

SOGGETTO ATTUATORE DI PRIMO LIVELLO



COMUNE DI BERGAMO

COMUNE DI BERGAMO

Piazza Giacomo Matteotti, 27 - 24122 Bergamo (BG)

SOGGETTO ATTUATORE DI SECONDO LIVELLO



ATB Mobilità S.p.A.

Via Gleno, 13 - 24125 Bergamo (BG)

REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO

PROGETTO DEFINITIVO

CUP: H11B21006730001 - CIG: 9562909A25

APPALTATORE



Vitali S.p.A.

via Lombardia 2/A
20068 - Peschiera Borromeo (MI)

Mandanti:



Artelia Sas

Rue Simone Veil 16
93400 Saint-Ouen-sur-Seine
(France)



ErreGi

Piazza del Viminale 14
00184 Roma (RM)



Studio Carrara

Via T. Tasso 89
24121 - Bergamo (BG)



Pide

Via Fosse 13
36063 Marostica (VI)



Pini

Via Cavour 2
22074 - Lomazzo (CO)

PROGETTISTI

Capogruppo/mandataria



Artelia Italia S.p.A.
Piazza G. Marconi 25

00144 - Roma (RM)

IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE

IL DIRETTORE TECNICO

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

Ing. Marco Gonella

Ing. C. Rita Donato

A	Novembre 2023	PRIMA EMISSIONE	J. Pincheira	G. Lui	G. Lui
REV	DATA	TIPO DI EMISSIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO/AUTORIZZATO

07_OPERE CIVILI

7.3_OPERE ROGGIA COLLEONESCA

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

SCALA:

Comessa	Lotto	Fase	Tratto	Tipo doc.
B 2 3 D	0 0	D	0 0	R H

Disciplina / WBS 1-2	OPERA/DISCIPLINA
I N T R R O	

Progressivo doc.	PROGR.	REV.
0 0 3		A

DATA:
NOVEMBRE 2023

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-			
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 2 di 96

Indice

1. RELAZIONE DESCRIPTIVA	5
2. RIFERIMENTI	9
2.1 NORMATIVA E BIBLIOGRAFÍA DI RIFERIMENTO	9
2.2 UNITÀ DI MISURA, CONVENZIONI E SISTEMI DI SEGNO	9
3. INCUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO DEL SITO	11
4. RELAZIONE SUI MATERIALI	12
4.1 OPERE IN CALCESTRUZZO	12
4.1.1 Acciaio di armatura	12
4.1.2 Conglomerato cementizio di elementi esistenti.....	12
4.2 OPERE IN ACCIAIO	13
4.2.1 Carpenteria metallica	13
4.3 Durabilitá e prescrizioni sui materiali.....	13
4.3.1 Condizioni ambientali	13
4.3.2 Sensibilitá delle armature alla corrosione	16
4.3.3 Copriferro	16
5. DEFINIZIONE DELLE AZIONI	17
5.1 VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO	17
5.1.1 Pericolositá Sismica di Base.....	17
5.1.2 Determinazione del Periodo di Riferimento	17
5.1.3 Stati Limite e relative probabilitá di superamento.....	19
5.1.4 Pericolositá sismica di base	21
5.1.5 Categoria del Sottosuelo	21
5.1.6 Condizioni topografiche.....	22
5.1.1 Coefficiente di amplificazione stratigrafica.....	23
5.1.2 Spetto di risposta di progetto	24
5.1.3 Definizione dell'azione sismica	25
6. PARAMETRI GEOTECNICI.....	26
7. VERICHE STRUTTURALI IMPALCATO E PILASTRI.....	27
7.1 COMBINAZIONE DELLE AZIONI DI PROGETTO	27
7.1.1 Combinazione Fondamentale (SLU)	27

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-			
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 3 di 96

7.1.2	Combinazione Rara o Caratteristica (SLE)	28
7.1.3	Combinazione Frequenti (SLE)	28
7.1.4	Combinazione Quasi Permanente (SLE)	29
7.1.5	Combinazione Sismica (SLU e SLE)	29
7.1.6	Combinazione Eccezionale (SLU).....	30

8. STRUTTURA DEVIATORE 31

8.1	MODELLAZIONE FEM	31
8.1.1	Modello di calcolo	31
8.1.2	Carichi applicati	36
8.2	VERIFICHE STRUTTURALI.....	45
8.2.1	Verifica spessore degli elementi.	45

9. STRUTTURA SFIORATORE 56

9.1	MODELLAZIONE FEM	56
9.1.1	Modello di calcolo	56
9.1.2	Carichi applicati	58
9.2	VERIFICHE STRUTTURALI.....	63
9.2.1	Verifica spessore degli elementi.	63

10. STRUTTURA RIO MORLETTA 68

10.1	MODELLAZIONE FEM	68
10.1.1	Modello di calcolo	68
10.1.2	Carichi applicati	71
10.2	Progettazione del rinforzo per l'azione ponte.....	75
10.3	VERIFICHE STRUTTURALI.....	76
10.3.1	Verifica spessore degli elementi.	76
10.3.2	Rinforzo longitudinale per effetto ponte	83

11. STRUTTURA MINA BENAGLIA 84

11.1	MODELLAZIONE FEM	84
11.1.1	Modello di calcolo	84
11.1.2	Carichi applicati	86
11.1	Progettazione del rinforzo per l'azione ponte.....	89
11.2	VERIFICHE STRUTTURALI.....	90
11.2.1	Verifica spessore degli elementi.	90
11.2.1	Rinforzo longitudinale per effetto ponte	93

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 4 di 96

12. STRUTTURA ACCESO VIA CERMENATI.....	94
13. STRUTTURA ACCESO VIA MORONI.....	95
14. STRUTTURA TRANSIZIONE	96

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 5 di 96	

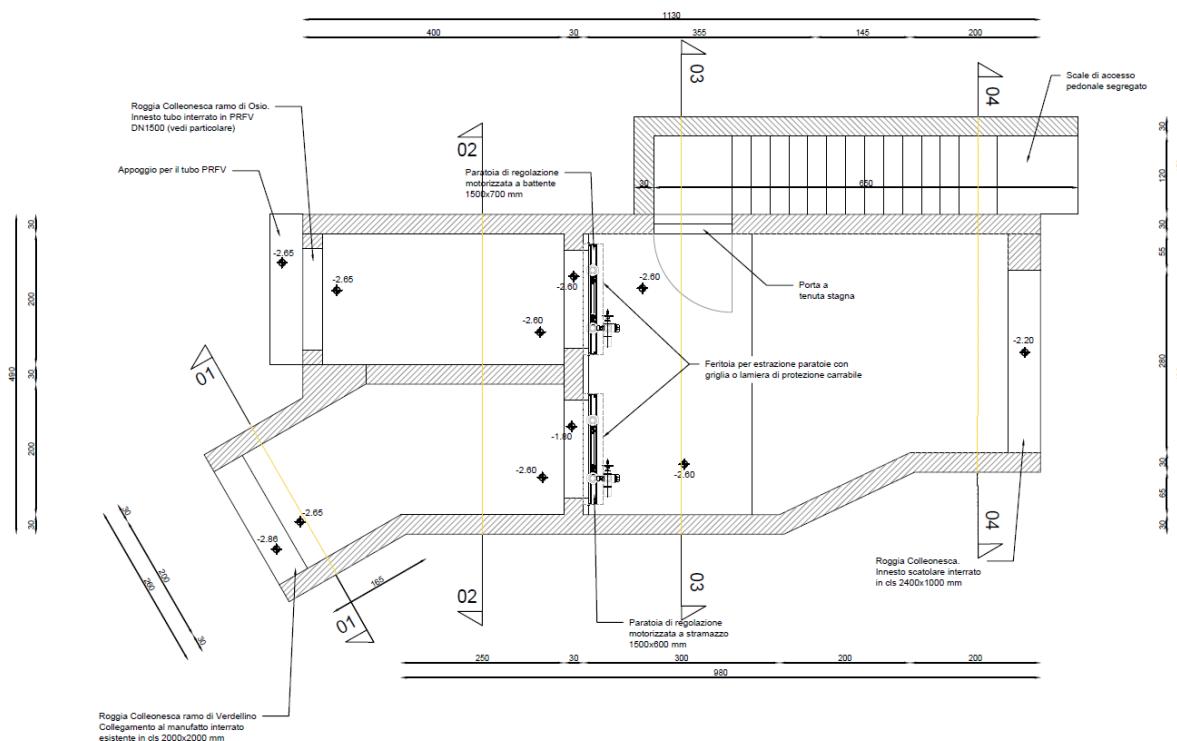
1. RELAZIONE DESCRIPTIVA

La presente relazione di calcolo contiene la verifica strutturale del progetto di derivazione, nell'ambito della realizzazione di un sistema e-brt tra i Comuni di Bergamo, Dalmine e Verdellino.

Il progetto consiste in una struttura in cemento che si collega al canale esistente. Consiste in un collegamento al canale che si collega al deviatore di progetto, da dove partono i collegamenti ai canali. Oltre alla sezione ad anello di design sono presenti scale di accesso al seminterrato di design.

Nel dettaglio la presente relazione contiene il computo dei lavori:

- Deviatore
- Sfioratore
- Mina Benaglia
- Rio Morletta
- Accesso via Moroni
- Accesso via Cermenati
- Costruzione transizione tipico



Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 6 di 96

Figura 1.1 – Deviatore - Piano di pianta

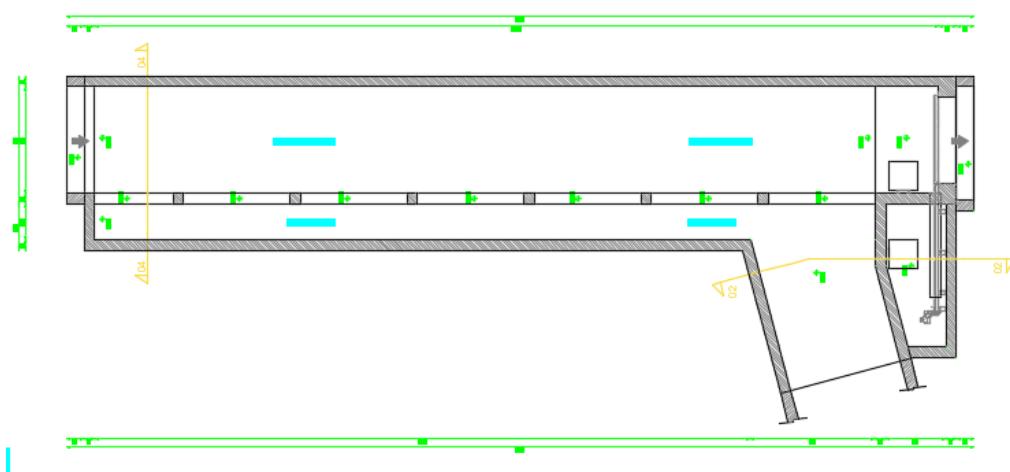


Figura 1.2 - Sfioratore - Piano di pianta

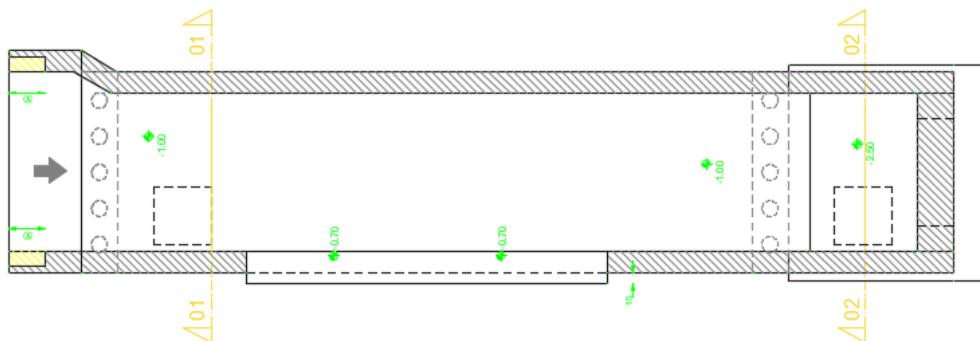


Figura 1.3 – Rio Morletta - Piano di pianta

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 7 di 96

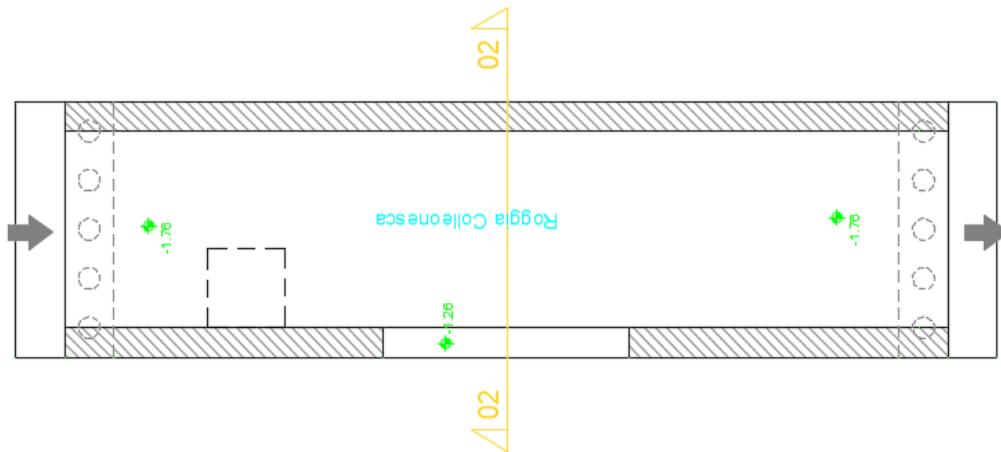


Figura 1.4 – Mina Benaglia - Piano di pianta

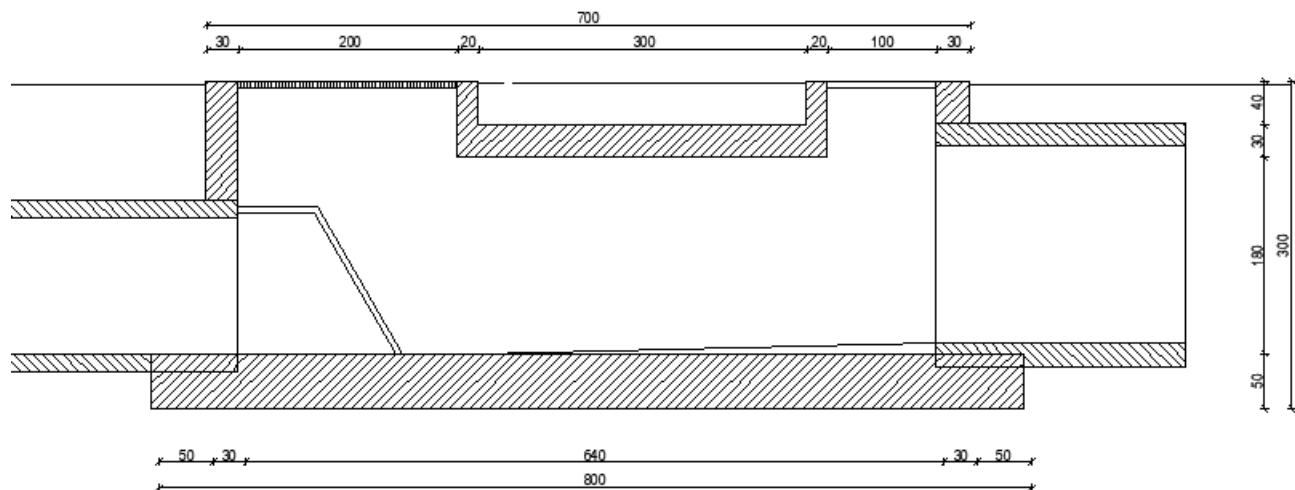


Figura 1.5 Accesso via Moroni - Vista dall'alto

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 8 di 96

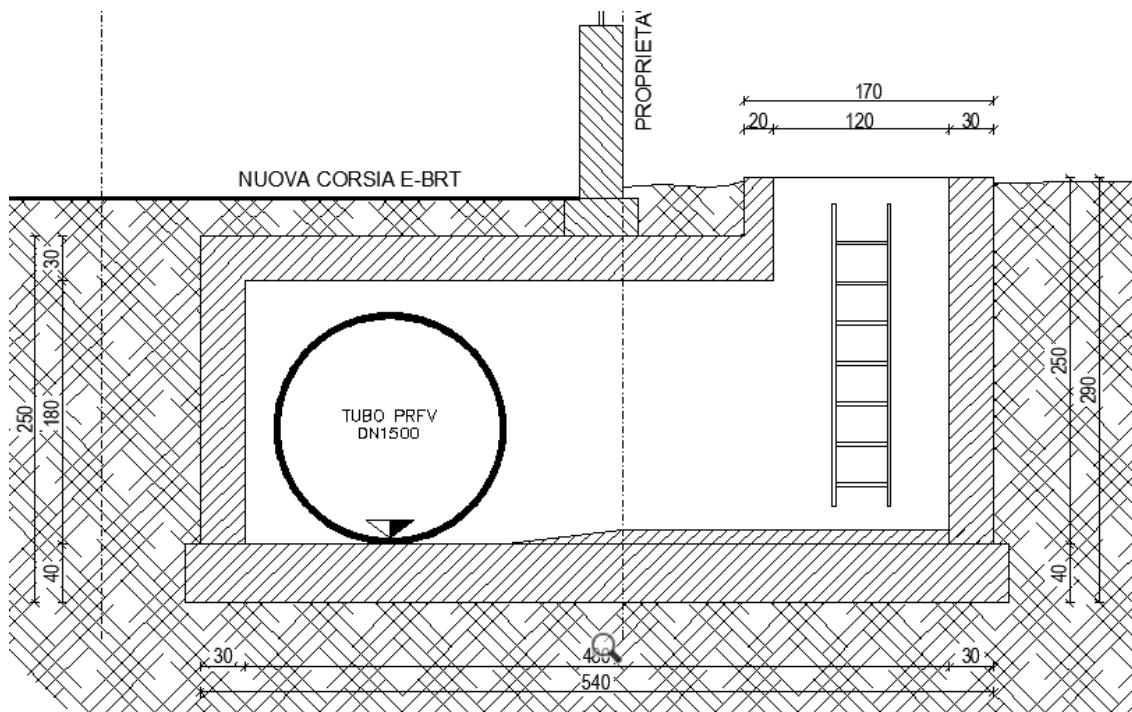


Figura 1.6 Accesso via Cermenati - Vista dall'alto

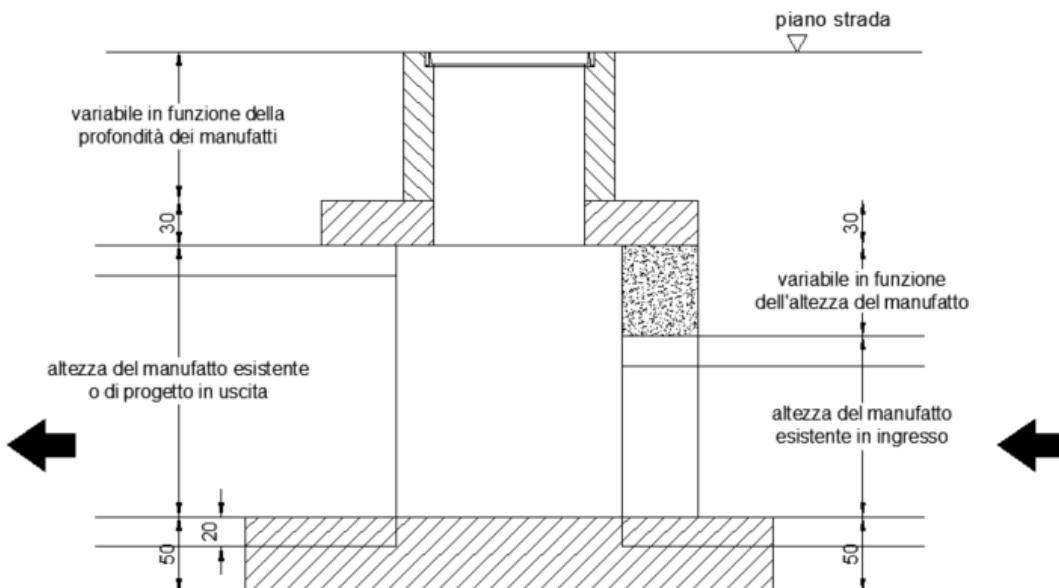


Figura 1.7 – Transizione - Vista dall'alto

Capogruppo/mandataria:     	Mandanti: PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO B23D 00 D 00 RH INTRR0 003 A 9 di 96

2. RIFERIMENTI

2.1 NORMATIVA E BIBLIOGRAFÍA DI RIFERIMENTO

La progettazione e verifica degli interventi è stata condotta ai sensi del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Construzione"" e della relativa "Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018".

I principali riferimenti normativi sono di seguito elencati:

1. DM 17/01/2018: "Norme tecniche per le costruzioni", abbreviate nel seguito con l'acronimo "NTC 2018";
2. Circ. 21/01/2019, n. 7 C.S.LL.PP.: "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni";
3. UNI EN 1990:2006
 - a. Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture
 - b. Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo
 - c. Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture in acciaio
 - d. Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica
 - e. Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica

2.2 UNITÀ DI MISURA, CONVENZIONI E SISTEMI DI SEGNO

Ove non sia diversamente specificato, le grandezze contenute nel seguito sono espresse nelle seguenti unità di misura:

- lunghezza : m
- forza : kN

I diametri delle barre di armatura lenta sono sempre espressi in millimetri.

I carichi agenti sull'impalcato sono positivi se diretti verso il basso.

Le tensioni sono positive se di trazione, sia per quanto riguarda il calcestruzzo che l'acciaio.

Si considera l'impalcato come un piano in cui un sistema di assi ortogonali x,y individua ogni punto di esso.

L'asse x è assunto longitudinalmente all'asse delle travi, l'asse y ortogonalmente.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 10 di 96

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESMA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 11 di 96

3. INCUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO DEL SITO

Nella tabella seguente si riportano i principali parametri geotecnici dei litotipi presenti nel settore dell'area di deposito ATB di Bergamo, Via Gleno.

Tali parametri sono stati ottenuti dalle sole indagini storiche disponibili sul Geoportale della Lombardia.

Unità geotecnica A: terreno superficiale di riporto; spessore circa 1 m

Unità geotecnica B: Limi argillosi con ciottoli alterati e disaggregati; da 1 ad almeno 10m di profondità

Falda assente sulla base dei dati disponibili.

Tabella 1 Parametri Geotecnici

Area deposito di Bergamo ATB											
ID	UG	kg/m ³	Peso specifico naturale γ	Valori statistici	Densità Relativa, Dr	Angolo d'attrito		Modulo di elasticità	Coesione non drenata	Modulo elastico non drenato	
						Bazaara (1967)	Road Bridge Specification	Schmertmann, 1977	Bowles, 1995;	Burland & Burbidge, 1985	Terzaghi-Peck, 1948
Depositi superficiali prevalentemente limoso-argilosì derivati dalla pedogenizzazione e terreni di riporto fini	A	1600 - 1800	n° valori	33	33			33		33	33
			DEV. STD	21	4			2		38	40
			MINIMO	27	21			6		14	15
			MAX	66	30			9		86	68
			MEDIA	45	24			7		37	34
			Val. caratter.	39	23			6		26	22
Limi argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	B	1700 - 1900	n° valori	302	302			302		302	302
			DEV. STD	13	4			2		44	46
			MINIMO	15	19			5		7	8
			MAX	82	36			36		202	212
			MEDIA	34	26			8		53	56
			Val. caratter.	33	26			8		49	52

La categoria di sottosuolo si definisce come C.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 12 di 96
Relazione di calcolo strutture in opera								

4. RELAZIONE SUI MATERIALI

Si presentano di seguito i principali materiali da costruzione utilizzati per la realizzazione di nuovi elementi.

4.1 OPERE IN CALCESTRUZZO

Per la verifica delle colonne e delle fondazioni esistenti degli edifici blindati è richiesto l'utilizzo dei seguenti materiali strutturali.

4.1.1 Acciaio di armatura

Acciaio B450 C per tutti gli elementi in c.a. saldabile qualificato secondo le procedure di cui al §11.3.1.2 del D.M. del 17/01/2018 e controllato con le modalità riportate al § 11.3.2.11 del D.M. del 17/01/2018.

Si adotta il legame costitutivo σ - ϵ elastico-perfettamente plastico (b) ai sensi § 4.1.2.1.2.2 del D.M. del 17/01/2018.

Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk}=450 \text{ N/mm}^2$

Tensione di snervamento di progetto: $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{450}{1.15} = 391.3 \text{ N/mm}^2$

Tensione caratteristica di rottura: $f_{tk}=540 \text{ N/mm}^2$

Modulo elastico: $E_s=210000 \text{ MPa}$

Coefficiente di sicurezza del materiale $\gamma_s=1.15$

4.1.2 Conglomerato cementizio di elementi esistenti

I coefficienti di sicurezza per la determinazione delle resistenze di calcolo del calcestruzzo sono indicati nel § 4.1.2.1.1 del D.M. 17/01/2018 e sono i seguenti:

Coefficiente parziale di sicurezza del materiale: $\gamma_c = 1.5$.

Coefficiente riduttivo per i carichi a lunga durata: $a_{cc} = 0.85$

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 13 di 96	

a. Pilastri e Fondazioni C32/40

Resistenza cubica caratteristica: $R_{ck}=40.0 \text{ N/mm}^2$

Resistenza cilindrica caratteristica: $f_{ck}=33.20 \text{ N/mm}^2$

Resistenza di progetto: $f_{cd} = \frac{\alpha_c \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0.85 \cdot 33.20}{1.5} = 18.81 \text{ N/mm}^2$

Modulo elastico: $E_c=33642.8 \text{ N/mm}^2$

Peso per unità di volume (armato): $\gamma=25 \text{ KN/m}^3$

4.2 OPERE IN ACCIAIO

4.2.1 Carpenteria metallica

Per la realizzazione della struttura portante della pensiline è previsto l'impiego di acciaio per carpenteria metallica S355 certificato e conforme alle norme armonizzate della serie UNI En 1005, UNI EN 10210 e UNI EN 10219-1.

Si adotta il legame costitutivo $\sigma-\epsilon$ elastico-perfettamente plastico (b) ai sensi del 4.1.2.1.2.2 delle NTC 2018.

Qualità $S355$

Tensione caratteristica all' 1% di deformazione: $f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$

Tensione caratteristica di rottura: $f_{tk} = 510 \text{ N/mm}^2$

Modulo elastico: $E_s = 210000 \text{ MPa}$

Coefficiente parziale di sicurezza del materiale: $\gamma_{M0} = 1.05$

4.3 Durabilità e prescrizioni sui materiali

4.3.1 Condizioni ambientali

Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario, esposte all'azione dell'ambiente, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico e derivante dalla corrosione delle armature e dai cicli gelo e disgelo.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI <small>SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</small>	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-			
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESMA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 14 di 96

Secondo le norme UNI EN 206-1:2006 ed UNI 11104:2004, il livello di rischio per le opere dipende dall'ambiente cioè la stessa è esposta. Da questo punto di vista le norme suddividono gli ambienti in base alla tipologia del degrado atteso per il calcestruzzo e le armature, individuando le seguenti 6 classi di esposizione ambientali:

CLASSE ESPOSIZIONE NORMA UNI 11104; UNI EN 206-1	DESCRIZIONE DELL'AMBIENTE	RAPPORTO a/c	CLASSE DI RESISTEZA MINIMA
1. Assenza di rischio di corrosione o attacco			
X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo-disgelo, o attacco chimico. Calcestruzzi con armatura o inserti metallici in ambiente molto asciutto.	C15	
2. Corrosione indotta da carbonatazione			
XC1	Asciutto o permanentemente bagnato	0,6	C30
XC2	Bagnato, raramente asciutto	0,6	C30
XC3	Umidità moderata	0,55	C35
XC4	Ciclicamente asciutto e bagnato	0,5	C40
3. Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare			
XD1	Umidità moderata	0,55	C35
XD2	Bagnato, raramente asciutto	0,5	C40
XD3	Ciclicamente asciutto e bagnato	0,45	C45

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI <small>SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</small>	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 15 di 96	

4. Corrossione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare

XS1	Esposto alla salsedine marina ma non direttamente in contatto con l'acqua di mare	0,5	C40
XS2	Permanetemente sommerso	0,45	C45
XS3	Zone esposte agli spruzzi o alla marea	0,45	C45

5. Attacco dei cicli di gelo/disgelo con o senza disgelanti

XF1	Moderata saturazione d'acqua in assenza di agente disgelante	0,5	C40
XF2	Moderata saturazione d'acqua in presenza di agente disgelante	0,5	C30
XF3	Elevata saturazione d'acqua in assenza di agente disgelante	0,5	C30
XF4	Elevata saturazione d'acqua con presenza di agente antigelo oppure acqua di mare	0,45	C35

6. Attacco chimico

XA1	Ambiente chimicamente debolmente aggressivo	0,55	C35
XA2	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo	0,5	C40
XA3	Ambiente chimicamente fortemente aggressivo	0,45	C45

La tabella 4.1.III della N.T.C. 2018 raccoglie le classi di esposizione per ogni condizione ambientale:

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI <small>SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</small>	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 16 di 96

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Nel caso in esame si considera l'opera sottoposta a condizioni ordinarie per quanto riguarda la soletta di fondo (XC3), ed a condizioni aggressive per quanto riguarda piedritti e soletta superiore (XC4-XD1-XF1).

4.3.2 Sensibilità delle armature alla corrosione

Le armature si distinguono in due gruppi:

- A. armature sensibili: acciai da precompresso (con stato tensionale imposto)
- B. armature poco sensibili: acciai ordinari.

Le armature dello scatolare, oggetto della relazione, appartengono al gruppo delle armature poco sensibili.

4.3.3 Copriferro

Il copriferro minimo da rispettare per il manufatto è stato valutato in accordo alle NCT 2018, successiva Circolare e all'EC2 p.to. 4.4.1.3.

Tabella C4.1.IV - Copriferri minimi in mm

C_{min}	C_o	ambiente	barre da c.a.		barre da c.a.		cavi da c.a.p.		cavi da c.a.p.	
			C≥C_o	C_{min}≤C<C_o	C≥C_o	C_{min}≤C<C_o	C≥C_o	C_{min}≤C<C_o	C≥C_o	C_{min}≤C<C_o
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C28/35	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Le armature dello scatolare, oggetto della presente relazione, appartengono al gruppo delle armature poco sensibili e si trovano in condizioni ambientali aggressive per quanto riguarda i piedritti e la soletta superiore e in condizioni ordinarie per quanto riguarda le solette di fondo;

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI <small>SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</small>	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 17 di 96	

perciò si adotta un coprifero minimo pari a 35mm. Al sudetto coprifero minimo viene aggiunta una tolleranza di posa pari a 10mm per cui si ottiene un cmin=45mm. A favore di sicurezza si è considerato un cnom=50mm; valore valido per tutte le parti della struttura.

5. DEFINIZIONE DELLE AZIONI

5.1 VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

5.1.1 Pericolosità Sismica di Base

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi limiti considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria C quale definita ai sensi del D.M. 17/01/2018 § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente Se(T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, come definito al ai sensi del D.M. 17/01/2018 § 3.2.1, nel periodo di riferimento VR, come definito ai sensi del D.M. 17/01/2018 § 2.4.

5.1.2 Determinazione del Periodo di Riferimento

Secondo il D.M. 17/01/2018 § 2.4.3 le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava moltiplicando la vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU:

$$V_R = V_N * C_U$$

La vita nominale dell'opera VN è intesa come il numero di anni nel quale la struttura purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è riportata nella seguente tabella (ai sensi del D.M. 17/01/2018 § 2.4.1 tabella 2.4.I).

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 18 di 96
Relazione di calcolo strutture in opera								

C	TIPO DI COSTRUZIONE	VITA NOMINALE V_N (in anni)
1	Opere provvisorie - Opere provisionale - Strutture in fase costruttiva	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensione contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

In questo caso si ha un tipo 2.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso prevede normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastruttura, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche in riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

In questo caso si ha una Classe II.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI <small>SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</small>	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-			
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 19 di 96

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della Classe d'uso, come mostrato ai sensi del D.M. 17/01/2018 § 2.4.3 tabella 2.4.II.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0.7	1.0	1.5	2.0

Perciò si ottiene:

$$V_R = V_N * C_U = 50 * 1 = 50 \text{ anni}$$

5.1.3 Stati Limite e relative probabilità di superamento

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite d'esercizio sono:

- **Stato limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato limite di danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI <small>SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</small>	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 20 di 96

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva tabella 3.2.1. ai sensi del D.M. 14.01.2018.

Stati Limite		P _{VR} Probabilità di superamento nel period di riferimento V _R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati Limite Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Il periodo di ritorno dell'azione sismica corrispondente a ciascun stato limite vale:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

I valori sono riportati nella seguente tabella.

Stati Limite		T _R (anni)
Stati limite di esercizio	SLO	30
	SLD	50
Stati Limite Ultimi	SLV	475
	SLC	975

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI <small>SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</small>	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 21 di 96	

5.1.4 Pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica di base viene determinata facendo riferimento alle ipotesi di sito di riferimento rigido, superficie topografica orizzontale e campo libero (free field).

Le condizioni stratigrafiche del colume dei terreno interessato dall'opera e le condizioni topografiche determinano una modifica delle onde sismiche in superficie in termini di ampiezza dell'oscillazione, durata e contenuto in frequenza.

Per tener conto di questo aspetto, la normativa identifica le categorie di sottosuolo A,B,C,D,E e le categorie topografiche T1, T2, T3,T4.

Il parametro correttivo che consente di passare dalle condizioni ideali alle condizioni reali prende il nome di coefficiente S e viene definito come:

$$S=SS \cdot ST$$

SS coefficiente di amplificazione stratigrafica, dipende dalla categoria di sottosuolo e dai parametri F0 e ag

ST coefficiente di amplificazione topografica, dipende dalla categoria topografica

5.1.5 Categoria del Sottosuelo

Si seguono le indicazioni contenute nel § 3.2.2 del D.M. 17/01/2018 relative alla classificazione del sottosuolo e all'individuazione delle condizioni topografiche della superficie del sito oggetto dell'intervento.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante analisi del sottosuolo, come indicato ai sensi del D.M. 17/01/2018 al § 7.11.3. Da quanto riportato nel paragrafo relativo alle Caratterizzazione Geotecnica del sottosuolo presente del sito si evince che il sottosuolo rientra nella categoria C.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSE	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
			B23D	00 D 00	RH	INTRR0 003	A
							FOGLIO 22 di 96

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i>

5.1.6 Condizioni topografiche

La risposta sismica riferita ad un sottosuolo rigido di categoria A deve quindi essere amplificata da opportuni coefficienti d'amplificazione che tengono conto della diversa stratigrafia del sito; essi sono: SS, coefficiente stratigrafico e CC, coefficiente che modifica il periodo, TC corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta elastico.

Allo scopo di individuare le condizioni topografiche della superficie del sito e valutare i corrispondenti coefficienti amplificativi topografici, ST della risposta sismica finale la Normativa mette a disposizione la seguente classificazione:

Categoria	Classificazione della superficie topografica	ST
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilevati isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i < 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4

In questo caso si considera una categoria T1; per cui ST=1.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 23 di 96

5.1.1 Coefficiente di amplificazione stratigrafica.

La determinazione dello spettro di risposta elastico in termini di accelerazione è svolta secondo quanto indicato al § 3.2 del DM 17/01/2018, per uno smorzamento convenzionale del 5% e a partire dai valori assunti dei seguenti parametri riferiti al suolo rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima del sito;
- F_c 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.

Bergamo, regione Lombardia, dove sorge l'opera; è individuato dalle seguenti coordinate geografiche:

Latitudine: 45.698

Longitudine: 9.677

Altezza: 249 m.s.l.m.m

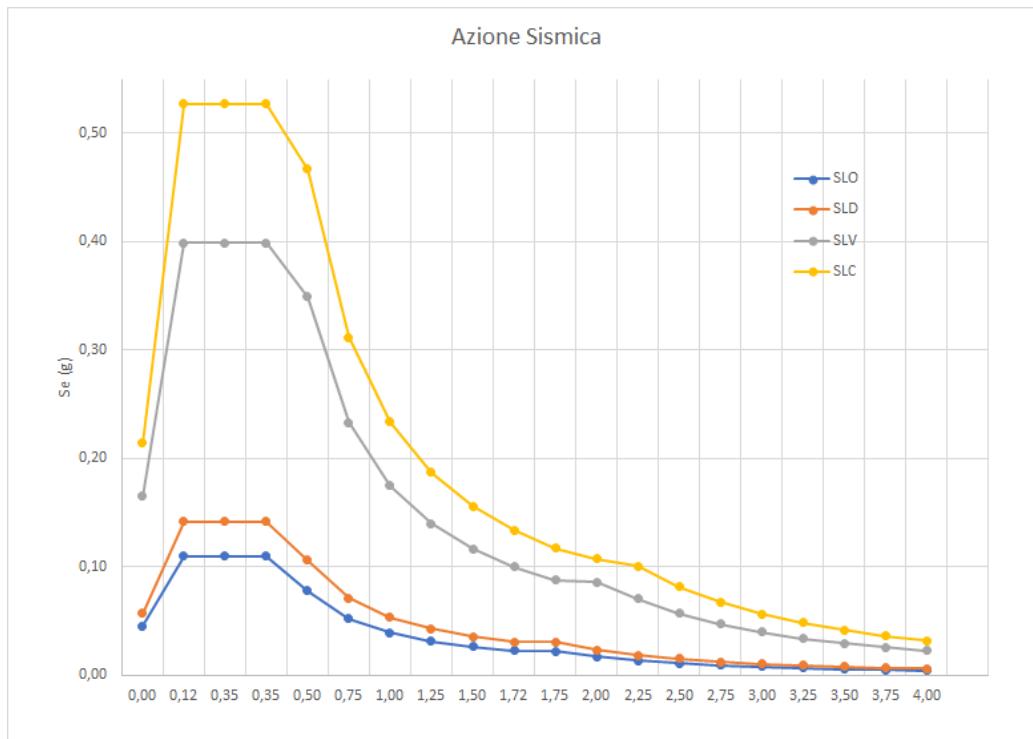
Considerando quanto prescritto al § 3.2.3 del DM 17/01/2018 e i valori dei coefficienti, si ha:

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 24 di 96

I valori indicati dalla Normativa per i quattro stati limite sono riassunti nella seguente tabella.

<i>Stati Limite</i>	P_{VR}	T_R (anni)	a_{g/g}	F_o	T[*]c(sec)
<i>SLO</i>	81%	30	0,0300	2,4380	0,1980
<i>SLD</i>	63%	50	0,0380	2,4800	0,2150
<i>SLV</i>	10%	475	0,1100	2,4180	0,2710
<i>SLC</i>	5%	975	0,1440	2,4610	0,2760



5.1.2 Spettro di risposta di progetto

Lo spettro di risposta di progetto è ottenuto riducendo le ordinate dello spettro elastico per un fattore di struttura che tiene conto, in modo semplificato, della capacità dissipativa anelastica del sistema strutturale resistente alle forze sismiche. In questo caso viene assunto a favore di sicurezza q=1.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 25 di 96
Relazione di calcolo strutture in opera								

5.1.3 Definizione dell'azione sismica

Le azioni sismiche sono calcolate in accordo con §7.11.6.2.1 D.M. 17/01/2018 riguardante il progetto sismico di opere di sostegno dei terreni. Si considera il cuneo di terreno, ipotizzato in condizioni di "riposo", che insiste sull'altezza dello scatolare corretto in base ai coefficienti di amplificazione.

Le pressioni sismiche esercitate dal terreno sulle pareti vengono calcolate sulla base del coefficiente sismico orizzontale k_H . Il diagramma di tali pressioni è considerato uniforme e di intensità costante pari a :

$$q = kH \cdot \gamma \cdot H$$

La struttura in esame è caratterizzata dalle seguenti grandezze:

- $VN = 50$ anni vita nominale della struttura
- $CU = 1.0$ classe d'uso della struttura
- $VR = VN * CU = 50$ anni periodo di riferimento per l'azione sismica

Considerando l'ubicazione della struttura in esame, con riferimento allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) si deducono i parametri necessari alla definizione della forma spettrale:

- $ag = 0.054$ g accelerazione orizzontale massima del sito (al suolo / valore normalizzato a g);
- $F0 = 2.8$ valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $TC^* = 0.282$ s periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;
- La categoria di suolo di riferimento risulta essere la C.
- Il coefficiente di amplificazione topografica è pari a $ST = 1.0$,
- Il coefficiente di amplificazione stratigrafica è pari a $SS = 1.5$

L'opera in oggetto viene assimilata in scenario sismico ad un'opera di sostegno del terreno e pertanto vengono determinate le azioni equivalenti al sisma col metodo pseudostatico, come indicato §7.11.6. D.M. 17/01/2018. Le forze statiche equivalenti al sisma vengono calcolate moltiplicando le forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico k ; allo SLU si adottano i due coefficienti k_H (per simulare l'effetto del sisma orizzontale) e k_V (per simulare l'effetto del sisma verticale) così definiti:

$$k_H = \beta_m * \frac{S_S * S_T * a_g}{g} = 0.082$$

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 26 di 96
Relazione di calcolo strutture in opera								

$$k_V = \pm 0.5 k_H = \pm 0.041$$

Vista l'elevata rigidezza che caratterizza l'opera si è assunto $\beta_m = 1.0$ in quanto si ritiene che il manufatto non sia in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

6. PARAMETRI GEOTECNICI

I parametri geotecnici caratteristici impiegati per caratterizzare i materiali da reinterro sono:

- angolo di attrito interno del terreno $\phi = 30.0^\circ$
- coefficiente di spinta a riposo $k_0 = 0.500$ (stato limite STR)
- coefficiente di spinta attiva $k_a = 0.333$ (stato limite STR)
- peso specifico del terreno asciutto $\gamma = 20.00$ [kN/m³]

Per quanto riguarda il terreno di fondazione, prevalentemente sabbiosi con limo, i parametri geotecnici caratteristici impiegati per caratterizzare i materiali sono:

- angolo di attrito interno del terreno $\phi = 34.0^\circ$
- coesione: 5 kPa

Definizione della costante di sottofondo K_s

Il "modulo di Winkler" o "costante di sottofondo" sarà utilizzato con relazione alla modellazione del contatto tra fondazione e terreno; con K_s datta dalla relazione semplificata:

$$K_s = \frac{E_s}{B * (1 - \nu^2)}$$

Essendo:

- E_s : modulo elastico del terreno = 8 Mpa
- B : = 1m
- ν : modulo di Poisson del terreno = 0.34

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 27 di 96
Relazione di calcolo strutture in opera								

7. VERICHE STRUTTURALI IMPALCATO E PILASTRI

La verifica strutturale della pensiline e dei pilastri è realizzata mediante il metodo semiprobabilistico agli stati limite, applicando il DM 17/01/2018 e le sue relative Istruzioni.

In particolare viene verificata la sicurezza sia nei confronti degli stati limiti ultimi (SLU) che nei confronti degli stati limite di esercizio.

Ai fini delle verifiche delgi stati limiti si considerano le seguenti combinazioni delle azioni ai sensi delle DM 17/01/2018 al § 2.5.3.

7.1 COMBINAZIONE DELLE AZIONI DI PROGETTO

7.1.1 Combinazione Fondamentale (SLU)

Per gli stati limite ultimi i valori di progetto delle azioni nella situazione non sismica si combinano secondo la seguente relazione:

$$\gamma_{G1} G_{1k} + \gamma_{G2} G_{2k} + \gamma_P P + \gamma_Q Q_{1k} + \gamma_Q \sum_i \psi_{0i} Q_{ik}$$

Dove:

G_{1k} il valore caratteristico delle azioni permanenti dovute ai pesi strutturali, alle forze indotte dal terreno ed alle forze risultanti della pressione dell'acqua;

G_{2k} il valore caratteristico delle azioni permanenti dovute ai pesi non strutturali;

P il valore caratteristico delle azioni di pretensione e precompressione;

Q_{1k} il valore caratteristico dell'azione di base di ogni combinazione;

Q_{ik} i valori caratteristici delle altre azioni accidentali variabili

γ_{G1} coefficiente parziale di sicurezza del peso proprio della struttura, nonché del perso del terreno e dell'acqua;

γ_{G2} coefficiente parziale di sicurezza del peso proprio degli elementi non strutturali;

γ_P coefficiente parziale di sicurezza per le azioni variabili;

γ_Q coefficiente parziale di sicurezza per le azioni accidentali;

ψ_i coefficiente di combinazione delle azioni accidentali.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 28 di 96	

Per le verifiche agli stati limite ultimi SLU del ponte stradale si adottano i valori dei coefficienti parziali di sicurezza in Tab. 5.1.V ai sensi delle DM 17/01/2018.

		Coefficiente γ_F	EQU	A1	A2
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ 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.

Altri valori dei coefficienti di combinazione ψ si forniscono nella Tab. 5.1.VI ai sensi delle DM 17/01/2018.

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{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 Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 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

7.1.2 Combinazione Rara o Caratteristica (SLE)

$$G_{1k} + G_{2k} + Q_{1k} + \psi_{02}Q_{2k} + \psi_{03}Q_{3k} + \dots$$

dove, per il significato dei simboli e per i valori dei coefficienti di combinazione ψ (relativi alle azioni variabili), si rimanda al paragrafo precedente.

7.1.3 Combinazione Frequenti (SLE)

$$G_{1k} + G_{2k} + Q_{1k} + \psi_{11}Q_{21} + \psi_{22}Q_{2k} + \psi_{23}Q_{3k} + \dots$$

dove, per il significato dei simboli e per i valori dei coefficienti di combinazione ψ (relativi alle azioni variabili), si rimanda al paragrafo precedente.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-			
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	B23D	00 D 00	RH	INTRR0 003	A	29 di 96

7.1.4 Combinazione Quasi Permanente (SLE)

$$G_{1k} + G_{2k} + \psi_{21}Q_{1k} + \psi_{22}Q_{2k} + \psi_{23}Q_{3k} + \dots$$

dove, per il significato dei simboli e per i valori dei coefficienti di combinazione ψ (relativi alle azioni variabili), si rimanda al paragrafo precedente.

7.1.5 Combinazione Sismica (SLU e SLE)

$$E + G_{1k} + G_{2k} + \psi_{21}Q_{1k} + \psi_{22}Q_{2k} + \dots$$

dove, per il significato dei simboli e per i valori dei coefficienti di combinazione ψ (relativi alle azioni variabili), si rimanda al paragrafo precedente.

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi:

Gravitazionali

$$G_1 + G_2 + \sum \Psi_{2j} \cdot Q_{kj}$$

Capogruppo/mandataria:    	Mandanti: 	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 30 di 96

7.1.6 Combinazione Eccezionale (SLU)

$$G_{1k} + G_{2k} + A_D + \psi_{21} Q_{1k} + \psi_{22} Q_{2k} + \dots$$

dove, per il significato dei simboli e per i valori dei coefficienti di combinazione ψ (relativi alle azioni variabili), si rimanda al paragrafo precedente.

Tabella 2 Combinazione delle azioni

Nome	Tipo	carichi propri	carichi propri non modellato	sovraaccarichi	vento caso 1	vento caso 2	vento tangente	neve con vento	neve senza vento	sisma x	sisma y	sisma z
SLU_001	SLU	1,30	1,30	1,50	0,90			0,75				
SLU_002	SLU	1,30	1,30	1,50		0,90		0,75				
SLU_003	SLU	1,30	1,30	1,50			0,90	0,75				
SLU_004	SLU	1,30	1,30		1,50			0,75				
SLU_005	SLU	1,30	1,30			1,50		0,75				
SLU_006	SLU	1,30	1,30				1,50	0,75				
SLU_007	SLU	1,30	1,30		0,90			1,50				
SLU_008	SLU	1,30	1,30			0,90		1,50				
SLU_009	SLU	1,30	1,30				0,90	1,50				
SLU_010	SLU	1,30	1,30						1,50			
SLE_001	SLE	1,00	1,00	1,00	0,60			0,50				
SLE_002	SLE	1,00	1,00	1,00		0,60		0,50				
SLE_003	SLE	1,00	1,00	1,00			0,60	0,50				
SLE_004	SLE	1,00	1,00		1,00			0,50				
SLE_005	SLE	1,00	1,00			1,00		0,50				
SLE_006	SLE	1,00	1,00				1,00	0,50				
SLE_007	SLE	1,00	1,00		0,60			1,00				
SLE_008	SLE	1,00	1,00			0,60		1,00				
SLE_009	SLE	1,00	1,00				0,60	1,00				
SLE_010	SLE	1,00	1,00		0,20			0,20				
SLE_011	SLE	1,00	1,00			0,20		0,20				
SLE_012	SLE	1,00	1,00				0,20	0,20				
SLE_013	SLE	1,00	1,00						0,20			
SLE_014	SLE	1,00	1,00						1,00			
SLV_001	SLV	1,00	1,00							1,00	0,30	0,00
SLV_002	SLV	1,00	1,00							0,30	1,00	0,00
SLD_001	SLD	1,00	1,00							1,00	0,30	0,00
SLD_002	SLD	1,00	1,00							0,30	1,00	0,00
EQU_001	SLU	1,10	1,10	1,50	0,90			0,75				
EQU_002	SLU	1,10	1,10	1,50		0,90		0,75				
EQU_003	SLU	1,10	1,10	1,50			0,90	0,75				
EQU_004	SLU	1,10	1,10		1,50			0,75				
EQU_005	SLU	1,10	1,10			1,50		0,75				
EQU_006	SLU	1,10	1,10				1,50	0,75				
EQU_007	SLU	1,10	1,10		0,90			1,50				
EQU_008	SLU	1,10	1,10			0,90		1,50				
EQU_009	SLU	1,10	1,10				0,90	1,50				
EQU_010	SLU	1,10	1,10						1,50			

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 31 di 96
Relazione di calcolo strutture in opera								

8. STRUTTURA DEVIATORE

La geometria dell'opera Deviatore è mostrata nella figura seguente:

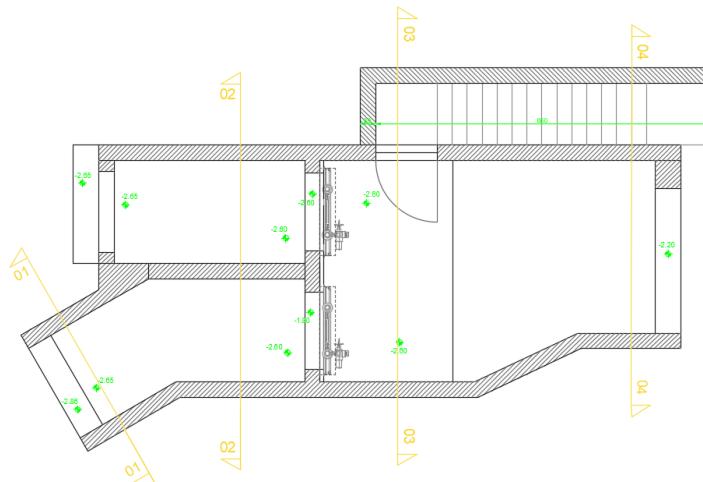


Figura 8.1 Viste in pianta

- lastra superiore: 40 cm
- lastra di fondazione: 50 cm
- mura esterne 30 cm
- murature interne 25cm

8.1 MODELLAZIONE FEM

8.1.1 Modello di calcolo

L'analisi delle sollecitazioni è stata condotta tramite un modello tridimensionale FEM utilizzando il software di calcolo strutturale SAP2000. Sono state modellate quattro sezioni dell'impianto.

Le azioni e le caratteristiche geometriche delle sezioni sono stati assegnate al modello in funzione delle proprietà dei profili effettivamente utilizzati.

Gli elementi strutturali mono-dimensionali quali travi e pilastri sono stati schematizzati nel modello numerico come elementi trave (elemento finito dotato di rigidezza assiale, flessionale e torsionale) e asta (elemento finito dotato di sola rigidezza assiale), assegnando all'elemento le

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	
	B23D	00 D 00	RH	INTRR0 003	A	32 di 96	

caratteristiche geometriche e meccaniche reali e posizionandoli nell'asse baricentrico delle travi e delle colonne schematizzati.

Tutti i collegamenti fra gli elementi monodimensionali sono modellati di volta in volta, rilasciando i gradi di libertà necessari ad ottenere una modellazione rappresentativa del reale comportamento del nodo in esame.

Le sezioni trasversali sono modellate con elementi dello spessore dettagliato nei piani e larghezza dell'unità di 100 cm. Ai telai vengono assegnati pezzi rigidi con una lunghezza che corrisponde alla metà dello spessore dell'elemento. La maglia dei telai è determinata in base al numero di nodi richiesti. Le molle lineari sono assegnate alla soletta inferiore delle sezione, solo per la compressione. Si specifica che l'analisi avvenga nel piano X-Z.

Di seguito i modelli dei rispettivi tagli:

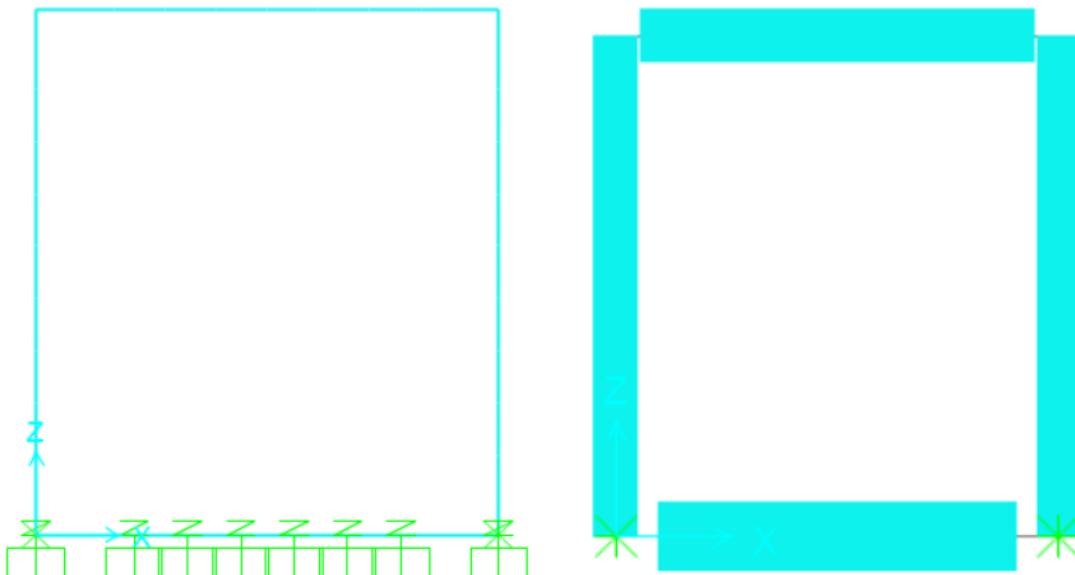


Figura 8.2 Viste modello di calcolo FEM, taglio 1

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera		COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO B23D 00 D 00 RH INTRR0 003 A 33 di 96					

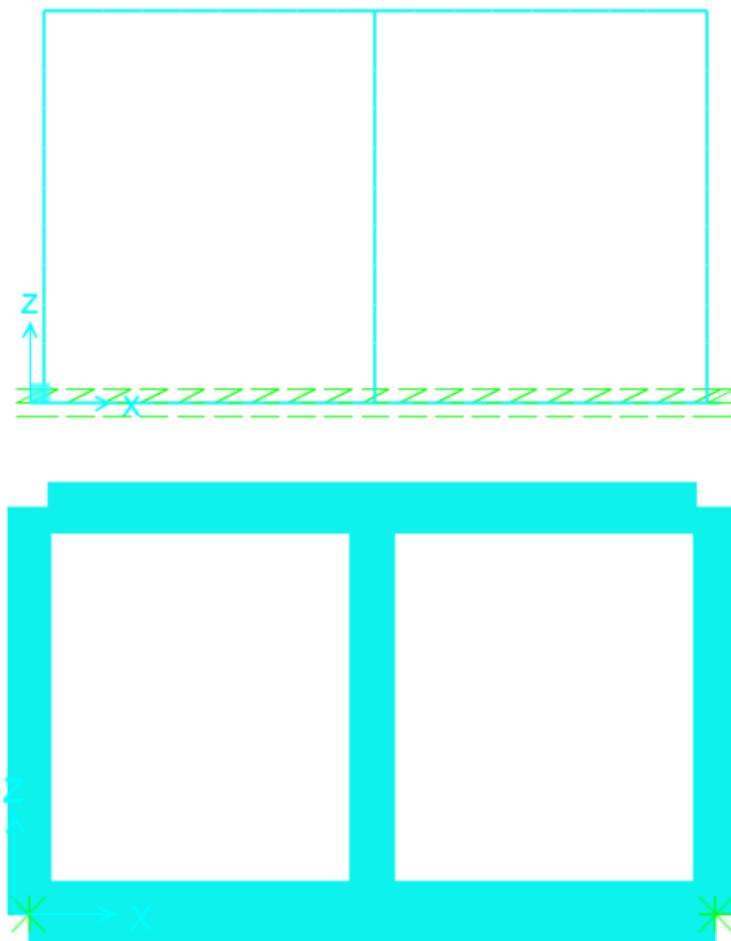


Figura 8.3 Viste modello di calcolo FEM, taglio 2

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO B23D 00 D 00 RH INTRR0 003 A 34 di 96						

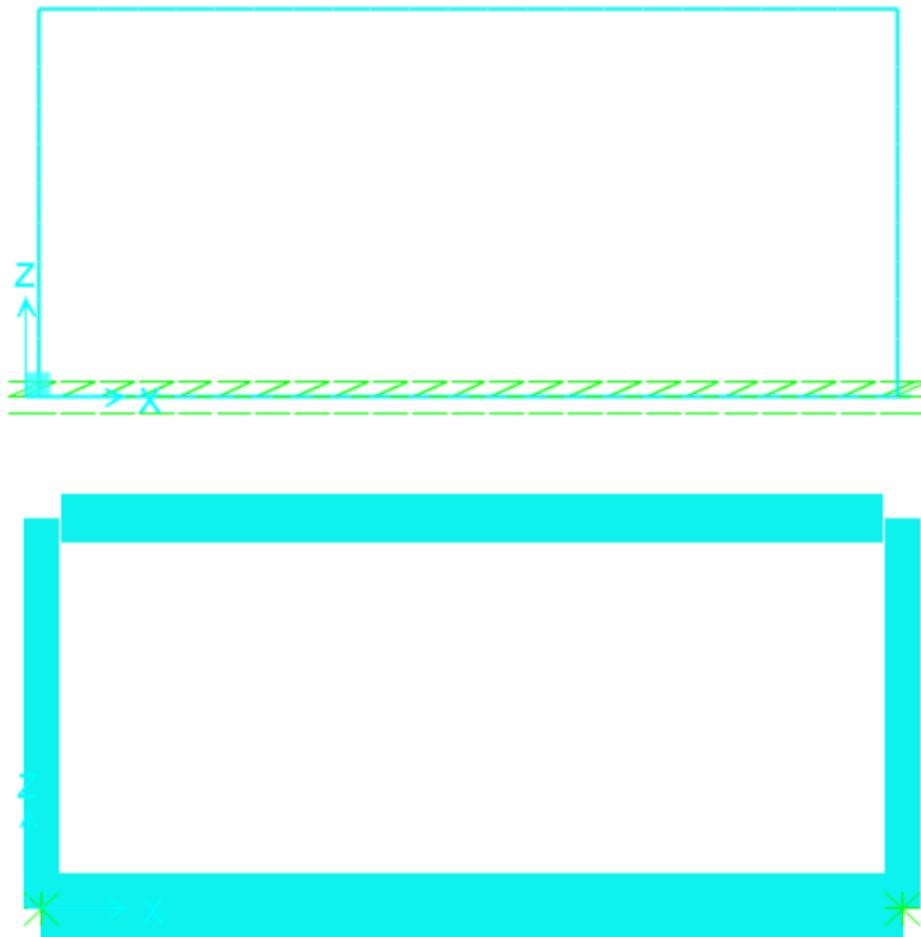


Figura 8.4 Viste modello di calcolo FEM, taglio 3

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera		COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO B23D 00 D 00 RH INTRR0 003 A 35 di 96					

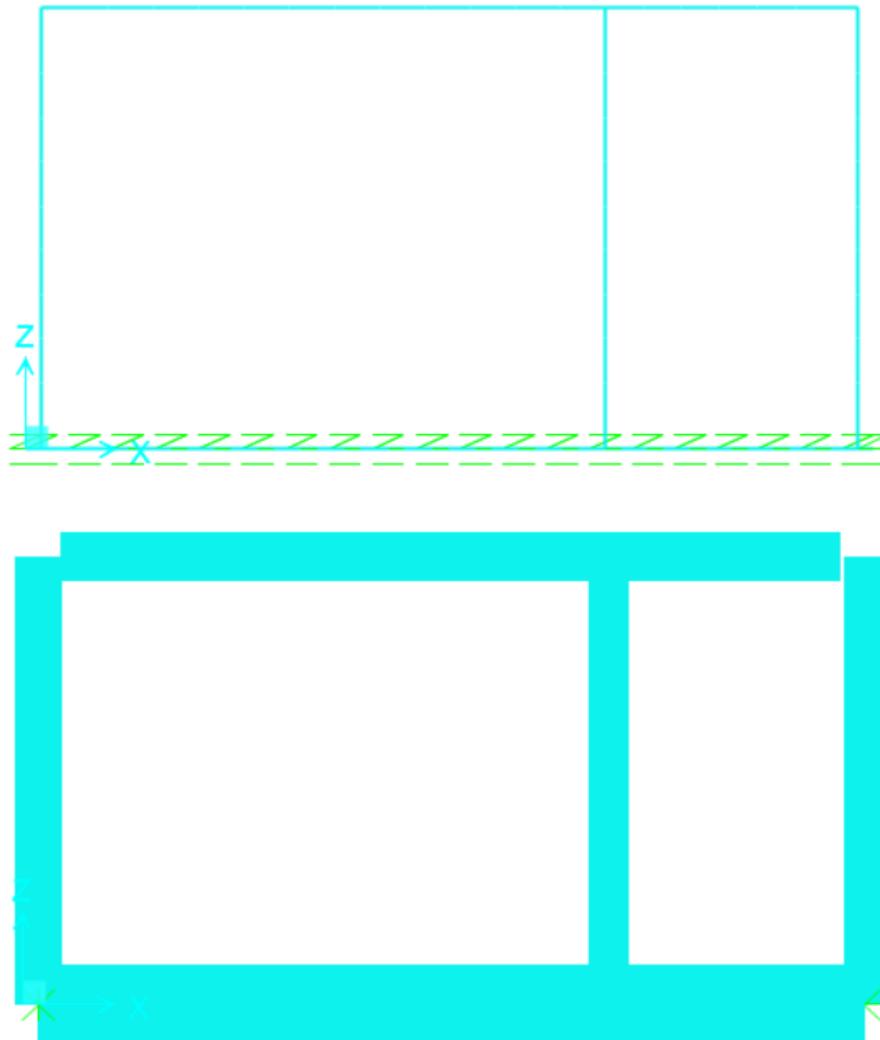


Figura 8.5 Viste modello di calcolo FEM, taglio 4

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 36 di 96
Relazione di calcolo strutture in opera								

8.1.2 Carichi applicati

Di seguito si riportano alcune immagini esplicative dei carichi applicati al taglio 1.

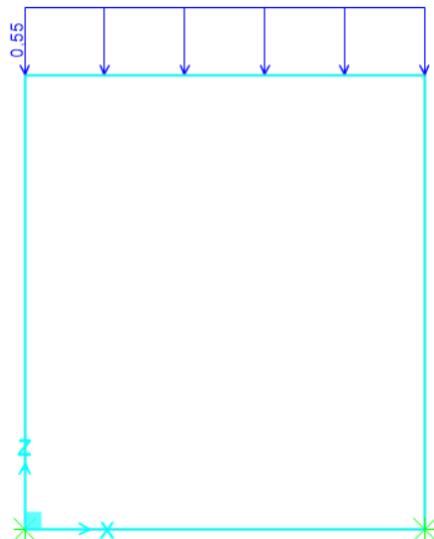


Figura 8.6 Carichi propri modellato [tonf/m]

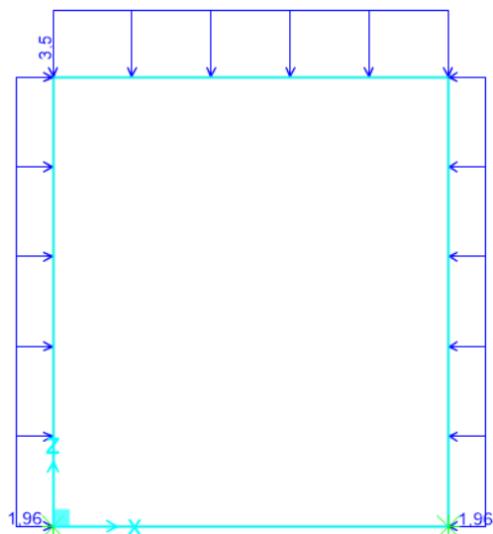


Figura 8.7 Sovraccarico [tonf/m]

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A

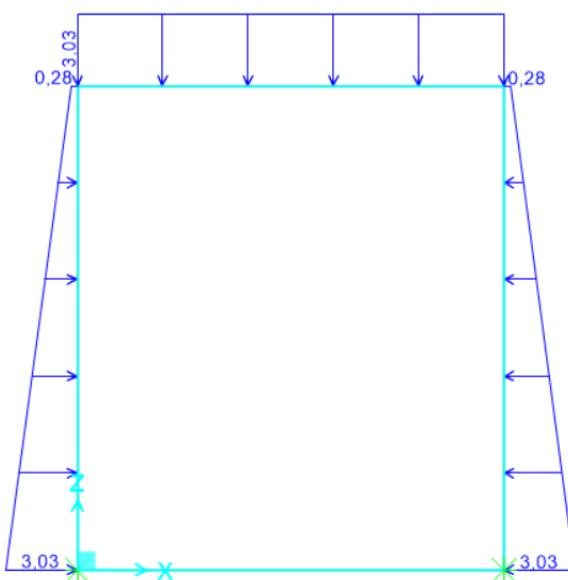


Figura 8.8 Spinta della terra [tonf/m]

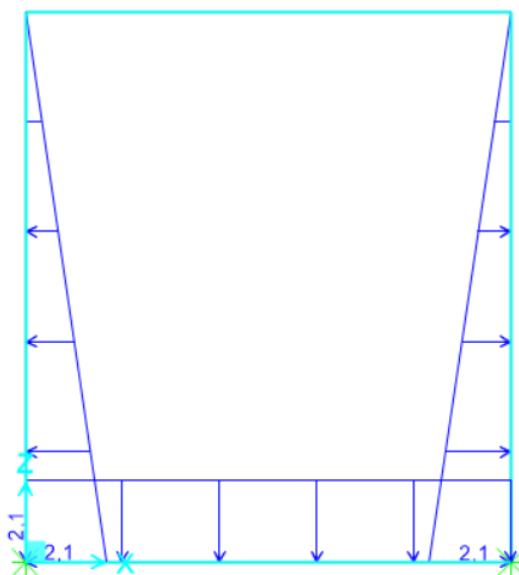


Figura 8.9 Spinta dell'acqua 2 [tonf/m]

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 38 di 96

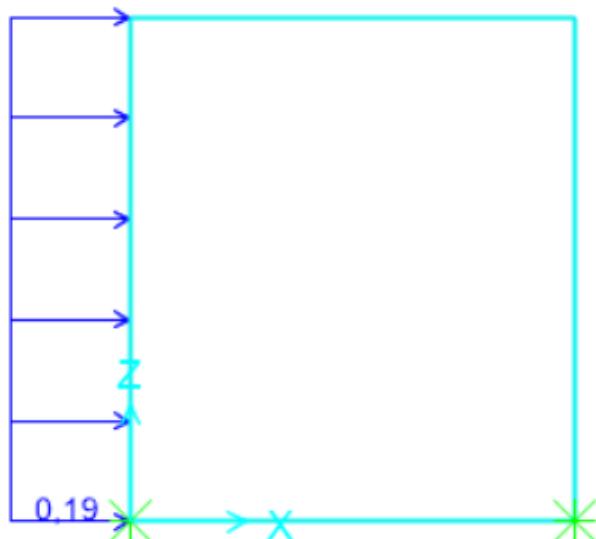


Figura 8.10 Azione sismica [tonf/m]

Di seguito si riportano alcune immagini esplicative dei carichi applicati al taglio 2.

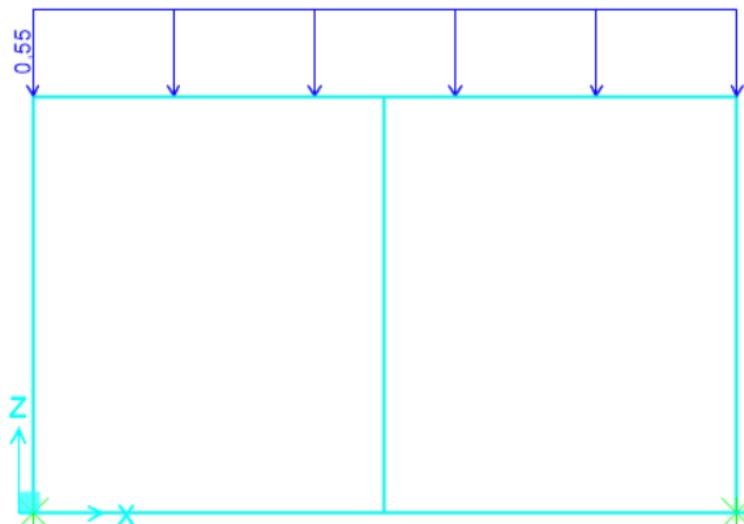


Figura 8.11 Carichi propri modellato [tonf/m]

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-			
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera		COMMESA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO B23D 00 D 00 RH INTRR0 003 A 39 di 96				

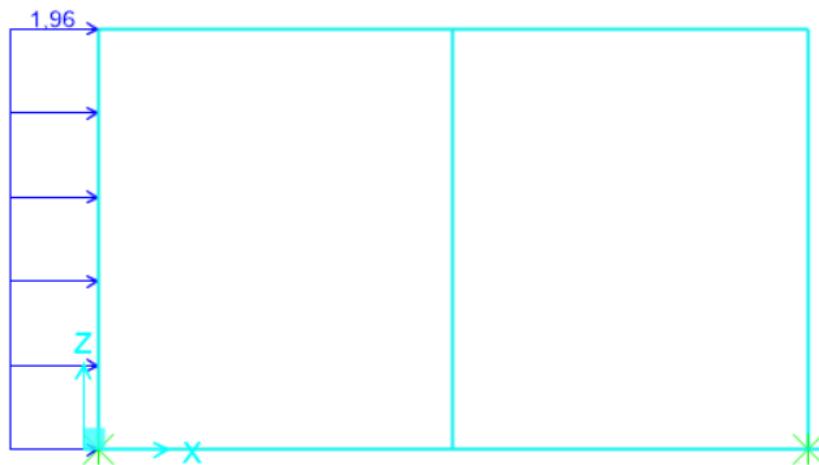


Figura 8.12 Sovraccarico [tonf/m]

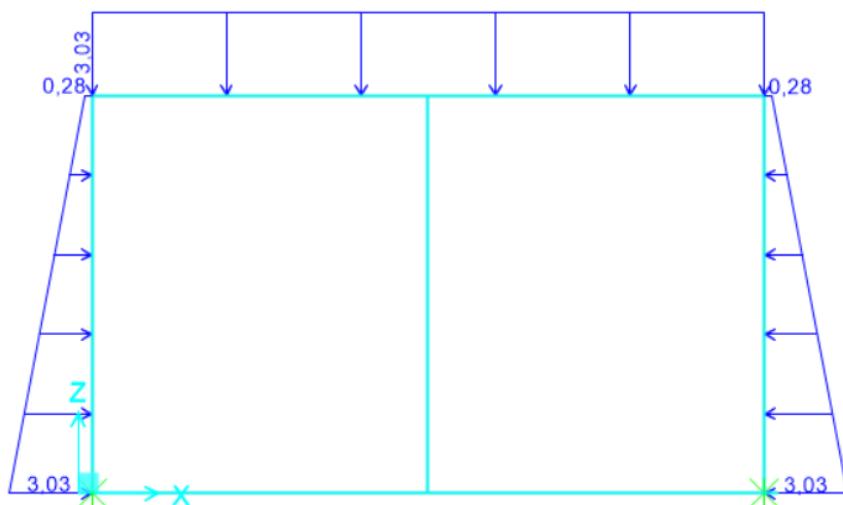


Figura 8.13 Spinta della terra [tonf/m]

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili			COMMESA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
Relazione di calcolo strutture in opera			B23D	00 D 00	RH	INTRR0 003	A
							FOGLIO 40 di 96

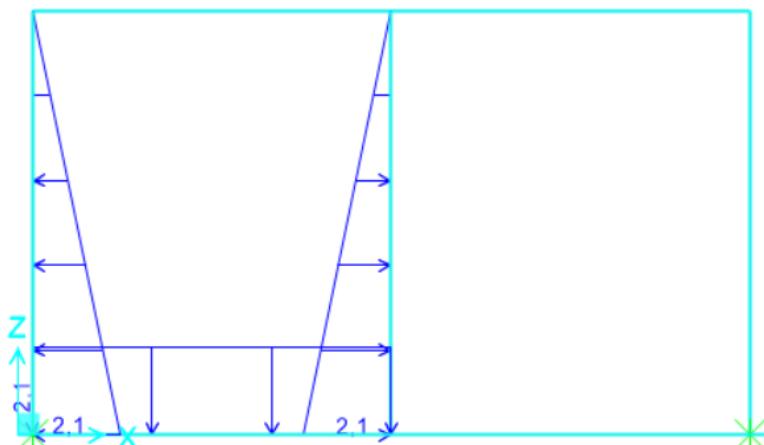


Figura 8.14 Spinta dell'acqua – Caso 1 [tonf/m]

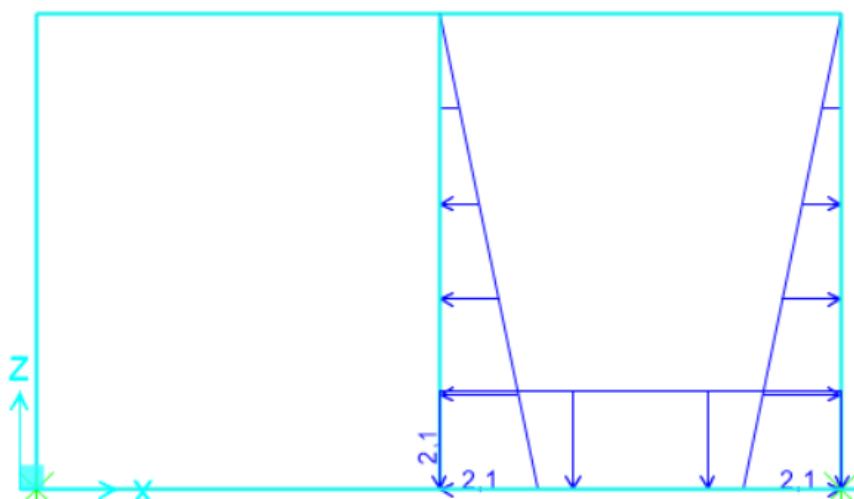
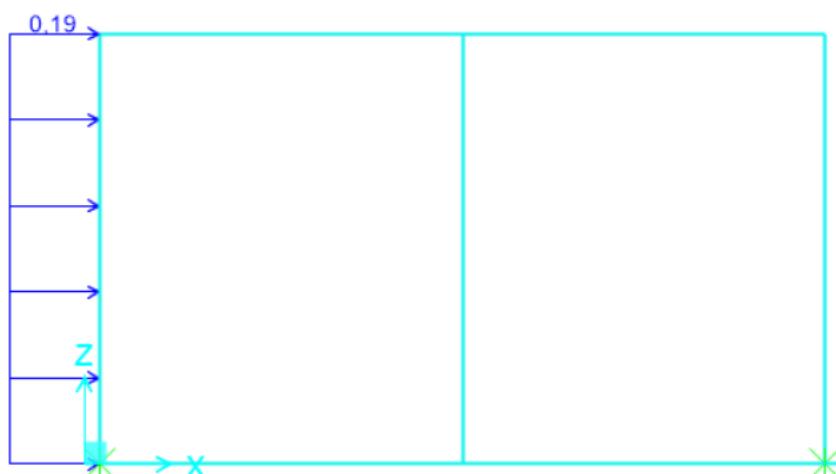


Figura 8.15 Spinta dell'acqua – Caso 2 [tonf/m]



Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 41 di 96

Figura 8.16 Azione sismica [tonf/m]

Di seguito si riportano alcune immagini esplicative dei carichi applicati al taglio 3.

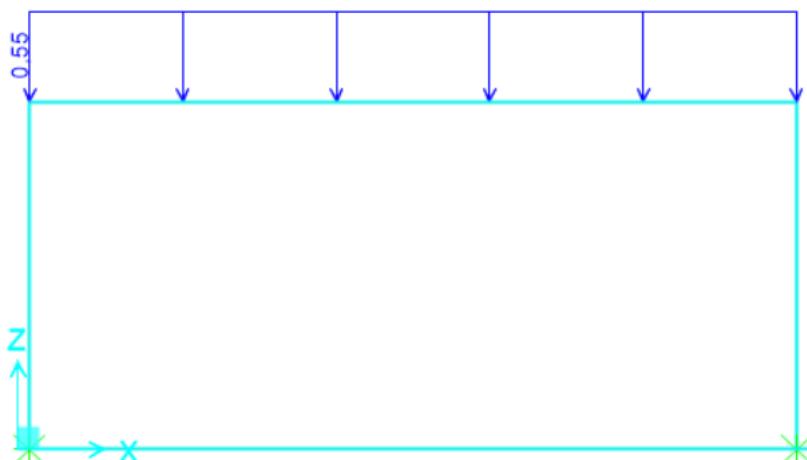


Figura 8.17 Carichi propri modellato [tonf/m]



Figura 8.18 Sovraccarico [tonf/m]



Figura 8.19 Spinta della terra [tonf/m]

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 42 di 96

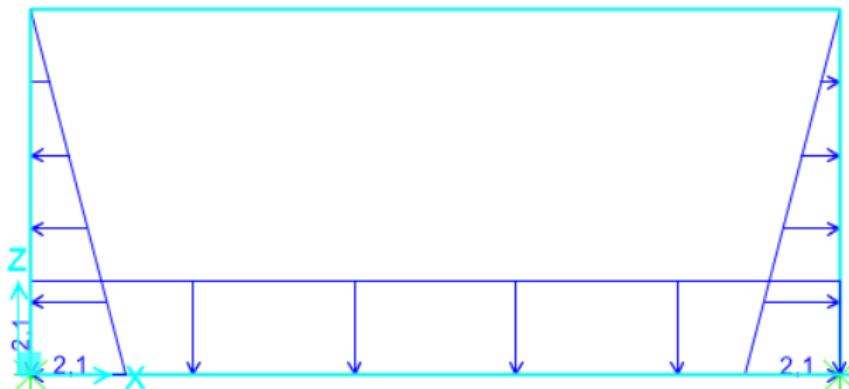


Figura 8.20 Spinta dell'acqua [tonf/m]



Figura 8.21 Azione sismica [tonf/m]

Di seguito si riportano alcune immagini esplicative dei carichi applicati al taglio 4.

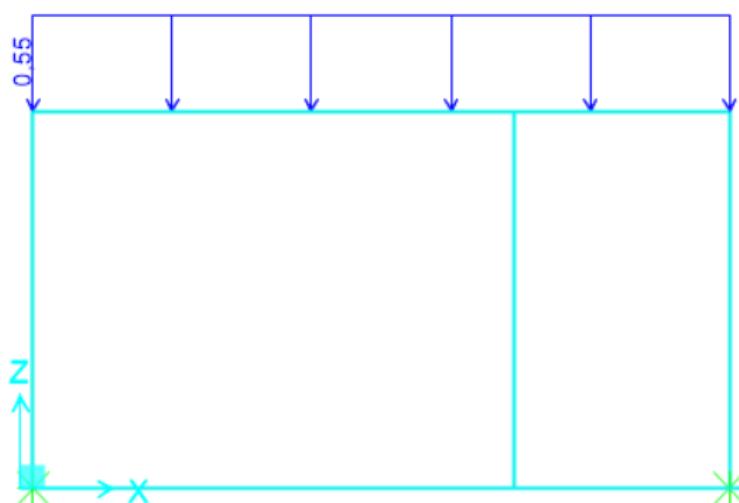


Figura 8.22 Carichi propri modellato [tonf/m]

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 43 di 96



Figura 8.23 Sovraccarico [tonf/m]

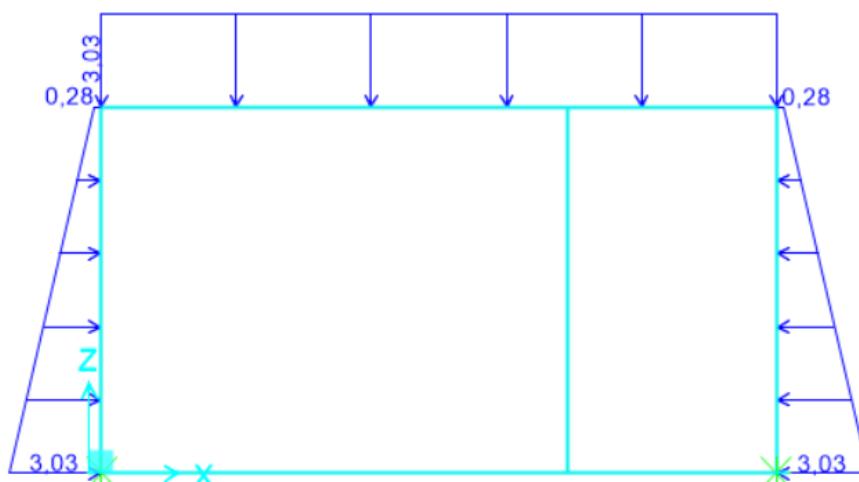


Figura 8.24 Spinta della terra [tonf/m]

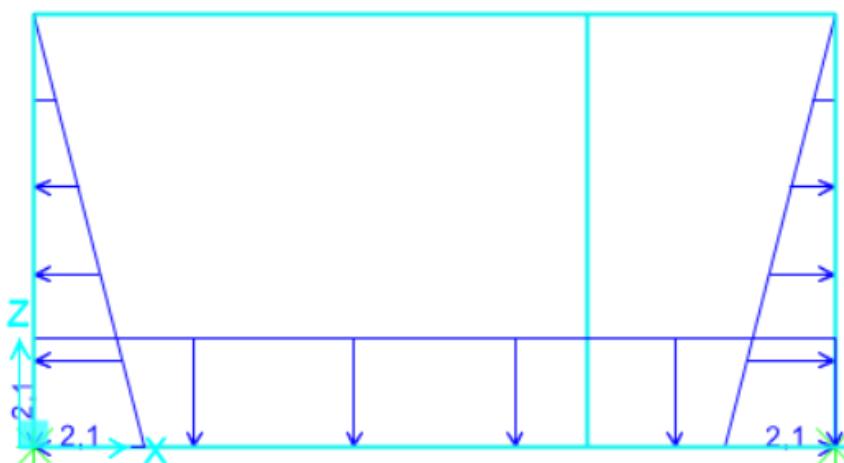


Figura 8.25 Spinta dell'acqua – Caso 1 [tonf/m]

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera		COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO B23D 00 D 00 RH INTRR0 003 A 44 di 96					



Figura 8.26 Azione sismica [tonf/m]

Il peso proprio e l'azione sismica vengono calcolati automaticamente dal programma di calcolo.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 45 di 96

8.2 VERIFICHE STRUTTURALI

8.2.1 Verifica spessore degli elementi.

Trattandosi di un'ingegneria di base, i tagli sono stati modellati in maniera bidimensionale e lo spessore degli elementi è stato determinato verificando le sollecitazioni di taglio.

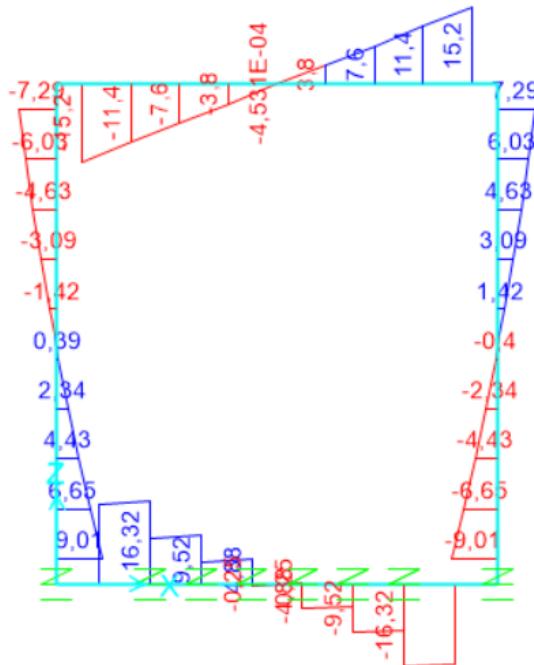


Figura 8.27 Tensioni di taglio – Taglio 1

Per lo spessore degli elementi del taglio 1 si determina la seguente soluzione

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A

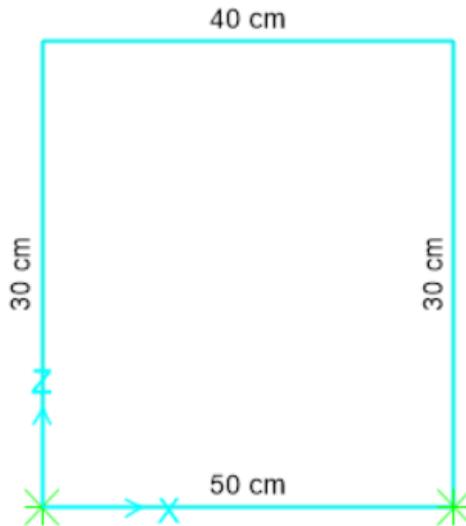


Figura 8.28 Soluzione taglio 1

La verifica viene effettuata per soletta superiore e pareti laterali in calcestruzzo C32/40, con 5 cm di copertura:

Taglio 1		
espesor	30 cm	25 cm
Ved (tf)	17,81	14,25
Parete sinistra	Ved (tf)	8,59
Parete destra	Ved (tf)	8,59
Lastra superiore	Ved (tf)	11,11
		14,62

- a) Parete sinistra: Ved=7,29 tonf < Vrd=17,81 tonf
- b) Parete destra: Ved=7,29 tonf < Vrd=17,81 tonf
- c) Lastra superiore: Ved=15,2 tonf < Vrd=24,93 tonf
- d) Lastra inferiore: Ved=16,32 tonf < Vrd=32,05 tonf

Secondo la tabella la capacità di taglio per uno spessore di 30 cm è di 17,81 tonf, superiore allo sforzo di taglio sopportato da ciascuno degli elementi. Riducendo di 5 cm lo spessore di questi elementi, la capacità di taglio si riduce a 14,25 ton secondo quanto indicato in tabella.

Il taglio maggiore effettuato dagli elementi laterali rimane al di sotto di tale capacità, ma non nella lastra, lo sforzo di taglio generato in esso supera la capacità dell'elemento.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESMA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 47 di 96

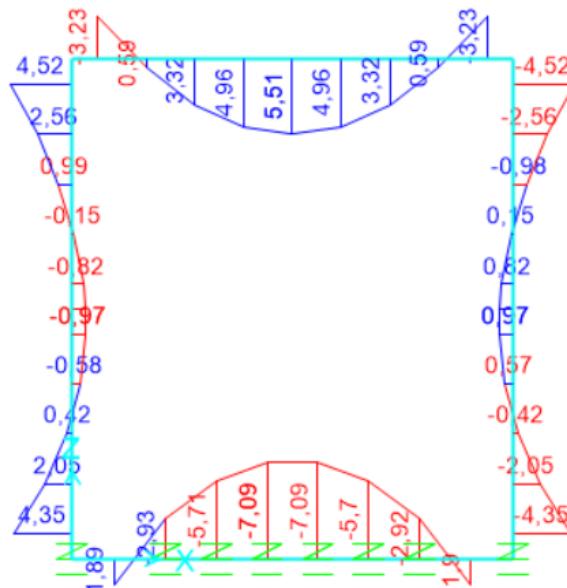


Figura 8.29 Diagramma del momento



Figura 8.30 Sforzo assiale

<p>Capogruppo/mandataria:</p>  <p>ARTELIA Mission & Solutions Italia</p> <p>Mandanti:</p>  <p>ARTELIA Mission & Solutions France</p>  <p>ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>   <p>PINI SMART ENGINEERING</p>  <p>studio CARRARA ARCHITETTURA INGENIERIA <i>team building</i></p>	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</p> <p>-PROGETTO DEFINITIVO-</p>												
7.0 Opere Civili	<table> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th><th>LOTTO</th><th>CODIFICA</th><th>DOCUMENTO</th><th>REV.</th><th>FOGLIO</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B23D</td><td>00 D 00</td><td>RH</td><td>INTRR0 003</td><td>A</td><td>48 di 96</td></tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	B23D	00 D 00	RH	INTRR0 003	A	48 di 96
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
B23D	00 D 00	RH	INTRR0 003	A	48 di 96								
Relazione di calcolo strutture in opera													

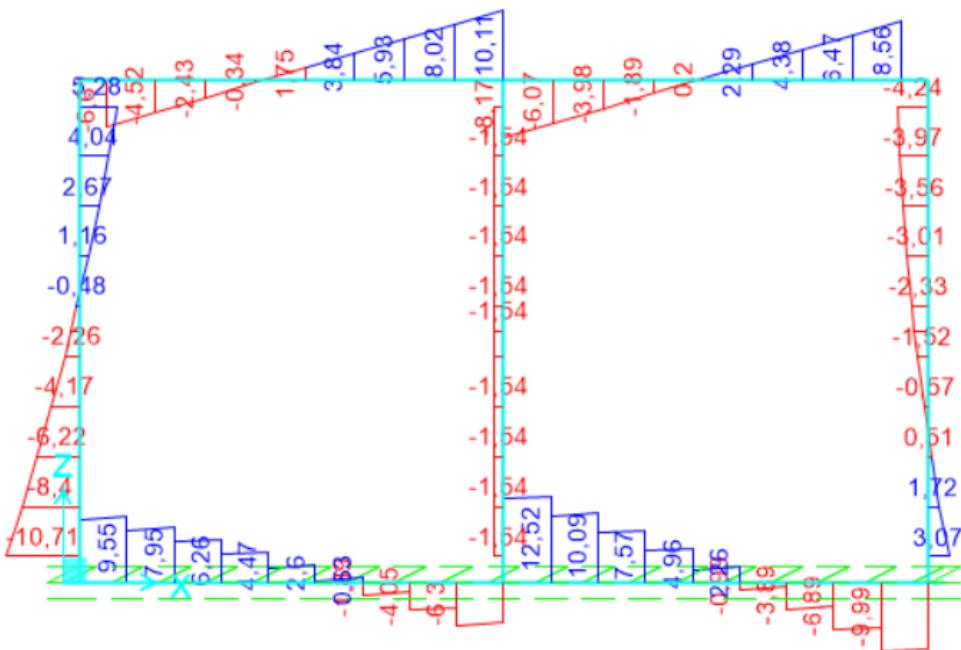


Figura 8.31 Tensioni di taglio – Taglio 2

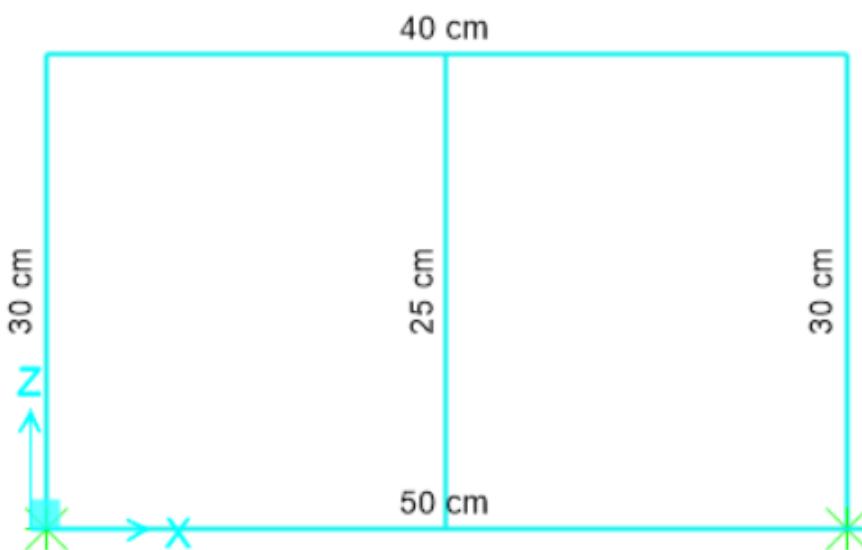


Figura 8.32 Soluzione taglio 2

La verifica viene effettuata per soletta superiore e pareti laterali in calcestruzzo C32/40, con 5 cm di copertura:

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 49 di 96

Taglio 2		
spessore	30 cm	25 cm
Vrd (tf/m)	17,81	14,25
Parete sinistra	Ved (tf/m)	10,46
Parete destra	Ved (tf/m)	4,14
Lastra superiore	Ved (tf/m)	9,48
		9,13

- a) Parete sinistra: Ved=10,71 tonf < Vrd=17,81 tonf
- b) Parete central: Ved=1,54 tonf < Vrd=14,25 tonf
- c) Parete destra: Ved=4,74 tonf < Vrd=17,81 tonf
- d) Lastra superiore: Ved=10,11 tonf < Vrd=24,93 tonf
- e) Lastra inferiore: Ved=12,52 tonf < Vrd=32,05 tonf

Secondo la tabella la capacità di taglio per uno spessore di 30 cm è di 17,81 tonnellate, superiore allo sforzo di taglio sopportato da ciascuno degli elementi. Riducendo di 5 cm lo spessore di questi elementi la capacità di taglio si riduce a 14,25 ton come indicato in tabella.

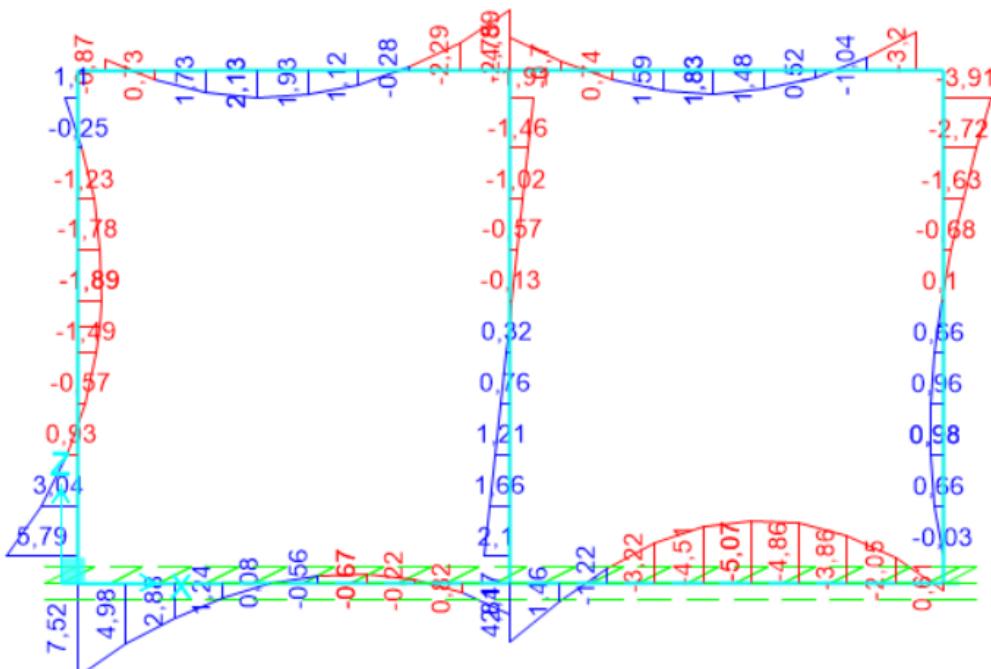


Figura 8.33 Diagramma del momento

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 50 di 96

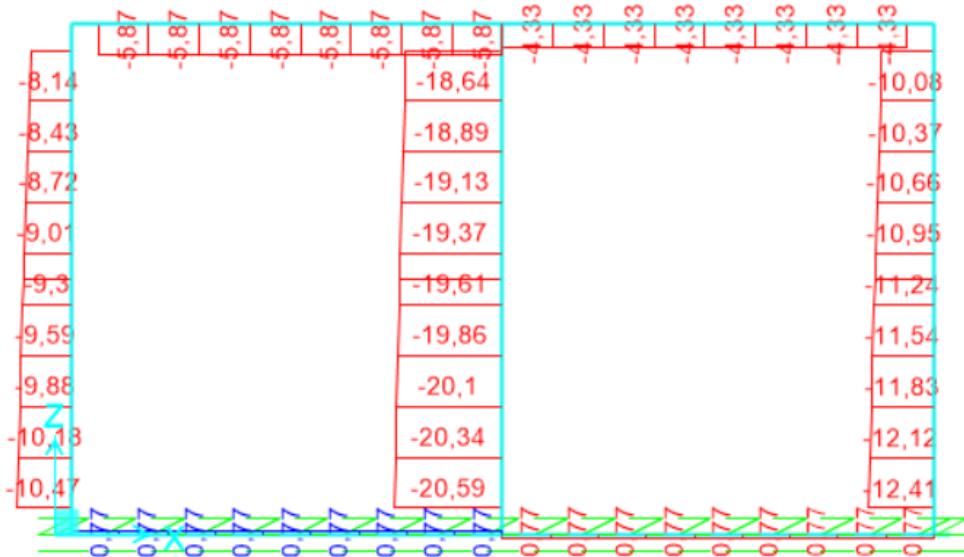


Figura 8.34 Sforzo assiale

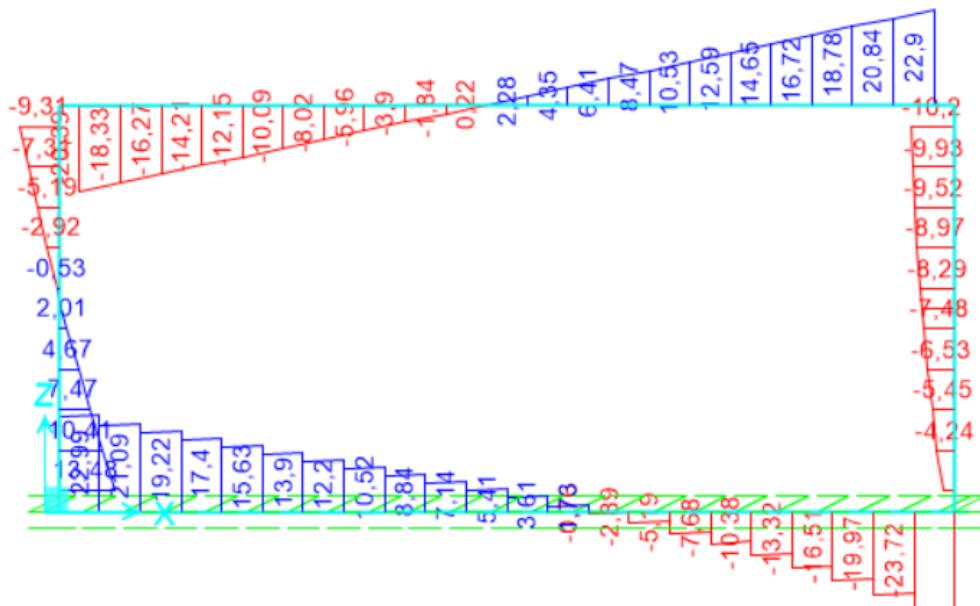


Figura 8.35 Tensioni di taglio – Taglio 3

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera		COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO B23D 00 D 00 RH INTRR0 003 A 51 di 96					

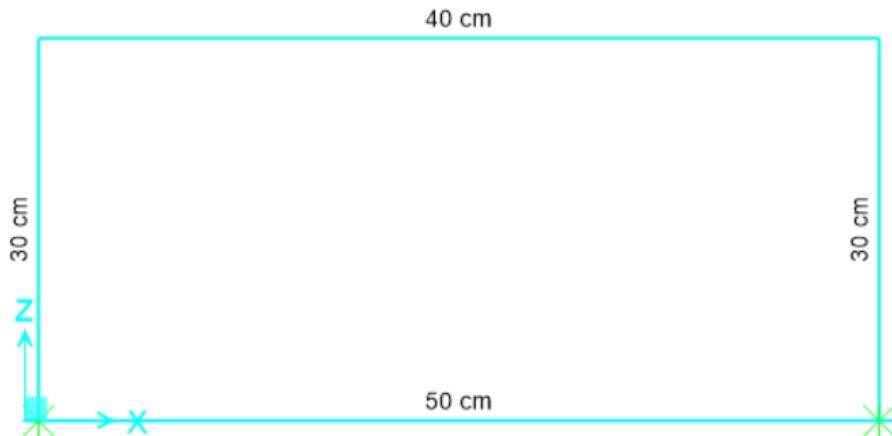


Figura 8.36 Soluzione taglio 3

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 52 di 96

La verifica viene effettuata per soletta superiore e pareti laterali in calcestruzzo C32/40, con 5 cm di copertura:

Taglio 3				
spessore		30 cm	35 cm	40 cm
Vrd (tf/m)		17,81	21,37	24,93
Parete sinistra	Ved (tf/m)	12,62	10,2	11,24
Parete destra	Ved (tf/m)	11,06	8,83	7,8
Lastra superiore	Ved (tf/m)	22,27	22,9	23,49

- a) Parete sinistra: Ved=12,48 tonf < Vrd=17,81 tonf
- b) Parete destra: Ved=10,2 tonf < Vrd=17,81 tonf
- c) Lastra superiore: Ved=22,9 tonf < Vrd=24,93 tonf
- d) Lastra inferiore: Ved=23,72 tonf < Vrd=32,05 tonf

Secondo la tabella, la capacità di taglio per uno spessore di 30 cm è di 17,81 tonnellate, superiore allo sforzo di taglio sopportato da ciascuno degli elementi laterali, ma lo sforzo della soletta superiore supera la capacità dell'elemento.

Aumentando lo spessore della lastra di 5, cm non è ancora sufficiente che la richiesta sia inferiore alla portata, quindi si aumenta lo spessore di ulteriori 5 cm verificando che non venga superata la capacità di taglio dell'elemento.

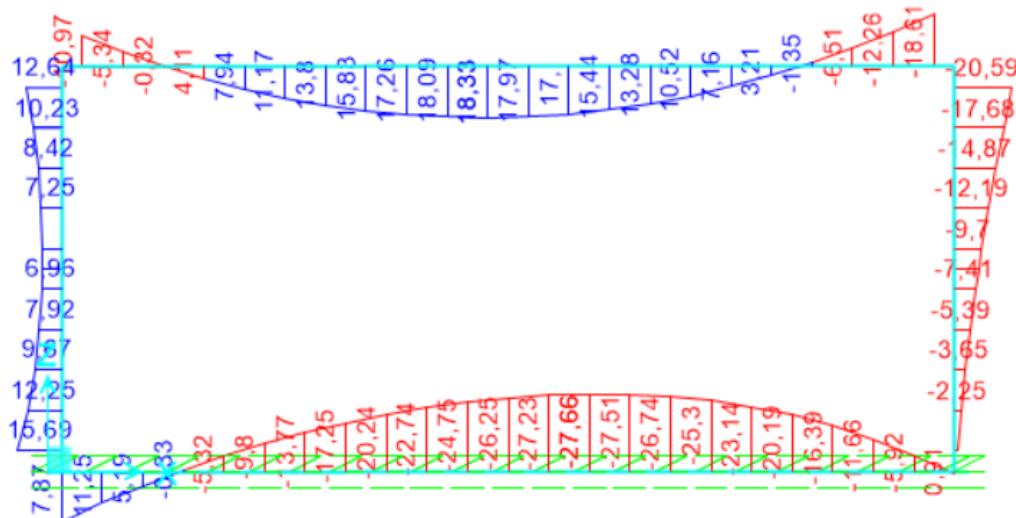


Figura 8.37 Diagramma del momento

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 53 di 96

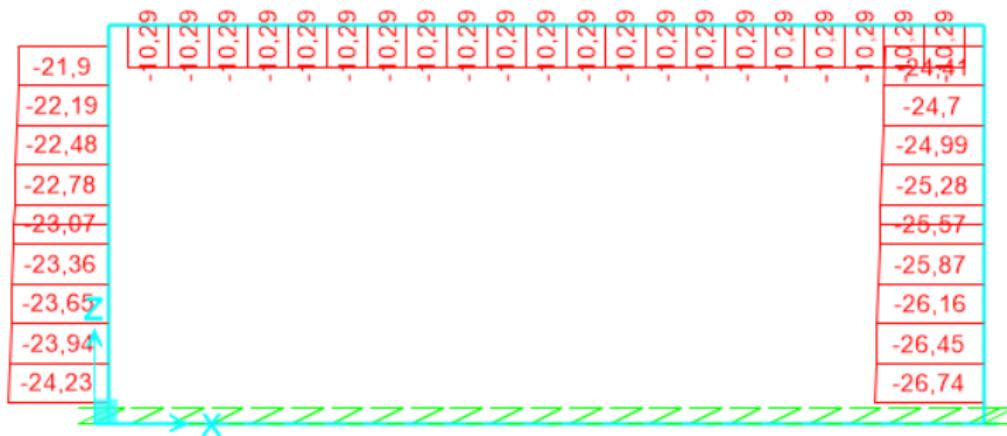


Figura 8.38 Sforzo assiale

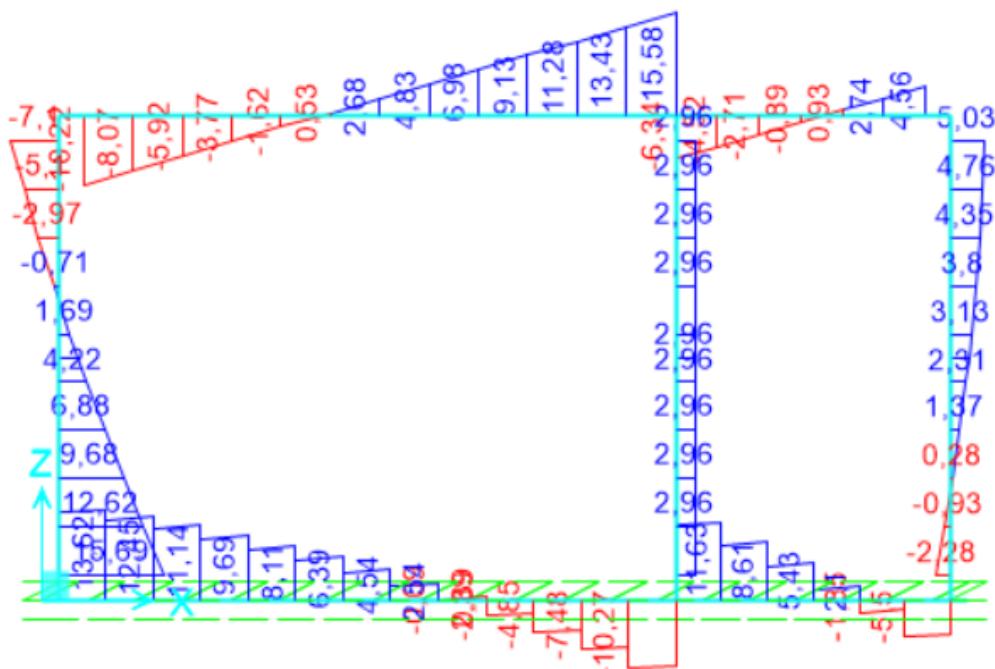


Figura 8.39 Tensioni di taglio – Taglio 4

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A

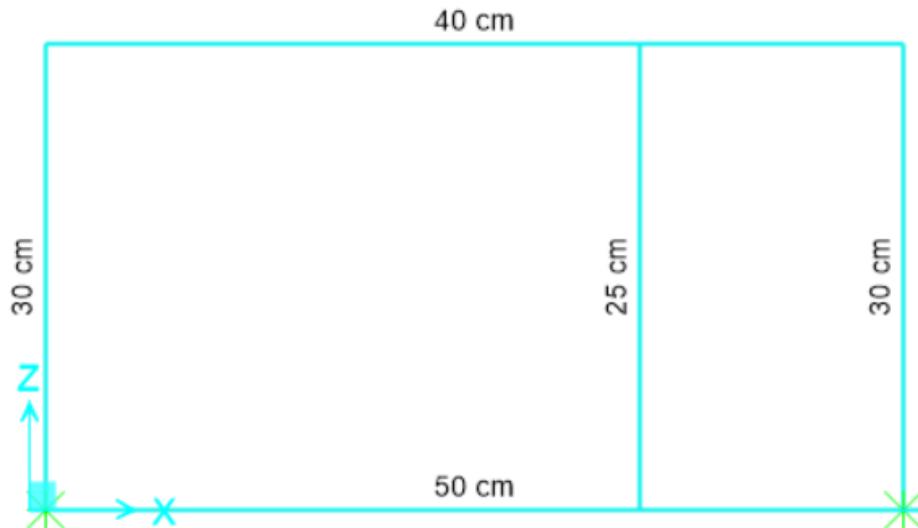


Figura 8.40 Soluzione taglio 4

La verifica viene effettuata per soletta superiore e pareti laterali in calcestruzzo C32/40, con 5 cm di copertura:

Taglio 4		
spessore	30 cm	25 cm
Vrd (tf)	17,81	14,25
Parete sinistra	Ved (tf)	15,02
Parete destra	Ved (tf)	4,27
Lastra superiore	Ved (tf)	14,41
		13,81

- a) Parete sinistra: Ved=15,69 tonf < Vrd=17,81 tonf
- b) Parete centrale: Ved=2,96 tonf < Vrd=14,25 tonf
- c) Parete destra: Ved=5,03 tonf < Vrd=17,81 tonf
- d) Lastra superiore: Ved=15,58 tonf < Vrd=24,93 tonf
- e) Lastra inferiore: Ved=13,62 tonf < Vrd=32,05 tonf

Secondo la tabella la capacità di taglio per uno spessore di 30 cm è di 17,81 tonnellate, superiore allo sforzo di taglio sopportato da ciascuno degli elementi.

Diminuendo la larghezza degli elementi di 5 cm, lo sforzo di taglio della parete sinistra supera la capacità di taglio per un elemento largo 25 cm.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 55 di 96

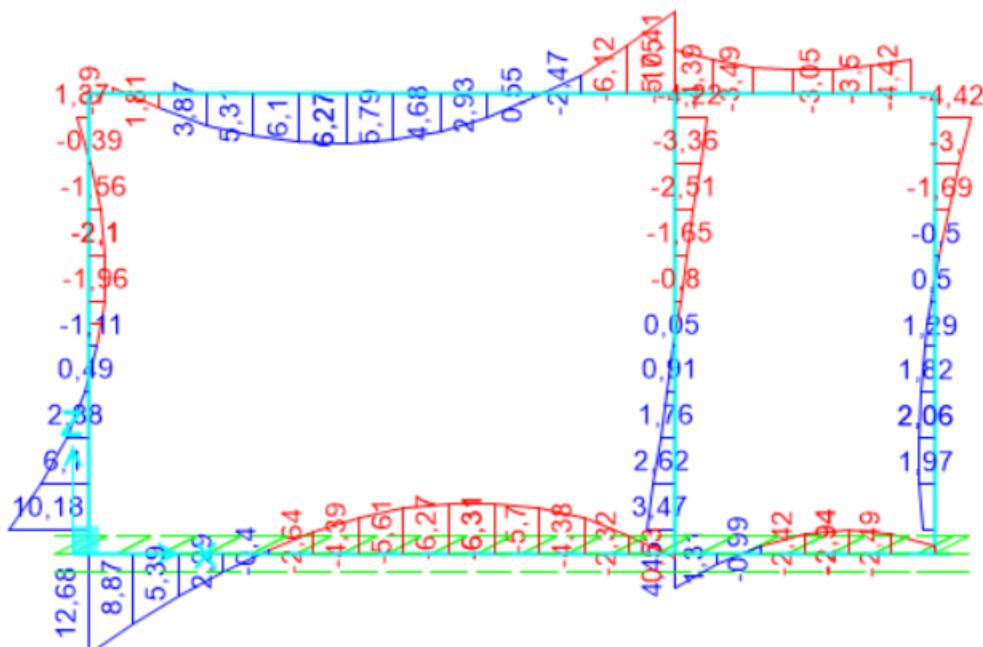


Figura 8.41 Diagramma del momento

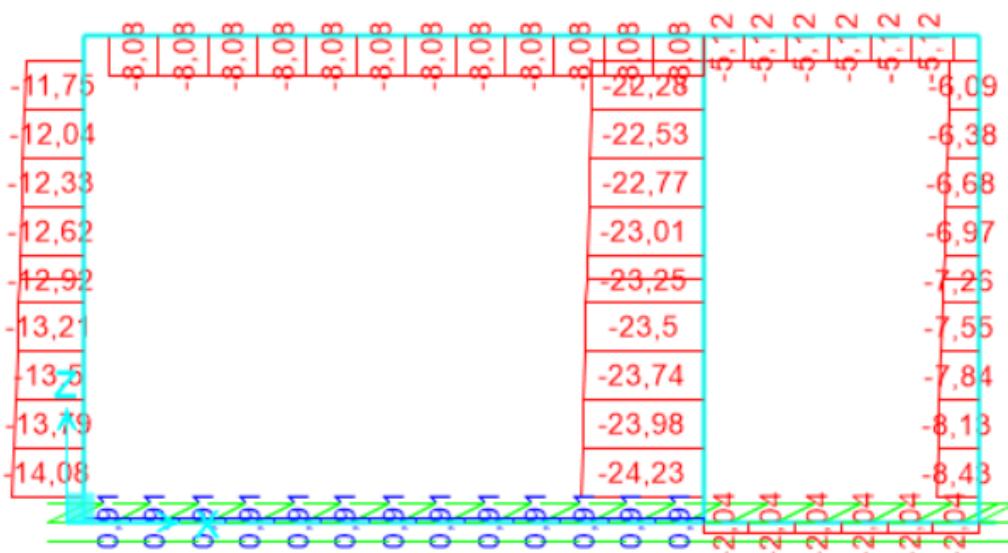


Figura 8.42 Sforzo assiale

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	
	B23D	00 D 00	RH	INTRR0 003	A	56 di 96	

9. STRUTTURA SFIORATORE

La geometria de la struttura è mostrata nella figura seguente:

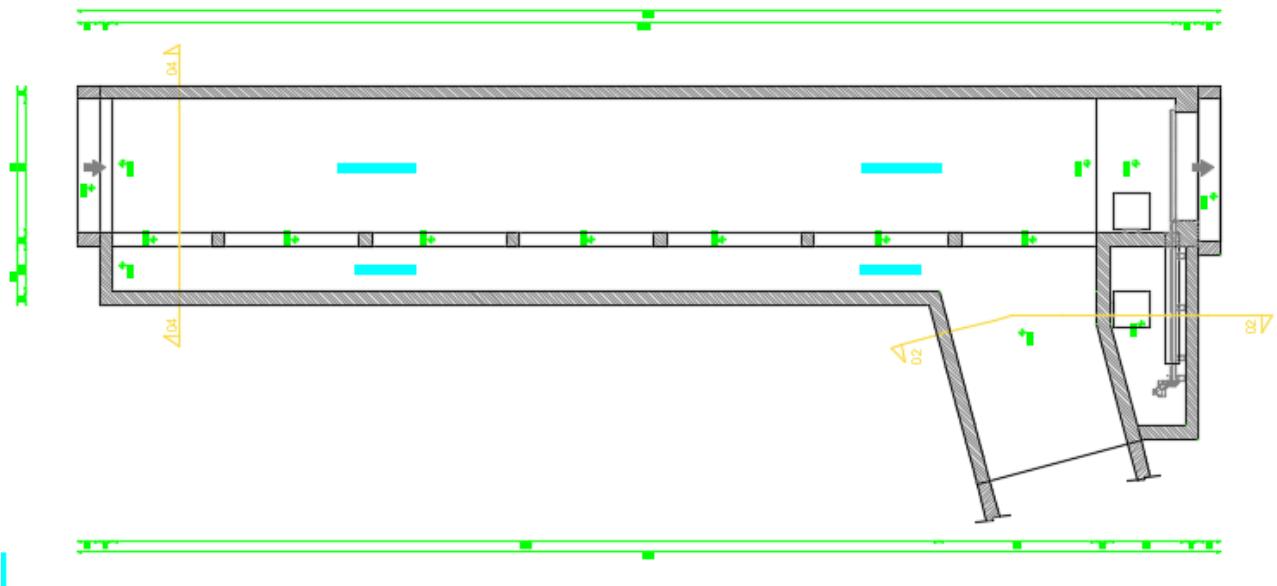


Figura 9.1 Viste in pianta

- lastra superiore: 30 cm
- lastra di fondazione: 50 cm
- mura esterne 25 cm
- murature interne 25cm

9.1 MODELLAZIONE FEM

9.1.1 Modello di calcolo

L'analisi delle sollecitazioni è stata condotta tramite un modello tridimensionale FEM utilizzando il software di calcolo strutturale SAP2000. Sono state modellate quattro sezioni dell'impianto.

Le azioni e le caratteristiche geometriche delle sezioni sono stati assegnate al modello in funzione delle proprietà dei profili effettivamente utilizzati.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-			
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 57 di 96

Gli elementi strutturali mono-dimensionali quali travi e pilastri sono stati schematizzati nel modello numerico come elementi trave (elemento finito dotato di rigidezza assiale, flessionale e torsionale) e asta (elemento finito dotato di sola rigidezza assiale), assegnando all'elemento le caratteristiche geometriche e meccaniche reali e posizionandoli nell'asse baricentrico delle travi e delle colonne schematizzati.

Tutti i collegamenti fra gli elementi monodimensionali sono modellati di volta in volta, rilasciando i gradi di libertà necessari ad ottenere una modellazione rappresentativa del reale comportamento del nodo in esame.

Le sezioni trasversali sono modellate con elementi dello spessore dettagliato nei piani e larghezza dell'unità di 100 cm. Ai telai vengono assegnati pezzi rigidi con una lunghezza che corrisponde alla metà dello spessore dell'elemento. La maglia dei telai è determinata in base al numero di nodi richiesti. Le molle lineari sono assegnate alla soletta inferiore delle sezioni, solo per la compressione. Si specifica che l'analisi avvenga nel piano X-Z.

Di seguito i modelli dei rispettivi tagli:

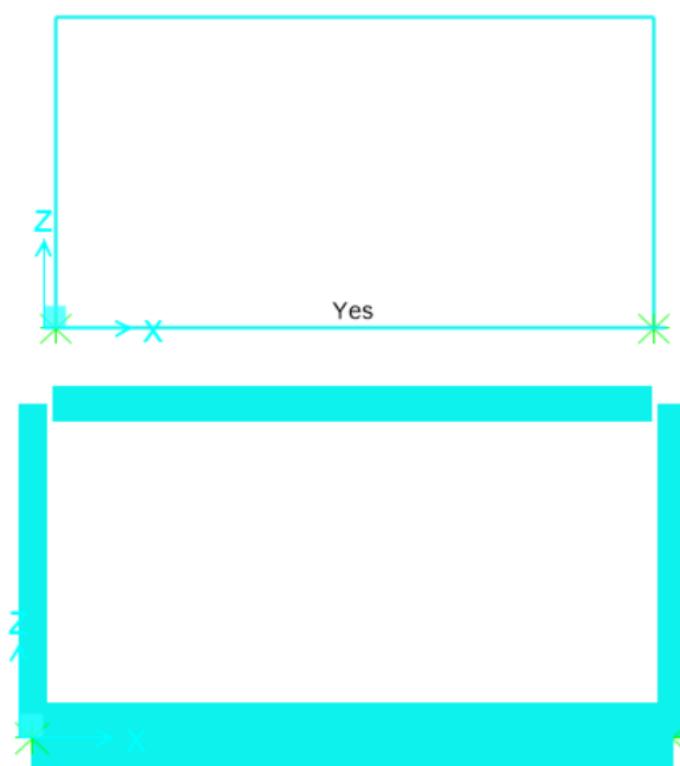


Figura 9.2 Viste modello di calcolo FEM, taglio 1

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO B23D 00 D 00 RH INTRR0 003 A 58 di 96						

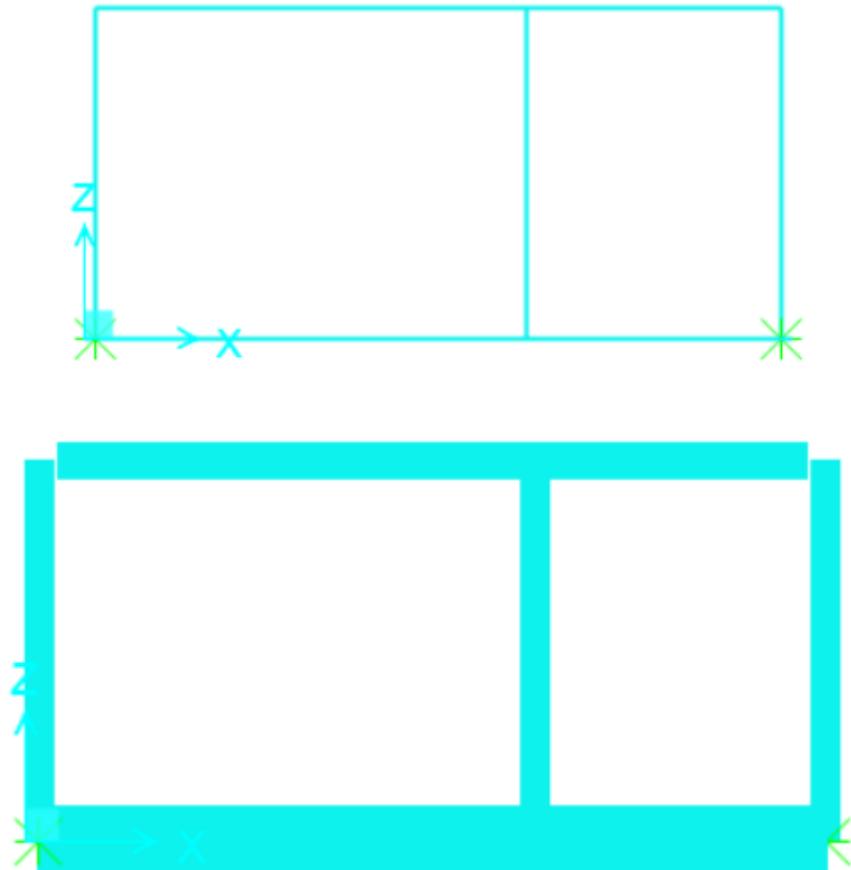


Figura 9.3 Viste modello di calcolo FEM, taglio 2

9.1.2 Carichi applicati

Di seguito si riportano alcune immagini esplicative dei carichi applicati al taglio 1.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 59 di 96

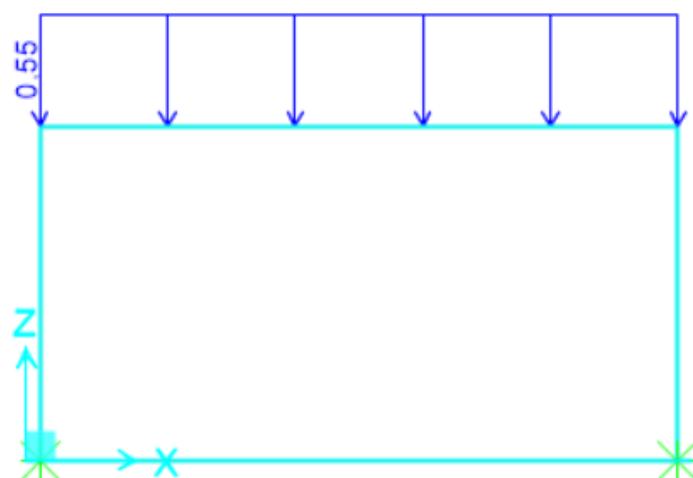


Figura 9.4 Carichi propri modellato [tonf/m]

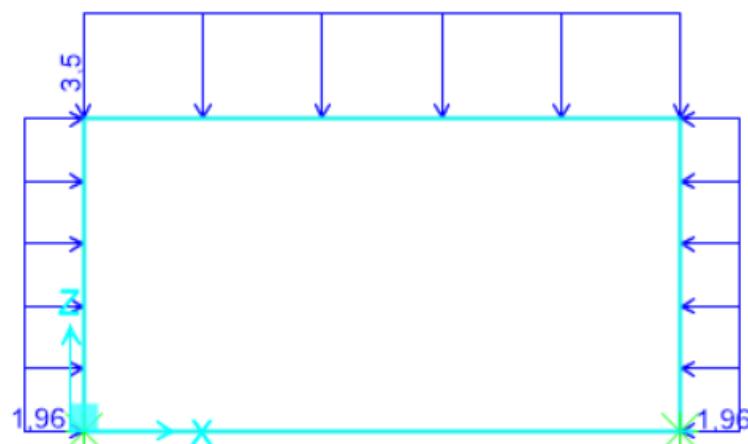


Figura 9.5 Sovraccarico [tonf/m]

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 60 di 96

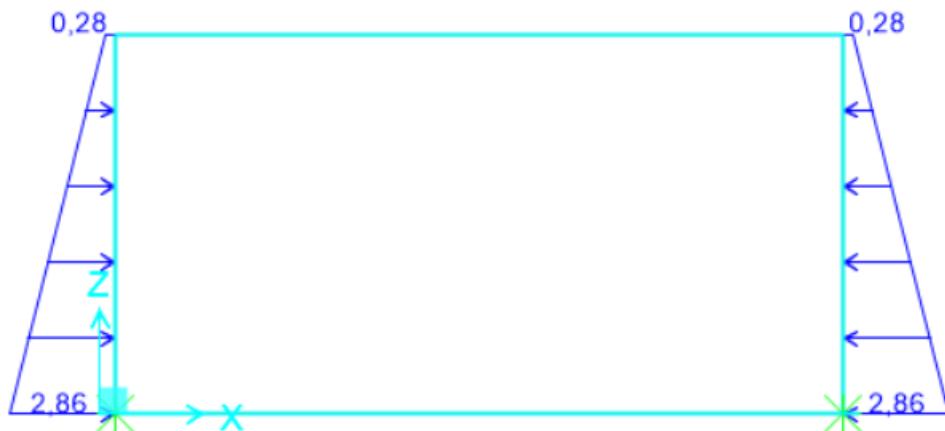


Figura 9.6 Spinta della terra [tonf/m]

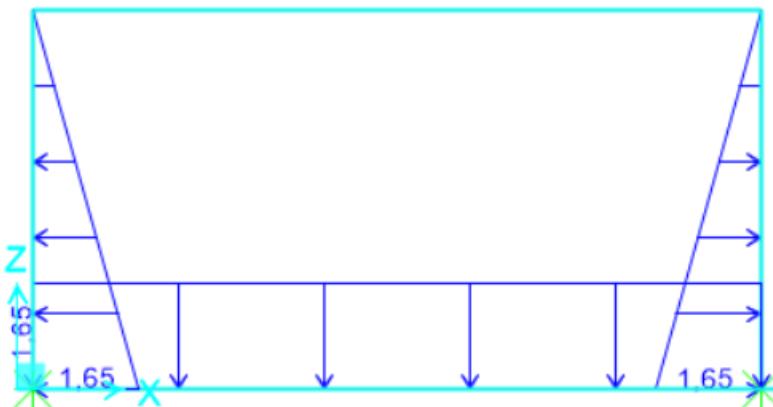


Figura 9.7 Spinta dell'acqua [tonf/m]



Figura 9.8 Azione sismica [tonf/m]

Di seguito si riportano alcune immagini esplicative dei carichi applicati al taglio 2.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 61 di 96

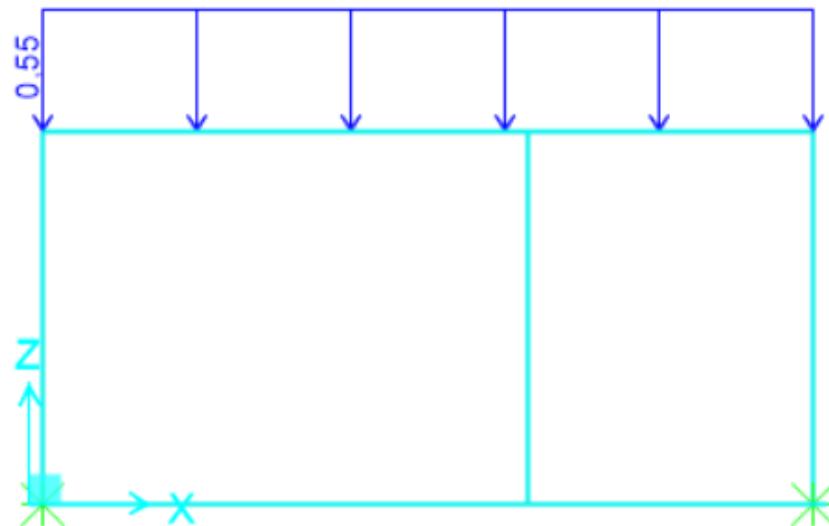


Figura 9.9 Carichi propri modellato [tonf/m]

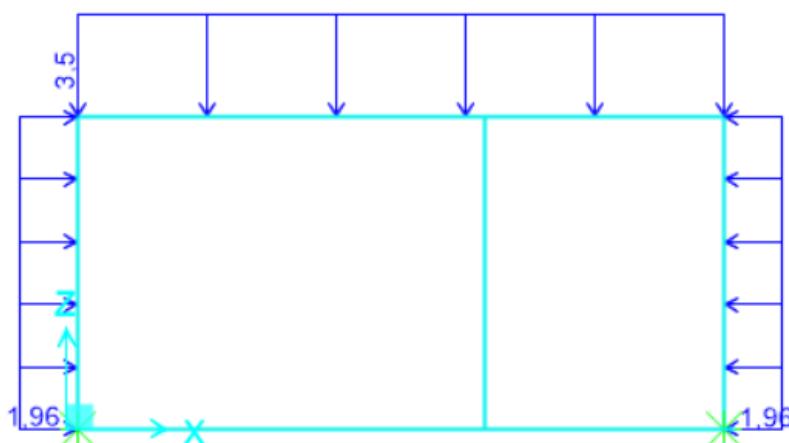


Figura 9.10 Sovraccarico [tonf/m]

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 62 di 96



Figura 9.11 Spinta della terra [tonf/m]

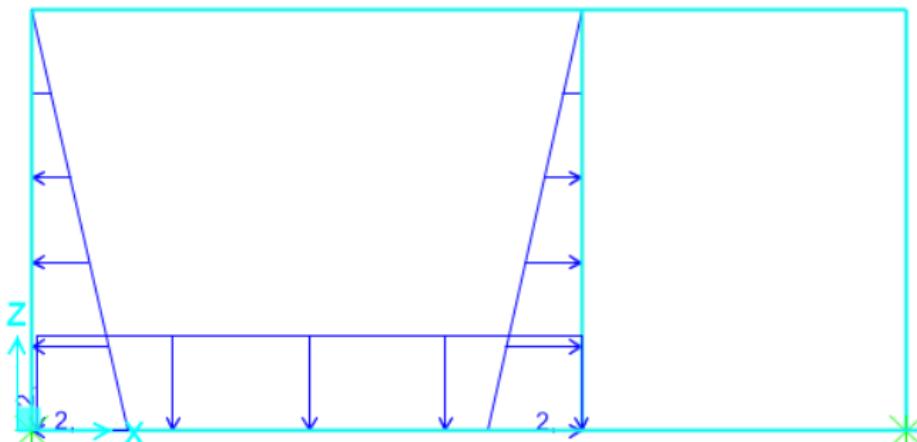


Figura 9.12 Spinta dell'acqua [tonf/m]



Figura 9.13 Azione sismica [tonf/m]

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 63 di 96

9.2 VERIFICHE STRUTTURALI

9.2.1 Verifica spessore degli elementi.

Trattandosi di un'ingegneria di base, i tagli sono stati modellati in maniera bidimensionale e lo spessore degli elementi è stato determinato verificando le sollecitazioni di taglio.

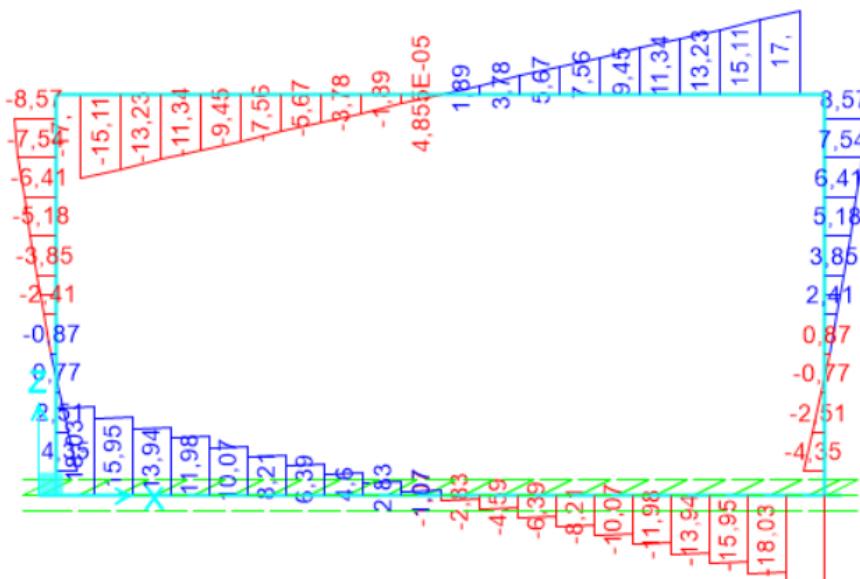


Figura 9.14 Tensioni di taglio – Taglio 1

Per lo spessore degli elementi del taglio 1 si determina la seguente soluzione

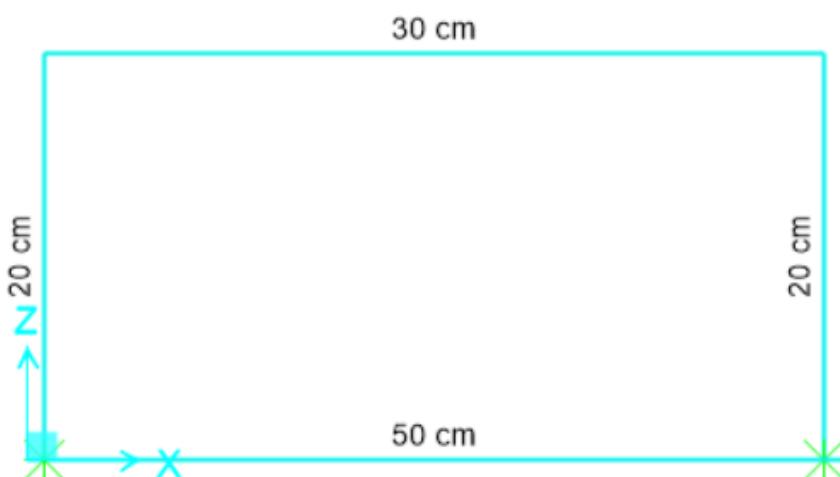


Figura 9.15 Soluzione taglio 1

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 64 di 96

La verifica viene effettuata per soletta superiore e pareti laterali in calcestruzzo C32/40, con 5 cm di copertura:

Taglio 1			
espesor	30 cm	25 cm	20 cm
Vrd (tf)	17,81	14,25	10,68
Parete sinistra	Ved (tf)	8,47	9,45
Parete destra	Ved (tf)	8,47	9,45
Lastra superiore	Ved (tf)	17,0	

- e) Parete sinistra: Ved=8,57 tonf < Vrd=10,68 tonf
- f) Parete destra: Ved=8,57 tonf < Vrd=10,68 tonf
- g) Lastra superiore: Ved=17,0 tonf < Vrd=17,81 tonf
- h) Lastra inferiore: Ved=18,03 tonf < Vrd=32,05 tonf

Secondo la tabella la capacità di taglio per uno spessore di 30 cm è di 17,81 tonf, superiore allo sforzo di taglio sopportato da ciascuno degli elementi. Riducendo di 5 cm lo spessore di questi elementi, la capacità di taglio si riduce a 14,25 ton secondo quanto indicato in tabella.

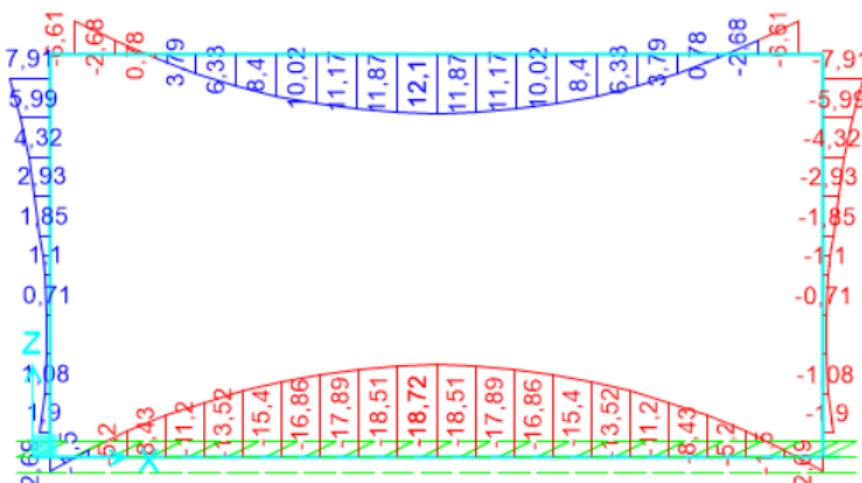


Figura 9.16 Diagramma del momento

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 65 di 96



Figura 9.17 Sforzo assiale

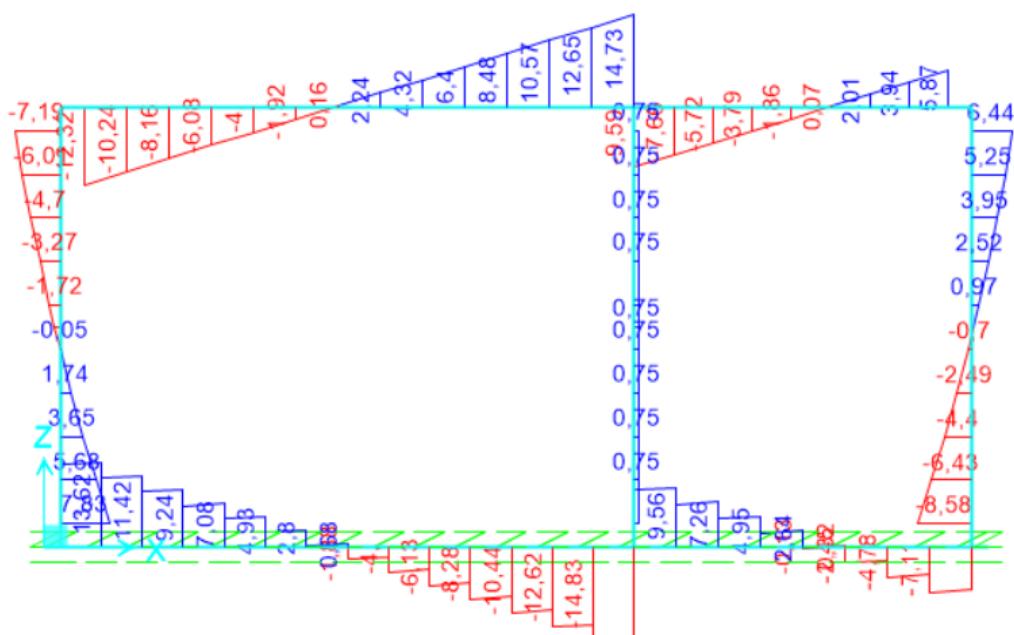


Figura 9.18 Tensioni di taglio – Taglio 2

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 66 di 96
Relazione di calcolo strutture in opera								

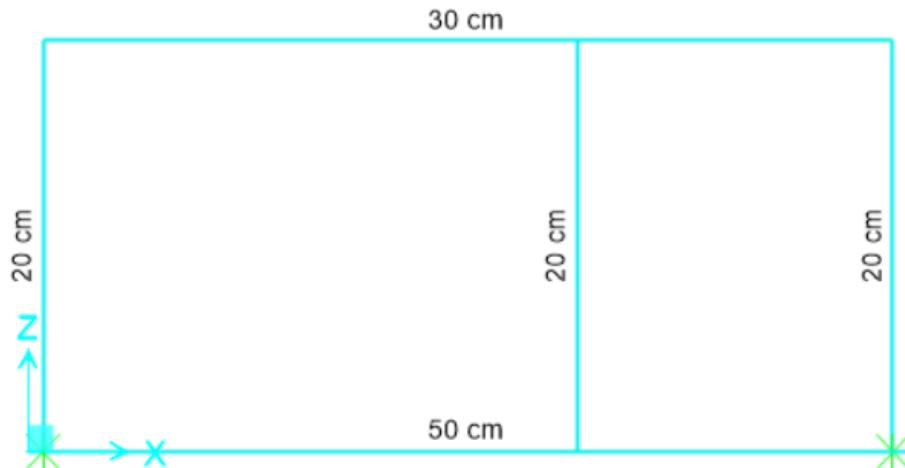


Figura 9.19 Soluzione taglio 2

La verifica viene effettuata per soletta superiore e pareti laterali in calcestruzzo C32/40, con 5 cm di copertura:

Taglio 2			
spessore	30 cm	25 cm	20 cm
Vrd (tf/m)	17,81	14,25	10,68
Parete sinistra	Ved (tf/m)	7,24	7,56
Parete destra	Ved (tf/m)	6,14	6,18
Lastra superiore	Ved (tf/m)	14,49	14,08
			14,23

- f) Parete sinistra: Ved=7,19 tonf < Vrd=10,68 tonf
- g) Parete central: Ved=0,75 tonf < Vrd=10,68 tonf
- h) Parete destra: Ved=8,58 tonf < Vrd=10,68 tonf
- i) Lastra superiore: Ved=14,73 tonf < Vrd=17,81 tonf
- j) Lastra inferiore: Ved=14,83 tonf < Vrd=32,05 tonf

Secondo la tabella la capacità di taglio per uno spessore di 30 cm è di 17,81 tonnellate, superiore allo sforzo di taglio sopportato da ciascuno degli elementi. Riducendo di 5 cm lo spessore di questi elementi la capacità di taglio si riduce a 14,25 ton come indicato in tabella.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 67 di 96

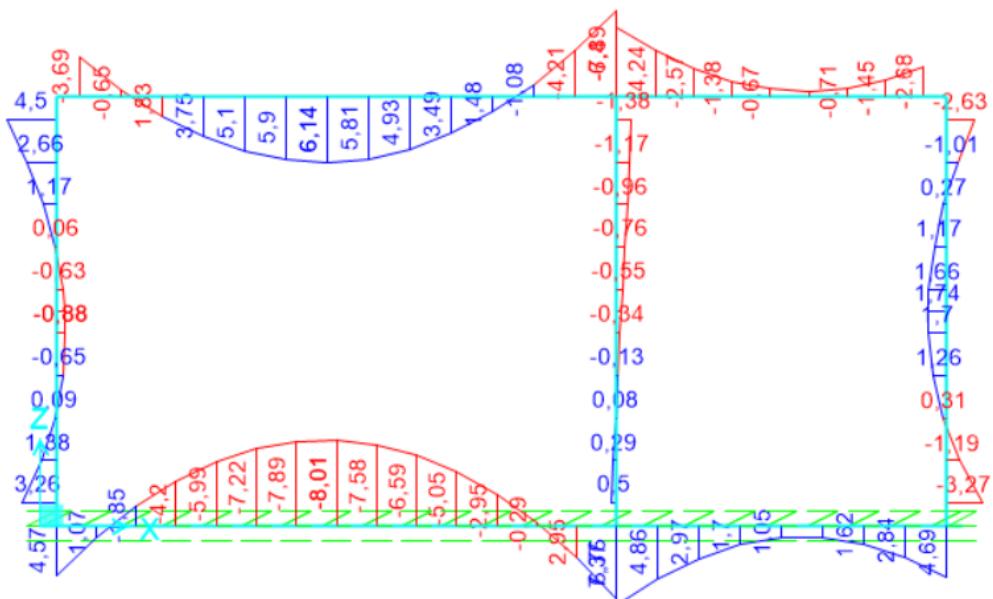


Figura 9.20 Diagramma del momento

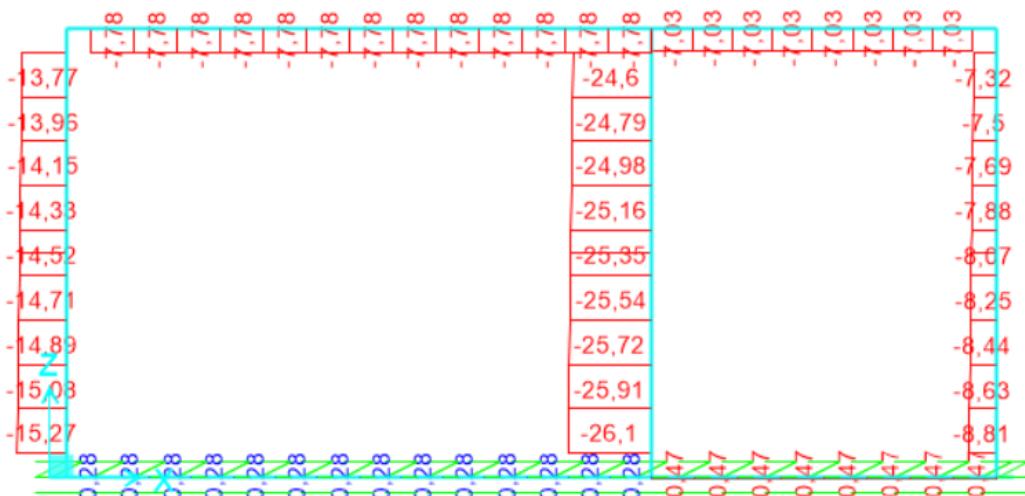


Figura 9.21 Sforzo assiale

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	
	B23D	00 D 00	RH	INTRR0 003	A	68 di 96	

10. STRUTTURA RIO MORLETTA

La geometria de la struttura è mostrata nella figura seguente:

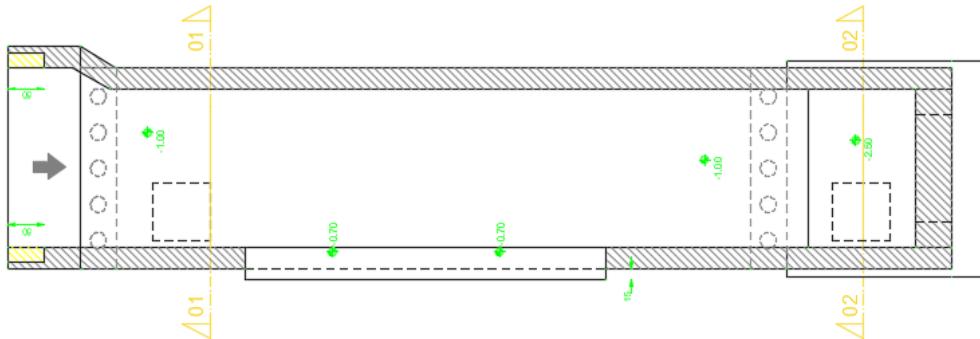


Figura 10.1 Viste in pianta

- lastra superiore: 30 cm
- lastra di fondazione: 30 cm
- mura esterne 25 cm

10.1 MODELLAZIONE FEM

10.1.1 Modello di calcolo

L'analisi delle sollecitazioni è stata condotta tramite un modello tridimensionale FEM utilizzando il software di calcolo strutturale SAP2000. Sono state modellate a sezioni dell'impianto. Inoltre, viene analizzato un modello di trave semplicemente appoggiata che rappresenta l'azione di ponte del canale.

Le azioni e le caratteristiche geometriche delle sezioni sono stati assegnate al modello in funzione delle proprietà dei profili effettivamente utilizzati.

Gli elementi strutturali mono-dimensionali quali travi e pilastri sono stati schematizzati nel modello numerico come elementi trave (elemento finito dotato di rigidezza assiale, flessionale e torsionale) e asta (elemento finito dotato di sola rigidezza assiale), assegnando all'elemento le caratteristiche geometriche e meccaniche reali e posizionandoli nell'asse baricentrico delle travi e delle colonne schematizzati.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI INGENIERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 69 di 96
Relazione di calcolo strutture in opera								

Tutti i collegamenti fra gli elementi monodimensionali sono modellati di volta in volta, rilasciando i gradi di libertà necessari ad ottenere una modellazione rappresentativa del reale comportamento del nodo in esame.

Le sezioni trasversali sono modellate con elementi dello spessore dettagliato nei piani e larghezza dell'unità di 100 cm. Ai telai vengono assegnati pezzi rigidi con una lunghezza che corrisponde alla metà dello spessore dell'elemento. La maglia dei telai è determinata in base al numero di nodi richiesti. Le molle lineari sono assegnate alla soletta inferiore delle sezione, solo per la compressione. Si specifica che l'analisi avvenga nel piano X-Z.

Di seguito i modelli dei rispettivi tagli:

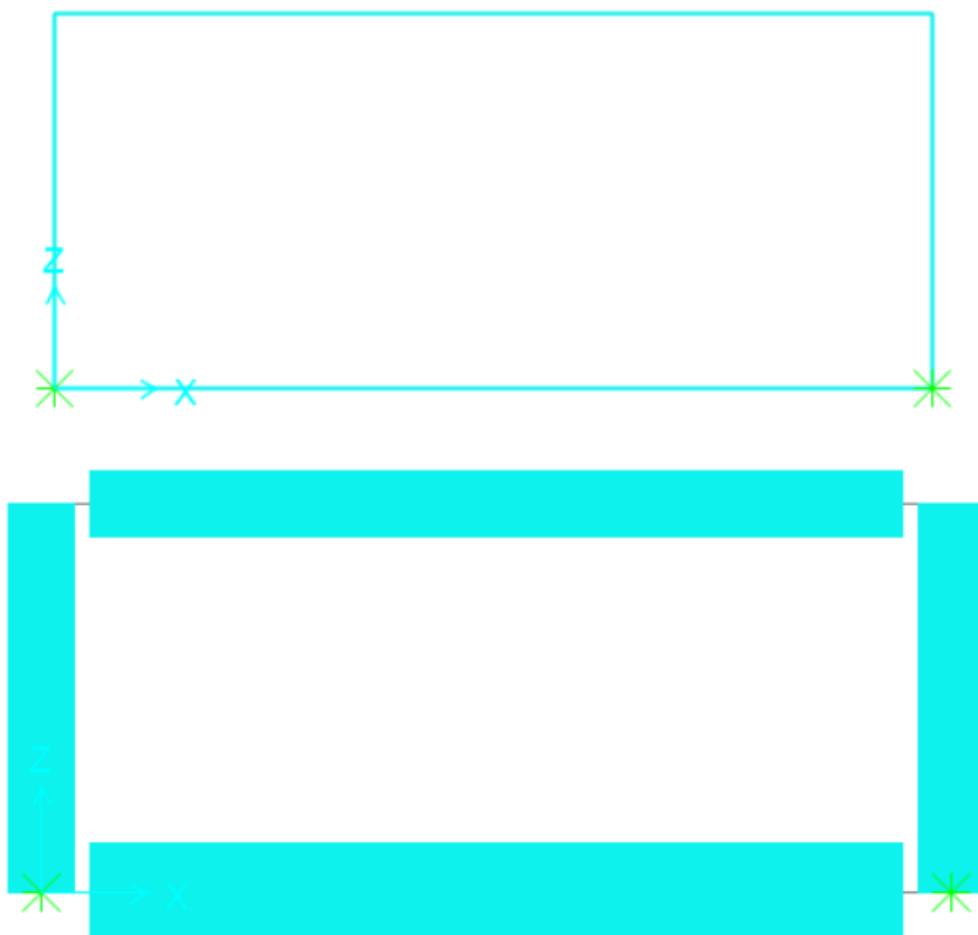


Figura 10.2 Viste modello di calcolo FEM, taglio 1

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO B23D 00 D 00 RH INTRR0 003 A 70 di 96						

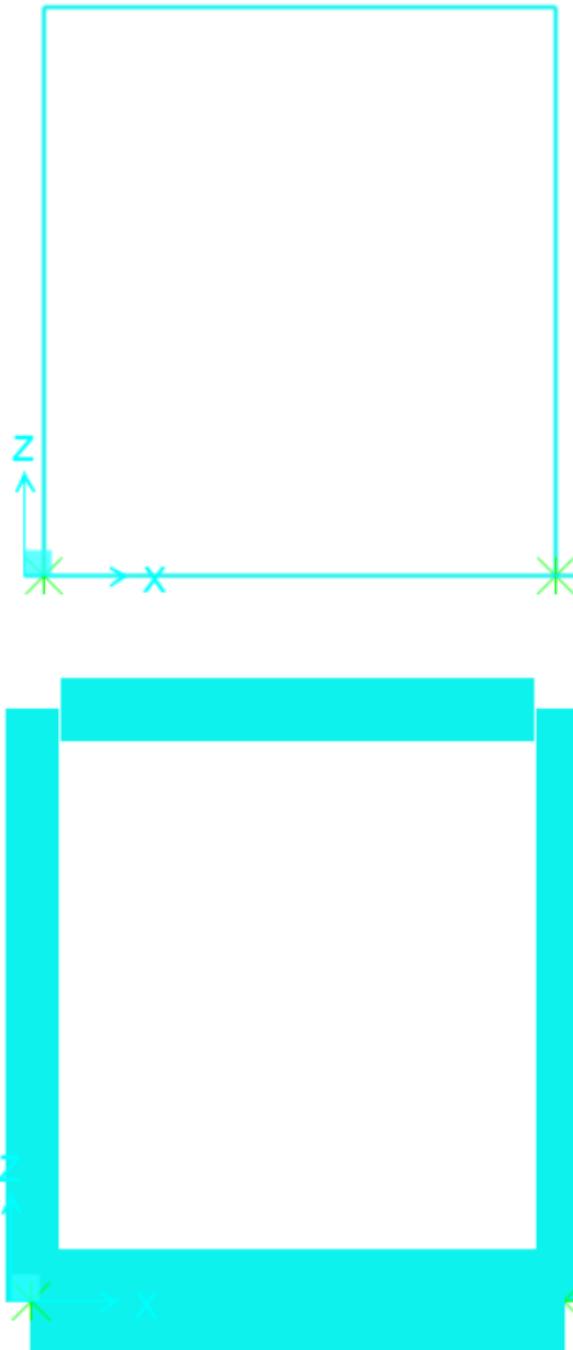


Figura 10.3 Viste modello di calcolo FEM, taglio 2

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 71 di 96

10.1.2 Carichi applicati

Di seguito si riportano alcune immagini esplicative dei carichi applicati al taglio 1.

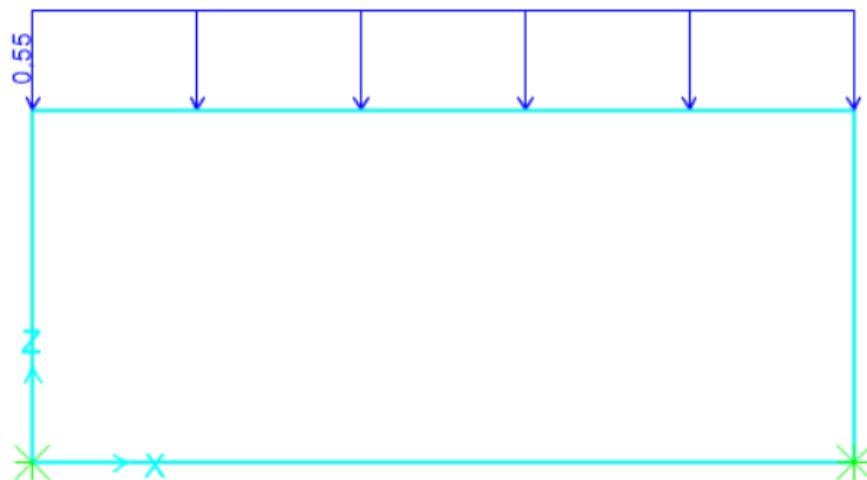


Figura 10.4 Carichi propri modellato [tonf/m]

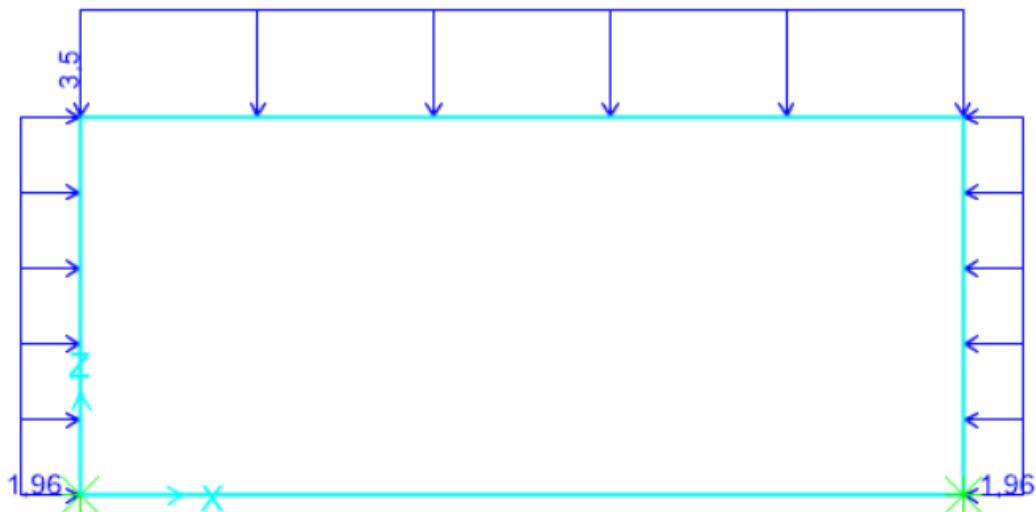


Figura 10.5 Sovraccarico [tonf/m]

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera		COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO B23D 00 D 00 RH INTRR0 003 A 72 di 96					

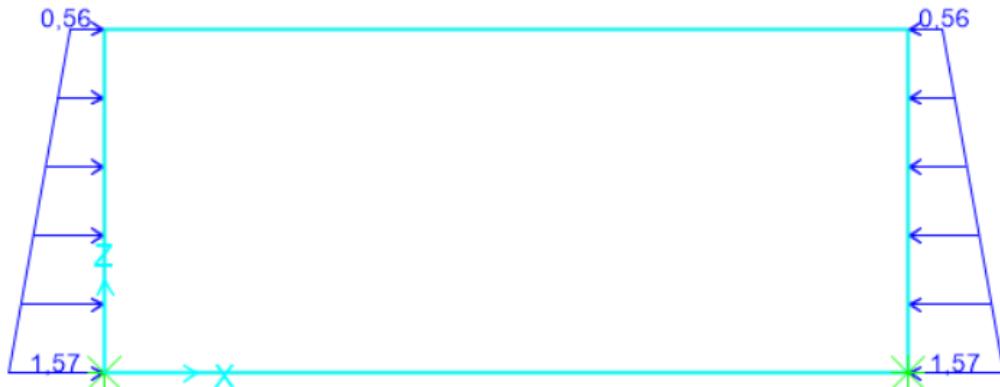


Figura 10.6 Spinta della terra [tonf/m]

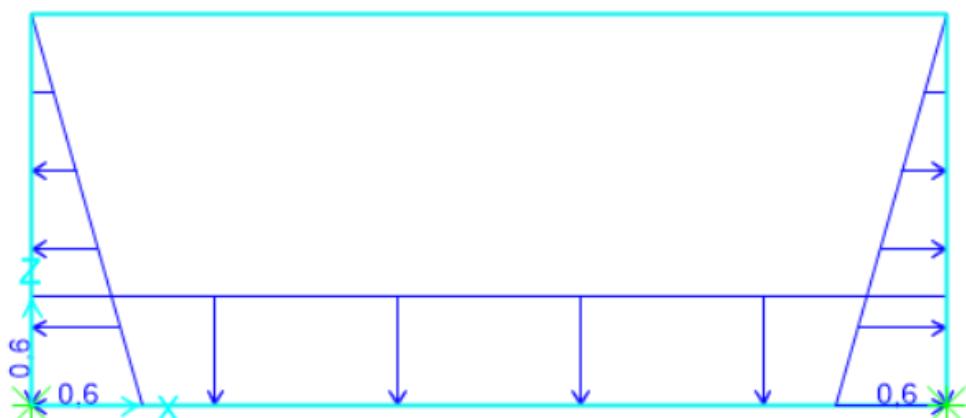


Figura 10.7 Spinta dell'acqua [tonf/m]



Figura 10.8 Azione sismica [tonf/m]

Di seguito si riportano alcune immagini esplicative dei carichi applicati al taglio 2.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 73 di 96

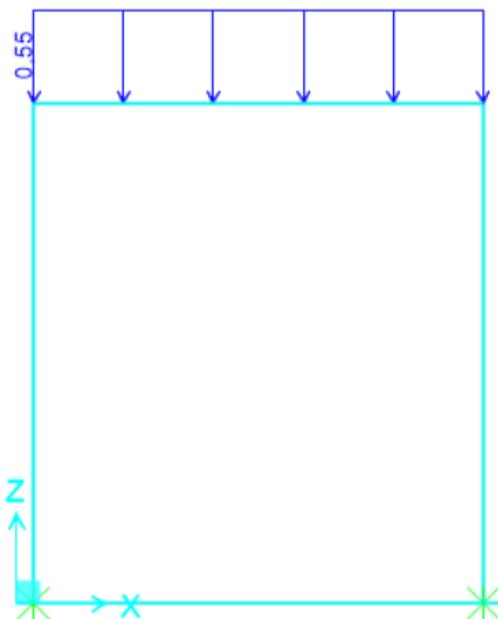


Figura 10.9 Carichi propri modellato [tonf/m]

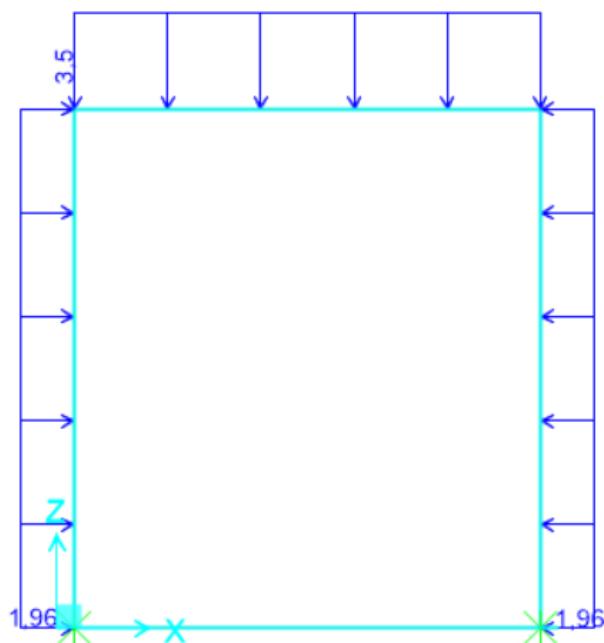


Figura 10.10 Sovraccarico [tonf/m]

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 74 di 96

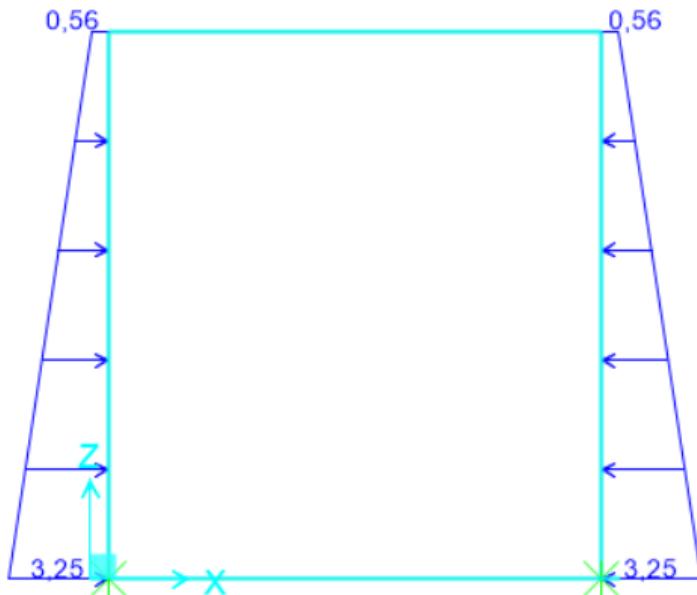


Figura 10.11 Spinta della terra [tonf/m]

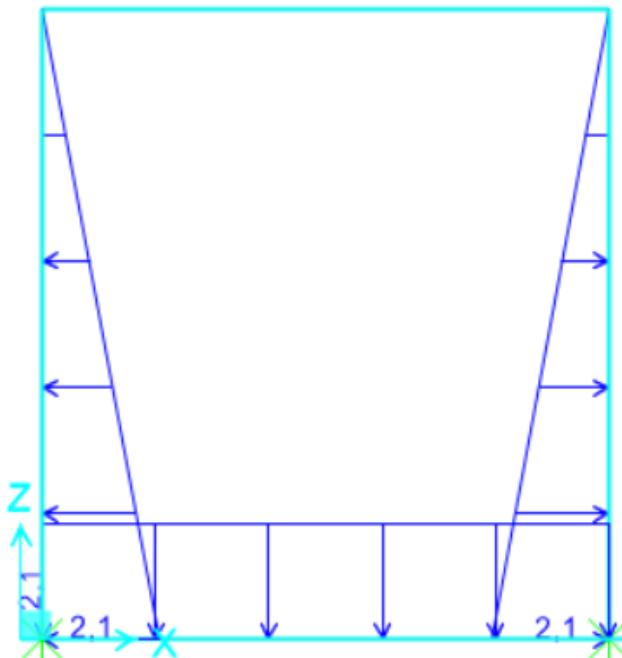


Figura 10.12 Spinta dell'acqua [tonf/m]

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 75 di 96

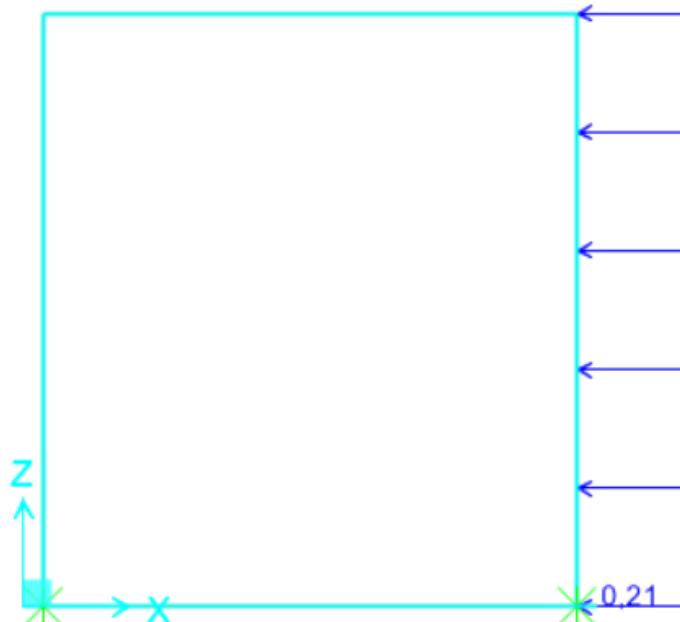
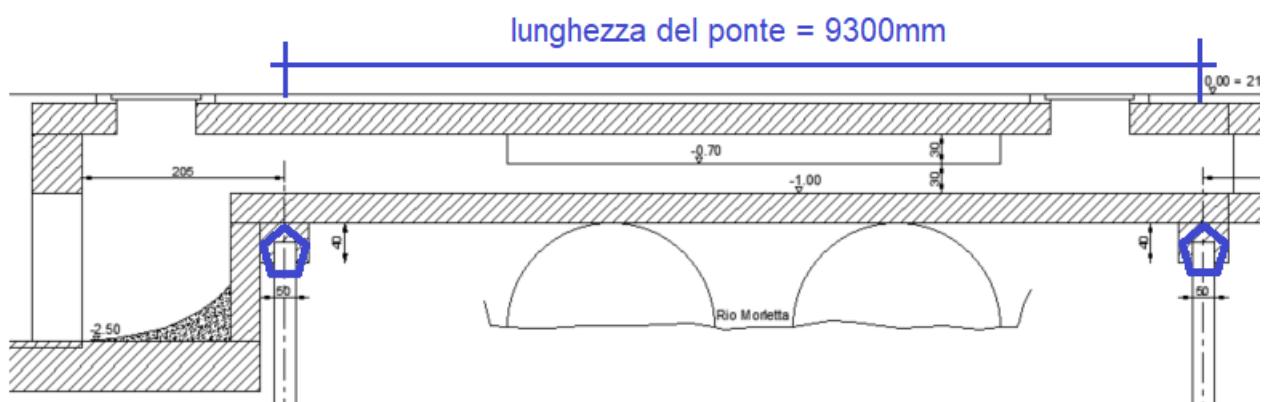


Figura 10.13 Azione sismica [tonf/m]

10.2 Progettazione del rinforzo per l'azione ponte

L'armatura richiesta dal canale è progettata per resistere al taglio e alla flessione dovuta all'azione di ponte.



Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 76 di 96	

Per ottenere taglio e momento si utilizzano le espressioni della statica classica:

$$Memento = q \cdot \frac{L^2}{8}$$

$$Taglio = q \cdot \frac{L}{2}$$

Quindi, hai:

Carichi dei canali			
	Proprio peso	5.25	tf/m
	Peso dell'acqua	1.32	tf/m
	Peso degli strati e dei pavimenti	0.75	tf/m
	Sovraccarico di traffico	10.50	tf/m
Risultati			
	q	28.10	tf/m
	L	9.30	m
	Memento	303.77	tf*m
	Taglio	130.66	tf

L'armatura longitudinale è progettata con i risultati precedenti

10.3 VERIFICHE STRUTTURALI

10.3.1 Verifica spessore degli elementi.

Trattandosi di un'ingegneria di base, i tagli sono stati modellati in maniera bidimensionale e lo spessore degli elementi è stato determinato verificando le sollecitazioni di taglio.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 77 di 96

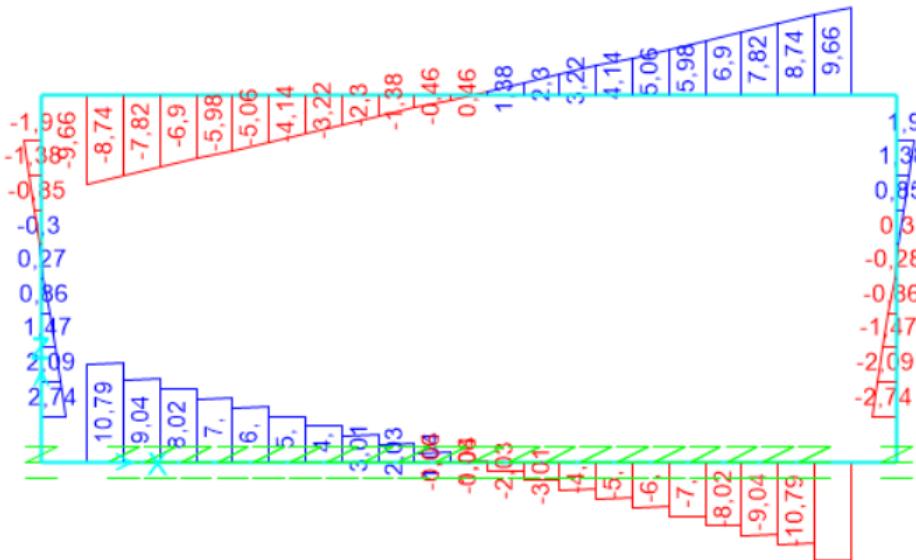


Figura 10.14 Tensioni di taglio – Taglio 1

Per lo spessore degli elementi del taglio 1 si determina la seguente soluzione

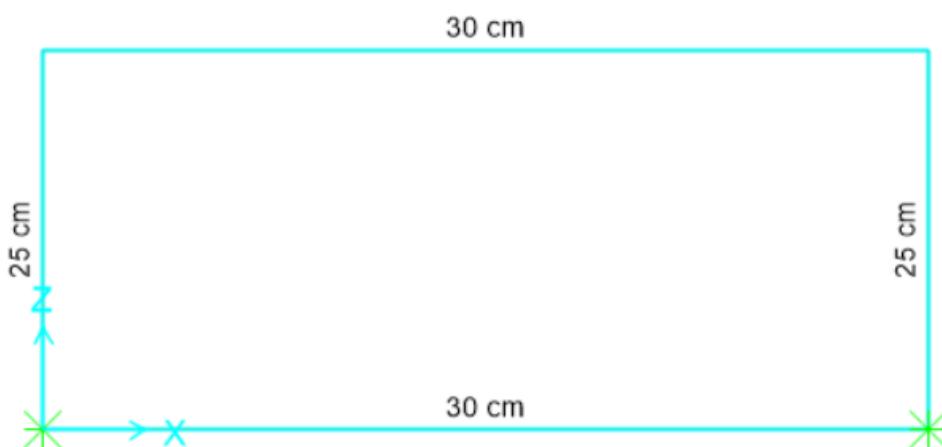


Figura 10.15 Soluzione taglio 1

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 78 di 96

La verifica viene effettuata per soletta superiore e pareti laterali in calcestruzzo C32/40, con 5 cm di copertura:

Taglio 1		
espesor	30 cm	25 cm
Vrd (tf)	17,81	14,25
Parete sinistra	Ved (tf)	2,53
Parete destra	Ved (tf)	2,53
Lastra superiore	Ved (tf)	9,45
		9,24

- i) Parete sinistra: Ved=2,74 tonf < Vrd=14,25 tonf
- j) Parete destra: Ved=2,74 tonf < Vrd=14,25 tonf
- k) Lastra superiore: Ved=9,66 tonf < Vrd=17,81 tonf
- l) Lastra inferiore: Ved=10,79 tonf < Vrd=24,93 tonf

Secondo la tabella la capacità di taglio per uno spessore di 30 cm è di 17,81 tonf, superiore allo sforzo di taglio sopportato da ciascuno degli elementi. Riducendo di 5 cm lo spessore di questi elementi, la capacità di taglio si riduce a 14,25 ton secondo quanto indicato in tabella.

Il taglio maggiore effettuato dagli elementi laterali rimane al di sotto di tale capacità, ma non nella lastra, lo sforzo di taglio generato in esso supera la capacità dell'elemento.

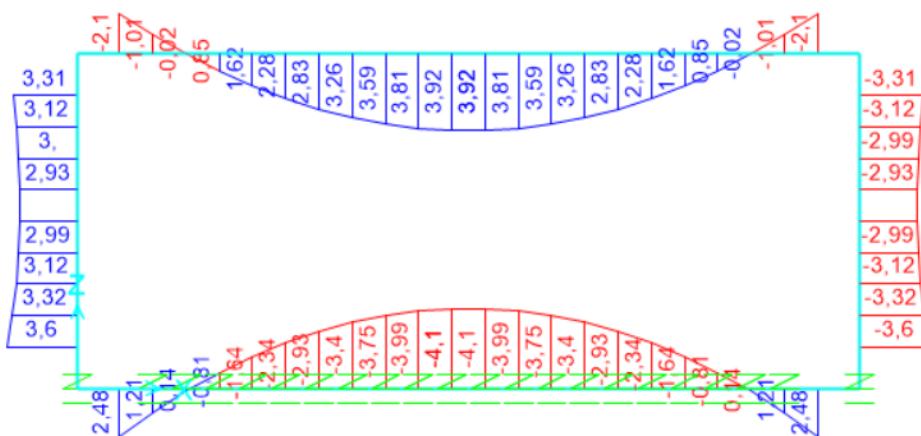


Figura 10.16 Diagramma del momento

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 79 di 96

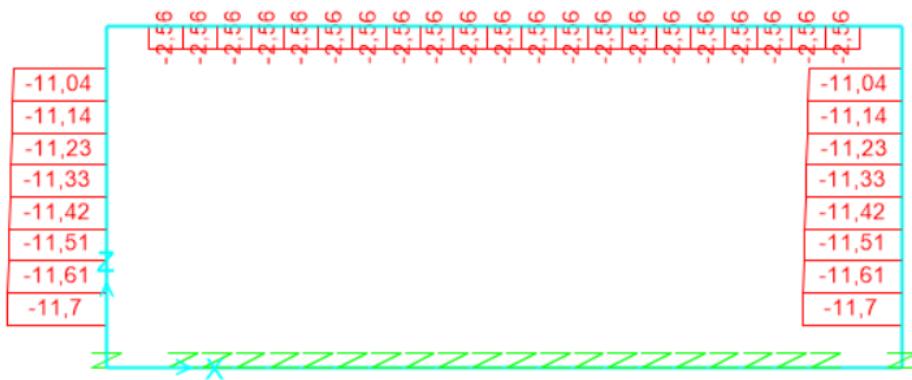


Figura 10.17 Sforzo assiale

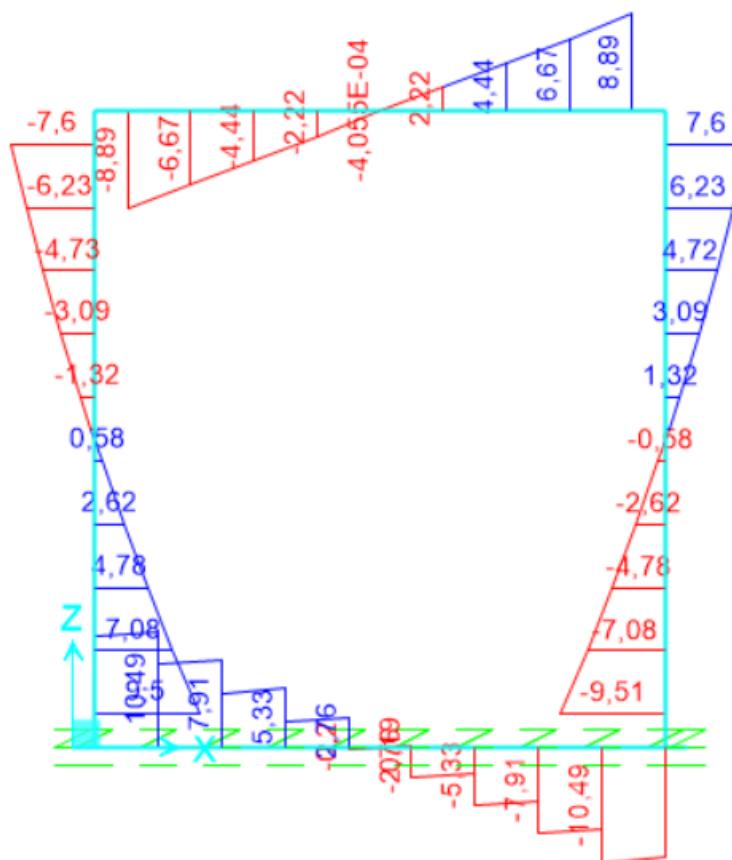


Figura 10.18 Tensioni di taglio – Taglio 2

Per lo spessore degli elementi del taglio 1 si determina la seguente soluzione

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 80 di 96

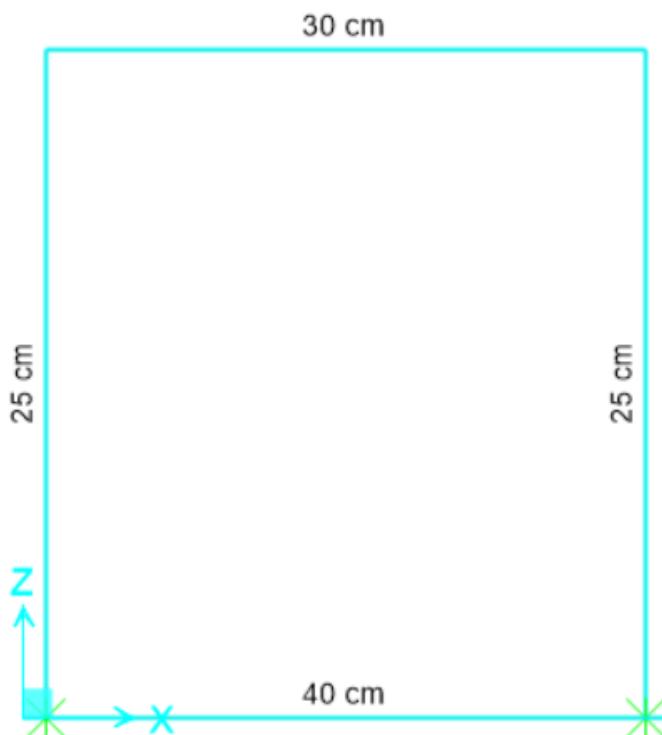


Figura 10.19 Soluzione taglio 2

La verifica viene effettuata per soletta superiore e pareti laterali in calcestruzzo C32/40, con 5 cm di copertura:

Taglio 1		
espesor	30 cm	25 cm
Vrd (tf)	17,81	14,25
Parete sinistra	Ved (tf)	7,57
Parete destra	Ved (tf)	7,57
Lastra superiore	Ved (tf)	8,89
		8,69

- a) Parete sinistra: Ved=7,57 tonf < Vrd=14,25 tonf
- b) Parete destra: Ved=7,57 tonf < Vrd=14,25 tonf
- c) Lastra superiore: Ved=8,89 tonf < Vrd=17,81 tonf
- d) Lastra inferiore: Ved=10,54 tonf < Vrd=32,05 tonf

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 81 di 96

Secondo la tabella la capacità di taglio per uno spessore di 30 cm è di 17,81 tonf, superiore allo sforzo di taglio sopportato da ciascuno degli elementi. Riducendo di 5 cm lo spessore di questi elementi, la capacità di taglio si riduce a 14,25 ton secondo quanto indicato in tabella.

Il taglio maggiore effettuato dagli elementi laterali rimane al di sotto di tale capacità, ma non nella lastra, lo sforzo di taglio generato in esso supera la capacità dell'elemento.

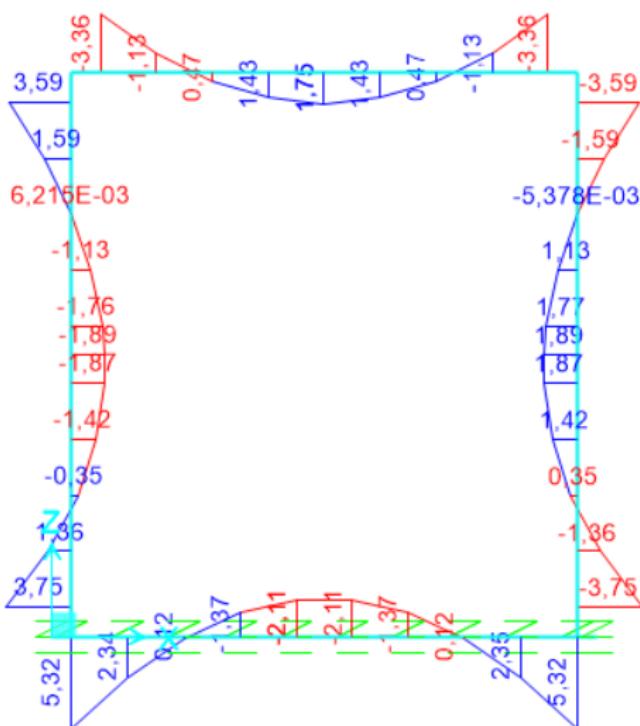


Figura 10.20 Diagramma del momento

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili			COMMESA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
Relazione di calcolo strutture in opera			B23D	00 D 00	RH	INTRR0 003	A
							FOGLIO 82 di 96

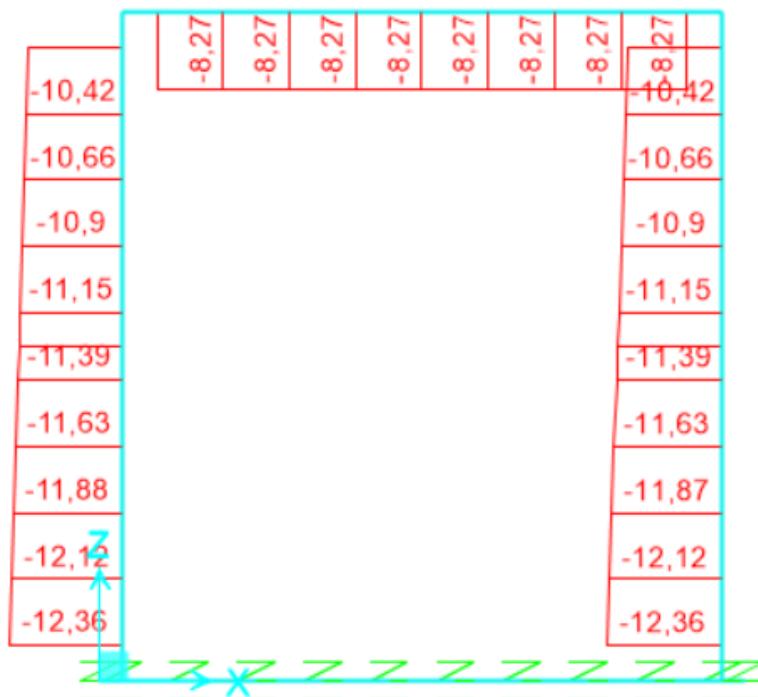


Figura 10.21 Sforzo assiale

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera		COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO B23D 00 D 00 RH INTRR0 003 A 83 di 96					

10.3.2 Rinforzo longitudinale per effetto ponte

Si determina l'armatura necessaria per resistere alle sollecitazioni calcolate nel capitolo 10.2:

Datos

M (+)	303.77 tf*m
M (-)	0.00 tf*m
V	130.66 tf

Propiedades de diseño

f' _c	300 kgf/cm ²
f _y	4200 kgf/cm ²
Alto	120 cm
Ancho	280 cm
Recubrimiento	15 cm

Diseño armadura superior

As requerido	98.00 cm ²
Diam. Barra	25 mm
Cantidad	22
As propuesto	107.99 cm ²
φ Mn	415.655 tf*m
ρ	0.010

Diseño armadura inferior

As requerido	98.00 cm ²
Diam. Barra	25 mm
Cantidad	22
As propuesto	107.99 cm ²
φ Mn	415.655 tf*m
ρ	0.010

Diseño armadura de corte

φVc	202.42 tf
-----	-----------

Sono necessarie 22 barre φ25.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili			COMMESMA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione di calcolo strutture in opera			B23D	00 D 00	RH	INTRR0 003	A	84 di 96

11. STRUTTURA MINA BENAGLIA

La geometria de la struttura è mostrata nella figura seguente:

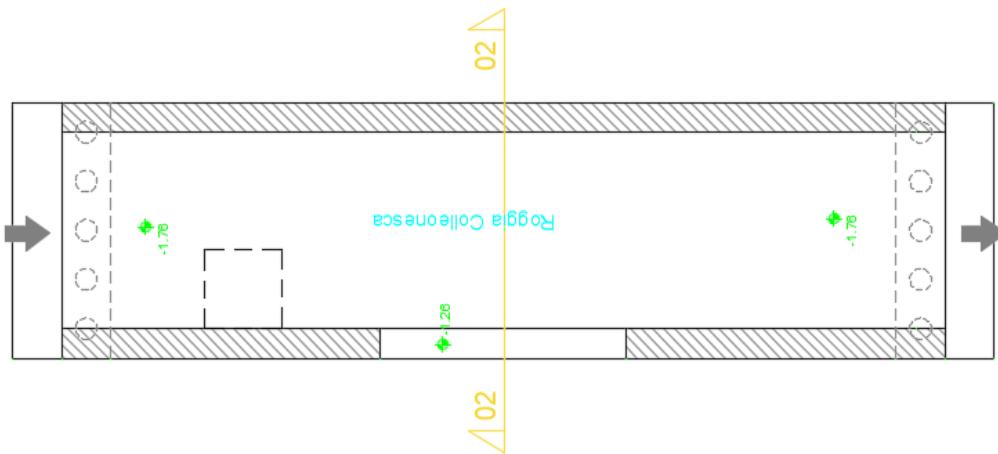


Figura 11.1 Viste in pianta

- lastra superiore: 30 cm
- lastra di fondazione: 40 cm
- mura esterne 25 cm

11.1 MODELLAZIONE FEM

11.1.1 Modello di calcolo

L'analisi delle sollecitazioni è stata condotta tramite un modello tridimensionale FEM utilizzando il software di calcolo strutturale SAP2000. Sono state modellate quattro sezioni dell'impianto.

Le azioni e le caratteristiche geometriche delle sezioni sono stati assegnate al modello in funzione delle proprietà dei profili effettivamente utilizzati.

Gli elementi strutturali mono-dimensionali quali travi e pilastri sono stati schematizzati nel modello numerico come elementi trave (elemento finito dotato di rigidezza assiale, flessionale e torsionale) e asta (elemento finito dotato di sola rigidezza assiale), assegnando all'elemento le caratteristiche geometriche e meccaniche reali e posizionandoli nell'asse baricentrico delle travi e delle colonne schematizzati.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 85 di 96
Relazione di calcolo strutture in opera								

Tutti i collegamenti fra gli elementi monodimensionali sono modellati di volta in volta, rilasciando i gradi di libertà necessari ad ottenere una modellazione rappresentativa del reale comportamento del nodo in esame.

Le sezioni trasversali sono modellate con elementi dello spessore dettagliato nei piani e larghezza dell'unità di 100 cm. Ai telai vengono assegnati pezzi rigidi con una lunghezza che corrisponde alla metà dello spessore dell'elemento. La maglia dei telai è determinata in base al numero di nodi richiesti. Le molle lineari sono assegnate alla soletta inferiore delle sezione, solo per la compressione. Si specifica che l'analisi avvenga nel piano X-Z.

Di seguito i modelli dei rispettivi tagli:

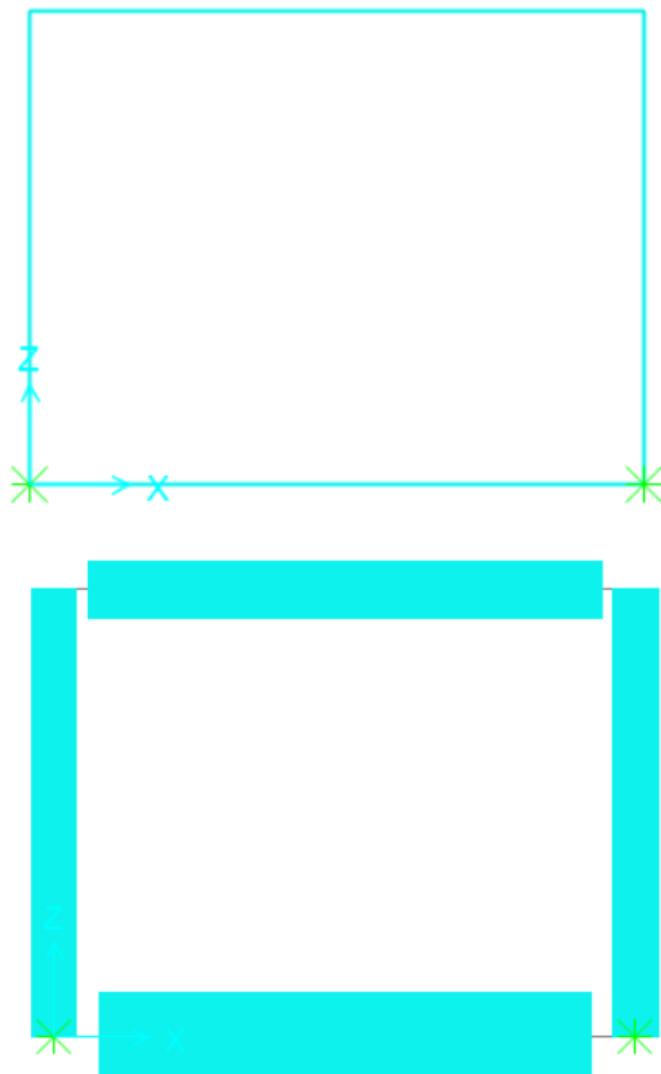


Figura 11.2 Viste modello di calcolo FEM, taglio 1

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 86 di 96

11.1.2 Carichi applicati

Di seguito si riportano alcune immagini esplicative dei carichi applicati al taglio 1.

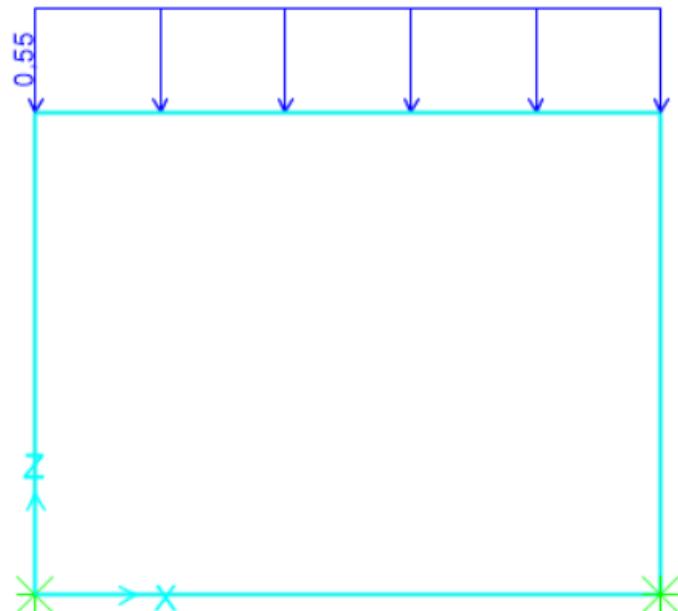


Figura 11.3 Carichi propri modellato [tonf/m]

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 87 di 96

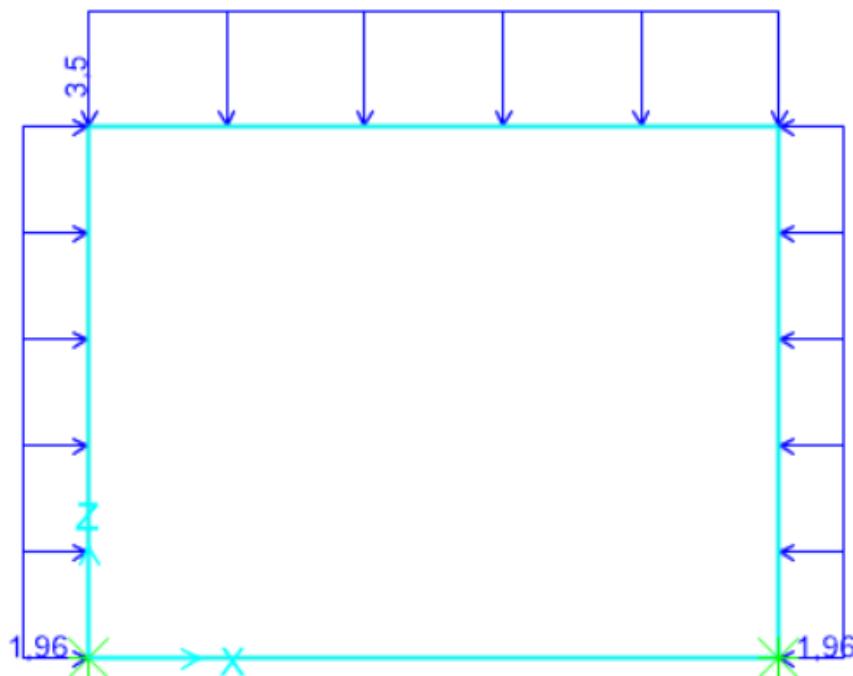


Figura 11.4 Sovraccarico [tonf/m]



Figura 11.5 Spinta della terra [tonf/m]

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 88 di 96

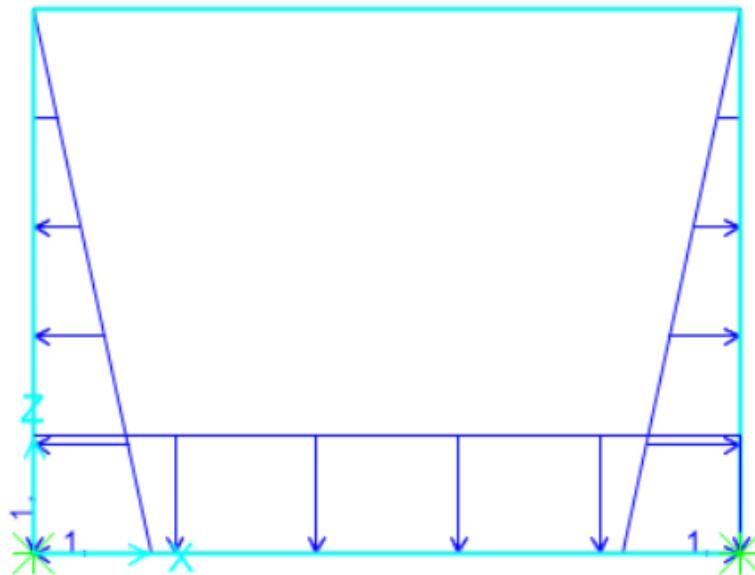


Figura 11.6 Spinta dell'acqua [tonf/m]

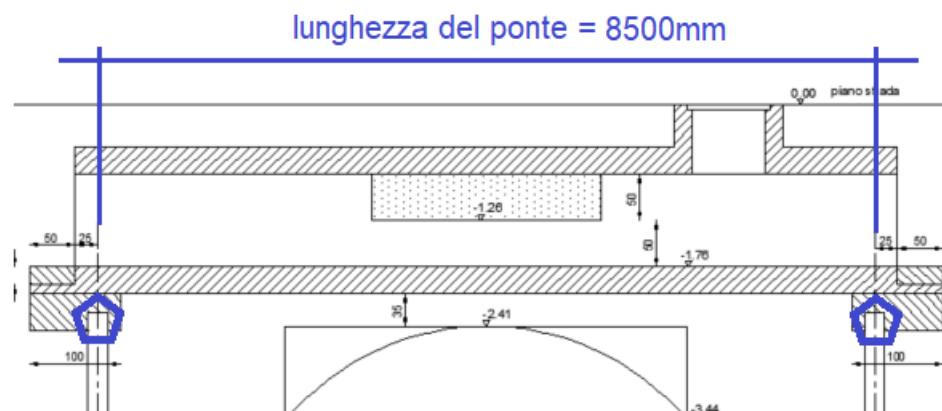


Figura 11.7 Azione sismica [tonf/m]

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 89 di 96	

11.1 Progettazione del rinforzo per l'azione ponte

L'armatura richiesta dal canale è progettata per resistere al taglio e alla flessione dovuta all'azione di ponte.



Per ottenere taglio e momento si utilizzano le espressioni della statica classica:

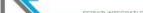
$$\text{Momento} = q \cdot \frac{L^2}{8}$$

$$\text{Taglio} = q \cdot \frac{L}{2}$$

Quindi, hai:

Carichi dei canali	
Proprio peso	5.80 tf/m
Peso dell'acqua	2.00 tf/m
Peso degli strati e dei pavimenti	0.55 tf/m
Sovraccarico di traffico	10.50 tf/m
Risultati	
q	29.54 tf/m
L	8.50 m
Momento	266.78 tf*m
Taglio	125.55 tf

L'armatura longitudinale è progettata con i risultati precedenti

<p>Capogruppo/mandataria:</p>  <p>ARTELIA Mission & Solutions Italia</p> <p>Mandanti:</p>  <p>ARTELIA Mission & Solutions France</p>  <p>ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>   <p>PINI SMART ENGINEERING</p>  <p>studio CARRARA ARCHITETTURA INGENIERIA <i>team building</i></p>	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</p> <p>-PROGETTO DEFINITIVO-</p>												
<p>7.0 Opere Civili</p> <p>Relazione di calcolo strutture in opera</p>	<table> <thead> <tr> <th>COMMessa</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B23D</td> <td>00 D 00</td> <td>RH</td> <td>INTRR0 003</td> <td>A</td> <td>90 di 96</td> </tr> </tbody> </table>	COMMessa	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	B23D	00 D 00	RH	INTRR0 003	A	90 di 96
COMMessa	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
B23D	00 D 00	RH	INTRR0 003	A	90 di 96								

11.2 VERIFICHE STRUTTURALI

11.2.1 Verifica spessore degli elementi.

Trattandosi di un'ingegneria di base, i tagli sono stati modellati in maniera bidimensionale e lo spessore degli elementi è stato determinato verificando le sollecitazioni di taglio.

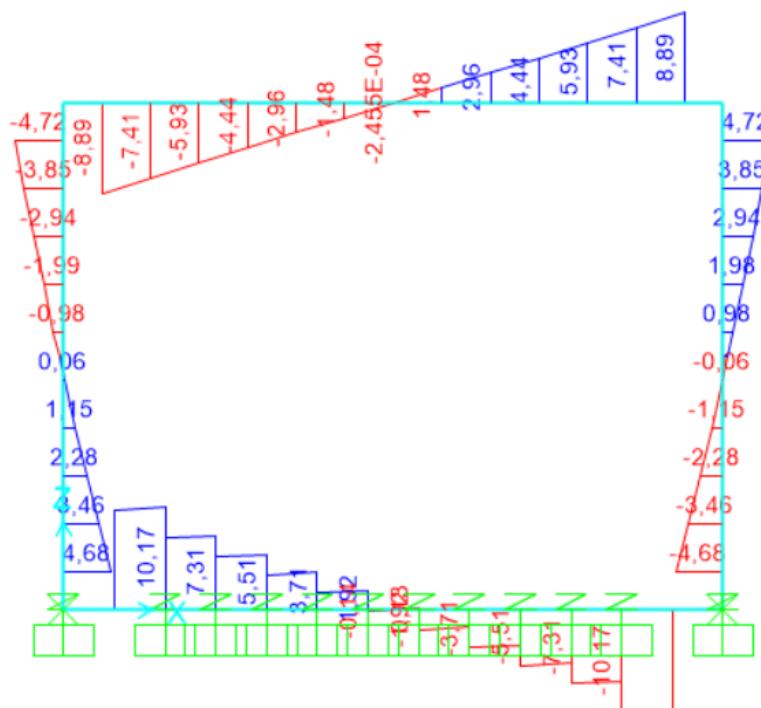


Figura 11.8 Tensioni di taglio – Taglio 1

Per lo spessore degli elementi del taglio 1 si determina la seguente soluzione

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera		COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO B23D 00 D 00 RH INTRR0 003 A 91 di 96					

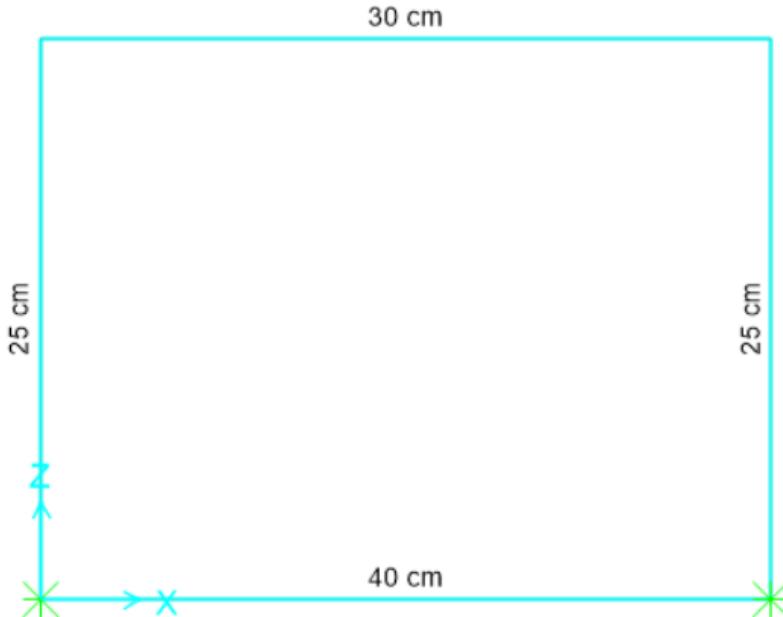


Figura 11.9 Soluzione taglio 1

La verifica viene effettuata per soletta superiore e pareti laterali in calcestruzzo C32/40, con 5 cm di copertura:

Taglio 1		
espesor	30 cm	25 cm
Vrd (tf)	17,81	14,25
Parete sinistra	Ved (tf)	8,47
Parete destra	Ved (tf)	8,47
Lastra superiore	Ved (tf)	17,0

- m) Parete sinistra: $Ved=4,72 \text{ tonf} < Vrd=14,25 \text{ tonf}$
- n) Parete destra: $Ved=4,72 \text{ tonf} < Vrd=14,25 \text{ tonf}$
- o) Lastra superiore: $Ved=8,89 \text{ tonf} < Vrd=17,81 \text{ tonf}$
- p) Lastra inferiore: $Ved=10,17 \text{ tonf} < Vrd=24,93 \text{ tonf}$

Secondo la tabella la capacità di taglio per uno spessore di 30 cm è di 17,81 tonf, superiore allo sforzo di taglio sopportato da ciascuno degli elementi. Riducendo di 5 cm lo spessore di questi elementi, la capacità di taglio si riduce a 14,25 ton secondo quanto indicato in tabella.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 92 di 96

Il taglio maggiore effettuato dagli elementi laterali rimane al di sotto di tale capacità, ma non nella lastra, lo sforzo di taglio generato in esso supera la capacità dell'elemento.

Pertanto, la soluzione per il taglio uno, è impostata su pareti laterali larghe 20 cm e lastra superiore larga 30 cm.

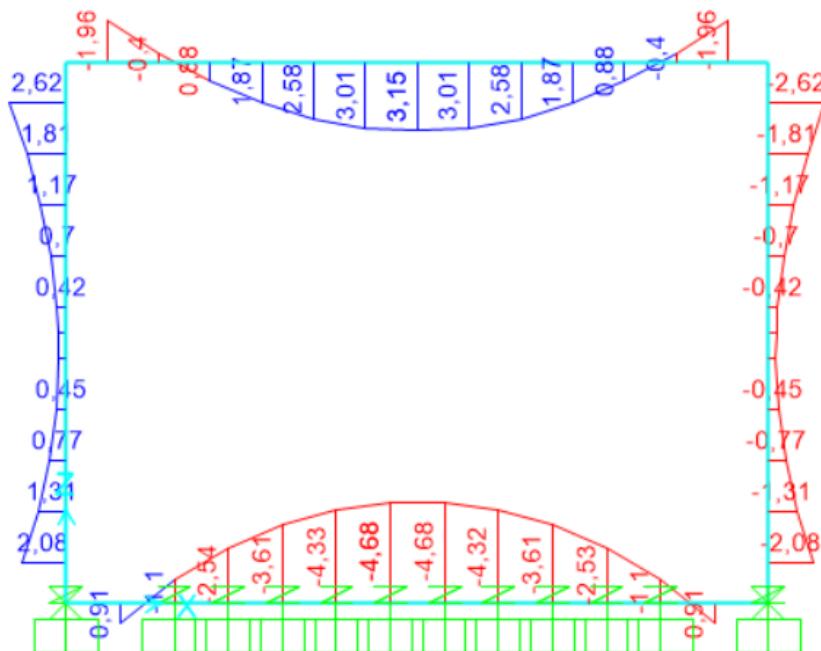


Figura 11.10 Diagramma del momento

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
			B23D	00 D 00	RH	INTRR0 003	A
							FOGLIO 93 di 96

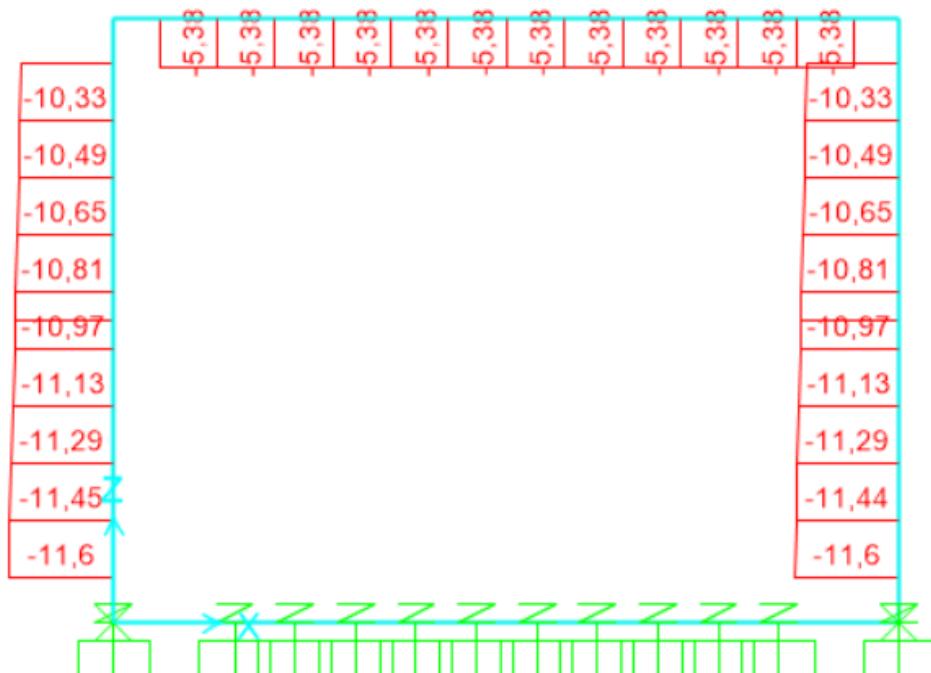


Figura 11.11 Sforzo assiale

11.2.1 Rinforzo longitudinale per effetto ponte

Si determina l'armatura necessaria per resistere alle sollecitazioni calcolate nel capitolo 11.2:

Datos		Propiedades de diseño	
M (+)	266.78 tf*m	f' _c	300 kgf/cm ²
M (-)	0.00 tf*m	f _y	4200 kgf/cm ²
V	125.55 tf	Alto	160 cm
		Ancho	260 cm
		Recubrimiento	15 cm
Diseño armadura superior		Diseño armadura inferior	
As requerido	125.67 cm ²	As requerido	125.67 cm ²
Diam. Barra	25 mm	Diam. Barra	25 mm
Cantidad	22	Cantidad	26
As propuesto	107.99 cm ²	As propuesto	127.63 cm ²
φ Mn	577.942 tf*m	φ Mn	680.022 tf*m
ρ	0.007	ρ	0.009
Diseño armadura de corte			
φVc	259.56 tf		

Sono necessarie 26 barre φ25.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera	COMMESA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	
	B23D	00 D 00	RH	INTRR0 003	A	94 di 96	

12. STRUTTURA ACCESO VIA CERMENATI

La geometria della struttura è mostrata nella figura seguente:

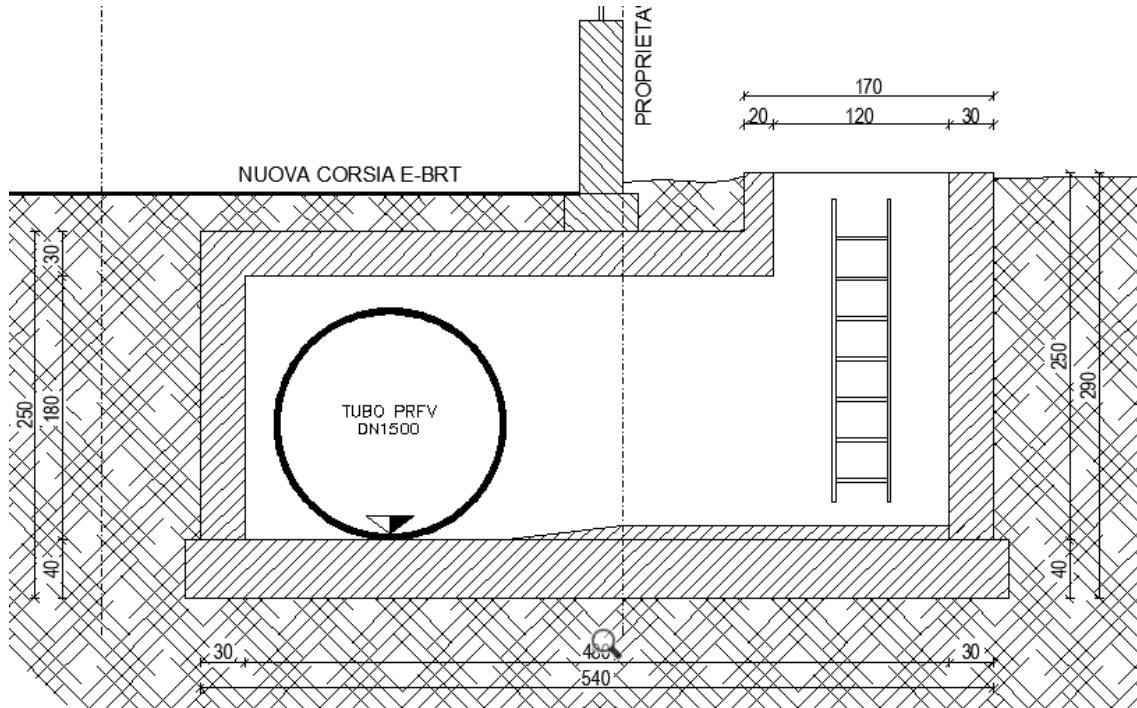


Figura 12.1 Vista dall'alto

- lastra superiore: 40 cm
- lastra di fondazione: 50 cm
- mura esterne 30 cm

Lo spessore degli elementi soletta superiore e inferiore e delle pareti sono supportati nella progettazione dei capitoli precedenti, dato che hanno condizioni tensionali equivalenti.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 95 di 96

13. STRUTTURA ACCESO VIA MORONI

La geometria de la struttura è mostrata nella figura seguente:

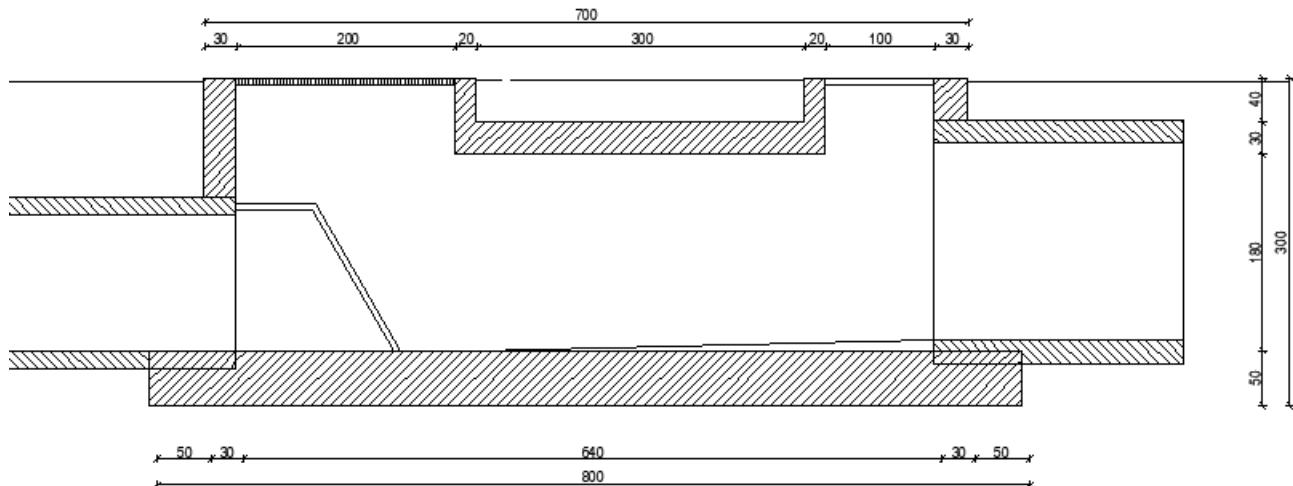


Figura 13.1 Vista dall'alto

- lastra superiore: 40 cm
- lastra di fondazione: 50 cm
- mura esterne 30 cm

Lo spessore degli elementi soletta superiore e inferiore e delle pareti sono supportati nella progettazione dei capitoli precedenti, dato che hanno condizioni tensionali equivalenti.

Capogruppo/mandataria:  ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:  ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
7.0 Opere Civili Relazione di calcolo strutture in opera			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO INTRR0 003	REV. A	FOGLIO 96 di 96

14. STRUTTURA TRANSIZIONE

La geometria della struttura è mostrata nella figura seguente:

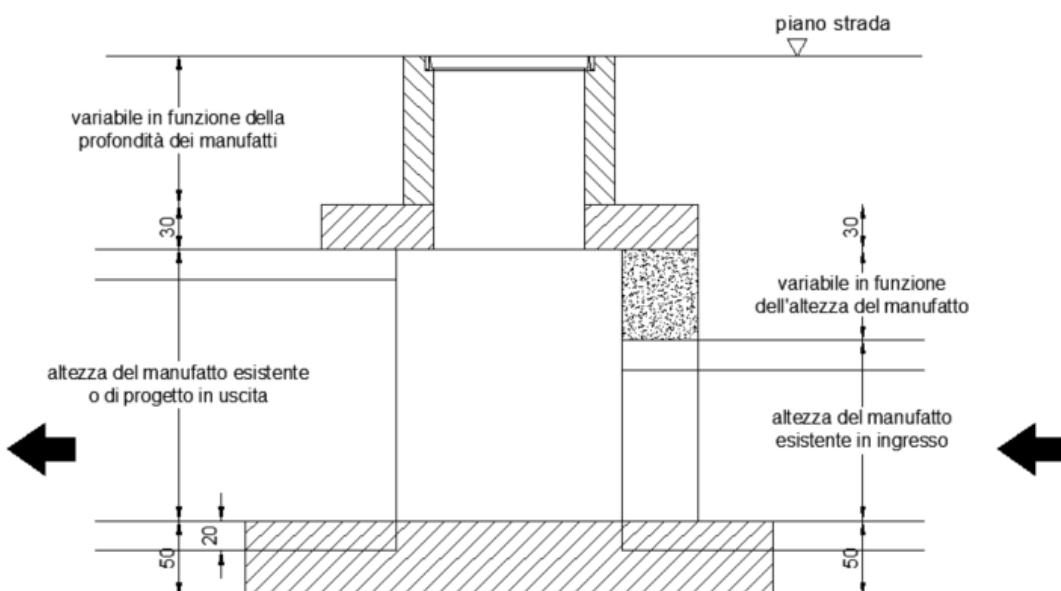


Figura 14.1 Vista dall'alto

- lastra superiore: 40 cm
- lastra di fondazione: 50 cm
- mura esterne 35 cm

Lo spessore degli elementi soletta superiore e inferiore e delle pareti sono supportati nella progettazione dei capitoli precedenti, dato che hanno condizioni tensionali equivalenti.