

S.S. 45bis - Gardesana Occidentale

Opere di costruzione della galleria in variante tra il km 86+567 e il km 88+800 finalizzata a sottendere le attuali gallerie ogivali a sezione ristretta

PROGETTO DEFINITIVO

COD. MI92

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTA:

*Dott. Ing. Antonio Scalamandrè
Ordine Ing. di Frosinone n. 1063*

IL GEOLOGO

*Dott. Geol. Serena Majetta
Ordine Geol. di Roma n. 928*

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.

*Dott. Ing. Laura Troiani
Ordine Ing. di Roma n. 31890*

COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. Fabio Quondam

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Giancarlo Luongo

PROTOCOLLO

DATA

GALLERIE NATURALI

GALLERIA IMPIANTI

Relazione tecnica e di calcolo

CODICE PROGETTO

PROGETTO

LIV. PROG.

DPMI0092 D 18

NOME FILE

T00GN03OSTRE01A

REVISIONE

SCALA

CODICE ELAB.

T00GN03OSTRE01

A

-

D

C

B

A

EMISSIONE

Gen 2020

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

INDICE

1.	PREMESSA E DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	3
1.1	OGGETTO	3
1.2	STATO DI FATTO.....	3
1.3	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	5
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	7
3.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	8
3.1	CALCESTRUZZI	8
3.1.1	Galleria artificiale	8
3.2	ACCIAI	8
3.2.1	Acciaio da c.a.....	8
4.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	9
5.	GALLERIA ARTIFICIALE	10
5.1	ANALISI CON IL SOFTWARE SAP2000	10
5.2	CARICHI	11
5.2.1	Peso proprio - G_1	11
5.2.2	Sovraccarichi permanenti portati - G_2	11
5.2.3	Sovraccarico accidentale da disgiungimento blocco ammasso - Q	12
5.2.4	Combinazioni di carico.....	13
5.3	RISULTATI DELL'ANALISI	14
5.4	VERIFICHE STRUTTURALI.....	19
5.4.1	Verifiche a pressoflessione	19
	Verifica SLU	19
	Verifica SLE	20
5.4.2	Verifiche a taglio	22
	Verifica SLU	22
5.5	VERIFICHE GEOTECNICHE	23
5.5.1	Criteri di verifica a carico limite	23



S.S. 45bis – GARDESANA OCCIDENTALE

Opere di costruzione della galleria in variante tra il km 86+5467 e il km 88+800 finalizzata a sottendere le attuali gallerie ogivali a sezione ristretta

PROGETTO DEFINITIVO

GALLERIE NATURALI – Galleria Impianti

Relazione tecnica e di calcolo

5.5.2 Applicazione al caso in esame	25
---	----

1. PREMESSA E DESCRIZIONE DELL'OPERA

1.1 OGGETTO

La presente relazione si inserisce nell'ambito del progetto definitivo per la costruzione della *Galleria in variante tra il km 86+576 e il km 88+800, finalizzata a sottendere le attuali gallerie ogivali a sezione ristretta.*

Nel dettaglio si riportano le principali verifiche strutturali e geotecniche della *galleria artificiale in c.a.* prevista all'interno del tratto iniziale della Galleria Naturale posta in adiacenza all'imbocco nord della GN Dei Ciclopi.

In questa galleria, nel seguito chiamata "*Galleria Impianti*", saranno realizzate la cabina elettrica e la vasca di sicurezza a servizio della nuova Galleria Muslone.

1.2 STATO DI FATTO

Allo stato attuale, la Galleria Impianti si presenta come una galleria naturale ogivale interamente rivestita con rivestimento definitivo in c.a. per i primi 30m, il tratto interessato dalla presenza delle dotazioni impiantistiche relative alle tre gallerie in esercizio (D'acli, Eutenia e Dei Ciclopi).

Oltre questi primi metri è presente solo il rivestimento provvisorio della galleria, costituito da centine metalliche a contatto con l'ammasso roccioso retrostante.

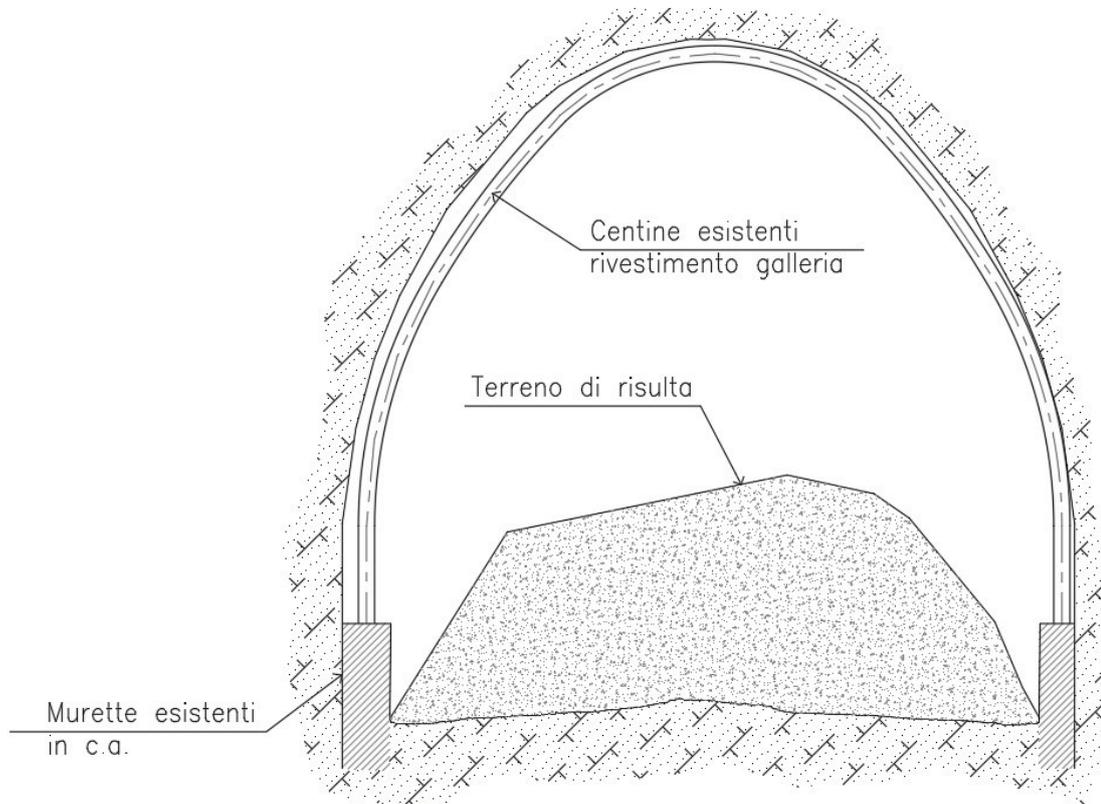


Figura 1 – Sezione trasversale stato di fatto Galleria Impianti

Come si può vedere nella figura sopra, è inoltre presente un cumulo di terreno posto sopra il piano di calpestio della galleria, realizzato con lo smarino estratto dallo scavo dell'attuale Galleria Impianti, interrotto in maniera definitiva dopo 120m circa dall'imbocco, a causa della formazione di un fornello esteso sino all'esterno.

1.3 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Per consentire la realizzazione delle strutture della cabina elettrica e della vasca di sicurezza e l'installazione degli impianti necessari per la messa in esercizio della Galleria Muslone, è prevista la realizzazione di una galleria artificiale in c.a. nella porzione di Galleria Impianti priva di rivestimento definitivo, da gettare contro le centine, previa getto di Spritz-Beton armato dello spessore totale massimo pari a 25cm.

Le caratteristiche geometriche della galleria artificiale di progetto sono le seguenti:

- Lunghezza 35 m.
- Spessore piedritti pari a 50 cm.
- Spessore copertura pari a 50 cm.
- Fondazioni dirette di base 1.0 m e altezza 50 cm.

Nella figura di seguito si riporta la sezione trasversale della galleria.

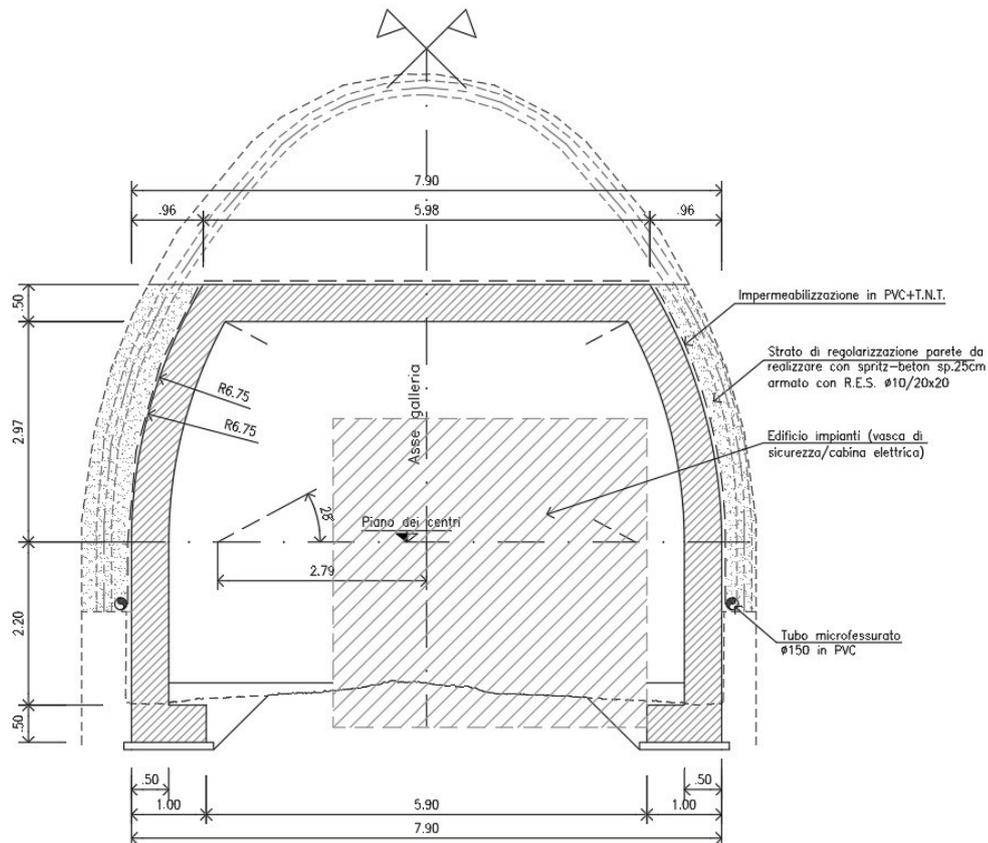


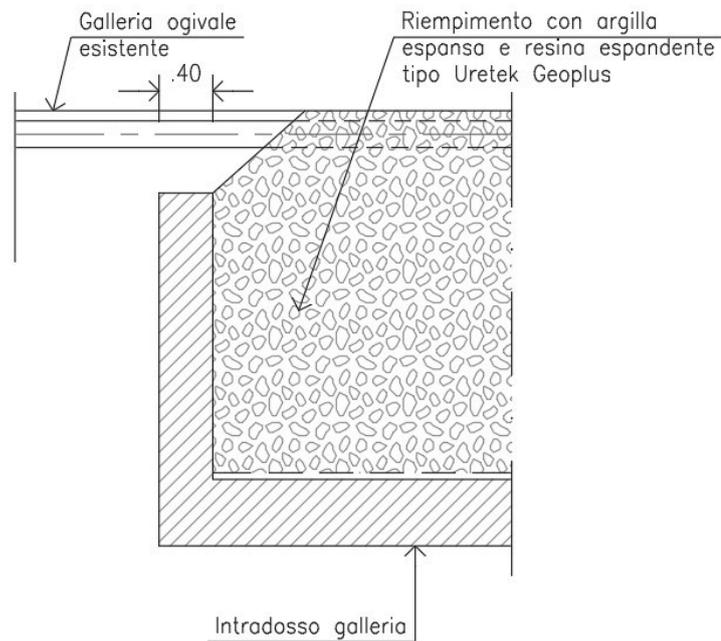
Figura 2 – Sezione trasversale galleria di progetto

GALLERIE NATURALI – Galleria Impianti
Relazione tecnica e di calcolo

Al di sopra della copertura è previsto l'intasamento dello spazio tra l'estradosso della soletta e l'intradosso del cavo della Galleria Impianti, con argilla espansa e resina espandente in maniera da evitare che l'eventuale distacco di porzioni di ammasso impattino in maniera dinamica sulla galleria artificiale.

Per contenere il materiale d'intasamento sono previsti paramenti verticali di chiusura a inizio e fine galleria.

Di seguito il dettaglio dell'intasamento.



2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Tutti i calcoli riportati nella presente relazione sono stati eseguiti nel rispetto della seguente normativa vigente:

1 – D.M. 17-01-2018

"Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni".

2 – Circolare 21/01/2019 n. 7

C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 17/01/2018

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

3.1 CALCESTRUZZI

3.1.1 Galleria artificiale

GALLERIA ARTIFICIALE, DIMA E PORTALE DI IMBOCCO

- CLASSE DI RESISTENZA A 28gg : C30/37
- CLASSE DI CONSISTENZA SLUMP : S4
- MAX DIMENSIONE AGGREGATO : 30 mm
- CONTENUTO MIN. CEMENTO : 320 kg/mc
- CLASSE DI ESPOSIZIONE : XC3
- COPRIFERRO : C = 50 mm

3.2 ACCIAI

3.2.1 Acciaio da c.a.

ACCIAIO D'ARMATURA

- ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO B450 C SALDABILE
- TENSIONE CARATTERISTICA DI SNERVAMENTO (f_{yk}) : 450 MPa
- TENSIONE CARATTERISTICA DI ROTTURA (f_{tk}) : 540 MPa
- $f_{yk} \geq f_{ynom}$ frattile 5%
- $f_{tk} \geq f_{tnom}$ frattile 5%
- $1.15 \leq (f_t/f_y)_k \leq 1.35$ frattile 10%
- $(f_y/f_{ynom})_k \leq 1.25$ frattile 10%

4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Le fondazioni della galleria sono impostate nell'ammasso calcareo di base, Unità C.

In via cautelativa si fa riferimento ai parametri minimi di GSI e resistenza a compressione monoassiale dell'unità ai fini delle verifiche di portanza:

- GSI 27
- Resistenza a compressione monoassiale $\sigma_c = 30$ MPa
- Fattore di disturbo $D = 0.5$
- Parametro materiale $m_i = 8$

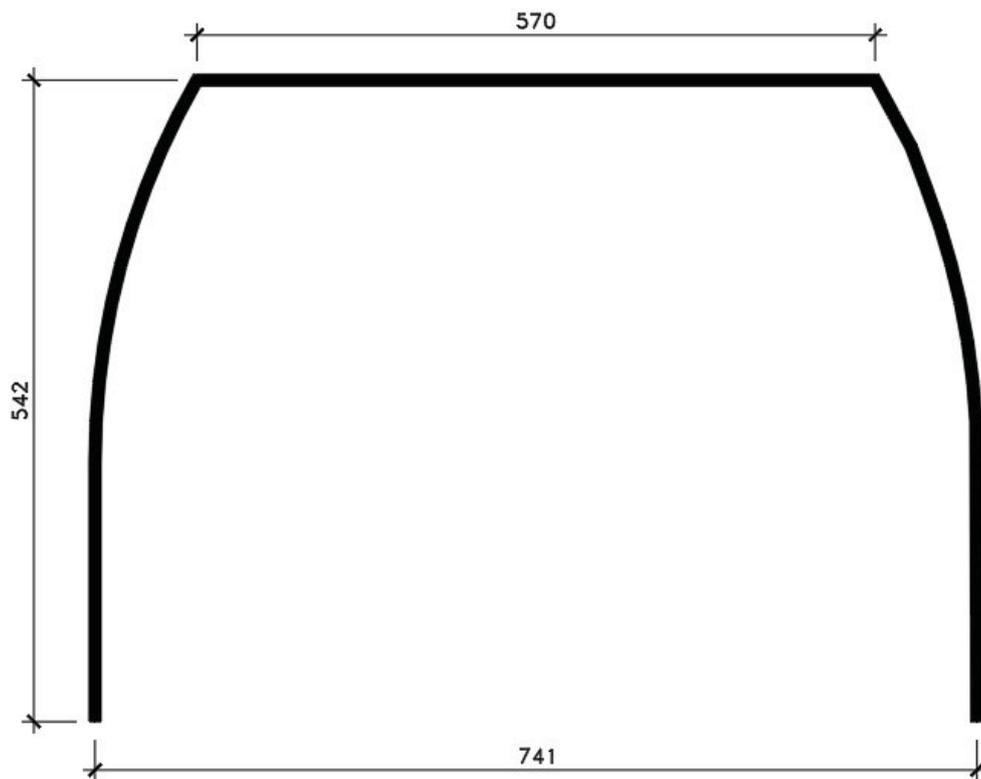
5. GALLERIA ARTIFICIALE

5.1 ANALISI CON IL SOFTWARE SAP2000

La modellazione è stata condotta su uno schema piano di profondità unitaria utilizzando elementi tipo Frame con l'ausilio del programma agli elementi finiti SAP2000P®. La geometria del modello è tale da rispecchiare la reale distribuzione delle rigidezze e delle masse della struttura in esame. Il modello di calcolo è costituito da un telaio nel piano x-z vincolata al terreno con un vincolo tipo cerniera.

In via cautelativa si trascura la presenza dell'ammasso roccioso a tergo dei piedritti e della sua azione di contenimento.

Di seguito il modello di calcolo implementato.



5.2 CARICHI

5.2.1 Peso proprio - G₁

La valutazione del peso proprio delle strutture è stata effettuata assumendo un peso dell'unità di volume del calcestruzzo pari a 25 kN/m³ e uno spessore funzione dell'elemento considerato.

5.2.2 Sovraccarichi permanenti portati - G₂

Il sovraccarico permanente dovuto al ricoprimento sulla soletta di copertura è stato determinato assumendo un peso di volume per l'argilla espansa pari a 4.5 kN/m³.

Considerando una superficie di riempimento di circa 14 m² si ottiene un carico totale pari a 63.3 kN, che, distribuito sulla lunghezza della copertura equivale a 11.1 kN/m.

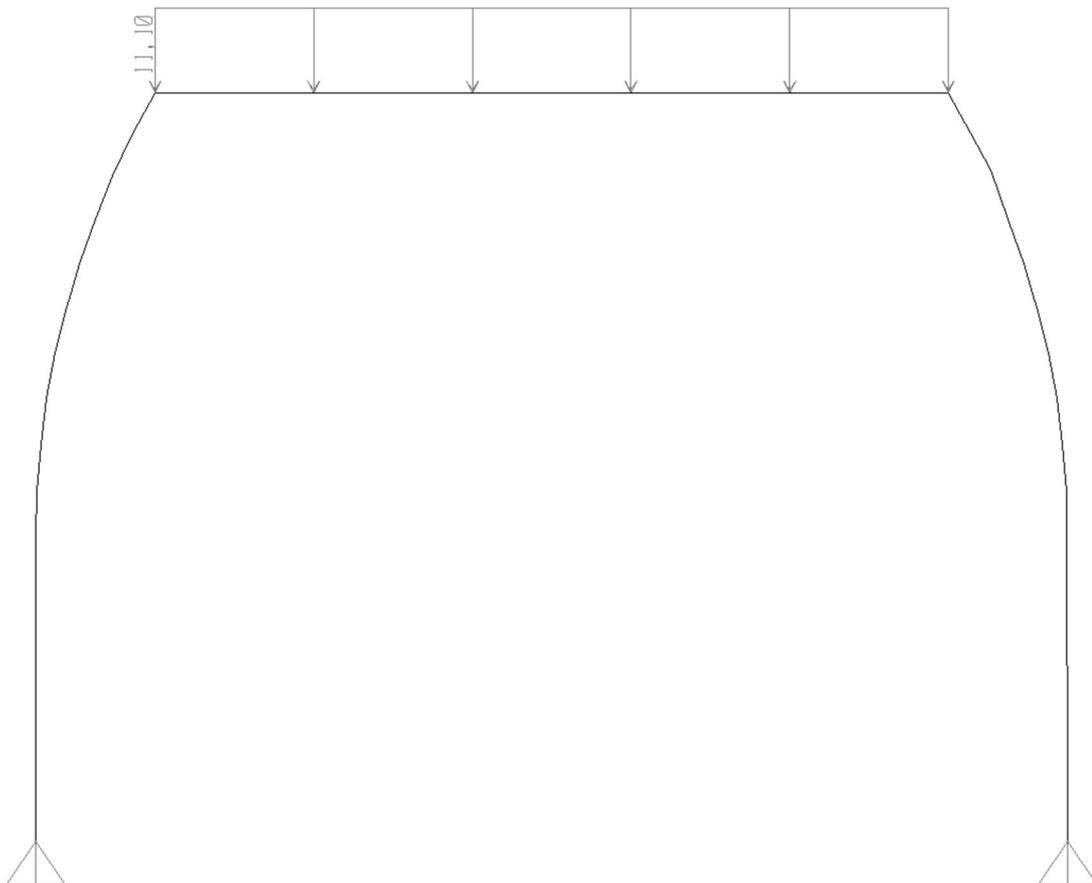
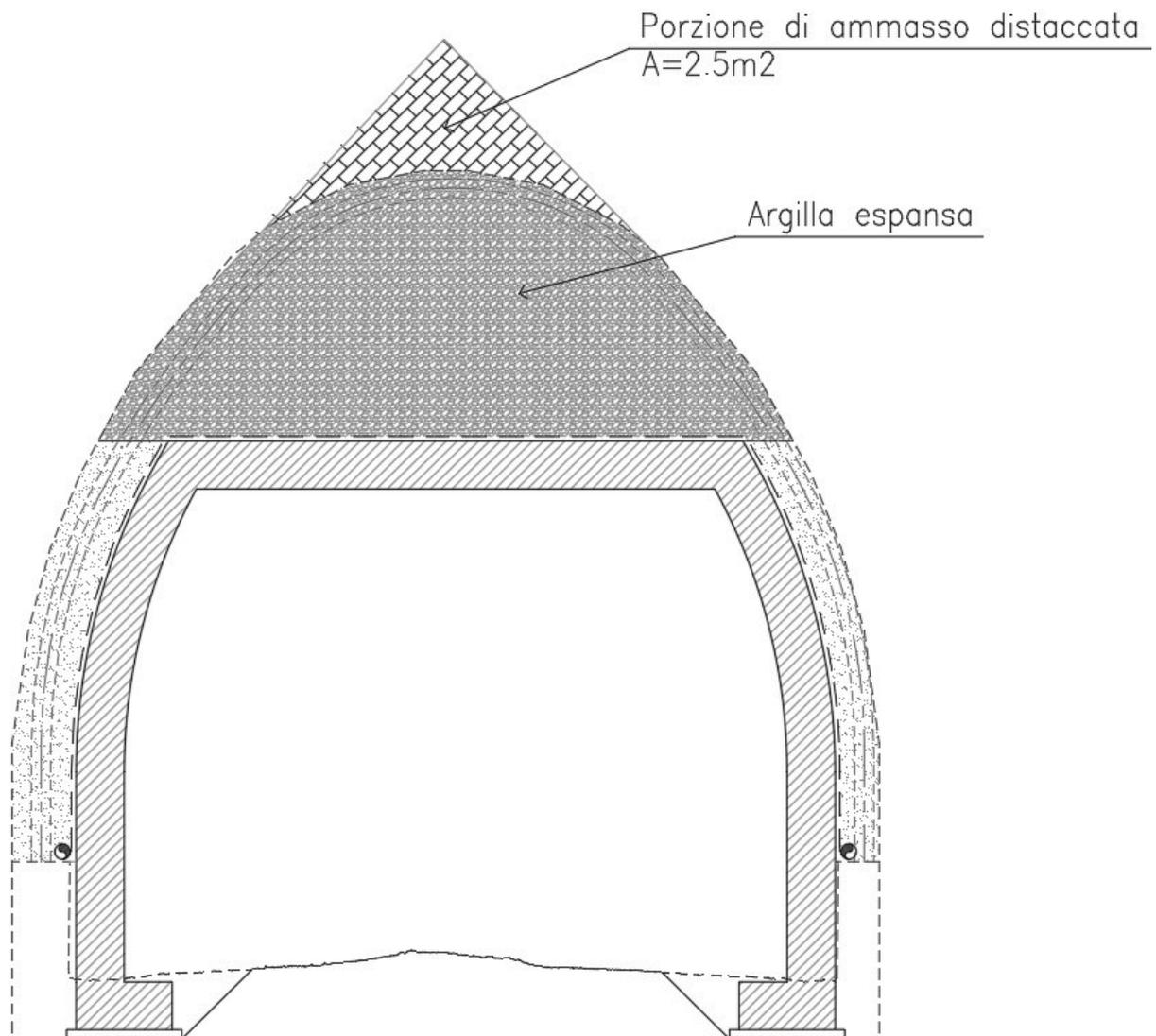


Figura 3 – Carico G₂

5.2.3 Sovraccarico accidentale da disgregazione blocco ammasso - Q

In via cautelativa si ipotizza la possibilità che in chiave alla galleria possa avvenire il distacco di una porzione di ammasso roccioso (del peso di 26 kN/m^3) che vada a gravare sul riempimento in argilla espansa e di conseguenza sulla copertura della galleria artificiale.

Di seguito lo schema che descrive tale ipotesi.



Il volume del blocco è pari a circa 2.5 m^2 , pertanto si ottiene un carico distribuito in copertura pari a 11.4 kPa .

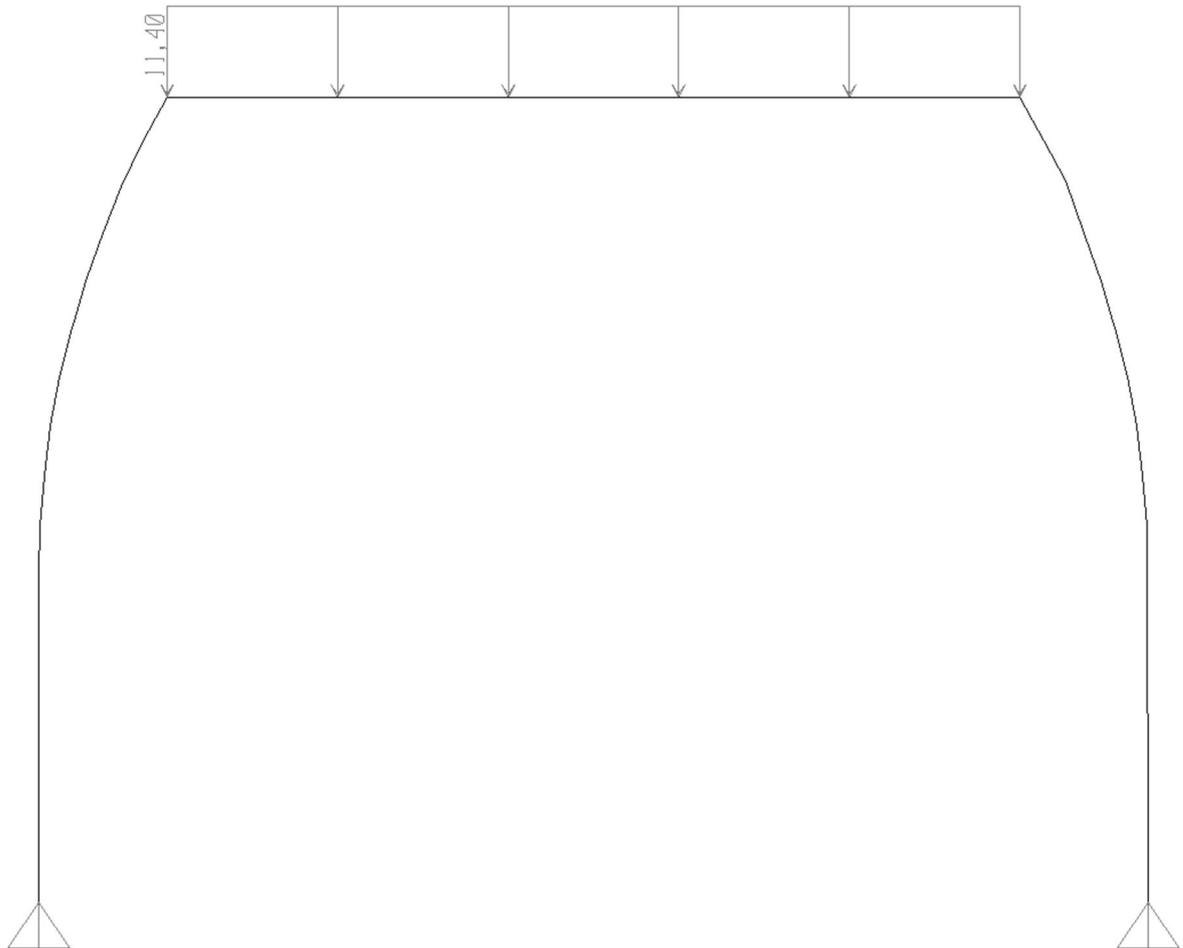


Figura 4 – Carico Q

5.2.4 Combinazioni di carico

Ai fini delle verifiche strutturali e geotecniche sono state implementate le seguenti combinazioni di carico:

- SLE: $G_1 + G_2 + Q$
- SLU: $1.3 \times G_1 + 1.3 \times G_2 + 1.5 \times Q$

Il coefficiente amplificativo dei carichi permanenti portati è posto pari al coefficiente amplificativo dei pesi propri in quanto compiutamente definito (vedi par. 2.6.1 delle NTC2018).

5.3 RISULTATI DELL'ANALISI

Di seguito i risultati dell'analisi in termini di sollecitazioni allo SLE e allo SLU e di reazioni vincolari allo SLU.

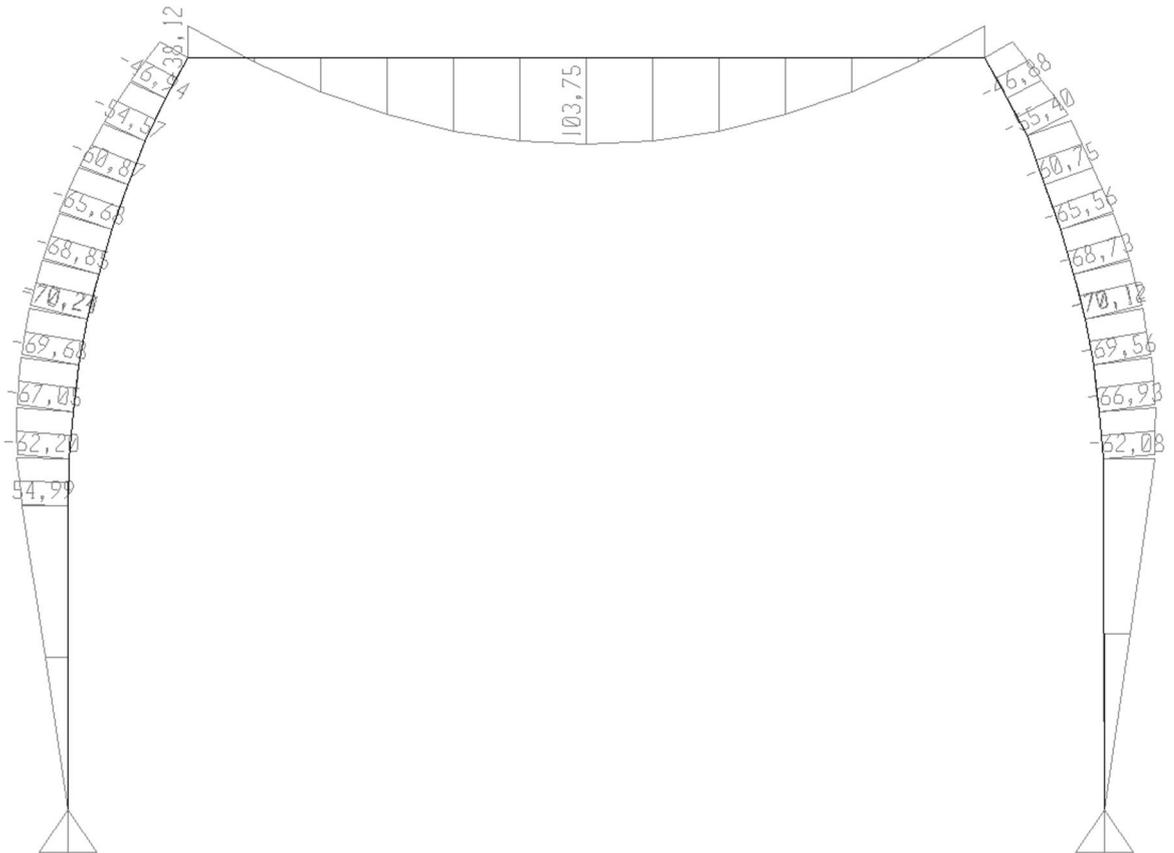


Figura 5 – Momento flettente allo SLE

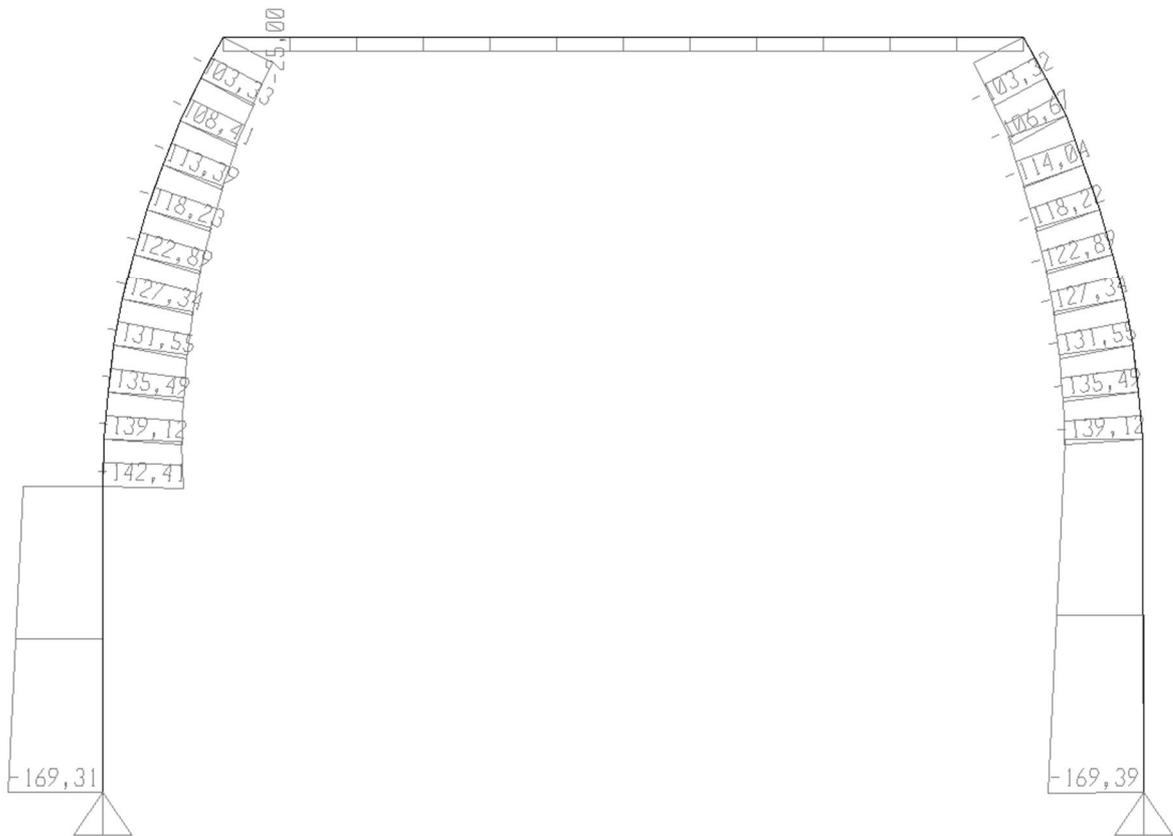


Figura 6 - Sforzo normale allo SLE

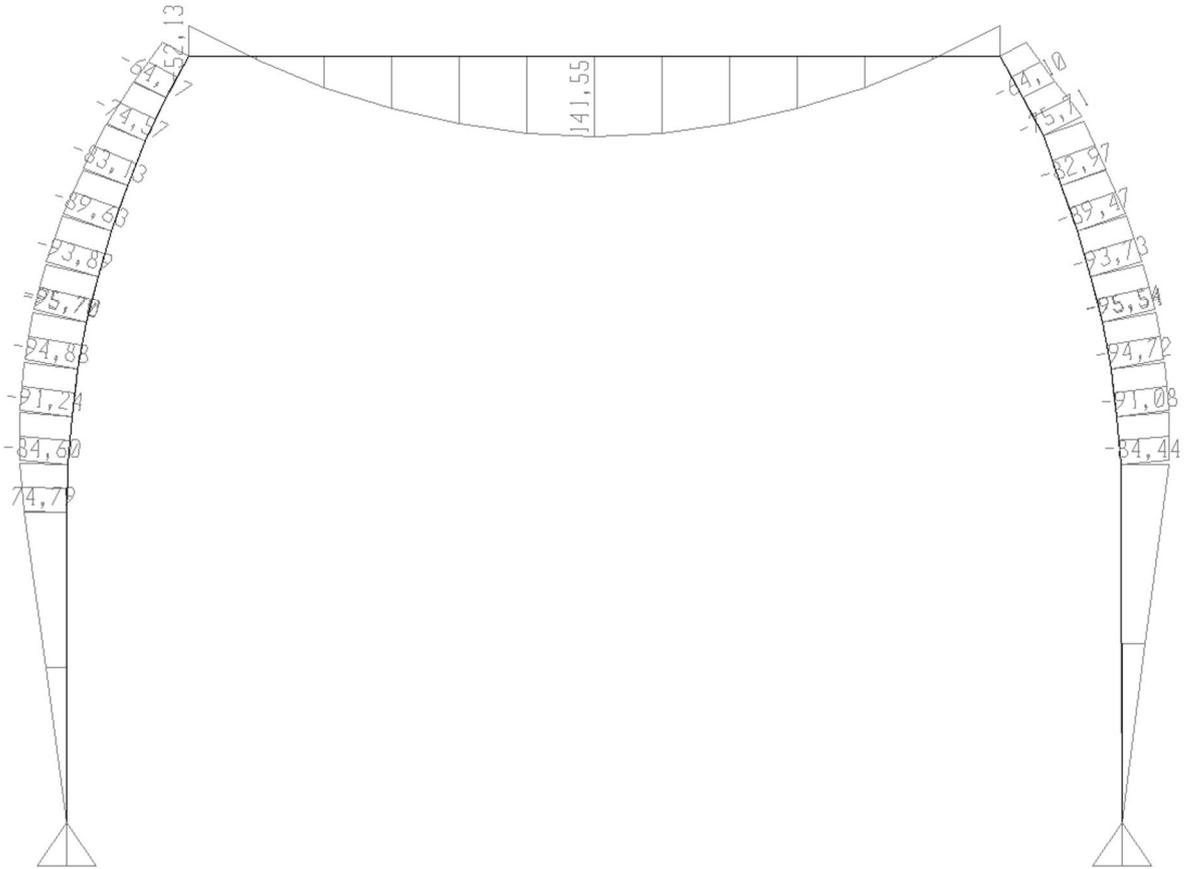
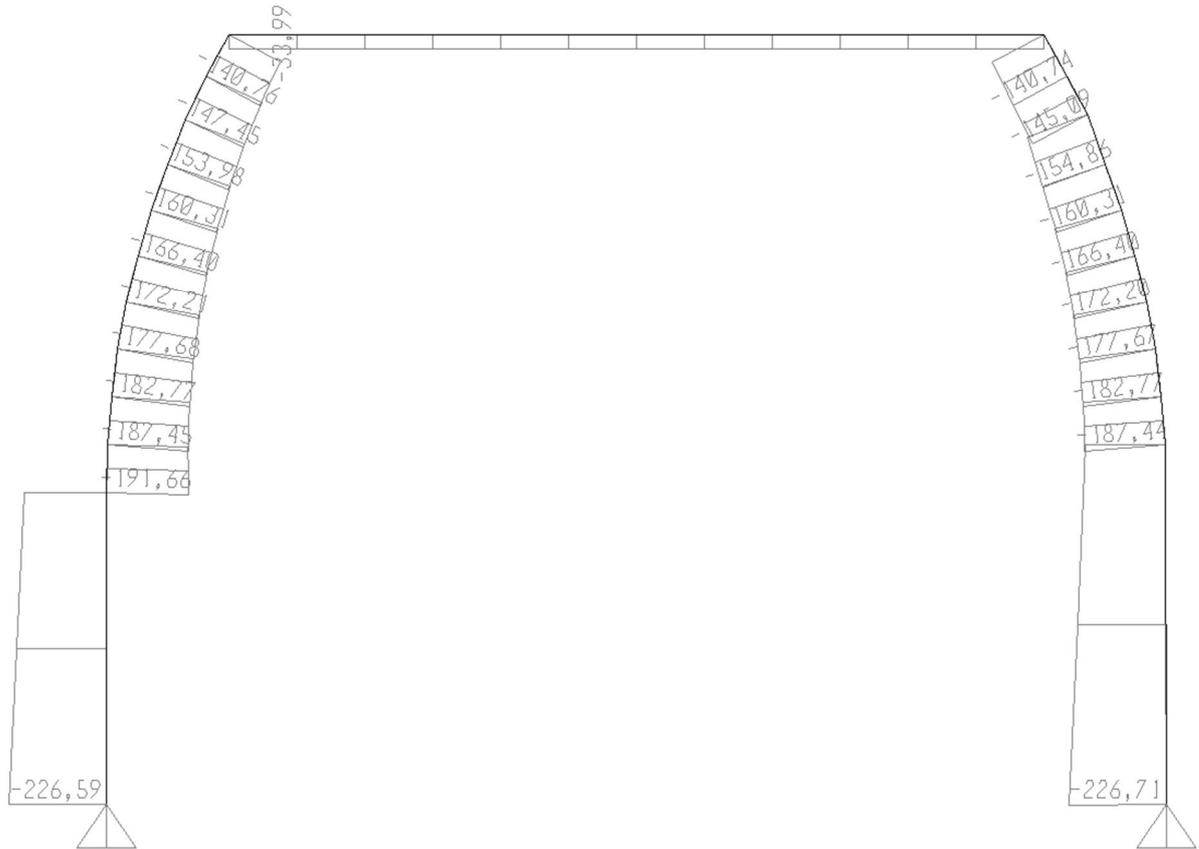


Figura 7 - Momento flettente allo SLU



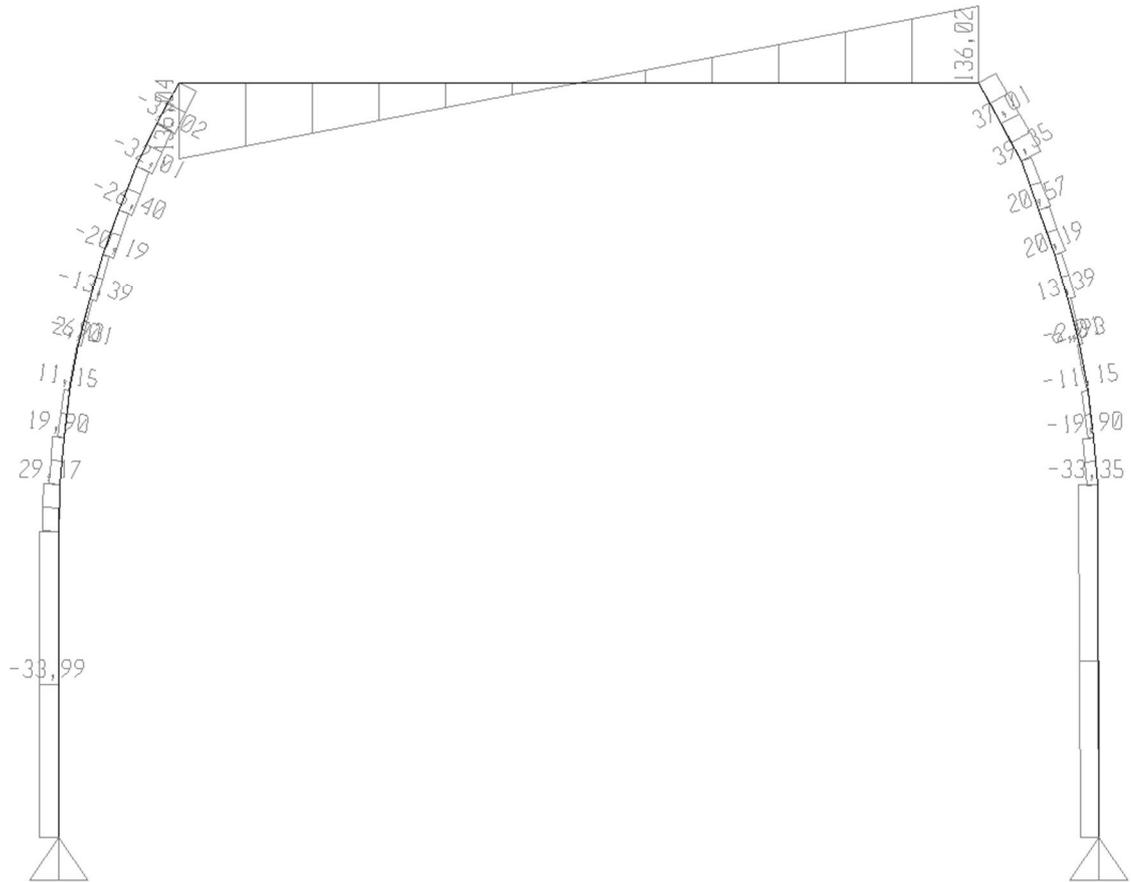




Figura 10 – Reazioni vincolari

5.4 VERIFICHE STRUTTURALI

5.4.1 Verifiche a pressoflessione

Verifica SLU

L'armatura corrente della sezione trasversale della galleria artificiale è costituita da barre $\phi 16/20$, con l'aggiunta di $\phi 16/40$ ove necessario. L'armatura di ripartizione è costituita da barre $\phi 14/25$.

Come si evince dall'analisi delle figure sopra, si attinge al valore di momento massimo in mezzeria della copertura:

- MSLE = 103.75 kNm
- MSLU = 141.55 kNm

In via cautelativa si trascura lo sforzo normale.

Di seguito le verifiche allo SLU.

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	10,05	7,2
			2	14,07	42,8

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN

M_{xEd} kNm

M_{yEd} kNm

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord. [cm] xN yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-

Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C C30/37

ε_{su} ‰ ε_{c2} ‰

f_{yd} N/mm² ε_{cu} ‰

E_s N/mm² f_{cd} ‰

E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?

ε_{syd} ‰ σ_{c,adm} ‰

σ_{s,adm} N/mm² τ_{co} ‰

τ_{c1} ‰

M_{xRd} kNm

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ε_c ‰

ε_s ‰

d cm

x x/d δ

Il momento resistente è pari a 233 kNm, di conseguenze il fattore di sicurezza è pari a 1.64.

Verifica SLE

La verifica a fessurazione viene condotta in maniera indiretta, tramite calcolo della tensione massima di trazione nell'armatura, così come consentito nel paragrafo 4.1.2.2.4.5 delle NTC2018 e relativa circolare.

Di seguito il calcolo delle tensioni nei materiali.

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	50

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10,05	7,2
2	14,07	42,8

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/> kN
M _{xEd}	<input type="text" value="141,55"/>	<input type="text" value="103,75"/> kNm
M _{yEd}	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord.[cm] xN yN

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi

a T Circolare

Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-

Metodo n

Verifica

N° iterazioni:

Precompresso

Materiali

B450C		C30/37	
ϵ_{su}	<input type="text" value="67,5"/> ‰	ϵ_{c2}	<input type="text" value="2"/> ‰
f_{yd}	<input type="text" value="391,3"/> N/mm ²	ϵ_{cu}	<input type="text" value="3,5"/>
E_s	<input type="text" value="200.000"/> N/mm ²	f_{cd}	<input type="text" value="17"/>
E_s/E_c	<input type="text" value="15"/>	f_{cc}/f_{cd}	<input type="text" value="0,8"/> ?
ϵ_{syd}	<input type="text" value="1,957"/> ‰	$\sigma_{c,adm}$	<input type="text" value="11,5"/>
$\sigma_{s,adm}$	<input type="text" value="255"/> N/mm ²	τ_{co}	<input type="text" value="0,6933"/>
		τ_{c1}	<input type="text" value="2,029"/>

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ϵ_s ‰

d cm

x x/d

δ

Si ottiene un valore di 190 MPa. Secondo quanto riportato in Tabella C4.1.II (sotto richiamata), affinché l'apertura massima delle fessure sia contenuta entro il limite w_3 , per una barra $\phi 16$ è tollerata una tensione di trazione massima pari a 240 MPa.

Tabella C4.1.II *Diametri massimi delle barre per il controllo di fessurazione*

Tensione nell'acciaio σ_s [MPa]	Diametro massimo ϕ delle barre (mm)		
	$w_3 = 0,4$ mm	$w_2 = 0,3$ mm	$w_1 = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	-

5.4.2 Verifiche a taglio

Verifica SLU

Come si evince dall'analisi delle figure sopra, si attinge al valore di taglio massimo alle estremità della copertura:

- VSLU = 136.02 kNm

Di seguito il calcolo della resistenza a taglio per sezione rettangolare in c.a. di spessore 50 cm non armata a taglio.

Dati	Var	unità	
Resistenza a compressione cubica caratteristica	Rck	Mpa	37
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica	fck	Mpa	30.71
Coefficiente parziale γ_c	γ_c		1.50
Coefficiente parziale α_{cc}	α_{cc}		0.85
Resistenza a compressione di calcolo	fcd	Mpa	17.4
Tensione caratteristica di snervamento acciaio di armatura	fyk	Mpa	450
tensione di calcolo acciaio	fywd	Mpa	391.3
Caratteristiche geometriche sezione			
Altezza	H	m	0.50
Larghezza	B	m	1.00
Area calcestruzzo	Ac	m ²	0.50
Larghezza anima	bw	m	1.00
copriferro	c	m	0.072
altezza utile della sezione	d	m	0.43
Compressione agente nella sezione			
Sforzo normale di calcolo	N _{Ed}	kN	0.0
Elementi senza armature trasversali resistenti al taglio			
Area dell'armatura longitudinale di trazione ancorata al di là dell'intersezione dell'asse dell'armatura con una eventuale fessura a 45° che si inneschi nella sezione considerata	Asl	mmq	1508
Coefficiente k	k	m	1.68
vmin	vmin		0.4
rapporto geometrico di armatura longitudinale	ρ_1		0.00352
tensione media di compressione nella sezione	σ_{cp}	Mpa	0.00
Resistenza a taglio	V_{Rd}	kN	191.2

Il fattore di sicurezza è pari a 1.40.

5.5 VERIFICHE GEOTECNICHE

5.5.1 Criteri di verifica a carico limite

Le verifiche di portanza della fondazione sono condotte con riferimento alla teoria di Carter e Kulhawy, secondo la quale la portanza ultima di un ammasso roccioso può essere scritta nella forma:

$$q_u = \sigma_{ci} N_\sigma$$

Dove σ_{ci} è la resistenza a compressione non confinata della roccia intatta e $N\sigma$ è definito come fattore di capacità portante. Secondo tale criterio, la portanza ultima di un ammasso viene considerata come una frazione della resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta.

Il fattore $N\sigma$ è fornito dalla seguente:

$$N_{\sigma 0} = \left[s^{\alpha} + (m_b s^{\alpha} + s)^{\alpha} \right]$$

E i parametri m_b , α e s che compaiono dipendono dalle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso:

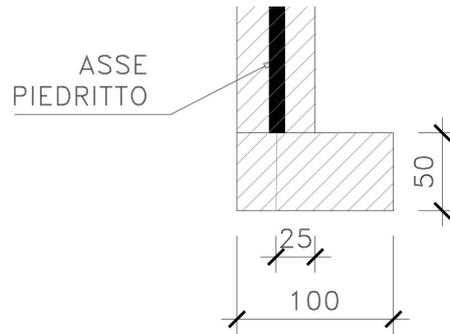
$$m_b = m_i \exp[(GSI - 100)/(28 - 14D)]$$

$$s = \exp[(GSI - 100)/(9 - 3D)]$$

$$a = 1/2 + 1/6(e^{-GSI/15} - e^{-20/3})$$

5.5.2 Applicazione al caso in esame

Lo scarico del piedritto è posto a 25 cm dal baricentro della fondazione ed è pari a 226.7 kN/m. Il peso proprio della ciabatta di fondazione è pari a 12.5 kN, che allo SLU equivale a 16.3 kN.



Di seguito la verifica di portanza ai sensi del par.6.4.2.1 delle NTC2018, condotte secondo la combinazione A1+M1+R3 con R3 pari a 2.3 e considerando i parametri geomeccanici dell'ammasso sono riportati nel paragrafo 4.

GARDESANA - CAVERNA IMPIANTI - Fondazione diretta galleria artificiale

Metodo di Carter e Kulhawy

Resistenza a compressione monoassiale	σ_c	35	MPa
GSI	GSI	27	
Fattore di disturbo	D	0.5	
Parametro materiale	m_i	8	
Costante s	s	0.00	
Costante a	a	0.53	
Parametro ridotto materiale	m_b	0.25	
Fattore di capacità portante	N_σ	0.04	
Portanza ultima	q_u	1348.9	kPa
Peso proprio fondazione SLU	W_{fond}	16.3	kN
Eccentricità	e	0.00	m
Scarico piedritto	V_{elev}	226.7	kN
Eccentricità	e	0.25	m
Risultante verticale	V	243.0	kN
Eccentricità equivalente	e	0.23	m
Base fondazione	B	1.00	m
Base ridotta fondazione	B'	0.53	m
Carico di progetto	p_d	455.5	kPa
Fattore di sicurezza	FS	2.96	ok: FS>2.3