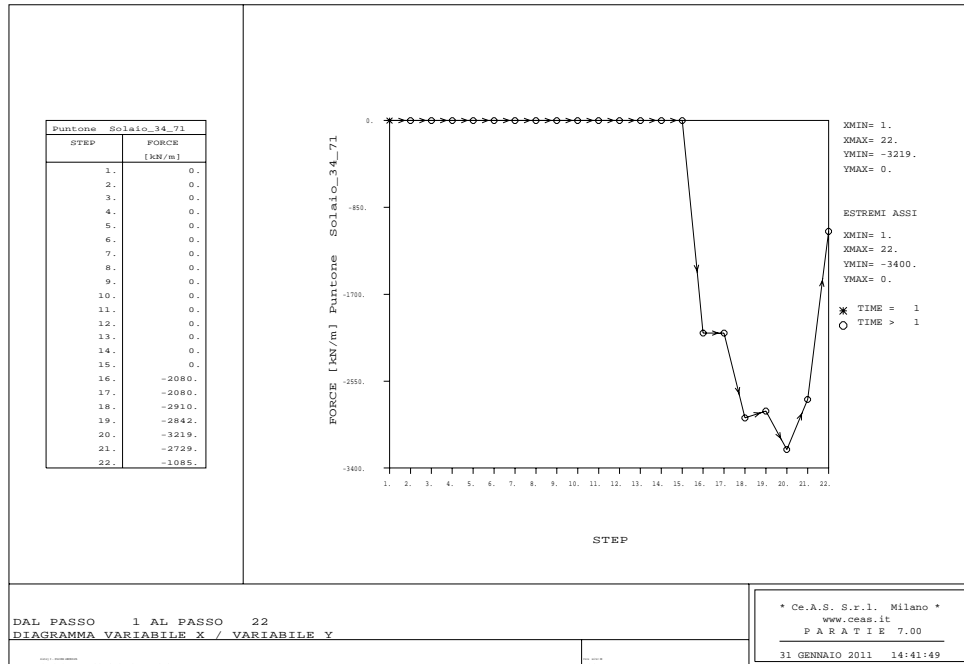


Figura 44 – Azioni assiali sul solaio a Q = +34.71m s.l.m.

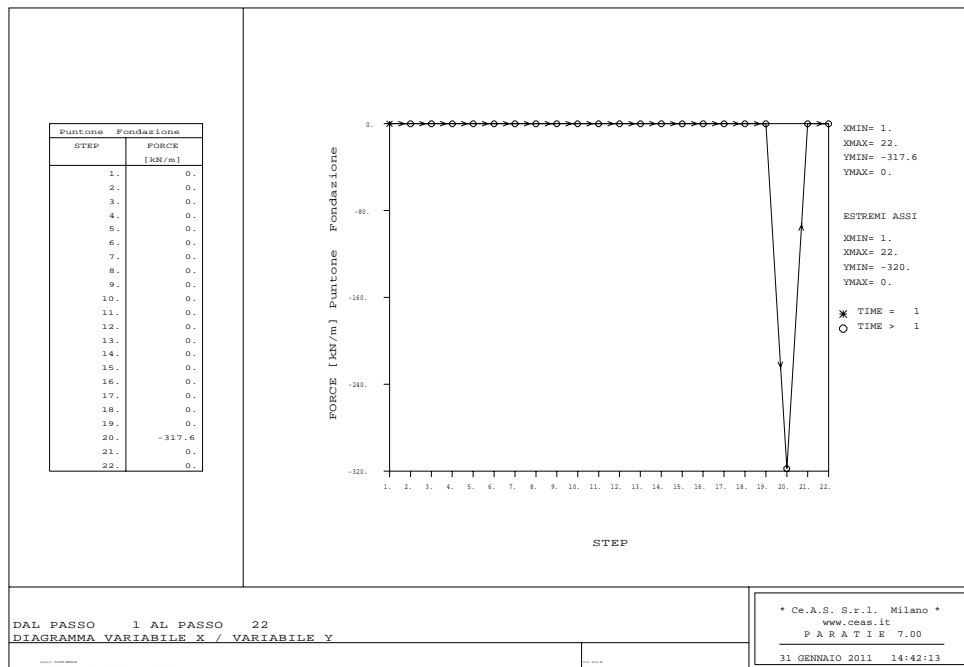


Figura 45 – Azioni assiali sul solaio di fondazione

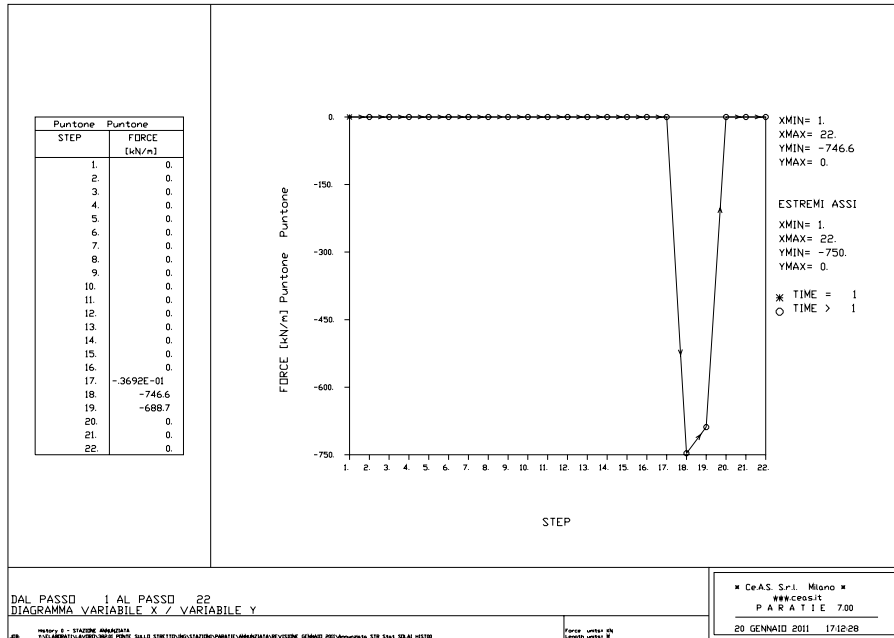


Figura 46 – Azioni assiali sui puntone metallici provvisori

7.4.2 Analisi GEO_Statica – A2+M2+R2

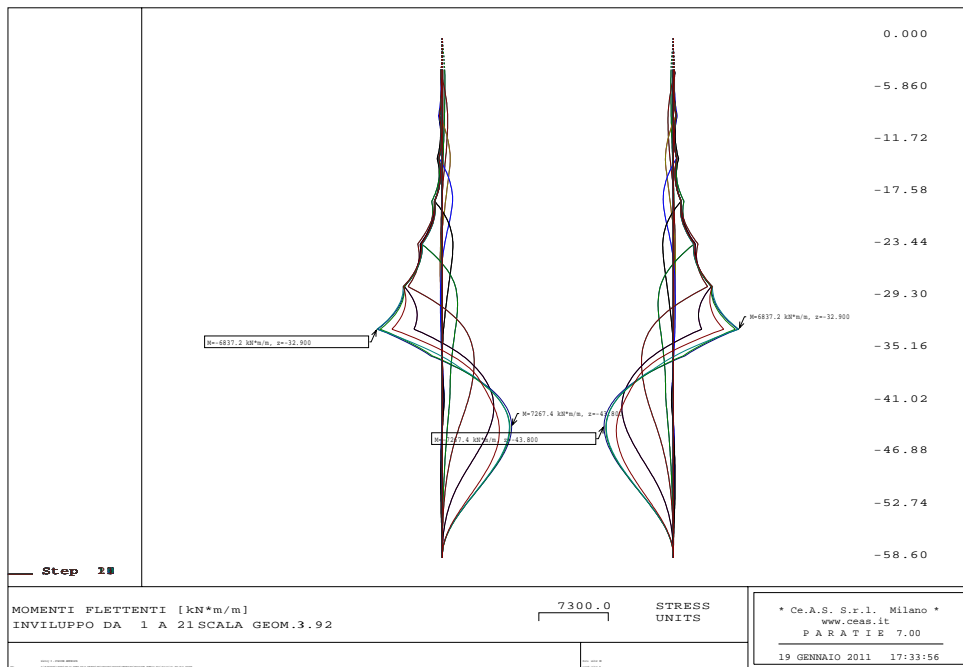


Figura 47 – Diagramma del momento flettente

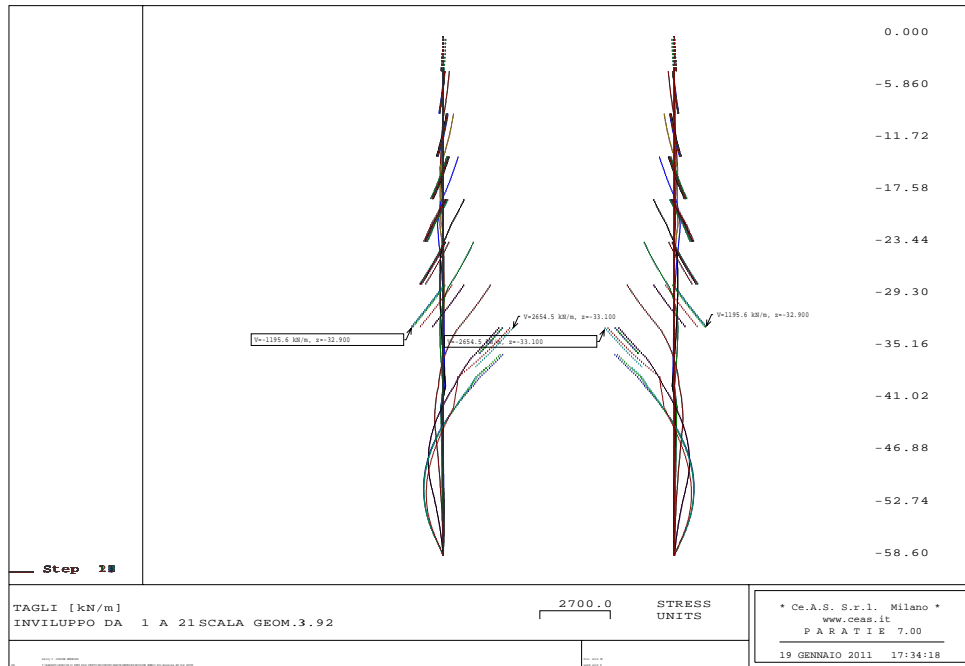


Figura 48 – Diagramma del taglio

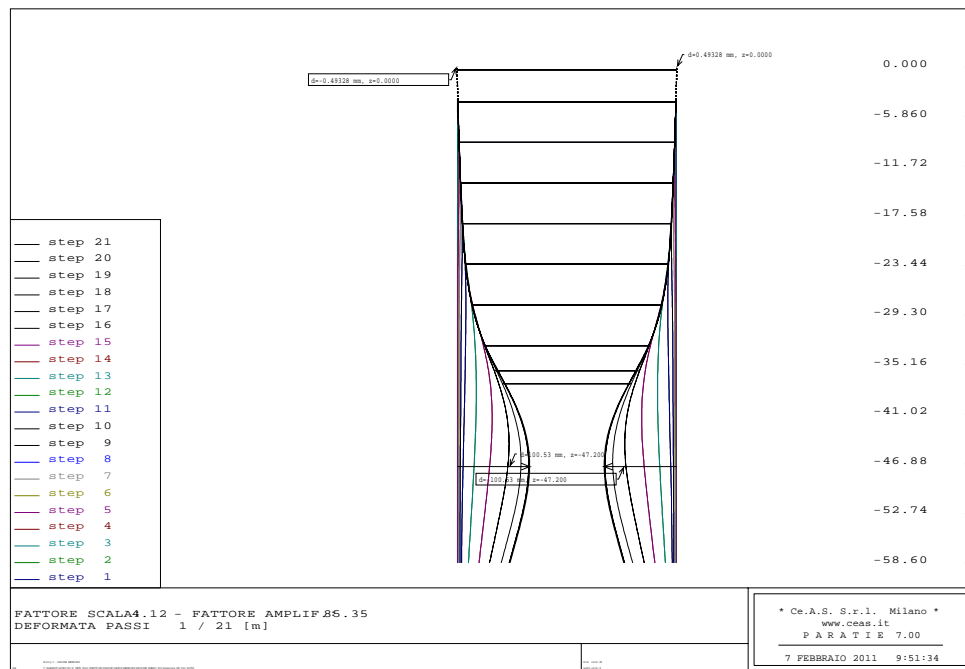


Figura 49 – Diagramma degli spostamenti orizzontali

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

7.4.3 Analisi STR_SLV – 1+M1+R1

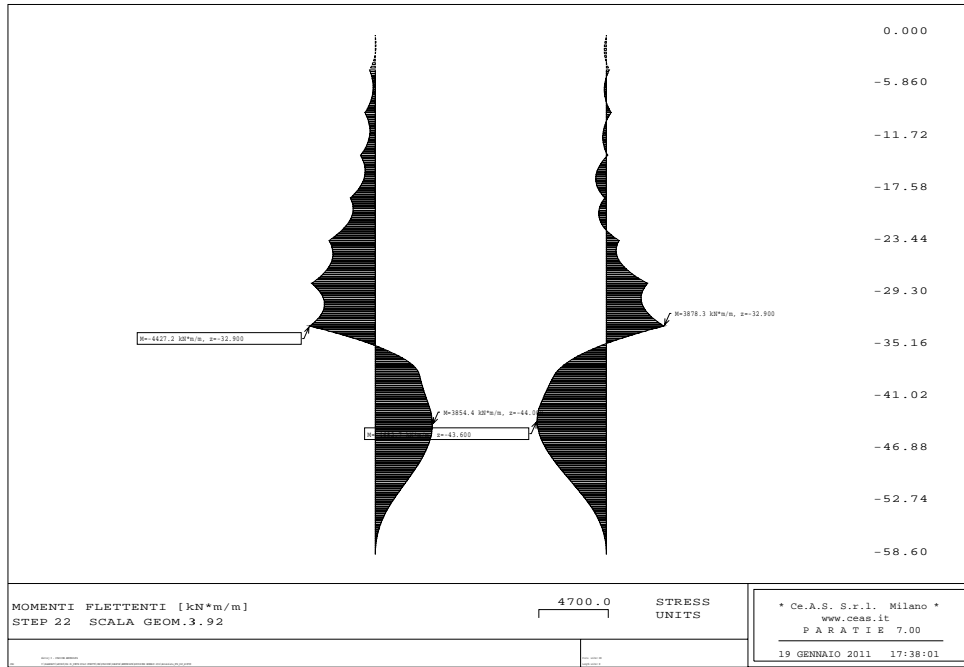


Figura 50 – Diagramma del momento flettente

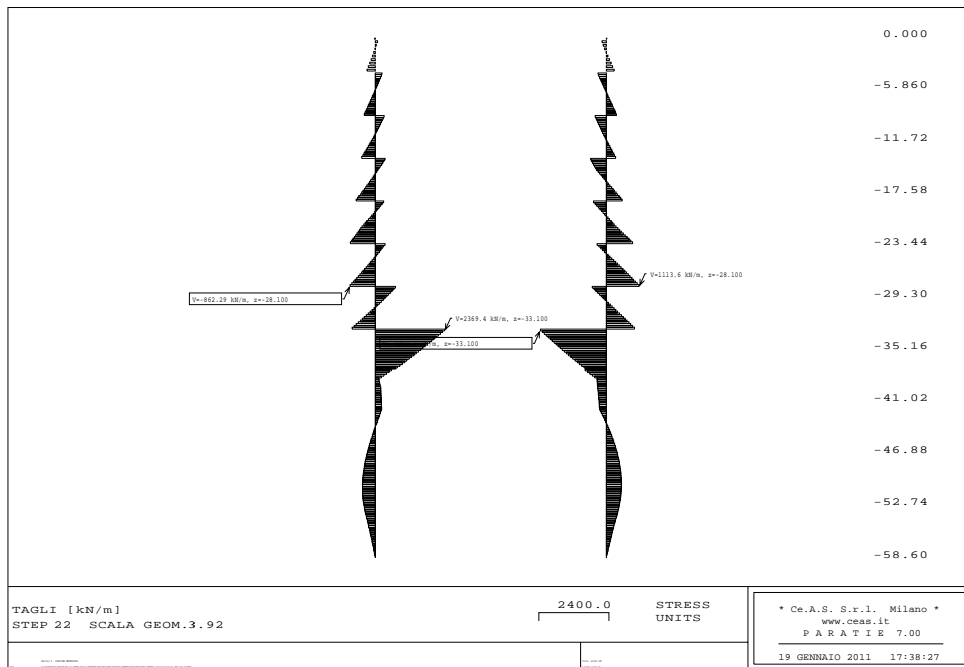


Figura 51 – Diagramma del taglio

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0212_F0	Rev F0	Data 20-06-2011

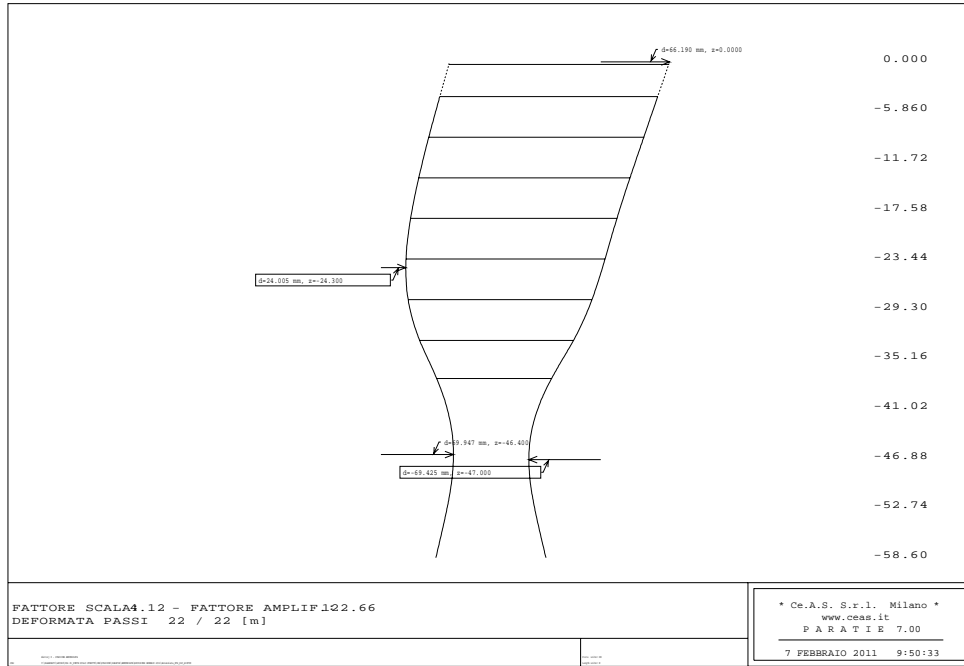


Figura 52 – Diagramma degli spostamenti orizzontali

7.4.4 Analisi GEO_SLV – 1+M2+R2

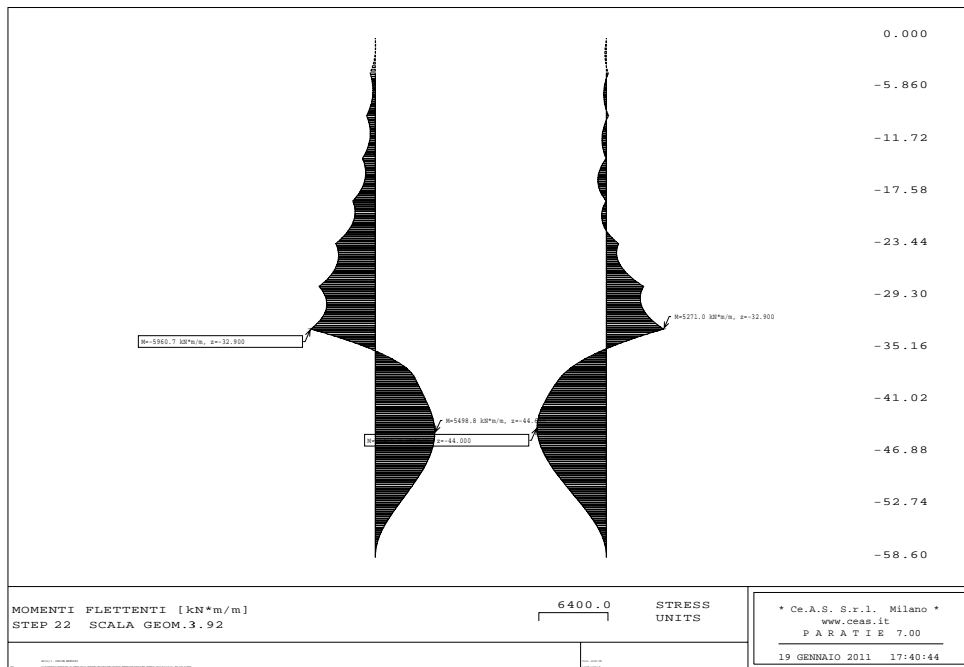


Figura 53 – Diagramma del momento flettente

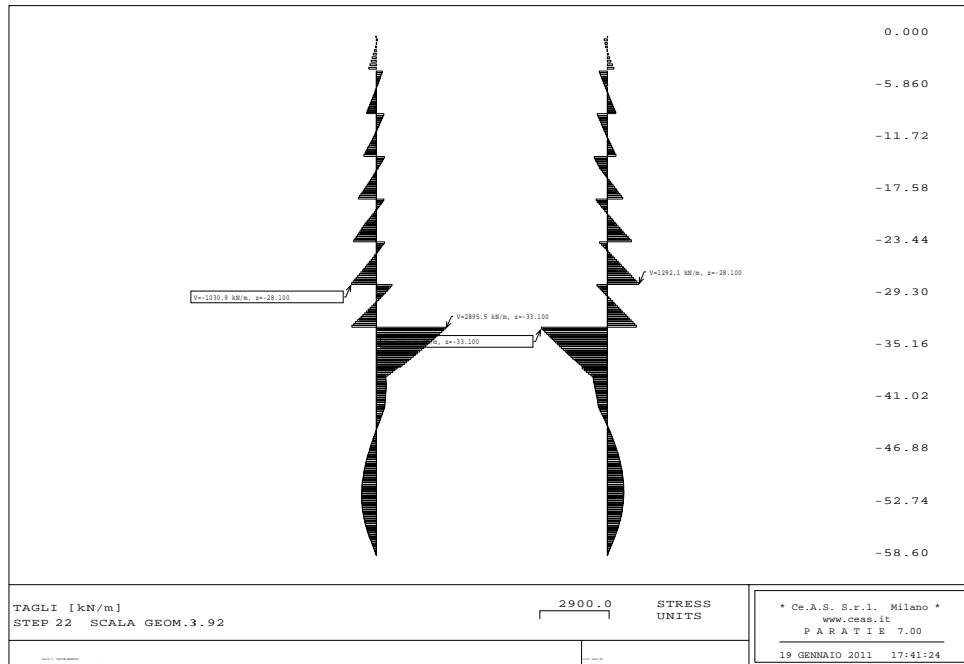


Figura 54 – Diagramma del taglio

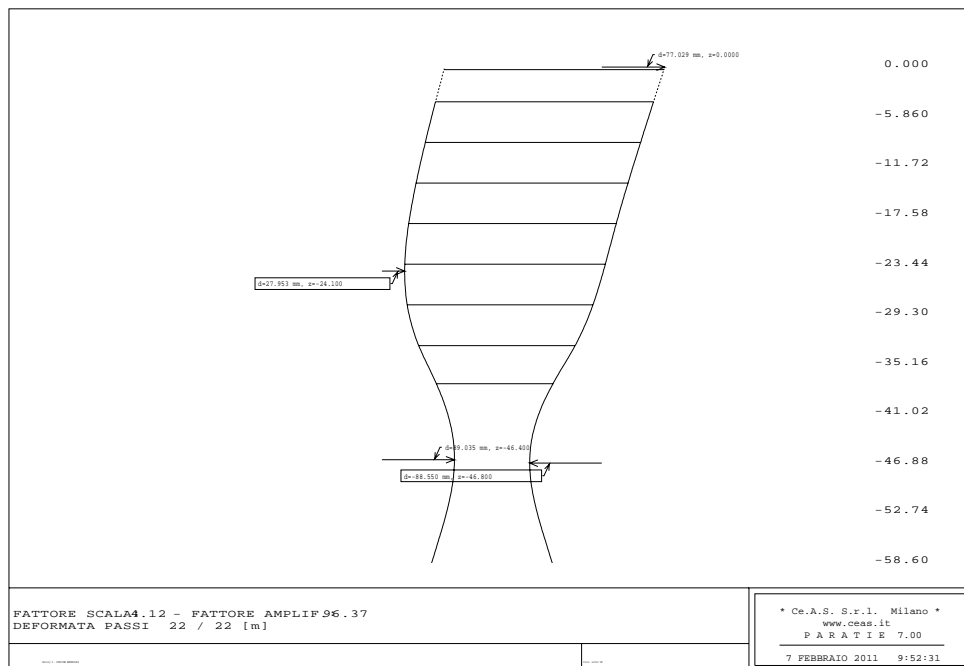


Figura 55 – Diagramma degli spostamenti orizzontali

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0212_F0	Rev F0	Data 20-06-2011

7.4.5 Analisi STR_SLD – 1+M1+R1

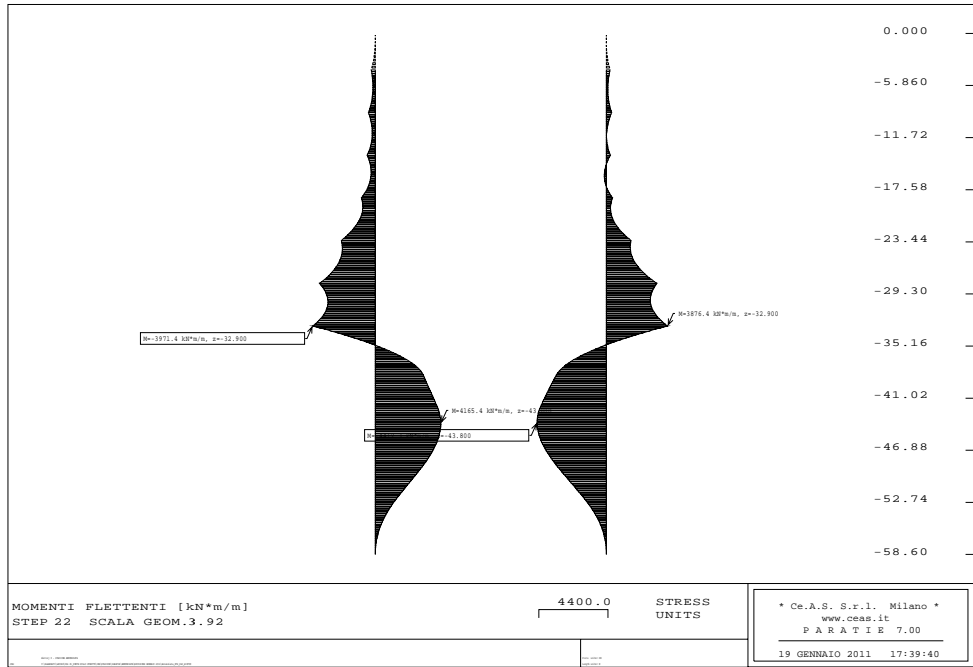


Figura 56 – Diagramma del momento flettente

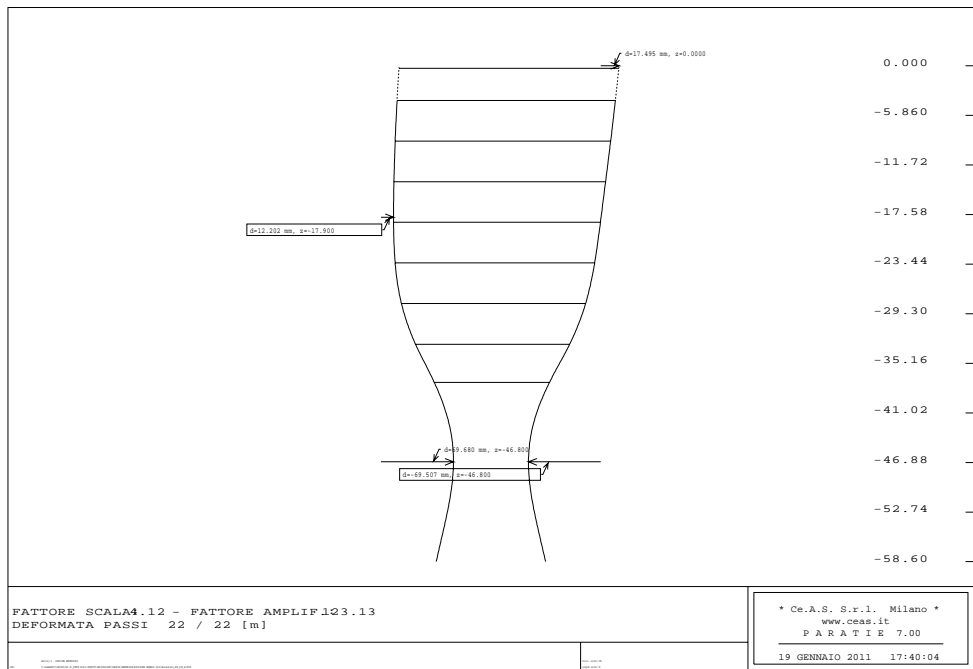


Figura 57 – Diagramma degli spostamenti orizzontali

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

7.4.6 Analisi GEO_SLD – 1+M2+R2

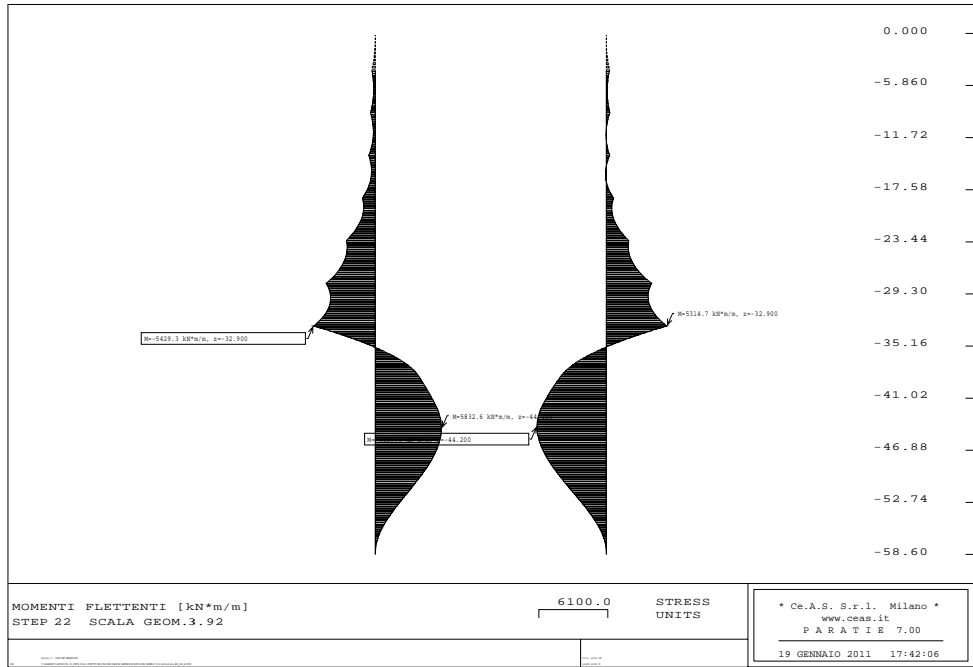


Figura 58 – Diagramma del momento flettente

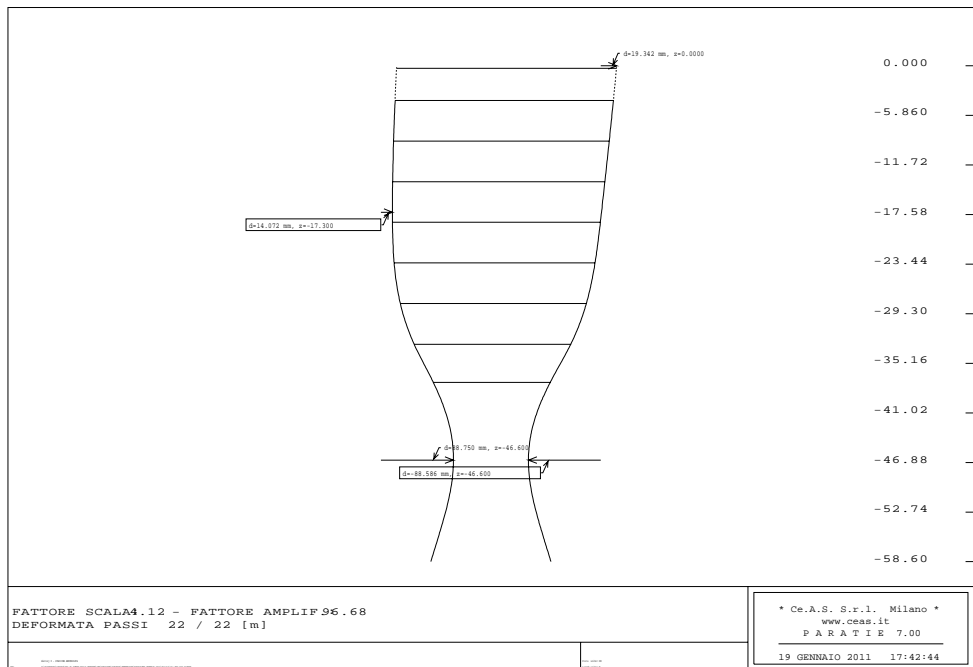


Figura 59 – Diagramma degli spostamenti orizzontali

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<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
- ✓ GEO - collasso per carico limite verticale

e di esercizio (SLE):

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

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

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

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

$$E_d \leq R_d$$

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).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Come è ovvio, il rapporto tra le due grandezze deve comunque risultare minore dell'unità.

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

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

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

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

dove:

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

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

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

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

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

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

con:

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

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

e dove:

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

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

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

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

Elementi con armature trasversali resistenti al taglio

La resistenza a taglio V_{Rd} di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio è stata valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione 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;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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 ($f'_{cd} = 0,5 \cdot f_{cd}$);

α_c coefficiente maggiorativo pari a: 1 per membrature non compresse

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

7.5.1.2 Verifiche SLU di tipo GEO

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

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

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

Le azioni di calcolo sono state amplificate mediante i coefficienti A1 ($\gamma_g = 1.3$, $\gamma_q = 1.5$) della Tabella 9, i parametri geotecnici sono stati ottenuti applicando ai valori caratteristici i coefficienti parziali M1 ($\gamma_c = \gamma_\phi = 1$) della Tabella 10 e le resistenze caratteristiche sono state ridotte attraverso i coefficienti R3 indicati nella successiva Tabella 19.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0

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_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	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 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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
- ✓ 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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

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

Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio:

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

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

7.5.2.2 Verifiche di fessurazione

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Lo stato limite di fessurazione è stato fissato in funzione delle condizioni ambientali e della

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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.

Le armature previste sono riportate nella seguente tabella.

Gabbia	Quote da p.c. (m)	Armatura Intradosso	Armatura Estradosso	Staffe
1	0 - 22	32 ϕ 30	32 ϕ 30	ϕ 16/20 a 6 bracci
2	22 - 52	90 ϕ 30 (1° e 2° strato 32 ϕ 30 accoppiati 3° strato 26 ϕ 30)	90 ϕ 30 (1° e 2° strato 32 ϕ 30 accoppiati 3° strato 26 ϕ 30)	ϕ 16/20 a 6 bracci

Tabella 21 - Armature diaframmi

La figura successiva mostra la disposizione delle armature sulla sezione trasversale

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

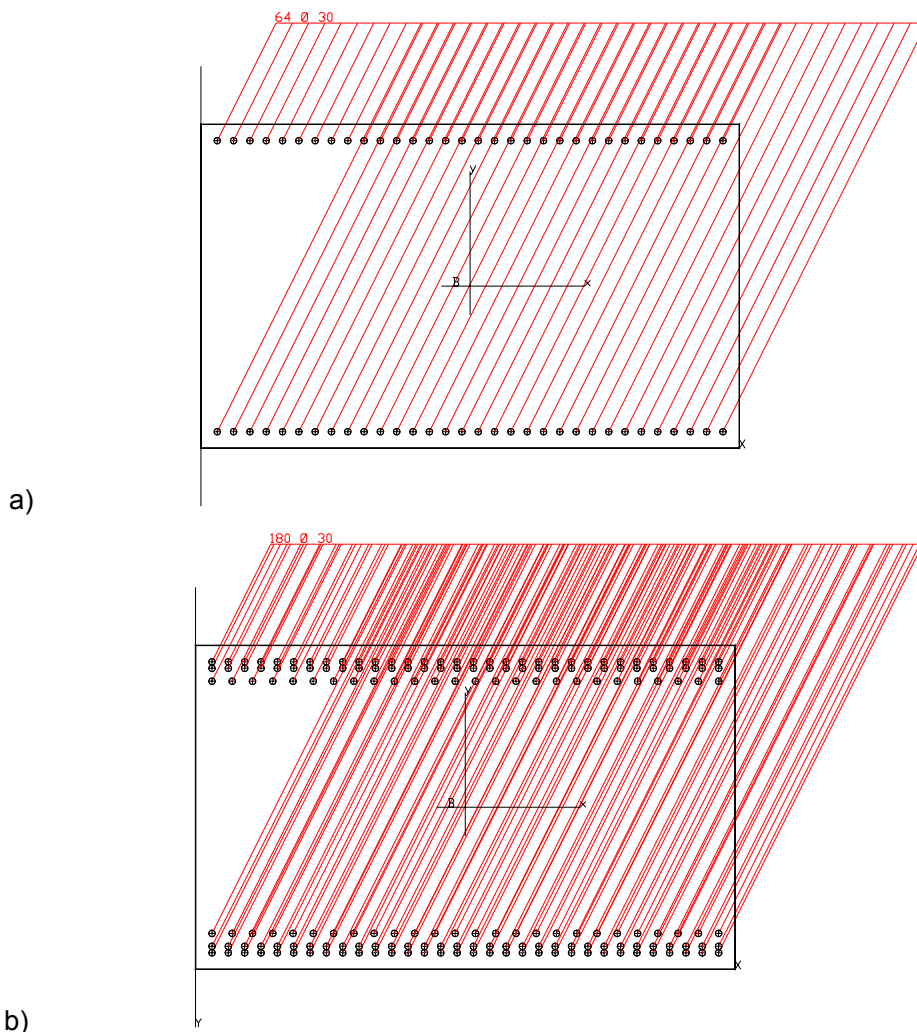


Figura 60 – Armature dei diaframmi: a) Gabbia 1; b) Gabbia 2

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 “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<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. Le verifiche si riferiscono ad una sezione di 250x150cm.

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	406875	1813338	0	406867	3461298	0	1.909
2	S	308438	-1790523	0	308428	-3402824	0	1.900
3	S	310313	10	0	310285	3403930	0	999.000
4	S	410625	1816850	0	410638	3463531	0	1.906
5	S	308438	-1709300	0	308428	-3402824	0	1.991
6	S	310313	10	0	310285	3403930	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] = proiezz. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro									
Vcd	Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso									
Vwd	Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe									
Dmed	Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.									
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro. E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.									
Teta	Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato									
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione									
Ast	Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm 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	936065	1527736	142.4	250.0	21.80°	1.068	0.0	121.9(0.0)
2	S	0	1336268	611094	142.4	250.0	45.00°	1.052	0.0	121.9(0.0)
3	S	713798	921841	1527736	142.4	250.0	21.80°	1.052	56.9	121.9(0.0)
4	S	0	1358096	611094	142.4	250.0	45.00°	1.069	0.0	121.9(0.0)
5	S	0	1336268	611094	142.4	250.0	45.00°	1.052	0.0	121.9(0.0)
6	S	663625	921841	1527736	142.4	250.0	21.80°	1.052	52.9	121.9(0.0)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

7.5.4.2 Verifiche SLU di tipo geotecnico

Verifica della profondità di infissione dei diaframmi

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	12232.	12208.	12208.	12232.
		SPINTA ACQUA	11810.	11810.	11810.	11810.
		SPINTA TOTALE VERA	24042.	24018.	24018.	24042.
		SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	5489.3	6293.1	6293.1	5489.3
		SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	83320.	75260.	75260.	83320.
		RAPPORTO PASSIVA/VERA	6.8116	6.1646	6.1646	6.8116
		SPINTA PASSIVA MOBILITATA	15.%	16.%	16.%	15.%
		RAPPORTO VERA/ATTIVA	2.2284	1.9400	1.9400	2.2284
FASE	2	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
		SPINTA EFFICACE VERA	11499.	11431.	11431.	11499.
		SPINTA ACQUA	11810.	11810.	11810.	11810.
		SPINTA TOTALE VERA	23309.	23241.	23241.	23309.
		SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	5489.3	4914.5	4914.5	5489.3
		SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	83320.	60871.	60871.	83320.
		RAPPORTO PASSIVA/VERA	7.2458	5.3252	5.3252	7.2458
		SPINTA PASSIVA MOBILITATA	14.%	19.%	19.%	14.%
		RAPPORTO VERA/ATTIVA	2.0948	2.3259	2.3259	2.0948
FASE	3	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi

SPINTA EFFICACE VERA	11499.	11431.	11431.	11499.
SPINTA ACQUA	11810.	11810.	11810.	11810.
SPINTA TOTALE VERA	23309.	23241.	23241.	23309.
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	5489.3	4914.5	4914.5	5489.3
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	83320.	60871.	60871.	83320.
RAPPORTO PASSIVA/VERA	7.2458	5.3252	5.3252	7.2458
SPINTA PASSIVA MOBILITATA	14.%	19.%	19.%	14.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA	2.0948	2.3259	2.3259	2.0948

FASE 4	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA		10491.	10215.	10215.	10491.
SPINTA ACQUA		11810.	11810.	11810.	11810.
SPINTA TOTALE VERA		22301.	22025.	22025.	22301.
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)		5489.3	3273.3	3273.3	5489.3
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)		83320.	44280.	44280.	83320.
RAPPORTO PASSIVA/VERA		7.9418	4.3347	4.3347	7.9418
SPINTA PASSIVA MOBILITATA		13.%	23.%	23.%	13.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA		1.9113	3.1207	3.1207	1.9113

FASE 5	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA		10491.	10215.	10215.	10491.
SPINTA ACQUA		11810.	11810.	11810.	11810.
SPINTA TOTALE VERA		22301.	22025.	22025.	22301.
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)		5489.3	3273.3	3273.3	5489.3
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)		83320.	44280.	44280.	83320.
RAPPORTO PASSIVA/VERA		7.9418	4.3347	4.3347	7.9418
SPINTA PASSIVA MOBILITATA		13.%	23.%	23.%	13.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA		1.9113	3.1207	3.1207	1.9113

FASE 6	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA		8775.4	9997.0	9997.0	8775.4
SPINTA ACQUA		11810.	9945.8	9945.8	11810.
SPINTA TOTALE VERA		20585.	19943.	19943.	20585.
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)		5489.3	2495.9	2495.9	5489.3
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)		83320.	36053.	36053.	83320.
RAPPORTO PASSIVA/VERA		9.4947	3.6064	3.6064	9.4947
SPINTA PASSIVA MOBILITATA		11.%	28.%	28.%	11.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA		1.5986	4.0053	4.0053	1.5986

FASE 7	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA		8775.4	9997.0	9997.0	8775.4
SPINTA ACQUA		11810.	9945.8	9945.8	11810.
SPINTA TOTALE VERA		20585.	19943.	19943.	20585.
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)		5489.3	2495.9	2495.9	5489.3
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)		83320.	36053.	36053.	83320.
RAPPORTO PASSIVA/VERA		9.4947	3.6064	3.6064	9.4947
SPINTA PASSIVA MOBILITATA		11.%	28.%	28.%	11.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA		1.5986	4.0053	4.0053	1.5986

FASE 8	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA		7036.5	9713.8	9713.8	7036.5
SPINTA ACQUA		11810.	7920.2	7920.2	11810.
SPINTA TOTALE VERA		18846.	17634.	17634.	18846.
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)		5489.3	1913.3	1913.3	5489.3
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)		83320.	29213.	29213.	83320.
RAPPORTO PASSIVA/VERA		11.841	3.0074	3.0074	11.841
SPINTA PASSIVA MOBILITATA		8.%	33.%	33.%	8.%

RAPPORTO	VERA/ATTIVA	1.2819	5.0770	5.0770	1.2819	
FASE	9	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE	VERA	7036.5	9713.8	9713.8	7036.5	
SPINTA ACQUA		11810.	7920.2	7920.2	11810.	
SPINTA TOTALE	VERA	18846.	17634.	17634.	18846.	
SPINTA ATTIVA	(POSSIBILE)	5489.3	1913.3	1913.3	5489.3	
SPINTA PASSIVA	(POSSIBILE)	83320.	29213.	29213.	83320.	
RAPPORTO	PASSIVA/VERA	11.841	3.0074	3.0074	11.841	
SPINTA PASSIVA	MOBILITATA	8.%	33.%	33.%	8.%	
RAPPORTO	VERA/ATTIVA	1.2819	5.0770	5.0770	1.2819	
FASE	10	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE	VERA	5807.3	9429.5	9429.5	5807.3	
SPINTA ACQUA		11810.	6125.1	6125.1	11810.	
SPINTA TOTALE	VERA	17617.	15555.	15555.	17617.	
SPINTA ATTIVA	(POSSIBILE)	5489.3	1402.1	1402.1	5489.3	
SPINTA PASSIVA	(POSSIBILE)	83320.	22904.	22904.	83320.	
RAPPORTO	PASSIVA/VERA	14.347	2.4290	2.4290	14.347	
SPINTA PASSIVA	MOBILITATA	7.%	41.%	41.%	7.%	
RAPPORTO	VERA/ATTIVA	1.0579	6.7255	6.7255	1.0579	
FASE	11	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE	VERA	5807.3	9429.5	9429.5	5807.3	
SPINTA ACQUA		11810.	6125.1	6125.1	11810.	
SPINTA TOTALE	VERA	17617.	15555.	15555.	17617.	
SPINTA ATTIVA	(POSSIBILE)	5489.3	1402.1	1402.1	5489.3	
SPINTA PASSIVA	(POSSIBILE)	83320.	22904.	22904.	83320.	
RAPPORTO	PASSIVA/VERA	14.347	2.4290	2.4290	14.347	
SPINTA PASSIVA	MOBILITATA	7.%	41.%	41.%	7.%	
RAPPORTO	VERA/ATTIVA	1.0579	6.7255	6.7255	1.0579	
FASE	12	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE	VERA	5584.1	9615.1	9615.1	5584.1	
SPINTA ACQUA		11810.	4560.3	4560.3	11810.	
SPINTA TOTALE	VERA	17394.	14175.	14175.	17394.	
SPINTA ATTIVA	(POSSIBILE)	5489.3	974.22	974.22	5489.3	
SPINTA PASSIVA	(POSSIBILE)	83320.	17351.	17351.	83320.	
RAPPORTO	PASSIVA/VERA	14.921	1.8045	1.8045	14.921	
SPINTA PASSIVA	MOBILITATA	7.%	55.%	55.%	7.%	
RAPPORTO	VERA/ATTIVA	1.0173	9.8695	9.8695	1.0173	
FASE	13	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE	VERA	5584.1	9615.1	9615.1	5584.1	
SPINTA ACQUA		11810.	4560.3	4560.3	11810.	
SPINTA TOTALE	VERA	17394.	14175.	14175.	17394.	
SPINTA ATTIVA	(POSSIBILE)	5489.3	974.22	974.22	5489.3	
SPINTA PASSIVA	(POSSIBILE)	83320.	17351.	17351.	83320.	
RAPPORTO	PASSIVA/VERA	14.921	1.8045	1.8045	14.921	
SPINTA PASSIVA	MOBILITATA	7.%	55.%	55.%	7.%	
RAPPORTO	VERA/ATTIVA	1.0173	9.8695	9.8695	1.0173	
FASE	14	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi

**COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE
“ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**

Codice documento
ST0212_F0

<i>Rev</i>	<i>Data</i>
F0	20-06-2011

	SPINTA EFFICACE VERA	5616.8	9385.7	9385.7	5616.8
	SPINTA ACQUA	11810.	3225.8	3225.8	11810.
	SPINTA TOTALE VERA	17427.	12612.	12612.	17427.
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	5489.3	629.78	629.78	5489.3
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	83320.	12554.	12554.	83320.
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	14.834	1.3376	1.3376	14.834
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	7.%	75.%	75.%	7.%
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.0232	14.903	14.903	1.0232
FASE 15	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
	SPINTA EFFICACE VERA	5616.8	9386.0	9386.0	5616.8
	SPINTA ACQUA	11810.	3225.8	3225.8	11810.
	SPINTA TOTALE VERA	17427.	12612.	12612.	17427.
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	5489.3	629.78	629.78	5489.3
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	83320.	12554.	12554.	83320.
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	14.834	1.3375	1.3375	14.834
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	7.%	75.%	75.%	7.%
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.0232	14.904	14.904	1.0232
FASE 16	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
	SPINTA EFFICACE VERA	5657.9	8627.1	8627.1	5657.9
	SPINTA ACQUA	11810.	2442.1	2442.1	11810.
	SPINTA TOTALE VERA	17468.	11069.	11069.	17468.
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	5489.3	432.16	432.16	5489.3
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	83320.	9703.2	9703.2	83320.
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	14.726	1.1247	1.1247	14.726
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	7.%	89.%	89.%	7.%
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.0307	19.963	19.963	1.0307
FASE 17	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
	SPINTA EFFICACE VERA	5657.9	8627.6	8627.6	5657.9
	SPINTA ACQUA	11810.	2442.1	2442.1	11810.
	SPINTA TOTALE VERA	17468.	11070.	11070.	17468.
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	5489.3	432.16	432.16	5489.3
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	83320.	9703.2	9703.2	83320.
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	14.726	1.1247	1.1247	14.726
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	7.%	89.%	89.%	7.%
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.0307	19.964	19.964	1.0307
FASE 18	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
	SPINTA EFFICACE VERA	5695.8	7992.0	7992.0	5695.8
	SPINTA ACQUA	11810.	2000.0	2000.0	11810.
	SPINTA TOTALE VERA	17506.	9992.0	9992.0	17506.
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	5489.3	322.68	322.68	5489.3
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	83320.	8069.8	8069.8	83320.
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	14.628	1.0097	1.0097	14.628
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	7.%	99.%	99.%	7.%
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.0376	24.767	24.767	1.0376
FASE 19	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
	SPINTA EFFICACE VERA	5996.4	8387.6	8387.6	5996.4
	SPINTA ACQUA	11810.	2000.0	2000.0	11810.
	SPINTA TOTALE VERA	17806.	10388.	10388.	17806.
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	5489.3	604.84	604.84	5489.3
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	83320.	11368.	11368.	83320.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

RAPPORTO PASSIVA/VERA	13.895	1.3554	1.3554	13.895	
SPINTA PASSIVA MOBILITATA	7.%	74.%	74.%	7.%	
RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.0924	13.867	13.867	1.0924	
FASE 20	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA	5992.6	8418.1	8418.1	5992.6	
SPINTA ACQUA	11810.	2000.0	2000.0	11810.	
SPINTA TOTALE VERA	17802.	10418.	10418.	17802.	
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	5489.3	604.84	604.84	5489.3	
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	83320.	11368.	11368.	83320.	
RAPPORTO PASSIVA/VERA	13.904	1.3505	1.3505	13.904	
SPINTA PASSIVA MOBILITATA	7.%	74.%	74.%	7.%	
RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.0917	13.918	13.918	1.0917	
FASE 21	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA	8460.8	5677.0	5677.0	8460.8	
SPINTA ACQUA	11810.	7748.6	7748.6	11810.	
SPINTA TOTALE VERA	20271.	13426.	13426.	20271.	
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	5489.3	604.84	604.84	5489.3	
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	83320.	11368.	11368.	83320.	
RAPPORTO PASSIVA/VERA	9.8478	2.0025	2.0025	9.8478	
SPINTA PASSIVA MOBILITATA	10.%	50.%	50.%	10.%	
RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.5413	9.3859	9.3859	1.5413	
FASE 22	GRUPPO -->	UHLe	DHLe	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA	8307.4	5811.1	5607.5	12635.	
SPINTA ACQUA	11810.	7748.6	7748.6	11810.	
SPINTA TOTALE VERA	20117.	13560.	13356.	24444.	
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	6367.0	711.35	711.35	6367.0	
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	62033.	8646.9	8646.9	62033.	
RAPPORTO PASSIVA/VERA	7.4672	1.4880	1.5420	4.9098	
SPINTA PASSIVA MOBILITATA	13.%	67.%	65.%	20.%	
RAPPORTO VERA/ATTIVA	1.3048	8.1691	7.8830	1.9844	

Verifica di carico limite verticale

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

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

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

DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO					
Peso proprio dei diaframmi					
Spessore (m)		1.50			
Lunghezza (m)		58.60			
Altezza fuori terra (m)		38.60			
Lunghezza infissione (m)		20.00			
Peso proprio (kN/m)		2197.50			
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)
Copertura	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55
+63.51 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55
+58.71 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55
+53.91 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55
+49.11 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55
+44.31 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55
+39.51 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55
+34.71 m s.l.m.	4.78	15.00	2.00	71.63	9.55
TOTALE (kN/m)				573.00	76.40
Valori di progetto delle azioni					
Azione	Valore caratteristico (kN/m)	Coefficiente di amplificazione	Valore di progetto (kN/m)		
Peso proprio pannelli	2197.50	1.30	2856.75		
Peso proprio solai	573.00	1.30	744.90		
Azioni accidentali (in fase costruttiva)	76.40	1.50	114.60		
AZIONE DI PROGETTO (kN/m)			3716.25		

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.

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA DI PROGETTO						
Geometria dei diaframmi						
Spessore (m)	1.50					
Lunghezza (m)	58.60					
Altezza fuori terra (m)	38.60					
Lunghezza infissione (m)	20.00					
Caratteristiche del sottosuolo						
Parametri geotecnici dei terreni						
Strato	Spessore (m)	γ (kN/m³)	c (kPa)	ϕ (°)	E (MPa)	ν
Alluvioni	15.00	19.00	0.00	37.00	40.00	0.20
Calcari brecciati	27.00	20.00	30.00	30.00	100.00	0.25
Argille Gessose	16.60	20.00	25.00	30.00	100.00	0.25
Profondità della falda dal p.c. (m)	10.00					
Coefficienti di carico limite						
N_q	18.40					
N_c	30.14					
N_r	22.40					
Correzione per punzonamento						
Modulo di rigidezza a taglio	G (MPa)	40.00				
Indice di rigidezza	I_r	276.24				
Indice di rigidezza critico	$I_{r,crit}$	143.19				
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)	400.00				
Pressione neutra	u_0 (kPa)	200.00				
Tensione verticale efficace	σ'_{vp} (kPa)	200.00				
Resistenze di calcolo						
Resistenza alla base						
Resistenza unitaria	p (kPa)	4801.73				
Resistenza totale	P (kN/m)	7202.60				
Resistenza laterale - lato monte						
Strato	L_m (m)	k	μ	σ'_{vz} (kPa)	s (kPa)	S (kN/m)
Alluvioni	15.00	0.40	0.33	142.50	19.07	286.08
Calcari brecciati	27.00	0.40	0.27	370.00	39.66	1070.72
Argille Gessose	16.60	0.40	0.27	588.00	63.02	1046.16
					TOTALE	2402.96
Resistenza laterale - lato valle						
Strato	L_v (m)	k	μ	σ'_{vz} (kPa)	s (kPa)	S (kN/m)
Alluvioni	-	-	-	-	-	-
Calcari brecciati	3.40	0.40	0.27	17.00	1.82	6.19
Argille Gessose	16.60	0.40	0.27	117.00	12.54	208.16
					TOTALE	214.36
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	7202.60	1.70	4236.82	1.35	3138.39	
Resistenza laterale	2617.32	1.70	1539.60	1.15	1338.78	
RESISTENZA DI PROGETTO (kN/m)					4477.17	

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)	3716.25
RESISTENZA DI PROGETTO	R_d (kN/m)	4477.17
FATTORE DI SICUREZZA	R_d/E_d	1.20

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

7.5.4.3 Verifiche agli SLE

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche delle tensioni di esercizio e di fessurazione maggiormente gravose per le opere in esame. Le verifiche si riferiscono ad una sezione di 250x150cm.

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	410625	1103075	0
2	308438	-992850	0
3	410625	1816850	0
4	308438	-1709300	0

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm ²]
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm ²]
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di conglomerato [cm ²] 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	68.7	250.0	150.0	-1169	7.6	7.6	9346	162	0.195	0.105
2	S	60.8	0.0	0.0	-1093	242.4	142.4	9346	163	0.197	0.089
3	S	108.5	250.0	150.0	-2106	7.6	7.6	9346	163	0.198	0.258
4	S	100.7	0.0	0.0	-2036	242.4	142.4	9346	163	0.199	0.247

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

N. Comb.	N	Mx	My
1	406875	1394875	0
2	308438	-1377325	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	84.9	250.0	150.0	-1554	7.6	7.6	9346	163	0.197	0.193
2	S	82.2	0.0	0.0	-1599	242.4	142.4	9346	163	0.198	0.199

7.5.4.4 Verifica dei puntoni metallici provvisori

I puntoni metallici provvisori previsti per l'ultima fase di ribasso sono costituiti da tubi in acciaio $\Phi 1100\text{mm}$ sp. 20mm disposti ad un interasse massimo in pianta di 6.00m

Essi sono soggetti all'azione assiale trasmessa dai pannelli per effetto della spinta dei terreni ed all'azione flettente dovuta al peso proprio.

Data la natura provvisoria degli elementi, la verifica di sicurezza viene effettuata mediante la valutazione delle tensioni massime in fase di esercizio per effetto dei carichi combinati e confrontando tali valori con il limite ammesso:

$$\sigma_{\max} \leq 0.8 f_{yk} = 284 \text{ MPa}$$

Il calcolo della tensione massima viene condotto mediante la nota formula di instabilità delle aste presso inflesse:

$$\sigma_{\max} = \omega \frac{N}{A} + \frac{M}{\psi W \left(1 - \nu \frac{N}{N_{cr}} \right)}$$

essendo

ω = coefficiente di instabilità euleriana = 1.35

N = sforzo normale agente sul puntone = $746.6 \times 6.0 = 4479.6 \text{ kN}$

A = area della sezione trasversale del profilo = 0.0679 m^2

M = momento flettente massimo = $p L^2 / 8 = 450.12 \text{ kNm}$

p = peso proprio a metro lineare = 5.33 kN/m

L = luce massima di calcolo = 26.00m

Ψ = coefficiente di adattamento plastico = 1

W = modulo di resistenza della sezione trasversale del profilo = 0.018 m^3

ν = coefficiente di sicurezza = 1.5

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0

N_{cr} = sforzo normale critico = $A \sigma_{cr}$ = 29858 kN

σ_{cr} = tensione critica euleriana = 440 MPa

Per il caso in esame, poiché

$$\sigma_{max} = \omega \frac{N}{A} + \frac{M}{\psi W \left(1 - \nu \frac{N}{N_{cr}} \right)} = 121.4 \text{ MPa} < 0.8 f_{yk} = 284 \text{ MPa}$$

la verifica risulta soddisfatta.

7.5.4.5 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 70.6m.

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)		70.60			
Altezza fuori terra (m)		38.60			
Lunghezza infissione (m)		32.00			
Peso proprio (kN/m)		1412.00			
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)
Copertura	8.98	15.00	2.00	134.63	17.95
+63.51 m s.l.m.	8.98	15.00	2.00	134.63	17.95
+58.71 m s.l.m.	8.98	15.00	2.00	134.63	17.95
+53.91 m s.l.m.	8.98	15.00	2.00	134.63	17.95
+49.11 m s.l.m.	8.98	15.00	2.00	134.63	17.95
+44.31 m s.l.m.	8.98	15.00	2.00	134.63	17.95
+39.51 m s.l.m.	8.98	15.00	2.00	134.63	17.95
+34.71 m s.l.m.	8.98	15.00	2.00	134.63	17.95
TOTALE (kN/m)				1077.00	143.60
Valori di progetto delle azioni					
Azione	Valore caratteristico (kN/m)	Coefficiente di amplificazione	Valore di progetto (kN/m)		
Peso proprio pannelli	1412.00	1.30	1835.60		
Peso proprio solai	1077.00	1.30	1400.10		
Azioni accidentali (in fase costruttiva)	143.60	1.50	215.40		
AZIONE DI PROGETTO (kN/m)			3451.10		

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)	70.60					
Altezza fuori terra (m)	38.60					
Lunghezza infissione (m)	32.00					
Caratteristiche del sottosuolo						
Parametri geotecnici dei terreni						
Strato	Spessore (m)	γ (kN/m³)	c (kPa)	ϕ (°)	E (MPa)	ν
Alluvioni	15.00	19.00	0.00	37.00	40.00	0.20
Calcari brecciati	27.00	20.00	30.00	30.00	100.00	0.25
Argille Gessose	28.60	20.00	25.00	30.00	100.00	0.25
Profondità della falda dal p.c. (m)	10.00					
Coefficienti di carico limite						
N_q	18.40					
N_c	30.14					
N_r	22.40					
Correzione per punzonamento						
Modulo di rigidezza a taglio	G (MPa)	40.00				
Indice di rigidezza	I_r	188.62				
Indice di rigidezza critico	$I_{r,crit}$	148.88				
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)	640.00				
Pressione neutra	u_p (kPa)	320.00				
Tensione verticale efficace	σ'_{vp} (kPa)	320.00				
Resistenze di calcolo						
Resistenza alla base	p (kPa)	7051.46				
Resistenza totale	P (kN/m)	5641.17				
Resistenza laterale						
Strato	L_v (m)	k	μ	σ'_{vz} (kPa)	s (kPa)	S (kN/m)
Alluvioni	-	-	-	-	-	-
Calcari brecciati	3.40	0.40	0.58	17.00	3.93	26.70
Argille Gessose	28.60	0.40	0.58	177.00	40.88	2338.13
					TOTALE	2364.83
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	5641.17	1.70	3318.33	1.35	2458.03	
Resistenza laterale	2364.83	1.70	1391.07	1.15	1209.63	
RESISTENZA DI PROGETTO (kN/m)					3667.66	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

VERIFICA DI CARICO LIMITE VERTICALE		
<i>AZIONI DI PROGETTO</i>	E_d (kN/m)	3451.10
<i>RESISTENZA DI PROGETTO</i>	R_d (kN/m)	3667.66
<i>FATTORE DI SICUREZZA</i>	R_d/E_d	1.06

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

8 Strutture interne

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

La stazione in progetto ha il piano del ferro collocato a profondità rispetto al piano campagna di circa 33.95 m.

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

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<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 interrate considerando come condizioni al contorno la realizzazione dei diaframmi perimetrali ed interni per il sostegno delle terre.

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

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<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 rigidezza flessionale nulla in modo da poter garantire ai solai un appoggio verticale (chiavi di taglio) senza determinare alcun vincolo flessionale;
- Cordoli perimetrali in c.a. incastrati ai solai ed ai puntoni in c.a.. L'interazione tra cordoli perimetrali e paratie esterne in fase sismica è stata modellata disponendo su ogni cordolo degli elementi elastici “only compression” dimensionati con rigidezza elastica calcolata come di seguito descritto:

MOLLE ORIZZONTALI (Teoria di Becci e Nova, 1987)

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

avendo assunto:

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

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

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

H = lunghezza totale dei diaframmi

D = profondità di scavo

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 - 15m)	5860,0	3800,0	37,0	1083,9	640	0,590	144000,0	85026,9

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

STRATO 2 (15 - 21,5m)	5860,0	3800,0	30,0	439,5	1600	3,640	144000,0	524205,7
STRATO 3 (21,5 - 38m)	5860,0	3800,0	30,0	439,5	2400	5,460	144000,0	786308,5

- 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 rigidità, annullata in FASE 1 e vengono disposti vincoli elastici “only compression” distribuiti sui nodi degli elementi shell per

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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)

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

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

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 - 15m)	5860,0	3800,0	37,0	1083,9	640	0,590	48000,0	28342,3
STRATO 2 (15 - 21,5m)	5860,0	3800,0	30,0	439,5	1600	3,640	48000,0	174735,2
STRATO 3 (21,5 - 38m)	5860,0	3800,0	30,0	439,5	2400	5,460	48000,0	262102,8

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]
---------	--------	--------	---	-------------------------	---	--	----------------------------

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

STRATO 1 (0 - 15m)	5860,0	3800,0	37,0	1083,9	640	0,590	72000,0	42513,4
STRATO 2 (15 - 21,5m)	5860,0	3800,0	30,0	439,5	1600	3,640	72000,0	262102,8
STRATO 3 (21,5 - 38m)	5860,0	3800,0	30,0	439,5	2400	5,460	72000,0	393154,3

- Cordoli in c.a. incastrati alle contropareti perimetrali e vincolati ad elementi D2 rappresentanti le chiavi di taglio di collegamento ai diaframmi esterni;
- Chiavi di taglio rappresentate da elementi che si sviluppano per 30cm in direzione perpendicolare ai cordoli perimetrali, per un'estremità incastrati ai cordoli e per l'altra vincolati a traslazione orizzontale attraverso l'inserimento di vincoli elastici.
- 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:
- $E = \text{modulo elastico dei terreni} \rightarrow 2400 \text{ kg/cm}^2$
- $B = \text{larghezza della fondazione} \rightarrow 2500 \text{ cm}$
- $[(1-\nu^2) I_s I_F] \approx 1$

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

8.1.2 Il modello di calcolo strutturale

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

Come dati di ingresso vengono forniti:

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

Il programma fornisce in uscita:

- 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

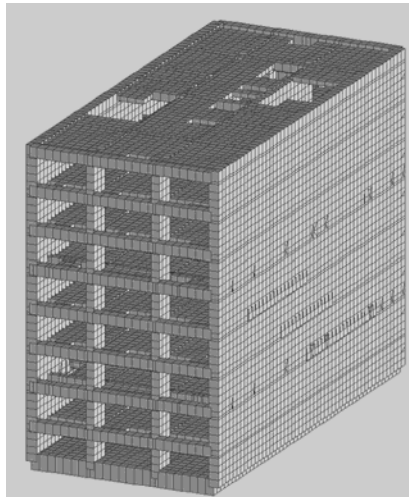
I dati di input/output sono riportati in allegato.

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:

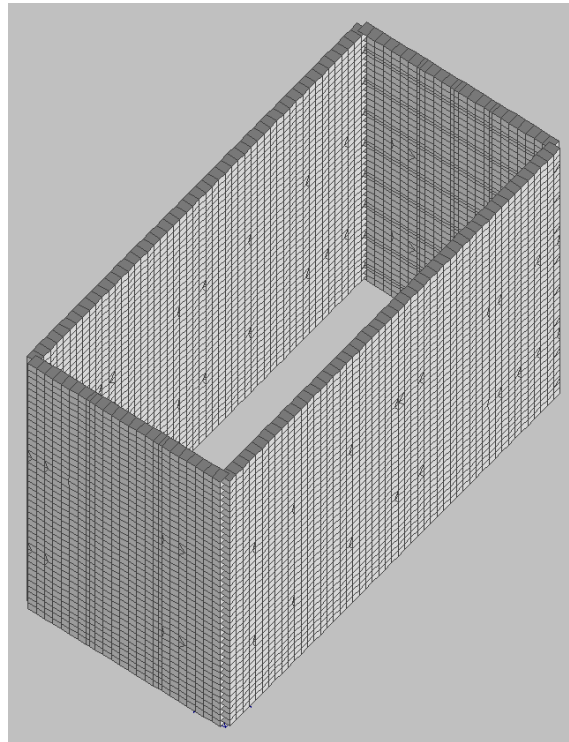
		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p>COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</p>		<p><i>Codice documento</i> ST0212_F0</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20-06-2011</p>



modello strutturale

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

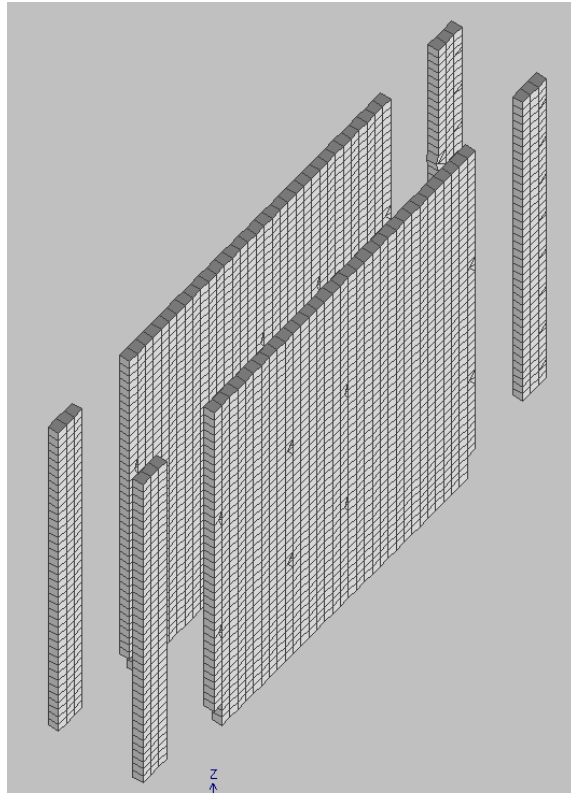
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



Contropareti in c.a.

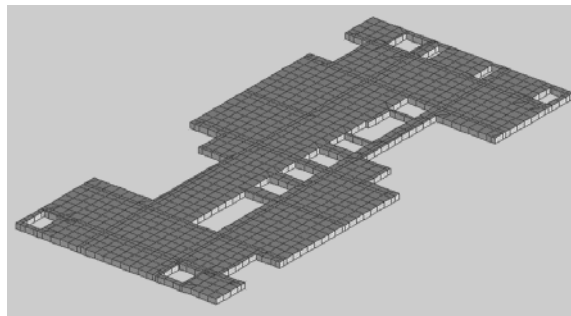
- Diaframmi interni (Elementi *Shell*) → questi elementi sono stati ipotizzati incastrati ai solai di piano, ai puntoni ed alla platea di fondazione;
 I vincoli d’incastro tra diaframmi interni, solai di piano e platea saranno realizzati disponendo localmente armature passanti all’interno dei diaframmi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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



Diaframmi interni in c.a.

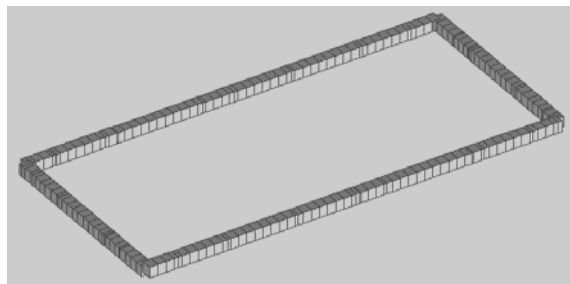
- Solai (Elementi *Shell*) → questi elementi sono stati ipotizzati incastrati ai cordoli perimetrali ed ai diaframmi interni attraverso le modalità descritte precedentemente;



Solaio in c.a.

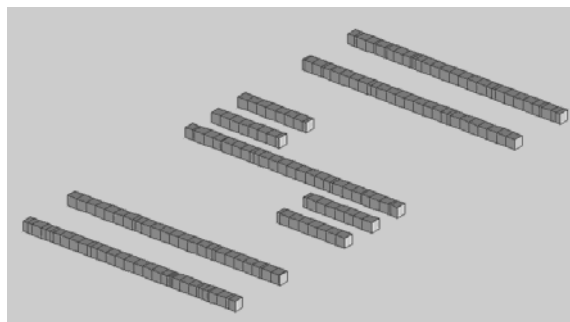
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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



Cordoli perimetrali in c.a.

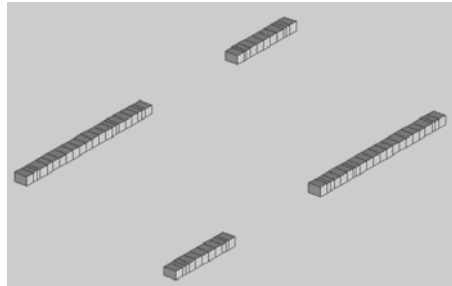
- Puntoni in c.a (Elementi *D2*) → questi elementi sono stati ipotizzati incastrati ai cordoli perimetrali ed ai diaframmi interni attraverso le modalità descritte precedentemente;



Puntoni in c.a.

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



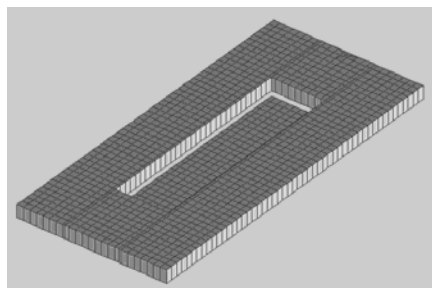
Travi miste acciaio-calcestruzzo

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



Puntoni provvisionali in acciaio

- Platea di fondazione (Elementi *Shell*) → questo elemento è stato ipotizzato 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 “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

8.2 Analisi dei carichi

8.2.1 Peso proprio strutture (caso di carico Ggk)

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

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

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	78
6°	243
5°	454
4°	647
3°	963
2°	1427
1°	1990
BANCHINA	3219

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Spinte delle terre sui solai FASE 3

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

PIANO	PRESSIONE (KN/m)
COPERTURA	0
6°	100
5°	247
4°	196
3°	38
2°	79
1°	398
BANCHINA	1085

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:

$$P_{idro} = \gamma_w * H_{falda} = 1000 \text{ kg/m}^3 * 28 \text{ m} = 28000 \text{ kg/m}^2$$

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

$$P_{idro} = \gamma_w * H_{falda} = 1000 \text{ kg/m}^3 * 28 \text{ m} = 28000 \text{ kg/m}^2$$

8.2.3 Sovraccarichi accidentali (caso di carico Qk)

Solai

$$\text{ambienti suscettibili di affollamento} = 500 \text{ daN/m}^2$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<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 = 38.6m

u_s = spostamento ammissibile = 10mm

α = coefficiente di deformabilità dei terreni = 0.5

β = coefficiente di deformabilità dell'opera = 0.71

Avendo valutato i parametri α e β in maniera analoga a quanto descritto nel par 7.3.2. A favore di sicurezza si assume un valore del prodotto $\alpha \times \beta$ pari a 0,42.

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 = 38.60m

h' = altezza di scavo adottata nel calcolo della paratia = 38.60m

Stato limite	k_h	Δp_d [kPa]
SLV	0.123	95

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<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:

$$\Delta P_d = \Delta p_d * H = 0.95 * 480 = 456 \text{ kg/cm}$$

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 = 38.6m

u_s = spostamento ammissibile =(si è assunto cautelativamente uno spostamento ammissibile nullo)

α = coefficiente di deformabilità dei terreni = 0.5

β = coefficiente di deformabilità dell'opera = 1.0

Avendo valutato i parametri α e β in maniera analoga a quanto descritto nel par 7.3.2. A favore di sicurezza si assume un valore del prodotto $\alpha \times \beta$ pari a 0,6.

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 = 38.60m

h' = altezza di scavo adottata nel calcolo della paratia = 38.60m

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Tabella di sintesi

Stato limite	k_h	Δp_d [kPa]
SLV	0.305	235
SLD	0.140	108

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

8.2.5 Tabella riassuntiva applicazione carichi

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

FASE	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 “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

8.3 Applicazione dei carichi al modello numerico

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

8.3.1 Definizione dei tipi di carico

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

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

Modello - Fase 1

Tipo carico distribuito globale su trave

Id	Tipo	Pos.	fx	fy	fz
			cm	daN/cm	daN/cm
1	DG:Fxi=1990.00 Fxf=1990.00 P1+X	0.0	1990.00	0.0	0.0
		0.0	1990.00	0.0	0.0
2	DG:Fxi=-1990.00 Fxf=-1990.00 P1-X	0.0	-1990.00	0.0	0.0
		0.0	-1990.00	0.0	0.0
3	DG:Fyi=1990.00 Fyf=1990.00 P1+Y	0.0	0.0	1990.00	0.0
		0.0	0.0	1990.00	0.0
4	DG:Fyi=-1990.00 Fyf=-1990.00 P1-Y	0.0	0.0	-1990.00	0.0
		0.0	0.0	-1990.00	0.0
5	DG:Fxi=1427.00 Fxf=1427.00 P2+X	0.0	1427.00	0.0	0.0
		0.0	1427.00	0.0	0.0
6	DG:Fxi=-1427.00 Fxf=-1427.00 P2-X	0.0	-1427.00	0.0	0.0
		0.0	-1427.00	0.0	0.0
7	DG:Fyi=1427.00 Fyf=1427.00 P2+Y	0.0	0.0	1427.00	0.0
		0.0	0.0	1427.00	0.0
8	DG:Fyi=-1427.00 Fyf=-1427.00 P2-Y	0.0	0.0	-1427.00	0.0
		0.0	0.0	-1427.00	0.0
9	DG:Fxi=963.00 Fxf=963.00 P3+X	0.0	963.00	0.0	0.0
		0.0	963.00	0.0	0.0
10	DG:Fxi=-963.00 Fxf=-963.00 P3-X	0.0	-963.00	0.0	0.0
		0.0	-963.00	0.0	0.0
11	DG:Fyi=963.00 Fyf=963.00 P3+Y	0.0	0.0	963.00	0.0
		0.0	0.0	963.00	0.0
12	DG:Fyi=-963.00 Fyf=-963.00 P3-Y	0.0	0.0	-963.00	0.0
		0.0	0.0	-963.00	0.0
13	DG:Fxi=647.00 Fxf=647.00 P4+X	0.0	647.00	0.0	0.0
		0.0	647.00	0.0	0.0
14	DG:Fxi=-647.00 Fxf=-647.00 P4-X	0.0	-647.00	0.0	0.0
		0.0	-647.00	0.0	0.0
15	DG:Fyi=647.00 Fyf=647.00 P4+Y	0.0	0.0	647.00	0.0
		0.0	0.0	647.00	0.0

Id	Tipo	Pos.	fx	fy	fz
16	DG:Fyi=-647.00 Fyf=-647.00 P4-Y	0.0	0.0	-647.00	0.0
		0.0	0.0	-647.00	0.0
17	DG:Fxi=454.00 Fxf=454.00 P5+X	0.0	454.00	0.0	0.0
		0.0	454.00	0.0	0.0
18	DG:Fxi=-454.00 Fxf=-454.00 P5-X	0.0	-454.00	0.0	0.0
		0.0	-454.00	0.0	0.0
19	DG:Fyi=454.00 Fyf=454.00 P5+Y	0.0	0.0	454.00	0.0
		0.0	0.0	454.00	0.0
20	DG:Fyi=-454.00 Fyf=-454.00 P5-Y	0.0	0.0	-454.00	0.0
		0.0	0.0	-454.00	0.0
21	DG:Fxi=242.00 Fxf=242.00 P6+X	0.0	242.00	0.0	0.0
		0.0	242.00	0.0	0.0
22	DG:Fxi=-242.00 Fxf=-242.00 P6-X	0.0	-242.00	0.0	0.0
		0.0	-242.00	0.0	0.0
23	DG:Fyi=242.00 Fyf=242.00 P6+Y	0.0	0.0	242.00	0.0
		0.0	0.0	242.00	0.0
24	DG:Fyi=-242.00 Fyf=-242.00 P6-Y	0.0	0.0	-242.00	0.0
		0.0	0.0	-242.00	0.0
27	DG:Fyi=456.00 Fyf=456.00 INCREMENTO SPINTE TERRE - SISMA Y - SLV	0.0	0.0	456.00	0.0
		0.0	0.0	456.00	0.0
28	DG:Fxi=456.00 Fxf=456.00 INCREMENTO SPINTE TERRE - SISMA X - SLV	0.0	456.00	0.0	0.0
		0.0	456.00	0.0	0.0
29	DG:Fxi=3219.00 Fxf=3219.00 PB+X	0.0	3219.00	0.0	0.0
		0.0	3219.00	0.0	0.0
30	DG:Fxi=-3219.00 Fxf=-3219.00 PB-X	0.0	-3219.00	0.0	0.0
		0.0	-3219.00	0.0	0.0
31	DG:Fyi=3219.00 Fyf=3219.00 PB+Y	0.0	0.0	3219.00	0.0
		0.0	0.0	3219.00	0.0
32	DG:Fyi=-3219.00 Fyf=-3219.00 PB-Y	0.0	0.0	-3219.00	0.0
		0.0	0.0	-3219.00	0.0

Tipo carico variabile generale

Id	Tipo	ascissa cm	valore daN/cm2	ascissa cm	valore 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Azione Sismica Y

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

Azione Sismica Verticale

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

Modello - Fase 3

Tipo carico distribuito globale su trave

Id	Tipo	Pos.	fx	fy	fz
		cm	daN/cm	daN/cm	daN/cm
1	DG:Fxi=398.00 Fxf=398.00 P1+X	0.0	398.00	0.0	0.0
		0.0	398.00	0.0	0.0
2	DG:Fxi=-398.00 Fxf=-398.00 P1-X	0.0	-398.00	0.0	0.0
		0.0	-398.00	0.0	0.0
3	DG:Fyi=398.00 Fyf=398.00 P1+Y	0.0	0.0	398.00	0.0
		0.0	0.0	398.00	0.0
4	DG:Fyi=-398.00 Fyf=-398.00 P1-Y	0.0	0.0	-398.00	0.0
		0.0	0.0	-398.00	0.0
5	DG:Fxi=79.00 Fxf=79.00 P2+X	0.0	79.00	0.0	0.0
		0.0	79.00	0.0	0.0
6	DG:Fxi=-79.00 Fxf=-79.00 P2-X	0.0	-79.00	0.0	0.0
		0.0	-79.00	0.0	0.0
7	DG:Fyi=79.00 Fyf=79.00 P2+Y	0.0	0.0	79.00	0.0
		0.0	0.0	79.00	0.0
8	DG:Fyi=-79.00 Fyf=-79.00 P2-Y	0.0	0.0	-79.00	0.0
		0.0	0.0	-79.00	0.0
9	DG:Fxi=38.00 Fxf=38.00 P3+X	0.0	38.00	0.0	0.0
		0.0	38.00	0.0	0.0
10	DG:Fxi=-38.00 Fxf=-38.00 P3-X	0.0	-38.00	0.0	0.0
		0.0	-38.00	0.0	0.0
11	DG:Fyi=38.00 Fyf=38.00 P3+Y	0.0	0.0	38.00	0.0

Id	Tipo	Pos.	fx	fy	fz
12	DG:Fyi=-38.00 Fyf=-38.00 P3-Y	0.0	0.0	38.00	0.0
		0.0	0.0	-38.00	0.0
		0.0	0.0	-38.00	0.0
13	DG:Fxi=197.00 Fxf=197.00 P4+X	0.0	197.00	0.0	0.0
		0.0	197.00	0.0	0.0
14	DG:Fxi=-197.00 Fxf=-197.00 P4-X	0.0	-197.00	0.0	0.0
		0.0	-197.00	0.0	0.0
15	DG:Fyi=197.00 Fyf=197.00 P4+Y	0.0	0.0	197.00	0.0
		0.0	0.0	197.00	0.0
16	DG:Fyi=-197.00 Fyf=-197.00 P4-Y	0.0	0.0	-197.00	0.0
		0.0	0.0	-197.00	0.0
17	DG:Fxi=247.00 Fxf=247.00 P5+X	0.0	247.00	0.0	0.0
		0.0	247.00	0.0	0.0
18	DG:Fxi=-247.00 Fxf=-247.00 P5-X	0.0	-247.00	0.0	0.0
		0.0	-247.00	0.0	0.0
19	DG:Fyi=247.00 Fyf=247.00 P5+Y	0.0	0.0	247.00	0.0
		0.0	0.0	247.00	0.0
20	DG:Fyi=-247.00 Fyf=-247.00 P5-Y	0.0	0.0	-247.00	0.0
		0.0	0.0	-247.00	0.0
21	DG:Fxi=100.00 Fxf=100.00 P6+X	0.0	100.00	0.0	0.0
		0.0	100.00	0.0	0.0
22	DG:Fxi=-100.00 Fxf=-100.00 P6-X	0.0	-100.00	0.0	0.0
		0.0	-100.00	0.0	0.0
23	DG:Fyi=100.00 Fyf=100.00 P6+Y	0.0	0.0	100.00	0.0
		0.0	0.0	100.00	0.0
24	DG:Fyi=-100.00 Fyf=-100.00 P6-Y	0.0	0.0	-100.00	0.0
		0.0	0.0	-100.00	0.0
29	DG:Fxi=1085.00 Fxf=1085.00 PB+X	0.0	1085.00	0.0	0.0
		0.0	1085.00	0.0	0.0
30	DG:Fxi=-1085.00 Fxf=-1085.00 PB-X	0.0	-1085.00	0.0	0.0
		0.0	-1085.00	0.0	0.0
31	DG:Fyi=1085.00 Fyf=1085.00 PB+Y	0.0	0.0	1085.00	0.0
		0.0	0.0	1085.00	0.0
32	DG:Fyi=-1085.00 Fyf=-1085.00 PB-Y	0.0	0.0	-1085.00	0.0
		0.0	0.0	-1085.00	0.0

Tipo carico di pressione uniforme su piastra

Id	Tipo	pressione
		daN/cm2
37	P3:p=2.80 Spinta idrostatica verticale platea	2.80
39	P3:p=-2.80 Spinta idrostatica verticale vasca	-2.80
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	2.35	1.000e+06	2.35
28	QV:var y - Qx - Pres. INCREMENTO SPINTE TERRE - SISMA X - SLV				

Id	Tipo	ascissa	valore	ascissa	valore
	Y - Y Qx Pres. L2=0.0	0.0	2.35	1.000e+06	2.35
33	QV:var z - Qx - Pres.IDRO+X				
	Z - Z Qx Pres. L2=0.0	0.0	2.81	2810.00	0.0
34	QV:var z - Qx - Pres.IDRO-X				
	Z - Z Qx Pres. L2=0.0	0.0	-2.81	2810.00	0.0
35	QV:var z - Qy - Pres.IDRO+Y				
	Z - Z Qy Pres. L2=0.0	0.0	2.81	2810.00	0.0
36	QV:var z - Qy - Pres.IDRO-Y				
	Z - Z Qy Pres. L2=0.0	0.0	-2.81	2810.00	0.0
37	QV:var x - Qy - Pres. INCREMENTO SPINTE TERRE - SISMA Y - SLD				
	X - X Qy Pres. L2=0.0	0.0	1.08	1.000e+06	1.08
38	QV:var y - Qx - Pres. INCREMENTO SPINTE TERRE - SISMA X - SLD				
	Y - Y Qx Pres. L2=0.0	0.0	1.08	1.000e+06	1.08

Azione Sismica X

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

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

Azione Sismica Y

Tipo	Sigla Id	Note
Esk	CDC=Es (statico SLU) alfa=90.00 (ecc. R)	
		categoria suolo: C
		fattore di sito S = 1.049
		ordinata spettro (tratto Tb-Tc) = 0.475 g
		angolo di ingresso:90.00
		eccentricità aggiuntiva: rapida
		periodo proprio T1: 1.213 sec.
		fattore di struttura q: 2.400
		fattore per spost. mu d: 2.400
		classe di duttilità CD: B
		coefficiente Lambda: 0.850
		ordinata spettro Sd(T1): 0.228

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0212_F0	Rev F0	Data 20-06-2011

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
		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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

			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 elemento solaio o copertura presente nel modello e pertanto la loro partecipazione è di norma pari a uno.

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

Sono previsti i seguenti casi di carico:

FASE 1

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

FASE 3 (sisma X)

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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
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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

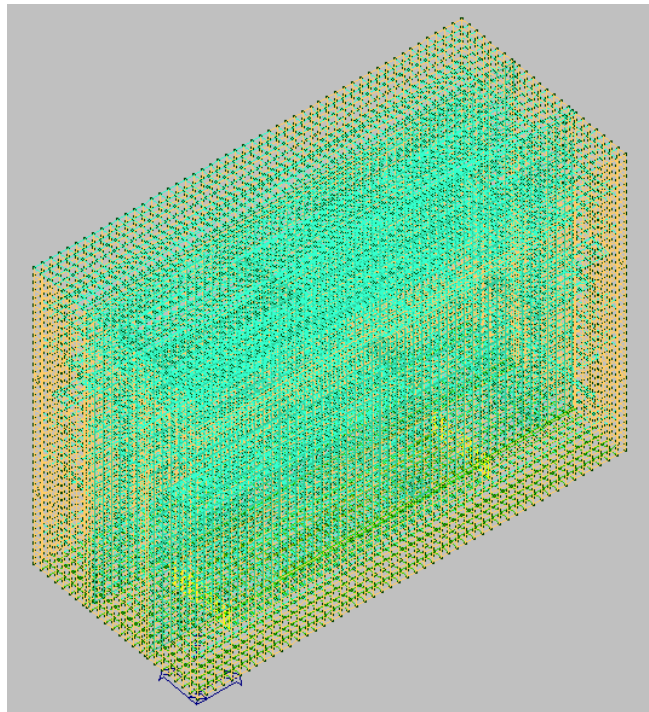
Cmb	CDC 1	CDC 2	CDC 3	CDC 4	CDC 5	CDC 6	CDC 7	CDC 8	CDC 9	CDC 10	CDC 11	CDC 12	CDC 13
1	1.30	1.30	1.50	1.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.30	0.0	1.30	1.30
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.30	0.0	0.0	1.00	0.0	1.00	1.00
3	1.00	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	1.00	0.30	1.00	1.00	1.00	1.00
4	1.00	1.00	1.00	1.00	0.0	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 “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

8.4 Risultati delle analisi e verifiche

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

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



Vista complessiva

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

8.4.1 Verifiche degli elementi strutturali

8.4.1.1 Contropareti

Verifiche SLU

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

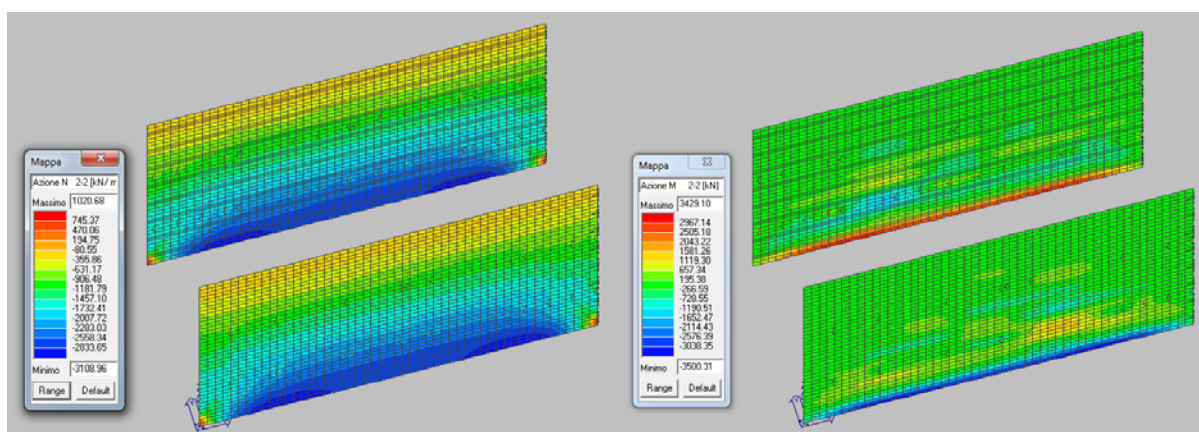
Le verifiche sono state effettuate relativamente ai setti in direzione X ed Y in FASE 3.

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

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

Setti X

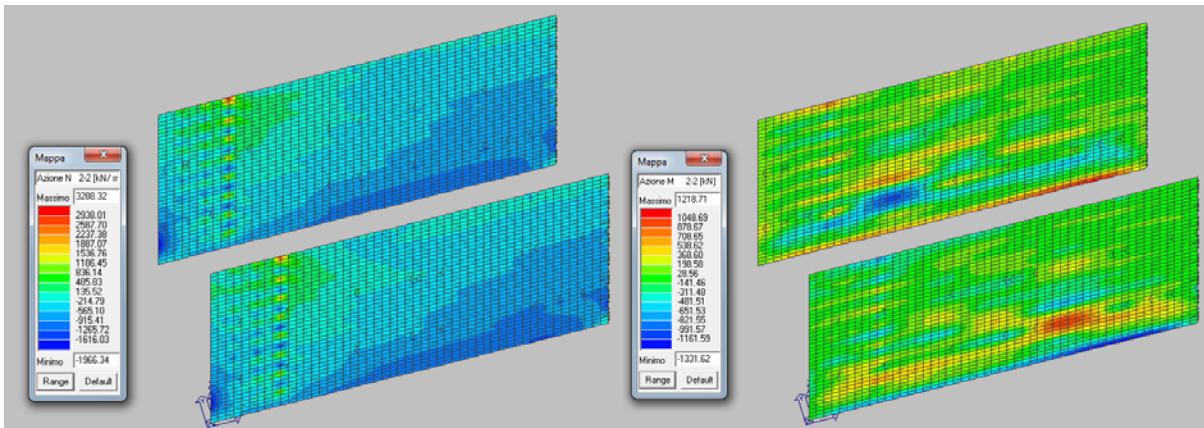
Combinazione SLU



Azioni N2-2

Azioni M2-2

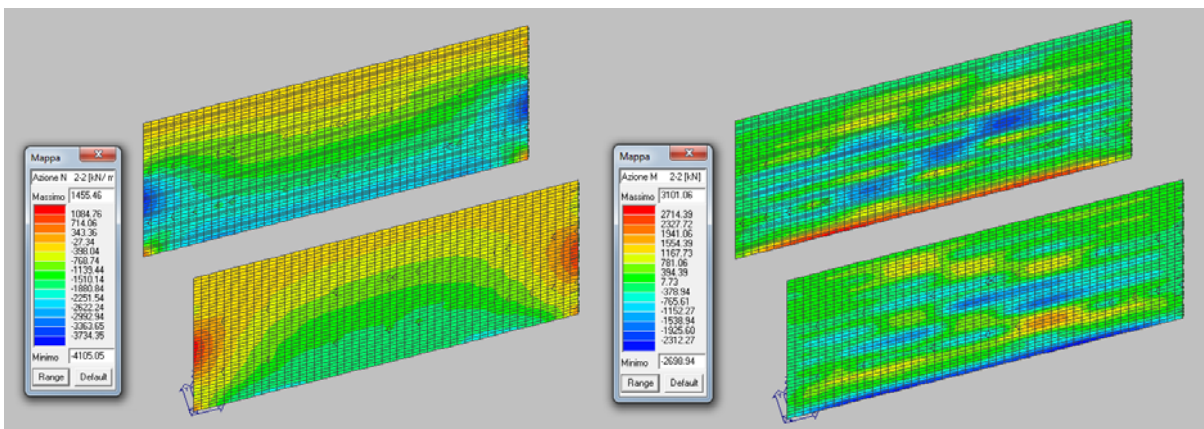
Combinazione Sisma X SLV (massima azione assiale)



Azioni N2-2

Azioni M2-2

Combinazione Sisma Y SLV (massima azione assiale)

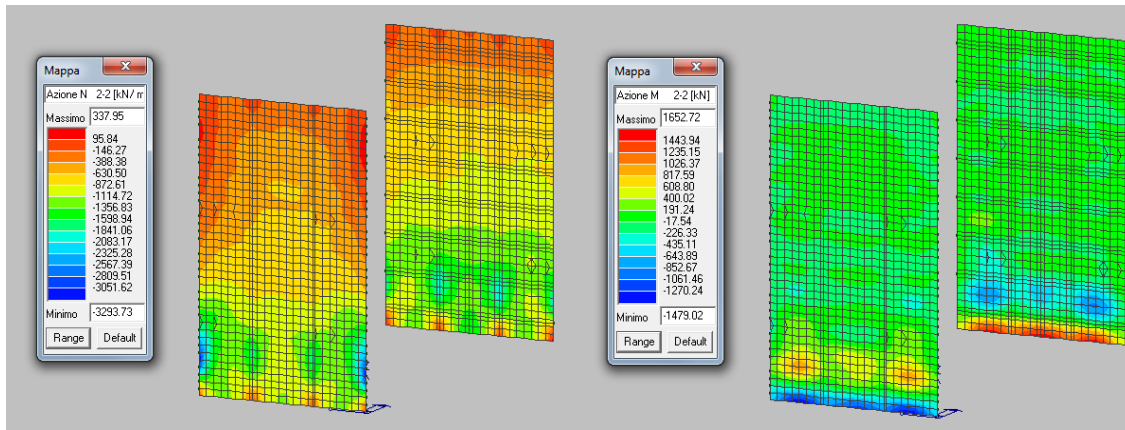


Azioni N2-2

Azioni M2-2

Setti Y

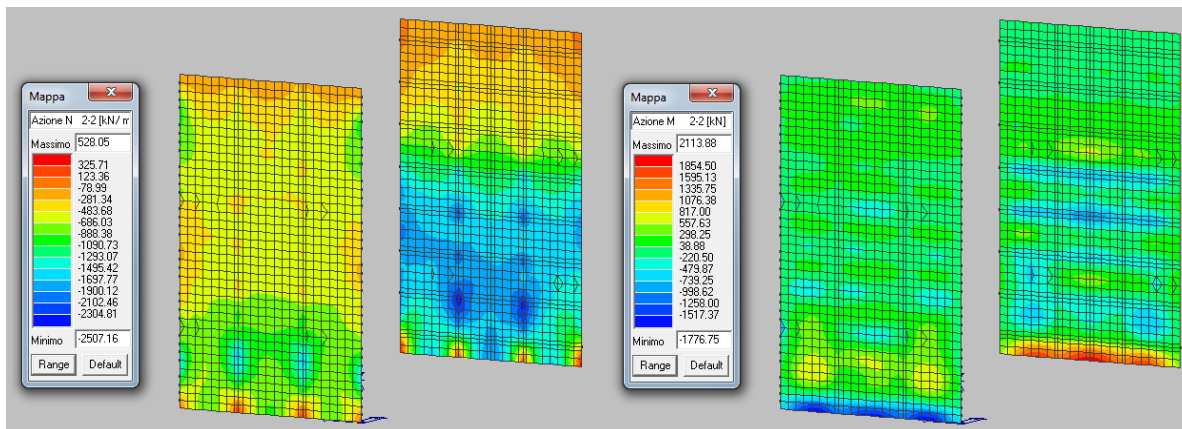
Combinazione SLU



Azioni N2-2

Azioni M2-2

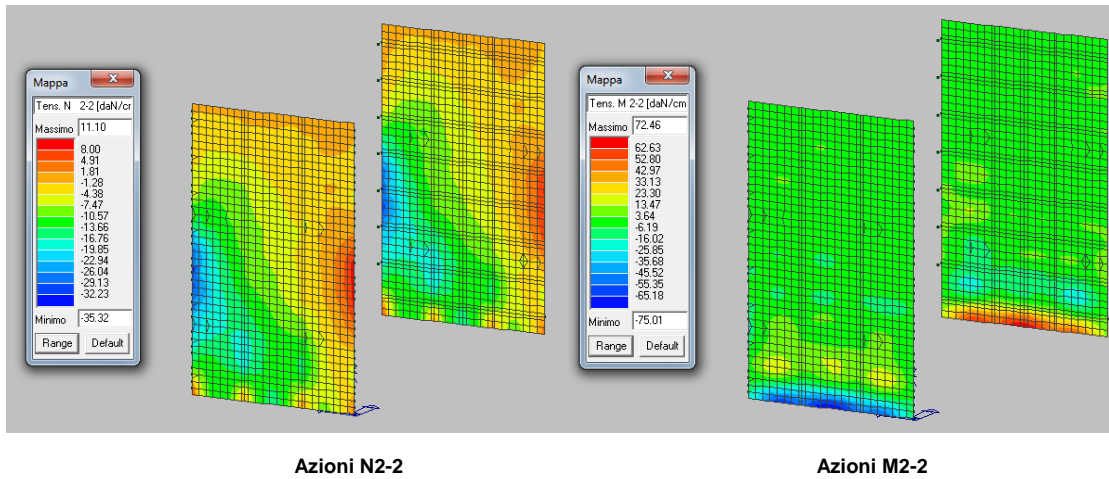
Combinazione Sisma X SLV



Azioni N2-2

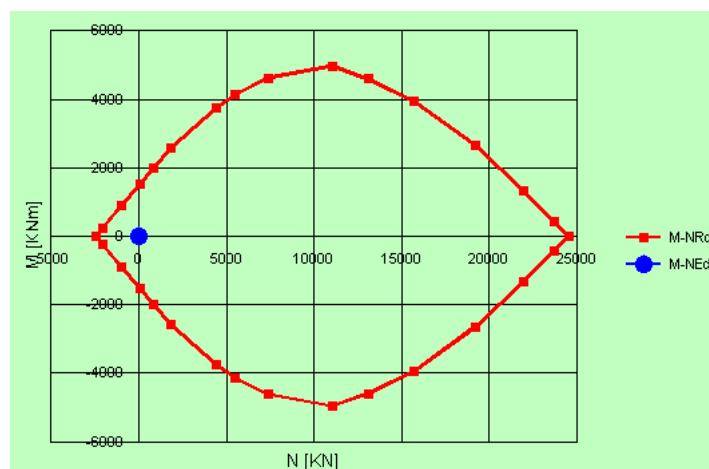
Azioni M2-2

Combinazione Sisma Y SLV



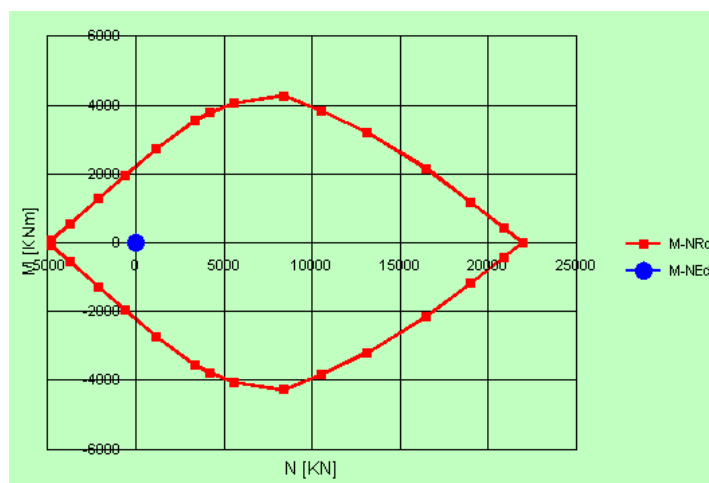
Verifiche SLU

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



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

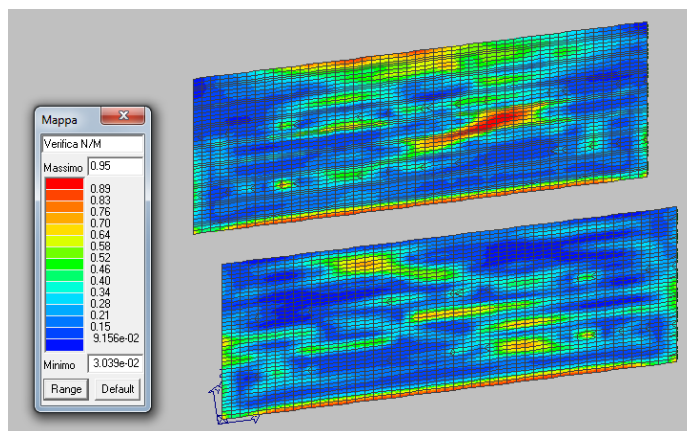


Osservando i domini resistenti M/N si nota come le sollecitazioni sopra riportate ricadano tutte al loro interno rendendo tale verifica soddisfatta.

Verifica N/M

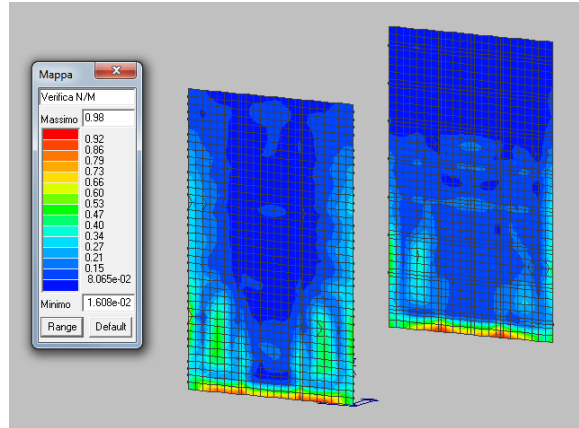
Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto Sd/Su con sollecitazioni ultime proporzionali; il valore del rapporto deve essere minore o uguale a 1 per verifica positiva (Sd = sollecitazione di progetto, Su = sollecitazione ultima)

Setti X



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Setti Y

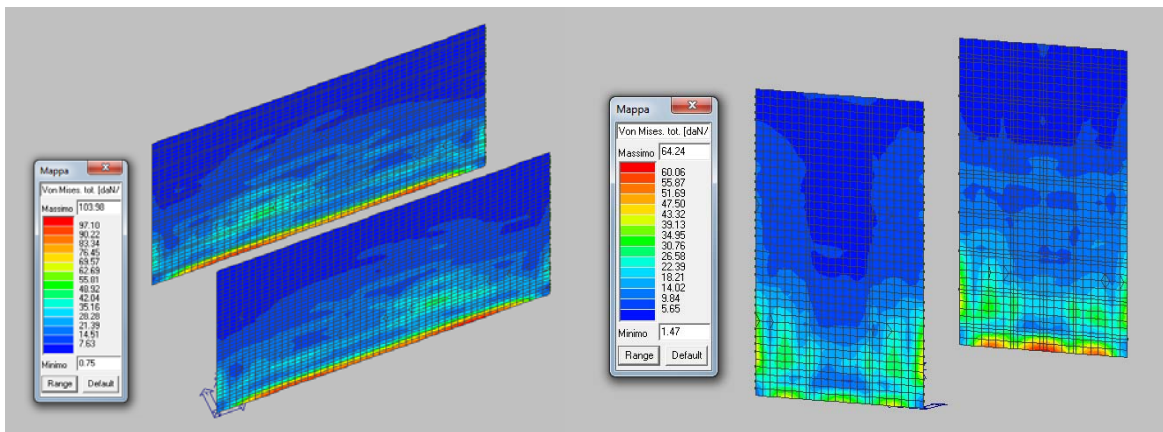


Verifiche SLE

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

Setti X

Combinazione SLE (rara)



Tensioni totali Setti X

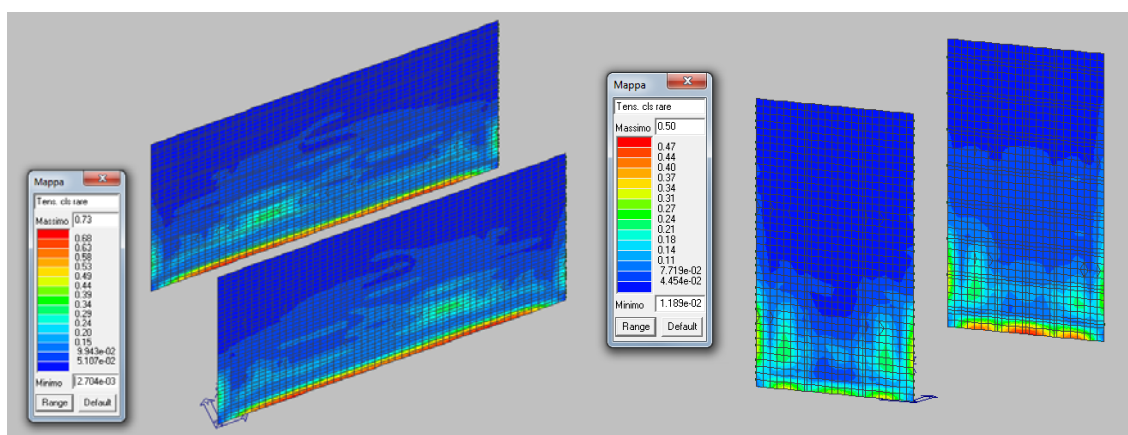
Tensioni totali Setti Y

Verifica Tens. cls rare

Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto tra la

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

massima compressione nel calcestruzzo e la tensione caratteristica del cls in combinazioni rare 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

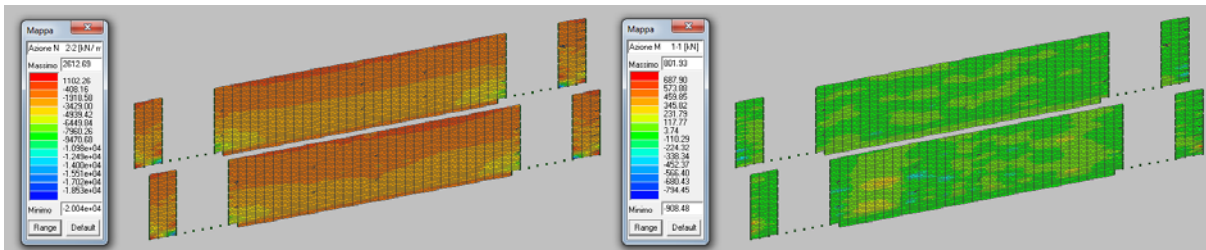
Le verifiche di resistenza delle pareti interne, aventi spessore $s=80$ cm, sono eseguite adottando il metodo semiprobabilistico agli stati limite; si assume un copriferro pari a 5 cm.

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)

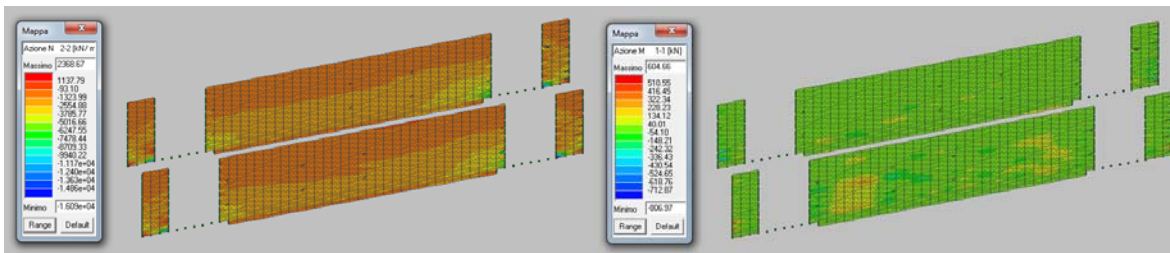
Combinazione SLU



Azioni N2-2

Azioni M1-1

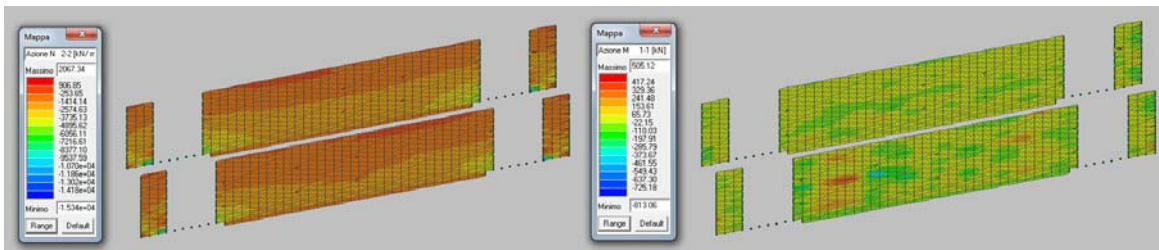
Combinazione Sisma X SLV



Azioni N2-2

Azioni M1-1

Combinazione Sisma Y SLV



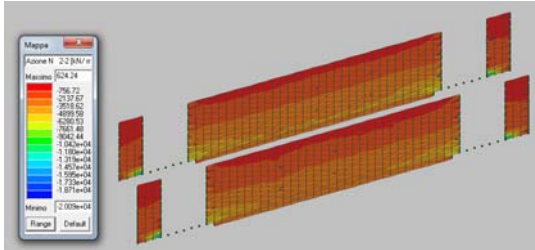
Azioni N2-2

Azioni M1-1

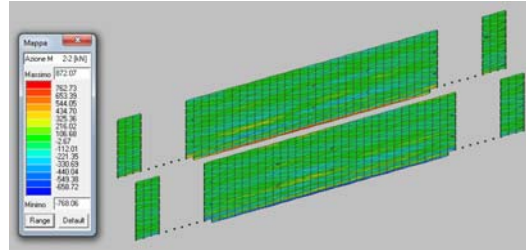
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST02.12_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Fase 3

Combinazione SLU (massima azione assiale)

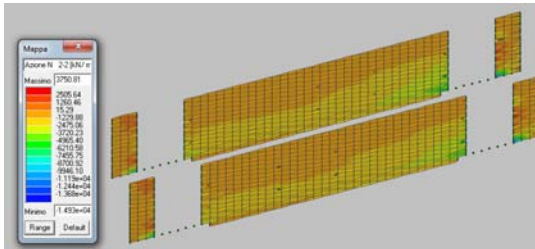


Azioni N2-2

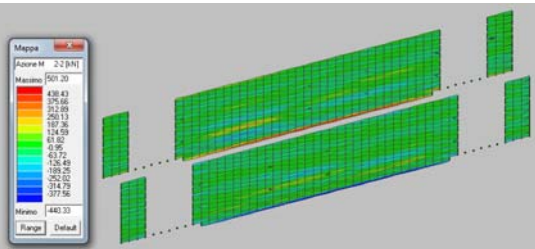


Azioni M2-2

Combinazione Sisma X SLV

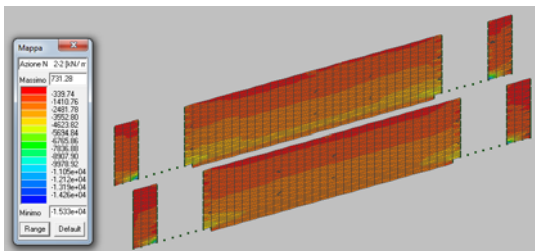


Azioni N2-2

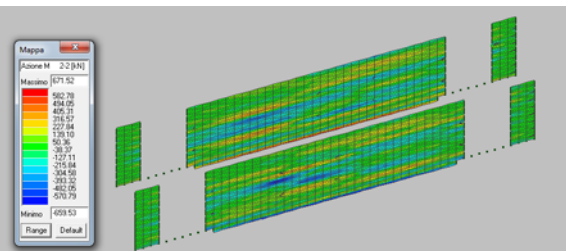


Azioni M2-2

Combinazione Sisma Y SLV



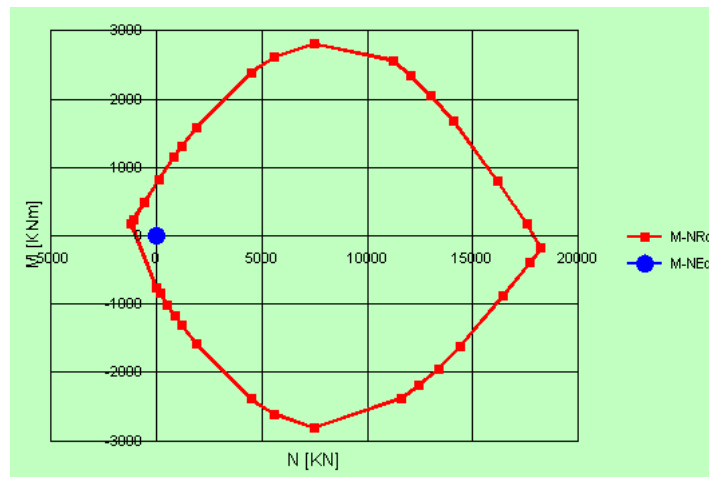
Azioni N2-2



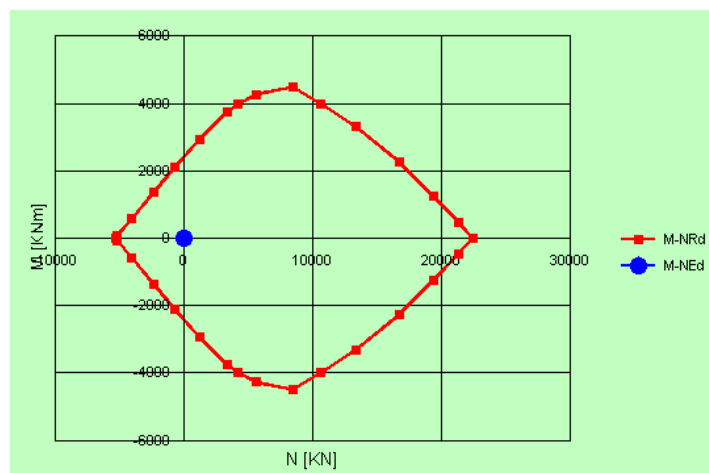
Azioni M2-2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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



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



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

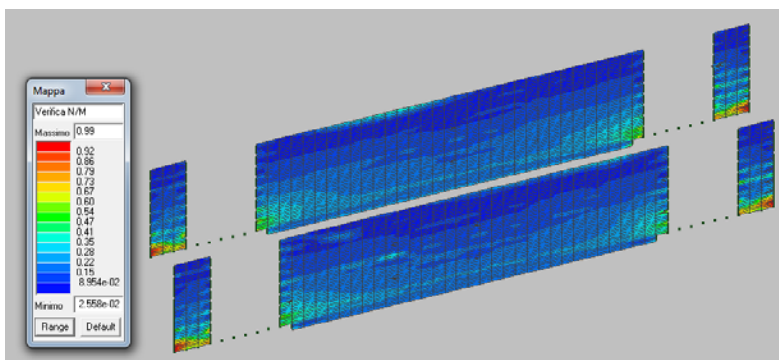
Verifica N/M

Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto Sd/Su con sollecitazioni ultime proporzionali; il valore del rapporto deve essere minore o uguale a 1 per

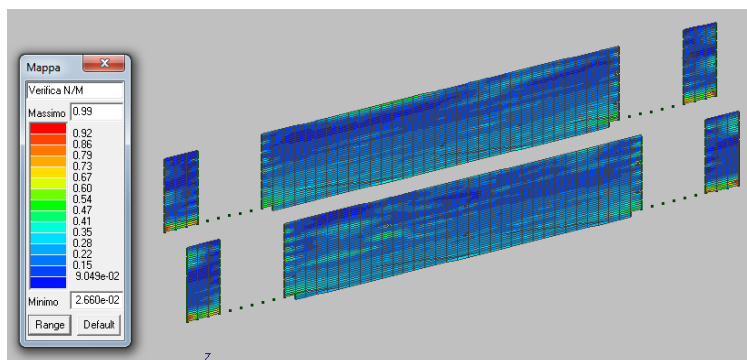
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

verifica positiva (Sd = sollecitazione di progetto, Su = sollecitazione ultima)

Fase 1



Fase 3

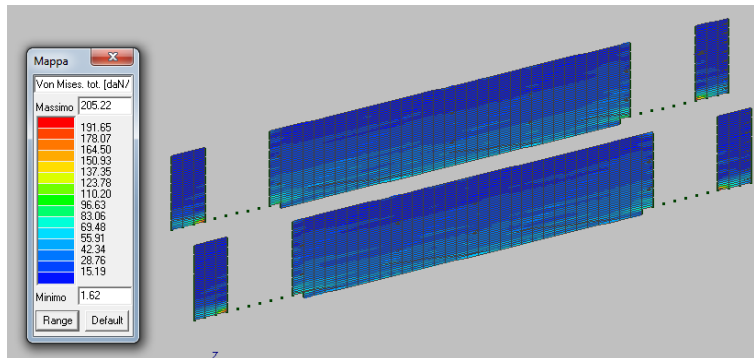


Verifiche SLE

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)

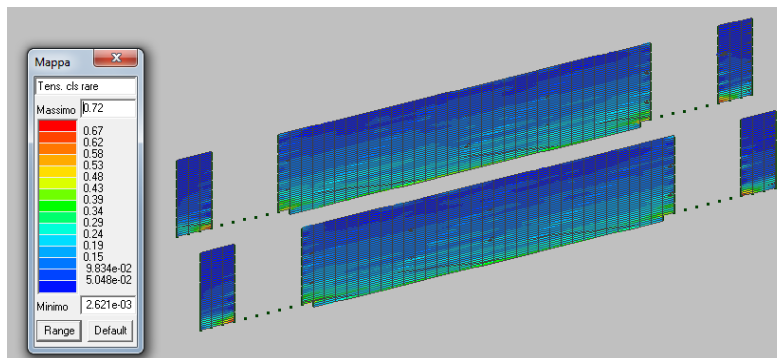
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



Tensioni totali

Verifica Tens. cls rare

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



Verifica tensionale

8.4.1.3 Solai

Verifiche SLU

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

Le verifiche sono state effettuate relativamente al piano 1° , rappresentante le situazione più critica,

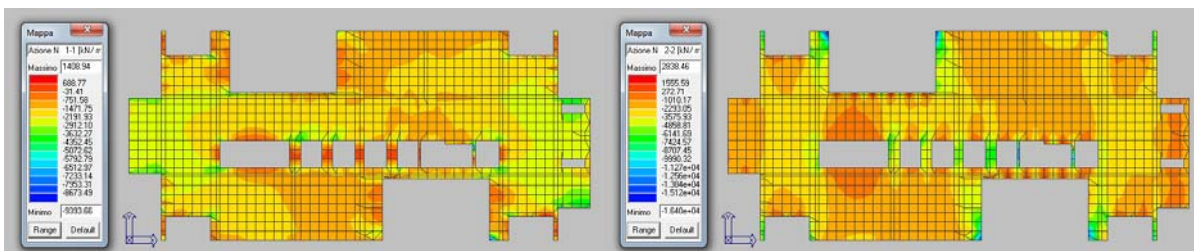
in modo da poter estendere ed uniformare tali verifiche agli altri solai.

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.

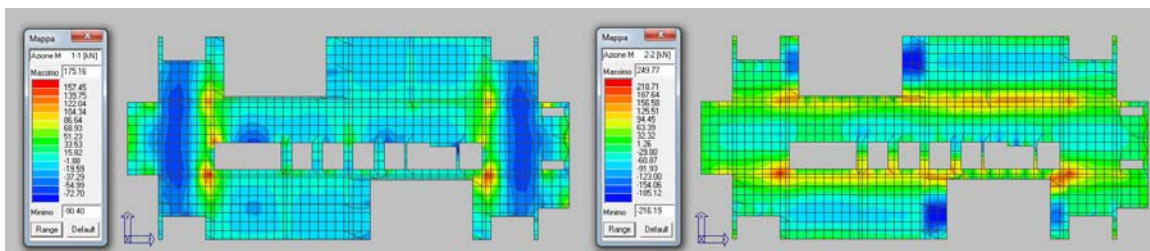
Fase 1 (modello FASE 1)

Combinazione SLU



Azioni N1-1

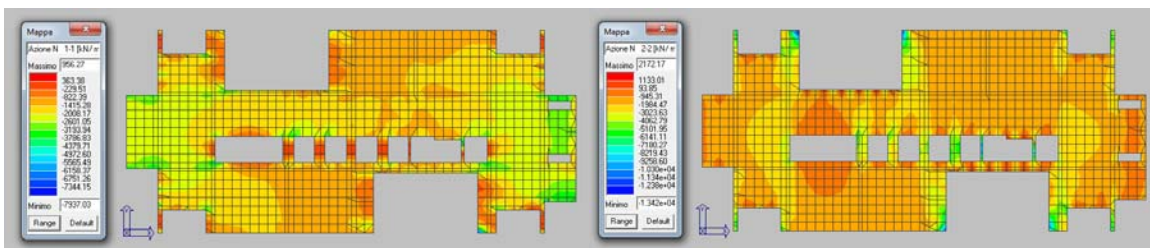
Azioni N2-2



Azioni M1-1

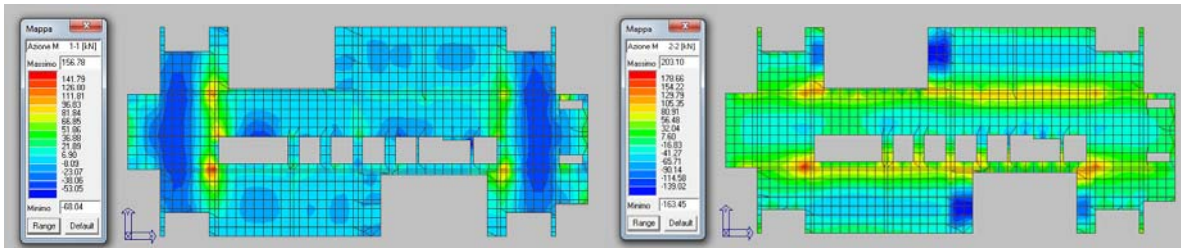
Azioni M2-2

Combinazione Sisma X SLV



Azioni N1-1

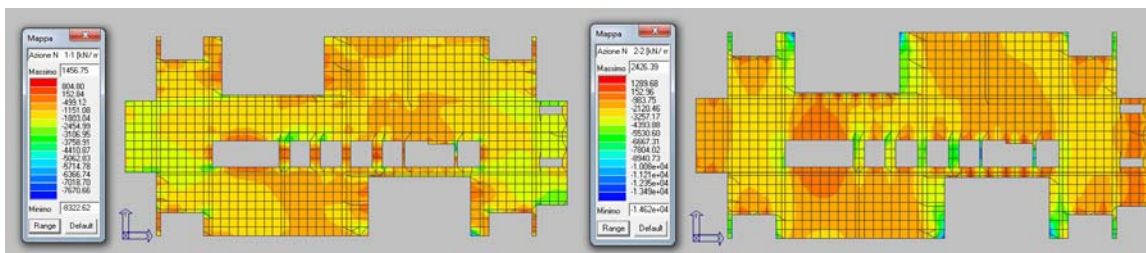
Azioni N2-2



Azioni M1-1

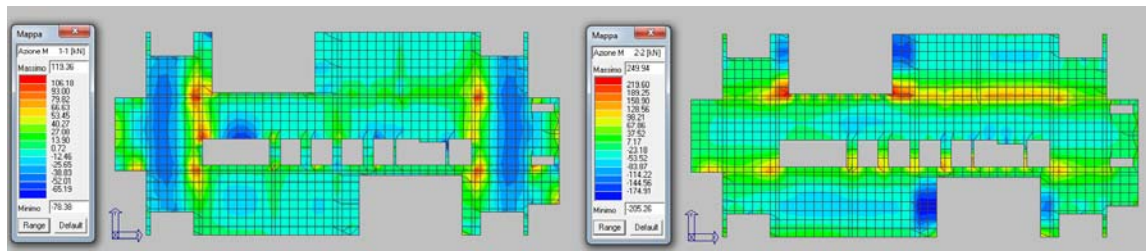
Azioni M2-2

Combinazione Sisma Y SLV



Azioni N1-1

Azioni N2-2

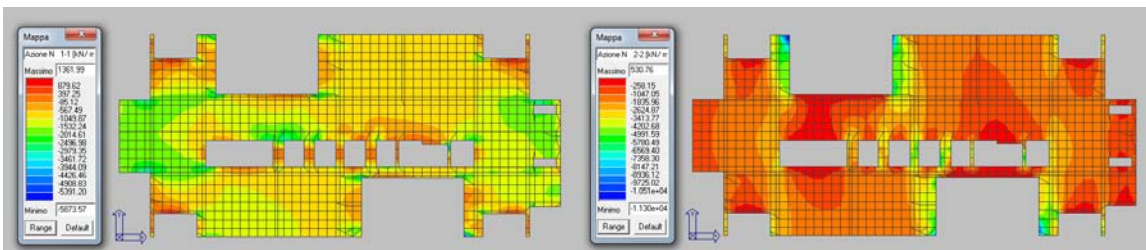


Azioni M1-1

Azioni M2-2

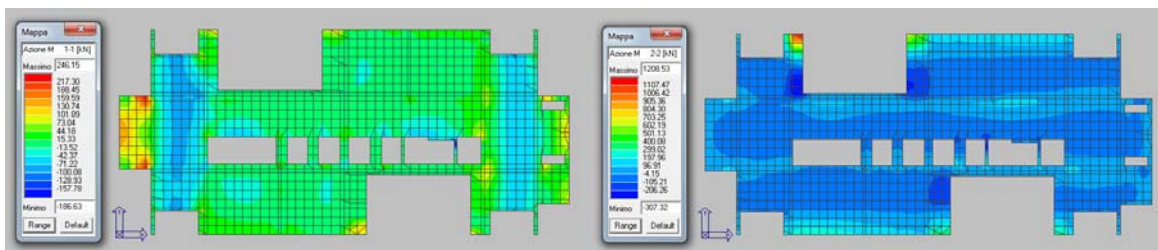
Fase 3

Combinazione SLU



Azioni N1-1

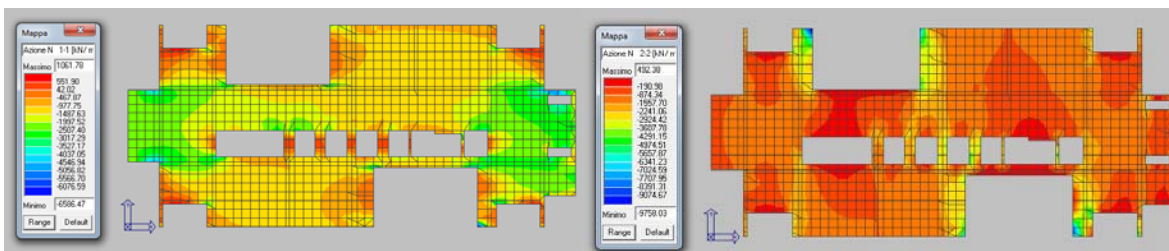
Azioni N2-2



Azioni M1-1

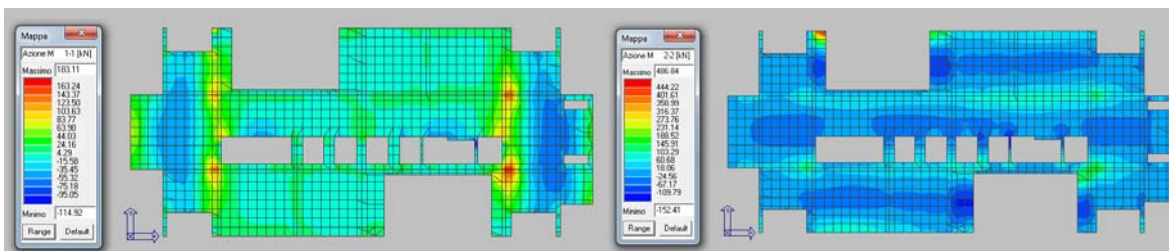
Azioni M2-2

Combinazione Sisma X SLV



Azioni N1-1

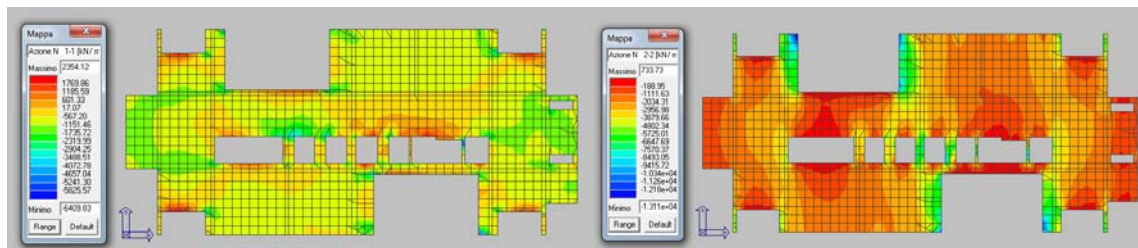
Azioni N2-2



Azioni M1-1

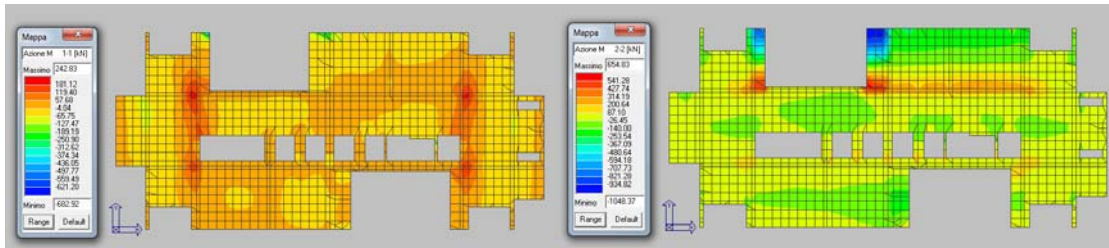
Azioni M2-2

Combinazione Sisma Y SLV



Azioni N1-1

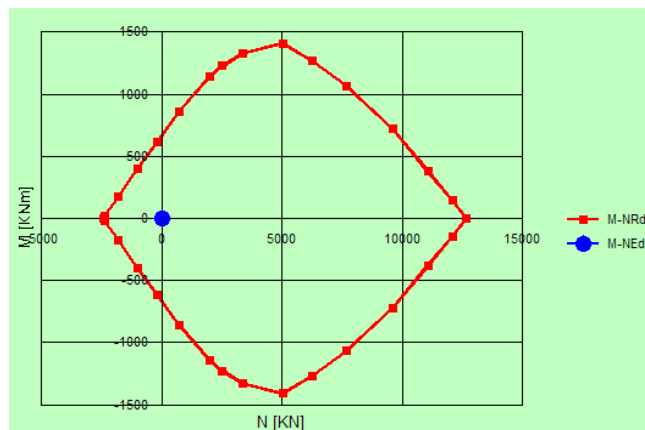
Azioni N2-2



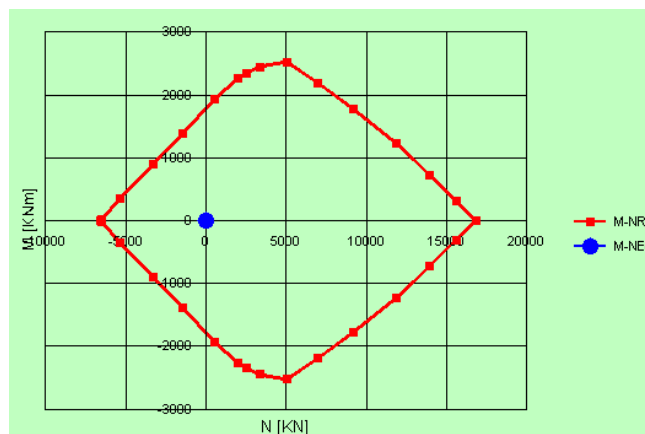
Azioni M1-1

Azioni M2-2

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



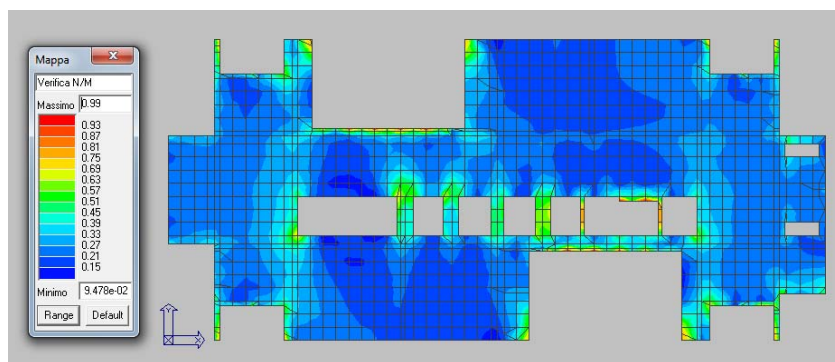
Nelle restanti situazioni estremamente localizzate si rilevano dei picchi di sollecitazione derivanti dalla tipologia di modellazione, da non ritenere validi ai fini del calcolo.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

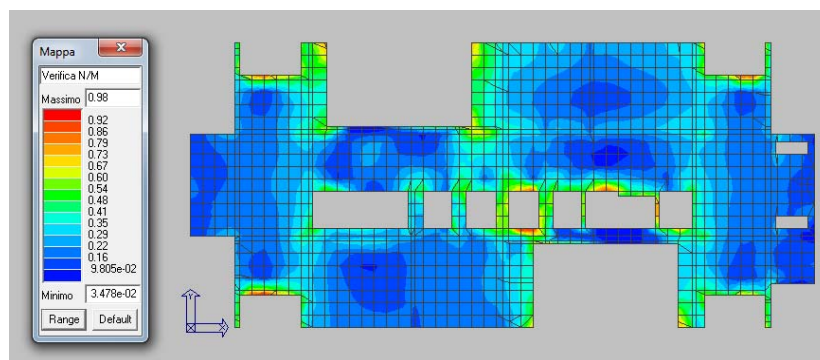
Verifica N/M

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

Fase 1



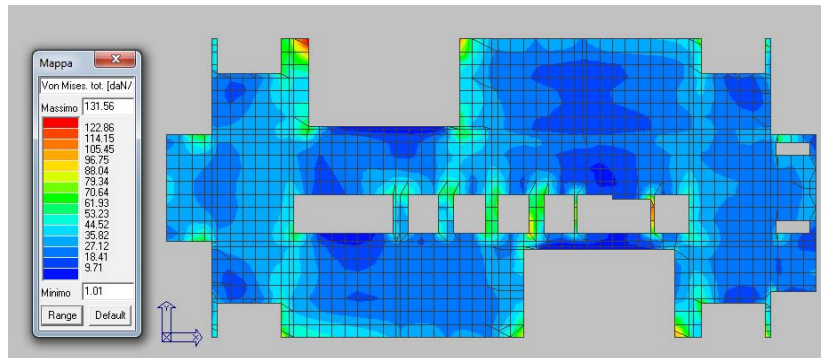
Fase 3



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.

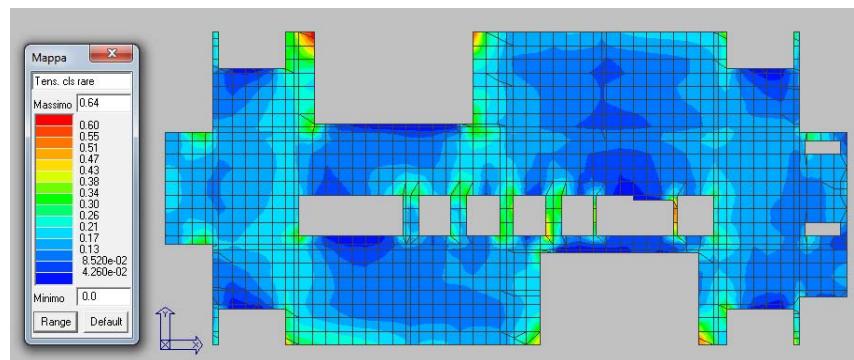
Combinazione SLE (rara)



Tensioni totali

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)



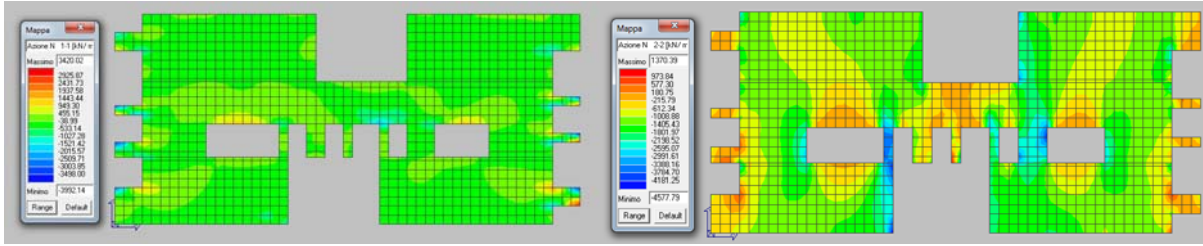
Verifica tensionale

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST02.12_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

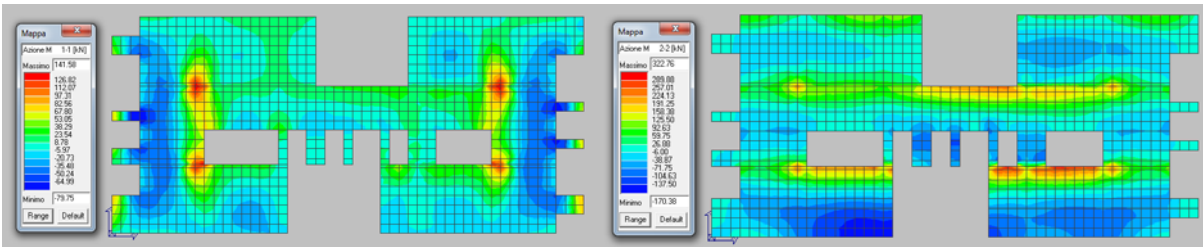
FASE 3

Combinazione Sisma Y SLV



Azioni N1-1

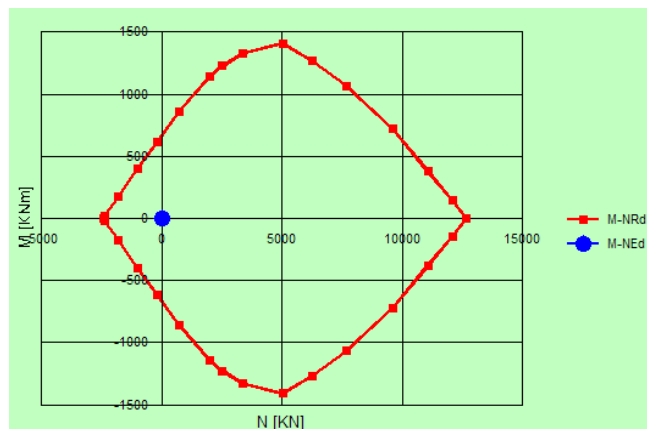
Azioni N2-2



Azioni M1-1

Azioni M2-2

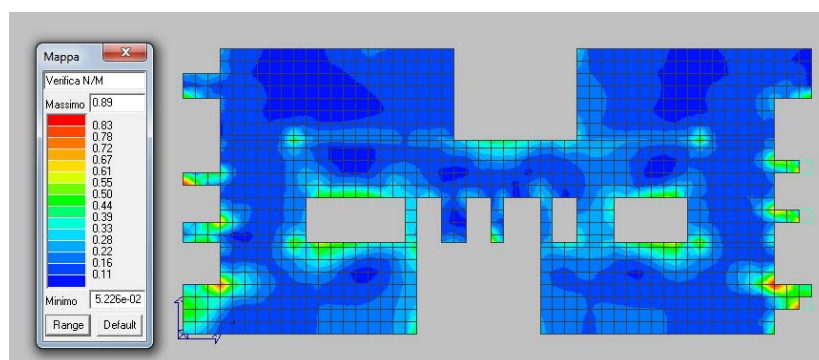
Domínio di rottura (N_{Rdu} , M_{Rdu}) – armatura diffusa Ø20 maglia 10x10cm



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Verifica N/M

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



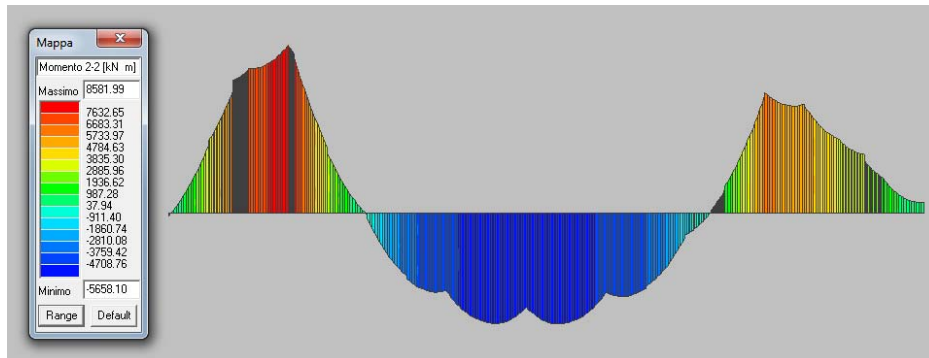
8.4.1.4 Travi miste acciaio calcestruzzo

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.

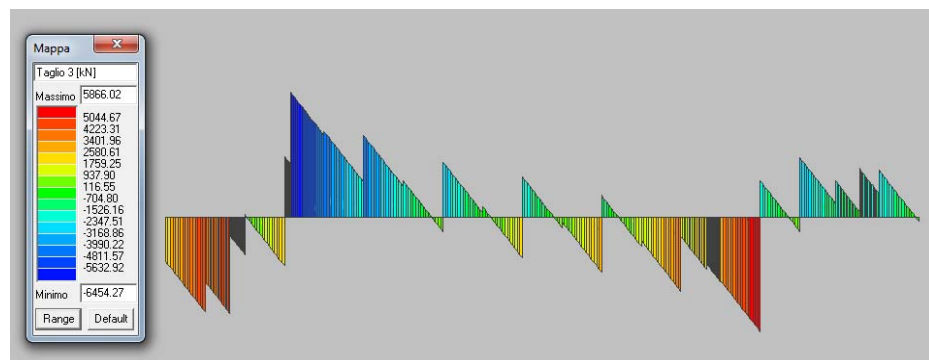
Combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.UU., sono riportate di seguito le mappature delle sollecitazioni, per ognuna delle 2 fasi, relative alle combinazioni di carico che massimizzano l'azione flettente e l'azione tagliante.

Fase 1

Combinazione SLU



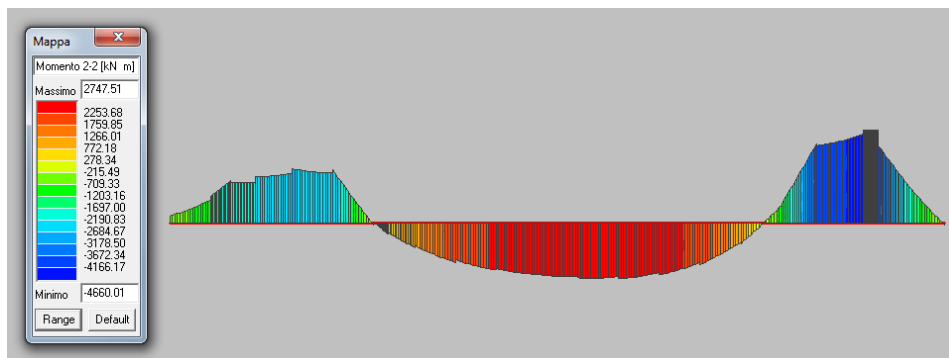
Azioni M2-2



Azioni V3-3

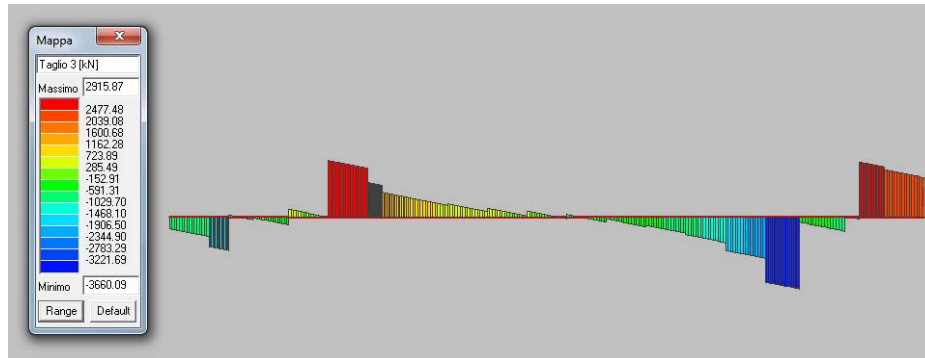
Fase 3

Combinazione Sisma Y SLV



Azioni M2-2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<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.	fcd(kg/cm2)=	188	
B(cm)=	150		
H(cm)=	150		
W(cm3)=	562500	J=	42187500
PROFILI METALLICI			
n. profili	2		
W(cm3)=	25780	J=	1289400
W _{omcg} (cm3)=	386700	J _{omcg} =	19341000
		J _{TOT} (cm3)=	61528500
		W _{TOT} (cm3)=	949200
		→	
MOMENTO RESISTENTE (C.A.+PROFILI METALLICI)			
	Mrd=	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

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

$$V_{Rcd} > V_{sd,max} = 6454 \text{ KN}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Resistenza a taglio trazione (staffe Ø12/5cm a 6 bracci)

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot (A_{sw}/s) \cdot f_{yd} = 0.9 \cdot 145 \cdot (6.79/5) \cdot 39.1 = 6929 \text{ KN}$$

$$V_{Rsd} > V_{sd,max} = 6454 \text{ KN}$$

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

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

$$V_{Rsd} > V_{sd,max} = 6454 \text{ KN}$$

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 → 6454 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

$$s = 28739 \text{ KN}$$

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

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

per cui risulta

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

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

$$n_c = 2 \cdot s / P_{Rd,min} = 2 \cdot 28739 / 152.91 = 376$$

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

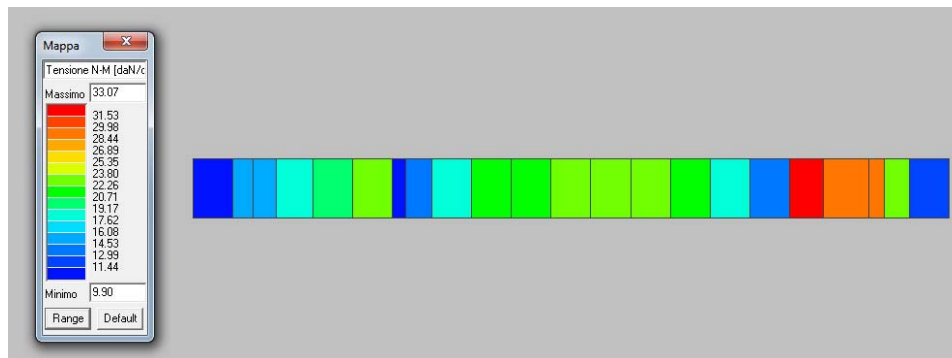
$$P_{Rd,totale} = P_{Rd,min} \cdot n^\circ \text{ pioli} = 152.91 \cdot 390/2 = 29817 \text{ KN} > s = 28739 \text{ KN}$$

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 normativa, come indicato di seguito:

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

essendo $\sigma_c = 33.07 \text{ kg/cm}^2$ inferiore a tale limitazione, la verifica risulta soddisfatta.

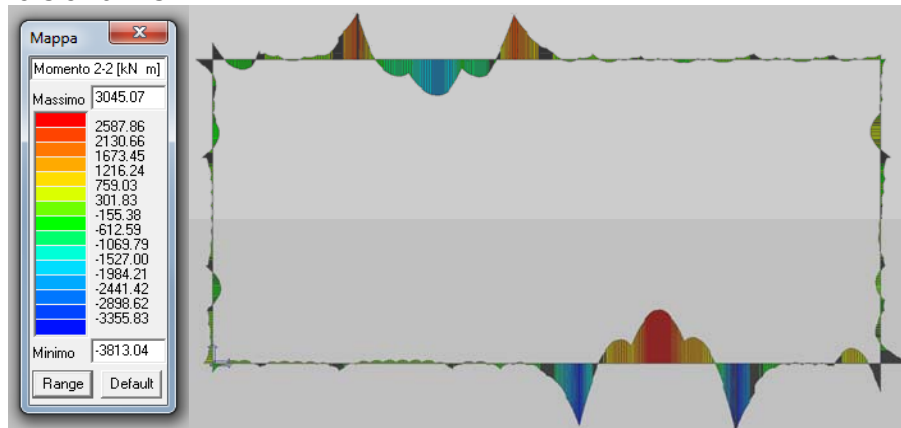
8.4.1.5 Travi perimetrali

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

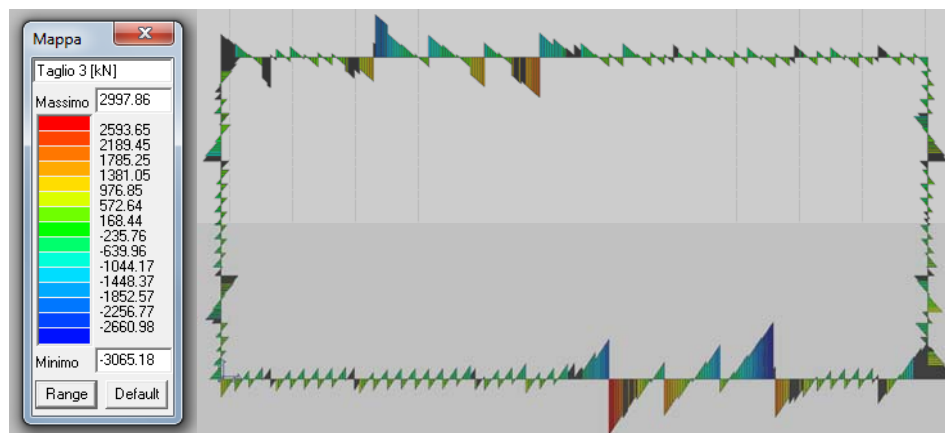
Combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.UU., sono riportate di seguito le mappature delle sollecitazioni, per ognuna delle 2 fasi, relative alle combinazioni di carico che massimizzano l'azione assiale e l'azione flettente, rapportate a grafici rappresentanti il dominio di rottura (N_{Rdu} , M_{Rdu})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

Fase 1

Combinazione Sisma Y SLV



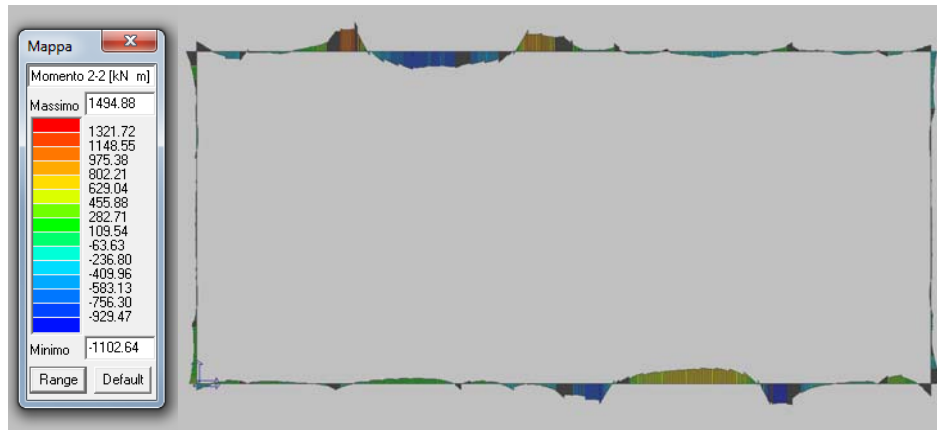
Azioni M2-2



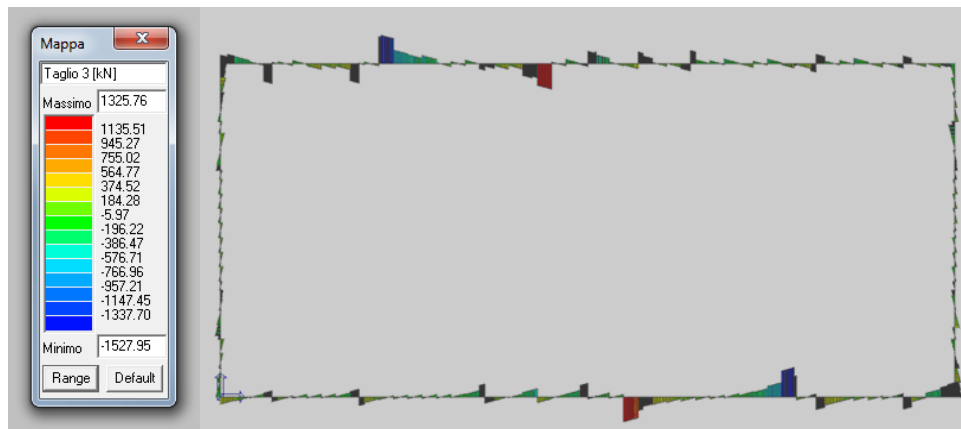
Azioni V3-3

Fase 3

Combinazione Sisma Y SLV



Azioni M2-2



Azioni V3-3

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

N* strati barre 2 Zoom

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

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

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{xEd} 0 kNm
M_{yEd} 0

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

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

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

Materiali

B450C	C30/37
ε _{su} 67,5 ‰	ε _{c2} 2 ‰
f _{yd} 391,3 N/mm ²	ε _{cu} 3,5 ‰
E _s 200.000 N/mm ²	f _{cd} 17
E _s /E _c 15	f _{cc} /f _{cd} 0,8
ε _{syd} 1,957 ‰	σ _{c,adm} 11,5
σ _{s,adm} 255 N/mm ²	τ _{co} 0,6933
	τ _{c1} 2,029

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

Mrd=4273 KNm → verificato

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

Resistenza a taglio compressione

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

$$V_{Rcd} > V_{sd,max} = 3065 \text{ KN}$$

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

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

$$V_{Rsd} > V_{sd,max} = 3065 \text{ KN}$$

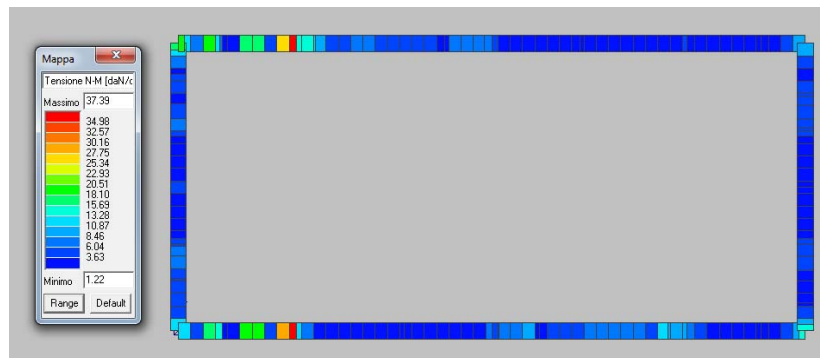
Il taglio risulta verificato.

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST02.12_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

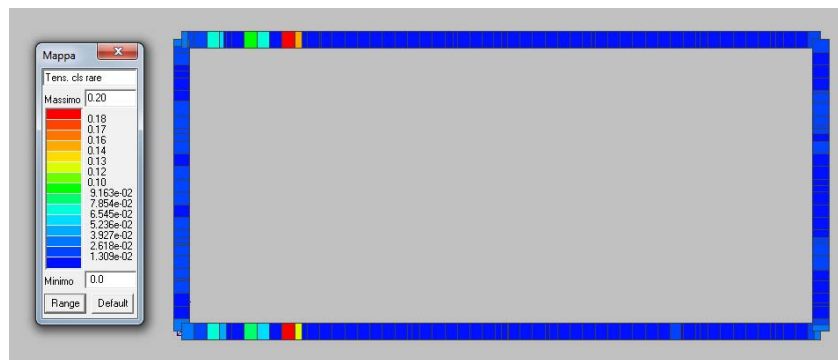
Combinazione SLE (rara)



Tensioni totali

Verifica Tens. cls rare

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



Verifica tensionale

8.4.1.6 Chiavi di taglio

I cordoli perimetrali, sono caratterizzati dalla presenza di elementi orizzontali in c.a. (chiavi di taglio) aventi sezione 60x130cm, vincolati alle paratie esterne attraverso delle tasche ricavate

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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
Pilastrini	0.0
Gusci di fondazione	0.0
Gusci in elevazione	506.577
Pareti	0.0

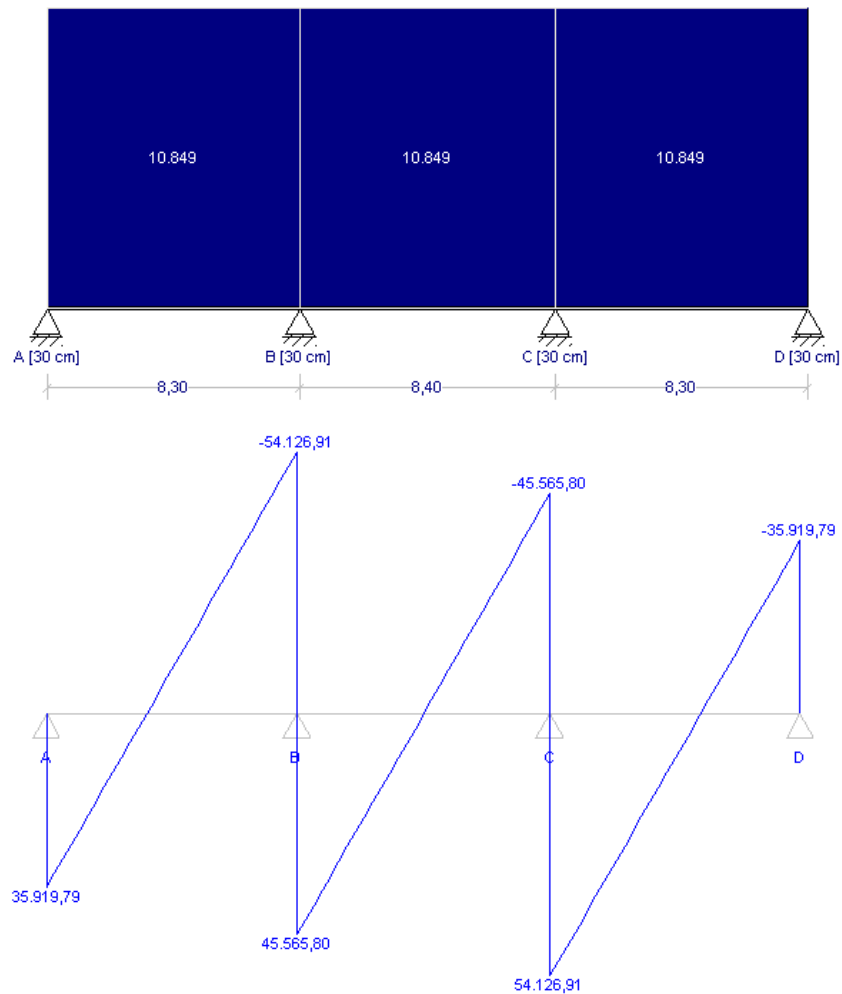
Il volume totale corrisponde a $V_{tot}=863 \text{ m}^3$

Il carico totale dovuto al peso proprio, corrisponde a $P_{gk} = V_{tot} * \gamma_{cls} = 863 * 2500 = 2157500 \text{ kg}$, che distribuito sulla superficie dell'intero piano, corrispondente a $A_{tot} = (25 * 53) = 1325 \text{ m}^2$, determina un carico distribuito $p_{gk} = P_{gk} / A_{tot} = 1628 \text{ kg/m}^2$

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

Considerando la striscia di solaio di competenza ad ogni chiave di taglio (3m), si ipotizza uno schema statico di trave continua su 4 appoggi, caricata distribuendo e combinando opportunamente agli SS.LL.UU., i carichi prima citati, sull'intera lunghezza della trave, come viene indicato di seguito:

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



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 “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST02.12_F0	<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 $\varnothing 10/5\text{cm}$ 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.

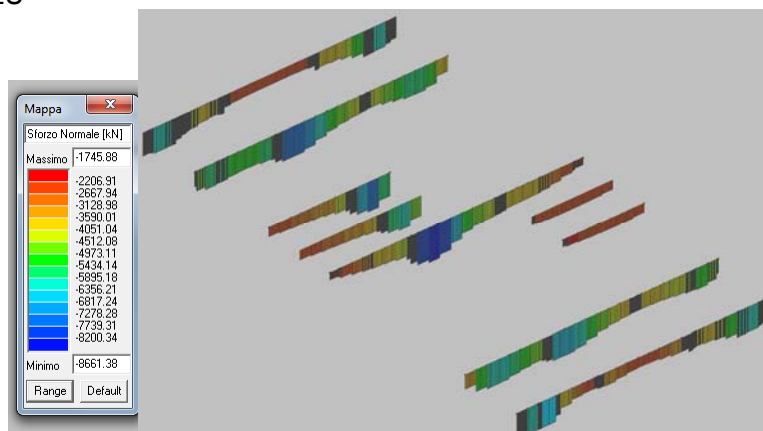
Le verifiche sono state effettuate relativamente al piano 1°, rappresentante la situazione più critica, in modo da poter estendere ed uniformare tali verifiche ai puntoni degli altri livelli.

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.

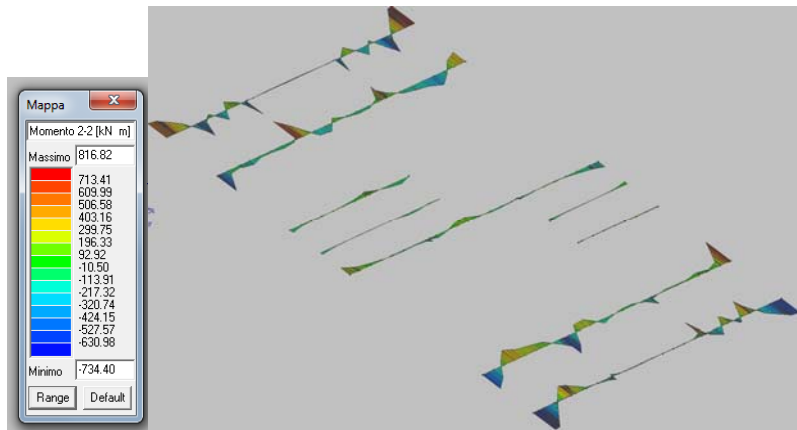
Combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.UU., sono riportate di seguito le mappature delle sollecitazioni, per ognuna delle 2 fasi, relative a tutte le combinazioni di carico, rapportate a grafici rappresentanti il dominio di rottura (N_{Rdu} , M_{Rdu}) per diverse configurazioni di armatura.

Fase 1

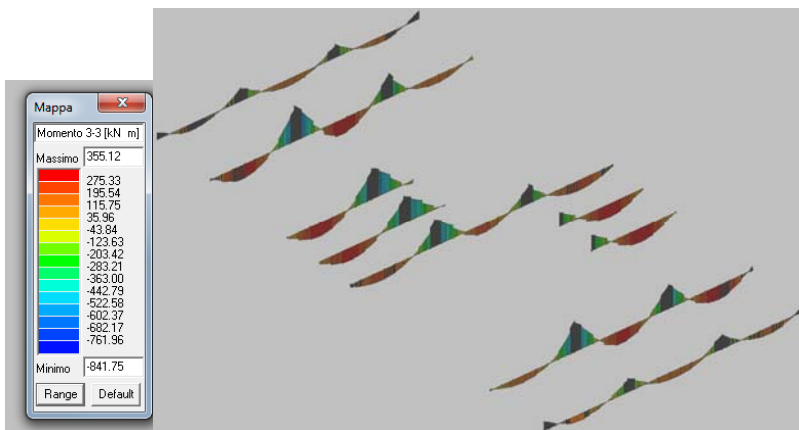
Combinazione SLU



Azioni N

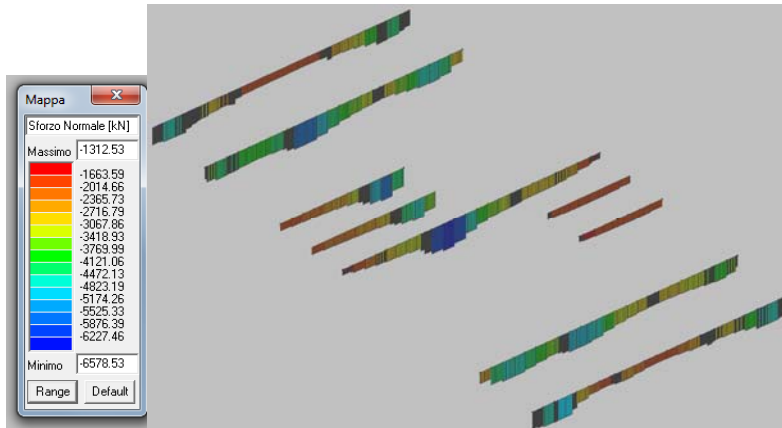


Azioni M2-2

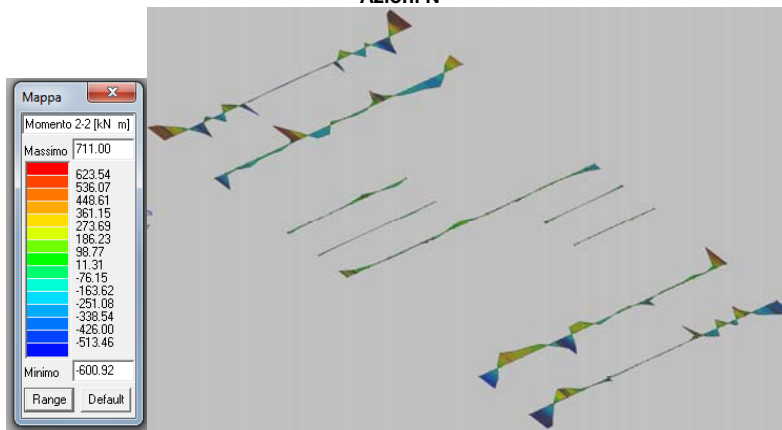


Azioni M3-3

Combinazione Sisma X SLV



Azioni N

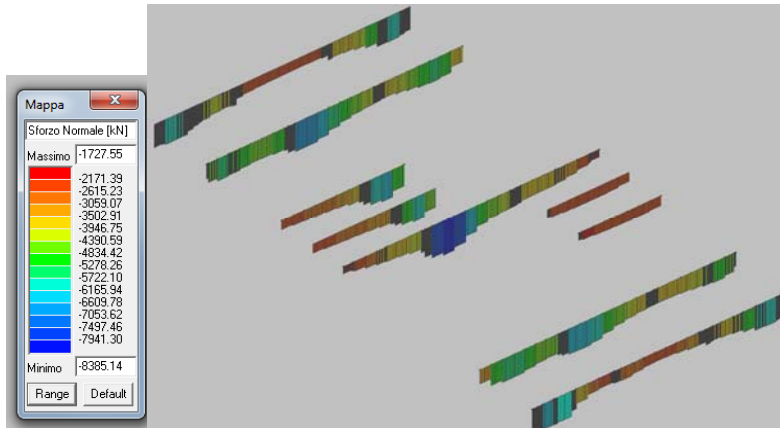


Azioni M2-2

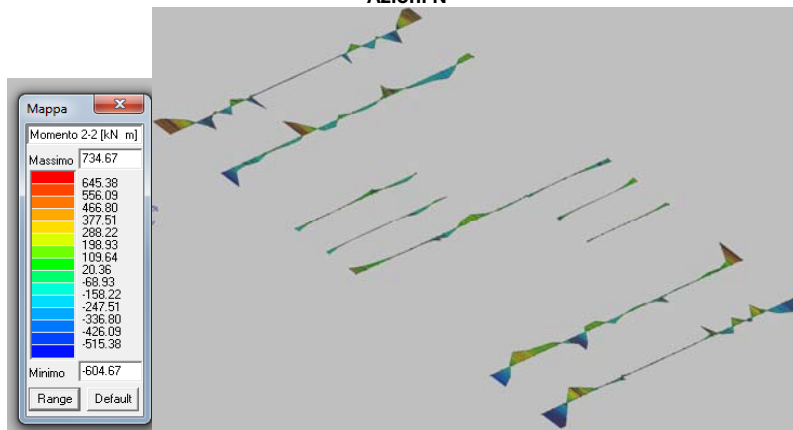


Azioni M3-3

Combinazione Sisma Y SLV



Azioni N



Azioni M2-2

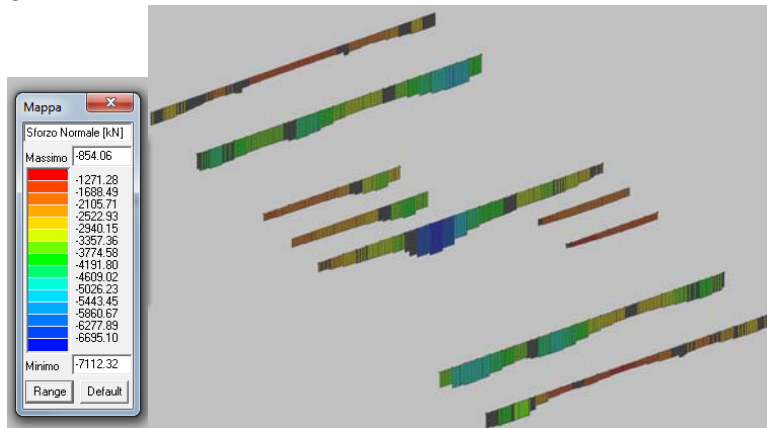


Azioni M3-3

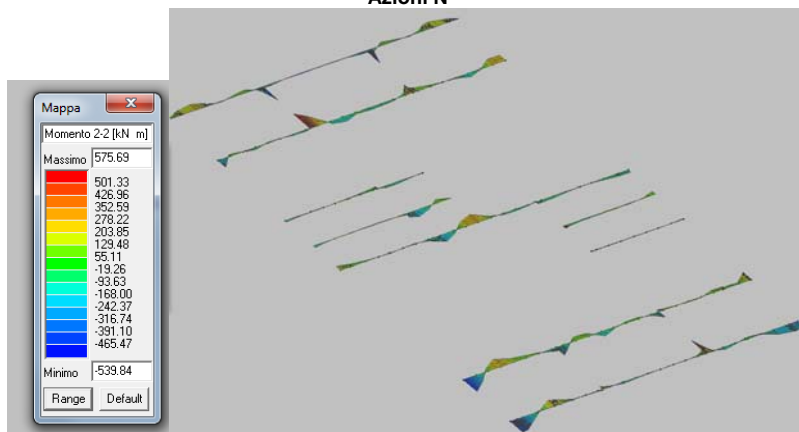
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Fase 3

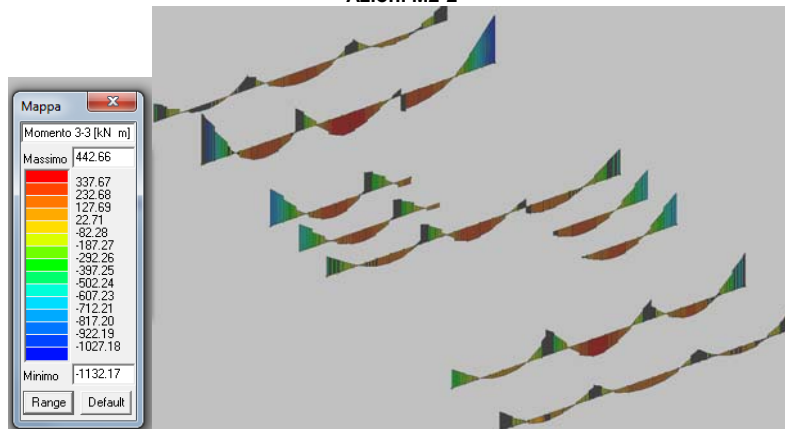
Combinazione SLU



Azioni N

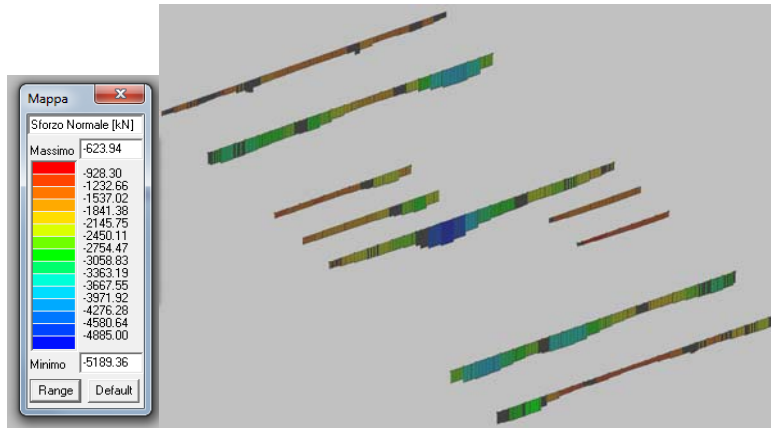


Azioni M2-2

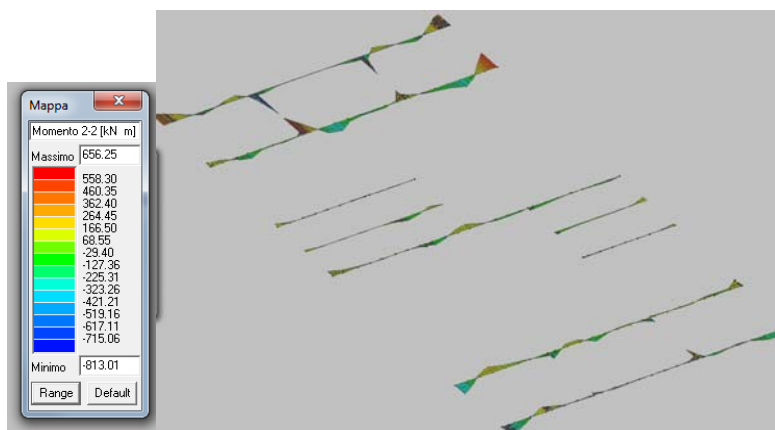


Azioni M3-3

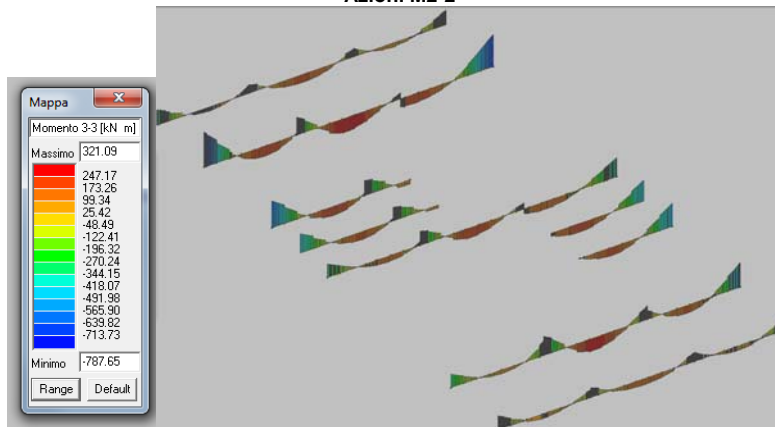
Combinazione Sisma X SLV



Azioni N

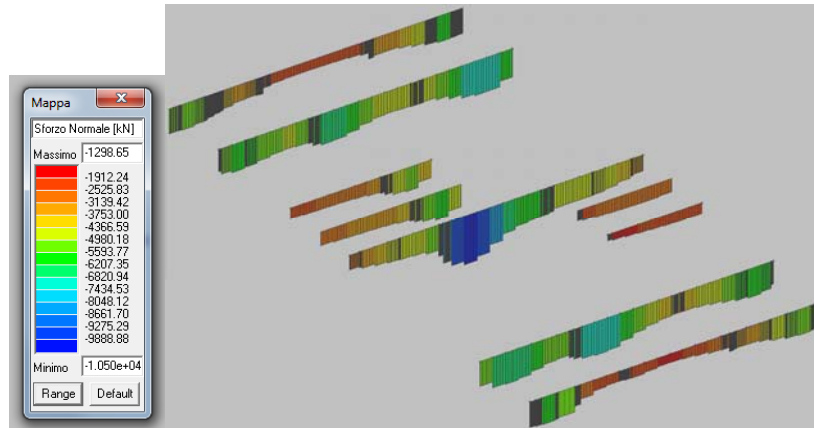


Azioni M2-2

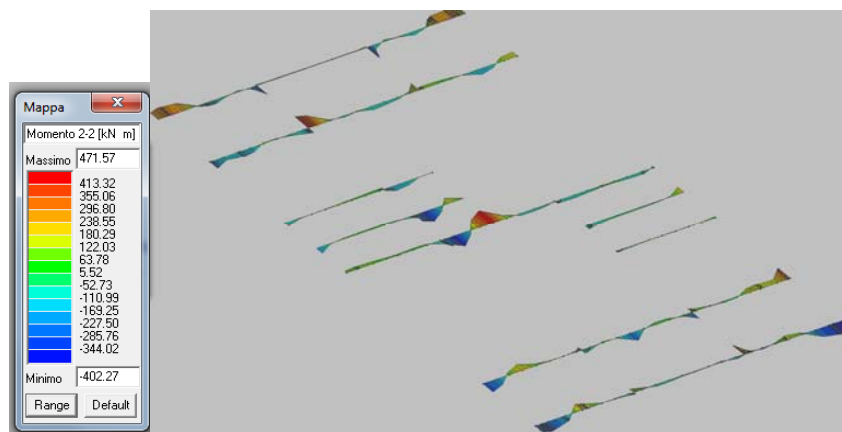


Azioni M3-3

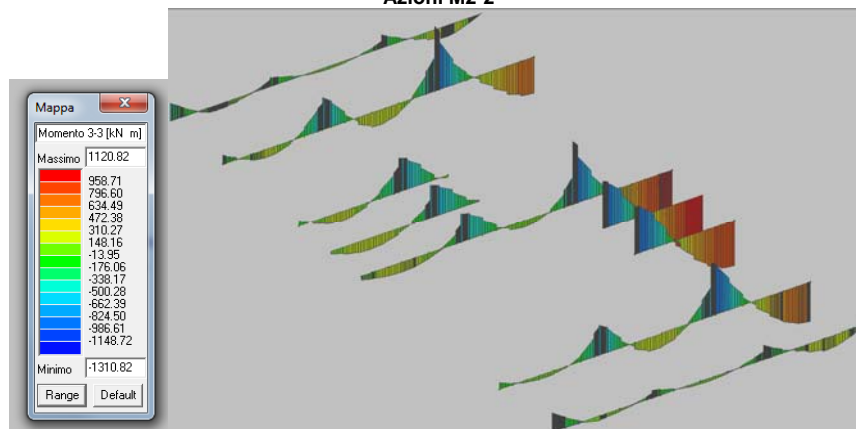
Combinazione Sisma Y SLV



Azioni N



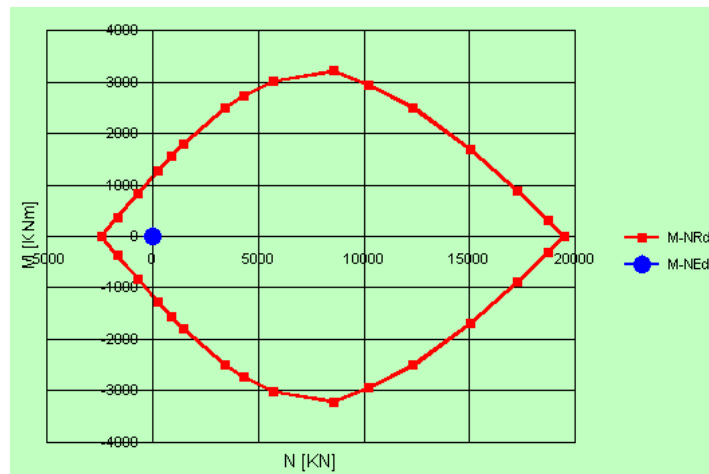
Azioni M2-2



Azioni M3-3

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

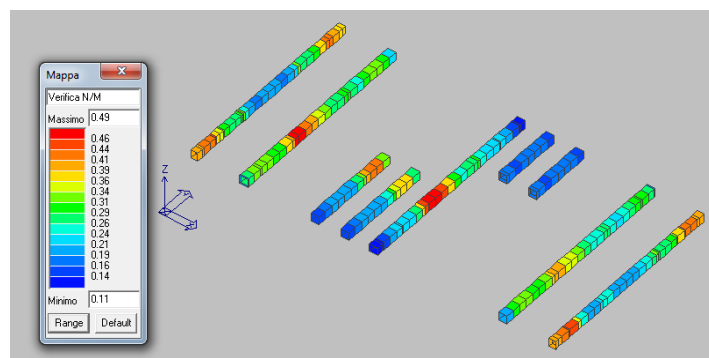


Osservando il dominio resistente M/N risulta evidente come le sollecitazioni sopra riportate ricadano tutte al suo interno rendendo tale verifica soddisfatta.

Verifica N/M

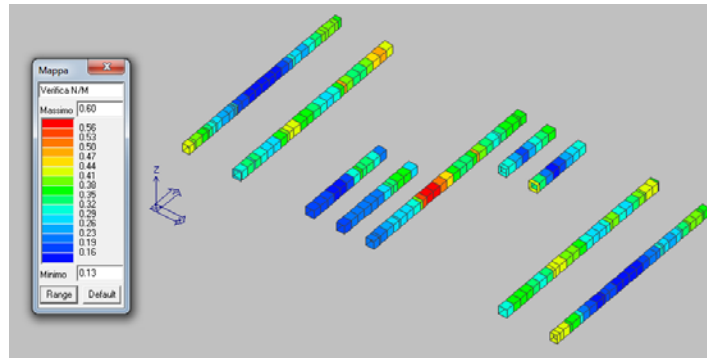
Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto Sd/Su con sollecitazioni ultime proporzionali; il valore del rapporto deve essere minore o uguale a 1 per verifica positiva (Sd = sollecitazione di progetto, Su = sollecitazione ultima)

Fase 1



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

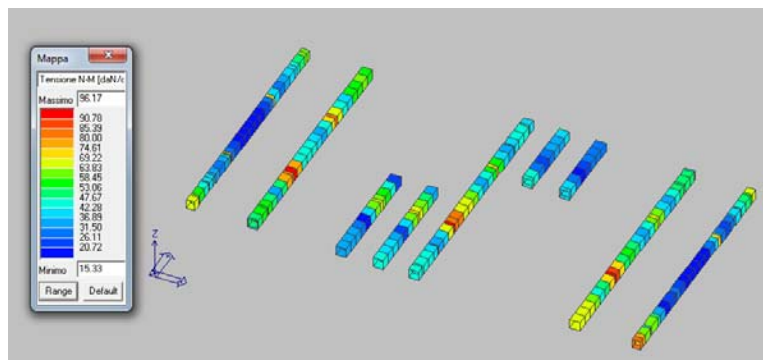
Fase 3



Verifiche SLE

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

Combinazione SLE (rara)



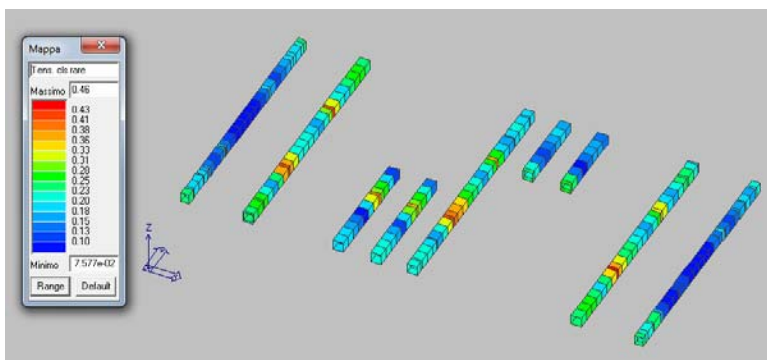
Tensioni totali

Verifica Tens. cls rare

Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto tra la massima compressione nel calcestruzzo e la tensione caratteristica del cls in combinazioni rare fattorizzata in base ai casi previsti dalla normativa (ad es. $0.6 \times f_{ck}$); 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 “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

par. 4.1.2.2.5)



Verifica tensionale

8.4.1.8 Puntoni provvisionali

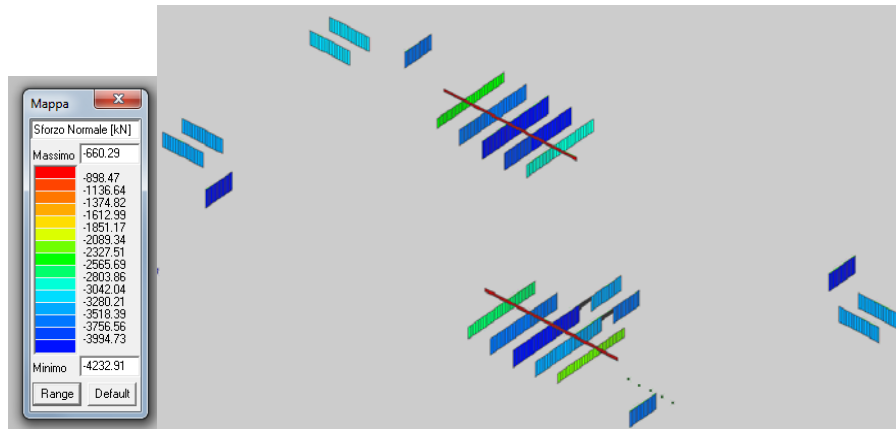
Le verifiche di resistenza dei puntoni provvisionali, costituiti da profili HEB600, sono eseguite adottando il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

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.

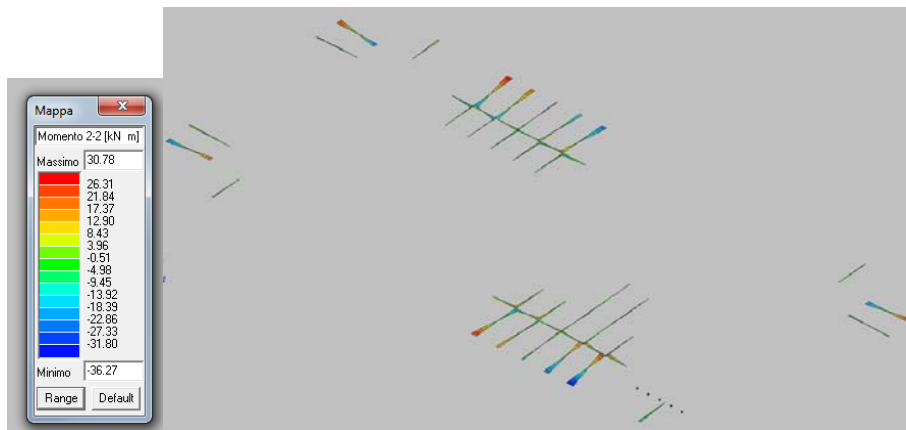
Combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.UU., sono riportate di seguito le mappature delle sollecitazioni, relative a tutte le combinazioni di carico, rapportate a grafici rappresentanti il dominio di rottura (N_{Rdu} , M_{Rdu}) per diverse configurazioni di armatura.

Fase 1

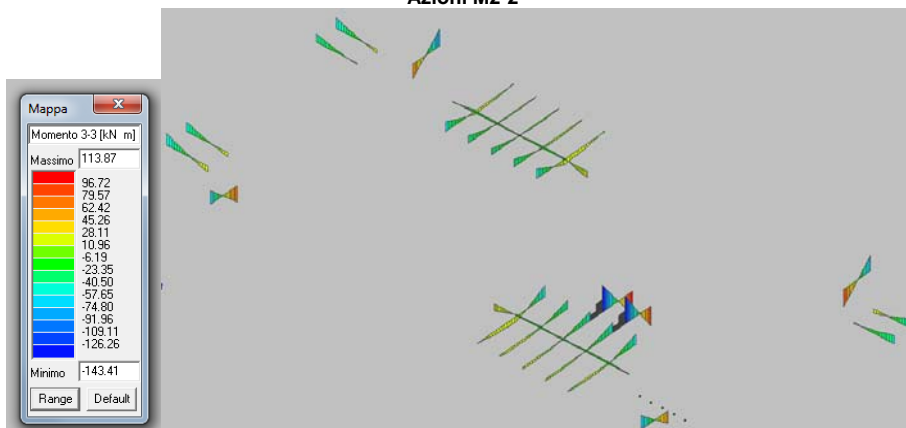
Combinazione SLU



Azioni N

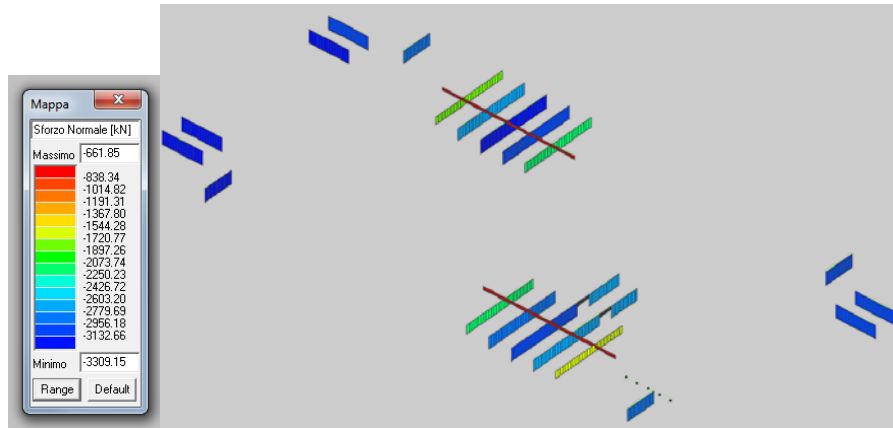


Azioni M2-2

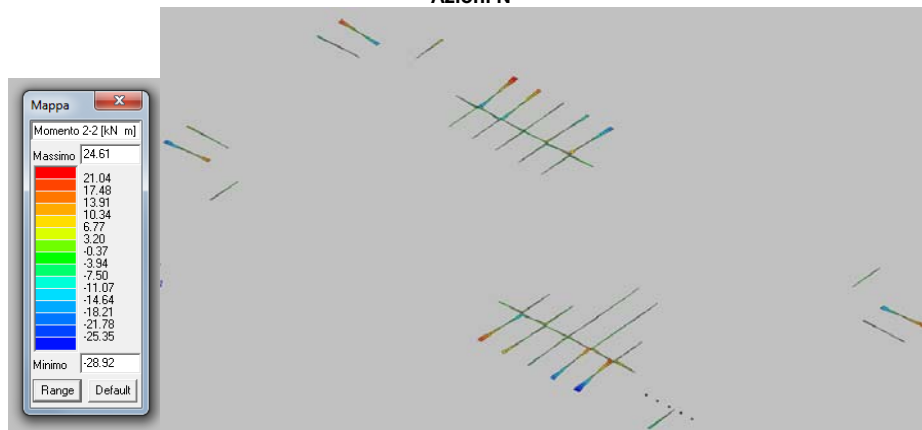


Azioni M3-3

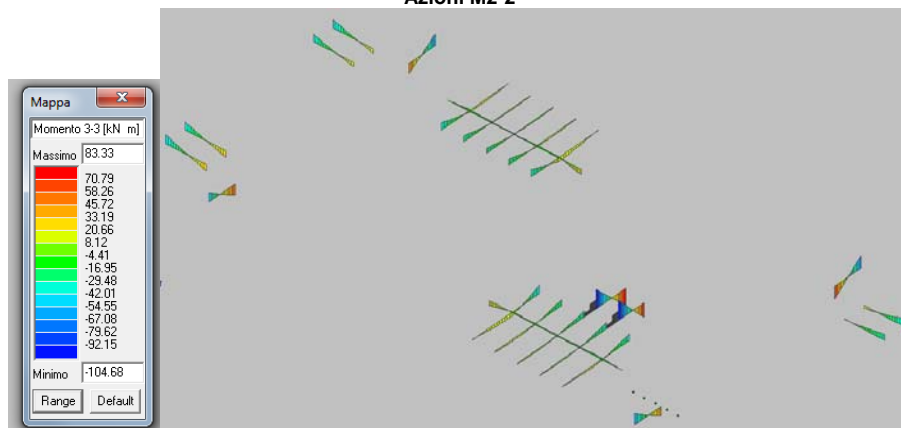
Combinazione Sisma X SLV



Azioni N

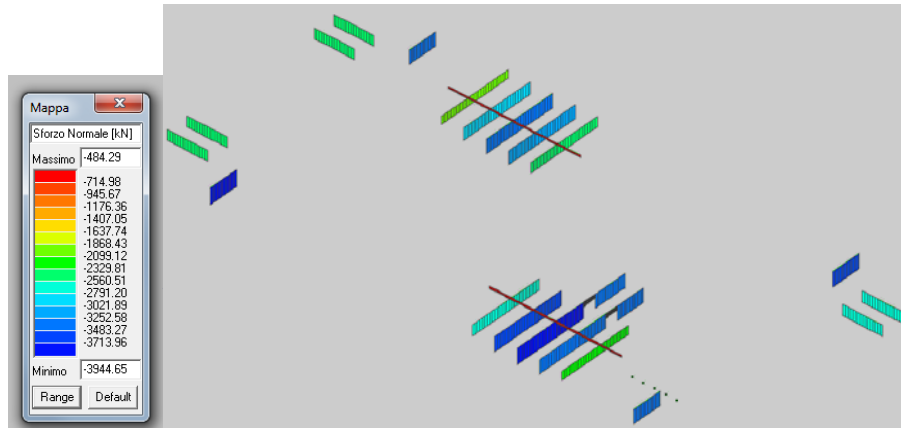


Azioni M2-2

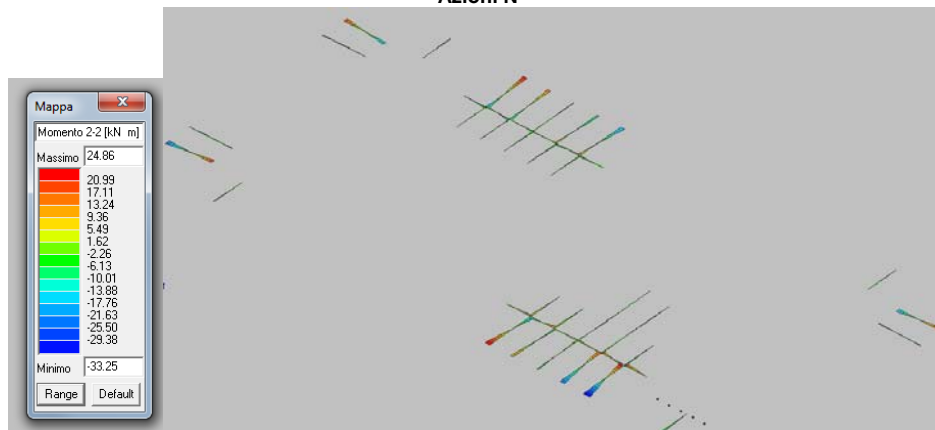


Azioni M3-3

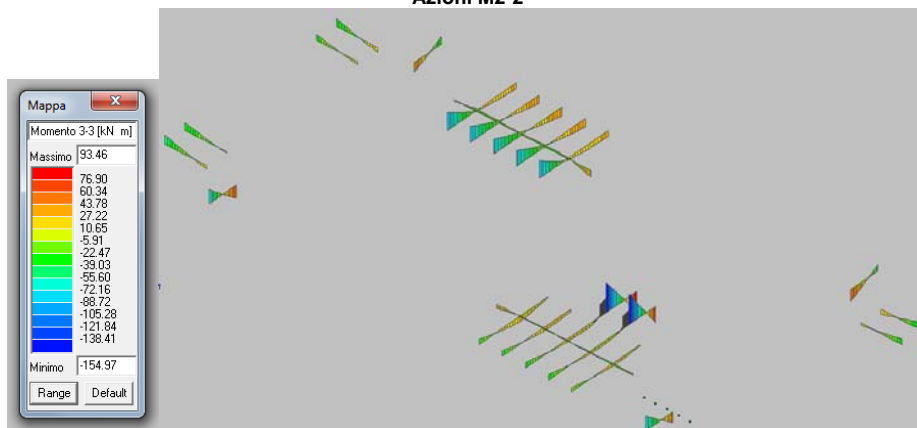
Combinazione Sisma Y SLV



Azioni N



Azioni M2-2

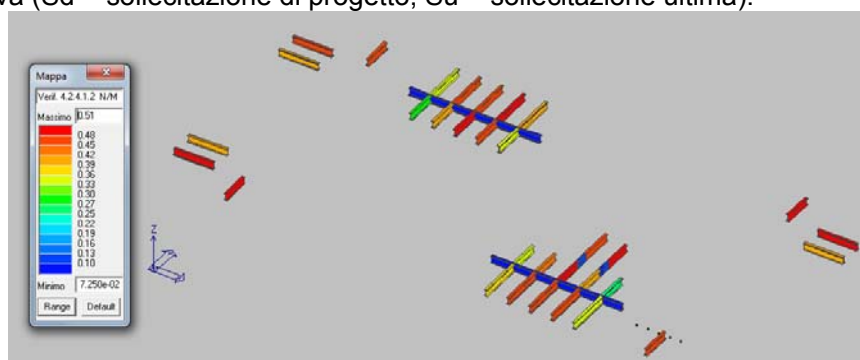


Azioni M3-3

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Verifica N/M

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



8.4.1.9 Travi di collegamento diaframmi interni

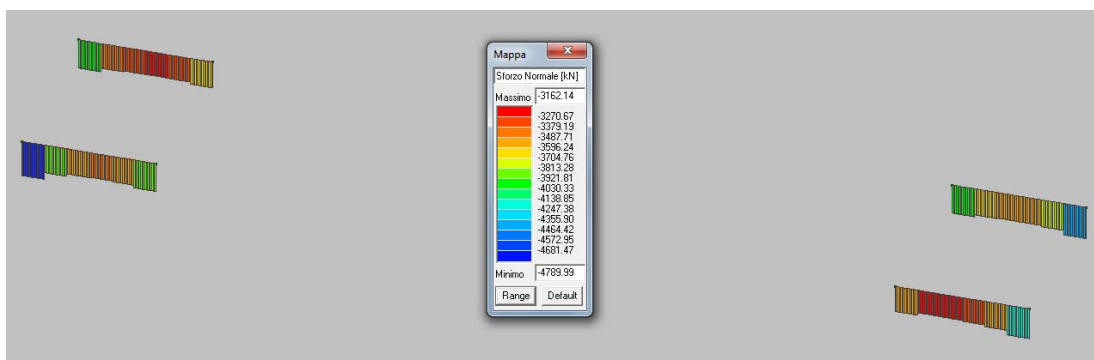
Le verifiche di resistenza delle travi di collegamento, aventi sezione 80x120cm, sono eseguite adottando il metodo semiprobabilistico agli stati limite; si assume un copriferro pari a 5 cm.

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

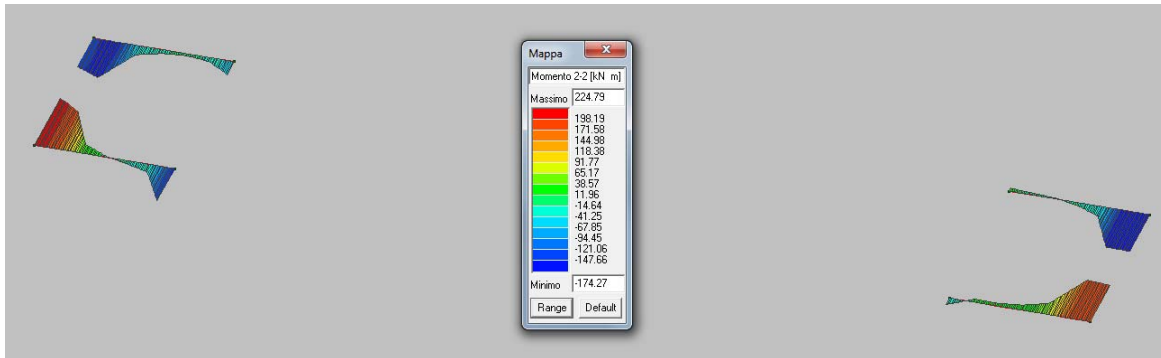
Combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.UU., sono riportate di seguito le mappature delle sollecitazioni, per ognuna delle 2 fasi, relative a tutte le combinazioni di carico, rapportate a grafici rappresentanti il dominio di rottura (N_{Rdu} , M_{Rdu}) per diverse configurazioni di armatura.

Fase 1

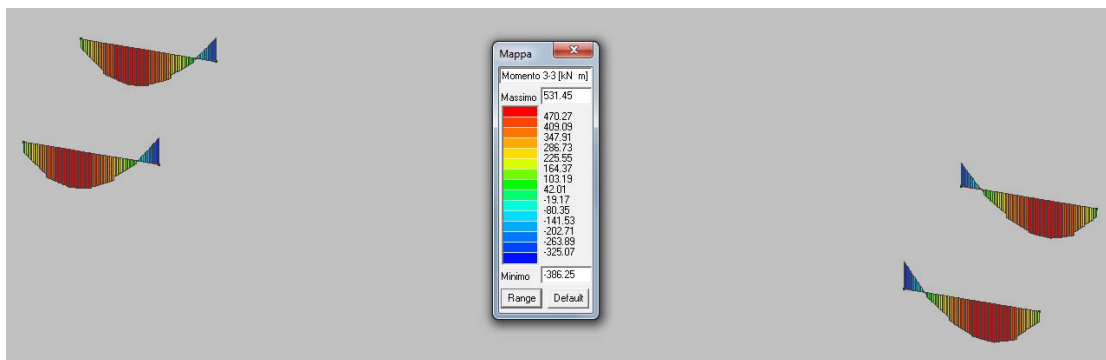
Combinazione SLU



Azioni N

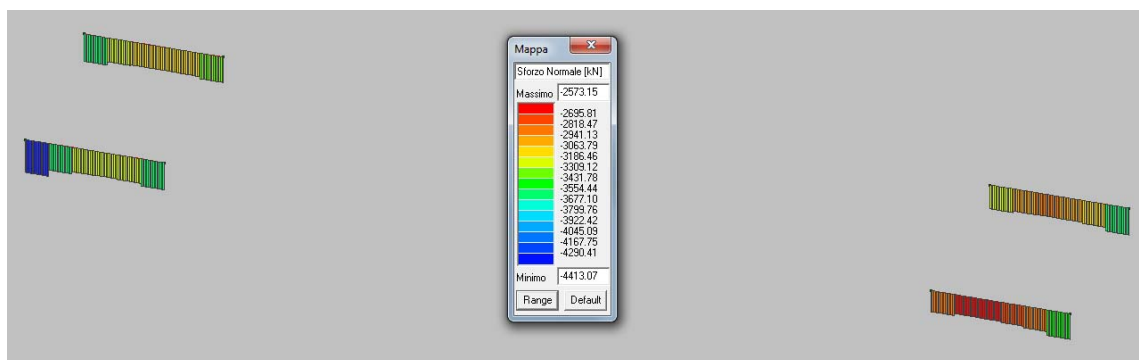


Azioni M2-2

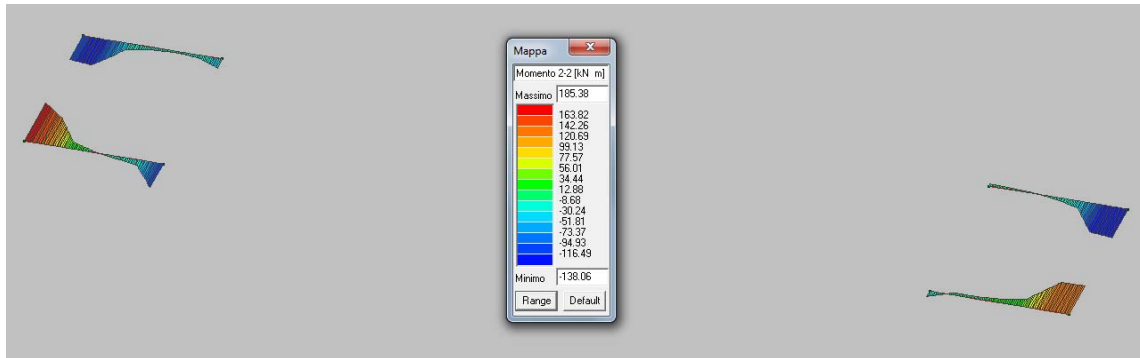


Azioni M3-3

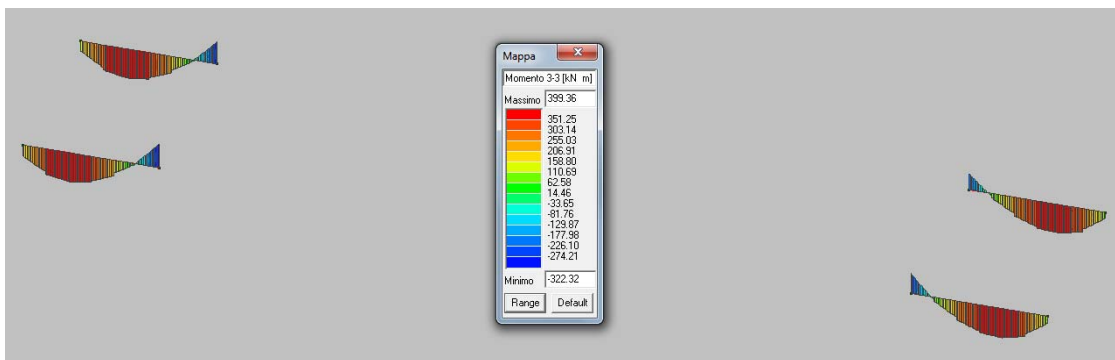
Combinazione Sisma X SLV



Azioni N

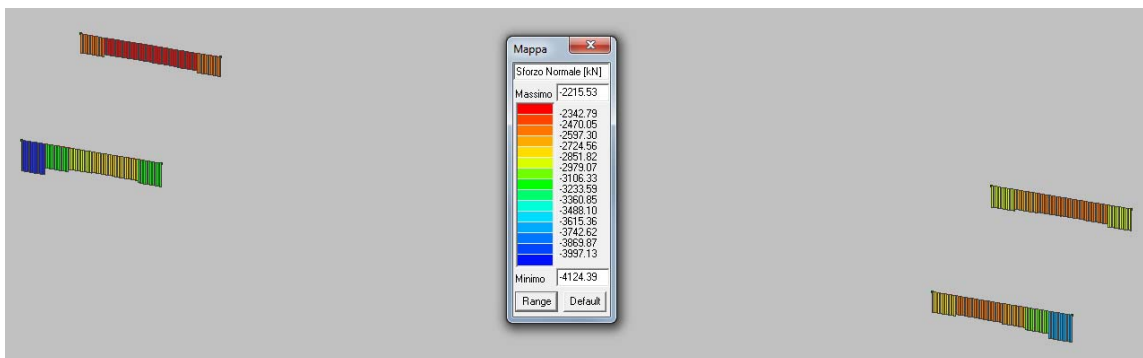


Azioni M2-2

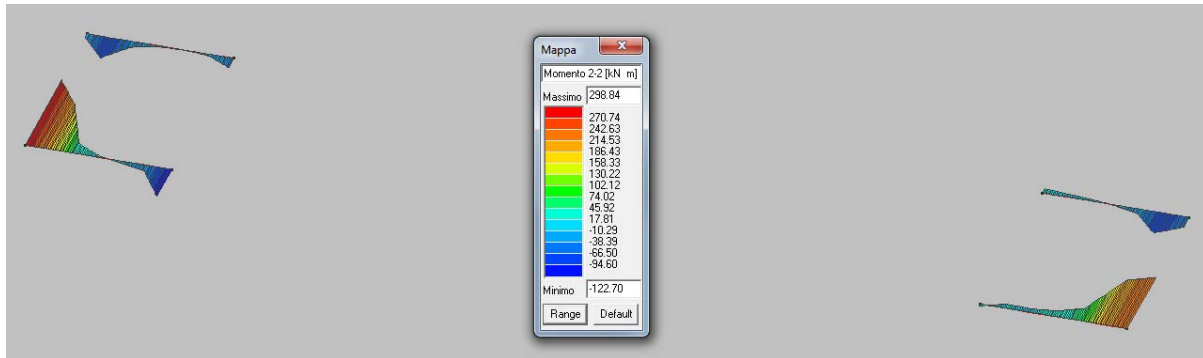


Azioni M3-3

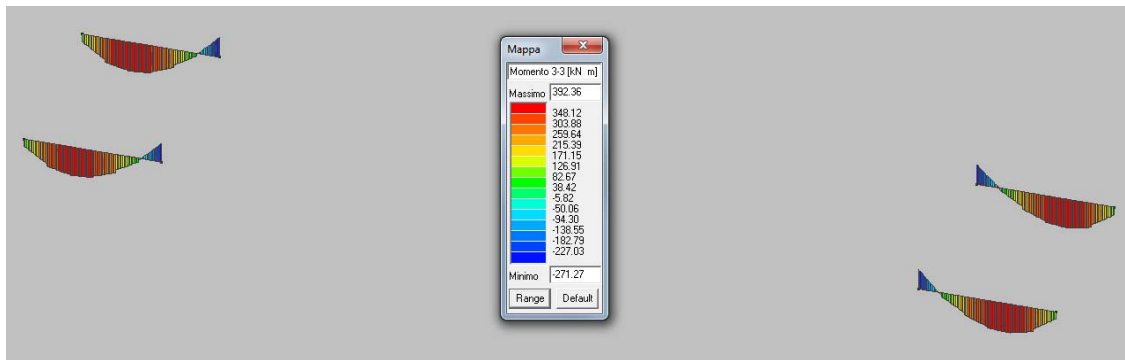
Combinazione Sisma Y SLV



Azioni N



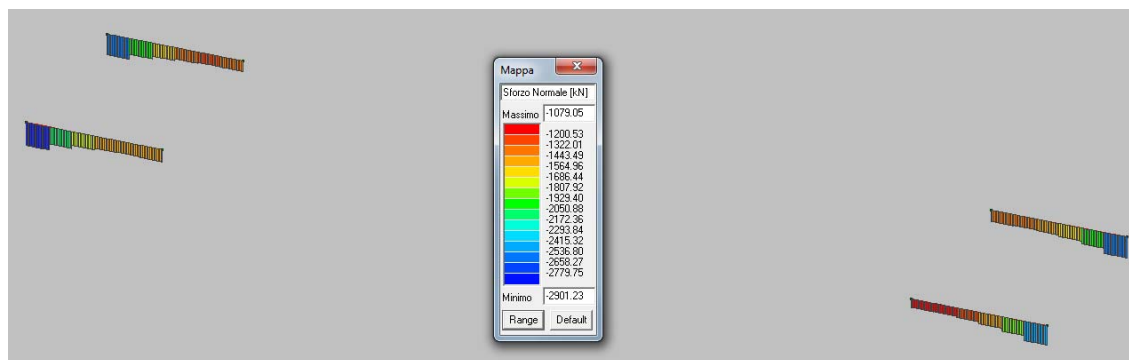
Azioni M2-2



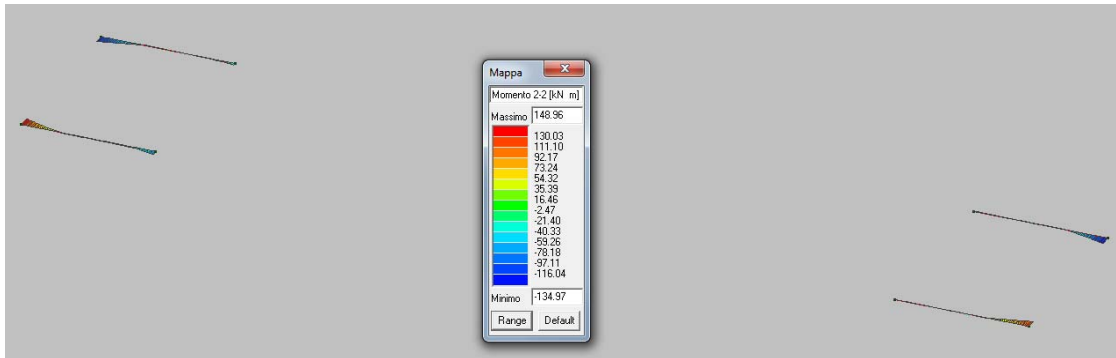
Azioni M3-3

Fase 3

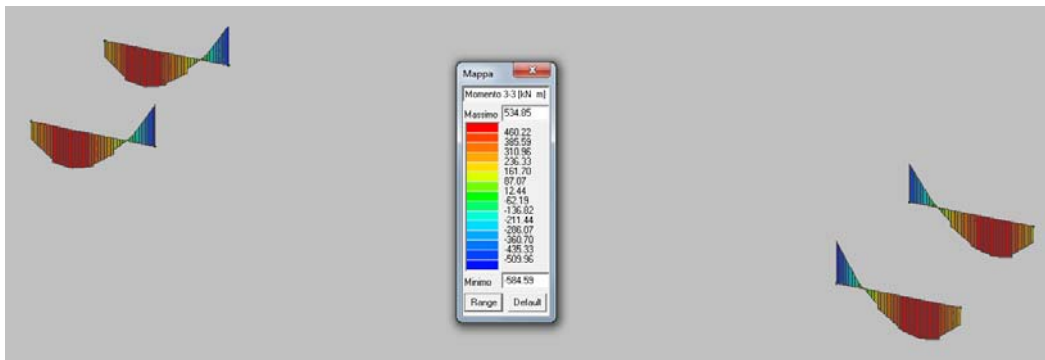
Combinazione SLU



Azioni N

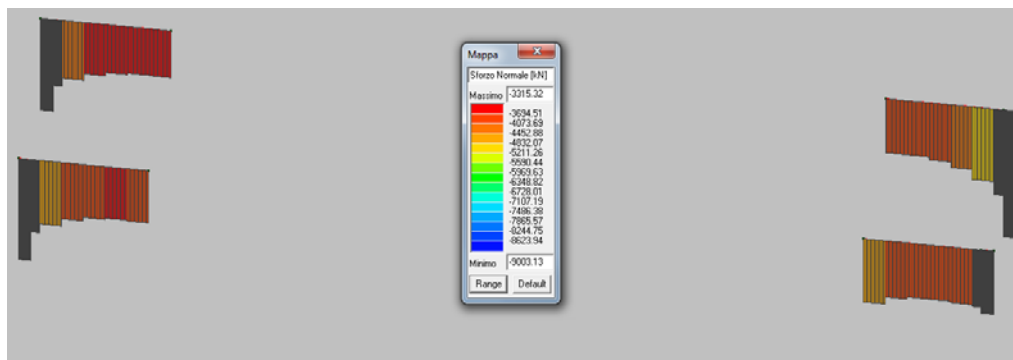


Azioni M2-2

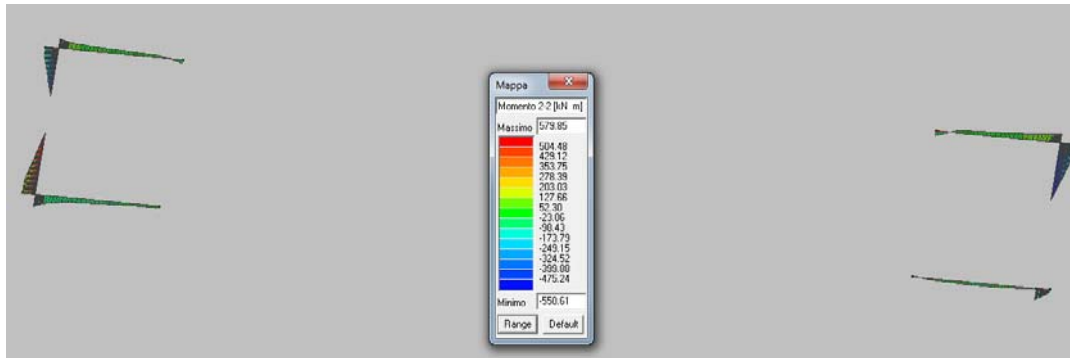


Azioni M3-3

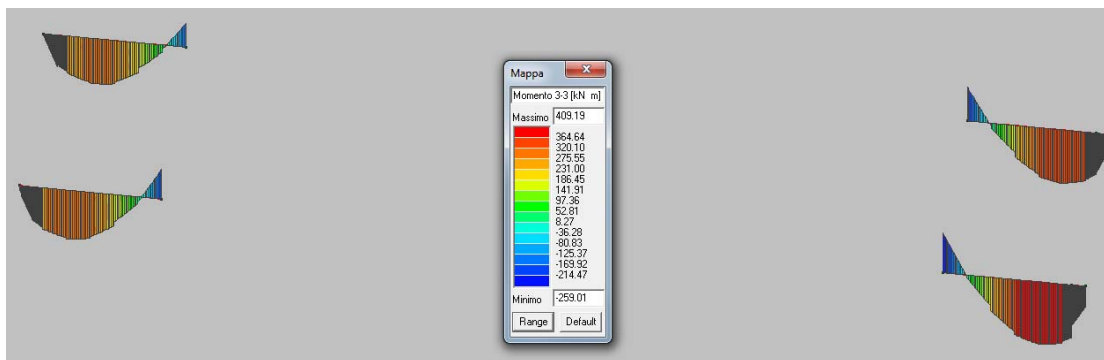
Combinazione Sisma X SLV



Azioni N

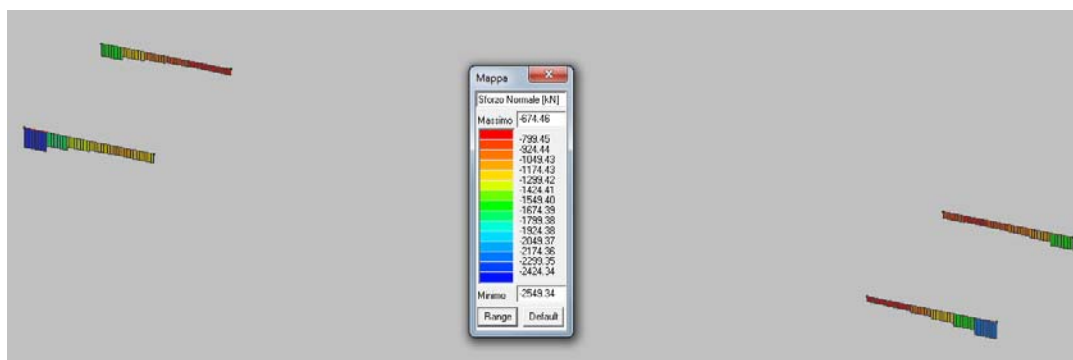


Azioni M2-2

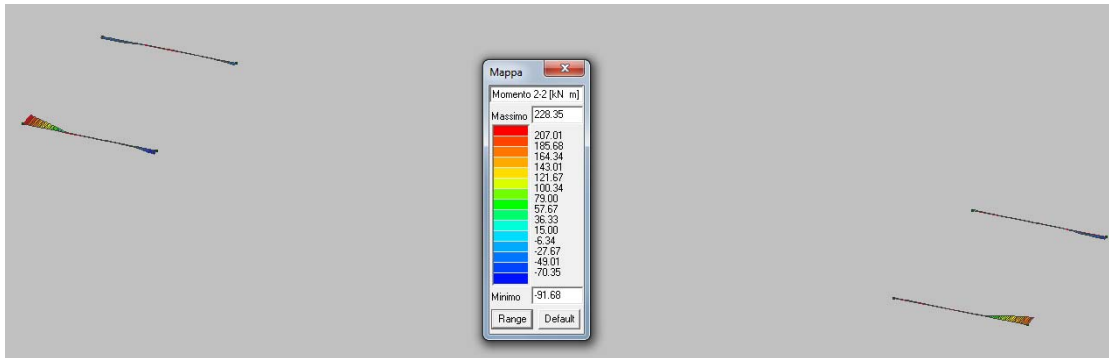


Azioni M3-3

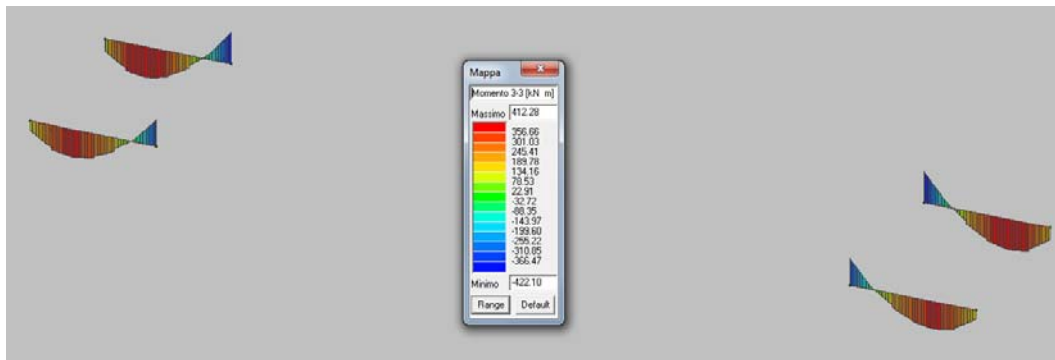
Combinazione Sisma Y SLV



Azioni N

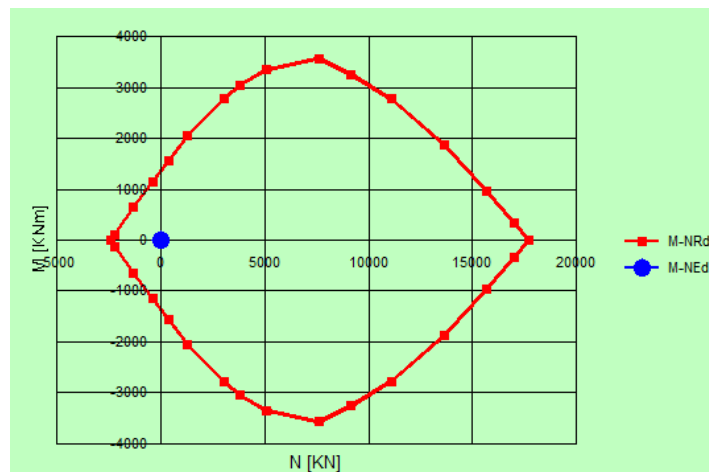


Azioni M2-2



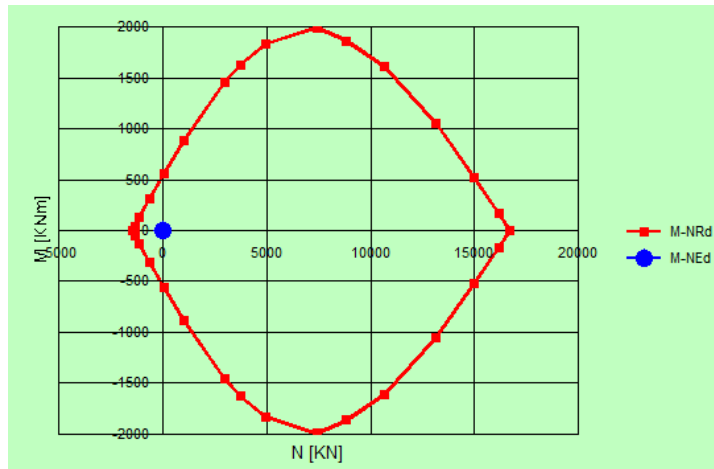
Azioni M3-3

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



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

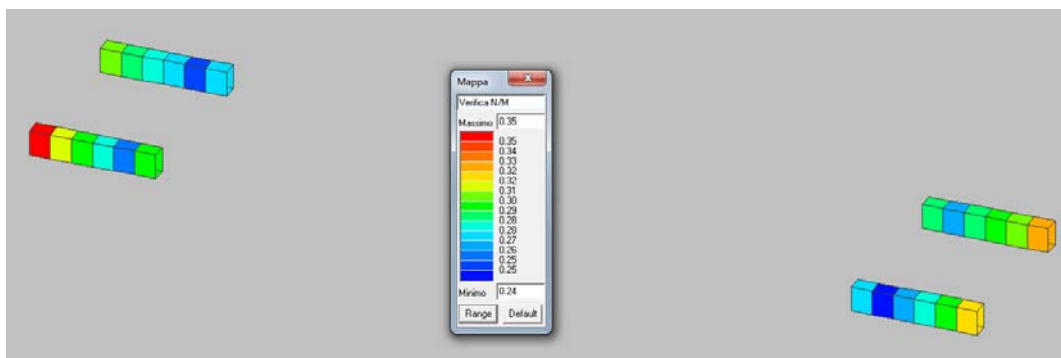


Osservando i domini resistenti M/N risulta evidente come le sollecitazioni sopra riportate ricadano tutte al loro interno rendendo tale verifica soddisfatta.

Verifica N/M

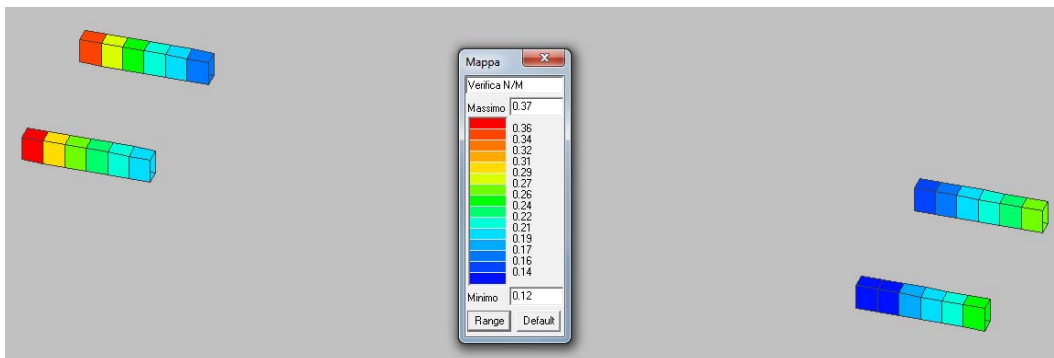
Permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, dei valori massimi del rapporto Sd/Su con sollecitazioni ultime proporzionali; il valore del rapporto deve essere minore o uguale a 1 per verifica positiva (Sd = sollecitazione di progetto, Su = sollecitazione ultima)

Fase 1



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

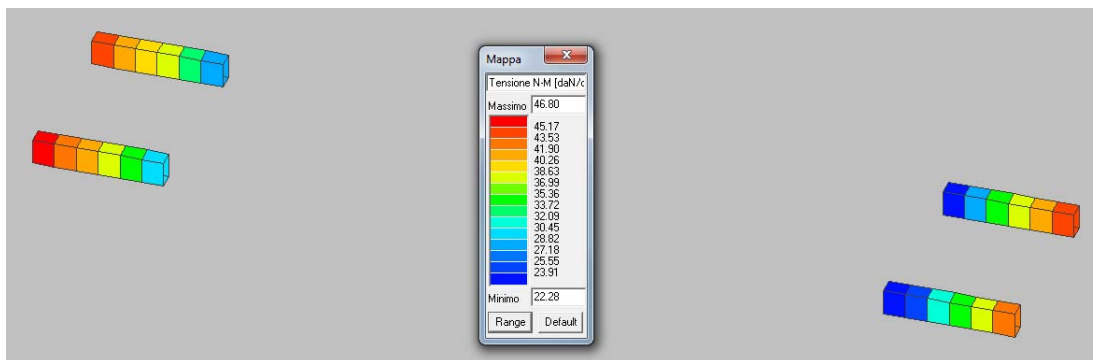
Fase 3



Verifiche SLE

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

Combinazione SLE (rara)



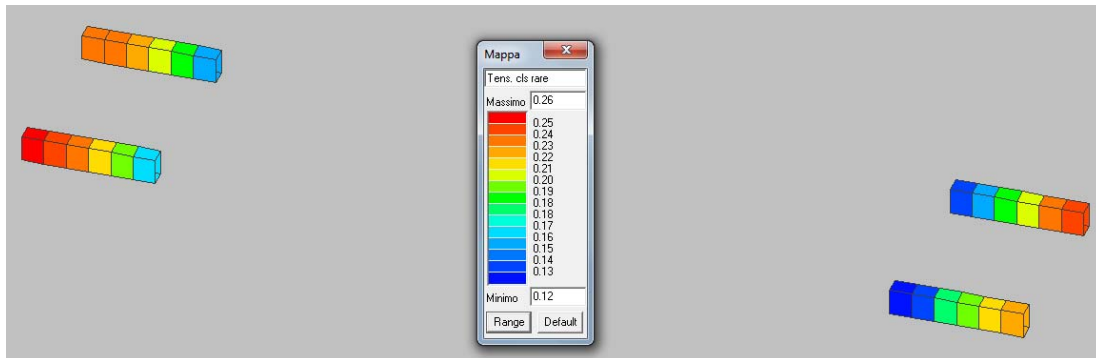
Tensioni totali

Verifica Tens. cls rare

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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



Verifica tensionale

8.4.1.10 Platea di fondazione

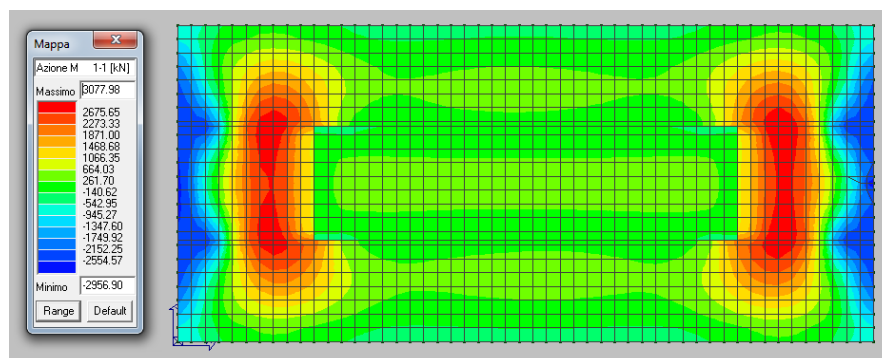
Le verifiche di resistenza della platea di fondazione, avente spessore $s=200\text{cm}$, sono eseguite adottando il metodo semiprobabilistico agli stati limite; si assume un copri ferro pari a 5 cm.

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

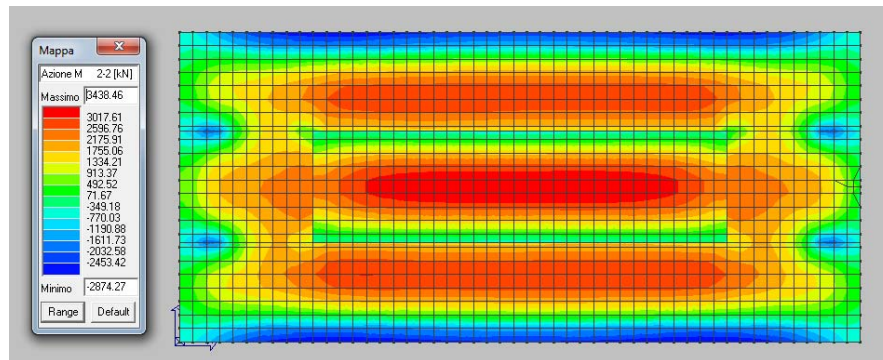
La platea è soggetta alle seguenti azioni ottenute combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.UU.

Combinando i carichi opportunamente agli SS.LL.UU., sono riportate di seguito le mappature delle sollecitazioni, relative a tutte le combinazioni di carico.

Combinazione SLU

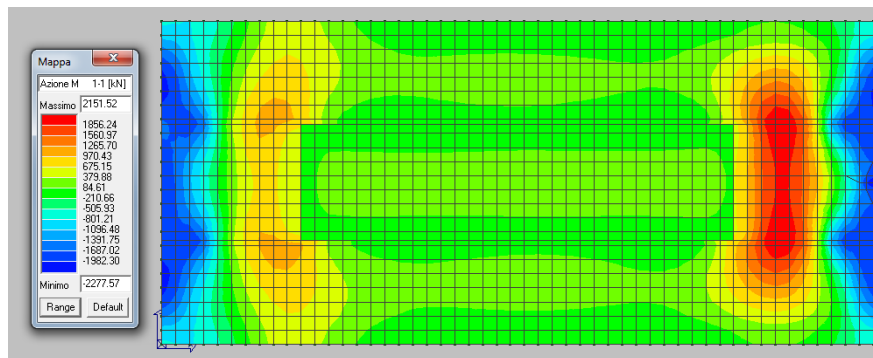


Azioni M1-1

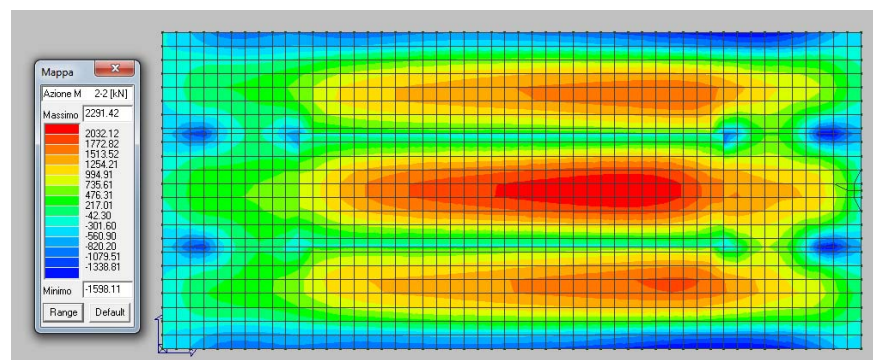


Azioni M2-2

Combinazione Sisma X SLV

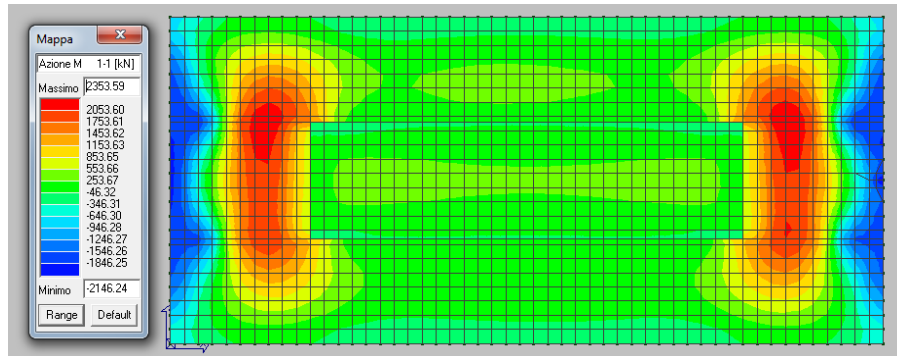


Azioni M1-1

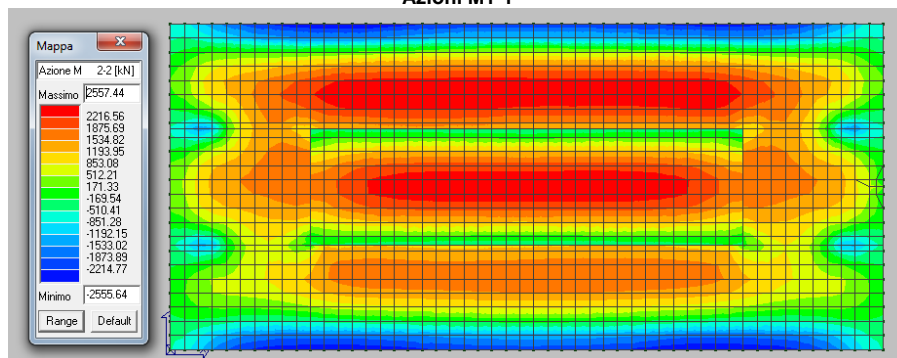


Azioni M2-2

Combinazione Sisma Y SLV



Azioni M1-1

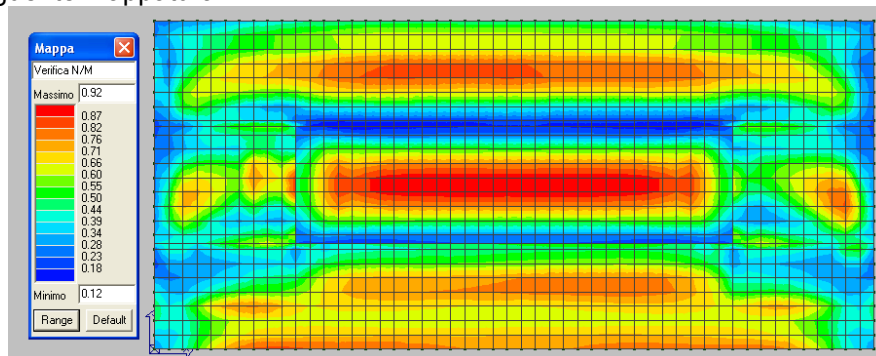


Azioni M2-2

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 $\varnothing 22$ a maglia 10×10 cm ed infittimenti $\varnothing 22$ a maglia 10×10 cm si ottiene la seguente mappatura.

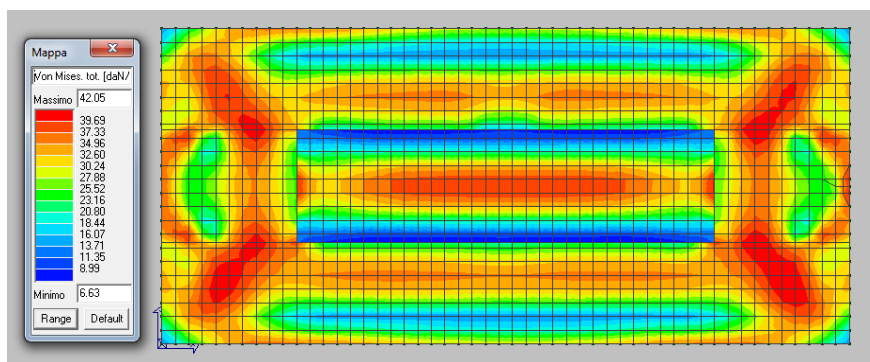


		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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.

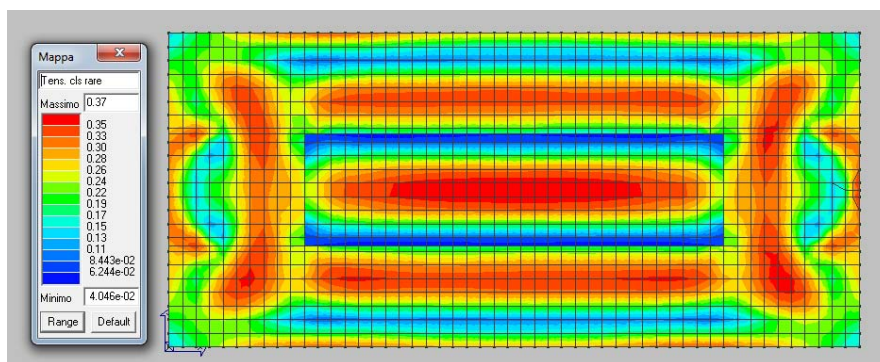
Combinazione SLE (rara)



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



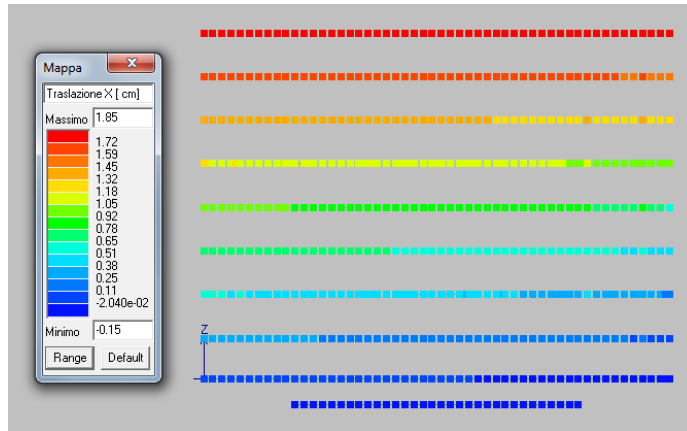
Verifica tensionale

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

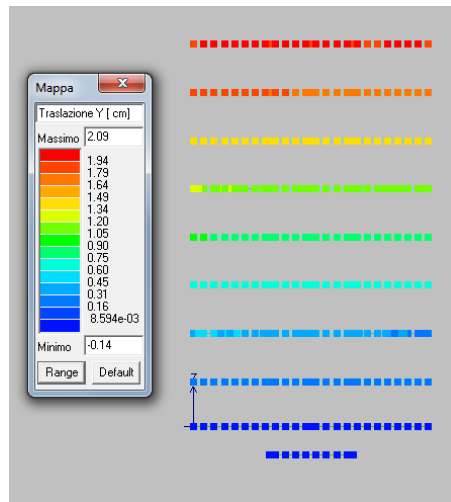
8.4.1.1 Verifica Stato Limite di Danno

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



Spostamenti Y

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<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.

8.4.2 Verifiche di stabilità

8.4.2.1 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/m^3 , di conseguenza il peso totale della struttura viene così calcolato:

- Puntoni e travi perimetrali → $2252 \text{ m}^3 * 25 \text{ KN/m}^3$	= 56300 KN
- Platea di fondazione → $2405 \text{ m}^3 * 25 \text{ KN/m}^3$	= 60125 KN
- Solai → $5492 \text{ m}^3 * 25 \text{ KN/m}^3$	= 137300 KN
- Pareti → $11524 \text{ m}^3 * 25 \text{ KN/m}^3$	= 288100 KN
Peso totale struttura	=541825 KN

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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 $G_{stb,d} = 487642KN$.

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

$$V_{inst,d} = \Delta h \cdot \gamma_w \cdot A_{fond} \cdot \gamma_g = 29 \cdot 10 \cdot 1325 \cdot 1.1 = \mathbf{422675 \text{ KN}}$$

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 “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

9 Paratie di secondo ordine

Quale opera di contenimento degli scavi è stata prevista la realizzazione di paratie in diaframmi in calcestruzzo armato, dello spessore di 1,00 m, disposti a passo 250 cm.

Viene riportato di seguito uno stralcio della planimetria della stazione, in cui si evidenzia la presenza dell’opera in esame.

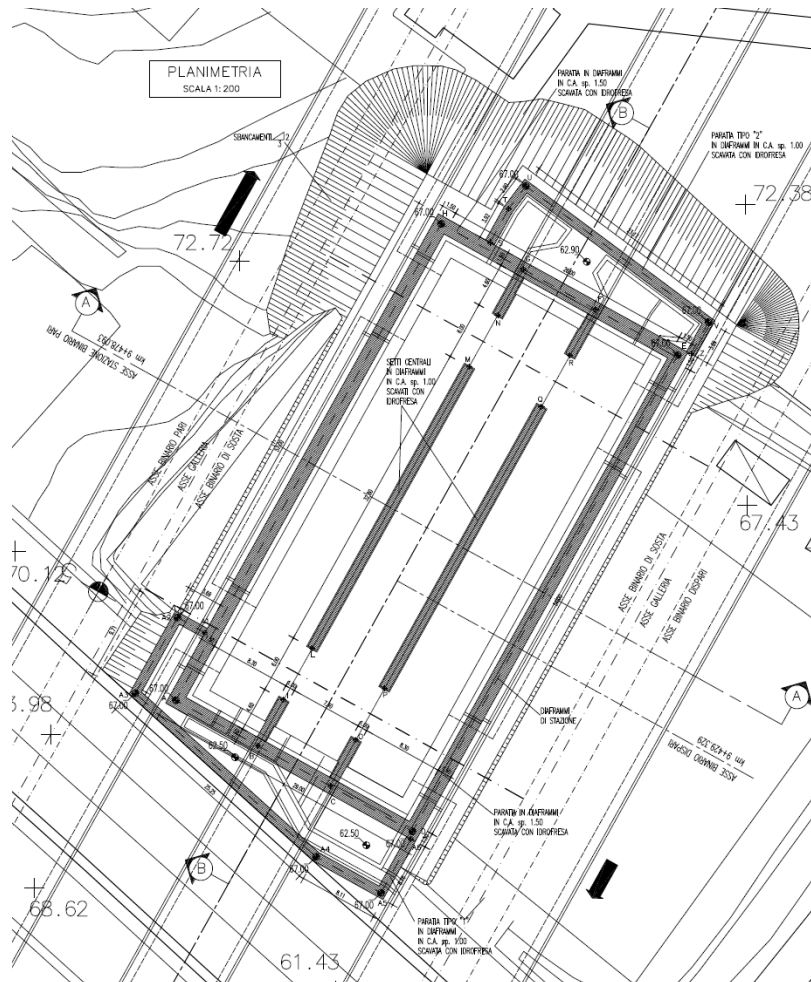


Figura 61 – Planimetria

Nell’opera in esame sono presenti varie tipologie di diaframmi. Per ognuna di esse si è ritenuto opportuno riportare il calcolo relativo alla situazione più significativa:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0

Calcolo	H_{TOT}	H_{Scavo}	$H_{Infissione}$	Ordini di tiranti
	[m]	[m]	[m]	[-]
Calcolo 1	6.50	4.10	2.40	1

Tabella 22: Diaframmi – tipologie e caratteristiche

9.1 Verifiche delle opere provvisorie 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. La sezione di calcolo è indicata nell’immagine seguente.

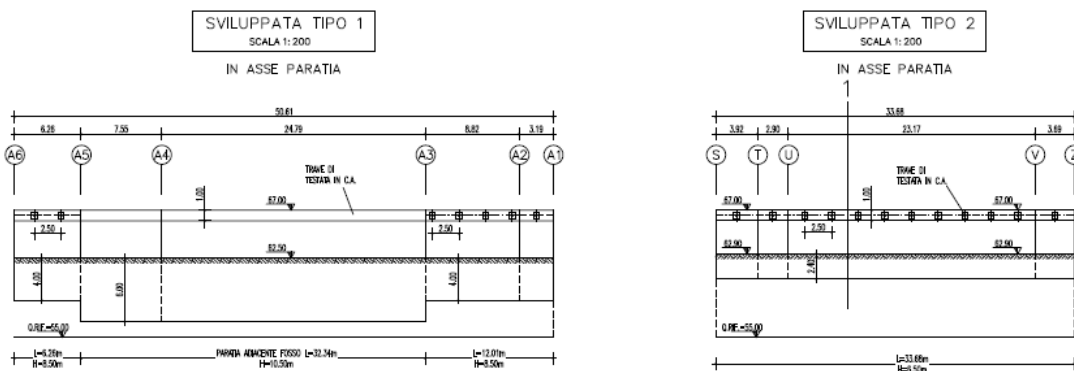


Figura 62 - Indicazione della sezione di calcolo

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<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 -1.0 m
- Fase 3 : Messa in opera primo ordine di tiranti a -0.5 m
- Fase 4: Scavo fino al raggiungimento della quota fondo scavo -4.1 m
- Fase 5: Applicazione carico sismico

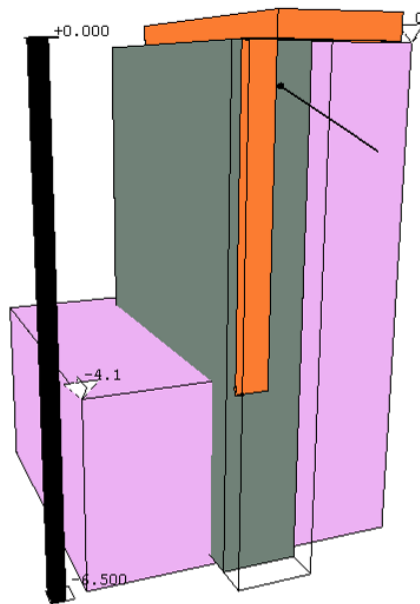


Figura 63 - Modello di calcolo per altezza fuori terra 4.10 m (sezione 1)

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 “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<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
Peso dell'unità di volume	γ	1,00	1,00

Tabella 24 – Coefficienti Parziali per i parametri geotecnici del terreno

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0

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' [°]	K_a [i=20°]	K_a [i=0°]	K_p [i=0°]	E' [MPa]
Depositi alluvionali	19	0	37	0.276	0.215	7.158	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' [°]	K_a [i=20°]	K_a [i=0°]	K_p [i=0°]	E' [MPa]
Depositi alluvionali	19	0	32	0.360	0.267	7.158	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:

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

Con :

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

$$\xi_{a3} = 1.8$$

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 della resistenza calcolato come:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

$$R_d = 0,8 \cdot (n \cdot A_{tr}) \cdot f_{ptk}$$

con:

- A_{tr} = area nominale del trefolo;
 n = numero dei trefoli (da 0,6”) del tirante;
 f_{ptk} = tensione caratteristica a rottura del trefolo;

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

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

dove:

- $f_{p(0,1)k}$ = tensione caratteristica di snervamento del trefolo.

9.1.3.4 Stati limite di progetto

Di seguito si riassumono gli stati limite considerati nel progetto dell’opera di imbocco:

STATI LIMITE PROGETTO	
SLE	E1+E2
SLE_SISMA (SLD)	E1+E2+sisma
SLU_1	A1+M1
SLU_2	A2+M2
SLU1_SISMA (SLV)	A1+M1+sisma
SLU2_SISMA (SLV)	A2+M2+sisma

Tabella 30 - Stati limite considerati nel progetto

9.1.4 Definizione dei carichi agenti

Le opere di sostegno sono state verificate applicando i carichi indicati nel seguito.

9.1.4.1 Spinta del Terreno

Il terreno esercita una spinta orizzontale sulla paratia proporzionale al carico verticale cui esso è soggetto. Il fattore di proporzionalità (coefficiente di spinta) dipende dallo stato deformativo del terreno e può variare dal coefficiente di spinta attiva K_a al coefficiente di spinta passiva K_p , i quali a loro volta dipendono dall’angolo d’attrito interno del terreno, dall’attrito paratia – terreno,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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 sismico

Il carico indotto dall'azione sismica è stato applicato secondo le indicazioni contenute nel DM2008. In particolare la normativa consente di valutare l'azione sismica in funzione della posizione geografica dell'opera (per la posizione dell'opera si rimanda allo specifico capitolo). Partendo dalla ubicazione dell'opera è possibile definire, per il sito di interesse, le accelerazioni orizzontali di progetto. Nota l'accelerazione sismica a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido, bisogna fissare la vita nominale V_N dell'opera in esame. Dalla tabella 2.4.I estratta dalle nuove Norme tecniche per le costruzioni 14/01/2008, risulta che le opere provvisorie hanno una vita nominale inferiore a 10 anni:

Tabella 2.4.I – Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva 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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

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_{V_R} 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_{V_R} al variare dello stato limite considerato

Stati Limite		P_{V_R} : 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)

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	0,126	2,336	0,325
SLD	201	0,163	2,364	0,336
SLV	1898	0,426	2,476	0,417
SLC	2475	0,473	2,489	0,431

Considerato che :

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Calcolo	Tipo di sottosuolo	B
1	Ss*St	1.20
	α	1
	β	0.585

Da cui:

- Calcolo 1:

Accelerazione orizzontale di progetto (DM2008)	
k_h (SLD) = $a_{max} * S_s * S_t * \alpha * \beta$	0.111
k_h (SLV) = $a_{max} * S_s * S_t * \alpha * \beta$	0.288

Nelle relazioni di cui sopra i parametri introdotti hanno il seguente significato:

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):

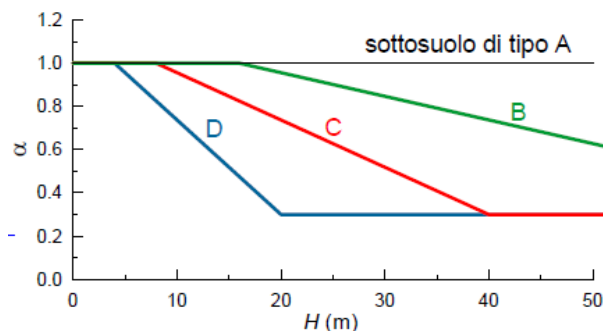


Tabella 31- Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α

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). Nei calcoli si è assunto, a favore di sicurezza, uno spostamento massimo della paratia pari a 2,5 cm a cui corrisponde un valore di β pari a 0,585, mentre α assume un valore pari a 1 data l'altezza della paratia e la categoria di suolo B .

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

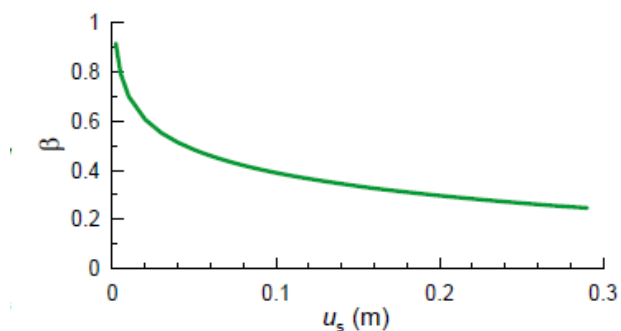


Tabella 32- Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β

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 uniformante distribuito su tutta l'altezza libera della paratia.

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	18 ϕ 24	18 ϕ 24

Tabella 33 - armature dei diaframmi

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

9.1.5.1 Stato limite di esercizio

Verifiche a Pressoflessione

Le verifiche sono state condotte accertando che, in fase di esercizio, le tensioni di esercizio dei materiali siano inferiori a quelle ammissibili per il materiale, ovvero

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

combinazione rara

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

combinazione quasi permanente

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

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

1. Sezione di calcolo 1:

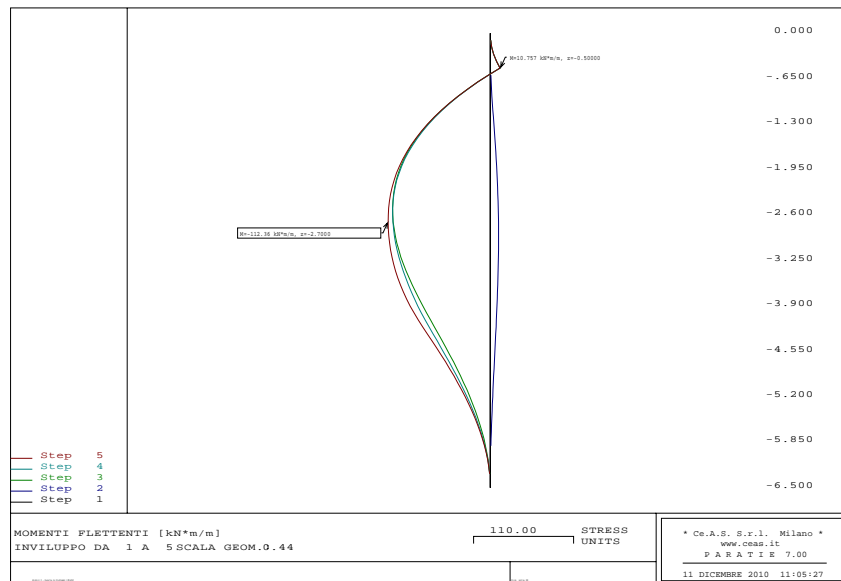


Figura 64 - Combinazione E1+E2 - Momento flettente

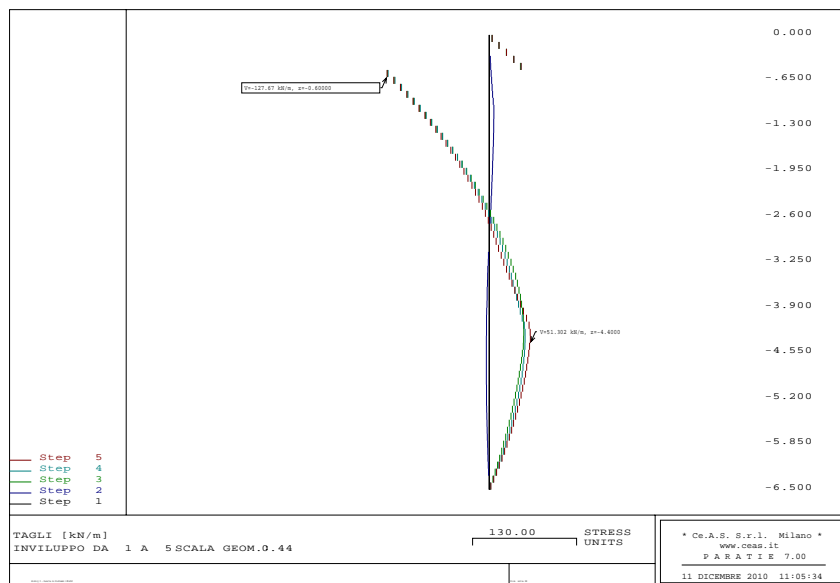


Figura 65 - Combinazione E1+E2 - Sollecitazioni di taglio

Combinazione	M _{SLE} [kNm]	N _{SLE} [kN]	σ_{cls} [MPa]	σ_s [MPa]	$\sigma_{cls, limite}$ [MPa]	$\sigma_s, limite$ [MPa]
A1+M1_SLE	268	163	1	29	11,21	360
A1+M1_SLD	280	169	1	31	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 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).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

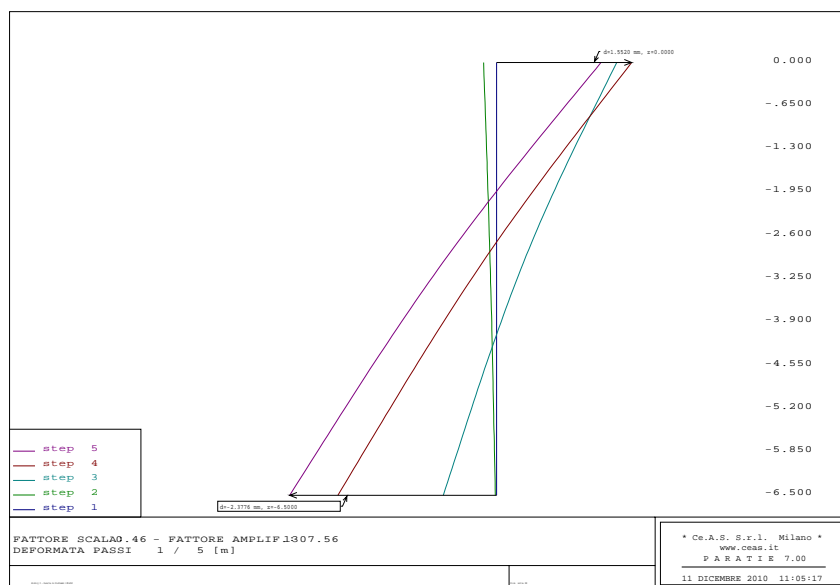


Figura 66 - Sezione di calcolo 1 : Deformata della struttura: fase 4 (SLE), fase 5 (SLD)

	z [m]	Spostamento max [mm]
Statica (SLE)	0	1.55
	-6.5	1.82
Sismica (SLD)	0	1.55
	-6.5	2.38

Tabella 35- Sezione di calcolo 1: spostamenti massimi previsti

Il campo degli spostamenti ottenuto nelle due analisi risulta in ogni caso compatibile con la tipologia di struttura in oggetto.

9.1.5.2 Stato limite ultimo

Verifiche a Pressoflessione

La verifica a pressoflessione dei diaframmi è stata condotta considerando reagenti le armature e i diaframmi in calcestruzzo.

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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.

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:

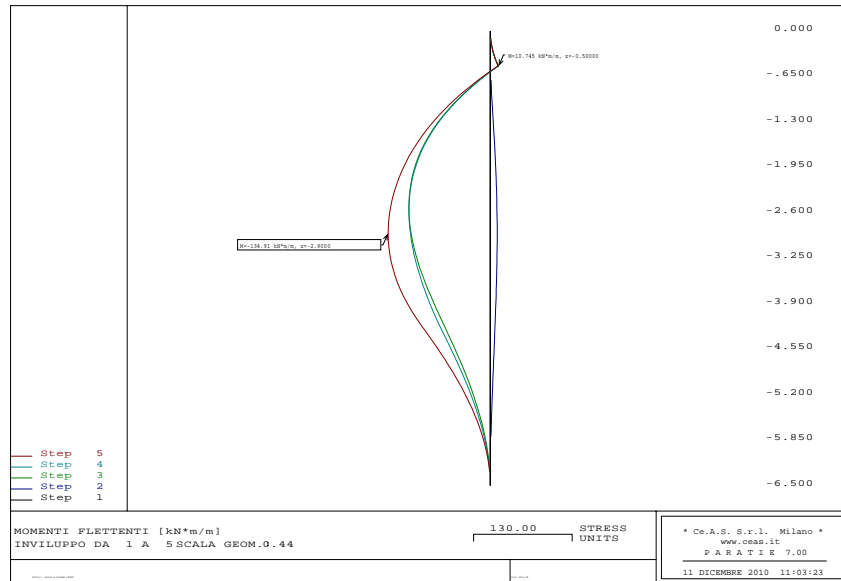


Figura 67 - Combinazione A1+M1 (Statica) e A1+M1 (SLV): Momento flettente

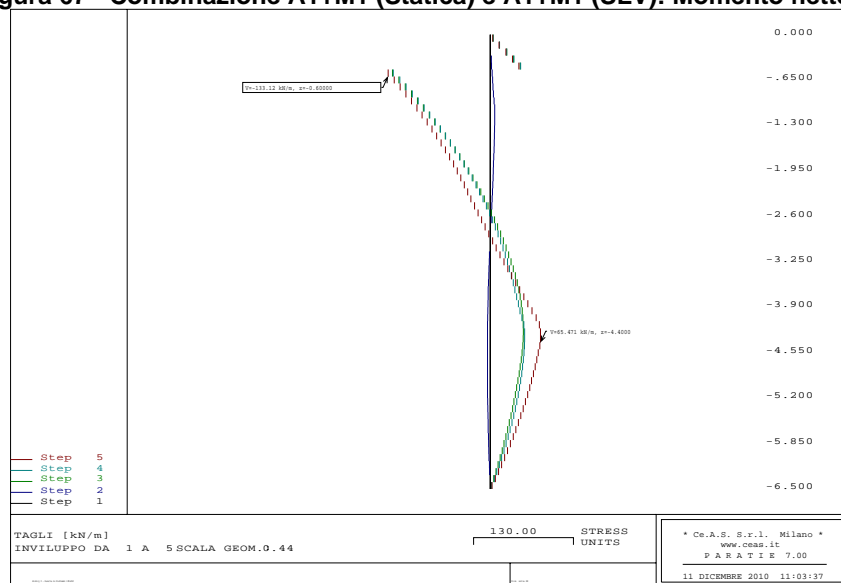


Figura 68 - Combinazione A1+M1 (Statica) e A1+M1 (SLV): Sollecitazioni di taglio

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0212_F0	Rev F0	Data 20-06-2011

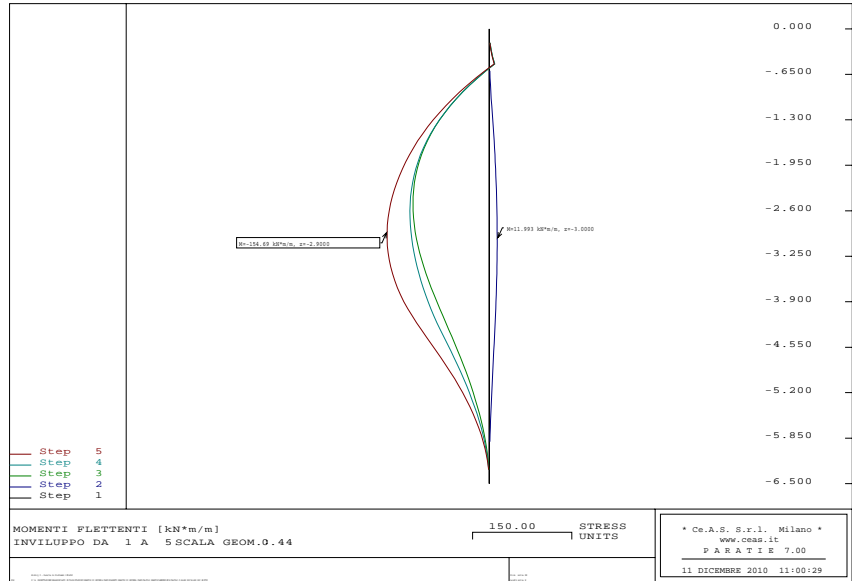


Figura 69 - Combinazione A2+M2 (Statica) e A2+M2 (SLV): Momento flettente

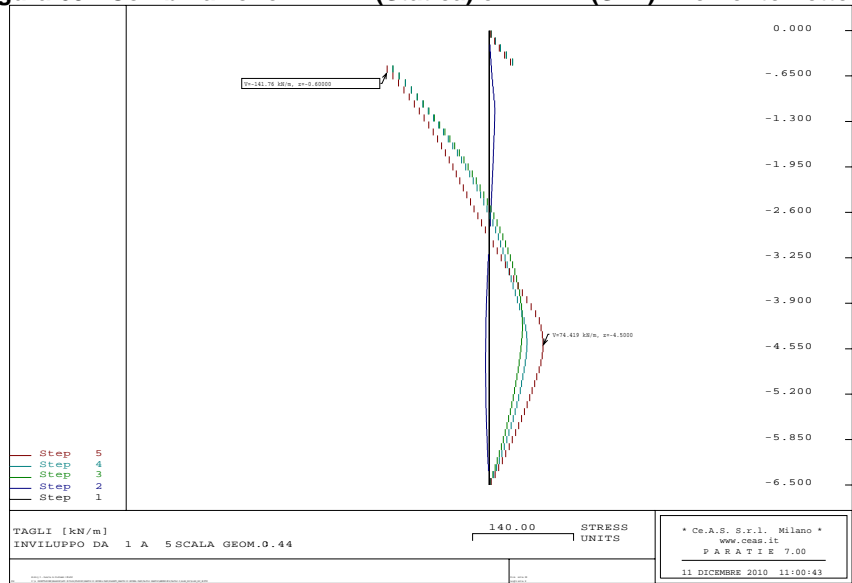


Figura 70 - Combinazione A2+M2 (Statica) e A2+M2 (SLV): Sollecitazioni di taglio

Di seguito si riassume in forma tabellare le sollecitazioni agenti:

Combinazione	M [kNm]	N [kN]
A1+M1_SLU	348	211
A1+M1_SLV	338	181

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

A2+M2_SLU	300	163
A2+M2_SLV	388	181

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

Di seguito si riporta il dominio di resistenza dei diaframmi.

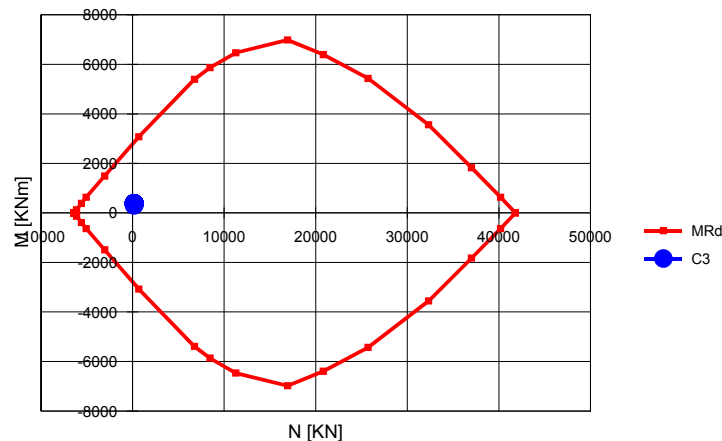


Figura 71 - Verifica a Pressoflessione – Dominio di resistenza – calcolo 1

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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		Codice documento ST0212_F0	Rev F0	Data 20-06-2011

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

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

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;

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	413	1+1 ϕ 14	15	1338	7369	1338
	A1+M1 sismica	333					
	A2+M2 statica	335					
	A2+M2 sismica	355					

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0

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

- 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	202,0	1,39	1860	1,30	0,80	656,5	827,3	1,26

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	206,3	1,39	1860	1,00	0,90	515,8	835,7	1,62

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:

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

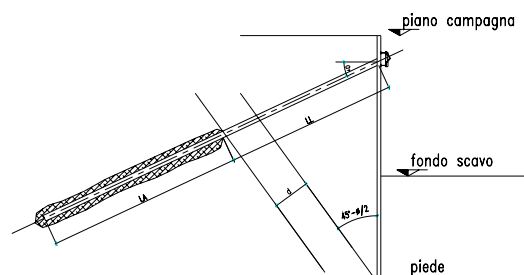


Tabella 41- Schema calcolo lunghezza libera del tirante

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

con h = altezza fuori scavo paratia
 t = infissione paratia
 h_i = profondità tirante

Si deve inoltre tenere presente che, a causa dell'evento sismico, la potenziale superficie di scorrimento risulta più inclinata sull'orizzontale rispetto a quella relativa al caso statico. Questo comporta un incremento della lunghezza libera:

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

ordine	L. libera [m]	L. libera + sisma [m]	L. libera [m]
1	3.5	6.7	10.0

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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0

- 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 $R_{ck} > 25 \text{ MPa}$.

La tensione di aderenza malta-terreno può essere considerata, alla luce dei dati disponibili, variabile tra $\tau_{LIM} = 122\text{-}220 \text{ KPa}$; 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:

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

Tabella 43: Diametro nominale di perforazione

VERIFICA STATICA S.L.U. (A1+M1+R3)												
Ordine	$l_{tiranti}$	$T_{paratie}$	$L_{ancoraggi}$	τ_{lim}	$\emptyset_{perforazione}$	$\alpha_{sublamento}$	$\emptyset^* \alpha$	γ_A	γ_R	E_d	R_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,50	202,0	13,0	122	15	1,3	19,5	1,30	1,20	656,5	809,7	1,23

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

VERIFICA SISMICA S.L.U. (A1+M1+R3)												
Ordine	$l_{tiranti}$	$T_{paratie}$	$L_{ancoraggi}$	τ_{lim}	$\emptyset_{perforazione}$	$\alpha_{sublamento}$	$\emptyset^* \alpha$	γ_A	γ_R	E_d	R_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,50	206,3	13,0	122	15	1,3	19,5	1,00	1,20	515,8	809,7	1,57

Tabella 45 - Sezione di calcolo 1 : verifica di ancoraggio dei tiranti in fase Sismica (SLV)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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.

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 :

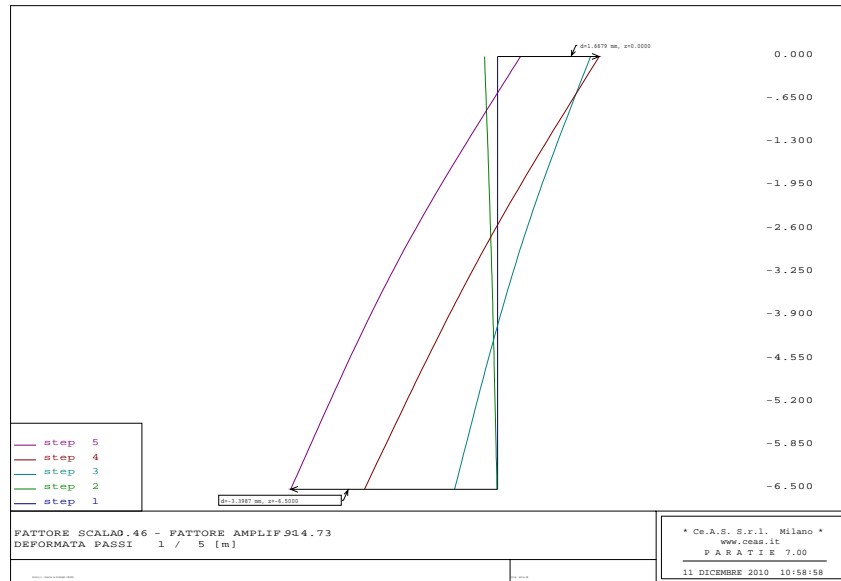


Figura 72 - Sezione di calcolo 1 : deformata paratia - combinazione A2+M2

Fase Statica (A2+M2)

FASE	GRUPPO -->	DHRi	UHRi
4			
	SPINTA EFFICACE VERA	142.30	317.20
	SPINTA ACQUA	0.	0.
	SPINTA TOTALE VERA	142.30	317.20
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	19.699	167.90
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	276.45	2356.1
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	1.9427	7.4278
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	51. %	13. %
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	7.2236	1.8893
5			
	SPINTA EFFICACE VERA	173.45	238.50
	SPINTA ACQUA	0.	0.
	SPINTA TOTALE VERA	173.45	238.50

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0

SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	21.833	186.08
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	276.45	2356.1
RAPPORTO PASSIVA/VERA	1.5938	9.8791
SPINTA PASSIVA MOBILITATA	63. %	10. %
RAPPORTO VERA/ATTIVA	7.9445	1.2817

9.1.7.2 Verifica degli ancoraggi allo sfilamento

In questo paragrafo viene presentata la classica verifica a sfilamento del bulbo di ancoraggio del tirante con riferimento alla combinazione GEO (A2+M2). Per i criteri di verifica adottati si rimanda ai capitoli precedenti.

VERIFICA STATICA S.L.U. (A2+M2+R3)												
Ordine	l_{tiranti}	T_{paratie}	$L_{\text{ancoraggi}}$	τ_{lim}	$\varnothing_{\text{perforazione}}$	$\alpha_{\text{sbilamento}}$	$\varnothing^* \alpha$	γ_A	γ_R	E_d	R_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,50	202,0	13,0	122	150	1,3	195,0	1,00	1,20	505,0	809,7	1,60

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

VERIFICA SISMICA S.L.U. (A2+M2+R3)												
Ordine	l_{tiranti}	T_{paratie}	$L_{\text{ancoraggi}}$	τ_{lim}	$\varnothing_{\text{perforazione}}$	$\alpha_{\text{sbilamento}}$	$\varnothing^* \alpha$	γ_A	γ_R	E_d	R_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,50	207,2	13,0	122	150	1,3	195,0	1,00	1,20	518,0	809,7	1,56

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

10 Valutazione dei cedimenti sulle Preesistenze

Nel presente capitolo, dopo una breve descrizione delle principali grandezze relative agli scavi e delle preesistenze interferenti con la stazione Annunziata, sono riportati i criteri adottati per il calcolo dei cedimenti indotti dallo scavo della stazione.

10.1 Caratteristiche degli scavi

La stazione Annunziata presenta un'estensione in pianta di 27.50 m x 55.50 m ed un'altezza massima di scavo di circa 38.60 m.

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 Annunziata ed i manufatti preesistenti è costituita dall'edificio individuato, nelle schede dei fabbricati fornite, dal numero 975.

L'edificio si trova sul lato nord della stazione ad una distanza di circa 16 m, come rappresentato in Figura 73.

Dalle schede dei fabbricati risulta che l'edificio 975, ad uso residenziale, è costituito da una struttura in cemento armato di 5 piani fuori terra, per un'altezza complessiva di 15 m e che le fondazioni, costituite da travi continue, si trovano ad una quota di 76.07 m s.l.m., cioè a circa 1 m da piano campagna.

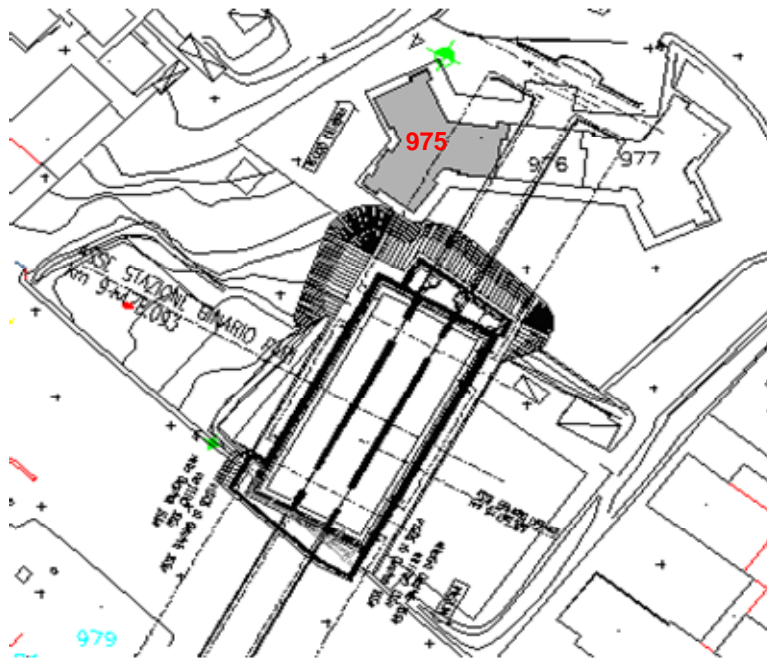


Figura 73: Ubicazione in pianta dell'edificio 975



Figura 74: Edificio 975

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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 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 inviluppo di forma trapezoidale che si estende fino ad una distanza pari a $2H$ e presenta un gradiente costante

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

(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.

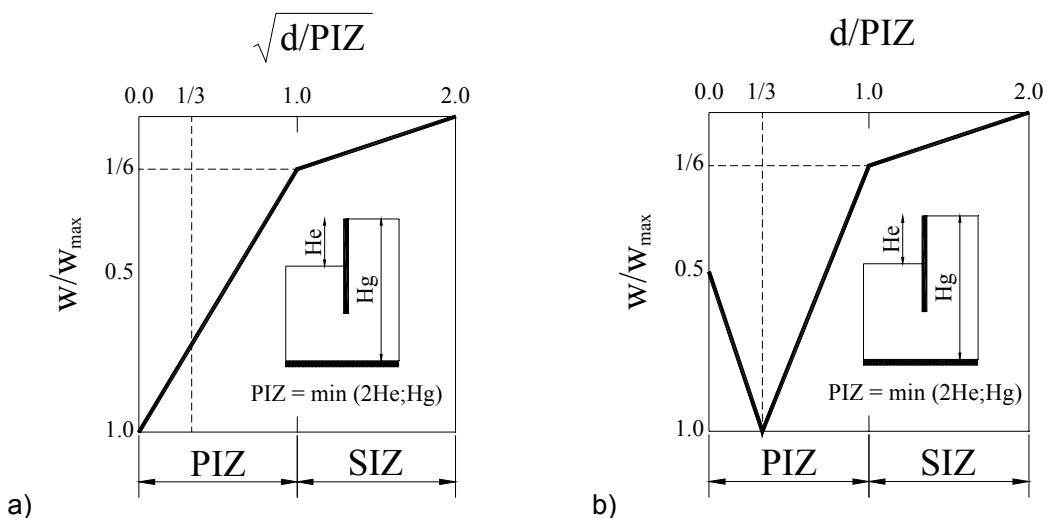


Figura 75: Profili di subsidenza normalizzati (Ou, 2006): a) per cinematismi superficiali; b) per cinematismi profondi.

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 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 76) 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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 78).

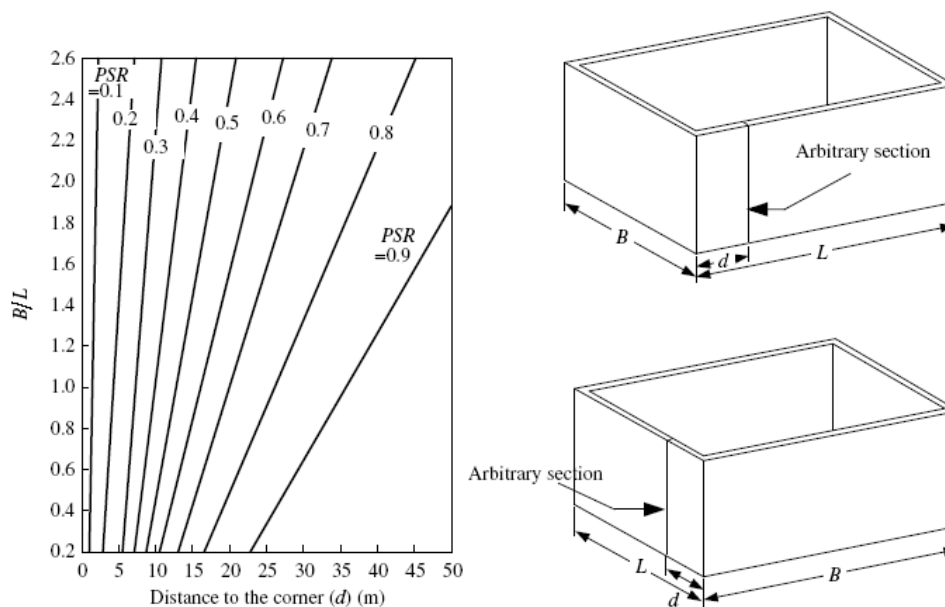


Figura 76. Fattori di riduzione degli spostamenti per gli effetti di bordo degli scavi (Ou et al., 1996)

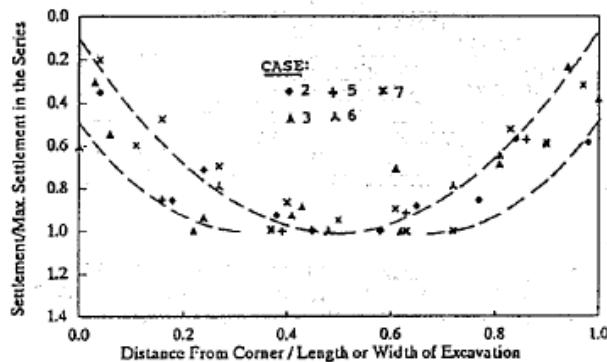


Figura 77: . Distribuzione dei cedimenti indotti dagli scavi in direzione parallela alle pareti (Wong e Patron, 1996)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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 76. 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 78, è stata considerata quella in corrispondenza dell’edificio preso in esame.

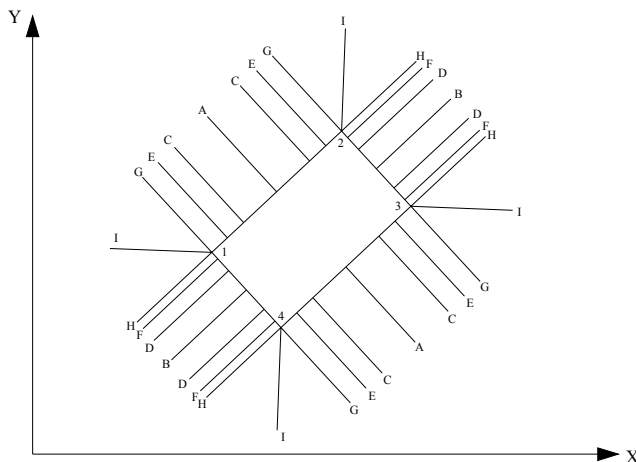


Figura 78 Sezioni trasversali considerate nella distribuzione degli spostamenti.

Le sezioni indicate in Figura 78 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

10.4 Risultati delle analisi dei cedimenti

I risultati delle analisi dei cedimenti sono presentati mediante schede nelle quali sono riportati:

- l'altezza dello scavo;
- lo spostamento orizzontale massimo dell'opera di sostegno;
- la profondità delle fondazioni;
- l'altezza dell'edificio;
- il cedimento massimo in corrispondenza dell'edificio;
- la posizione dell'edificio lungo una sezione trasversale della stazione;
- l'andamento del bacino di subsidenza valutato secondo i metodi descritti al paragrafo 10.3.

10.4.1 Edificio 975

Come anticipato, la realizzazione della stazione Annunziata interferisce con l'edificio individuato dal numero 975 nelle schede dei fabbricati fornite; tale edificio presenta un punto di distanza minima dalla stazione di circa 16 m.

Il bacino di subsidenza che interessa tale edificio è stato stimato con riferimento alla sezione tipo F (Figura 79), sulla base delle indicazioni fornite da Ou et al. (1996) (paragrafo 10.3): per tale sezione il fattore PSR, che tiene conto degli effetti di bordo degli scavi, è pari a 0.25.

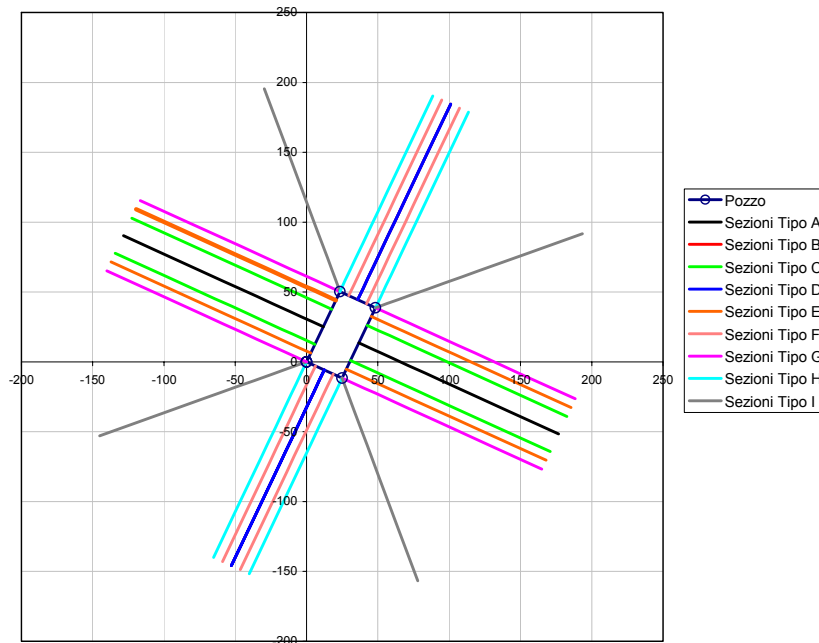
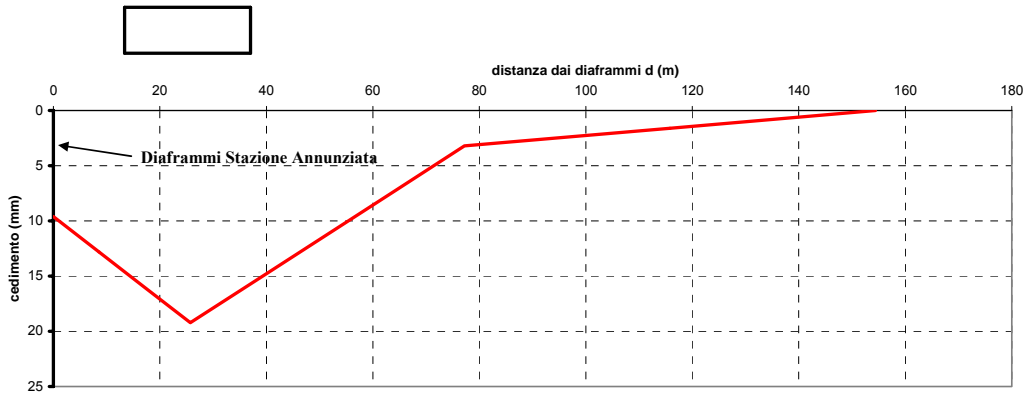


Figura 79: Sezioni trasversali tipo per il calcolo dei profili di cedimento della stazione Annunziata

Dunque, sulla base dello spostamento massimo della paratia (8.2cm), dell'altezza massima di scavo della stazione (H=38.6 m) e del fattore “Plain Strain Ratio” (PSR=0.25), è stato valutato il bacino di subsidenza indotto dallo scavo della stazione in corrispondenza del fabbricato di seguito riportato.

STRETTO DI MESSINA
Ponte sullo Stretto di Messina
Stazione Annunziata
Bacino di subsidenza - Edificio 975



CARATTERISTICHE DELLO SCAVO		CARATTERISTICHE DEL MANUFATTO		RISULTATI	
altezza (m)	38.6	profondità fondazioni (m)	1	cedimento massimo (cm)	1.9
massimo spostamento orizzontale (cm)	8.2	altezza (m)	16		

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI FERROVIARI SICILIA – STAZIONE “ANNUNZIATA” – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> ST0212_F0	<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+400 e 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 ST0140.

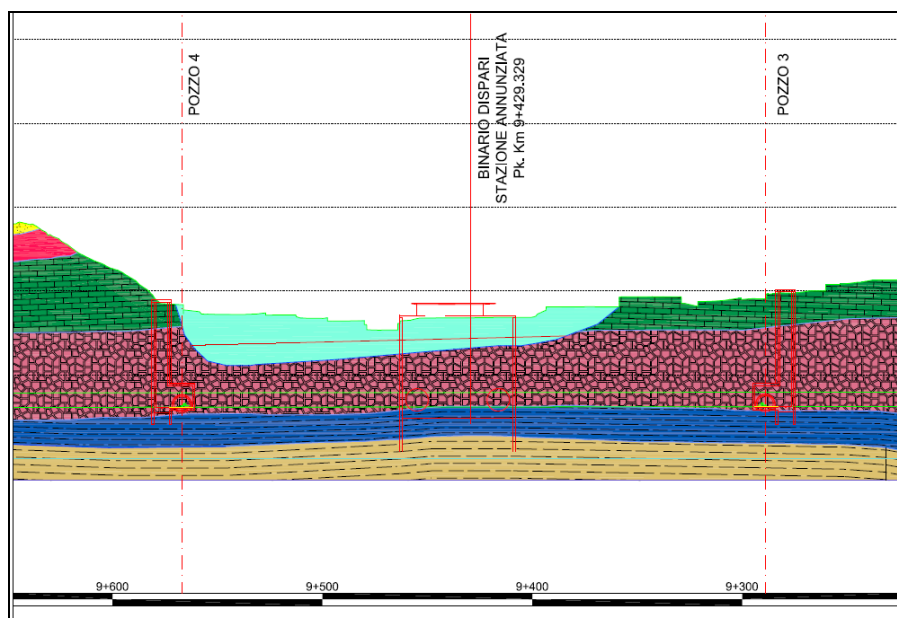


Figura 80 - Profilo stazione Annunziata con pozzi