



REGIONE SICILIA  
Assessorato regionale dell'energia  
e dei servizi di pubblica utilità  
Dipartimento regionale dell'acqua e dei rifiuti



## DIGA GIBBESI

RIVALUTAZIONE SISMICA, STUDIO DELLE PRESSIONI NEUTRE E MOTI DI FILTRAZIONE, PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA, DEFINITIVA ED ESECUTIVA, MANUTENZIONE STRAORDINARIA STRADA DI COLLEGAMENTO CASA DI GUARDIA - POZZO - PARATOIE E RIEFFICIENTAMENTO STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO E CONTROLLO

A

## RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO :

Dott. Ing. Antonino Margagliotta

ASSOCIAZIONE TEMPORANEA DI IMPRESE TRA:

Mandataria

Mandanti



GEO R.A.S. s.r.l.



DIREZIONE DI PROGETTO PER L'ATI :

TECHNITAL S.p.A.

Dott. Ing. Simone Venturini

TITOLO ELABORATO: RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA  
DELLE OPERE ACCESSORIE  
SFIORATORI A CALICE

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITÀ  
TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO

ELABORATO N° :

II122F-A-SIS-RT-212-00

		ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO		
SIGLA		G. Buffati	A. Marani	A. Rizzo		
REVISIONE	N.	DESCRIZIONE		RED.	VER.	APP.
	1	00	Emissione Luglio 2021	G.B.	A.M.	A.R.
	2					
	3					

NOME FILE :

II122F-A-SIS-RT-212-00.docx



DATA :

Luglio 2021

SCALA :

-

A TERMINE DI LEGGE CI RISERVIAMO LA PROPRIETÀ DI QUESTO ELABORATO CON DIVIETO DI RIPRODURLO RENDENDOLO NOTO A TERZI ANCHE PARZIALMENTE SENZA NOSTRA AUTORIZZAZIONE

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 1 di 147</p>

**Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità**  
**Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti**



**PROGETTO PER L'AFFIDAMENTO DEI SERVIZI DI INGEGNERIA RELATIVI ALLO STUDIO DI RIVALUTAZIONE SISMICA DELLE OPERE STRUTTURALI DELL'IMPIANTO, ALLA PROGETTAZIONE ESECUTIVA DELLA MANUTENZIONE STRAORDINARIA DELLA STRADA DI COLLEGAMENTO CASA DI GUARDIA – POZZO PARATOIE, ALLO STUDIO INTERPRETATIVO E ALLA PROGETTAZIONE ESECUTIVA DEL RIEFFICIENTAMENTO DELLA STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO E CONTROLLO**

***DIGA GIBBESI***

**RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA  
SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE**



**SFIORATORI A CALICE**

***RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA'  
TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO***

	<p style="text-align: center;">Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p style="text-align: center;"><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p style="text-align: center;">RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p style="text-align: right;">Pag. 2 di 147</p>



## INDICE

1.	OGGETTO E SCOPO	7
2.	NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	8
2.1.	Normative utilizzate in fase di progettazione esecutiva	8
2.2.	Normativa di riferimento attuale	8
2.3.	Relazioni di calcolo e disegni dell'epoca	9
3.	DESCRIZIONE DELL'OPERA	10
4.	ANALISI STORICO-CRITICA	14
4.1.	Progetto di fattibilità (1972)	14
4.2.	Progetto esecutivo (1976 e successivi aggiornamenti)	19
4.3.	Gli sfioratori oggi	22
4.3.1.	Stato di fatto	22
5.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO	23
5.1.	Caratterizzazione geotecnica del progetto esecutivo originale	23
5.2.	Caratterizzazione geotecnica attuale	24
5.2.1.	Risultati delle indagini	24
5.2.2.	Rapporti opere-terreni	29
5.2.3.	Caratterizzazione geotecnica dei terreni	30
6.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	31
6.1.	Caratteristiche dei materiali dal progetto originale	31
6.2.	Indagini sui materiali e prove di laboratorio	31
6.2.1.	Indagini CON.GEO (luglio 2016)	31
6.2.2.	Indagini METROTEST (maggio 2021)	34
7.	IPOTESI DI CALCOLO	39
7.1.	Materiali	39
7.1.1.	Calcestruzzo	39
7.1.2.	Acciaio	40
7.2.	Parametri sismici	40
7.2.1.	Fattore di comportamento della struttura	41
7.2.2.	Spettri di risposta di progetto	42
8.	ANALISI DEI CARICHI	45
8.1.	G <sub>1</sub> – Carichi permanenti strutturali	45
8.1.1.	Spinta statica dell'acqua	45
8.1.2.	Spinta statica del terreno	46
8.2.	G <sub>2</sub> – Carichi permanenti non strutturali	47
8.3.	Q – Azioni variabili	47

	<p align="center">Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p align="center"><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p align="center"><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p align="center"><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p align="center">II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p align="center">RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p align="center">Pag. 3 di 147</p>

8.3.1.	Carico da vento	48
8.3.2.	Carico da neve	49
8.3.3.	Variazione termica	49
8.4.	E – Azioni sismiche	50
8.4.1.	Inerzia della struttura	50
8.4.2.	Azioni sismiche dovute all'inerzia dell'acqua	50
8.4.3.	Spinta sismica del terreno	52
8.5.	In sintesi	53
9.	COMBINAZIONI DI PROGETTO	54
9.1.	Combinazioni di carico statiche (SLU)	56
9.2.	Combinazioni di carico sismiche (SLV)	57
10.	MODELLO	58
10.1.	Geometria del manufatto	58
10.1.1.	Calice	58
10.1.2.	Nervature	60
10.1.3.	Setti antivortice	60
10.2.	Modello per E.F.	62
10.3.	Definizione delle sezioni di verifica	64
10.3.1.	Sezione a T	64
10.3.2.	Sezione rettangolare orizzontale	65
10.3.3.	Sezione rettangolare verticale	67
10.3.4.	Sezione dei setti antivortice	67
10.4.	Risultati dell'analisi numerica	68
10.4.1.	Analisi statica (SLU)	68
10.4.2.	Analisi sismica (SLV)	72
10.4.3.	Azioni agenti sulle "section cut" definite nel modello	76
11.	VERIFICHE STRUTTURALI	82
11.1.	Verifiche statiche (SLU)	82
11.1.1.	Verifiche a flessione	88
11.1.2.	Verifiche a taglio	104
11.1.3.	Conclusioni	114
11.2.	Verifiche sismiche (SLV)	115
11.2.1.	Verifiche sismiche (SLV) a breve termine	115
11.2.2.	Verifiche sismiche (SLV) a lungo termine	131
11.2.3.	Conclusioni	145
12.	PROPOSTA TECNICA DI ADEGUAMENTO SISMICO DELLE OPERE	146
13.	STIMA ECONOMICA DELL'INTERVENTO PROPOSTO PER LA MESSA IN SICUREZZA SISMICA DELL'OPERA	147



	<p align="center">Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p align="center"><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p align="center"><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p align="center"><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p align="center">II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p align="center">RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p align="center">Pag. 4 di 147</p>

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 3.1: Sfiatore a calice sinistro – Sezione longitudinale	10
Figura 3.2: Sfiatore a calice destro – Sezione longitudinale	11
Figura 3.3: Sfiatore a calice – Vista in pianta	11
Figura 3.4: Inquadramento delle opere di scarico nel contesto dell'invaso	12
Figura 3.5: Sfiatore a calice sinistro e suo torrino aeroforo	12
Figura 3.6: Sfiatori a calice	13
Figura 4.1: Progetto di fattibilità del 1972 – Vista in sezione dello sfioratore	18
Figura 4.2: Progetto di fattibilità del 1972 – Vista dall'alto dello sfioratore	19
Figura 4.3: Progetto di esecutivo – Armature dei setti antivortice	20
Figura 4.4: Progetto di esecutivo – Armature dell'elevazione del calice	21
Figura 5.1: Stratigrafia del terreno nei pressi dei diaframmi di fondazione dei calici di sfioro come indicata nel progetto del 1981	23
Figura 5.2: Ubicazione delle indagini e risultati dei sondaggi	24
Figura 5.3: Argilla AT – Risultati dell'analisi granulometrica eseguita sui campioni N23/1 e N24/1	25
Figura 5.4: Argilla AT – Diagrammi di plasticità e di attività	26
Figura 5.5: Argilla AT – Risultati della prova di taglio diretto eseguita sul campione N24/1	26
Figura 5.6: Prova Down-Hole N24DH	28
Figura 5.7: Calici – Rapporti opere-terreni	29
Figura 7.1: Legame costitutivo del calcestruzzo	39
Figura 7.2: Legame costitutivo dell'acciaio FeB 44 k	40
Figura 7.3: Spettri di risposta SLV in direzione orizzontale (nero) e verticale (blu) 44	44
Figura 8.1: Diagramma di spinta statica dell'acqua sul calice	45
Figura 8.2: Diagramma di spinta statica del terreno sul calice	47
Figura 8.3: Coefficiente di pressione (drag coefficient) per diverse forme geometriche	49
Figura 8.4: Diagramma di spinta sismica dell'acqua sul calice	51
Figura 8.5: Diagramma di spinta sismica del terreno sul calice	52
Figura 8.6: Carichi statici	53
Figura 8.7: Carichi sismici	53
Figura 10.1: Geometria del calice di sfioro	58
Figura 10.2: Calice – Geometria del modello	59
Figura 10.3: Calice – Nervatura	60
Figura 10.4: Calice – Nervatura e setto antivortice	61
Figura 10.5: Sfiatore a calice – Modello FEM completo	62
Figura 10.6: Sfiatore a calice – Modello FEM – Vista dall'alto	63
Figura 10.7: Sfiatore a calice – Modello FEM – Vista laterale	63
Figura 10.8: Posizione in altezza (asse Z) delle "section cut" delle sezioni a T	64
Figura 10.9: Sezioni a T delle nervature, alle diverse altezze (A, B, C), con indicazione delle armature utilizzate	65



	<p align="center">Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p align="center"><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p align="center"><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p align="center"><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p align="center">II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p align="center">RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p align="center">Pag. 5 di 147</p>

Figura 10.10:	Posizione in altezza (asse Z) delle “section cut” delle sezioni rettangolari	66
Figura 10.11:	Sezioni rettangolari orizzontali, alle diverse altezze (D, E, F), con indicazione delle armature utilizzate	66
Figura 10.12:	Sezioni rettangolari verticali, alle diverse altezze (G, H), con indicazione delle armature utilizzate	67
Figura 10.13:	Sezione di 1 metro lineare di setto antivortice con indicazione delle armature utilizzate	67
Figura 10.14:	Convenzioni di segno per i risultati degli elementi di tipo “shell”	68
Figura 10.15:	Combinazione SLU_08 – Azione assiale F11	69
Figura 10.16:	Combinazione SLU_07 – Momento flettente M11	69
Figura 10.17:	Combinazione SLU_04 – Azione assiale F22	70
Figura 10.18:	Combinazione SLU_02 – Momento flettente M22	70
Figura 10.19:	Combinazione SLU_04 – Azioni di taglio V13	71
Figura 10.20:	Combinazione SLU_02 – Azioni di taglio V23	71
Figura 10.21:	Combinazione SLV_01 – Azione assiale F11	72
Figura 10.22:	Combinazione SLV_01 – Momento flettente M11	73
Figura 10.23:	Combinazione SLV_01 – Azione assiale F22	73
Figura 10.24:	Combinazione SLV_01 – Momento flettente M22	74
Figura 10.25:	Combinazione SLV_01 – Azione di taglio V13	74
Figura 10.26:	Combinazione SLV_01 – Azione di taglio V23	75
Figura 11.1:	Sezioni a T delle nervature, alle diverse altezze (A, B, C), con indicazione delle armature utilizzate	83
Figura 11.2:	Sezioni rettangolari orizzontali, alle diverse altezze (D, E, F), con indicazione delle armature utilizzate	83
Figura 11.3:	Sezioni rettangolari verticali, alle diverse altezze (G, H), con indicazione delle armature utilizzate	84
Figura 11.4:	Sezione di 1 metro lineare di setto antivortice con indicazione delle armature utilizzate	84
Figura 11.5:	Armature verticali del calice (PE 1982)	84
Figura 11.6:	Armature verticali del calice (PE 1982) – Vista in sezione	85
Figura 11.7:	Armature orizzontali del calice (PE 1982) – Vista in sezione e dall’alto	86
Figura 11.8:	Armature nei setti antivortice e nelle nervature – Vista in sezione	87
Figura 11.9:	Armature nei setti antivortice – Vista dall’alto a due altezze diverse	87
Figura 11.10:	Armature nelle nervature – Vista dall’alto a quota 213.26 m s.l.m.	88
Figura 11.11:	Combinazione SLU_07 – Azione assiale F11	98
Figura 11.12:	Combinazione SLU_07 – Momento flettente M11	99
Figura 11.13:	Combinazione SLU_05 – Azione assiale F11	100
Figura 11.14:	Combinazione SLU_05 – Momento flettente M11	101
Figura 11.15:	Combinazione SLU_04 – Azione assiale F22	102
Figura 11.16:	Combinazione SLU_04 – Momento flettente M22	103





	<p style="text-align: center;"><i>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità</i>  <i>Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</i></p> <p style="text-align: center;"><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b>  <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p style="text-align: center;"><b>II122F</b> <b>A-SIS-RT-212-00</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA'</b>  <b>TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</b></p>	<p style="text-align: right;"><b>Pag. 6 di 147</b></p>

Figura 11.17:	Combinazione SLU_03 – Azione di taglio V13	112
Figura 11.18:	Combinazione SLU_03 – Azione di taglio V13	113
Figura 11.19:	Combinazione SLU_01 – Azione di taglio V23	114
Figura 11.20:	Combinazione SLV_01 – Azione assiale F11	122
Figura 11.21:	Combinazione SLV_01 – Momento flettente M11	123
Figura 11.22:	Combinazione SLV_01 – Azione assiale F22	124
Figura 11.23:	Combinazione SLV_01 – Momento flettente M22	125
Figura 11.24:	Combinazione SLV_01 – Azione di taglio V13	129
Figura 11.25:	Combinazione SLV_01 – Azione di taglio V23	130
Figura 11.26:	Indicazioni approssimate della velocità di corrosione al variare delle condizioni ambientali e del tipo di calcestruzzo secondo Pedferri	131

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 7 di 147</p>



## 1. OGGETTO E SCOPO

Gli oggetti della presente relazione sono gli sfioratori a calice della diga di Gibbesi.

Lo scopo della presente relazione è la determinazione della vulnerabilità sismica degli sfioratori a calice e lo studio di fattibilità tecnico economica degli interventi d'adeguamento strutturale. Oltre all'aspetto sismico, parallelamente, al fine di avere un quadro generale sul comportamento delle strutture costituenti gli sfioratori, saranno condotte anche le verifiche di sicurezza statica.

Per i dati generali e i criteri di progetto si rimanda alla relazione II122F-A-SIS-RT-201 – “*Dati generali e criteri di progetto*” contenuta nel presente progetto, dove, alla luce delle normative vigenti, si riportano i dati generali e i criteri adottati nel progetto della rivalutazione sismica delle opere accessorie della diga di Gibbesi e dello studio legato alla valutazione tecnico-economica degli interventi per la loro messa in sicurezza sismica (studio di fattibilità tecnico-economica). L'adeguamento sismico proposto a livello di fattibilità tecnico-economica, se necessario, ha lo scopo di definire quegli interventi atti ad aumentare la sicurezza sismica strutturale preesistente, conseguendo i livelli di sicurezza richiesti dalla normativa vigente per le costruzioni nuove.



	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 8 di 147</p>

## 2. NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

### 2.1. Normative utilizzate in fase di progettazione esecutiva

Il progetto esecutivo degli sfioratori a calice risale agli anni '70 (le prime relazioni ritrovate sono datate 1976) ed è stato ritrovato, seppur non integralmente, negli archivi della scrivente. Le strutture sono state progettate utilizzando una normativa che, ad oggi, risulta obsoleta; in particolare si ricordano le seguenti normative:

- Norma del 31 luglio 1967 CNR UNI 10012:1967 “Ipotesi di carico sulle costruzioni”;
- Legge del 5 novembre 1971, n° 1086 “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica” ed i relativi regolamenti;
- Legge del 2 febbraio 1974, n° 64 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.

I calcoli delle strutture in cemento armato vengono effettuati considerando la presenza delle seguenti condizioni elementari di carico:


- pesi propri strutturali (calice e sue fondazioni);
- sottospinta di galleggiamento;
- vento;
- azione sismica dell'acqua;
- sollecitazioni del terreno.
- azioni sismiche della struttura.

Le strutture sono ubicate tra i comuni di Sommatino e Naro (Caltanissetta); detti comuni non sono elencati nelle zone dichiarate sismiche ai sensi della legge del 1974, ma, in modo cautelativo, vengono eseguiti i calcoli di dimensionamento e verifica assumendo un “grado di sismicità”  $S = 9$ .

### 2.2. Normativa di riferimento attuale

Per eseguire l'analisi e la verifica della struttura in oggetto per questa relazione si utilizzano le normative attuali:

- DM 17/01/2018: “Norme tecniche per le costruzioni”, abbreviate nel seguito con l'acronimo “NTC 2018”;
- Circ. 21/01/2019, n. 7 C.S.LL.PP.: “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni”;



	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 9 di 147</p>

- DM 14/01/2008: “Nuove norme tecniche per le costruzioni”, abbreviate nel seguito con l’acronimo “NTC 2008”;
- Circ. 02/02/2009, n. 617 C.S.LL.PP.: “Istruzioni per l’applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni”;
- UNI 11104: “Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità” – istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206;
- EC2\_UNI EN 1992-1-1: “Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”;
- EC8\_UNI EN 1998-1: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per edifici”;
- Decreto del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti 26 giugno 2014 “Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)” e sue circolari applicative;
- EN 1998-2:2005 Annex F – “Added mass of entrained water for immersed piers”.

### 2.3. Relazioni di calcolo e disegni dell’epoca

Sono state ritrovate dalla scrivente le seguenti relazioni di calcolo e disegni dell’epoca della progettazione dell’opera:

- OI-09-C/1 “Opere di scarico – Sfiotori a calice – Diaframmi di contenimento e travi irrigidenti – Calcoli di stabilità” datata 03-07-1976;
- OI-09-13-a “Opere di scarico – Sfiotori a calice – Calcoli di stabilità” (sostituisce la relazione OI-09-C/S1) datata 14-06-1979;
- OI-09-14/17 “Opere di scarico – Sfiotore a calice in sinistr – Armature della fondazione – Relazione di calcolo diaframmi e anello di contenimento” datata 27-03-1981;
- Diverse tavole del Progetto Esecutivo riportanti particolari sia delle fondazioni che dell’elevazione di entrambi i calici (sinistro e destro).

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 10 di 147</p>

### 3. DESCRIZIONE DELL'OPERA

In corrispondenza di una incisione a monte della diga, in sponda sinistra, sono localizzati due sfioratori a calice affiancati, con setti antivortice, seguiti, entrambi, da un torrino aeroforo.

I due sfioratori a calice hanno, entrambi, un diametro di 29 m e una soglia a quota 229.00 m s.l.m. e sono seguiti da due gallerie circolari di 8 m di diametro ciascuna: quella di sinistra è lunga 621 m, mentre quella di destra è lunga 597 m. Le gallerie terminano nella vasca di dissipazione posta a valle dello sbarramento.

Il dimensionamento degli scarichi di superficie consente di evacuare la portata millenaria di 1380 m<sup>3</sup>/s senza ingolfamento, sfruttando anche la capacità di laminazione del serbatoio.

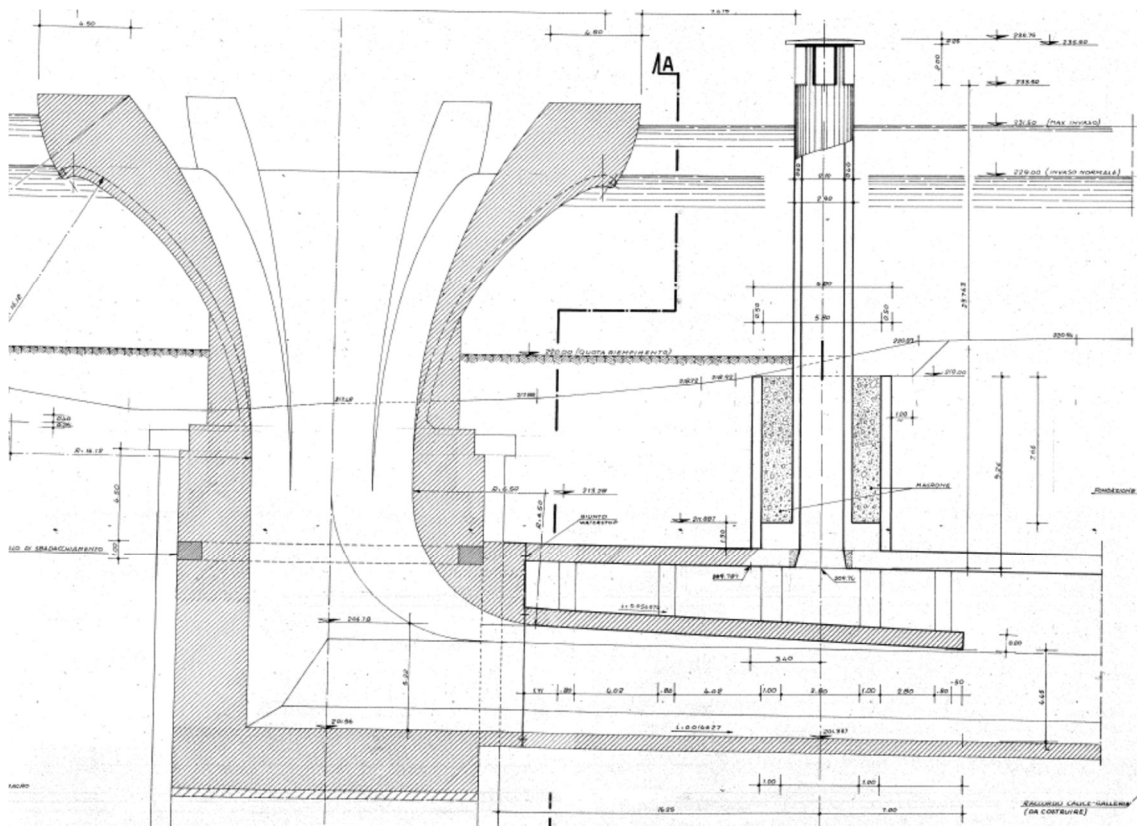
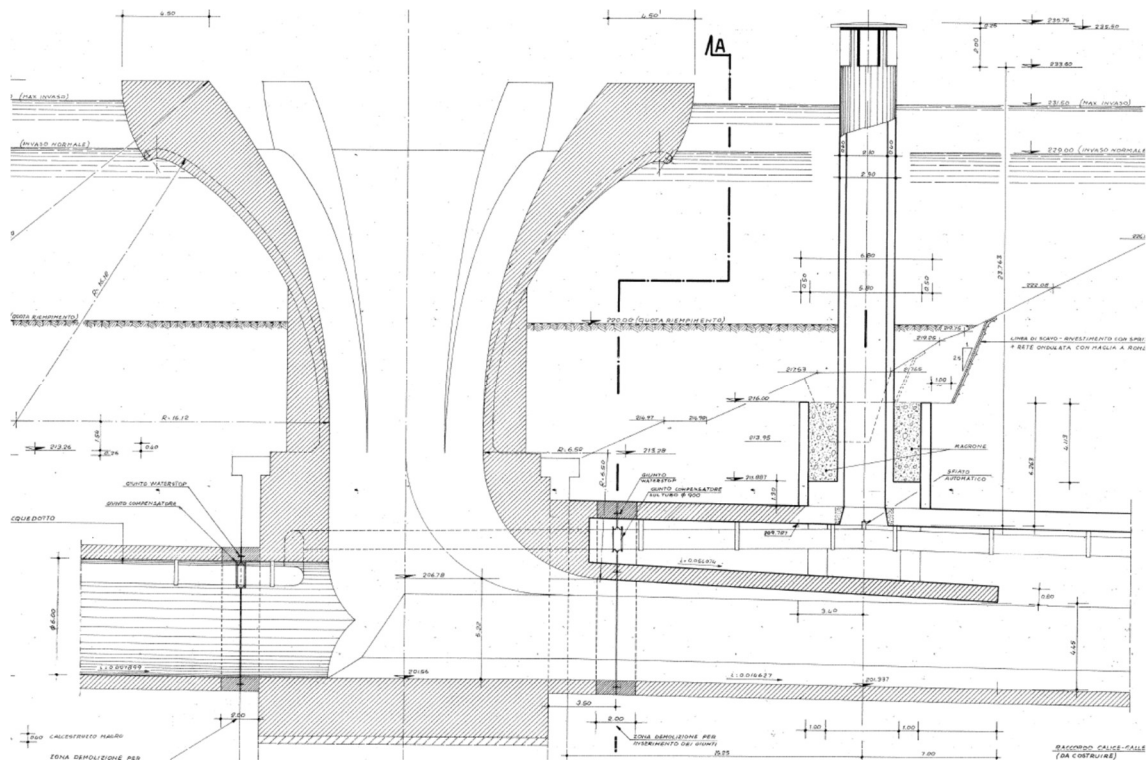
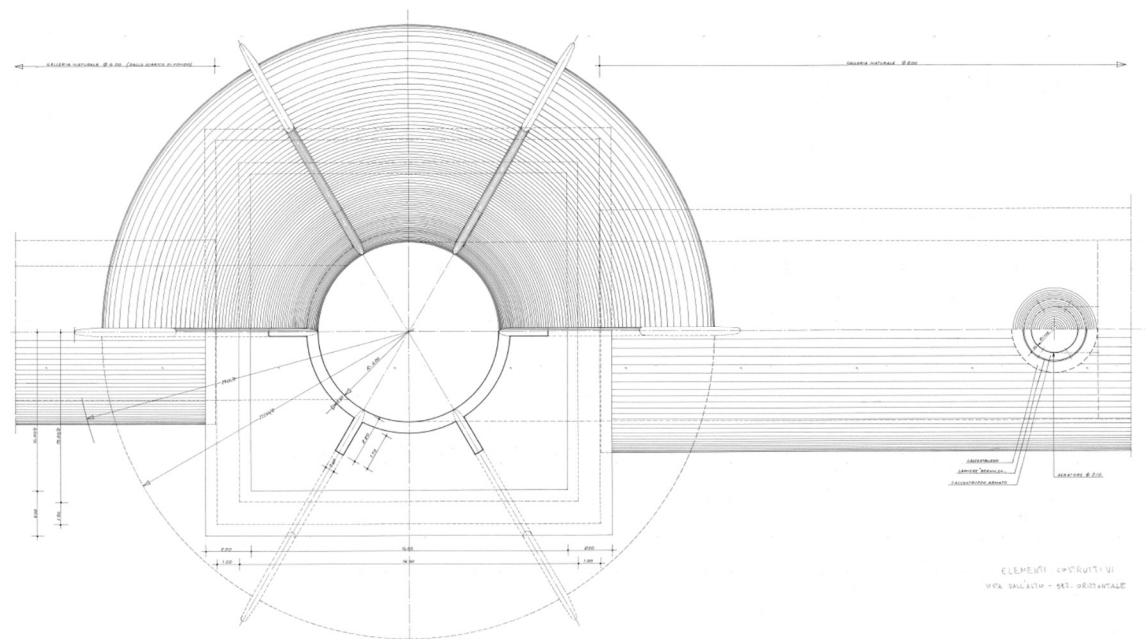


Figura 3.1: Sfioratore a calice sinistro – Sezione longitudinale





**Figura 3.2:** Sfioratore a calice destro – Sezione longitudinale



**Figura 3.3:** Sfioratore a calice – Vista in pianta





	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p><b>II122F</b> <b>A-SIS-RT-212-00</b></p>	<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA'</b> <b>TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</b></p>	<p><b>Pag. 12 di 147</b></p>



**Figura 3.4:** Inquadramento delle opere di scarico nel contesto dell'invaso





**Figura 3.5:** Sfioratore a calice sinistro e suo torrino aeroforo

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 13 di 147</p>



**Figura 3.6:** Sfiadori a calice



	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 14 di 147</p>

## 4. ANALISI STORICO-CRITICA

### 4.1. Progetto di fattibilità (1972)

Il primo progetto di fattibilità della casa di guardia risale al 1972 e se ne trova traccia nella “Relazione tecnica” dello stesso anno dove viene riportata una presentazione generale delle opere di scarico (§ 12.1) e, più nel dettaglio, un paragrafo sugli scarichi di superficie (§ 12.1.1).

#### (§ 12.1) OPERE DI SCARICO



*La soluzione adottata circa il posizionamento delle opere di scarico è derivata da considerazioni imposte dalla morfologia e dalla geologia della zona. Essa prevede l'ubicazione in sponda sinistra sia dello scarico di fondo che dello scarico di superficie. Questa scelta è stata facilitata dall'abbondante documentazione geognostica della zona che ha messo chiaramente in evidenza le diverse caratteristiche geologiche delle due sponde con responso nettamente favorevole, a questi fini, per la sponda sinistra.*

*Per quanto invece concerne la scelta progettistica delle opere, prima di quella definitiva, sono state esaminate varie soluzioni che prevedevano comunque tutte uno sfioratore a soglia fissa. Fra le altre è stata approfondita una soluzione che prevedeva uno scarico di superficie costituita da uno sfioratore a soglia fissa con canale di scarico a pelo libero, posto sempre in sponda sinistra e ad una certa distanza dalla spalla della diga.*

*Per la realizzazione del canale, risultavano peraltro necessari scavi di sbancamento piuttosto imponenti e relativamente prossimi all'imposta diga, assolutamente sconsigliabili a causa della natura dei terreni presenti in tutta la zona.*

*Lo scarico di superficie è costituito da due sfioratori a calice collocati in corrispondenza nell'incisione valliva confluyente nel Gibbesi dalla località Canaletto. I due calici, con distanza tra gli assi di 63 metri, convogliano le acque in due gallerie a sezione policentrica ed a percorso rettilineo.*

*Lo sbocco delle gallerie immette separatamente le acque in due vasche di smorzamento rettangolari al termine delle quali, mediante opera di restituzione a tracciato*

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 15 di 147</p>

*curvilineo per meglio adattarsi alla morfologia del terreno, le acque vengono immesse nel T. Gibbesi.*

*Lo scarico di fondo, con opere di imbocco ubicate circa 600 metri a monte dell'asse dello sbarramento, è collegato con una galleria policentrica, alla galleria di destra dello scarico di superficie.*



*Le opere di imbocco contenenti gli organi di intercettazione e comando comprendono anche la presa di derivazione da realizzare con condutture metalliche, ancorate alla volta di dette gallerie.*

*La natura dei terreni di assise per le opere di scarico consente con gli opportuni tipi di fondazione previsti, e dei quali si riferisce nelle pagine che seguono, di realizzare un imbasamento delle opere, di tutta tranquillità e sicurezza. In effetti, come diffusamente già illustrato, le caratteristiche strutturali delle argille presenti in sponda sinistra sono da ritenere eccellenti; in funzione della natura (tortoniana stratificata) della giacitura (bancate subverticali trasversali alla valle) e dell'elevato grado di consolidazione, fattori tutti che consentono di realizzare condizioni statiche favorevoli per gallerie anche di non modesta dimensione. Altrettanto non parrebbe possibile in sponda destra, ove certamente eventuali scavi in sotterraneo potrebbero costituire un elemento di indebolimento della massa argillosa costituente l'imposta diga e qui rappresentata da argille olistostromiche.*

*L'impostazione delle opere in sinistra obbliga, per la morfologia della valle, a prevedere una galleria dello scarico di fondo di non trascurabile lunghezza, condizionata anche dalle condizioni di erosione al piede del versante che il corso d'acqua ha determinato, per questa sponda, qualche centinaio di metri a monte del piede diga.*

*Di non migliori condizioni topografiche si sarebbe, d'altra parte, potuto fruire in sponda destra, stante il descritto andamento dell'asse diga e la probabile opportunità di provvedere su questa sponda, a monte della diga, a ricalzo con materiale di apporto (mantellata). D'altra parte, l'impostazione delle opere in sinistra consente, come si vedrà, un tracciato rettilineo per le gallerie dello scarico di superficie, ben opportuno data la notevole entità della piena da scaricare, nonché una*



	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 16 di 147</p>

*restituzione in alveo in posizione centrata rispetto all'andamento delle sponde, in questa zona piuttosto tormentata.*

#### **(§ 12.1.1) Scarico di superficie**



*Le opere per lo scarico di superficie, situate in sponda sinistra dell'invaso, sono costituite da due sfioratori a calice con soglia fissa circolare con ciglio alla quota di ritenuta normale di 229 s s.m., con diametro sulla soglia di 23.88 m. Il massimo invaso, in condizioni di piena, è posto a quota 231.50 m s.m., con un carico massimo sulla soglia degli sfioratori di 2.50 m.*

*Le dimensioni ed il profilo degli sfioratori sono stati calcolati per consentire lo smaltimento, attraverso ciascuno di essi, di una portata pari a 560 m<sup>3</sup>/s e quindi, complessivamente, di una portata pari a 1120 m<sup>3</sup>/s. Tale portata corrisponde, tenuto conto di una piccola riduzione per l'effetto di laminazione dell'invaso, ad una piena di 1213 m<sup>3</sup>/s, avente tempo di ritorno di una volta ogni mille anni. Lo scarico della piena è previsto integralmente attraverso gli sfioratoi di superficie*

*Le fondazioni saranno realizzate con la tecnica della sottomurazione entro pozzi attraversanti le argille puddingoidi di elevata compattezza; alla base i pozzi saranno radicati mediante un blocco di fondazione sottostante il gomito di raccordo per calice e galleria di scarico.*

*Gli assi verticali dei due calici distano fra loro circa 63 m. Alla base, con platea a quota 201.67 m s.m., il calice si raccorda con due gallerie di scarico rettilinee con sezione policentrica e con diametro  $D = 7.00$  m.*

*I calici sono previsti per deflusso libero nelle gallerie e pertanto presentano, alla base, in corrispondenza del gomito, una strozzatura realizzata con particolare sagomatura della calotta. Il profilo interno del calice nella parte sommitale è stato progettato sulla base degli studi effettuati da E. Lazzari e corrisponde ad una equazione esponenziale; quindi, si raccorda con la generatrice rettilinea di una canna di 7 m di diametro, mediante un arco di cerchio. Alla base infine si raccorda, con un gomito a sezione strozzata, alla galleria di scarico.*

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 17 di 147</p>

*La galleria più vicina al torrente Gibbesi, che chiameremo destra, ha una lunghezza di 526.00 m dall'asse del calice dello sbocco ed una pendenza  $i = 1.7\%$ ; l'altra galleria, che chiameremo sinistra, ha una lunghezza di 541.50 m ed una pendenza  $i = 1.65\%$ . Al termine, con un interasse di 25.00 m le due gallerie sboccano nelle opere di dissipazione con quota fondo a 192.85 m s.m..*

*Le gallerie iniziano entro le argille puddingoidi compatte, ma entrano dopo alcuni metri nella formazione delle argille tortoniane, stratificate ed a consistenza mar-  
nosa, costituenti la spalla della diga; dopo circa 170 m nuovamente nelle argille  
puddingoidi entro cui si sviluppano sino agli sbocchi. Alla progressiva 300-320  
attraversano una zona incisa da una vallecchia con una copertura media inferiore  
ai cinque metri e pertanto è previsto di eseguire la calotta della galleria in artifi-  
ciale.*



*La galleria di sinistra è notevolmente discosta dall'arco di imposta diga; la galleria  
destra passa invece, dal punto di vista planimetrico, in corrispondenza dell'estre-  
mità della spalla sinistra della diga; peraltro, la copertura minima rispetto all'im-  
posta è ivi di circa 18 m, sicché, anche a motivo delle eccellenti caratteristiche delle  
argille di spalla, tra le due opere sono senz'altro esclusi problemi di interferenza  
statica.*

*Per sostenere lo scavo delle gallerie è previsto l'impiego sistematico dello spritz  
beton rinforzato da centine NP accoppiate ad un interasse variabile da 0.80 a 1.20  
m; ad esso seguirà un adeguato rivestimento definitivo, in calcestruzzo, parzial-  
mente armato.*

*[...]*

*Il funzionamento delle gallerie è previsto a pelo libero; l'aria necessaria per ga-  
rantire tale condizione di moto è fornita da un aeroforo addossato all'esterno del  
calice, esso ha sezione circolare, con diametro  $D = 1.00$  m, e lo sbocco è posto  
all'inizio delle gallerie.*



	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 19 di 147</p>

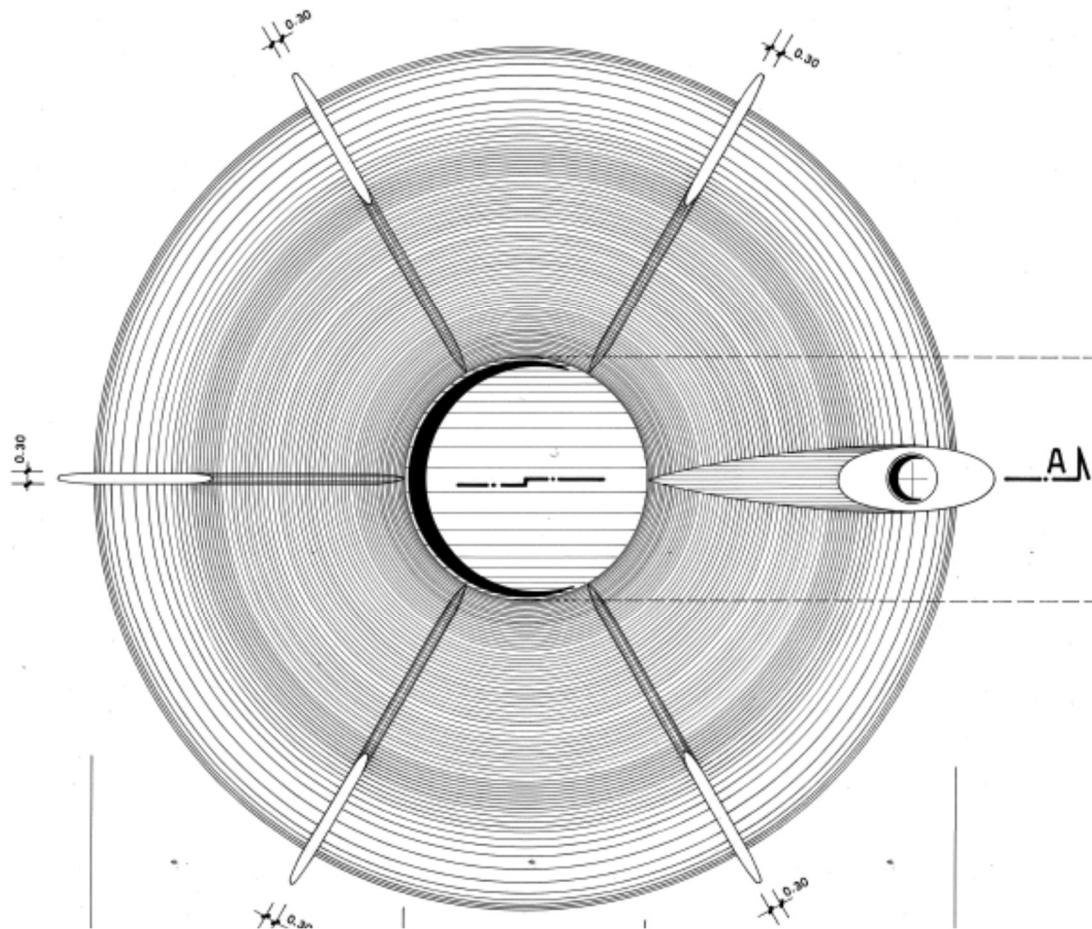


Figura 4.2: Progetto di fattibilità del 1972 – Vista dall'alto dello sfioratore



#### 4.2. Progetto esecutivo (1976 e successivi aggiornamenti)

Il 03-07-1976 viene prodotta la “Relazione di calcolo” del progetto esecutivo degli sfioratori a calice. Inoltre, a corredo della relazione, vengono elaborate alcune tavole in cui si riporta la geometria e le armature delle diverse parti delle strutture.

Il PE subisce delle modifiche negli anni successivi; in modo particolare vengono prodotte nuove relazioni di calcolo il:

- 04-06-1979 – “Calcoli di stabilità”. Questa relazione sostituisce quella precedente del 1976.
- 27-03-1981 – “Armature delle fondazioni”. In questa relazione si prende atto dello spostamento a monte dell'ubicazione dello sfioratore in sinistra, a causa del diverso posizionamento delle gallerie, e quindi sono eseguiti nuovamente alcuni calcoli di portanza delle fondazioni.



	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 20 di 147</p>

La relazione di calcolo, oltre a riportare le normative dell'epoca seguite per la progettazione, specifica le caratteristiche dei materiali con cui vengono effettuate le verifiche alle tensioni ammissibili:

- Calcestruzzo per le fondazioni:  $R_{bk} \geq 250 \text{ kg/cm}^2$  = corrisponderebbe ad un calcestruzzo moderno del tipo C20/25.
- Calcestruzzo per l'elevazione:  $R_{bk} \geq 300 \text{ kg/cm}^2$  = corrisponderebbe ad un calcestruzzo moderno del tipo C25/30.
- Acciaio: FeB44k ad aderenza migliorata con  $f_y \geq 4400 \text{ kg/cm}^2$  = tensione di snervamento

Nelle tavole contenenti i particolari costruttivi della struttura sono specificati gli stessi valori di resistenza di calcestruzzo e acciaio appena esposti.

Si riportano nel seguito alcune tavole significative del progetto esecutivo in possesso della scrivente.

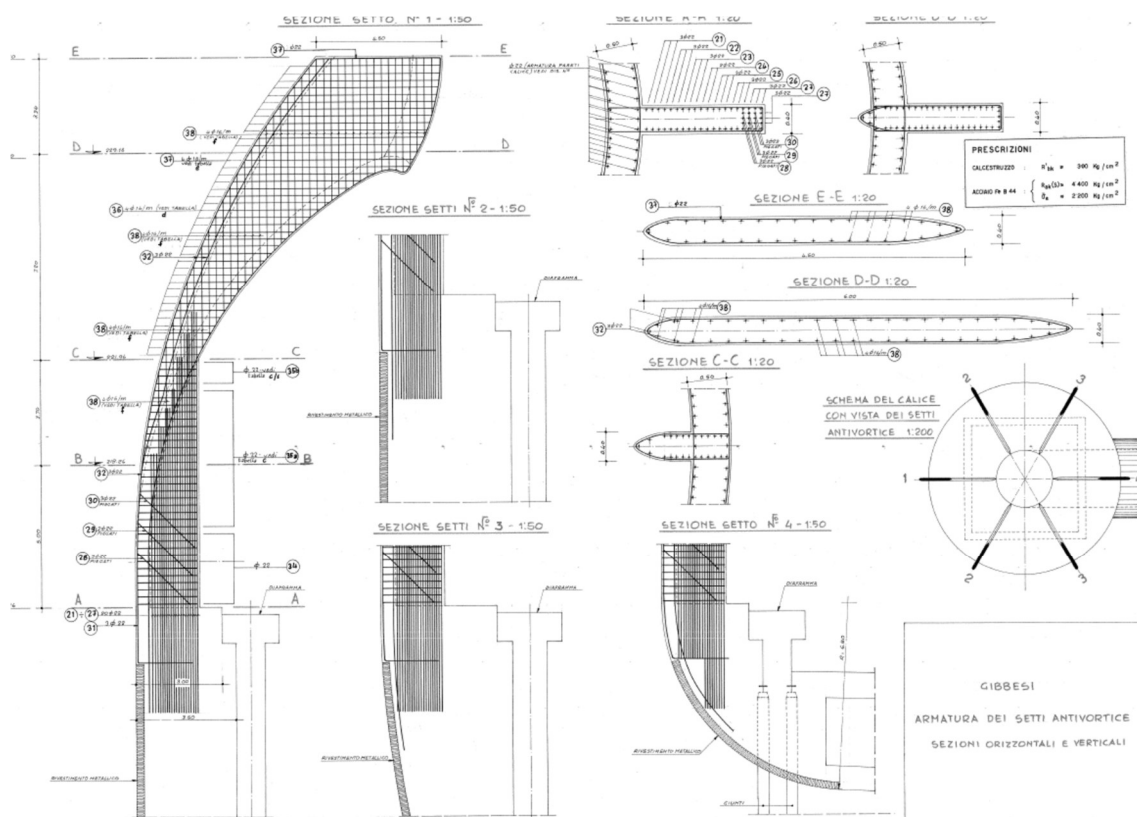


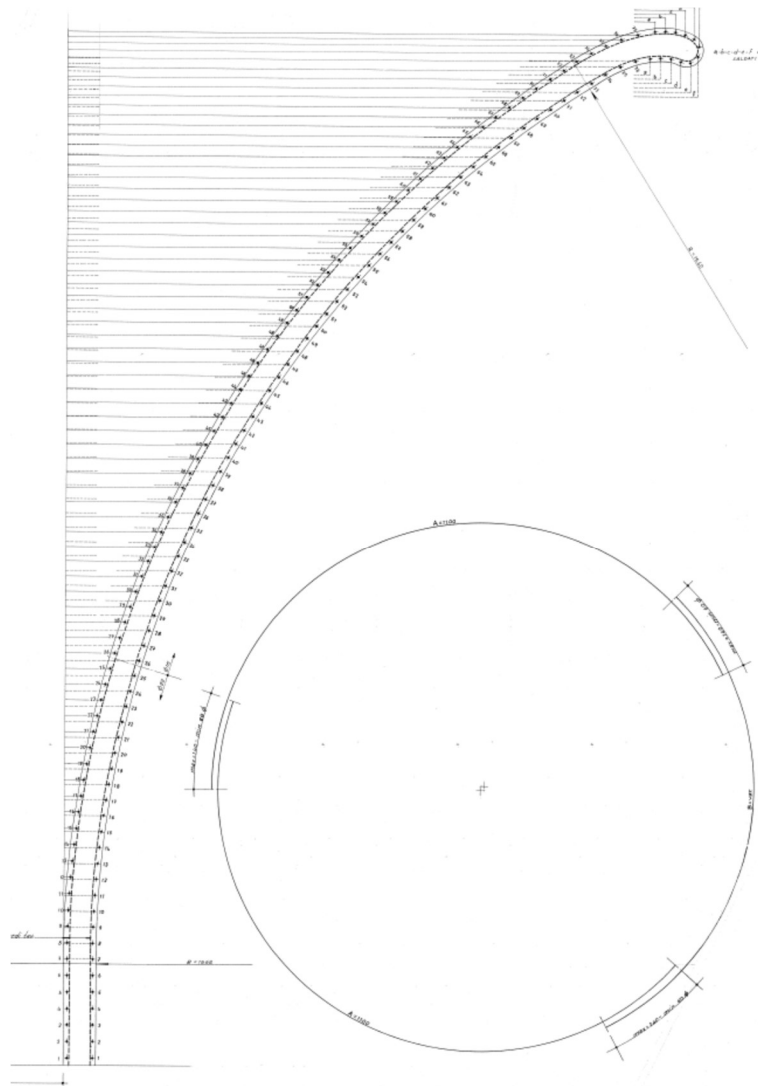


Figura 4.3: Progetto di esecutivo – Armatore dei setti antivortice



	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 21 di 147</p>



**Figura 4.4: Progetto di esecutivo – Armature dell'elevazione del calice**

Il progetto di fattibilità del 1972 e quello esecutivo si differenziano, principalmente, nei seguenti aspetti:

- I manufatti di sfioro erano posizionati in modo diverso.
- Gli sfioratori erano previsti con un diametro minore.
- Il manufatto aeroforo era previsto all'interno di un setto antivortice anziché in un torrino apposito posto più a valle lungo la galleria.

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 22 di 147</p>

#### 4.3. Gli sfioratori oggi

Oltre al PF del 1972 e al PE non ci è pervenuta altra documentazione riguardante le strutture degli sfioratori a calice. Per poter produrre questo elaborato, quindi, si è proceduto ad una ispezione dell'edificio in cui si sono accertati i seguenti aspetti:

- La reale geometria della struttura eseguita: si è voluto verificare che quanto riportato nelle tavole del PE rispecchiasse quanto realmente è stato successivamente costruito.
- Lo stato di conservazione dell'opera, ponendo attenzione ai difetti rilevabili visivamente.

Quanto rilevato in situ è stato riportato nel documento II122F-E-TOP-RT-031-00 “*E – Accertamento dell'effettiva consistenza dei manufatti (topografia) – Rilievi – Relazione sui rilievi effettuati*” che, a sua volta, richiama le tavole relative agli sfioratori II122F-E-TOP-DS-045-00 “*Accertamento dell'effettiva consistenza dei manufatti (topografia) – Rilievi – Sfioratore a calice in destra*” e II122F-E-TOP-DS-046-00 “*Accertamento dell'effettiva consistenza dei manufatti (topografia) – Rilievi – Sfioratore a calice in sinistra*”. Un riassunto di quanto riportano i suddetti documenti è riportato nel seguito

##### 4.3.1. Stato di fatto

Lo stato di conservazione dei calcestruzzi che formano le opere di scarico di superficie è discreto, considerando che sono state realizzate circa 40 anni fa.

Le misure effettuate hanno rilevato una buona corrispondenza con la documentazione storica reperita dalla scrivente.

## 5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

### 5.1. Caratterizzazione geotecnica del progetto esecutivo originale

Nella relazione di calcolo del progetto esecutivo del 1981 viene riportata la verifica dei diaframmi di fondazione dei calici. Per eseguire tale verifica vengono riportate le caratteristiche meccaniche dei diversi strati del terreno di fondazione. La stratigrafia, con i relativi parametri geotecnici, è riportata in .

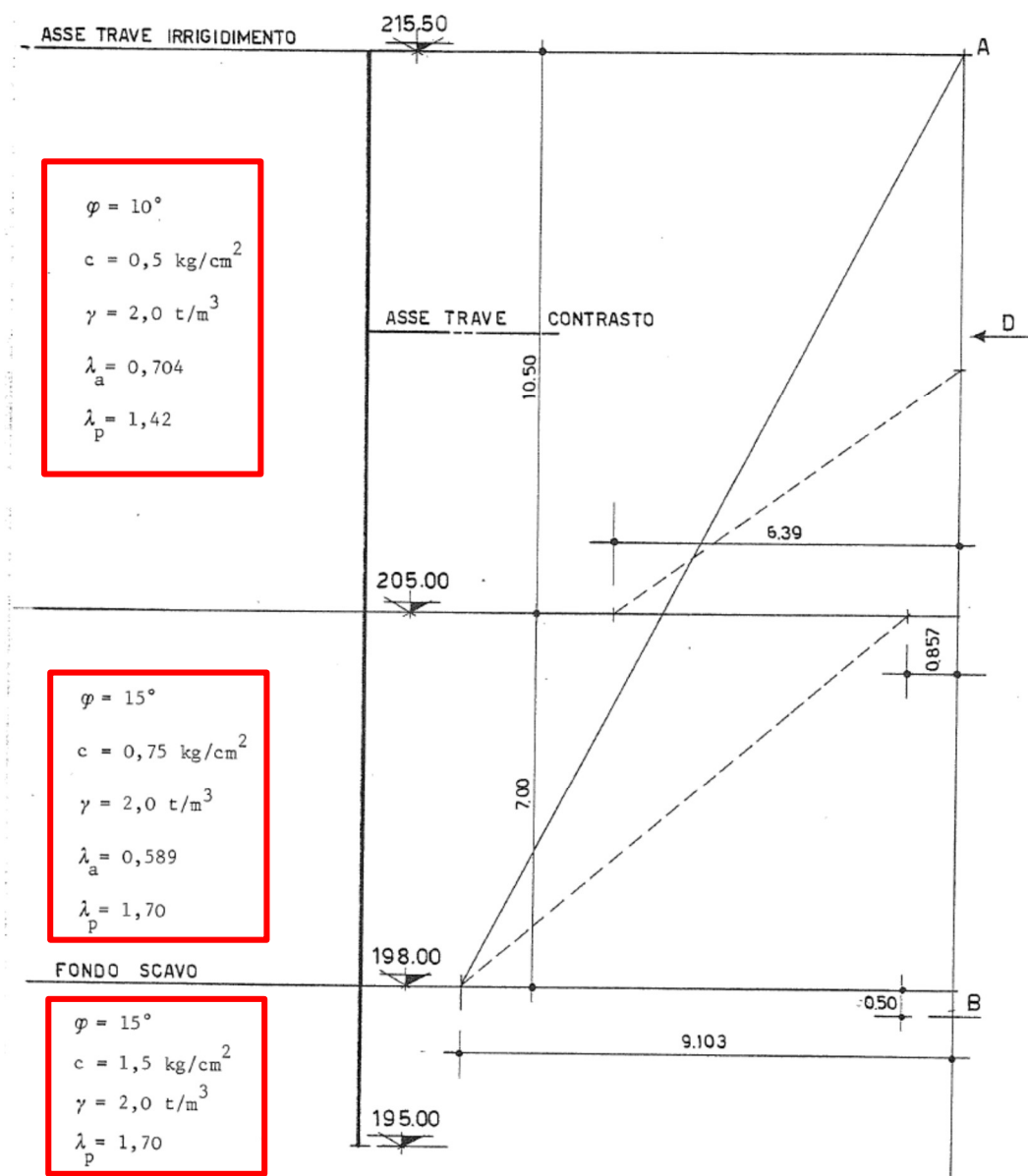




Figura 5.1: Stratigrafia del terreno nei pressi dei diaframmi di fondazione dei calici di sfioro come indicata nel progetto del 1981

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 24 di 147</p>

## 5.2. Caratterizzazione geotecnica attuale

### 5.2.1. Risultati delle indagini

Nel corso della presente fase di studi sono stati eseguiti due sondaggi a rotazione e carotaggio continuo (N23, N24DH) nell'area dei calici (v. figura sotto). Il foro N24DH è stato condizionato per l'esecuzione di una prova Down-Hole. Sono riportate anche le colonnine schematiche dei sondaggi.



Figura 5.2: Ubicazione delle indagini e risultati dei sondaggi

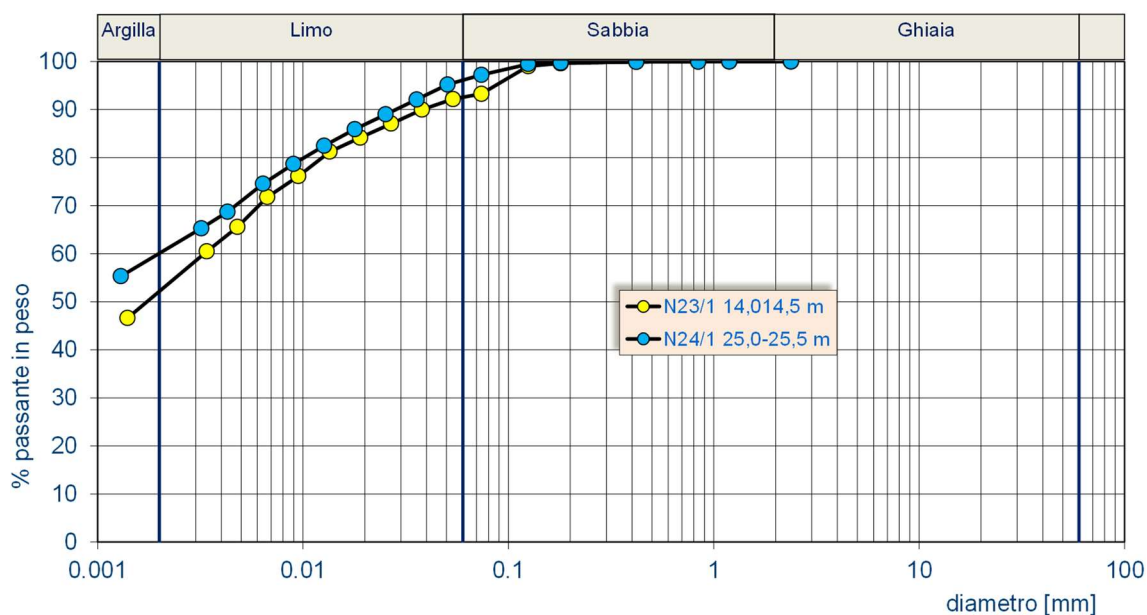
Dall'esame dei terreni carotati con il sondaggio N24DH eseguito tra i due calici è risultato che a partire dal piano di campagna è presente uno strato di materiali di riporto (sigla R) costituito di ghiaia e blocchi del  $d_{max} \cong 12$  cm con sabbia e limo di natura prevalentemente calcarea, di colore variabile dal grigio biancastro all'avana. Nella parte più superficiale la frazione fina è quasi assente e la percentuale di carotaggio è risultata molto bassa. A partire da una profondità di 4.1 m è stata individuata un'alternanza di sabbia limosa con ghiaia e ghiaia sabbiosa limosa, indicata con la sigla DT, per uno spessore di circa 1 m.

Al di sotto sono presenti le argille di base del Tortonianiano AT, che nei primi 3 m circa del sondaggio N24DH sono di colore variabile dal grigio al marrone, consistenti, con patine ocracee e spalmature biancastre (parte alterata, sigla ATa). Lungo il sondaggio N23, eseguito nel pendio poco a monte dei calici, la parte alterata ATa, rinvenuta fin dal piano campagna per uno spessore di 5,6 m, presenta le medesime caratteristiche macroscopiche.



Più in profondità i terreni AT sono costituiti di argilla marnosa scagliettata di colore grigiastro, molto consistente, con un contenuto d'acqua  $W_N$  minore del limite di plasticità  $W_P$ . Sono presenti noduli e veli di sabbia fina di colore grigio chiaro, noduli marnosi duri, patine di alterazione ocracee e patine violacee, queste ultime nei primi metri del sondaggio N23. La struttura è scagliettata, con scaglie grosse di forma appiattita o prismatica, da debolmente a ben serrate, a spigoli vivi, con superfici ondulate o concoidi. Talora si passa a scaglie piccole, variamente compenstrate e ben serrate, a spigoli vivi. La percentuale di carotaggio è risultata sempre molto elevata.

Dal punto di vista granulometrico i terreni AT sono classificabili come argilla con limo debolmente sabbiosa (v. figura sotto).



**Figura 5.3:** Argilla AT – Risultati dell'analisi granulometrica eseguita sui campioni N23/1 e N24/1

Dai diagrammi di plasticità ed attività riportati nella figura successiva si ricava che l'argilla è di alta plasticità e di attività normale. Il peso  $\gamma$  vale circa  $19 \text{ kN/m}^3$ .

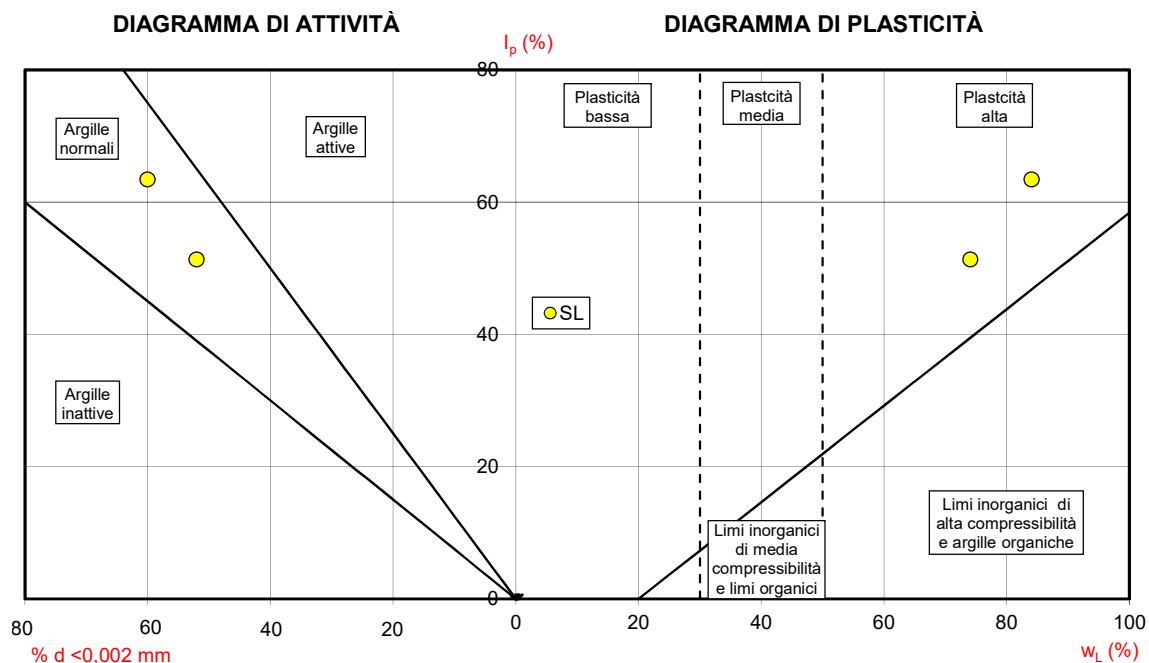


Figura 5.4: Argilla AT – Diagrammi di plasticità e di attività

Una prova di taglio diretto consolidata drenata eseguita su un campione indisturbato prelevato alla profondità di 25 m (v. sotto) fornisce valori di coesione effettiva  $c'$  ed angolo d'attrito effettivo  $\varphi'$  rispettivamente pari a:

$$c' = 32 \text{ kPa} \quad \varphi' = 22^\circ$$

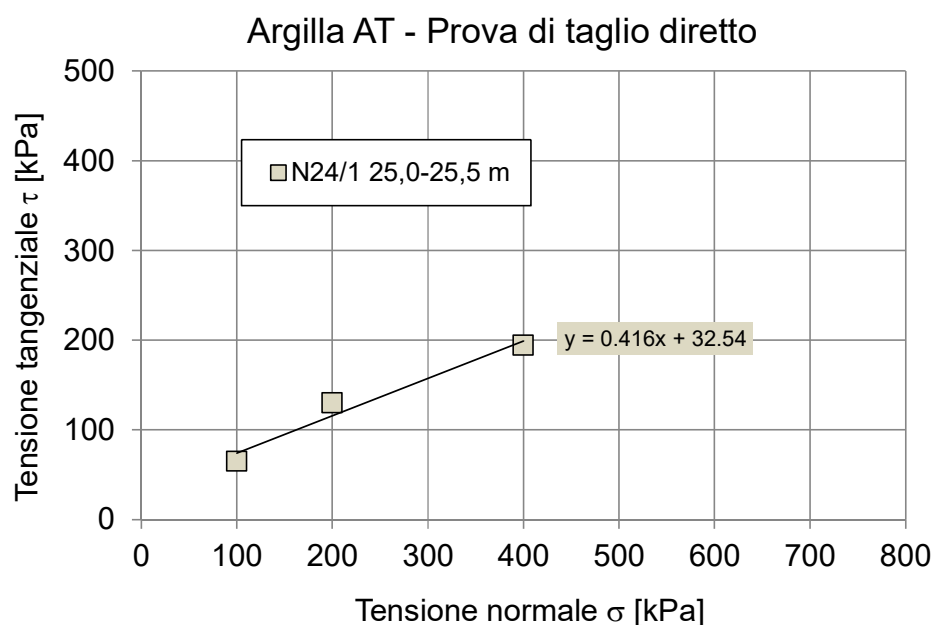


Figura 5.5: Argilla AT – Risultati della prova di taglio diretto eseguita sul campione N24/1

Più in generale, dai risultati delle prove di taglio diretto eseguite sui campioni delle argille del Tortoniano AT prelevati nei terreni di fondazione del corpo diga e della vasca di dissipazione (indagini anni 2018 e 2021) si sono ottenuti i campi di variazione dei parametri di resistenza a taglio indicati nella tabella successiva:

**Tabella 5-1: Argilla AT – Intervalli di variazione dei parametri di resistenza a taglio**

AT	c' [kPa]	$\phi'$ [°]
min	15	20
media	30	24
max	46	29



Per quanto riguarda la deformabilità e la permeabilità dei terreni AT, si fa riferimento ai risultati di tre prove di compressione edometrica eseguite su campioni indisturbati prelevati nel corso delle perforazioni del 2021. Uno dei campioni è stato prelevato in corrispondenza del sondaggio N24DH eseguito tra i due calici.

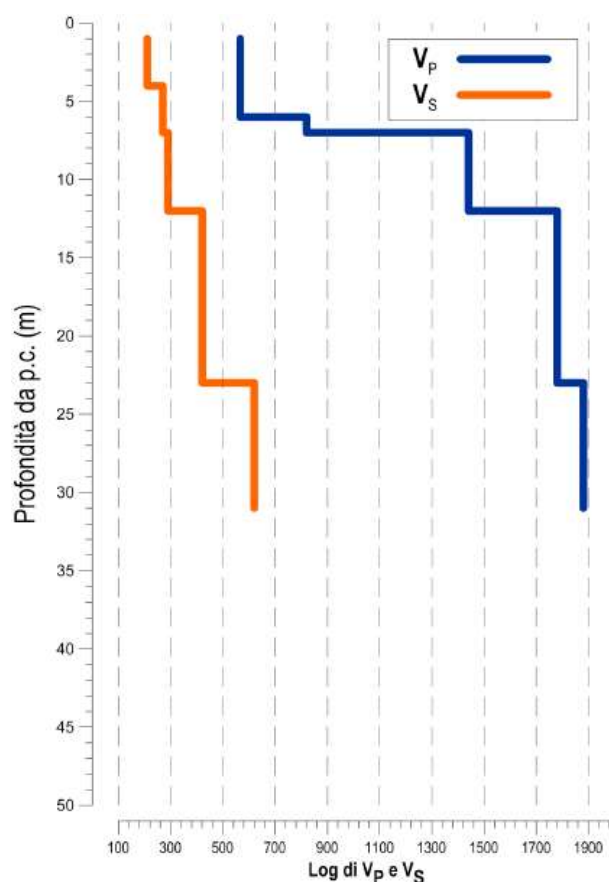
Gli intervalli di variazione dell'indice dei vuoti  $e$ , del modulo di compressione edometrica  $E_{ed}$ , del coefficiente di consolidazione  $c_v$  e del coefficiente di permeabilità  $k$  sono riportati nel seguito.

**Tabella 5-2: Argilla AT – Intervalli di variazione dei parametri di deformabilità e permeabilità**

AT	$e$	$E_{ed}$ [MPa]	$c_v$ [cm <sup>2</sup> /sec]	$k$ [cm/sec]
min	0,32	4	6,6E-05	1,6E-10
media	0,52	31	3,1E-04	1,1E-09
max	0,77	79	3,1E-04	1,1E-09

Nella figura che segue è illustrato l'andamento della velocità delle onde di compressione  $V_p$  e delle onde di taglio  $V_s$  con la profondità ricavato dall'elaborazione della prova Down-Hole eseguita lungo il sondaggio N24DH.

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 28 di 147</p>





**Figura 5.6: Prova Down-Hole N24DH**

Si è ottenuto un valore della velocità delle onde di taglio  $V_s$  di 210 m/s fino ad una profondità di circa 3 m, corrispondente al livello superficiale di materiali di riporto. Segue un livello caratterizzato da un valore di velocità  $V_s$  di 290 m/s, all'incirca in corrispondenza della parte alterata ATa delle argille tortoniane. Più in basso i valori delle velocità  $V_s$  sono progressivamente crescenti fino a un massimo di 620 m/s che si misura a partire da una profondità di 22 m.

La velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{seq}$  calcolata nell'intervallo 0.0-30.0 m è pari a 367 m/s. Sulla base dei risultati della prova Down-Hole si attribuisce al sottosuolo la "Categoria B".



	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 29 di 147</p>

### 5.2.2. Rapporti opere-terreni

Sulla base della ricostruzione dei rapporti tra le opere ed i terreni di fondazione, riportata nella figura che segue, basata sulla stratigrafia del sondaggio N24DH, si osserva che i calici sono stati realizzati all'interno delle argille AT del Tortoniano, alterate nella parte superiore (ATa). Sulle superfici sono presenti i materiali di riporto R utilizzati per il ripristino del piano di campagna alla quota di progetto.

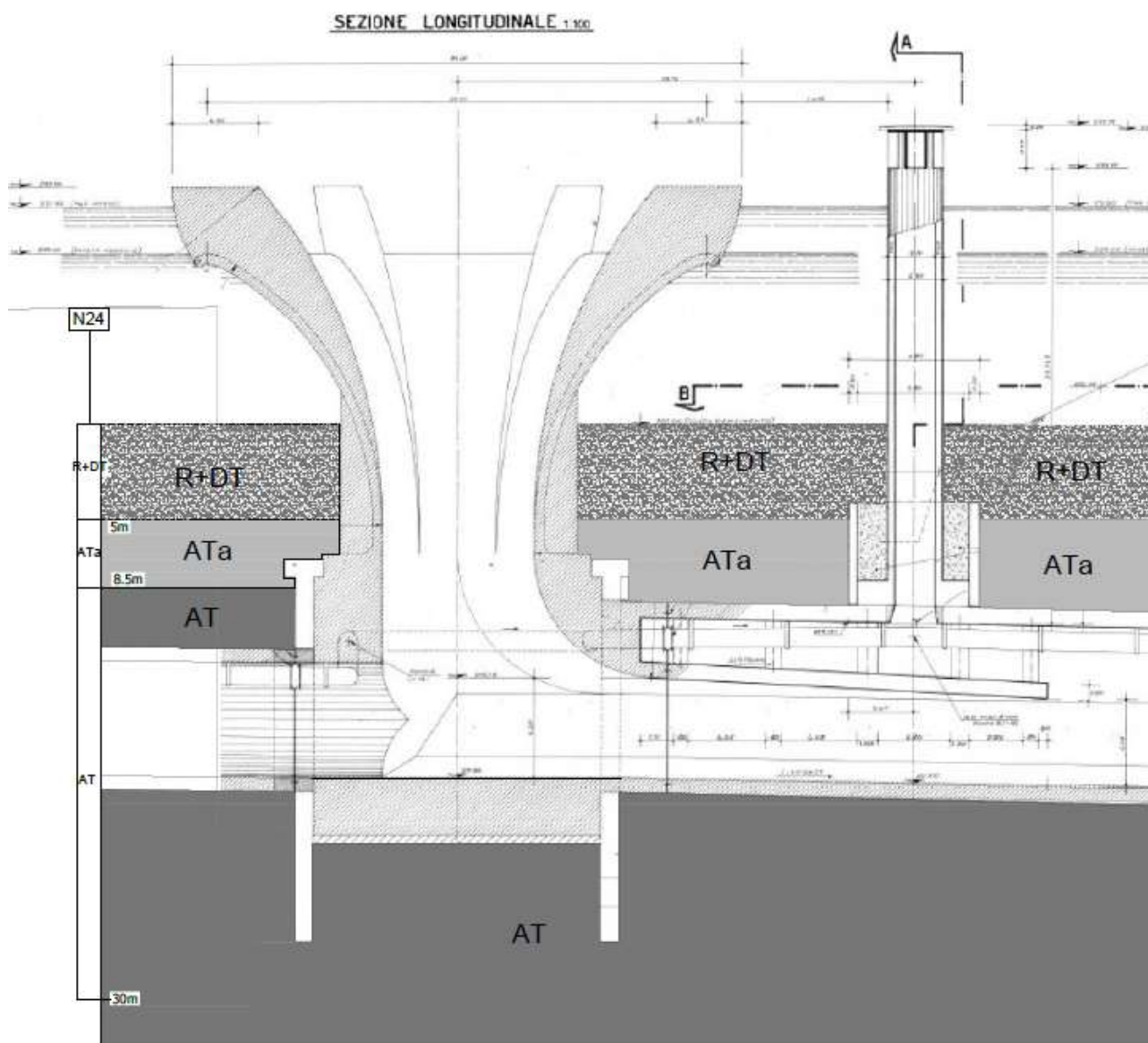




Figura 5.7: Calici – Rapporti opere–terreni

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 30 di 147</p>

### 5.2.3. Caratterizzazione geotecnica dei terreni

Sulla base dei risultati delle prove di laboratorio eseguite sui terreni della formazione delle argille tortoniane AT, si possono assumere i seguenti intervalli di variazione dei principali parametri fisico-meccanici:

#### Argilla AT

- peso dell'unità di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- coesione effettiva  $c' = 15 - 25 \text{ kPa}$ ;
- angolo d'attrito effettivo  $\varphi' = 22^\circ - 26^\circ$ ;
- modulo di Young  $E = 10\text{-}30 \text{ MPa}$ .

Per la caratterizzazione geotecnica della parte alterata ATa della formazione si può fare riferimento ai dati relativi alla formazione in posto, in considerazione degli spessori misurati con i sondaggi.

Il riporto R può essere caratterizzato con i seguenti valori dei parametri fisico-meccanici desumibili dalla granulometria osservata sui materiali carotati:

#### Materiali R

- peso dell'unità di volume  $\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$ ;
- coesione effettiva  $c' = 0$ ;
- angolo d'attrito effettivo  $\varphi' = 35^\circ$ .

## 6. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 6.1. Caratteristiche dei materiali dal progetto originale

Come si è detto al § 4.2, negli elaborati grafici di progetto (PE 1981) si possono trovare le prescrizioni sui materiali da costruzione, calcestruzzo e acciaio, per le diverse parti dello sfioratore, di seguito riassunti per comodità.

Fondazioni			
Calcestruzzo	$R_{bk}$	25	N/mm <sup>2</sup>
Acciaio FeB 44 k	$f_{yk}$	430	N/mm <sup>2</sup>
Elevazione			
Calcestruzzo	$R_{bk}$	30	N/mm <sup>2</sup>
Acciaio FeB 44 k	$f_{yk}$	430	N/mm <sup>2</sup>

### 6.2. Indagini sui materiali e prove di laboratorio

Gli sfioratori sono stati, negli anni, oggetto di prove diagnostiche per stabilire le caratteristiche della struttura e dei materiali che la compongono. Le campagne d'indagine sugli sfioratori sono state, ad oggi, due:

- 4 luglio 2016 – Esecuzione di prelievi di campioni ed indagini per la caratterizzazione meccanica dei calcestruzzi e dei ferri di armatura delle opere strutturali in c.a. ad eccezione della vasca di dissipazione (CIG: Z8A19432B0) – A cura di CON.GEO s.r.l. di Palermo.
- Giugno 2021 – Prove sui materiali – METROTEST s.r.l., per conto della scrivente. Documento II122F-F-STR-RT-021-01 “*F – Prove sui materiali – Relazione sulle attività di laboratorio materiali*”.

Di seguito vengono esposti i risultati di tali campagne d'indagine.

#### 6.2.1. Indagini CON.GEO (luglio 2016)

Tra il 5 maggio e il 22 giugno 2016, su incarico dell'Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità - Dipartimento Regionale dell'Acqua e dei Rifiuti, la CON.GEO s.r.l ha effettuato il prelievo di campioni di cls e armature ed eseguito prove di caratterizzazione meccanica dei materiali. Per tutti i dettagli sulle singole prove effettuate si rimanda al relativo documento CON.GEO.

#### 6.2.1.1 Prove di resistenza a compressione dei campioni di cls

Per brevità, viene riportata solamente la resistenza cilindrica del calcestruzzo per ognuno dei provini.

**Tabella 6-1: Risultati della resistenza del calcestruzzo dello sfioratore sinistro**

Provino		Elemento strutturale	Resistenza a rottura
N°	Sigla		[N/mm <sup>2</sup> ]
1	C9A	Calice sx - lato sud a +1.00 m dal p.c	43.03
2	C9B	Calice sx - lato sud a +1.00 m dal p.c	41.67
3	C10A	Calice sx - lato nord-est a +3.00 m dal p.c	40.09
4	C10B	Calice sx - lato nord-est a +3.00 m dal p.c	40.85
5	C11A	Calice sx - lato nord-ovest a +3.00 m dal p.c	60.47
6	C11B	Calice sx - lato nord-ovest a +3.00 m dal p.c	60.20
7	C12A	Calice sx - lato nord a +1.00 m dal p.c	36.78
8	C12B	Calice sx - lato nord a +1.00 m dal p.c	53.14
		<b>MEDIA</b>	<b>47.03</b>
		<b>Min</b>	<b>36.78</b>
		<b>Max</b>	<b>60.47</b>

**Tabella 6-2: Risultati della resistenza del calcestruzzo dello sfioratore destro**

Provino		Elemento strutturale	Resistenza a rottura
N°	Sigla		[N/mm <sup>2</sup> ]
1	C13A	Calice dx - lato nord a +3.00 m dal p.c.	38.01
2	C13B	Calice dx - lato nord a +3.00 m dal p.c.	50.31
3	C14A	Calice dx - lato sud-ovest a +3.00 m dal p.c.	43.58
4	C14B	Calice dx - lato sud-ovest a +3.00 m dal p.c.	44.11
5	C15A	Calice dx - lato sud a +1.00 m dal p.c.	51.81
6	C15B	Calice dx - lato sud a +1.00 m dal p.c.	56.22
7	C16A	Calice dx - lato nord-est a +1.00 m dal p.c.	41.11
8	C16B	Calice dx - lato nord-est a +1.00 m dal p.c.	56.99
		<b>MEDIA</b>	<b>47.77</b>
		<b>Min</b>	<b>38.01</b>
		<b>Max</b>	<b>56.99</b>



### 6.2.1.2 Prove di trazione sulle barre d'armatura prelevate

**Tabella 6-3: Risultati della tensione di snervamento e rottura delle barre dello sfioratore sinistro**

Provino		Elemento strutturale	Diametro commerciale	Tensione di snervamento	Tensione di rottura
N°	Sigla		[mm]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
1	F5	Calice sx - lato sud ovest	16	472.5	701.6
2	F6	Calice sx - lato nord	16	460.2	692.8
			<b>MEDIA</b>	<b>466.4</b>	<b>697.2</b>

**Tabella 6-4: Risultati della tensione di snervamento e rottura delle barre dello sfioratore destro**

Provino		Elemento strutturale	Diametro commerciale	Tensione di snervamento	Tensione di rottura
N°	Sigla		[mm]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
1	F7	Calice dx - lato nord ovest	16	436.2	675.1
2	F8	Calice dx - lato sud ovest	16	433.8	668.7
			<b>MEDIA</b>	<b>435.0</b>	<b>671.9</b>

### 6.2.1.3 Indagini sclerometriche

Nella tabella che segue viene riportato il valore medio delle letture dello sclerometro e la conseguente resistenza a compressione rilevata dal diagramma con il relativo errore medio.

**Tabella 6-5: Risultati delle indagini sclerometriche sullo sfioratore sinistro**

N°	Elemento strutturale	Valore di rimbalzo medio ( $V_m$ )	Resistenza media ( $R_c$ )	Errore quadratico medio ( $E_{qm}$ )	$V_m - E_{qm}$	$V_m + E_{qm}$
			[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]
1	Calice sx a +1.00 m dal p.c. lato est	49	572	15	557	587
2	Calice sx a +1.00 m dal p.c. lato ovest	47	532	20	512	552
3	Calice sx a +1.00 m dal p.c. lato nord	49	572	14	558	586
4	Calice sx a +1.00 m dal p.c. lato sud	48	552	14	538	566
		<b>MEDIA</b>	<b>557</b>			

**Tabella 6-6: Risultati delle indagini sclerometriche sullo sfioratore destro**

N°	Elemento strutturale	Valore di rimbalzo medio ( $V_m$ )	Resistenza media ( $R_c$ )	Errore quadratico medio ( $E_{qm}$ )	$V_m - E_{qm}$	$V_m + E_{qm}$
			[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]
1	Calice dx a +1.00 m dal p.c. lato nord	48	552	16	536	568
2	Calice dx a +1.00 m dal p.c. lato est	51	615	8	607	623
3	Calice dx a +1.00 m dal p.c. lato ovest	49	572	11	561	583
4	Calice dx a +1.00 m dal p.c. lato sud	48	552	11	541	563
	<b>MEDIA</b>		<b>573</b>			

#### 6.2.2. Indagini METROTEST (maggio 2021)

METROTEST ha eseguito le seguenti prove sui due sfioratori a calice:

- N° 2 prove di profondità di carbonatazione sui campioni prelevati di calcestruzzo;
- N° 4 prove di resistenza a compressione sui campioni prelevati di calcestruzzo;
- N° 12 misure della resistenza del calcestruzzo con metodo SonReb;
- N° 15 indagini magnetometriche con pacometro;
- N° 2 prove di trazione di barre d'armatura prelevate dalle strutture (DX e SX).

Si riportano, nei seguenti paragrafi, l'ubicazione e una sintesi dei risultati ottenuti da tali indagini.

##### 6.2.2.1 Controllo della profondità di carbonatazione dei provini di calcestruzzo

Nella Tabella 6-7 si riportano i risultati delle prove per determinare la profondità di carbonatazione. Per ogni prelievo vengono forniti i seguenti dati:

- sigla prelievo;
- Ø = diametro provino;
- L = lunghezza provino;
- H<sub>terra</sub> = altezza da terra;
- Direzione prelievo, che può essere:
  - H = orizzontale;
  - V = verticale.

**Tabella 6-7: Risultati delle prove di profondità di carbonatazione per i due sfioratori a calice**

Sigla prelievo	Data di prelievo	Ø	L	H <sub>terra</sub>	Direzione prelievo	Profondità di carbonatazione
		[mm]	[mm]	[m]		[mm]
<b>C1</b> <b>(Sfioratore SX)</b>	24/05/2021	94	210	-	H	30
	Calcestruzzo omogeneo con presenza di alcuni vacuoli dal diametro d <sub>max</sub> circa 3 mm. Inerti a spigoli vivi arrotondati d <sub>max</sub> circa 25 mm.					
<b>C1</b> <b>(Sfioratore DX)</b>	24/05/2021	94	230	1.50	H	30
	Calcestruzzo omogeneo con presenza di alcuni vacuoli dal diametro d <sub>max</sub> circa 3 mm. Inerti a spigoli vivi arrotondati d <sub>max</sub> circa 24 mm.					



#### 6.2.2.2 Prove di resistenza a compressione dei calcestruzzi

Nella seguente tabella si trovano i risultati delle prove di resistenza a compressione dei provini di calcestruzzo. Per ciascun provino si riportano:

- m = massa del provino;
- Ø = diametro del provino;
- h = altezza del provino;
- in<sub>max</sub> = dimensione massima degli inerti del provino;
- A<sub>c</sub> = sezione compressa;
- m<sub>v</sub> = massa volumica;
- F = carico massimo;
- f<sub>c</sub> = resistenza a rottura, espressa con l'approssimazione di 0.1 N/mm<sup>2</sup>;

**Tabella 6-8: Diga di Gibbesi – Sfioratori a calice – Risultati delle prove di resistenza a compressione dei provini di calcestruzzo**

Sigla	Data		Ubicazione	m	Ø	h	in <sub>max</sub>	A <sub>c</sub>	m <sub>v</sub>	F	f <sub>c</sub>
	Prelievo	Prova		[g]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]
<b>C1 A</b>	24/05/21	03/06/21	Sfioratore SX	1539.8	94	94	25	6940	2360	249.732	36.0
<b>C1 B</b>	24/05/21	03/06/21	Sfioratore SX	1528.9	94	94	22	6940	2340	225.875	32.5
<b>C1 A</b>	24/05/21	03/06/21	Sfioratore DX	1449.1	94	94	24	6940	2220	177.424	25.6
<b>C1 B</b>	24/05/21	03/06/21	Sfioratore DX	1478.5	94	95	23	6940	2240	181.555	26.2

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 36 di 147</p>

### 6.2.2.3 Prove di resistenza del calcestruzzo con metodo SonReb

Le prove SONREB sono state eseguite in corrispondenza degli elementi strutturali, individuando preliminarmente settori caratterizzati da una superficie esente da lesioni, microfessurazioni, vespai, distacchi, polveri, ecc. Le misure ultrasoniche sono state eseguite per trasmissione:

- diretta (i due trasduttori sono applicati su due facce opposte dell'elemento da saggiare);
- semidiretta (i due trasduttori sono applicati su due facce adiacenti);
- indiretta (i due trasduttori sono applicati sulla stessa faccia dell'elemento da saggiare).

In particolare, dopo avere effettuato la pulizia e la spianatura della superficie di prova, sono state eseguite 9 misure ultrasoniche, posizionando i punti di misura lungo 2 allineamenti adeguatamente sfalsati sia in orizzontale che in verticale ed interponendo tra i trasduttori e la superficie del calcestruzzo uno strato di gel siliconico. Infine, si sono misurate le distanze dei percorsi ultrasonici. In una seconda fase si è proceduto ad eseguire 9 battute sclerometriche in direzione orizzontale all'interno della zona di misura. Prima dell'esecuzione delle indagini è stata eseguita la taratura sia dello strumento ad ultrasuoni misurando il tempo di riferimento  $T_{RIF}$ , che dello sclerometro.

Le correlazioni, per la determinazione della resistenza del calcestruzzo sono state desunte dalla letteratura:

- $R_{c,1} = 9.27 \cdot 10^{-11} \cdot S^{1.4} \cdot V^{2.6}$
- $R_{c,2} = 8.06 \cdot 10^{-8} \cdot S^{1.246} \cdot V^{1.85}$
- $R_{c,3} = 1.2 \cdot 10^{-9} \cdot S^{1.058} \cdot V^{2.446}$

Dove  $R_c$  è la resistenza cubica a compressione del calcestruzzo in  $[N/mm^2]$ .



**Tabella 6-9: Diga di Gibbesi – Sfiatore DX – Risultati delle prove SonReb**

Misura	Elemento	$R_{c,1}$	$R_{c,2}$	$R_{c,3}$
		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
1	Sfiatore DX	13.02	26.76	15.82
2	Sfiatore DX	16.05	31.04	19.25
3	Sfiatore DX	16.31	30.90	19.41
4	Sfiatore DX	31.33	51.78	34.61
5	Sfiatore DX	37.08	58.74	40.36
6	Sfiatore DX	15.81	17.91	18.30
<b>MEDIA</b>		<b>21.60</b>	<b>36.19</b>	<b>24.63</b>

**Tabella 6-10: Diga di Gibbesi – Sfiatore SX – Risultati delle prove SonReb**

Misura	Elemento	$R_{c,1}$	$R_{c,2}$	$R_{c,3}$
		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
1	Sfiatore SX	14.25	28.18	15.86
2	Sfiatore SX	14.97	30.69	16.94
3	Sfiatore SX	21.68	37.35	23.29
4	Sfiatore SX	12.65	20.73	14.02
5	Sfiatore SX	7.91	15.02	9.06
6	Sfiatore SX	8.27	15.45	9.49
<b>MEDIA</b>		<b>13.29</b>	<b>24.57</b>	<b>14.78</b>

#### 6.2.2.4 Indagini magnetometriche con pacometro

Le prove pacometriche hanno mostrato una buona corrispondenza della posizione delle barre d'armatura tra quanto prescritto nel progetto esecutivo e quanto effettivamente realizzato. Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione II122F-E-STR-RT-050-00 “E – Accertamento dell'effettiva consistenza dei manufatti – Ispezione tecnica delle opere – Prove Pacometriche e SonReb”.

#### 6.2.2.5 Prove di trazione di barre d'armatura

Per la prova di resistenza a trazione vengono riportati i seguenti dati:

- Sigla del provino;
- Marchio di fabbrica della barra, ove identificabile;
- $\varnothing_{nom}$  = diametro nominale della barra;
- $\varnothing_{eff}$  = diametro effettivo della barra tonda equipesante;
- L = lunghezza del provino;
- m = massa del provino;
- $f_y$  = tensione di snervamento;
- $f_t$  = tensione di rottura;
- $f_t/f_y$ ;
- $A_{gt}$  = l'allungamento percentuale alla forza massima.

**Tabella 6-11: Diga Gibbesi – Sfioratori a calice – Risultati delle prove di trazione delle barre d'armatura**

Sigla	Marchio	$\varnothing_{nom}$	$\varnothing_{eff}$	L	m	$f_y$	$f_t$	$f_t/f_y$	$A_{gt}$
		[mm]	[mm]	[cm]	[g]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[-]	[%]
B1 (Sfioratore SX)	Non identificabile	16	15.92	45.0	731.8	446.2	669.1	1.50	10.0
B1 (Sfioratore DX)	Non identificabile	16	16.14	44.3	711.3	513.4	764.8	1.49	9.8

## 7. IPOTESI DI CALCOLO

### 7.1. Materiali

#### 7.1.1. Calcestruzzo

Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck}$	22.50	MPa
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	$f_{ck}$	18.68	MPa
Coefficiente di sicurezza	$\gamma_c$	1.50	-
Fattore di confidenza	FC	1.00	-
Resistenza di progetto a compressione	$f_{cd}$	10.58	MPa
Modulo elastico	$E_c$	29529	MPa
Resistenza media a trazione	$f_{ctm}$	2.11	MPa
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk,0,95}$	2.75	MPa
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk,0,05}$	1.48	MPa
Resistenza di progetto a trazione	$f_{ctd}$	0.99	MPa
Deformazione di progetto	$\epsilon_{c2}$	2.00	‰
Deformazione di progetto	$\epsilon_{c3}$	1.75	‰
Deformazione di progetto	$\epsilon_{c4}$	0.70	‰
Deformazione ultima di progetto	$\epsilon_{cu}$	3.50	‰

In Figura 7.1 si riporta il legame costitutivo del calcestruzzo nei due casi.

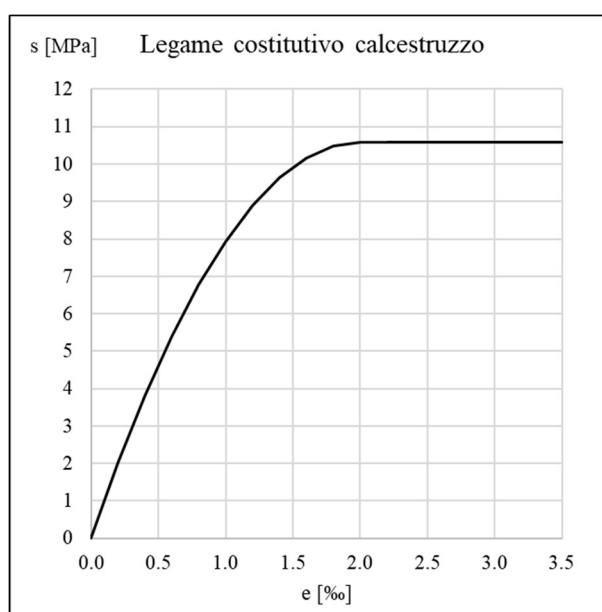
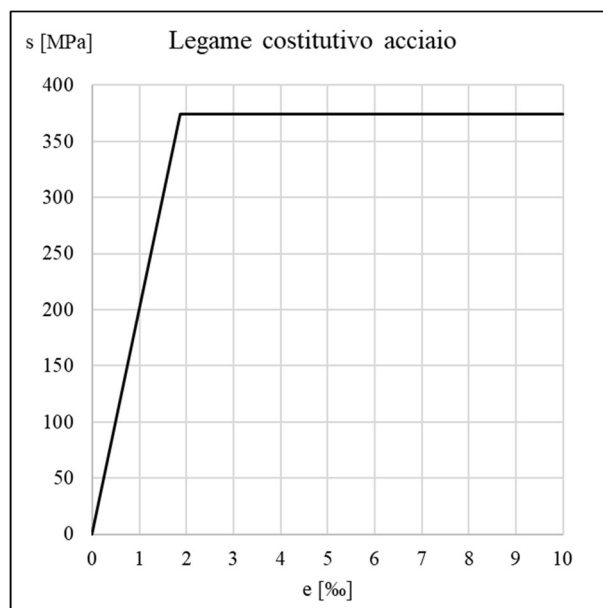


Figura 7.1: Legame costitutivo del calcestruzzo

### 7.1.2. Acciaio

Tipo di acciaio	Fe B 44 k		
Resistenza caratteristica a snervamento	$f_{yk}$	430	MPa
Resistenza caratteristica a rottura	$f_{tk}$	540	MPa
Coefficiente di sicurezza	$\gamma_s$	1.15	-
Fattore di confidenza	FC	1.00	-
Resistenza di progetto a trazione	$f_{yd}$	373.91	MPa
Modulo elastico	$E_s$	200000	MPa
Deformazione a snervamento	$\epsilon_{yd}$	1.87	‰
Deformazione ultima	$\epsilon_{ud}$	10.00	‰

In Figura 7.2 si riporta il legame costitutivo del calcestruzzo.



**Figura 7.2: Legame costitutivo dell'acciaio FeB 44 k**

## 7.2. Parametri sismici

I dati per la definizione dell'azione sismica da considerare nei calcoli di verifica sono i seguenti:

- Longitudine 13.984139 °
- Latitudine 37.315170 °

- Vita nominale  $V_N$  50 anni
- Coefficiente  $C_U$  1.5
- Periodo di riferimento  $V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 1.5 = 75$  anni

Si considera un coefficiente  $C_U$  pari a 1.5, ovvero una classe d'uso III, in quanto la diga Gibbesi, con i suoi 45 m d'altezza, 1,700,000 m<sup>3</sup> d'invaso e il fatto che invasi acqua a fini irrigui, è classificabile come una "grande diga" di tipo B ("diga rilevante").

In generale l'azione sismica è definita sul sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri:

- $a_g$ : accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_C^*$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali valori sono calcolati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il punto caratterizzante la posizione dell'opera, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

Per il calcolo dei parametri sismici è stato utilizzato il foglio di calcolo "Spettri di Risposta" ver. 1.0.3 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Si riportano i valori di accelerazione sismica che verranno utilizzati nel seguito, sempre nel caso di Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

Spettro di risposta orizzontale		
$a_g$	0.073	g
$S_S$	1.500	-
$S_T$	1.000	-

Spettro di risposta verticale		
$a_g$	0.027	g
$S_S$	1.000	-
$S_T$	1.000	-

#### 7.2.1. Fattore di comportamento della struttura

Nel caso di comportamento strutturale *non dissipativo*, la capacità delle membrature deve essere valutata in accordo con le regole di cui al § 4.1 delle NTC2018, senza nessun requisito aggiuntivo, a condizione che in nessuna sezione si superi il momento resistente sostanzialmente elastico.



Nel caso di comportamento strutturale *dissipativo*, la struttura deve essere verificata in modo tale che, sotto l'azione sismica relativa allo SLV, essa dia luogo alla formazione di un meccanismo dissipativo stabile fino allo SLC, nel quale la dissipazione sia limitata alle zone a tal fine previste. La capacità delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole di cui dal § 7.1 al § 7.3 delle NTC 2018, integrate dalle regole di progettazione e di dettaglio fornite dal § 7.4.4 al § 7.4.6 delle NTC2018.

La struttura in esame, considerando la geometria e l'armatura effettivamente presente nei diversi elementi strutturali, non rispetta i requisiti di duttilità e le regole di progettazione necessarie per adempiere alla vigente normativa. Quindi, per la struttura in esame si assume un comportamento non dissipativo; ciò implica che il fattore di struttura assuma il valore di  $q = 1.5$ , come da Tabella 7.3.I NTC 2018.

#### 7.2.2. Spettri di risposta di progetto

**Tabella 7-1: Parametri in input per il calcolo dello spettro sismico**

Parametro	Input
Longitudine	13.984139 °
Latitudine	37.315170 °
Stato Limite	SLV
Classe d'uso	III ( $C_U = 1.5$ )
Vita nominale	$V_N = 50$ anni
Tipo di spettro	Componente Orizzontale e Verticale di progetto
Categoria di sottosuolo	B
Categoria topografica	T1
Rapporto h/H	0 (costruzione non in cima al pendio)
Fattore di comportamento ( $q$ )	1.50

Quindi, per quanto riguarda lo spettro sismico in direzione orizzontale, si trovano le quantità riportate in Tabella 7-2 e quanto di seguito riportato.

**Tabella 7-2: Parametri dello spettro di risposta orizzontale per SLV**

Parametri indipendenti	
$a_g$	0.073
$F_0$	2.659
$T_C^*$	0.485
$S_S$	1.200
$C_C$	1.271
$S_T$	1.000
$q$	1.500
Parametri dipendenti	
$S$	1.200
$\eta$	0.667
$T_B$	0.206
$T_C$	0.617
$T_D$	1.894

Per lo spettro di risposta verticale si veda Tabella 7-3.

**Tabella 7-3: Parametri dello spettro di risposta verticale per SLV**

Parametri indipendenti	
$a_{gv}$	0.027
$S_S$	1.000
$S_T$	1.000
$q$	1.500
$T_B$	0.050
$T_C$	0.150
$T_D$	1.000
Parametri dipendenti	
$F_V$	0.973
$S$	1.000
$\eta$	0.667

Si ricorda che, come definito nelle NTC 2018 al § 8.3 “la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguite con riferimento ai soli SLU, salvo che per le costruzioni in classe d’uso IV, per le quali sono richieste anche le verifiche agli SLE specificate al § 7.3.6; in quest’ultimo caso potranno essere adottati livelli prestazionali ridotti”. Inoltre, “per la combinazione sismica le verifiche agli SLU possono essere eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita

umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC), secondo quanto specificato al § 7.3.6". Quindi, nel caso della struttura in esame, è necessario effettuare le verifiche sismiche solamente in condizione SLV.

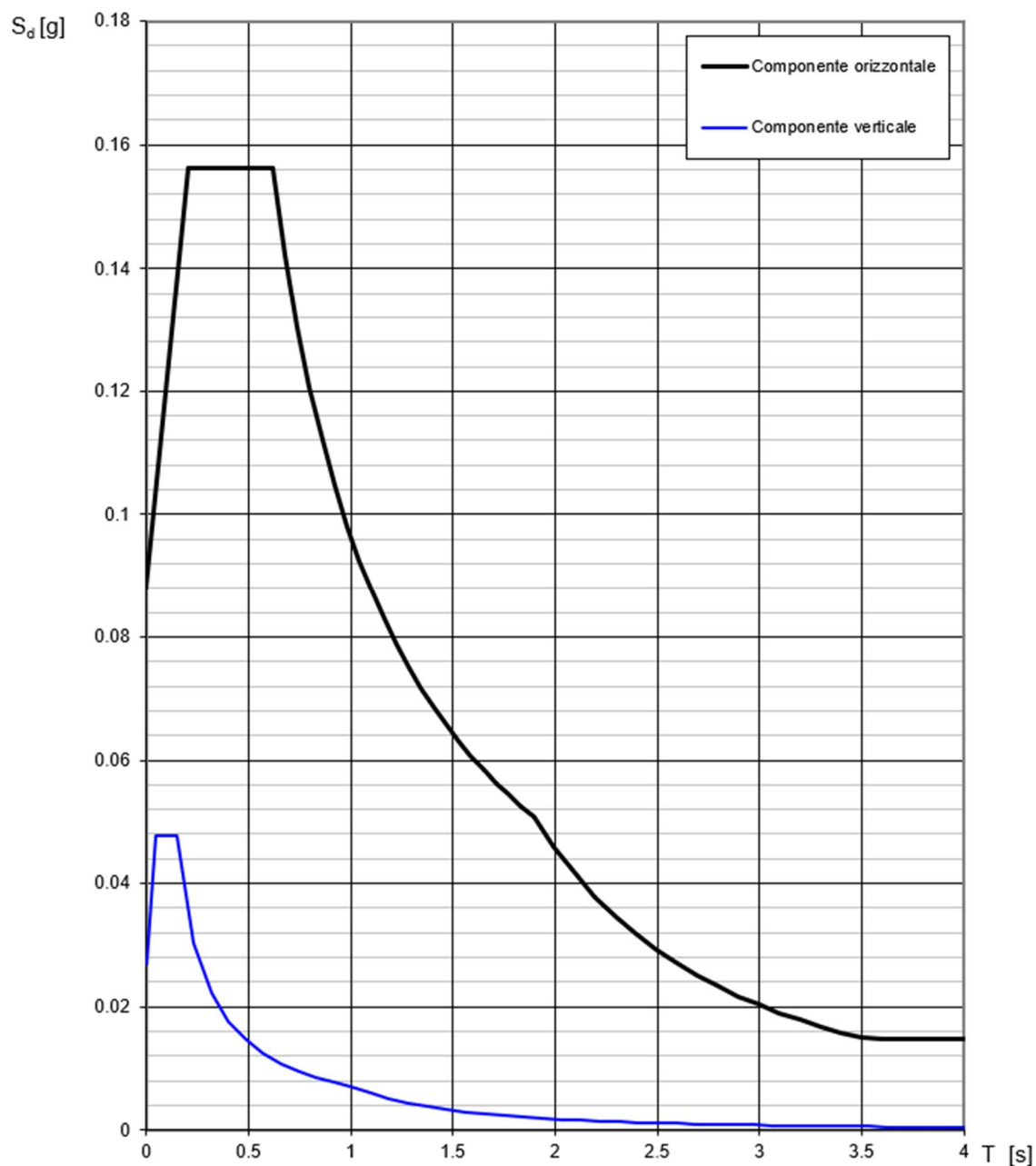




Figura 7.3: Spettri di risposta SLV in direzione orizzontale (nero) e verticale (blu)

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 45 di 147</p>

## 8. ANALISI DEI CARICHI

### 8.1. $G_1$ – Carichi permanenti strutturali

Fanno parte di questa categoria i seguenti carichi:

- il peso proprio della struttura: considerando un peso specifico del c.a. pari a 25 kN/m<sup>3</sup>;
- la spinta statica dell'acqua;
- la spinta statica dovuta al terreno di riporto intorno alla parte inferiore del calice.

#### 8.1.1. Spinta statica dell'acqua

Data la configurazione del becco del calice, la spinta statica dell'acqua ha due componenti (si veda la Figura 8.1):

- orizzontale, ovvero la spinta laterale sul manufatto, che cresce all'aumentare della profondità dell'acqua;
- verticale, rivolta verso l'alto. Infatti, nel caso in cui l'acqua si trovi al livello di massima regolazione essa causa una spinta di Archimede verso l'alto.

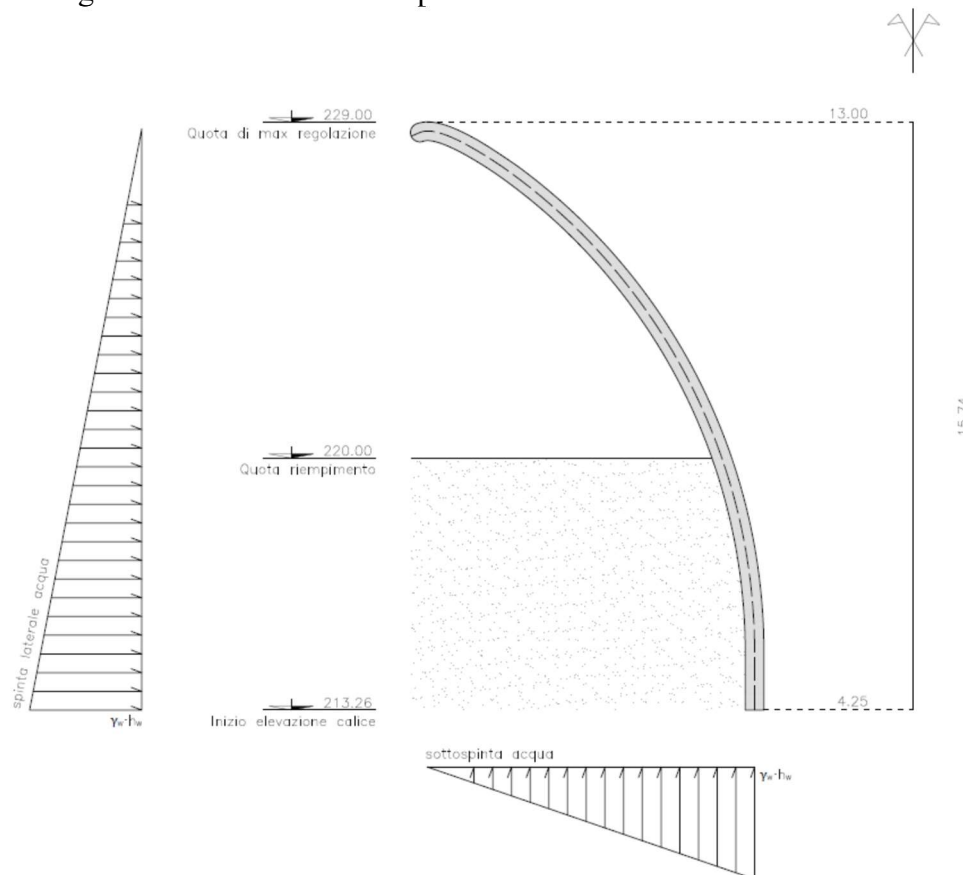




Figura 8.1: Diagramma di spinta statica dell'acqua sul calice

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 46 di 147</p>

La spinta statica dell'acqua, agente in modo radiale attorno al calice, viene calcolata come:

$$S_w = \gamma_w \cdot h_w$$

Dove:

- Quota di massima regolazione = 229.00 m s.l.m.
- Quota del punto più depresso del modello considerato = 213.26 m s.l.m.
- $\gamma_w = 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$  = peso specifico dell'acqua;
- $h_w = 229.00 \text{ m} - 213.26 \text{ m} = 15.74 \text{ m}$  = altezza della colonna d'acqua nel caso di livello di massima regolazione

Quindi, la spinta statica dell'acqua ha il suo valore massimo al piede del modello:

$$S_w = 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 15.74 \text{ m} = 157.40 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

#### 8.1.2. Spinta statica del terreno

Per la struttura in questione si considera una spinta statica a riposo del terreno calcolata come:

$$S_{K_0} = \gamma_{dry} \cdot h \cdot K_0$$

Dove:

- Quota del terreno di riempimento = 220.00 m s.l.m.
- Quota del punto più depresso del modello considerato = 213.26 m s.l.m.
- $h = 220.00 - 213.26 = 6.74 \text{ m}$



Come caratteristiche del terreno si considerano, a favore di sicurezza, i seguenti valori:

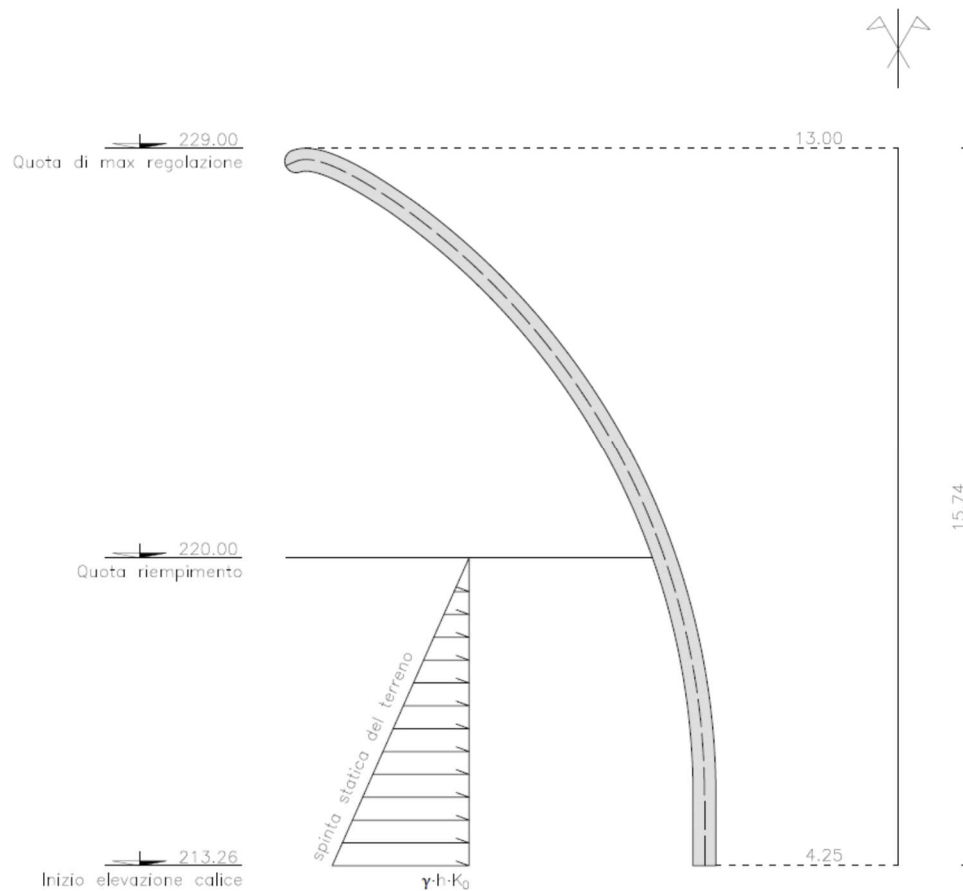
- $\gamma_{sat} = 18.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
- $\gamma_{dry} = 8.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
- $\phi' = 35^\circ$
- $K_0 = 1 - \sin(\phi') = 1 - \sin(35^\circ) = 0.43$

Quindi, la spinta statica del terreno a riposo, agente in modo radiale attorno al calice, ha il suo valore massimo al piede del modello (come mostrato in Figura 8.2):

$$S_{K_0} = 8.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 6.74 \text{ m} \cdot 0.43 = 24.63 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 47 di 147</p>



**Figura 8.2: Diagramma di spinta statica del terreno sul calice**

## 8.2. $G_2$ – Carichi permanenti non strutturali

Non sono stati considerati carichi permanenti non strutturali.

## 8.3. $Q$ – Azioni variabili

Le azioni variabili agenti sulla struttura sono le seguenti:

- Vento;
- Neve;
- Variazione termica.

### 8.3.1. Carico da vento

Calcolo della velocità base di riferimento				Zona 4 (Sicilia)
$v_{b,0}$	28.00	m/s	Velocità di base di riferimento al medio mare	
$a_0$	500.00	m		
$k_s$	0.36	-		
$a_s$	250.00	m s.l.m.	Altitudine del sito sul livello del mare	
$c_a$	1.00	-	Coefficiente di altitudine	
$v_b$	<b>28.00</b>	<b>m/s</b>	Velocità base di riferimento	























Calcolo della velocità di riferimento			
$v_b$	28.00	m/s	Velocità base di riferimento
$c_r$	1.00	-	Coefficiente di ritorno
$v_r$	<b>28.00</b>	<b>m/s</b>	Velocità di riferimento

Calcolo della pressione del vento			
<i>Pressione cinetica di riferimento</i>			
$\rho$	1.25	kg/m <sup>3</sup>	Densità dell'aria
$q_r$	490.00	N/m <sup>2</sup>	Pressione cinetica di riferimento
<i>Coefficiente di esposizione</i>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altezza sul suolo (z) non maggiore di 200 m</li> <li>- Distanza dal mare <math>\approx</math> 23 km</li> <li>- Classe di rugosità D</li> <li>- Zona 4 (Sicilia)</li> <li>- Categoria di esposizione II</li> </ul>			
$k_r$	0.19	-	
$z_0$	0.05	m	
$z_{min}$	4.00	m	
$z$	9.00	m	Altezza sul suolo
$c_t$	1.00	-	Coefficiente di topografia
$c_e$	2.29	-	Coefficiente di esposizione
<i>Coefficiente dinamico</i>			
$c_d$	1.00	-	Valore cautelativo proposto da NTC 2018

### Coefficiente di pressione ( $c_p$ )

Il coefficiente di pressione assume valori diversi a seconda della porzione di struttura considerata:

- Parte cilindrica del calice:  
per determinare il valore di  $c_p$  è stata utilizzata la seguente figura, dove sono riportate diverse forme geometriche sottoposte all'azione del vento. Nel caso del cilindro si assume  $c_p = 1.17 \approx 1.20$

	0.38		1.16
	0.42		1.17
	0.47		1.20
	0.50		1.55
	0.59		1.55
	0.80		1.60
	1.05		1.98
	1.17		2.00
	1.17		2.05
	1.38		2.20
	1.42		2.30

**Figura 8.3:** Coefficiente di pressione (drag coefficient) per diverse forme geometriche

- Setti antivortice:  
In modo cautelativo, si considera lo stesso coefficiente di pressione del calice.

Quindi, si può ricavare la pressione del vento come:

$$p = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d = 0.49 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2.29 \cdot 1.20 \cdot 1.00 = 1.35 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



### 8.3.2. Carico da neve

Vista la forma geometrica della struttura del calice, si può trascurare il carico da neve in quanto non influente.

### 8.3.3. Variazione termica

Si considera una variazione termica uniforme e applicata a tutta la parte fuori terra della struttura pari a:

$$\Delta T = \pm 15^\circ\text{C}$$

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 50 di 147</p>

## 8.4. E – Azioni sismiche

Le azioni sismiche da considerare per la struttura in oggetto hanno diverse origini:

- Azioni sismiche dovute all'inerzia della struttura: se ne tiene conto attraverso un'analisi pseudo-statica;
- Azioni sismiche dovute all'inerzia dell'acqua nel bacino;
- Azioni sismiche dovute al terreno di riporto intorno alla parte inferiore del calice.

### 8.4.1. Inerzia della struttura

Nell'analisi pseudo-statica l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Le forze d'inerzia orizzontali e verticali agenti per effetto del sisma sono valutate come:

- $F_h = S_{d,H}(T_B) \cdot W$
- $F_v = S_{d,V}(T_B) \cdot W$

Dove:

- $S_{d,H}(T_B) = 0.156 g$
- $S_{d,V}(T_B) = 0.048 g$
- $W$  = peso della struttura e dei relativi sovraccarichi permanenti

Il punto di applicazione di dette forze d'inerzia è il baricentro delle masse attivate dall'azione sismica.

### 8.4.2. Azioni sismiche dovute all'inerzia dell'acqua



La quota di massima regolazione è pari a 229.00 m s.l.m., quindi, rispetto al piede del modello, il livello dell'acqua è di 15.74 m.

#### 8.4.2.1 Calcolo della forza statica equivalente alla massa d'acqua aggiunta (EN 1998-2:2005 Annex F “Added mass of entrained water for immersed piers)

La forza statica equivalente, nelle due direzioni x e y, si calcola come:

$$f_a = m_a \cdot S_{d,H}(T_B) = m_a \cdot 0.156 g$$

La massa aggiunta  $m_a$  si calcola in modi diversi a seconda della forma del manufatto immerso in acqua. Nel caso in oggetto si ha una forma circolare, quindi:

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 51 di 147</p>

$$m_a = \rho \pi R^2$$

Dove:

- $R = 13.00$  m = raggio massimo del calice (a favore di sicurezza);
- $\rho = 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$  = peso specifico dell'acqua.

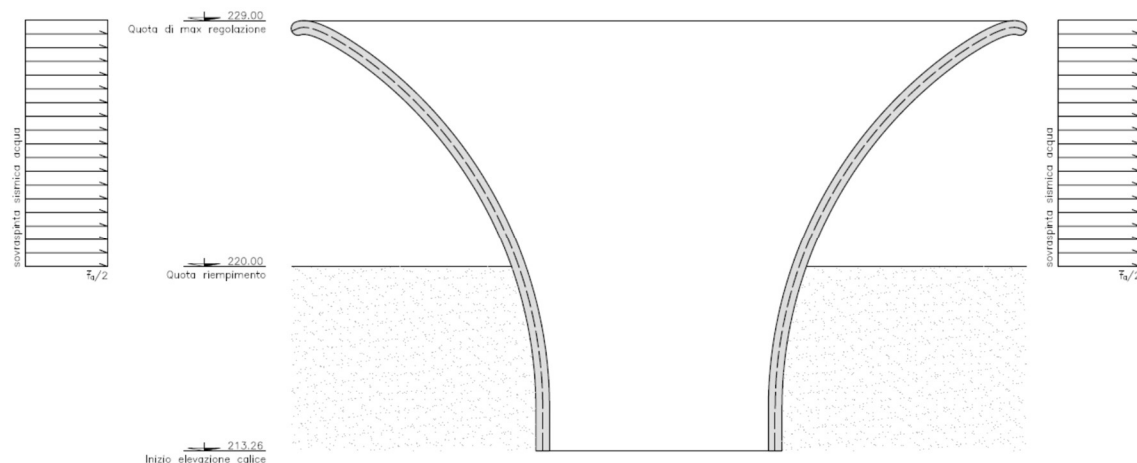
Quindi, si calcola la forza statica equivalente alla massa d'acqua aggiunta come:

$$f_a = 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot \pi \cdot 13.00^2 \text{ m}^2 \cdot 0.156 = 828.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Per applicarla correttamente al modello, si divide la forza appena calcolata per il diametro del calice:



$$\bar{f}_a = \frac{f_a}{D} = \frac{828.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{26 \text{ m}} = 31.86 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

La sovraspinta sismica dell'acqua, per meglio simulare la realtà, è applicata al modello del calice come un carico distribuito su entrambi i lati della struttura (dividendo a metà il valore di  $(\bar{f}_a)$ ), come mostrato in Figura 8.4.



**Figura 8.4: Diagramma di spinta sismica dell'acqua sul calice**



	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 52 di 147</p>

#### 8.4.3. Spinta sismica del terreno

Per il calcolo della sovraspinta sismica del terreno di ricoprimento si ricorre alla formulazione di Wood, infatti la struttura si può considerare rigida.

La sovraspinta agisce sulla struttura come una pressione uniforme e costante pari a:

$$\Delta p_d = a_{MAX} \cdot \gamma_{sat} \cdot h$$

Dove:

- $a_{MAX} = a_g \cdot S_S \cdot S_T = 0.073 \cdot 1.2 \cdot 1.0 = 0.088 \text{ g}$
- $\gamma_{sat} = 18.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$  = a favore di sicurezza si considera anche l'azione sismica dell'acqua contenuta nel terreno come se si muovesse assieme al terreno;
- $h = 6.74 \text{ m}$  = altezza del terreno.

Quindi, si ottiene una spinta di Wood pari a  $10.97 \text{ kN/m}^2$ .

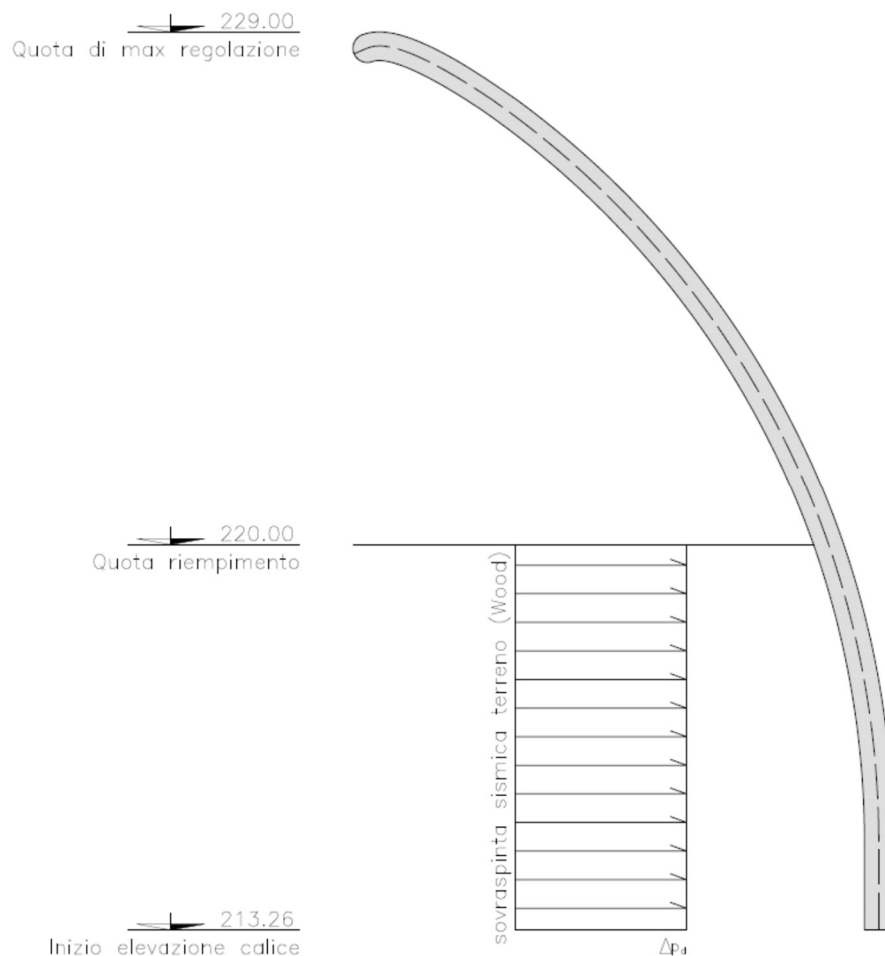


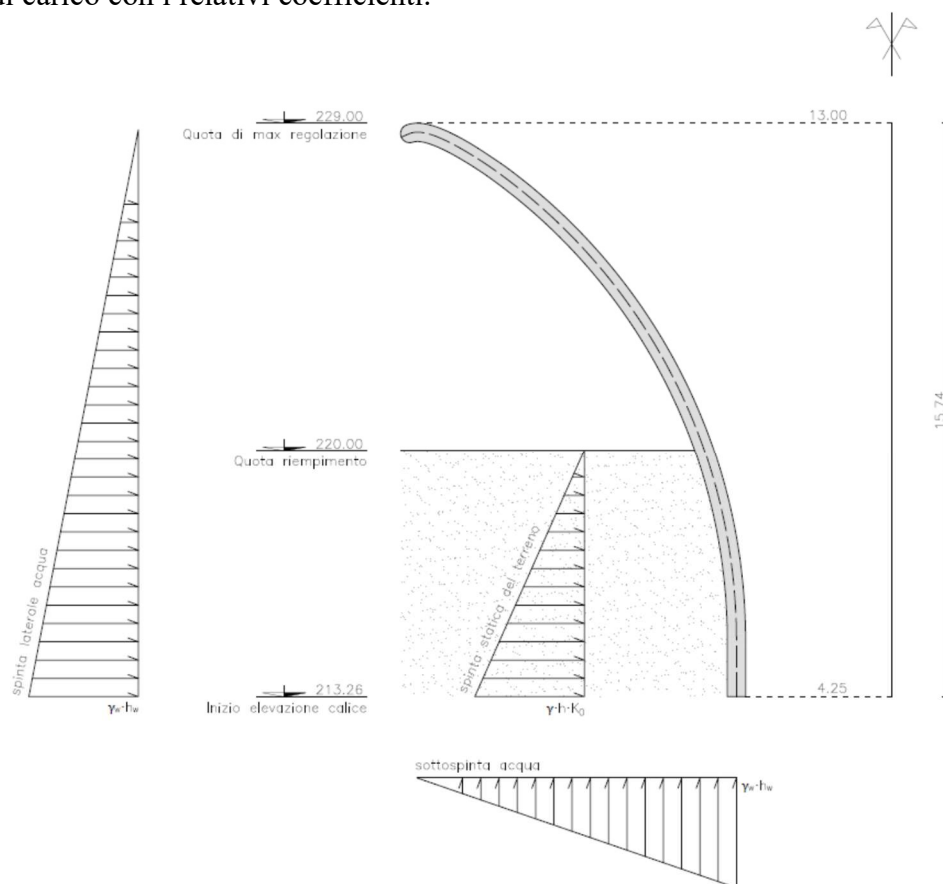


Figura 8.5: Diagramma di spinta sismica del terreno sul calice

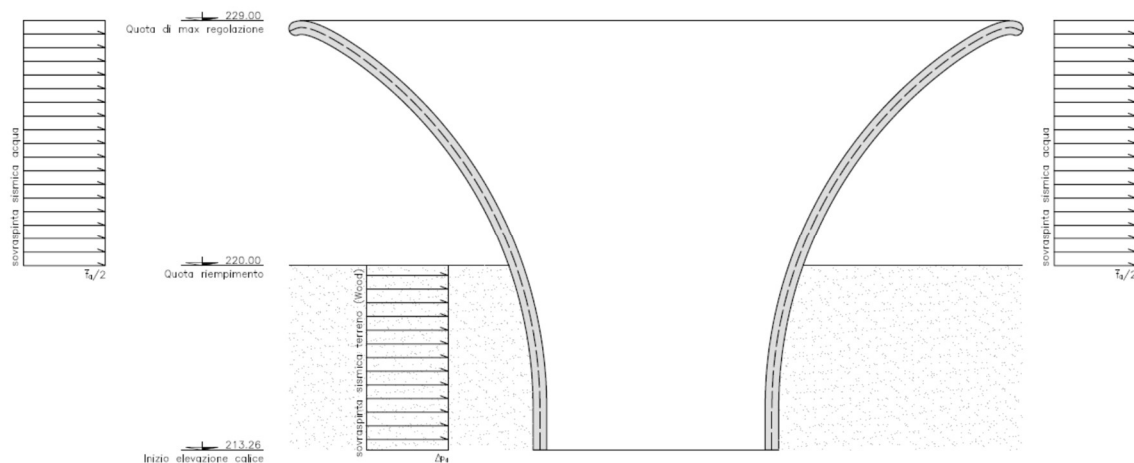
	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 53 di 147</p>

## 8.5. In sintesi

Nelle seguenti figure vengono riassunti i carichi, statici (Figura 8.6) e sismici (Figura 8.7), considerati nel modello. Al capitolo successivo verranno esplicitate le diverse combinazioni di carico con i relativi coefficienti.



**Figura 8.6: Carichi statici**



**Figura 8.7: Carichi sismici**

## 9. COMBINAZIONI DI PROGETTO

Per questa struttura vengono eseguite due verifiche allo Stato Limite Ultimo (SLU): statica e sismica. Esse sono definite dalle NTC18 come:

- Combinazione fondamentale **statica** SLU:  

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
- Combinazione **sismica** SLV:  

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Nelle combinazioni in questione la presollecitazione  $P$  non è presente.

I valori dei coefficienti  $\gamma$  sono definiti in Tabella 9-1.

**Tabella 9-1: Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU (Tab. 2.6.I, NTC18)**

		Coefficiente $\gamma_F$	EQU	A1	A2
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2$ <sup>(1)</sup>	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili $Q$	Favorevoli	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

I valori dei coefficienti di combinazione  $\psi$  sono riportati in Tabella 9-2.

**Tabella 9-2: Valori dei coefficienti di combinazione (Tab. 2.5.I, NTC18)**

Categoria/Azione variabile	$\psi_{0j}$	$\psi_{1j}$	$\psi_{2j}$
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale, biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Per la combinazione tra azioni sismiche nelle direzioni orizzontali (x e y) e nella direzione verticale (z) si assumeranno i coefficienti di concomitanza riportati in Tabella 9-3.

**Tabella 9-3: Coefficienti di concomitanza delle azioni sismiche (NTD14 – Tab. C5)**

Direzione	x	y	z
Coefficienti di concomitanza	1	0.3	0.3
	0.3	1	0.3
	0.3	0.3	1

In particolare, dalle NTD14 vengono definite le seguenti combinazioni di carico:

**Tabella 9-4: Combinazione di carico come definite dalle NTD14 (Tab. C6)**

Azioni:	Combinazione:						
	Fondamentale			Eccezionale		Sismica	
	Fase costruttiva	Fine costruzione o serbatoio	Rapida vuotatura	Esercizio normale	Massima piena	SLE	SLU
Peso proprio	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Spinta idrostatica				SI <sup>(1)</sup>	SI <sup>(2)</sup>	SI <sup>(1)</sup>	SI <sup>(1)</sup>
Sottospinta			SI	SI	SI	SI	SI
Coazioni termiche e da ritiro	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Coazione da calore di idratazione	SI	SI					
Spinta del ghiaccio				se applicabile			
Spinta dell'interrimento				se applicabile	se applicabile	se applicabile	se applicabile
Azione sismica						SI	SI
(a) Quota massima regolazione e livelli inferiori nonché serbatoio vuoto							
(b) Quota di massimo invaso							

### 9.1. Combinazioni di carico statiche (SLU)

Vengono create 8 combinazioni di carico statiche per simulare le seguenti condizioni di carico reali:

- Livello d'invaso: può essere vuoto (IV) oppure al livello di massima regolazione (MR).
- Variazione di temperatura: può essere positivo (+ΔT) oppure negativo (-ΔT).

I coefficienti utilizzati per le varie combinazioni sono riportati nella tabella a seguire.



**Tabella 9-5: Combinazioni di carico statiche (SLU)**



		MR +ΔT		MR -ΔT		MR +ΔT		MR -ΔT		IV +ΔT		IV -ΔT		IV +ΔT		IV -ΔT	
SLU (Statica)		SLU_01		SLU_02		SLU_03		SLU_04		SLU_05		SLU_06		SLU_07		SLU_08	
Carico		γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ
<b>G1</b>	DEAD	1.3	1	1.3	1	1.3	1	1.3	1	1.3	1	1.3	1	1.3	1	1.3	1
	Sp. statica terreno (S_K0)	1.3	1	1.3	1	1.3	1	1.3	1	1.3	1	1.3	1	1.3	1	1.3	1
	Sp. statica acqua (S_W)	1.3	1	1.3	1	1.3	1	1.3	1	1.3	0	1.3	0	1.3	0	1.3	0
<b>Q</b>	Vento_Y	1.5	1	1.5	1	1.5	0.6	1.5	0.6	1.5	1	1.5	1	1.5	0.6	1.5	0.6
	Temperatura (ΔT)	1.5	0.6	1.5	-0.6	1.5	1	1.5	-1	1.5	0.6	1.5	-0.6	1.5	1	1.5	-1

## 9.2. Combinazioni di carico sismiche (SLV)

Per analizzare sismicamente la struttura della casa di guardia vengono create 2 combinazioni di carico. I coefficienti utilizzati per le varie combinazioni sono riportati nella tabella a seguire.

**Tabella 9-6: Combinazioni di carico sismiche (SLV)**

		MR +Z	MR -Z
SLV (Sismica)		SLV_01	SLV_02
Carico		γ	γ
<b>G1</b>	DEAD	1	1
	Sp. statica terreno (S_K0)	1	1
	Sp. statica acqua (S_W)	1	1
<b>E</b>	Inerzia struttura X	1	1
	Inerzia struttura Y	0.3	0.3
	Inerzia struttura Z	0.3	-0.3
	Inerzia massa acqua f_a,X	1	1
	Inerzia massa acqua f_a,Y	0.3	0.3
	Wood_X	1	1
	Wood_Y	0.3	0.3

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 58 di 147</p>

## 10. MODELLO

### 10.1. Geometria del manufatto

Per l'analisi strutturale degli sfioratori si decide di analizzare il manufatto di destra, essendo il più alto dei due e, quindi, il più sollecitato.

#### 10.1.1. Calice

Per ricostruire la geometria complessa dell'opera di scarico è stato utilizzato il disegno riportato a pag. 27 della relazione di calcolo sullo sfioratore a calice del 14-06-1979, riportato nella seguente figura. Le misure degli angoli  $\theta$  e dei raggi  $r$  usati per la costruzione del modello sono riportati in Tabella 10-1 e .

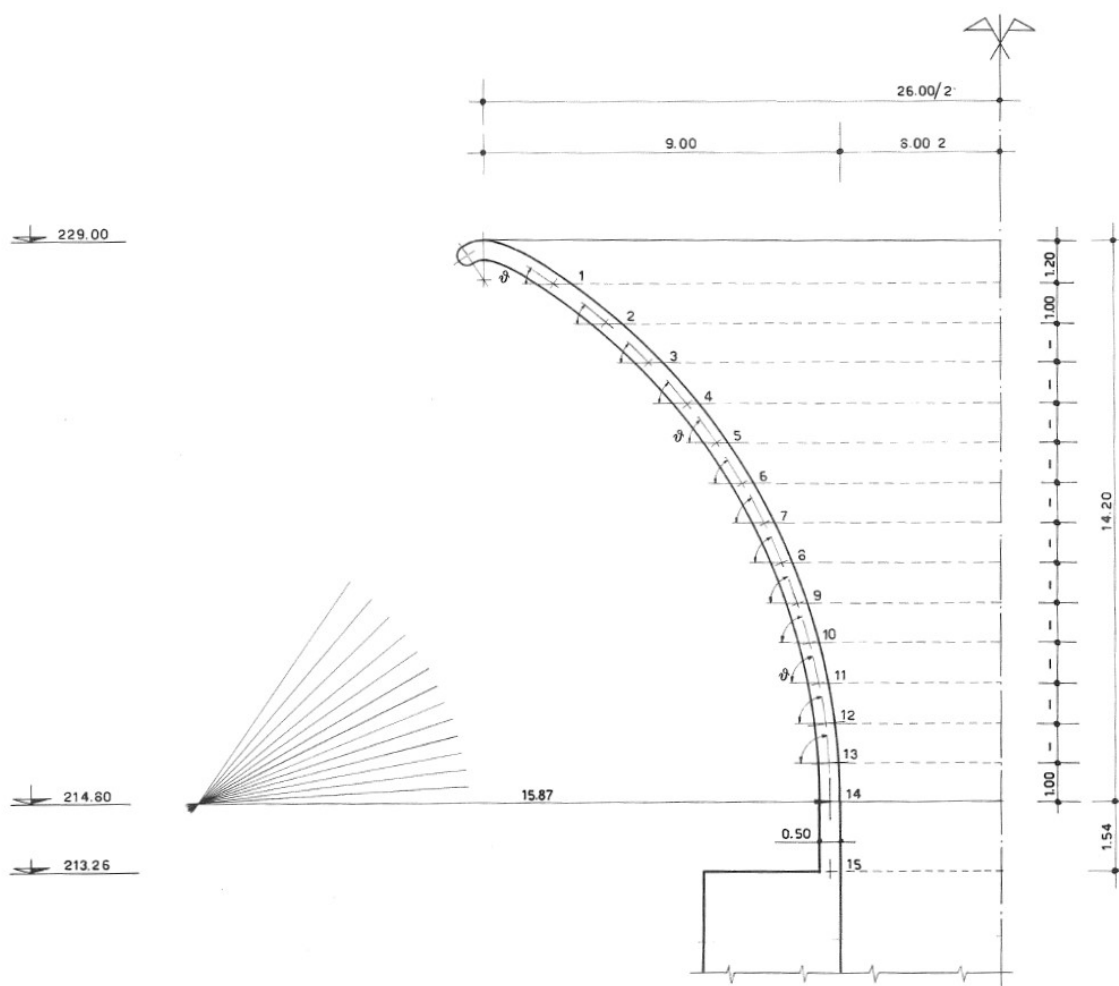
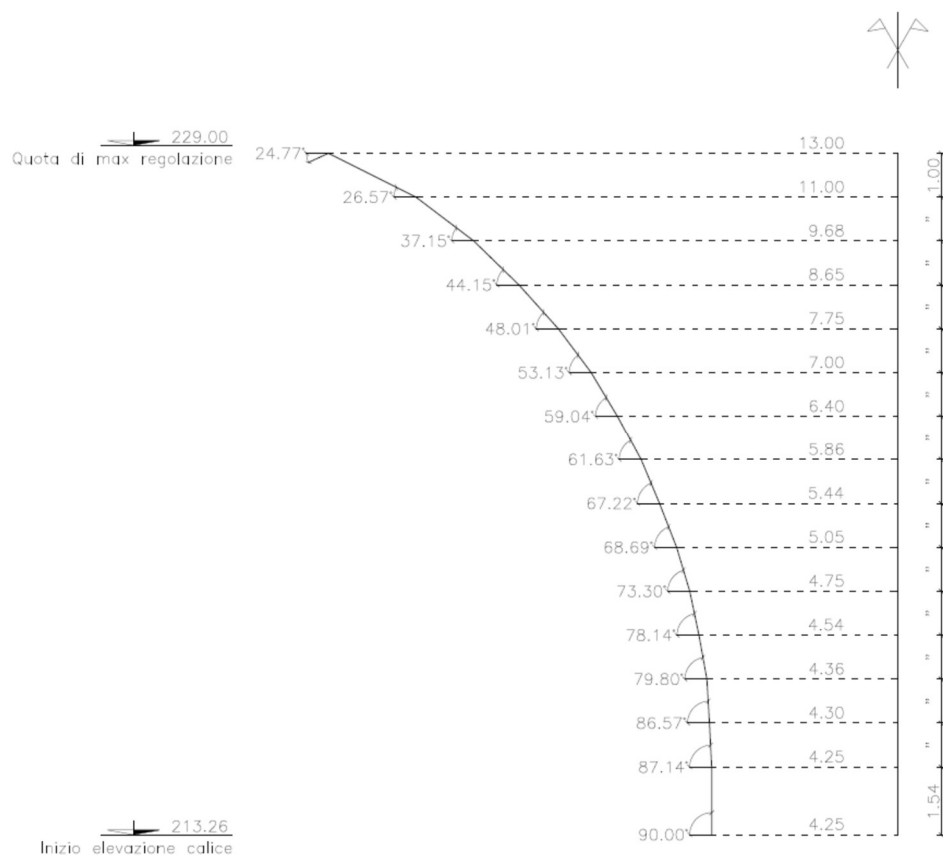




Figura 10.1: Geometria del calice di sfioro

**Tabella 10-1: Misure di angoli e raggi per la costruzione della geometria del calice**

Settore	$\theta$ [°]	$r$ [m]
1	26.57	11.00
2	37.15	9.68
3	44.15	8.65
4	48.01	7.75
5	53.13	7.00
6	59.04	6.40
7	61.63	5.86
8	67.22	5.44
9	68.69	5.05
10	73.30	4.75
11	78.14	4.54
12	79.80	4.36
13	86.57	4.30
14	87.14	4.25
15	90.00	4.25

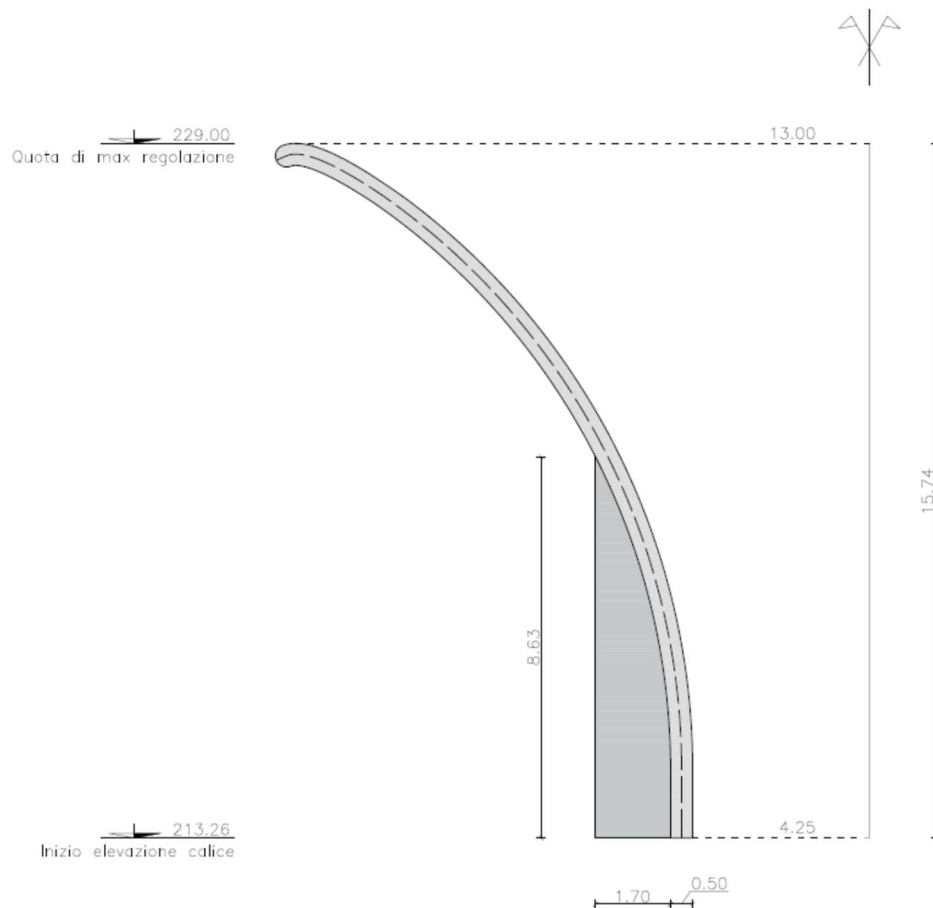


**Figura 10.2: Calice – Geometria del modello**

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 60 di 147</p>

### 10.1.2. Nervature



La base del calice è irrigidita per mezzo di 6 nervature in c.a., di spessore 40 cm, equamente distribuite lungo il perimetro del manufatto. In Figura 10.3 è mostrata una delle nervature del calice.

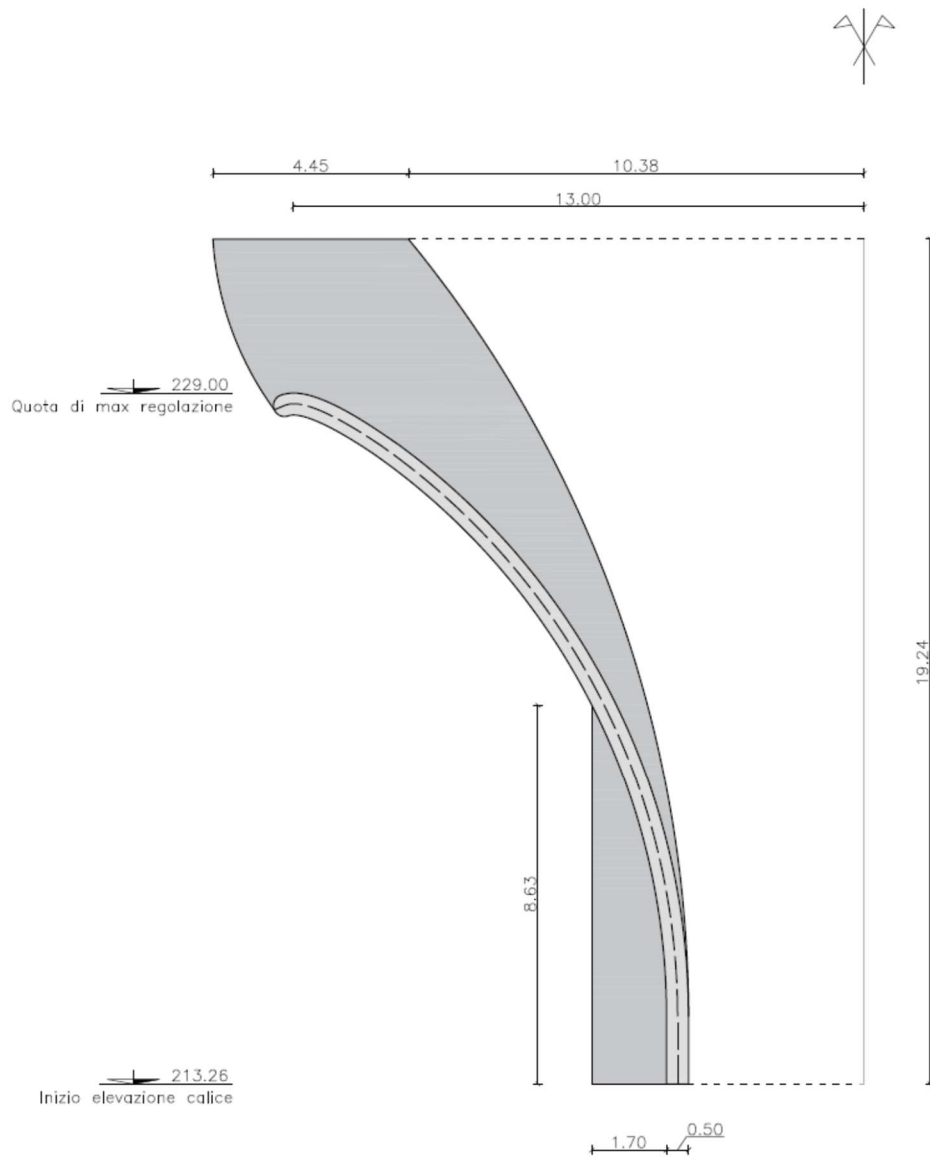


**Figura 10.3: Calice – Nervatura**

### 10.1.3. Setti antivortice



In corrispondenza delle sei nervature sono presenti, all'interno del calice, altrettanti setti antivortice in c.a., di spessore 40 cm e forma affusolata alle estremità. In Figura 10.4 è mostrato, assieme alla nervatura, anche uno dei setti antivortice.

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p><b>II122F</b> <b>A-SIS-RT-212-00</b></p>	<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA'</b> <b>TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</b></p>	<p><b>Pag. 61 di 147</b></p>



**Figura 10.4: Calice – Nervatura e setto antivortice**

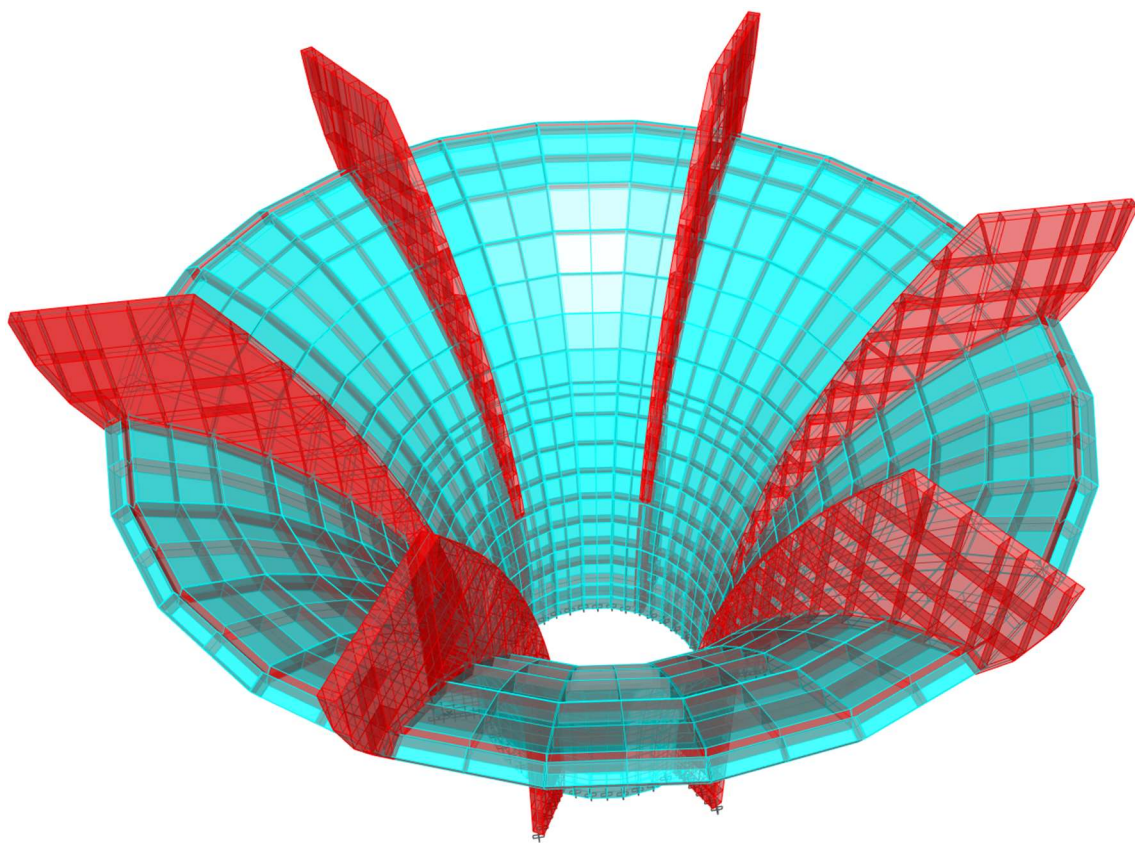


	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 62 di 147</p>



## 10.2. Modello per E.F.

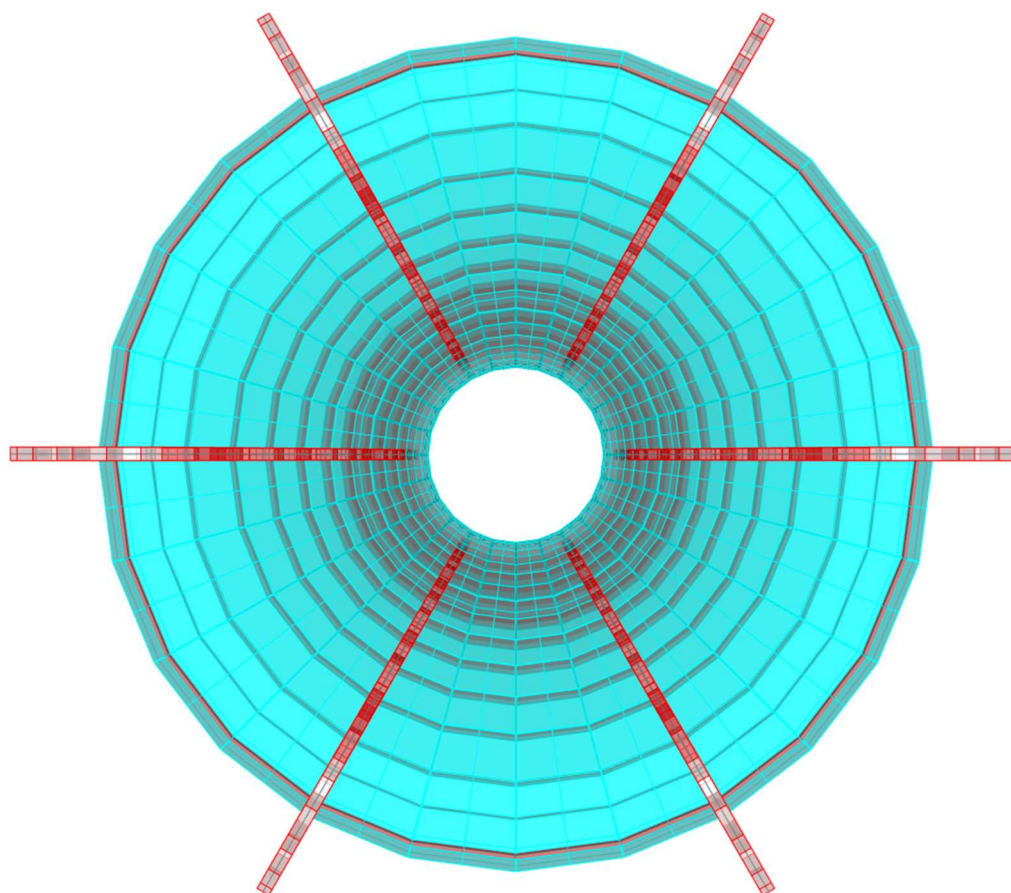
L'analisi strutturale del calice di sfioro è stata condotta con il software SAP2000, creando un modello ad elementi finiti. Il modello è stato creato interamente utilizzando elementi del tipo “thick shell”, per poter cogliere anche il comportamento a taglio delle parti. Nelle figure seguenti è mostrato lo schema del modello di calcolo.

Il modello, che si ferma a quota 213.26 m s.l.m., è stato vincolato per mezzo di incastri alla base.

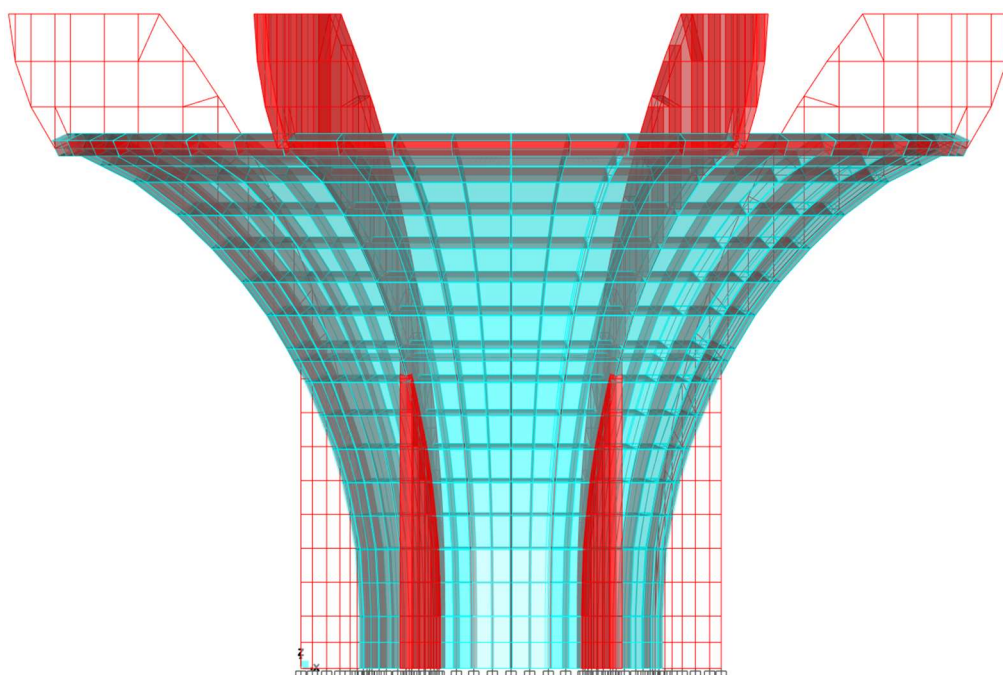


**Figura 10.5: Sfiatore a calice – Modello FEM completo**



	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 63 di 147</p>



**Figura 10.6: Sfiatore a calice – Modello FEM – Vista dall'alto**



**Figura 10.7: Sfiatore a calice – Modello FEM – Vista laterale**

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 64 di 147</p>

### 10.3. Definizione delle sezioni di verifica

Per l'analisi delle diverse parti della struttura vengono definite alcune “section cut” per calcolare le azioni agenti su specifiche sezioni del calice.

#### 10.3.1. Sezione a T

Per le sezioni in corrispondenza delle nervature del calice si utilizza un modello con sezione a T. Si definiscono 6 “section cut”, in corrispondenza delle 6 nervature, e a tre altezze differenti, per cogliere le variazioni di geometria e il cambio di diametri delle barre.

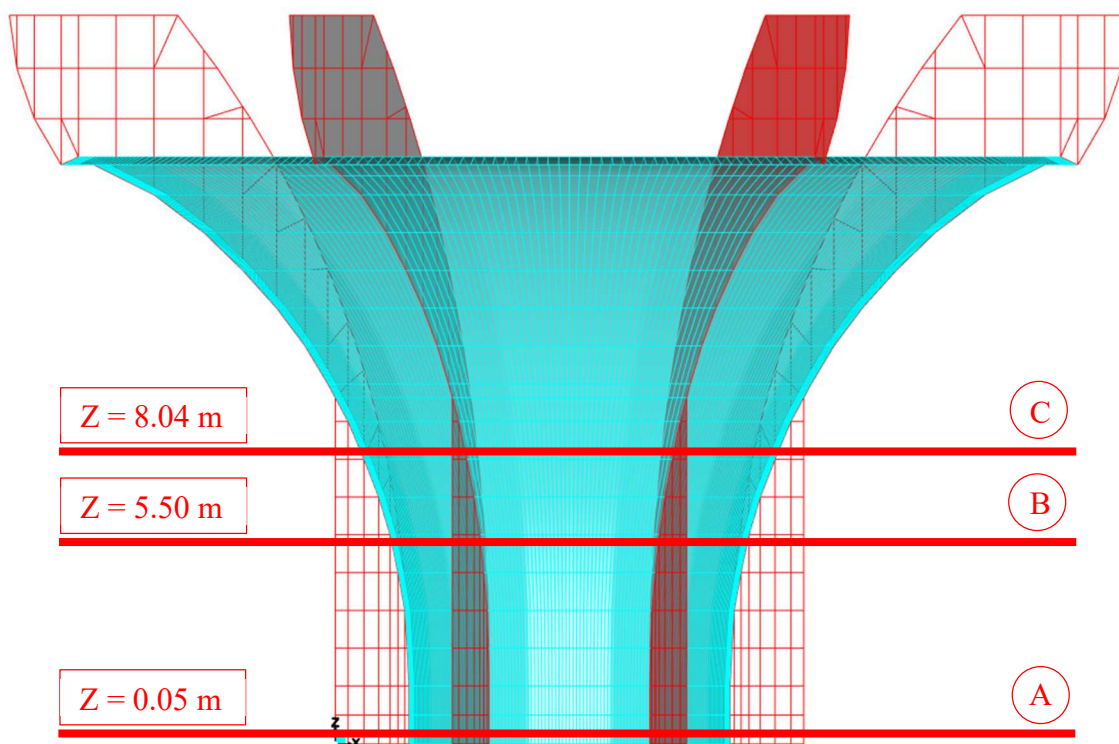


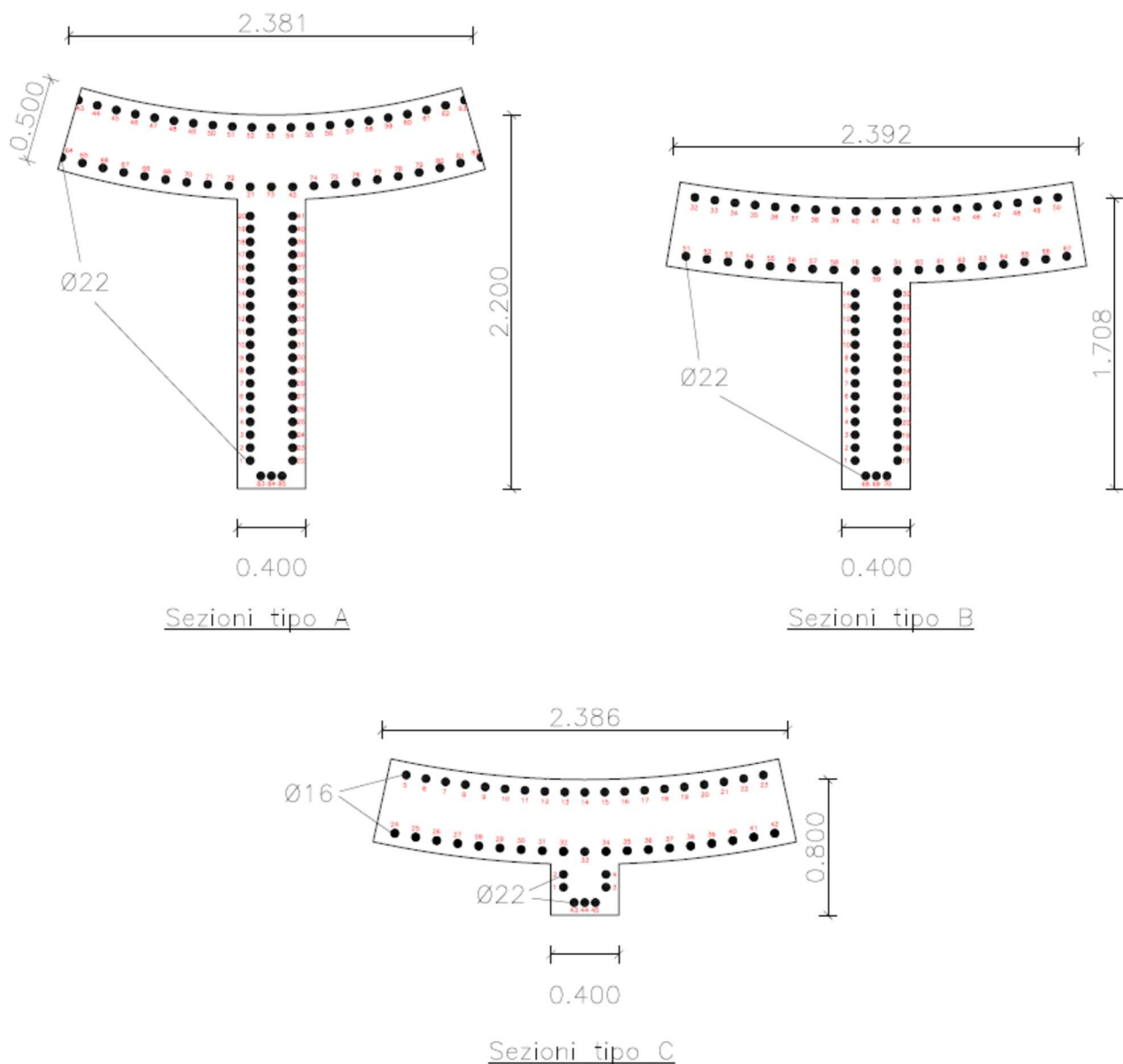


Figura 10.8: Posizione in altezza (asse Z) delle “section cut” delle sezioni a T

Le sezioni a T alle diverse altezze hanno caratteristiche geometriche diverse, come mostrato alla figura seguente.



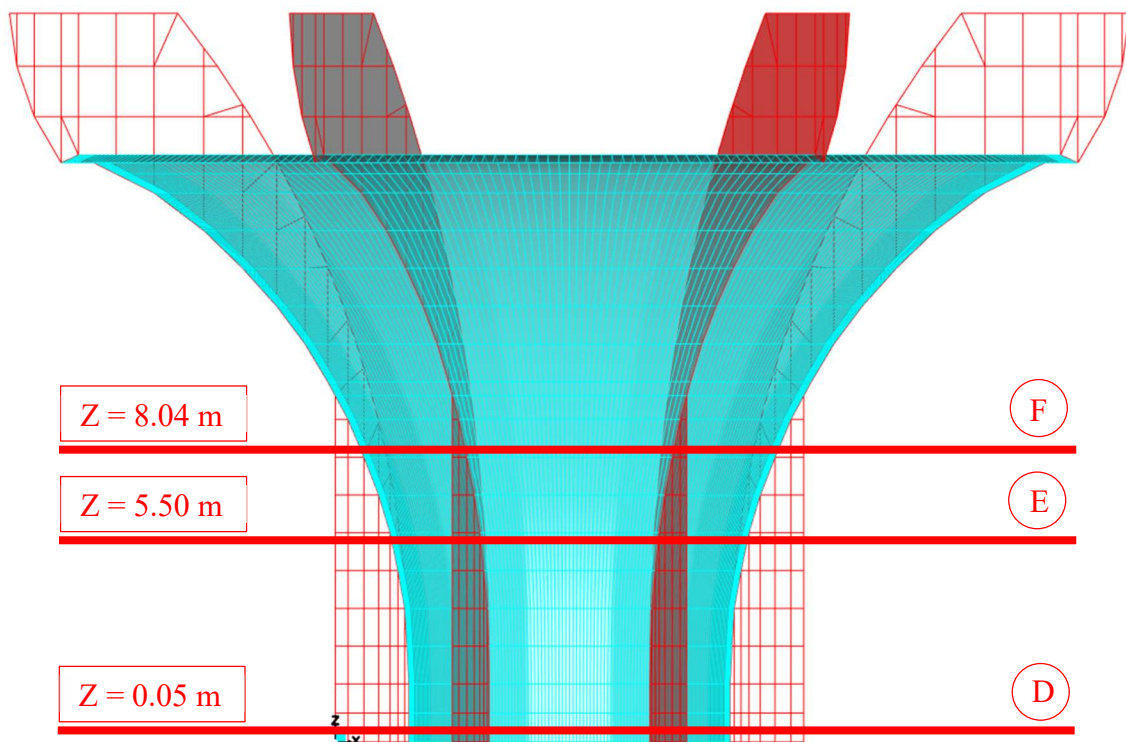
	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 65 di 147</p>



**Figura 10.9: Sezioni a T delle nervature, alle diverse altezze (A, B, C), con indicazione delle armature utilizzate**

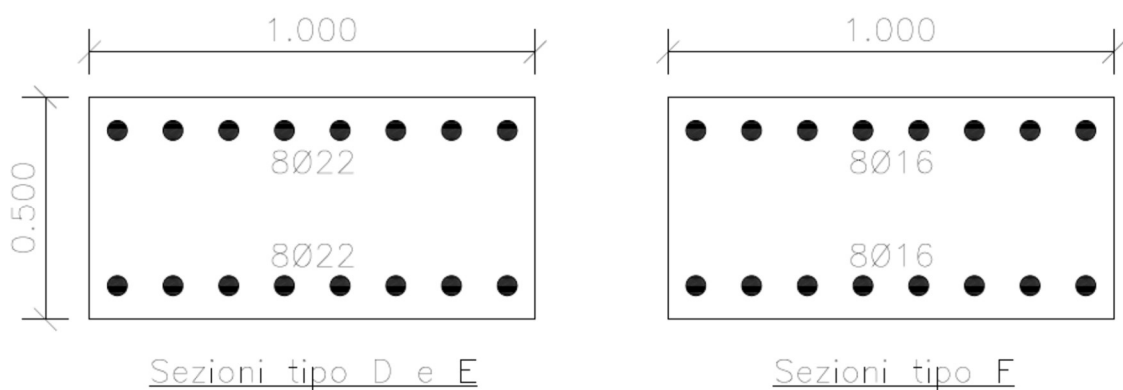
### 10.3.2. Sezione rettangolare orizzontale

Per le sezioni del calice non in corrispondenza delle nervature si utilizza un modello con sezione rettangolare di larghezza 1 m, che approssima adeguatamente la forma circolare del calice. Si definiscono 6 “section cut”, nelle porzioni di calice tra le nervature, e a tre altezze differenti, per cogliere le variazioni di geometria e il cambio di diametri delle barre. Le sezioni si trovano alle stesse altezze definite in precedenza.





**Figura 10.10:** Posizione in altezza (asse Z) delle “section cut” delle sezioni rettangolari

Le sezioni rettangolari alle diverse altezze hanno caratteristiche geometriche diverse, come mostrato alla figura seguente.

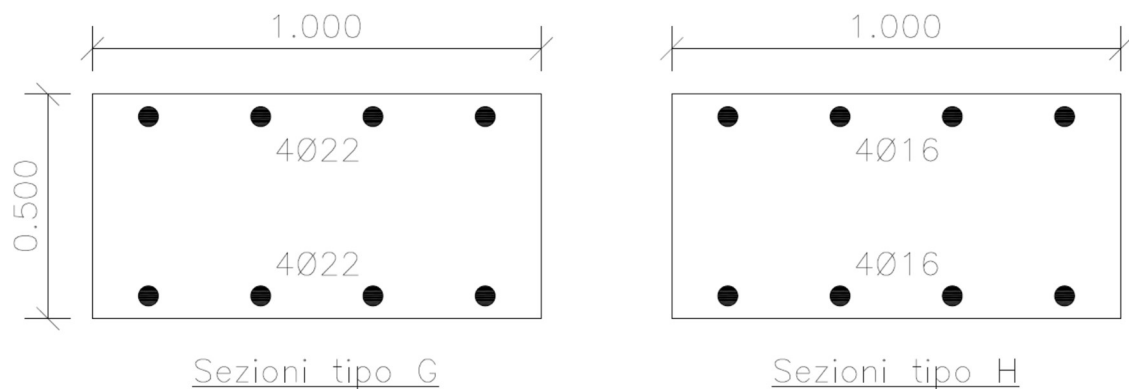


**Figura 10.11:** Sezioni rettangolari orizzontali, alle diverse altezze (D, E, F), con indicazione delle armature utilizzate

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 67 di 147</p>

### 10.3.3. Sezione rettangolare verticale

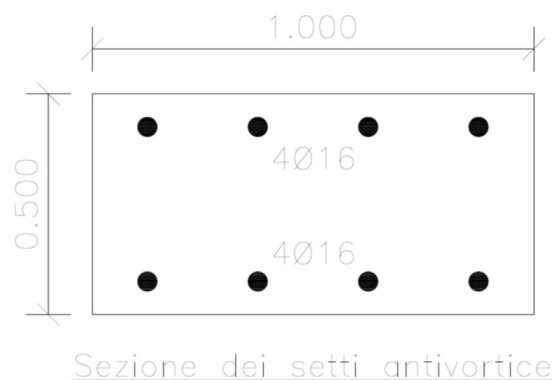
Per quanto riguarda la verifica del calice attraverso una sezione verticale si considera una sezione verticale di larghezza 1 m, come mostrato alla figura seguente.



**Figura 10.12: Sezioni rettangolari verticali, alle diverse altezze (G, H), con indicazione delle armature utilizzate**



### 10.3.4. Sezione dei setti antivortice

Per eseguire le verifiche dei setti antivortice all'interno del calice si utilizza una sezione di larghezza 1 metro, come mostrato alla seguente figura.



**Figura 10.13: Sezione di 1 metro lineare di setto antivortice con indicazione delle armature utilizzate**



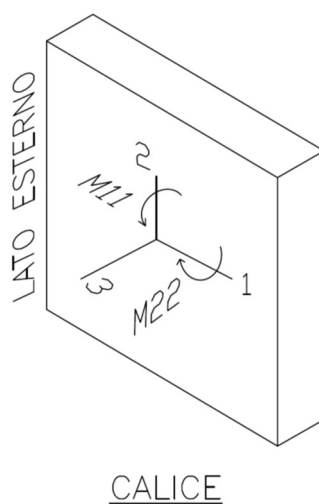
	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 68 di 147</p>

## 10.4. Risultati dell'analisi numerica

### 10.4.1. Analisi statica (SLU)

Si riportano in forma grafica i risultati più significativi in termini di azione assiale (N) momento flettente (M) e taglio (V) per le combinazioni risultate peggiori per la struttura.

Le convenzioni di segno con cui sono espressi gli output sono indicate nell'immagine sotto proposta. Le unità di misura sono [kN-m/m].



**Figura 10.14: Convenzioni di segno per i risultati degli elementi di tipo “shell”**

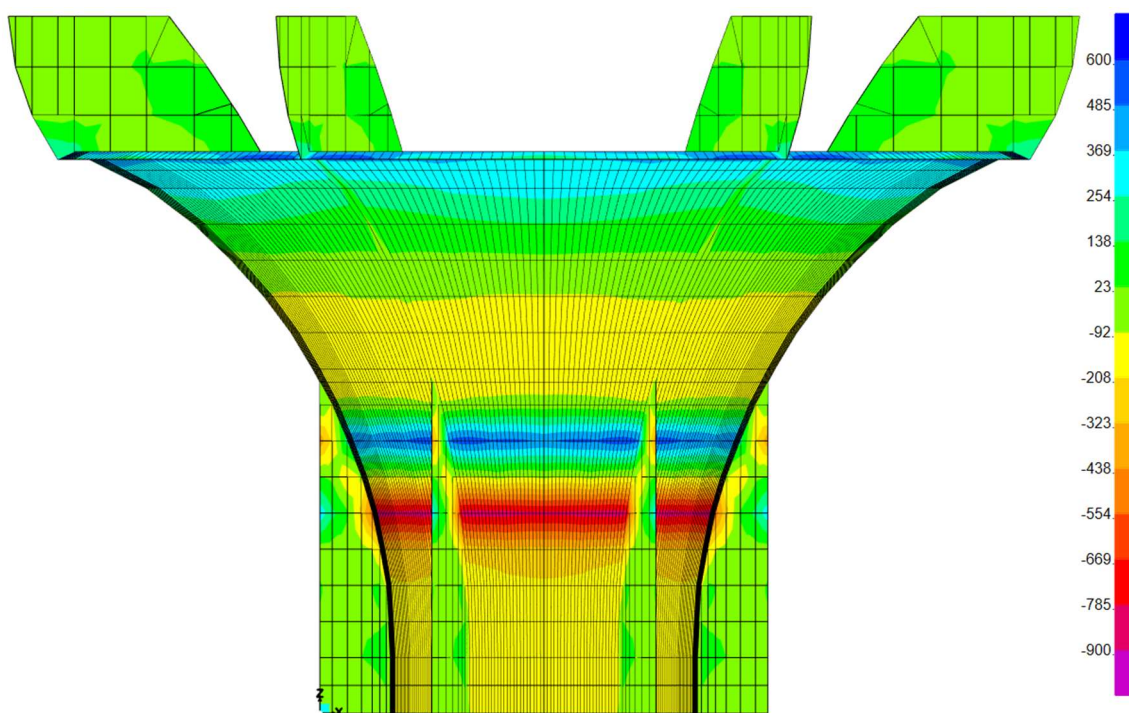


Figura 10.15: Combinazione SLU\_08 – Azione assiale F11

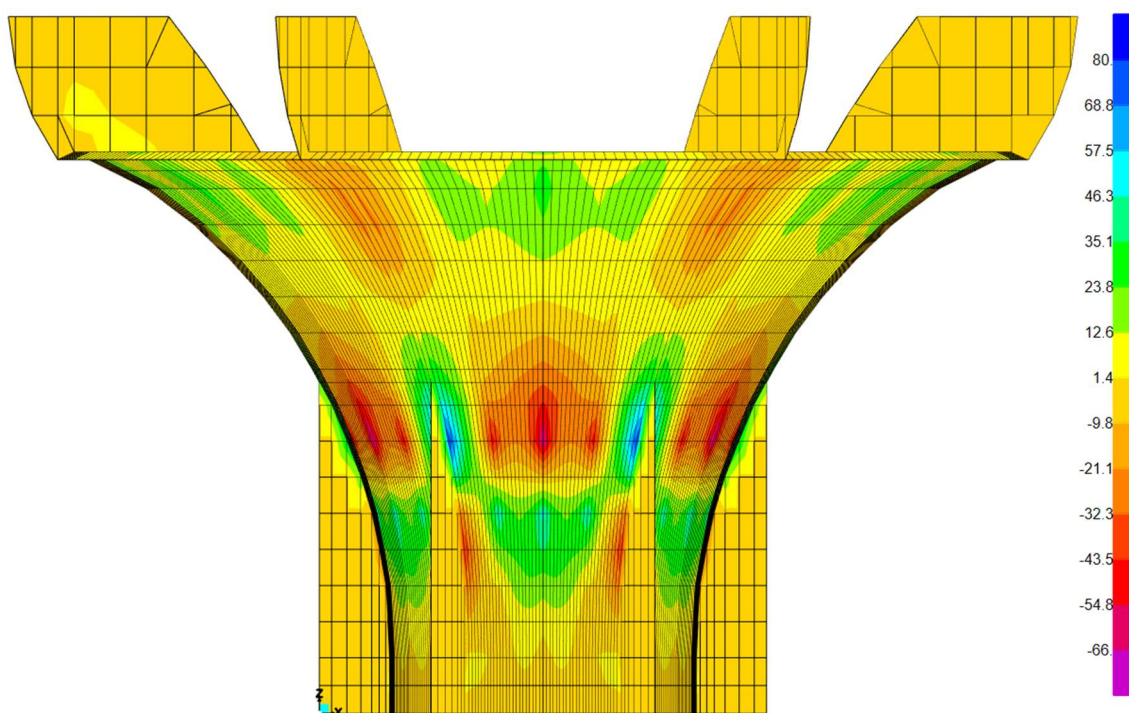


Figura 10.16: Combinazione SLU\_07 – Momento flettente M11

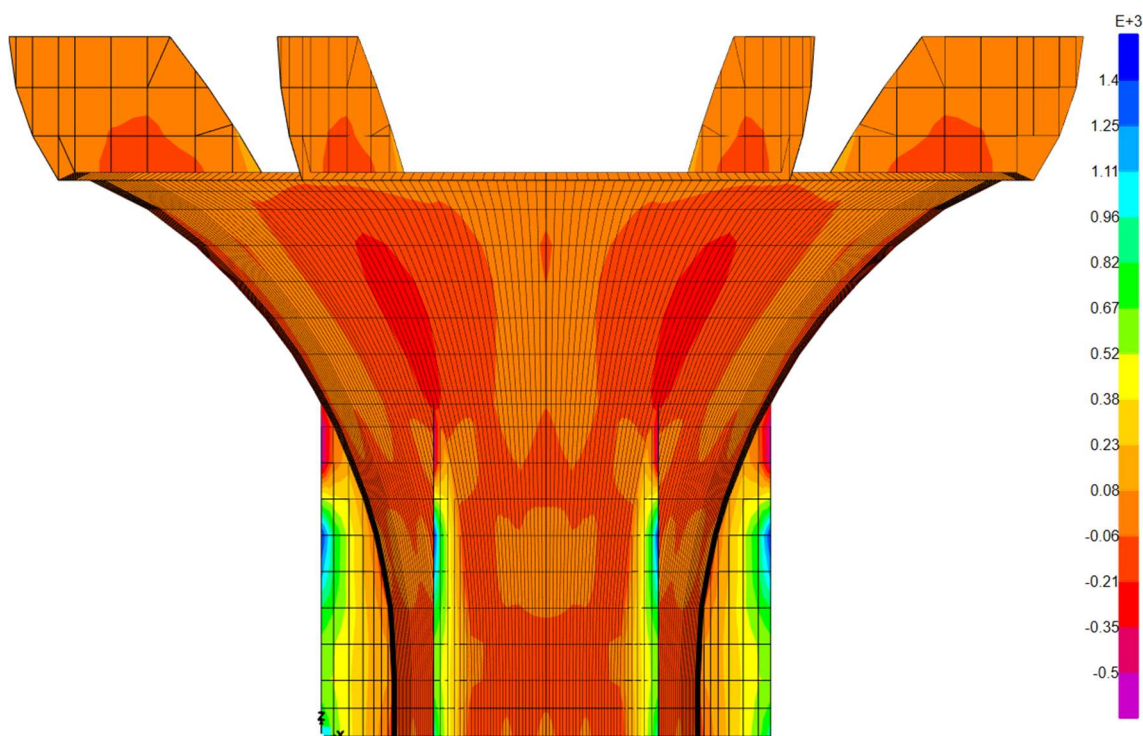


Figura 10.17: Combinazione SLU\_04 – Azione assiale F22

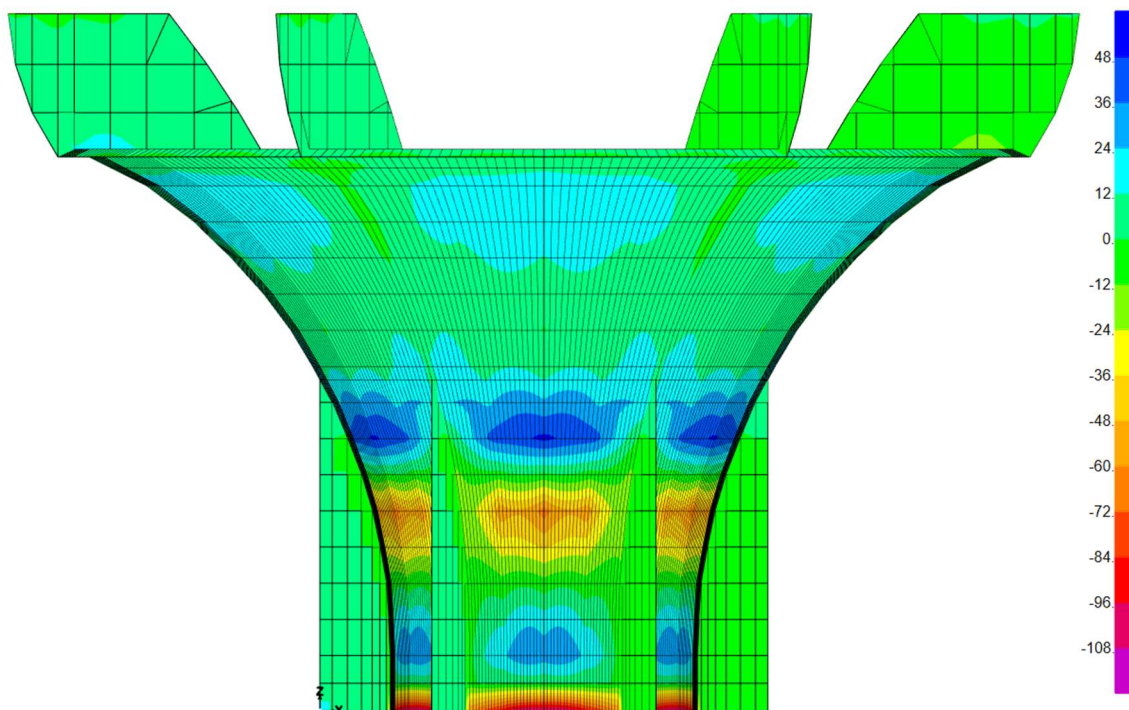


Figura 10.18: Combinazione SLU\_02 – Momento flettente M22



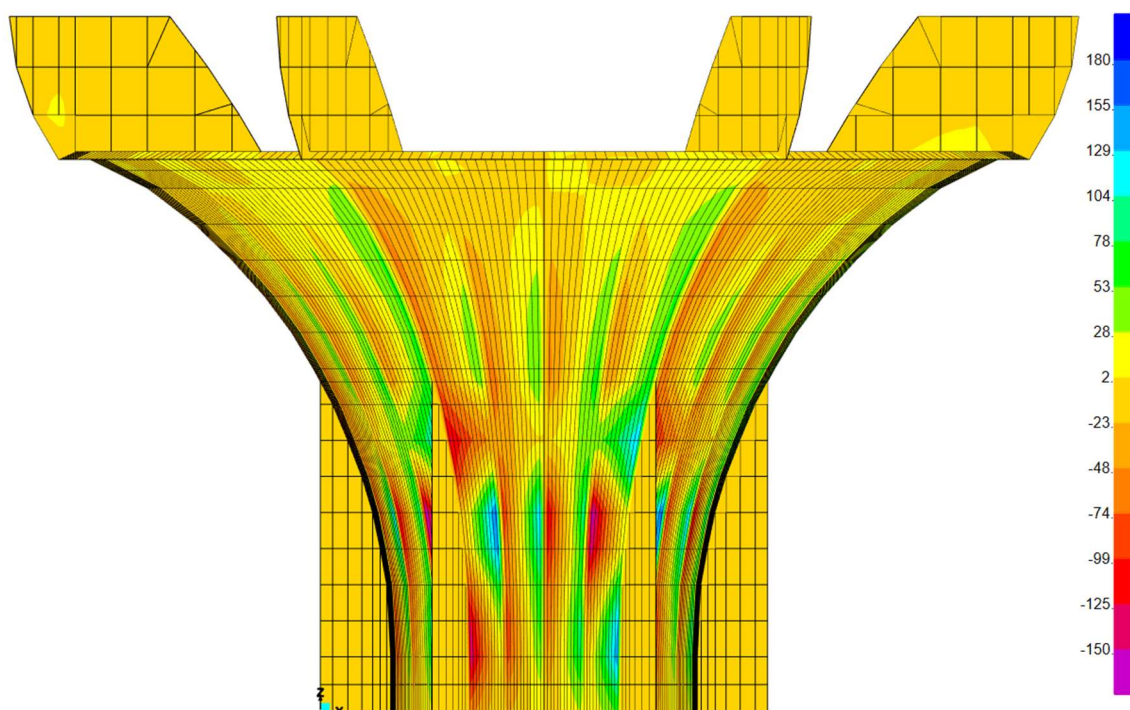


Figura 10.19: Combinazione SLU\_04 – Azioni di taglio V13

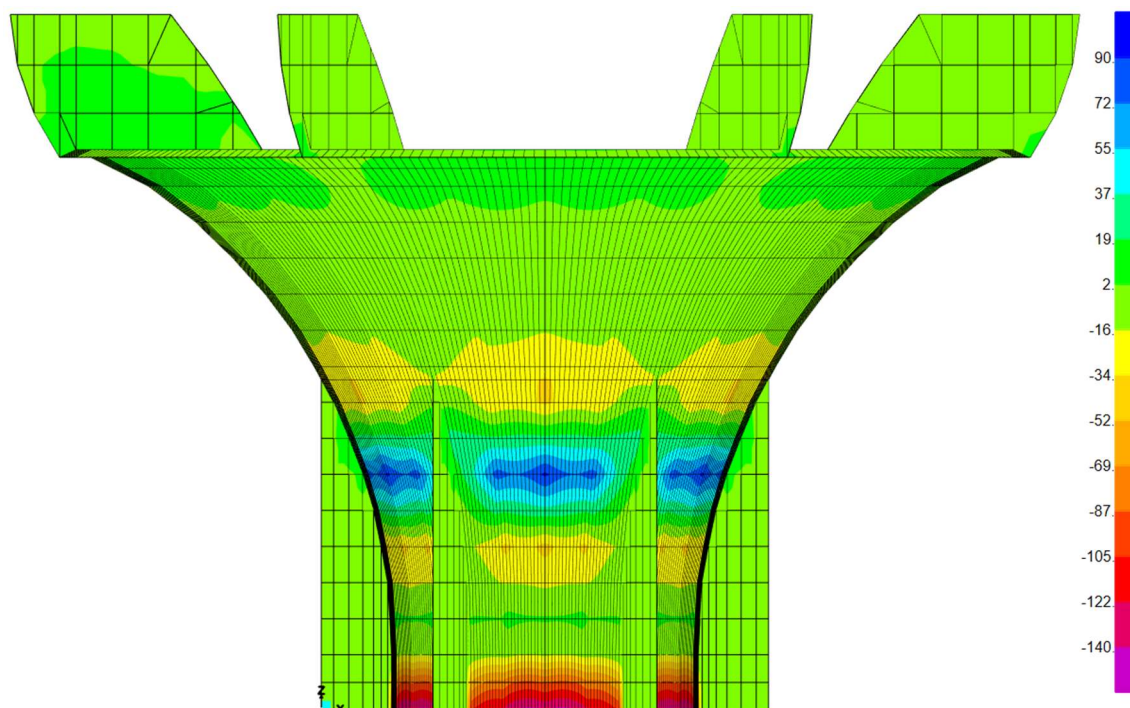
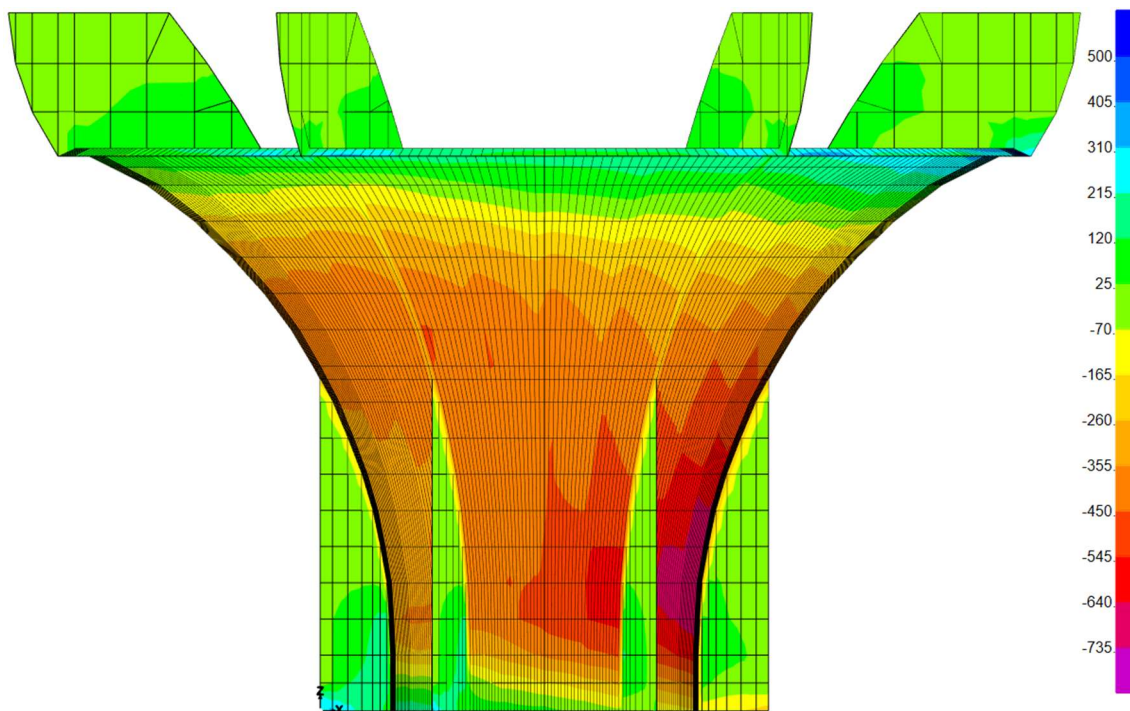


Figura 10.20: Combinazione SLU\_02 – Azioni di taglio V23

#### 10.4.2. Analisi sismica (SLV)

Si riportano in forma grafica i risultati più significativi in termini di azione assiale (N) momento flettente (M) e taglio (V) per le combinazioni risultate peggiori per la struttura.

Le convenzioni di segno con cui sono espressi gli output sono le stesse utilizzate per i risultati dell'analisi statica (SLU).



**Figura 10.21: Combinazione SLV\_01 – Azione assiale F11**



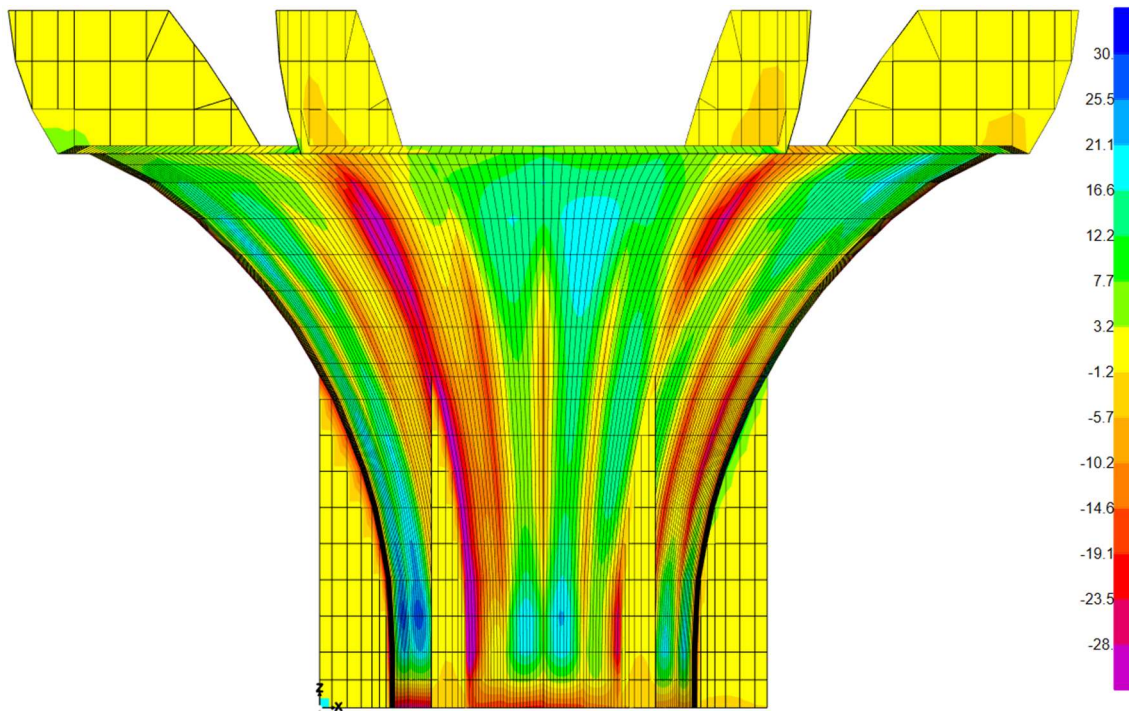


Figura 10.22: Combinazione SLV\_01 – Momento flettente M11

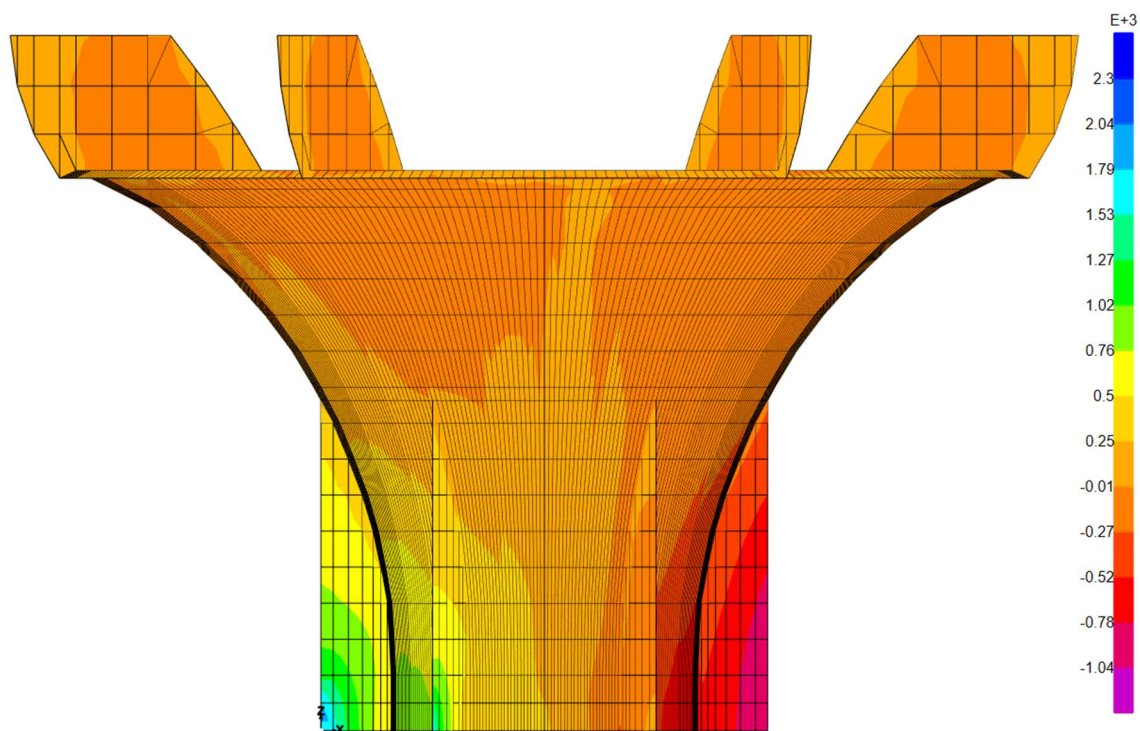


Figura 10.23: Combinazione SLV\_01 – Azione assiale F22



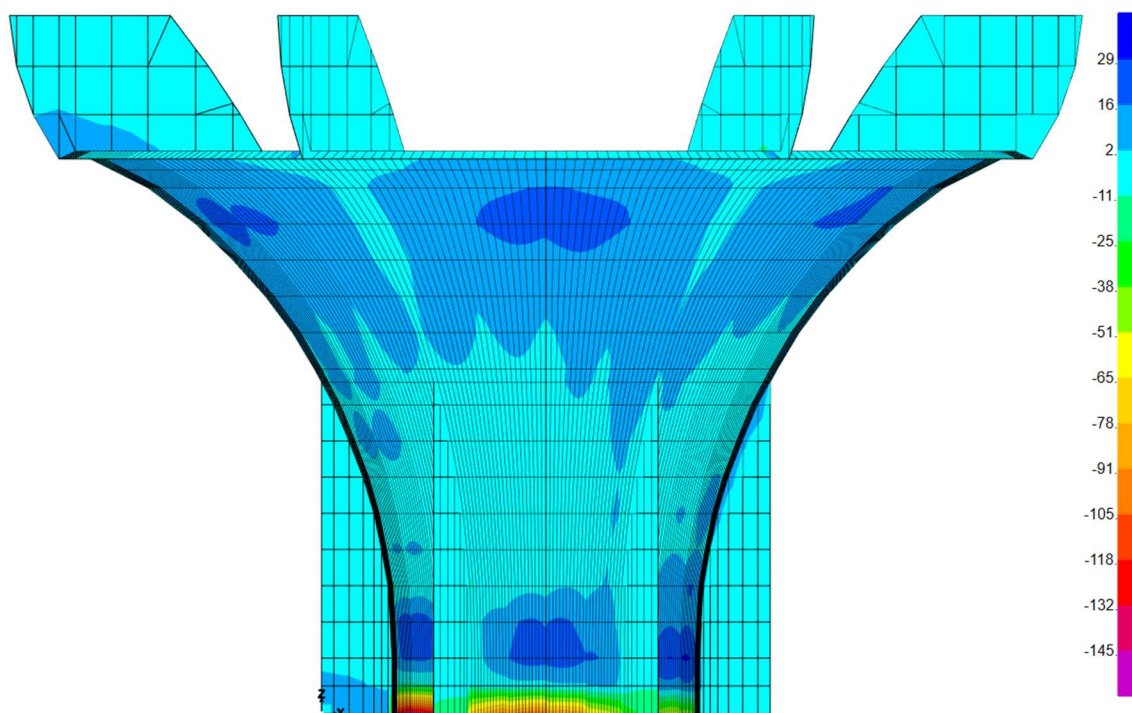


Figura 10.24: Combinazione SLV\_01 – Momento flettente M22

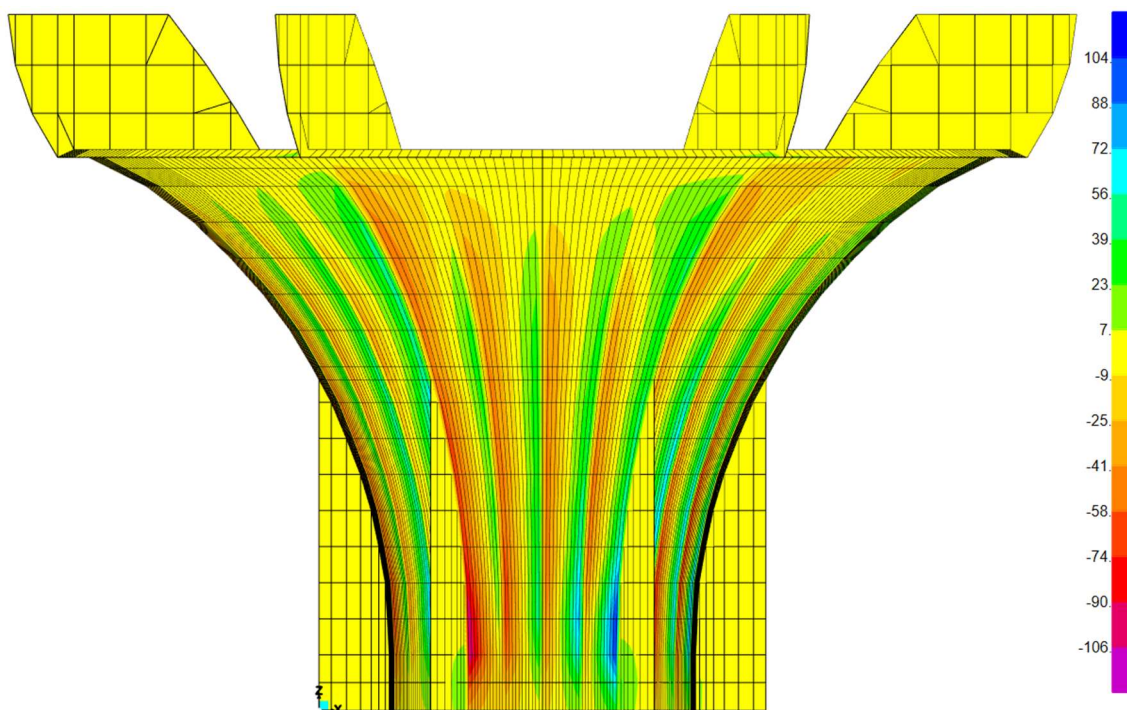


Figura 10.25: Combinazione SLV\_01 – Azione di taglio V13

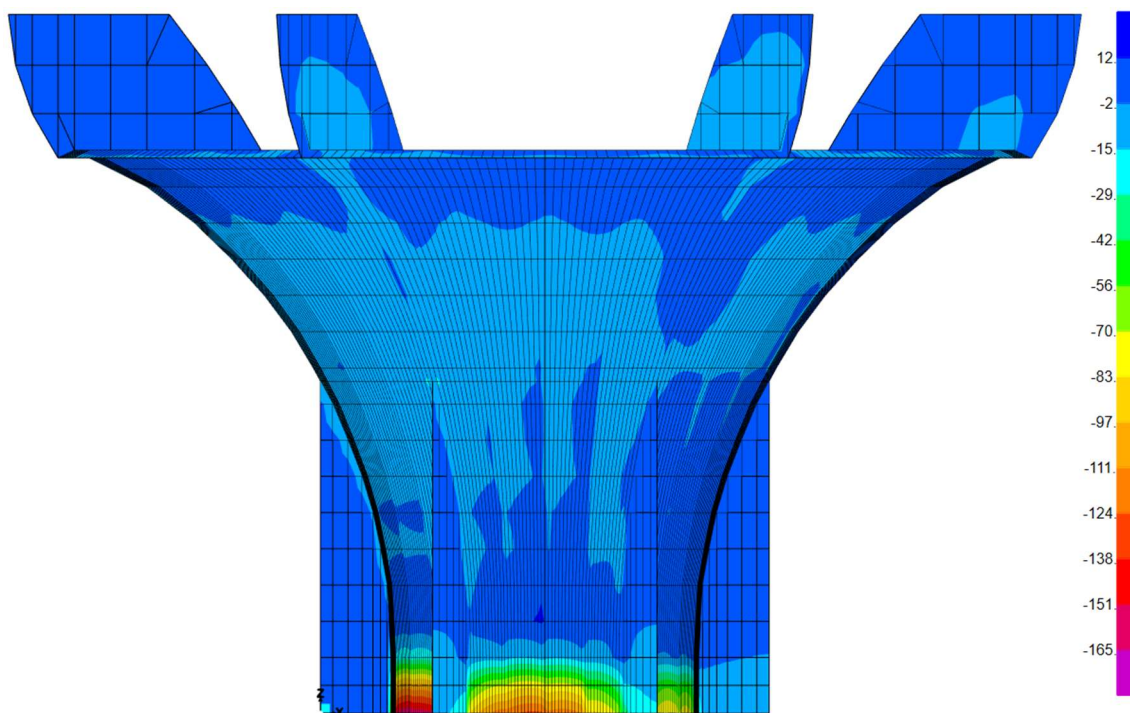




Figura 10.26: Combinazione SLV\_01 – Azione di taglio V23

#### 10.4.3. Azioni agenti sulle “section cut” definite nel modello

Nelle seguenti tabelle vengono riportate le azioni agenti sulle “section cut” definite in precedenza per tutte le combinazioni statiche (SLU) e sismiche (SLV).

**Tabella 10-2: Azioni agenti sulle sezioni a T per Z = 0.05 m**

Section cut	Combo	N [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	V <sub>y</sub> [kN]
A_01	SLU_01	38	29	-648	590
A_01	SLU_02	254	29	-876	375
A_01	SLU_03	-35	17	-572	662
A_01	SLU_04	326	17	-952	304
A_01	SLU_05	-2086	48	-90	110
A_01	SLU_06	-1870	48	-318	-105
A_01	SLU_07	-2128	29	-16	179
A_01	SLU_08	-1768	29	-395	-179
A_01	SLV_01	3917	187	-1363	857
A_01	SLV_02	3875	187	-1366	856
A_02	SLU_01	-280	17	-423	522
A_02	SLU_02	-141	17	-548	320
A_02	SLU_03	-260	10	-379	596
A_02	SLU_04	-29	10	-587	259
A_02	SLU_05	-2076	25	-305	75
A_02	SLU_06	-1938	25	-430	-128
A_02	SLU_07	-2036	15	-263	154
A_02	SLU_08	-1805	15	-471	-184
A_02	SLV_01	658	649	-365	432
A_02	SLV_02	618	649	-372	431
A_03	SLU_01	-280	-17	-423	522
A_03	SLU_02	-141	-17	-548	320
A_03	SLU_03	-260	-10	-379	596
A_03	SLU_04	-29	-10	-587	259
A_03	SLU_05	-2076	-25	-305	75
A_03	SLU_06	-1938	-25	-430	-128
A_03	SLU_07	-2036	-15	-263	154
A_03	SLU_08	-1805	-15	-471	-184
A_03	SLV_01	-2389	423	-358	24
A_03	SLV_02	-2428	423	-366	23
A_04	SLU_01	38	-29	-648	590
A_04	SLU_02	254	-29	-876	375
A_04	SLU_03	-35	-17	-572	662
A_04	SLU_04	326	-17	-952	304
A_04	SLU_05	-2086	-48	-90	110
A_04	SLU_06	-1870	-48	-318	-105
A_04	SLU_07	-2128	-29	-16	179
A_04	SLU_08	-1768	-29	-395	-179
A_04	SLV_01	-3511	-187	80	-40
A_04	SLV_02	-3554	-187	77	-41
A_05	SLU_01	50	-17	-411	553
A_05	SLU_02	188	-17	-537	351
A_05	SLU_03	-62	-10	-372	615
A_05	SLU_04	169	-10	-581	277
A_05	SLU_05	-1577	-28	-295	126
A_05	SLU_06	-1439	-28	-420	-76
A_05	SLU_07	-1737	-17	-257	185
A_05	SLU_08	-1506	-17	-465	-153
A_05	SLV_01	-745	-609	-366	233
A_05	SLV_02	-785	-609	-374	232
A_06	SLU_01	50	17	-411	553
A_06	SLU_02	188	17	-537	351
A_06	SLU_03	-62	10	-372	615
A_06	SLU_04	169	10	-581	277
A_06	SLU_05	-1577	28	-295	126
A_06	SLU_06	-1439	28	-420	-76
A_06	SLU_07	-1737	17	-257	185
A_06	SLU_08	-1506	17	-465	-153
A_06	SLV_01	2302	-462	-373	640
A_06	SLV_02	2262	-462	-380	639

	<p align="center">Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p align="center"><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p align="center"><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p align="center"><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p align="center">II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p align="center">RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p align="center">Pag. 77 di 147</p>



**Tabella 10-3: Azioni agenti sulle sezioni a T per Z = 5.50 m**

Section cut	Combo	N [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	V <sub>y</sub> [kN]	Section cut	Combo	N [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	V <sub>y</sub> [kN]
B_01	SLU_01	-51	-17	484	-212	B_04	SLU_01	-51	17	484	-212
B_01	SLU_02	282	-17	-537	-136	B_04	SLU_02	282	17	-537	-136
B_01	SLU_03	-162	-10	824	-238	B_04	SLU_03	-162	10	824	-238
B_01	SLU_04	394	-10	-878	-111	B_04	SLU_04	394	10	-878	-111
B_01	SLU_05	-1578	-34	471	153	B_04	SLU_05	-1578	34	471	153
B_01	SLU_06	-1244	-34	-550	230	B_04	SLU_06	-1244	34	-550	230
B_01	SLU_07	-1657	-20	807	125	B_04	SLU_07	-1657	20	807	125
B_01	SLU_08	-1101	-20	-895	251	B_04	SLU_08	-1101	20	-895	251
B_01	SLV_01	1928	-135	-144	-211	B_04	SLV_01	-1715	135	131	-66
B_01	SLV_02	1898	-135	-146	-206	B_04	SLV_02	-1744	135	129	-61
B_02	SLU_01	80	-11	228	-225	B_05	SLU_01	261	11	242	-237
B_02	SLU_02	-51	-11	-272	-108	B_05	SLU_02	130	11	-258	-119
B_02	SLU_03	160	-7	397	-266	B_05	SLU_03	269	7	405	-273
B_02	SLU_04	-59	-7	-435	-71	B_05	SLU_04	50	7	-427	-78
B_02	SLU_05	-1262	-28	87	127	B_05	SLU_05	-1004	6	105	114
B_02	SLU_06	-1393	-28	-412	244	B_05	SLU_06	-1135	6	-394	231
B_02	SLU_07	-1180	-17	257	87	B_05	SLU_07	-1026	4	268	79
B_02	SLU_08	-1399	-17	-575	283	B_05	SLU_08	-1244	4	-564	275
B_02	SLV_01	370	-411	16	-139	B_05	SLV_01	-187	406	-38	-139
B_02	SLV_02	342	-411	13	-135	B_05	SLV_02	-214	406	-41	-135
B_03	SLU_01	80	11	228	-225	B_06	SLU_01	261	-25	233	-237
B_03	SLU_02	-51	11	-272	-108	B_06	SLU_02	130	-18	-262	-119
B_03	SLU_03	160	7	397	-266	B_06	SLU_03	269	-21	397	-273
B_03	SLU_04	-59	7	-435	-71	B_06	SLU_04	50	-9	-428	-78
B_03	SLU_05	-1262	28	87	127	B_06	SLU_05	-1004	49	136	114
B_03	SLU_06	-1393	28	-412	244	B_06	SLU_06	-1135	56	-359	231
B_03	SLU_07	-1180	17	257	87	B_06	SLU_07	-1026	52	300	79
B_03	SLU_08	-1399	17	-575	283	B_06	SLU_08	-1244	64	-525	275
B_03	SLV_01	-973	-303	-93	-106	B_06	SLV_01	1155	245	35	-172
B_03	SLV_02	-1000	-303	-96	-102	B_06	SLV_02	1128	246	32	-168



**Tabella 10-4: Azioni agenti sulle sezioni a T per Z = 8.04 m**

Section cut	Combo	N [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	V <sub>y</sub> [kN]	Section cut	Combo	N [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	V <sub>y</sub> [kN]
C_01	SLU_01	-11	5	-54	-50	C_04	SLU_01	-11	-5	-54	-50
C_01	SLU_02	-97	5	123	-65	C_04	SLU_02	-97	-5	123	-65
C_01	SLU_03	17	3	-113	-45	C_04	SLU_03	17	-3	-113	-45
C_01	SLU_04	-126	3	182	-70	C_04	SLU_04	-126	-3	182	-70
C_01	SLU_05	-839	4	-79	333	C_04	SLU_05	-839	-4	-79	333
C_01	SLU_06	-924	4	98	318	C_04	SLU_06	-924	-4	98	318
C_01	SLU_07	-790	2	-139	332	C_04	SLU_07	-790	-2	-139	332
C_01	SLU_08	-933	2	155	308	C_04	SLU_08	-933	-2	155	308
C_01	SLV_01	670	-3	-12	-232	C_04	SLV_01	-742	3	69	135
C_01	SLV_02	651	-3	-11	-225	C_04	SLV_02	-760	3	69	142
C_02	SLU_01	-169	0	-3	-45	C_05	SLU_01	-96	0	-3	-68
C_02	SLU_02	-73	0	96	-54	C_05	SLU_02	0	0	96	-76
C_02	SLU_03	-186	0	-36	-47	C_05	SLU_03	-142	0	-36	-60
C_02	SLU_04	-27	0	129	-61	C_05	SLU_04	17	0	129	-75
C_02	SLU_05	-807	-6	-82	316	C_05	SLU_05	-712	-6	-81	287
C_02	SLU_06	-711	-6	17	307	C_05	SLU_06	-617	-6	18	278
C_02	SLU_07	-828	-3	-115	316	C_05	SLU_07	-771	-3	-115	298
C_02	SLU_08	-669	-3	50	302	C_05	SLU_08	-612	-4	50	284
C_02	SLV_01	-13	18	31	-55	C_05	SLV_01	-100	-18	38	-44
C_02	SLV_02	-29	18	31	-49	C_05	SLV_02	-117	-18	38	-37
C_03	SLU_01	-169	0	-3	-45	C_06	SLU_01	-96	0	-3	-68
C_03	SLU_02	-73	0	96	-54	C_06	SLU_02	0	0	96	-76
C_03	SLU_03	-186	0	-36	-47	C_06	SLU_03	-142	0	-36	-60
C_03	SLU_04	-27	0	129	-61	C_06	SLU_04	17	0	129	-75
C_03	SLU_05	-807	6	-82	316	C_06	SLU_05	-712	6	-81	287
C_03	SLU_06	-711	6	17	307	C_06	SLU_06	-617	6	18	278
C_03	SLU_07	-828	3	-115	316	C_06	SLU_07	-771	3	-115	298
C_03	SLU_08	-669	3	50	302	C_06	SLU_08	-612	4	50	284
C_03	SLV_01	-365	2	36	39	C_06	SLV_01	252	-2	34	-138
C_03	SLV_02	-381	2	35	46	C_06	SLV_02	236	-2	33	-132

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 79 di 147</p>



**Tabella 10-5: Azioni agenti sulle sezioni rettangolari orizzontali per  $Z = 0.05$  m**

Section cut	Combo	N [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	V <sub>y</sub> [kN]	Section cut	Combo	N [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	V <sub>y</sub> [kN]
D_01	SLU_01	24	-5	-1	52	D_04	SLU_01	-58	6	104	-213
D_01	SLU_02	-81	-5	2	51	D_04	SLU_02	47	6	101	-213
D_01	SLU_03	68	-3	-2	52	D_04	SLU_03	-84	4	104	-213
D_01	SLU_04	-107	-3	2	52	D_04	SLU_04	91	4	100	-212
D_01	SLU_05	-455	-11	-1	-6	D_04	SLU_05	397	9	8	-18
D_01	SLU_06	-560	-11	1	-6	D_04	SLU_06	502	9	5	-17
D_01	SLU_07	-403	-7	-2	-5	D_04	SLU_07	373	5	8	-17
D_01	SLU_08	-578	-7	2	-6	D_04	SLU_08	548	5	3	-16
D_01	SLV_01	603	-106	-11	75	D_04	SLV_01	591	118	44	-132
D_01	SLV_02	593	-106	-12	75	D_04	SLV_02	602	118	44	-132
D_02	SLU_01	-4	0	0	51	D_05	SLU_01	-86	0	105	-214
D_02	SLU_02	-109	0	2	50	D_05	SLU_02	19	0	102	-214
D_02	SLU_03	52	0	-2	52	D_05	SLU_03	-101	0	105	-214
D_02	SLU_04	-124	0	3	51	D_05	SLU_04	74	0	100	-213
D_02	SLU_05	-478	0	0	-9	D_05	SLU_05	336	0	9	-19
D_02	SLU_06	-583	0	2	-9	D_05	SLU_06	441	0	6	-18
D_02	SLU_07	-417	0	-2	-7	D_05	SLU_07	337	0	9	-18
D_02	SLU_08	-592	0	3	-8	D_05	SLU_08	512	0	4	-17
D_02	SLV_01	-269	-138	6	25	D_05	SLV_01	-221	161	92	-178
D_02	SLV_02	-280	-138	6	25	D_05	SLV_02	-210	161	91	-177
D_03	SLU_01	24	5	-1	52	D_06	SLU_01	-58	-6	104	-213
D_03	SLU_02	-81	5	2	51	D_06	SLU_02	47	-6	101	-213
D_03	SLU_03	68	3	-2	52	D_06	SLU_03	-84	-4	104	-213
D_03	SLU_04	-107	3	2	52	D_06	SLU_04	91	-4	100	-212
D_03	SLU_05	-455	11	-1	-6	D_06	SLU_05	397	-9	8	-18
D_03	SLU_06	-560	11	1	-6	D_06	SLU_06	502	-9	5	-17
D_03	SLU_07	-403	7	-2	-5	D_06	SLU_07	373	-5	8	-17
D_03	SLU_08	-578	7	2	-6	D_06	SLU_08	548	-5	3	-16
D_03	SLV_01	-824	-28	15	-4	D_06	SLV_01	-836	42	135	-220
D_03	SLV_02	-834	-28	15	-4	D_06	SLV_02	-826	42	135	-220





**Tabella 10-6: Azioni agenti sulle sezioni rettangolari orizzontali per Z = 5.50 m**

Section cut	Combo	N [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	V <sub>y</sub> [kN]	Section cut	Combo	N [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	V <sub>y</sub> [kN]
E_01	SLU_01	36	-10	43	-49	E_04	SLU_01	-75	9	-27	-58
E_01	SLU_02	-20	-10	-49	-75	E_04	SLU_02	-19	9	28	-33
E_01	SLU_03	60	-6	74	-42	E_04	SLU_03	-88	6	-45	-68
E_01	SLU_04	-33	-6	-80	-85	E_04	SLU_04	5	6	46	-25
E_01	SLU_05	-339	-17	49	93	E_04	SLU_05	316	16	-26	-90
E_01	SLU_06	-395	-17	-43	67	E_04	SLU_06	372	16	29	-64
E_01	SLU_07	-309	-10	80	99	E_04	SLU_07	300	10	-44	-99
E_01	SLU_08	-402	-10	-74	56	E_04	SLU_08	393	10	47	-56
E_01	SLV_01	312	-164	-4	-116	E_04	SLV_01	259	154	-1	-98
E_01	SLV_02	304	-164	-4	-115	E_04	SLV_02	267	154	-1	-99
E_02	SLU_01	23	0	43	-47	E_05	SLU_01	-88	0	-27	-56
E_02	SLU_02	-33	0	-49	-72	E_05	SLU_02	-32	0	28	-30
E_02	SLU_03	52	0	74	-40	E_05	SLU_03	-96	0	-45	-67
E_02	SLU_04	-40	0	-80	-83	E_05	SLU_04	-3	0	46	-24
E_02	SLU_05	-331	0	48	91	E_05	SLU_05	263	0	-25	-78
E_02	SLU_06	-387	0	-44	65	E_05	SLU_06	319	0	30	-53
E_02	SLU_07	-305	0	79	98	E_05	SLU_07	269	0	-43	-92
E_02	SLU_08	-398	0	-75	55	E_05	SLU_08	362	0	48	-49
E_02	SLV_01	-107	-224	-2	-23	E_05	SLV_01	-154	210	1	-12
E_02	SLV_02	-115	-224	-2	-22	E_05	SLV_02	-146	210	1	-13
E_03	SLU_01	36	10	43	-49	E_06	SLU_01	-75	-9	-27	-58
E_03	SLU_02	-20	10	-49	-75	E_06	SLU_02	-19	-9	28	-33
E_03	SLU_03	60	6	74	-42	E_06	SLU_03	-88	-6	-45	-68
E_03	SLU_04	-33	6	-80	-85	E_06	SLU_04	5	-6	46	-25
E_03	SLU_05	-339	17	49	93	E_06	SLU_05	316	-16	-26	-90
E_03	SLU_06	-395	17	-43	67	E_06	SLU_06	372	-16	29	-64
E_03	SLU_07	-309	10	80	99	E_06	SLU_07	300	-10	-44	-99
E_03	SLU_08	-402	10	-74	56	E_06	SLU_08	393	-10	47	-56
E_03	SLV_01	-364	-47	0	31	E_06	SLV_01	-417	50	0	41
E_03	SLV_02	-372	-47	0	33	E_06	SLV_02	-409	50	0	39

	<p align="center">Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p align="center"><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p align="center"><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p align="center"><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p align="center">II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p align="center">RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p align="right">Pag. 81 di 147</p>

**Tabella 10-7: Azioni agenti sulle sezioni rettangolari orizzontali per Z = 8.04 m**

Section cut	Combo	N [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	V <sub>y</sub> [kN]	Section cut	Combo	N [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	V <sub>y</sub> [kN]
F_01	SLU_01	-3	-12	-33	-33	F_04	SLU_01	-45	10	51	-51
F_01	SLU_02	-76	-12	29	-39	F_04	SLU_02	27	10	-47	-45
F_01	SLU_03	26	-7	-54	-33	F_04	SLU_03	-65	6	84	-55
F_01	SLU_04	-95	-7	49	-43	F_04	SLU_04	57	6	-80	-45
F_01	SLU_05	-304	-15	-29	156	F_04	SLU_05	292	19	55	-144
F_01	SLU_06	-377	-15	33	150	F_04	SLU_06	365	19	-44	-137
F_01	SLU_07	-270	-9	-50	154	F_04	SLU_07	270	11	88	-147
F_01	SLU_08	-391	-9	53	144	F_04	SLU_08	391	11	-77	-136
F_01	SLV_01	161	-160	0	-115	F_04	SLV_01	174	143	5	-108
F_01	SLV_02	154	-160	0	-112	F_04	SLV_02	182	143	5	-111
F_02	SLU_01	-7	0	-34	-31	F_05	SLU_01	-49	0	51	-50
F_02	SLU_02	-80	0	28	-37	F_05	SLU_02	24	0	-48	-43
F_02	SLU_03	24	0	-55	-32	F_05	SLU_03	-67	0	84	-55
F_02	SLU_04	-97	0	49	-42	F_05	SLU_04	55	0	-81	-44
F_02	SLU_05	-284	0	-30	148	F_05	SLU_05	255	0	54	-129
F_02	SLU_06	-357	0	32	141	F_05	SLU_06	328	0	-45	-123
F_02	SLU_07	-258	0	-51	149	F_05	SLU_07	248	0	87	-138
F_02	SLU_08	-380	0	53	139	F_05	SLU_08	369	0	-77	-127
F_02	SLV_01	-99	-219	-3	4	F_05	SLV_01	-79	186	1	-9
F_02	SLV_02	-106	-219	-3	7	F_05	SLV_02	-72	186	1	-12
F_03	SLU_01	-3	12	-33	-33	F_06	SLU_01	-45	-10	51	-51
F_03	SLU_02	-76	12	29	-39	F_06	SLU_02	27	-10	-47	-45
F_03	SLU_03	26	7	-54	-33	F_06	SLU_03	-65	-6	84	-55
F_03	SLU_04	-95	7	49	-43	F_06	SLU_04	57	-6	-80	-45
F_03	SLU_05	-304	15	-29	156	F_06	SLU_05	292	-19	55	-144
F_03	SLU_06	-377	15	33	150	F_06	SLU_06	365	-19	-44	-137
F_03	SLU_07	-270	9	-50	154	F_06	SLU_07	270	-11	88	-147
F_03	SLU_08	-391	9	53	144	F_06	SLU_08	391	-11	-77	-136
F_03	SLV_01	-234	-48	-5	66	F_06	SLV_01	-220	46	-3	46
F_03	SLV_02	-241	-48	-5	70	F_06	SLV_02	-213	46	-3	43

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 82 di 147</p>

## 11. VERIFICHE STRUTTURALI

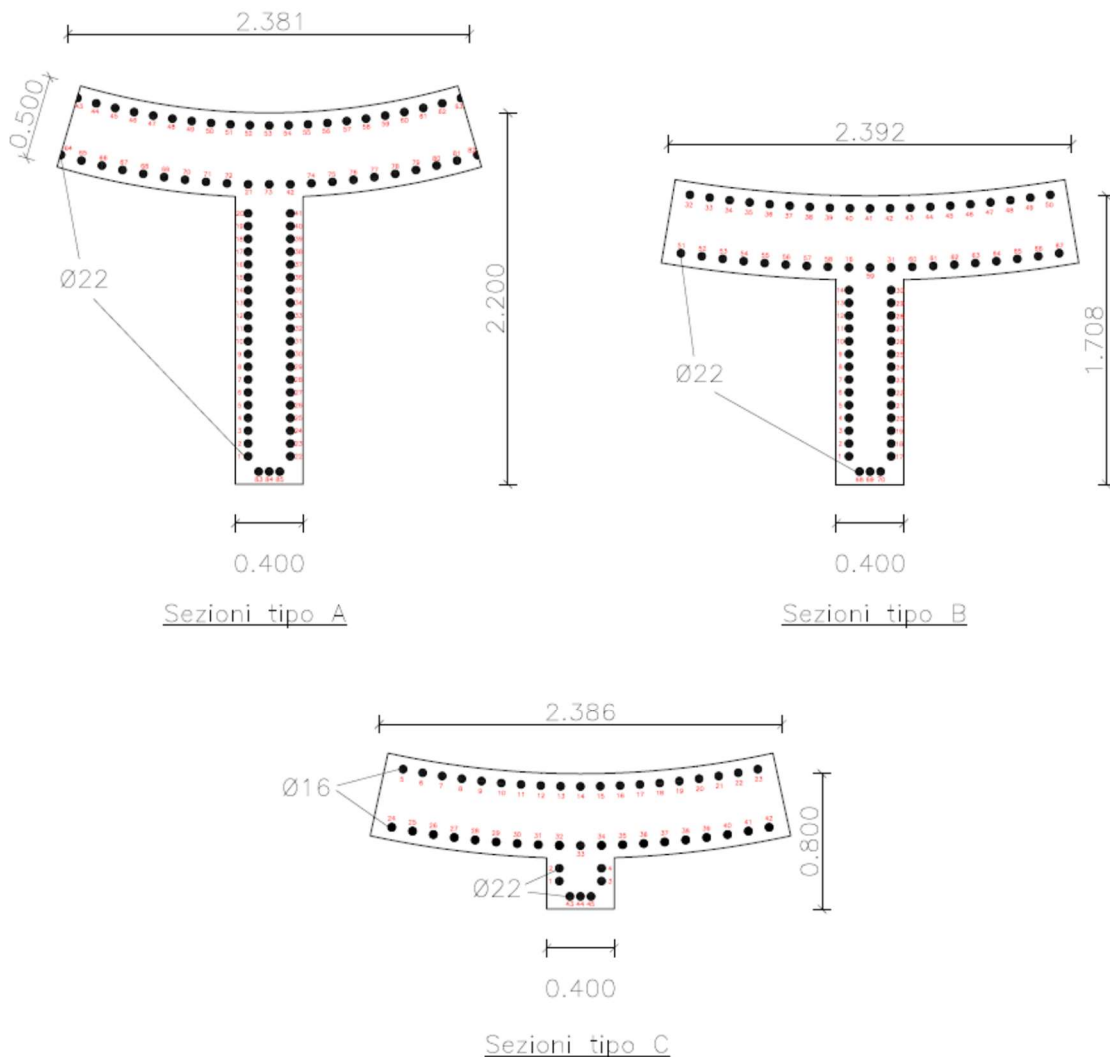
### 11.1. Verifiche statiche (SLU)

Le verifiche statiche sono effettuate considerando le barre d'armatura col loro diametro nominale rilevato in situ durante la campagna di indagine strutturale ed indicato sulle tavole del progetto esecutivo in possesso. Non si tiene in conto, per ora, della corrosione dell'acciaio che può avvenire durante la vita dell'opera.

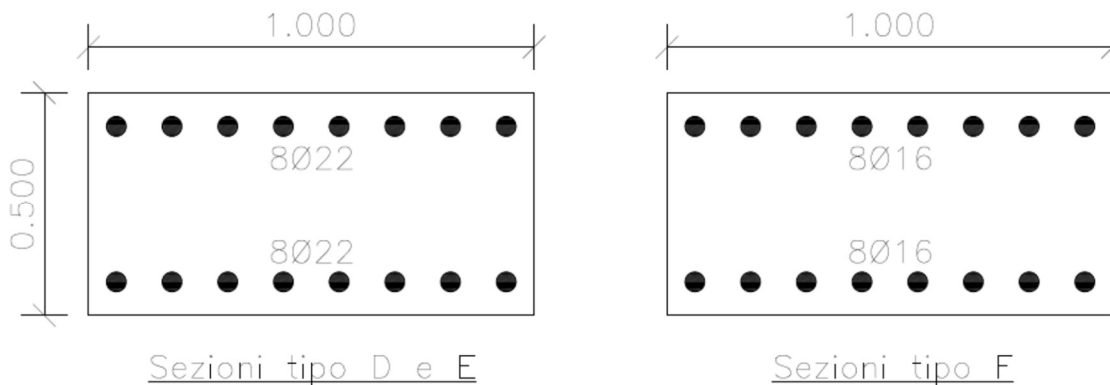
Le verifiche statiche (SLU) vengono effettuate sulle sezioni a T, quelle rettangolari orizzontali e verticali (come definite in precedenza) e sui setti antivortice:

- A. Sezione a T per  $Z = 0.05$  m: 85Ø22 lungo il perimetro della sezione, con un copriferro  $c = 7.50$  cm.
- B. Sezione a T per  $Z = 5.50$  m: 69Ø22 lungo il perimetro della sezione, con un copriferro  $c = 7.50$  cm.
- C. Sezione a T per  $Z = 8.04$  m: 7Ø22 nell'anima, 38Ø16 ai due lembi della piattabanda, con un copriferro  $c = 7.50$  cm.
- D. Sezione rettangolare orizzontale per  $Z = 0.05$  m: 8Ø22/m ad entrambi i lembi della sezione, con un copriferro  $c = 7.50$  cm.
- E. Sezione rettangolare orizzontale per  $Z = 5.50$  m: 8Ø22/m ad entrambi i lembi della sezione, con un copriferro  $c = 7.50$  cm.
- F. Sezione rettangolare orizzontale per  $Z = 8.04$  m: 8Ø16/m ad entrambi i lembi della sezione, con un copriferro  $c = 7.50$  cm.
- G. Sezione rettangolare verticale per  $Z < 6.00$  m: 4Ø22/m ad entrambi i lembi della sezione, con un copriferro  $c = 5.00$  cm.
- H. Sezione rettangolare verticale per  $Z > 6.00$  m: 4Ø16/m ad entrambi i lembi della sezione, con un copriferro  $c = 5.00$  cm.
- I. Sezione dei setti antivortice: 4Ø16/m ad entrambi i lembi della sezione, con un copriferro  $c = 7.50$  m.



Si riportano le sezioni appena definite nelle figure seguenti assieme a degli estratti dal progetto esecutivo originale.

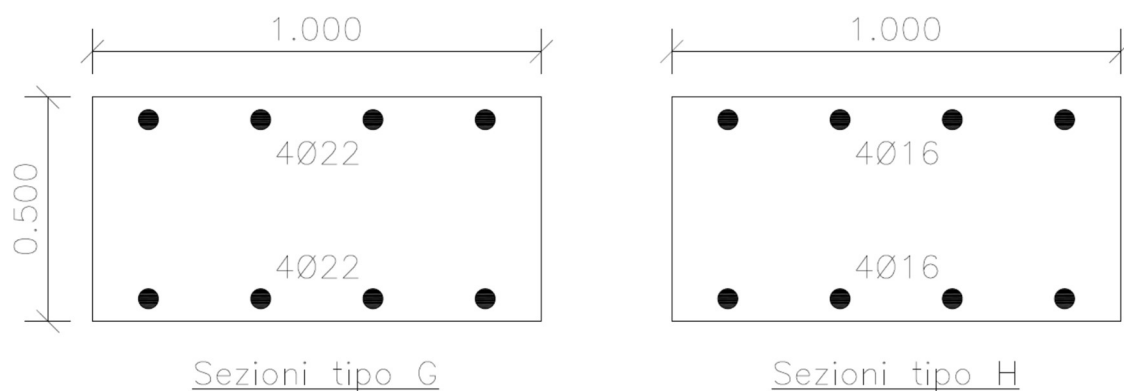


**Figura 11.1:** Sezioni a T delle nervature, alle diverse altezze (A, B, C), con indicazione delle armature utilizzate

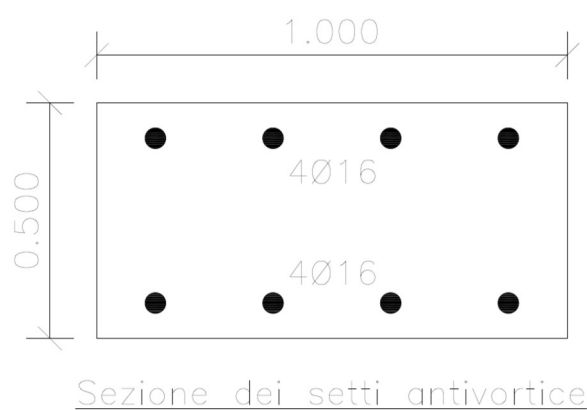


**Figura 11.2:** Sezioni rettangolari orizzontali, alle diverse altezze (D, E, F), con indicazione delle armature utilizzate

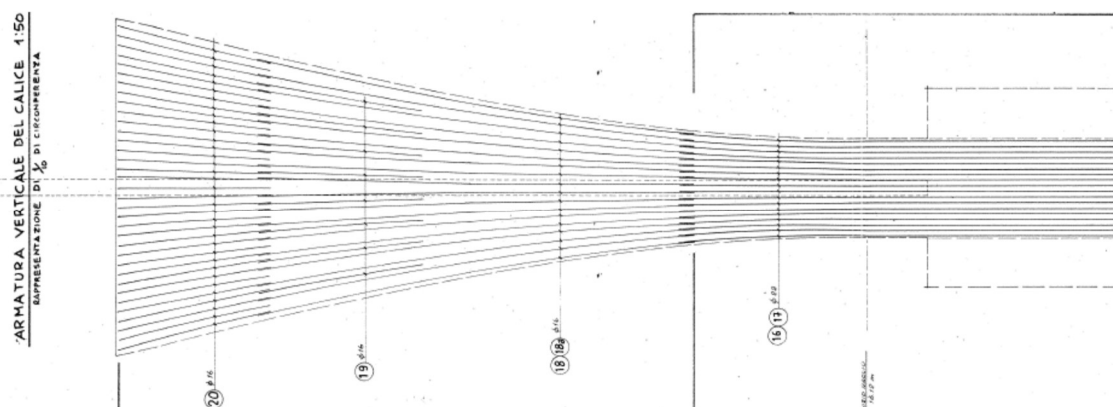
	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 84 di 147</p>



**Figura 11.3:** Sezioni rettangolari verticali, alle diverse altezze (G, H), con indicazione delle armature utilizzate



**Figura 11.4:** Sezione di 1 metro lineare di setto antivortice con indicazione delle armature utilizzate



**Figura 11.5:** Armature verticali del calice (PE 1982)

**DIGA GIBBESI**  
**RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE**  
**SFIORATORI A CALICE**

II122F  
A-SIS-RT-212-00

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA'  
TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO

Pag. 85 di 147

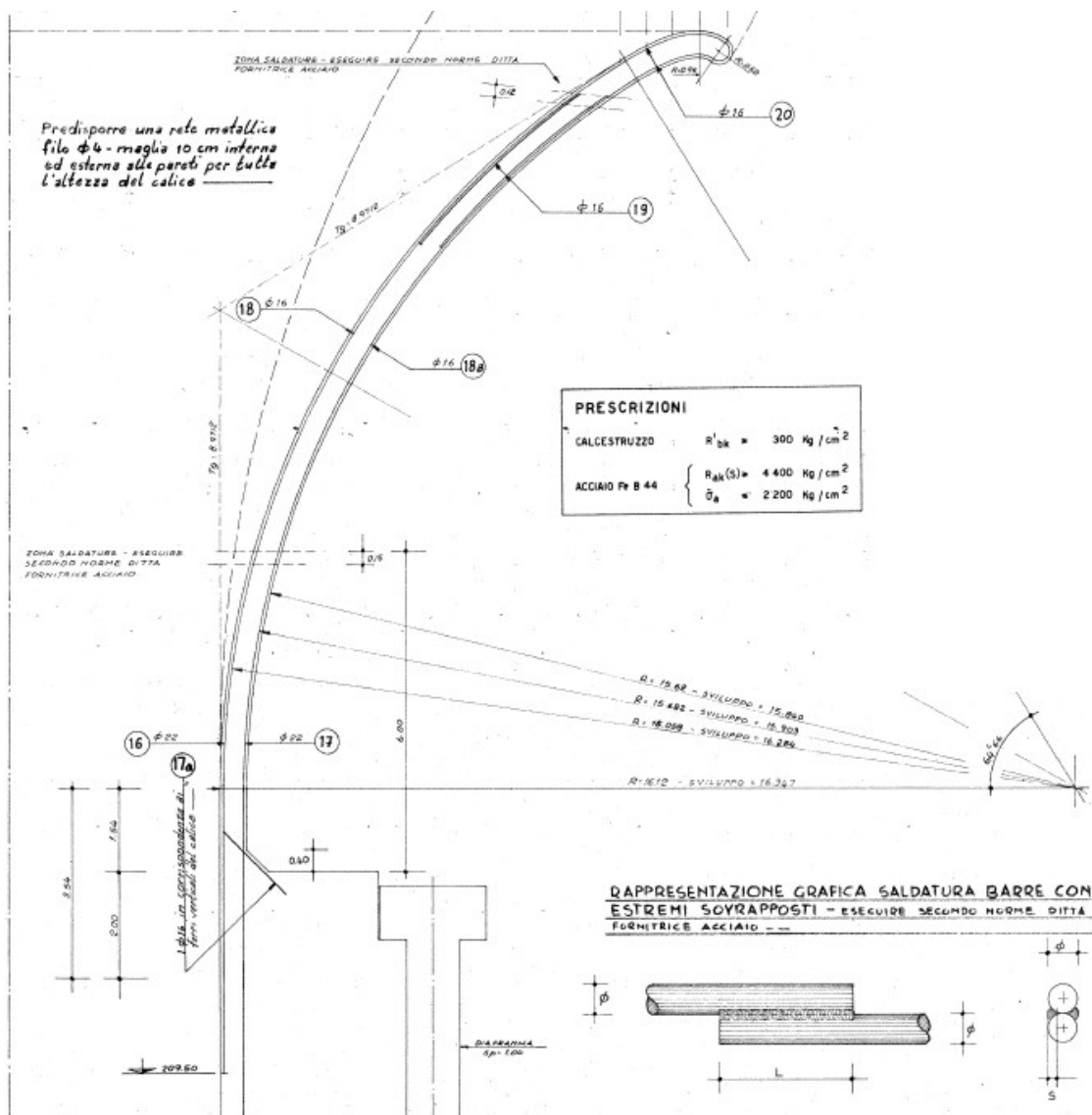


Figura 11.6: Armature verticali del calice (PE 1982) – Vista in sezione





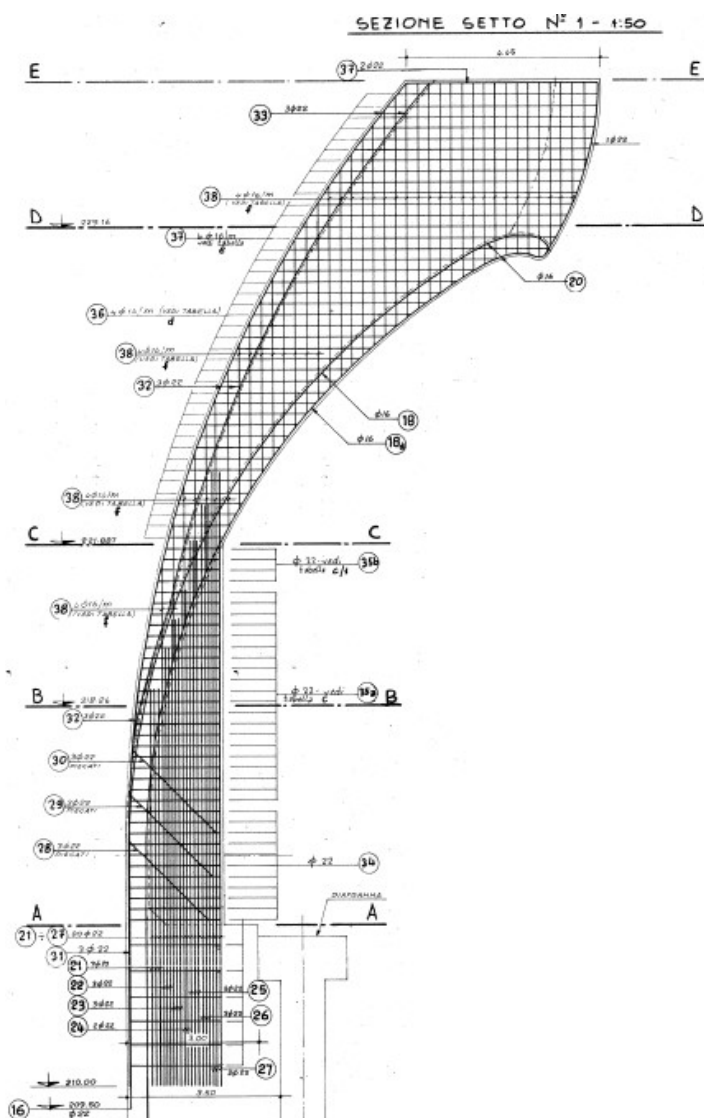


Figura 11.8: Armature nei setti antivortice e nelle nervature – Vista in sezione

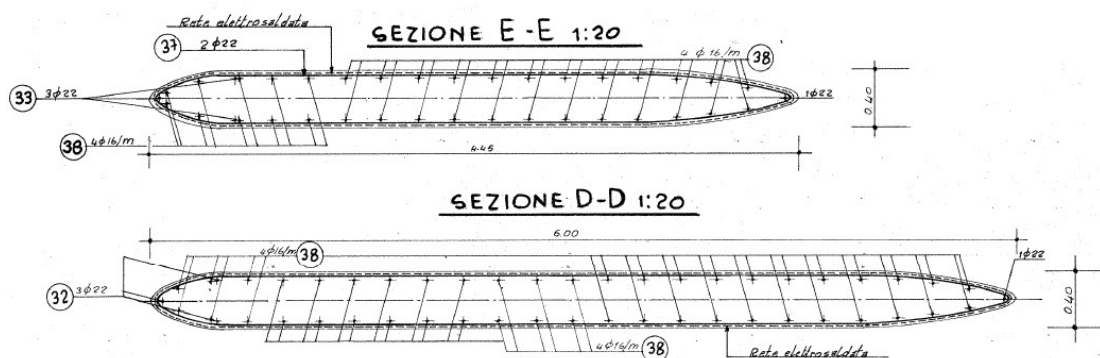


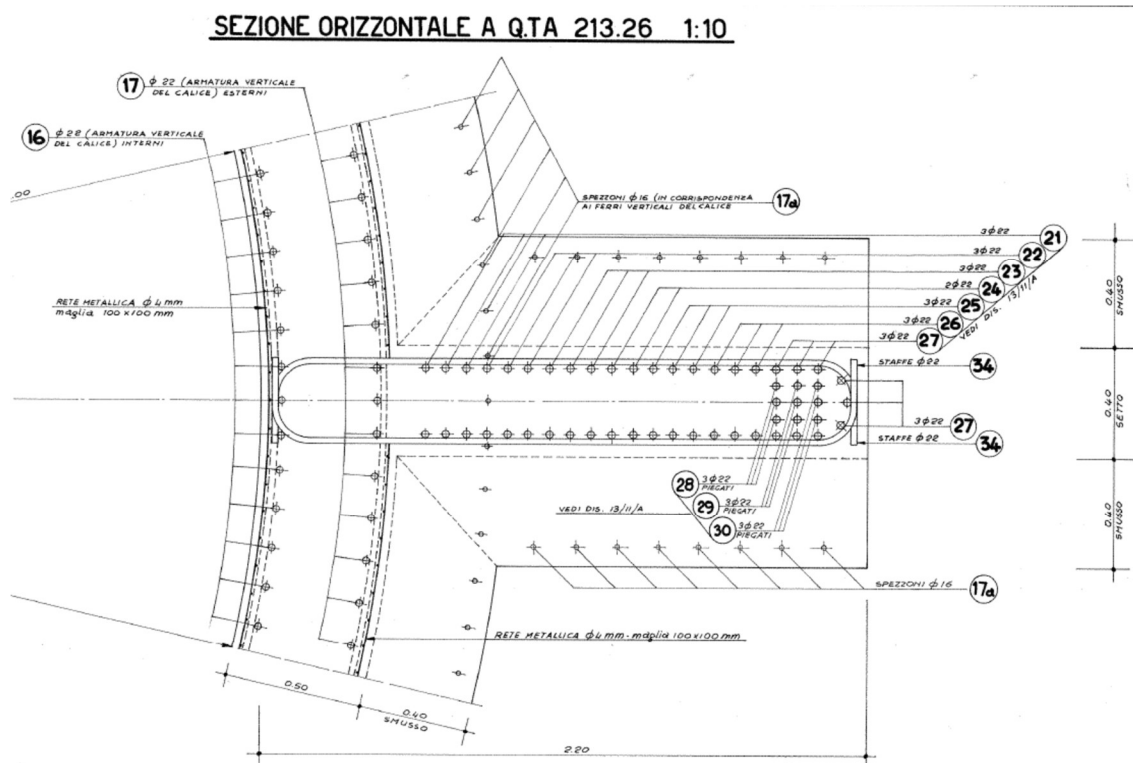


Figura 11.9: Armature nei setti antivortice – Vista dall'alto a due altezze diverse

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 88 di 147</p>



**Figura 11.10: Armature nelle nervature – Vista dall'alto a quota 213.26 m s.l.m.**

#### 11.1.1. Verifiche a flessione

Le verifiche a flessione delle sezioni sono condotte con il software ENG-PRELIM di SigmaC Software. I diagrammi della legge costitutiva di acciaio e calcestruzzo considerati per le verifiche statiche sono quelli di Figura 7.1 al § 7.1. Di seguito sono riportati i risultati delle verifiche a flessione effettuate.

#### 11.1.1.1 Sezione a T per $Z = 0.05$ m

Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-23970	10147	kN
M <sub>x</sub>	-7945	8852	kNm
M <sub>y</sub>	-5037	5037	kNm

I risultati delle verifiche a flessione effettuati sulle suddette sezioni sono riportati in forma tabellare. Nel seguito è mostrato il diagramma M-N della condizione più sfavorevole riscontrata.

Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione	Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione
A_01	SLU_01	7.66	sezione	A_04	SLU_01	7.78	sezione
A_01	SLU_02	5.34	sezione	A_04	SLU_02	5.44	sezione
A_01	SLU_03	8.89	sezione	A_04	SLU_03	8.98	sezione
A_01	SLU_04	4.86	sezione	A_04	SLU_04	4.91	sezione
A_01	SLU_05	10.79	sezione	A_04	SLU_05	10.34	sezione
A_01	SLU_06	9.59	sezione	A_04	SLU_06	9.24	sezione
A_01	SLU_07	11.21	sezione	A_04	SLU_07	10.94	sezione
A_01	SLU_08	9.21	sezione	A_04	SLU_08	9.04	sezione
A_02	SLU_01	13.11	sezione	A_05	SLU_01	12.11	sezione
A_02	SLU_02	9.63	sezione	A_05	SLU_02	8.71	sezione
A_02	SLU_03	14.66	sezione	A_05	SLU_03	14.09	sezione
A_02	SLU_04	8.66	sezione	A_05	SLU_04	8.17	sezione
A_02	SLU_05	8.91	sezione	A_05	SLU_05	10.72	sezione
A_02	SLU_06	8.41	sezione	A_05	SLU_06	9.84	sezione
A_02	SLU_07	9.34	sezione	A_05	SLU_07	10.45	sezione
A_02	SLU_08	8.39	sezione	A_05	SLU_08	9.19	sezione
A_03	SLU_01	13.16	sezione	A_06	SLU_01	11.95	sezione
A_03	SLU_02	9.74	sezione	A_06	SLU_02	8.56	sezione
A_03	SLU_03	14.70	sezione	A_06	SLU_03	13.95	sezione
A_03	SLU_04	8.72	sezione	A_06	SLU_04	8.09	sezione
A_03	SLU_05	8.74	sezione	A_06	SLU_05	10.99	sezione
A_03	SLU_06	8.28	sezione	A_06	SLU_06	10.04	sezione
A_03	SLU_07	9.23	sezione	A_06	SLU_07	10.61	sezione
A_03	SLU_08	8.31	sezione	A_06	SLU_08	9.29	sezione







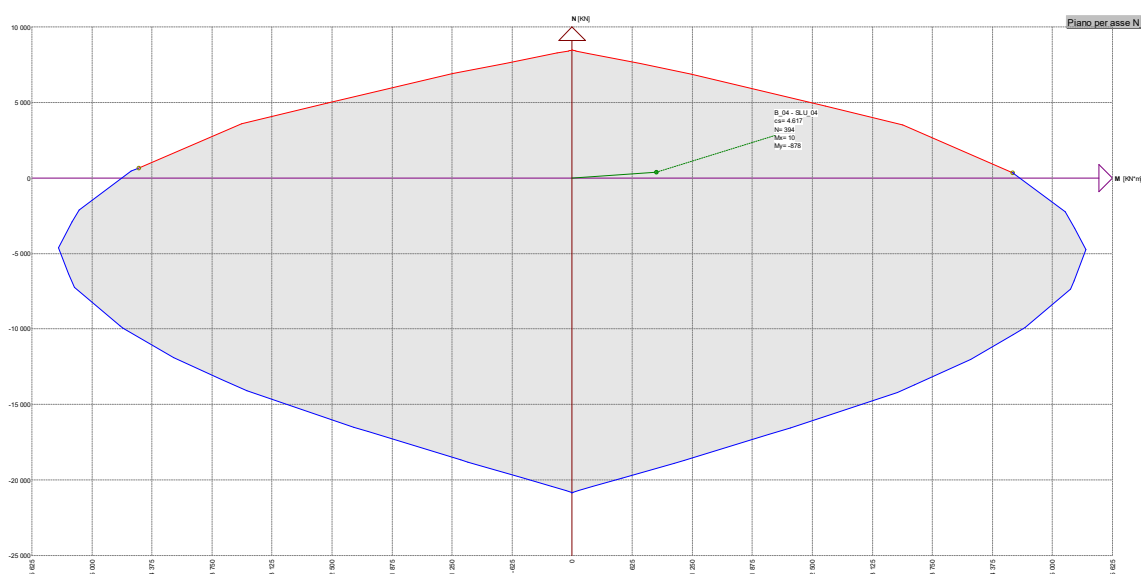
**DIGA GIBBESI**  
**RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE**  
**SFIORATORI A CALICE**

II122F  
A-SIS-RT-212-00

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA'  
TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO

Pag. 91 di 147

Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione	Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione
B_01	SLU_01	9.97	sezione	B_04	SLU_01	9.78	sezione
B_01	SLU_02	7.47	sezione	B_04	SLU_02	7.31	sezione
B_01	SLU_03	5.94	sezione	B_04	SLU_03	5.90	sezione
B_01	SLU_04	4.64	sezione	B_04	SLU_04	4.61	sezione
B_01	SLU_05	8.02	sezione	B_04	SLU_05	8.28	sezione
B_01	SLU_06	8.20	sezione	B_04	SLU_06	8.43	sezione
B_01	SLU_07	5.85	sezione	B_04	SLU_07	5.89	sezione
B_01	SLU_08	5.85	sezione	B_04	SLU_08	5.87	sezione
B_02	SLU_01	18.71	sezione	B_05	SLU_01	13.72	armatura
B_02	SLU_02	18.08	sezione	B_05	SLU_02	15.25	sezione
B_02	SLU_03	10.44	sezione	B_05	SLU_03	9.35	sezione
B_02	SLU_04	11.11	sezione	B_05	SLU_04	10.55	sezione
B_02	SLU_05	14.28	sezione	B_05	SLU_05	17.45	sezione
B_02	SLU_06	9.13	sezione	B_05	SLU_06	10.57	sezione
B_02	SLU_07	12.21	sezione	B_05	SLU_07	13.34	sezione
B_02	SLU_08	7.69	sezione	B_05	SLU_08	8.21	sezione
B_03	SLU_01	18.05	sezione	B_06	SLU_01	14.89	sezione
B_03	SLU_02	17.69	sezione	B_06	SLU_02	15.65	sezione
B_03	SLU_03	10.31	sezione	B_06	SLU_03	9.72	sezione
B_03	SLU_04	11.01	sezione	B_06	SLU_04	10.70	sezione
B_03	SLU_05	15.02	sezione	B_06	SLU_05	17.41	sezione
B_03	SLU_06	9.41	sezione	B_06	SLU_06	11.43	sezione
B_03	SLU_07	12.53	sezione	B_06	SLU_07	13.15	sezione
B_03	SLU_08	7.80	sezione	B_06	SLU_08	8.77	sezione

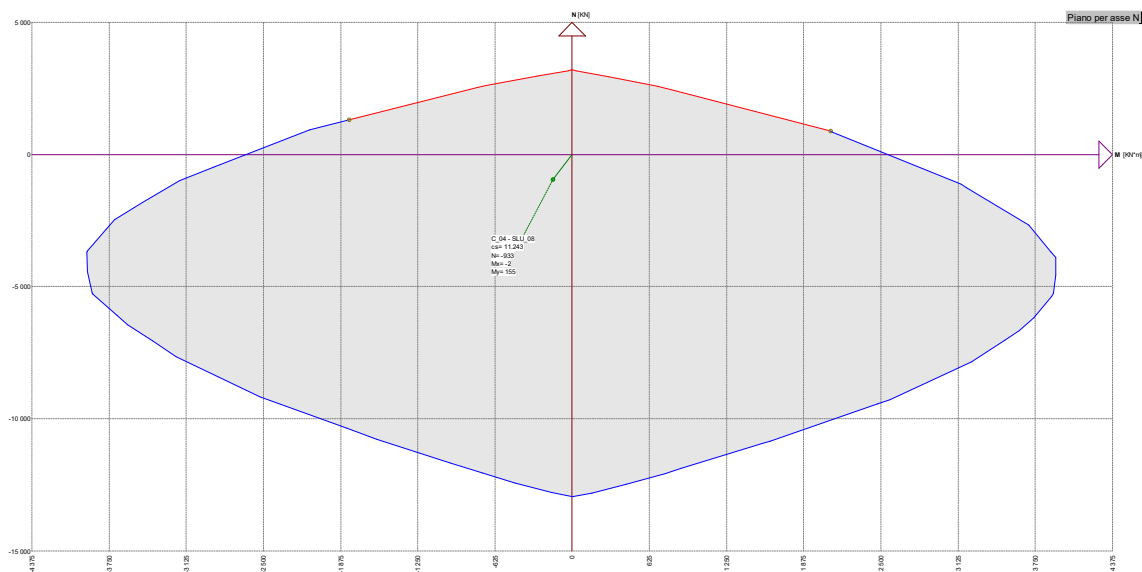


### 11.1.1.3 Sezione a T per Z = 8.04 m

Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-12935	3205	kN
M <sub>x</sub>	-1175	975	kNm
M <sub>y</sub>	-2595	2595	kNm

I risultati delle verifiche a flessione effettuati sulle suddette sezioni sono riportati in forma tabellare. Nel seguito è mostrato il diagramma M-N della condizione più sfavorevole riscontrata.

Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione	Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione
C_01	SLU_01	47.69	sezione	C_04	SLU_01	61.15	sezione
C_01	SLU_02	29.89	sezione	C_04	SLU_02	31.39	sezione
C_01	SLU_03	20.62	sezione	C_04	SLU_03	21.92	sezione
C_01	SLU_04	19.94	sezione	C_04	SLU_04	20.53	sezione
C_01	SLU_05	13.91	sezione	C_04	SLU_05	13.61	sezione
C_01	SLU_06	12.42	sezione	C_04	SLU_06	12.18	sezione
C_01	SLU_07	13.24	sezione	C_04	SLU_07	13.10	sezione
C_01	SLU_08	11.34	sezione	C_04	SLU_08	11.24	sezione
C_02	SLU_01	75.36	sezione	C_05	SLU_01	130.49	sezione
C_02	SLU_02	39.08	sezione	C_05	SLU_02	27.05	sezione
C_02	SLU_03	54.70	sezione	C_05	SLU_03	66.65	sezione
C_02	SLU_04	22.69	sezione	C_05	SLU_04	18.79	sezione
C_02	SLU_05	13.93	sezione	C_05	SLU_05	15.52	sezione
C_02	SLU_06	17.38	sezione	C_05	SLU_06	19.83	sezione
C_02	SLU_07	13.07	sezione	C_05	SLU_07	13.86	sezione
C_02	SLU_08	17.51	sezione	C_05	SLU_08	18.87	sezione
C_03	SLU_01	75.36	sezione	C_06	SLU_01	130.49	sezione
C_03	SLU_02	39.08	sezione	C_06	SLU_02	27.05	sezione
C_03	SLU_03	54.70	sezione	C_06	SLU_03	66.65	sezione
C_03	SLU_04	22.69	sezione	C_06	SLU_04	18.79	sezione
C_03	SLU_05	14.41	sezione	C_06	SLU_05	16.11	sezione
C_03	SLU_06	18.17	sezione	C_06	SLU_06	20.86	sezione
C_03	SLU_07	13.28	sezione	C_06	SLU_07	14.09	sezione
C_03	SLU_08	17.89	sezione	C_06	SLU_08	19.47	sezione



#### 11.1.1.4 Sezione rettangolare orizzontale per $Z = 0.05$ m

Sollecitazioni resistenti		
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima
N	-6007	2274 kN
$M_x$	-415	415 kNm
$M_y$	-782	782 kNm

I risultati delle verifiche a flessione effettuati sulle suddette sezioni sono riportati in forma tabellare. Nel seguito è mostrato il diagramma M-N della condizione più sfavorevole riscontrata.



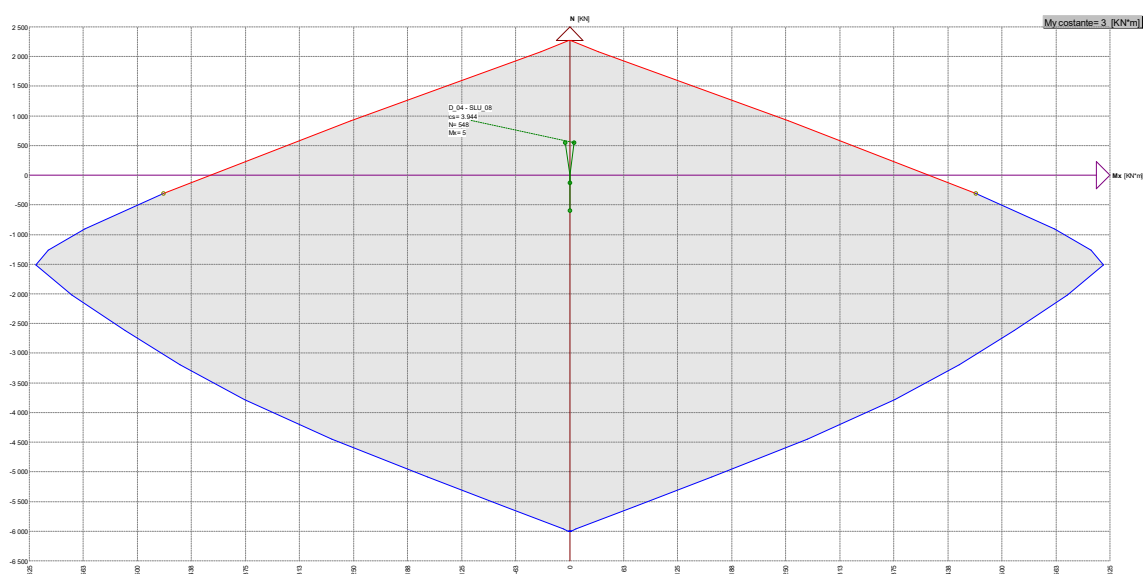
**DIGA GIBBESI**  
**RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE**  
**SFIORATORI A CALICE**

II122F  
A-SIS-RT-212-00

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA'  
TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO

Pag. 94 di 147

Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione	Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione
D_01	SLU_01	44.67	sezione	D_04	SLU_01	8.03	sezione
D_01	SLU_02	54.26	sezione	D_04	SLU_02	6.87	sezione
D_01	SLU_03	26.99	armatura	D_04	SLU_03	8.41	sezione
D_01	SLU_04	48.28	sezione	D_04	SLU_04	6.41	sezione
D_01	SLU_05	11.64	sezione	D_04	SLU_05	5.10	armatura
D_01	SLU_06	9.67	sezione	D_04	SLU_06	4.12	armatura
D_01	SLU_07	13.59	sezione	D_04	SLU_07	5.68	armatura
D_01	SLU_08	9.74	sezione	D_04	SLU_08	3.94	armatura
D_02	SLU_01	1501.79	sezione	D_05	SLU_01	8.52	sezione
D_02	SLU_02	52.51	sezione	D_05	SLU_02	7.38	sezione
D_02	SLU_03	40.11	armatura	D_05	SLU_03	8.68	sezione
D_02	SLU_04	45.41	sezione	D_05	SLU_04	6.69	sezione
D_02	SLU_05	12.57	sezione	D_05	SLU_05	6.37	armatura
D_02	SLU_06	10.22	sezione	D_05	SLU_06	5.00	armatura
D_02	SLU_07	14.23	sezione	D_05	SLU_07	6.35	armatura
D_02	SLU_08	10.02	sezione	D_05	SLU_08	4.36	armatura
D_03	SLU_01	44.67	armatura	D_06	SLU_01	8.03	sezione
D_03	SLU_02	54.26	sezione	D_06	SLU_02	6.87	sezione
D_03	SLU_03	26.99	armatura	D_06	SLU_03	8.41	sezione
D_03	SLU_04	48.28	sezione	D_06	SLU_04	6.41	sezione
D_03	SLU_05	11.64	sezione	D_06	SLU_05	5.10	armatura
D_03	SLU_06	9.67	sezione	D_06	SLU_06	4.12	armatura
D_03	SLU_07	13.59	sezione	D_06	SLU_07	5.68	armatura
D_03	SLU_08	9.74	sezione	D_06	SLU_08	3.94	armatura



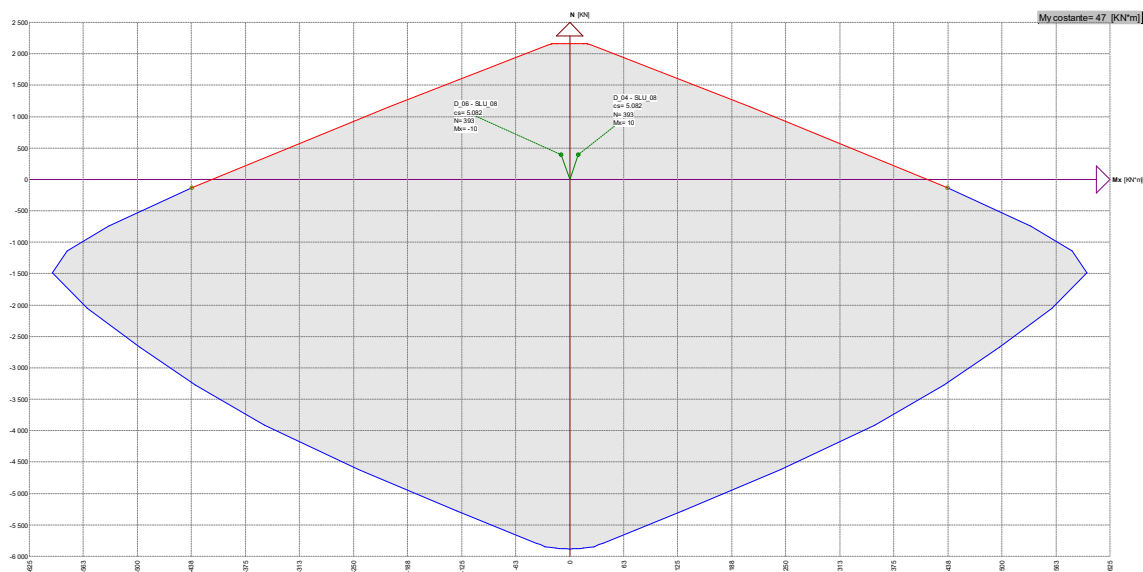
### 11.1.1.5 Sezione rettangolare orizzontale per $Z = 5.50$ m

Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-6007	2274	kN
$M_x$	-415	415	kNm
$M_y$	-782	782	kNm

I risultati delle verifiche a flessione effettuati sulle suddette sezioni sono riportati in forma tabellare. Nel seguito è mostrato il diagramma M-N della condizione più sfavorevole riscontrata.

Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione	Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione
E_01	SLU_01	13.66	sezione	E_04	SLU_01	25.34	sezione
E_01	SLU_02	14.79	sezione	E_04	SLU_02	23.96	sezione
E_01	SLU_03	8.68	sezione	E_04	SLU_03	18.65	sezione
E_01	SLU_04	10.10	sezione	E_04	SLU_04	15.66	sezione
E_01	SLU_05	10.75	sezione	E_04	SLU_05	5.63	armatura
E_01	SLU_06	10.26	sezione	E_04	SLU_06	4.94	armatura
E_01	SLU_07	9.36	sezione	E_04	SLU_07	5.55	armatura
E_01	SLU_08	8.82	sezione	E_04	SLU_08	4.48	armatura
E_02	SLU_01	16.37	sezione	E_05	SLU_01	30.92	sezione
E_02	SLU_02	17.89	sezione	E_05	SLU_02	32.90	sezione
E_02	SLU_03	9.13	sezione	E_05	SLU_03	20.41	sezione
E_02	SLU_04	10.71	sezione	E_05	SLU_04	17.23	sezione
E_02	SLU_05	12.32	sezione	E_05	SLU_05	7.05	armatura
E_02	SLU_06	11.43	sezione	E_05	SLU_06	5.82	armatura
E_02	SLU_07	9.97	sezione	E_05	SLU_07	6.11	armatura
E_02	SLU_08	9.14	sezione	E_05	SLU_08	4.77	armatura
E_03	SLU_01	13.66	sezione	E_06	SLU_01	25.34	sezione
E_03	SLU_02	14.79	sezione	E_06	SLU_02	23.96	sezione
E_03	SLU_03	8.68	sezione	E_06	SLU_03	18.65	sezione
E_03	SLU_04	10.10	sezione	E_06	SLU_04	15.66	sezione
E_03	SLU_05	10.75	sezione	E_06	SLU_05	5.63	armatura
E_03	SLU_06	10.26	sezione	E_06	SLU_06	4.94	armatura
E_03	SLU_07	9.36	sezione	E_06	SLU_07	5.55	sezione
E_03	SLU_08	8.82	sezione	E_06	SLU_08	4.48	armatura



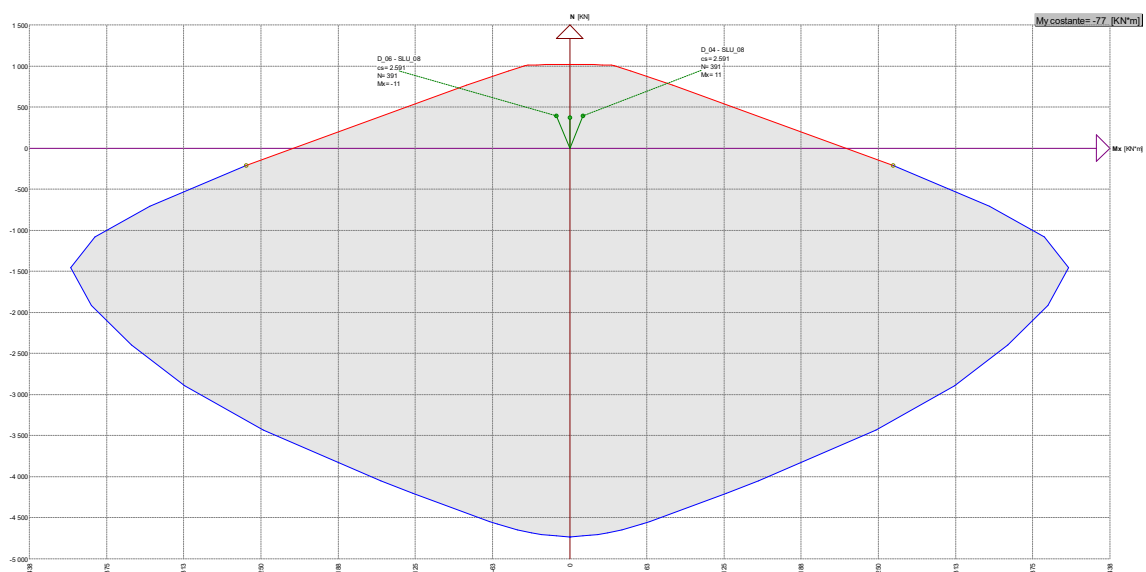


#### 11.1.1.6 Sezione rettangolare orizzontale per $Z = 8.04$ m

Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-4936	1203	kN
$M_x$	-227	227	kNm
$M_y$	-463	463	kNm

I risultati delle verifiche a flessione effettuati sulle suddette sezioni sono riportati in forma tabellare. Nel seguito è mostrato il diagramma M-N della condizione più sfavorevole riscontrata.

Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione	Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione
F_01	SLU_01	11.57	sezione	F_04	SLU_01	10.03	sezione
F_01	SLU_02	16.64	sezione	F_04	SLU_02	7.83	sezione
F_01	SLU_03	7.33	sezione	F_04	SLU_03	6.67	sezione
F_01	SLU_04	12.63	sezione	F_04	SLU_04	4.62	sezione
F_01	SLU_05	11.06	sezione	F_04	SLU_05	2.78	sezione
F_01	SLU_06	9.43	sezione	F_04	SLU_06	2.52	armatura
F_01	SLU_07	10.49	sezione	F_04	SLU_07	2.49	armatura
F_01	SLU_08	8.49	sezione	F_04	SLU_08	2.10	armatura
F_02	SLU_01	14.64	sezione	F_05	SLU_01	11.90	sezione
F_02	SLU_02	24.71	sezione	F_05	SLU_02	8.23	sezione
F_02	SLU_03	7.32	sezione	F_05	SLU_03	6.91	sezione
F_02	SLU_04	14.23	sezione	F_05	SLU_04	4.63	sezione
F_02	SLU_05	13.14	sezione	F_05	SLU_05	3.14	armatura
F_02	SLU_06	10.91	sezione	F_05	SLU_06	2.77	armatura
F_02	SLU_07	11.33	sezione	F_05	SLU_07	2.65	armatura
F_02	SLU_08	9.00	sezione	F_05	SLU_08	2.18	armatura
F_03	SLU_01	11.57	sezione	F_06	SLU_01	10.03	sezione
F_03	SLU_02	16.64	sezione	F_06	SLU_02	7.83	sezione
F_03	SLU_03	7.33	sezione	F_06	SLU_03	6.67	sezione
F_03	SLU_04	12.63	sezione	F_06	SLU_04	4.62	sezione
F_03	SLU_05	11.06	sezione	F_06	SLU_05	2.78	sezione
F_03	SLU_06	9.43	sezione	F_06	SLU_06	2.52	sezione
F_03	SLU_07	10.49	sezione	F_06	SLU_07	2.49	sezione
F_03	SLU_08	8.49	sezione	F_06	SLU_08	2.10	armatura

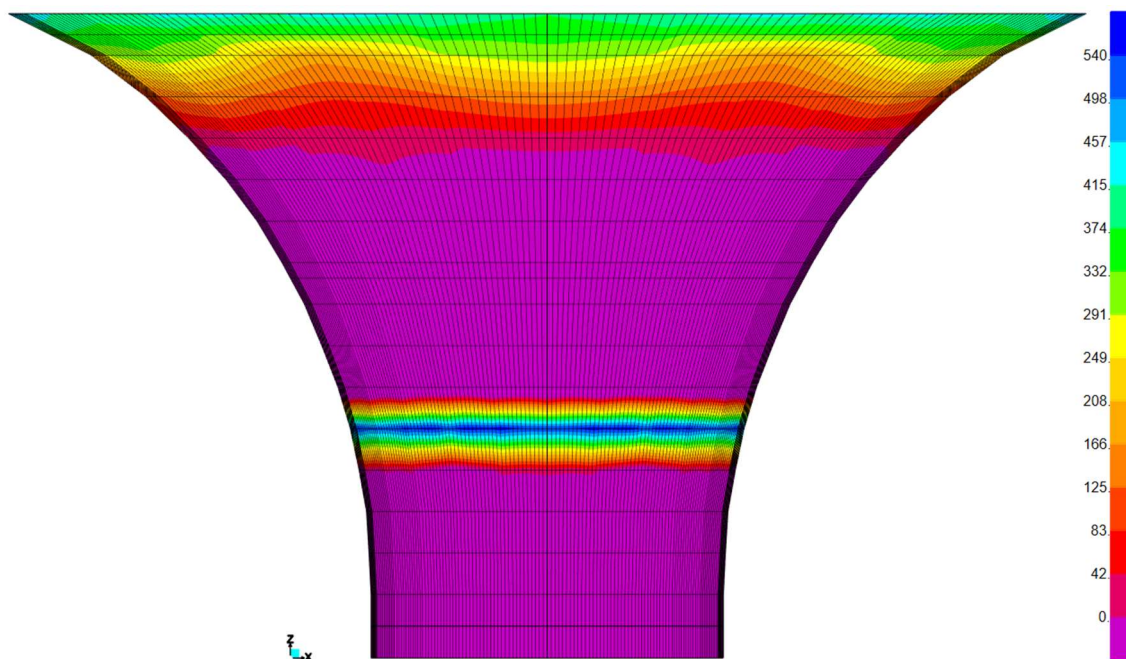


#### 11.1.1.7 Sezione rettangolare verticale per $Z < 6.00$ m

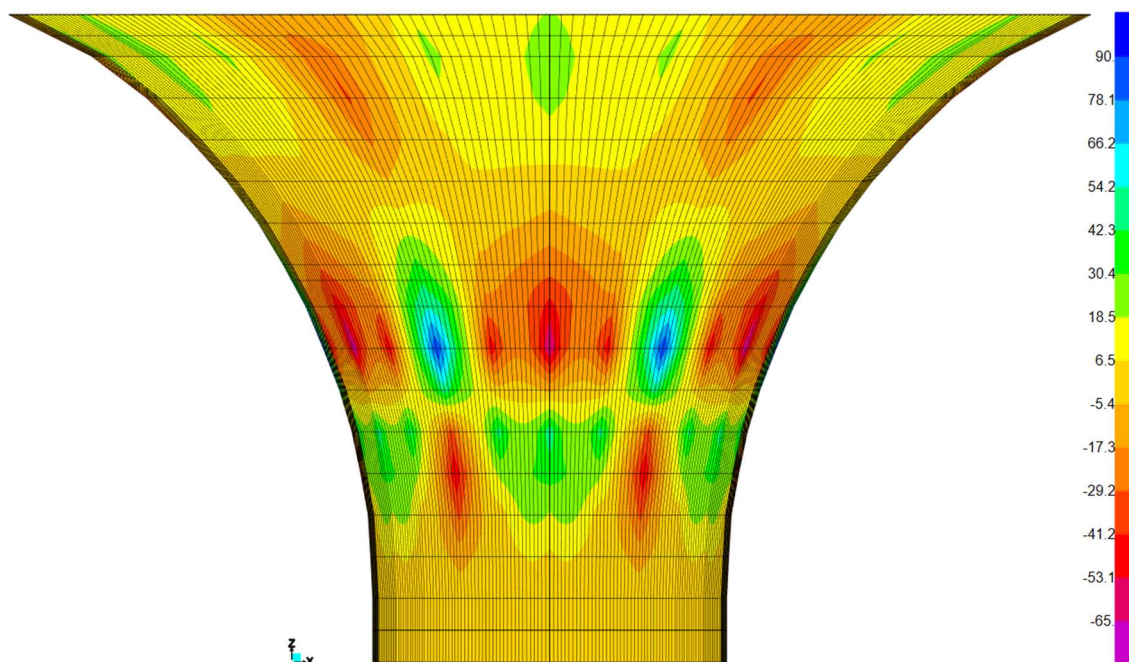
La sezione, chiamata “tipo G”, è armata con 4Ø22/m ad entrambi i lembi.

Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-4870	1137	kN
M <sub>x</sub>	-234	234	kNm

Le azioni massime agenti sulla suddetta porzione di struttura si trovano mediante la combinazione SLU\_07, come mostrato nelle seguenti figure.



**Figura 11.11: Combinazione SLU\_07 – Azione assiale F11**

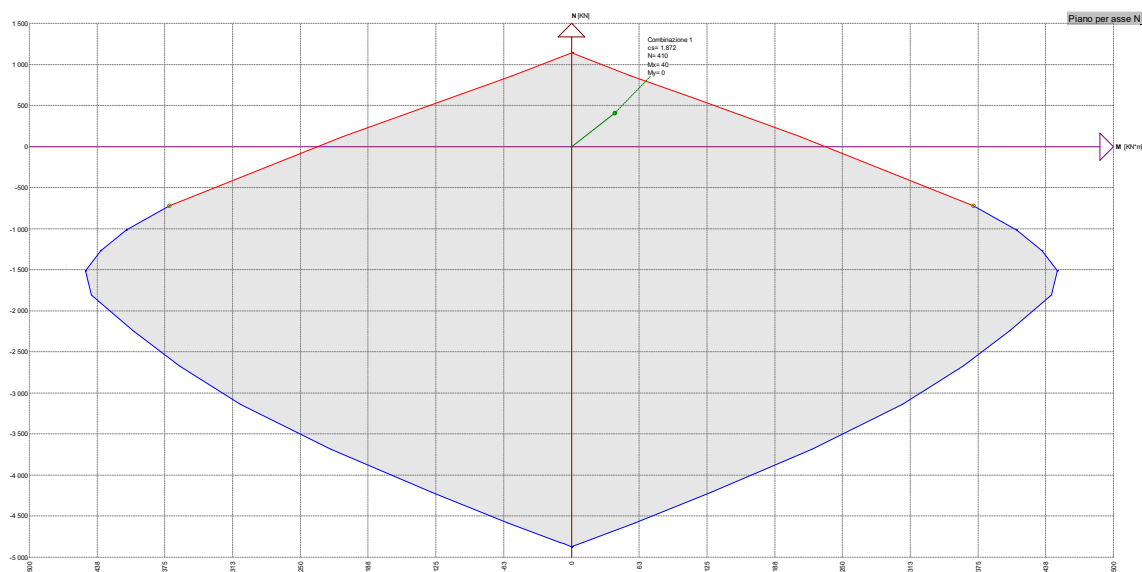


**Figura 11.12: Combinazione SLU\_07 – Momento flettente M11**

Le massime azioni agenti, opportunamente mediate su un metro lineare di struttura per evitare picchi non realistici di sforzi, sono le seguenti:

- $N = 410 \text{ kN}$
- $M_x = 40 \text{ kNm}$

La verifica a flessione è soddisfatta con un coefficiente di sicurezza  $CS = 1.87$ .





#### 11.1.1.8 Sezione rettangolare verticale per $Z > 6.00$ m

La sezione, chiamata “tipo H”, è armata con 4Ø16/m ad entrambi i lembi.

Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-4334	601	kN
M <sub>x</sub>	-127	127	kNm

Le azioni massime agenti sulla suddetta porzione di struttura si trovano mediante la combinazione SLU\_05, come mostrato nelle seguenti figure.

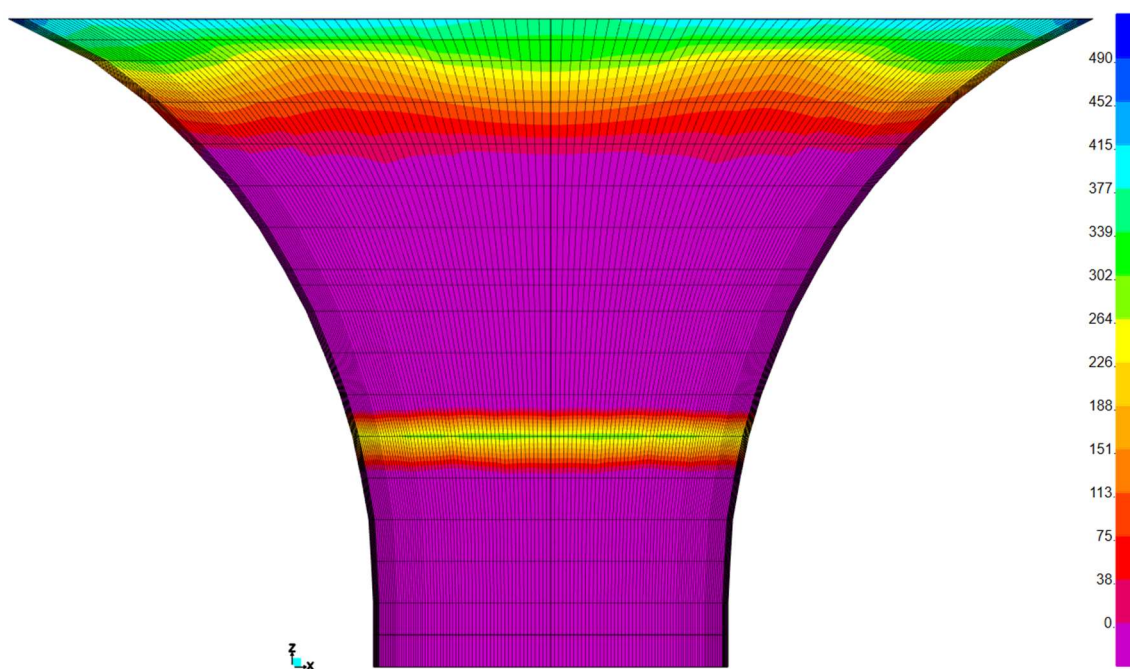
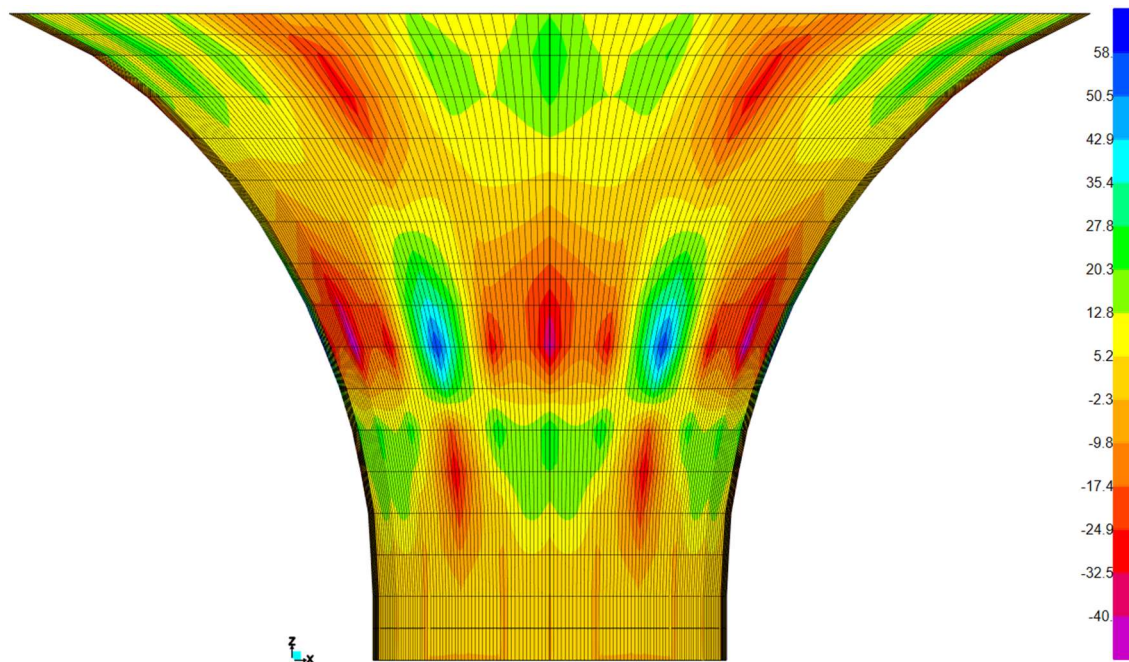


Figura 11.13: Combinazione SLU\_05 – Azione assiale F11



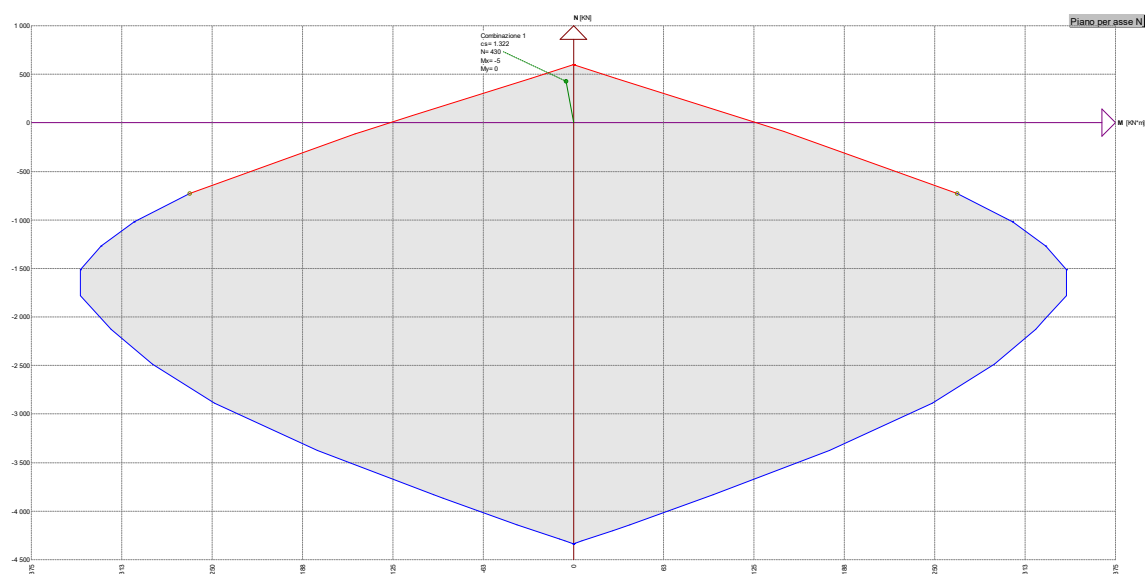


**Figura 11.14: Combinazione SLU\_05 – Momento flettente M11**

Le massime azioni agenti, opportunamente mediate su un metro lineare di struttura per evitare picchi non realistici di sforzi, sono le seguenti:

- $N = 430 \text{ kN}$
- $M_x = -5 \text{ kNm}$

La verifica a flessione è soddisfatta con un coefficiente di sicurezza  $CS = 1.32$ .

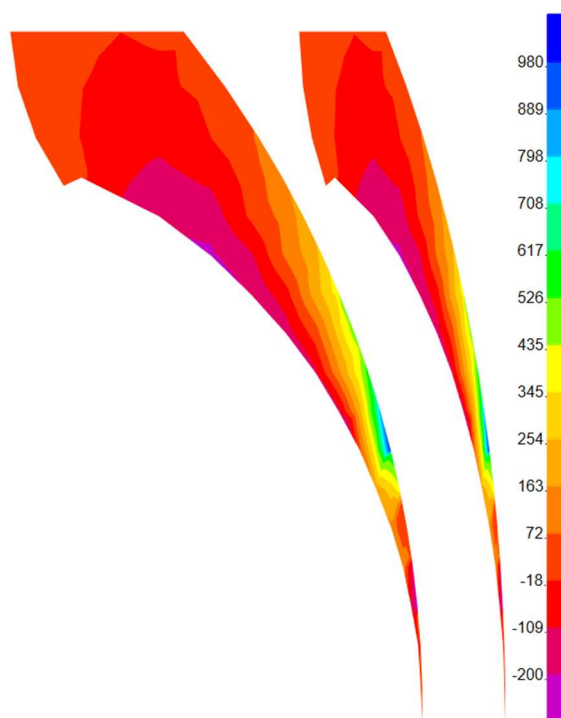


#### 11.1.1.9 Sezioni dei setti antivortice

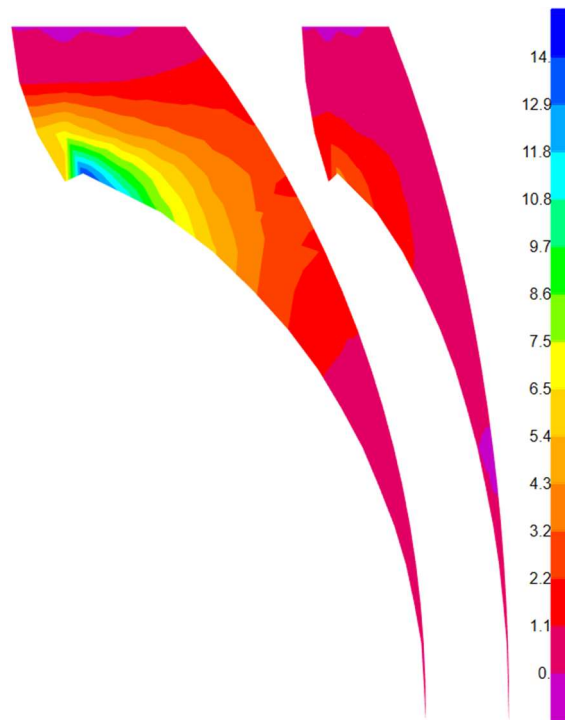
La sezione dei setti antivortice è armata con 4Ø16/m ad entrambi i lembi.

Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-3588	601	kN
M <sub>x</sub>	-91	91	kNm

Le azioni massime agenti sulla suddetta porzione di struttura si trovano mediante la combinazione SLU\_04, come mostrato nelle seguenti figure.



**Figura 11.15: Combinazione SLU\_04 – Azione assiale F22**

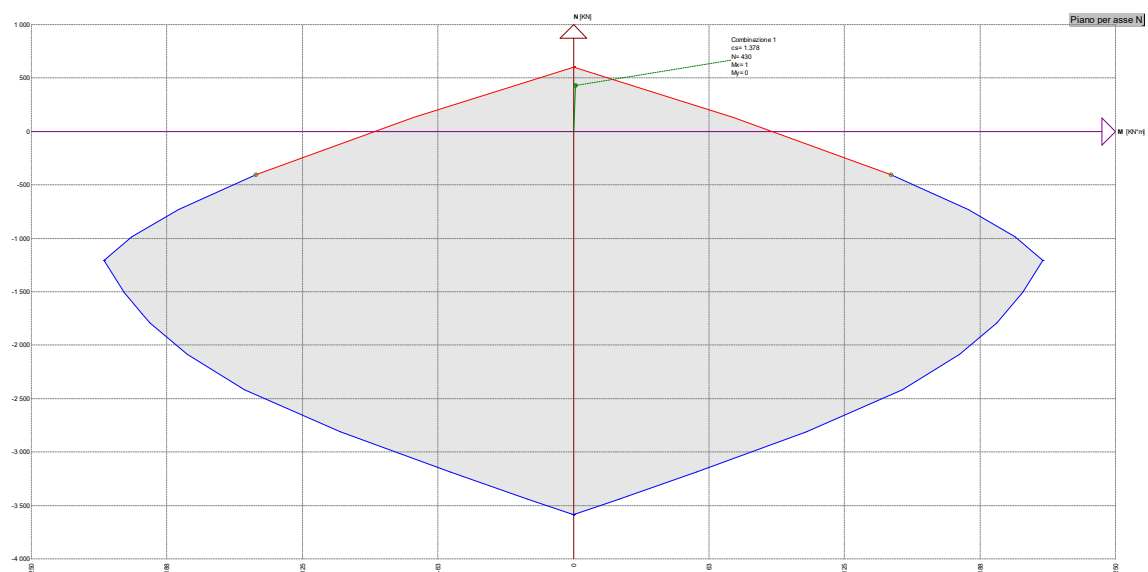




**Figura 11.16: Combinazione SLU\_04 – Momento flettente M22**

Le massime azioni agenti, opportunamente mediate su un metro lineare di struttura per evitare picchi non realistici di sforzi, sono le seguenti:

- $N = 430 \text{ kN}$
- $M_x = 1 \text{ kNm}$

La verifica a flessione è soddisfatta con un coefficiente di sicurezza  $CS = 1.38$ .



	<p style="text-align: center;">Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p style="text-align: center;"><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p style="text-align: center;">RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 104 di 147</p>

### 11.1.2. Verifiche a taglio

Si definiscono:

- $V_{Ed}$  = valore di progetto dello sforzo di taglio agente;
- $V_{Rd}$  = resistenza di progetto a taglio.

Allora si possono avere due situazioni:

- Se  $V_{Ed} \leq V_{Rd,1}$  non è necessaria alcuna armatura a taglio per l'elemento;
- Se  $V_{Rd,1} < V_{Ed} \leq V_{Rd,2}$  è necessaria una certa quantità di armatura a taglio.

#### **Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio ( $V_{Ed} \leq V_{Rd,1}$ )**

Nel caso in cui  $V_{Ed} \leq V_{Rd,1}$  si deve valutare la resistenza di progetto a taglio dell'elemento fessurato da momento flettente  $V_{Rd,1}$  come:

$$V_{Rd,1} = \max \left\{ \left[ \frac{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \right. \\ \left. (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right.$$

con:



- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2$  ;
- $d$  = altezza utile della sezione, in [mm];
- $v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$  ;
- $f_{ck}$  in [MPa];
- $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0.02$  = rapporto geometrico di armatura longitudinale tesa;
- $\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0.2 \cdot f_{cd}$  in [MPa];
- $b_w$  = larghezza minima della sezione, in [mm].

#### **Elementi con armature trasversali resistenti a taglio ( $V_{Rd,1} < V_{Ed} \leq V_{Rd,2}$ )**

La resistenza di progetto a taglio  $V_{Rd,2}$  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: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione  $\theta$  dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$1 \leq \cot \theta \leq 2.5 \quad \Rightarrow \quad 21.8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$$

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 105 di 147</p>

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \sin \alpha$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con:

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot \frac{(\cot \alpha + \cot \theta)}{1 + \cot^2 \theta}$$

La resistenza di progetto a taglio della trave è la minore delle due sopra definite:

$$V_{Rd,2} = \min\{V_{Rsd} ; V_{Rcd}\}$$

dove:

- $A_{sw}$  = area dell'armatura trasversale;
- $s$  = interasse tra due armature trasversali consecutive;
- $\alpha$  = angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;
- $\nu = 0.5$  è il coefficiente di riduzione della resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo;

$$\alpha_c = \begin{cases} 1 & \text{per membrane non compresse} \\ 1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} & \text{se } 0 \leq \sigma_{cp} < 0.25 f_{cd} \\ 1.25 & \text{se } 0.25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0.50 f_{cd} \\ 2.5 \cdot \left(1 - \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}}\right) & \text{se } 0.50 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd} \end{cases}$$

Le verifiche a taglio vengono effettuate mediante il software ENG-PRELIM di SigmaC Software. Nel seguito si riportano i risultati finali di tali verifiche.



### 11.1.2.1 Sezione a T per $Z = 0.05$ m



La sezione presenta staffe Ø22 passo 25 cm lungo l'anima.

Section cut	Combo	V <sub>Rd,1</sub> [kN]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rcd</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kN]	Section cut	Combo	V <sub>Rd,1</sub> [kN]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rcd</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kN]
A_01	SLU_01	475	2340	2178	590	A_04	SLU_01	475	2337	2175	590
A_01	SLU_02	475	2340	2178	375	A_04	SLU_02	475	2337	2175	375
A_01	SLU_03	207	2340	2182	662	A_04	SLU_03	394	2337	2179	662
A_01	SLU_04	475	2340	2178	304	A_04	SLU_04	475	2337	2175	304
A_01	SLU_05	356	2340	2406	110	A_04	SLU_05	356	2337	2403	110
A_01	SLU_06	340	2340	2383	-105	A_04	SLU_06	340	2337	2379	-105
A_01	SLU_07	359	2340	2411	179	A_04	SLU_07	359	2337	2408	179
A_01	SLU_08	333	2340	2371	-179	A_04	SLU_08	333	2337	2368	-179
A_02	SLU_01	224	2340	2209	522	A_05	SLU_01	475	2337	2175	553
A_02	SLU_02	214	2340	2194	320	A_05	SLU_02	475	2337	2175	351
A_02	SLU_03	223	2340	2207	596	A_05	SLU_03	208	2337	2182	615
A_02	SLU_04	206	2340	2181	259	A_05	SLU_04	475	2337	2175	277
A_02	SLU_05	355	2340	2405	75	A_05	SLU_05	319	2337	2347	126
A_02	SLU_06	345	2340	2390	-128	A_05	SLU_06	309	2337	2332	-76
A_02	SLU_07	352	2340	2401	154	A_05	SLU_07	330	2337	2365	185
A_02	SLU_08	336	2340	2375	-184	A_05	SLU_08	313	2337	2340	-153
A_03	SLU_01	224	2337	2206	522	A_06	SLU_01	475	2340	2178	553
A_03	SLU_02	214	2337	2191	320	A_06	SLU_02	475	2340	2178	351
A_03	SLU_03	223	2337	2204	596	A_06	SLU_03	209	2340	2185	615
A_03	SLU_04	324	2337	2179	259	A_06	SLU_04	475	2340	2178	277
A_03	SLU_05	355	2337	2402	75	A_06	SLU_05	319	2340	2351	126
A_03	SLU_06	345	2337	2387	-128	A_06	SLU_06	309	2340	2335	-76
A_03	SLU_07	352	2337	2398	154	A_06	SLU_07	331	2340	2368	185
A_03	SLU_08	335	2337	2372	-184	A_06	SLU_08	314	2340	2343	-153

### 11.1.2.2 Sezione a T per $Z = 5.50$ m

La sezione presenta staffe Ø22 passo 25 cm lungo l'anima.

Section cut	Combo	V <sub>Rd,1</sub> [kN]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rcd</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kN]	Section cut	Combo	V <sub>Rd,1</sub> [kN]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rcd</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kN]
B_01	SLU_01	313	1769	1651	212	B_04	SLU_01	164	1754	1637	212
B_01	SLU_02	372	1769	1647	136	B_04	SLU_02	369	1754	1632	136
B_01	SLU_03	172	1769	1662	238	B_04	SLU_03	171	1754	1647	238
B_01	SLU_04	372	1769	1647	111	B_04	SLU_04	369	1754	1632	111
B_01	SLU_05	259	1769	1793	153	B_04	SLU_05	257	1754	1777	153
B_01	SLU_06	239	1769	1762	230	B_04	SLU_06	237	1754	1746	230
B_01	SLU_07	264	1769	1800	125	B_04	SLU_07	262	1754	1784	125
B_01	SLU_08	230	1769	1748	251	B_04	SLU_08	228	1754	1733	251
B_02	SLU_01	372	1769	1647	225	B_05	SLU_01	369	1754	1632	237
B_02	SLU_02	237	1769	1651	108	B_05	SLU_02	369	1754	1632	119
B_02	SLU_03	372	1769	1647	266	B_05	SLU_03	369	1754	1632	273
B_02	SLU_04	166	1769	1652	71	B_05	SLU_04	369	1754	1632	78
B_02	SLU_05	240	1769	1763	127	B_05	SLU_05	222	1754	1724	114
B_02	SLU_06	248	1769	1775	244	B_05	SLU_06	230	1754	1736	231
B_02	SLU_07	235	1769	1756	87	B_05	SLU_07	224	1754	1726	79
B_02	SLU_08	248	1769	1776	283	B_05	SLU_08	237	1754	1746	275
B_03	SLU_01	369	1754	1632	225	B_06	SLU_01	372	1769	1647	237
B_03	SLU_02	164	1754	1637	108	B_06	SLU_02	372	1769	1647	119
B_03	SLU_03	369	1754	1632	266	B_06	SLU_03	372	1769	1647	273
B_03	SLU_04	165	1754	1638	71	B_06	SLU_04	372	1769	1647	78
B_03	SLU_05	238	1754	1748	127	B_06	SLU_05	222	1754	1724	114
B_03	SLU_06	246	1754	1760	244	B_06	SLU_06	230	1754	1736	231
B_03	SLU_07	233	1754	1741	87	B_06	SLU_07	224	1754	1726	79
B_03	SLU_08	247	1754	1761	283	B_06	SLU_08	237	1754	1746	275

	<p align="center">Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p align="center"><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p align="center"><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p align="center"><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p align="center"><b>II122F</b> <b>A-SIS-RT-212-00</b></p>	<p align="center"><b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA'</b> <b>TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</b></p>	<p align="right"><b>Pag. 108 di 147</b></p>

### 11.1.2.3 Sezione a T per $Z = 8.04 \text{ m}$

La sezione presenta staffe Ø22 passo 25 cm lungo l'anima.

Section cut	Combo	V <sub>Rd,1</sub> [kN]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rcd</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kN]	Section cut	Combo	V <sub>Rd,1</sub> [kN]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rcd</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kN]
C_01	SLU_01	165	846	788	50	C_04	SLU_01	199	867	807	50
C_01	SLU_02	95	846	793	65	C_04	SLU_02	97	867	812	65
C_01	SLU_03	198	846	788	45	C_04	SLU_03	202	867	807	45
C_01	SLU_04	96	846	795	70	C_04	SLU_04	98	867	814	70
C_01	SLU_05	123	846	835	333	C_04	SLU_05	125	867	855	333
C_01	SLU_06	126	846	840	318	C_04	SLU_06	128	867	860	318
C_01	SLU_07	121	846	832	332	C_04	SLU_07	123	867	852	332
C_01	SLU_08	126	846	840	308	C_04	SLU_08	129	867	860	308
C_02	SLU_01	98	846	797	45	C_05	SLU_01	95	846	793	68
C_02	SLU_02	94	846	792	54	C_05	SLU_02	91	846	788	76
C_02	SLU_03	98	846	798	47	C_05	SLU_03	96	846	796	60
C_02	SLU_04	92	846	789	61	C_05	SLU_04	198	846	788	75
C_02	SLU_05	124	867	853	316	C_05	SLU_05	120	867	848	287
C_02	SLU_06	120	867	848	307	C_05	SLU_06	117	867	842	278
C_02	SLU_07	125	867	854	316	C_05	SLU_07	122	867	851	298
C_02	SLU_08	119	867	845	302	C_05	SLU_08	116	867	842	284
C_03	SLU_01	98	846	797	45	C_06	SLU_01	95	846	793	68
C_03	SLU_02	94	846	792	54	C_06	SLU_02	91	846	788	76
C_03	SLU_03	98	846	798	47	C_06	SLU_03	96	846	796	60
C_03	SLU_04	92	846	789	61	C_06	SLU_04	198	846	788	75
C_03	SLU_05	121	846	833	316	C_06	SLU_05	118	846	828	287
C_03	SLU_06	118	846	828	307	C_06	SLU_06	114	846	822	278
C_03	SLU_07	122	846	834	316	C_06	SLU_07	120	846	831	298
C_03	SLU_08	116	846	825	302	C_06	SLU_08	114	846	822	284

#### 11.1.2.4 Sezione rettangolare orizzontale per $Z = 0.05$ m

La sezione ferri piegati Ø16 in corrispondenza delle barre longitudinali Ø22

Section cut	Combo	V <sub>Rd,1</sub> [kN]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rcd</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kN]	Section cut	Combo	V <sub>Rd,1</sub> [kN]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rcd</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kN]
D_01	SLU_01	257	325	2024	52	D_04	SLU_01	148	325	2046	213
D_01	SLU_02	151	325	2055	51	D_04	SLU_02	257	325	2024	213
D_01	SLU_03	257	325	2024	52	D_04	SLU_03	151	325	2056	213
D_01	SLU_04	154	325	2065	52	D_04	SLU_04	257	325	2024	212
D_01	SLU_05	199	325	2198	6	D_04	SLU_05	257	325	2024	18
D_01	SLU_06	212	325	2238	6	D_04	SLU_06	257	325	2024	17
D_01	SLU_07	192	325	2178	5	D_04	SLU_07	257	325	2024	17
D_01	SLU_08	214	325	2245	6	D_04	SLU_08	257	325	2024	16
D_02	SLU_01	141	325	2025	51	D_05	SLU_01	152	325	2057	214
D_02	SLU_02	155	325	2066	50	D_05	SLU_02	257	325	2024	214
D_02	SLU_03	257	325	2024	52	D_05	SLU_03	154	325	2063	214
D_02	SLU_04	157	325	2071	51	D_05	SLU_04	257	325	2024	213
D_02	SLU_05	202	325	2207	9	D_05	SLU_05	257	325	2024	19
D_02	SLU_06	215	325	2247	9	D_05	SLU_06	257	325	2024	18
D_02	SLU_07	194	325	2183	7	D_05	SLU_07	257	325	2024	18
D_02	SLU_08	216	325	2250	8	D_05	SLU_08	257	325	2024	17
D_03	SLU_01	257	325	2024	52	D_06	SLU_01	148	325	2046	213
D_03	SLU_02	151	325	2055	51	D_06	SLU_02	257	325	2024	213
D_03	SLU_03	257	325	2024	52	D_06	SLU_03	151	325	2056	213
D_03	SLU_04	154	325	2065	52	D_06	SLU_04	257	325	2024	212
D_03	SLU_05	199	325	2198	6	D_06	SLU_05	257	325	2024	18
D_03	SLU_06	212	325	2238	6	D_06	SLU_06	257	325	2024	17
D_03	SLU_07	192	325	2178	5	D_06	SLU_07	257	325	2024	17
D_03	SLU_08	214	325	2245	6	D_06	SLU_08	257	325	2024	16



11.1.2.5 Sezione rettangolare orizzontale per  $Z = 5.50$  m

Section cut	Combo	V <sub>Rd,1</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kN]	Section cut	Combo	V <sub>Rd,1</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kN]
E_01	SLU_01	204	49	E_04	SLU_01	214	58
E_01	SLU_02	207	75	E_04	SLU_02	206	33
E_01	SLU_03	257	42	E_04	SLU_03	152	68
E_01	SLU_04	208	85	E_04	SLU_04	204	25
E_01	SLU_05	184	93	E_04	SLU_05	257	90
E_01	SLU_06	191	67	E_04	SLU_06	257	64
E_01	SLU_07	180	99	E_04	SLU_07	257	99
E_01	SLU_08	192	56	E_04	SLU_08	257	56
E_02	SLU_01	257	47	E_05	SLU_01	152	56
E_02	SLU_02	145	72	E_05	SLU_02	145	30
E_02	SLU_03	257	40	E_05	SLU_03	153	67
E_02	SLU_04	146	83	E_05	SLU_04	141	24
E_02	SLU_05	183	91	E_05	SLU_05	257	78
E_02	SLU_06	190	65	E_05	SLU_06	257	53
E_02	SLU_07	180	98	E_05	SLU_07	257	92
E_02	SLU_08	191	55	E_05	SLU_08	257	49
E_03	SLU_01	204	49	E_06	SLU_01	214	58
E_03	SLU_02	207	75	E_06	SLU_02	206	33
E_03	SLU_03	257	42	E_06	SLU_03	152	68
E_03	SLU_04	208	85	E_06	SLU_04	204	25
E_03	SLU_05	184	93	E_06	SLU_05	257	90
E_03	SLU_06	191	67	E_06	SLU_06	257	64
E_03	SLU_07	180	99	E_06	SLU_07	257	99
E_03	SLU_08	192	56	E_06	SLU_08	257	56



11.1.2.6 Sezione rettangolare orizzontale per  $Z = 8.04$  m

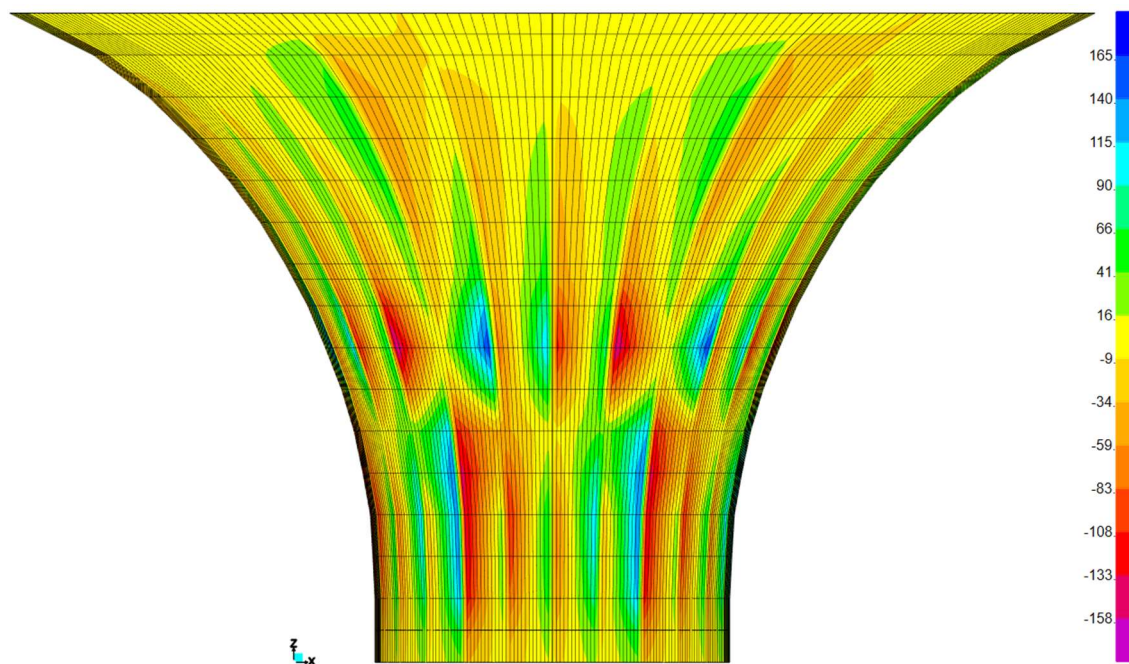
Section cut	Combo	$V_{Rd,1}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]	Section cut	Combo	$V_{Rd,1}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]
F_01	SLU_01	165	33	F_04	SLU_01	171	51
F_01	SLU_02	175	39	F_04	SLU_02	208	45
F_01	SLU_03	208	33	F_04	SLU_03	149	55
F_01	SLU_04	153	43	F_04	SLU_04	208	45
F_01	SLU_05	179	156	F_04	SLU_05	208	144
F_01	SLU_06	189	150	F_04	SLU_06	208	137
F_01	SLU_07	175	154	F_04	SLU_07	208	147
F_01	SLU_08	191	144	F_04	SLU_08	208	136
F_02	SLU_01	142	31	F_05	SLU_01	147	50
F_02	SLU_02	151	37	F_05	SLU_02	208	43
F_02	SLU_03	208	32	F_05	SLU_03	149	55
F_02	SLU_04	153	42	F_05	SLU_04	208	44
F_02	SLU_05	177	148	F_05	SLU_05	208	129
F_02	SLU_06	186	141	F_05	SLU_06	208	123
F_02	SLU_07	174	149	F_05	SLU_07	208	138
F_02	SLU_08	189	139	F_05	SLU_08	208	127
F_03	SLU_01	165	33	F_06	SLU_01	171	51
F_03	SLU_02	175	39	F_06	SLU_02	208	45
F_03	SLU_03	208	33	F_06	SLU_03	149	55
F_03	SLU_04	153	43	F_06	SLU_04	208	45
F_03	SLU_05	179	156	F_06	SLU_05	208	144
F_03	SLU_06	189	150	F_06	SLU_06	208	137
F_03	SLU_07	175	154	F_06	SLU_07	208	147
F_03	SLU_08	191	144	F_06	SLU_08	208	136

	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti <b>DIGA GIBBESI</b> RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE <b>SFIORATORI A CALICE</b>	
II122F A-SIS-RT-212-00	RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO	Pag. 112 di 147

#### 11.1.2.7 Sezione rettangolare verticale per $Z < 6.00$ m



Si considera la sezione armata con 4Ø22/m ad entrambi i lembi.

Le azioni massime agenti sulla suddetta porzione di struttura si trovano mediante la combinazione SLU\_03, come mostrato nella seguente figura.



**Figura 11.17: Combinazione SLU\_03 – Azione di taglio V13**

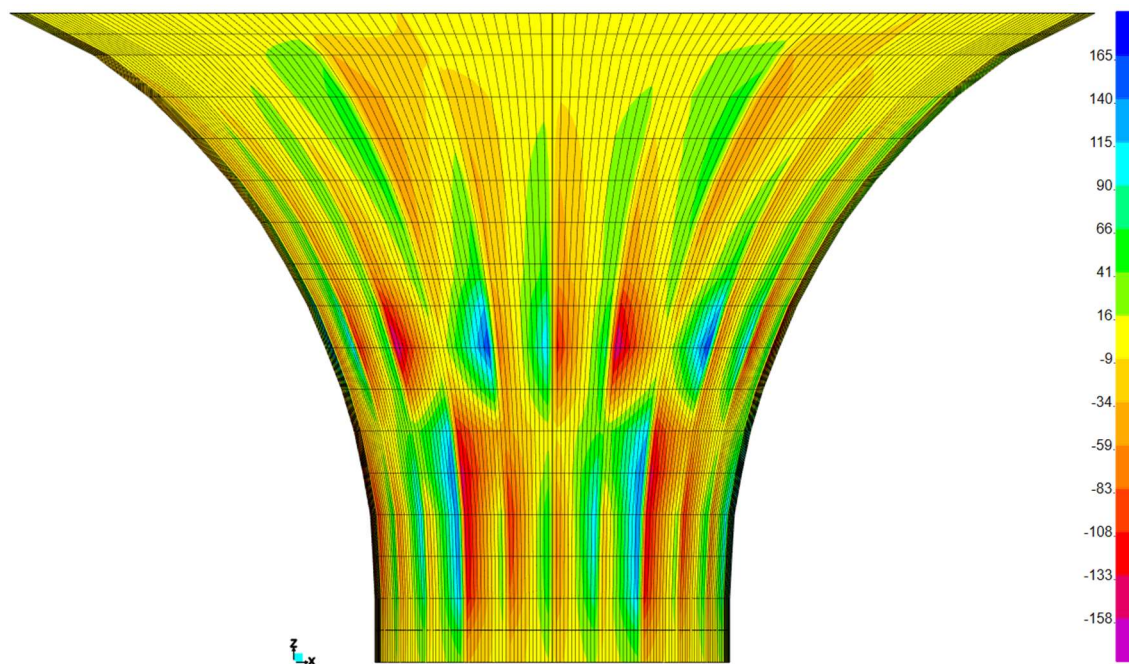
Verifica SLU per  $N = 180$  kN (a favore di sicurezza) e  $V = 130$  kN: la sezione senza armatura trasversale resistente a taglio ha resistenza  $V_{Rd} = 142$  kN, ovvero la sezione resiste a taglio senza la necessità di avere armatura specifica ( $CS = 1.09$ ).

	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti <b>DIGA GIBBESI</b> RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE <b>SFIORATORI A CALICE</b>	
II122F A-SIS-RT-212-00	RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO	Pag. 113 di 147

#### 11.1.2.8 Sezione rettangolare verticale per $Z > 6.00$ m



Si considera la sezione armata con  $4\varnothing 16/\text{m}$  ad entrambi i lembi.

Le azioni massime agenti sulla suddetta porzione di struttura si trovano mediante la combinazione SLU\_03, come mostrato nella seguente figura.



**Figura 11.18: Combinazione SLU\_03 – Azione di taglio V13**

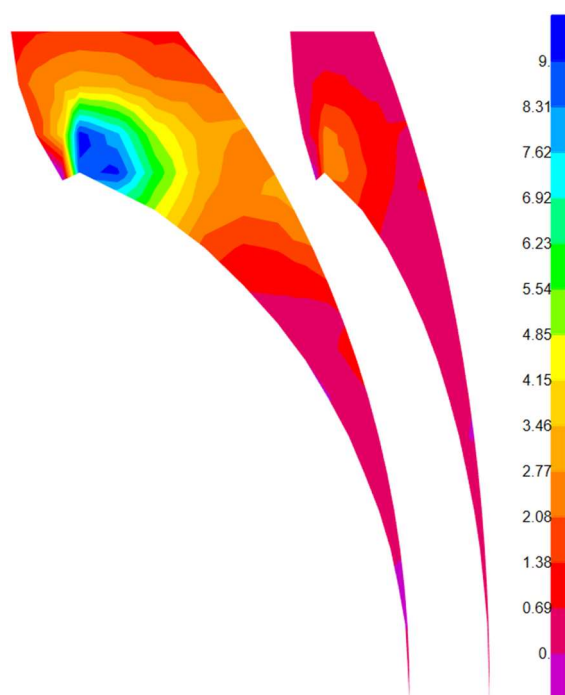
Verifica SLU per  $N = 450$  kN (a favore di sicurezza) e  $V = 40$  kN: la sezione senza armatura trasversale resistente a taglio ha resistenza  $V_{Rd} = 86$  kN, ovvero la sezione resiste a taglio senza la necessità di avere armatura specifica ( $CS = 2.15$ ).

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 114 di 147</p>

#### 11.1.2.9 Sezioni dei setti antivortice

La sezione dei setti antivortice è armata con 4Ø16/m ad entrambi i lembi.

Le azioni massime agenti sulla suddetta porzione di struttura si trovano mediante la combinazione SLU\_01, come mostrato nella seguente figura.





**Figura 11.19: Combinazione SLU\_01 – Azione di taglio V23**

Verifica SLU per  $N = 430 \text{ kN}$  (a favore di sicurezza) e  $V = 9 \text{ kN}$ : la sezione senza armatura trasversale resistente a taglio ha resistenza  $V_{Rd} = 146 \text{ kN}$ , ovvero la sezione resiste a taglio senza la necessità di avere armatura specifica ( $CS = 16.22$ ).

#### 11.1.3. Conclusioni

Come appare chiaro dai risultati delle verifiche appena effettuate, la struttura dello sfioratore a calice risulta staticamente verificata.

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 115 di 147</p>

## 11.2. Verifiche sismiche (SLV)

Le verifiche sismiche vengono svolte in due condizioni: a **breve termine** e a **lungo termine**. Le prime vengono effettuate sulle sezioni così come da progetto, ovvero allo stato di fatto, mentre le seconde, a lungo termine, devono necessariamente tener conto della corrosione delle barre di calcestruzzo che può avvenire durante la vita utile della struttura (50 anni) a causa della carbonatazione.

### 11.2.1. Verifiche sismiche (SLV) a breve termine

Le verifiche sismiche a breve termine, come si è detto, vengono svolte col fine di verificare le sezioni “allo stato di fatto”.

#### 11.2.1.1 Verifiche a flessione

Le verifiche a flessione delle sezioni sono condotte con il software ENG-PRELIM di SigmaC Software.

Si è considerata la struttura come a comportamento non dissipativo (ND): non è quindi necessario effettuare alcuna verifica di duttilità. Tali verifiche, però, sono sostituite dalla verifica che in tutte le sezioni il momento di progetto  $M_{Rd}$  non superi mai  $M'_{yd}$ , ovvero il momento resistente massimo della sezione in campo sostanzialmente elastico (come specificato dalle NTC18 al §7.4.1 e §4.1.2.3.4.2).

È possibile effettuare questa verifica imponendo che la deformazione massima raggiungibile dalle barre d'armatura sia pari a:

$$\varepsilon_s = \frac{f_{yd}}{E}$$

Dove:

- Barre FeB 44 k:  $f_{yd} = 373.91 \text{ MPa}$  = resistenza di progetto dell'acciaio;
- $E = 200\,000 \text{ MPa}$  = modulo elastico dell'acciaio.

Quindi  $\varepsilon_s = 1.87 \cdot 10^{-3}$

In pratica, queste verifiche non tengono conto del ramo plastico dell'acciaio poiché esso deve rimanere in campo “sostanzialmente elastico”.

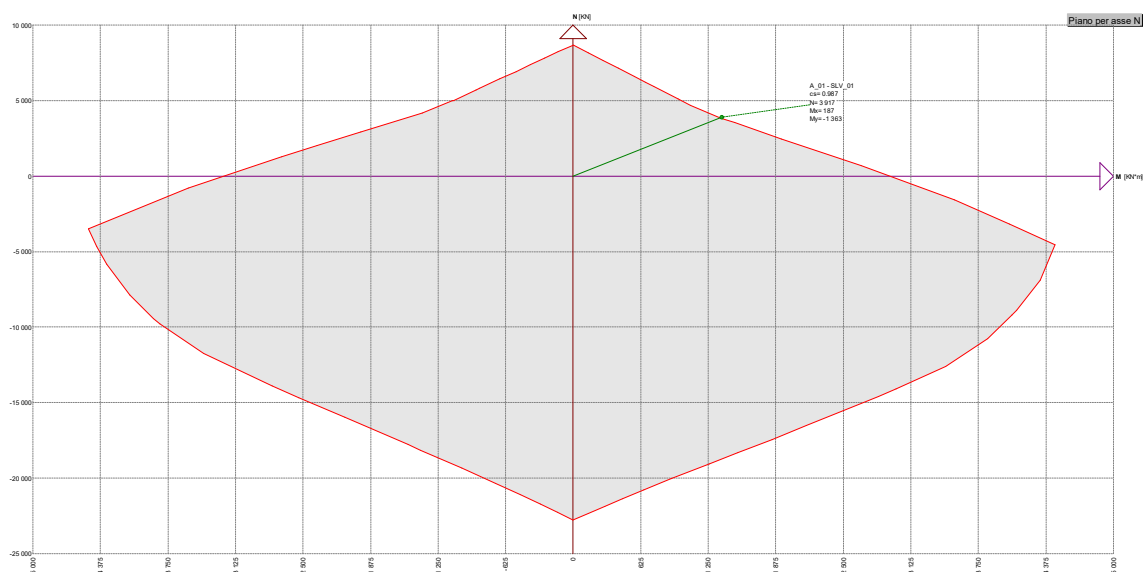


### 11.2.1.1.1 Sezione a T per $Z = 0.05 \text{ m}$

Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-22779	8678	kN
$M_x$	-5045	7288	kNm
$M_y$	-3047	3048	kNm

I risultati delle verifiche a flessione effettuati sulle suddette sezioni sono riportati in forma tabellare. Nel seguito è mostrato il diagramma M-N della condizione più sfavorevole riscontrata.

Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione
A_01	SLV_01	0.99	armatura
A_01	SLV_02	0.99	armatura
A_02	SLV_01	3.26	armatura
A_02	SLV_02	3.29	armatura
A_03	SLV_01	7.43	armatura
A_03	SLV_02	7.28	armatura
A_04	SLV_01	5.68	armatura
A_04	SLV_02	5.63	armatura
A_05	SLV_01	8.10	armatura
A_05	SLV_02	7.93	armatura
A_06	SLV_01	2.80	armatura
A_06	SLV_02	2.80	armatura

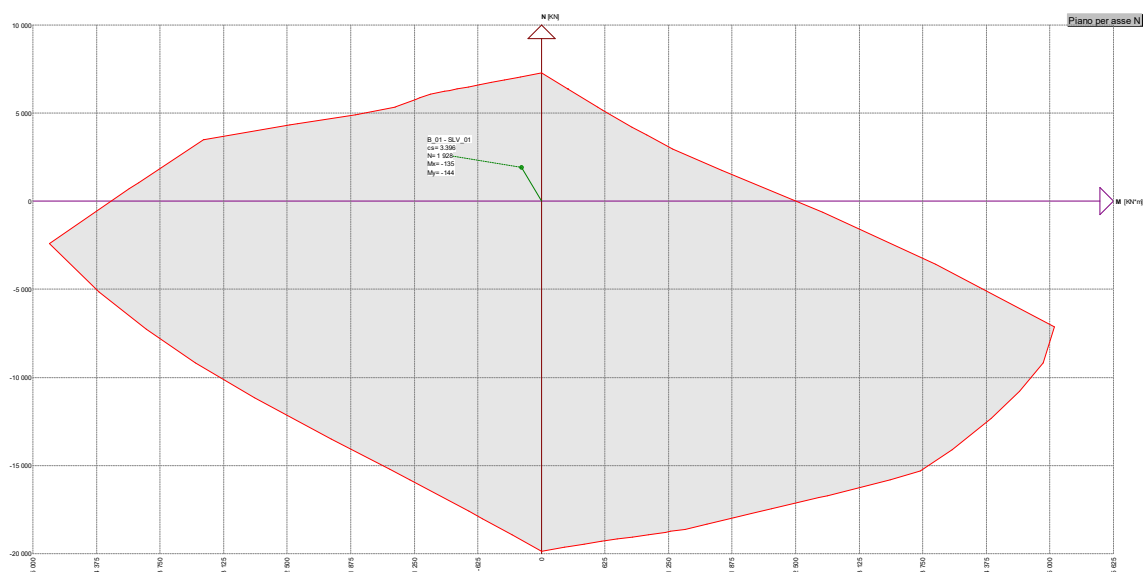


### 11.2.1.1.2 Sezione a T per $Z = 5.50 \text{ m}$

Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-19874	7282	kN
$M_x$	-3032	4409	kNm
$M_y$	-2961	2961	kNm

I risultati delle verifiche a flessione effettuati sulle suddette sezioni sono riportati in forma tabellare. Nel seguito è mostrato il diagramma M-N della condizione più sfavorevole riscontrata.

Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione
B_01	SLV_01	3.40	armatura
B_01	SLV_02	3.43	armatura
B_02	SLV_01	6.05	armatura
B_02	SLV_02	6.14	armatura
B_03	SLV_01	11.19	armatura
B_03	SLV_02	10.99	armatura
B_04	SLV_01	10.55	armatura
B_04	SLV_02	10.42	armatura
B_05	SLV_01	10.63	armatura
B_05	SLV_02	10.60	armatura
B_06	SLV_01	4.37	armatura
B_06	SLV_02	4.47	armatura

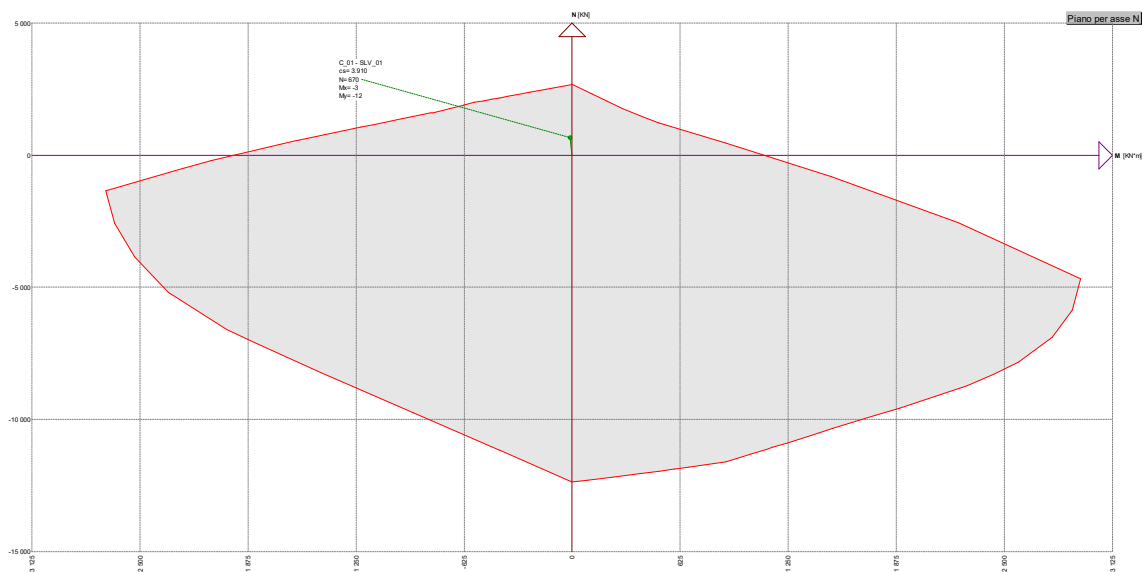


### 11.2.1.1.3 Sezione a T per $Z = 8.04 \text{ m}$

Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-12372	2678	kN
$M_x$	-760	782	kNm
$M_y$	-1589	1589	kNm

I risultati delle verifiche a flessione effettuati sulle suddette sezioni sono riportati in forma tabellare. Nel seguito è mostrato il diagramma M-N della condizione più sfavorevole riscontrata.

Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione
C_01	SLV_01	3.91	armatura
C_01	SLV_02	4.03	armatura
C_02	SLV_01	27.66	armatura
C_02	SLV_02	33.73	armatura
C_03	SLV_01	29.08	armatura
C_03	SLV_02	28.15	armatura
C_04	SLV_01	14.37	armatura
C_04	SLV_02	14.07	armatura
C_05	SLV_01	45.31	armatura
C_05	SLV_02	43.61	armatura
C_06	SLV_01	8.37	armatura
C_06	SLV_02	8.88	armatura

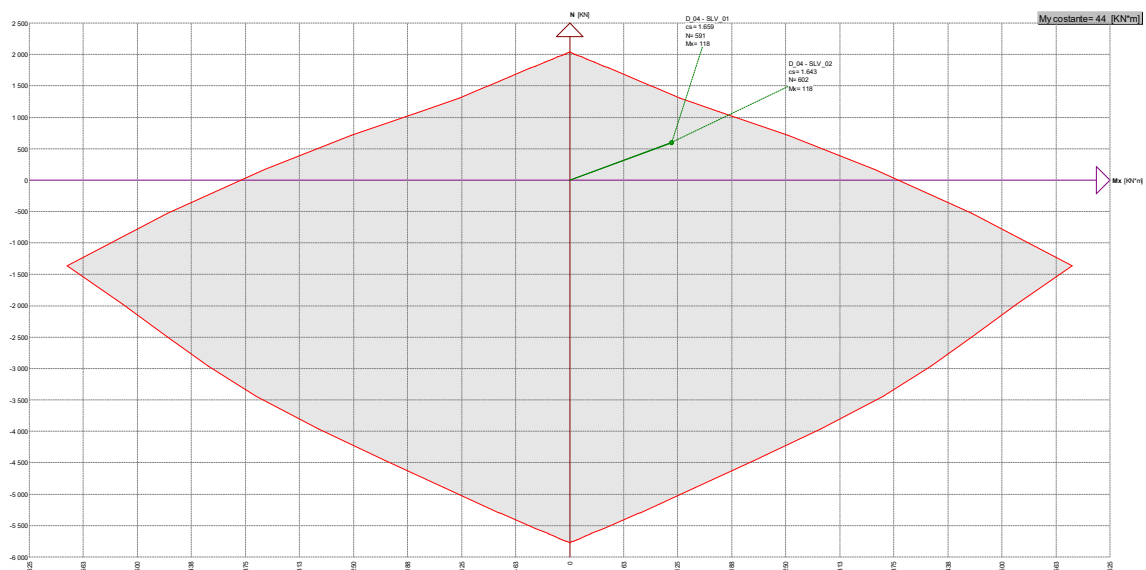


#### 11.2.1.1.4 Sezione rettangolare orizzontale per $Z = 0.05 \text{ m}$

Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-5991	2274	kN
$M_x$	-405	405	kNm
$M_y$	-537	537	kNm

I risultati delle verifiche a flessione effettuati sulle suddette sezioni sono riportati in forma tabellare. Nel seguito è mostrato il diagramma M-N della condizione più sfavorevole riscontrata.

Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione
D_01	SLV_01	1.82	armatura
D_01	SLV_02	1.83	armatura
D_02	SLV_01	4.00	armatura
D_02	SLV_02	4.06	armatura
D_03	SLV_01	5.66	armatura
D_03	SLV_02	5.60	armatura
D_04	SLV_01	1.58	armatura
D_04	SLV_02	1.56	armatura
D_05	SLV_01	2.30	armatura
D_05	SLV_02	2.29	armatura
D_06	SLV_01	3.56	armatura
D_06	SLV_02	3.58	armatura

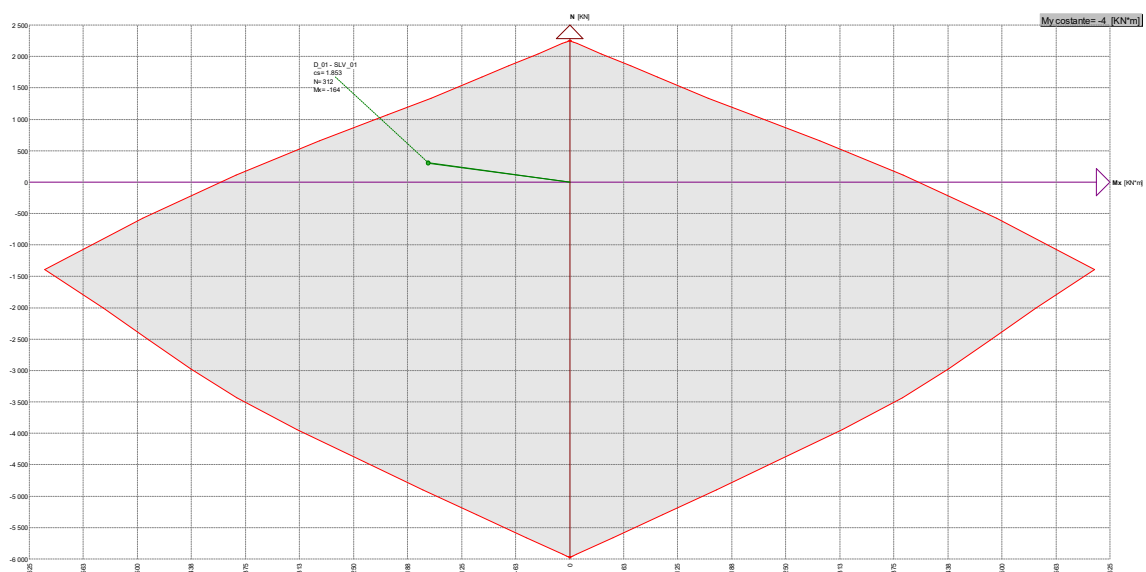


*11.2.1.1.5 Sezione rettangolare orizzontale per  $Z = 5.50\text{ m}$*

Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-5991	2274	kN
$M_x$	-405	405	kNm
$M_y$	-537	537	kNm

I risultati delle verifiche a flessione effettuati sulle suddette sezioni sono riportati in forma tabellare. Nel seguito è mostrato il diagramma M-N della condizione più sfavorevole riscontrata.

Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione
E_01	SLV_01	1.84	armatura
E_01	SLV_02	1.85	armatura
E_02	SLV_01	1.95	armatura
E_02	SLV_02	1.96	armatura
E_03	SLV_01	8.80	armatura
E_03	SLV_02	8.71	armatura
E_04	SLV_01	2.04	armatura
E_04	SLV_02	2.02	armatura
E_05	SLV_01	2.18	armatura
E_05	SLV_02	2.16	armatura
E_06	SLV_01	7.98	armatura
E_06	SLV_02	8.06	armatura



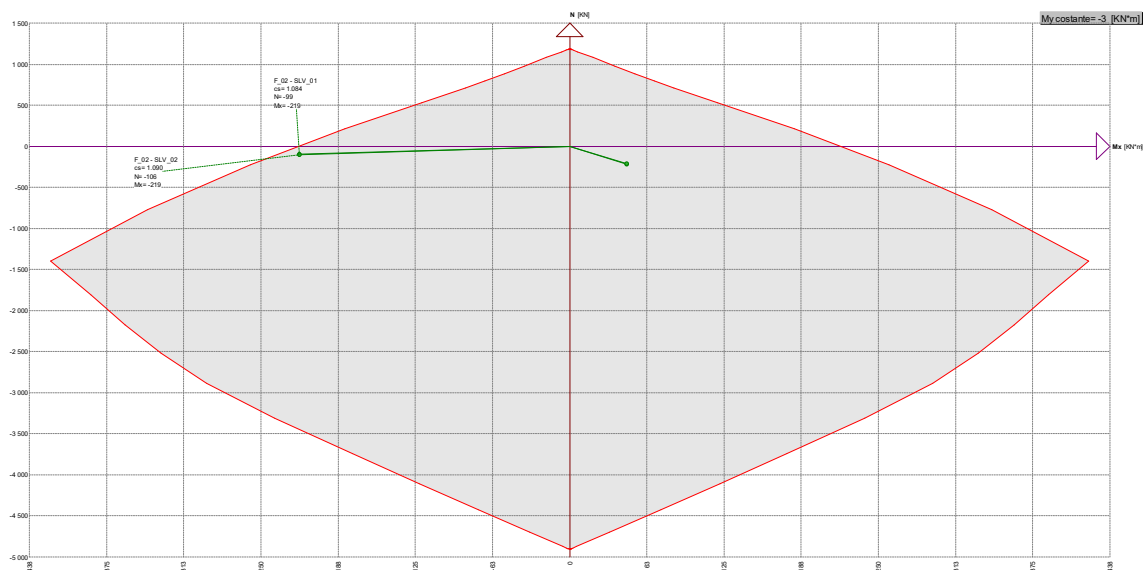


#### 11.2.1.1.6 Sezione rettangolare orizzontale per $Z = 8.04 \text{ m}$

Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-4920	1203	kN
$M_x$	-220	220	kNm
$M_y$	-307	307	kNm

I risultati delle verifiche a flessione effettuati sulle suddette sezioni sono riportati in forma tabellare. Nel seguito è mostrato il diagramma M-N della condizione più sfavorevole riscontrata.

Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione
F_01	SLV_01	1.17	armatura
F_01	SLV_02	1.18	armatura
F_02	SLV_01	1.08	armatura
F_02	SLV_02	1.09	armatura
F_03	SLV_01	7.70	armatura
F_03	SLV_02	7.64	armatura
F_04	SLV_01	1.25	armatura
F_04	SLV_02	1.24	armatura
F_05	SLV_01	1.27	armatura
F_05	SLV_02	1.27	armatura
F_06	SLV_01	8.19	armatura
F_06	SLV_02	8.26	armatura



#### 11.2.1.1.7 Sezione rettangolare verticale

A favore di sicurezza, si verifica la sezione chiamata “tipo H”, armata con 4Ø16/m ad entrambi i lembi.

Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-4319	601	kN
M <sub>x</sub>	-122	122	kNm

Le azioni massime agenti sulla suddetta porzione di struttura si trovano mediante la combinazione SLV\_01, come mostrato nelle seguenti figure.

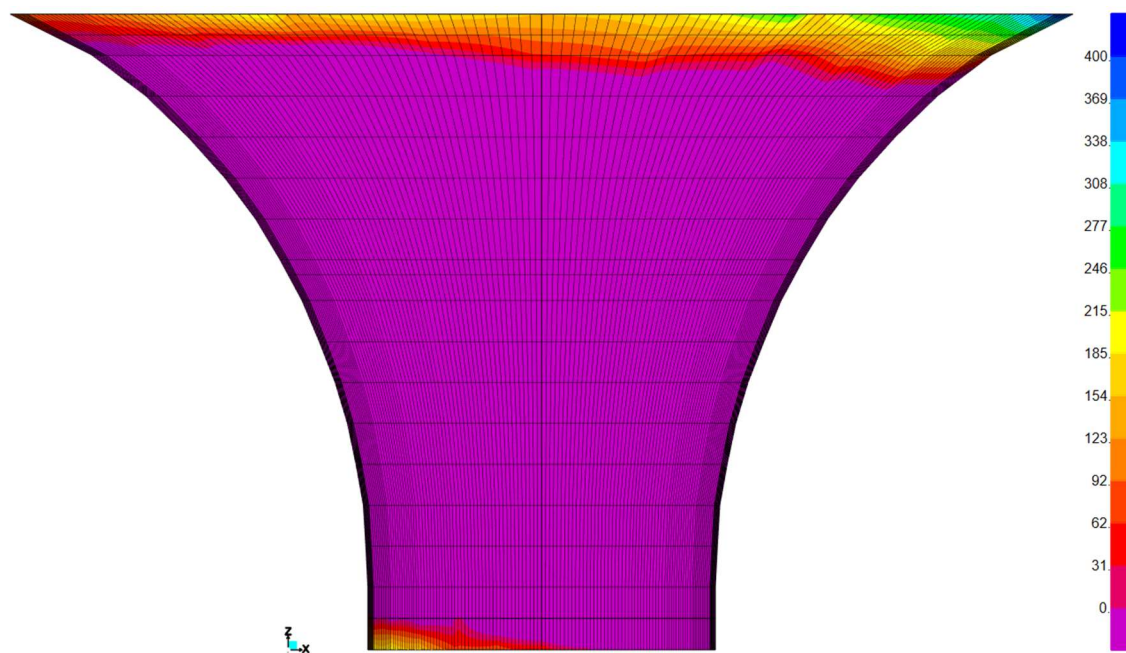
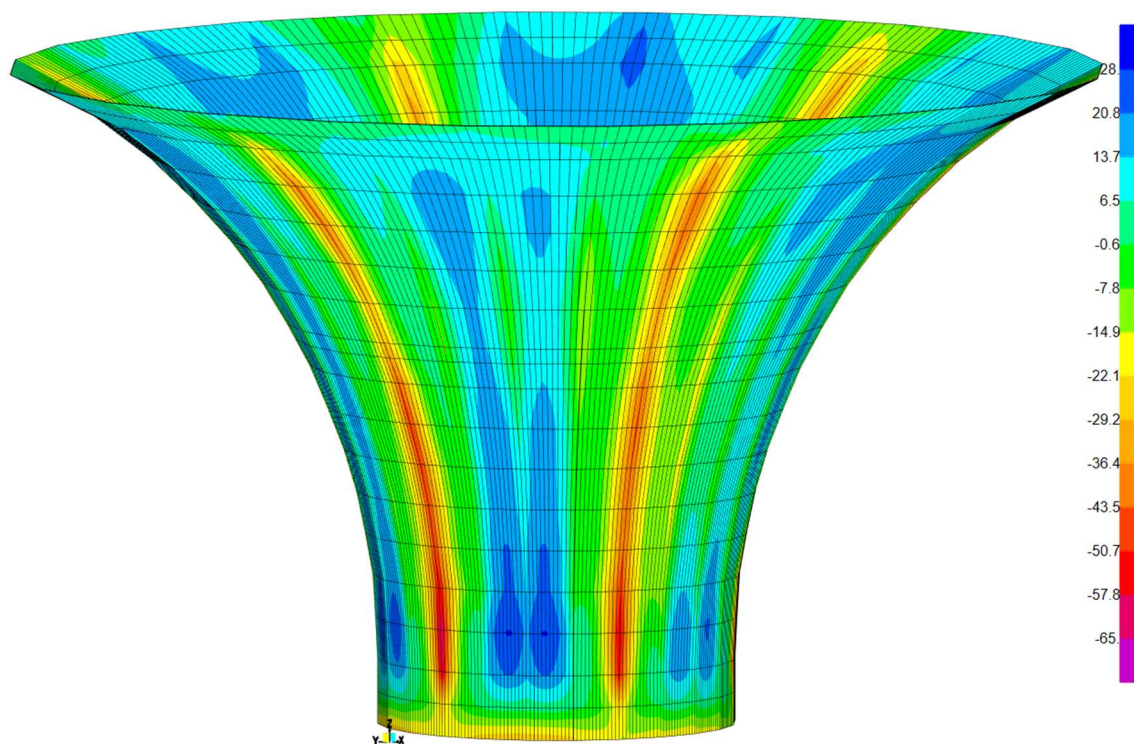


Figura 11.20: Combinazione SLV\_01 – Azione assiale F11

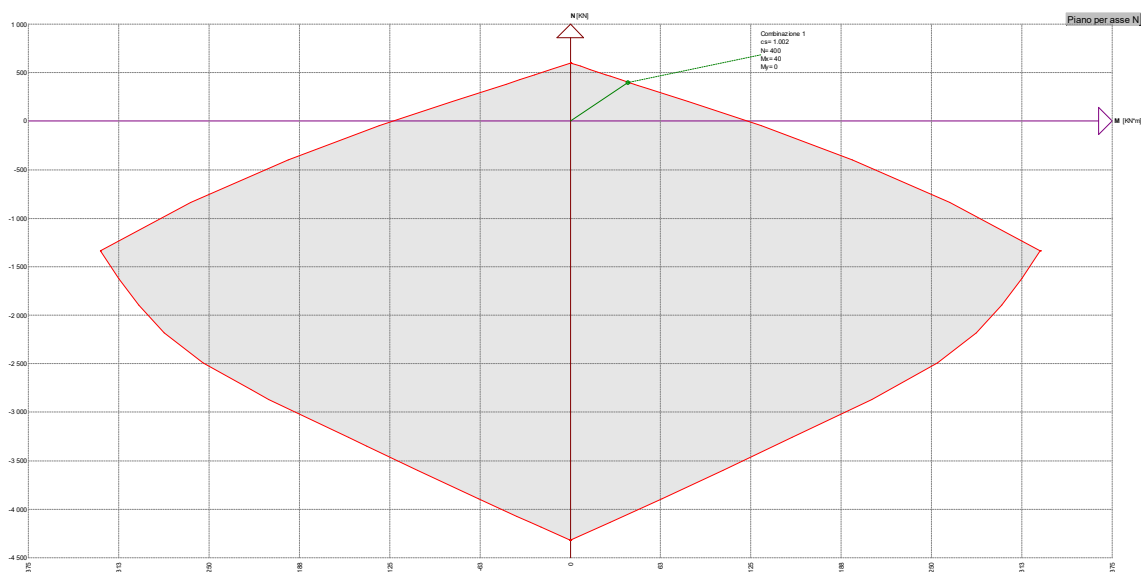


**Figura 11.21: Combinazione SLV\_01 – Momento flettente M11**

Le massime azioni agenti, opportunamente mediate su un metro lineare di struttura per evitare picchi non realistici di sforzi, sono le seguenti:

- $N = 400 \text{ kN}$
- $M_x = 40 \text{ kNm}$

La verifica a flessione è soddisfatta con un coefficiente di sicurezza  $CS = 1.00$ .

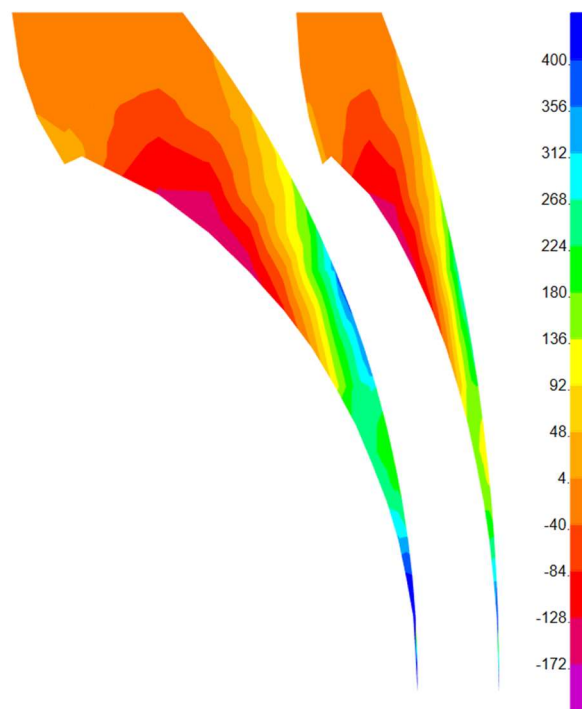


#### 11.2.1.1.8 Sezioni dei setti antivortice

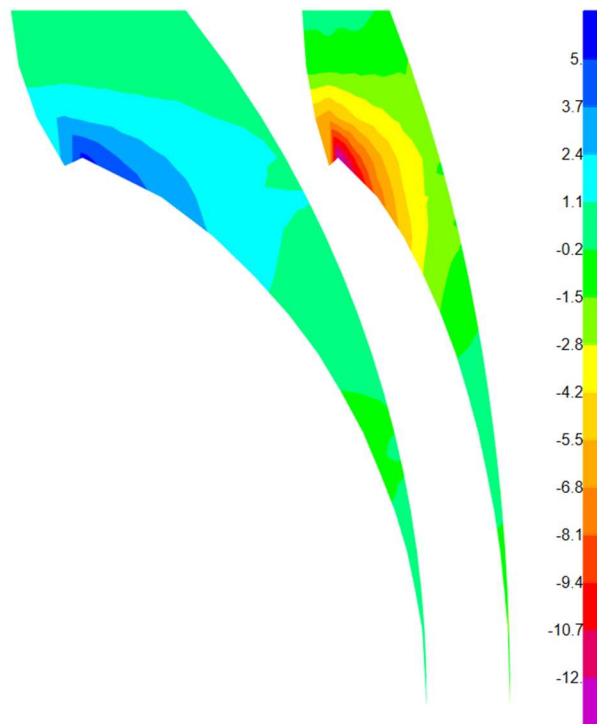
La sezione dei setti antivortice è armata con 4Ø16/m ad entrambi i lembi.

Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-3575	601	kN
M <sub>x</sub>	-86	86	kNm

Le azioni massime agenti sulla suddetta porzione di struttura si trovano mediante la combinazione SLV\_01, come mostrato nelle seguenti figure.



**Figura 11.22: Combinazione SLV\_01 – Azione assiale F22**

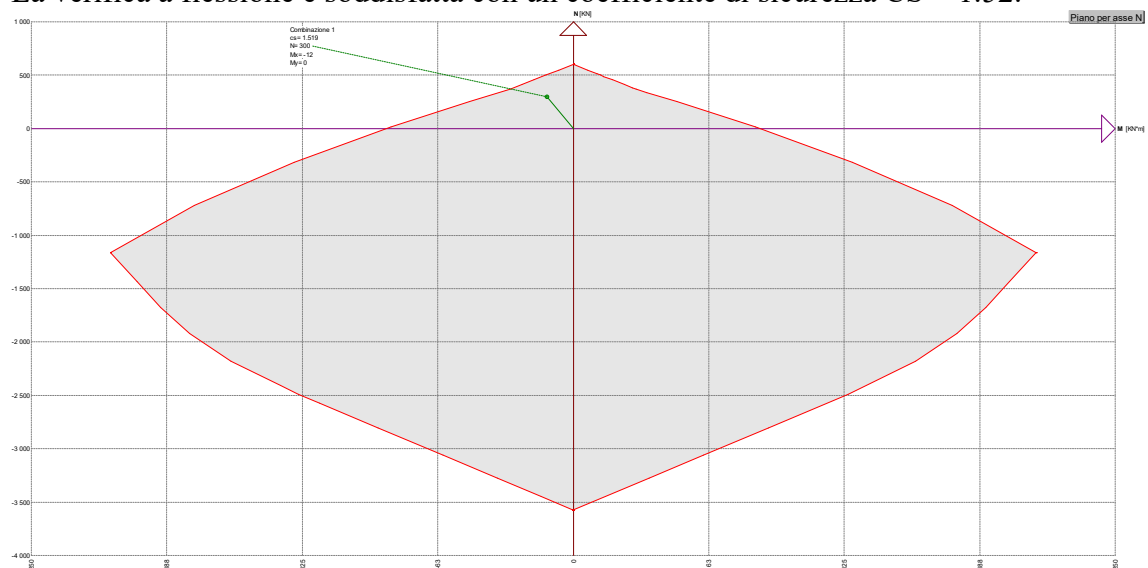


**Figura 11.23: Combinazione SLV\_01 – Momento flettente M22**

Le massime azioni agenti, opportunamente mediate su un metro lineare di struttura per evitare picchi non realistici di sforzi, sono le seguenti:

- $N = 300 \text{ kN}$
- $M_x = -12 \text{ kNm}$

La verifica a flessione è soddisfatta con un coefficiente di sicurezza  $CS = 1.52$ .





### 11.2.1.2 Verifiche a taglio

#### 11.2.1.2.1 Sezione a T per $Z = 0.05 \text{ m}$

La sezione presenta staffe Ø22 passo 25 cm lungo l'anima.

Section cut	Combo	V <sub>Rd,1</sub> [kN]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rcd</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kN]
A_01	SLV_01	475	2340	2178	857
A_01	SLV_02	475	2340	2178	856
A_02	SLV_01	475	2340	2178	432
A_02	SLV_02	475	2340	2178	431
A_03	SLV_01	378	2340	2439	24
A_03	SLV_02	381	2340	2444	23
A_04	SLV_01	459	2337	2559	-40
A_04	SLV_02	462	2337	2563	-41
A_05	SLV_01	489	2337	2257	233
A_05	SLV_02	492	2337	2261	232
A_06	SLV_01	475	2337	2175	640
A_06	SLV_02	475	2337	2175	639

#### 11.2.1.2.2 Sezione a T per $Z = 5.50 \text{ m}$

La sezione presenta staffe Ø22 passo 25 cm lungo l'anima.

Section cut	Combo	V <sub>Rd,1</sub> [kN]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rcd</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kN]
B_01	SLV_01	372	1769	1647	211
B_01	SLV_02	372	1769	1647	206
B_02	SLV_01	372	1769	1647	139
B_02	SLV_02	372	1769	1647	135
B_03	SLV_01	359	1769	1737	106
B_03	SLV_02	361	1769	1739	102
B_04	SLV_01	266	1754	1790	66
B_04	SLV_02	268	1754	1792	61
B_05	SLV_01	380	1754	1650	139
B_05	SLV_02	382	1754	1652	135
B_06	SLV_01	369	1754	1632	172
B_06	SLV_02	369	1754	1632	168

#### 11.2.1.2.3 Sezione a T per $Z = 8.04 \text{ m}$

La sezione presenta staffe Ø22 passo 25 cm lungo l'anima.

Section cut	Combo	V <sub>Rd,1</sub> [kN]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rcd</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kN]
C_01	SLV_01	202	867	807	232
C_01	SLV_02	202	867	807	225
C_02	SLV_01	198	846	788	55
C_02	SLV_02	177	846	789	49
C_03	SLV_01	105	846	808	39
C_03	SLV_02	105	846	809	46
C_04	SLV_01	119	846	829	135
C_04	SLV_02	120	846	830	142
C_05	SLV_01	182	867	812	44
C_05	SLV_02	152	867	813	37
C_06	SLV_01	202	867	807	138
C_06	SLV_02	202	867	807	132

#### 11.2.1.2.4 Sezione rettangolare orizzontale per $Z = 0.05 \text{ m}$

La sezione ferri piegati Ø16 in corrispondenza delle barre longitudinali Ø22



Section cut	Combo	V <sub>Rd,1</sub> [kN]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rcd</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kN]
D_01	SLV_01	257	325	2024	75
D_01	SLV_02	257	325	2024	75
D_02	SLV_01	238	325	2127	25
D_02	SLV_02	240	325	2131	25
D_03	SLV_01	246	325	2339	4
D_03	SLV_02	247	325	2343	4
D_04	SLV_01	257	325	2024	132
D_04	SLV_02	257	325	2024	132
D_05	SLV_01	232	325	2108	178
D_05	SLV_02	231	325	2104	177
D_06	SLV_01	247	325	2344	220
D_06	SLV_02	246	325	2340	220

*11.2.1.2.5 Sezione rettangolare orizzontale per  $Z = 5.50\text{ m}$*

Section cut	Combo	$V_{Rd,1}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]
E_01	SLV_01	204	116
E_01	SLV_02	204	115
E_02	SLV_01	218	23
E_02	SLV_02	219	22
E_03	SLV_01	250	31
E_03	SLV_02	251	33
E_04	SLV_01	204	98
E_04	SLV_02	204	99
E_05	SLV_01	224	12
E_05	SLV_02	223	13
E_06	SLV_01	257	41
E_06	SLV_02	256	39

*11.2.1.2.6 Sezione rettangolare orizzontale per  $Z = 8.04\text{ m}$*

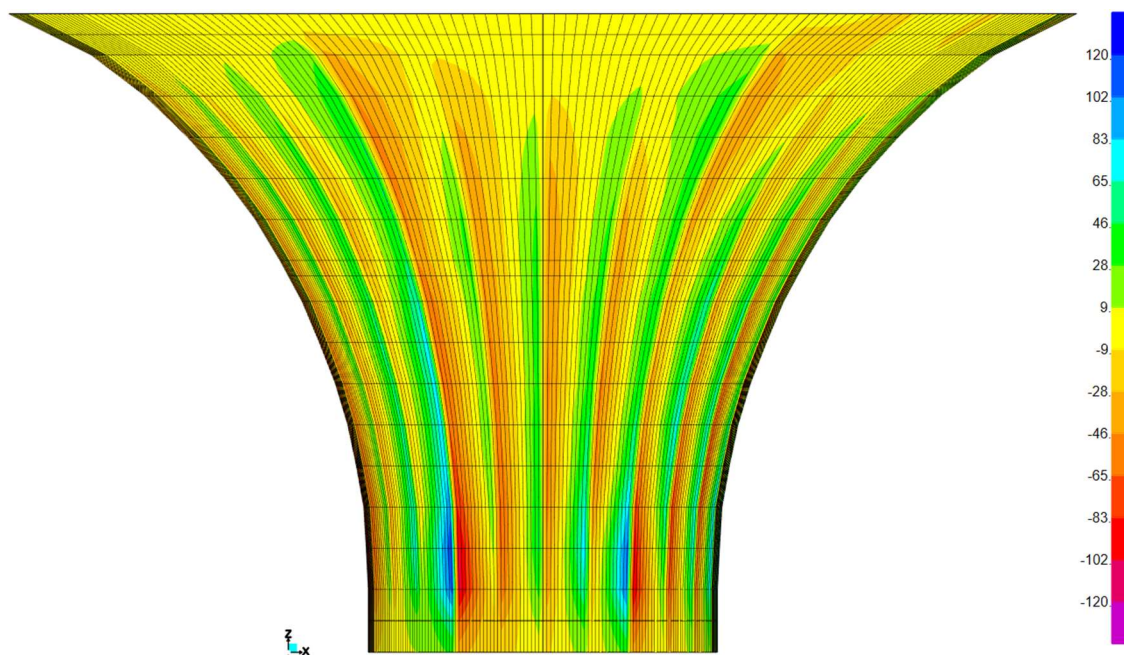
Section cut	Combo	$V_{Rd,1}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]
F_01	SLV_01	165	115
F_01	SLV_02	165	112
F_02	SLV_01	178	4
F_02	SLV_02	179	7
F_03	SLV_01	195	66
F_03	SLV_02	196	70
F_04	SLV_01	165	108
F_04	SLV_02	165	111
F_05	SLV_01	175	9
F_05	SLV_02	174	12
F_06	SLV_01	193	46
F_06	SLV_02	192	43

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 129 di 147</p>

#### 11.2.1.2.7 Sezione rettangolare verticale



Si considera, a favore di sicurezza, la sezione armata con 4Ø16/m ad entrambi i lembi.

Le azioni massime agenti sulla suddetta porzione di struttura si trovano mediante la combinazione SLV\_01, come mostrato nella seguente figura.



**Figura 11.24: Combinazione SLV\_01 – Azione di taglio V13**

Verifica SLV per  $N = 400$  kN (a favore di sicurezza) e  $V = 120$  kN: la sezione senza armatura trasversale resistente a taglio ha resistenza  $V_{Rd} = 169$  kN, ovvero la sezione resiste a taglio senza la necessità di avere armatura specifica ( $CS = 1.41$ ).

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 130 di 147</p>

#### 11.2.1.2.8 Sezioni dei setti antivortice

La sezione dei setti antivortice è armata con 4Ø16/m ad entrambi i lembi.

Le azioni massime agenti sulla suddetta porzione di struttura si trovano mediante la combinazione SLV\_01, come mostrato nella seguente figura.

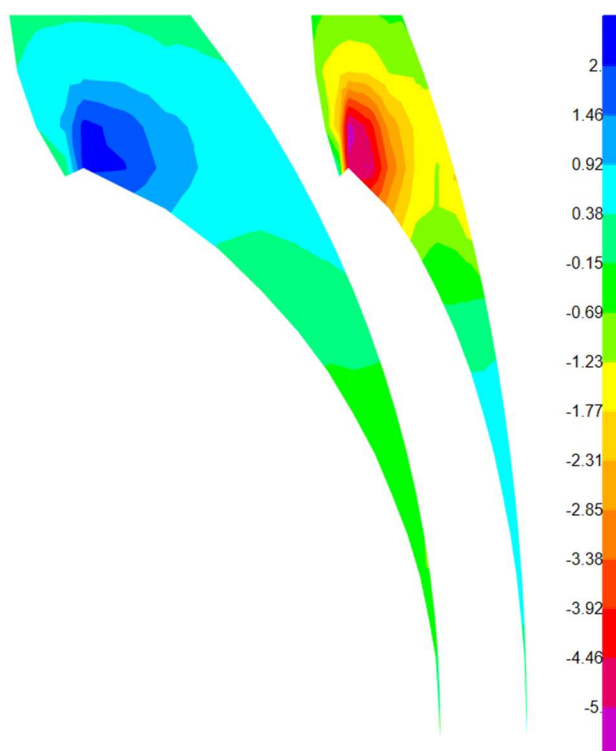


Figura 11.25: Combinazione SLV\_01 – Azione di taglio V23

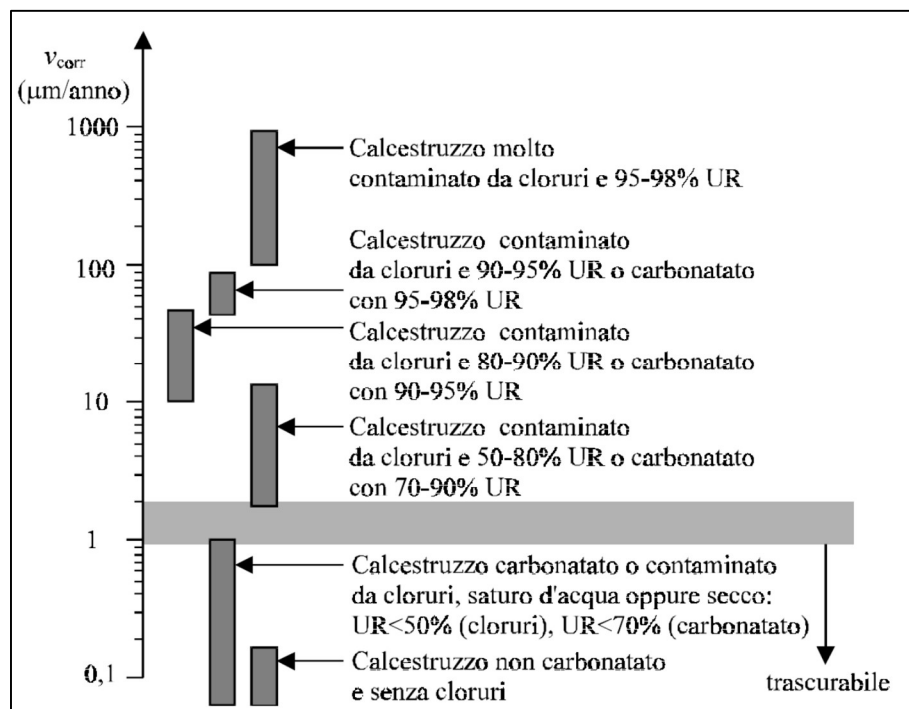
Verifica SLV per  $N = 300 \text{ kN}$  (a favore di sicurezza) e  $V = -5 \text{ kN}$ : la sezione senza armatura trasversale resistente a taglio ha resistenza  $V_{Rd} = 146 \text{ kN}$ , ovvero la sezione resiste a taglio senza la necessità di avere armatura specifica ( $CS = 29.20$ ).



### 11.2.2. Verifiche sismiche (SLV) a lungo termine

Le verifiche sismiche a lungo termine devono tener conto della corrosione delle barre di calcestruzzo che può avvenire durante la vita utile della struttura (50 anni) a causa della carbonatazione.

La velocità di corrosione delle barre si può stimare attraverso il grafico riportato di seguito (P. Pedferri, L. Bertolini, *La durabilità del calcestruzzo armato*, ISBN 88 386 0845-Ed. Mc Graw-Hill, 2000).



**Figura 11.26: Indicazioni approssimate della velocità di corrosione al variare delle condizioni ambientali e del tipo di calcestruzzo secondo Pedferri**

Per la struttura in oggetto si può stimare una riduzione del diametro delle barre di circa 2 mm a 50 anni.

#### 11.2.2.1 Verifiche a flessione

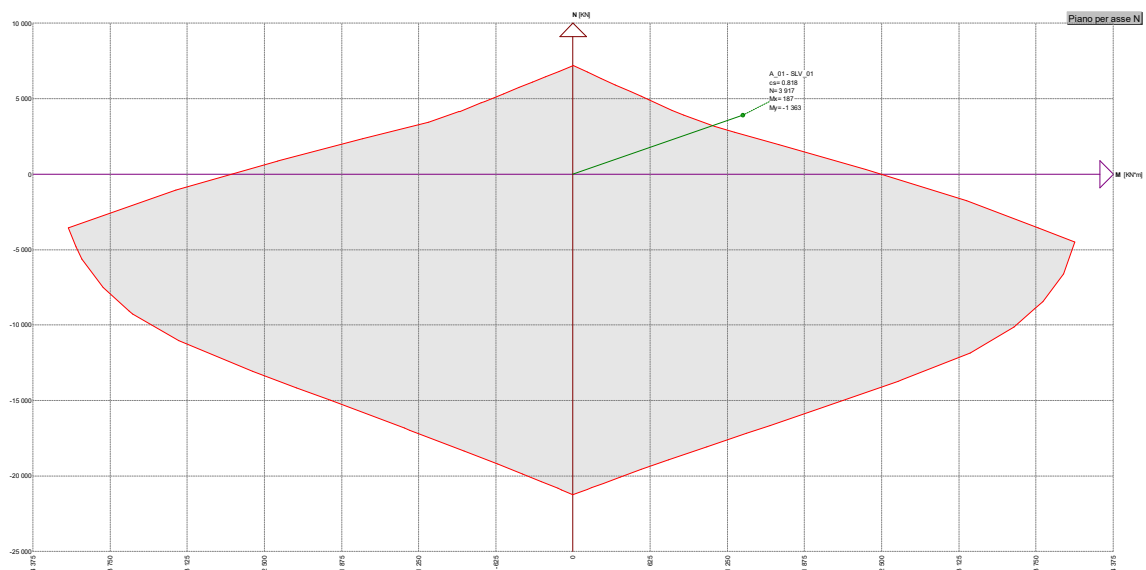
Le verifiche a flessione delle sezioni a lungo termine sono condotte nelle stesse modalità di quelle a breve termine, con la differenza che si impone una riduzione di 2 mm al diametro di ogni barra d'armatura contenuta in ogni sezione.

### 11.2.2.1.1 Sezione a T per $Z = 0.05 \text{ m}$

Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-21263	7172	kN
$M_x$	-4239	6157	kNm
$M_y$	-2591	2592	kNm

I risultati delle verifiche a flessione effettuati sulle suddette sezioni sono riportati in forma tabellare. Nel seguito è mostrato il diagramma M-N della condizione più sfavorevole riscontrata.

Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione
A_01	SLV_01	0.82	armatura
A_01	SLV_02	0.82	armatura
A_02	SLV_01	2.71	armatura
A_02	SLV_02	2.74	armatura
A_03	SLV_01	6.96	armatura
A_03	SLV_02	6.82	armatura
A_04	SLV_01	5.30	armatura
A_04	SLV_02	5.26	armatura
A_05	SLV_01	7.54	armatura
A_05	SLV_02	7.39	armatura
A_06	SLV_01	2.31	armatura
A_06	SLV_02	2.32	armatura

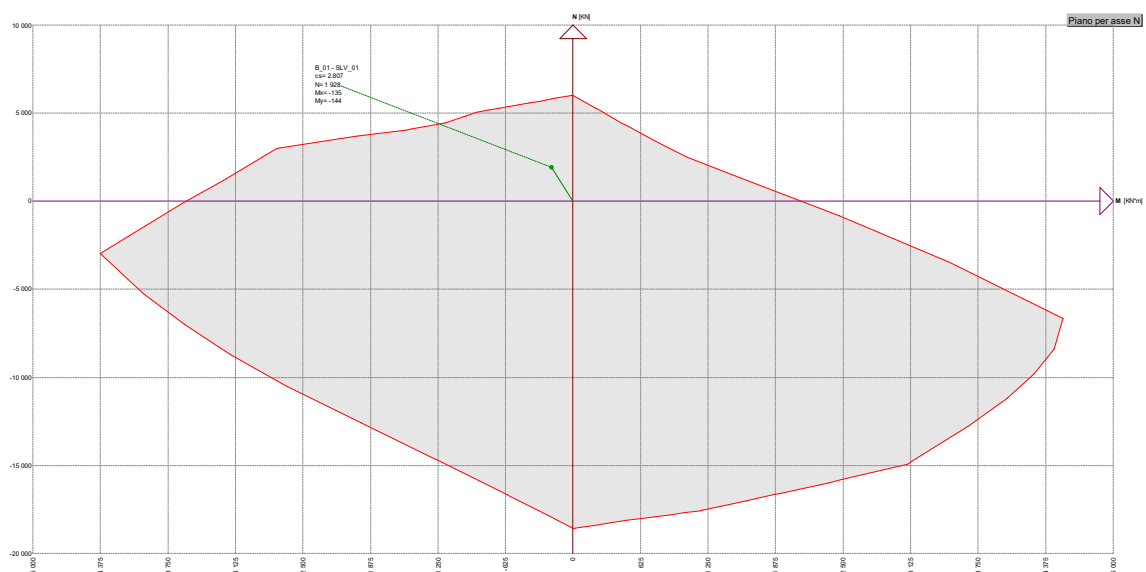


### 11.2.2.1.2 Sezione a T per $Z = 5.50\text{ m}$

Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-18601	6018	kN
$M_x$	-2554	3936	kNm
$M_y$	-2513	2513	kNm

I risultati delle verifiche a flessione effettuati sulle suddette sezioni sono riportati in forma tabellare. Nel seguito è mostrato il diagramma M-N della condizione più sfavorevole riscontrata.

Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione
B_01	SLV_01	2.81	armatura
B_01	SLV_02	2.84	armatura
B_02	SLV_01	5.04	armatura
B_02	SLV_02	5.11	armatura
B_03	SLV_01	10.47	armatura
B_03	SLV_02	10.28	armatura
B_04	SLV_01	9.86	armatura
B_04	SLV_02	9.74	armatura
B_05	SLV_01	9.55	armatura
B_05	SLV_02	9.53	armatura
B_06	SLV_01	3.62	armatura
B_06	SLV_02	3.70	armatura

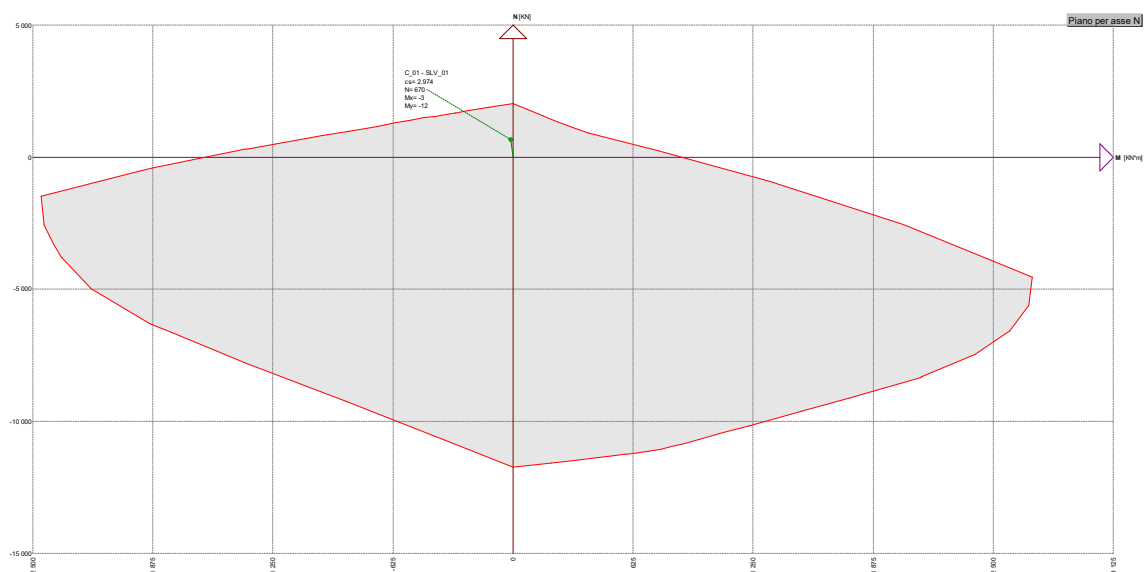


### 11.2.2.1.3 Sezione a T per $Z = 8.04 \text{ m}$

Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-11727	2037	kN
$M_x$	-628	621	kNm
$M_y$	-1260	1260	kNm

I risultati delle verifiche a flessione effettuati sulle suddette sezioni sono riportati in forma tabellare. Nel seguito è mostrato il diagramma M-N della condizione più sfavorevole riscontrata.

Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione
C_01	SLV_01	2.97	armatura
C_01	SLV_02	3.07	armatura
C_02	SLV_01	21.96	armatura
C_02	SLV_02	27.38	armatura
C_03	SLV_01	27.62	armatura
C_03	SLV_02	26.73	armatura
C_04	SLV_01	13.64	armatura
C_04	SLV_02	13.36	armatura
C_05	SLV_01	42.46	armatura
C_05	SLV_02	41.01	armatura
C_06	SLV_01	6.37	armatura
C_06	SLV_02	6.76	armatura

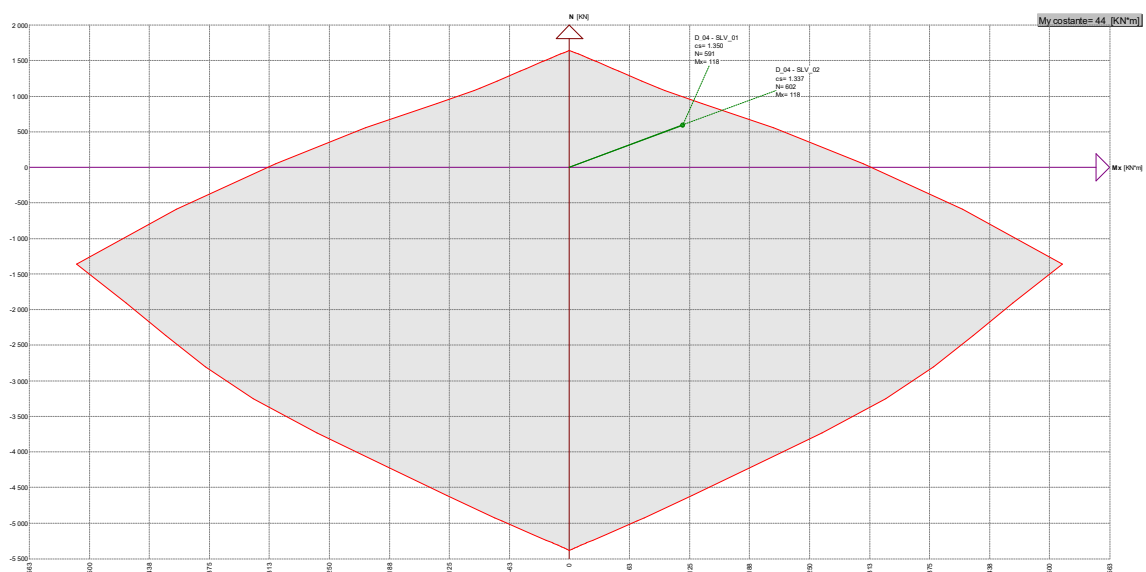


#### 11.2.2.1.4 Sezione rettangolare orizzontale per $Z = 0.05 \text{ m}$

Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-5597	1879	kN
$M_x$	-338	338	kNm
$M_y$	-455	455	kNm

I risultati delle verifiche a flessione effettuati sulle suddette sezioni sono riportati in forma tabellare. Nel seguito è mostrato il diagramma M-N della condizione più sfavorevole riscontrata.

Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione
D_01	SLV_01	1.50	armatura
D_01	SLV_02	1.51	armatura
D_02	SLV_01	3.36	armatura
D_02	SLV_02	3.41	armatura
D_03	SLV_01	5.28	armatura
D_03	SLV_02	5.23	armatura
D_04	SLV_01	1.31	armatura
D_04	SLV_02	1.29	armatura
D_05	SLV_01	1.97	armatura
D_05	SLV_02	1.96	armatura
D_06	SLV_01	3.34	armatura
D_06	SLV_02	3.36	armatura



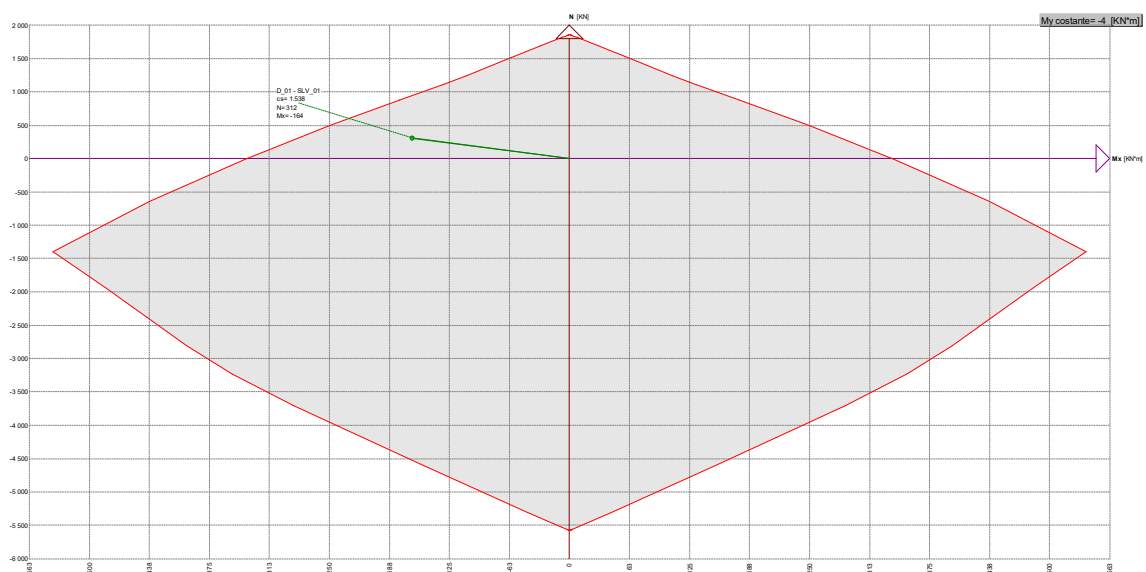


### 11.2.2.1.5 Sezione rettangolare orizzontale per $Z = 5.50 \text{ m}$

Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-5597	1879	kN
$M_x$	-338	338	kNm
$M_y$	-455	455	kNm

I risultati delle verifiche a flessione effettuati sulle suddette sezioni sono riportati in forma tabellare. Nel seguito è mostrato il diagramma M-N della condizione più sfavorevole riscontrata.

Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione
E_01	SLV_01	1.53	armatura
E_01	SLV_02	1.54	armatura
E_02	SLV_01	1.63	armatura
E_02	SLV_02	1.64	armatura
E_03	SLV_01	8.15	armatura
E_03	SLV_02	8.06	armatura
E_04	SLV_01	1.69	armatura
E_04	SLV_02	1.68	armatura
E_05	SLV_01	1.82	armatura
E_05	SLV_02	1.80	armatura
E_06	SLV_01	7.39	armatura
E_06	SLV_02	7.46	armatura

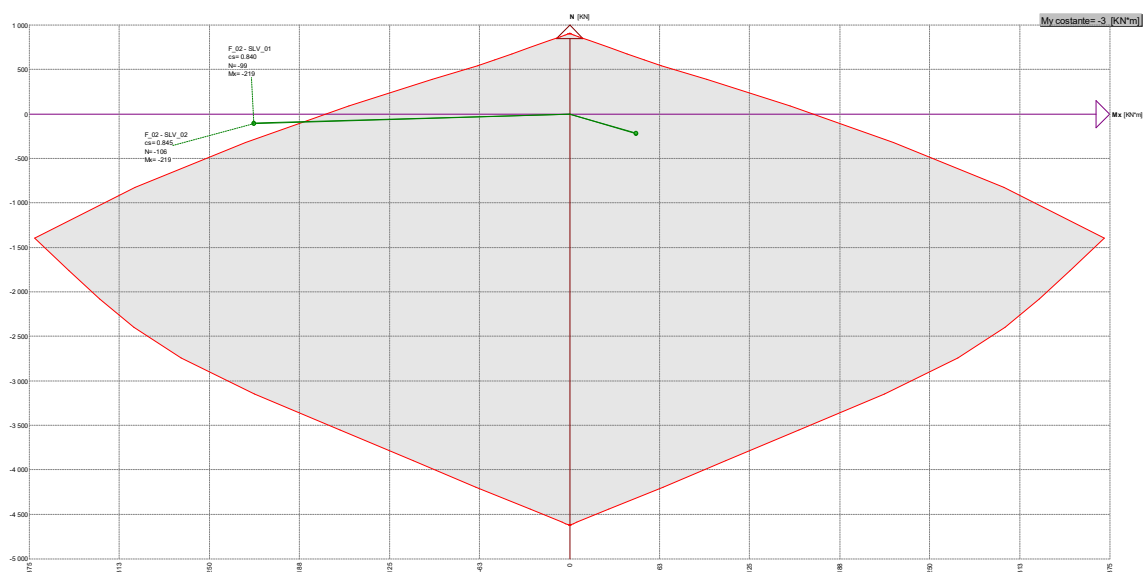


#### 11.2.2.1.6 Sezione rettangolare orizzontale per $Z = 8.04 \text{ m}$

Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-4638	921	kN
$M_x$	-171	171	kNm
$M_y$	-243	243	kNm

I risultati delle verifiche a flessione effettuati sulle suddette sezioni sono riportati in forma tabellare. Nel seguito è mostrato il diagramma M-N della condizione più sfavorevole riscontrata.

Section cut	Combo	Coefficiente di sicurezza	Materiale di limitazione
F_01	SLV_01	0.90	armatura
F_01	SLV_02	0.91	armatura
F_02	SLV_01	0.84	armatura
F_02	SLV_02	0.85	armatura
F_03	SLV_01	7.05	armatura
F_03	SLV_02	7.00	armatura
F_04	SLV_01	0.96	armatura
F_04	SLV_02	0.95	armatura
F_05	SLV_01	0.99	armatura
F_05	SLV_02	0.98	armatura
F_06	SLV_01	7.49	armatura
F_06	SLV_02	7.55	armatura



#### 11.2.2.1.7 Sezione rettangolare verticale per $Z < 6 \text{ m}$

Si verifica la sezione armata con  $4\varnothing 20/\text{m}$  ad entrambi i lembi.

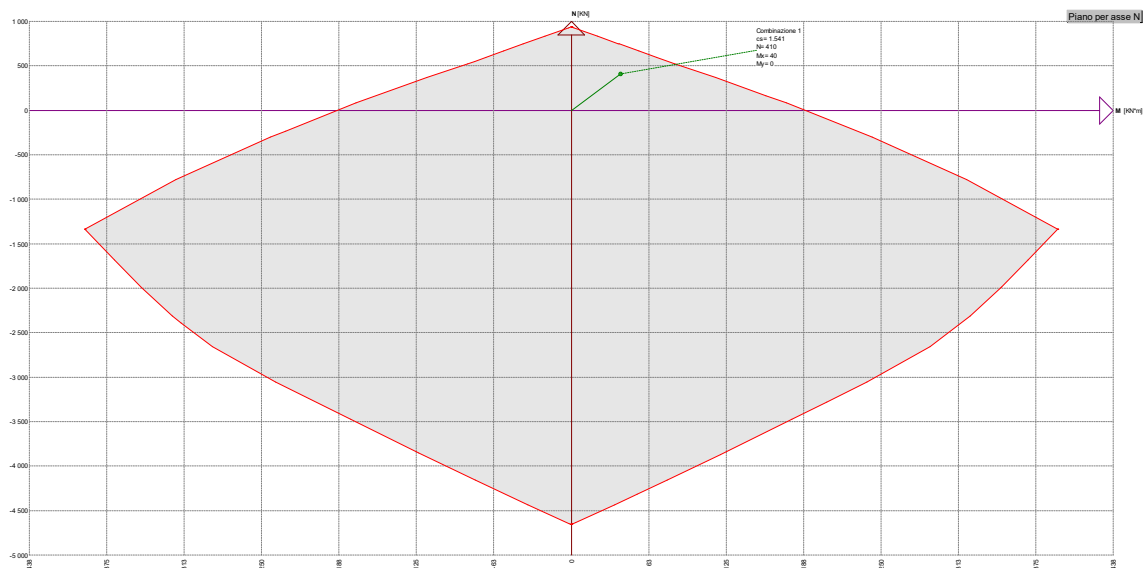
Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-4657	940	kN
$M_x$	-189	189	kNm

Le azioni massime agenti sulla suddetta porzione di struttura si trovano mediante la combinazione SLV\_01, come mostrato nelle figure al § 11.2.1.1.7.

Le massime azioni agenti, opportunamente mediate su un metro lineare di struttura per evitare picchi non realistici di sforzi, sono le seguenti:

- $N = 400 \text{ kN}$
- $M_x = 40 \text{ kNm}$

La verifica a flessione è soddisfatta con un coefficiente di sicurezza  $CS = 1.54$ .



#### 11.2.2.1.8 Sezione rettangolare verticale per $Z > 6 \text{ m}$

Si verifica la sezione armata con 4Ø14/m ad entrambi i lembi.

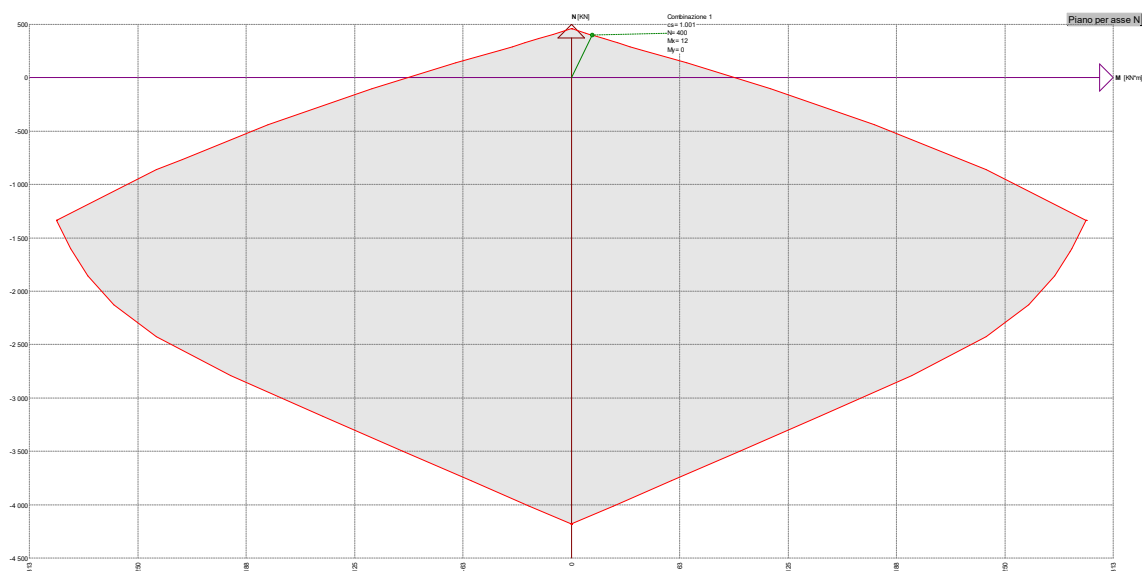
Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-4178	460	kN
$M_x$	-94	94	kNm

Le azioni massime agenti sulla suddetta porzione di struttura si trovano mediante la combinazione SLV\_01, come mostrato nelle figure al § 11.2.1.1.7.

Le massime azioni agenti, opportunamente mediate su un metro lineare di struttura per evitare picchi non realistici di sforzi, sono le seguenti:

- $N = 400 \text{ kN}$
- $M_x = 12 \text{ kNm}$

La verifica a flessione è soddisfatta con un coefficiente di sicurezza  $CS = 1.00$ .



### 11.2.2.1.9 Sezioni dei setti antivortice

La sezione dei setti antivortice è armata con 4Ø16/m ad entrambi i lembi.

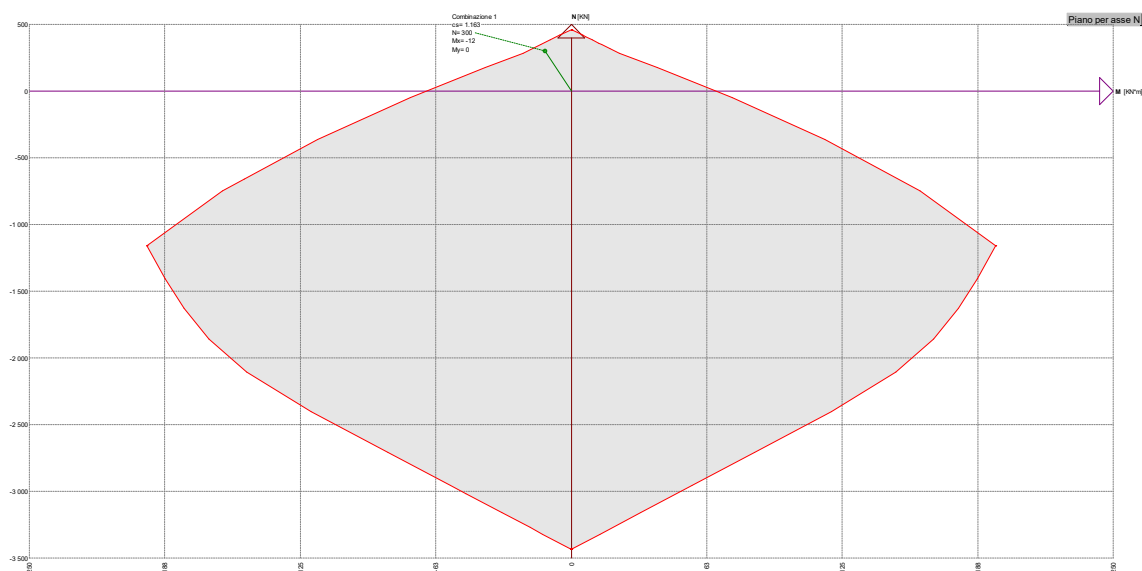
Sollecitazioni resistenti			
Azione	Sollecitazione minima	Sollecitazione massima	
N	-3434	460	kN
M <sub>x</sub>	-67	67	kNm

Le azioni massime agenti sulla suddetta porzione di struttura si trovano mediante la combinazione SLV\_01, come mostrato nelle figure al § 11.2.1.1.8.

Le massime azioni agenti, opportunamente mediate su un metro lineare di struttura per evitare picchi non realistici di sforzi, sono le seguenti:

- N = 300 kN
- M<sub>x</sub> = -12 kNm

La verifica a flessione è soddisfatta con un coefficiente di sicurezza CS = 1.16.





### 11.2.2.2 Verifiche a taglio

#### 11.2.2.2.1 Sezione a T per $Z = 0.05 \text{ m}$

La sezione presenta staffe Ø22 passo 25 cm lungo l'anima.

Section cut	Combo	V <sub>Rd,1</sub> [kN]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rcd</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kN]
A_01	SLV_01	475	2340	2178	857
A_01	SLV_02	475	2340	2178	856
A_02	SLV_01	475	2340	2178	432
A_02	SLV_02	475	2340	2178	431
A_03	SLV_01	378	2340	2439	24
A_03	SLV_02	381	2340	2444	23
A_04	SLV_01	459	2337	2559	-40
A_04	SLV_02	462	2337	2563	-41
A_05	SLV_01	470	2337	2257	233
A_05	SLV_02	473	2337	2261	232
A_06	SLV_01	475	2337	2175	640
A_06	SLV_02	475	2337	2175	639

#### 11.2.2.2.2 Sezione a T per $Z = 5.50 \text{ m}$

La sezione presenta staffe Ø22 passo 25 cm lungo l'anima.

Section cut	Combo	V <sub>Rd,1</sub> [kN]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rcd</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kN]
B_01	SLV_01	372	1769	1647	211
B_01	SLV_02	372	1769	1647	206
B_02	SLV_01	372	1769	1647	139
B_02	SLV_02	372	1769	1647	135
B_03	SLV_01	350	1769	1737	106
B_03	SLV_02	343	1769	1739	102
B_04	SLV_01	266	1754	1790	66
B_04	SLV_02	268	1754	1792	61
B_05	SLV_01	380	1754	1650	139
B_05	SLV_02	382	1754	1652	135
B_06	SLV_01	369	1754	1632	172
B_06	SLV_02	369	1754	1632	168

#### 11.2.2.2.3 Sezione a T per $Z = 8.04 \text{ m}$

La sezione presenta staffe Ø22 passo 25 cm lungo l'anima.

Section cut	Combo	V <sub>Rd,1</sub> [kN]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rcd</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kN]
C_01	SLV_01	202	867	807	232
C_01	SLV_02	202	867	807	225
C_02	SLV_01	190	846	788	55
C_02	SLV_02	166	846	789	49
C_03	SLV_01	105	846	808	39
C_03	SLV_02	105	846	809	46
C_04	SLV_01	119	846	829	135
C_04	SLV_02	120	846	830	142
C_05	SLV_01	172	867	812	44
C_05	SLV_02	143	867	813	37
C_06	SLV_01	202	867	807	138
C_06	SLV_02	202	867	807	132

#### 11.2.2.2.4 Sezione rettangolare orizzontale per $Z = 0.05 \text{ m}$

La sezione ferri piegati Ø16 in corrispondenza delle barre longitudinali Ø22


Section cut	Combo	V <sub>Rd,1</sub> [kN]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rcd</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kN]
D_01	SLV_01	241	325	2024	75
D_01	SLV_02	241	325	2024	75
D_02	SLV_01	226	325	2127	25
D_02	SLV_02	227	325	2131	25
D_03	SLV_01	246	325	2339	4
D_03	SLV_02	247	325	2343	4
D_04	SLV_01	241	325	2024	132
D_04	SLV_02	241	325	2024	132
D_05	SLV_01	220	325	2108	178
D_05	SLV_02	218	325	2104	177
D_06	SLV_01	247	325	2344	220
D_06	SLV_02	246	325	2340	220

*11.2.2.2.5 Sezione rettangolare orizzontale per  $Z = 5.50\text{ m}$*

Section cut	Combo	$V_{Rd,1}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]
E_01	SLV_01	191	116
E_01	SLV_02	191	115
E_02	SLV_01	205	23
E_02	SLV_02	206	22
E_03	SLV_01	238	31
E_03	SLV_02	239	33
E_04	SLV_01	191	98
E_04	SLV_02	191	99
E_05	SLV_01	211	12
E_05	SLV_02	210	13
E_06	SLV_01	245	41
E_06	SLV_02	244	39

*11.2.2.2.6 Sezione rettangolare orizzontale per  $Z = 8.04\text{ m}$*

Section cut	Combo	$V_{Rd,1}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]
F_01	SLV_01	151	115
F_01	SLV_02	151	112
F_02	SLV_01	164	4
F_02	SLV_02	164	7
F_03	SLV_01	181	66
F_03	SLV_02	182	70
F_04	SLV_01	151	108
F_04	SLV_02	151	111
F_05	SLV_01	161	9
F_05	SLV_02	160	12
F_06	SLV_01	179	46
F_06	SLV_02	178	43

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 144 di 147</p>

#### 11.2.2.2.7 Sezione rettangolare verticale

Si considera, a favore di sicurezza, la sezione armata con 4Ø14/m ad entrambi i lembi.

Le azioni massime agenti sulla suddetta porzione di struttura si trovano mediante la combinazione SLV\_01, come mostrato nella Figura 11.24.



Verifica SLV per  $N = 400$  kN (a favore di sicurezza) e  $V = 120$  kN: la sezione senza armatura trasversale resistente a taglio ha resistenza  $V_{Rd} = 155$  kN, ovvero la sezione resiste a taglio senza la necessità di avere armatura specifica ( $CS = 1.29$ ).

#### 11.2.2.2.8 Sezioni dei setti antivortice

La sezione dei setti antivortice è armata con 4Ø16/m ad entrambi i lembi.

Le azioni massime agenti sulla suddetta porzione di struttura si trovano mediante la combinazione SLV\_01, come mostrato nella Figura 11.25.

Verifica SLV per  $N = 300$  kN (a favore di sicurezza) e  $V = -5$  kN: la sezione senza armatura trasversale resistente a taglio ha resistenza  $V_{Rd} = 134$  kN, ovvero la sezione resiste a taglio senza la necessità di avere armatura specifica ( $CS = 26.80$ ).

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 145 di 147</p>

### 11.2.3. Conclusioni


Nel seguito vengono riassunti i risultati principali delle **verifiche sismiche (SLV)** effettuate sugli sfioratori a calice della diga Gibbesi.

Per quanto riguarda le verifiche a **breve termine**, ovvero utilizzando le caratteristiche delle sezioni come da progetto, l'intera struttura dello sfioratore risulta soddisfare tutti i requisiti sia flessionali che a taglio a meno della sezione di base, dove il momento flettente risulta un po' più alto rispetto a quello resistente.

Per quanto riguarda le verifiche a **lungo termine**, ovvero imponendo una riduzione di 2 mm al diametro di ogni barra d'armatura contenuta in ogni sezione:

- Non risultano soddisfatte le verifiche a flessione delle sezioni a T alla base del calice (sezione "A" per  $Z = 0.05$  m).
- Non risultano soddisfatte le verifiche a flessione delle sezioni orizzontali del calice (sezione "F" per  $Z = 8.04$  m).





	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 146 di 147</p>

## 12. PROPOSTA TECNICA DI ADEGUAMENTO SISMICO DELLE OPERE

Come si evince dalle verifiche espone al capitolo precedente, la struttura dello sfioratore a calice necessita di un leggero adeguamento sismico nei pressi della base, ovvero all'interfaccia tra la fondazione e l'inizio della struttura in elevazione.

Come intervento di adeguamento sismico si propone la costruzione di n. 6 nervature in c.a. da posizionare nello spazio tra le nervature già presenti intorno al calice. Le nuove nervature avranno le stesse dimensioni di quelle vecchie e serviranno ad irrigidire ulteriormente la struttura. Per mezzo di inghisaggi, da eseguire lungo tutti il bordo della nervatura a contatto col calice e la sua fondazione, le azioni agenti sul calice verranno trasferite in fondazione. Per eseguire tali nervature sarà necessario eseguire uno scavo di sbancamento intorno al manufatto di sfioro, per poter mettere a nudo le fondazioni. Una volta eseguiti tutti i lavori di messa in opera delle nuove nervature si provvederà al riinterro del manufatto come in origine.

Infine, si prevede un intervento di manutenzione straordinaria consistente nel rifacimento dello strato di copriferro su tutte le parti della struttura in cui esso risulta ammalorato o distaccato. Si dovrà prevedere la sostituzione delle barre d'armature corrose nei punti in cui il copriferro è saltato. Questo intervento è da considerare di manutenzione straordinaria della struttura per garantirle una vita nominale ulteriore di 50 anni.

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p><b>SFIORATORI A CALICE</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-212-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 147 di 147</p>

### 13. STIMA ECONOMICA DELL'INTERVENTO PROPOSTO PER LA MESSA IN SICUREZZA SISMICA DELL'OPERA

Si riporta, di seguito, la stima economica dell'intervento proposto e descritto riportato nel precedente capitolo, per la messa in sicurezza sismica degli sfioratori a calice della diga Gibbesi.

- A) Scavo di sbancamento attorno allo sfioratore, ripresa dei materiali e rinterro a lavori ultimati

*Totale A)* € 40,000.00

- B) Approntamento, nolo, manutenzione e smontaggio di ponteggi

*Totale B)* € 20,000.00

- C) Costruzione delle nuove nervature in c.a.

- Fornitura di casseforme
- Posa in opera di calcestruzzo e barre d'armatura
- Esecuzione di inghisaggi sulla struttura esistente

*Totale C)* € 50,000.00

- D) Risanamento dei copriferri ammalorati sul 20% della superficie della struttura

*Totale D)* € 75,000.00

I prezzi sopra riportati sono da moltiplicare per due, dovendo eseguire le stesse lavorazioni su entrambi gli sfioratori a calice.

**TOTALE STIMA € 185,000.00 × 2 torrini = € 370,000.00**

**(Totale stima: euro TRECENTOSETTANTAMILA/00)**