



# PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



## PROGETTO DEFINITIVO

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

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

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

<p><i>Unità Funzionale</i></p> <p><i>Tipo di sistema</i></p> <p><i>Raggruppamento di opere/attività</i></p> <p><i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i></p> <p><i>Titolo del documento</i></p>	<p>COLLEGAMENTI CALABRIA</p> <p>INFRASTRUTTURE STRADALI – OPERE CIVILI</p> <p>ELEMENTI DI CARATTERE GENERALE</p> <p>GALLERIA ARTIFICIALE – IMBOCCO LATO CENTRO DIREZIONALE</p> <p>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</p>	<p>CS0248_F0</p>
---	---	------------------

CODICE	C	G	0	8	0	0	P	R	X	D	C	S	C	0	0	G	A	0	0	0	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



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## INDICE

INDICE .....	3
1 Introduzione .....	7
1.1 Localizzazione dell'opera.....	9
2 Riferimenti normativi e documentazione di riferimento .....	12
2.1 Criteri di verifica delle opere civili secondo D.M. 14 /01/ 2008 .....	12
2.1.1 Opere di sostegno (Paratie).....	13
2.1.2 Gallerie artificiali .....	16
2.2 Elaborati di riferimento.....	16
3 Software utilizzati .....	19
4 Fasi esecutive delle opere di imbocco.....	20
4.1 Premesse .....	20
4.2 Paratia di diaframmi in idrofresa .....	21
4.3 Esecuzione tiranti .....	22
4.4 Esecuzione dei consolidamenti previsti per il concio di attacco.....	23
4.5 Ritombamento e sistemazione definitiva del versante .....	25
5 Inquadramento Geologico – Geotecnico .....	27
5.1 Descrizione delle litologie prevalenti.....	27
5.1.1 Indagini previste .....	35
5.2 Caratterizzazione geotecnica.....	37
5.2.1 Conglomerato di Pezzo .....	38
5.2.2 Sabbie e Ghiaie di Messina .....	46
6 Caratteristiche dei materiali.....	54
7 Verifiche delle opere provvisorie di imbocco .....	55
7.1 Modello di calcolo .....	55
7.2 Analisi numeriche .....	56
7.3 Criteri di verifica.....	61
7.3.1 Stati limite ultimi.....	61
7.3.2 Stati limite di esercizio .....	63
7.3.3 Verifica dei trefoli .....	64
7.3.4 Stati limite di progetto .....	65
7.4 Definizione dei carichi agenti .....	65

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

7.4.1	Spinta del Terreno .....	65
7.4.2	Carico accidentale .....	66
7.4.3	Carico sismico .....	66
7.4.4	Carico idraulico.....	70
7.5	Verifiche strutturali dei diaframmi.....	70
7.5.1	Stato limite di esercizio .....	71
7.5.1.1	Verifiche a Pressoflessione.....	71
7.5.1.2	Analisi degli spostamenti.....	76
7.5.2	Stato limite ultimo .....	78
7.5.2.1	Verifiche a Pressoflessione.....	78
7.5.2.2	Verifiche a taglio .....	88
7.6	Verifiche strutturali dei tiranti .....	90
7.6.1	Verifica dei trefoli .....	90
7.6.2	Verifica dell'ancoraggio.....	92
7.6.3	Sezioni Costruttive delle Paratie .....	96
7.7	Verifiche strutturali delle travi di testa .....	97
7.8	Verifiche SLU di tipo geotecnico .....	102
7.8.1	Verifica collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera .....	103
7.8.2	Verifica degli ancoraggi allo sfilamento .....	106
7.8.3	Stabilità globale del complesso opera terreno.....	107
7.8.3.1	Analisi dei risultati .....	109
7.8.4	Verifiche idrauliche .....	114
8	Gallerie artificiali .....	115
8.1	Galleria artificiale ferroviaria policentrica .....	115
8.1.1	Premessa .....	115
8.1.2	Caratteristiche dei materiali .....	116
8.1.3	Parametri geotecnici di calcolo .....	117
8.1.4	Sezioni di calcolo : tipologia di carichi.....	117
8.1.5	Combinazione di Carico.....	120
8.1.6	Modello di calcolo .....	121
8.1.7	Criteri di verifica.....	123
8.1.8	Verifiche strutturali.....	123
8.1.8.1	Stati limite di esercizio.....	123

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

8.1.8.1.1	Verifica a Pressoflessione .....	123
8.1.8.1.2	Verifica a fessurazione .....	130
8.1.8.2	Stati limite ultimi .....	132
8.1.8.2.1	Verifica a Pressoflessione .....	132
8.1.8.2.2	Verifica a taglio .....	139
8.2	Galleria artificiale ferroviaria scatolare .....	144
8.2.1	Premessa .....	144
8.2.2	Caratteristiche dei materiali .....	145
8.2.3	Parametri geotecnici di calcolo .....	146
8.2.4	Sezioni di calcolo : tipologia di carichi .....	147
8.2.5	Combinazione di Carico .....	149
8.2.6	Modello di calcolo .....	150
8.2.7	Criteri di verifica .....	152
8.2.8	Verifiche strutturali .....	152
8.2.8.1	Stati limite di esercizio .....	152
8.2.8.1.1	Verifica a Pressoflessione .....	152
8.2.8.1.2	Verifica a fessurazione .....	158
8.2.8.2	Stati limite ultimi .....	160
8.2.8.2.1	Verifica a Pressoflessione .....	160
8.2.8.2.2	Verifica a taglio .....	166
8.2.8.2.3	Verifica della mensola della parete laterale .....	170
8.2.9	Verifiche strutturali del solaio di copertura .....	172
8.2.9.1	Premessa .....	172
8.2.9.2	Materiali impiegati per il solaio di copertura .....	173
8.2.9.3	Verifiche SLE e SLD .....	174
8.2.9.3.1	Verifiche a pressoflessione .....	174
8.2.9.4	Verifiche SLU .....	175
8.2.9.4.1	Verifiche a pressoflessione .....	175
8.2.9.4.2	Verifiche a taglio .....	177
8.3	Gallerie artificiali stradali – Rami A e C .....	177
8.3.1	Premessa .....	177
8.3.2	Caratteristiche dei materiali .....	179
8.3.3	Parametri geotecnici di calcolo .....	179

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO	<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

8.3.4	Sezioni di calcolo : tipologia di carichi .....	180
8.3.5	Combinazione di Carico.....	182
8.3.6	Modello di calcolo .....	183
8.3.7	Criteri di verifica.....	185
8.3.8	Verifiche strutturali.....	185
8.3.8.1	Stati limite di esercizio.....	185
8.3.8.2	Verifica a Pressoflessione.....	186
8.3.8.3	Verifica a fessurazione.....	192
8.3.8.4	Stati limite ultimi.....	194
8.3.8.5	Verifica a Pressoflessione.....	194
8.3.8.6	Verifica a taglio .....	201
8.4	Gallerie artificiali stradali – Rami B e D.....	205
8.4.1	Premessa .....	205
8.4.2	Caratteristiche dei materiali .....	207
8.4.3	Parametri geotecnici di calcolo .....	207
8.4.4	Sezioni di calcolo : tipologia di carichi.....	208
8.4.5	Combinazione di Carico.....	211
8.4.6	Modello di calcolo .....	211
8.4.7	Criteri di verifica.....	213
8.4.8	Verifiche strutturali.....	214
8.4.8.1	Stati limite di esercizio.....	214
8.4.8.2	Verifica a Pressoflessione.....	214
8.4.8.3	Verifica a fessurazione.....	222
8.4.8.4	Stati limite ultimi.....	223
8.4.8.5	Verifica a Pressoflessione.....	223
8.4.8.6	Verifica a taglio .....	232
8.5	Verifiche al fuoco.....	236
8.5.1	Premessa .....	236
8.5.2	Metodi di verifica.....	237
8.5.3	Verifica della capacità portante.....	238
9	Monitoraggio delle opere di imbocco.....	240
10	Conclusioni.....	243
11	Allegati .....	244

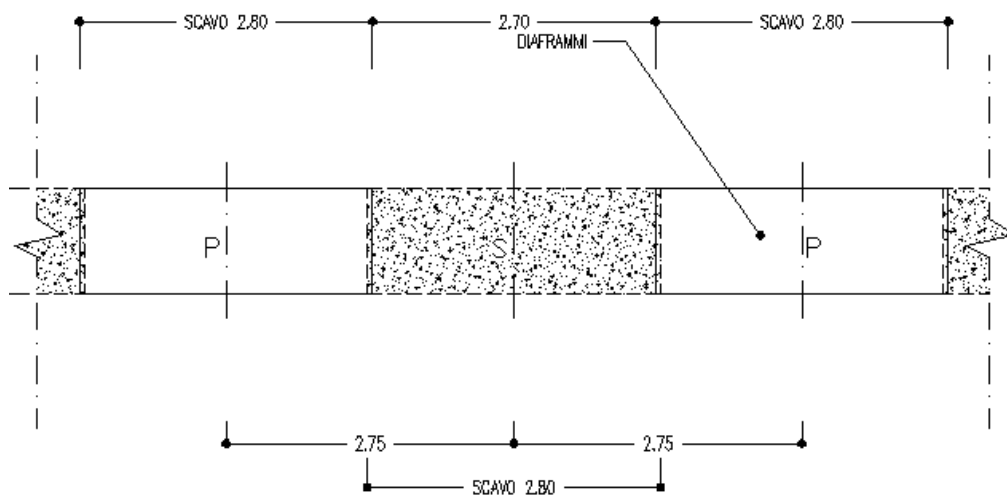
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 1 Introduzione

Nella presente relazione, tecnica e di calcolo, si analizzano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione delle opere di imbocco e delle gallerie artificiali, del versante Calabria “lato Centro direzionale”, facenti parte dei lavori di costruzione dei collegamenti stradali e ferroviari tra il Ponte sullo Stretto e la città di Reggio Calabria.

Quale opera di contenimento degli scavi è stata prevista la realizzazione di tre paratie in diaframmi in calcestruzzo armato, dello spessore di 1,20 m, disposti a passo 275 mm.

Tali opere saranno realizzate con l'idrofresa allo scopo di realizzare un insieme di paratie continue a tenuta idraulica attraverso l'esecuzione di diaframmi primari e secondari interconnessi. L'adozione di questo intervento si è resa necessaria dovendo operare parte degli scavi per la realizzazione dell'opera sotto falda.



LEGENDA	
P	PANNELLO PRIMARIO DA 2.70M X 1.00M CON GABBIA DA 2.50M (CM 10+10 DI COPRIFERRO LATERALE)
S	PANNELLO SECONDARIO DA 2.80M X 1.00M CON GABBIA DA 2.60M (CM 10+10 DI COPRIFERRO LATERALE)

*Figura 1: Paratie in diaframmi*

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

Calcolo	$H_{TOT}$	$H_{Scavo}$	$H_{Infissione}$	Ordini di tiranti
	[m]	[m]	[m]	[-]
Calcolo 1	34.5	24.5	10.0	6
Calcolo 2	24.0	18.2	5.8	4
Calcolo 3	19.0	14.0	5.0	4

Tabella 1: Diaframmi – tipologie e caratteristiche

I diaframmi sono da ritenersi provvisori e sono quindi progettati per sostenere nel breve termine, le spinte del terreno.

La sistemazione definitiva dell'imbocco prevede, invece, la realizzazione di gallerie artificiali in c.a. policentriche e scatolari, successivamente ritombate con materiale di risulta degli scavi opportunamente qualificato.

Nei paragrafi che seguono vengono dapprima richiamate le principali caratteristiche (fase conoscitiva) relative al modello geologico – geotecnico dei luoghi rilevate nel corso dei sopralluoghi effettuati in sito e desunte dalle prove disponibili. A seguire, invece, vengono descritte in dettaglio le fasi esecutive previste per la realizzazione delle opere di imbocco provvisori e definitive, fornendo, altresì, le caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati per la realizzazione delle stesse (fase di diagnosi).

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



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 1.1 Localizzazione dell'opera

L'opera di imbocco è ubicata in prossimità della località Pace. La posizione geografica è rintracciabile planimetricamente dalla seguenti coordinate rappresentative della zona di imbocco E=202618 N=532916 (relative al Sistema Ponte). Di seguito viene riportata un immagine nella quale è stata messa in evidenza la zona che sarà interessata dall'intervento.

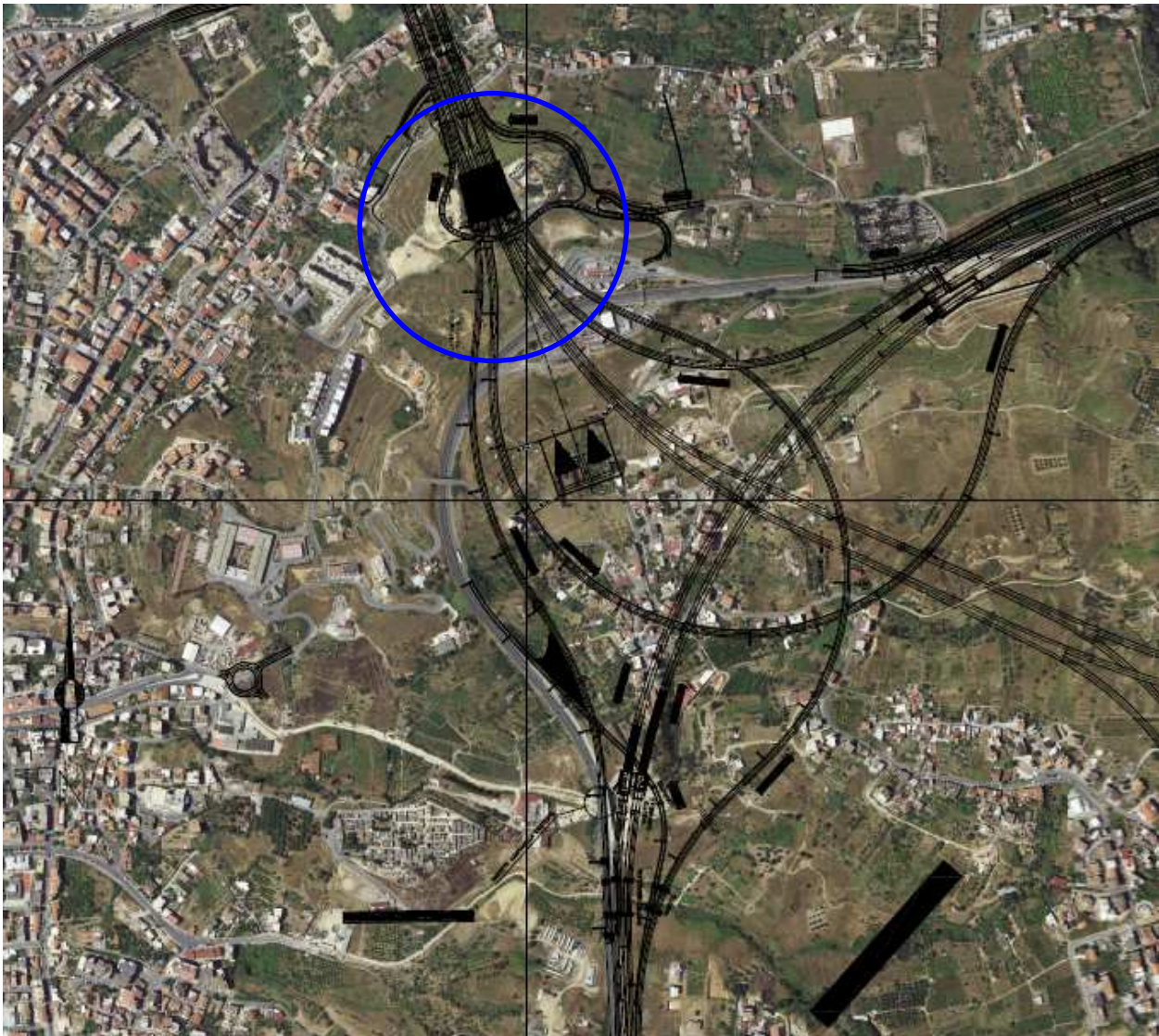


Figura 1 - Localizzazione geografica dell'area di imbocco

L' opera di imbocco è ubicata in corrispondenza dell'attacco delle gallerie naturali, rispettivamente poste alle progressive: PK 0+592, per il ramo A, PK 0+304, per il ramo B, PK 0+577, per il ramo C, PK 0+285, per il ramo D, e per quanto riguarda i rami ferroviari: PK 0+582, per il binario dispari, e PK 0+580, per il binario pari.

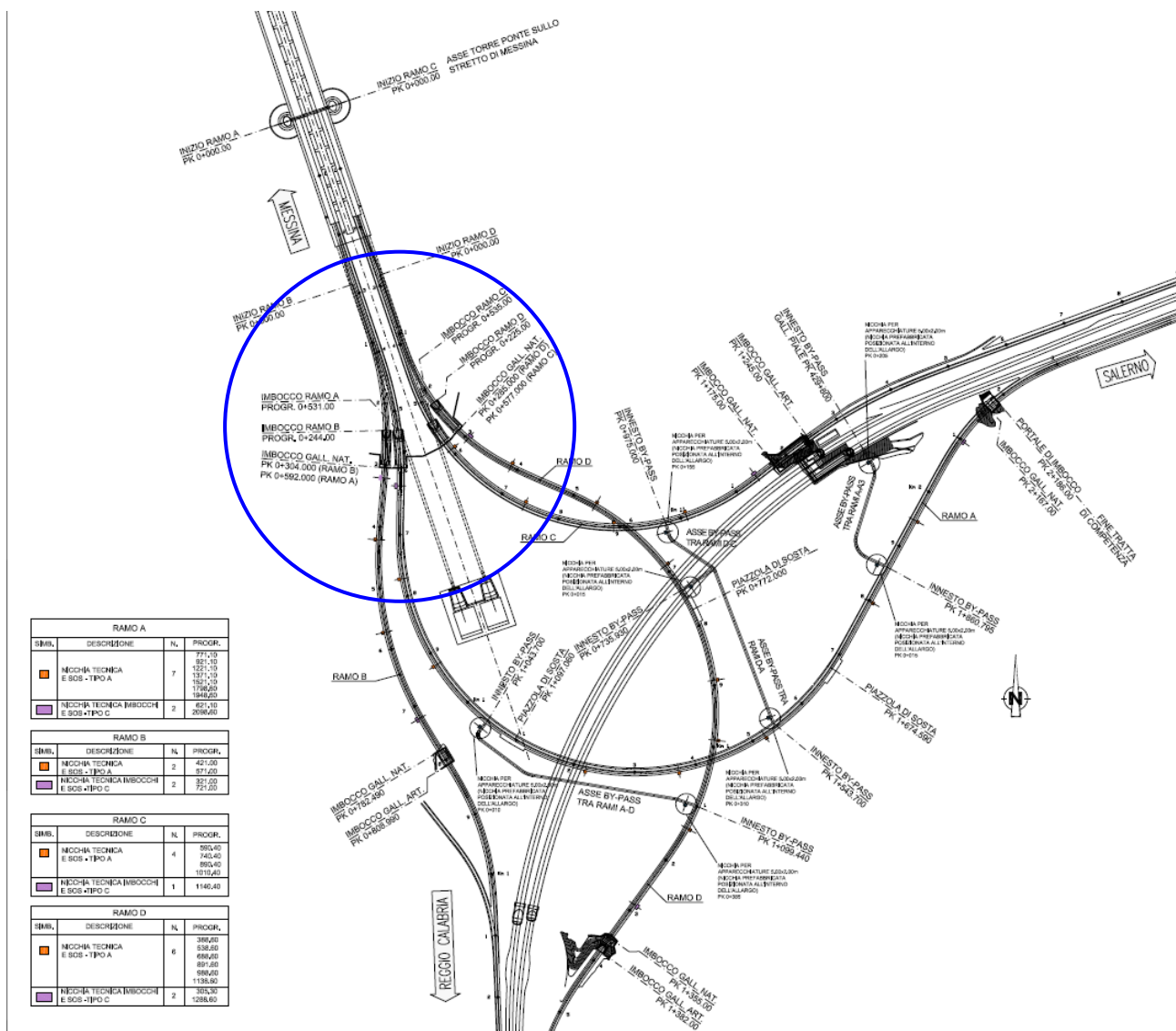


Figura 2 – Planimetria generale





Figura 3- Indicazione progressive di imbocco Lato Calabria

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_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.*”;

### 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 di sostegno (paratie in diaframmi) e delle gallerie artificiali policentriche previste nel presente progetto.

In generale la NTC 2008 richiede 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 ( crf paragrafo 7.1 DM 2008)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 2.1.1 Opere di sostegno (Paratie)

Il progetto delle paratie è stato svolto in ottemperanza alla normativa vigente, con riferimento a quanto indicato al paragrafo 6.5.3.1.2. Per il progetto della paratie la NTC 2008 richiede di considerare stati limite ultimi (SLU) di tipo Geotecnico e Strutturale.

Gli SLU di tipo geotecnico (GEO) presi in considerazione nelle verifiche 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.

La verifica al primo punto 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.

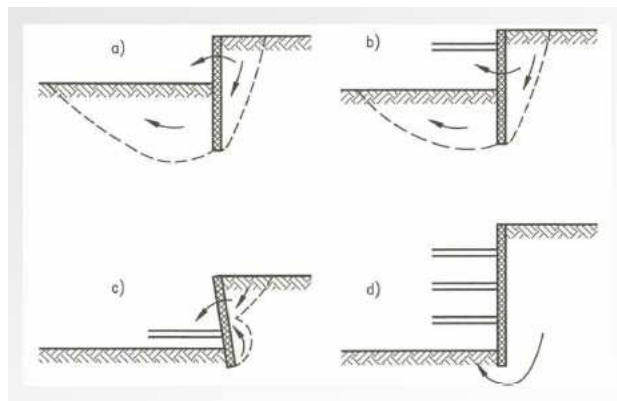


Figura 4– Meccanismi di collasso di una paratia ( atto di moto rigido)

Il secondo punto riguarda la classica verifica a sfilamento del bulbo di ancoraggio del tirante, infine il terzo punto riguarda la verifica di stabilità globale terreno-opera ricercando (mediante apposito codice di calcolo) le possibili superfici di scorrimento critiche passanti per il piede della paratia.

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.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

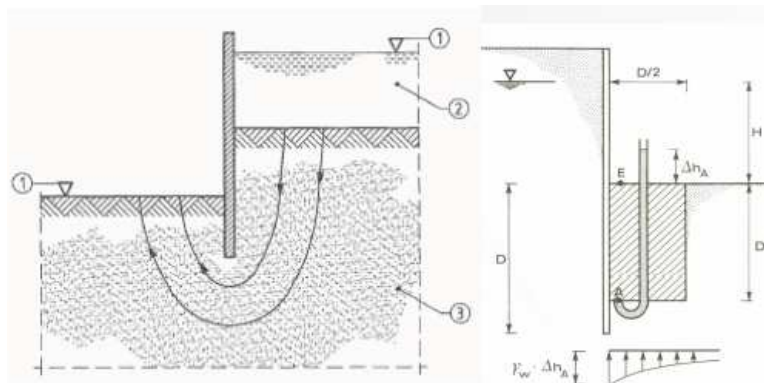


Figura 5- Esempio di verifica a sifonamento del fondo scavo

Gli SLU di tipo strutturale (STR) presi in considerazione riguardano :

1. raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi;
2. 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.

In particolare la verifica della stabilità globale dell'insieme terreno opera è stata svolta secondo l'approccio 1 e combinazione 2 ( A2+M2+R3).

Invece le rimanenti verifiche (sfilamento ancoraggi, verifica strutturale paratia) sono state svolte considerando l'approccio 1 che prevede due tipologie di combinazioni:

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

Per quanto concerne invece la verifica strutturale dei tiranti, nonché delle travi di contrasto (vedi NTC al paragrafo 6.6 e circolare 02/02/2009 n° 617 paragrafo C7.11.6.3) è stata svolta con riferimento all'approccio 1 Combinazione 1.

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Variabile favorevole	0,00	0,00
----------------------	------	------

Tabella 2- Coefficienti Parziale per le azioni o per l'effetto delle azioni

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

Tabella 3 – Coefficienti Parziali per i parametri geotecnici del terreno

R1	R2	R3
1.0	1.0	1.1

Tabella 4 - Coefficienti Parziali per le resistenze

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: poiché le opere in questione in generale rivestono carattere di provvisorialità (si prevede il completo ritombamento in fase definitiva) è stata omessa la verifica a fessurazione. 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 verticale sono state ricavate in funzione della proprietà del moto sismico atteso nel volume di terreno significativo per l'opera e della 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 in questione è stato assunto  $V_R=35$  anni. Per maggiori dettagli si rimanda agli specifici capitoli

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 2.1.2 Gallerie artificiali

Il progetto delle gallerie artificiali è stato svolto in ottemperanza alla normativa vigente, con riferimento a quanto indicato al capitolo 2 (“Sicurezza delle prestazioni attese”).

Le verifiche strutturali agli stati limite ultimi (SLU) sono state svolte con riferimento all’approccio 2, che prevede l’impiego di un’unica combinazione dei gruppi dei coefficienti parziali sia per le azioni, per i materiali e per le resistenze (A1+M1+R3): le verifiche hanno riguardato in particolare il raggiungimento della massima capacità di resistenza della struttura.

Infine le verifiche strutturali agli stati limite di esercizio (SLE) hanno riguardato principalmente la limitazione di danneggiamenti locali che possono ridurre la durabilità e l’efficienza statica della struttura (verifica a fessurazione).

Per quanto riguarda le verifiche sismiche della struttura (SLE e SLU) è stato utilizzato il metodo pseudo-statico: l’azione sismica è stata definita mediante un’ accelerazione equivalente costante nel tempo e nello spazio. 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 in questione è stato assunto  $V_R=100$  anni. Per maggiori dettagli si rimanda agli specifici capitoli.

## 2.2 Elaborati di riferimento

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

8 STUDI DI BASE													
8 Caratterizzazione geotecnica													
8 Generale													
8	Indagini geognostiche - Risultati prove di laboratorio	CG0000	P	RG	D	C	SB	C8	G0	00	00	00	03
8	Restituzione campagna indagini geognostiche	CG1500	P	SD	D	C	SB	C8	G0	00	00	00	01
8	Restituzione campagna indagini geofisiche	CG1500	P	SD	D	C	SB	C8	G0	00	00	00	02
8	caratterizzazione geotecnica - relazione geotecnica generale	CG0800	P	RB	D	C	SB	C8	G0	00	00	00	01
8	Relazione sismica generale	CG0800	P	RG	D	C	SB	C8	G0	00	00	00	01



RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA  
DELLE OPERE DI IMBOCCO

Codice documento  
CS0248\_F0

Rev  
F0

Data  
20/06/2011

Caratterizzazione geotecnica												
Generale												
Tracciato stradale - Ramo A												
Profilo geotecnico	CG0800	P	FZ	D	C	SB	C8	ST	00	00	00	01
Profilo geologico-geotecnico - Tav. 1/2	CG0800	P	F6	D	C	SB	C6	ST	00	00	00	01
Profilo geologico-geotecnico - Tav. 2/2	CG0800	P	F6	D	C	SB	C6	ST	00	00	00	25
Profilo idrogeologico stradale ramo A	CG0800	P	F6	D	C	SB	C6	ST	00	00	00	02
Tracciato stradale - Ramo B												
Profilo geotecnico	CG0800	P	FZ	D	C	SB	C8	ST	00	00	00	02
Profilo geologico-geotecnico	CG0800	P	F6	D	C	SB	C6	ST	00	00	00	03
Profilo idrogeologico	CG0800	P	F6	D	C	SB	C6	ST	00	00	00	04
Tracciato stradale - Ramo C												
Profilo geotecnico - Tav. 1/2	CG0800	P	FZ	D	C	SB	C8	ST	00	00	00	03
Profilo geotecnico - Tav. 2/2	CG0800	P	FZ	D	C	SB	C8	ST	00	00	00	13
Profilo geologico-geotecnico - Tav. 1/2	CG0800	P	F6	D	C	SB	C6	ST	00	00	00	05
Profilo geologico-geotecnico - Tav. 2/2	CG0800	P	F6	D	C	SB	C6	ST	00	00	00	26
Profilo idrogeologico	CG0800	P	F6	D	C	SB	C6	ST	00	00	00	06
Tracciato stradale - Ramo D												
Profilo geotecnico	CG0800	P	FZ	D	C	SB	C8	ST	00	00	00	04
Profilo geologico-geotecnico	CG0800	P	F6	D	C	SB	C6	ST	00	00	00	07
Profilo idrogeologico	CG0800	P	F6	D	C	SB	C6	ST	00	00	00	08
Tracciato ferroviario - Ramo 1												
Profilo geologico-geotecnico - Tav. 1/2	CG0800	P	F6	D	C	SB	C6	TF	00	00	00	01
Profilo geologico-geotecnico - Tav. 2/2	CG0800	P	F6	D	C	SB	C6	TF	00	00	00	09
Profilo idrogeologico	CG0800	P	F6	D	C	SB	C6	TF	00	00	00	02
Tracciato ferroviario - Ramo 2												
Profilo geologico-geotecnico - Tav. 1/2	CG0800	P	F6	D	C	SB	C6	TF	00	00	00	03
Profilo geologico-geotecnico - Tav. 2/2	CG0800	P	F6	D	C	SB	C6	TF	00	00	00	10
Profilo idrogeologico	CG0800	P	F6	D	C	SB	C6	TF	00	00	00	04
INFRASTRUTTURE STRADALI OPERE CIVILI												
Elementi di carattere generale												
Galleria Artificiale - Imbocco lato Centro Direzionale												
Rami A, B, C, D e Ferrovia - Planimetria generale	CG0800	P	P7	D	C	SC	00	GA	00	00	00	01
Rami A, B, C, D e Ferrovia - Planimetria in fase costruttiva	CG0800	P	P8	D	C	SC	00	GA	00	00	00	01
Rami A, B - Profili in fase costruttiva	CG0800	P	F9	D	C	SC	00	GA	00	00	00	01
Rami C, D - Profili in fase costruttiva	CG0800	P	F9	D	C	SC	00	GA	00	00	00	02
Galleria Ferroviaria binario pari - Profili in fase costruttiva	CG0800	P	F9	D	C	SC	00	GA	00	00	00	03
Galleria Ferroviaria binario dispari - Profili in fase costruttiva	CG0800	P	F9	D	C	SC	00	GA	00	00	00	04
Sezioni in fase costruttiva (TAV 1/3)	CG0800	P	W9	D	C	SC	00	GA	00	00	00	01
Sezioni in fase costruttiva (TAV 2/3)	CG0800	P	W9	D	C	SC	00	GA	00	00	00	02
Sezioni in fase costruttiva (TAV 3/3)	CG0800	P	W9	D	C	SC	00	GA	00	00	00	03
Rami A, B, C, D e Ferrovia - Sviluppata Paratia e particolari costruttivi (TAV 1/2)	CG0800	P	SZ	D	C	SC	00	GA	00	00	00	01
Rami A, B, C, D e Ferrovia - Sviluppata Paratia e particolari costruttivi (TAV 2/2)	CG0800	P	SZ	D	C	SC	00	GA	00	00	00	02
Rami A, C - Galleria Artificiale - Carpenteria	CG0800	P	BB	D	C	SC	00	GA	00	00	00	01
Rami B, D - Galleria Artificiale - Carpenteria	CG0800	P	BB	D	C	SC	00	GA	00	00	00	02
Galleria Ferroviaria - Camerone in Artificiale - Carpenteria	CG0800	P	BA	D	C	SC	00	GA	00	00	00	01
Rami A, C - Portale d'imbocco - Carpenteria	CG0800	P	BB	D	C	SC	00	GA	00	00	00	03
Rami B, D - Portale d'imbocco - Carpenteria	CG0800	P	BB	D	C	SC	00	GA	00	00	00	04
Galleria Ferroviaria - Camerone in Artificiale - Carpenteria portale d'imbocco	CG0800	P	BB	D	C	SC	00	GA	00	00	00	05
Rami A, B, C, D e Ferrovia - Planimetria in fase definitiva	CG0800	P	P8	D	C	SC	00	GA	00	00	00	02
Rami A, B - Profili in fase definitiva	CG0800	P	F9	D	C	SC	00	GA	00	00	00	05
Rami C, D - Profili in fase definitiva	CG0800	P	F9	D	C	SC	00	GA	00	00	00	06

RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA  
DELLE OPERE DI IMBOCCO

Codice documento  
CS0248\_F0

Rev	Data
F0	20/06/2011

Galleria Ferroviaria binario pari - Profili in fase definitiva	CG0800	P	F9	D	C	SC	00	GA	00	00	00	07
Galleria Ferroviaria binario dispari - Profili in fase definitiva	CG0800	P	F9	D	C	SC	00	GA	00	00	00	08
Sezioni in fase definitiva (TAV 1/3)	CG0800	P	W9	D	C	SC	00	GA	00	00	00	04
Sezioni in fase definitiva (TAV 2/3)	CG0800	P	W9	D	C	SC	00	GA	00	00	00	05
Sezioni in fase definitiva (TAV 3/3)	CG0800	P	W9	D	C	SC	00	GA	00	00	00	06
Rami A, C - Dima e Concio d'attacco B2V- Carpenteria	CG0800	P	BB	D	C	SC	00	GA	00	00	00	06
Rami A, C - Dima e Concio d'attacco B2V- Scavi e Consolidamenti	CG0800	P	BB	D	C	SC	00	GA	00	00	00	07
Rami A, C - Dima e Concio d'attacco C1 - Carpenteria	CG0800	P	BB	D	C	SC	00	GA	00	00	00	08
Rami A, C - Dima e Concio d'attacco C1 - Scavi e Consolidamenti	CG0800	P	BB	D	C	SC	00	GA	00	00	00	09
Rami B, D - Dima e Concio d'attacco B2V- Carpenteria	CG0800	P	BB	D	C	SC	00	GA	00	00	00	10
Rami B, D - Dima e Concio d'attacco B2V- Scavi e Consolidamenti	CG0800	P	BB	D	C	SC	00	GA	00	00	00	11
Rami B, D - Dima e Concio d'attacco C1 - Carpenteria	CG0800	P	BB	D	C	SC	00	GA	00	00	00	12
Rami B, D - Dima e Concio d'attacco C1 - Scavi e Consolidamenti	CG0800	P	BB	D	C	SC	00	GA	00	00	00	13
Galleria Ferroviaria - Dima e Concio d'attacco - Carpenteria	CG0800	P	BB	D	C	SC	00	GA	00	00	00	14
Galleria Ferroviaria - Dima e Concio d'attacco - Scavi e Consolidamenti	CG0800	P	BB	D	C	SC	00	GA	00	00	00	15
<i>Rami A, B, C, D e Ferrovia - Relazione tecnica delle opere di imbocco</i>	CG0800	P	RX	D	C	SC	00	GA	00	00	00	01
<b>PARTE GENERALE FERROVIARIA - OPERE CIVILI</b>												
<b>Tracciamento planoaltimetrico, sezioni e geometria corpo ferroviario</b>												
<b>Tracciato Ferroviario</b>												
Ramo 1 - Profilo geotecnico e geomeccanico	CG0800	P	F6	D	C	GF	T5	TF	00	00	00	01
Ramo 2 - Profilo geotecnico e geomeccanico	CG0800	P	F6	D	C	GF	T5	TF	00	00	00	02
Ramo 5 - Profilo geotecnico e geomeccanico	CG0800	P	F6	D	C	GF	T5	TF	00	00	00	03
Ramo 6 - Profilo geotecnico e geomeccanico	CG0800	P	F6	D	C	GF	T5	TF	00	00	00	04
<b>INFRASTRUTTURA FERROVIARIA OPERE CIVILI</b>												
<b>Elementi di carattere generale</b>												
Galleria Naturale - Relazione tecnica generale	CG0800	P	RG	D	C	FC	00	GN	00	00	00	01

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 3 Software utilizzati

Nella presente relazione di calcolo si fa uso di due codici di calcolo specifici

- PARATIE per Windows, Versione 7.0. Programma per il progetto e la verifica di paratie, CEAS;
- SLOPE / W, Versione 10. Programma per l'analisi di stabilità di pendii, prodotto dalla GEOTRU (Reggio Calabria);
- SAP 2000, prodotto dalla COMPUTERS AND STRUCTURES Inc. Berkeley, CA, USA.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 4 Fasi esecutive delle opere di imbocco

### 4.1 Premesse

La realizzazione dell'imbocco in questione prevede l'esecuzione dei seguenti interventi:

1. Sbancamenti per esecuzione paratia:
  - o scavo di ribasso da piano campagna sino alla quota di realizzazione paratia;
2. Esecuzione opere di sostegno provvisorie:
  - o realizzazione paratia in diaframmi in c.a. scavati con idrofresa come da progetto;
  - o preparazione canalette per smaltimento acque a tergo paratia;
3. Sbancamenti per ribasso a quote gallerie artificiali:
  - o ribasso progressivo ed esecuzioni tiranti della paratia secondo lo schema indicato negli specifici elaborati di progetto fino alla quota d'imposta delle gallerie stradali (Rami "A", "B", "C" e "D");
  - o esecuzione fosso di guardia e cabalette provvisorie di smaltimento acque;
  - o ulteriore ribasso ed esecuzione dei tiranti rimanenti fino alla quota d'imposta della galleria ferroviaria;
4. Esecuzione galleria artificiale ferroviaria:
  - o getto in c.a. della galleria ferroviaria policentrica;
  - o getto in c.a. solettoni di fondo della galleria scatolare;
  - o getto in c.a. controparti della galleria scatolare;
  - o realizzazione copertura galleria scatolare;
  - o getto in c.a. veletta di portale galleria scatolare e muri;
  - o ritombamento galleria ferroviaria;
5. Esecuzione gallerie artificiali stradali:
  - o esecuzione canalette definitive smaltimento acque e relativi pozzetti di raccolta;
  - o getto gallerie artificialie portali delle stesse;
  - o ritombamento;
6. Realizzazione opere di viabilità di progetto;
7. Sistemazione finale versanti.

Ultimata la paratia in ogni caso, prima di iniziare gli scavi in naturale, dovrà essere getta la dima di

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

attacco, che ha funzione di definire le geometrie di scavo e di costituire un ulteriore elemento di stabilità della paratia nella delicata fase di attacco della galleria naturale. I consolidamenti dei conci d'attacco devono essere realizzati prima del getto delle gallerie artificiali. Di seguito si riporta una breve descrizione delle fasi realizzative dei principali interventi.

## 4.2 Paratia di diaframmi in idrofresa

Quale opera di contenimento degli scavi è stata prevista la realizzazione di una paratia in diaframmi, realizzati con l'idrofresa. Lo spessore dei singoli pannelli è di 1,20 m e l'interasse tra di essi è di 2,75 m.

Per la realizzazione della paratia si prevedono le seguenti fasi operative:

1. Realizzazione dei muretti guida e tracciamento secondo le geometrie di progetto;
2. Scavo con idrofresa dei diaframmi primari;
3. Getto e posa in opera dell'armatura dei diaframmi primari con opportuni distanziatori per permettere l'esecuzione dei diaframmi secondari;
4. Scavo con idrofresa dei diaframmi secondari;
5. Getto e posa in opera dell'armatura dei diaframmi secondari;
6. Scavo fino a 0.50 m sotto la quota del primo ordine di tiranti, ove previsto;
7. Realizzazione del 1° ordine di tiranti, ove previsti;
8. Realizzazione degli ordini di tiranti successivi con modalità analoghe alla realizzazione del primo ordine e ripetizione delle fasi 6,7,8 fino al raggiungimento della quota di fondo scavo.

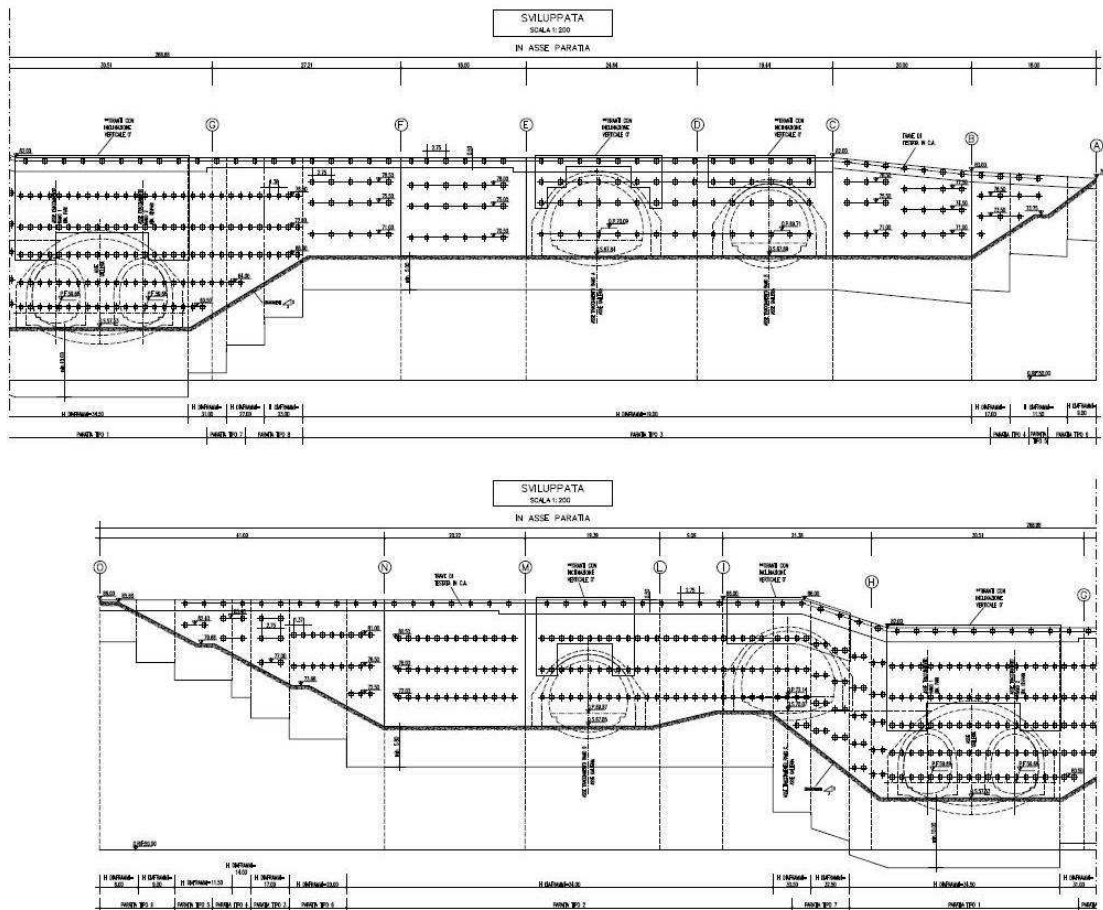


Figura 6- Imbocco - Sviluppata Paratia

### 4.3 Esecuzione tiranti

L'esecuzione dei tiranti provvisori dovrà avvenire secondo le fasi di seguito descritte:

1. Perforazione secondo la geometria di progetto;
2. posa in opera del tirante, dotato di distanziatori e canne per la successiva iniezione del bulbo di ancoraggio;
3. esecuzione della cementazione di prima fase (guaina);
4. iniezione per la formazione del bulbo di ancoraggio secondo la lunghezza prevista in progetto;
5. iniezione secondaria nella parte libera del tirante, tra guaina liscia e parete del foro;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6. tesatura del tirante: prima di procedere al fissaggio della testa sarà necessario attendere la completa maturazione della miscela iniettata per il bulbo di ancoraggio, per un tempo dell'ordine di almeno 72 ore.

L'iniezione dovrà essere eseguita ad alta pressione e ripetuta con l'utilizzo di miscela cementizia C20/25. Eventualmente, in fase di scavo dell'imbocco ed a valle dell'esito delle prove di accettazione, i tiranti potranno essere dotati di sacco otturatore e valvole a manchettes quando la loro inclinazione è diretta verso il basso e quando il bulbo di ancoraggio interessa una formazione di natura prevalentemente litoide.

#### **4.4 Esecuzione dei consolidamenti previsti per il concio di attacco**

Completati gli scavi, si procederà all'esecuzione dei trattamenti necessari per l'attacco delle gallerie naturali, sulla base degli interventi previsti nella sezione di attacco secondo le fasi di seguito indicate:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO	<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

#### FASE 1 : ESECUZIONE PRECONSOLIDAMENTO AL FRONTE

- A) Esecuzione sul fronte d'avanzamento di uno strato di spritz-beton previsto.
- B) Perforazione eseguita secondo la geometria di progetto.
- C) Inserimento del tubo in vtr nel foro e cianfrinatura del bocca foro.
- D) Cementazione del tubo da effettuarsi mediante utilizzo di malta di cemento
- E) Le operazioni B, C, D, andranno effettuate a gruppi di massimo 5 elementi per volta.

#### FASE 2 : ESECUZIONE TRATTAMENTO AL CONTORNO

Esecuzione preconsolidamento al contorno secondo la geometria di progetto, con le seguenti modalita'

- A) Perforazione  $\geq 130\text{mm}$
- B) Inserimento tubo metallico valvolato (2vlv/m)
- C) Formazione della "guaina" al contorno del tubo valvolato da eseguirsi subito dopo l'inserimento.
- D) Iniezione in pressione da realizzarsi valvola per valvola con doppio otturatore fino a raggiungere la pressione di rifiuto e/o il volume di progetto.
- E) Le operazioni A, B e C andranno effettuate a gruppi di massimo 5 elementi per volta.

NOTA – Nel caso di materiali chiusi gli infilaggi al contorno potranno essere solo cementati e non iniettati dalle valvole

#### FASE 3 : ESECUZIONE DRENI IN AVANZAMENTO (EVENTUALI)

#### FASE 4 : ESECUZIONE SCAVO

Lo scavo deve essere eseguito a piena sezione per singoli sfondi, secondo lo schema di progetto, sagomando il fronte a forma concava protetto con uno strato di spritz Sp. $\geq 5\text{cm}$ .

#### FASE 5 : POSA IN OPERA CENTINE E SPRITZ-BETON

#### FASE 6 : POSA DEL SISTEMA DI DRENAGGIO A TERGO DELLA MURETTA

Posa in opera del drenaggio, composta da uno strato protettivo di geotessuto, da un telo impermeabilizzante di PVC e dalla canaletta in pvc microfessurata

#### FASE 7: GETTO DI MURETTE ED ARCO ROVESCIO

Il getto delle murette e dell'arco rovescio verra' effettuato in funzione del comportamento tenso-deformativo del cavo e del fronte e comunque a distanze non superiori a  $3\phi$  dal fronte.

#### FASE 8 : POSA DEL SISTEMA DI DRENAGGIO DI COMPLETAMENTO IN CALOTTA

Posa in opera del drenaggio, composta da uno strato protettivo di geotessuto e da un telo impermeabilizzante di PVC

#### FASE 9: GETTO RIVESTIMENTO DEFINITIVO DI CALOTTA

La distanza del getto di piedritti e calotta dal fronte sara' regolata in funzione del comportamento deformativo e, comunque, non dovra' essere superiore a  $6\phi$  dal fronte.

Figura 7- Fasi esecutive – tipo B2V



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

FASE 1 : ESECUZIONE PRECONSOLIDAMENTO AL FRONTE

- A) Esecuzione sul fronte di avanzamento di uno strato di spritz-beton Sp= 10cm
- B) Esecuzione colonne micro-jet, armate con tubi in VTR

FASE 2: ESECUZIONE PRECONSOLIDAMENTO AL CONTORNO E BASE CENTINA

Esecuzione consolidamento al contorno e al piede centina mediante colonne in jet-grouting secondo le geometrie di progetto.

FASE 3 : ESECUZIONE DRENI IN AVANZAMENTO (EVENTUALI)

FASE 4 : ESECUZIONE SCAVO

Lo scavo deve essere eseguito a piena sezione per singoli sfondi, secondo lo schema di progetto, sagomando il fronte a forma concava( $f \geq 1.5m$ ) protetto con uno strato di spritz fibrorinforzato  $Sp. \geq 5cm$ .

FASE 5 : POSA IN OPERA CENTINE E SPRITZ-BETON

FASE 6 : POSA DEL SISTEMA DI DRENAGGIO A TERGO DELLA MURETTA

Posa in opera del drenaggio, composta da uno strato protettivo di geotessuto, da un telo impermeabilizzante di PVC e dalla canaletta in pvc microfessurata.

FASE 7: GETTO DI MURETTE ED ARCO ROVESCIO

Il getto delle murette e dell'arco rovescio verrà' effettuato in funzione del comportamento tenso-deformativo del cavo e del fronte e comunque a distanze non superiori a  $1,5\phi$  dal fronte.

FASE 8 : POSA DEL SISTEMA DI DRENAGGIO DI COMPLETAMENTO IN CALOTTA

Posa in opera del drenaggio, composta da uno strato protettivo di geotessuto e da un telo impermeabilizzante di PVC.

FASE 9: GETTO RIVESTIMENTO DEFINITIVO DI CALOTTA

La distanza dei getti di piedritto e calotta sarà regolato in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo, e comunque non dovrà superare una distanza superiore a  $6\phi$  dal fronte.

Figura 8- Fasi esecutive – tipo C1

## 4.5 Ritombamento e sistemazione definitiva del versante

Le fasi esecutive previste per il getto della galleria artificiale, sono :

1. Scavo dell'arco rovescio/soletta di base;
2. Getto di uno spessore minimo di 10 cm di calcestruzzo magro di pulizia;
3. Posizionamento dell'armatura, della casseratura e getto dell'arco rovescio/soletta di base;
4. posizionamento dell'armatura, della casseratura e getto dei piedritti e della calotta;

		<p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO</p>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Una volta completato il getto della galleria artificiale e del portale si potrà procedere alle operazioni di ritombamento e della sistemazione definitiva del versante secondo le indicazioni progettuali. Al di sotto della galleria artificiale del ramo stradale C, si utilizzerà un terreno di ritombamento stabilizzato e migliorato, che sarà poi ricoperto da terre rinforzate. Per la precisa ubicazione e l'estensione di tale intervento si rimanda ai relativi elaborati grafici.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<b>Codice documento</b> CS0248_F0	<b>Rev</b> F0	<b>Data</b> 20/06/2011

## 5 Inquadramento Geologico – Geotecnico

### 5.1 Descrizione delle litologie prevalenti










Le litologie prevalenti sono costituite dalle formazioni delle Sabbie e Ghiaie di Messina e del Conglomerato di Pezzo.

Le Sabbie e Ghiaie di Messina sono granulometricamente descritte come ghiaie e ciottoli da sub arrotondati ad appiattiti con matrice di sabbie grossolane.

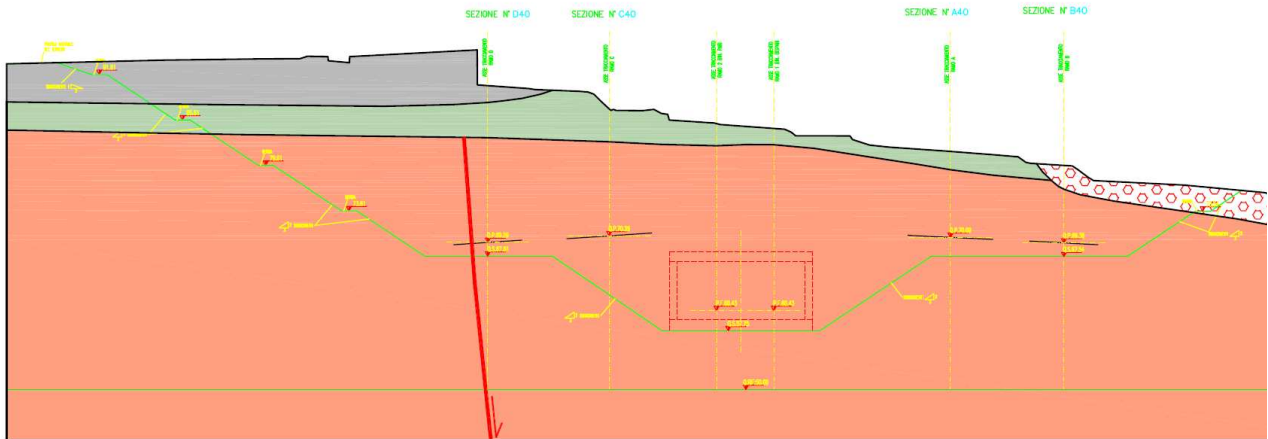
Il Conglomerato di Pezzo, di età tortoniana, è la litologia stratigraficamente più bassa della successione sedimentaria. La sua potenza è superiore ai 200 m.

Il conglomerato è composto prevalentemente da clasti di graniti e gneiss cementati in matrice prevalentemente composta da frazioni arenacee fini e limose. Le dimensioni dei clasti sono eterogenee e variabili da pochi mm fino a blocchi superiori al metro, interpretati come grossi trovanti inglobati nel conglomerato. Negli affioramenti la formazione presenta un aspetto litoide con scarpate stabili. Il Conglomerato di Pezzo ha quindi generalmente caratteristiche assimilabili a quelle di rocce tenere.

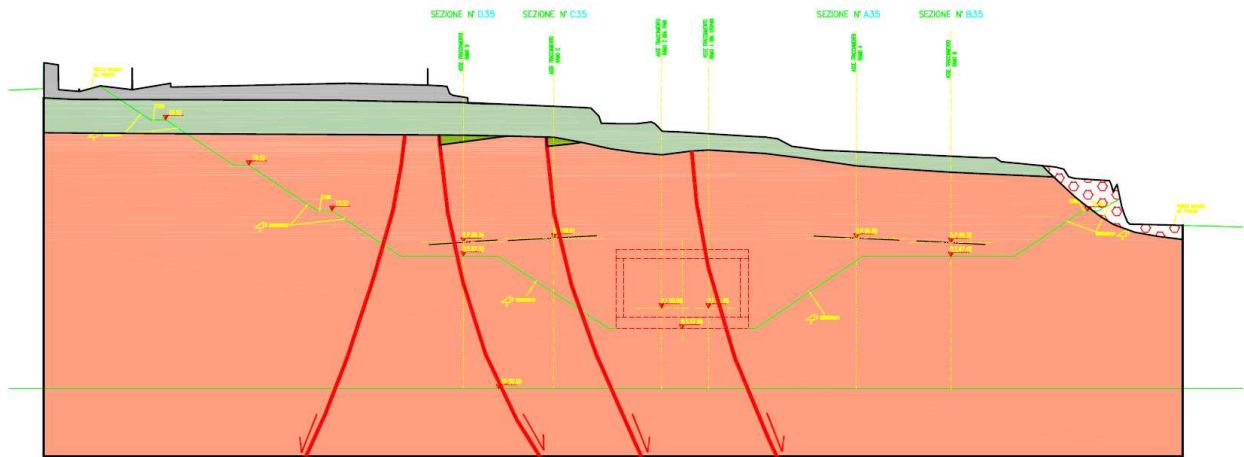
Le stratigrafie di riferimento nell'area in esame sono riportate di seguito.

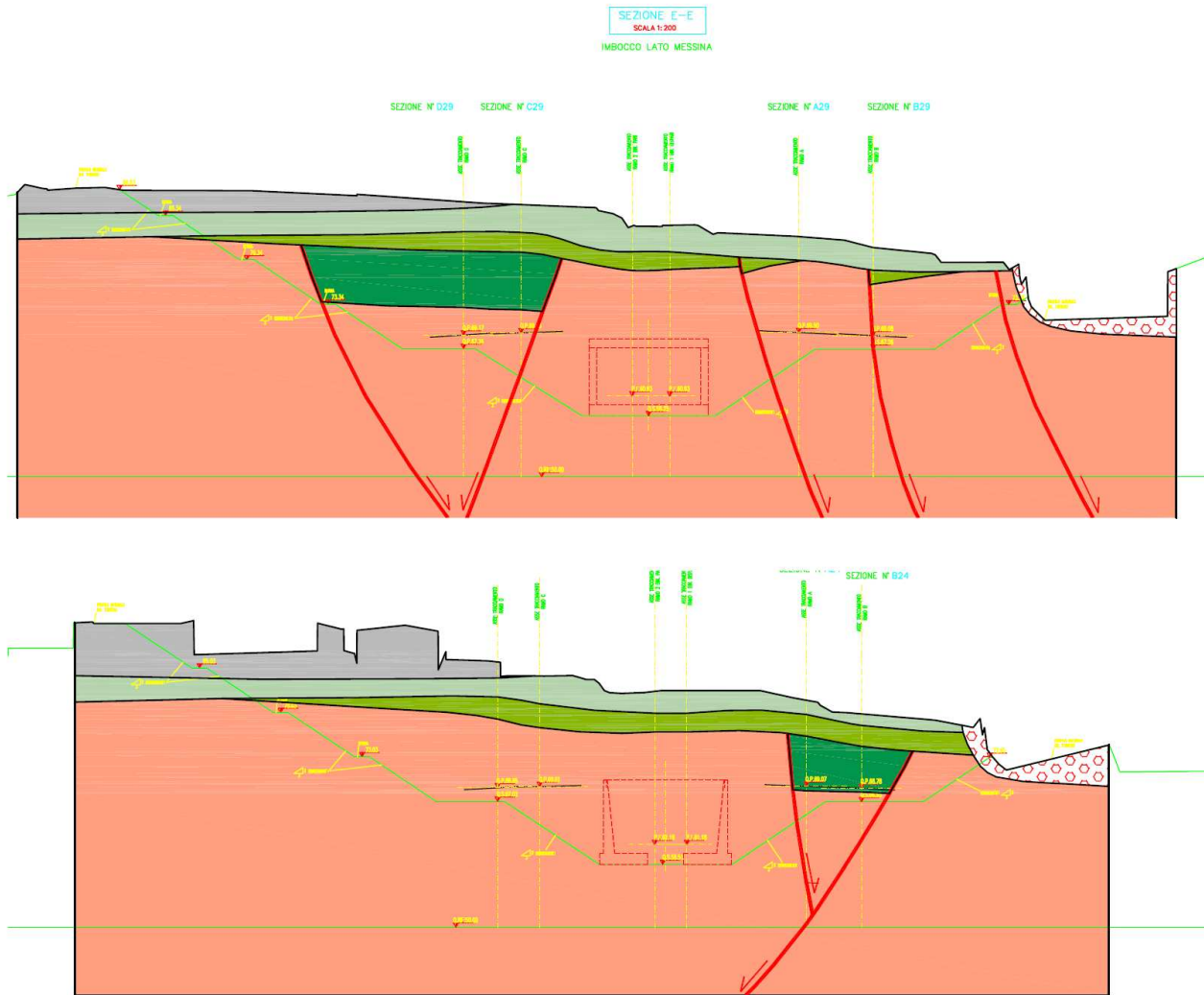
LEGENDA GEOLOGICA CALABRIA	
	<b>Riperto antropico.</b> (ATTUALE)
	<b>Depositi di versante.</b> Depositi poco coesi, costituiti da materiale spigoloso, poligenico ed eterometrico con matrice a grana fine (a), localmente di ghiaie con grandi blocchi. In località Casa Alta il detrito si presenta con tessiture da medie a grossolane, subordinatamente fine, con laminazione orizzontale e clinostratificata (b). (OLIGOCENE)
	<b>Depositi di piana costiera recenti ed attuali.</b> Ghiaie eterometriche e oligometriche, prevalentemente cristallino-metamorfiche e sabbie a grana da media a grossolane; sono presenti, intercalati, livelli e letti di torba. (OLIGOCENE)
	<b>Eluvio-colluvio.</b> Limi, ghiaie e sabbie con matrice a grana fine e clasti cristallino-metamorfici prevalenti, da spigolosi a subarrotondati. (OLIGOCENE)
	<b>Depositi alluvionali.</b> Ghiaie eterometriche ad elementi cristallino-metamorfici ben arrotondati, frammati e sabbie limose. (OLIGOCENE)
	<b>Depositi marini terrazzati</b> (distinguibili in più ordini gerarchici). Sabbie gialle e ocra, limi e ghiaie con ciottoli arrotondati ed appiattiti prevalentemente cristallini, in matrice sabbiosa. Costeggiano superiormente terrazze distribuite a diverse quote disomogeneamente inclinate verso la linea di costa. (PLEISTOCENE MEDIO SUPERIORE)
	<b>Ghiaie e sabbie di Messina.</b> Sabbie e ghiaie grigio giallastre, con abbondante matrice. I clasti sono da subarrotondati ad appiattiti, spesso ventricati. Sono presenti livelli e letti di sabbie fini. Si presentano clinostratificati. La base sono attribuiti ad ambienti di tipo deltico a riva costiera sottomarina. (PLEISTOCENE MEDIO)
	<b>Calcareniti di San Corrado.</b> Calcareniti e calcaretti calcareo-arenacei, di colore giallo-bruno, a stratificazione microlitica con livelli sabbiosi-limosi con macrofossili. A sorgere sono presenti anche banchi orizzontali di breccie cementate costituite da clasti spigolosi, cristallino-metamorfici, da centometrici a pluridecimetrici in matrice calcicola microcristallina. (PLEISTOCENE INFERIORE)
	<b>Formazione di La Mesa.</b> Masse sabbiose biancastre massive in banchi spessi diversi metri, passanti verso l'alto ad alternanze di sabbie e calcareniti con abbondanti fossili. (PLEISTOCENE INFERIORE)
	<b>Trubi.</b> Masse e calcari marmosi bianco crema con intercalazioni di letti sabbiosi (a). Nella parte superiore sono presenti livelli calcarenitici ricchi in fossili (b). (PLEISTOCENE INFERIORE)
	<b>Conglomerato di Pezzo.</b> Conglomerato a matrice arenacea, da scarsamente a ben cementato, a stratificazione poco distinta, con passaggi laterali a livelli arenacei e sabbie grossolane. Gli elementi costituenti sono esclusivamente di natura cristallino-metamorfica. (TORTONIANO SUPERIORE)
	<b>Substrato cristallino-metamorfico.</b> Soprattutto costituito da porfiroide e graniti. (a) porfiroide costituito da microliti, ghiaie occhiate e melagranti con intercalazioni di quartziti e anfiboliti. (b) graniti porfiroide a composizione granodioritica e lucernomorfologica. (CARBONIFERO-PERMIANO)
<b>Altri simboli</b>	
	Limite stratigrafico
	Limite trastratigrafico
	Faglia certa (con direzione indicata)
	Faglia presunta

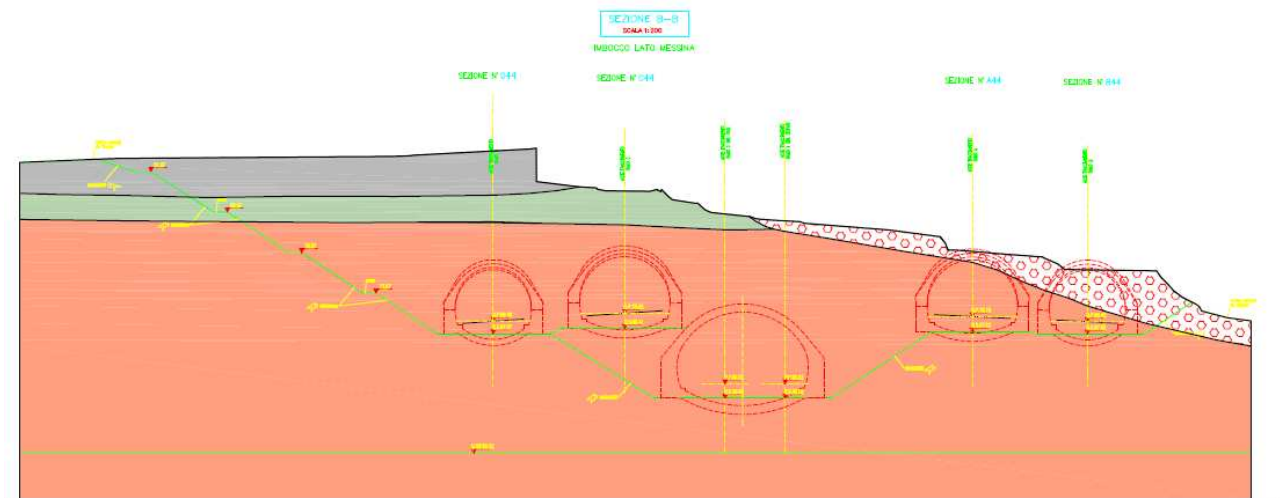
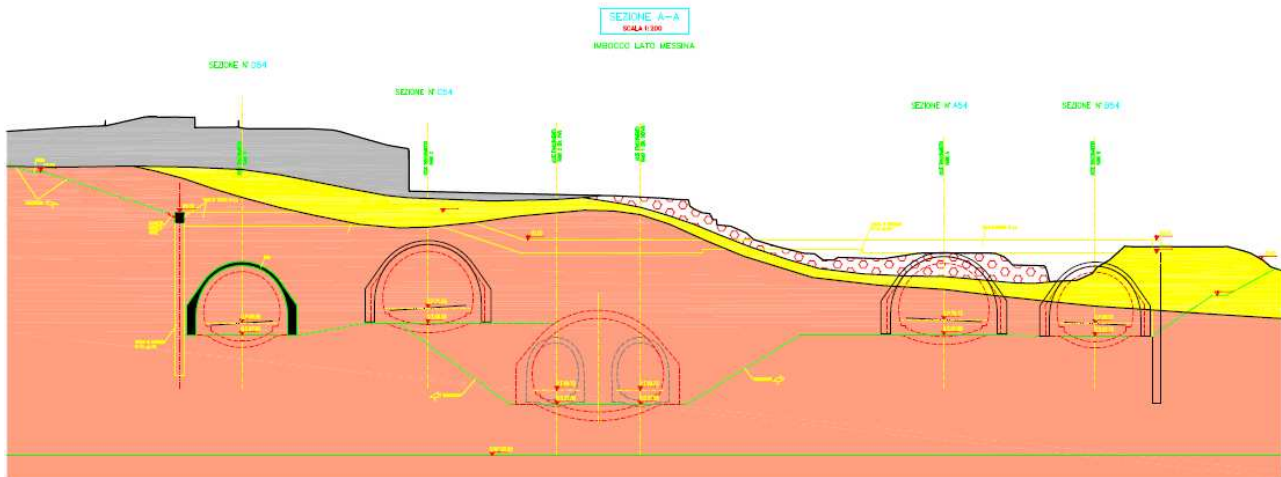
SEZIONE C-C  
SCALA 1:200  
IMBOCCO LATO MESSINA



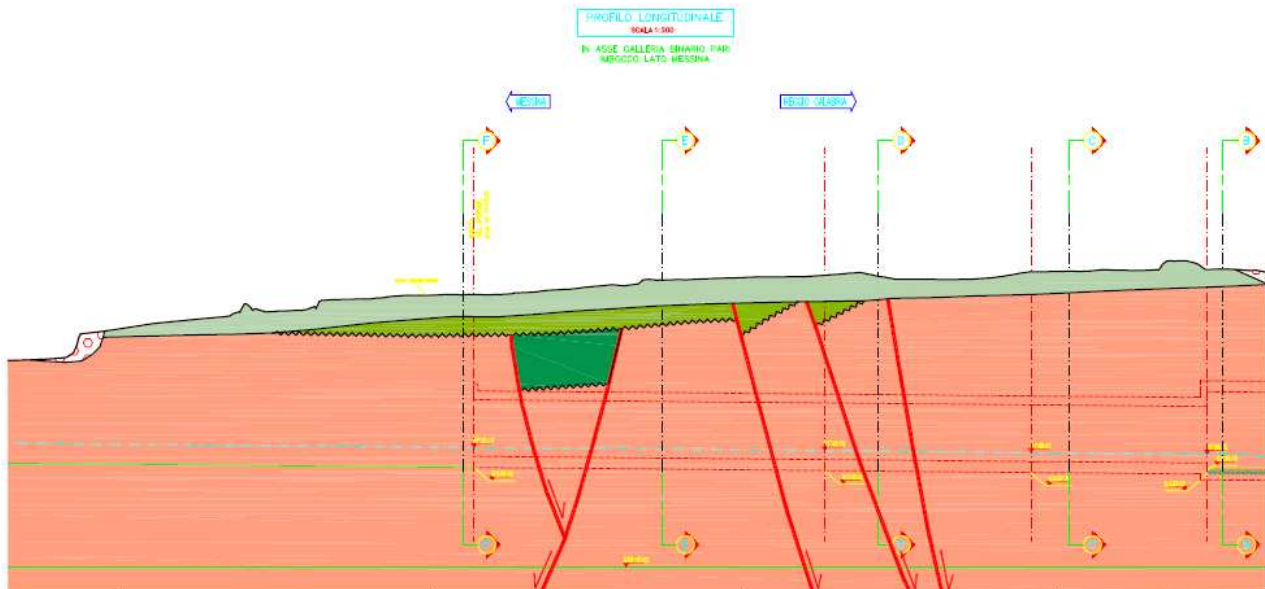
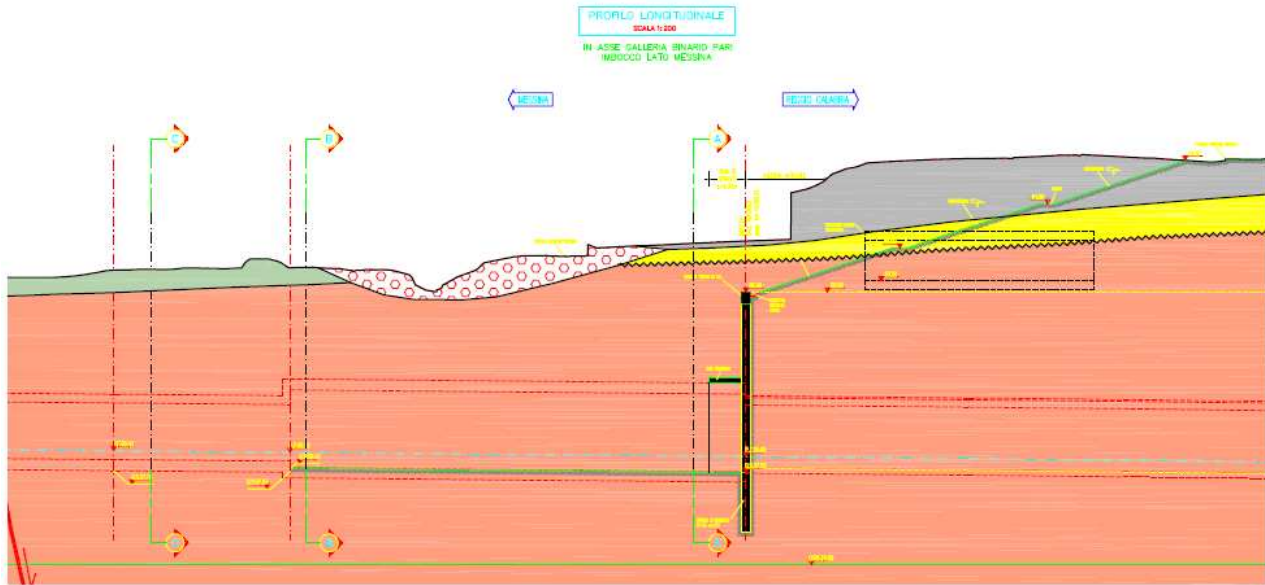
SEZIONE D-D  
SCALA 1:200  
IMBOCCO LATO MESSINA

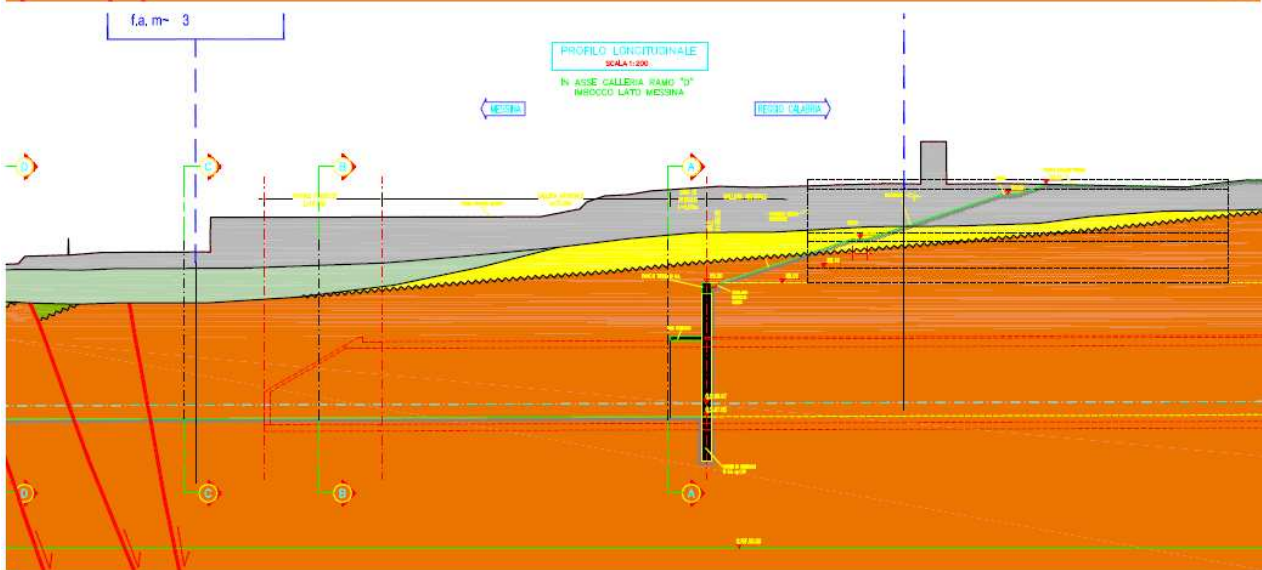
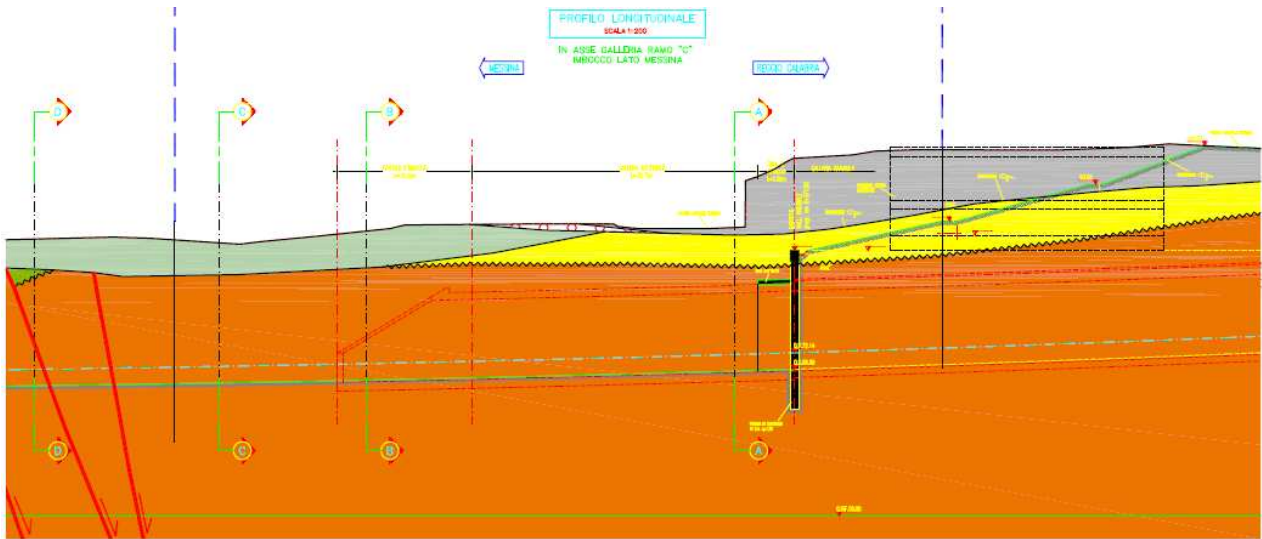




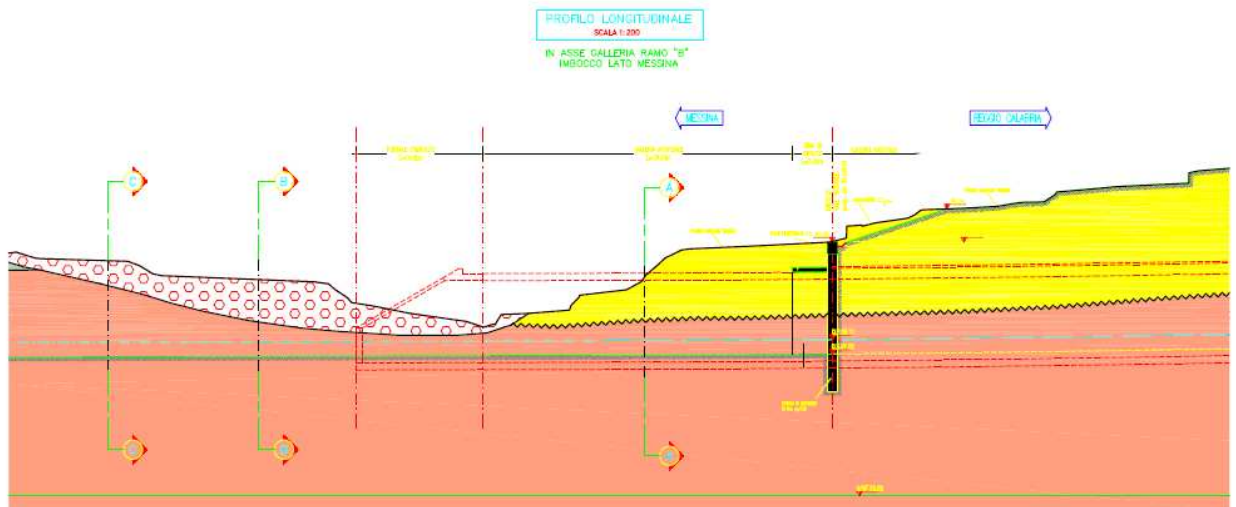
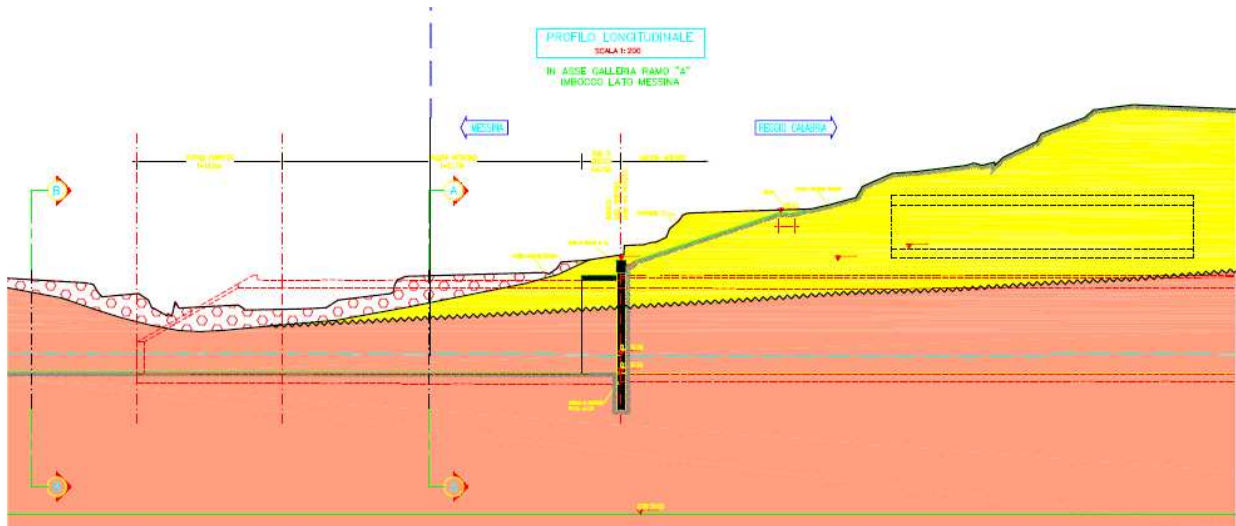




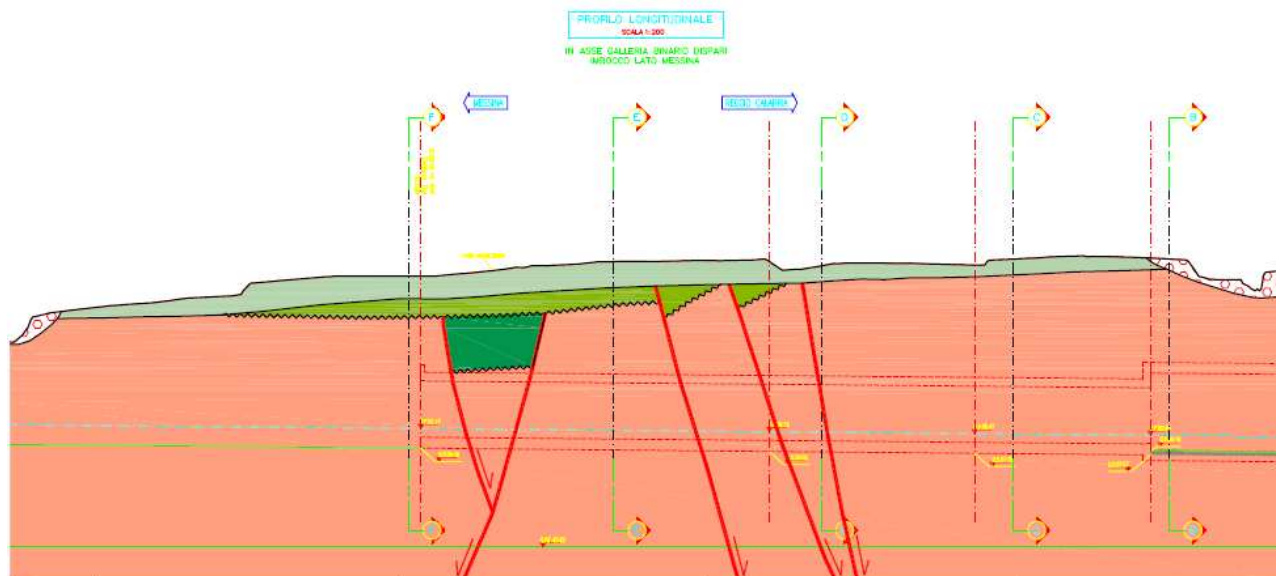
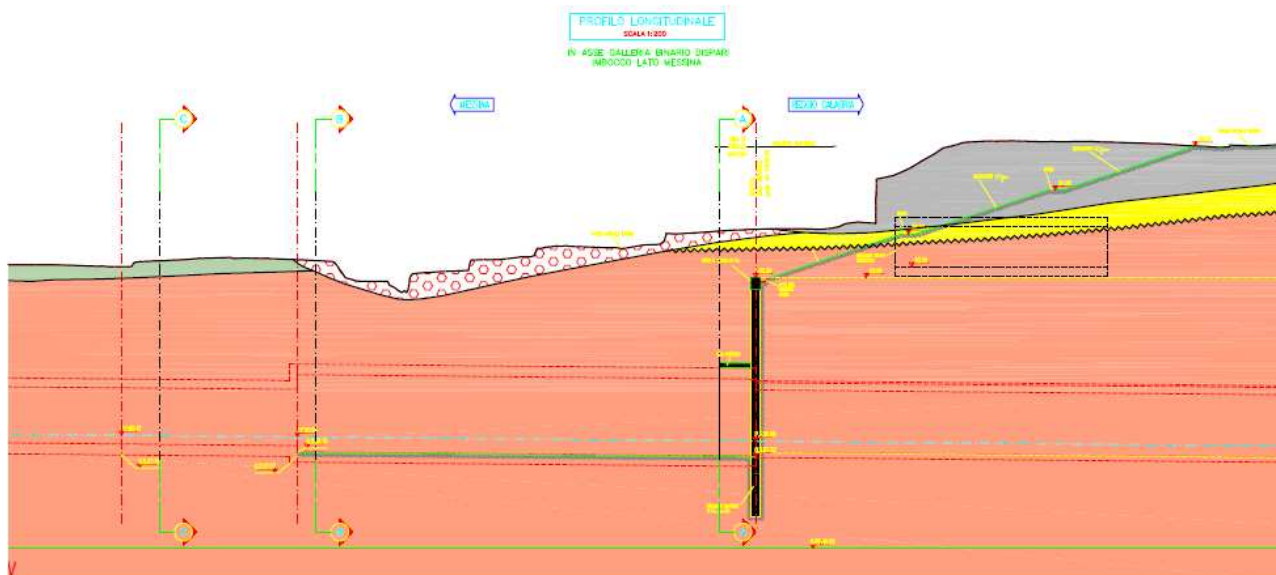








 <b>Stretto di Messina</b>		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



I livelli piezometrici nella zona di imbocco, riportati nei profili idrogeologici, interferiscono in modo parziale con le opere di sostegno. In particolare dai profili si può evincere una quota di falda che si attesta mediamente tra i -12m e i -18m dal piano campagna nella sezione di imbocco ed evidenza una rapida decrescita procedendo verso l'esterno delle opere, attestandosi lungo lo sviluppo delle artificiali spesso sotto il piano di scavo delle opere.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 5.1.1 Indagini previste

Data l'esiguità delle prove localmente presenti, si è scelto di tenere conto anche delle prove effettuate nei sondaggi utilizzati per caratterizzare la zona in corrispondenza delle rampe di accesso alle gallerie (Rampe A/B/C/D 0-0+500).

Per la caratterizzazione sismica del suolo nella zona in esame si hanno poche prove sismiche: si dispone dei sondaggi C403bis e C423bis che forniscono una categoria pari a **B**.

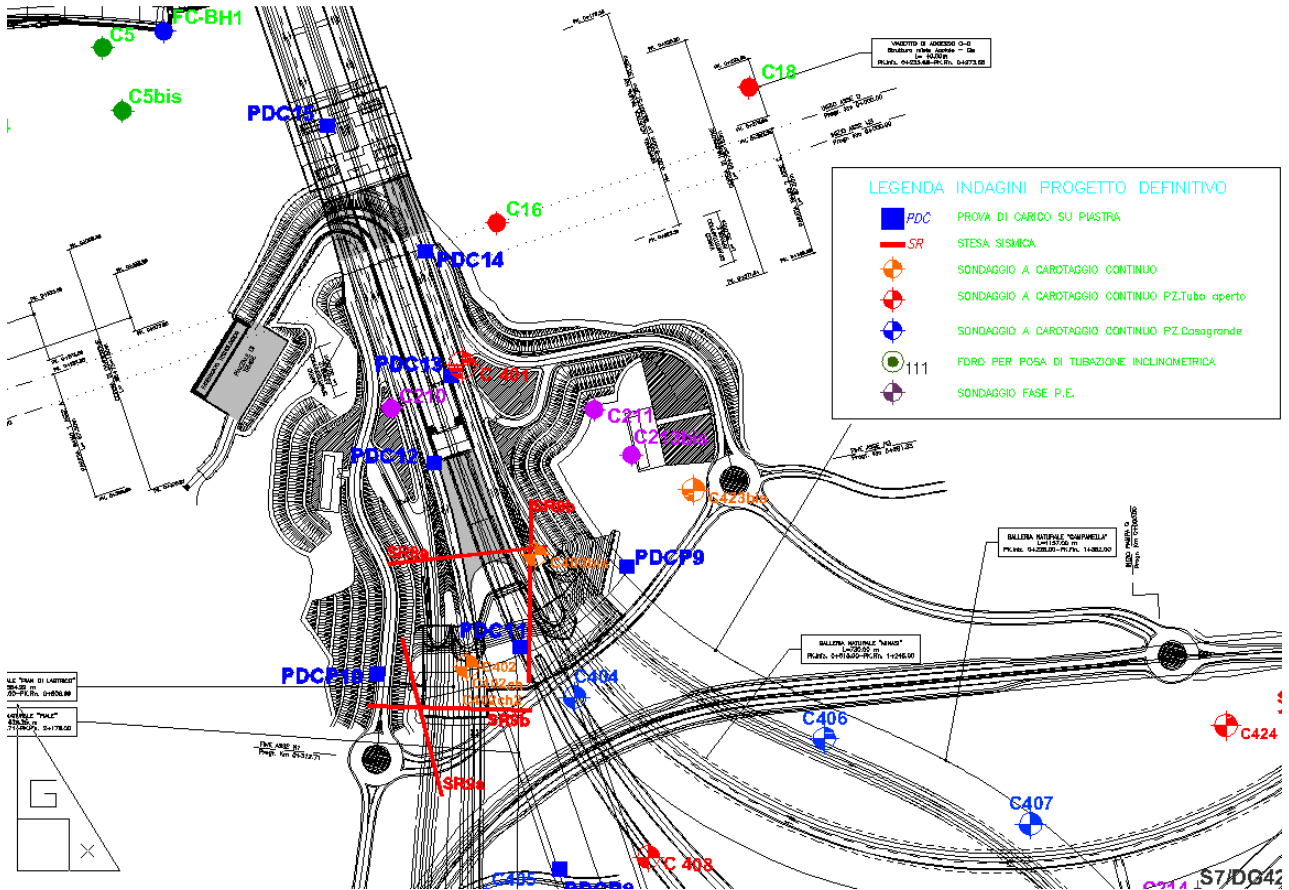
Le prove localmente utilizzate nella caratterizzazione sono:

#### Conglomerato di Pezzo

- prove di carico su piastra (campagna di indagine 1988 – pozzo P2500)
- 3 prove sismiche (CS103,C423BIS,OTCCH1501)
- Prove pressiometriche e dilatometriche (C403BIS, C404, C423, C423BIS, OTCSPT504, OTCLPT2503)
- Prove di laboratorio per la determinazione dei parametri fisici e meccanici (CS103, FCBH1512, OTCLPT1505, FCCH2509, OTCSPT504, FCBH1501, OTCLPT2503)

#### Sabbie e Ghiaie di Messina

- prove SPT (C404, C405, C211)
- Prove di laboratorio per la determinazione dei parametri fisici e delle caratteristiche di resistenza (C404,C411)



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5.2 Caratterizzazione geotecnica

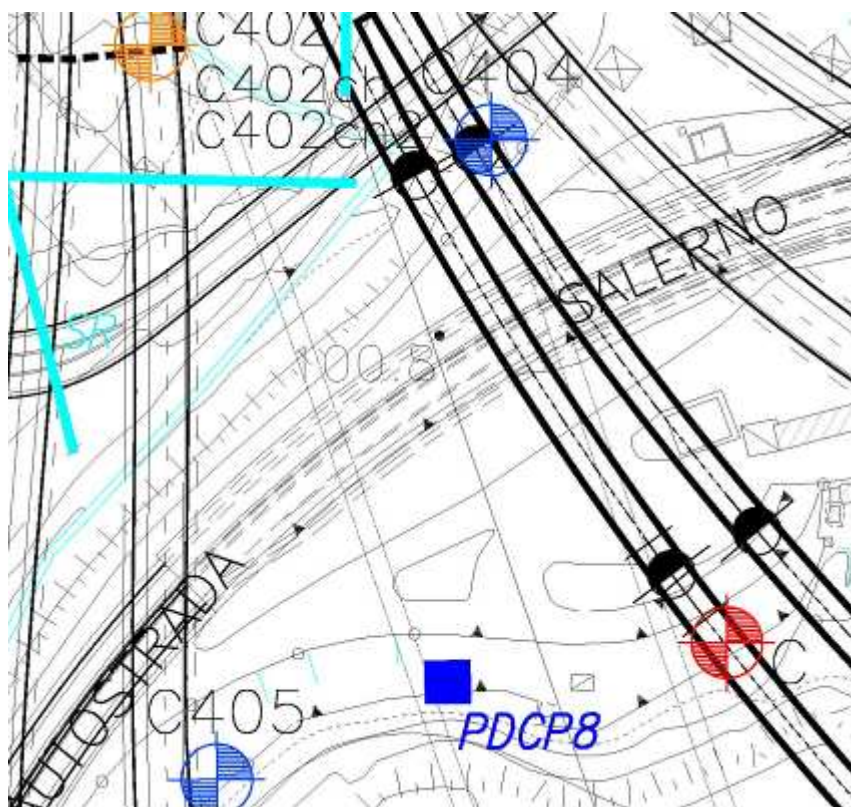
Per i criteri e per gli aspetti generali di caratterizzazione si rimanda a quanto riportato nella relazione Elab. CG0800PRBDCSBC8G000000001A.

Stratigrafia media		$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	$c'$ (Kpa)	$E' *$ (MPa)	K (m/s)
	Sabbie e Ghiaie di Messina	18÷20	38÷40	0	$(19-48) z^{0.5}$	$10^{-4} \div 10^{-5}$
	Conglomerato di Pezzo	21÷23	38÷42	0-100 (0-20m)	150 -300 (0-20m) 300-500 (20 - 35m) 500-900 (35 - 65m)	$10^{-7}$
<b>Falda</b>	-22m da p.c.					

\*  $E'$  = modulo di Young "operativo"; \* = si considerano valori nel range per fronti di scavo sostenuti, opere di sostegno tirantate o puntonate; valori al minimo del range per fondazioni dirette, fondazioni su pali e rilevati.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



### 5.2.1 Conglomerato di Pezzo

Per quanto riguarda gli spezzoni di roccia o di conglomerato prelevati nei sondaggi il peso di volume totale  $\gamma$  è risultato mediamente pari a  $23 \text{ kN/m}^3$  con i valori più bassi di  $20 -21 \text{ kN/m}^3$  rappresentativi degli spezzoni conglomeratici:

Per lo stato iniziale, poiché la litologia in esame è quella della successione sedimentaria più vecchia, è difficile tenere in conto in modo sintetico della storia tensionale del deposito che è stato caratterizzato da fenomeni di preconsolidazione e cementazione. La stima può in prima approssimazione essere effettuata: considerando un età di almeno 10 milioni di anni, che  $K_{o_{nc}}=0.35\div 0.5$  ( $\phi'=30^\circ\div 40^\circ$ ) e che  $K_{o_{oc}}=0.5\div 0.6$ , tenendo dell'erosione (si stima un fattore minimo pari a 1.4 corrispondente ad  $OCR=2$ ) ed infine considerando gli effetti di "aging" con la correlazione di (Mesri (1989)), si ottiene un valore compreso approssimativamente fra 0.7 e 0.9.

Per i parametri di resistenza al taglio nell'ambito dello strato superficiale più alterato ( $z<25\div 30\text{m}$ ), si fa riferimento alla caratterizzazione geotecnica generale che si basa sull'esito delle prove di carico su piastra, ritenute maggiormente rappresentative del comportamento d'insieme

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

dell'ammasso: si considerano quelle ubicate in prossimità del blocco di ancoraggio lato Calabria (campagna di indagine 1988 – pozzo P2500) ed al proposito si è ripreso lo studio effettuato nel Progetto preliminare (“Le basi del progetto – Geotecnica” – Elab. PP2RA24) (Vd. Elab. CG0800PRBDCSBC8G000000001A).

In corrispondenza di un valore medio di  $\phi'=40^\circ$  (ottenuto anche da prove pressiometriche) i valori di  $c'$  ottenuti variano linearmente, tra 0 e circa 25m di profondità, da 0 a 100 KPa circa.

La resistenza a compressione monoassiale ottenuta invece da prove di laboratorio LPT ha fornito valori molto variabili da qualche MPa ad un max di 30-40MPa.

Per i parametri di deformabilità nel contesto in esame le simiche di riferimento sono C403, C423bis, OTCCH1501 che evidenziano una certa variabilità; si può porre:  $G_0=400-800$  MPa e quindi  $E_0=960-1920$ MPa.

Le pressiometriche nei fori C403bis (carico), C404 (carico e scarico-ricarico), C423 (carico e scarico-ricarico), C423bis (carico), OTCSPT504 (scarico-ricarico) forniscono un range di valori variabilissimo fra 15m e 35m di profondità compreso fra 75 e 220 MPa, mediamente pari a 150 MPa .

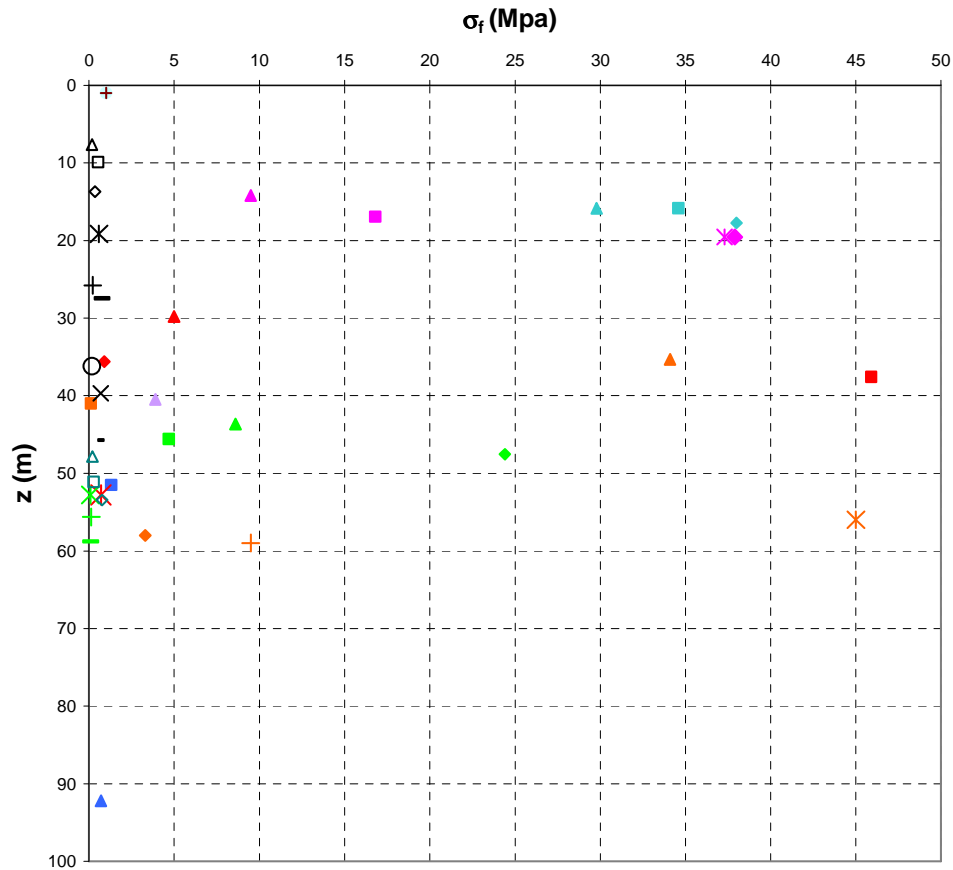
Facendo riferimento all'esito delle prove sismiche ed al valore medio dei valori scaturiti dalle prove dilatometriche e pressiometriche si ritiene che il range  $E'=150\div 300$  MPa, nei primi 20m di spessore del Conglomerato di Pezzo, possa considerarsi adeguato per la tratta in esame.

In particolare il valore minimo di  $E'=150$  MPa si ritiene mediamente rappresentativo del contesto geotecnico in esame in cui sono previste opere che mobilitano medie e grandi deformazioni.

SONDAGGIO	N° PROVINO	OPERA	z (m)	γ (kN/m <sup>3</sup> )	γ <sub>d</sub> (KN/m <sup>3</sup> )
FCBH6	4-1	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	50,65	26,60	26,60
FCBH6	4-2	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	51,00	26,50	26,50
FCBH6	5-1	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	56,00	23,40	23,20
FCBH6	5-2	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	56,50	23,40	23,20
CS103	4	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	14,20	26,00	25,90
CS103	5	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	16,95	25,60	25,50
CS103	6-1	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	19,55	26,50	26,40
CS103	6-2	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	19,55	26,50	26,40
CS102	1-1	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	15,85	26,6	26,5
CS102	1-2	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	15,85	26,6	26,5
CS102	2	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	17,75	26,3	26,2
FCBH1512	10	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	35,3	26,5	
FCBH1512	16	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	41	22,8	
FCBH1512	4NK3	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	58,00	24,57	
FCBH1512	28	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	56,00	25,93	
FCBH1512	30	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	59,00	24,50	
OTCLPT1505	C4	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	40,50	24,40	
FCCH2509	C9	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	92,20	24,00	
FCCH2509	C11	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	51,50	23,65	
OTCSPT504	C16	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	29,80	23,20	
OTCSPT504	C17	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	37,60	26,70	
OTCSPT504	C18	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	35,60	20,70	
OTCSPT504	C24	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	52,80	21,87	
FCBH1501	1	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	43,65	21,58	
FCBH1501	2	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	45,60	21,63	
FCBH1501	3	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	47,55	23,61	
FCBH1501	7	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	52,80	20,71	
FCBH1501	9	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	55,62	19,96	
FCBH1501	11	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	58,80	21,31	
OTCLPT2503	1L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	7,67	20,9	
OTCLPT2503	2L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	9,93	22,68	
OTCLPT2503	4L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	13,70	21,2	
OTCLPT2503	6L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	19,17	20,4	
OTCLPT2503	8L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	25,80	21,82	
OTCLPT2503	9L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	27,48	22,68	
OTCLPT2503	12L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	36,20	19,51	
OTCLPT2503	13L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	39,69	21,67	
OTCLPT2503	15L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	45,72	23,05	
OTCLPT2503	16L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	47,83	22,49	
OTCLPT2503	17L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	51,10	21,76	
OTCLPT2503	18L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	53,44	22,79	
OTCLPT2503	19L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	55,53	20,7	
OTCLPT2503	20L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	58,05	22,37	
FCCH2509	5L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	34,40	21,80	
FCCH2509	6L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	35,60	19,00	
FCCH2509	8L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	40,50	20,90	
FCCH2509	11L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	50,30	20,18	
FCCH2509	13L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	58,00	21,24	
FCCH2509	15L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	64,70	22,11	
FCCH2509	16L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	71,10	20,53	
FCCH2509	17L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	73,40	21,88	
FCCH2509	18L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	74,50	20,83	
FCCH2509	19L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	75,80	21,95	
FCCH2509	21L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	84,00	21,18	
FCCH2509	23L	Rampa D 0-0+500 / Rampa C 0-0+500 / Rampa A 0-0+500 / ferrovia	92,80	20,73	

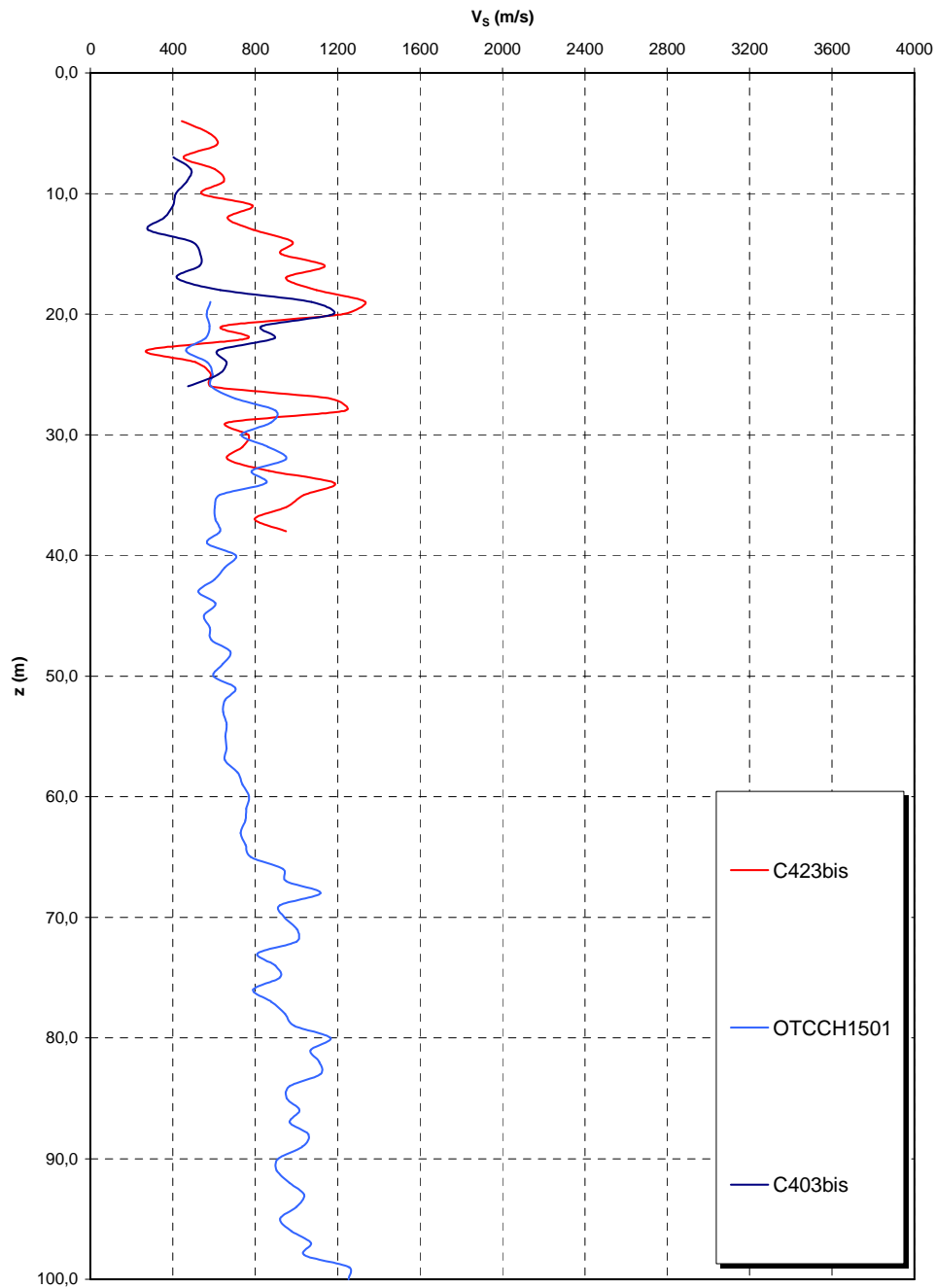


**Prove di schiacciamento - LPT-  
CONGLOMERATO DI PEZZO**

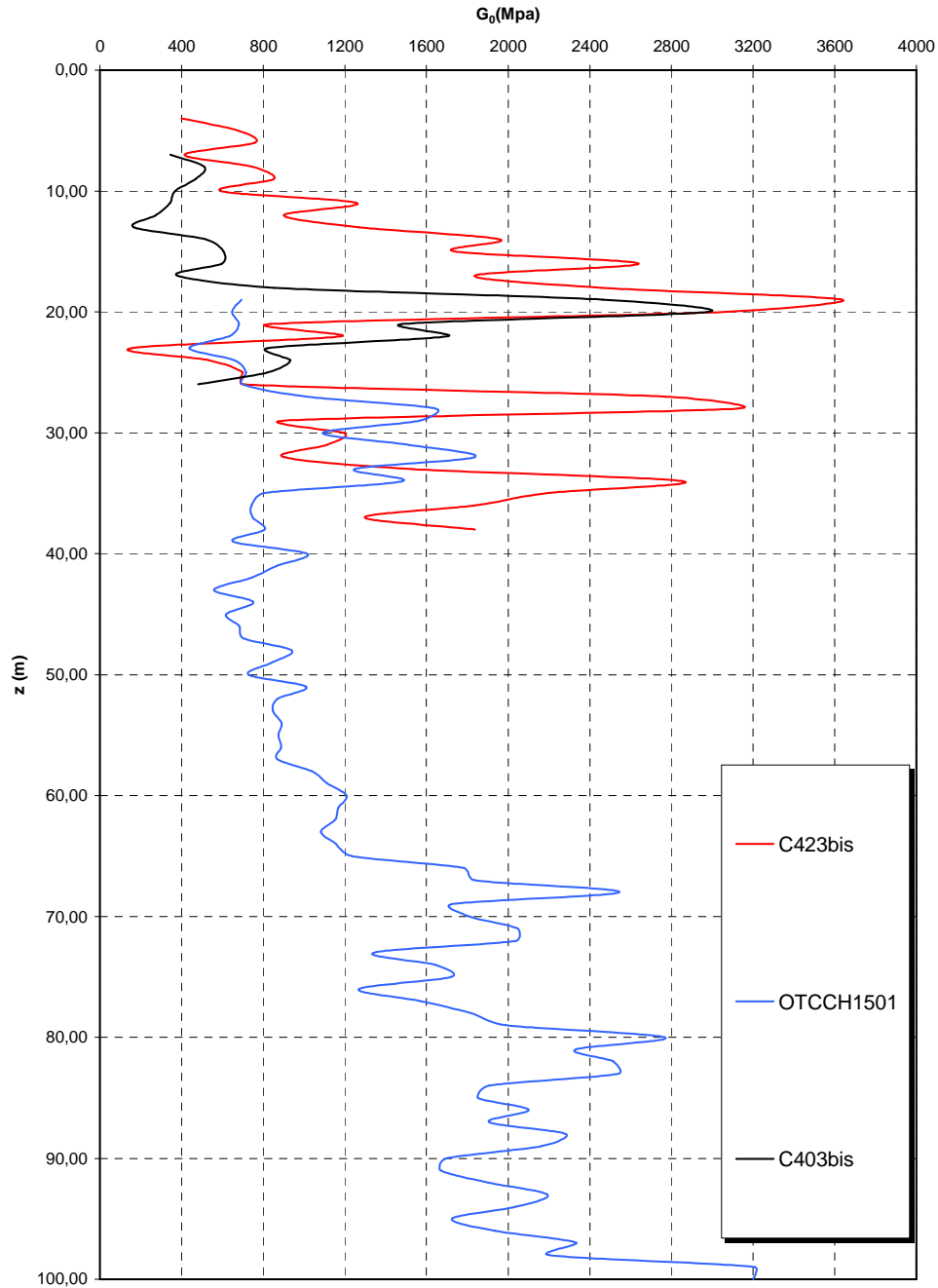


▲ CS103_4	■ CS103_5	◆ CS103_6-1	✖ CS103_6-2
▲ CS102_1-1	■ CS102_1-2	◆ CS102_2	▲ FCBH1512_10
■ FCBH1512_16	◆ FCBH1512_4NK3	✖ FCBH1512_28	+ FCBH1512_30
▲ OTCLPT1505_C4	▲ FCCH2509_C9	■ FCCH2509_C11	▲ OTCSPT504_C16
■ OTCSPT504_C17	◆ OTCSPT504_C18	✖ OTCSPT504_C24	▲ FCBH1501_1
■ FCBH1501_2	◆ FCBH1501_3	✖ FCBH1501_7	+ FCBH1501_9
- FCBH1501_11	▲ OTCLPT2503_1L	□ OTCLPT2503_2L	◆ OTCLPT2503_4L
✖ OTCLPT2503_6L	+ OTCLPT2503_8L	- OTCLPT2503_9L	○ OTCLPT2503_12L
✖ OTCLPT2503_13L	- OTCLPT2503_15L	▲ OTCLPT2503_16L	■ OTCLPT2503_17L
◆ OTCLPT2503_18L			

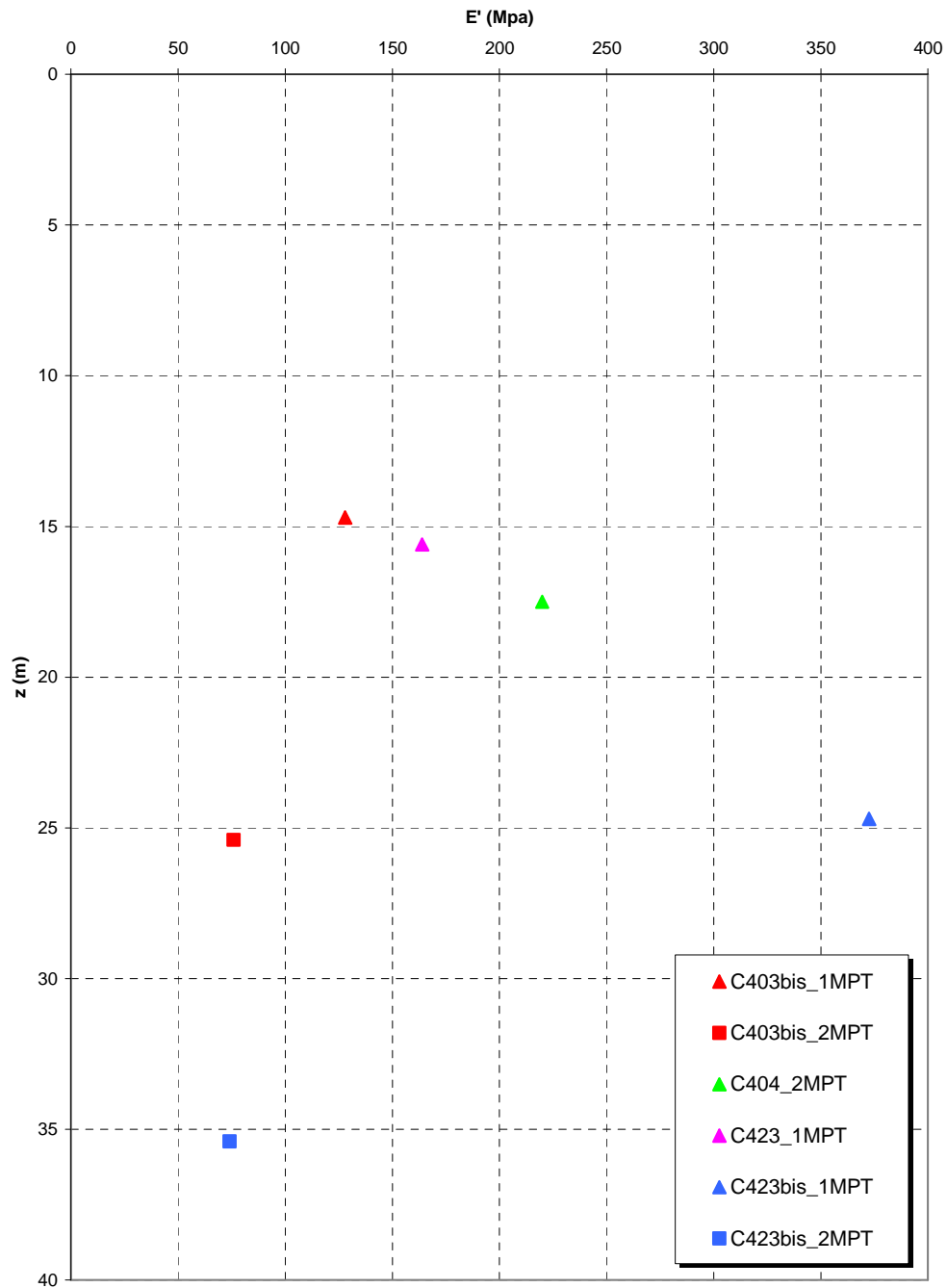
**Prove sismiche  
CONGLOMERATO DI PEZZO**



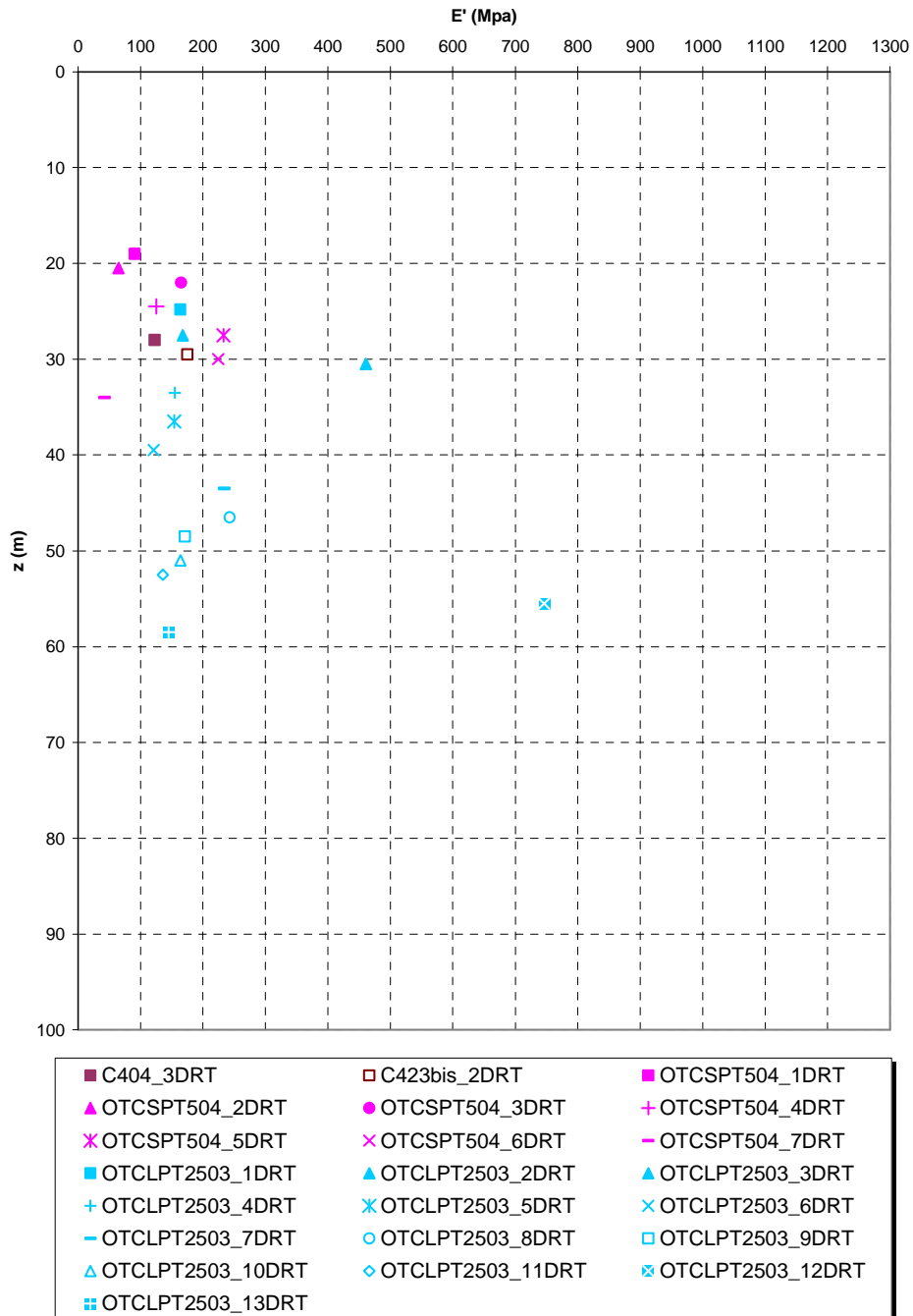
**Prove sismiche  
CONGLOMERATO DI PEZZO**



**Prove pressiometriche  
CONGLOMERATO DI PEZZO**



**Prove dilatometriche  
CONGLOMERATO DI PEZZO**



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5.2.2 Sabbie e Ghiaie di Messina

Per le caratteristiche fisiche da un'analisi statistica delle caratteristiche granulometriche emerge, un andamento che conferma che le caratteristiche granulometriche dei materiali in esame sono tipiche di materiali sia di materiali a grana grossa (ghiaie 36%), sia di materiali intermedi (sabbie 52%). Il contenuto di fino è mediamente del 11%.

Con riferimento al fuso medio si ha:

- Il valore di  $D_{50}$  è pari a 0.8mm
- Il valore di  $D_{60}$  è pari a 1.2 mm
- Il valore di  $D_{10}$  è pari a 0.025 mm

Il peso di volume dei grani medio  $\gamma_s$  è risultato pari a circa 26 kN/m<sup>3</sup>;

In base a dati di letteratura il valore di  $\gamma_{dmax}$  risulterebbe mediamente pari a circa 21 kN/m<sup>3</sup> mentre  $\gamma_{dmin}$  mediamente pari a circa 16 kN/m<sup>3</sup>.

Per lo stato iniziale si ha:

- $D_r$ : I valori di  $N_{spt}$  sono stati corretti con il fattore correttivo  $C_{sg}=0.75$  corrispondente al  $d_{50}=0.8$ mm.
- $e_o$ : a partire dal  $d_{50}$  stimato si ottiene di  $e_{max}-e_{min}$  pari a 0.31, non dissimile dai valori reperibili in letteratura ( $0.17 < e_{max}-e_{min} < 0.29$ ) e da quanto misurato in laboratorio (SG10DG42) con valore medio pari a 0.33. Stimando per  $e_{max}$  un valore pari a 0.7 a partire dai valori di  $D_r$  è stato possibile determinare i valori di  $e_o$  in sito.
- $\gamma_d$ : in base a tali valori di  $e_o$  e da  $\gamma_s$  si può stimare  $\gamma_d$ .
- $K_o$ : si considera la relazione di Mesri (1989) per tenere conto degli effetti di "aging".

<b>Dr(%)</b> <b>Prevalente sabbiosa</b>	<b>Dr(%)</b> <b>Sabbie e ghiaie</b>	<b><math>\gamma_d</math>(KN/m3)</b>	<b><math>K_o</math></b>
-	70-90	17-20	0.40- 0.45

Per i parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci sulla base delle prove SPT si è ottenuto un valore medio di angolo di attrito di 41°, per  $z > 5$ m.

<b><math>\phi'_p</math> (pff=0-272KPa) (°)</b>	<b><math>\phi'_{cv}</math> (°)</b>
40-44	33-35

Ai parametri di resistenza operativi al taglio in termini di sforzi efficaci si sono assegnati i seguenti



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

valori operativi:

$c_p' = 0 \div 10$  kPa = coesione apparente

$\phi_p' = 38 \div 40^\circ$  = angolo di resistenza al taglio

Per i valori di stato critico, in assenza di prove specifiche, in base ai dati di letteratura si possono definire i seguenti valori operativi.

$c_r' = 0$  kPa = coesione apparente

$\phi_r' = 33^\circ \div 35^\circ$  = angolo di resistenza al taglio

Per le caratteristiche di deformabilità dalle prove sismiche in foro (C416, C417) si ottengono valori di  $G_0$  che mostrano un andamento crescente con la profondità, da circa 100MPa a circa 500MPa a 40m di profondità.

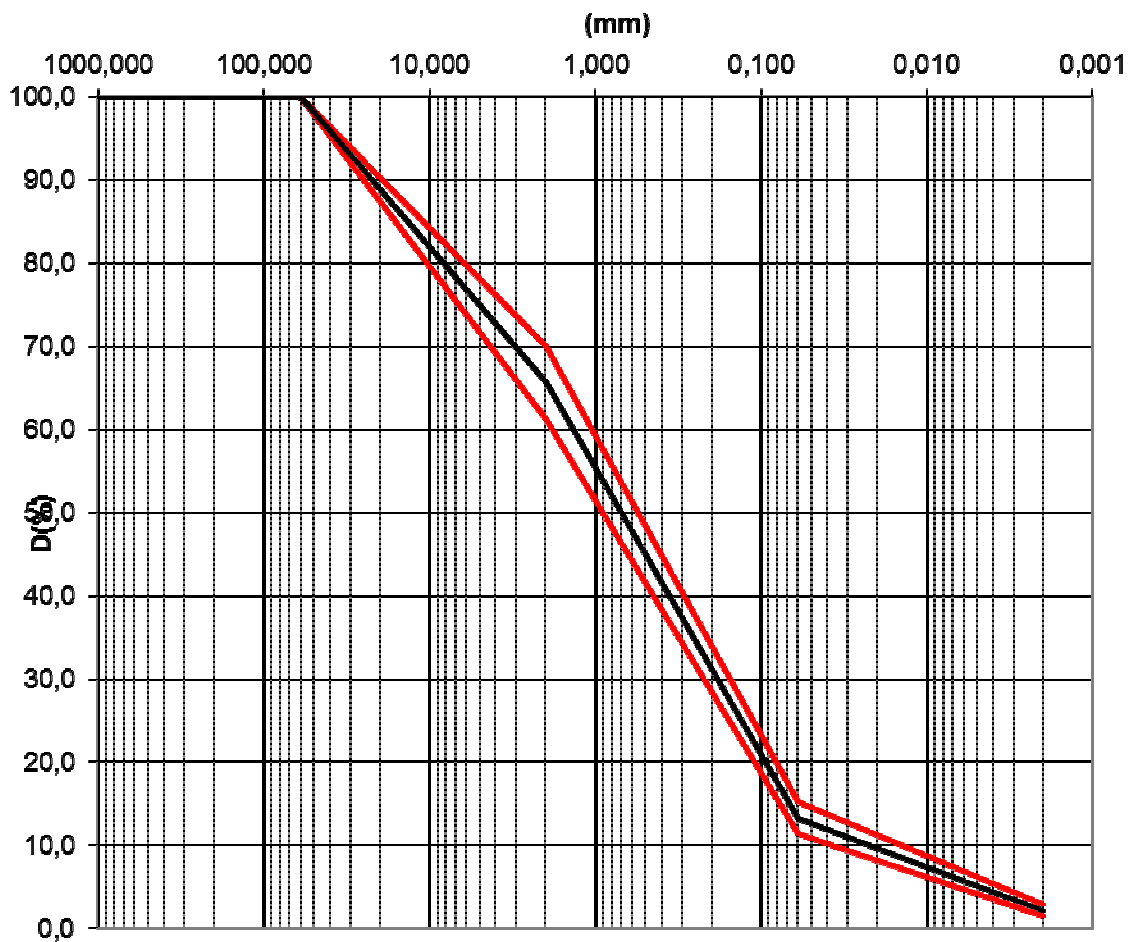
Una stima con la profondità si rende difficoltosa per la dispersione di  $G_0$ .

Tenendo conto delle prove SPT si ottiene una stima cautelativa:

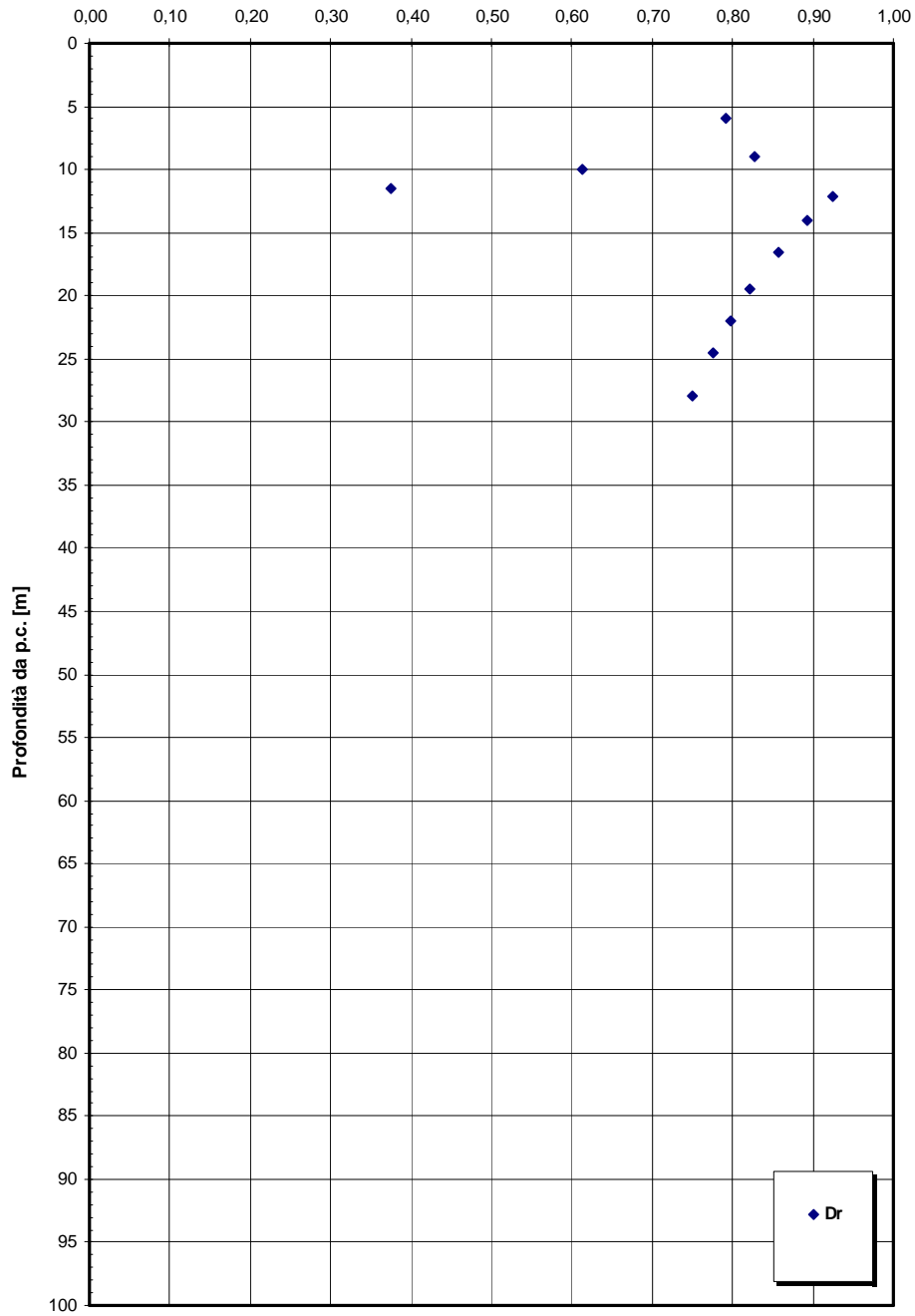
<b><math>G_0</math> (MPa)</b>	<b><math>E_0</math> (MPa)</b>	<b><math>E'</math> (MPa)</b>
$60 z^{0.55}$	$144 z^{0.55}$	$(19-48) z^{0.55}$

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

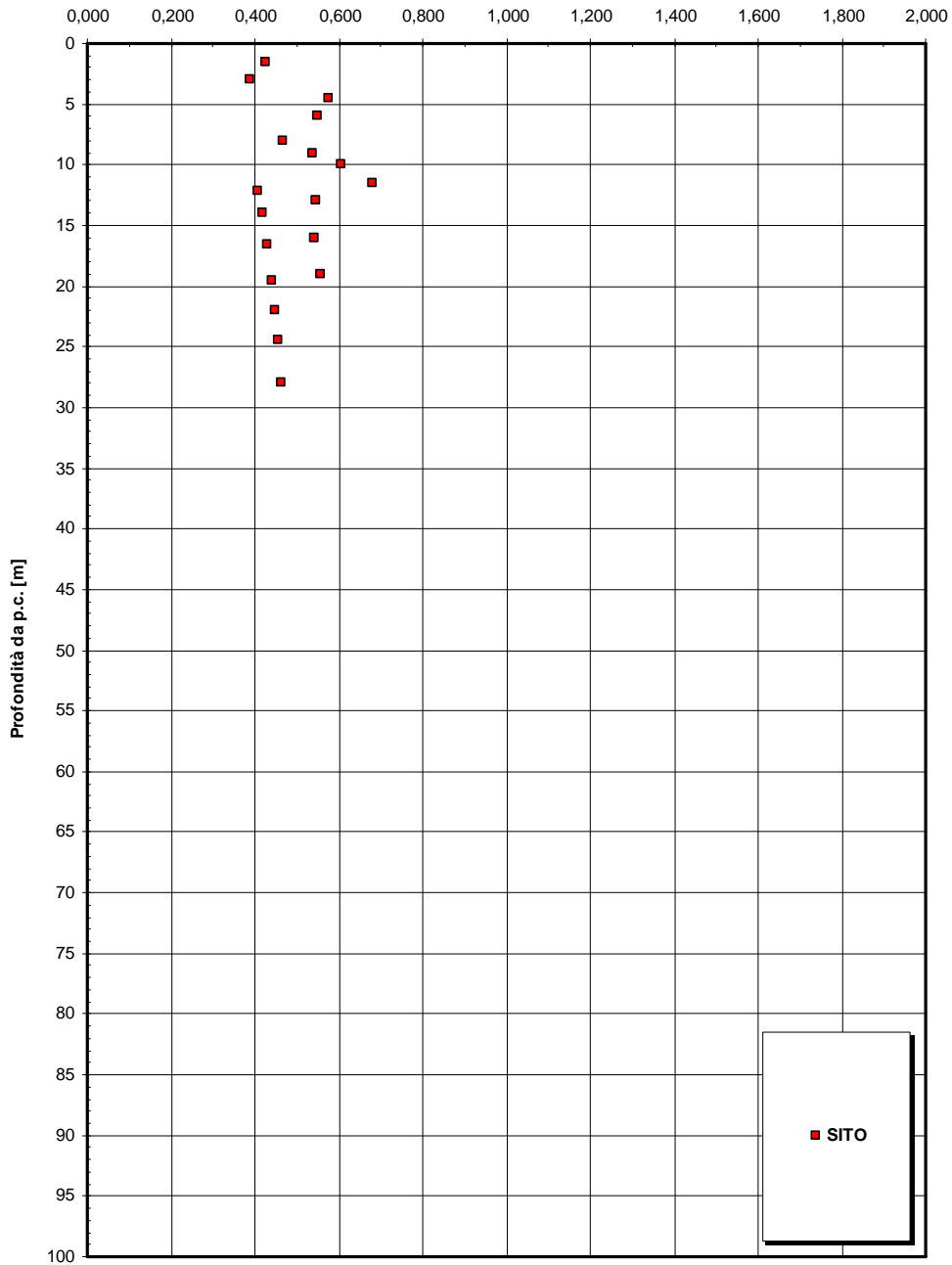
**Sabbie e ghiaie di Messina**

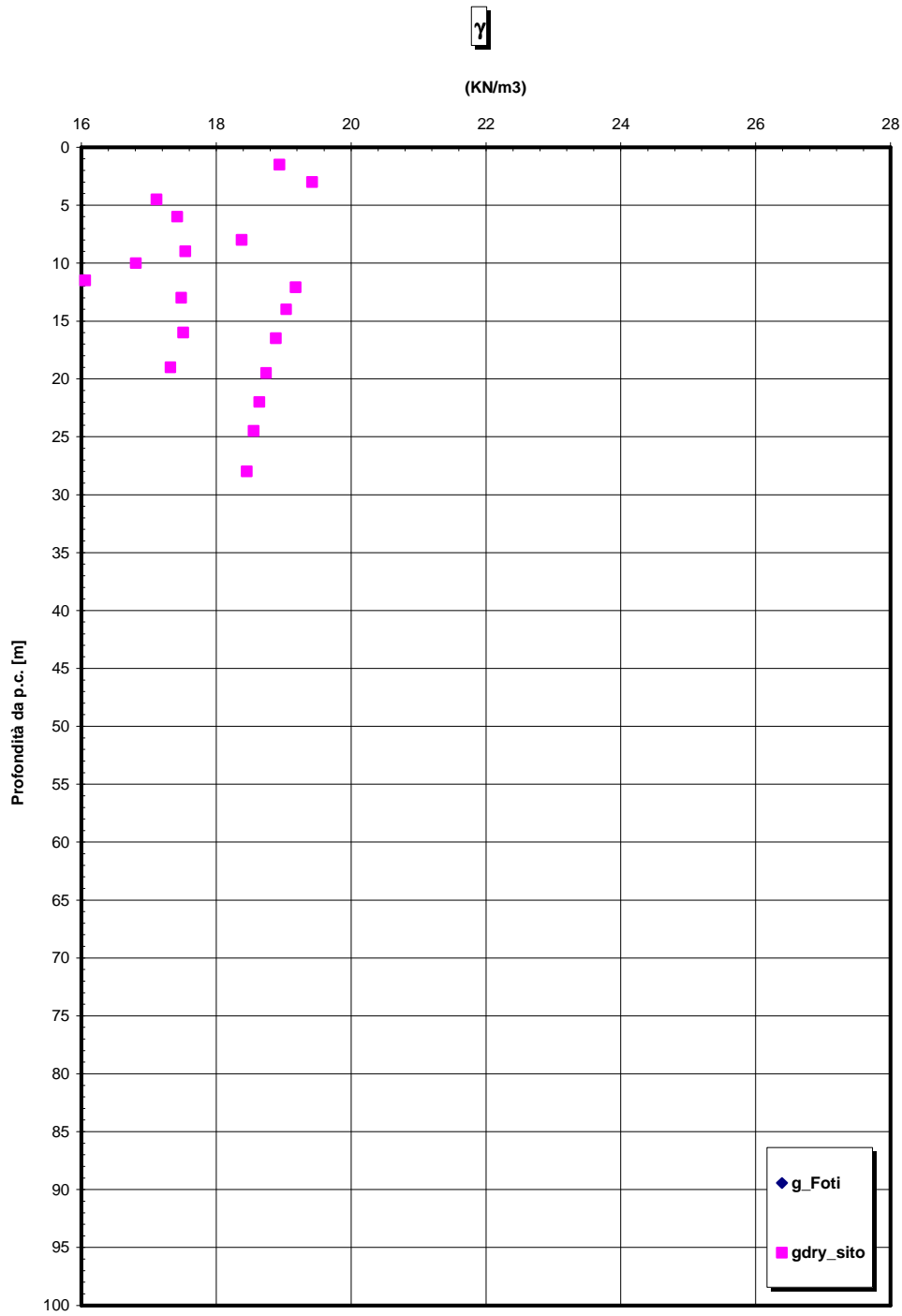


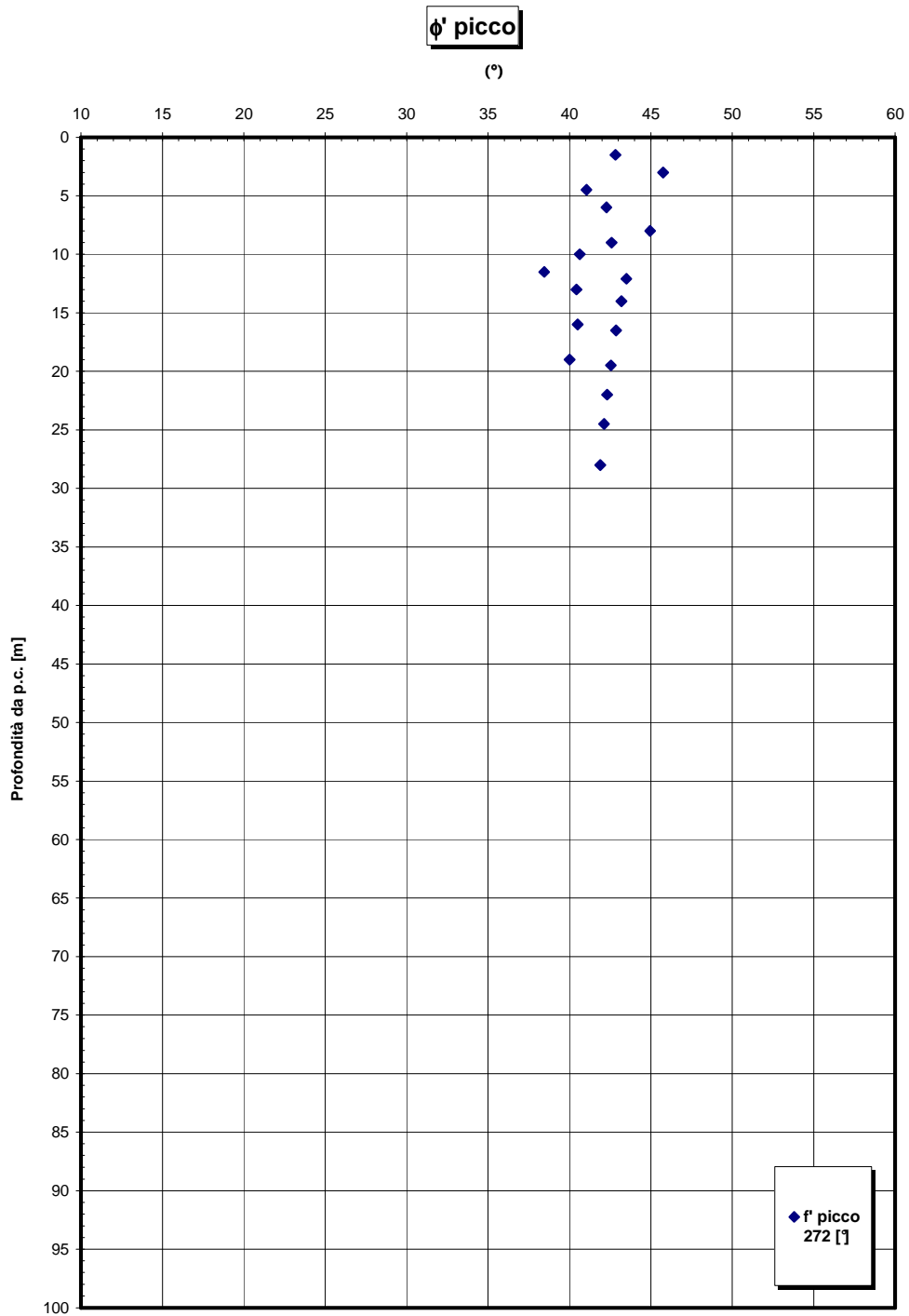
**Dr sabbie e ghiaie**



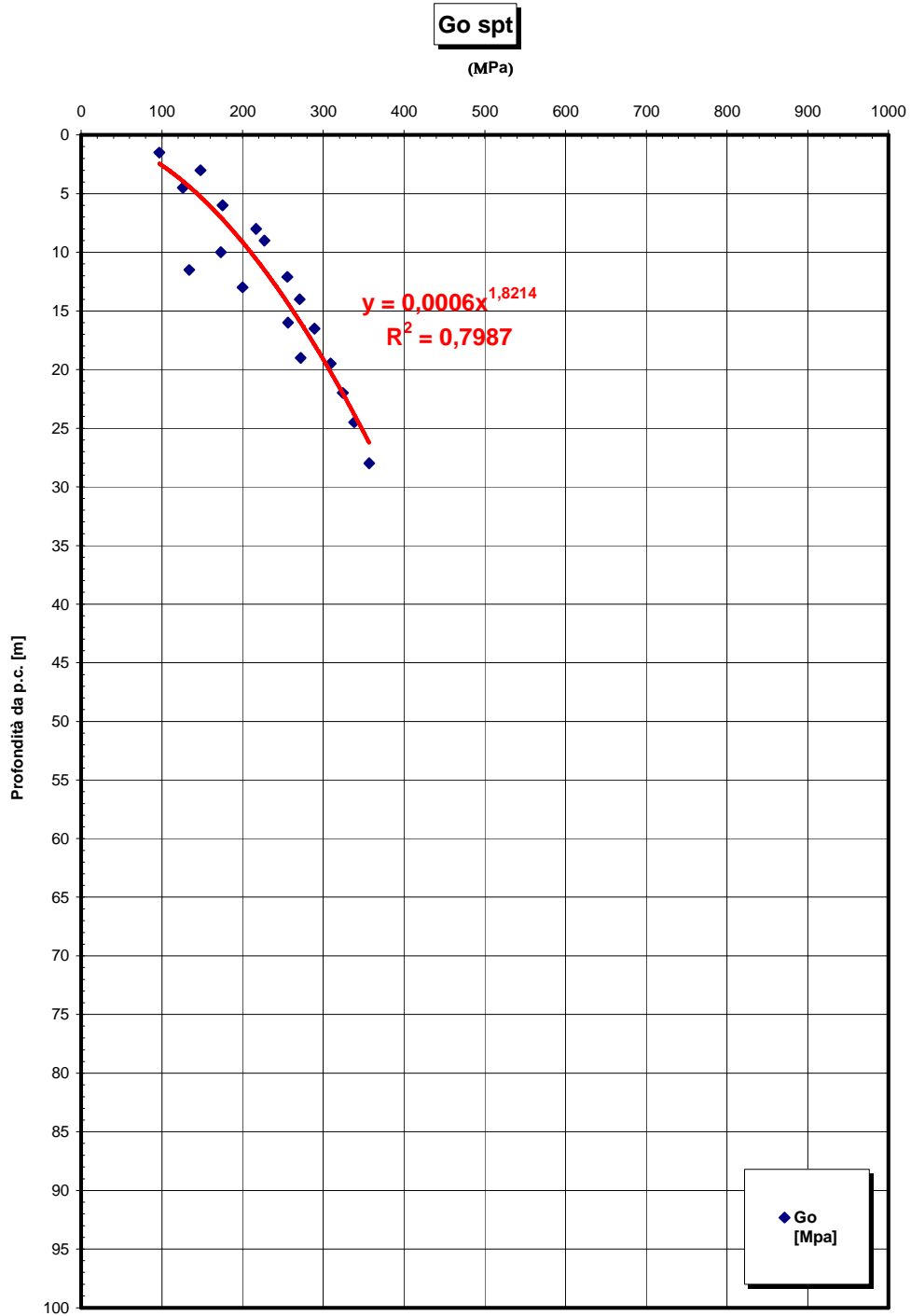
eo











		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 6 Caratteristiche dei materiali

Per la progettazione delle opere di sostegno e della galleria artificiale in oggetto, si sono utilizzati i seguenti materiali:

*Calcestruzzo per diaframmi e travi di testa* : C 25/30

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

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

*Miscela cementizie per iniezione tiranti:* resistenza a compressione a 28gg:  $f_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$   
Cemento: 42.5R

(\*) In alternativa all'acciaio, le armature dei pali della paratia 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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 7 Verifiche delle opere provvisionali di imbocco

### 7.1 Modello di calcolo

Nella presente relazione di calcolo è stato utilizzato il programma *Paratie* v. 7.0 per il calcolo delle sollecitazioni e delle deformazioni nelle paratie.

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

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

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

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

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

Le due componenti di sforzo verticale ed orizzontale vengono intese come sforzi principali. Viene definita una funzione di plasticità dipendente da esse, e la funzione anzidetta determina i confini di una regione entro la quale è determinato lo stato tensionale. A seconda dello stato in cui l'elemento si trova, esso reagisce con differenti caratteristiche di rigidezza. 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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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.

## 7.2 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.

Considerando che la differenza di quota tra il piano campagna (a monte delle paratie) e il fondo scavo risulta variabile lungo l'intero sviluppo della galleria artificiale, si assume un valore sufficientemente cautelativo per ogni calcolo effettuato; sono stati quindi condotti tre calcoli, di seguito riportati. Le sezioni di calcolo sono indicate nell'immagine seguente.

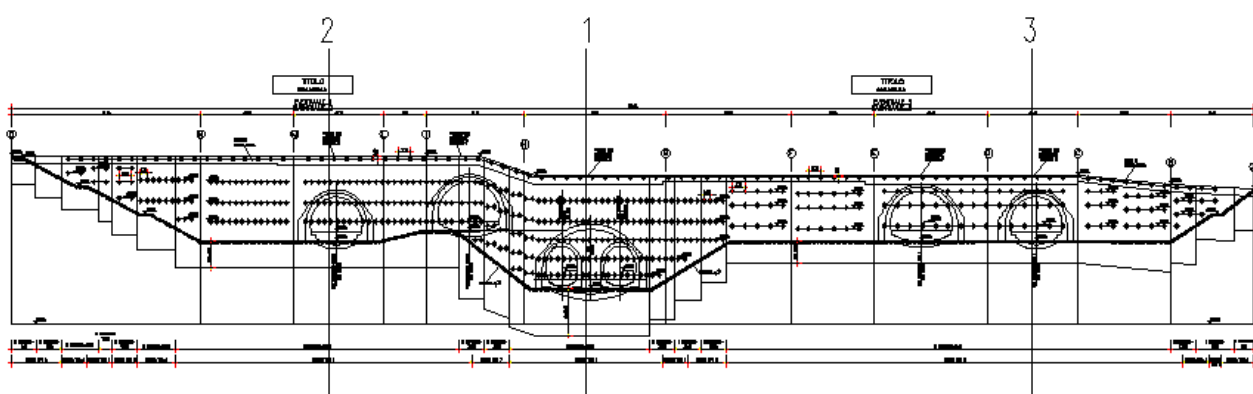


Figura 9 - Indicazione delle sezioni di calcolo

In riferimento ai risultati derivanti dall'inquadramento geologico geomorfologico dell'area in esame si sono dedotti i parametri geotecnici e di spinta; nella valutazione dei coefficienti di spinta si è ipotizzato, a favore di sicurezza, una pendenza media del terreno a tergo della paratia costante (pendio indefinito) e pari a circa 20°. Di seguito si riassumo i parametri di calcolo adottati. Le stratigrafie sono assunte coerentemente alle sezioni stratigrafiche e ai profili presentati in

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO	<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0

precedenza.

Formazione	z [m]	$\gamma$ [KN/m <sup>3</sup> ]	c' [KN/m <sup>2</sup> ]	$\phi'$ [°]	Ka [i=20°]	Kp [i=0°]	E' [MPa]
Conglomerato di Pezzo (1)	0÷15	21	30	38	0.26	4.20	150 - 300
Conglomerato di Pezzo (2)	15÷25	21	60	38	0.26	4.20	300 - 500
Conglomerato di Pezzo (3)	>25	21	100	38	0.26	4.20	300 - 500

Tabella 5- Parametri geotecnici di calcolo, sezione 1

Formazione	z [m]	$\gamma$ [KN/m <sup>3</sup> ]	c' [KN/m <sup>2</sup> ]	$\phi'$ [°]	Ka [i=20°]	Kp [i=0°]	E' [MPa]
Conglomerato di Pezzo (1)	0÷15	21	30	38	0.26	4.20	150 - 300
Conglomerato di Pezzo (2)	15÷25	21	60	38	0.26	4.20	300 - 500
Conglomerato di Pezzo (3)	>25	21	100	38	0.26	4.20	300 - 500

Tabella 6- Parametri geotecnici di calcolo, sezione 2

Formazione	z [m]	$\gamma$ [KN/m <sup>3</sup> ]	c' [KN/m <sup>2</sup> ]	$\phi'$ [°]	Ka [i=20°]	Kp [i=0°]	E' [MPa]
Ghiaie di Messina	0÷6	19	10	38	0.26	4.20	50 - 100
Conglomerato di Pezzo (1)	6÷21	21	30	38	0.26	4.20	150 - 300
Conglomerato di Pezzo (2)	>21	21	60	38	0.26	4.20	300 - 500

Tabella 7- Parametri geotecnici di calcolo, sezione 3

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Nelle analisi numeriche della sezione 1 si è ripercorsa la sequenza costruttiva ipotizzata per l'esecuzione della paratia, attraverso le seguenti fasi operative:

- Fase 1 : Geostatico
- Fase 2: Scavo primo ribasso a quota -1.0 m
- Fase 3 : Messa in opera primo ordine di tiranti a -0.5 m
- Fase 4 : Scavo secondo ribasso a quota a -6.0 m
- Fase 5 :Messa in opera secondo ordine di tiranti a – 5.5 m
- Fase 6 : Scavo terzo ribasso a quota a -10.5 m
- Fase 7: Messa in opera terzo ordine di tiranti a – 10.0 m
- Fase 8: Scavo quarto ribasso a quota a -14.5 m
- Fase 9: Messa in opera quarto ordine di tiranti a – 14.0 m
- Fase 10: Scavo quinto ribasso a quota a -18.5 m
- Fase 11:Messa in opera quinto ordine di tiranti a – 18.0 m
- Fase 12: Scavo sesto ribasso a quota -22.0 m
- Fase 13: Messa in opera sesto ordine di tiranti a quota -21.5 m
- Fase 14: Scavo fino al raggiungimento della quota fondo scavo -24.5 m
- Fase 15: Applicazione carico sismico

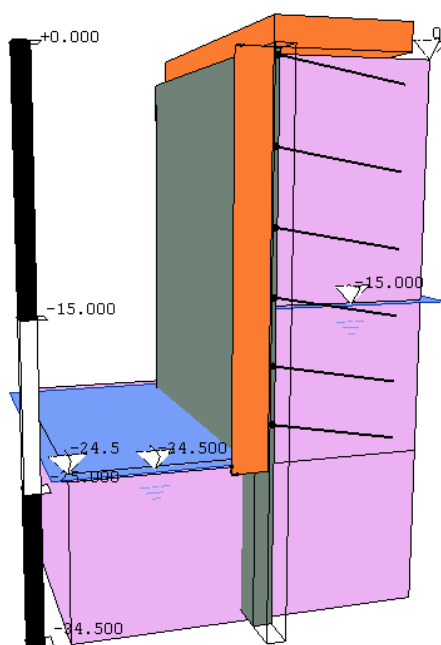


Figura 10 - Modello di calcolo per altezza fuori terra 24.5 m ( sezione 1)



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Nelle analisi numeriche della sezione 2 si è ripercorsa la sequenza esecutiva ipotizzata per la costruzione della paratia attraverso le seguenti fasi operative:

- Fase 1 : Geostatico
- Fase 2: Scavo primo ribasso a quota -1.0 m
- Fase 3 : Messa in opera primo ordine di tiranti a -0.5 m
- Fase 4 : Scavo secondo ribasso a quota a -6.0 m
- Fase 5 :Messa in opera secondo ordine di tiranti a – 5.5 m
- Fase 6 : Scavo terzo ribasso a quota a -10.5 m
- Fase 7: Messa in opera terzo ordine di tiranti a – 10.0 m
- Fase 8: Scavo quarto ribasso a quota a -14.5 m
- Fase 9: Messa in opera quarto ordine di tiranti a – 14.0 m
- Fase 10: Scavo fino al raggiungimento della quota scavo a -18.2 m
- Fase 11: Applicazione carico sismico

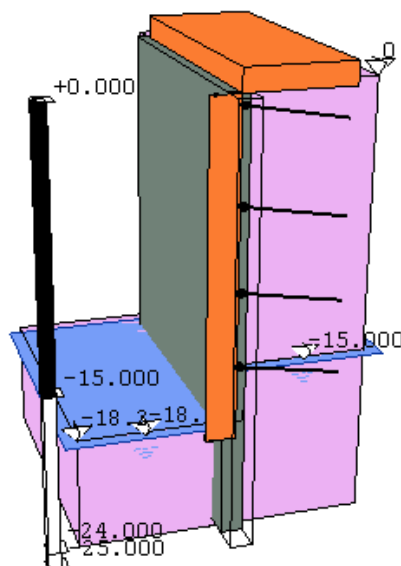


Figura 11 - Modello di calcolo per altezza fuori terra 18.2 m (sezione 2)

Nelle analisi numeriche della sezione 3 si è ripercorsa la sequenza costruttiva ipotizzata per l'esecuzione della paratia, attraverso le seguenti fasi operative:

- Fase 1 : Geostatico

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- Fase 2: Scavo primo ribasso a quota -1.0 m
- Fase 3 : Messa in opera primo ordine di tiranti a -0.5 m
- Fase 4 : Scavo secondo ribasso a quota a -4.0 m
- Fase 5 :Messa in opera secondo ordine di tiranti a – 3.5 m
- Fase 6 : Scavo terzo ribasso a quota a -7.0 m
- Fase 7: Messa in opera terzo ordine di tiranti a – 6.5 m
- Fase 8: Scavo quarto ribasso a quota a -11.5 m
- Fase 9: Messa in opera quarto ordine di tiranti a – 11.0 m
- Fase 10: Scavo fino al raggiungimento della quota fondo scavo -14.0 m
- Fase 11: Applicazione carico sismico

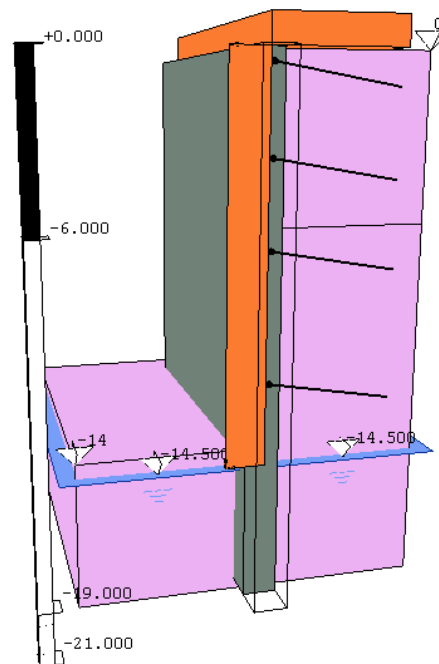


Figura 12 - Modello di calcolo per altezza fuori terra 14.0 m ( sezione 3)

Durante le fasi di esecuzione dell'opera il fondo scavo è stato considerato sempre asciutto, in ragione anche dei valori di permeabilità del substrato. In ogni caso, laddove si verificasse la necessità, si adotteranno in sede esecutiva accorgimenti tali al mantenimento del piano di lavoro in condizioni asciutte.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 7.3 Criteri di verifica

La verifica dell'opera di sostegno è stata effettuata secondo un approccio agli Stati Limite, analizzando sia lo stato limite ultimo, con riferimento a quanto indicato nel Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14.01.2008 - Testo Unico "Norme Tecniche per le Costruzioni".

Il D.M. 2008 T.U. segue l'approccio agli Stati Limite degli Eurocodici: la sicurezza e la prestazione di un'opera devono essere valutati in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la sua vita nominale, Stati Limite Ultimi (S.L.U.), secondo il metodo semiprobabilistico basato sull'impiego dei "coefficienti parziali di sicurezza".

#### 7.3.1 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  $\gamma_f$ , mentre  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico, valutato con riferimento ai coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno  $\gamma_m$ .

Per la verifica delle paratie la condizione  $E_d \leq R_d$  deve essere rispettata impiegando due combinazioni di gruppi di coefficienti parziali per le azioni e per i parametri geotecnici (A1+M1 e A2+M2). In particolare la combinazione A1+M1 risulta rilevante per stabilire la capacità strutturale delle opere che interagiscono con il terreno, mentre la combinazione A2+M2 determina il dimensionamento geotecnico.

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

Tabella 8- Coefficienti Parziale per le azioni o per l'effetto delle azioni

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

Tabella 9 – Coefficienti Parziali per i parametri geotecnici del terreno

R1	R2	R3
1.0	1.0	1.1

Tabella 10 - 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	$\gamma$ [KN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [KN/m <sup>2</sup> ]	$\phi'$ [°]	$K_a$ [ $i=20^\circ$ ]	$K_p$ [ $i=0^\circ$ ]	$E'$ [MPa]
Ghiaie di Messina	19	10	38	0.26	4.20	50 - 100
Conglomerato di Pezzo (1)	21	30	38	0.26	4.20	150 - 300
Conglomerato di Pezzo (2)	21	60	38	0.26	4.20	300 - 500
Conglomerato di Pezzo (3)	21	100	38	0.26	4.20	300 - 500

Tabella 11 - Parametri di calcolo adottati nella combinazione A1+M1 (STRU) e E1+E2 (Esercizio)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Formazione	$\gamma$ [KN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [KN/m <sup>2</sup> ]	$\phi'$ [°]	$K_a$ [i=20°]	$K_p$ [i=0°]	$E'$ [MPa]
Ghiaie di Messina	19	8	32	0.36	3.25	50 - 100
Conglomerato di Pezzo (1)	21	24	32	0.36	3.25	150 - 300
Conglomerato di Pezzo (2)	21	48	32	0.36	3.25	300 - 500
Conglomerato di Pezzo (3)	21	80	32	0.36	3.25	300 - 500

Tabella 12- Parametri di calcolo adottati nella combinazione A2+M2 (GEO)

Per quanto riguarda i tiranti (cap. 6.6 del Testo Unico 2008), ai fini della verifica della fondazione di ancoraggio, la condizione  $E_d \leq R_d$  deve essere rispettata confrontando l'azione di progetto (calcolata moltiplicando il tiro massimo del tirante per un coefficiente  $\gamma_f = 1,3$ , per la combinazione A1+M1+R3) con una resistenza  $R_d$  calcolata come

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}$$

dove  $\gamma_R$  è il coefficiente parziale per la resistenza di ancoraggi pretesi

Il valore caratteristico della resistenza allo sfilamento è stato valutato applicando dei coefficienti correttivi ai valori caratteristici della resistenza del terreno. Cautelativamente tale valore riduttivo è stato posto pari ad 1.8, pertanto si ha che:

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

Con :

$$\xi_{a3} = 1.8$$

### 7.3.2 Stati limite di esercizio

La verifica allo stato limite di esercizio è stata condotta ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni ed impiegando i parametri geotecnici e le resistenze e le resistenze di progetto (vedi tabelle).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

condizione	Coeff. Parzia $\gamma_f$	
	Permanenti	Temporanei
E 1	1,0	1,00

Tabella 13 - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni per gli SLE

Condizione	Coeff. Parziale $\gamma_m$		
	$\tan \phi'$	$c'$	cu
E2	1,0	1,0	1,0

Tabella 14 - 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

### 7.3.3 Verifica dei trefoli

La tensione massima di esercizio nel tirante deve essere tale da rispettare la relazione  $E_d \leq R_d$ , dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'azione (pari all'azione nominale) mentre  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza calcolato come:

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

con:

$A_{tr}$  = area nominale del trefolo;

$n$  = numero dei trefoli (da 0,6") del tirante;

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

dove:

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

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

### 7.3.4 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 15 - Stati limite considerati nel progetto

## 7.4 Definizione dei carichi agenti

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

### 7.4.1 Spinta del Terreno

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

Nelle analisi effettuate tali coefficienti sono stati impiegati sulla base di quanto dedotto come spiegato nel paragrafo precedente.

Nelle analisi effettuate si è ipotizzato un coefficiente d'attrito paratia-terreno pari a 0.5 dell'angolo d'attrito interno del terreno nel calcolo di  $K_a$  mentre, cautelativamente, si è considerato nullo il coefficiente di attrito- terreno e nel calcolo di  $K_p$ . Il coefficiente d'attrito è invece stato trascurato in



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

fase sismica, a favore di sicurezza, sia per la spinta attiva che per quella passiva.

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.

#### 7.4.2 Carico accidentale

In aggiunta alla spinta del terreno si è considerato un carico accidentale di 10 KN/m<sup>2</sup> agente in superficie a monte della paratia per simulare la possibile presenza di mezzi d'opera durante le fasi di scavo

#### 7.4.3 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 provvisorie - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

La vita nominale serve per definire la vita di riferimento  $V_R$  sulla quale viene valutata l'azione sismica agente sull'opera in esame:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

dove  $C_U$  rappresenta il valore del coefficiente d'uso della costruzione che, nel caso di opere infrastrutturali ricadenti in classe II (NTC 2008 par. 2.4.2), è pari a 1 (NTC 2008 par.2.4.3 tab. 2.4.I).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Nel caso in cui il Periodo di riferimento fosse inferiore a 35 anni, la norma impone di un  $V_R$  pari a 35 anni.

In base al periodo di riferimento, le norme definiscono la probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{V_R}$  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:

- $V_n = 10$  anni ( tempo di costruzione per opera provvisoria)
- Classe d'uso = II ( opere infrastrutturali)
- $C_u = 1$  (coefficiente d'uso della struttura)

Essendo  $V_R < 10$  anni si assume tale valore pari a 35 anni così come richiesto dalla normativa.

Il valore dell'azione sismica di progetto relativo alle condizioni di stato limite di danno (SLD) è stato calcolato come descritto di seguito.

Posto  $V_R = 35$  anni si ottiene:

STATO LIMITE	$T_R$	$a_g$ [g]	$F_0$	$T^*_c$ [s]
SLO	30	0,062	2,342	0,278
SLD	35	0,068	2,330	0,283
SLV	332	0,213	2,391	0,352
SLC	682	0,292	2,435	0,375

Il valore dell'azione sismica di progetto relativo alle condizioni di stato limite di danno (SLD) è stato calcolato come descritto di seguito.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		Codice documento CS0248_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

Hs=24.5m:

Valutazione azione sismica SLD		
amax	[g]	0.068
F0	[-]	2.330
Tc*	[s]	0.283
Tipo sottosuolo		B
us	[m]	0.050
Ss*St		1.440
α		0.800
β		0.490
α*β		0.392

Hs=18m:

Valutazione azione sismica SLD		
amax	[g]	0.068
F0	[-]	2.330
Tc*	[s]	0.283
Tipo sottosuolo		B
us	[m]	0.050
Ss*St		1.440
α		0.950
β		0.490
α*β		0.466

Hs=14m

Valutazione azione sismica SLD		
amax	[g]	0.068
F0	[-]	2.330
Tc*	[s]	0.283
Tipo sottosuolo		B
us	[m]	0.050
Ss*St		1.440
α		0.980
β		0.490
α*β		0.481

Accelerazione orizz. di progetto		
aH	[g]	0.038

(\*)

Accelerazione orizz. di progetto		
aH	[g]	0.046

Accelerazione orizz. di progetto		
aH	[g]	0.047

Dove:  $a_H = a_{max} \cdot S_s \cdot S_T \cdot \alpha \cdot \beta$

Il valore dell'azione sismica di progetto relativo alle condizioni di stato limite di salvaguardia della vita umana (SLV) è stato calcolato come descritto di seguito.

Hs=24.5m:

Valutazione azione sismica SLV		
amax	[g]	0.213
F0	[-]	2.391
Tc*	[s]	0.352
Tipo sottosuolo		B
us	[m]	0.050
Ss*St		1.440
α		0.800
β		0.490
α*β		0.392

Hs=18m:

Valutazione azione sismica SLV		
amax	[g]	0.213
F0	[-]	2.391
Tc*	[s]	0.352
Tipo sottosuolo		B
us	[m]	0.050
Ss*St		1.440
α		0.950
β		0.490
α*β		0.466

Hs=14m

Valutazione azione sismica SLV		
amax	[g]	0.213
F0	[-]	2.391
Tc*	[s]	0.352
Tipo sottosuolo		B
us	[m]	0.050
Ss*St		1.440
α		0.980
β		0.490
α*β		0.481

Accelerazione orizz. di progetto		
aH	[g]	0.120

(\*)

Accelerazione orizz. di progetto		
aH	[g]	0.143

Accelerazione orizz. di progetto		
aH	[g]	0.147

(\*) Nel calcolo della sezione 1, vista l'importante altezza di scavo, si è considerata, a favore di sicurezza, una spinta sismica ottenuta ammettendo uno spostamento ammissibile pari a 2,5cm. Per il calcolo è stata considerata un'accelerazione orizzontale di progetto pari a 0.046g per gli SLD e 0.143g per gli SLV.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Dove:  $a_H = a_{max} \cdot S_s \cdot S_T \cdot \alpha \cdot \beta$

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

$\alpha$  = coefficiente che tiene conto della deformabilità del terreno;

$\beta$  = coefficiente che tiene conto degli spostamenti ammissibili per il sistema geotecnico;

$S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica;

$S_T$  = coefficiente di amplificazione topografica;

Con  $\alpha \leq 1$  si ammette che l'opera possa subire spostamenti senza cadute di resistenza ( vedi figura di seguito):

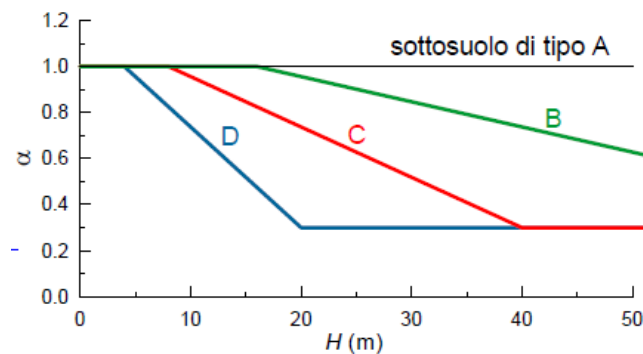


Tabella 16- Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità  $\alpha$

Invece con  $\beta \leq 1$  si ammette che il terreno possa subire spostamenti compatibili con l'opera (vedi figura di seguito), ovvero lo spostamento ammissibile per l'opera deve essere minore di  $0.005 H$  ( $H$  = altezza fuori terra paratia).

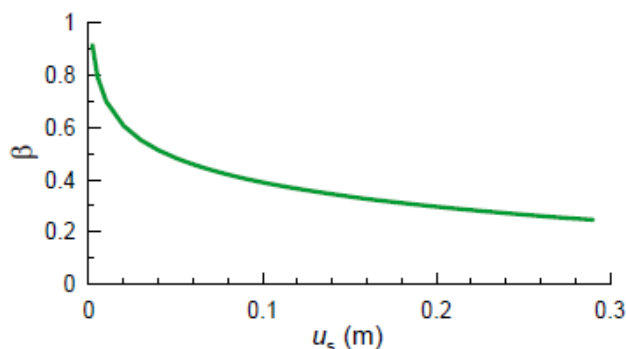


Tabella 17- Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento  $\beta$

Definiti i valori delle accelerazione orizzontale di progetto è stata valutata la spinta sismica del terreno avvalendosi del metodo proposto da Wood:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$\Delta P_d = \left( \frac{a_g}{g} \right) \cdot \gamma \cdot H^2$$

dove:

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

H = altezza fuori terra della paratia

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

#### 7.4.4 Carico idraulico

I livelli piezometrici nella zona di imbocco, riportati nei profili idrogeologici, interferiscono in modo parziale con le opere di sostegno. In particolare dai profili si può evincere una quota di falda che si attesta mediamente tra i -12m e i -18m dal piano campagna nella sezione di imbocco ed evidenza una rapida decrescita procedendo verso l'esterno delle opere, attestandosi lungo lo sviluppo delle artificiali spesso sotto il piano di scavo delle opere.

Le elaborazioni numeriche sono state quindi condotte in presenza di falda acquifera.

Per la sezione 1 e la sezione 2 rappresentative delle sezioni di imbocco delle gallerie ferroviarie e dei rami C e D, la falda statica, in accordo con i profili idrogeologici, si assume posta mediamente alla quota 75-76m s.l.m. Essendo tali sezioni caratterizzate da una quota di imposta paratia pari a 82m s.l.m. e 86m s.l.m, la falda si attesta a -6m e -12m circa da testa diaframma rispettivamente. Per la sezione 3, rappresentativa della sezione di imbocco dei rami A e B, la falda risulta essere alla quota di fondo scavo.

Tenendo conto della temporaneità delle opere di imbocco, delle discontinuità locali tra i diaframmi e del sistema di drenaggio, nelle modellazioni numeriche si è considerato un livello di falda in fase di scavo ridotto e assunto pari a -15m dal piano campagna. Tale assunzione dovrà essere garantita in fase esecutiva dal dimensionamento di dettaglio del sistema di drenaggio, da realizzarsi mediante tubi in PVC microfessurati.

#### 7.5 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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Le armature previste per i diaframmi in corrispondenza delle rispettive sezioni di calcolo sono di seguito indicate:

Sezione di calcolo	As	A's
1	22φ24	18φ24
2	22φ24	18φ24
3	22φ24	18φ24

Tabella 18 - armature dei diaframmi

## 7.5.1 Stato limite di esercizio

### 7.5.1.1 Verifiche a Pressoflessione

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

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

combinazione rara

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

combinazione quasi permanente

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

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

1. Sezione di calcolo 1 (  $H_s = 24.5\text{m}$  )

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<b>Codice documento</b> CS0248_F0	<b>Rev</b> F0	<b>Data</b> 20/06/2011

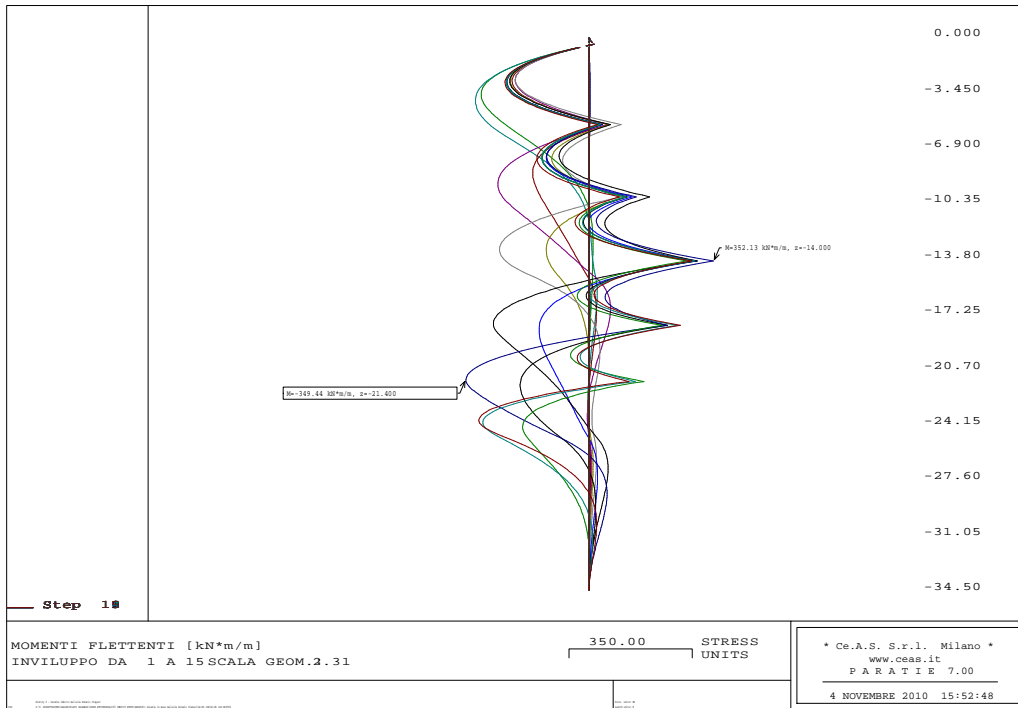


Figura 13 - Combinazione E1+E2 - Momento flettente

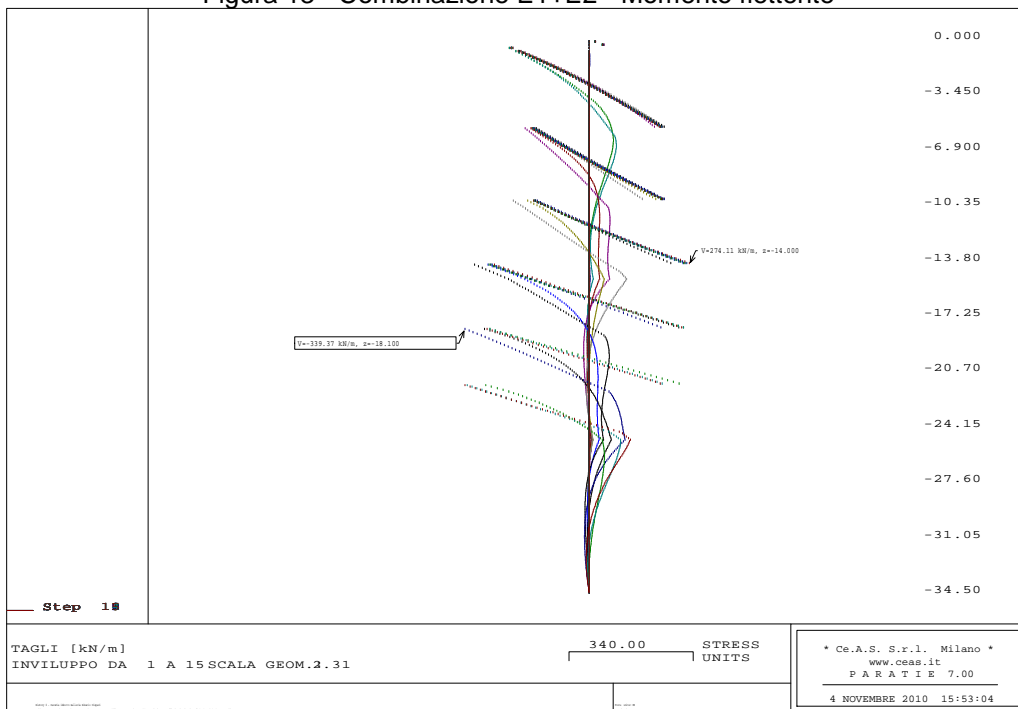


Figura 14 - Combinazione E1+E2 - Sollecitazioni di taglio



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Combinazione	M <sub>SLE</sub> [kNm]	N <sub>SLE</sub> [kN]	σ <sub>cls</sub> [MPa]	σ <sub>s</sub> [MPa]	σ <sub>cls, limite</sub> [MPa]	σ <sub>s, limite</sub> [MPa]
A1+M1_SLE	968	1155	2.24	46.6	11,21	360
A1+M1_SLD	861	1898	2.17	23	11,21	360

Tabella 19 - sezione di calcolo 1 : verifica tensionale

2. Sezione di calcolo 2 ( H<sub>s</sub> =18.2m)

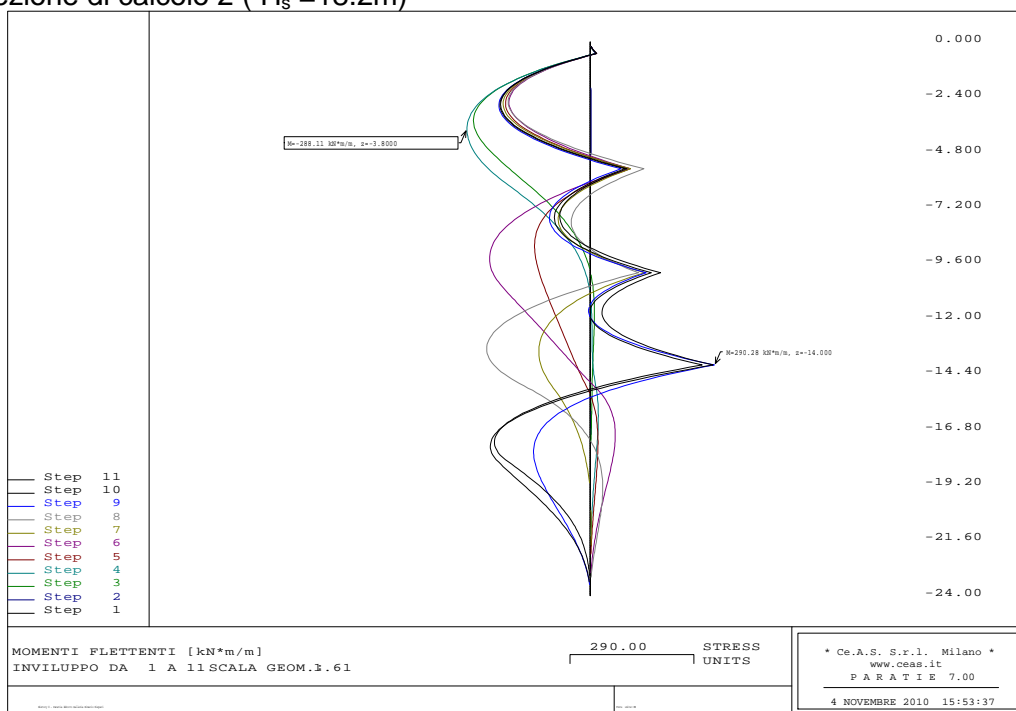


Figura 15 - Combinazione E1+E2 - Momento flettente

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

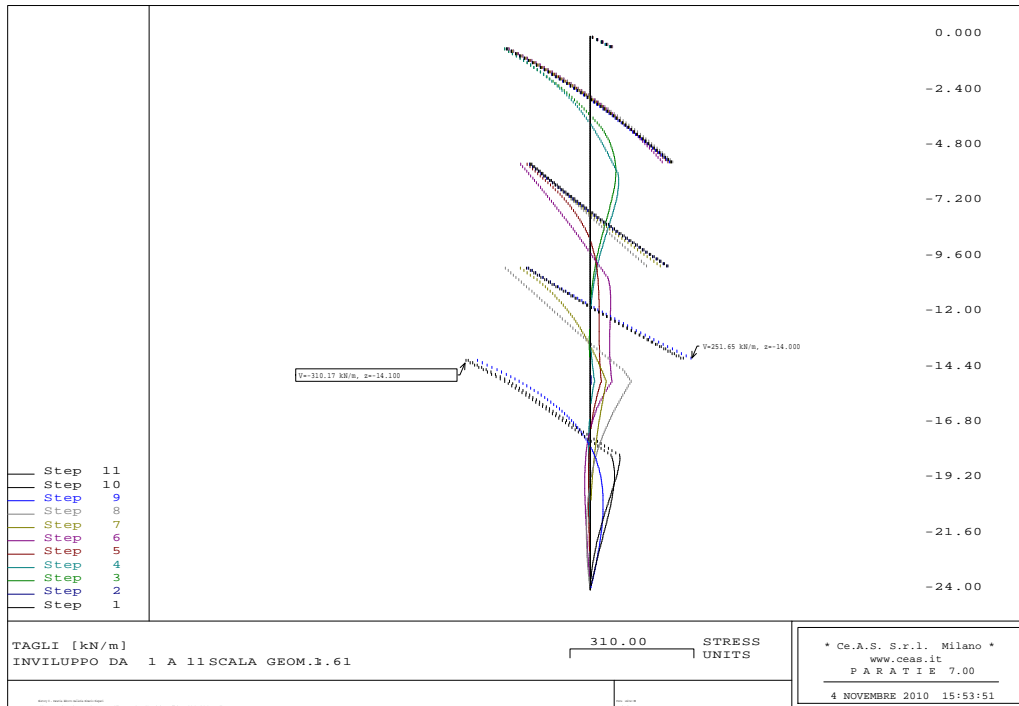


Figura 16 - Combinazione E1+E2 - Sollecitazioni di taglio

Combinazione	M <sub>SLE</sub> [kNm]	N <sub>SLE</sub> [kN]	σ <sub>cls</sub> [MPa]	σ <sub>s</sub> [MPa]	σ <sub>cls, limite</sub> [MPa]	σ <sub>s, limite</sub> [MPa]
A1+M1_SLE	798	1155	1.8	31	11,21	360
A1+M1_SLD	721	1155	1.65	24	11,21	360

Tabella 20 – Sezione di calcolo 2 : verifica tensionale

3. Sezione di calcolo 3 ( H<sub>s</sub> =14.0m)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<b>Codice documento</b> CS0248_F0	<b>Rev</b> F0	<b>Data</b> 20/06/2011

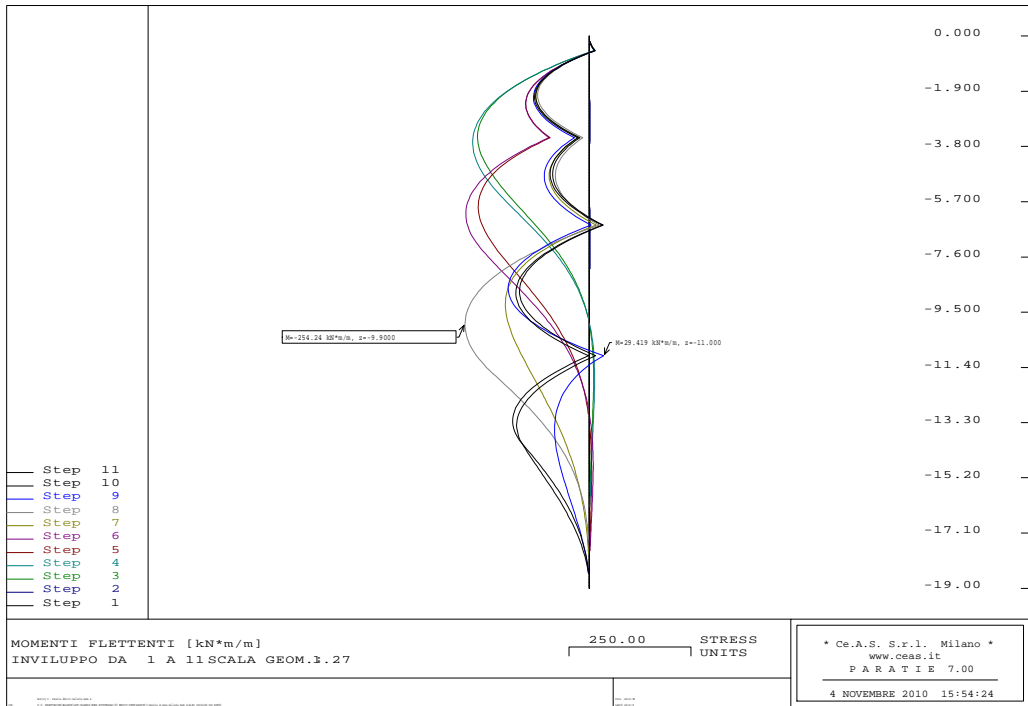


Figura 17 - Combinazione E1+E2 - Momento flettente

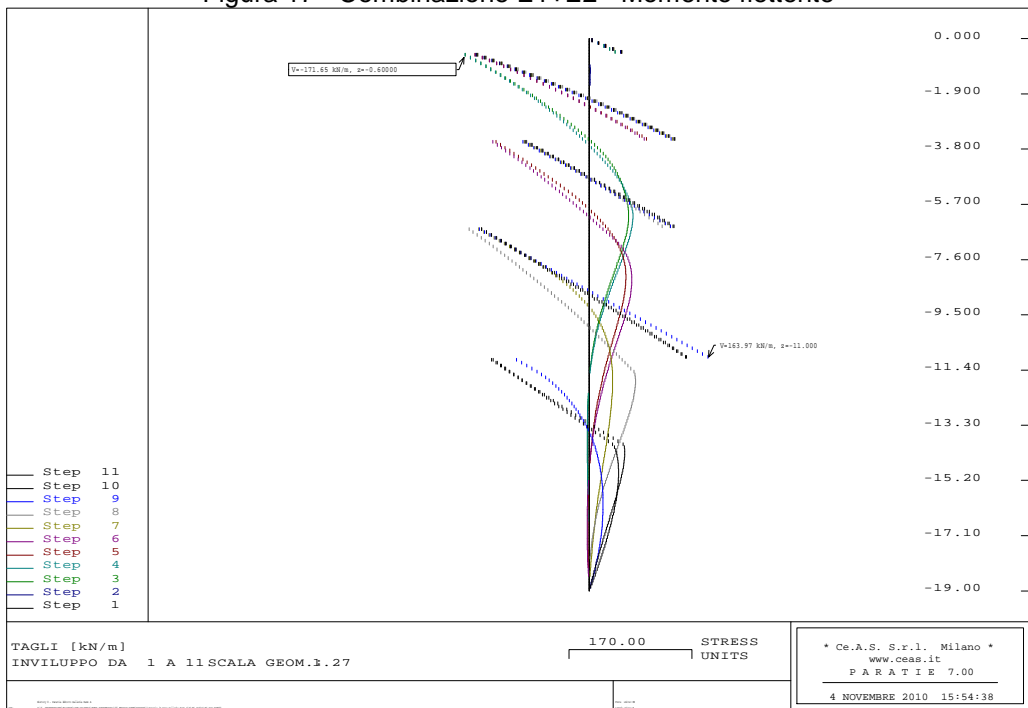


Figura 18 - Combinazione E1+E2 - Sollecitazioni di taglio

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Combinazione	M <sub>SLE</sub> [kNm]	N <sub>SLE</sub> [kN]	σ <sub>cls</sub> [MPa]	σ <sub>s</sub> [MPa]	σ <sub>cls, limite</sub> [MPa]	σ <sub>s, limite</sub> [MPa]
A1+M1_SLE	699	809	1.6	34.5	11,21	360
A1+M1_SLD	432	1073	1.0	6.0	11,21	360

Tabella 21 – Sezione di calcolo 3 : verifica tensionale

Come si evince dalle tabelle, le tensioni dei materiali rientrano entro i limiti previsti dalla normativa di riferimento.

### 7.5.1.2 Analisi degli spostamenti

Il codice di calcolo ha permesso di valutare il regime deformativo della struttura in corrispondenza di ogni fase di calcolo: di seguito sono stati riassunti in forma tabellare e di diagrammi i massimi valori degli spostamenti risultati dall'analisi numerica, sia in condizioni di esercizio (SLE), che in fase sismica (SLD).

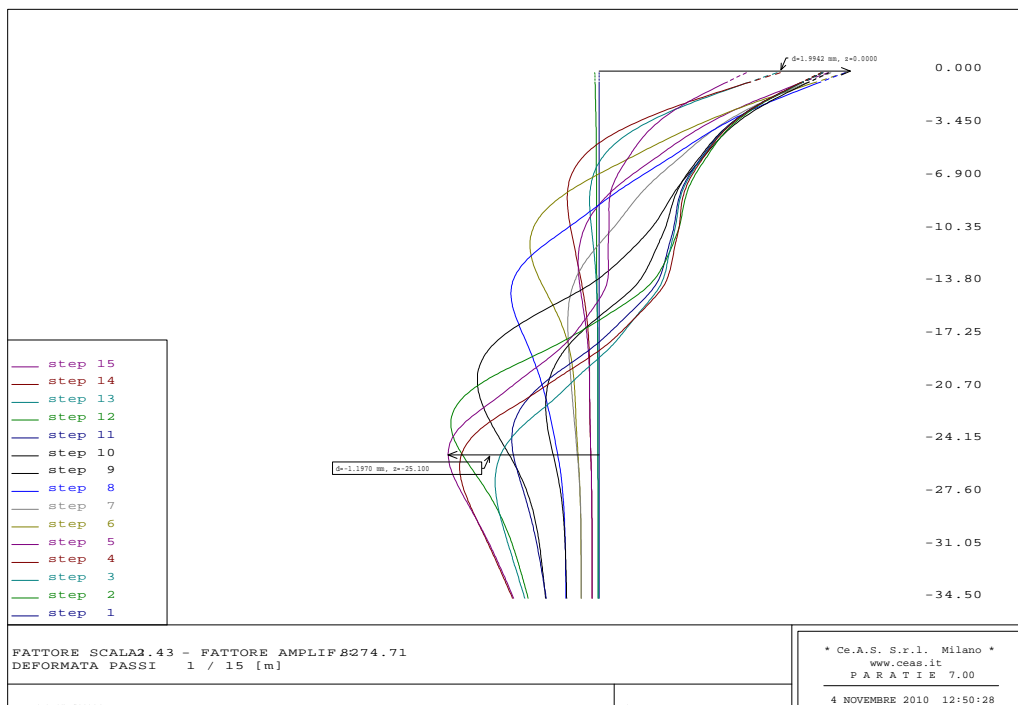


Figura 19 - Sezione di calcolo 1 : Deformata della struttura: fase 14 (SLE), fase 15 (SLD)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<b>Codice documento</b> CS0248_F0	<b>Rev</b> F0	<b>Data</b> 20/06/2011

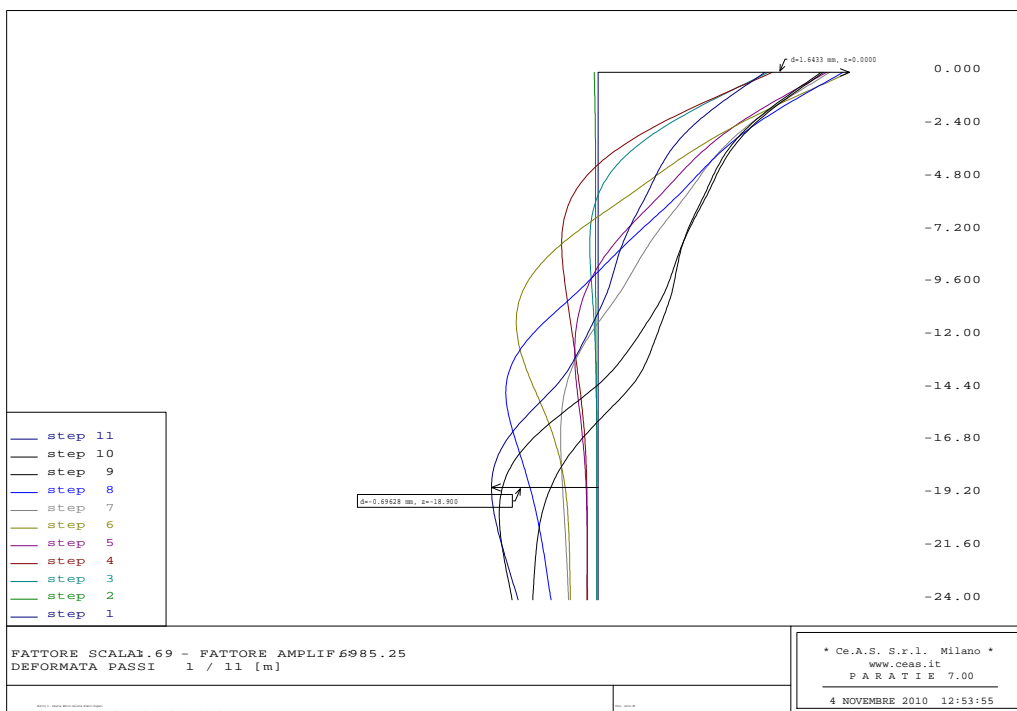


Figura 20 - Sezione di calcolo 2 : Deformata della struttura: fase 10 (SLE), fase 11 (SLD)

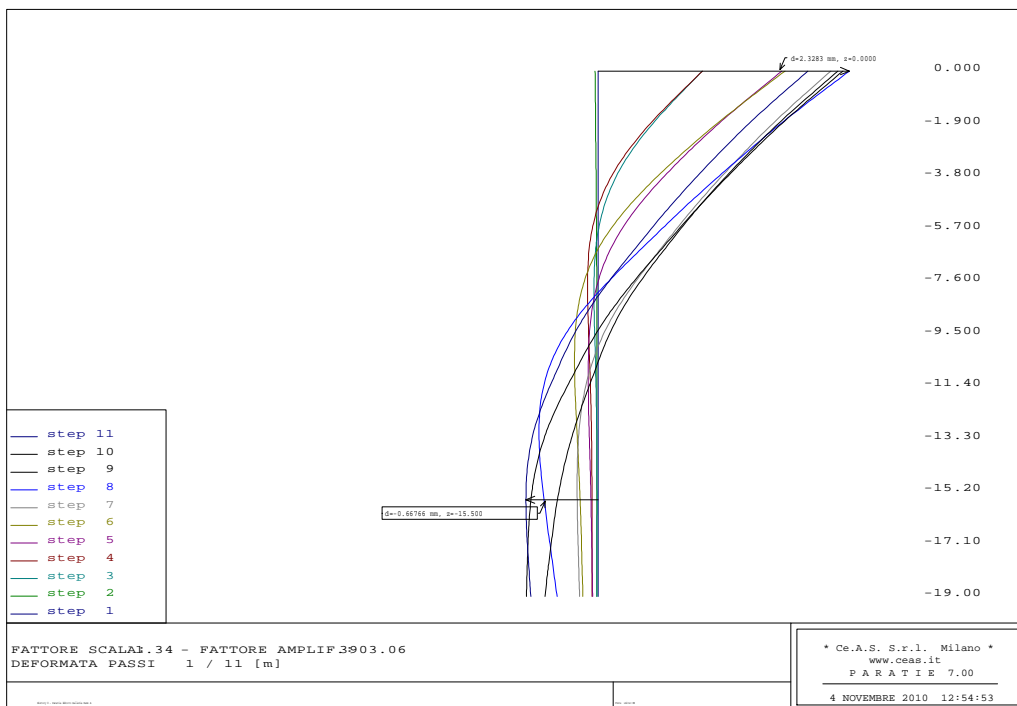


Figura 21 - Sezione di calcolo 3 : Deformata della struttura: fase 10 (SLE), fase 11 (SLD)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

	z [m]	Spostamento max [mm]
Statica (SLE)	0	-1.99
	-23.1	1.18
Sismica (SLD)	0	-1.99
	-25.1	1.19

Tabella 22- Sezione di calcolo 1: spostamenti massimi previsti

	z [m]	Spostamento max [mm]
Statica (SLE)	0	-1.64
	-20.1	0.65
Sismica (SLD)	0	-1.64
	-18.9	0.69

Tabella 23 - Sezione di calcolo 2: spostamenti massimi previsti

	z [m]	Spostamento max [mm]
Statica (SLE)	0	-2.32
	-19.0	0.66
Sismica (SLD)	0	-2.33
	-15.5	0.67

Tabella 24 - Sezione di calcolo 3: spostamenti massimi previsti

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

## 7.5.2 Stato limite ultimo

### 7.5.2.1 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 somma tra il peso della porzione di diaframma sovrastante la sezione considerata e il carico verticale proveniente dalla copertura.

Il momento flettente e l'azione assiale, ottenuti dall'elaborazione numerica ed espressi in KNm/m e

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

KN/m, vengono moltiplicati per 2.75 m (interasse tra i diaframmi). La verifica del diaframma secondario è stata eseguita considerando l'intera sezione armata, mentre la verifica del diaframma primario, la cui sezione viene ridotta nelle fasi di perforazione dei diaframmi secondari, è stata eseguita considerando a favore di sicurezza una sezione rettangolare pari a 120 cm x 270 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	22φ24	18φ24
2	22φ24	18φ24
3	22φ24	18φ24

Tabella 25 - armature dei diaframmi



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<b>Codice documento</b> CS0248_F0	<b>Rev</b> F0	<b>Data</b> 20/06/2011

▪ Sezione di calcolo 1 ( $H_s = 24.5m$ )

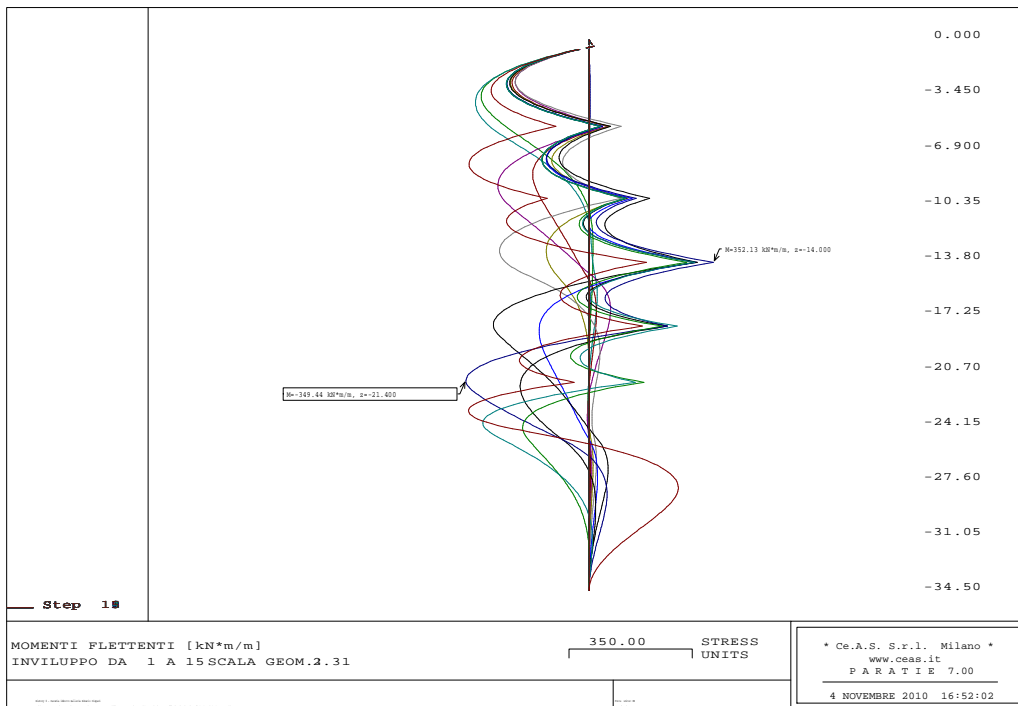
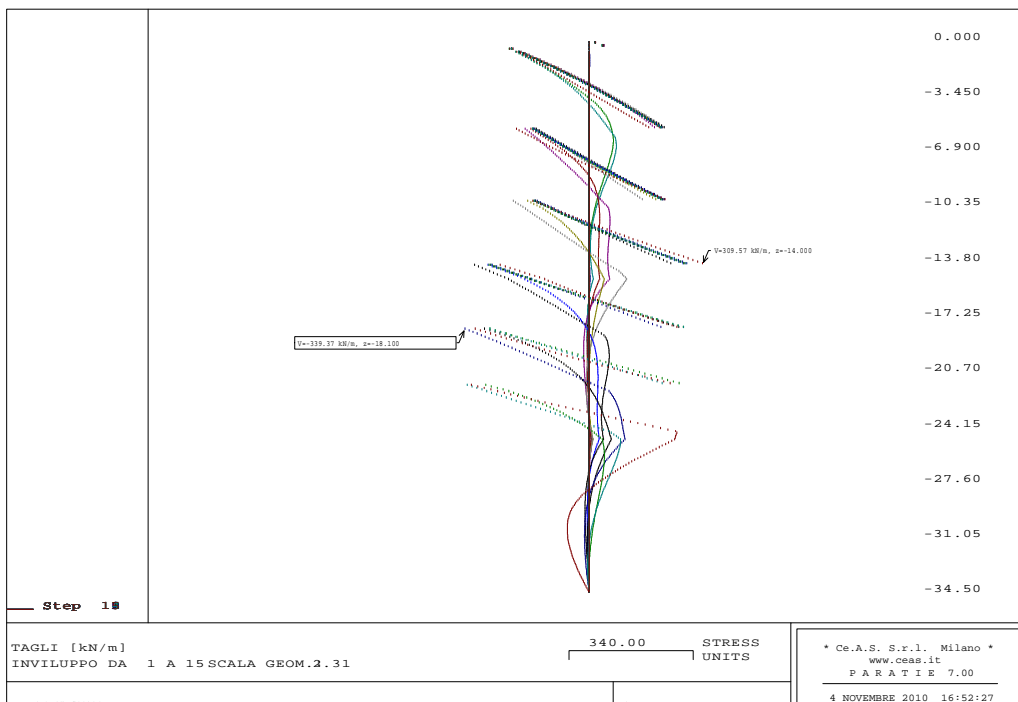


Figura 22 - Combinazione A1+M1 (Statica) e A1+M1 (SLV): Momento flettente



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<b>Codice documento</b> CS0248_F0	<b>Rev</b> F0	<b>Data</b> 20/06/2011

Figura 23 - Combinazione A1+M1 (Statica) e A1+M1 (SLV): Sollecitazioni di taglio

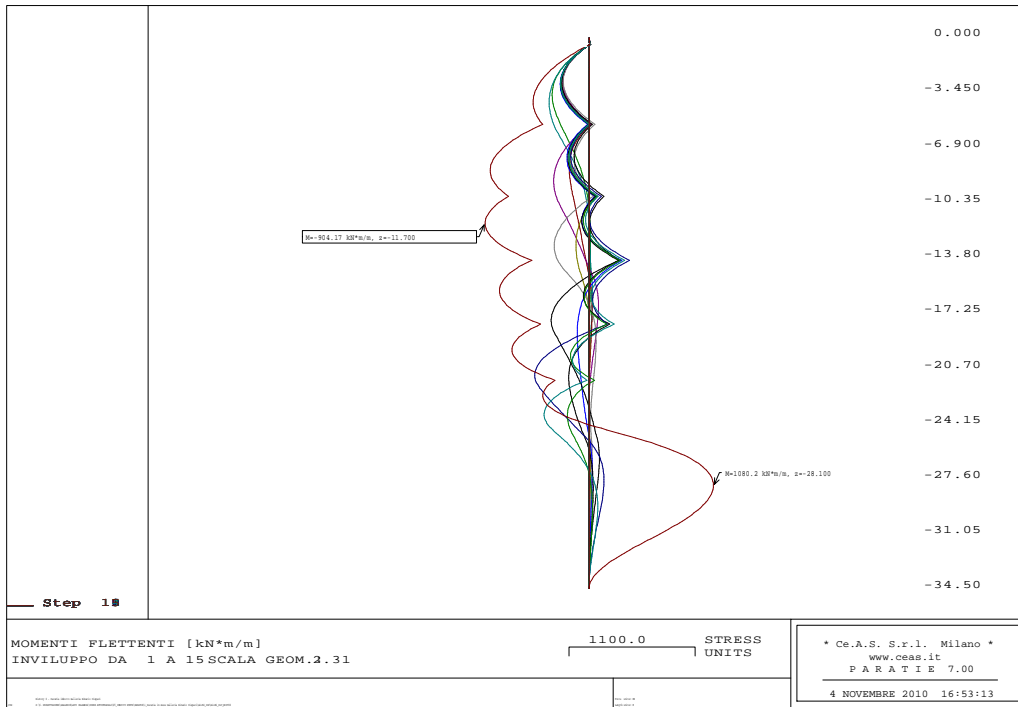
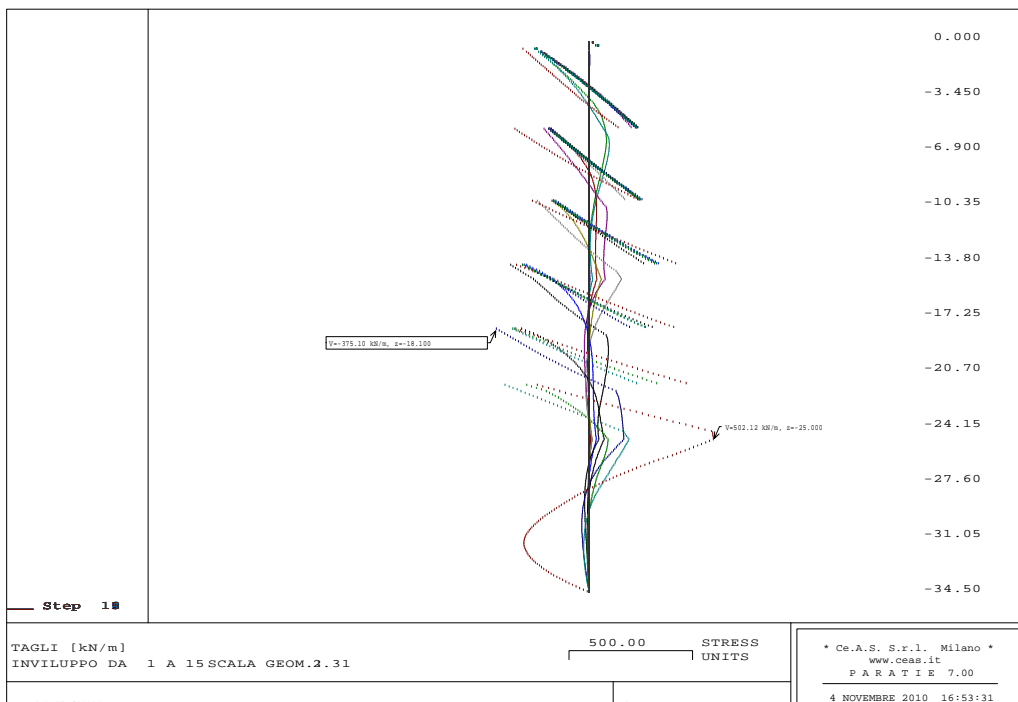


Figura 24 - Combinazione A2+M2 (Statica) e A2+M2 (SLV): Momento flettente



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Figura 25 - Combinazione A2+M2 (Statica) e A2+M2 (SLV): Sollecitazioni di taglio

- Sezione di calcolo 2 ( $H_s = 18.2m$ )

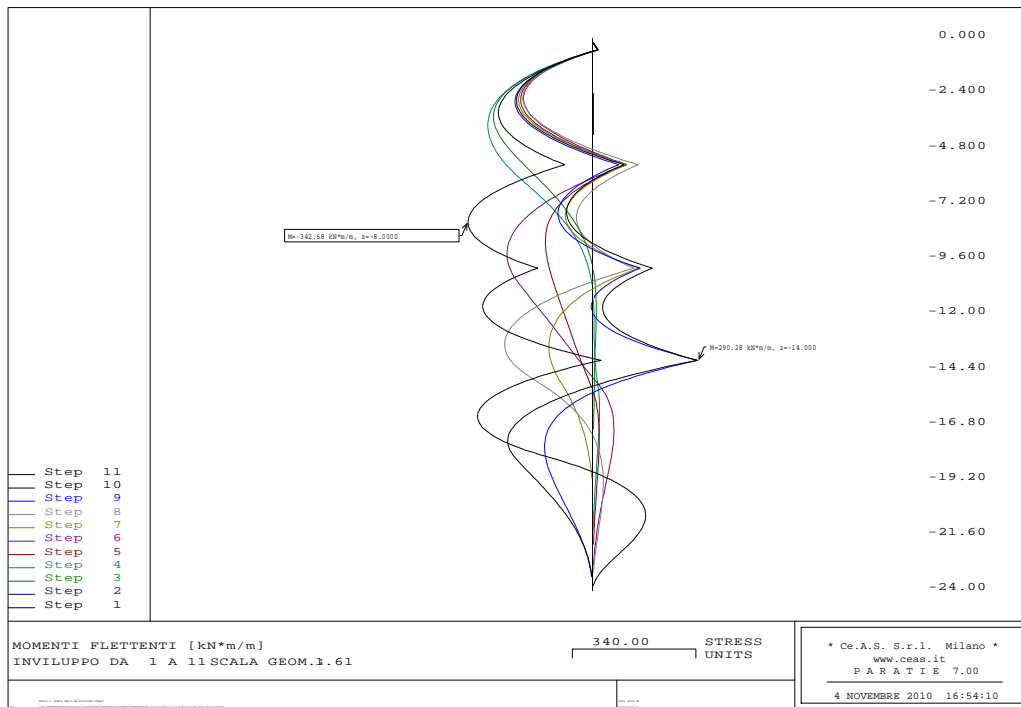


Figura 26 - Combinazione A1+M1 (Statica) e A1+M1 (SLV): Momento flettente

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<b>Codice documento</b> CS0248_F0	<b>Rev</b> F0	<b>Data</b> 20/06/2011

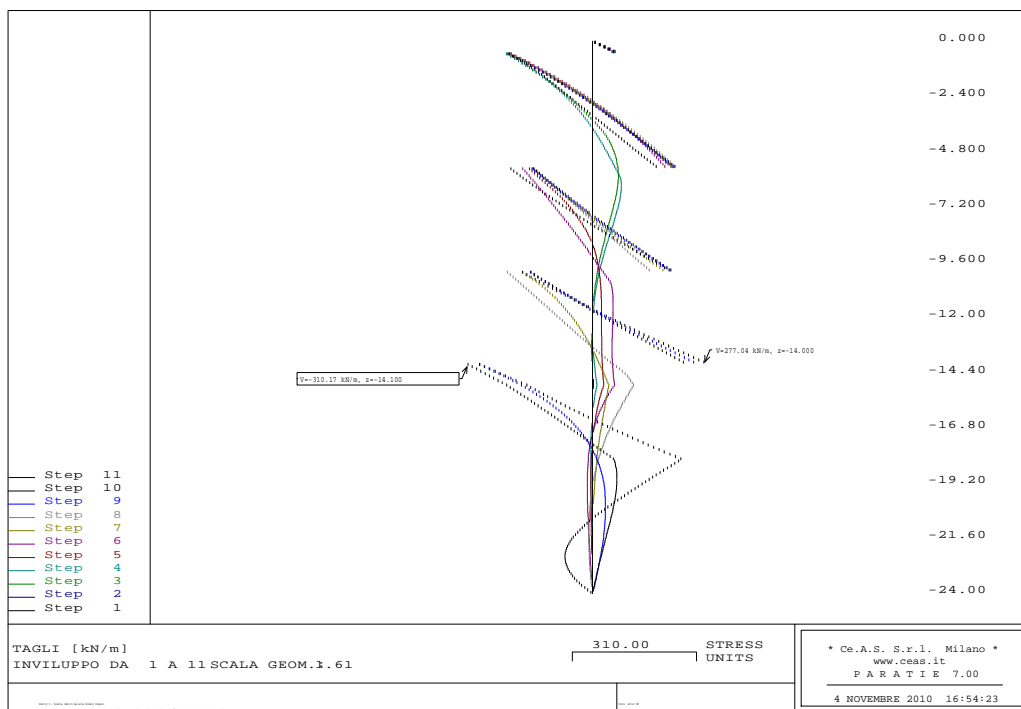


Figura 27 - Combinazione A1+M1 (Statica) e A1+M1 (SLV): Sollecitazioni di taglio

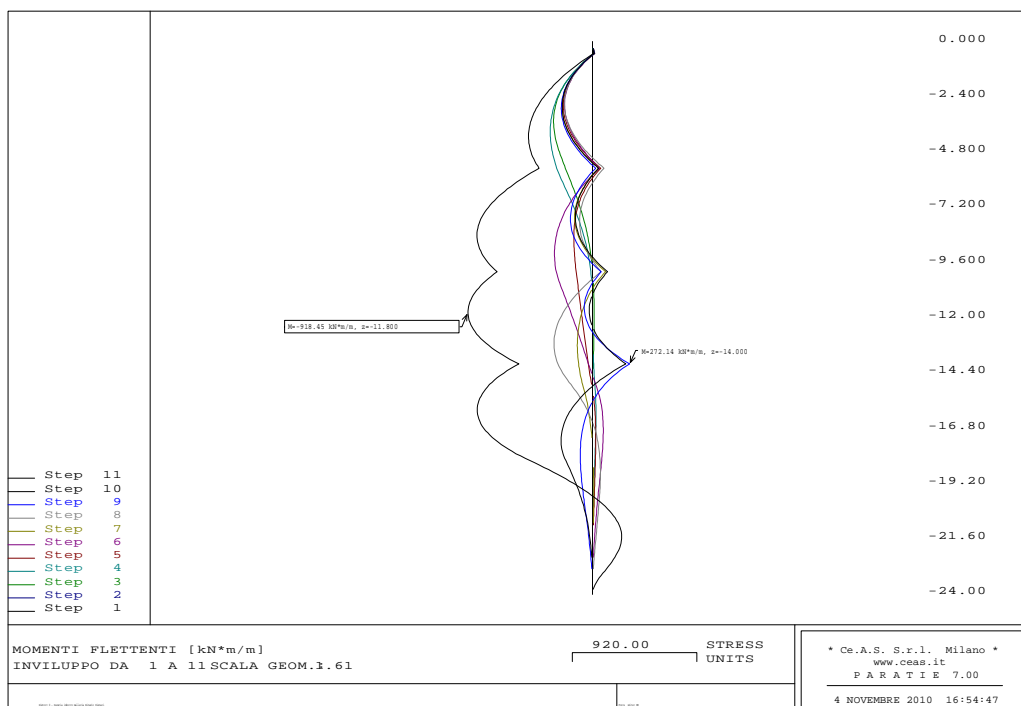


Figura 28 - Combinazione A2+M2 (Statica) e A2+M2 (SLV): Momento flettente

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<b>Codice documento</b> CS0248_F0	<b>Rev</b> F0	<b>Data</b> 20/06/2011

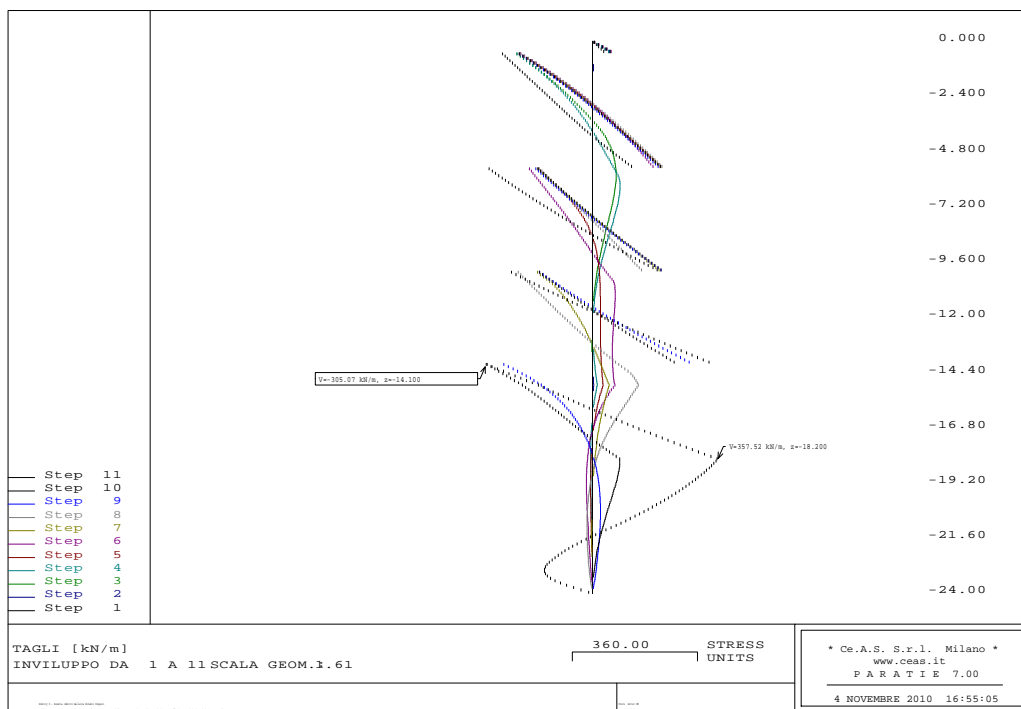


Figura 29 - Combinazione A2+M2 (Statica) e A2+M2 (SLV): Sollecitazioni di taglio

▪ Sezione di calcolo 3 ( $H_s = 14m$ )

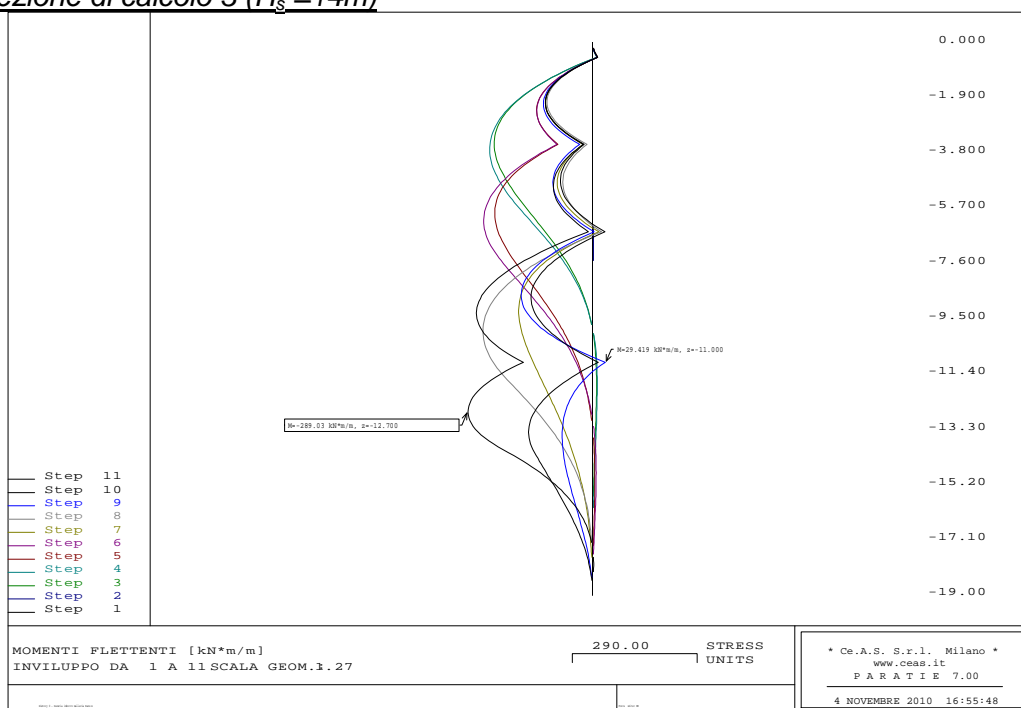


Figura 30 - Combinazione A1+M1 (Statica) e A1+M1 (SLV): Momento flettente

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<b>Codice documento</b> CS0248_F0	<b>Rev</b> F0	<b>Data</b> 20/06/2011

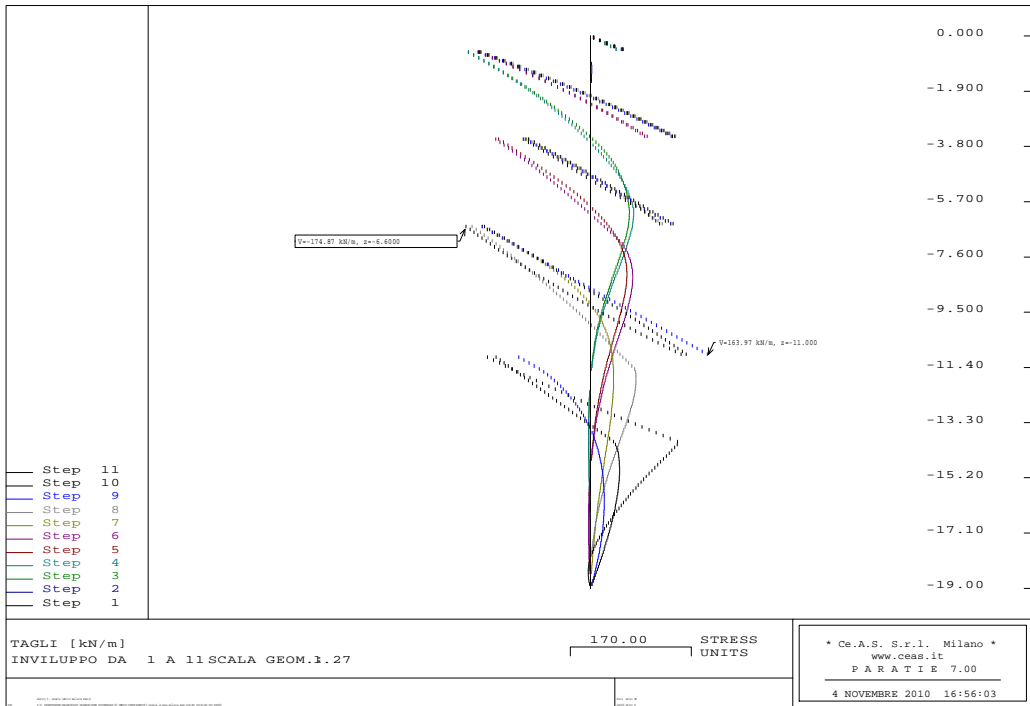


Figura 31 - Combinazione A1+M1 (Statica) e A1+M1 (SLV): Sollecitazioni di taglio

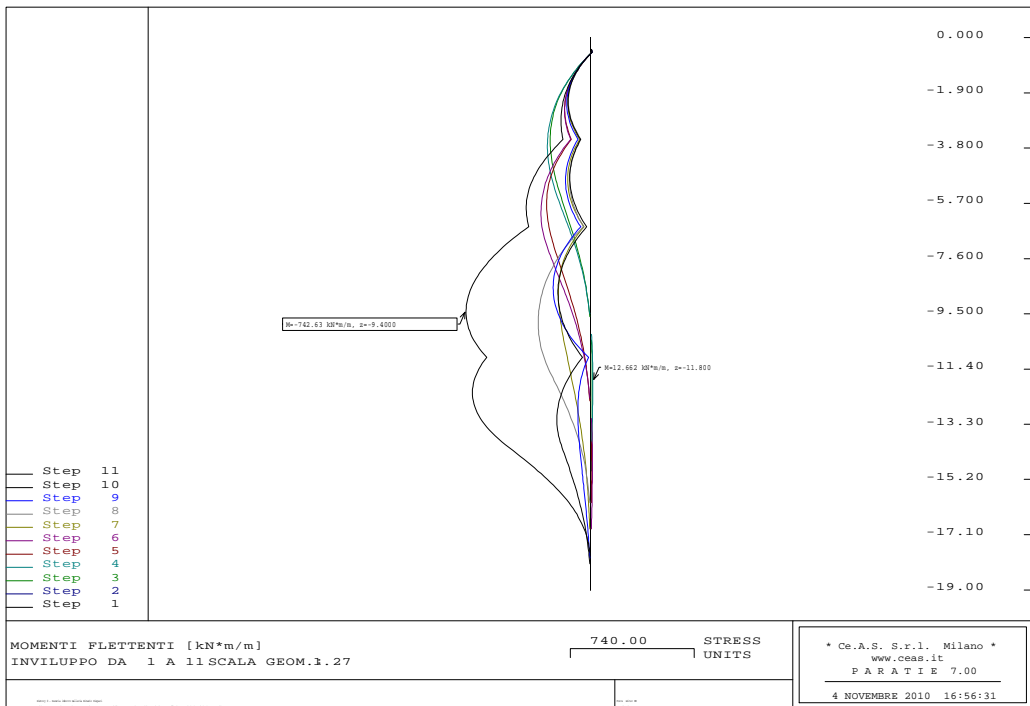


Figura 32 - Combinazione A2+M2 (Statica) e A2+M2 (SLV): Momento flettente

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<b>Codice documento</b> CS0248_F0	<b>Rev</b> F0	<b>Data</b> 20/06/2011

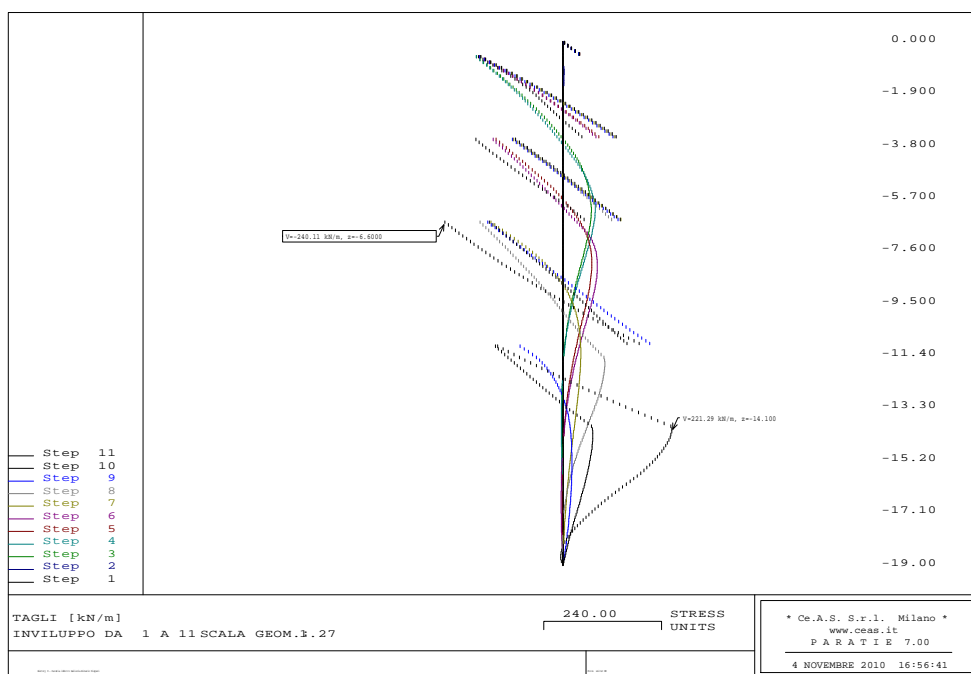


Figura 33 - Combinazione A2+M2 (Statica) e A2+M2 (SLV): Sollecitazioni di taglio

Di seguito si riassume in forma tabellare le sollecitazioni agenti:

Combinazione	M [kNm]	N [kN]
A1+M1_SLU	1258	1502
A1+M1_SLV	935	660
A2+M2_SLU	1304	1733
A2+M2_SLV	2970	2310

Tabella 26 - Verifica a Pressoflessione – Sollecitazioni di Progetto – calcolo 1

Combinazione	M [kNm]	N [kN]
A1+M1_SLU	1037	1502
A1+M1_SLV	943	660
A2+M2_SLU	858	322
A2+M2_SLV	2525	974

Tabella 27 - Verifica a Pressoflessione – Sollecitazioni di Progetto – calcolo 2

Combinazione	M [kNm]	N [kN]
A1+M1_SLU	908	1073
A1+M1_SLV	795	1048
A2+M2_SLU	858	825
A2+M2_SLV	2041	743

Tabella 28 - Verifica a Pressoflessione – Sollecitazioni di Progetto – calcolo 3



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Di seguito si riporta il dominio di resistenza dei diaframmi.

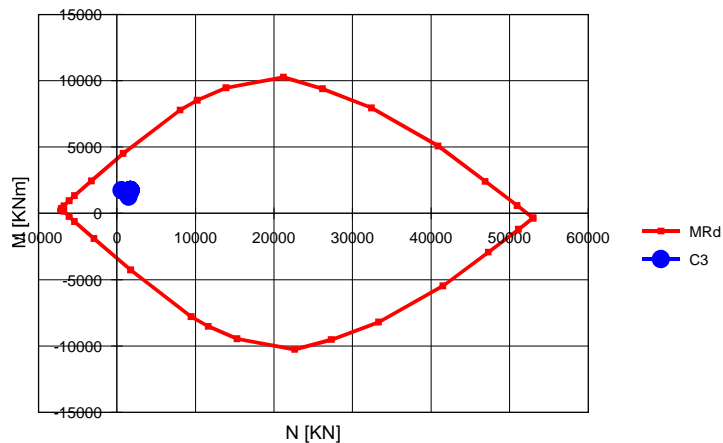


Figura 34 - Verifica a Pressoflessione – Dominio di resistenza – calcolo 1

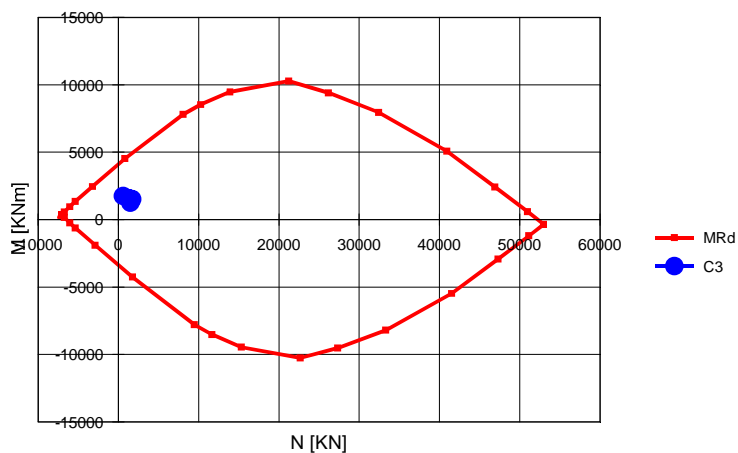


Figura 35 - Verifica a Pressoflessione – Dominio di resistenza – calcolo 2

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

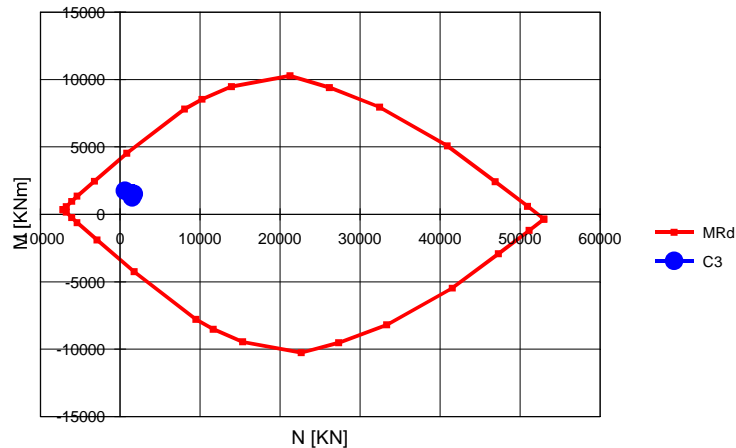


Figura 36 - Verifica a Pressoflessione – Dominio di resistenza – calcolo 3

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.

### 7.5.2.2 Verifiche a taglio

Per quanto riguarda la verifica al taglio allo stato limite ultimo, deve essere:

$$V_{rd} \geq V_{sd}$$

dove:

$V_{rd}$  = azione tagliante resistente di progetto;

$V_{sd}$  = azione tagliante sollecitante di progetto.

In particolare, la resistenza a taglio  $V_{rd}$  è la minore tra la resistenza di calcolo “a taglio trazione” ( $V_{Rsd}$ ) con riferimento all’armatura trasversale e la resistenza di calcolo “a taglio compressione” ( $V_{Rcd}$ ) con riferimento al calcestruzzo d’anima:

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

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

dove:

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

$f_{yd}$  = resistenza a snervamento di progetto;

$\alpha$  = angolo di inclinazione dell’armatura trasversale rispetto all’asse del palo;

$\theta$  = angolo di inclinazione dei puntoni compressi nello schema a traliccio;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$b_w$  = larghezza della sezione ( ipotizzata quadrata ) di area uguale alla sezione del palo;

$d$  = altezza utile della sezione =  $0.9 \cdot b_w$ ;

$A_{sw}$  = area dell'armatura trasversale;

$s$  = passo dell'armatura trasversale;

$\alpha_c$  = coefficiente migliorativo.

Per i diaframmi relativi al calcolo 1 l'armatura trasversale è costituita da staffe a 4 braccia  $\phi$  14 a passo 10 cm nelle sezioni maggiormente sollecitate, e a passo 20 cm nelle zone restanti. Per la disposizione delle armature si rimanda ai relativi elaborati grafici.

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche condotte. Come si può osservare la verifica è sempre soddisfatta, risultando in ogni caso  $V_{sd} < \min(V_{Rcd}; V_{Rsd})$ .

Calcolo	Analisi	$V_{sd}$	Armatura	passo	$V_{Rsd}$	$V_{Rcd}$	$V_{Rd}$
		[KN]	$\phi$ [mm]	[cm]	[KN]	[KN]	[KN]
1	A1+M1 statica	1216	1+1 $\phi$ 14	10	2398	9157	2398
	A1+M1 sismica	839					
	A2+M2 statica	1031					
	A2+M2 sismica	1381					
2	A1+M1 statica	1112	1+1 $\phi$ 14	20	1199	9157	1199
	A1+M1 sismica	762					
	A2+M2 statica	833					
	A2+M2 sismica	985					
3	A1+M1 statica	611	1+1 $\phi$ 14	20	1199	9157	1199
	A1+M1 sismica	481					
	A2+M2 statica	487					
	A2+M2 sismica	660					

Tabella 29 – Verifica al taglio

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 7.6 Verifiche strutturali dei tiranti

Nel seguito si riportano i risultanti delle verifiche riguardanti i tiranti previsti in progetto a sostegno della paratia; le verifiche riguardano sia la resistenza a trazione dei trefoli in acciaio sia la resistenza a sfilamento del bulbo di ancoraggio dal terreno

### 7.6.1 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

#### VERIFICHE DEI TREFOLI

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

Ordine	$n_{\text{trefoli}}$	$i_{\text{tiranti}}$	$T_{\text{paratie}}$	$E_d$	$R_d$	FS
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[kN]	[kN]	[-]
1	6	2,75	<b>276,0</b>	986,7	1211,1	1,23
2	4	1,38	<b>365,0</b>	652,4	807,4	1,24
3	4	1,38	<b>365,0</b>	652,4	807,4	1,24
4	6	1,38	<b>555,0</b>	992,1	1211,1	1,22
5	6	1,38	<b>555,0</b>	992,1	1211,1	1,22
6	6	1,38	<b>555,0</b>	992,1	1211,1	1,22

Tabella 30 – Sezione di calcolo 1: verifica trefoli fase statica

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

Ordine	$n_{\text{trefoli}}$	$i_{\text{tiranti}}$	$T_{\text{paratie}}^S$	$E_d$	$R_d$	FS
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[kN]	[kN]	[-]
1	6	2,75	<b>280,0</b>	770,0	1211,1	1,57
2	4	1,38	<b>375,0</b>	515,6	807,4	1,57
3	4	1,38	<b>377,0</b>	518,4	807,4	1,56
4	6	1,38	<b>574,0</b>	789,3	1211,1	1,53
5	6	1,38	<b>574,0</b>	789,3	1211,1	1,53
6	6	1,38	<b>570,0</b>	783,8	1211,1	1,55

Tabella 31 - Sezione di calcolo 1 : verifica trefolo fase sismica (SLV)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- Sezione di calcolo 2

#### VERIFICHE DEI TREFOLI

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

Ordine	$n_{\text{trefoli}}$	$i_{\text{tiranti}}$	$T_{\text{paratie}}$	$E_d$	$R_d$	FS
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[kN]	[kN]	[-]
1	6	2,75	<b>276,0</b>	986,7	1211,1	1,23
2	4	1,38	<b>365,0</b>	652,4	807,4	1,24
3	4	1,38	<b>365,0</b>	652,4	807,4	1,24
4	6	1,38	<b>555,0</b>	992,1	1211,1	1,22

Tabella 32 - Sezione di calcolo 2: verifica trefoli fase statica

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

Ordine	$n_{\text{trefoli}}$	$i_{\text{tiranti}}$	$T_{\text{paratie}}^S$	$E_d$	$R_d$	FS
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[kN]	[kN]	[-]
1	6	2,75	<b>279,0</b>	767,3	1211,1	1,58
2	4	1,38	<b>375,0</b>	515,6	807,4	1,57
3	4	1,38	<b>380,0</b>	522,5	807,4	1,55
4	6	1,38	<b>581,0</b>	798,9	1211,1	1,52

Tabella 33 - Sezione di calcolo 2: verifica trefoli fase Sismica (SLV)

- Sezione di calcolo 3

#### VERIFICHE DEI TREFOLI

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

Ordine	$n_{\text{trefoli}}$	$i_{\text{tiranti}}$	$T_{\text{paratie}}$	$E_d$	$R_d$	FS
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[kN]	[kN]	[-]
1	6	2,75	<b>218,2</b>	780,1	1211,1	1,55
2	6	2,75	<b>219,0</b>	782,9	1211,1	1,55
3	6	2,75	<b>277,0</b>	990,3	1211,1	1,22
4	6	2,75	<b>277,2</b>	991,0	1211,1	1,22

Tabella 34 - Sezione di calcolo 3: verifica trefoli fase statica

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

Ordine	$n_{\text{trefoli}}$	$i_{\text{tiranti}}$	$T_{\text{paratie}}^S$	$E_d$	$R_d$	FS
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[kN]	[kN]	[-]
1	6	2,75	<b>217,0</b>	596,8	1211,1	2,03
2	6	2,75	<b>220,0</b>	605,0	1211,1	2,00
3	6	2,75	<b>282,0</b>	775,5	1211,1	1,56
4	6	2,75	<b>284,2</b>	781,6	1211,1	1,55

Tabella 35 - Sezione di calcolo 3: verifica trefoli fase Sismica (SLV)

### 7.6.2 Verifica dell'ancoraggio

La *lunghezza libera* è definita dall'intersezione del tirante con un piano inclinato di  $(45^\circ - \varphi / 2)$  sulla verticale, parallelo al piano passante per il piede della paratia e da esso distante  $0.20 h$ . Si ha quindi:

$$L_s = h' + d$$

dove:

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

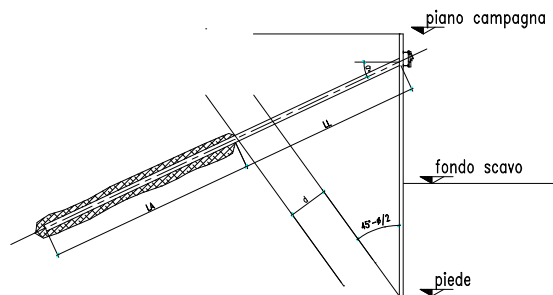


Tabella 36- Schema calcolo lunghezza libera del tirante

con  $\alpha =$  inclinazione tirante

$\varphi =$  angolo di attrito del terreno

$$d = (h + t - h_i) \sin(45^\circ - \varphi/2) \sin(45^\circ + \alpha + \varphi/2)$$

con  $h =$  altezza fuori scavo paratia

$t =$  infissione paratia

$h_i =$  profondità tirante

Si deve inoltre tenere presente che, a causa dell'evento sismico, la potenziale superficie di

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO	<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0

scorrimento risulta più inclinata sull'orizzontale rispetto a quella relativa al caso statico. Questo comporta un incremento della lunghezza libera:

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

#### DIMENSIONAMENTO LUNGHEZZA LIBERA TIRANTI

Ordine	Quota	$i_{\text{tiranti}}$		$n_{\text{trefodi}}$	$A_{\text{trefodi}}^T$	$T_{\text{iniz.}}$	$T_{\text{ic}}$	$L_L^{(M1)}$	$L_S^{(M1)}$	$L_L^{(M2)}$	$L_S^{(M2)}$	$L_L^*$
[-]	[m]	[m]	[°]	[-]	[mm <sup>2</sup> ]	[kN]	[kN/m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	<b>0,5</b>	<b>2,75</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	834	745	271	20,6	30,1	22,6	33,0	<b>22,0</b>
2	<b>5,5</b>	<b>1,38</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	556	495	360	18,3	26,7	20,0	29,3	<b>22,0</b>
3	<b>10,0</b>	<b>1,38</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	556	495	360	16,3	23,7	17,7	25,9	<b>22,0</b>
4	<b>14,0</b>	<b>1,38</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	834	745	542	14,4	21,1	15,7	22,9	<b>22,0</b>
5	<b>18,0</b>	<b>1,38</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	834	745	542	12,6	18,4	13,6	19,9	<b>19,0</b>
6	<b>21,5</b>	<b>1,38</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	834	745	542	11,0	16,1	11,8	17,3	<b>19,0</b>

Tabella 37- Sezione di calcolo 1: Lunghezza libera tiranti

#### DIMENSIONAMENTO LUNGHEZZA LIBERA TIRANTI

Ordine	Quota	$i_{\text{tiranti}}$	H	$n_{\text{trefodi}}$	$A_{\text{trefodi}}^T$	$T_{\text{iniz.}}$	$T_{\text{ic}}$	$L_L^{(M1)}$	$L_S^{(M1)}$	$L_L^{(M2)}$	$L_S^{(M2)}$	$L_L^*$
[-]	[m]	[m]	[°]	[-]	[mm <sup>2</sup> ]	[kN]	[kN/m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	<b>0,5</b>	<b>2,75</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	834	745	271	14,5	21,2	15,9	23,2	<b>22,0</b>
2	<b>5,5</b>	<b>1,38</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	556	495	360	12,2	17,8	13,3	19,5	<b>18,0</b>
3	<b>10,0</b>	<b>1,38</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	556	495	360	10,2	14,8	11,0	16,1	<b>16,0</b>
4	<b>14,0</b>	<b>1,38</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	834	745	542	8,3	12,2	9,0	13,1	<b>14,0</b>

Tabella 38- Sezione di calcolo 2: Lunghezza libera tiranti

#### DIMENSIONAMENTO LUNGHEZZA LIBERA TIRANTI

Ordine	Quota	$i_{\text{tiranti}}$	H	$n_{\text{trefodi}}$	$A_{\text{trefodi}}^T$	$T_{\text{iniz.}}$	$T_{\text{ic}}$	$L_L^{(M1)}$	$L_S^{(M1)}$	$L_L^{(M2)}$	$L_S^{(M2)}$	$L_L^*$
[-]	[m]	[m]	[°]	[-]	[mm <sup>2</sup> ]	[kN]	[kN/m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	<b>0,5</b>	<b>2,75</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	834	745	271	11,3	16,6	12,4	18,2	<b>18,0</b>
2	<b>3,5</b>	<b>2,75</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	834	745	271	10,0	14,6	10,9	15,9	<b>16,0</b>
3	<b>6,5</b>	<b>2,75</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	834	745	271	8,6	12,6	9,4	13,7	<b>13,0</b>
4	<b>11,0</b>	<b>2,75</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	834	745	271	6,6	9,6	7,1	10,3	<b>10,0</b>

Tabella 39- Sezione di calcolo 3: 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:

$$E_d \leq R_d$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

dove  $R_d$  è la resistenza a trazione del bulbo di ancoraggio, calcolata come:

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

dove:

- D = diametro nominale di perforazione;
- $\alpha$  = coefficiente amplificativo funzione delle modalità di iniezione e del tipo di terreno;
- $L_a$  = Lunghezza del bulbo di ancoraggio;
- $\tau_{LIM}$  = tensione limite di aderenza fra la malta del bulbo ed il terreno;
- $\gamma_R$  = il coefficiente parziale per la resistenza di ancoraggi pretesi.

L'iniezione dovrà essere eseguita ad alta pressione e ripetuta con l'utilizzo di miscela cementizia avente  $R_{ck} > 25 \text{ MPa}$ .

La tensione di aderenza malta-terreno può essere considerata, alla luce dei dati disponibili, variabile tra  $\tau_{LIM} = 122-220 \text{ KPa}$ ; come richiesto dalla norma,  $\tau_{LIM}$  è stato ulteriormente ridotto utilizzando dei coefficienti correttivi.

Cautelativamente tale valore riduttivo è stato posto pari a

$$\xi_{a3} = 1.8$$

pertanto si ha che

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

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

	$\emptyset$
	[mm]
Tiranti a trefoli (3 - 4 trefoli)	150
Tiranti a trefoli (5 - 6 trefoli)	180

Tabella 40: Diametro nominale di perforazione



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>	<b>Codice documento</b> CS0248_F0	<b>Rev</b> F0

Ordine	$l_{tiranti}$	$T_{paratie}$	$L_{ancoraggi}$	$\tau_{lim}$	$\varnothing_{perforazione}$	$\alpha_{sbilamento}$	$\varnothing^*\alpha$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,75	276,0	10,0	180	18	1,2	21,6	1,30	1,10	986,7	1110,4	1,13
2	1,38	365,0	10,0	180	15	1,2	18,0	1,30	1,10	652,4	925,3	1,42
3	1,38	365,0	10,0	180	15	1,2	18,0	1,30	1,10	652,4	925,3	1,42
4	1,38	555,0	10,0	180	18	1,2	21,6	1,30	1,10	992,1	1110,4	1,12
5	1,38	555,0	10,0	220	18	1,2	21,6	1,30	1,10	992,1	1357,2	1,37
6	1,38	555,0	10,0	220	18	1,2	21,6	1,30	1,10	992,1	1357,2	1,37

Tabella 41 - Sezione di calcolo 1 : verifica di ancoraggio dei tiranti in fase statica

Ordine	$l_{tiranti}$	$T_{paratie}$	$L_{ancoraggi}$	$\tau_{lim}$	$\varnothing_{perforazione}$	$\alpha_{sbilamento}$	$\varnothing^*\alpha$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,75	280,0	10,0	180	18	1,2	21,6	1,00	1,10	770,0	1110,4	1,44
2	1,38	375,0	10,0	180	15	1,2	18,0	1,00	1,10	515,6	925,3	1,79
3	1,38	377,0	10,0	180	15	1,2	18,0	1,00	1,10	518,4	925,3	1,79
4	1,38	574,0	10,0	180	18	1,2	21,6	1,00	1,10	789,3	1110,4	1,41
5	1,38	574,0	10,0	220	18	1,2	21,6	1,00	1,10	789,3	1357,2	1,72
6	1,38	570,0	10,0	220	18	1,2	21,6	1,00	1,10	783,8	1357,2	1,73

Tabella 42 - Sezione di calcolo 1 : verifica di ancoraggio dei tiranti in fase Sismica (SLV)

Ordine	$l_{tiranti}$	$T_{paratie}$	$L_{ancoraggi}$	$\tau_{lim}$	$\varnothing_{perforazione}$	$\alpha_{sbilamento}$	$\varnothing^*\alpha$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,75	276,0	10,0	180	18	1,2	21,6	1,30	1,10	986,7	1110,4	1,13
2	1,38	365,0	10,0	180	15	1,2	18,0	1,30	1,10	652,4	925,3	1,42
3	1,38	365,0	10,0	180	15	1,2	18,0	1,30	1,10	652,4	925,3	1,42
4	1,38	555,0	10,0	180	18	1,2	21,6	1,30	1,10	992,1	1110,4	1,12

Tabella 43 - Sezione di calcolo 2 : verifica di ancoraggio dei tiranti in fase statica

Ordine	$l_{tiranti}$	$T_{paratie}$	$L_{ancoraggi}$	$\tau_{lim}$	$\varnothing_{perforazione}$	$\alpha_{sbilamento}$	$\varnothing^*\alpha$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,75	279,0	10,0	180	18	1,2	21,6	1,00	1,10	767,3	1110,4	1,45
2	1,38	375,0	10,0	180	15	1,2	18,0	1,00	1,10	515,6	925,3	1,79
3	1,38	380,0	10,0	180	15	1,2	18,0	1,00	1,10	522,5	925,3	1,77
4	1,38	581,0	10,0	180	18	1,2	21,6	1,00	1,10	798,9	1110,4	1,39

Tabella 44 - Sezione di calcolo 2 : Verifica di ancoraggio dei tiranti in fase Sismica (SLV)

Ordine	$l_{tiranti}$	$T_{paratie}$	$L_{ancoraggi}$	$\tau_{lim}$	$\varnothing_{perforazione}$	$\alpha_{sbilamento}$	$\varnothing^*\alpha$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,75	218,2	12,0	122	18	1,3	23,4	1,30	1,10	780,1	978,4	1,25
2	2,75	219,0	12,0	122	18	1,3	23,4	1,30	1,10	782,9	978,4	1,25
3	2,75	277,0	11,0	180	18	1,2	21,6	1,30	1,10	990,3	1221,5	1,23
4	2,75	277,2	11,0	180	18	1,2	21,6	1,30	1,10	991,0	1221,5	1,23

Tabella 45 - Sezione di calcolo 3 : verifica di ancoraggio dei tiranti in fase statica

Ordine	$l_{tiranti}$	$T_{paratie}$	$L_{ancoraggi}$	$\tau_{lim}$	$\varnothing_{perforazione}$	$\alpha_{sbilamento}$	$\varnothing^*\alpha$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,75	217,0	12,0	122	18	1,3	23,4	1,00	1,10	596,8	978,4	1,64
2	2,75	220,0	12,0	122	18	1,3	23,4	1,00	1,10	605,0	978,4	1,62
3	2,75	282,0	11,0	180	18	1,2	21,6	1,00	1,10	775,5	1221,5	1,58
4	2,75	284,2	11,0	180	18	1,2	21,6	1,00	1,10	781,6	1221,5	1,56

Tabella 46 - Sezione di calcolo 3 : Verifica di ancoraggio dei tiranti in fase Sismica (SLV)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 7.6.3 Sezioni Costruttive delle Paratie

All'interno degli elaborati grafici, in particolar modo nella tavola "Sviluppata paratia e particolari costruttivi", si indicheranno in modo dettagliato tutte le informazioni necessarie per ottenere la corretta configurazione delle paratie disponendo opportunamente i tiranti; come già indicato, infatti, nella relazione di calcolo vengono indicate e verificate le sezioni più rappresentative delle paratie, che sono quindi da considerarsi tipologiche delle situazioni rappresentate negli elaborati grafici. Non si ritiene comunque che tali modifiche, atte a migliorare l'operatività in fase realizzativa eliminando interferenze con altri tiranti o con altre opere presenti, possano influenzare in modo sensibile i risultati dei calcoli appena presentati, dato che questi ultimi sono stati effettuati nelle condizioni più critiche.

Per completezza, vengono quindi presentate nel seguito tutte le tipologie di paratie adottate, così come riportati negli elaborati grafici. Per quanto riguarda il valore del tiro in esercizio, questo è stato inserito in quanto utile per il monitoraggio dell'opera: si tratta di un valore del tutto indicativo, ottenuto dai calcoli in condizioni statiche senza utilizzare i coefficienti moltiplicativi  $\gamma_f$  che vengono invece adottati allo SLU.

PARATIA TIPO "1"								
ORDINE TIRANTE	NUMERO TREFOLI	INCLINAZIONE VERTICALE(°)	INCLINAZIONE ORIZZONTALE(°)	TIRO INIZIALE (kN)	TIRO IN ESERCIZIO(kN)	LUNGHEZZA LIBERA (m)	LUNGHEZZA ANCORAGGIO(m)	LUNGHEZZA TOTALE (m)
1'	6	-10.00	0.00	745.00	760.00	22.00	10.00	32.00
2'	4	-10.00	0.00	485.00	500.00	22.00	10.00	32.00
3'	4	-10.00	0.00	485.00	500.00	22.00	10.00	32.00
4'	6	-10.00	0.00	745.00	765.00	22.00	10.00	32.00
5'	6	-10.00	0.00	745.00	765.00	19.00	10.00	29.00
6'	6	-10.00	0.00	745.00	765.00	19.00	10.00	29.00

PARATIA TIPO "2"								
ORDINE TIRANTE	NUMERO TREFOLI	INCLINAZIONE VERTICALE(°)	INCLINAZIONE ORIZZONTALE(°)	TIRO INIZIALE (kN)	TIRO IN ESERCIZIO(kN)	LUNGHEZZA LIBERA (m)	LUNGHEZZA ANCORAGGIO(m)	LUNGHEZZA TOTALE (m)
1'	6	-10.00	0.00	745.00	760.00	22.00	10.00	32.00
2'	4	-10.00	0.00	485.00	500.00	18.00	10.00	28.00
3'	4	-10.00	0.00	485.00	500.00	16.00	10.00	26.00
4'	6	-10.00	0.00	745.00	760.00	14.00	10.00	24.00

PARATA TIPO "3"								
ORDINE TRANTE	NUMERO TREFOLI	INCLINAZIONE VERTICALE(°)	INCLINAZIONE ORIZZONTALE(°)	TIRO INIZIALE (kN)	TIRO IN ESERCIZIO(kN)	LUNGHEZZA LIBERA (m)	LUNGHEZZA ANCORAGGIO(m)	LUNGHEZZA TOTALE (m)
1'	6	-10.00	0.00	745.00	600.00	18.00	12.00	30.00
2'	6	-10.00	0.00	745.00	600.00	16.00	12.00	28.00
3'	6	-10.00	0.00	745.00	760.00	13.00	11.00	24.00
4'	6	-10.00	0.00	745.00	760.00	10.00	11.00	21.00

PARATA TIPO "4"								
ORDINE TRANTE	NUMERO TREFOLI	INCLINAZIONE VERTICALE(°)	INCLINAZIONE ORIZZONTALE(°)	TIRO INIZIALE (kN)	TIRO IN ESERCIZIO(kN)	LUNGHEZZA LIBERA (m)	LUNGHEZZA ANCORAGGIO(m)	LUNGHEZZA TOTALE (m)
1'	6	-10.00	0.00	745.00	600.00	18.00	12.00	30.00
2'	6	-10.00	0.00	745.00	600.00	16.00	12.00	28.00
3'	6	-10.00	0.00	745.00	760.00	13.00	11.00	24.00

PARATA TIPO "5"								
ORDINE TRANTE	NUMERO TREFOLI	INCLINAZIONE VERTICALE(°)	INCLINAZIONE ORIZZONTALE(°)	TIRO INIZIALE (kN)	TIRO IN ESERCIZIO(kN)	LUNGHEZZA LIBERA (m)	LUNGHEZZA ANCORAGGIO(m)	LUNGHEZZA TOTALE (m)
1'	6	-10.00	0.00	745.00	600.00	18.00	12.00	30.00
2'	6	-10.00	0.00	745.00	600.00	16.00	12.00	28.00

PARATA TIPO "6"								
ORDINE TRANTE	NUMERO TREFOLI	INCLINAZIONE VERTICALE(°)	INCLINAZIONE ORIZZONTALE(°)	TIRO INIZIALE (kN)	TIRO IN ESERCIZIO(kN)	LUNGHEZZA LIBERA (m)	LUNGHEZZA ANCORAGGIO(m)	LUNGHEZZA TOTALE (m)
1'	6	-10.00	0.00	745.00	760.00	22.00	10.00	32.00
2'	4	-10.00	0.00	495.00	500.00	18.00	10.00	28.00
3'	4	-10.00	0.00	495.00	500.00	16.00	10.00	26.00

PARATA TIPO "7"								
ORDINE TRANTE	NUMERO TREFOLI	INCLINAZIONE VERTICALE(°)	INCLINAZIONE ORIZZONTALE(°)	TIRO INIZIALE (kN)	TIRO IN ESERCIZIO(kN)	LUNGHEZZA LIBERA (m)	LUNGHEZZA ANCORAGGIO(m)	LUNGHEZZA TOTALE (m)
1'	6	-10.00	0.00	745.00	760.00	22.00	10.00	32.00
2'	4	-10.00	0.00	495.00	500.00	22.00	10.00	32.00
3'	4	-10.00	0.00	495.00	500.00	22.00	10.00	32.00
4'	6	-10.00	0.00	745.00	765.00	22.00	10.00	32.00
5'	6	-10.00	0.00	745.00	765.00	19.00	10.00	29.00

PARATA TIPO "8"								
ORDINE TRANTE	NUMERO TREFOLI	INCLINAZIONE VERTICALE(°)	INCLINAZIONE ORIZZONTALE(°)	TIRO INIZIALE (kN)	TIRO IN ESERCIZIO(kN)	LUNGHEZZA LIBERA (m)	LUNGHEZZA ANCORAGGIO(m)	LUNGHEZZA TOTALE (m)
1'	6	-10.00	0.00	745.00	760.00	22.00	10.00	32.00
2'	4	-10.00	0.00	495.00	500.00	22.00	10.00	32.00
3'	4	-10.00	0.00	495.00	500.00	22.00	10.00	32.00
4'	6	-10.00	0.00	745.00	765.00	22.00	10.00	32.00

## 7.7 Verifiche strutturali delle travi di testa

In corrispondenza delle gallerie stradali e ferroviarie sono state previste delle travi di testa con una sezione 120 x 200 cm, che abbiano la capacità di sostenere i carichi derivanti dal taglio dei diaframmi nella fase di inizio di scavo delle gallerie naturali.

La verifica è stata svolta schematizzando la struttura come una trave continua su due appoggi, caricata uniformemente da un carico pari al peso proprio dei diaframmi che risulteranno essere

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

appesi nella fase in esame.

Sono di seguito riportati due casi significativi, rispettivamente in corrispondenza della sezione di galleria con luce maggiore (ramo C – Calcolo 1) e di quella posta a maggiore profondità (2 rami ferroviari – Calcolo 2).

Nel calcolo 1 la luce considerata è pari a 18,60 m, mentre nel calcolo 2 è stata schematizzata la presenza di due gallerie separate da un diaframma centrale, con uno schema di trave su tre appoggi, con campate di 10,50 m.



Figura 37 – Calcolo 1 - schema di calcolo



Figura 38 – Calcolo 1 - schema di carico



Figura 39 - Calcolo 1 - Momento flettente\_SLE

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

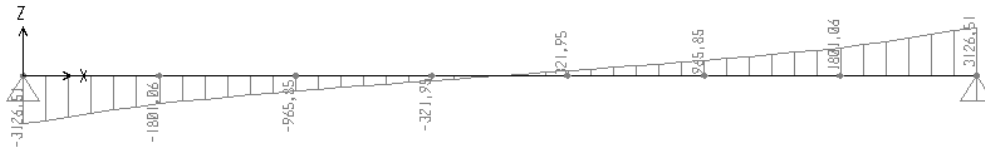


Figura 40 – Calcolo 1 - Sollecitazioni di taglio\_SLU

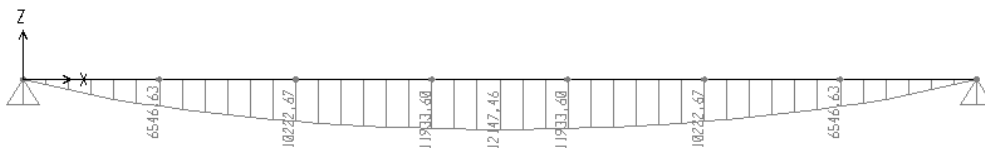


Figura 41 - Calcolo 1 - Momento flettente\_SLU



Figura 42 – Calcolo 2 - schema di calcolo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

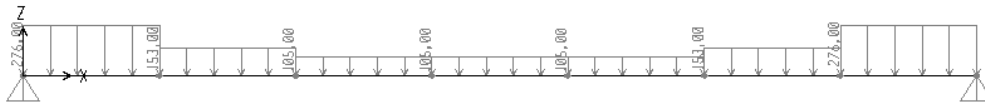


Figura 43 – Calcolo 2 - schema di carico

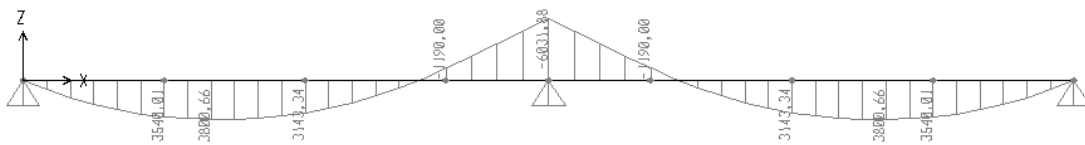


Figura 44 - Calcolo 2 - Momento flettente\_SLE

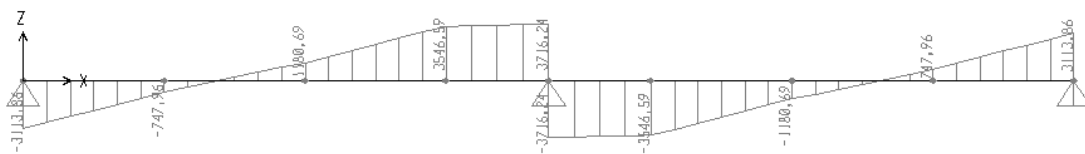


Figura 45 – Calcolo 2 - Sollecitazioni di taglio\_SLU

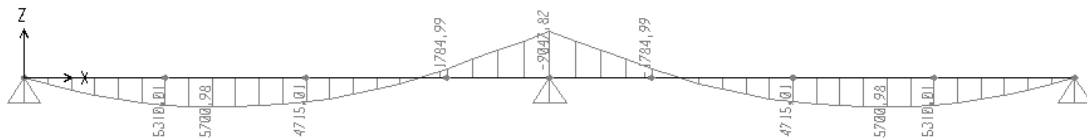


Figura 46 - Calcolo 2 - Momento flettente\_SLU

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Le azioni sollecitanti che ne derivano e le rispettive verifiche, sono riportate nelle seguenti tabelle:

Calcolo	Sezione	A' s [mm]	A s [mm]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	σ <sub>c</sub> [MPa]	σ <sub>s</sub> [MPa]
1	120 x 200	(12+12)ø26	(18+18)ø30	8098	7.2	195.7
2	120 x 200	(14+14)ø26	(14+14)ø26	3800	3.87	153
2	120 x 200	(14+14)ø26	(14+14)ø26	-5292	5.4	212.7

Tabella 47: Verifica S.L.E. – trave di testa

Calcolo	Sezione	V <sub>Sd</sub> [kN]	Staffe φ [mm]	passo [cm]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rcd</sub> [kN]
1	120 x 200	3126	1+1ø16	15	3591	7269
2	120 x 200	3580	1+1ø16	15	3595	7277
2	120 x 200	3113	1+1ø16	15	3595	7277

Tabella 48: Verifica a taglio S.L.U. – trave di testa

Calcolo	Sezione	A' s [mm]	A s [mm]	M <sub>Ed</sub> [kNm]
1	120 x 200	(12+12)ø26	(18+18)ø30	12147
2	120 x 200	(14+14)ø26	(14+14)ø26	5700
2	120 x 200	(14+14)ø26	(14+14)ø26	-7938

Tabella 49: Verifica S.L.U. – trave di testa

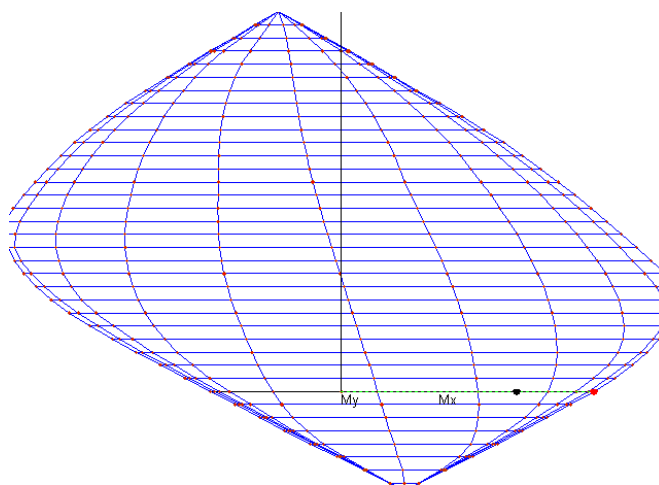


Figura 2: Dominio M-N S.L.U. – trave di testa – calcolo 1

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

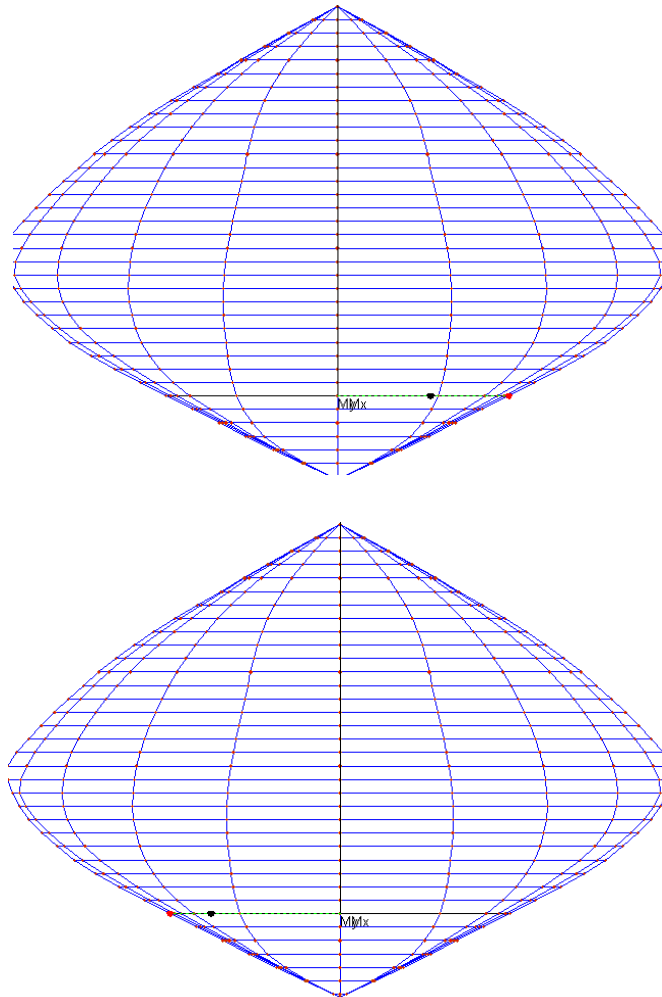


Figura 3: Dominio M-N S.L.U. – trave di testa – calcolo 2

## 7.8 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, sono stati esaminati in quanto la



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

posizione della falda influenza l'andamento delle pressioni esercitate dal terreno sull'opera di contenimento.

### 7.8.1 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 :

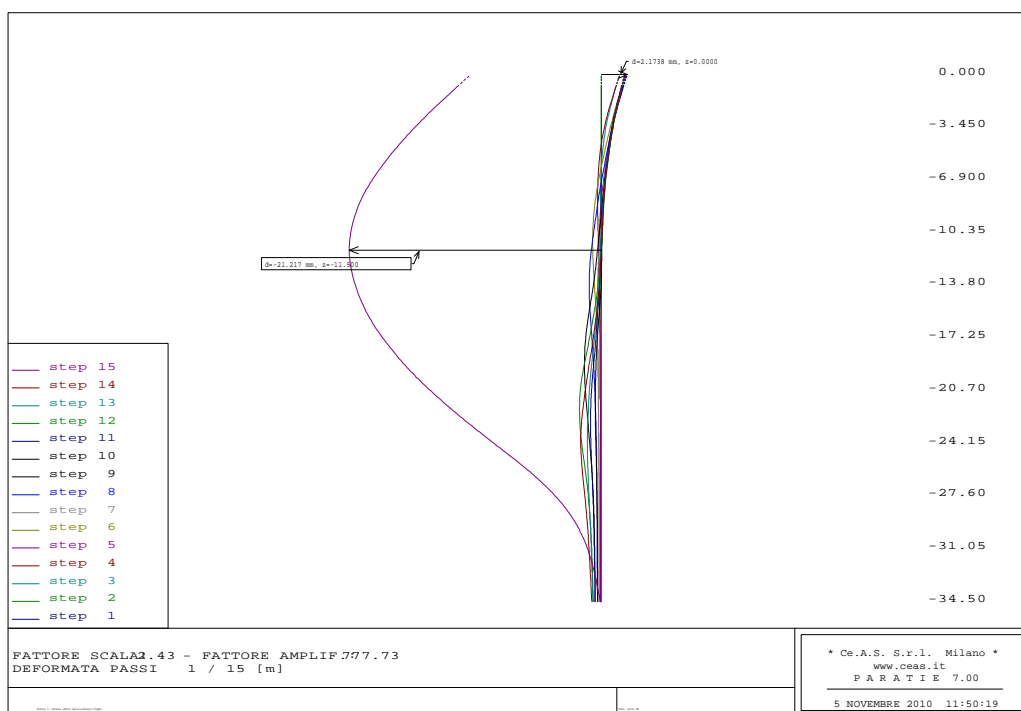


Figura 47 - Sezione di calcolo 1 : deformata paratia - combinazione A2+M2

### Fase Statica (A2+M2)

FASE 14                      GRUPPO -->                      DHri                      UHri

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<b>Codice documento</b> CS0248_F0	<b>Rev</b> F0	<b>Data</b> 20/06/2011

SPINTA EFFICACE VERA	1660.3	3621.7
SPINTA ACQUA	661.02	1289.0
SPINTA TOTALE VERA	2321.3	4910.7
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	0.	2278.0
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	4109.5	43341.
RAPPORTO PASSIVA/VERA	2.4752	11.967
SPINTA PASSIVA MOBILITATA	40.%	8.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA	0.10000E+06	1.5899

### Fase Sismica ( A2+M2)

FASE 15	GRUPPO -->	DHRi	UHRi
SPINTA EFFICACE VERA		2180.0	2850.5
SPINTA ACQUA		661.02	1289.0
SPINTA TOTALE VERA		2841.1	4139.4
SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)		0.	2626.4
SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)		4109.5	43341.
RAPPORTO PASSIVA/VERA		1.8851	15.205
SPINTA PASSIVA MOBILITATA		53.%	7.%
RAPPORTO VERA/ATTIVA		0.10000E+06	1.0853

- Sezione di calcolo 2

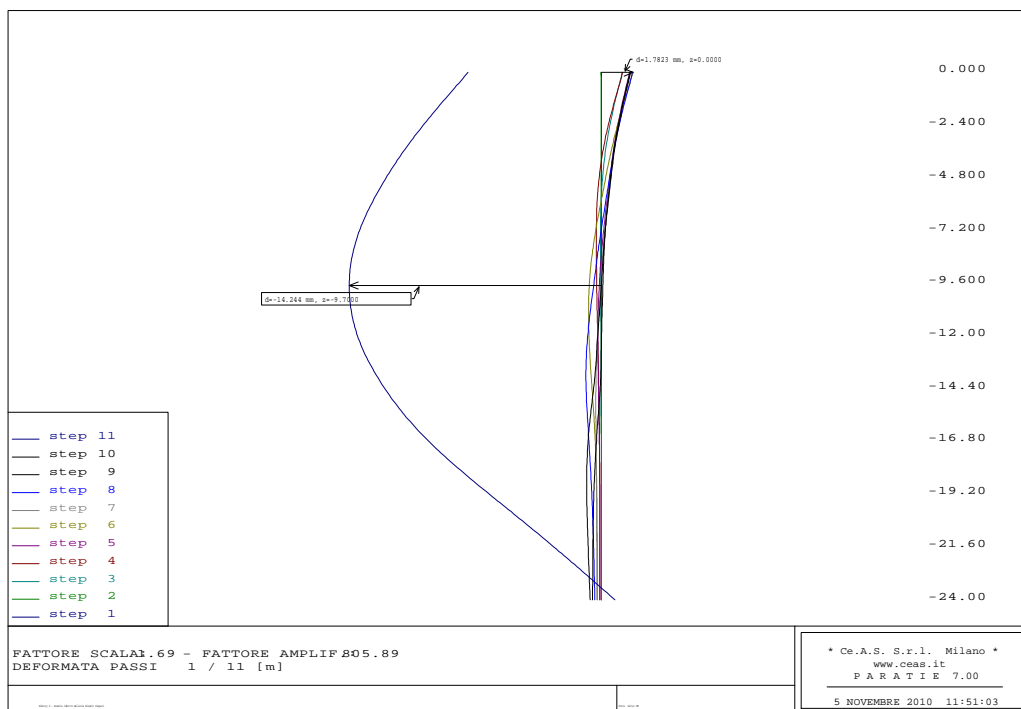


Figura 48 - Sezione di calcolo 2 : deformata paratia - combinazione A2+M2

### Fase Statica (A2+M2)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

FASE	GRUPPO -->	DHRi	UHRi
10			
	SPINTA EFFICACE VERA	727.35	2148.3
	SPINTA ACQUA	204.57	317.43
	SPINTA TOTALE VERA	931.92	2465.8
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	0.	1239.6
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	1497.1	22296.
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	2.0583	10.378
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	49.%	10.%
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	0.10000E+06	1.7331

### Fase Sismica ( A2+M2)

FASE	GRUPPO -->	DHRi	UHRi
11			
	SPINTA EFFICACE VERA	1095.8	1491.8
	SPINTA ACQUA	204.57	317.43
	SPINTA TOTALE VERA	1300.4	1809.3
	SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	0.	1421.6
	SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	1497.1	22296.
	RAPPORTO PASSIVA/VERA	1.3662	14.945
	SPINTA PASSIVA MOBILITATA	73.%	7.%
	RAPPORTO VERA/ATTIVA	0.10000E+06	1.0494

### Sezione di calcolo 3

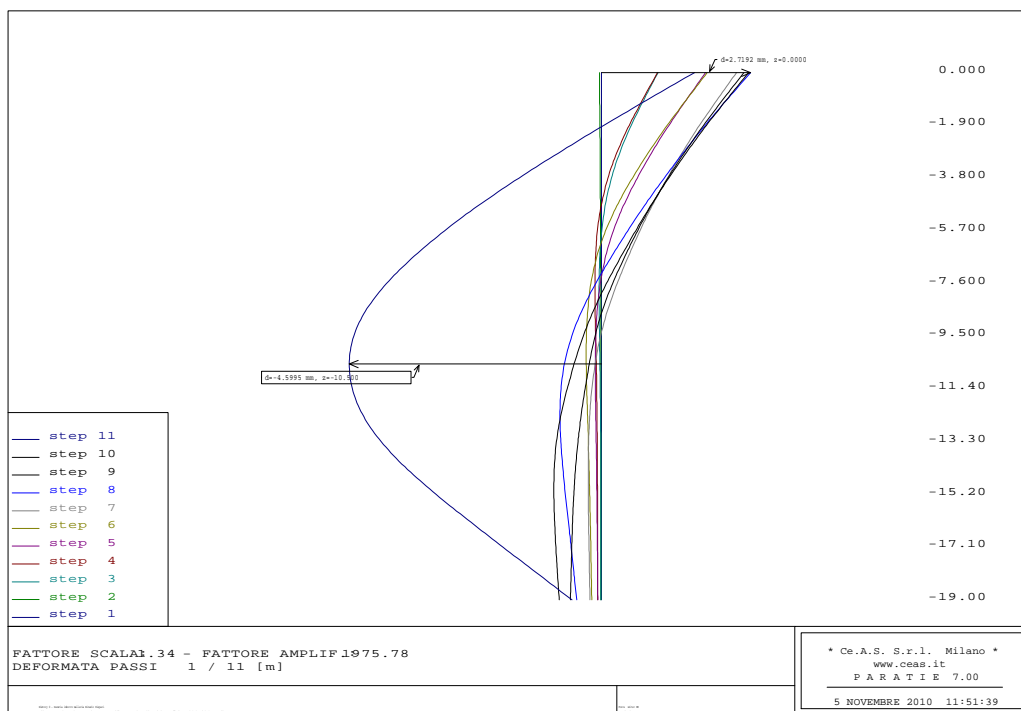


Figura 49 - Sezione di calcolo 3 : deformata paratia - combinazione A2+M2

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO	<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0

## Fase Statica (A2+M2)

FASE	10	GRUPPO -->	DHRi	UHRi
		SPINTA EFFICACE VERA	507.93	1476.0
		SPINTA ACQUA	101.25	101.25
		SPINTA TOTALE VERA	609.18	1577.3
		SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	0.	897.09
		SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	962.20	13304.
		RAPPORTO PASSIVA/VERA	1.8943	9.0132
		SPINTA PASSIVA MOBILITATA	53.%	11.%
		RAPPORTO VERA/ATTIVA	0.10000E+06	1.6454

## Fase Sismica ( A2+M2)

FASE	11	GRUPPO -->	DHRi	UHRi
		SPINTA EFFICACE VERA	724.41	1082.9
		SPINTA ACQUA	101.25	101.25
		SPINTA TOTALE VERA	825.66	1184.2
		SPINTA ATTIVA (POSSIBILE)	0.	1017.9
		SPINTA PASSIVA (POSSIBILE)	962.20	13304.
		RAPPORTO PASSIVA/VERA	1.3282	12.285
		SPINTA PASSIVA MOBILITATA	75.%	8.%
		RAPPORTO VERA/ATTIVA	0.10000E+06	1.0639

## 7.8.2 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.

Ordine	$l_{tiranti}$	$T_{paratie}$	$L_{ancoraggi}$	$T_{lim}$	$\varnothing_{perforazione}$	$\alpha_{sbilamento}$	$\varnothing^*\alpha$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,75	276,0	10,0	180	180	1,2	216,0	1,00	1,10	759,0	1110,4	1,46
2	1,38	365,0	10,0	180	150	1,2	180,0	1,00	1,10	501,9	925,3	1,84
3	1,38	366,0	10,0	180	150	1,2	180,0	1,00	1,10	503,3	925,3	1,84
4	1,38	557,0	10,0	180	180	1,2	216,0	1,00	1,10	765,9	1110,4	1,45
5	1,38	557,0	10,0	220	180	1,2	216,0	1,00	1,10	765,9	1357,2	1,77
6	1,38	556,0	10,0	220	180	1,2	216,0	1,00	1,10	764,5	1357,2	1,78

Tabella 50 - Sezione di calcolo 1: verifica della lunghezza di ancoraggio - fase statica

Ordine	$l_{tiranti}$	$T_{paratie}$	$L_{ancoraggi}$	$T_{lim}$	$\varnothing_{perforazione}$	$\alpha_{sbilamento}$	$\varnothing^*\alpha$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,75	313,0	10,0	180	180	1,2	216,0	1,00	1,10	860,8	1110,4	1,29
2	1,38	434,0	10,0	180	150	1,2	180,0	1,00	1,10	596,8	925,3	1,55
3	1,38	443,0	10,0	180	150	1,2	180,0	1,00	1,10	609,1	925,3	1,52
4	1,38	670,0	10,0	180	180	1,2	216,0	1,00	1,10	921,3	1110,4	1,21
5	1,38	666,0	10,0	220	180	1,2	216,0	1,00	1,10	915,8	1357,2	1,48
6	1,38	633,0	10,0	220	180	1,2	216,0	1,00	1,10	870,4	1357,2	1,56

Tabella 51 - Sezione di calcolo 1: verifica della lunghezza di ancoraggio - fase sismica

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO	Codice documento CS0248_F0	Rev F0

Ordine	$h_{tiranti}$	$T_{paratie}$	$L_{ancoraggi}$	$\tau_{lim}$	$\varnothing_{perforazione}$	$\alpha_{stulbamento}$	$\varnothing^*\alpha$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,75	276,0	10,0	180	180	1,2	216,0	1,00	1,10	759,0	1110,4	1,46
2	1,38	365,0	10,0	180	150	1,2	180,0	1,00	1,10	501,9	925,3	1,84
3	1,38	366,0	10,0	180	150	1,2	180,0	1,00	1,10	503,3	925,3	1,84
4	1,38	556,0	10,0	180	180	1,2	216,0	1,00	1,10	764,5	1110,4	1,45

Tabella 52 – Sezione di calcolo 2: verifica della lunghezza di ancoraggio fase statica

Ordine	$h_{tiranti}$	$T_{paratie}$	$L_{ancoraggi}$	$\tau_{lim}$	$\varnothing_{perforazione}$	$\alpha_{stulbamento}$	$\varnothing^*\alpha$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,75	302,0	10,0	180	180	1,2	216,0	1,00	1,10	830,5	1110,4	1,34
2	1,38	424,0	10,0	180	150	1,2	180,0	1,00	1,10	583,0	925,3	1,59
3	1,38	438,0	10,0	180	150	1,2	180,0	1,00	1,10	602,3	925,3	1,54
4	1,38	665,0	10,0	180	180	1,2	216,0	1,00	1,10	914,4	1110,4	1,21

Tabella 53 - Sezione di calcolo 2: verifica della lunghezza di ancoraggio fase sismica

Ordine	$h_{tiranti}$	$T_{paratie}$	$L_{ancoraggi}$	$\tau_{lim}$	$\varnothing_{perforazione}$	$\alpha_{stulbamento}$	$\varnothing^*\alpha$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,75	218,0	12,0	122	180	1,3	234,0	1,00	1,10	599,5	978,4	1,63
2	2,75	218,5	12,0	122	180	1,3	234,0	1,00	1,10	600,9	978,4	1,63
3	2,75	277,5	11,0	180	180	1,2	216,0	1,00	1,10	763,1	1221,5	1,60
4	2,75	278,0	11,0	180	180	1,2	216,0	1,00	1,10	764,5	1221,5	1,60

Tabella 54 – Sezione di calcolo 3: verifica della lunghezza di ancoraggio fase statica

Ordine	$h_{tiranti}$	$T_{paratie}$	$L_{ancoraggi}$	$\tau_{lim}$	$\varnothing_{perforazione}$	$\alpha_{stulbamento}$	$\varnothing^*\alpha$	$\gamma_A$	$\gamma_R$	$E_d$	$R_d$	$R_d/E_d$
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2,75	217,0	12,0	122	180	1,3	234,0	1,00	1,10	596,8	978,4	1,64
2	2,75	226,0	12,0	122	180	1,3	234,0	1,00	1,10	621,5	978,4	1,57
3	2,75	295,0	11,0	180	180	1,2	216,0	1,00	1,10	811,3	1221,5	1,51
4	2,75	303,0	11,0	180	180	1,2	216,0	1,00	1,10	833,3	1221,5	1,47

Tabella 55 - Sezione di calcolo 3: verifica della lunghezza di ancoraggio fase sismica

### 7.8.3 Stabilità globale del complesso opera terreno

L'esame delle condizioni di stabilità è stato condotto utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite. Le analisi di stabilità sono state eseguite utilizzando il programma di calcolo GEOSLOPE.

Il programma si basa sull'applicazione di diversi metodi dell'equilibrio limite in condizioni bidimensionali quali il metodo di Bishop semplificato (1955), quello di Janbu semplificato (1973) e quello di Spencer (1967). I fattori di sicurezza presi in considerazione nel seguito sono stati ottenuti tramite il metodo di Bishop semplificato.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

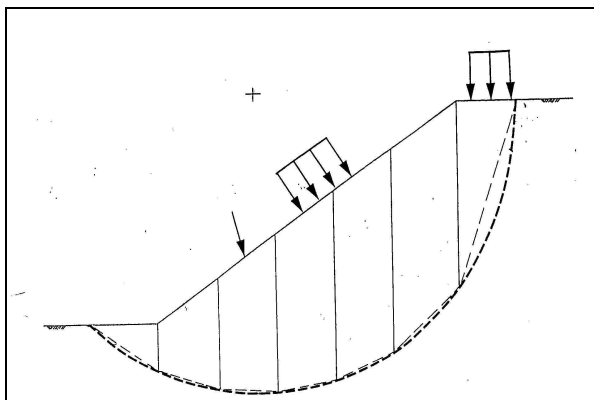


Figura 50 - Blocco di terreno instabile suddivisione in conci

Il metodo valuta le condizioni di stabilità di un pendio naturale o di una scarpata artificiale ricercando per tentativi la superficie di scivolamento "critica", ossia quella a cui compete il coefficiente di sicurezza  $F_S$  minimo, e verificando se tale valore risulta maggiore o minore di 1.

Il valore di  $F_S=1$  corrisponde ad una situazione di incipiente scivolamento del pendio lungo la superficie di scorrimento considerata.

Il metodo si basa sulla considerazione dell'equilibrio di un blocco (o "cuneo") rigido di terreno rappresentato nella figura che segue.

Il cuneo è soggetto sia all'azione del peso proprio sia a quella di eventuali forze esterne di varia natura (sovraccarichi verticali, azioni dei tiranti, forze di inerzia sismiche, ecc.); inoltre è possibile considerare la presenza della falda all'interno del pendio, trascurando il fenomeno di filtrazione.

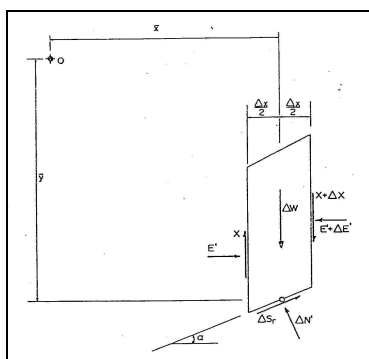


Figura 51 - Forze agenti sui conci

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

A questo scopo il blocco viene dapprima suddiviso in conci e l'equilibrio globale è analizzato come somma dell'equilibrio di ciascuno di essi facendo delle assunzioni semplificative sulle forze reciproche tra i conci. Il metodo consente di valutare un valore del coefficiente di sicurezza medio della superficie di scivolamento ( $F_s=1$ ) definito come:

$$F_s = \frac{(\tau_{ult})_m}{\tau_m}$$

essendo:

$(\tau_{ult})_m$  = resistenza al taglio media del terreno lungo la superficie di scivolamento;

$\tau_m$  = tensione tangenziale media mobilitata lungo la superficie di scivolamento.

Il programma ricerca automaticamente la superficie di scorrimento "critica" con un procedimento iterativo basato sul tracciamento automatico delle superfici circolari e sul successivo calcolo del coefficiente di sicurezza di ciascuna di esse. A questo proposito viene dapprima individuato un settore di passaggio (o un punto) comune a tutte le superfici di scivolamento (ad esempio: un tratto su uno dei contorni del pendio) ed una griglia di punti che vengono utilizzati come centro delle varie possibili superfici di scivolamento. Per ciascuna di esse viene eseguito il calcolo del coefficiente di sicurezza ed il valore più piccolo tra quelli ottenuti è assegnato all'intero pendio. Eventualmente la procedura può essere ripetuta imponendo altri vincoli alle superfici di scivolamento in modo da migliorare l'affidabilità della ricerca.

### 7.8.3.1 Analisi dei risultati

L'analisi di stabilità è stata svolta in corrispondenza della sezione più rappresentativa dell'imbocco, nel tratto in cui la paratia di diaframmi ha la massima altezza di scavo. Le analisi sono da intendersi a breve termine, data la natura provvisoria dell'opera e considerato che, a lungo termine, si procederà a ritombare completamente la paratia, aggiungendo quindi un peso al piede del versante.

Il calcolo, come precedentemente descritto, è stato eseguito considerando la combinazione A2+M2+R2, ovvero riducendo i parametri geotecnici del terreno e le resistenze, secondo i coefficienti precedentemente descritti.

L'azione sismica è stata portata in conto secondo il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza. Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_h \cdot W$$

$$F_V = K_v \cdot W$$

essendo:

$F_H$  e  $F_V$  rispettivamente le componenti orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

W: peso del concio;

$K_h$ : Coefficiente sismico orizzontale;

$K_v$ : Coefficiente sismico verticale.

i coefficienti  $K_H$  e  $K_V$  dipendono di vari fattori:

$$K_h = \beta_s \times (a_{max}/g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \times K_H$$

dove:

$\beta_s$  = coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al suolo;

$a_{max}$  = accelerazione massima attesa in sito;

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_S S_T a_g$$

Calcolo	$K_H$	$K_V$
1	0.086	0.043
2	0.086	0.043
3	0.086	0.043

**Tabella 56 - Sezione di calcolo**

Sono state valutate le potenziali superfici di scorrimento passanti sotto il piede della paratia



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

trascurando, a favore di sicurezza, l'azione stabilizzante fornita dai tiranti.

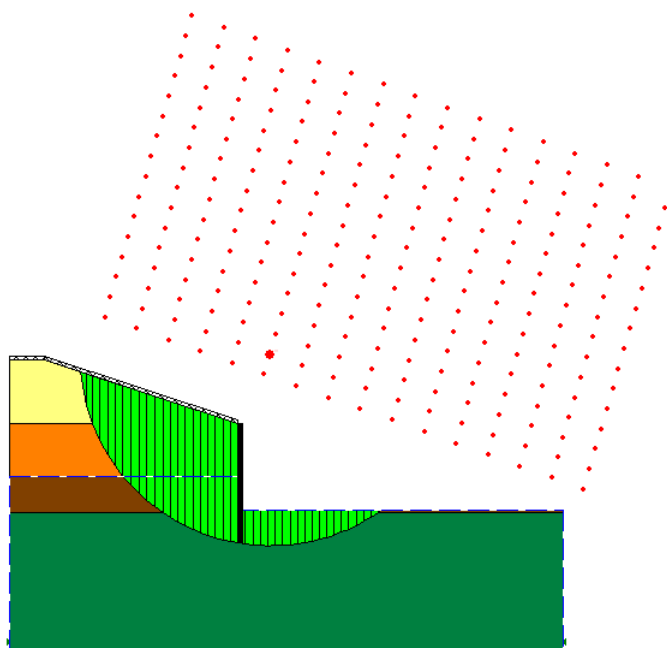


Figura 52 - Sezione di calcolo 1 – superfici di scorrimento critiche – Caso Statico  $F_s = 1.77$

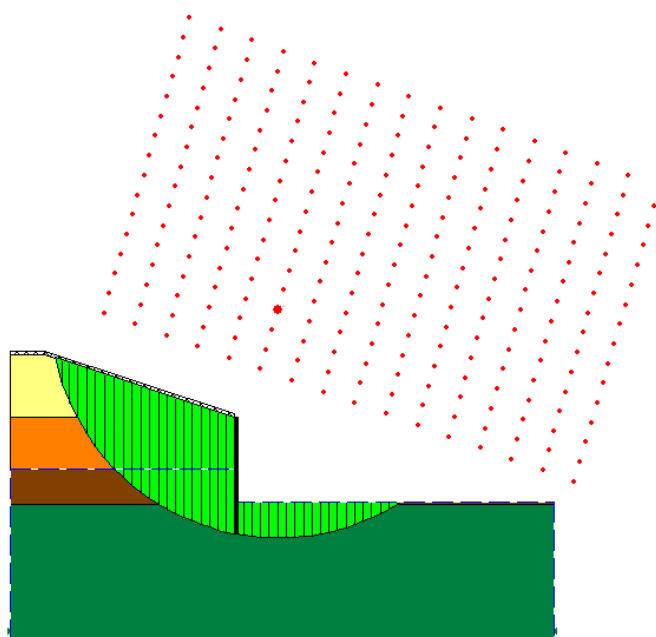


Figura 53 - Sezione calcolo 1– superfici di scorrimento critiche – Caso Sismico  $F_s = 1.55$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

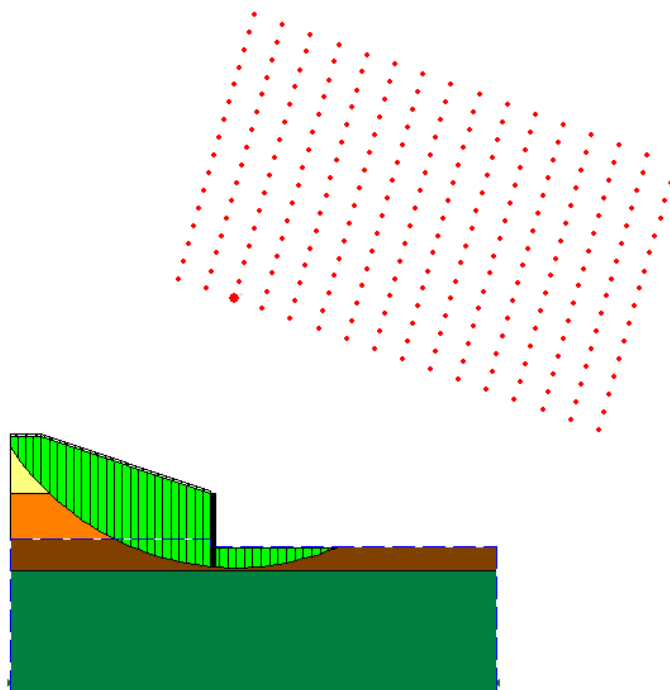


Figura 54 - Sezione di calcolo 2 – superfici di scorrimento critiche – Caso Statico  $F_s = 1.94$

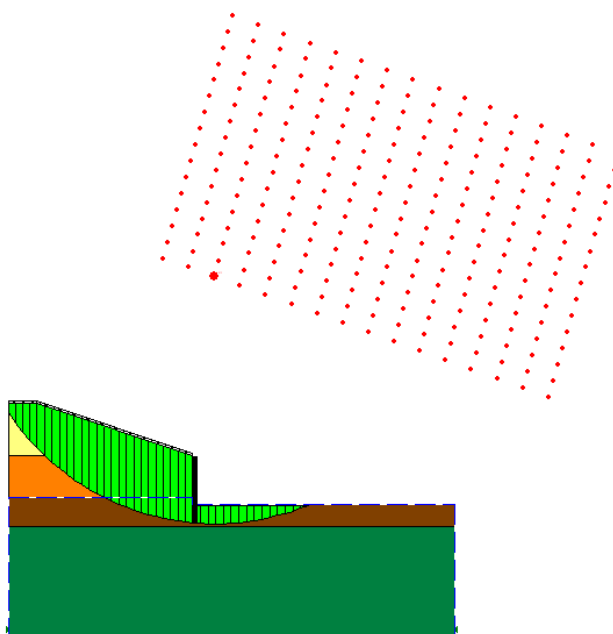


Figura 55 - Sezione calcolo 2– superfici di scorrimento critiche – Caso Sismico  $F_s = 1.61$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

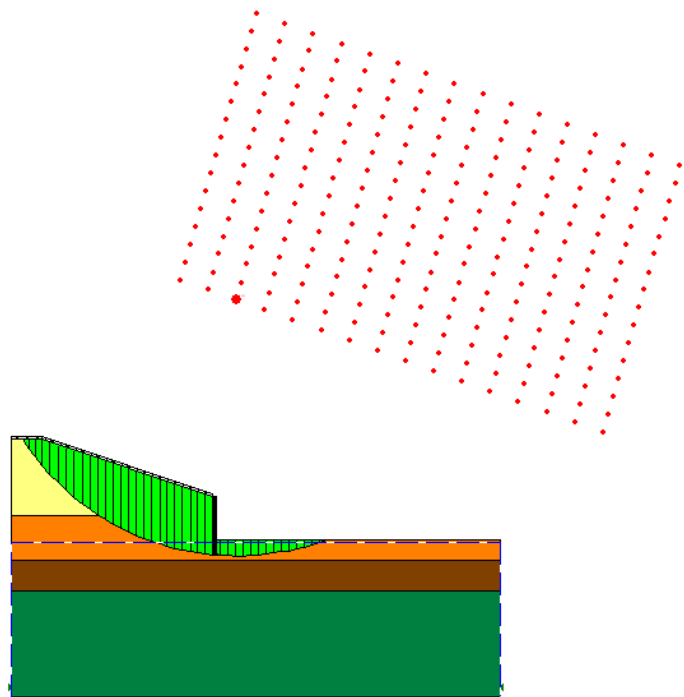


Figura 56 - Sezione di calcolo 3 – superfici di scorrimento critiche – Caso Statico  $F_s = 2.04$

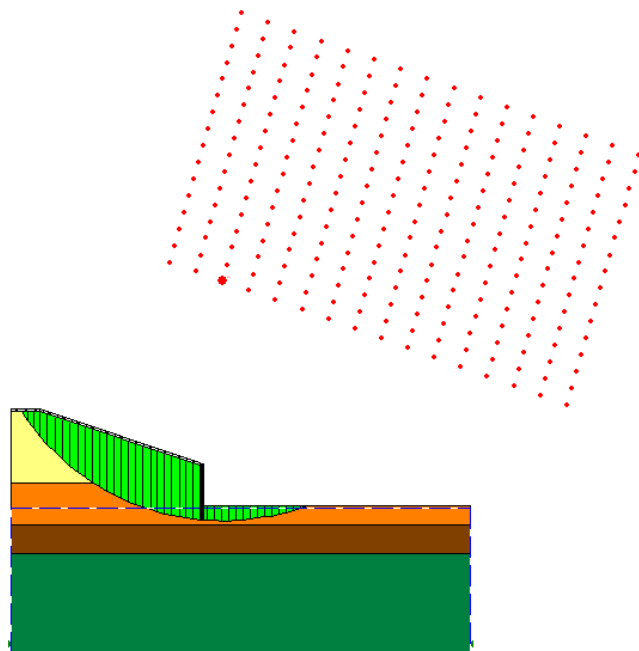


Figura 57 - Sezione calcolo 3– superfici di scorrimento critiche – Caso Sismico  $F_s = 1.68$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Le analisi di stabilità eseguite forniscono fattori di sicurezza superiori ad 1.1, pertanto la verifica risulta soddisfatta.

#### 7.8.4 Verifiche idrauliche

Per quanto riguarda i fenomeni di filtrazione, dato che le paratie sono immorsate in formazioni non uniformi come il Conglomerato di Pezza, non si dovrebbero innescare moti di filtrazione monodimensionale proprio per la natura stessa, molto fratturata, del mezzo. Si potrebbero innescare solamente dei moti di filtrazione secondaria comunque modesti, poichè tale unità idrostratigrafica è caratterizzata da un grado di permeabilità relativamente basso a causa della presenza di frequenti fenomeni di cementazione.

Per completezza, si è comunque svolta, con riferimento alle geometrie di progetto e a quanto riportato all'interno degli elaborati grafici, la verifica al sifonamento (HYD) nella sezione di calcolo più significativa. Nella sezione massima di scavo, ovvero la sezione 1, a monte dei diaframmi è presente un battente idraulico di circa 9.5m. In tale sezione la verifica a sifonamento risulta verificata, essendo  $F_s = i_c / i > 1$ .

Infatti:

$$i_c = \gamma' / \gamma_w = 13/10 = 1.3 \text{ gradiente critico}$$

$$i = \Delta H / L = 9.5 / (19.5 + 10) = 0.322 \text{ gradiente idraulico}$$

$$F_s = i_c / i = 4.04 > 1$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 8 Gallerie artificiali

Nel presente capitolo sono presentate le verifiche strutturali (in condizioni statiche e sismiche) relative alle gallerie artificiali policentriche e scatolari, previste per il completamento delle opere di imbocco delle infrastrutture stradali e ferroviarie di collegamento al Ponte sullo Stretto di Messina.

Le gallerie artificiali dei rami stradali si estendono rispettivamente: dalla PK 0+531 alla PK 0+592, per il Ramo A, dalla PK 0+244 alla PK 0+304, per il Ramo B, dalla PK 0+535 alla PK 0+577, per il Ramo C, dalla PK 0+225 alla PK 0+285, per il Ramo D. Per quanto riguarda la galleria artificiale ferroviaria, si è scelto di realizzare un primo tratto con una struttura di forma policentrica ed un secondo tratto scatolare con sezione variabile. Tali opere si sviluppano a partire dalle progressive: PK 0+582 (binario dispari) e 0+580 (binario pari), fino alla PK 0+420.

### 8.1 Galleria artificiale ferroviaria policentrica

#### 8.1.1 Premessa

La galleria artificiale ha un raggio interno pari a circa 10.35 m in calotta e 17.30 m in arco rovescio. Gli spessori previsti sono 1.5 m in calotta, 2.70 m sui piedritti e 1.30 m in arco rovescio; per un maggiore dettaglio sulle carpenterie della artificiali si rimanda agli specifici elaborati grafici.

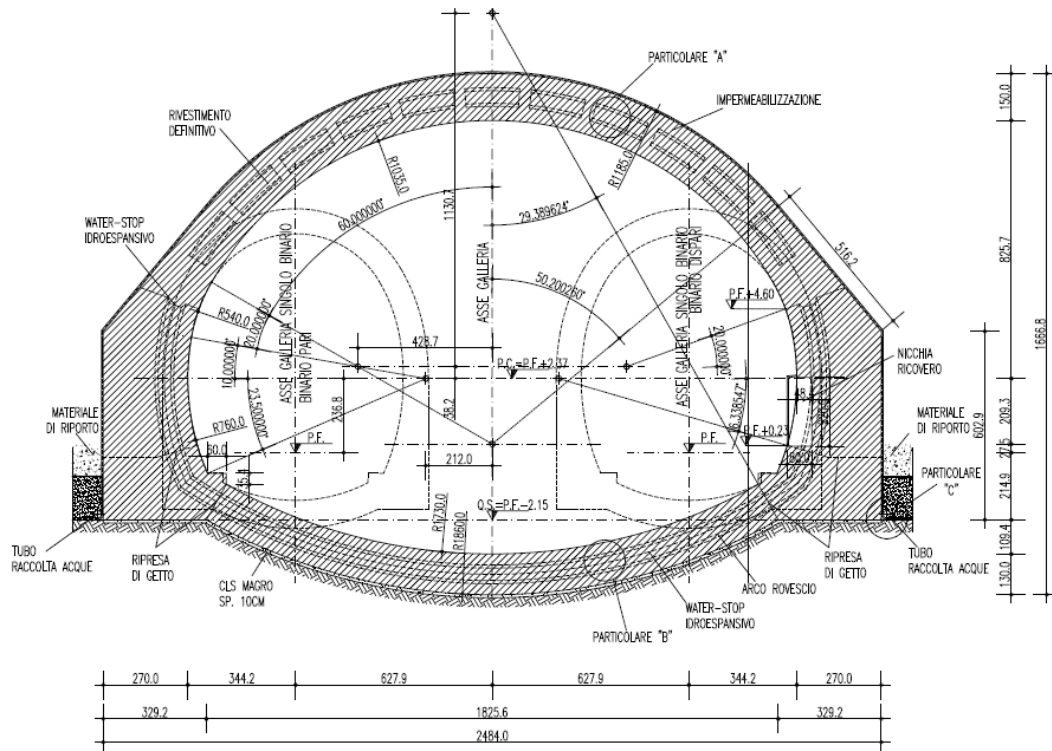


Figura 58 – Carpenteria tipologica galleria artificiale

Le verifiche strutturali della galleria artificiale sono state svolte per la sezione ritenuta più rappresentativa, dal punto di vista dei carichi agenti e del modello geologico-geotecnico, secondo quanto previsto dalla Normativa vigente, ovvero sia agli stati limite ultimi che di esercizio.

Alla luce della caratterizzazione geologico-geotecnica condotta a valle dell'analisi dei risultati delle indagini disponibili, si riporta nel seguito una sintesi della parametrizzazione geotecnica utilizzata per la definizione del quadro geomeccanico che caratterizza le analisi svolte per le gallerie artificiali oggetto della presente relazione.

### 8.1.2 Caratteristiche dei materiali

#### CALCESTRUZZO ARTIFICIALE – C25/30

resistenza caratteristica cilindrica

$f_{ck} = 25$  MPa

resistenza caratteristica cubica

$f_{ck(c)} = 30$  MPa

#### ACCIAIO B450C

Tensione caratteristica di snervamento

$f_{yk} = 450$  MPa

Tensione caratteristica di rottura

$f_{tk} = 540$  MPa

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 8.1.3 Parametri geotecnici di calcolo

Per la definizione della stratigrafia di calcolo sono stati individuati due litotipi:

- Materiale di riempimento, proveniente dalla risulta degli scavi della galleria dopo opportuna qualifica, caratterizzato dai seguenti parametri:

- Peso di Volume  $\gamma=19 \text{ kN/m}^3$
- Coesione  $c'=0.0 \text{ MPa}$
- Angolo di attrito  $\varphi= 33^\circ$
- Rigidezza  $K_h = 4361 \text{ kN/m}^3$  relativa al paramento laterale, ricavato in base alla formulazione proposta da Bowles di seguito esplicitata.

$$K_h = E / [(b \cdot (1 - \nu^2)) \cdot I_w]$$

dove:

$$I_w = I_w (L/b)$$

b= lato minore del paramento

L=lato maggiore del paramento

E=50 MPa

- Terreno di fondazione della galleria-caratterizzato dai seguenti parametri:

- Peso di Volume  $\gamma=19 \text{ kN/m}^3$
- Coesione  $c'=0.006 \text{ MPa}$
- Angolo di attrito  $\varphi= 38^\circ$
- Rigidezza  $K_v = 12407 \text{ kN/m}^3$  (ricavato in base alla formulazione proposta da Galerkin  $K_v = E / (R \cdot (1 + \nu))$ )

dove:

R = raggio superficie curvilinea di contatto

E= 300 MPa.

### 8.1.4 Sezioni di calcolo : tipologia di carichi

Le ipotesi di carico applicate considerano sia i carichi verticali, che quelli orizzontali calcolati in funzione dello spessore del terreno di copertura. In particolare, la galleria artificiale è stata verificata considerando una copertura in asse calotta pari a circa 12 m (in modo da considerare i

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

carichi derivanti dalla massimi ricoprimenti previsti sulla struttura).

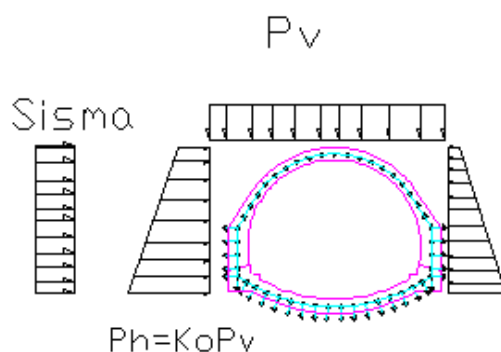


Figura 59 - Schema dei carichi applicati al modello numerico implementato

I carichi applicati al modello di calcolo sono di seguito riassunti.

▪ AZIONI PERMANENTI (G)

- Pesi Propri della struttura in c.a. e del terreno di ritombamento: per il calcestruzzo è stato adottato un peso di volume pari ad  $25 \text{ KN/m}^3$ , mentre per il terreno di ritombamento è stato adottato un peso di volume pari ad  $19 \text{ KN/m}^3$ ;

- Spinte del terreno: l'interazione terreno-struttura è tale da consentire che si sviluppi un regime di spinta a riposo ( $K_0$ ) a seconda delle condizioni di carico; in particolare si è adottato un  $K_0=0.455$ .

L'interazione della struttura col terreno è stata modellata anche tramite molle elastiche che trasmettano solo forze di compressione, nei paragrafi seguenti sono stati esplicitati i valori dei moduli di relazione adottati nella modellazione;

▪ AZIONI ACCIDENTALI (Q)

Si è adottato un carico accidentale verticale distribuito pari a  $10 \text{ KN/m}^2$  ed i relativi valori di spinta orizzontale.

▪ AZIONI SISMICHE (E)

Per il calcolo dell'azione sismica di Progetto si sono considerati i seguenti parametri:

- $V_n = 100$  anni



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- Classe d'uso = IV (opere infrastrutturali)
- $C_u = 2$  (coefficiente d'uso della struttura)

Pertanto il periodo di riferimento per il calcolo dell'azione sismica è par  $V_R = 200$  anni.

Per le condizioni di stato limite di salvaguardia della vita umana (SLV), il valore dell'azione sismica di progetto, cui corrisponde un periodo di ritorno  $T_r = 1898$  anni, è ricavato di seguito.

Valutazione azione sismica SLV		
$a_{max}$	[g]	0,437
$F_0$	[-]	2,49
$T_c^*$	[s]	0,422
Tipo sottosuolo		B
$S_s * S_T$		1,44
$\alpha * \beta$		0.75

Da cui:

Accelerazione orizz. di progetto		
$a_H$	[g]	0,471

Invece, per le condizioni di stato limite di danno (SLD), il valore dell'azione sismica di progetto, cui corrisponde un periodo di ritorno  $T_r = 201$  anni, è il seguente:

Valutazione azione sismica SLD		
$a_{max}$	[g]	0,170
$F_0$	[-]	2,357
$T_c^*$	[s]	0,337
Tipo sottosuolo		B
$S_s * S_T$		1,44
$\alpha * \beta$		0.75

Si ottiene che:

Accelerazione orizz. di progetto		
$a_H$	[g]	0,183

Pertanto le azioni sismiche saranno:

- Spinta Sismica Orizzontale del Terreno: calcolata secondo il metodo di Wood

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$\Delta P = \frac{a_g}{g} * S * \gamma * H^2 * B$$

dove:

H= altezza della galleria

B= larghezza adottata nei calcoli in questo caso posta unitaria

Questa spinta, da sommare alla relativa spinta statica, varia in funzione del ricoprimento in esame.

- Azioni Inerziali Strutturali Orizzontali: date dal prodotto del peso proprio della struttura per il coefficiente  $K_H$  ( $a_g/g * S_T * S_S * \alpha * \beta$ )
- Azioni Inerziali Strutturali Verticali: date dal prodotto del peso proprio della struttura per il coefficiente  $K_V$  ( $0.5K_H$ )
- Inerzia Verticale del Terreno: data dal prodotto del peso di ritombamento per il coefficiente sismico  $K_v$ .

### 8.1.5 Combinazione di Carico

Le ipotesi di carico applicate considerano sia i carichi verticali che quelli orizzontali calcolati in funzione dello spessore del terreno di copertura. In particolare, la galleria artificiale è stata verificata considerando opportune combinazioni di carico che rappresentano le condizioni più gravose ipotizzabili:

Carico	$\gamma F$			
	SLE	SLD_SIMA	SLU	SLU_SISMA
Peso Proprio struttura - PP	1	1	1,3	1
Carico Verticale (Terre) - Pv	1	1	1,3	1
Carico Orizzontale (Terre) - PH	1	1	1,3	1
Inerzia orizzontale struttura - Fih	-	1	-	1
Inerzia verticale struttura - Fiv	-	1	-	1

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Sisma Orizzontale (Terre) - Sis_H	-	1	-	1
Sisma Verticale (Terre) - Sis_V	-	1		1
Sovraccarico accidentale - q	1	0,3	1,5	0,3

Tabella 57 - Combinazioni di carico utilizzate per la verifica strutturale della galleria artificiale

### 8.1.6 Modello di calcolo

Il calcolo degli spostamenti e delle sollecitazioni viene svolto per via numerica attraverso il metodo degli elementi finiti mediante il programma di calcolo SAP2000.

Si considera una sezione di galleria di larghezza unitaria ( $B=1$  m) e viene quindi definito un modello della struttura schematizzato in elementi beam, in numero totale pari a 95. In funzione della variabilità degli elementi strutturali si sono individuate le seguenti sezioni tipologiche:

- Arco Rovescio ( $h=1.30$  m)
- Calotta ( $h=1.50$  m)
- Piedritto ( $h=2.70$  m)
- Rene ( $h=2,00$  m)

In particolare gli elementi beam da

- n°3 a n°26 schematizzano le sezioni di calotta;
- n°1 a n°2 e da n°27 a n°28 schematizzano le sezioni delle reni
- n°57 a n°60 e da n°29 a n°32 schematizzano le sezioni di piedritto;
- n°33 a n°56 schematizzano le sezioni di arco rovescio.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

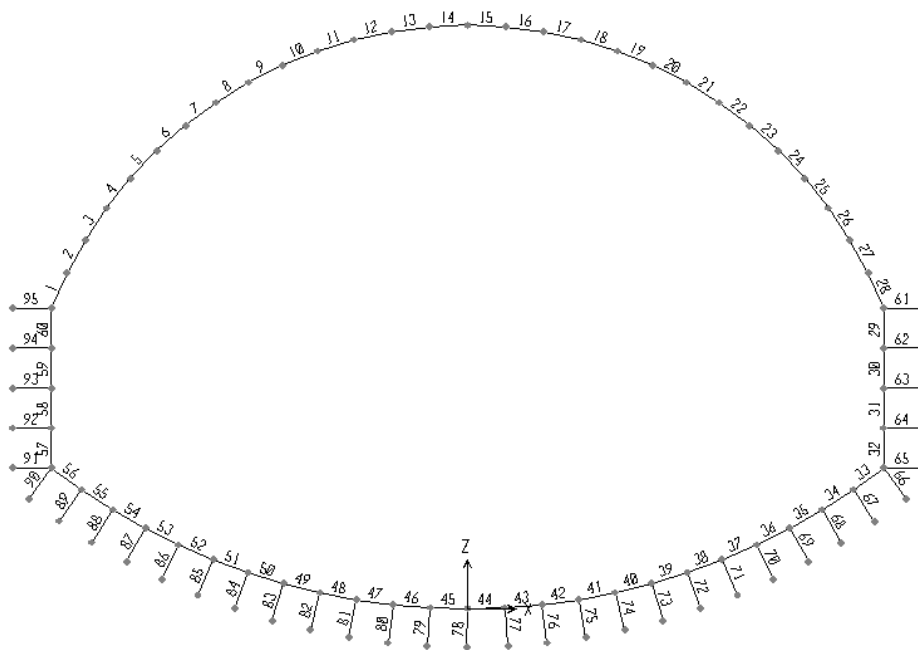


Figura 60 - Discretizzazione per elementi finiti tipo "Beam": numerazione elementi strutturali

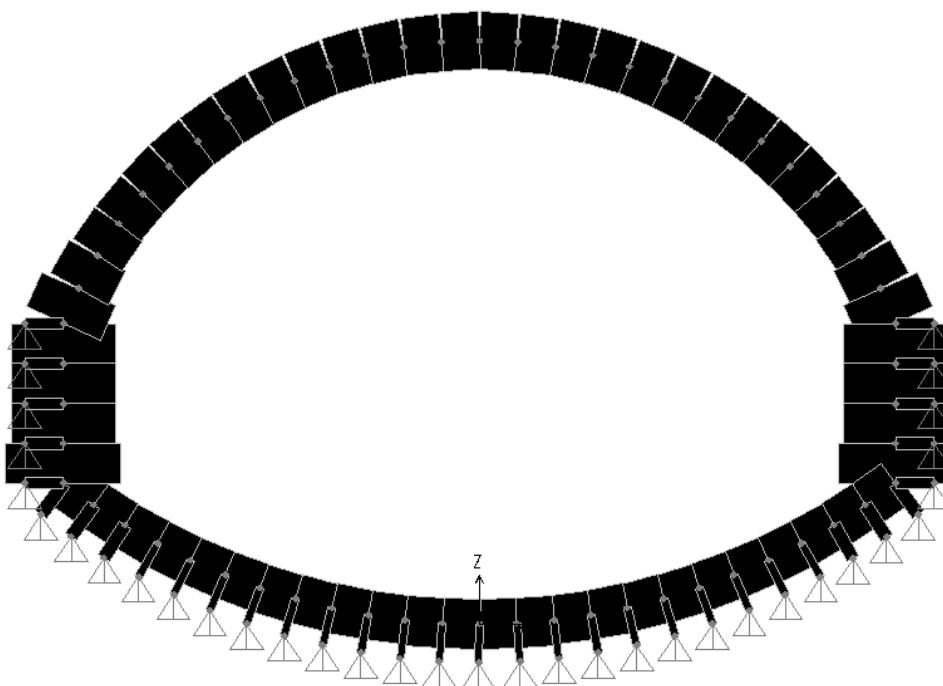


Figura 61 - Modellazione delle sezioni della galleria artificiale

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 8.1.7 Criteri di verifica

Le verifiche statiche della struttura sono svolte secondo l'approccio agli Stati Limite, analizzando lo stato limite ultimo e lo stato limite di esercizio, con riferimento a quanto indicato nel Decreto Ministero delle Infrastrutture 14.09.2008 - Testo Unico "Norme Tecniche per le Costruzioni".

Il DM 2008 TU segue l'approccio agli Stati Limite degli Eurocodici: la sicurezza e la prestazione di un'opera devono essere valutati in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale, Stati Limite Ultimi (SLU) e Stati Limite di Esercizio (SLE), secondo il metodo semiprobabilistico basato sull'impiego dei "coefficienti parziali di sicurezza".

### 8.1.8 Verifiche strutturali

#### 8.1.8.1 Stati limite di esercizio

Le verifiche eseguite in condizioni di esercizio hanno riguardato essenzialmente :

- limitazione di danneggiamenti locali (es. fessurazione calcestruzzo) che possono ridurre la durabilità della struttura.
- Spostamenti e deformazioni che possono eventualmente compromettere l'uso della costruzione e la sua efficienza.

Di seguito vengono riportate le sollecitazioni agenti sulla struttura, in forma di diagrammi e tabelle, e le relative verifiche strutturali eseguite nelle sezioni più gravose.

#### 8.1.8.1.1 Verifica a Pressoflessione

La verifica allo stato limite di esercizio TU 2008 viene condotta con riferimento a coefficienti parziali sulle azioni unitari:

COEFFICIENTI. PARZIALI	AZIONI GENERICHE	
	Sfavorevoli alla sicurezza	Favorevoli alla sicurezza
$\gamma_G$ - Azioni permanenti	1,00	1,00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

γ <sub>0</sub> - Azioni variabili	1,00	0,00
-----------------------------------	------	------

Tabella 58- Coefficienti parziali per le azioni

In particolare la massima tensione di compressione del conglomerato cementizio, ricavata dalle sollecitazioni fornite dal codice di calcolo, dovrà rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c < 0.60 f_{ck} \quad \text{combinazione rara}$$

$$\sigma_c < 0.45 f_{ck} \quad \text{combinazione quasi permanente}$$

$$\sigma_s < 0.8 f_{yk}$$

Le verifiche allo stato limite di esercizio, secondo quanto descritto in precedenza, risulteranno invece soddisfatte quando sarà rispettata la seguente relazione:

$$\sigma_c \leq 11.60 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s \leq 360.0 \text{ MPa}$$

Per ciascuna sezione si sono prese in considerazione le sollecitazioni massime in corrispondenza della varie parti della struttura.

sezione	Spessore calcestruzzo	As	A's
Calotta	150 cm	Ø26/10+Ø26/10	Ø26/10+Ø26/10
Reni	200 cm	Ø26/10+Ø26/10	Ø26/10+Ø26/10
Piedritti	270 cm	Ø26/10	Ø26/10
Arco Rovescio	130 cm	Ø26/20	Ø26/20

Tabella 59- Caratteristiche delle sezioni oggetto di verifica

- CONDIZIONI STATICHE (SLE):

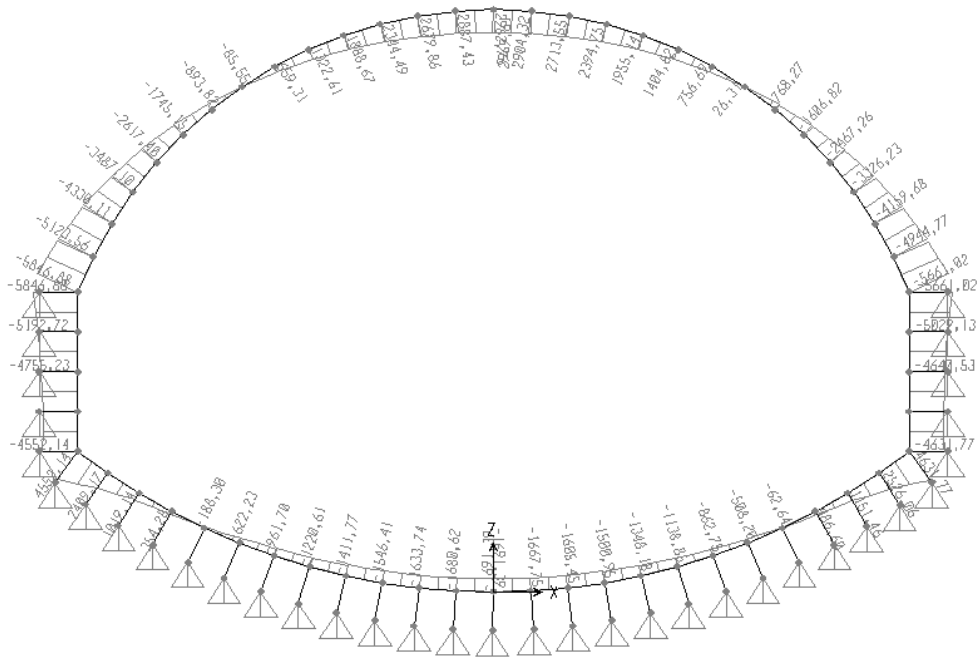


Figura 62 - COMBINAZIONE SLE- Momento flettente

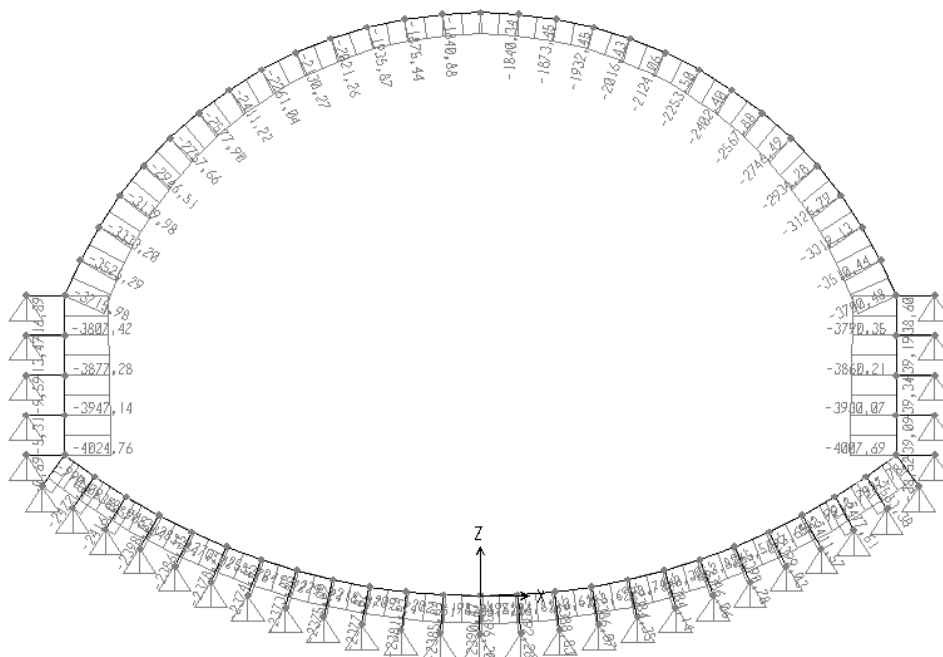


Figura 63 - COMBINAZIONE SLE- Sforzo Assiale

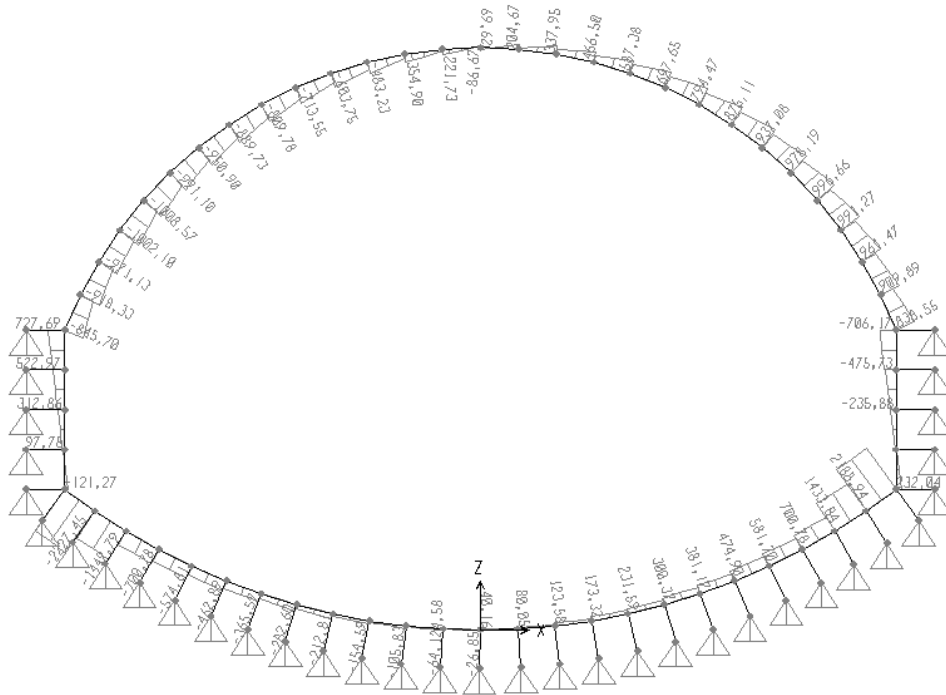


Figura 64 - COMBINAZIONE SLE- Sforzo di Taglio

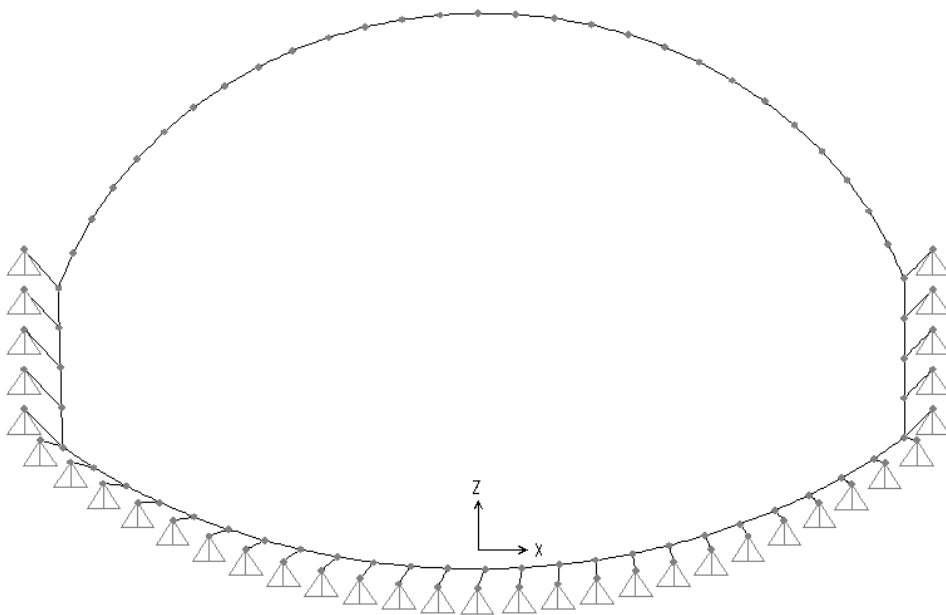


Figura 65 - COMBINAZIONE SLE – Configurazione Deformata



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

SEZIONE	U1 (m)	U3 (m)	R2 (-)
Calotta	0.0005	-0.042	-0.00036
Piedritto	0.0038	-0.033	0.00066
Arco Rovescio	0.0056	-0.017	0.00035

Tabella 60 - Tabella riassuntiva delle spostamenti significativi

VERIFICA SLE								
Sezione	Elemento	H	M	N	Af	Af'	$\sigma$ cls	$\sigma$ f
		[cm]	[KNm/m]	[KN/m]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]
Calotta	15	150	2962	1832	10 $\phi$ 26+10 $\phi$ 26	10 $\phi$ 26+10 $\phi$ 26	7,80	155
Calotta	4	150	3485,00	3139,00	10 $\phi$ 26+10 $\phi$ 26	10 $\phi$ 26+10 $\phi$ 26	7,07	75,70
Reni	1	200	5846,00	3716,00	10 $\phi$ 26+10 $\phi$ 26	10 $\phi$ 26+10 $\phi$ 26	9,76	180,00
Piedritto	60	270	5846,00	3737,00	10 $\phi$ 26	10 $\phi$ 26	7,63	164,00
Attacco Muretta - Piedritto	32	300	4631,00	4007,00	10 $\phi$ 26	10 $\phi$ 26	4,71	54,00
Attacco Muretta - Arco rovescio	35	130	812,00	2404,00	10 $\phi$ 26	10 $\phi$ 26	3,95	8,00
Arco Rovescio	44	130	1691,00	2396,00	5 $\phi$ 26	5 $\phi$ 26	9,59	188,00

Tabella 61 - Combinazione SLE verifiche tensionali nelle sezioni significative

Come si evince dalle tabelle, le tensioni di materiali risultano compatibili con quelli previsti dalla normativa di riferimento.



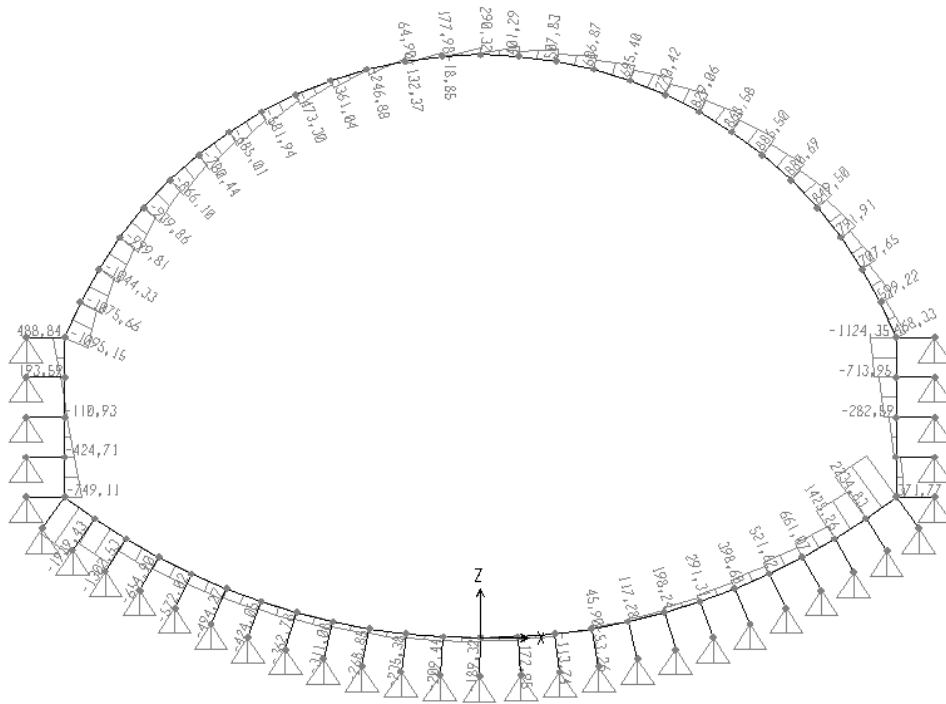


Figura 68 - COMBINAZIONE SLD- Sforzo di taglio

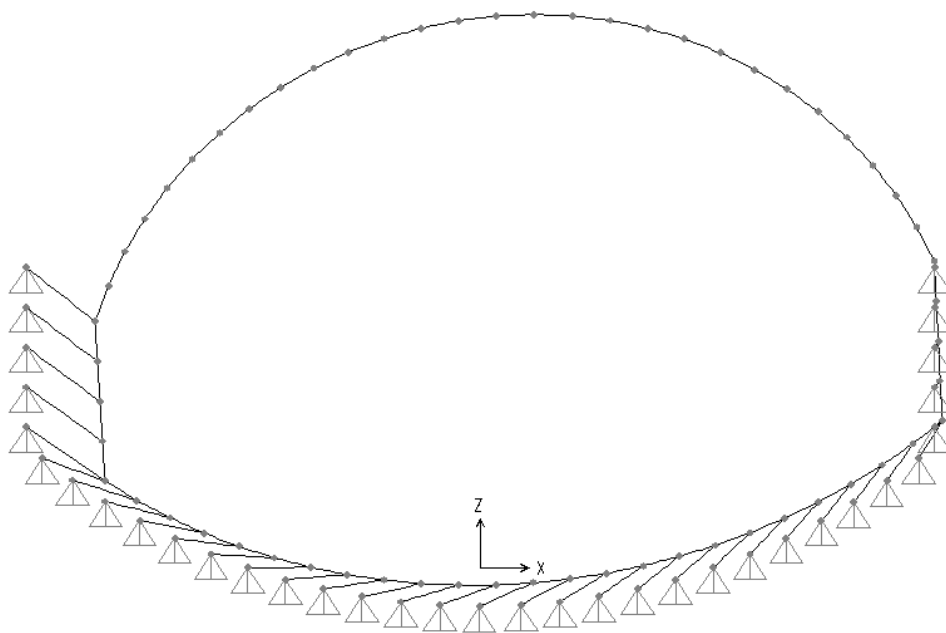


Figura 69 - COMBINAZIONE SLD – CONFIGURAZIONE DEFORMATA

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

SEZIONE	U1 (m)	U3 (m)	R2 (-)
Calotta	0.02	-0.036	-0.0043
Piedritto	0.039	-0.070	0.003
Arco Rovescio	0.068	-0.019	0.0041

Tabella 62 - Tabella riassuntiva delle spostamenti significativi

VERIFICA SLD								
Sezione	Elemento	H	M	N	Af	Af'	$\sigma_{cls}$	$\sigma_f$
		[cm]	[KNm/m]	[KN/m]			[MPa]	[MPa]
Calotta	13	150	2655,00	2312,00	10 $\phi$ 26+10 $\phi$ 26	10 $\phi$ 26+10 $\phi$ 26	7,23	114,00
Calotta	25	150	3670,00	3737,00	10 $\phi$ 26+10 $\phi$ 26	10 $\phi$ 26+10 $\phi$ 26	10,13	140,00
Reni	28	200	5358,00	4347,00	10 $\phi$ 26+10 $\phi$ 26	10 $\phi$ 26+10 $\phi$ 26	9,13	134,00
Piedritto	29	270	5358,00	4160,00	10 $\phi$ 26	10 $\phi$ 26	6,76	111,00
Attacco Muretta - pedritto	57	300	5014,00	4088,00	10 $\phi$ 26	10 $\phi$ 26	5,14	66,48
Attacco Muretta - Arco rovescio	54	130	1605,00	2953,00	10 $\phi$ 26	10 $\phi$ 26	8,77	111,00
Arco Rovescio	41	130	1827,00	2956,00	5 $\phi$ 26	5 $\phi$ 26	10,20	163,00

Tabella 63- Combinazione SLD- Riepilogo verifiche tensionali

Come si evince dalle tabelle, le tensioni di materiali risultano compatibili con quelli previsti dalla normativa di riferimento.

#### 8.1.8.1.2 Verifica a fessurazione

La verifica delle aperture delle fessure è stata svolta secondo le indicazioni del TU 2008, con riferimento a coefficienti parziali sulle azioni unitarie. Per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture è necessario:

- Realizzare 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;

Per la struttura in esame, viste le classi di esposizione ordinarie (XC2), la normativa in merito pone, come limite per le aperture delle fessure, valori minori di 0,3 mm per condizioni di carico

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

quasi permanente.

Il valore di calcolo di apertura delle fessure ( $w_d$ ) è stato valutato mediante la seguente espressione:

$$w_d = 1.7 \cdot w_m = 1.7 \cdot s_{rm} \cdot \varepsilon_{sm}$$

dove:

$$s_{rm} = 2(c+s/10) + k_2 k_3 \Phi / \rho_r$$

$$\varepsilon_{sm} = \sigma_s / E_s (1 - \beta_1 \beta_2 (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2)$$

$c$  = mm                      copriferro netto armatura tesa

$s$  = mm                      interasse tra i ferri

$k_2 = 0.4$                       per barre ad aderenza migliorata

$k_3 = 0.125$                       per diagramma delle  $s$  triangolare, dovuto a flessione o pressoflessione

$\Phi$  = mm                      diametro delle barre

$\rho_r =$                        $A_s / A_{c \text{ eff}}$

$\sigma_s =$                       tensione dell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la combinazione di azioni considerata

$\sigma_{sr} =$                       tensione dell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la sollecitazione corrispondente al raggiungimento della resistenza a trazione  $f_{ctm}$  nella fibra di calcestruzzo più sollecitata nella sezione interamente reagente.

$\beta_1 = 1$                       per barre ad aderenza migliorata

$\beta_2 = 0.5$                       nel caso di azioni di lunga durata o ripetute.

La verifica si ritiene soddisfatta qualora le resistenza caratteristica dell'apertura delle fessure è inferiore la valore prescritto dalla normativa

VERIFICA DI FESSURAZIONE												
Sezione	C	S < 14 $\phi$	As tesa	Ac eff.	$\rho_r$	$\phi$	S rm	Mcr	$\sigma_{sr}$	$\sigma_s$	e sm	Wk
	mm	mm	cm2	cm2	As/Ac	mm	mm	kNm	MPa	MPa	x 1000	mm
Calotta	50	364,0	10618,58	10618,6	0,0352	26	147,0	1165,3	90,00	155,00	0,6137	<b>0,15</b>
Calotta	50	364,0	10618,58	10618,6	0,0352	26	147,0	1165,3	90,00	75,70	0,1442	<b>0,04</b>
Reni	50	364,0	10618,58	10618,6	0,0352	26	147,0	2004,2	111,00	180,00	0,6942	<b>0,17</b>
Piedritto	50	364,0	5309,29	5309,3	0,0212	26	181,2	3360,3	255,00	164,00	0,3124	<b>0,10</b>
Attacco Muretta - Piedritto	50	364,0	5309,29	5309,3	0,0212	26	181,2	4126,9	281,00	54,00	0,1029	<b>0,03</b>
Attacco Muretta - Arco rovescio	50	364,0	5309,29	5309,3	0,0503	26	145,8	816,9	136,00	8,00	0,0152	<b>&lt;0,01</b>
Arco Rovescio	50	364,0	2654,65	2654,6	0,0252	26	201,7	775,6	254,00	188,00	0,3581	<b>0,12</b>

Tabella 64 - Calcolo delle aperture delle fessure

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Come si evince dalla tabella, le aperture delle fessure risultano inferiori al limite previsto dalla normativa di riferimento per la classe di esposizione XC2.

### 8.1.8.2 Stati limite ultimi

Le verifiche della struttura hanno riguardato essenzialmente la verifica della massima capacità di resistenza delle varie parti d'opera in relazione ai carichi previsti.

#### 8.1.8.2.1 Verifica a Pressoflessione

Secondo quanto disposto dal TU 2008, la verifica della sicurezza agli stati limite ultimi per costruzioni di conglomerato cementizio si ritiene soddisfatta quando, per ogni elemento strutturale e per ciascuna delle combinazioni delle azioni prese in esame, risulti:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'azione pari all'azione nominale moltiplicata per il coefficiente parziale per le azioni  $\gamma$ , mentre  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema, valutato con riferimento ai coefficienti parziali per le resistenze, che variano in funzione dei materiali.

COEFFICIENTI. PARZIALI	AZIONI GENERICHE	
	Sfavorevoli alla sicurezza	Favorevoli alla sicurezza
$\gamma_G$ - Azioni permanenti	1,30	1,00
$\gamma_Q$ - Azioni variabili	1,50	0,00

Tabella 65- Coefficienti parziali per le azioni

Le resistenze di calcolo dei materiali (TU 2008), conglomerato cementizio e acciaio, si ottengono mediante l'espressione

$$f_{cd} = \frac{f_{ck} * \alpha_{cc}}{\gamma_c}$$

dove

$f_{ck}$  = resistenza cilindrica caratteristica del materiale

$\gamma_m$  = coefficiente parziale per la resistenza.

La tensione di snervamento di calcolo dell'acciaio risulta invece pari a:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

dove

$f_{yk}$  = tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio

Per ciascuna sezione è stato riportato il diagramma di interazione M-N, i cui i bordi rappresentano i limiti della resistenza di calcolo  $R_d$ .

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.

La verifica risulta soddisfatta quando i punti rappresentativi delle coppie di sollecitazioni sul rivestimento risultano all'interno del diagramma.

I Domini di rottura sono stati costruiti, a seconda della sezione analizzata, secondo lo spessore di calcestruzzo e la quantità di armatura di seguito riportati.

sezione	Spessore calcestruzzo	As	A's
Calotta	150 cm	Ø26/10+Ø26/10	Ø26/10+Ø26/10
Reni	200 cm	Ø26/10+Ø26/10	Ø26/10+Ø26/10
Piedritti	270 cm	Ø26/10	Ø26/10
Arco Rovescio	130 cm	Ø26/20	Ø26/20

Tabella 66- Caratteristiche delle sezioni oggetto di verifica

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- - CONDIZIONI STATICHE (SLU):

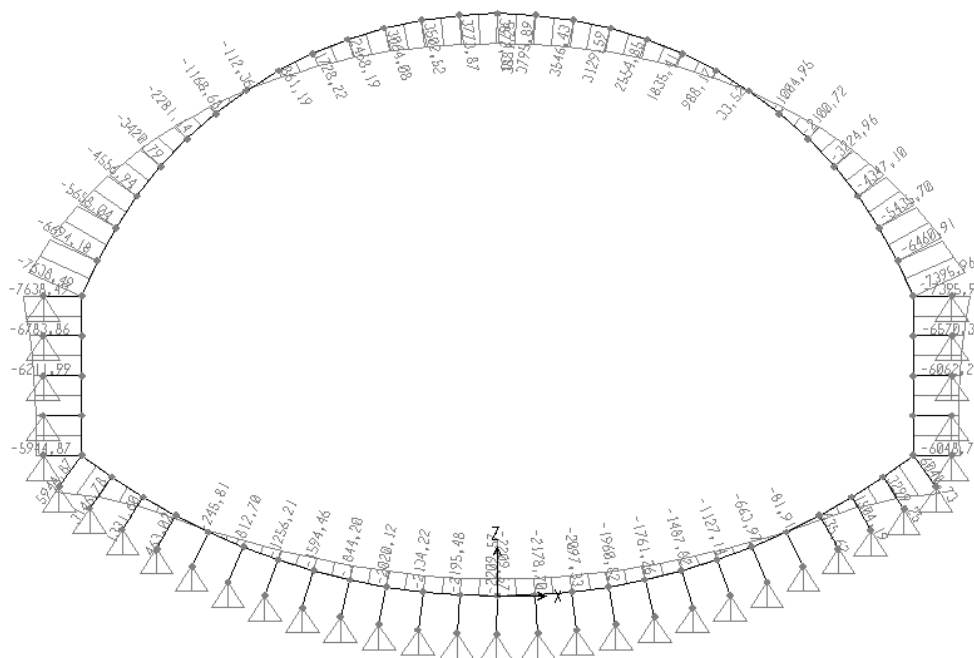


Figura 70 - COMBINAZIONE SLU (statica) Momento flettente

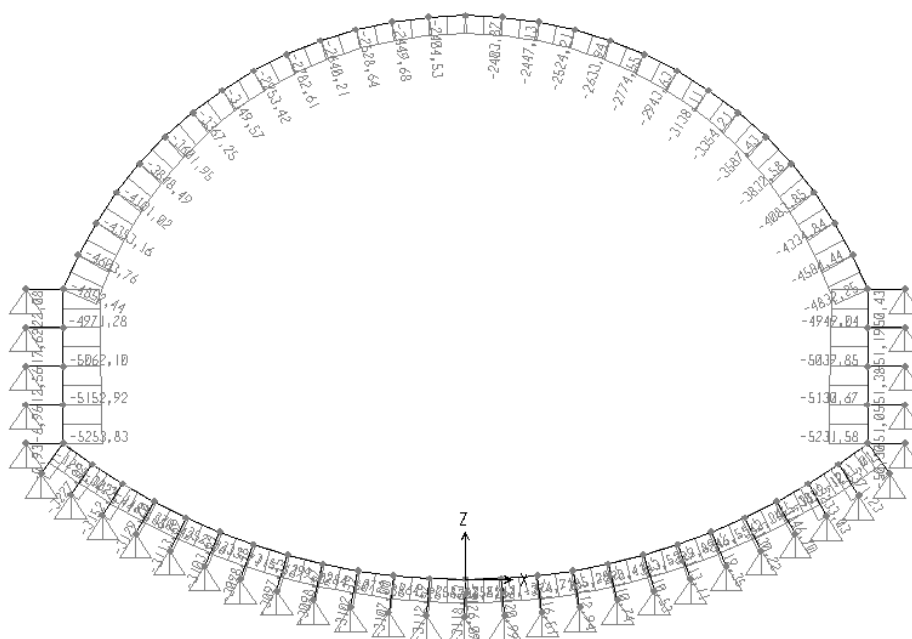


Figura 71 - COMBINAZIONE SLU (statica) Sforzo Assiale



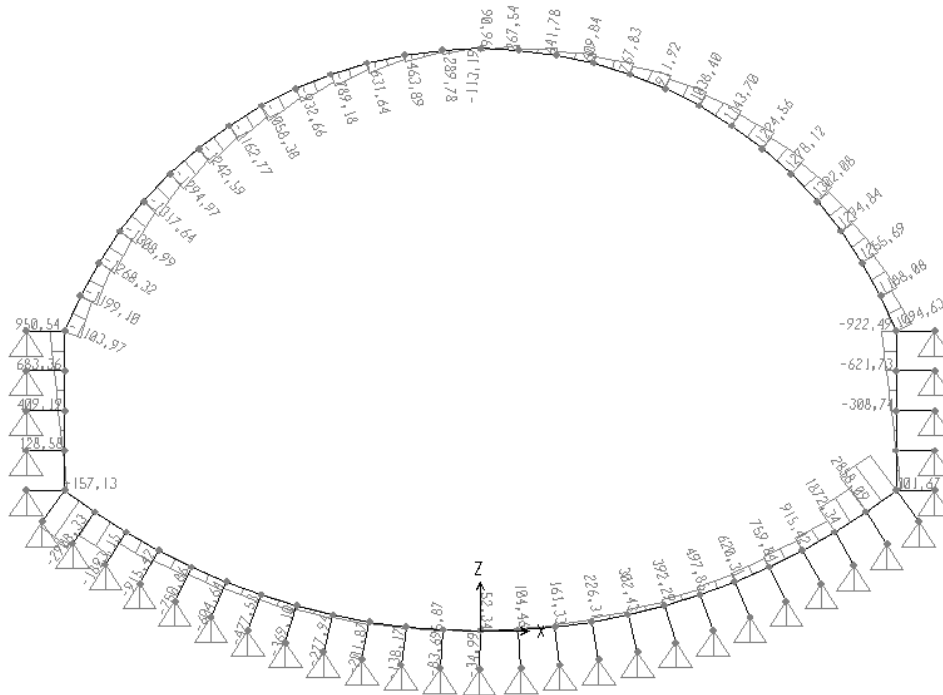


Figura 72 - COMBINAZIONE SLU statica - Sforzo di taglio

- CONDIZIONI SISMICHE (SLV):

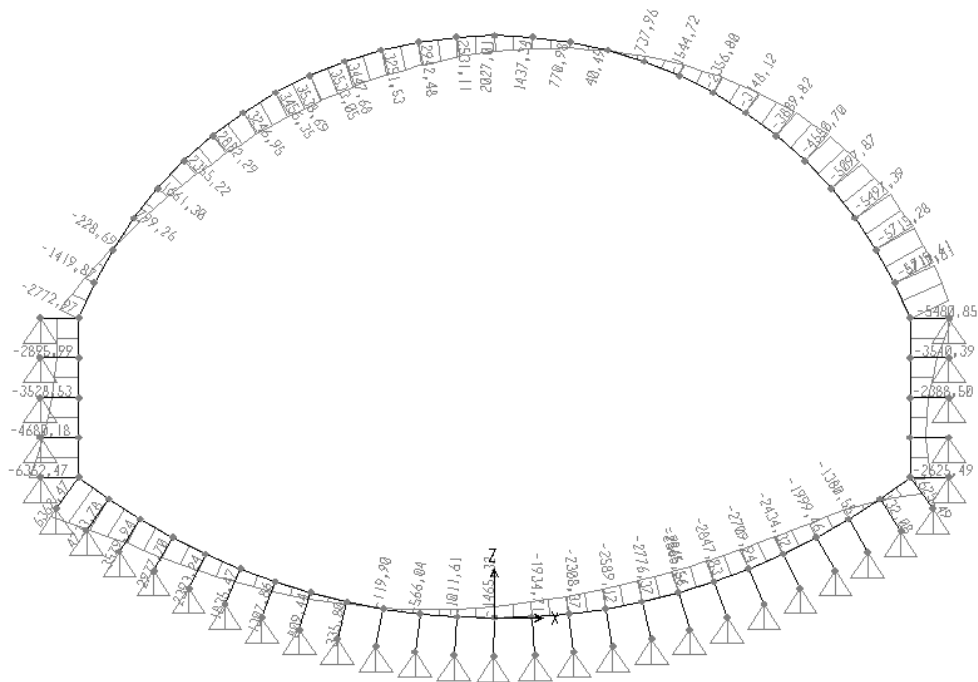


Figura 73 - COMBINAZIONE SLU (SLV)- Momento flettente

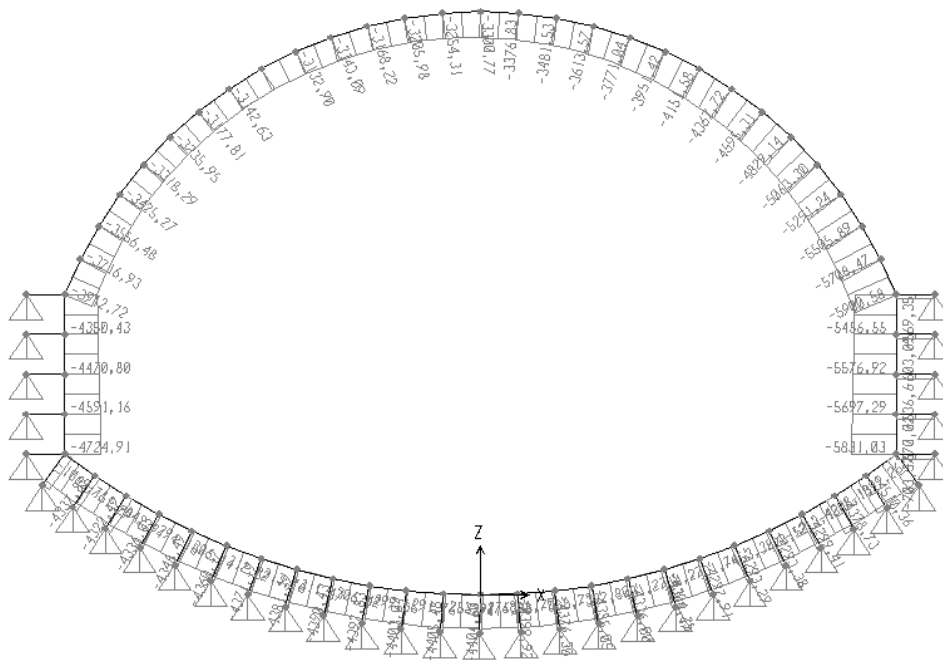


Figura 74 - COMBINAZIONE SLU (SLV) - Sforzo Normale

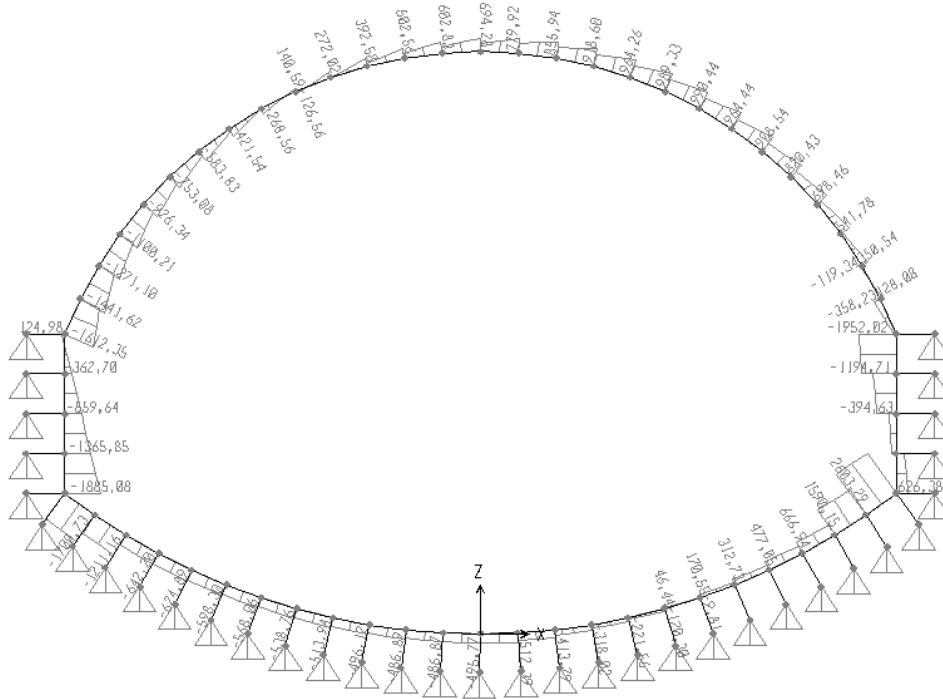


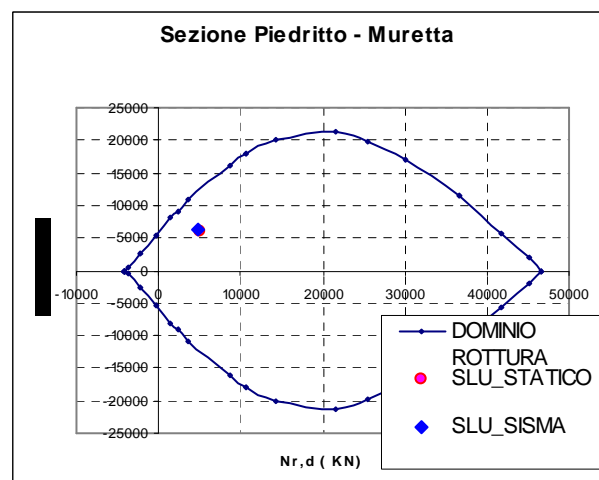
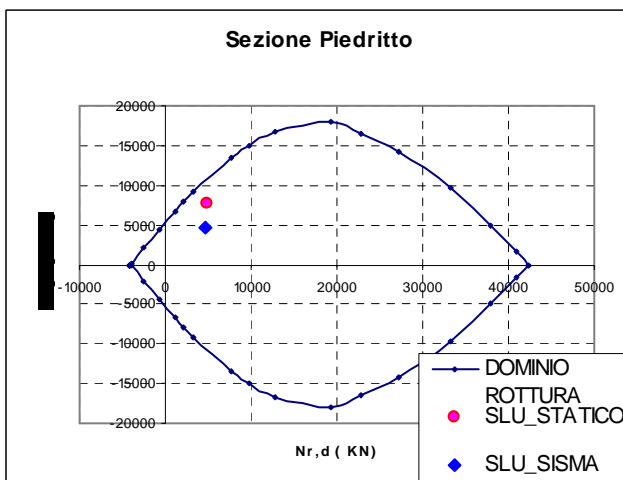
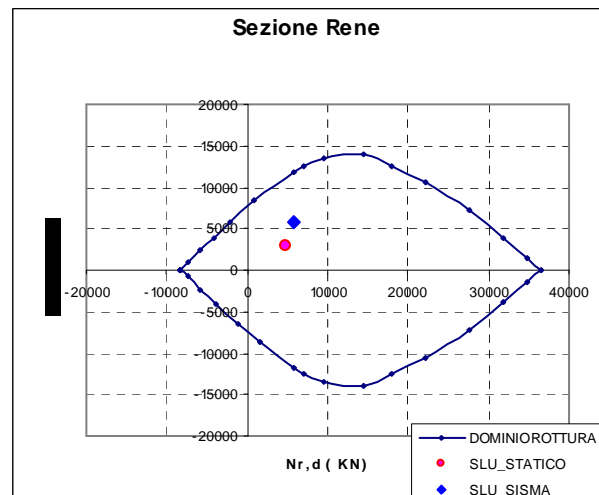
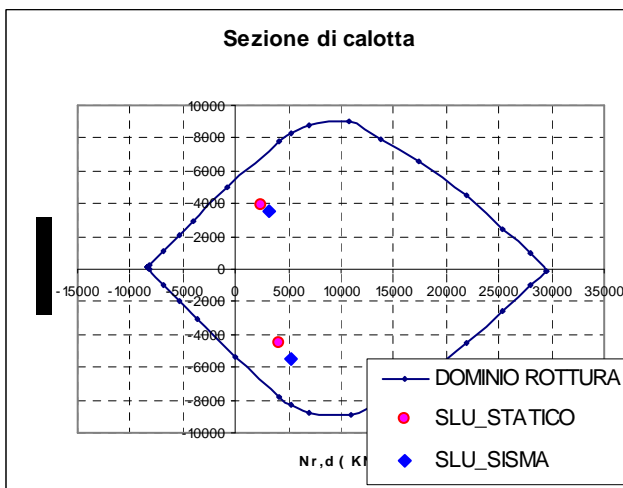
Figura 75 - COMBINAZIONE SLU (SLV) - Sforzo di Taglio

VERIFICA SLU						
Sezione	Elemento	H	Af	Af'	Md	Nd
		[cm]	[mm]	[mm]	[KNm]	[KN]
Calotta	15	150	10φ26+10Ø26	10φ26+10Ø26	3872	2393
Calotta	4	150	10φ26+10Ø26	10φ26+10Ø26	-4550	4100
Reni	1	200	10φ26+10Ø26	10φ26+10Ø26	7600	4852
Piedritto	60	270	10φ26	10φ26	7638	4880
Attacco Muretta - piedritto	32	300	10φ26	10φ26	5884	5130
Attacco Muretta - Arco rovescio	35	130	10φ26	10φ26	1059	3136
Arco Rovescio	44	130	5φ26	5φ26	2209	3126

Tabella 67 – Combinazione SLU : Sollecitazioni di progetto

VERIFICA SLV						
Sezione	Elemento	H	Af	Af'	Md	Nd
		[cm]	[mm]	[mm]	[KNm]	[KN]
Calotta	10	150	10φ26+10Ø26	10φ26+10Ø26	3519	3133
Calotta	25	150	10φ26+10Ø26	10φ26+10Ø26	-5497	5291
Reni	28	200	10φ26+10Ø26	10φ26+10Ø26	5720	5699
Piedritto	56	270	10φ26	10φ26	4680	4591
Attacco Muretta - piedritto	57	300	10φ26	10φ26	6360	4724
Attacco Muretta - Arco rovescio	54	130	10φ26	10φ26	3294	4315
Arco Rovescio	39	130	5φ26	5φ26	2865	4306

Tabella 68 - Combinazione SLU (SLV) : Sollecitazioni di progetto



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

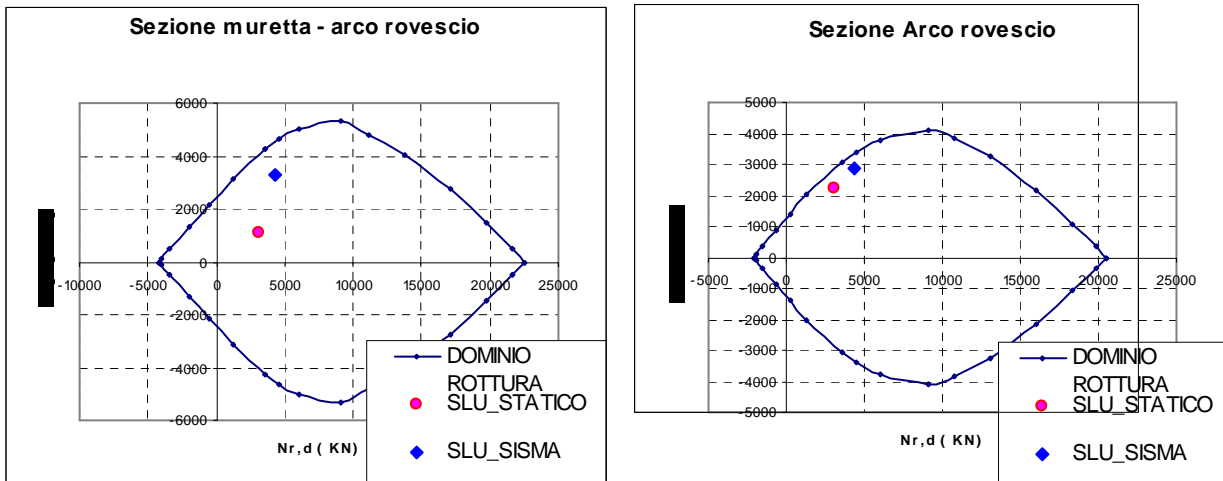


Figura 76 - Combinazione SLU e SLU\_SLV : domini di resistenza delle sezioni oggetto di verifica

Come si evince dalla figure allegate le sollecitazioni di progetto ricadono sempre all'interno dei domini di resistenza.

### 8.1.8.2.2 Verifica a taglio

Le verifiche allo stato limite ultimo nei confronti dell'azione tagliante vengono eseguite in accordo con il DM 14-01-2008, di cui si riporta un estratto in quanto segue. Per la valutazione delle resistenze ultime nei confronti delle sollecitazioni taglianti si deve considerare quando segue.

- Sezioni senza armature trasversali resistenti a taglio:

la verifica di resistenza agli stati limite ultimi risulta soddisfatta se  $V_{Rd} \geq V_{Ed}$ , dove  $V_{Ed}$  è la sollecitazione caratteristica di taglio agente nella sezione.

Il valore della resistenza al taglio, riferita al elemento fessurato da momento flettente, si valuta con la seguente relazione :

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$V_{Rd} = \{0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \quad (4.1.14)$$

con

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

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

e dove

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

$\rho_1 = A_{s1} / (b_w \cdot d)$  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).

- Sezioni con armature trasversali resistenti a taglio:

La resistenza al taglio di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono sia le armature trasversali che le armature longitudinali.

La verifica di resistenza si considera soddisfatta quando  $V_{Rd} \geq V_{Ed}$ .  $V_{Ed}$  è la sollecitazione caratteristica di taglio agente nella sezione. Il valore della resistenza al taglio si valuta con la seguente relazione :

- con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza a "taglio trazione" si calcola con la seguente formula:

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

- con riferimento al calcestruzzo d'anima la resistenza del "taglio compressione" si calcola con la seguente formula:

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

dove  $d$ ,  $b_w$  e  $\sigma_{cp}$  hanno il significato già visto in § 4.1.2.1.3.1. e inoltre si è posto:

$A_{sw}$	area dell'armatura trasversale;		
$s$	interasse tra due armature trasversali consecutive;		
$\alpha$	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;		
$f'_{cd}$	resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ( $f'_{cd} = 0,5 \cdot f_{cd}$ );		
$\alpha_c$	coefficiente maggiorativo pari a	1	per membrature non compresse
		$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$	per $0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$
		1,25	per $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$
		$2,5(1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$	per $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$

È stata svolta una verifica la taglio relativamente alle sezioni più critiche individuate nel calcolo, ipotizzando inizialmente l'assenza di armatura specifica la taglio. Il risultato ottenuto è di seguito riportato.

VERIFICA TAGLIO ( SLU ) -CONDIZIONI STATICHE						
<b>sezione</b>	<b>B</b> [cm]	<b>H</b> [cm]	<b>N</b> KN	<b>V</b> KN	<b>Coefficiente</b> $\gamma_s$	<b>Coefficiente</b> $\gamma_c$
calotta	100	150	4100	1300	1,15	1,5
reni	100	200	4350	1300	$\alpha$	$\theta$
pedritto	100	270	4880	950	°	°
pedritto- muretta	100	300	5253	2875	90	45
muretta - a.r.	100	130	3120	897		
<b>armatura</b>	<b>passo</b>	<b>Asl</b>	<b>copriferro</b>	<b>fyk</b>	<b>fyd</b>	<b>fcd</b>
mm	cm	mm <sup>2</sup>	cm	Mpa	MPa	MPa
26	10	5309,29	5	450	391,30	14,11
26	10	5309,29	5	450	391,30	14,11
26	10	5309,29	5	450	391,30	14,11
26	10	5309,29	5	450	391,30	14,11
26	10	5309,29	5	450	391,30	14,11
26	20	2654,65	5	450	391,30	14,11
<b>altezza utile</b>	<b>bw</b>	<b>p1</b>	<b>k1</b>	<b>vmin</b>	<b><math>\sigma_{cp}</math></b>	
<b>d [cm]</b>	<b>[cm]</b>			[MPa]	[MPa]	
143	100	0,0037128	1,37	0,28	2,867	
193	100	0,0027509	1,32	0,27	2,254	
263	100	0,0020187	1,28	0,25	1,856	
293	100	0,0018120	1,26	0,25	1,793	

123	100	0,0043165	1,40	0,29	2,537
-----	-----	-----------	------	------	-------

**SLU\_STATICI**

**V Rd**

**V Ed**

[KN]	[KN]	[KN]
<b>1106,18</b>	1017,23	<b>1300</b>
<b>1230,22</b>	1164,80	<b>1300</b>
<b>1418,01</b>	1393,88	<b>950</b>
<b>1517,07</b>	1512,79	<b>2875</b>
<b>921,48</b>	825,08	<b>897</b>

Verifica

**NO**

**NO**

**OK**

**NO**

**OK**

**VERIFICA TAGLIO ( SLV )- CONDIZIONI SISMICHE**

sezione	B [cm]	H [cm]	N KN	V KN
calotta	100	150	3425	1100
reni	100	200	3912	1612
piedritto	100	270	5336	1950
piedritto-muretta	100	300	4725	1885
muretta - a.r.	100	130	4229	641

Coefficiente	Coefficiente
$\gamma_s$	$\gamma_c$
1,15	1,5
$\alpha$	$\theta$
°	°
90	45

armatura	passo	Asl	copriferro	fyk	fyd	fgd
mm	cm	mm <sup>2</sup>	cm	Mpa	MPa	MPa
26	10	5309,29	5	450	391,30	14,11
26	10	5309,29	5	450	391,30	14,11
26	10	5309,29	5	450	391,30	14,11
26	10	5309,29	5	450	391,30	14,11
26	10	5309,29	5	450	391,30	14,11

altezza utile	bw	p1	k1	vmin	$\sigma_{cp}$
d [cm]	[cm]			[MPa]	[MPa]
143	100	0,0037128	1,37	0,28	2,395
193	100	0,0027509	1,32	0,27	2,027
263	100	0,0020187	1,28	0,25	2,029
293	100	0,0018120	1,26	0,25	1,613
123	100	0,0043165	1,40	0,29	3,438

**SLU\_SISMICI**

**V Rd**

**V Ed**

[KN]	[KN]	[KN]
<b>1004,93</b>	915,98	<b>1100</b>
<b>1164,52</b>	1099,10	<b>1612</b>
<b>1486,41</b>	1462,28	<b>1950</b>

Verifica

**NO**

**NO**

**NO**



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO	<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0

<b>1437,87</b>	1433,59	<b>1885</b>	<b>NO</b> <b>OK</b>
<b>1087,83</b>	991,43	<b>641</b>	

È di seguito riportata la verifica della resistenza al taglio per le sezioni nel quale si sia resa necessaria un'armatura a taglio.

VERIFICA TAGLIO ( T.U. 2008 ) -CONDIZIONI STATICHE																																				
sezione	B	H	N	V slu	Coefficiente	Coefficiente																														
	[cm]	[cm]	KN	KN	$\gamma_s$	$\gamma_c$																														
calotta	100	150	4100	1300	1,15	1,5																														
reni	100	200	4350	1300	$\alpha$	$\theta$																														
piedritto	100	270	4880	950	°	°																														
piedritto-muretta	100	300	5253	2875	90	45																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Asw</th> <th>Copriferro</th> <th>fyk staffe</th> <th>fyd staffe</th> <th>fcd</th> </tr> <tr> <th>mm2</th> <th>cm</th> <th>Mpa</th> <th>MPa</th> <th>MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3216,99</td> <td>5</td> <td>450</td> <td>391,30</td> <td>14,11</td> </tr> <tr> <td>3216,99</td> <td>5</td> <td>450</td> <td>391,30</td> <td>14,11</td> </tr> <tr> <td>3216,99</td> <td>5</td> <td>450</td> <td>391,30</td> <td>14,11</td> </tr> <tr> <td>3216,99</td> <td>5</td> <td>450</td> <td>391,30</td> <td>14,11</td> </tr> </tbody> </table>							Asw	Copriferro	fyk staffe	fyd staffe	fcd	mm2	cm	Mpa	MPa	MPa	3216,99	5	450	391,30	14,11	3216,99	5	450	391,30	14,11	3216,99	5	450	391,30	14,11	3216,99	5	450	391,30	14,11
Asw	Copriferro	fyk staffe	fyd staffe	fcd																																
mm2	cm	Mpa	MPa	MPa																																
3216,99	5	450	391,30	14,11																																
3216,99	5	450	391,30	14,11																																
3216,99	5	450	391,30	14,11																																
3216,99	5	450	391,30	14,11																																
altezza utile	$\sigma_{cp}$	$\alpha_c$	V Rcd	V Rsd	V Rd	<b>Verifica</b>  <b>OK</b> <b>OK</b> <b>OK</b> <b>OK</b>																														
d [cm]	MPa	-	KN	KN	KN																															
143,00	2,8671	1,20	5462,39	1620,10	<b>1620,10</b>																															
193,00	2,2539	1,16	7106,02	2186,57	<b>2186,57</b>																															
263,00	1,8555	1,13	9447,59	2979,63	<b>2979,63</b>																															
293,00	1,7928	1,13	10483,94	3319,51	<b>3319,51</b>																															

VERIFICA TAGLIO ( T.U. 2008 )- CONDIZIONI SISMICHE						
sezione	B	H	N	V slu	Coefficiente	Coefficiente
	[cm]	[cm]	KN	KN	$\gamma_s$	$\gamma_c$
calotta	100	150	3425	1100	1,15	1,5
reni	100	200	3912	1612	$\alpha$	$\theta$
piedritto	100	270	5336	1950	°	°
piedritto-muretta	100	300	4725	1885	90	45

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Asw	Copriferro	fyk staffe	fyd staffe	fcd
mm2	cm	Mpa	MPa	MPa
3216,99	5	450	391,30	14,11
3216,99	5	450	391,30	14,11
3216,99	5	450	391,30	14,11
3216,99	5	450	391,30	14,11

altezza utile	$\sigma_{cp}$	$\alpha_c$	V Rcd	V Rsd	V Rd	Verifica
<b>d [cm]</b>	MPa	-	KN	KN	KN	
143,00	2,87	1,20	5462,39	1620,10	<b>1620,10</b>	OK
193,00	2,25	1,16	7106,02	2186,57	<b>2186,57</b>	OK
263,00	1,86	1,13	9447,59	2979,63	<b>2979,63</b>	OK
293,00	1,79	1,13	10483,94	3319,51	<b>3319,51</b>	OK

Come si osserva dalla tabelle sopra riportate, le verifiche soddisfanno le condizioni richieste dalla normativa di riferimento.

## 8.2 Galleria artificiale ferroviaria scatolare

### 8.2.1 Premessa

La galleria artificiale scatolare è formata da tre tratti con sezioni di luce variabili da circa 16,00 m a 18,85 m. Lo spessore del solettone di fondo è pari a 1,50 m e quello delle pareti è di 1,00 m. Nella presente relazione si è analizzata la sezione più sollecitata, corrispondente a quella caratterizzata da larghezza e ricoprimento massimi.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		Codice documento CS0248_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

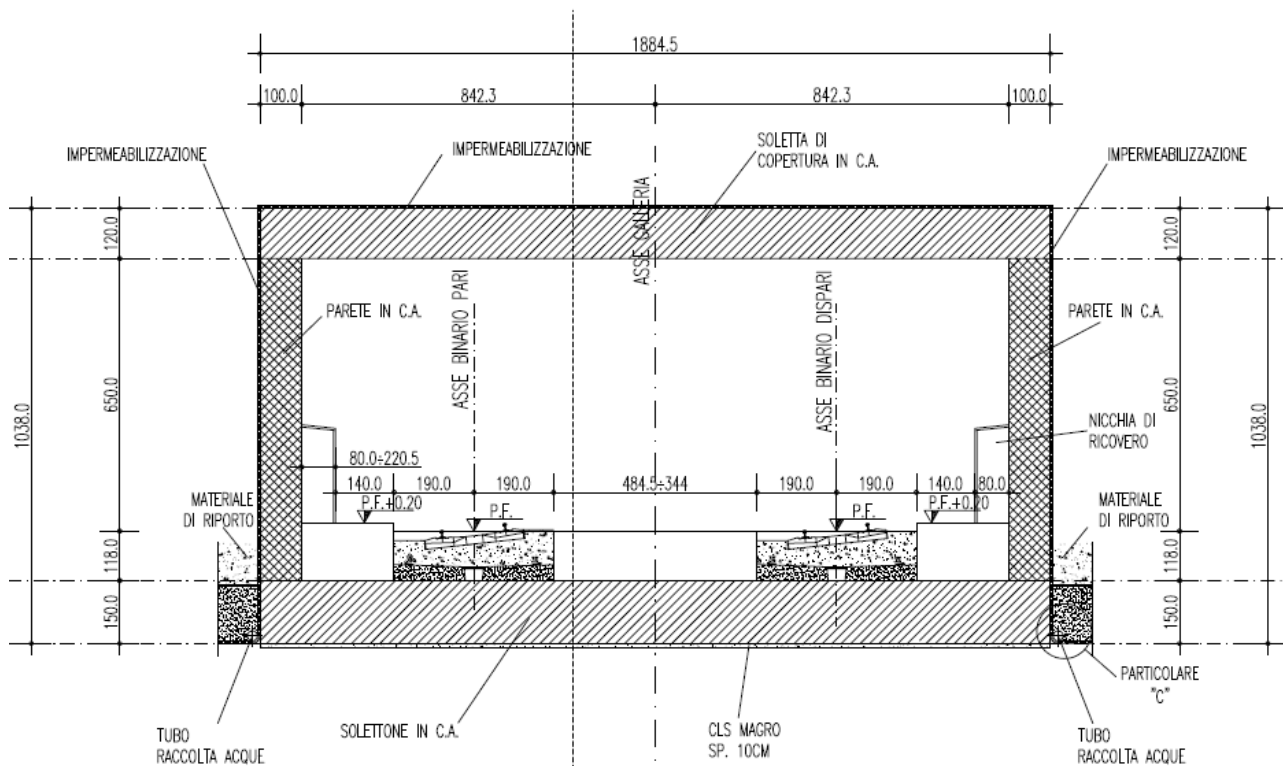


Figura 77 – Carpenteria tipologica galleria artificiale

Le verifiche strutturali della galleria artificiale sono state svolte per la sezione ritenuta più rappresentativa, dal punto di vista dei carichi agenti e del modello geologico-geotecnico, secondo quanto previsto dalla Normativa vigente, ovvero sia agli stati limite ultimi che di esercizio. Alla luce della caratterizzazione geologico-geotecnica condotta a valle dell'analisi dei risultati delle indagini disponibili, si riporta nel seguito una sintesi della parametrizzazione geotecnica utilizzata per la definizione del quadro geomeccanico che caratterizza le analisi svolte per le gallerie artificiali oggetto della presente relazione.

### 8.2.2 Caratteristiche dei materiali

#### CALCESTRUZZO PARETI LATERALI – C25/30

resistenza caratteristica cilindrica

$$f_{ck} = 25 \quad \text{MPa}$$

resistenza caratteristica cubica

$$f_{ck(c)} = 30 \quad \text{MPa}$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

#### CALCESTRUZZO SOLETTONE – C28/35

resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck} = 28$	MPa
resistenza caratteristica cubica	$f_{ck(c)} = 35$	MPa

#### ACCIAIO B450C

Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 450$	MPa
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} = 540$	MPa

### 8.2.3 Parametri geotecnici di calcolo

Per la definizione della stratigrafia di calcolo sono stati individuati due litotipi:

- Materiale di riempimento, proveniente dalla risulta degli scavi della galleria dopo opportuna qualifica, caratterizzato dai seguenti parametri:

- Peso di Volume  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
- Coesione  $c' = 0.0 \text{ MPa}$
- Angolo di attrito  $\phi = 33^\circ$
- Rigidezza  $K_h = 4227 \text{ kN/m}^3$ , relativa al paramento laterale, ricavato in base alla formulazione proposta da Bowles di seguito esplicitata.

$$K_h = E / [(b \cdot (1 - \nu^2)) \cdot I_w]$$

dove:

$$I_w = I_w (L/b)$$

b= lato minore del paramento

L=lato maggiore del paramento

E= 50 MPa

- Terreno di fondazione della galleria-caratterizzato dai seguenti parametri:

- Peso di Volume  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
- Coesione  $c' = 0.006 \text{ MPa}$
- Angolo di attrito  $\phi = 38^\circ$
- Rigidezza  $K_h = 16543 \text{ kN/m}^3$ , relativa al paramento laterale, ricavato in base alla formulazione proposta da Bowles di seguito esplicitata.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$K_n = E / [(b \cdot (1 - \nu^2)) \cdot I_w]$$

dove:

$$I_w = I_w (L/b)$$

b= lato minore del paramento

L=lato maggiore del paramento

E= 300 MPa

### 8.2.4 Sezioni di calcolo : tipologia di carichi

Le ipotesi di carico applicate considerano sia i carichi verticali, che quelli orizzontali calcolati in funzione dello spessore del terreno di copertura. In particolare, la galleria artificiale è stata verificata considerando una copertura in asse soletta pari a circa 2 m (in modo da considerare i carichi derivanti dalla massimi ricoprimenti previsti sulla struttura).

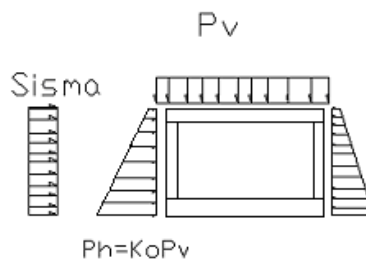


Figura 78 - Schema dei carichi applicati al modello numerico implementato

I carichi applicati al modello di calcolo sono di seguito riassunti.

- AZIONI PERMANENTI (G)

- Pesi Propri della struttura in c.a. e del terreno di ritombamento: per il calcestruzzo è stato adottato un peso di volume pari ad  $25 \text{ KN/m}^3$ , mentre per il terreno di ritombamento è stato adottato un peso di volume pari ad  $19 \text{ KN/m}^3$ ;

- Spinte del terreno: l'interazione terreno-struttura è tale da consentire che si sviluppi un regime di spinta a riposo ( $K_0$ ) a seconda delle condizioni di carico; in particolare si è adottato un  $K_0=0.455$ .

L'interazione della struttura col terreno è stata modellata anche tramite molle elastiche che trasmettano solo forze di compressione, nei paragrafi seguenti sono stati esplicitati i valori dei

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

moduli di relazione adottati nella modellazione;

- AZIONI ACCIDENTALI (Q)
  - Carichi accidentali: è stato adottato un valore di carico accidentale da traffico pari a 20 KN/m<sup>2</sup>, tenendo conto della diffusione dei carichi legata all'altezze del ricoprimento ed allo spessore della copertura;
- AZIONI SISMICHE (E)

Per il calcolo dell'azione sismica di Progetto si sono considerati i seguenti parametri:

- $V_n = 100$  anni
- Classe d'uso = IV (opere infrastrutturali)
- $C_u = 2$  (coefficiente d'uso della struttura)

Pertanto il periodo di riferimento per il calcolo dell'azione sismica è pari  $V_R = 200$  anni.

Per le condizioni di stato limite di salvaguardia della vita umana (SLV), il valore dell'azione sismica di progetto, cui corrisponde un periodo di ritorno  $T_r = 1898$  anni, è ricavato di seguito. Il coefficiente  $\beta$  è stato assunto pari a 0.75, corrispondente ad un valore di  $u_s$  (massimo spostamento che l'opera può tollerare senza riduzioni di resistenza) pari ad 1cm.

Valutazione azione sismica SLV		
$a_{max}$	[g]	0,437
$F_0$	[-]	2,49
$T_c^*$	[s]	0,422
Tipo sottosuolo		B
$S_s * S_T$		1,44
$\alpha * \beta$		0.75

Da cui:

Accelerazione orizz. di progetto		
$a_H$	[g]	0,471

Invece, per le condizioni di stato limite di danno (SLD), il valore dell'azione sismica di progetto, cui corrisponde un periodo di ritorno  $T_r = 201$  anni, è il seguente:

Valutazione azione sismica SLD		
$a_{max}$	[g]	0,170

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

F0	[-]	2,357
Tc*	[s]	0,337
Tipo sottosuolo		B
Ss*ST		1,44
$\alpha*\beta$		0.75

Si ottiene che:

Accelerazione orizz. di progetto		
aH	[g]	0,183

Pertanto le azioni sismiche saranno:

- Spinta Sismica Orizzontale del Terreno: calcolata secondo il metodo di Wood

$$\Delta P = \frac{a}{g} * S * \gamma * H^2 * B$$

dove:

H= altezza della galleria e del terreno sovrastante

B= larghezza adottata nei calcoli in questo caso posta unitaria

Questa spinta, da sommare alla relativa spinta statica, varia in funzione del ricoprimento in esame.

- Azioni Inerziali Strutturali Orizzontali: date dal prodotto del peso proprio della struttura per il coefficiente  $K_H$  ( $a_g/g * S_T * S_S * \alpha*\beta$ )
- Azioni Inerziali Strutturali Verticali: date dal prodotto del peso proprio della struttura per il coefficiente  $K_v$  ( $0.5K_H$ )
- Inerzia Verticale del Terreno: data dal prodotto del peso di ritombamento per il coefficiente sismico  $K_v$ .

### 8.2.5 Combinazione di Carico

Le ipotesi di carico applicate considerano sia i carichi verticali che quelli orizzontali calcolati in funzione dello spessore del terreno di copertura. In particolare, la galleria artificiale è stata

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

verificata considerando opportune combinazioni di carico che rappresentano le condizioni più gravose ipotizzabili:

Carico	$\gamma F$			
	SLE	SLD_SIMA	SLU	SLU_SISMA
Peso Proprio struttura - PP	1	1	1,3	1
Carico Verticale (Terre) - Pv	1	1	1,3	1
Carico Orizzontale (Terre) - PH	1	1	1,3	1
Inerzia orizzontale struttura - Fih	-	1	-	1
Inerzia verticale struttura - Fiv	-	1	-	1
Sisma Orizzontale (Terre) - Sis_H	-	1	-	1
Sisma Verticale (Terre) - Sis_V	-	1	-	1
Sovraccarico accidentale - q	1	0,3	1,5	0,3

Tabella 69 - Combinazioni di carico utilizzate per la verifica strutturale della galleria artificiale

### 8.2.6 Modello di calcolo

Il calcolo degli spostamenti e delle sollecitazioni viene svolto per via numerica attraverso il metodo degli elementi finiti mediante il programma di calcolo SAP2000.

Si considera una sezione di galleria di larghezza unitaria ( $B=1$  m) e viene quindi definito un modello della struttura schematizzato in elementi beam. In funzione della variabilità degli elementi strutturali si sono individuate le seguenti sezioni tipologiche:

- Solettone di fondo ( $h=1.50$  m)
- Pareti laterali ( $h=1.0$  m)
- Copertura (biella rigida)



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> <i>Data</i> F0        20/06/2011

Gli elementi di copertura sono stati modellati con l'ausilio di una biella vincolata in modo tale da non trasmettere momento flettente alle pareti, allo scopo di trasmettere i carichi orizzontali alle strutture interne, tenendo conto dell'effetto degli appoggi in neoprene.

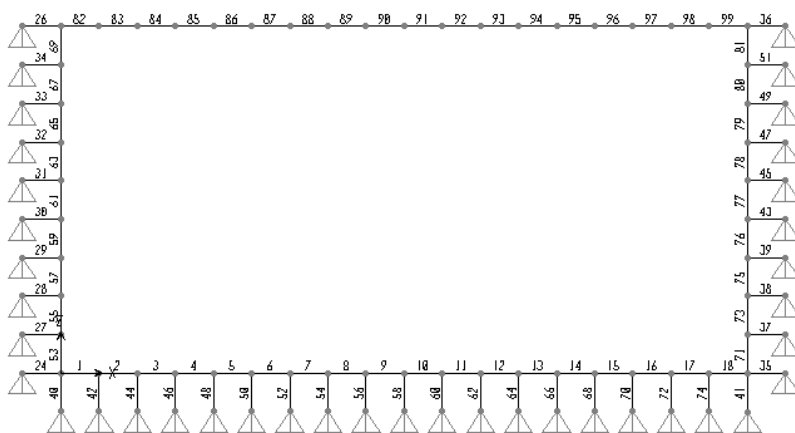


Figura 79 - Discretizzazione per elementi finiti tipo "Beam": numerazione elementi strutturali

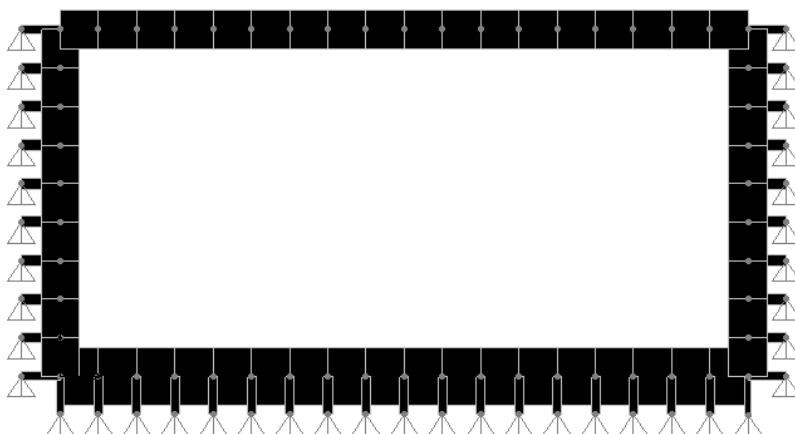


Figura 80 - Modellazione delle sezioni della galleria artificiale

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 8.2.7 Criteri di verifica

Le verifiche statiche della struttura sono svolte secondo l'approccio agli Stati Limite, analizzando lo stato limite ultimo e lo stato limite di esercizio, con riferimento a quanto indicato nel Decreto Ministero delle Infrastrutture 14.09.2008 - Testo Unico "Norme Tecniche per le Costruzioni".

Il DM 2008 TU segue l'approccio agli Stati Limite degli Eurocodici: la sicurezza e la prestazione di un'opera devono essere valutati in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale, Stati Limite Ultimi (SLU) e Stati Limite di Esercizio (SLE), secondo il metodo semiprobabilistico basato sull'impiego dei "coefficienti parziali di sicurezza".

### 8.2.8 Verifiche strutturali

#### 8.2.8.1 Stati limite di esercizio

Le verifiche eseguite in condizioni di esercizio hanno riguardato essenzialmente :

- limitazione di danneggiamenti locali (es. fessurazione calcestruzzo) che possono ridurre la durabilità della struttura.
- Spostamenti e deformazioni che possono eventualmente compromettere l'uso della costruzione e la sua efficienza.

Di seguito vengono riportate le sollecitazioni agenti sulla struttura, in forma di diagrammi e tabelle, e le relative verifiche strutturali eseguite nelle sezioni più gravose.

#### 8.2.8.1.1 Verifica a Pressoflessione

La verifica allo stato limite di esercizio TU 2008 viene condotta con riferimento a coefficienti parziali sulle azioni unitari:

COEFFICIENTI. PARZIALI	AZIONI GENERICHE	
	Sfavorevoli alla sicurezza	Favorevoli alla sicurezza
$\gamma_G$ - Azioni permanenti	1,00	1,00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

γ <sub>0</sub> - Azioni variabili	1,00	0,00
-----------------------------------	------	------

Tabella 70- Coefficienti parziali per le azioni

In particolare la massima tensione di compressione del conglomerato cementizio, ricavata dalle sollecitazioni fornite dal codice di calcolo, dovrà rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c < 0.60 f_{ck} \quad \text{combinazione rara}$$

$$\sigma_c < 0.45 f_{ck} \quad \text{combinazione quasi permanente}$$

$$\sigma_s < 0.8 f_{yk}$$

Le verifiche allo stato limite di esercizio, secondo quanto descritto in precedenza, risulteranno invece soddisfatte quando sarà rispettata la seguente relazione:

$$\sigma_c \leq 11.60 \text{ MPa} \quad \text{C25/30}$$

$$\sigma_c \leq 12.60 \text{ MPa} \quad \text{C28/35}$$

$$\sigma_s \leq 360.0 \text{ MPa}$$

Per ciascuna sezione si sono prese in considerazione le sollecitazioni massime in corrispondenza della varie parti della struttura; in particolare per quanto riguarda le azioni in prossimità del nodo di incastro tra solettone di fondo e parete laterale, si sono utilizzati i valori ottenuti dal modello di calcolo per il solettone e per la parete ad una distanza rispettivamente di 50 cm e 75 cm dal nodo, in modo da tenere in conto lo spessore degli elementi stessi.

sezione	Spessore calcestruzzo	As	A's
<b>Parete - mezzeria</b>	100 cm	Ø26/10	Ø26/20
<b>Parete - incastro</b>	100 cm	Ø30/10	Ø26/10
<b>Solettone - mezzeria</b>	150 cm	Ø30/10+Ø30/20	Ø26/10
<b>Solettone - incastro</b>	150 cm	Ø30/10	Ø26/10

Tabella 71- Caratteristiche delle sezioni oggetto di verifica

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<b>Codice documento</b> CS0248_F0	<b>Rev</b> F0	<b>Data</b> 20/06/2011

- CONDIZIONI STATICHE (SLE):

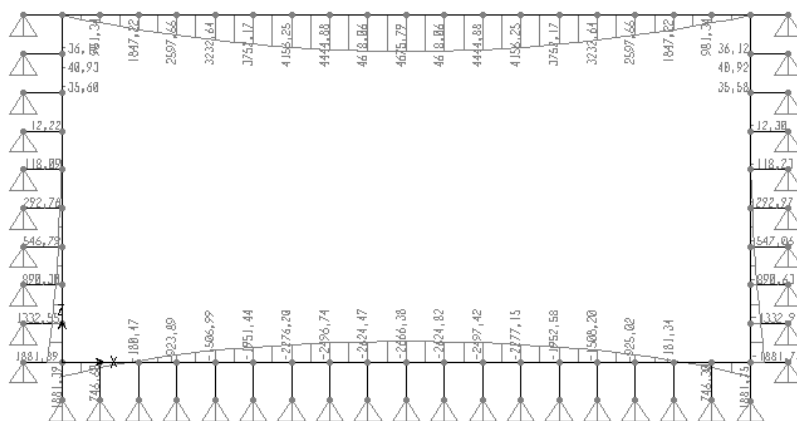


Figura 81 - COMBINAZIONE SLE- Momento flettente

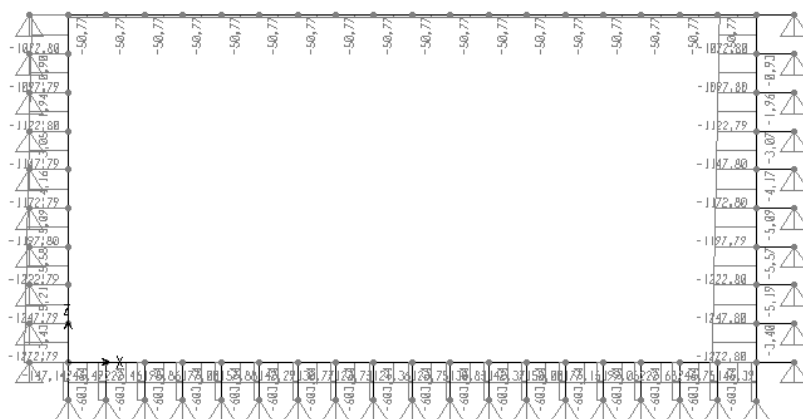


Figura 82 - COMBINAZIONE SLE- Sforzo Assiale

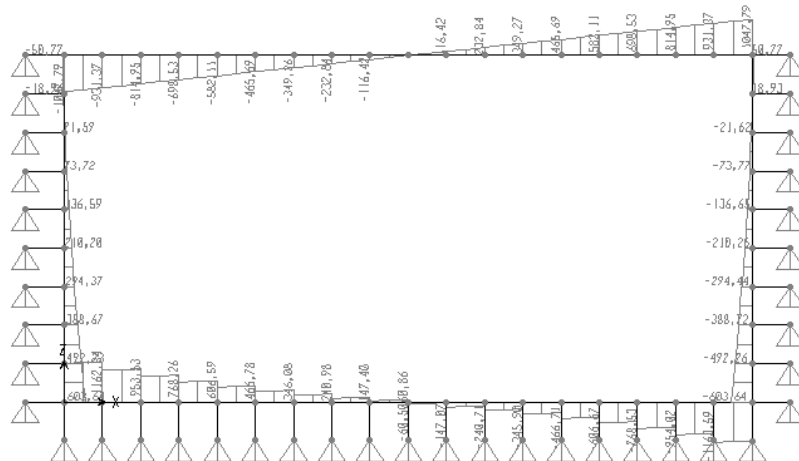


Figura 83 - COMBINAZIONE SLE- Sforzo di Taglio

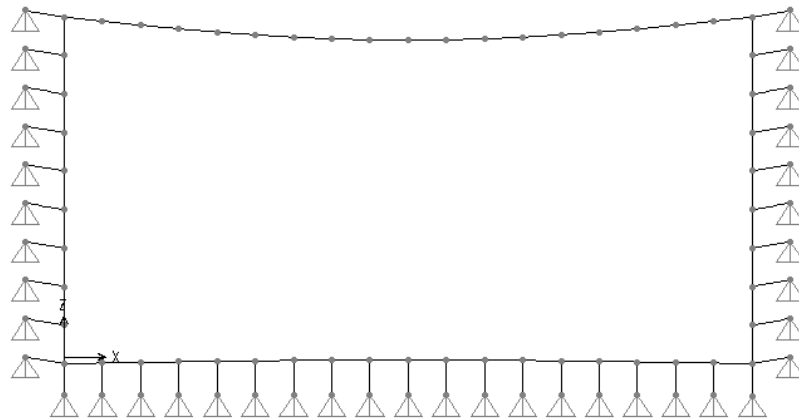


Figura 84 - COMBINAZIONE SLE – Configurazione Deformata

sezione	U1 (m)	U3 (m)	R2 (-)
parete	0,0012	-0,017	0.00024
solettone	-0,0001	-0,007	-0,00001

Tabella 72 - Tabella riassuntiva delle spostamenti significativi

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

VERIFICA SLE							
Sezione	H	M	N	Af	Af'	$\sigma_{cls}$	$\sigma_f$
	[cm]	[KNm/m]	[KN/m]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]
<b>Parete - mezzeria</b>	100	293	1172	10Ø26	5Ø26	2,62	4
<b>Parete - incastro</b>	100	1463	1254	10Ø30	10Ø26	9,10	173
<b>Solettone - mezzeria</b>	150	2666	0	10Ø30+5Ø30	10Ø26	6,84	203
<b>Solettone - incastro</b>	150	1313	0	10Ø30	10Ø26	3,73	141

Tabella 73 - Combinazione SLE verifiche tensionali nelle sezioni significative

Come si evince dalle tabelle, le tensioni di materiali risultano compatibili con quelli previsti dalla normativa di riferimento.

- CODIZIONI SISMICHE (SLD):

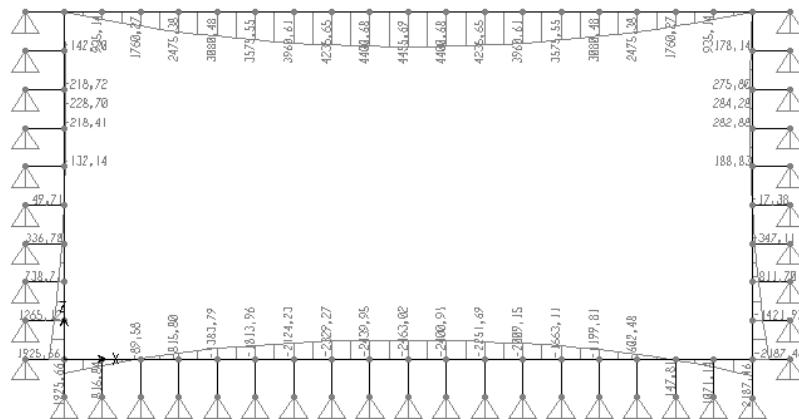


Figura 85 -COMBINAZIONE SLD- Momento flettente

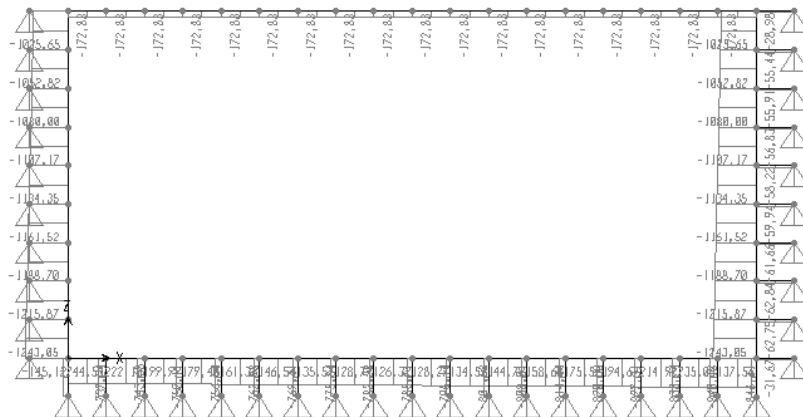


Figura 86 - COMBINAZIONE SLD- Sforzo Assiale

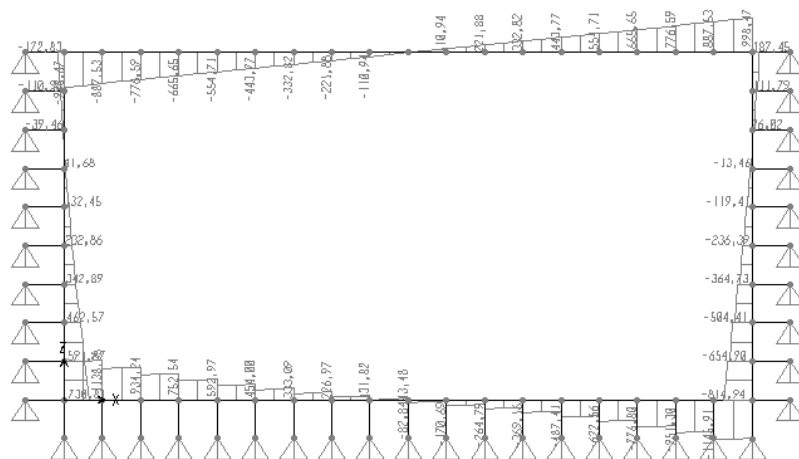


Figura 87 - COMBINAZIONE SLD- Sforzo di taglio

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

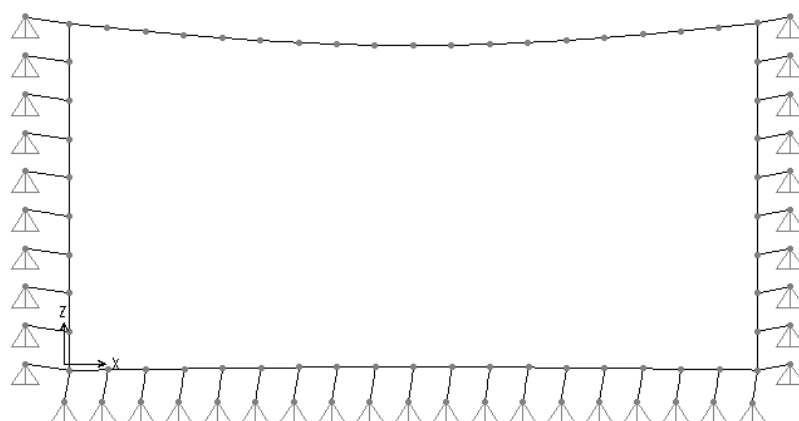


Figura 88 - COMBINAZIONE SLD – CONFIGURAZIONE DEFORMATA

sezione	U1 (m)	U3 (m)	R2 (-)
parete	0,013	-0,017	0.00002
solettone	-0,0145	-0,008	-0,00002

Tabella 74 - Tabella riassuntiva delle spostamenti significativi

VERIFICA SLD							
Sezione	H	M	N	Af	Af'	$\sigma_{cls}$	$\sigma_f$
	[cm]	[KNm/m]	[KN/m]			[MPa]	[MPa]
<b>Parete - mezzeria</b>	100	284	1068	10Ø26	5Ø26	2,49	6
<b>Parete - incastro</b>	100	1607	1222	10Ø30	10Ø26	9,90	198
<b>Solettone - mezzeria</b>	150	2463	0	10Ø30+5Ø30	10Ø26	6,30	188
<b>Solettone - incastro</b>	150	1639	0	10Ø30	10Ø26	4,66	177

Tabella 75- Combinazione SLD- Riepilogo verifiche tensionali

Come si evince dalle tabelle, le tensioni di materiali risultano compatibili con quelli previsti dalla normativa di riferimento.

#### 8.2.8.1.2 Verifica a fessurazione

La verifica delle aperture delle fessure è stata svolta secondo le indicazioni del TU 2008, con riferimento a coefficienti parziali sulle azioni unitarie. Per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture è necessario:



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- Realizzare 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;

Per la struttura in esame, viste le classi di esposizione ordinarie (XC2), la normativa in merito pone, come limite per le aperture delle fessure, valori minori di 0,3 mm per condizioni di carico quasi permanente.

Il valore di calcolo di apertura delle fessure ( $w_d$ ) è stato valutato mediante la seguente espressione:

$$w_d = 1.7 \cdot w_m = 1.7 \cdot s_{rm} \cdot \varepsilon_{sm}$$

dove:

$$s_{rm} = 2(c+s/10) + k_2 k_3 \Phi / \rho_r$$

$$\varepsilon_{sm} = \sigma_s / E_s (1 - \beta_1 \beta_2 (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2)$$

$c =$  mm                      copriferro netto armatura tesa

$s =$  mm                      interasse tra i ferri

$k_2 = 0.4$                       per barre ad aderenza migliorata

$k_3 = 0.125$                       per diagramma delle  $s$  triangolare, dovuto a flessione o pressoflessione

$\Phi =$  mm                      diametro delle barre

$\rho_r =$                        $A_s / A_{c \text{ eff}}$

$\sigma_s =$                       tensione dell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la combinazione di azioni considerata

$\sigma_{sr} =$                       tensione dell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la sollecitazione corrispondente al raggiungimento della resistenza a trazione  $f_{ctm}$  nella fibra di calcestruzzo più sollecitata nella sezione interamente reagente.

$\beta_1 = 1$                       per barre ad aderenza migliorata

$\beta_2 = 0.5$                       nel caso di azioni di lunga durata o ripetute.

La verifica si ritiene soddisfatta qualora le resistenza caratteristica dell'apertura delle fessure è inferiore la valore prescritto dalla normativa

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO	<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0

VERIFICA DI FESSURAZIONE												
Sezione	C	S < 14 φ	As tesa	Ac eff.	ρ r	φ	S rm	Mcr	σ sr	σ s	e sm	Wk
	mm	mm	cm2	cm2	As/Ac	mm	mm	kNm	MPa	MPa	x 1000	mm
Parete - mezzeria	50	364,0	5309,29	2654,6	0,0660	26	139,7	484,7	-	4,30	-	<0,01
Parete - incastro	50	420,0	7068,58	5309,3	0,0252	30	179,4	506,8	85,70	173,00	0,7227	0,22
Solettone - mezzeria	50	420,0	10602,88	5309,3	0,0312	30	168,1	1132,6	86,00	203,00	0,8799	0,25
Solettone - incastro	50	420	7068,6	5309,3	0,0252	30	179	1098	119	142	0,4407	0,13

Tabella 76 - Calcolo delle aperture delle fessure

Come si evince dalla tabella, le aperture delle fessure risultano inferiori al limite previsto dalla normativa di riferimento per la classe di esposizione XC2.

### 8.2.8.2 Stati limite ultimi

Le verifiche della struttura hanno riguardato essenzialmente la verifica della massima capacità di resistenza delle varie parti d'opera in relazione ai carichi previsti.

#### 8.2.8.2.1 Verifica a Pressoflessione

Secondo quanto disposto dal TU 2008, la verifica della sicurezza agli stati limite ultimi per costruzioni di conglomerato cementizio si ritiene soddisfatta quando, per ogni elemento strutturale e per ciascuna delle combinazioni delle azioni prese in esame, risulti:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'azione pari all'azione nominale moltiplicata per il coefficiente parziale per le azioni  $\gamma$ , mentre  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema, valutato con riferimento ai coefficienti parziali per le resistenze, che variano in funzione dei materiali.

COEFFICIENTI. PARZIALI	AZIONI GENERICHE	
	Sfavorevoli alla sicurezza	Favorevoli alla sicurezza
$\gamma_G$ - Azioni permanenti	1,30	1,00
$\gamma_Q$ - Azioni variabili	1,50	0,00

Tabella 77- Coefficienti parziali per le azioni

Le resistenze di calcolo dei materiali (TU 2008), conglomerato cementizio e acciaio, si ottengono mediante l'espressione

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$f_{cd} = \frac{f_{ck} * \alpha_{cc}}{\gamma_c}$$

dove

$f_{ck}$  = resistenza cilindrica caratteristica del materiale

$\gamma_m$  = coefficiente parziale per la resistenza.

La tensione di snervamento di calcolo dell'acciaio risulta invece pari a:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

dove

$f_{yk}$  = tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio

Per ciascuna sezione è stato riportato il diagramma di interazione M-N, i cui i bordi rappresentano i limiti della resistenza di calcolo  $R_d$ .

Le ipotesi considerate per la costruzione del dominio di resistenza sono:

6. conservazione delle sezioni piane;
7. legame costitutivo del calcestruzzo tipo parabola-rettangolo con un range costante di deformazione compreso tra 0,2% e 0,35%;
8. legame costitutivo dell'acciaio tipo elastico-perfettamente plastico, con deformazione limite di rottura dello 0,1%;
9. perfetta aderenza calcestruzzo-acciaio;
10. calcestruzzo non reagente a trazione.

La verifica risulta soddisfatta quando i punti rappresentativi delle coppie di sollecitazioni sul rivestimento risultano all'interno del diagramma.

I Domini di rottura sono stati costruiti , a seconda della sezione analizzata, secondo lo spessore di calcestruzzo e la quantità di armatura di seguito riportati.

sezione	Spessore calcestruzzo	As	A's
<b>Parete - mezzeria</b>	100 cm	Ø26/10	Ø26/20
<b>Parete - incastro</b>	100 cm	Ø30/10	Ø26/10
<b>Solettone - mezzeria</b>	150 cm	Ø30/10+Ø30/20	Ø26/10
<b>Solettone - incastro</b>	150 cm	Ø30/10	Ø26/10

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<b>Codice documento</b> CS0248_F0	<b>Rev</b> F0	<b>Data</b> 20/06/2011

Tabella 78- Caratteristiche delle sezioni oggetto di verifica

- - CONDIZIONI STATICHE (SLU):

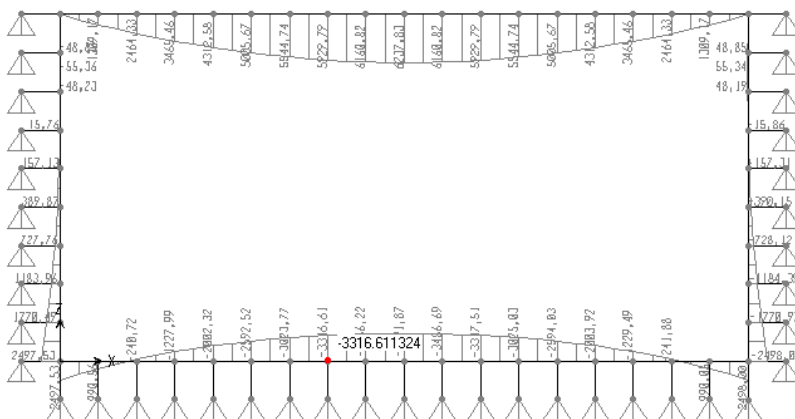


Figura 89 - COMBINAZIONE SLU (statica) Momento flettente

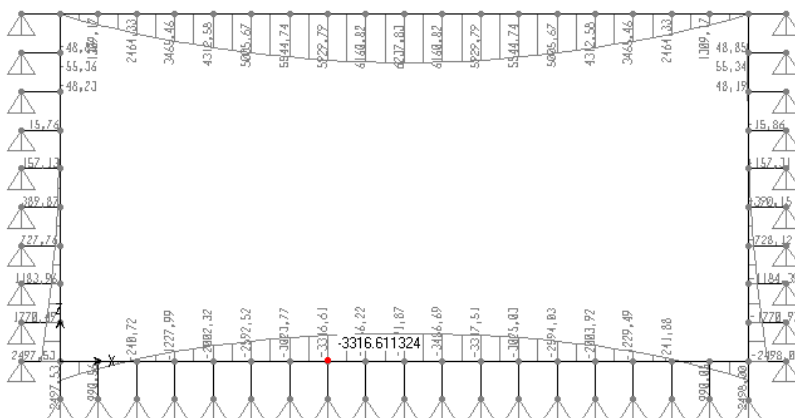


Figura 90 - COMBINAZIONE SLU (statica) Sforzo Assiale

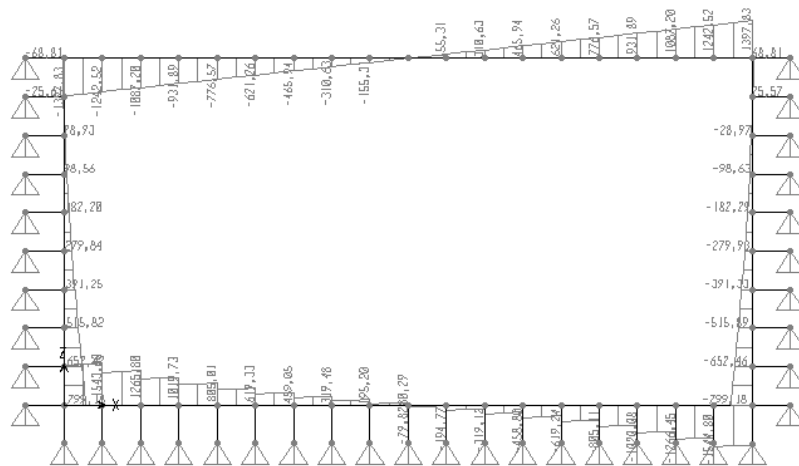


Figura 91 - COMBINAZIONE SLU statica - Sforzo di taglio

- CONDIZIONI SISMICHE (SLV):

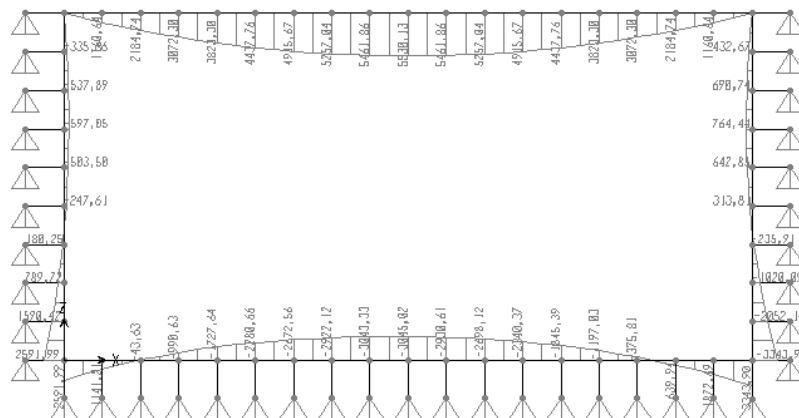


Figura 92 - COMBINAZIONE SLU (SLV)- Momento flettente

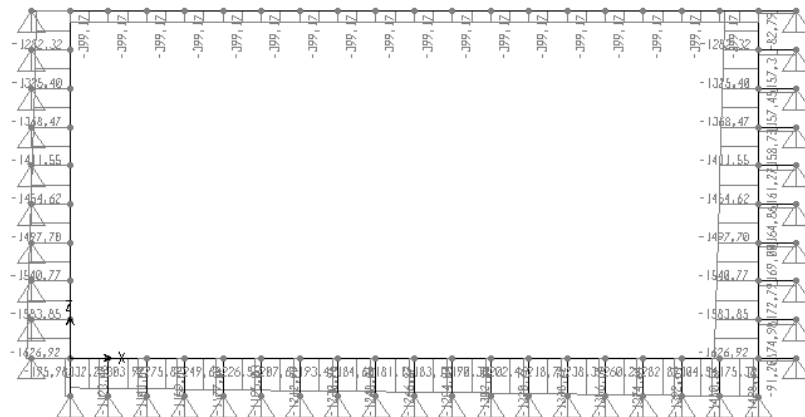


Figura 93 - COMBINAZIONE SLU (SLV) - Sforzo Normale

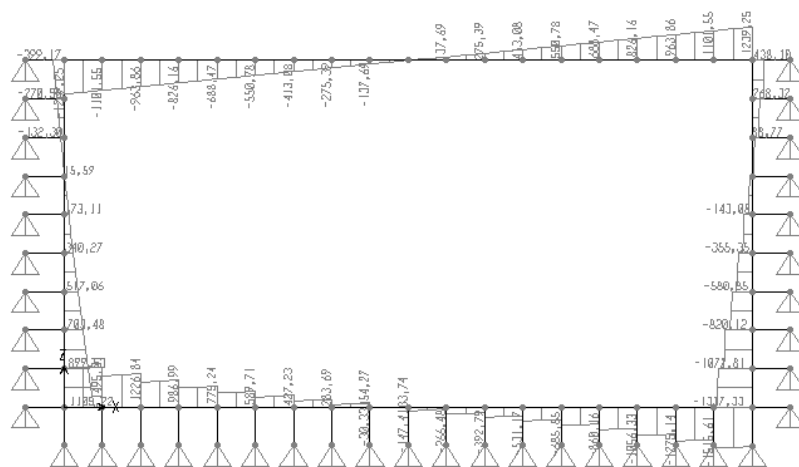


Figura 94 - COMBINAZIONE SLU (SLV) - Sforzo di Taglio

VERIFICA SLU					
Sezione	H	Af	Af'	Md	Nd
	[cm]	[mm]	[mm]	[KNm]	[KN]
Parete - mezzeria	100	10Ø26	5Ø26	390	1560
Parete - incastro	100	10Ø30	10Ø26	1944	1665
Solettone - mezzeria	150	10Ø30+5Ø30	10Ø26	3541	0
Solettone - incastro	150	10Ø30	10Ø26	1743	0

Tabella 79 – Combinazione SLU : Sollecitazioni di progetto

VERIFICA SLV					
Sezione	H	Af	Af'	Md	Nd
	[cm]	[mm]	[mm]	[KNm]	[KN]
Parete - mezzeria	100	10Ø26	5Ø26	764	1369
Parete - incastro	100	10Ø30	10Ø26	2370	1594
Solettone - mezzeria	150	10Ø30+5Ø30	10Ø26	3045	0
Solettone - incastro	150	10Ø30	10Ø26	2622	0

Tabella 80 - Combinazione SLU (SLV) : Sollecitazioni di progetto

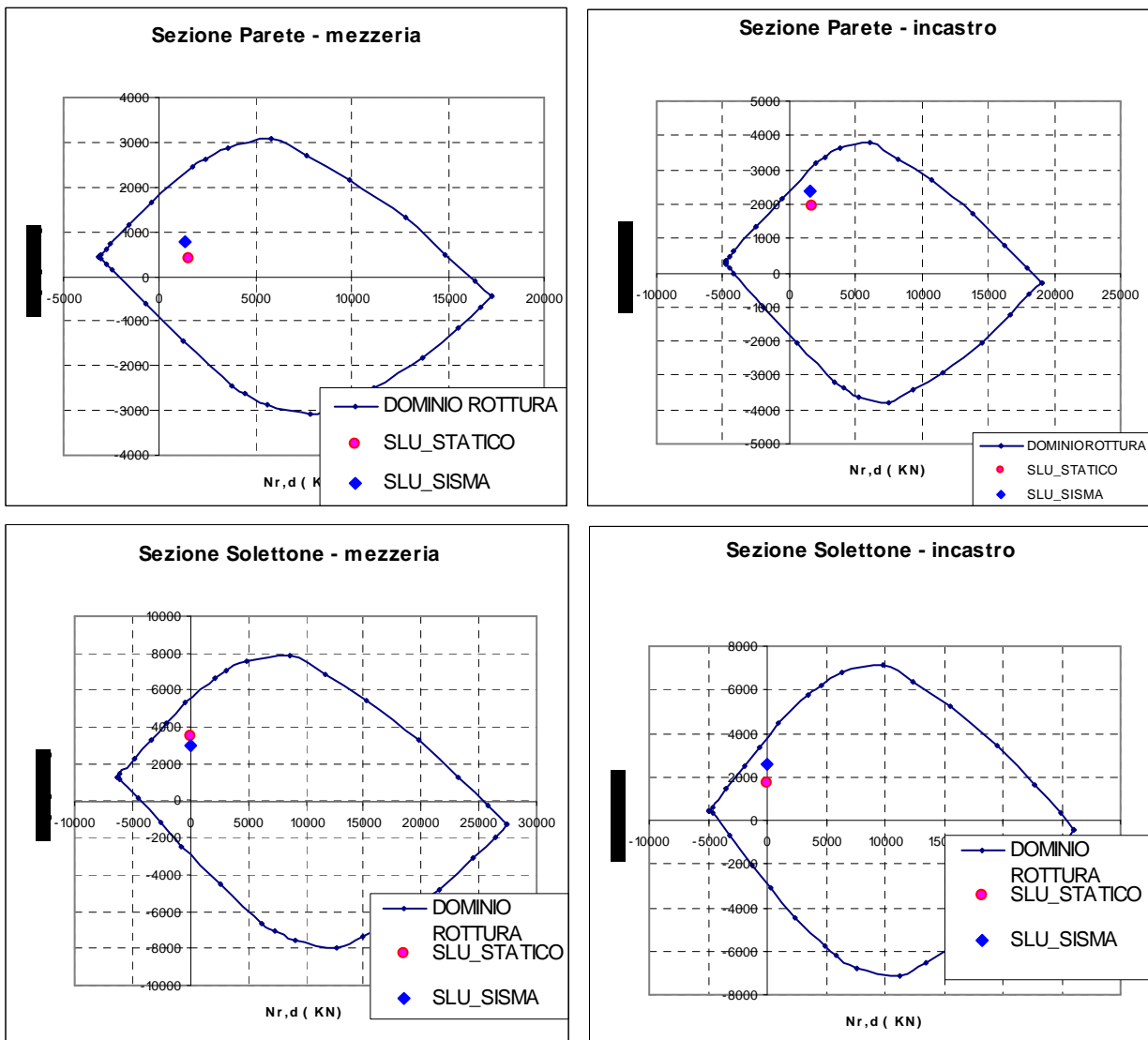


Figura 95 - Combinazione SLU e SLU\_SLV : domini di resistenza delle sezioni oggetto di verifica

Come si evince dalla figure allegate le sollecitazioni di progetto ricadono sempre all'interno dei

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

domini di resistenza.

### 8.2.8.2.2 Verifica a taglio

Le verifiche allo stato limite ultimo nei confronti dell'azione tagliante vengono eseguite in accordo con il DM 14-01-2008, di cui si riporta un estratto in quanto segue. Per la valutazione delle resistenze ultime nei confronti delle sollecitazioni taglianti si deve considerare quando segue.

- Sezioni senza armature trasversali resistenti a taglio:

la verifica di resistenza agli stati limite ultimi risulta soddisfatta se  $V_{Rd} \geq V_{Ed}$ , dove  $V_{Ed}$  è la sollecitazione caratteristica di taglio agente nella sezione.

Il valore della resistenza al taglio, riferita al elemento fessurato da momento flettente, si valuta con la seguente relazione :

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \quad (4.1.14)$$

con

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

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

e dove

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

$\rho_1 = A_{s1} / (b_w \cdot d)$  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).

- Sezioni con armature trasversali resistenti a taglio:

La resistenza al taglio di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono sia le armature trasversali che le armature longitudinali.

La verifica di resistenza si considera soddisfatta quando  $V_{Rd} \geq V_{Ed}$   $V_{Ed}$  è la sollecitazione caratteristica di taglio agente nella sezione. Il valore della resistenza al taglio si valuta con la seguente relazione :

- con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza a "taglio trazione" si calcola con la seguente formula:



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

- con riferimento al calcestruzzo d'anima la resistenza del "taglio compressione " si calcola con le seguente formula:

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

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

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

dove  $d$ ,  $b_w$  e  $\sigma_{cp}$  hanno il significato già visto in § 4.1.2.1.3.1. e inoltre si è posto:

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

$s$  interasse tra due armature trasversali consecutive;

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

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

$\alpha_c$  coefficiente maggiorativo pari a

1	per membrature non compresse
$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$	per $0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$
1,25	per $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$
$2,5(1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$	per $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$

È stata svolta una verifica la taglio relativamente alle sezioni più critiche individuate nel calcolo, ipotizzando inizialmente l'assenza di armatura specifica la taglio. Il risultato ottenuto è di seguito riportato.

VERIFICA TAGLIO ( SLU ) -CONDIZIONI STATICHE				
sezione	B	H	N	V
	[cm]	[cm]	KN	KN
Parete - incastro	100	100	1665	692
Solettone - incastro	100	150	0	1520

Coefficiente	Coefficiente
$\gamma_s$	$\gamma_c$
1,15	1,5
$\alpha$	$\theta$
°	°
90	45

armatura	passo	Asl	copriferro	fyk	fyd	fcd
mm	cm	mm <sup>2</sup>	cm	Mpa	MPa	MPa
30	10	7068,58	6,0	450	391,30	14,11

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO	<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0

30	10	7068,58	6,0	450	391,30	15,87
----	----	---------	-----	-----	--------	-------

altezza utile	bw	p1	k1	vmin	$\sigma_{cp}$
d [cm]	[cm]			[MPa]	[MPa]
93	100	0,0076006	1,46	0,31	1,790
143	100	0,0049431	1,37	0,28	0,000

SLU_STATICI			
V Rd		V Ed	
[KN]	[KN]	[KN]	Verifica
<b>680,83</b>	537,39	<b>692</b>	<b>NO</b>
<b>539,84</b>	402,23	<b>1520</b>	<b>NO</b>

VERIFICA TAGLIO ( SLV ) -CONDIZIONI SISMICHE				
sezione	B	H	N	V
	[cm]	[cm]	KN	KN
Parete - incastro	100	100	1594	1269
Solettone - incastro	100	150	0	1483

Coefficiente	Coefficiente
$\gamma_s$	$\gamma_c$
1,15	1,5
$\alpha$	$\theta$
°	°
90	45

armatura	passo	Asl	copri ferro	fyk	fyd	fcd
mm	cm	mm <sup>2</sup>	cm	Mpa	MPa	MPa
30	10	7068,58	6,0	450	391,30	14,11
30	10	7068,58	6,0	450	391,30	15,87

altezza utile	bw	p1	k1	vmin	$\sigma_{cp}$
d [cm]	[cm]			[MPa]	[MPa]
93	100	0,0076006	1,46	0,31	1,714
143	100	0,0049431	1,37	0,28	0,000

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO	<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0

SLU_STATICI			
V Rd		V Ed	
[KN]	[KN]	[KN]	Verifica
<b>670,18</b>	<b>526,74</b>	<b>1269</b>	<b>NO</b>
<b>539,84</b>	<b>402,23</b>	<b>1483</b>	<b>NO</b>

È di seguito riportata la verifica della resistenza al taglio per le sezioni nel quale si sia resa necessaria un'armatura a taglio.

VERIFICA TAGLIO ( SLU ) - CONDIZIONI STATICHE				
sezione	B	H	N	V
	[cm]	[cm]	KN	KN
Parete - incastro	100	100	1665	692
Solettone - incastro	100	150	0	1520

Coefficiente	Coefficiente
$\gamma_s$	$\gamma_c$
1,15	1,5
$\alpha$	$\theta$
°	°
90	45

Asw	Copriferro	f <sub>yk</sub> staffe	f <sub>yd</sub> staffe	f <sub>cd</sub>
mm <sup>2</sup>	cm	Mpa	MPa	MPa
4071,50	6,0	450	391,30	14,11
3216,99	6,0	450	391,30	15,87

altezza utile	$\sigma_{cp}$	$\alpha_c$	V Rcd	V Rsd
d [cm]	MPa	-	KN	KN
93,00	1,7903	1,13	3327,14	1333,50
143,00	0,0000	1,00	4539,89	1620,10

V Rd	
KN	Verifica
<b>1333,50</b>	<b>OK</b>
<b>1620,10</b>	<b>OK</b>

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

<b>VERIFICA TAGLIO ( SLV ) -CONDIZIONI SISMICHE</b>				
<b>sezione</b>	<b>B</b>	<b>H</b>	<b>N</b>	<b>V</b>
	[cm]	[cm]	KN	KN
Parete - incastro	100	100	1594	1269
Solettone - incastro	100	150	0	1483

<b>Coefficiente</b>	<b>Coefficiente</b>
$\gamma_s$	$\gamma_c$
1,15	1,5
$\alpha$	$\theta$
°	°
90	45

<b>Asw</b>	<b>Copriferro</b>	<b>f<sub>yk</sub> staffe</b>	<b>f<sub>yd</sub> staffe</b>	<b>f<sub>cd</sub></b>
mm <sup>2</sup>	cm	Mpa	MPa	MPa
4071,50	6,0	450	391,30	14,11
3216,99	6,0	450	391,30	15,87

<b>altezza utile</b>	<b><math>\sigma_{cp}</math></b>	<b><math>\alpha_c</math></b>	<b>V<sub>Rcd</sub></b>	<b>V<sub>Rsd</sub></b>
<b>d [cm]</b>	MPa	-	KN	KN
93,00	1,7903	1,13	3327,14	1333,50
143,00	0,0000	1,00	4539,89	1620,10

<b>V<sub>Rd</sub></b>	
KN	<b>Verifica</b>
<b>1333,50</b>	<b>OK</b>
<b>1620,10</b>	<b>OK</b>

Come si osserva dalla tabelle sopra riportate, le verifiche soddisfanno le condizioni richieste dalla normativa di riferimento.

### 8.2.8.2.3 Verifica della mensola della parete laterale

La mensola verticale posta in testa alla parete laterale è soggetta all'azione tagliante esercitata dalla trave di copertura su di essa. Di seguito sono riportate le verifiche della sezione alla base di tale elemento (spessore 35 cm).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO	<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0

Sezione	A's	A <sub>s</sub>	M	σ <sub>c</sub>	σ <sub>s</sub>	w <sub>k</sub>
	[mm]	[mm]	[KNm]	[MPa]	[MPa]	[mm]
100 x 35	10ø24	10ø24	38	2.0	41	< 0.1

Tabella 81: Verifica S.L.E. – mensola piedritto

Sezione	A's	A <sub>s</sub>	M	σ <sub>c</sub>	σ <sub>s</sub>
	[mm]	[mm]	[KNm]	[MPa]	[MPa]
100 x 35	10ø24	10ø24	141	7.37	151

Tabella 82: Verifica S.L.D. – mensola piedritto

Sezione	V <sub>Sd, SLU</sub>	V <sub>Sd, SLV</sub>	A <sub>sw</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rcd</sub>
	[KN]	[KN]	[mm <sup>2</sup> /mq]	[KN]	[KN]
100 x 35	69	438	5030	528	951

Tabella 83: Verifica a taglio S.L.U. – mensola piedritto

Sezione	M <sub>ed, SLU</sub>	M <sub>ed, SLV</sub>
	[KN]	[KN]
100 x 35	59.5	379

Tabella 84: Verifica SLU e SLV – mensola parete laterale

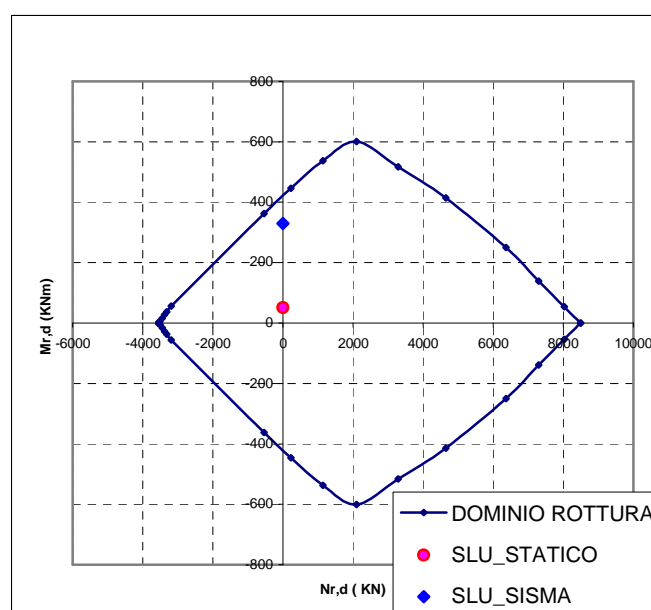


Figura 96 - Dominio M-N

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 8.2.9 Verifiche strutturali del solaio di copertura

### 8.2.9.1 Premessa

La galleria artificiale in oggetto prevede coperture con luci variabili da circa 16,00 m a 18,85 m. La soluzione adottata prevede l'impiego di travi prefabbricate in grado di portare i carichi previsti, nel breve e nel lungo termine.

In particolare il solaio di copertura è costituito da travi prefabbricate a T rovescio, disposte ad interasse di 1,25m, posate sulla testa dei diaframmi, connessi a questi ultimi per mezzo di opportuni ferri di ripresa, rese solidali tra loro mediante una soletta in c.a. getta in opera. Al fine di alleggerire il peso proprio della struttura è prevista che lo spazio contiguo tra le travi a T venga riempito con blocchi di EPS (Polistirene Espanso Sintetizzato). Nella figura seguente si riportano i particolari relativi alla carpenteria delle travi in oggetto:

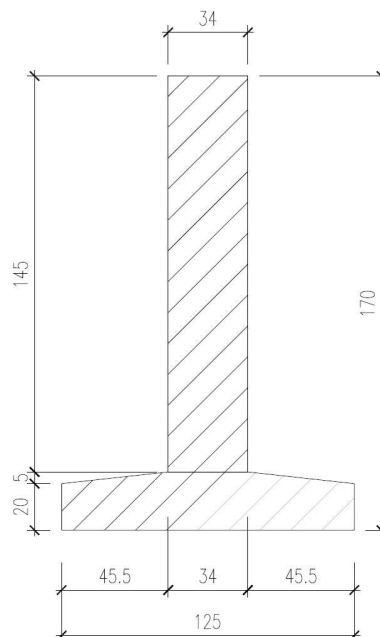


Figura 97- Carpenteria trave a T rovescio

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

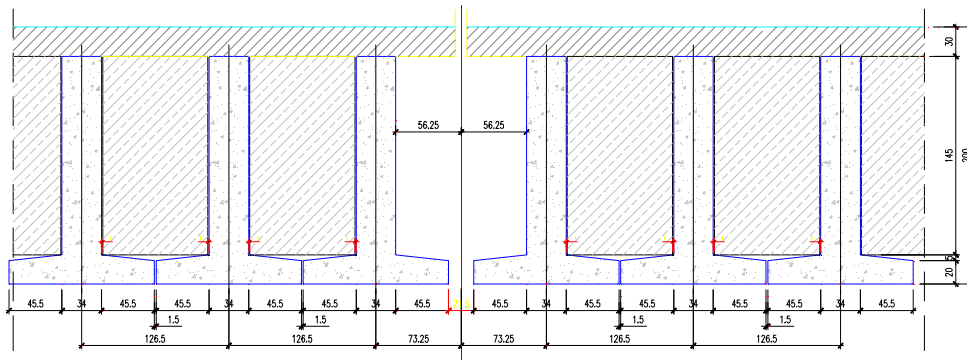


Figura 98- Particolare del solaio di copertura

Di seguito si riportano i principali risultati delle verifiche strutturali sotto forma di tabella e grafici con riferimento alla luce massima prevista per il solaio di copertura ovvero 18.85m: le sollecitazioni utilizzate nella verifica sono quelle dedotte dal modello di calcolo SAP, già riportate nei capitoli precedenti, moltiplicate per 1.25 per tenere conto dell'area di influenza di ogni singola trave. Viene mostrato di seguito l'insieme trave-soletta utilizzato per le verifiche sezionali.

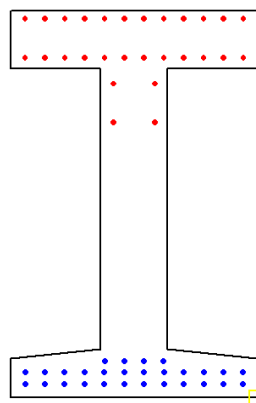


Figura 99- sezione di verifica

#### 8.2.9.2 Materiali impiegati per il solaio di copertura

*Calcestruzzo Trave a T Rovescio* : C 40/50  
E = 35500 MPa  
*copriferro*  $\geq 5cm$

*Calcestruzzo soletta superiore* : C 32/40  
E = 33600 MPa

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

*copriferro*  $\geq 6\text{cm}$

*Acciaio Armature*

B450C

$F_{yk} = 450\text{ MPa}$

$F_{tk} = 540\text{ MPa}$

### 8.2.9.3 Verifiche SLE e SLD

Le verifiche eseguite in condizioni di esercizio riguardano:

- limitazione di danneggiamenti locali (es. fessurazione calcestruzzo) che possono ridurre la durabilità della struttura;
- Spostamenti e deformazioni che possono eventualmente compromettere l'uso della costruzione e la sua efficienza.

#### 8.2.9.3.1 Verifiche a pressoflessione

Le verifiche tensionali si ritengono soddisfatte qualora la massima tensione di compressione del conglomerato cementizio, ricavata dalle sollecitazioni fornite dal codice di calcolo, rispetta la limitazione seguente:

- $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$  Combinazione rara
- $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$  Combinazione quasi permanente
- $\sigma_s < 0.8 f_{yk}$

Sono state effettuate le verifiche relative alla sezione maggiormente sollecitata, e cioè quella di mezzeria. La verifica di fessurazione è stata eseguita, a favore di sicurezza, con la combinazione di esercizio rara.

Combinazione	Sezione	M	N	Af	Af'	$\sigma_{cls}$	$\sigma_f$	$w_k$
		[KNm/m]	[KN/m]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[mm]
SLE	Mezzeria	5843	62.5	28Ø26	28Ø24	7.56	232	0.29
SLD	Mezzeria	5568	62.5	28Ø26	28Ø24	7.21	221	-

Tabella 85- Verifiche allo SLE

Come si evince da quanto sopra le tensioni dei materiali risultano compatibili con quelle previste



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

dalla normativa di riferimento.

#### 8.2.9.4 Verifiche SLU

Le verifiche della struttura riguardano essenzialmente la verifica della massima capacità di resistenza delle varie parti d'opera in relazione ai carichi previsti. Per ciascuna sezione è stato riportato il diagramma di interazione M-N, i cui i bordi rappresentano i limiti della resistenza di calcolo  $R_d$ .

##### 8.2.9.4.1 Verifiche a pressoflessione

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 palo, 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 sulla trave nelle combinazioni A1+M1\_SLU, in fase statica, ed A2+M2\_SLV, sismica.

Combinazione	Sezione	M	N	Af	Af'
		[KNm/m]	[KN/m]	[mm]	[mm]
A1+M1_SLU	Mezzeria	7797	85	28Ø26	28Ø24
A2+M2_SLV	Mezzeria	6912	498	28Ø26	28Ø24

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Tabella 86- Verifiche a Pressoflessione SLU, azioni sollecitanti

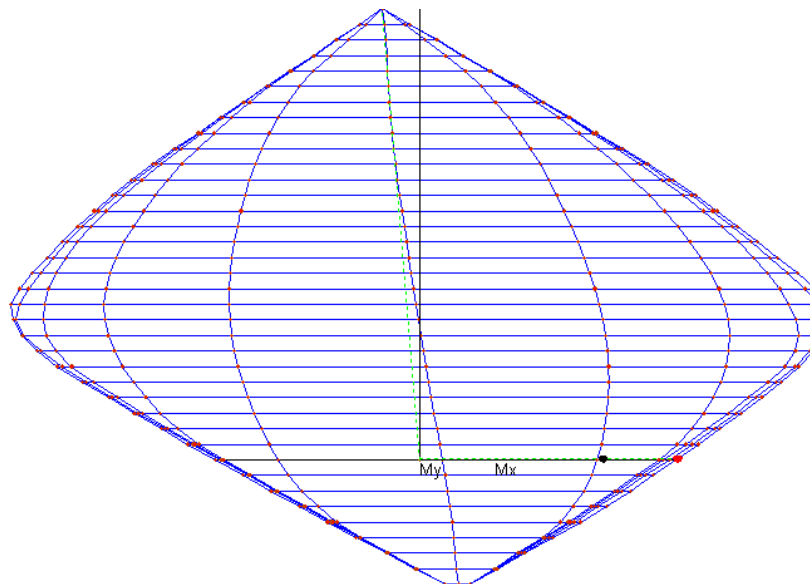


Figura 100- Verifiche a Presso flessione, dominio M-N – A1+M1\_SLU

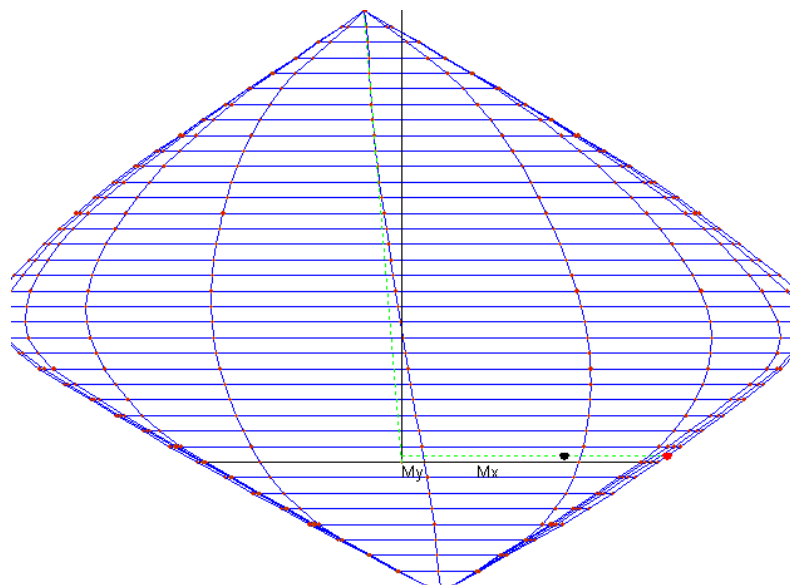


Figura 101- Verifiche a Presso flessione, dominio M-N – A2+M2\_SLV

Come si evince dalle tabelle allegate , per le combinazioni previste dalla normativa, i valori della sollecitazioni di progetto rientrano entro il dominio della resistenza della sezione.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 8.2.9.4.2 Verifiche a taglio

La resistenza al taglio di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono sia le armature trasversali che le armature longitudinali.

La verifica di resistenza si considera soddisfatta quando  $V_{Rd} \geq V_{Ed}$ , dove  $V_{Ed}$  è la sollecitazione caratteristica di taglio agente nella sezione: per maggiori informazioni sulle verifiche si rimanda ai "criteri di verifica" descritti nei capitoli precedenti. Di seguito si riportano le verifiche al taglio eseguite per gli elementi strutturali in oggetto, con riferimento alle sollecitazioni più gravosa.

Sezione	$V_{Sd, SLU}$	$V_{Sd, SLV}$	$A_{sw}$	passo	$V_{Rsd}$	$V_{Rcd}$
	[KN]	[KN]	[mm]	[cm]	[KN]	[KN]
<b>Appoggio</b>	1650	1462	1+1Ø12	15	1729	2820

Tabella 87- Verifica a Taglio

La verifica si può ritenere soddisfatta.

## 8.3 Gallerie artificiali stradali – Rami A e C

### 8.3.1 Premessa

La galleria artificiale ha un raggio interno pari a circa 6,6 m in calotta e 13,1 m in arco rovescio. Gli spessori previsti sono 1 m in calotta, 1.7 m sui piedritti e 1.20 m in arco rovescio; per un maggiore dettaglio sulle carpenterie della artificiali si rimanda agli specifici elaborati grafici.

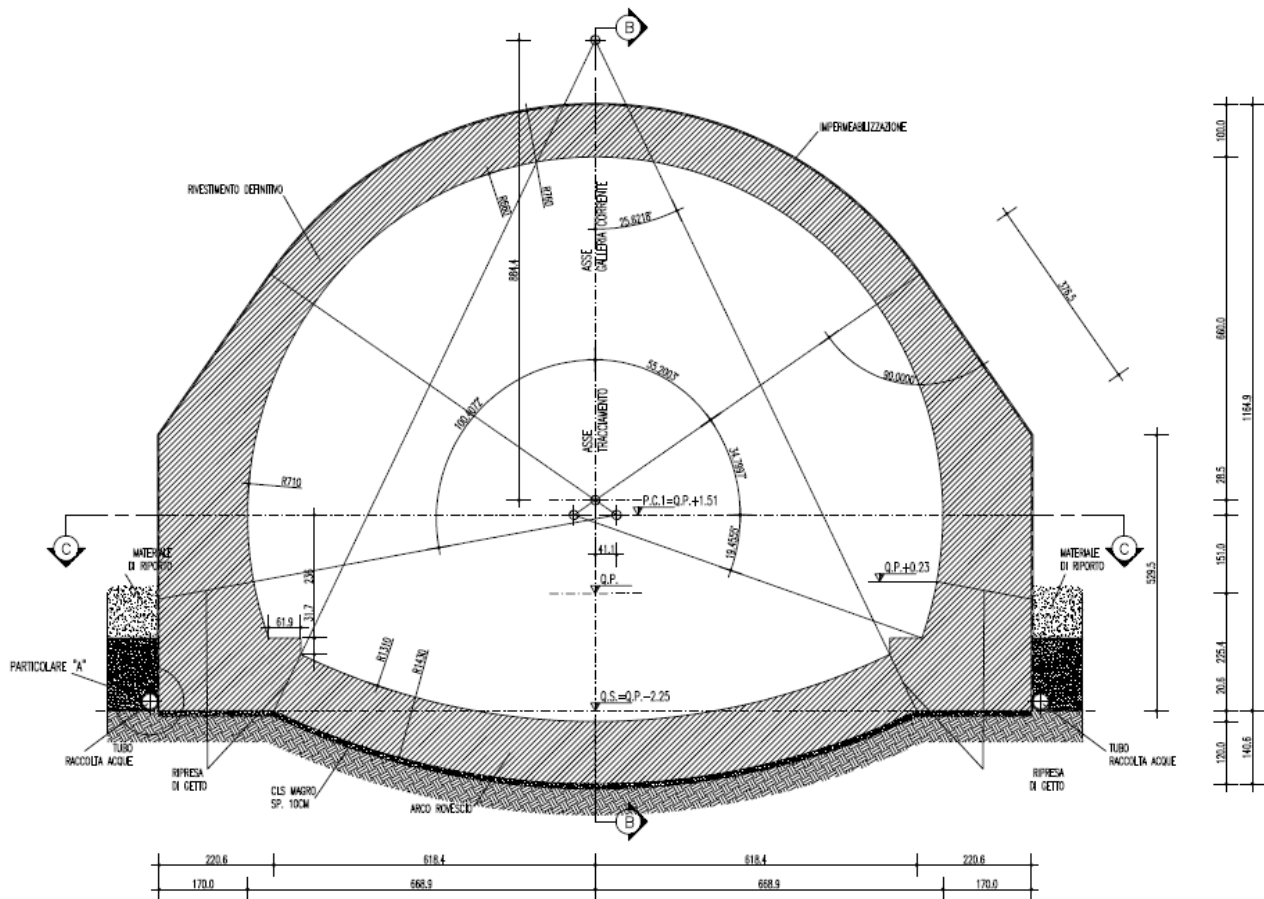


Figura 102 – Carpenteria tipologica galleria artificiale

Le verifiche strutturali della galleria artificiale sono state svolte per la sezione ritenuta più rappresentativa, dal punto di vista dei carichi agenti e del modello geologico-geotecnico, secondo quanto previsto dalla Normativa vigente, ovvero sia agli stati limite ultimi che di esercizio

Alla luce della caratterizzazione geologico-geotecnica condotta a valle dell'analisi dei risultati delle indagini disponibili, si riporta nel seguito una sintesi della parametrizzazione geotecnica utilizzata per la definizione del quadro geomeccanico che caratterizza le analisi svolte per le gallerie artificiali oggetto della presente relazione.

Per il progetto e la verifica delle gallerie artificiali in esame, viene di seguito riportato il calcolo eseguito per il tratto di galleria posto in corrispondenza del "Ramo stradale C", avente le stesse caratteristiche geometriche del "Ramo stradale A" e condizioni di carico più gravose.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 8.3.2 Caratteristiche dei materiali

#### CALCESTRUZZO ARTIFICIALE – C25/30

resistenza caratteristica cilindrica  $f_{ck} = 25$  MPa

resistenza caratteristica cubica  $f_{ck(c)} = 30$  MPa

#### ACCIAIO B450C

Tensione caratteristica di snervamento  $f_{yk} = 450$  MPa

Tensione caratteristica di rottura  $f_{tk} = 540$  MPa

### 8.3.3 Parametri geotecnici di calcolo

Per la definizione della stratigrafia di calcolo si è utilizzato un unico litotipo: a favore di sicurezza si è considerato lo stesso materiale sia per la copertura che come terreno di fondazione della galleria, nonostante siano stati previsti degli interventi per migliorare le prestazioni dello strato di fondazione (come riportato nei relativi elaborati grafici).

- Materiale di riempimento, proveniente dalla risulta degli scavi della galleria dopo opportuna qualifica, caratterizzato dai seguenti parametri:

- Peso di Volume  $\gamma = 19$  kN/m<sup>3</sup>

- Coesione  $c' = 0.0$  MPa

- Angolo di attrito  $\varphi = 33^\circ$

-  $E = 50$  MPa

- Rigidezza  $K_h = 35770$  kN/m<sup>3</sup>, relativa al paramento laterale, ricavato in base alla formulazione proposta da Bowles di seguito esplicitata.

$$k = A + B \cdot z^n$$

$$A = C \cdot (c \cdot N_c \cdot s_c + 0.5 \cdot \gamma \cdot b \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma)$$

$$B = C \cdot (\gamma \cdot N_q \cdot s_q)$$

Dove  $N_c, N_\gamma$  e  $N_q$  sono i coefficienti di portata del terreno secondo la teoria di Hansen ed i valori ricavati da tale formula vengono ridotti cautelativamente del 40% perché sono riferiti a terreno rimaneggiato.

- Rigidezza  $K_v = 2407$  kN/m<sup>3</sup> (ricavato in base alla formulazione proposta da Galerkin  $K_v = E / (R \cdot (1 + \nu))$ )

dove:

R = raggio superficie curvilinea di contatto

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

E= 50 MPa.

### 8.3.4 Sezioni di calcolo : tipologia di carichi

Le ipotesi di carico applicate considerano sia i carichi verticali, che quelli orizzontali calcolati in funzione dello spessore del terreno di copertura. In particolare, la galleria artificiale è stata verificata considerando una copertura massima di circa 5m.

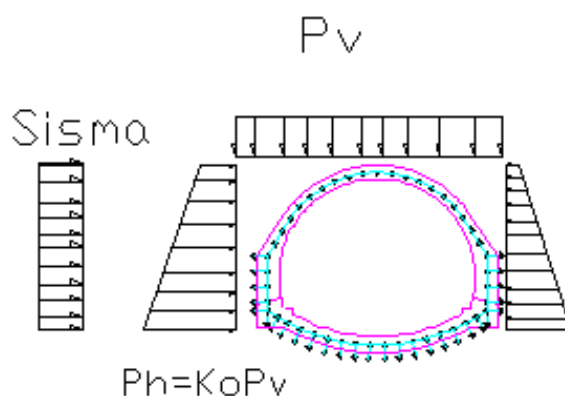


Figura 103 - Schema dei carichi applicati al modello numerico implementato

I carichi applicati al modello di calcolo sono di seguito riassunti.

- AZIONI PERMANENTI (G)

- Pesi Propri della struttura in c.a. e del terreno di ritombamento: per il calcestruzzo è stato adottato un peso di volume pari ad  $25 \text{ KN/m}^3$ , mentre per il terreno di ritombamento è stato adottato un peso di volume pari ad  $19 \text{ KN/m}^3$ ;

- Spinte del terreno: l'interazione terreno-struttura è tale da consentire che si sviluppi un regime di spinta a riposo ( $K_0$ ) a seconda delle condizioni di carico; in particolare si è valutato un coefficiente  $K_0=0,455$ .

L'interazione della struttura col terreno è stata modellata anche tramite molle elastiche che trasmettano solo forze di compressione, nei paragrafi seguenti sono stati esplicitati i valori dei moduli di relazione adottati nella modellazione;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

▪ CARICHI ACCIDENTALI

Si è adottato un carico accidentale verticale distribuito pari a 10 KN/m<sup>2</sup> ed i relativi valori di spinta orizzontale.

▪ AZIONI SISMICHE (E)

Per il calcolo dell'azione sismica di Progetto si sono considerati i seguenti parametri:

- Vn = 100 anni
- Classe d'uso = IV (opere infrastrutturali)
- Cu = 2 (coefficiente d'uso della struttura)

Pertanto il periodo di riferimento per il calcolo dell'azione sismica è par V<sub>R</sub> = 200 anni.

Per le condizioni di stato limite di salvaguardia della vita umana (SLV), il valore dell'azione sismica di progetto, cui corrisponde un periodo di ritorno Tr = 1898 anni, è ricavato di seguito. Il coefficiente β è stato assunto pari a 0.75, corrispondente ad un valore di us (massimo spostamento che l'opera può tollerare senza riduzioni di resistenza) pari ad 1cm.

Valutazione azione sismica SLV		
amax	[g]	0,437
F0	[-]	2,49
Tc*	[s]	0,422
Tipo sottosuolo		B
Ss*St		1,44
α*β		0.75

Da cui:

Accelerazione orizz. di progetto		
aH	[g]	0,471

Invece, per le condizioni di stato limite di danno (SLD), il valore dell'azione sismica di progetto, cui corrisponde un periodo di ritorno Tr = 201 anni, è il seguente:

Valutazione azione sismica SLD		
amax	[g]	0,170
F0	[-]	2,357
Tc*	[s]	0,337
Tipo sottosuolo		B

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Ss*ST	1,44
$\alpha*\beta$	0.75

Si ottiene che:

Accelerazione orizz. di progetto		
aH	[g]	0,183

Pertanto le azioni sismiche saranno:

- Spinta Sismica Orizzontale del Terreno: calcolata secondo il metodo di Wood

$$\Delta P = \frac{a_g}{g} * S * \gamma * H^2 * B$$

dove:

H= altezza della galleria e del terreno sovrastante

B= larghezza adottata nei calcoli in questo caso posta unitaria

Questa spinta, da sommare alla relativa spinta statica, varia in funzione del ricoprimento in esame.

- Azioni Inerziali Strutturali Orizzontali: date dal prodotto del peso proprio della struttura per il coefficiente  $K_H$  ( $a_g/g * S_T * S_S * \alpha*\beta$ )
- Azioni Inerziali Strutturali Verticali: date dal prodotto del peso proprio della struttura per il coefficiente  $K_v$  ( $0.5K_H$ )
- Inerzia Verticale del Terreno: data dal prodotto del peso di ritombamento per il coefficiente sismico  $K_v$ .

### 8.3.5 Combinazione di Carico

Le ipotesi di carico applicate considerano sia i carichi verticali che quelli orizzontali calcolati in funzione dello spessore del terreno di copertura. In particolare, la galleria artificiale è stata verificata considerando opportune combinazioni di carico che rappresentano le condizioni più gravose ipotizzabili:



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Carico	$\gamma F$			
	SLE	SLD_SIMA	SLU	SLU_SISMA
Peso Proprio struttura - PP	1	1	1,3	1
Carico Verticale (Terre) - Pv	1	1	1,3	1
Carico Orizzontale (Terre) - PH	1	1	1,3	1
Inerzia orizzontale struttura - Fih	-	1	-	1
Inerzia verticale struttura - Fiv	-	1	-	1
Sisma Orizzontale (Terre) - Sis_H	-	1	-	1
Sisma Verticale (Terre) - Sis_V	-	1	-	1
Sovraccarico accidentale - q	1	0,3	1,5	0,3

Tabella 88 - Combinazioni di carico utilizzate per la verifica strutturale della galleria artificiale

### 8.3.6 Modello di calcolo

Il calcolo degli spostamenti e delle sollecitazioni viene svolto per via numerica attraverso il metodo degli elementi finiti mediante il programma di calcolo SAP2000.

Si considera una sezione di galleria di larghezza unitaria ( $B=1$  m) e viene quindi definito un modello della struttura schematizzato in elementi beam, in numero totale pari a 51. In funzione della variabilità degli elementi strutturali si sono individuate le seguenti sezioni tipologiche:

- Arco Rovescio ( $h=1.20$  m)
- Calotta ( $h=1$  m)
- Piedritto ( $h=1.7$  m)
- Murette ( $h=1,6$  m)
- Rene ( $h=1.2$  m)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> <i>Data</i> F0        20/06/2011

In particolare gli elementi beam da

- n°1 a n°8 e da n°44 a n°51 schematizzano le sezioni di calotta;
- n°9 a n°12 e da n°40 a n°43 schematizzano le sezioni delle reni
- n°13 a n°16 e da n°35 a n°39 schematizzano le sezioni di piedritto;
- n°17 a n°19 e da n°33 a n°34 schematizzano le sezioni delle murette;
- n°20 a n°32 schematizzano le sezioni di arco rovescio.

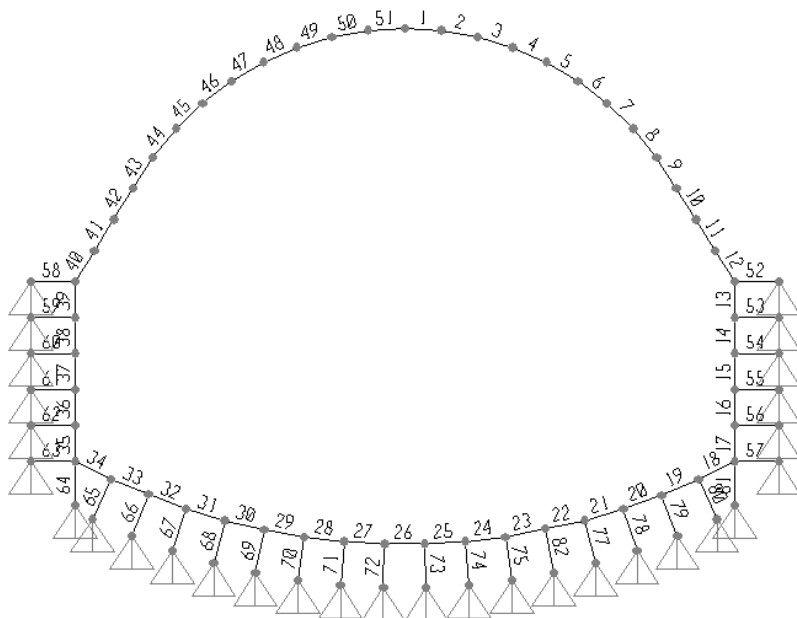


Figura 104 - Discretizzazione per elementi finiti tipo "Beam": numerazione elementi strutturali

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

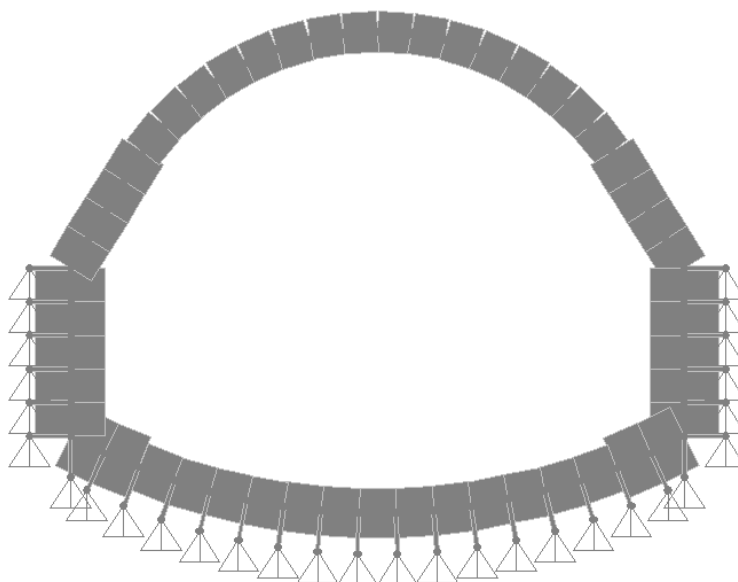


Figura 105 - Modellazione delle sezioni della galleria artificiale

### 8.3.7 Criteri di verifica

Le verifiche statiche della struttura sono svolte secondo l'approccio agli Stati Limite, analizzando lo stato limite ultimo e lo stato limite di esercizio, con riferimento a quanto indicato nel Decreto Ministero delle Infrastrutture 14.09.2008 - Testo Unico "Norme Tecniche per le Costruzioni".

Il DM 2008 TU segue l'approccio agli Stati Limite degli Eurocodici: la sicurezza e la prestazione di un'opera devono essere valutati in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale, Stati Limite Ultimi (SLU) e Stati Limite di Esercizio (SLE), secondo il metodo semiprobabilistico basato sull'impiego dei "coefficienti parziali di sicurezza".

### 8.3.8 Verifiche strutturali

#### 8.3.8.1 Stati limite di esercizio

Le verifiche eseguite in condizioni di esercizio hanno riguardato essenzialmente :

- limitazione di danneggiamenti locali (es. fessurazione calcestruzzo) che possono ridurre la durabilità della struttura.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- Spostamenti e deformazioni che possono eventualmente compromettere l'uso della costruzione e la sua efficienza.

Di seguito vengono riportate le sollecitazioni agenti sulla struttura, in forma di diagrammi e tabelle, e le relative verifiche strutturali eseguite nelle sezioni più gravose.

### 8.3.8.2 Verifica a Pressoflessione

La verifica allo stato limite di esercizio TU 2008 viene condotta con riferimento a coefficienti parziali sulle azioni unitari:

COEFFICIENTI. PARZIALI	AZIONI GENERICHE	
	Sfavorevoli alla sicurezza	Favorevoli alla sicurezza
$\gamma_G$ - Azioni permanenti	1,00	1,00
$\gamma_Q$ - Azioni variabili	1,00	0,00

Tabella 89- Coefficienti parziali per le azioni

In particolare la massima tensione di compressione del conglomerato cementizio, ricavata dalle sollecitazioni fornite dal codice di calcolo, dovrà rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c < 0.60 f_{ck} \quad \text{combinazione rara}$$

$$\sigma_c < 0.45 f_{ck} \quad \text{combinazione quasi permanente}$$

$$\sigma_s < 0.8 f_{yk}$$

Le verifiche allo stato limite di esercizio, secondo quanto descritto in precedenza, risulteranno invece soddisfatte quando sarà rispettata la seguente relazione:

$$\sigma_c \leq 11.25 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s \leq 360.0 \text{ MPa}$$

Per ciascuna sezione si sono prese in considerazione le sollecitazioni massime in corrispondenza della varie parti della struttura.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

sezione	Spessore calcestruzzo	As	A's
Calotta	100 cm	Ø24/20	Ø24/20
Reni	120 cm	Ø24/20	Ø24/20
Piedritti	170 cm	Ø24/20	Ø24/20
Murette	160cm	Ø24/10	Ø24/10
Arco Rovescio	120 cm	Ø24/20	Ø24/20

Tabella 90- Caratteristiche delle sezioni oggetto di verifica

- CONDIZIONI STATICHE (SLE):

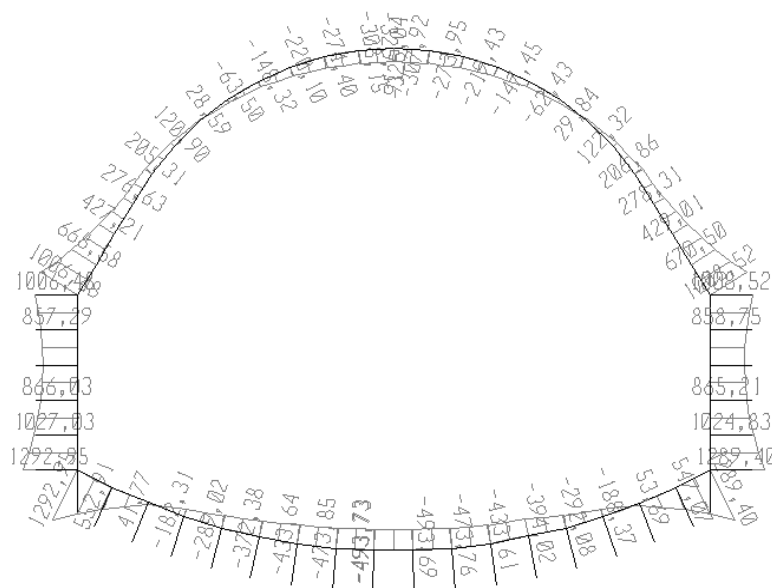


Figura 106 - COMBINAZIONE SLE- Momento flettente

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<b>Codice documento</b> CS0248_F0	<b>Rev</b> F0	<b>Data</b> 20/06/2011

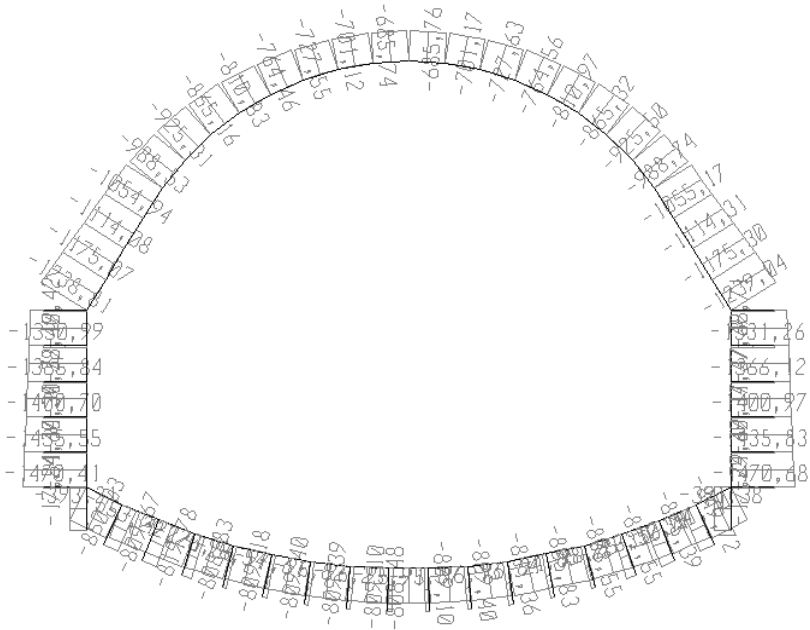


Figura 107 - COMBINAZIONE SLE- Sforzo Assiale

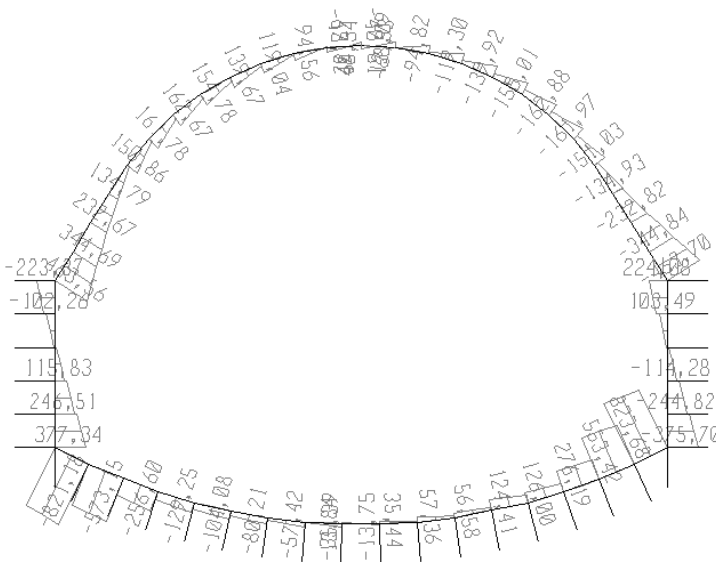


Figura 108 - COMBINAZIONE SLE- Sforzo di Taglio

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

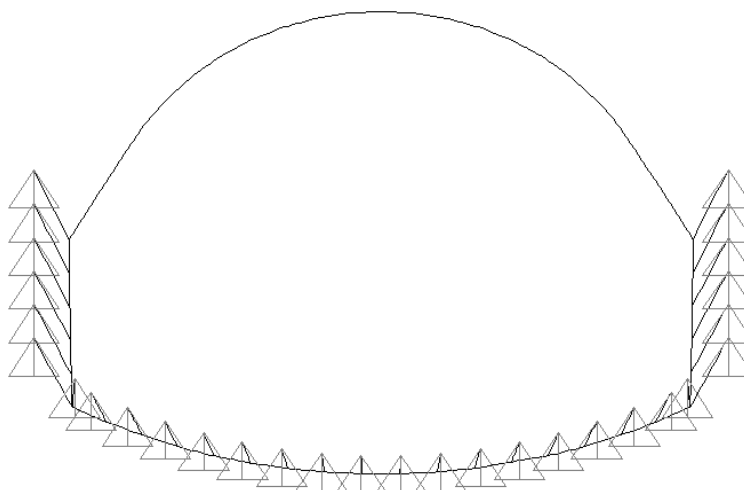


Figura 109 - COMBINAZIONE SLE – Configurazione Deformata

sezione	U1 (m)	U3 (m)	R2 (-)
calotta	0,0000	-0,0190	-0,00001
piedritto	-0,0014	-0,0170	-0,00005
arco rovescio	0,0000	-0,0144	0,00004

Tabella 91 - Tabella riassuntiva delle spostamenti significativi

VERIFICA SLE								
Sezione	Elemento	H	M	N	Af	Af'	$\sigma$ cls	$\sigma$ f
		[cm]	[KNm/m]	[KN/m]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]
Calotta	1	100	-325,0	686,0	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	-3,03	45,9
Calotta	8	100	207,0	989,0	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	-2,02	0,4
Reni	12	120	1008,0	1239,0	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	-7,12	187,3
Piedritto	36	170	1027,0	1436,0	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	-3,60	55,2
Attacco Muretta - Piedritto	35	160	1293,0	1470,0	10 $\phi$ 24	10 $\phi$ 24	-4,28	72,7
Attacco Muretta - Arco rovescio	20	120	-188,0	812,0	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	-1,33	<0
Arco Rovescio	26	120	-494,0	808,0	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	-3,37	62,4

Tabella 92 - Combinazione SLE verifiche tensionali nelle sezioni significative

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Come si evince dalle tabelle, le tensioni di materiali risultano compatibili con quelli previsti dalla normativa di riferimento.

- CODIZIONI SISMICHE (SLD):

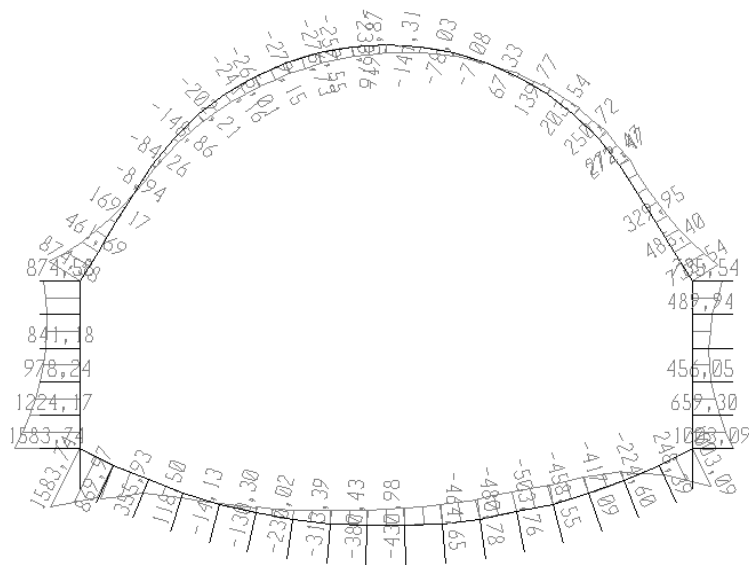


Figura 110 -COMBINAZIONE SLD- Momento flettente

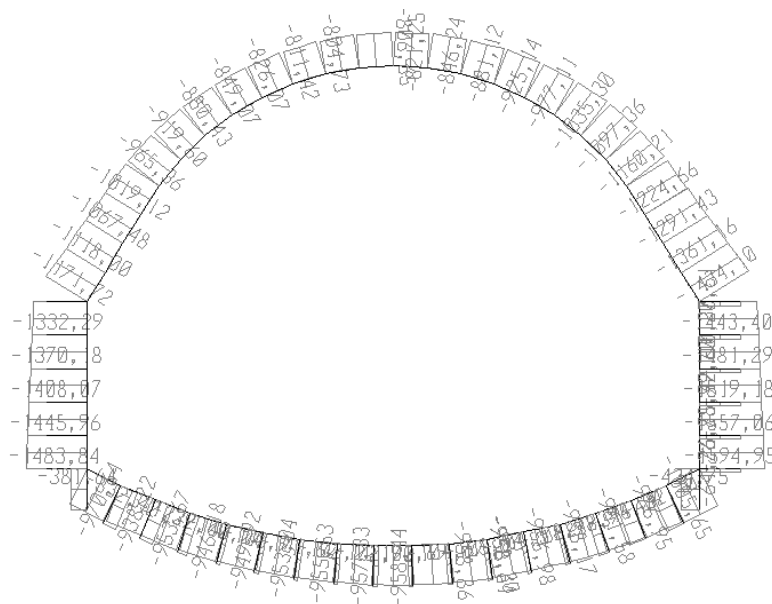


Figura 111 - COMBINAZIONE SLD- Sforzo Assiale



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<b>Codice documento</b> CS0248_F0	<b>Rev</b> F0	<b>Data</b> 20/06/2011

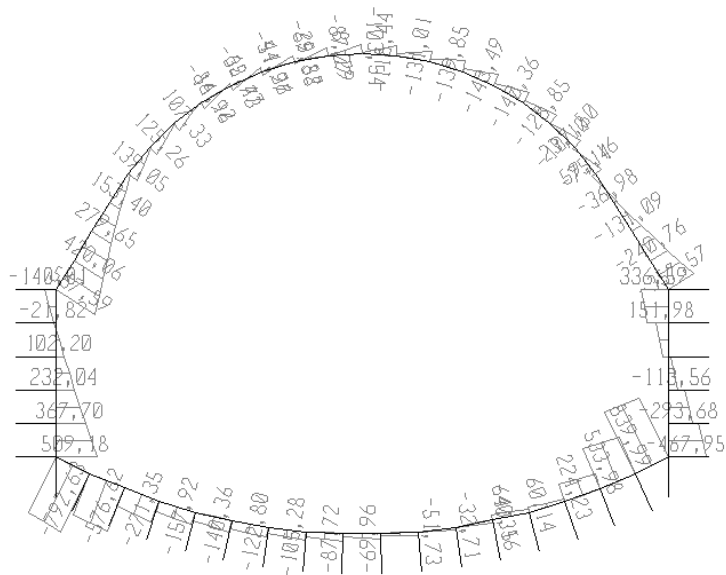


Figura 112 - COMBINAZIONE SLD- Sforzo di taglio

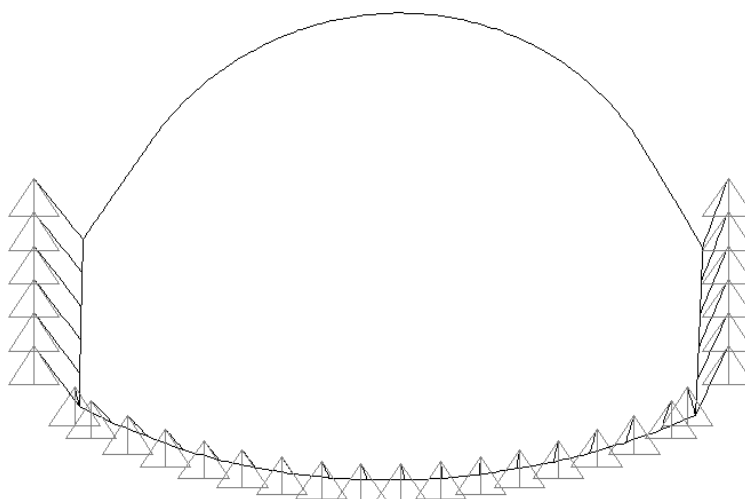


Figura 113 - COMBINAZIONE SLD – CONFIGURAZIONE DEFORMATA

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO	<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0

	U1	U3	R2
sezione	(m)	(m)	(-)
calotta	0,0048	-0,0191	-0,00003
piedritto	0,0023	-0,0165	0,00037
arco rovescio	0,0014	-0,0156	0,00009

Tabella 93 - Tabella riassuntiva delle spostamenti significativi

VERIFICA SLD								
Sezione	Elemento	H	M	N	Af	Af'	$\sigma$ cls	$\sigma$ f
		[cm]	[KNm/m]	[KN/m]			[MPa]	[MPa]
Calotta	48	100	-279,0	826,0	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	-2,51	17,85
Calotta	8	100	273,0	1160,0	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	-2,56	3,54
Reni	40	120	875,0	1172,0	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	-6,13	147,30
Piedritto	36	170	1224,0	1446,0	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	-4,49	94,60
Attacco Muretta - piedritto	34	160	1584,0	971,0	10 $\phi$ 24	10 $\phi$ 24	-5,24	153,60
Attacco Muretta - Arco rovescio	32	120	356,0	954,0	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	-2,27	13,57
Arco Rovescio	22	120	-504,0	957,0	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	-3,35	48,01

Tabella 94- Combinazione SLD- Riepilogo verifiche tensionali

Come si evince dalle tabelle, le tensioni di materiali risultano compatibili con quelli previsti dalla normativa di riferimento.

### 8.3.8.3 Verifica a fessurazione

La verifica delle aperture delle fessure è stata svolta secondo le indicazioni del TU 2008, con riferimento a coefficienti parziali sulle azioni unitarie. Per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture è necessario:

- Realizzare 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;

Per la struttura in esame, viste le classi di esposizione ordinarie (XC2), la normativa in merito pone, come limite per le aperture delle fessure, valori minori di 0.3 mm per condizioni di carico quasi permanente.

Il valore di calcolo di apertura delle fessure ( $w_d$ ) è stato valutato mediante la seguente

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

espressione:

$$w_d = 1.7 \cdot w_m = 1.7 \cdot s_{rm} \cdot \varepsilon_{sm}$$

dove:

$$s_{rm} = 2(c+s/10) + k_2 k_3 \Phi / \rho_r$$

$$\varepsilon_{sm} = \sigma_s / E_s (1 - \beta_1 \beta_2 (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2)$$

$c$  = mm                      copriferro netto armatura tesa

$s$  = mm                      interasse tra i ferri

$k_2 = 0.4$                       per barre ad aderenza migliorata

$k_3 = 0.125$                       per diagramma delle  $s$  triangolare, dovuto a flessione o pressoflessione

$\Phi$  = mm                      diametro delle barre

$\rho_r =$                        $A_s / A_{c \text{ eff}}$

$\sigma_s =$                       tensione dell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la combinazione di azioni considerata

$\sigma_{sr} =$                       tensione dell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la sollecitazione corrispondente al raggiungimento della resistenza a trazione  $f_{ctm}$  nella fibra di calcestruzzo più sollecitata nella sezione interamente reagente.

$\beta_1 = 1$                       per barre ad aderenza migliorata

$\beta_2 = 0.5$                       nel caso di azioni di lunga durata o ripetute.

La verifica si ritiene soddisfatta qualora le resistenza caratteristica dell'apertura delle fessure è inferiore la valore prescritto dalla normativa

VERIFICA APERTURA DELLE FESSURAZIONE												
Sezione	C	S < 14 $\phi$	As tesa	Ac eff.	$\rho_r$	$\phi$	S rm	Mcr	$\sigma_{sr}$	$\sigma_s$	$\varepsilon_{sm}$	Wk
	mm	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	As/Ac	mm	mm	kNm	MPa	MPa	x 1000	mm
<b>Calotta</b>	50	336	2261,9	2261,9	0,0096	24	-	460	276	45,89	-	<b>&lt;0,01</b>
<b>Calotta</b>	50	336,0	2261,95	2261,9	0,0559	24	-	459,8	275,50	0,40	-	<b>&lt;0,01</b>
<b>Reni</b>	50	336,0	2261,95	2261,9	0,0096	24	274,7	657,6	275,50	187,30	0,3568	<b>0,17</b>
<b>Piedritto</b>	50	336,0	2261,95	2261,9	0,0096	24	-	1304,3	186,70	55,19	-	<b>&lt;0,01</b>
<b>Attacco Muretta - Piedritto</b>	50	336,0	4523,89	4523,9	0,0193	24	182,3	1203,0	186,70	72,70	0,1385	<b>0,04</b>

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		Codice documento CS0248_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

<b>Attacco Muretta - Arco rovescio</b>	50	336,0	2261,95	2261,9	0,0942	24	-	657,6	275,50	-	-	<b>&lt;0,01</b>
<b>Arco Rovescio</b>	50	336,0	2261,95	2261,9	0,0096	24	-	657,6	275,50	62,37	-	<b>&lt;0,01</b>

Tabella 95 - Calcolo delle aperture delle fessure

Come si evince dalla tabella, le aperture delle fessure risultano inferiori al limite previsto dalla normativa di riferimento per la classe di esposizione XC2.

#### 8.3.8.4 Stati limite ultimi

Le verifiche della struttura hanno riguardato essenzialmente la verifica della massima capacità di resistenza delle varie parti d'opera in relazione ai carichi previsti.

#### 8.3.8.5 Verifica a Pressoflessione

Secondo quanto disposto dal TU 2008, la verifica della sicurezza agli stati limite ultimi per costruzioni di conglomerato cementizio si ritiene soddisfatta quando, per ogni elemento strutturale e per ciascuna delle combinazioni delle azioni prese in esame, risulti:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'azione pari all'azione nominale moltiplicata per il coefficiente parziale per le azioni  $\gamma$ , mentre  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema, valutato con riferimento ai coefficienti parziali per le resistenze, che variano in funzione dei materiali.

COEFFICIENTI. PARZIALI	AZIONI GENERICHE	
	Sfavorevoli alla sicurezza	Favorevoli alla sicurezza
$\gamma_G$ - Azioni permanenti	1,30	1,00
$\gamma_Q$ - Azioni variabili	1,50	0,00

Tabella 96- Coefficienti parziali per le azioni

Le resistenze di calcolo dei materiali (TU 2008), conglomerato cementizio e acciaio, si ottengono mediante l'espressione

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$f_{cd} = \frac{f_{ck} * \alpha_{cc}}{\gamma_c}$$

dove

$f_{ck}$  = resistenza cilindrica caratteristica del materiale

$\gamma_m$  = coefficiente parziale per la resistenza.

La tensione di snervamento di calcolo dell'acciaio risulta invece pari a:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

dove

$f_{yk}$  = tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio

Per ciascuna sezione è stato riportato il diagramma di interazione M-N, i cui i bordi rappresentano i limiti della resistenza di calcolo  $R_d$ .

Le ipotesi considerate per la costruzione del dominio di resistenza sono:

11. conservazione delle sezioni piane;
12. legame costitutivo del calcestruzzo tipo parabola-rettangolo con un range costante di deformazione compreso tra 0,2% e 0,35%;
13. legame costitutivo dell'acciaio tipo elastico-perfettamente plastico, con deformazione limite di rottura dello 0,1%;
14. perfetta aderenza calcestruzzo-acciaio;
15. calcestruzzo non reagente a trazione.

La verifica risulta soddisfatta quando i punti rappresentativi delle coppie di sollecitazioni sul rivestimento risultano all'interno del diagramma.

I Domini di rottura sono stati costruiti , a seconda della sezione analizzata, secondo lo spessore di calcestruzzo e la quantità di armatura di seguito riportati.

sezione	Spessore cls	As	A's
Calotta	90 cm	Ø24/20	Ø24/20
Reni	115 cm	Ø24/20	Ø24/20
Piedritti	170 cm	Ø24/20	Ø24/20
Murette	160cm	Ø24/10	Ø24/10
Arco Rovescio	110 cm	Ø24/20	Ø24/20

Tabella 97- Caratteristiche delle sezioni oggetto di verifica

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- - CONDIZIONI STATICHE (SLU):

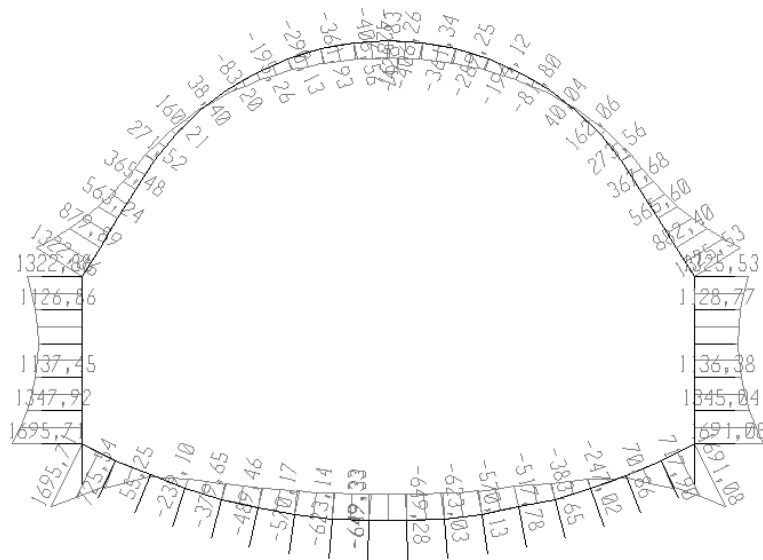


Figura 114 - COMBINAZIONE SLU (statica) Momento flettente

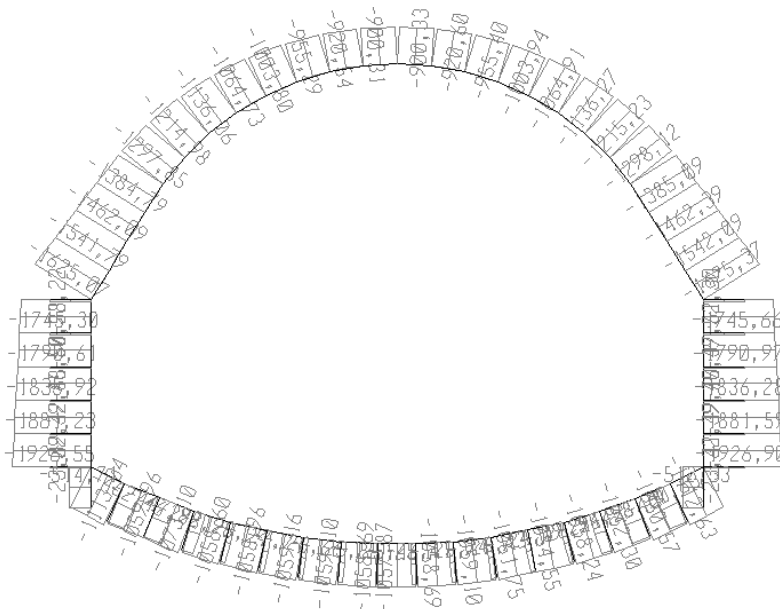


Figura 115 - COMBINAZIONE SLU (statica) Sforzo Assiale

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

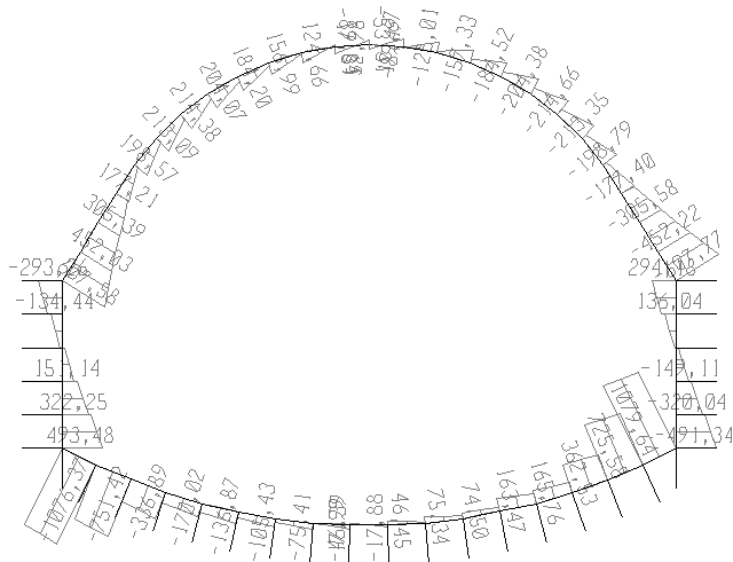


Figura 116 - COMBINAZIONE SLU statica - Sforzo di taglio

Come si evince dalla figure allegate, le sollecitazioni di progetto ricadono sempre all'interno dei domini di resistenza.

- CONDIZIONI SISMICHE (SLV):

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<b>Codice documento</b> CS0248_F0	<b>Rev</b> F0	<b>Data</b> 20/06/2011

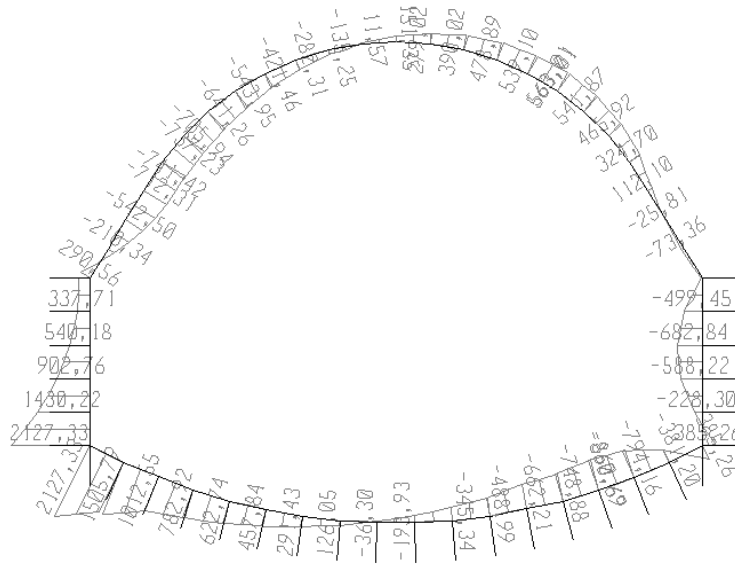


Figura 117 - COMBINAZIONE SLU (SLV)- Momento flettente

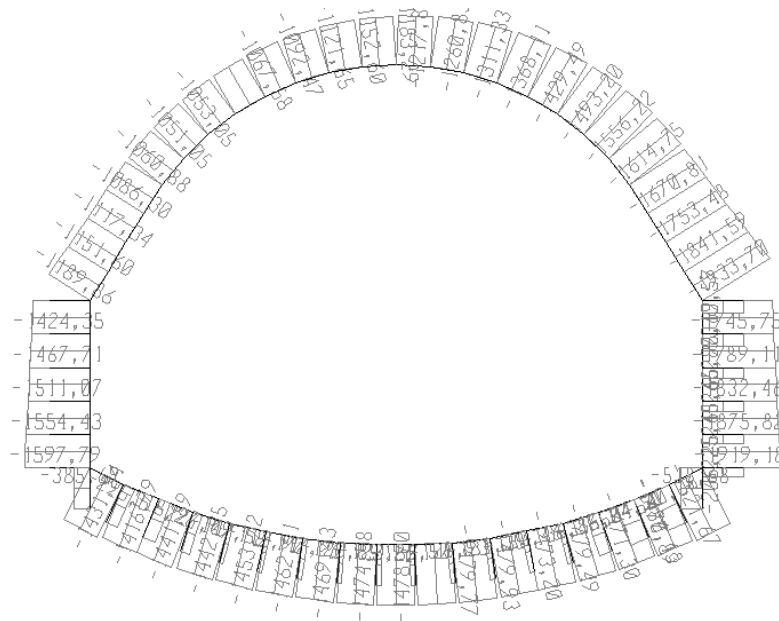


Figura 118 - COMBINAZIONE SLU (SLV) - Sforzo Normale



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<b>Codice documento</b> CS0248_F0	<b>Rev</b> F0	<b>Data</b> 20/06/2011

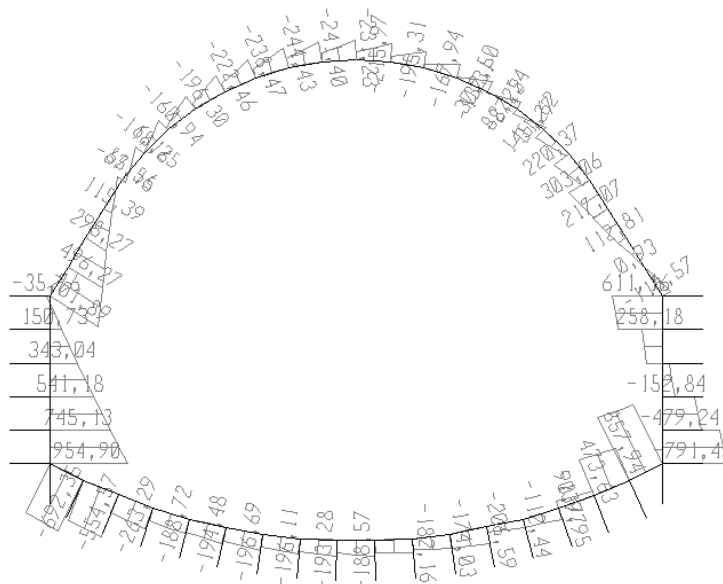


Figura 119 - COMBINAZIONE SLU (SLV) - Sforzo di Taglio

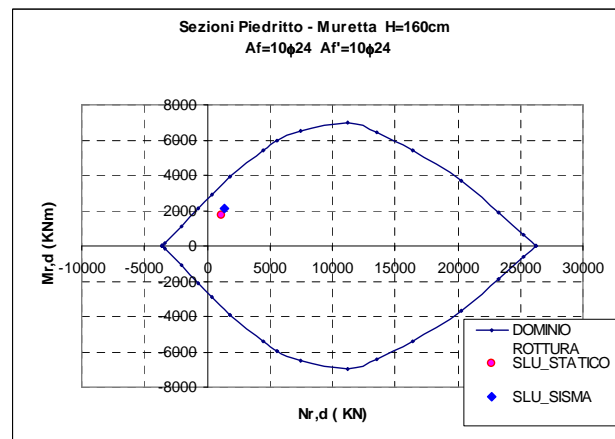
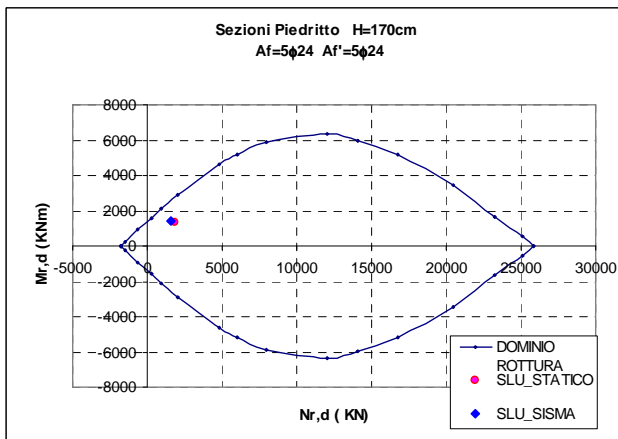
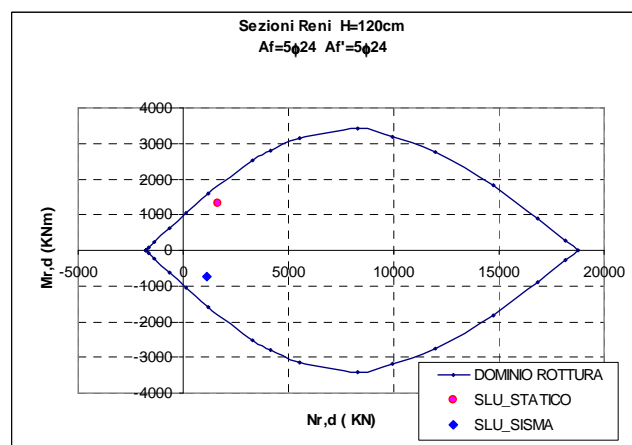
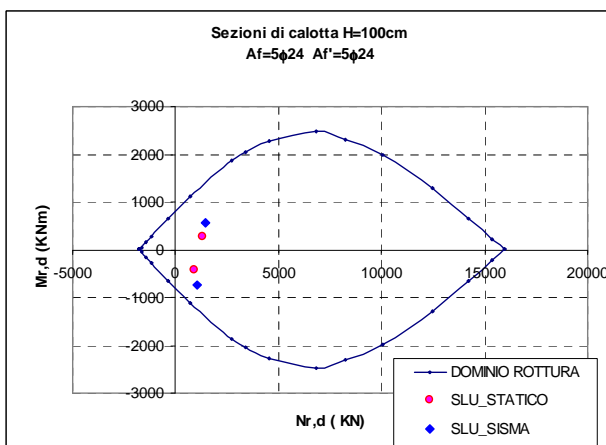
<b>VERIFICA SLU</b>						
Sezione	Elemento	H	Af	Af'	Md	Nd
		[cm]	[mm]	[mm]	[KNm]	[KN]
Calotta	1	100	22,62	22,62	-429,00	900,00
Calotta	8	100	22,62	22,62	274,00	1298,00
Reni	12	120	22,62	22,62	1326,00	1625,00
Piedritto	36	170	22,62	22,62	1348,00	1881,00
Attacco Muretta - piedritto	34	160	22,62	22,62	1696,00	1113,00
Attacco Muretta - Arco rovescio	20	120	22,62	22,62	-247,00	1062,00
Arco Rovescio	26	120	22,62	22,62	-649,00	1058,00

Tabella 98 – Combinazione SLU : Sollecitazioni di progetto

<b>VERIFICA SLV</b>						
Sezione	Elemento	H	Af	Af'	Md	Nd
		[cm]	[mm]	[mm]	[KNm]	[KN]
Calotta	5	100	22,62	22,62	563,00	1429,00
Calotta	44	100	22,62	22,62	-737,00	1061,00
Reni	43	120	22,62	22,62	-741,00	1086,00
Piedritto	36	170	22,62	22,62	1430,00	1554,00

<b>Attacco Muretta - piedritto</b>	<b>34</b>	160	45,24	45,24	2127,00	1431,00
<b>Attacco Muretta - Arco rovescio</b>	<b>32</b>	120	22,62	22,62	1013,00	1442,00
<b>Arco Rovescio</b>	<b>20</b>	120	22,62	22,62	-861,00	1471,00

Tabella 99 - Combinazione SLU (SLV) : Sollecitazioni di progetto



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

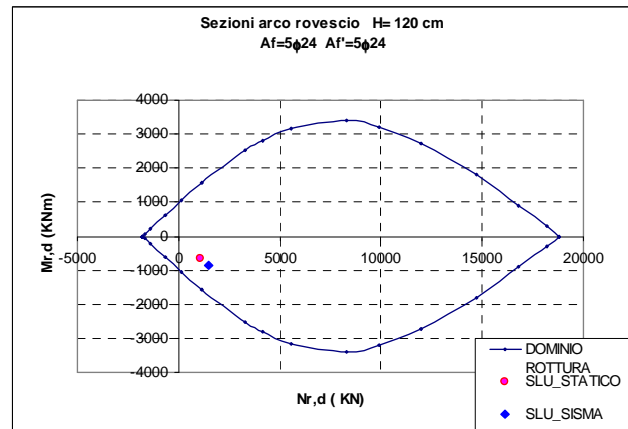
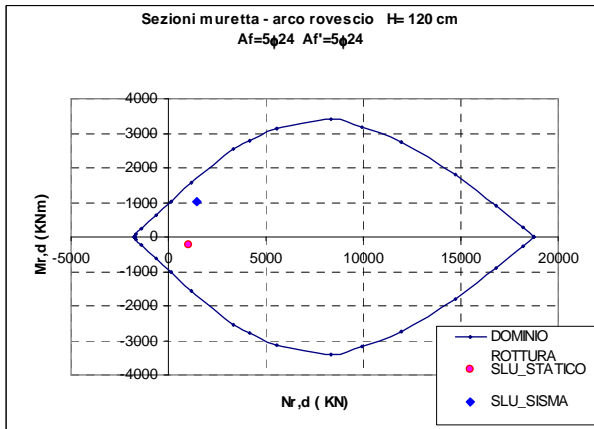


Figura 120 - Combinazione SLU statico e SLV : domini di resistenza delle sezioni oggetto di verifica

Come si evince dalla figure allegate le sollecitazioni di progetto ricadono sempre all'interno dei domini di resistenza.

### 8.3.8.6 Verifica a taglio

Le verifiche allo stato limite ultimo nei confronti dell'azione tagliante vengono eseguite in accordo con il DM 14-01-2008, di cui si riporta un estratto in quanto segue. Per la valutazione delle resistenze ultime nei confronti delle sollecitazioni taglianti si deve considerare quando segue.

- Sezioni senza armature trasversali resistenti a taglio:

la verifica di resistenza agli stati limite ultimi risulta soddisfatta se  $V_{Rd} \geq V_{Ed}$ , dove  $V_{Ed}$  è la sollecitazione caratteristica di taglio agente nella sezione.

Il valore della resistenza al taglio, riferita al elemento fessurato da momento flettente, si valuta con la seguente relazione :

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \quad (4.1.14)$$

con

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

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

e dove

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

$\rho_1 = A_{s1} / (b_w \cdot d)$  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).

- Sezioni con armature trasversali resistenti a taglio:

La resistenza al taglio di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono sia le armature trasversali che le armature longitudinali.

La verifica di resistenza si considera soddisfatta quando  $V_{Rd} \geq V_{Ed}$ .  $V_{Ed}$  è la sollecitazione caratteristica di taglio agente nella sezione. Il valore della resistenza al taglio si valuta con la seguente relazione :

- con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza a "taglio trazione" si calcola con la seguente formula:

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

- con riferimento al calcestruzzo d'anima la resistenza del "taglio compressione" si calcola con la seguente formula:

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

dove  $d$ ,  $b_w$  e  $\sigma_{cp}$  hanno il significato già visto in § 4.1.2.1.3.1. e inoltre si è posto:

$A_{sw}$	area dell'armatura trasversale;								
$s$	interasse tra due armature trasversali consecutive;								
$\alpha$	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;								
$f'_{cd}$	resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ( $f'_{cd} = 0,5 \cdot f_{cd}$ );								
$\alpha_c$	coefficiente maggiorativo pari a								
	<table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>1</td> <td>per membrature non compresse</td> </tr> <tr> <td><math>1 + \sigma_{cp}/f_{cd}</math></td> <td>per <math>0 \leq \sigma_{cp} &lt; 0,25 f_{cd}</math></td> </tr> <tr> <td>1,25</td> <td>per <math>0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}</math></td> </tr> <tr> <td><math>2,5(1 - \sigma_{cp}/f_{cd})</math></td> <td>per <math>0,5 f_{cd} &lt; \sigma_{cp} &lt; f_{cd}</math></td> </tr> </table>	1	per membrature non compresse	$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$	per $0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$	1,25	per $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$	$2,5(1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$	per $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$
1	per membrature non compresse								
$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$	per $0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$								
1,25	per $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$								
$2,5(1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$	per $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$								

È stata svolta una verifica la taglio relativamente alle sezioni più critiche individuate nel calcolo, ipotizzando inizialmente l'assenza di armatura specifica a taglio. Il risultato ottenuto è di seguito riportato.

VERIFICA TAGLIO ( SLU ) -CONDIZIONI STATICHE						
<b>sezione</b>	<b>B</b>	<b>H</b>	<b>N</b>	<b>V</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Coefficiente</b>
	[cm]	[cm]	KN	KN	$\gamma_s$	$\gamma_c$
calotta	100	100	1136	214	1,15	1,5
reni	100	120	1625	608	$\alpha$	$\theta$
pedritto	100	170	1881	322	°	°
pedritto-muretta	100	160	1113	1080	90	45
muretta - a.r.	100	120	1062	363		

armatura	passo	Asl	copriferro	fyk	fyd	fcd
mm	cm	mm <sup>2</sup>	cm	Mpa	MPa	MPa
24	20	2261,95	5,0	450	391,30	14,11
24	20	2261,95	5,0	450	391,30	14,11
24	20	2261,95	5,0	450	391,30	14,11
24	10	4523,89	5,0	450	391,30	14,11
24	20	2261,95	5,0	450	391,30	14,11

altezza utile	bw	$\rho_1$	k1	vmin	$\sigma_{cp}$
d [cm]	[cm]			[MPa]	[MPa]
94,5	100	0,0023936	1,46	0,31	1,202
114,5	100	0,0019755	1,42	0,29	1,419
164,5	100	0,0013750	1,35	0,27	1,143
154,5	100	0,0029281	1,36	0,28	0,720
114,5	100	0,0019755	1,42	0,29	0,928

SLU_STATICI	
V Rd	V Ed

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO	Codice documento CS0248_F0	Rev F0

[KN]	[KN]	[KN]	Verifica <b>OK</b> <b>NO</b> <b>OK</b> <b>NO</b> <b>OK</b>
<b>468,81</b>	461,57	<b>214</b>	
<b>573,33</b>	581,39	<b>608</b>	
<b>681,77</b>	732,14	<b>322</b>	
<b>652,57</b>	594,81	<b>1080</b>	
<b>488,88</b>	496,94	<b>363</b>	

**VERIFICA TAGLIO ( SLV )- CONDIZIONI SISMICHE**

sezione	B	H	N	V	Coefficiente	Coefficiente
	[cm]	[cm]	KN	KN	$\gamma_s$	$\gamma_c$
calotta	100	100	1222	244	1,15	1,5
reni	100	120	1190	702	$\alpha$	$\theta$
piedritto	100	170	1554	745	°	°
piedritto-muretta	100	160	1598	955	90	45
muretta - a.r.	100	120	1442	263		

armatura	passo	Asl	copriferro	fyk	fyd	fcd
mm	cm	mm <sup>2</sup>	cm	Mpa	MPa	MPa
24	20	2261,95	5,0	450	391,30	14,11
24	20	2261,95	5,0	450	391,30	14,11
24	20	2261,95	5,0	450	391,30	14,11
24	10	4523,89	5,0	450	391,30	14,11
24	20	2261,95	5,0	450	391,30	14,11

altezza utile	bw	$\rho_1$	k1	vmin	$\sigma_{cp}$
d [cm]	[cm]			[MPa]	[MPa]
94,5	100	0,0023936	1,46	0,31	1,293
114,5	100	0,0019755	1,42	0,29	1,039
164,5	100	0,0013750	1,35	0,27	0,945
154,5	100	0,0029281	1,36	0,28	1,034
114,5	100	0,0019755	1,42	0,29	1,259

SLU_SISMICI		
V Rd		V Ed
[KN]	[KN]	[KN]
<b>481,71</b>	474,47	<b>244</b>
<b>508,08</b>	516,14	<b>702</b>
<b>632,72</b>	683,09	<b>745</b>
<b>725,32</b>	667,56	<b>955</b>
<b>545,88</b>	553,94	<b>263</b>

Verifica  
**OK**  
**NO**  
**NO**  
**NO**  
**OK**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Come si osserva per le sezioni delle reni, dei piedritti e all'attacco muretta-piedritto è necessario introdurre un'apposita armatura a taglio (indicata in seguito come  $A_{sw}$ ) mentre nelle altre sezioni si predispone unicamente l'area minima di armatura prevista dalla normativa.

Staffe	$A_{sw}$	Copriferro	$f_{yk}$ staffe	$f_{yd}$ staffe	fcd
sezione	mm <sup>2</sup>	cm	Mpa	MPa	MPa
calotta	1608,49	5,0	450	391,30	14,11
reni	3216,99	5,0	450	391,30	14,11
piedritto	3216,99	5,0	450	391,30	14,11
piedritto-muretta	3216,99	5,0	450	391,30	14,11
muretta - a.r.	1608,49	5,0	450	391,30	14,11

altezza utile	$\sigma_{cp}$	$\alpha_c$	V Rcd	V Rsd
d [cm]	MPa	-	KN	KN
94,50	1,20	1,09	3255,74	535,31
114,50	1,42	1,10	4000,71	1297,22
164,50	1,14	1,08	5645,69	1863,69
154,50	0,72	1,05	5155,41	1750,39
114,50	0,93	1,07	3874,04	648,61

V Ed statico	V Ed sisma	V Rd
KN	KN	KN
214	244,00	<b>535,31</b>
608	702,00	<b>1297,22</b>
322	745,00	<b>1863,69</b>
1080	955,00	<b>1750,39</b>
363	263,00	<b>648,61</b>

**Verifica**  
OK  
OK  
OK  
OK  
OK

Come si osserva dalla tabelle sopra riportate, le verifiche soddisfanno le condizioni richieste dalla normativa di riferimento.

## 8.4 Gallerie artificiali stradali – Rami B e D

### 8.4.1 Premessa

La galleria artificiale ha un raggio interno pari a circa 5.5 m in calotta e 7,36 m in arco rovescio. Gli spessori previsti sono 0.9 m in calotta, 1.70 m sui piedritti e 1.10m in arco rovescio; per un

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

maggior dettaglio sulle carpenterie della artificiali si rimanda agli specifici elaborati grafici.

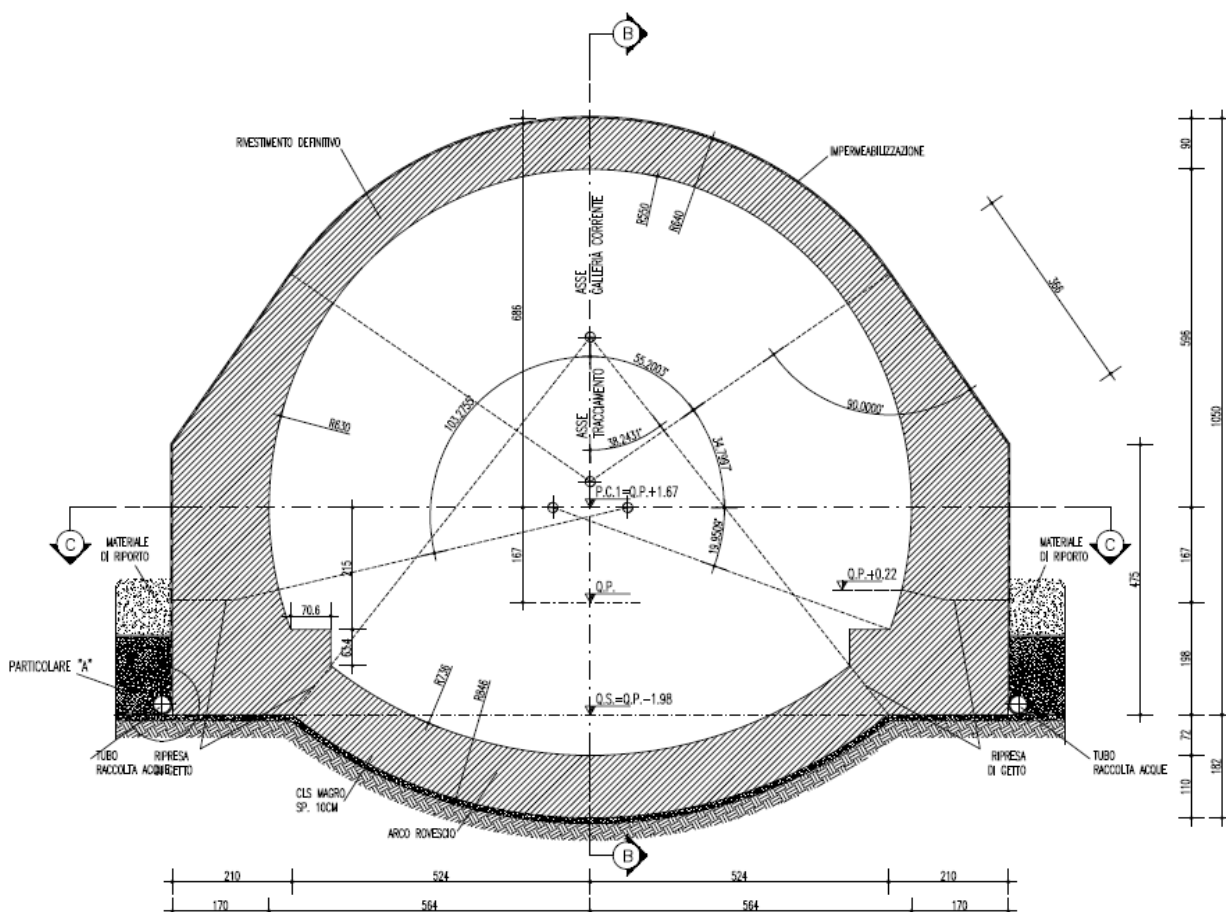


Figura 121 – Carpenteria tipologica galleria artificiale

Le verifiche strutturali della galleria artificiale sono state svolte per la sezione ritenuta più rappresentativa, dal punto di vista dei carichi agenti e del modello geologico-geotecnico, secondo quanto previsto dalla Normativa vigente, ovvero sia agli stati limite ultimi che di esercizio

Alla luce della caratterizzazione geologico-geotecnica condotta a valle dell'analisi dei risultati delle indagini disponibili, si riporta nel seguito una sintesi della parametrizzazione geotecnica utilizzata per la definizione del quadro geomeccanico che caratterizza le analisi svolte per le gallerie artificiali oggetto della presente relazione.

Per il progetto e la verifica delle gallerie artificiali in esame, viene di seguito riportato il calcolo eseguito per il tratto di galleria posto in corrispondenza del "Ramo stradale D", avente le stesse caratteristiche geometriche del "Ramo stradale B" e condizioni di carico più gravose.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 8.4.2 Caratteristiche dei materiali

#### CALCESTRUZZO ARTIFICIALE – C25/30

resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck} = 25$	MPa
resistenza caratteristica cubica	$f_{ck(c)} = 30$	MPa

#### ACCIAIO B450C

Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 450$	MPa
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} = 540$	MPa

### 8.4.3 Parametri geotecnici di calcolo

Per la definizione della stratigrafia di calcolo sono stati individuati due litotipi:

- Materiale di riempimento, proveniente dalla risulta degli scavi della galleria dopo opportuna qualifica, caratterizzato dai seguenti parametri:

- Peso di Volume  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
- Coesione  $c' = 0.0 \text{ MPa}$
- Angolo di attrito  $\varphi = 33^\circ$
- $E = 50 \text{ MPa}$
- Rigidezza  $K_h = 42969 \text{ kN/m}^3$  relativa al paramento laterale, ricavato in base alla formulazione proposta da Bowles di seguito esplicitata.

$$k = A + B \cdot z^n$$

$$A = C \cdot (c \cdot N_c \cdot s_c + 0.5 \cdot \gamma \cdot b \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma)$$

$$B = C \cdot (\gamma \cdot N_q \cdot s_q)$$

Dove  $N_c, N_\gamma$  e  $N_q$  sono i coefficienti di portata del terreno secondo la teoria di Hansen ed i valori ricavati da tale formula vengono ridotti cautelativamente del 40% perché sono riferiti a terreno rimaneggiato.

- Terreno di fondazione della galleria-caratterizzato dai seguenti parametri:

- Peso di Volume  $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$
- Coesione  $c' = 0.03 \text{ MPa}$
- Angolo di attrito  $\varphi = 38^\circ$
- Rigidezza  $K_v = 12583 \text{ kN/m}^3$  (ricavato in base alla formulazione proposta da Galerkin)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$K_v = E / (R * (1 + \nu))$$

dove:

R = raggio superficie curvilinea di contatto

E = 150 MPa.

#### 8.4.4 Sezioni di calcolo : tipologia di carichi

Le ipotesi di carico applicate considerano sia i carichi verticali, che quelli orizzontali calcolati in funzione dello spessore del terreno di copertura. In particolare, la galleria artificiale è stata verificata considerando una copertura pari a circa 8 m (in modo da considerare i carichi derivanti dalla massimi ricoprimenti previsti sulla struttura) costante su tutto l'asse della galleria stessa.

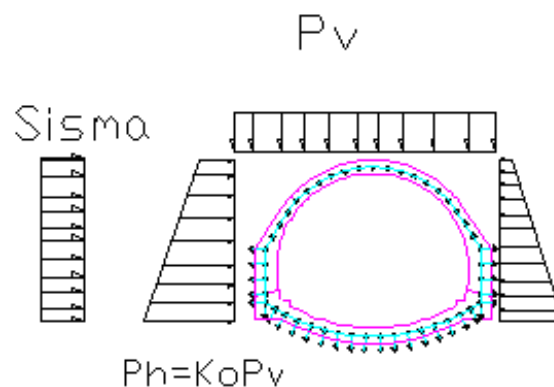


Figura 122 - Schema dei carichi applicati al modello numerico implementato

I carichi applicati al modello di calcolo sono di seguito riassunti.

- AZIONI PERMANENTI (G)

- Pesi Propri della struttura in c.a. e del terreno di ritombamento: per il calcestruzzo è stato adottato un peso di volume pari ad  $25 \text{ KN/m}^3$ , mentre per il terreno di ritombamento è stato adottato un peso di volume pari ad  $19 \text{ KN/m}^3$ ;

- Spinte del terreno: l'interazione terreno-struttura è tale da consentire che si sviluppi un regime di spinta a riposo ( $K_0$ ) a seconda delle condizioni di carico; in particolare si è calcolato un valore di  $K_0 = 0,455$ .

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

L'interazione della struttura col terreno è stata modellata anche tramite molle elastiche che trasmettano solo forze di compressione, nei paragrafi seguenti sono stati esplicitati i valori dei moduli di relazione adottati nella modellazione;

▪ **CARICHI ACCIDENTALI**

Si è adottato un carico accidentale verticale distribuito pari a 10 KN/m<sup>2</sup> ed i relativi valori di spinta orizzontale.

▪ **AZIONI SISMICHE (E)**

Per il calcolo dell'azione sismica di Progetto si sono considerati i seguenti parametri:

- Vn = 100 anni
- Classe d'uso = IV ( opere infrastrutturali)
- Cu= 2 (coefficiente d'uso della struttura)

Pertanto il periodo di riferimento per il calcolo dell'azione sismica è par V<sub>R</sub> =200 anni.

Per le condizioni di stato limite di salvaguardia della vita umana (SLV), il valore dell'azione sismica di progetto, cui corrisponde un periodo di ritorno Tr= 1898 anni, è ricavato di seguito. Il coefficiente  $\beta$  è stato assunto pari a 0.75, corrispondente ad un valore di u<sub>s</sub> (massimo spostamento che l'opera può tollerare senza riduzioni di resistenza) pari ad 1cm.

Valutazione azione sismica SLV		
amax	[g]	0,437
F0	[-]	2,49
Tc*	[s]	0,422
Tipo sottosuolo		B
S <sub>s</sub> *S <sub>T</sub>		1,44
$\alpha*\beta$		0.75

Da cui:

Accelerazione orizz. di progetto		
a <sub>H</sub>	[g]	0,471

Invece, per le condizioni di stato limite di danno (SLD), il valore dell'azione sismica di progetto, cui corrisponde un periodo di ritorno Tr = 201 anni, è il seguente:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Valutazione azione sismica SLD		
amax	[g]	0,170
F0	[-]	2,357
Tc*	[s]	0,337
Tipo sottosuolo		B
Ss*ST		1,44
$\alpha*\beta$		0.75

Si ottiene che:

Accelerazione orizz. di progetto		
aH	[g]	0,183

Pertanto le azioni sismiche saranno:

- Spinta Sismica Orizzontale del Terreno: calcolata secondo il metodo di Wood

$$\Delta P = \frac{a}{g} * S * \gamma * H^2 * B$$

dove:

H= altezza della galleria e del terreno sovrastante

B= larghezza adottata nei calcoli in questo caso posta unitaria

Questa spinta, da sommare alla relativa spinta statica, varia in funzione del ricoprimento in esame.

- Azioni Inerziali Strutturali Orizzontali: date dal prodotto del peso proprio della struttura per il coefficiente  $K_H (a_g/g * S_T * S_S * \alpha*\beta)$
- Azioni Inerziali Strutturali Verticali: date dal prodotto del peso proprio della struttura per il coefficiente  $K_V (0.5K_H)$
- Inerzia Verticale del Terreno: data dal prodotto del peso di ritombamento per il coefficiente sismico  $K_V$ .

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

#### 8.4.5 Combinazione di Carico

Le ipotesi di carico applicate considerano sia i carichi verticali che quelli orizzontali calcolati in funzione dello spessore del terreno di copertura. In particolare, la galleria artificiale è stata verificata considerando opportune combinazioni di carico che rappresentano le condizioni più gravose ipotizzabili:

Carico	$\gamma F$			
	SLE	SLD_SIMA	SLU	SLU_SISMA
Peso Proprio struttura - PP	1	1	1,3	1
Carico Verticale (Terre) - Pv	1	1	1,3	1
Carico Orizzontale (Terre) - PH	1	1	1,3	1
Inerzia orizzontale struttura - Fih	-	1	-	1
Inerzia verticale struttura - Fiv	-	1	-	1
Sisma Orizzontale (Terre) - Sis_H	-	1	-	1
Sisma Verticale (Terre) - Sis_V	-	1	-	1
Sovraccarico accidentale - q	1	0,3	1,5	0,3

Tabella 100 - Combinazioni di carico utilizzate per la verifica strutturale della galleria artificiale

#### 8.4.6 Modello di calcolo

Il calcolo degli spostamenti e delle sollecitazioni viene svolto per via numerica attraverso il metodo degli elementi finiti mediante il programma di calcolo SAP2000.

Si considera una sezione di galleria di larghezza unitaria ( $B=1$  m) e viene quindi definito un modello della struttura schematizzato in elementi beam, in numero totale pari a 56. In funzione della variabilità degli elementi strutturali si sono individuate le seguenti sezioni tipologiche:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- Arco Rovescio (h=1.10 m)
- Calotta (h=0.9 m)
- Piedritto (h=1.70 m)
- Murette (h=1,6 m)
- Rene (h=1.15 m)

In particolare gli elementi beam da

- n°1 a n°9 e da n°48 a n°56 schematizzano le sezioni di calotta;
- n°10 a n°13 e da n°44 a n°47 schematizzano le sezioni delle reni
- n°14 a n°18 e da n°39 a n°43 schematizzano le sezioni di piedritto;
- n°19 a n°21 e da n°36 a n°38 schematizzano le sezioni delle murette;
- n°22 a n°35 schematizzano le sezioni di arco rovescio.

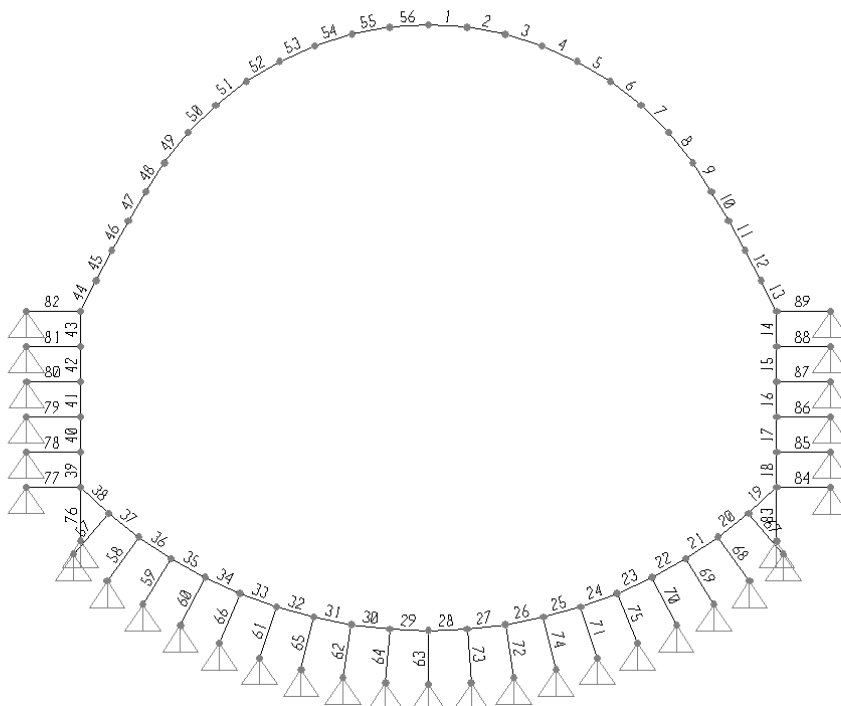


Figura 123 - Discretizzazione per elementi finiti tipo "Beam": numerazione elementi strutturali

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

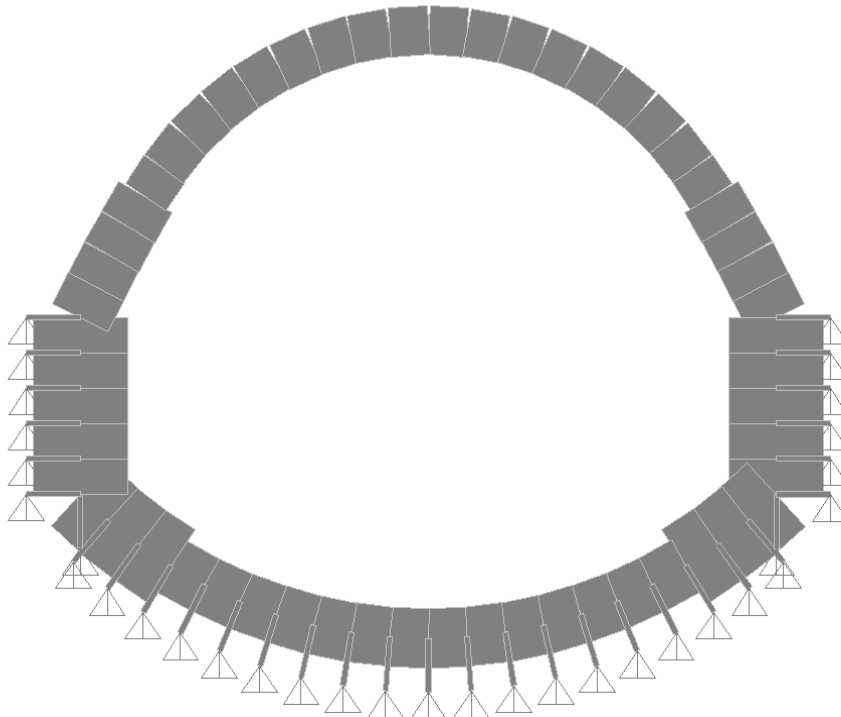


Figura 124 - Modellazione delle sezioni della galleria artificiale

#### 8.4.7 Criteri di verifica

Le verifiche statiche della struttura sono svolte secondo l'approccio agli Stati Limite, analizzando lo stato limite ultimo e lo stato limite di esercizio, con riferimento a quanto indicato nel Decreto Ministero delle Infrastrutture 14.09.2008 - Testo Unico "Norme Tecniche per le Costruzioni".

Il DM 2008 TU segue l'approccio agli Stati Limite degli Eurocodici: la sicurezza e la prestazione di un'opera devono essere valutati in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale, Stati Limite Ultimi (SLU) e Stati Limite di Esercizio (SLE), secondo il metodo semiprobabilistico basato sull'impiego dei "coefficienti parziali di sicurezza".

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 8.4.8 Verifiche strutturali

### 8.4.8.1 Stati limite di esercizio

Le verifiche eseguite in condizioni di esercizio hanno riguardato essenzialmente :

- limitazione di danneggiamenti locali (es. fessurazione calcestruzzo) che possono ridurre la durabilità della struttura.
- Spostamenti e deformazioni che possono eventualmente compromettere l'uso della costruzione e la sua efficienza.

Di seguito vengono riportate le sollecitazioni agenti sulla struttura, in forma di diagrammi e tabelle, e le relative verifiche strutturali eseguite nelle sezioni più gravose.

### 8.4.8.2 Verifica a Pressoflessione

La verifica allo stato limite di esercizio TU 2008 viene condotta con riferimento a coefficienti parziali sulle azioni unitari:

COEFFICIENTI. PARZIALI	AZIONI GENERICHE	
	Sfavorevoli alla sicurezza	Favorevoli alla sicurezza
$\gamma_G$ - Azioni permanenti	1,00	1,00
$\gamma_Q$ - Azioni variabili	1,00	0,00

Tabella 101- Coefficienti parziali per le azioni

In particolare la massima tensione di compressione del conglomerato cementizio, ricavata dalle sollecitazioni fornite dal codice di calcolo, dovrà rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c < 0.60 f_{ck} \quad \text{combinazione rara}$$

$$\sigma_c < 0.45 f_{ck} \quad \text{combinazione quasi permanente}$$



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$\sigma_s < 0.8f_{yk}$$

Le verifiche allo stato limite di esercizio, secondo quanto descritto in precedenza, risulteranno invece soddisfatte quando sarà rispettata la seguente relazione:

$$\sigma_c \leq 11.25 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s \leq 360.0 \text{ MPa}$$

Per ciascuna sezione si sono prese in considerazione le sollecitazioni massime in corrispondenza della varie parti della struttura.

sezione	Spessore calcestruzzo	As	A's
Calotta	90 cm	Ø24/20	Ø24/20
Reni	115 cm	Ø24/20	Ø24/20
Piedritti	170 cm	Ø24/20	Ø24/20
Murette	160cm	Ø24/20	Ø24/20
Arco Rovescio	110 cm	Ø24/20	Ø24/20

Tabella 102- Caratteristiche delle sezioni oggetto di verifica

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<b>Codice documento</b> CS0248_F0	<b>Rev</b> <b>Data</b> F0      20/06/2011

- CONDIZIONI STATICHE (SLE):

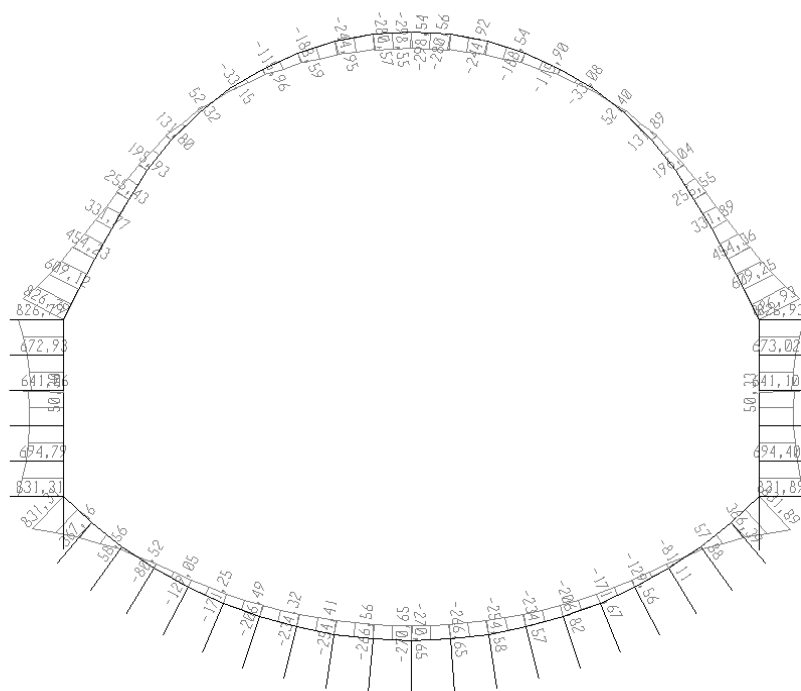


Figura 125 - COMBINAZIONE SLE- Momento flettente

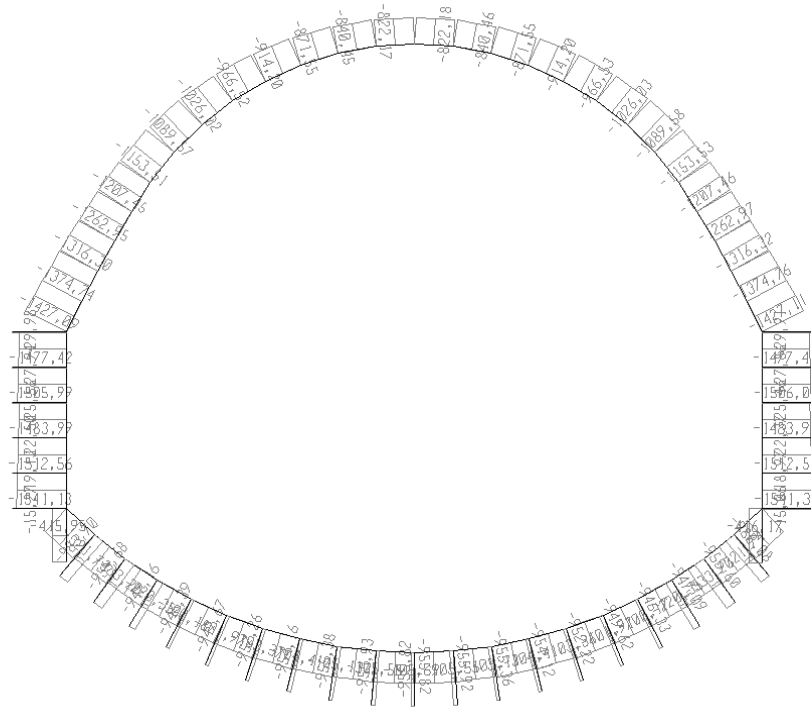
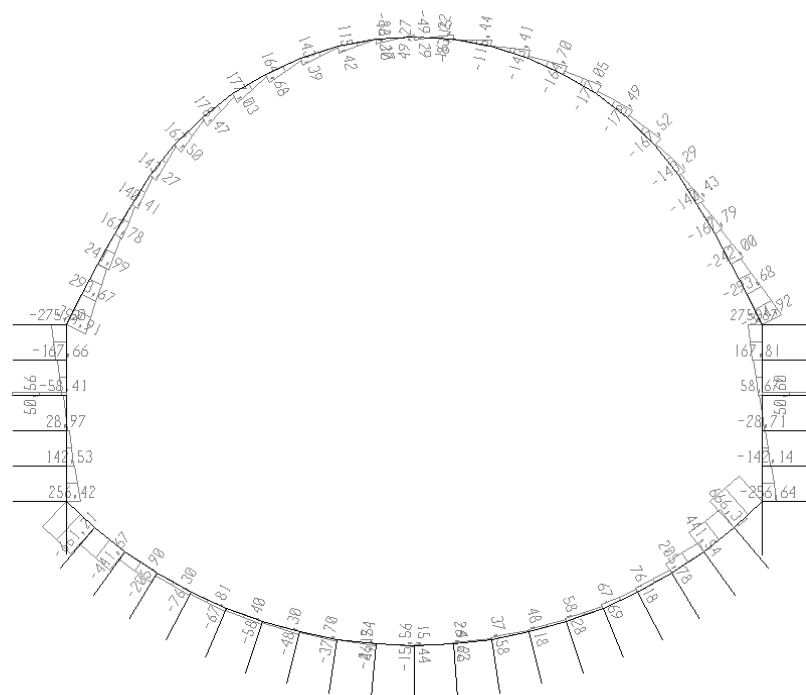


Figura 126 - COMBINAZIONE SLE- Sforzo Assiale



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Figura 127 - COMBINAZIONE SLE- Sforzo di Taglio

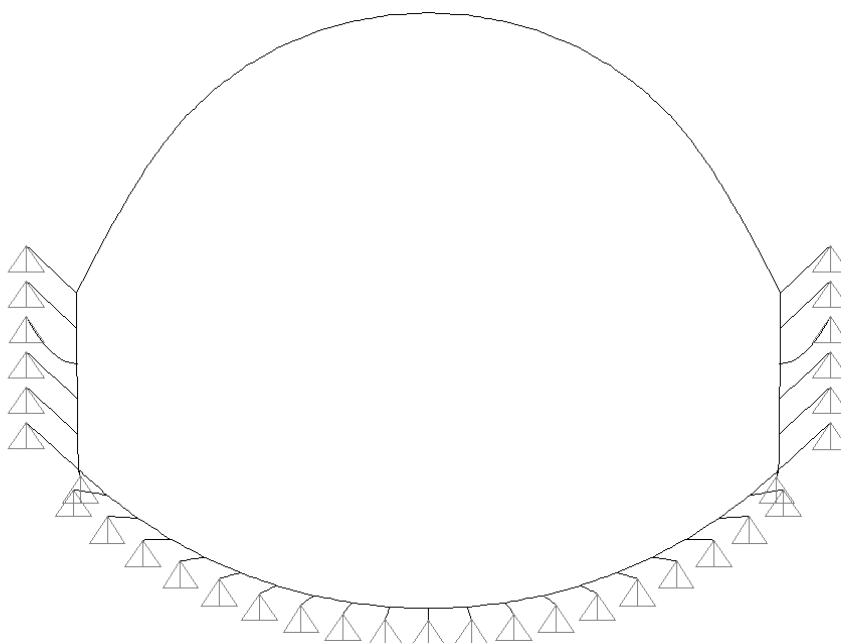


Figura 128 - COMBINAZIONE SLE – Configurazione Deformata

sezione	U1 (m)	U3 (m)	R2 (-)
calotta	0,0000	-0,0144	0,00000
pedritto	0,0011	-0,0126	-0,00008
arco rovescio	0,0000	-0,0110	0,00006

Tabella 103 - Tabella riassuntiva delle spostamenti significativi

VERIFICA SLE								
Sezione	Elemento	H	M	N	Af	Af'	$\sigma$ cls	$\sigma$ f
		[cm]	[KNm/m]	[KN/m]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]
<b>Calotta</b>	<b>56</b>	90	-280,0	822,0	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	-3,07	23,5
<b>Calotta</b>	<b>9</b>	90	256,0	1207,0	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	-2,93	3,6
<b>Reni</b>	<b>13</b>	115	827,0	1427,0	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	-6,07	108,3
<b>Piedritto</b>	<b>14</b>	170	827,0	1477,0	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	-2,58	19,7
<b>Attacco Muretta - Piedritto</b>	<b>19</b>	160	832,0	980,0	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	-3,45	77,9

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

<b>Attacco Muretta - Arco rovescio</b>	<b>22</b>	110	-129,0	946,0	5φ24	5φ24	-1,37	<0
<b>Arco Rovescio</b>	<b>28</b>	110	-271,0	956,0	5φ24	5φ24	-2,07	5,6

Tabella 104 - Combinazione SLE verifiche tensionali nelle sezioni significative

Come si evince dalle tabelle, le tensioni di materiali risultano compatibili con quelli previsti dalla normativa di riferimento.

- CODIZIONI SISMICHE (SLD):

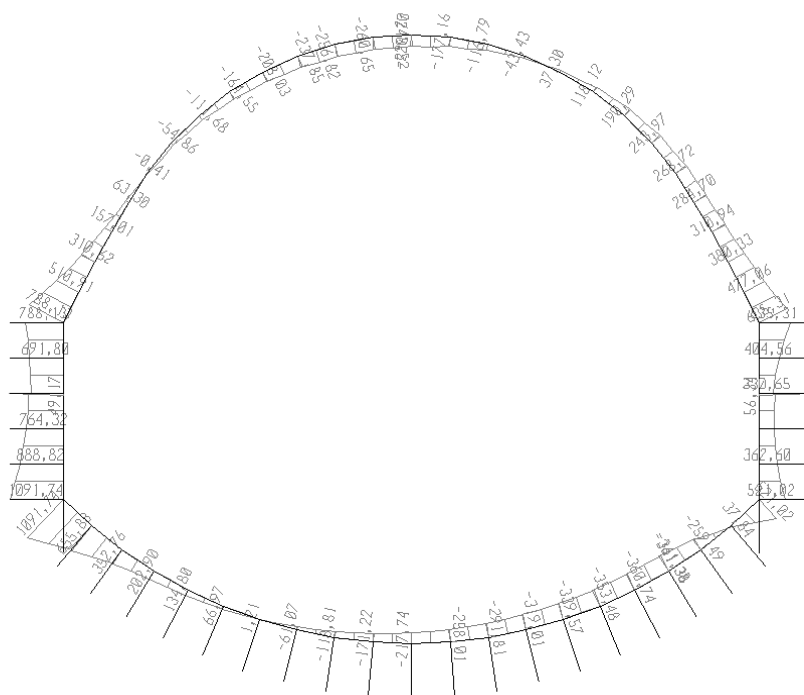


Figura 129 -COMBINAZIONE SLD- Momento flettente

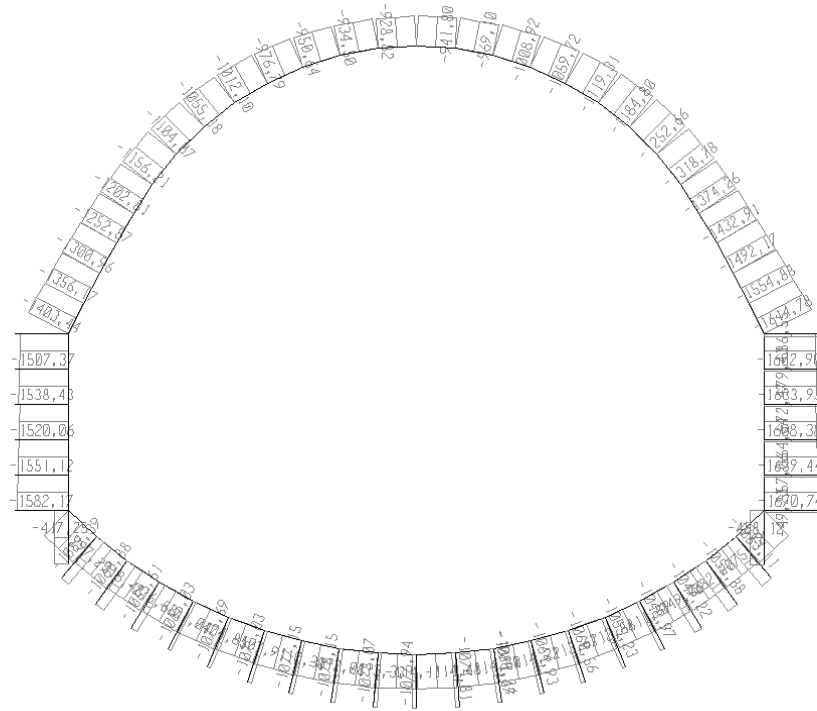


Figura 130 - COMBINAZIONE SLD- Sforzo Assiale

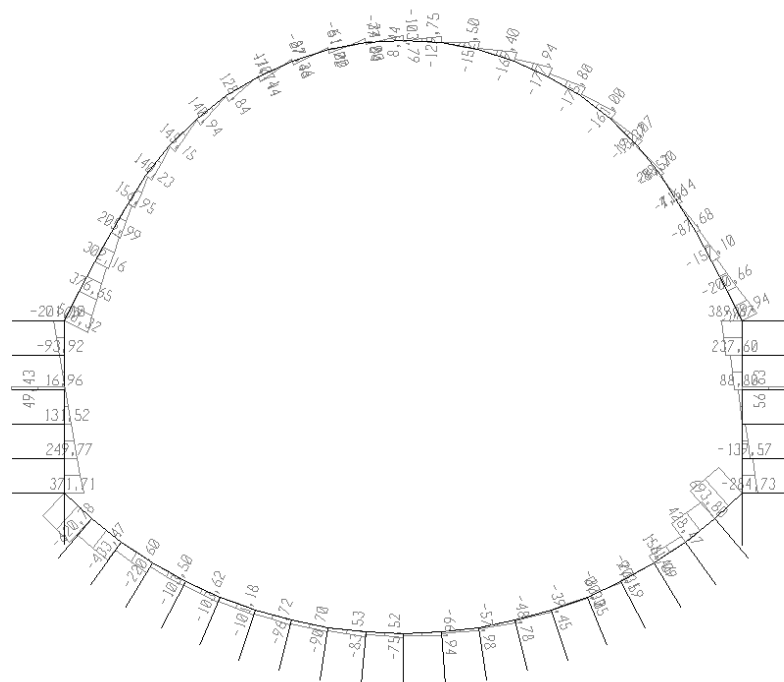


Figura 131 - COMBINAZIONE SLD- Sforzo di taglio

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

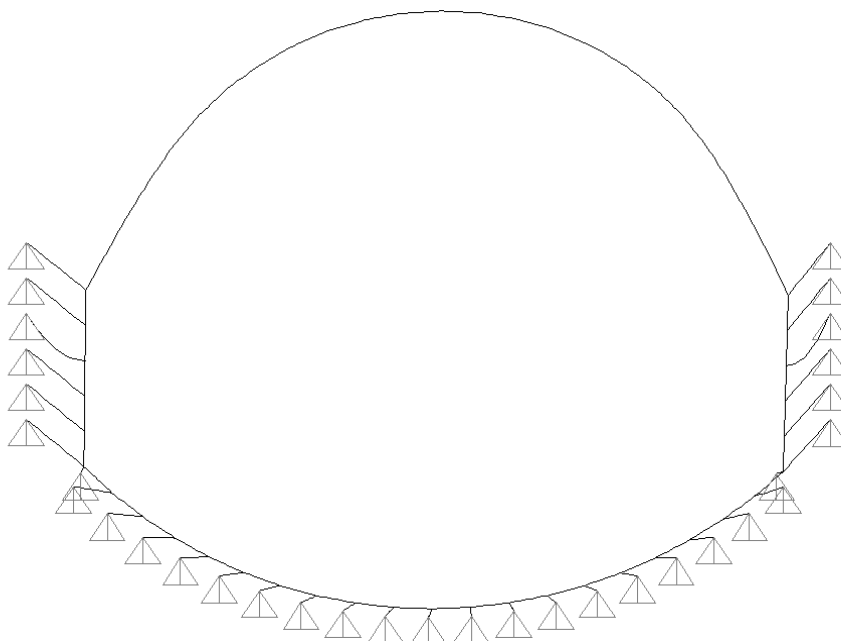


Figura 132 - COMBINAZIONE SLD – CONFIGURAZIONE DEFORMATA

sezione	U1 (m)	U3 (m)	R2 (-)
calotta	0,0034	-0,0147	-0,00007
pedritto	0,0031	-0,0139	0,00036
arco rovescio	0,0009	-0,0120	-0,00001

Tabella 105 - Tabella riassuntiva delle spostamenti significativi

VERIFICA SLD								
Sezione	Elemento	H	M	N	Af	Af'	$\sigma$ cls	$\sigma$ f
		[cm]	[KNm/m]	[KN/m]			[MPa]	[MPa]
<b>Calotta</b>	<b>9</b>	90	285,0	1374,0	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	-3,29	3,24
<b>Calotta</b>	<b>55</b>	90	-261,0	934,0	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	-2,86	14,86
<b>Reni</b>	<b>44</b>	115	788,0	1403,0	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	-5,75	97,74
<b>Piedritto</b>	<b>40</b>	170	889,0	1551,0	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	-2,79	22,80
<b>Attacco Muretta - pedritto</b>	<b>38</b>	160	1092,0	1089,0	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	-4,67	130,70

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

<b>Attacco Muretta - Arco rovescio</b>	<b>35</b>	110	203,0	1067,0	5φ24	5φ24	-1,80	<0
<b>Arco Rovescio</b>	<b>22</b>	110	-361,0	1049,0	5φ24	5φ24	-2,71	15,90

Tabella 106- Combinazione SLD- Riepilogo verifiche tensionali

Come si evince dalle tabelle, le tensioni di materiali risultano compatibili con quelli previsti dalla normativa di riferimento.

#### 8.4.8.3 Verifica a fessurazione

La verifica delle aperture delle fessure è stata svolta secondo le indicazioni del TU 2008, con riferimento a coefficienti parziali sulle azioni unitarie. Per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture è necessario:

- Realizzare 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;

Per la struttura in esame, viste le classi di esposizione ordinarie (XC2), la normativa in merito pone, come limite per le aperture delle fessure, valori minori di 0.3 mm per condizioni di carico quasi permanente.

Il valore di calcolo di apertura delle fessure ( $w_d$ ) è stato valutato mediante la seguente espressione:

$$w_d = 1.7 \cdot w_m = 1.7 \cdot s_{rm} \cdot \varepsilon_{sm}$$

dove:

$$s_{rm} = 2(c+s/10) + k_2 k_3 \Phi / \rho_r$$

$$\varepsilon_{sm} = \sigma_s / E_s (1 - \beta_1 \beta_2 (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2)$$

c = mm                      copriferro netto armatura tesa

s = mm                      interasse tra i ferri

$k_2 = 0.4$                     per barre ad aderenza migliorata

$k_3 = 0.125$                 per diagramma delle s triangolare, dovuto a flessione o pressoflessione

$\Phi = \text{mm}$                     diametro delle barre



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$\rho_r = A_s/A_{c\text{ eff}}$$

$\sigma_s =$  tensione dell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la combinazione di azioni considerata

$\sigma_{sr} =$  tensione dell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la sollecitazione corrispondente al raggiungimento della resistenza a trazione  $f_{ctm}$  nella fibra di calcestruzzo più sollecitata nella sezione interamente reagente.

$\beta_1 = 1$  per barre ad aderenza migliorata

$\beta_2 = 0.5$  nel caso di azioni di lunga durata o ripetute.

La verifica si ritiene soddisfatta qualora le resistenza caratteristica dell'apertura delle fessure è inferiore la valore prescritto dalla normativa

VERIFICA APERTURA DELLE FESSURAZIONE												
Sezione	C	S < 14 $\phi$	As tesa	Ac eff.	$\rho_r$	$\phi$	S rm	Mcr	$\sigma_{sr}$	$\sigma_s$	$\epsilon_{sm}$	Wk
	mm	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	As/Ac	mm	mm	kNm	MPa	MPa	x 1000	mm
<b>Calotta</b>	50	336	2262	2262	0,0129	24	243	373,9		23,5		<b>&lt;0,01</b>
<b>Calotta</b>	50	336	2262	2262	0,0340	24	185	373,9		3,6		<b>&lt;0,01</b>
<b>Reni</b>	50	336	2262	2262	0,0096	24	275	604,9	265,5	108,3	0,2063	<b>0,10</b>
<b>Piedritto</b>	50	336	2262	2262	0,0096	24	275	1381,0		19,7		<b>&lt;0,01</b>
<b>Attacco Muretta - Piedritto</b>	50	336	2262	2262	0,0096	24	275	1157,6		77,9		<b>&lt;0,01</b>
<b>Attacco Muretta - Arco rovescio</b>	50	336	2262	2262	0,0096	24	275	554,4		0,0		<b>&lt;0,01</b>
<b>Arco Rovescio</b>	50	336	2262	2262	0,0200	24	210	554,4		5,6		<b>&lt;0,01</b>

Tabella 107 - Calcolo delle aperture delle fessure

Come si evince dalla tabella, le aperture delle fessure risultano inferiori al limite previsto dalla normativa di riferimento per la classe di esposizione XC2.

#### 8.4.8.4 Stati limite ultimi

Le verifiche della struttura hanno riguardato essenzialmente la verifica della massima capacità di resistenza delle varie parti d'opera in relazione ai carichi previsti.

#### 8.4.8.5 Verifica a Pressoflessione

Secondo quanto disposto dal TU 2008, la verifica della sicurezza agli stati limite ultimi per costruzioni di conglomerato cementizio si ritiene soddisfatta quando, per ogni elemento strutturale

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

e per ciascuna delle combinazioni delle azioni prese in esame, risultati:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'azione pari all'azione nominale moltiplicata per il coefficiente parziale per le azioni  $\gamma$ , mentre  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema, valutato con riferimento ai coefficienti parziali per le resistenze, che variano in funzione dei materiali.

COEFFICIENTI. PARZIALI	AZIONI GENERICHE	
	Sfavorevoli alla sicurezza	Favorevoli alla sicurezza
$\gamma_G$ - Azioni permanenti	1,30	1,00
$\gamma_Q$ - Azioni variabili	1,50	0,00

Tabella 108- Coefficienti parziali per le azioni

Le resistenze di calcolo dei materiali (TU 2008), conglomerato cementizio e acciaio, si ottengono mediante l'espressione

$$f_{cd} = \frac{f_{ck} * \alpha_{cc}}{\gamma_c}$$

dove

$f_{ck}$  = resistenza cilindrica caratteristica del materiale

$\gamma_m$  = coefficiente parziale per la resistenza.

La tensione di snervamento di calcolo dell'acciaio risulta invece pari a:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

dove

$f_{yk}$  = tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio

Per ciascuna sezione è stato riportato il diagramma di interazione M-N, i cui i bordi rappresentano i limiti della resistenza di calcolo  $R_d$ .

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%;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4. perfetta aderenza calcestruzzo-acciaio;
5. calcestruzzo non reagente a trazione.

La verifica risulta soddisfatta quando i punti rappresentativi delle coppie di sollecitazioni sul rivestimento risultano all'interno del diagramma.

I Domini di rottura sono stati costruiti , a seconda della sezione analizzata, secondo lo spessore di calcestruzzo e la quantità di armatura di seguito riportati.

sezione	Spessore calcestruzzo	As	A's
Calotta	90 cm	Ø24/20	Ø24/20
Reni	115 cm	Ø24/20	Ø24/20
Piedritti	170 cm	Ø24/20	Ø24/20
Murette	160cm	Ø24/20	Ø24/20
Arco Rovescio	110 cm	Ø24/20	Ø24/20

Tabella 109- Caratteristiche delle sezioni oggetto di verifica

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- - CONDIZIONI STATICHE (SLU):

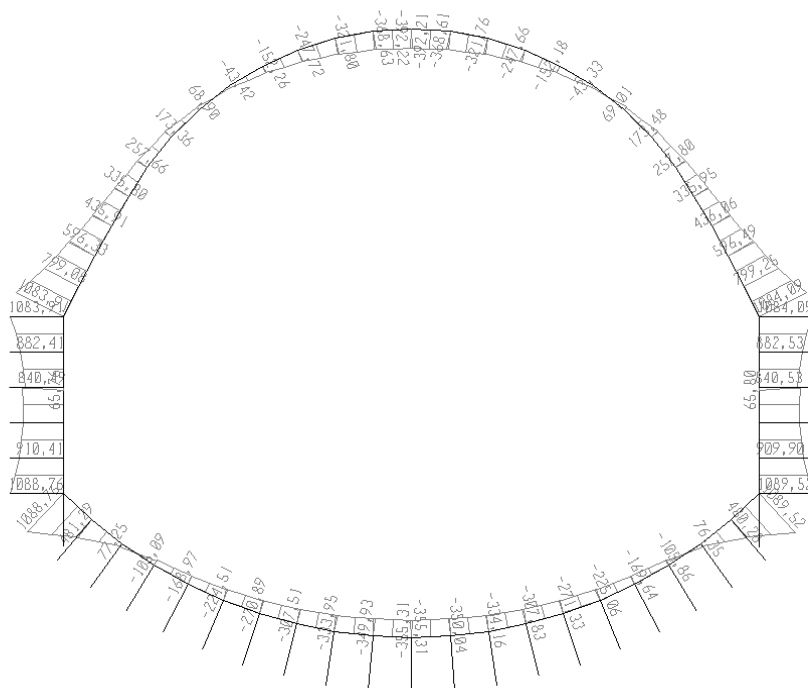


Figura 133 - COMBINAZIONE SLU (statica) Momento flettente

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO</b>		<b>Codice documento</b> CS0248_F0	<b>Rev</b> F0	<b>Data</b> 20/06/2011

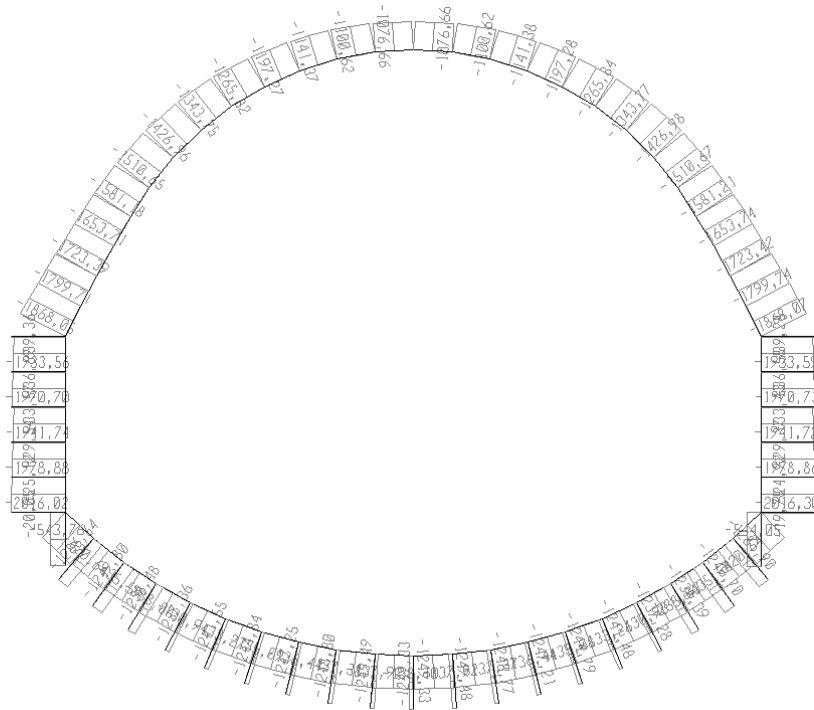


Figura 134 - COMBINAZIONE SLU (statica) Sforzo Assiale

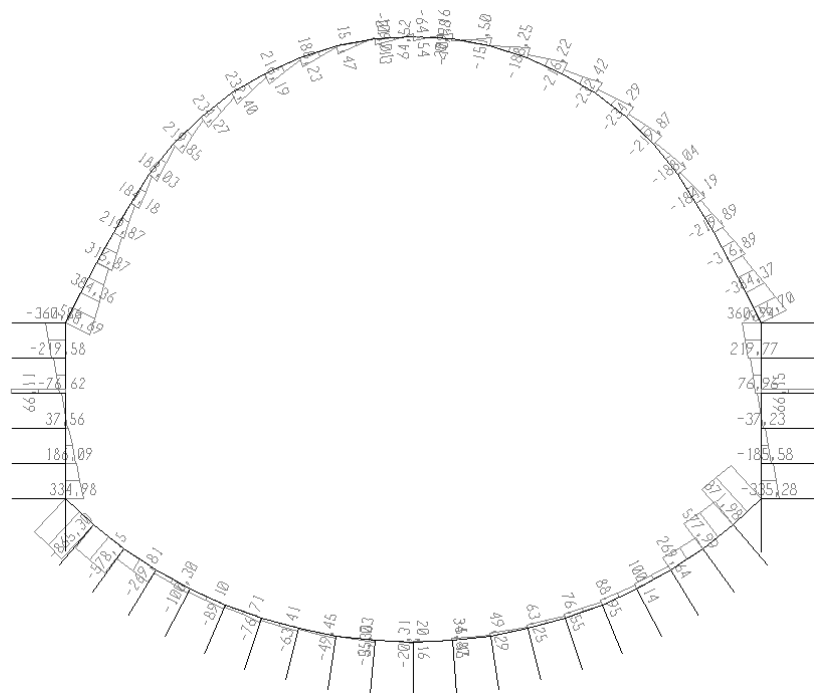


Figura 135 - COMBINAZIONE SLU statica - Sforzo di taglio

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Come si evince dalla figure allegate, le sollecitazioni di progetto ricadono sempre all'interno dei domini di resistenza.

- CONDIZIONI SISMICHE (SLV):

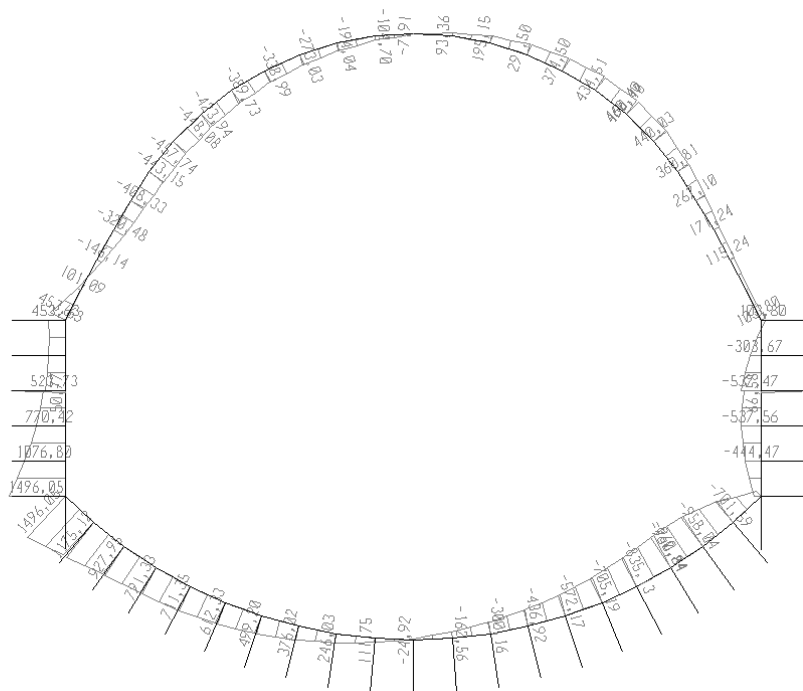


Figura 136 - COMBINAZIONE SLU (SLV)- Momento flettente

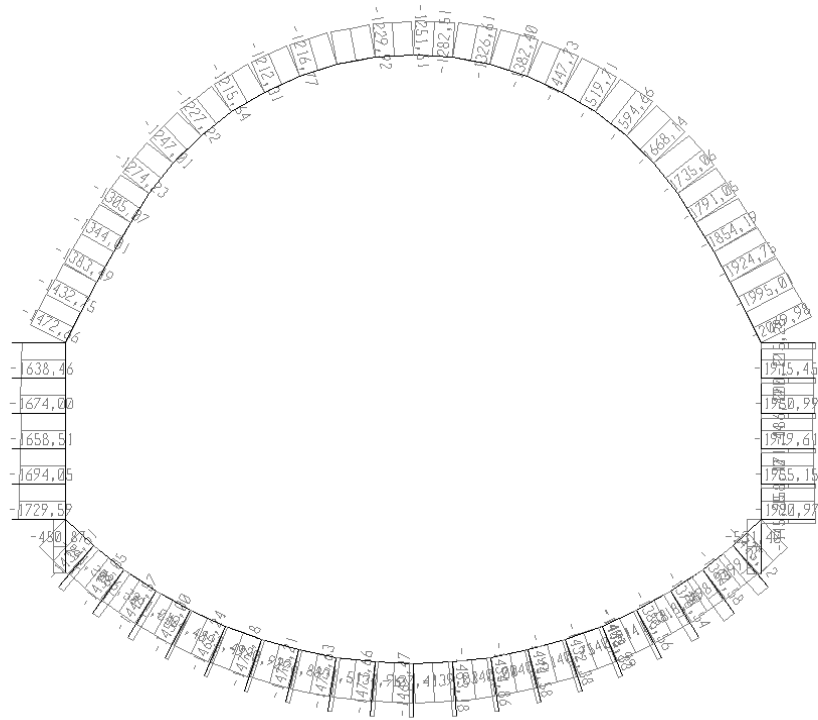
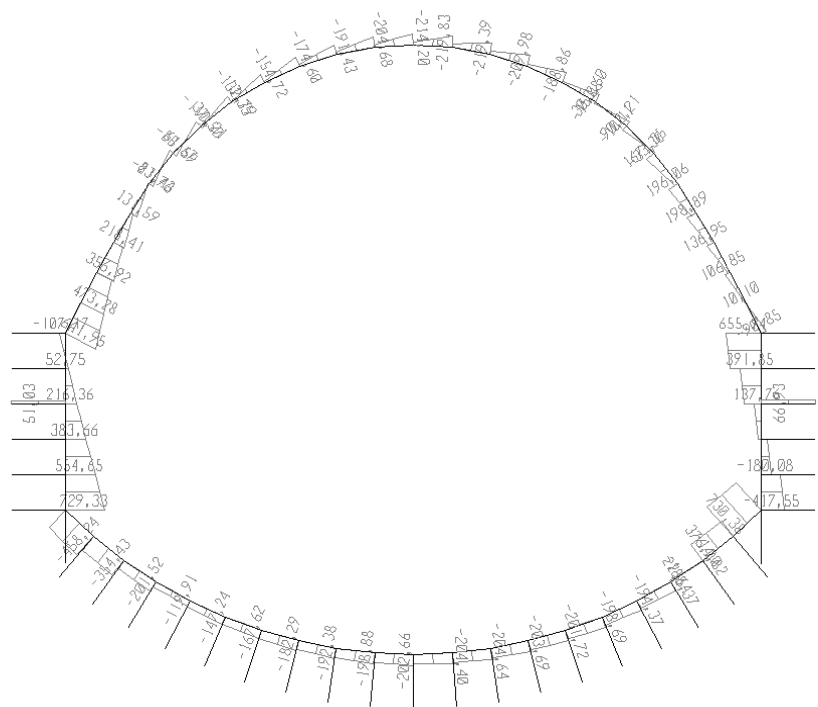


Figura 137 - COMBINAZIONE SLU (SLV) - Sforzo Normale



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Figura 138 - COMBINAZIONE SLU (SLV) - Sforzo di Taglio

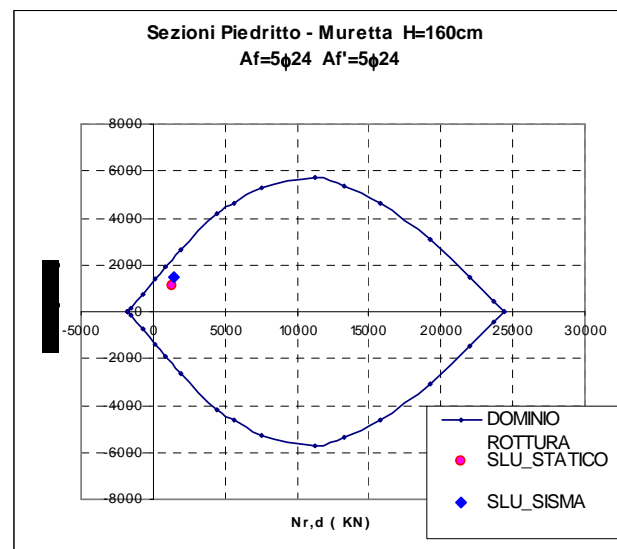
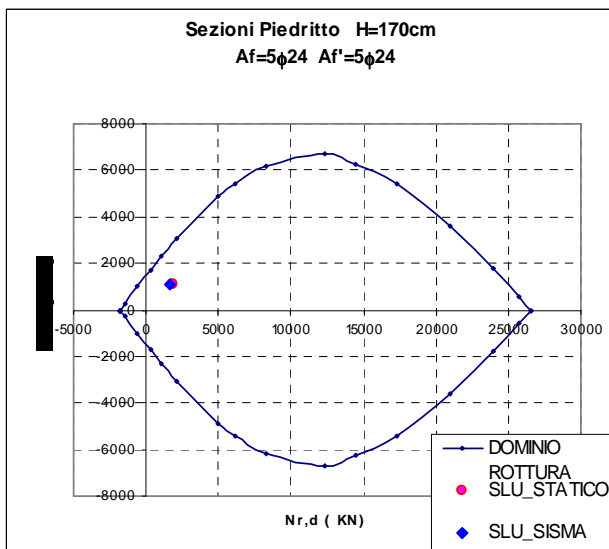
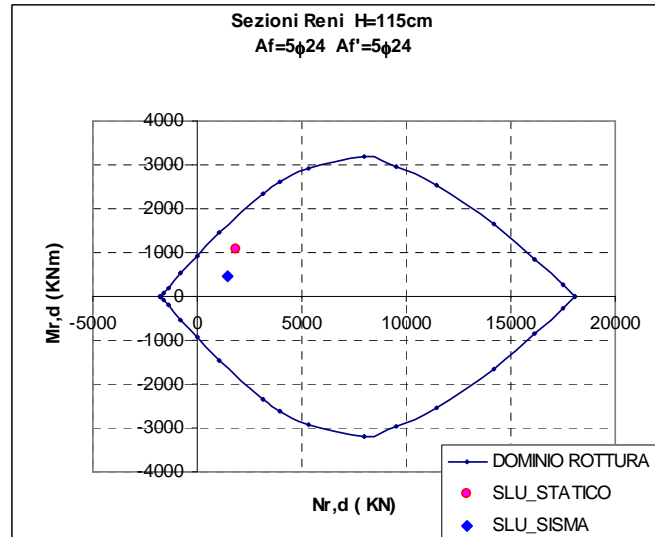
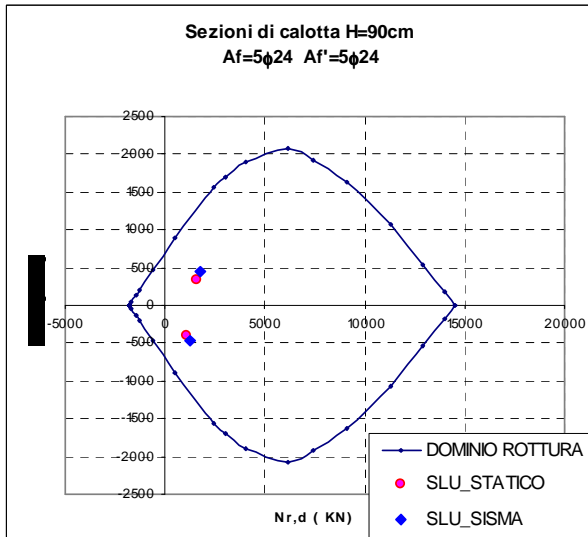
VERIFICA SLU						
Sezione	Elemento	H	Af	Af'	Md	Nd
		[cm]	[mm]	[mm]	[KNm]	[KN]
Calotta	1	90	22,62	22,62	-392,00	1077,00
Calotta	9	90	22,62	22,62	336,00	1581,00
Reni	13	115	22,62	22,62	1084,00	1868,00
Piedritto	14	170	22,62	22,62	1084,00	1933,00
Attacco Muretta - piedritto	19	160	22,62	22,62	1089,00	1282,00
Attacco Muretta - Arco rovescio	35	110	22,62	22,62	-169,00	1237,00
Arco Rovescio	28	110	22,62	22,62	-355,00	1249,00

Tabella 110 – Combinazione SLU : Sollecitazioni di progetto

VERIFICA SLV						
Sezione	Elemento	H	Af	Af'	Md	Nd
		[cm]	[mm]	[mm]	[KNm]	[KN]
Calotta	8	90	22,62	22,62	440,00	1735,00
Calotta	49	90	22,62	22,62	-458,00	1274,00
Reni	44	115	22,62	22,62	453,00	1473,00
Piedritto	40	170	22,62	22,62	1077,00	1694,00
Attacco Muretta - piedritto	38	160	22,62	22,62	1496,00	1438,00
Attacco Muretta - Arco rovescio	36	110	22,62	22,62	928,00	1448,00
Arco Rovescio	21	110	22,62	22,62	-961,00	1378,00

Tabella 111 - Combinazione SLU (SLV) : Sollecitazioni di progetto





		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		Codice documento CS0248_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

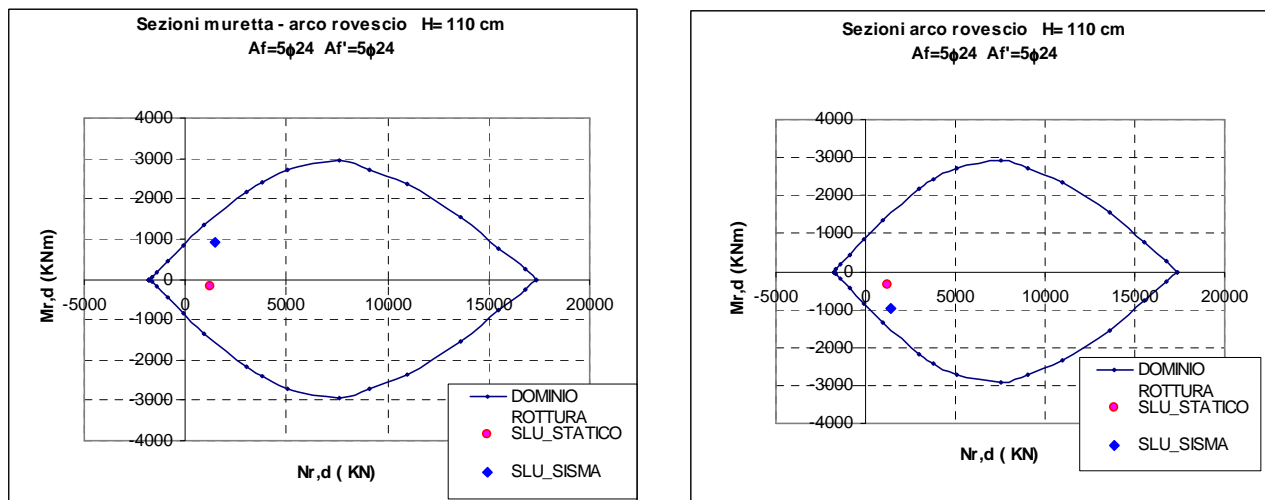


Figura 139 - Combinazione SLU statico e SLV : domini di resistenza delle sezioni oggetto di verifica

Come si evince dalla figure allegate le sollecitazioni di progetto ricadono sempre all'interno dei domini di resistenza.

#### 8.4.8.6 Verifica a taglio

Le verifiche allo stato limite ultimo nei confronti dell'azione tagliante vengono eseguite in accordo con il DM 14-01-2008, di cui si riporta un estratto in quanto segue. Per la valutazione delle resistenze ultime nei confronti delle sollecitazioni taglianti si deve considerare quando segue.

- Sezioni senza armature trasversali resistenti a taglio:

la verifica di resistenza agli stati limite ultimi risulta soddisfatta se  $V_{Rd} \geq V_{Ed}$ , dove  $V_{Ed}$  è la sollecitazione caratteristica di taglio agente nella sezione.

Il valore della resistenza al taglio, riferita al elemento fessurato da momento flettente, si valuta con la seguente relazione :

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \quad (4.1.14)$$

con

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

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

e dove

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

$\rho_1 = A_{s1} / (b_w \cdot d)$  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).

- Sezioni con armature trasversali resistenti a taglio:

La resistenza al taglio di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono sia le armature trasversali che le armature longitudinali.

La verifica di resistenza si considera soddisfatta quando  $V_{Rd} \geq V_{Ed}$ .  $V_{Ed}$  è la sollecitazione caratteristica di taglio agente nella sezione. Il valore della resistenza al taglio si valuta con la seguente relazione :

- con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza a "taglio trazione" si calcola con la seguente formula:

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

- con riferimento al calcestruzzo d'anima la resistenza del "taglio compressione " si calcola con le seguente formula:

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO	<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0

dove  $d$ ,  $b_w$  e  $\sigma_{cp}$  hanno il significato già visto in § 4.1.2.1.3.1. e inoltre si è posto:

$A_{sw}$	area dell'armatura trasversale;		
$s$	interasse tra due armature trasversali consecutive;		
$\alpha$	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;		
$f'_{cd}$	resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ( $f'_{cd} = 0,5 \cdot f_{cd}$ );		
$\alpha_c$	coefficiente maggiorativo pari a	1	per membrature non compresse
		$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$	per $0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$
		1,25	per $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$
		$2,5(1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$	per $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$

È stata svolta una verifica a taglio relativamente alle sezioni più critiche individuate nel calcolo, ipotizzando inizialmente l'assenza di armatura specifica a taglio. Il risultato ottenuto è di seguito riportato.

VERIFICA TAGLIO ( SLU ) -CONDIZIONI STATICHE						
sezione	B	H	N	V	Coefficiente	Coefficiente
	[cm]	[cm]	KN	KN		
calotta	100	90	1344	234	1,15	1,5
reni	100	115	1868	517	$\alpha$	$\theta$
pedritto	100	170	1934	361	°	°
pedritto-muretta	100	160	1287	865	90	45
muretta - a.r.	100	110	1237	100		
armatura	passo	Asl	copriferro	fyk	fyd	fcd
mm	cm	mm <sup>2</sup>	cm	Mpa	MPa	MPa
24	20	2261,95	5,0	450	391,30	14,11
24	20	2261,95	5,0	450	391,30	14,11
24	20	2261,95	5,0	450	391,30	14,11
24	20	2261,95	5,0	450	391,30	14,11
24	20	2261,95	5,0	450	391,30	14,11
altezza utile	bw	$\rho_1$	k1	vmin	$\sigma_{cp}$	
d [cm]	[cm]			[MPa]	[MPa]	
84,5	100	0,0026769	1,49	0,32	1,591	
109,5	100	0,0020657	1,43	0,30	1,706	
169,5	100	0,0013345	1,34	0,27	1,141	
154,5	100	0,0014640	1,36	0,28	0,833	
104,5	100	0,0021645	1,44	0,30	1,184	
<b>SLU_STATICI</b>						
V Rd			V Ed			
[KN]	[KN]	[KN]	Verifica			

<b>483,48</b>	469,07	<b>234</b>	<b>OK</b>
<b>602,20</b>	606,33	<b>517</b>	<b>OK</b>
<b>696,25</b>	751,09	<b>361</b>	<b>OK</b>
<b>579,38</b>	620,91	<b>865</b>	<b>NO</b>
<b>499,83</b>	500,10	<b>100</b>	<b>OK</b>

**VERIFICA TAGLIO ( SLV )- CONDIZIONI SISMICHE**

sezione	B	H	N	V
	[cm]	[cm]	KN	KN
calotta	100	90	1282	220
reni	100	115	1473	642
pedritto	100	170	1915	656
pedritto-muretta	100	160	1415	730
muretta - a.r.	100	110	1445	204

Coefficiente	Coefficiente
$\gamma_s$	$\gamma_c$
1,15	1,5
$\alpha$	$\theta$
°	°
90	45

armatura	passo	Asl	copriferro	fyk	fyd	fcd
mm	cm	mm <sup>2</sup>	cm	Mpa	MPa	MPa
24	20	2261,95	5,0	450	391,30	14,11
24	20	2261,95	5,0	450	391,30	14,11
24	20	2261,95	5,0	450	391,30	14,11
24	20	2261,95	5,0	450	391,30	14,11
24	20	2261,95	5,0	450	391,30	14,11

altezza utile	bw	$\rho_1$	k1	vmin	$\sigma_{cp}$
d [cm]	[cm]			[MPa]	[MPa]
84,5	100	0,0026769	1,49	0,32	1,517
109,5	100	0,0020657	1,43	0,30	1,345
169,5	100	0,0013345	1,34	0,27	1,130
154,5	100	0,0014640	1,36	0,28	0,916
104,5	100	0,0021645	1,44	0,30	1,383

**SLU\_SISMICI**

V Rd		V Ed
[KN]	[KN]	[KN]
<b>474,18</b>	459,77	<b>220</b>
<b>542,95</b>	547,08	<b>642</b>
<b>693,40</b>	748,24	<b>656</b>
<b>598,58</b>	640,11	<b>730</b>
<b>531,03</b>	531,30	<b>204</b>

Verifica

**OK**  
**NO**  
**OK**  
**NO**  
**OK**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Come si osserva per le sezioni delle reni e all'attacco muretta-piedritto è necessario introdurre un'apposita armatura a taglio per soddisfare le verifiche. Si introducono inoltre nelle altre sezioni i minimi di armatura a taglio prescritti dalla normativa arrivando a valutare le aree indicate in seguito come  $A_{sw}$ .

sezione	$A_{sw}$	Copriferro	$f_{yk}$ staffe	$f_{yd}$ staffe	fcd
	mm <sup>2</sup>	cm	Mpa	MPa	MPa
calotta	1608,49	5,0	450	391,30	14,11
reni	3216,99	5,0	450	391,30	14,11
piedritto	1608,49	5,0	450	391,30	14,11
piedritto-muretta	1608,49	5,0	450	391,30	14,11
muretta - a.r.	1608,49	5,0	450	391,30	14,11

altezza utile	$\sigma_{cp}$	$\alpha_c$	$V_{Rcd}$	$V_{Rsd}$
d [cm]	MPa	-	KN	KN
84,50	1,59	1,11	2985,06	478,67
109,50	1,71	1,12	3896,65	1240,57
169,50	1,14	1,08	5816,35	960,17
154,50	0,83	1,06	5194,56	875,20
104,50	1,18	1,08	3595,94	591,96

V Ed statico	V Ed sisma	V Rd
KN	KN	KN
234	220	<b>478,67</b>
517	642	<b>1240,57</b>
361	656	<b>960,17</b>
865	730	<b>875,20</b>
100	204	<b>591,96</b>

**Verifica**  
OK  
OK  
OK  
OK  
OK

Come si osserva dalla tabelle sopra riportate, le verifiche soddisfanno le condizioni richieste dalla normativa di riferimento.

## 8.5 Verifiche al fuoco

### 8.5.1 Premessa

Nei paragrafi che seguono viene riportata la verifica della resistenza al fuoco della struttura in oggetto. La resistenza al fuoco, in generale, è una misura dell'attitudine degli elementi costruttivi a conservare la propria funzionalità per un tempo prestabilito e con condizioni di esposizione al

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

fuoco prefissate dalla normativa (UNI ENV 1992-1-2). I requisiti si distinguono in :

- **R**: Conservazione della capacità portante;
- **E**: Capacità di tenuta;
- **I**: Capacità di isolamento;

La conservazione della capacità portante (**R**) corrisponde al mantenimento della funzione statica degli elementi strutturali, ossia la capacità di resistere per un tempo prestabilito alle azioni combinate dei carichi di esercizio e della temperatura.

Le capacità di tenuta ed isolamento (**E** ed **I**) sono requisiti richiesti per garantire la capacità di separazione (compartimentazione), impedendo sia il passaggio di fiamma e gas attraverso le superfici divisorie (tenuta), che il passaggio di calore sulla superficie non esposta direttamente al fuoco (isolamento).

La resistenza al fuoco degli elementi costruttivi può essere valutata sperimentalmente in appositi forni di prova o, in alternativa, per quel che riguarda la capacità portante (**R**), attraverso uno strumento di calcolo analitico fornito dalla norma UNI ENV 1992-1-2. La verifica al fuoco mediante il metodo analitico si effettua valutando la risposta strutturale nelle condizioni di temperatura previste dall'incendio "standard" e sotto l'azione dei carichi di progetto, per il tempo di resistenza al fuoco corrispondente al tempo d'esposizione in cui viene raggiunto lo stato limite di collasso.

Per le opere in esame, si esegue la verifica della capacità portante (**R**), della tenuta (**E**) e dell'isolamento (**I**) riferendosi ad un tempo di esposizione al fuoco pari a **120** minuti.

### 8.5.2 Metodi di verifica

Secondo quanto indicato nella norma UNI ENV 1992-1-2, la resistenza al fuoco di una struttura di calcestruzzo (armato) viene determinata per mezzo di uno dei seguenti metodi:

- Analisi della struttura nel suo insieme
- Analisi di parti della struttura
- Analisi dell'elemento strutturale

Per la verifica dei requisiti di resistenza all'incendio normalizzato è sufficiente l'analisi dell'elemento strutturale.

La valutazione della resistenza al fuoco, limitatamente alla capacità portante di elementi strutturali in calcestruzzo armato normale o precompresso sottoposti ad un incendio "normalizzato", viene effettuata mediante:

- dati tabellari;
- metodo semplificato di calcolo;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- o metodi di calcolo generali.

Il metodo tabellare consiste nella semplice individuazione delle dimensioni trasversali della sezione e della distanza dall'asse della barra di armatura. In certi casi possono essere anche richieste semplici individuazioni del livello di carico e di particolarità costruttive addizionali. I valori tabellari possono essere modificati quando lo stato di tensione reale nell'acciaio e la temperatura sono noti con maggiore accuratezza.

Il metodo semplificato di calcolo consiste, in primo luogo, nel determinare la mappatura termica della sezione, nel determinare la sezione trasversale ridotta di conglomerato, nel rivalutare la resistenza e il modulo elastico a breve termine del calcestruzzo e dell'acciaio e quindi nel calcolare la capacità portante ultima della struttura considerando la sezione ridotta secondo la ENV 1992-1-1, e nel confrontare la capacità con relativa combinazione di azioni.

Nei metodi di calcolo generali, infine, vengono valutati, anche su modelli differenti, lo sviluppo e la distribuzione della temperatura nella membratura strutturale (risposta termica) ed il comportamento meccanico della struttura o di una parte di questa (risposta meccanica).

### 8.5.3 Verifica della capacità portante

Le verifiche di resistenza al fuoco degli elementi strutturali in oggetto sono state svolte adottando il metodo tabellare.

I prospetti contenenti tali dati sono stati realizzati su una base empirica confermata dall'esperienza e dalla valutazione teorica delle prove. Perciò, questi dati sono derivati da assunzioni prudenziali approssimate per gli elementi strutturali più comuni.

Come indicato al punto 4.2.2 della UNI ENV 1992-1-2, i requisiti per la funzione di separazione (criteri "E" ed "I") possono essere considerati soddisfatti quando lo spessore minimo delle pareti o solette è in accordo con i valori tabellari contenuti nel prospetto 4.2.

Nel caso in esame

<b>Resistenza all'incendio standard</b>	<b>Spessore minimo (mm)</b>
EI 120	120

Essendo ovunque lo spessore delle strutture maggiore di 120mm, la verifica risulta soddisfatta.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Le tabelle adottate nella verifica degli elementi sono:

Prospetto 4.3 Pareti portanti di calcestruzzo armato

Prospetto 4.9 Solette non nervate di calcestruzzo armato ordinario e precompresso

Il primo prospetto è stato utilizzato per gli elementi presso-inflessi con riferimento ai valori riferiti ad una parete esposta su una sola faccia ed assumendo il parametro  $\mu_f$  che tiene conto delle combinazioni di carico in caso di incendio per quanto attiene la resistenza a compressione e, per quanto possibile, della flessione, compresi gli effetti del secondo ordine, pari a 0.7 (si veda punto 4.2.3 della norma).

Per gli elementi prevalentemente inflessi è stato invece impiegato il secondo prospetto.

Nei casi in esame, si ha

#### *Elementi presso-inflessi*

<b>Resistenza all'incendio standard</b>	<b>Spessore minimo (mm)</b>	<b>Distanza nominale a dall'asse della barra (mm)</b>
REI 120	160	35

#### *Elementi inflessi*

<b>Resistenza all'incendio standard</b>	<b>Spessore minimo (mm)</b>	<b>Distanza nominale a dall'asse della barra (mm)</b>
REI 120	200	35

Come è possibile dedurre dagli elaborati grafici progettuali per le dimensioni minime degli elementi ed avendo assunto un copriferro nominale maggiore di 5 cm, le verifiche risultano ovunque soddisfatte.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 9 Monitoraggio delle opere di imbocco

L'obiettivo del monitoraggio delle opere di imbocco ha la finalità di verificare nel corso d'opera la rispondenza tra le previsioni progettuali ed il comportamento del terreno interessato e delle strutture realizzate ed in esso inserite. Pertanto nella presente fase progettuale vengono fornite delle indicazioni generali in merito alla tipologia di monitoraggio delle zone di imbocco, da approfondire ed eventualmente adattare nel corso dello sviluppo delle successive fasi di progetto.

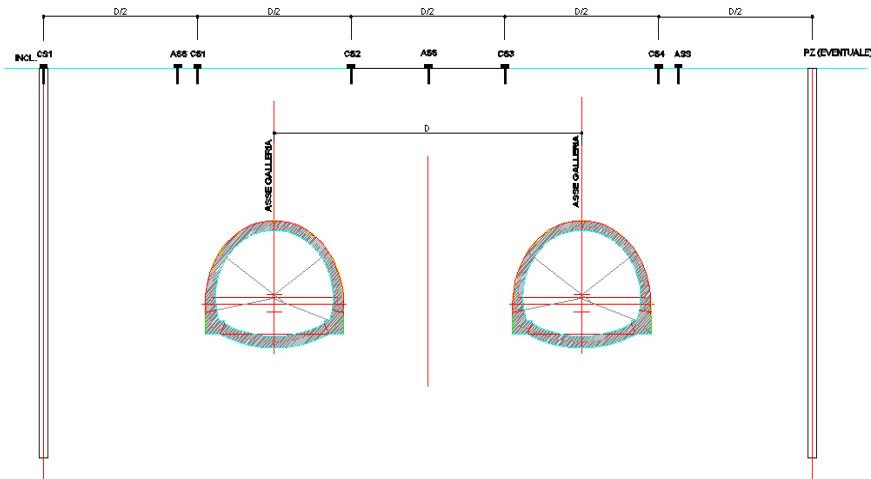
In generale gli aspetti che ci si prefigge di osservare e valutare per mezzo del monitoraggio riguardano prevalentemente l'interazioni delle strutture con il terreno ed eventualmente con le preesistenze. La strumentazione predisposta è relativa al controllo dei seguenti parametri:

- 1- deformazioni delle paratie;
- 2- tassi di lavoro dei tiranti di ancoraggio;
- 3 -deformazioni profonde del versante;
- 4- livello piezometrico della falda;
- 5- deformazioni superficiali del terreno.

A tal fine è stata prevista la messa in opera, in prossimità della zona di imbocco:

- n°2 inclinometri (prof. max =30 m)
- almeno n°2 assestimetri
- targets topografici per la rilevazione degli spostamenti della paratia disposti su ogni ordine di tiranti previsto ad interasse di circa 6.0m ;
- N°20 celle di carico toroidali per la rilevazione del tasso di lavoro delle teste dei tiranti;
- n°2 piezometro (prof. min =35 m) da disporsi eventualmente in presenza di falda;
- barrette estensimetriche per la valutazione dello stato di sforzo delle strutture di sostegno

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



**Tabella 112-** Schema tipologico sezione di monitoraggio delle zone di imbocco

Gli allineamenti della strumentazione di monitoraggio geotecnico devono essere integrati con assestimetri ed essere in numero almeno pari a 2. L'installazione degli inclinometri e del piezometro e la lettura dei rispettivi dati dovrebbe precedere di almeno sei mesi l'attivazione dei lavori; quelle relative agli altri strumenti procederanno contestualmente alla progressione dei lavori degli imbocchi.

Le frequenze di lettura raccomandate sono settimanali per le fasi di costruzione dell'imbocco, mensili o bimestrali (in funzione della stabilizzazione delle misure) a scavi delle gallerie attivati. Deve inoltre essere previsto il monitoraggio topografico di rilevamento degli spostamenti della zona a monte degli scavi e dell'opera di sostegno.

		<p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO	<i>Codice documento</i> CS0248_F0		<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 10 Conclusioni

Oggetto della presente Relazione tecnica e di calcolo sono state le opere provvisoriale e definitive necessarie alla realizzazione delle opere di imbocco e delle gallerie artificiali, del versante Calabria "lato Centro direzionale", facenti parte dei lavori di costruzione dei collegamenti stradali e ferroviari tra il Ponte sullo Stretto e la città di Reggio Calabria.

Dopo aver brevemente richiamato le principali caratteristiche (fase conoscitiva) relative al modello geologico-geotecnico dei luoghi, sono state presentate le fasi esecutive previste per la realizzazione delle opere di imbocco, fornendo altresì le caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati (fase di diagnosi).

Infine, per tutte le opere civili previste, sono state svolte le verifiche strutturali, in condizioni statiche e sismiche, relativamente alle condizioni più gravose, sia punto di vista geotecnico, che dei carichi agenti (fase di terapia); le verifiche svolte confermano l'adeguatezza statica delle opere in oggetto.

		<p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO</p>		
RAMI A, B, C, D E FERROVIA - RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE DI IMBOCCO		<i>Codice documento</i> CS0248_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 11 Allegati

Per gli allegati si rimanda al file:

CS0248\_F0\_ALLEGATI