

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J47I09000030009

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO MILANO-ROGOREDO-PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE – PAVIA

OPERE PRINCIPALI - SOTTOVIA E SOTTOPASSI

SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346,71

Relazione di calcolo concio con vasca volano

SCALA:

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

N M 0 Z 2 0 D 2 6 C L S L 0 4 0 0 0 0 3 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	CONSORZIO INTEGRATA	Novembre 2018	F.Coppini/A.Maran 	Novembre 2018	S. Borelli 	Novembre 2018	F. Borelli Novembre 2018 	

ITALFERR - UO INFRASTRUTTURE NORD
Dott. Ing. Francesco Borelli
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
n. 23172 Sez. IV

File: NM0Z20D26CLSL0400003A

n. Elab.:



PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA
FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346
Relazione di calcolo vasca volano

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0400003	A	2 di 39

INDICE

1	PREMESSA	4
2	DESCRIZIONE GENERALE.....	5
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	6
4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	7
5	CONDIZIONI GEOTECNICHE.....	8
6	CRITERI DI VERIFICA.....	9
6.1	VERIFICHE DI RESISTENZA AGLI STATI LIMITE ULTIMI	9
6.2	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO	9
7	MODELLO DI CALCOLO	12
7.1	PROGRAMMA DI CALCOLO	12
7.2	MODELLAZIONE STRUTTURALE	12
7.3	SCHEMA.....	13
8	ANALISI DEI CARICHI	14
8.1	PESI PROPRI STRUTTURALI	14
8.2	SOVRACCARICHI PERMANENTI PORTATI.....	14
8.3	CARICHI ESTERNI SU TERRAPIENO	14
8.4	CARICHI ESTERNI SU MURO	15
8.5	AZIONI PROVENIENTI DAL TERRENO.....	16
8.6	AZIONI PROVENIENTI DAI CARICHI MOBILI.....	17
8.7	AZIONI SISMICHE	18
9	COMBINAZIONI DI CARICO.....	21
10	SOLLECITAZIONI.....	24
10.1	STATO LIMITE ULTIMO.....	24
10.2	STATO LIMITE ESERCIZIO	26
10.3	SEZIONI DI PROGETTO.....	27
11	VERIFICHE SEZIONE 1	28
11.1	SLU –PRESSOFLESSIONE	28
11.2	SLU – TAGLIO	29
11.3	SLE – FESSURAZIONE.....	29



PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA
FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346
Relazione di calcolo vasca volano

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0400003	A	3 di 39

12	VERIFICHE SEZIONE 2	30
12.1	SLU – FLESSIONE	30
12.2	SLU – TAGLIO	31
12.3	SLE – FESSURAZIONE.....	31
13	VERIFICHE SEZIONE 3	32
13.1	SLU – FLESSIONE	32
13.2	SLU – TAGLIO	32
13.3	SLE – FESSURAZIONE.....	33
14	VERIFICHE SEZIONE 4	34
14.1	SLU – PRESSOFLESSIONE	34
14.2	SLU – TAGLIO	35
14.3	SLE – FESSURAZIONE.....	35
15	VERIFICHE SEZIONE 5	36
15.1	SLU – FLESSIONE	36
15.2	SLU – TAGLIO	37
15.3	SLE – FESSURAZIONE.....	37
16	VERIFICHE SEZIONE 6	38
16.1	SLU – FLESSIONE	38
16.2	SLU – TAGLIO	38
16.3	SLE – FESSURAZIONE.....	39

SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346 <i>Relazione di calcolo vasca volano</i>	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLSL0400003	REV. A	FOGLIO 4 di 39
--	------------------	-------------	-------------------	--------------------------	-----------	-------------------

1 PREMESSA

Nell’ambito degli interventi di potenziamento della linea Milano – Genova, si prevede il quadruplicamento della linea ferroviaria nella tratta Milano Rogoredo-Pavia; in prima fase il quadruplicamento interesserà il tratto di linea compreso fra le stazioni di Milano Rogoredo e Pieve Emanuele, per essere esteso in fase successiva fino a Pavia.

Il quadruplicamento in oggetto, a partire dall’uscita della stazione Milano Rogoredo, prosegue in affiancamento alla linea storica e su una nuova sede e si sviluppa a sud di Milano, estendendosi per circa 30 km lungo l’attuale linea ferroviaria tra i nodi di Milano Rogoredo e Pavia.



Figura 1 :Planimetria di progetto

SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346
Relazione di calcolo vasca volano

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0400003	A	5 di 39

2 DESCRIZIONE GENERALE

La presente relazione ha per oggetto la verifica del vasca di raccolta lato Est dello scatolare SL09.

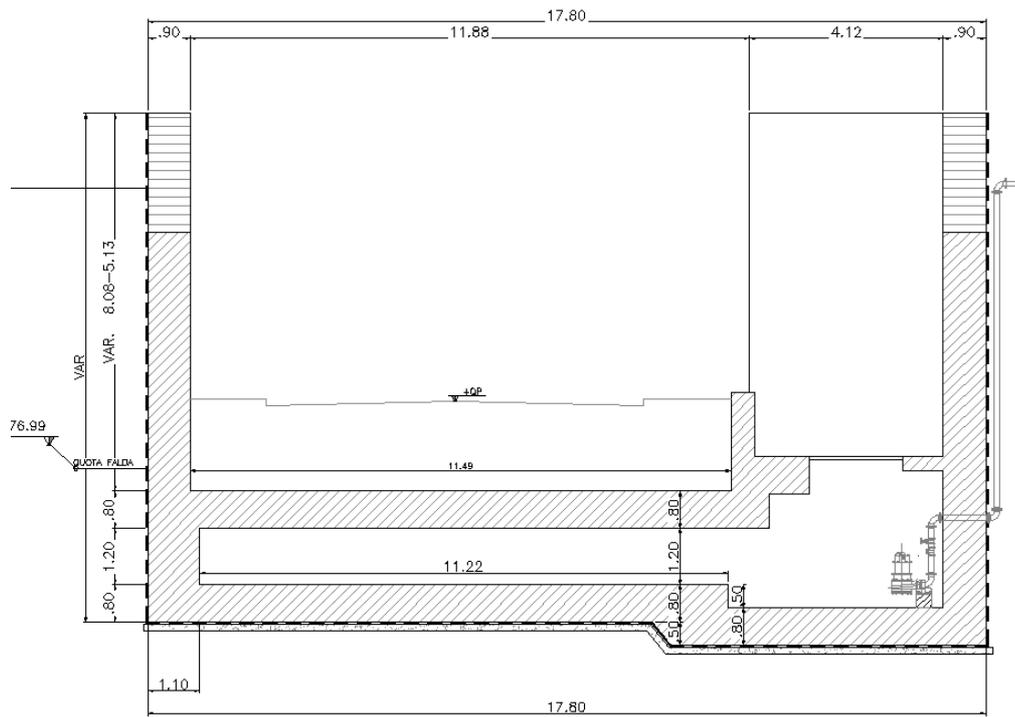


Figura 2: Sezione tipologica

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

CALCESTRUZZO

Classe di resistenza calcestruzzo
C32/40

Caratteristiche del calcestruzzo

resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	40 [MPa]
resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	33.2 [MPa]
resistenza cilindrica media	f_{cm}	41.2 [MPa]
resistenza media a trazione semplice	f_{ctm}	3.1 [MPa]
resistenza caratteristica a trazione (fratt. 5%)	f_{ctk}	2.2 [MPa]
modulo elastico istantaneo	E_{cm}	33,643 [MPa]

Resistenze di calcolo

resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	18.8 [MPa]
resistenza di calcolo a trazione	f_{ctd}	1.4 [MPa]
coefficiente di espansione termica lineare	α	1.00E-05 [°C ⁻¹]

COEFFICIENTI

γ_c	=	1.5
α_{cc}	=	0.85

ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO

Tipo di acciaio
B450C

Caratteristiche del calcestruzzo

tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	450 [MPa]
tensione caratteristica di rottura	f_{tk}	540 [MPa]

Resistenze di calcolo

resistenza di progetto	f_{yd}	391.3 [MPa]
modulo elastico	E_s	200000 [MPa]

COEFFICIENTI

γ_s	=	1.15
------------	---	------

Per il calcestruzzo armato si assume

 γ_{cls} 25 kN/m³

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
	SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346 <i>Relazione di calcolo vasca volano</i>	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLSL0400003	REV. A

4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il dimensionamento e la verifica degli elementi strutturali sono stati condotti nel rispetto delle seguenti normative:

- Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008: Nuove norme tecniche per le costruzioni;
- Circolare 2 febbraio 2009, n.617: Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008;
- Circolare 15 ottobre 1996, n.252 AA.GG./S.T.C.: Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al decreto ministeriale 9 gennaio 1996;
- RFI DTC SI MA IFS 001 B: "Manuale di progettazione delle opere civili" del 22/12/2017.
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 B: Sezione 2 – Ponti e Strutture.
-
- Riferimenti STI:
 - – Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione europea;
 - – Regolamento (UE) N. 1300/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per l'accessibilità del sistema ferroviario dell'Unione per le persone con disabilità e le persone a mobilità ridotta;
 - – Regolamento (UE) N. 1301/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "energia" del sistema ferroviario dell'Unione europea;
 - – Regolamento (UE) N. 1303/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità concernente la "sicurezza nelle gallerie ferroviarie" del sistema ferroviario dell'Unione europea;
 - – Regolamento (UE) 2016/919 della Commissione del 27 maggio 2016 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità per i sottosistemi "controllo-comando e segnalamento" del sistema ferroviario nell'Unione europea.

SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346
Relazione di calcolo vasca volante

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0400003	A	8 di 39

5 CONDIZIONI GEOTECNICHE

Nei calcoli sono stati assunti i seguenti parametri geotecnici:

ZONA	SONDAGGIO DI RIFERIMENTO	PROFONDITA'	TIPO DI TERRENO
9	PNNMOZU05	da 0 a 3m	S
		da 3m a 6m	Sg
		da 6m a 18m	S
		da 18m a 30m	Sg

γ_{sat} [kN/m ³]	γ_d [kN/m ³]	Φ' [°]		Φ' [°] laboratorio	Φ' [°] scelto	E'_{op} [MPa]		V_s [m/s]		categoria terreno	G_0 [MPa]	
		max	min			max	min	max	min		max	min
20	17	23	23		23	5	5	151	151	C	47	47
20	17	30	30		30	13	13	145	145		44	44
20	17	30	27		27	22	11	277	237		159	116
20	17	30	30		30	40	17	241	196		120	80

Si assume la falda a 4.21m da intradosso soletta inferiore.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
	SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346 <i>Relazione di calcolo vasca volano</i>	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLSL0400003	REV. A

6 CRITERI DI VERIFICA

6.1 VERIFICHE DI RESISTENZA AGLI STATI LIMITE ULTIMI

Si è verificato che il valore di progetto degli effetti delle azioni, ovvero delle sollecitazioni flettenti M_d sia minore dei corrispondenti momenti resistenti M_r delle sezioni di progetto.

La verifica di resistenza delle sezioni nei vari elementi strutturali, viene condotta tenendo conto delle condizioni più gravose che si individuano dall'involuppo delle sollecitazioni agenti nelle diverse combinazioni di carico.

Le combinazioni e i coefficienti moltiplicativi delle singole azioni vengono definiti in base a quanto indicato nel D.M. 14 gennaio 2008.

Per quanto riguarda le verifiche a taglio ultimo, si è fatto riferimento al paragrafo 4.1.2.1.3 "Resistenza nei confronti di sollecitazioni taglianti" del D.M. 14 gennaio 2008.

6.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Definizione degli stati limite di fessurazione

In ordine di severità crescente si distinguono i seguenti stati limite:

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

$$\sigma_t = \frac{f_{ctm}}{1,2}$$

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

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

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

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

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
	SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346 <i>Relazione di calcolo vasca volano</i>	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLSL0400003	REV. A

Condizioni ambientali

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche, possono essere suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato nella tabella seguente:

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 aggressive.

Scelta degli stati limite di fessurazione

Nella tabella sottostante sono indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione con riferimento alle esigenze sopra riportate.

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

Come da manuale RFI DTC SI PS MA IFS 001 B (2.5.1.8.3.2.4) si assume in questo caso per la verifica a fessurazione la combinazione Rara e come limite massimo di apertura delle fessure $w_1=0.2$ mm, (per strutture a permanente contatto con il terreno).

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
	SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346 <i>Relazione di calcolo vasca volano</i>	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLSL0400003	REV. A

Stato limite di apertura delle fessure

Il valore caratteristico di calcolo di apertura delle fessure (w_d) non deve superare i valori nominali w_1 , w_2 , w_3 secondo quanto riportato nella Tabella sopra riportata.

Il valore caratteristico di calcolo è data da:

$$w_d = 1,70 \cdot w_m$$

dove w_m rappresenta l'ampiezza media delle fessure.

L'ampiezza media delle fessure w_m è calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d'armatura ε_{sm} per la distanza media tra le fessure Δ_{sm} :

$$w_m = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{sm}$$

Per il calcolo di ε_{sm} e Δ_{sm} vanno utilizzati criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica. ε_{sm} può essere calcolato tenendo conto dell'effetto del "tension stiffening" nel rispetto della limitazione:

$$\varepsilon_{sm} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

con σ_s tensione nell'acciaio dell'armatura tesa (per sezione fessurata) nelle condizioni di carico considerate ed E_s è il modulo elastico dell'acciaio.

	<p>PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</p>												
<p>SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346 <i>Relazione di calcolo vasca volano</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE-ENTE</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM0Z</td> <td>20</td> <td>D 26</td> <td>CLSL0400003</td> <td>A</td> <td>12 di 39</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM0Z	20	D 26	CLSL0400003	A	12 di 39
COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM0Z	20	D 26	CLSL0400003	A	12 di 39								

7 MODELLO DI CALCOLO

7.1 PROGRAMMA DI CALCOLO

L'analisi è stata effettuata per elementi finiti attraverso l'ausilio del programma di calcolo "SAP2000".

7.2 MODELLAZIONE STRUTTURALE

Il modello di calcolo attraverso il quale è stata analizzata la struttura e schematizzato da un rettangolo costituito da elementi monodimensionali vincolati su un letto di molle alla winkler.

Per i coefficienti del sottosuolo sono stati adottati i seguenti valori

- Coefficiente verticale $k_v = 7821 \text{ kN/m}^3$
- Coefficiente orizzontale $k_h = 3910 \text{ kN/m}^3$

Sono stati utilizzati molle per unità di lunghezza attribuita agli elementi della soletta inferiore.

	<p>PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</p>												
<p>SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346 <i>Relazione di calcolo vasca volano</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE-ENTE</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM0Z</td> <td>20</td> <td>D 26</td> <td>CLSL0400003</td> <td>A</td> <td>13 di 39</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM0Z	20	D 26	CLSL0400003	A	13 di 39
COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM0Z	20	D 26	CLSL0400003	A	13 di 39								

7.3 SCHEMA

Il modello è formato da 14 elementi monodimensionale a cui è assegnata la sezione specifica dell'elemento corrispondente

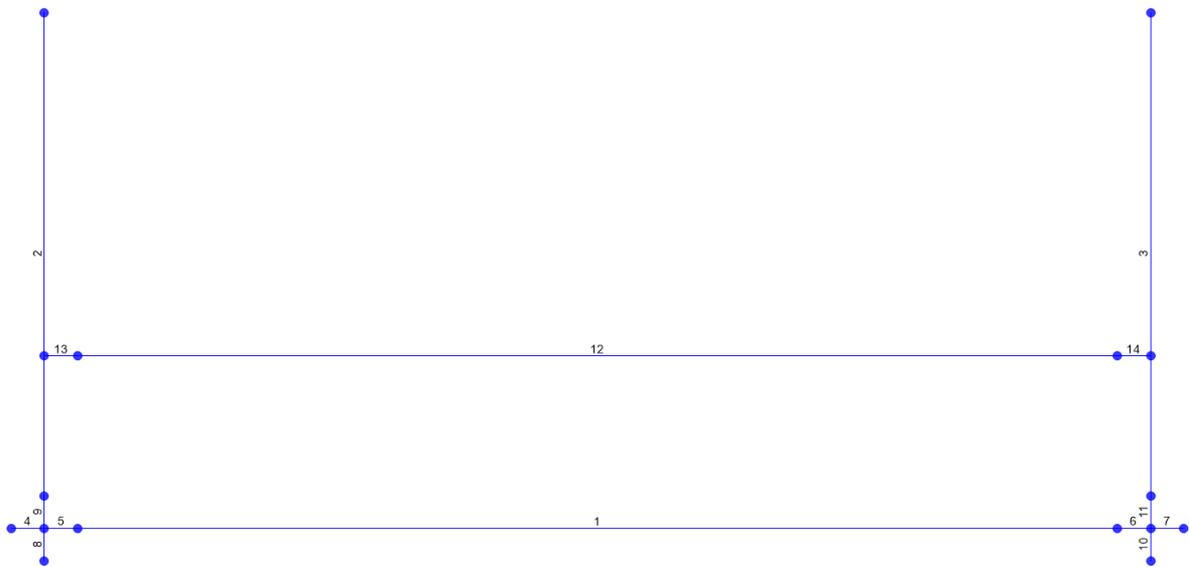


Figure 1 : Schema modello di calcolo

8 ANALISI DEI CARICHI

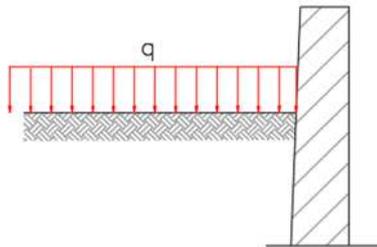
8.1 PESI PROPRI STRUTTURALI

		D [m ²]		γ [kN/m ³]		[m]		[kN/m]
Solette inferiore	PP _{SI,i}	0.80	X	25	X	1	=	20.0
Solette superiore	PP _{SI,s}	0.50	X	25	X	1	=	12.5
Piedritto	PP _{PI}	0.75	X	25	X	1	=	18.8

8.2 SOVRACCARICHI PERMANENTI PORTATI

Si assume un carico uniformemente distribuito sulla soletta superiore pari a 24.50 kN/m.

8.3 CARICHI ESTERNI SU TERRAPIENO



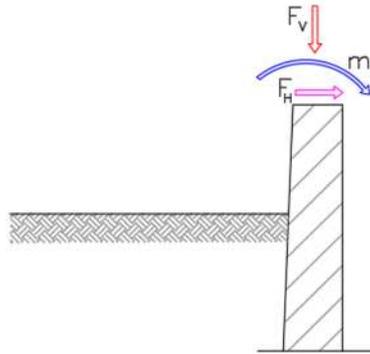
Pressione uniforme permanente su terrapieno $q_{,P}$ 0 [kN/m/m]

Pressione uniforme variabile su terrapieno $q_{,V}$ 0 [kN/m/m]

Spinta dovuta a pressione uniforme permanente su terrapieno $\sigma_{pu}(k_0) = k_0 \cdot q_{,P}$

Spinta dovuta a pressione uniforme variabile su terrapieno $\sigma_{pv}(k_0) = k_0 \cdot q_{,V}$

8.4 CARICHI ESTERNI SU MURO



Forza orizzontale permanente su testa muro

$F_{H,P}$ 0 [kN/m]

Forza verticale permanente su testa muro

$F_{V,P}$ 0 [kN/m]

Coppia permanente su testa muro

m,P 0 [kNm/m]

Forza orizzontale variabile su testa muro

$F_{H,v}$ 0 [kN/m]

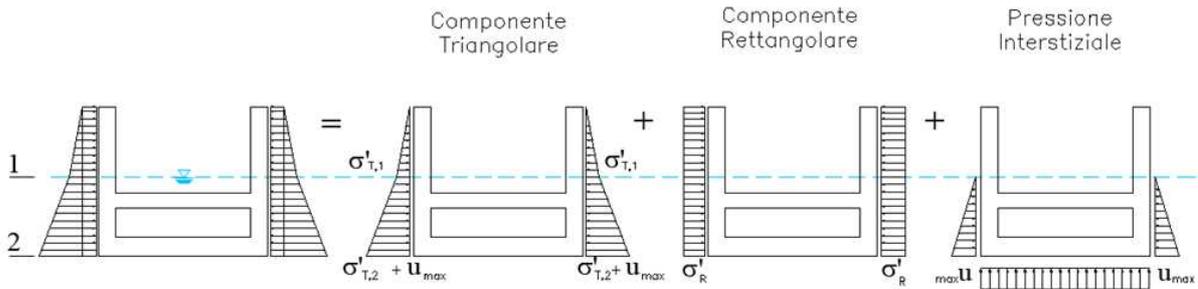
Forza verticale variabile su testa muro

$F_{V,v}$ 0 [kN/m]

Coppia variabile su testa muro

m,v 0 [kNm/m]

8.5 AZIONI PROVENIENTI DAL TERRENO



Pressine interstiziale

$$u_{max} = 42.10 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Tensioni litostatiche verticali : componente Triangolare

Tensione litostatica verticale efficace in "1" $\sigma'_{T,1} = \gamma_{t2} \times (H_t - H_w) = 61.20 \text{ [kN/m}^2\text{]}$

Tensione litostatica verticale efficace in "2" $\sigma'_{T,2} = \sigma'_{T,1} + \gamma'_{t2} \times H_w = 103.3 \text{ [kN/m}^2\text{]}$

Tensioni litostatiche verticali : componente Rettangolare

Tensione litostatica verticale efficace estradosso Soletta $\sigma'_R = 0.0 \text{ [kN/m}^2\text{]}$

Coefficienti di spinta Terreno 1

		M1	M2	SLE
Deformazione orizzontale nulla	$k_{0,t1} = 1 - \text{sen}\phi'$	0.61	0.68	0.61
Equilibrio limite attivo	$k_{a,t1} = (1 - \text{sen}\phi') / (1 + \text{sen}\phi')$	0.44	0.51	0.44

Tensioni totali orizzontali

$$\sigma_{sx}(k_0) = \sigma_{sx}(k_0) = k_{0,t1} \cdot \sigma'_R + k_{0,t2} \cdot \sigma'_T + u$$

$$\sigma_{sx}(k_a) = \sigma_{sx}(k_a) = k_{a,t1} \cdot \sigma'_R + k_{a,t2} \cdot \sigma'_T + u$$

$$\sigma_1 = \sigma_{sx}(k_0) + \sigma_{dx}(k_0) \quad \text{condizioni di deformazione orizzontale nulla}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{sx}(k_a) + \sigma_{dx}(k_a) \quad \text{Condizione di equilibrio limite attivo}$$

$$\sigma_3 = \sigma_{sx}(k_0) + \sigma_{dx}(k_a) \quad \text{Condizione asimmetrica sx}$$

$$\sigma_4 = \sigma_{sx}(k_a) + \sigma_{dx}(k_0) \quad \text{Condizione asimmetrica dx}$$

$$\sigma_t = \text{involuppo} \{ \sigma_1 ; \sigma_2 ; \sigma_3 ; \sigma_4 \} \quad \text{Involuppo tensioni litostatiche orizzontali}$$



PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA
FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346
Relazione di calcolo vasca volano

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0400003	A	17 di 39

8.6 AZIONI PROVENIENTI DAI CARICHI MOBILI

Lo schema di carico utilizzata è lo schema di carico 1, disposto in modo da massimizzare le sollecitazioni.

Si assume un carico uniformemente distribuito sulla soletta superiore pari a 42.42 kN/m.



PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA
FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346
Relazione di calcolo vasca volano

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0400003	A	18 di 39

8.7 AZIONI SISMICHE

CARATTERISTICHE SISMICHE

PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

vita nominale	V_N	75	anni
Classe d'uso		III	
coefficiente d'uso	C_U	1.5	
periodo di riferimento per l'azione sismica	V_R	112.5	anni
Stato limite ultimo di salvaguardia della vita SLV			
probabilità di superamento nel periodo di riferimento	P_{VR}	10%	
Periodo di ritorno dell'azione sismica	T_R	1067.8	anni

PARAMETRI CHE DEFINISCONO L'AZIONE SISMICA

accelerazione orizzontale massima al sito	a_g	0.697	[m/s ²]
accelerazione orizzontale massima al sito	a_g	0.071	[g]
coefficiente di amplificazione spettrale massima	F_0	2.619	
periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale	T_C^*	0.296	[s]

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI STRATIGRAFICHE

Categoria di sottosuolo		C	
coefficiente di amplificazione stratigrafica	S_S	1.50	
coefficiente di sottosuolo	C_C	1.59	
Categoria topografica		T1	
coefficiente di amplificazione topografica	S_T	1	
$S_S \times S_T$	S	1.50	
coefficiente di smorzamento viscoso	x	5%	
$v(10/(5+x))$	h	1	

PARAMETRI DI ANALISI

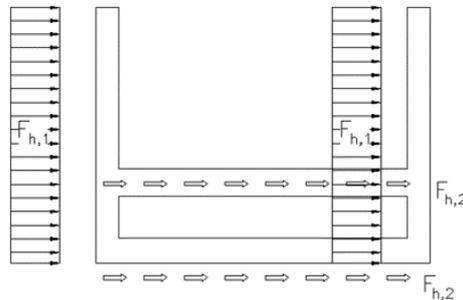
accelerazione orizzontale massima al sito	a_{max}	1.045	[m/s ²]
fattore di struttura	q	1	
coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	β_m	1	
coefficiente sismico orizzontale	k_h	0.107	
coefficiente sismico verticale	k_v	0.053	

SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346
Relazione di calcolo vasca volano

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0400003	A	19 di 39

Terreno ad elevata permeabilità dinamica		3
Peso specifico "sismico" del terreno	γ^*	10
coefficiente sismico orizzontale	k_h	0.11
coefficiente sismico verticale	k_v	0.05
	$\theta +$	11.50
	$\theta -$	12.80
	φ'_{M2}	18.80
	δ	0.0
	δ_{M2}	0.0
angolo di inclinazione, rispetto all'orizzontale, della parete del muro rivolta a monte	ψ	90
angolo di inclinazione, rispetto all'orizzontale, della superficie del terrapieno	β	0
coefficiente di spinta sismica M2	K_e	00.74

FORZE SISMICHE



Forze di inerzia orizzontali

$$F_h = k_h \times W$$

Forze di inerzia verticali

$$F_v = k_v \times W$$

Sisma H

Forza di inerzia orizzontale piedritti

$$F_{h1} = (PP_{Pi}) \cdot k_h = 2.00 \text{ [kN/m]}$$

Forza di inerzia orizzontale inferiore

$$F_{h2,i} = (PP_{Si}) \cdot k_h = 2.13 \text{ [kN/m]}$$

Forza di inerzia orizzontale superiore

$$F_{h2,s} = (PP_{Si}) \cdot k_h = 1.33 \text{ [kN/m]}$$

Sisma V

Forza di inerzia verticale piedritti

$$F_{v1} = (PP_{Pi}) \cdot k_v = 1.00 \text{ [kN/m]}$$

Forza di inerzia verticale Soletta inferiore

$$F_{v2,i} = (PP_{Si}) \cdot k_v = 1.07 \text{ [kN/m]}$$

Forza di inerzia verticale Soletta superiore

$$F_{v2,s} = (PP_{Si}) \cdot k_v = 0.67 \text{ [kN/m]}$$



PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA
FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346
Relazione di calcolo vasca volante

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0400003	A	20 di 39

Incremento sismico secondo il metodo di Mononobe-Okabe

(secondo Eurocodice 8-5)

$$E_d = \frac{1}{2} \cdot \gamma^* \cdot H^2 \cdot (1 \pm k_v) \cdot K + E_{ws} + E_{wd}$$

E_{ws} = spinta statica acqua ; K = coefficiente di Mononobe-Okabe

E_{wd} = spinta dinamica acqua (Westergaard)

Alta permeabilità ($k > 5 \times 10^{-4} \text{m/s}$)

$$E_{wd} = 7/12 k_h \gamma_w H^2$$

$$\gamma^* = \gamma - \gamma_w$$

$$\text{tg } \vartheta = \frac{\gamma_s}{\gamma_s - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp K_v}$$

γ_s = peso specifico dei grani

Bassa permeabilità ($k < 5 \times 10^{-4} \text{m/s}$)

$$E_{wd} = 0$$

$$\gamma^* = \gamma - \gamma_w$$

$$\text{tg } \vartheta = \frac{\gamma}{\gamma - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp K_v}$$

γ = peso di volume terreno naturale

Spinta statica dell'acqua	E_{ws}	88.621 [kN/m]
Spinta idrodinamica dell'acqua	E_{wd}	11 [kN/m]
Spinta totale del terreno nel caso sismico	$S_{H,sism}$	206 [kN/m]
Spinta totale del terreno nel caso sismico	$E_d = E_{ws} + E_{wd} + S_{H,sism}$	306 [kN/m]



PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA
FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346
Relazione di calcolo vasca volante

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0400003	A	21 di 39

9 COMBINAZIONI DI CARICO

COEFFICIENTI PARZIALI DI SICUREZZA

Carichi	Effetto	Coeff.	EQU/UPL	A1 (STR)	A2 (GEO)	SLE	Sism
Carichi Permanenti	favorevole	γ_{G1}	0.9	1	1	1	1
	sfavorevole		1.1	1.35	1	1	1
Carichi Permanenti non strutturali	favorevole	γ_{G2}	0	0	0	1	1
	sfavorevole		1.5	1.35	1.3	1	1
Variabili da traffico	favorevole	γ_Q	0	0	0	0	0
	sfavorevole		1.35	1.35	1.15	1	0
Variabili	favorevole	γ_Q	0	0	0	0	0
	sfavorevole		1.5	1.5	1.3	1	1
Ritiro e viscosità, variazioni termiche	favorevole	γ_Q	0	0	0	0	0
	sfavorevole		1.2	1.2	1	1	1

Parametro		Coeff.	M1	M2	SLE	SLE
angolo d'attrito	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1	1.25	1	1
coesione	c'_k	$\gamma_{c'}$	1	1.25	1	1
resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1	1.4	1	1
peso unità di volume	γ	γ_g	1	1	1	1

Coefficienti parziali per azione ψ			
CARICHI	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Carichi variabili su testa muro	0.60	0.60	0.00
Carichi variabili su terrapieno	0.60	0.60	0.00
Carichi variabili su testa muro in fase sismica	0.00	0.00	0.50
Carichi variabili su terrapieno in fase sismica	0.00	0.00	0.50
Carichi variabili da traffico	0.75	0.75	0.00



PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA
FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346
Relazione di calcolo vasca volante

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0400003	A	22 di 39

Combinazione massima spinta terreno

Spinta terreno M1 = Spinta terreno SLE

<i>Spinta Terreno</i>	$\sigma_{R,sx}$	$\sigma_{R,dx}$	$\sigma_{T,sx}$	$\sigma_{T,dx}$	$\sigma_{w,sx}$	$\sigma_{w,dx}$
Spinta Terreno C1	0.52	0.52	0.52	0.52	1	1
Spinta Terreno C2	0.35	0.35	0.35	0.35	1	1
Spinta Terreno C3	0.52	0.35	0.52	0.35	1	1
Spinta Terreno C4	0.35	0.52	0.35	0.52	1	1

Spinta terreno M2

<i>Spinta Terreno</i>	$\sigma_{R,sx}$	$\sigma_{R,dx}$	$\sigma_{T,sx}$	$\sigma_{T,dx}$	$\sigma_{w,sx}$	$\sigma_{w,dx}$
Spinta Terreno C1	0.60	0.60	0.60	0.60	1	1
Spinta Terreno C2	0.42	0.42	0.42	0.42	1	1
Spinta Terreno C3	0.60	0.42	0.60	0.42	1	1
Spinta Terreno C4	0.42	0.60	0.42	0.60	1	1

I numeri in tabella rappresentano il prodotto tra i coefficienti di spinta e i coefficienti parziali sulle azioni

Carichi combinati

- G_1** =
 Peso proprio muro
 Forza orizzontale permanente su testa muro
 Forza verticale permanente su testa muro
 Coppia permanente su testa muro
- G_2** =
 Spinta terreno
 Spinta Acqua statica
 Spinta dovuta a pressione uniforme permanente su terrapieno
- $G_{2,ism}$** =
 Spinta dovuta a pressione uniforme permanente su terrapieno
- Q_1** =
 Azioni variabili da traffico
- Q_2** =
 Forza orizzontale variabile su testa muro
 Forza verticale variabile su testa muro
 Coppia variabile su testa muro
- E_x** =
 Forza di inerzia orizzontale piedritti
 Incremento sismico secondo il metodo di Mononobe-Okabe



PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA
FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346
Relazione di calcolo vasca volante

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0400003	A	23 di 39

$E_z =$ Forza di inerzia verticale piedritti

Combinazione di verifica

SLU A1-M1	G ₁	G ₂	Q ₁	Q ₂
SLU 1	1.35	1.35	0	0
SLU 2	1.35	1.35	1.35	0.90
SLU 3	1.35	1.35	0.81	1.50

SLU A2-M2	G ₁	G ₂	Q ₁	Q ₂
SLU 4	1.00	1.30	0	0
SLU 5	1.00	1.30	1.35	0.90
SLU 6	1.00	1.30	0.81	1.30

SISMICA/M2	G ₁	G _{2,sism}	Q ₁	Q ₂	E _x	E _z
SLU 7	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00
SLU 8	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	-1.00
SLU 9	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00
SLU 10	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	-1.00
SLU 11	1.00	1.00	0.00	0.50	1.00	1.00
SLU 12	1.00	1.00	0.00	0.50	1.00	-1.00

SLR QP	G ₁	G ₂	Q ₁	Q ₂
SLE 1	1.00	1.00	0.00	0.00
SLE 2	1.00	1.00	0.00	0.00

SLR FREQ	G ₁	G ₂	Q ₁	Q ₂
SLE 3	1.00	1.00	0.75	0.00
SLE 4	1.00	1.00	0.00	0.60

SLR RARA	G ₁	G ₂	Q ₁	Q ₂
SLE 5	1.00	1.00	1.00	0.00
SLE 6	1.00	1.00	0.00	1.00



PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA
FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346
Relazione di calcolo vasca volano

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0400003	A	24 di 39

10 SOLLECITAZIONI

Di seguito si riportano l'involuppo delle caratteristiche di sollecitazione ottenute sulla struttura.

10.1 STATO LIMITE ULTIMO

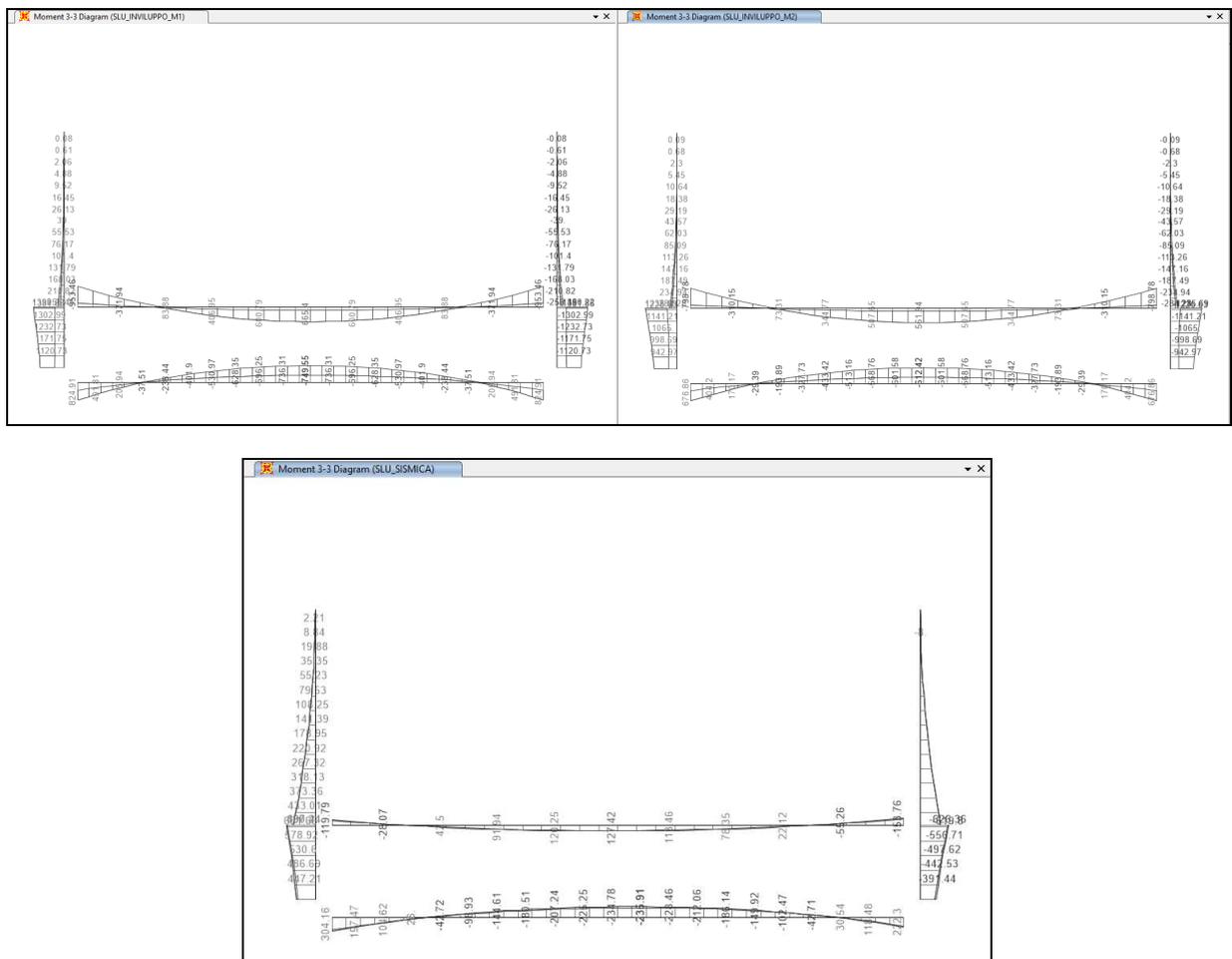


Figura 3: Involuppi Diagrammi Momenti



PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA
FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346
Relazione di calcolo vasca volano

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0400003	A	25 di 39

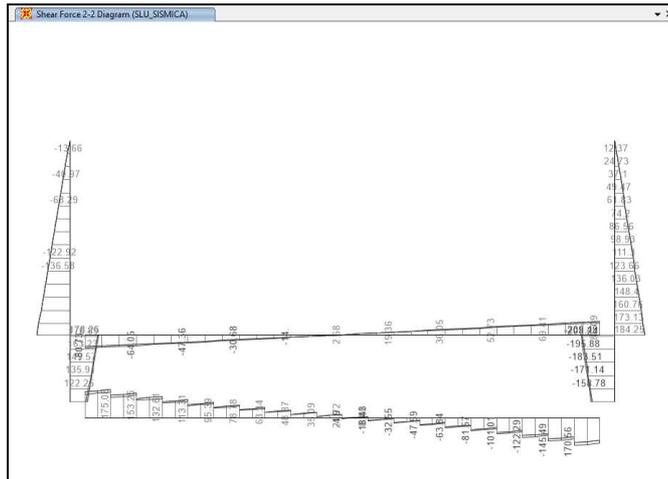
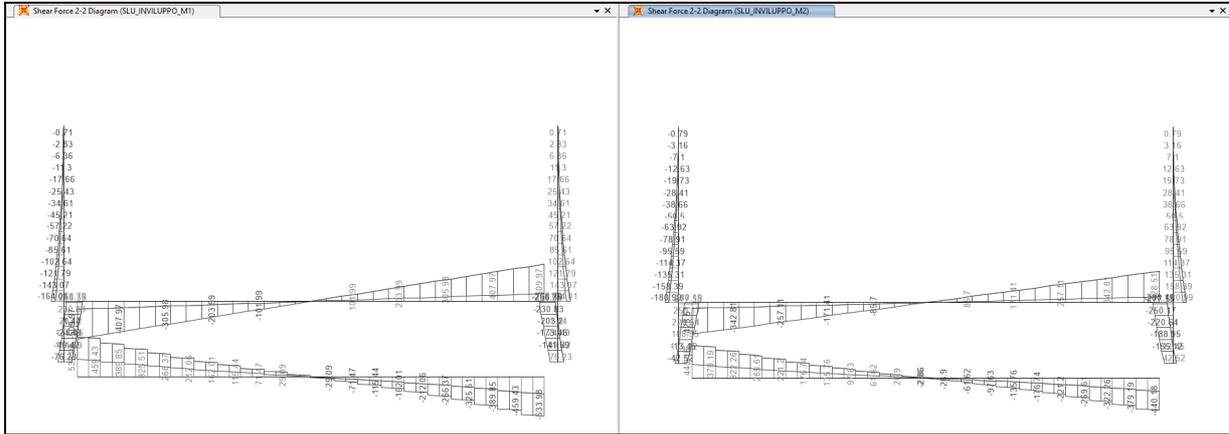


Figura 4: Involuppi Diagrammi Taglio



PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA
FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346
Relazione di calcolo vasca volano

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0400003	A	26 di 39

10.2 STATO LIMITE ESERCIZIO

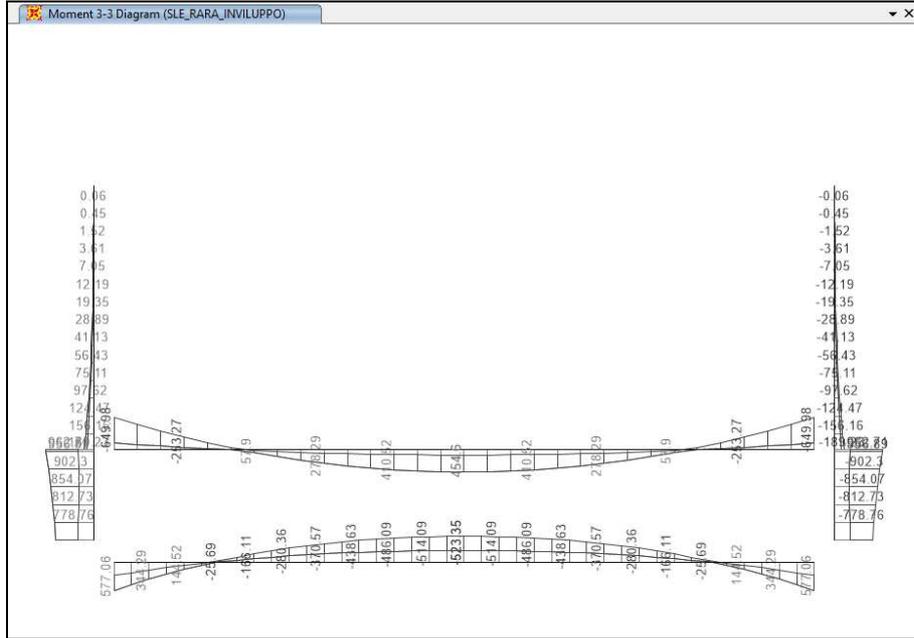


Figura 5: Involuppi Diagramma Momenti

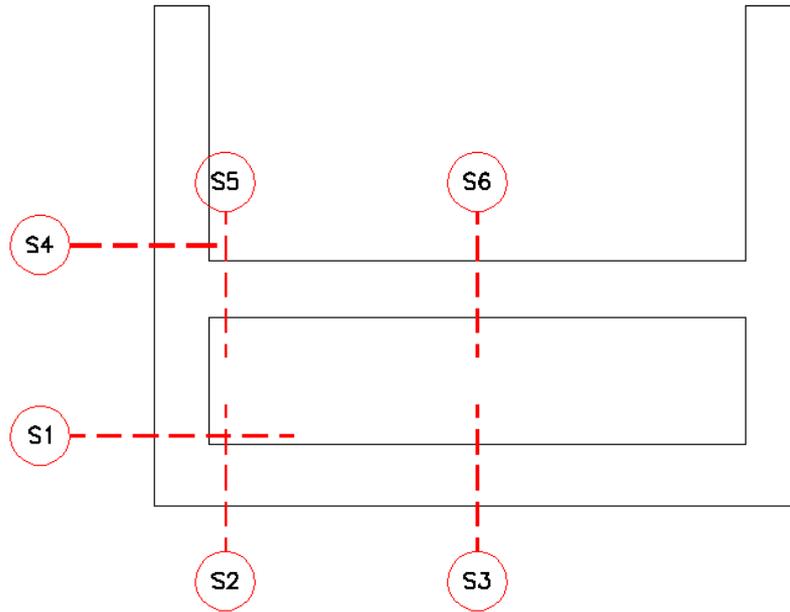


PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA
FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346
Relazione di calcolo vasca volano

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0400003	A	27 di 39

10.3 SEZIONI DI PROGETTO





PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA
FASE 2 - QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

SL04 - Prolungamento sottovia via della Stazione km 13+346
 Relazione di calcolo vasca volano

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0400003	A	28 di 39

11 VERIFICHE SEZIONE 1

11.1 SLU -PRESSOFLESSIONE

Verifica C.A. S.L.U. - File: 561616161

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

TITOLO : _____

N° strati barre 3 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	100	1	26.55	6.3
			2	26.55	89.10
			3	53.09	93.30

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 85 0 kN
 M_{xEd} 1390 0 kNm
 M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd} 2713 kN m

Materiali

B450C C32/40

ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200 000 N/mm² f_{cd} 18.81 N/mm²
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ϵ_{syd} 1.957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 12.25 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
 τ_{cl} 2.114

σ_c -18.81 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 19.47 ‰
 d 93.3 cm
 x 14.22 x/d 0.1524
 δ 0.7

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo

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

Tipo flessione

Retta Deviata

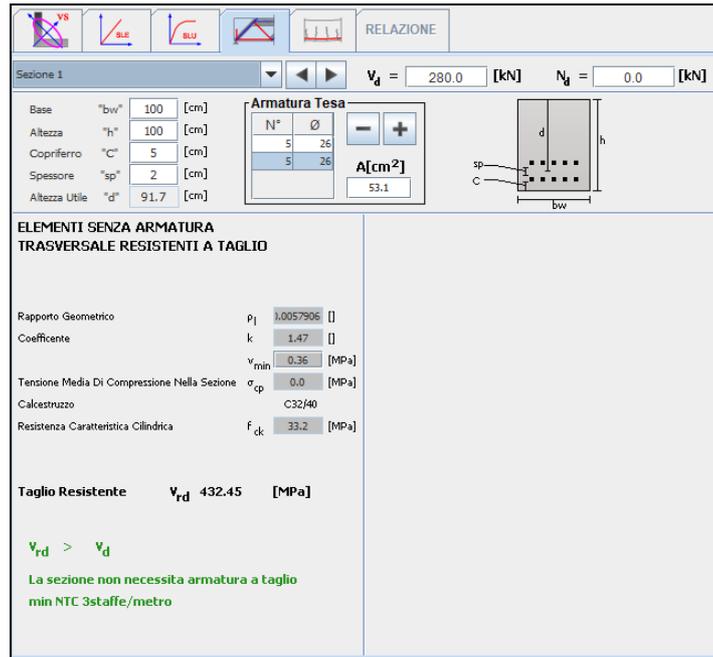
N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

11.2 SLU – TAGLIO



RELAZIONE

Sezione 1 $V_d = 280.0$ [kN] $N_d = 0.0$ [kN]

Base "bw"	100	[cm]
Altezza "h"	100	[cm]
Copriferro "c"	5	[cm]
Spessore "sp"	2	[cm]
Altezza Utile "d"	91.7	[cm]

Armatura Tesa

N°	Ø
5	26
5	26

A[cm²]
53.1

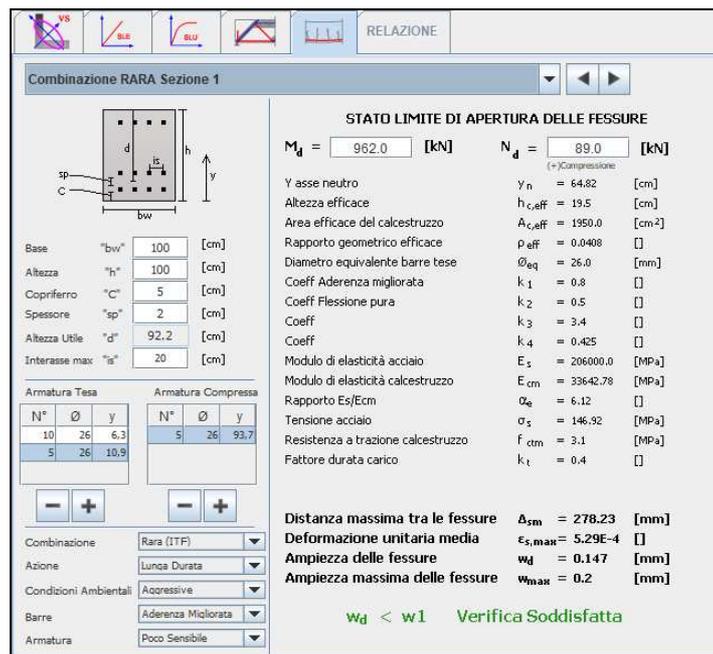
ELEMENTI SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTI A TAGLIO

Rapporto Geometrico $\rho_l = 1.0057906$ []
Coefficiente $k = 1.47$ []
 $v_{min} = 0.36$ [MPa]
Tensione Media Di Compressione Nella Sezione $\sigma_{cp} = 0.0$ [MPa]
Calcestruzzo C32/40
Resistenza Caratteristica Cilindrica $f_{ck} = 33.2$ [MPa]

Taglio Resistente $V_{rd} = 432.45$ [MPa]

$V_{rd} > V_d$
La sezione non necessita armatura a taglio
min NTC 3staffe/metro

11.3 SLE – FESSURAZIONE



RELAZIONE

Combinazione RARA Sezione 1

STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE

$M_d = 962.0$ [kN] $N_d = 89.0$ [kN] (+)Compressione

Y asse neutro $y_n = 64.82$ [cm]
Altezza efficace $h_{c,eff} = 19.5$ [cm]
Area efficace del calcestruzzo $A_{c,eff} = 1950.0$ [cm²]
Rapporto geometrico efficace $\rho_{eff} = 0.0408$ []
Diametro equivalente barre tese $\phi_{eq} = 26.0$ [mm]
Coeff Aderenza migliorata $k_1 = 0.8$ []
Coeff Flessione pura $k_2 = 0.5$ []
Coeff $k_3 = 3.4$ []
Coeff $k_4 = 0.425$ []
Modulo di elasticità acciaio $E_s = 206000.0$ [MPa]
Modulo di elasticità calcestruzzo $E_{cm} = 33642.78$ [MPa]
Rapporto Es/Ecm $\alpha_e = 6.12$ []
Tensione acciaio $\sigma_s = 146.92$ [MPa]
Resistenza a trazione calcestruzzo $f_{ctm} = 3.1$ [MPa]
Fattore durata carico $k_{ft} = 0.4$ []

Distanza massima tra le fessure $\Delta s_m = 278.23$ [mm]
Deformazione unitaria media $\epsilon_{s,max} = 5.29E-4$ []
Ampiezza delle fessure $w_d = 0.147$ [mm]
Ampiezza massima delle fessure $w_{max} = 0.2$ [mm]

$w_d < w_1$ Verifica Soddisfatta

Base "bw"	100	[cm]
Altezza "h"	100	[cm]
Copriferro "c"	5	[cm]
Spessore "sp"	2	[cm]
Altezza Utile "d"	92.2	[cm]
Interasse max "s"	20	[cm]

Armatura Tesa

N°	Ø	y
10	26	6.3
5	26	10.9

Armatura Compressa

N°	Ø	y
5	26	93.7

Combinazione: Rara (ITF)
Azione: Lunga Durata
Condizioni Ambientali: Aggressive
Barre: Aderenza Migliorata
Armatura: Poco Sensibile

12 VERIFICHE SEZIONE 2

12.1 SLU – FLESSIONE

Verifica C.A. S.L.U. - File: 561616161

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

Titolo : _____

N° strati barre 3 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	80	1	26.55	6.3
			2	26.55	68.50
			3	40.21	73.40

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Diagramma della sezione rettangolare con barre e assi di riferimento.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
 M_{xEd} 824 kNm
 M_{yEd} 0 kNm

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

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snerato

M_{xRd} 1728 kNm

Materiali
 B450C C32/40
 ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200 000 N/mm² f_{cd} 18.81 ‰
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ε_{syd} 1.957 ‰ σ_{c,adm} 12.25 N/mm²
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
 τ_{c1} 2.114

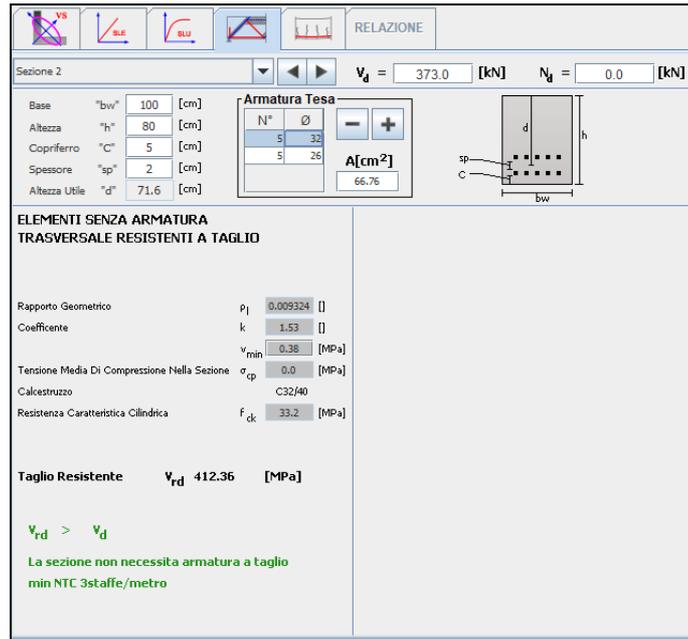
σ_c -18.81 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ε_c 3.5 ‰
 ε_s 18.68 ‰
 d 73.4 cm
 x 11.58 x/d 0.1578
 δ 0.7

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

Tipo flessione
 Retta Deviate

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

12.2 SLU – TAGLIO



Sezione 2 $V_d = 373.0$ [kN] $N_d = 0.0$ [kN]

Base "bw" 100 [cm]
Altezza "h" 80 [cm]
Copriferro "C" 5 [cm]
Spessore "sp" 2 [cm]
Altezza Utile "d" 71.6 [cm]

Armatura Tesa

N°	Ø
5	32
5	26

A[cm²]
66.76

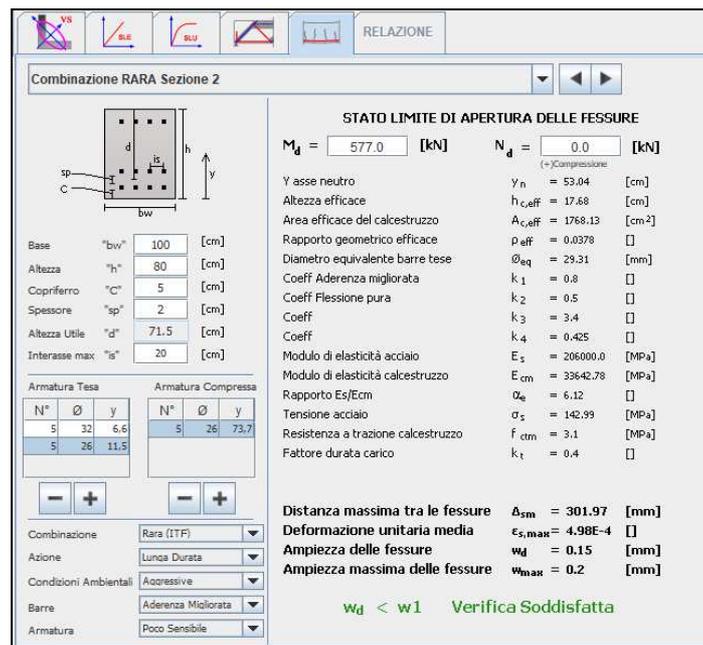
ELEMENTI SENZA ARMATURA
TRASVERSALE RESISTENTI A TAGLIO

Rapporto Geometrico $\rho_l = 0.009324$ []
Coefficiente $k = 1.53$ []
Tensione Media Di Compressione Nella Sezione $\sigma_{cp} = 0.0$ [MPa]
Calcestruzzo C32/40
Resistenza Caratteristica Cilindrica $f_{ck} = 33.2$ [MPa]

Taglio Resistente $V_{rd} = 412.36$ [MPa]

$V_{rd} > V_d$
La sezione non necessita armatura a taglio
min NTC 3staffe/metro

12.3 SLE – FESSURAZIONE



Combinazione RARA Sezione 2

STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE

$M_d = 577.0$ [kN] $N_d = 0.0$ [kN]

Y asse neutro $y_n = 53.04$ [cm]
Altezza efficace $h_{c,eff} = 17.68$ [cm]
Area efficace del calcestruzzo $A_{c,eff} = 1768.13$ [cm²]
Rapporto geometrico efficace $\rho_{eff} = 0.0378$ []
Diametro equivalente barre tese $\phi_{eq} = 29.31$ [mm]
Coeff Aderenza migliorata $k_1 = 0.8$ []
Coeff Flessione pura $k_2 = 0.5$ []
Coeff $k_3 = 3.4$ []
Coeff $k_4 = 0.425$ []
Modulo di elasticità acciaio $E_s = 206000.0$ [MPa]
Modulo di elasticità calcestruzzo $E_{cm} = 33642.78$ [MPa]
Rapporto Es/Ecm $\alpha_e = 6.12$ []
Tensione acciaio $\sigma_s = 142.99$ [MPa]
Resistenza a trazione calcestruzzo $f_{ctm} = 3.1$ [MPa]
Fattore durata carico $k_t = 0.4$ []

Distanza massima tra le fessure $\Delta s_{sm} = 301.97$ [mm]
Deformazione unitaria media $\epsilon_{s,max} = 4.98E-4$ []
Ampiezza delle fessure $w_d = 0.15$ [mm]
Ampiezza massima delle fessure $w_{max} = 0.2$ [mm]

$w_d < w_1$ Verifica Soddisfatta

13 VERIFICHE SEZIONE 3

13.1 SLU – FLESSIONE

Verifica C.A. S.L.U. - File: 561616161

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

Titolo : _____

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	80

N°	As [cm²]	d [cm]
1	26.55	6.3
2	26.55	68.50
3	26.55	73.40

Tipologia sezione:
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Diagramma della sezione:

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

Tipologia rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipologia flessione:
 Retta Deviata

Materiali: B450C C32/40

ϵ_{su} 67.5 ‰	ϵ_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391.3 N/mm ²	ϵ_{cu} 3.5 ‰
E_s 200 000 N/mm ²	f_{cd} 18.81
E_s/E_c 15	f_{cc}/f_{cd} 0.8
ϵ_{syd} 1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 12.25
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm ²	τ_{co} 0.7333
	τ_{c1} 2.114

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 23.51 ‰
d 73.4 cm
x 9.512 x/d 0.1296
 δ 0.7

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ cm Col. modello

Precompresso

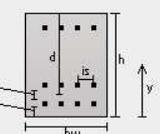
13.2 SLU – TAGLIO

Non viene effettuata verifica essendo la sezione non sollecitata a taglio

13.3 SLE – FESSURAZIONE

RELAZIONE

Combinazione RARA Sezione 3



Base "bw" = 100 [cm]
 Altezza "h" = 80 [cm]
 Copriferro "C" = 5 [cm]
 Spessore "sp" = 2 [cm]
 Altezza Utile "d" = 71.4 [cm]
 Interasse max "is" = 20 [cm]

Armatura Tesa			Armatura Compressa		
N°	Ø	y	N°	Ø	y
5	26	6.3	5	26	73.7
5	26	10.9			

STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE

$M_d = 523.0$ [kN] $N_d = 0.0$ [kN]
(+YCompressione)

Y asse neutro $y_n = 55.47$ [cm]
 Altezza efficace $h_{c,eff} = 18.49$ [cm]
 Area efficace del calcestruzzo $A_{c,eff} = 1849.17$ [cm²]
 Rapporto geometrico efficace $\rho_{eff} = 0.0287$ []
 Diametro equivalente barre tese $\phi_{eq} = 26.0$ [mm]
 Coeff Aderenza migliorata $k_1 = 0.8$ []
 Coeff Flessione pura $k_2 = 0.5$ []
 Coeff $k_3 = 3.4$ []
 Coeff $k_4 = 0.425$ []
 Modulo di elasticità acciaio $E_s = 206000.0$ [MPa]
 Modulo di elasticità calcestruzzo $E_{cm} = 33642.78$ [MPa]
 Rapporto Es/Ecm $\sigma_s = 6.12$ []
 Tensione acciaio $f_{ctm} = 162.22$ [MPa]
 Resistenza a trazione calcestruzzo $f_{ctm} = 3.1$ [MPa]
 Fattore durata carico $k_t = 0.4$ []

Distanza massima tra le fessure $\Delta_{sm} = 323.94$ [mm]
 Deformazione unitaria media $\epsilon_{s,max} = 5.41E-4$ []
 Ampiezza delle fessure $w_d = 0.175$ [mm]
 Ampiezza massima delle fessure $w_{max} = 0.2$ [mm]

$w_d < w_1$ Verifica Soddisfatta

Combinazione: Rara (ITF) Azione: Lunga Durata Condizioni Ambientali: Aggressive Barre: Aderenza Migliorata Armatura: Poco Sensibile

14 VERIFICHE SEZIONE 4

14.1 SLU – PRESSOFLESSIONE

Verifica C.A. S.L.U. - File: 561616161

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	75	1	26.55	6.3
			2	26.55	68.7

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

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

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd} kNm

σ_c N/mm²
σ_s N/mm²
ε_c ‰
ε_s ‰
d cm
x x/d
δ

Materiali

B450C **C32/40**

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} ‰

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo

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

Tipo flessione

Retta Deviata

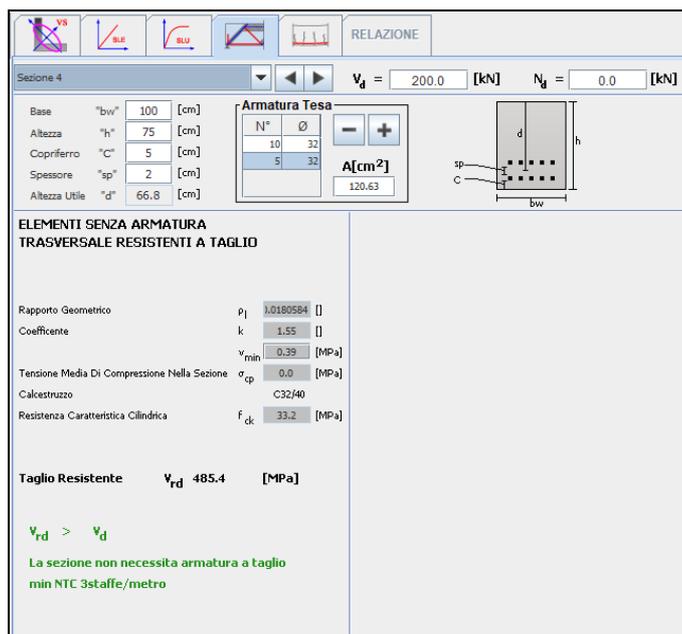
N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ cm Col. modello

Precompresso

14.2 SLU – TAGLIO



Sezione 4 $V_d = 200.0$ [kN] $N_d = 0.0$ [kN]

Base "bw" 100 [cm]
Altezza "h" 75 [cm]
Copriferro "C" 5 [cm]
Spessore "sp" 2 [cm]
Altezza Utile "d" 66.8 [cm]

Armatura Tesa
N° 10 Ø 32
5 32
A [cm²] 120.63

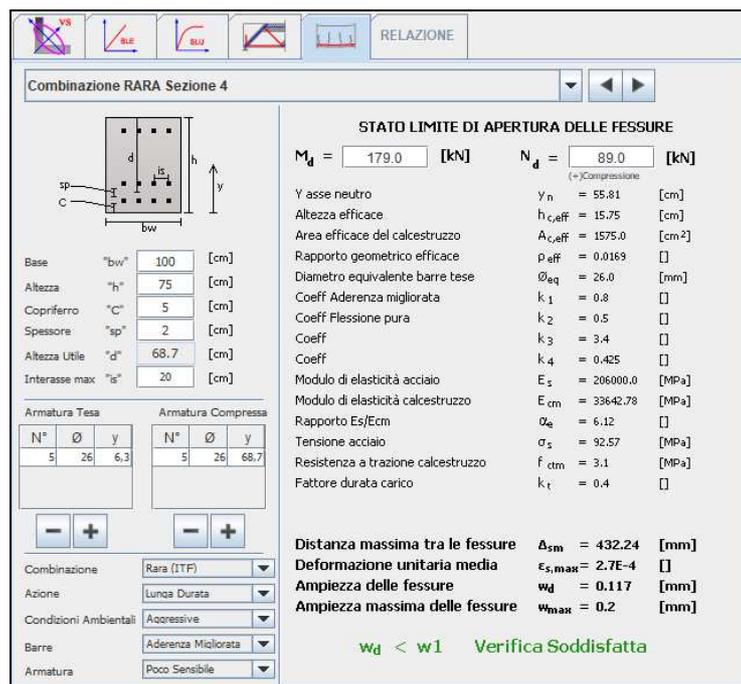
ELEMENTI SENZA ARMATURA
TRASVERSALE RESISTENTI A TAGLIO

Rapporto Geometrico ρ_l 0.0180584 []
Coefficiente k 1.55 []
Tensione Media Di Compressione Nella Sezione σ_{sp} 0.0 [MPa]
Calcestruzzo C32/40
Resistenza Caratteristica Cilindrica f_{ck} 33.2 [MPa]

Taglio Resistente V_{rd} 485.4 [MPa]

$V_{rd} > V_d$
La sezione non necessita armatura a taglio
min NTC 3staffe/metro

14.3 SLE – FESSURAZIONE



Combinazione RARA Sezione 4

STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE

$M_d = 179.0$ [kN] $N_d = 89.0$ [kN] (=Compressione)

Y asse neutro $y_n = 55.81$ [cm]
Altezza efficace $h_{c,eff} = 15.75$ [cm]
Area efficace del calcestruzzo $A_{c,eff} = 1575.0$ [cm²]
Rapporto geometrico efficace $\rho_{eff} = 0.0169$ []
Diametro equivalente barre tese $\phi_{eq} = 26.0$ [mm]
Coeff Aderenza migliorata $k_1 = 0.8$ []
Coeff Flessione pura $k_2 = 0.5$ []
Coeff $k_3 = 3.4$ []
Coeff $k_4 = 0.425$ []
Modulo di elasticità acciaio $E_s = 206000.0$ [MPa]
Modulo di elasticità calcestruzzo $E_{cm} = 33642.78$ [MPa]
Rapporto Es/Ecm $\alpha_e = 6.12$ []
Tensione acciaio $\sigma_s = 92.57$ [MPa]
Resistenza a trazione calcestruzzo $f_{ctm} = 3.1$ [MPa]
Fattore durata carico $k_t = 0.4$ []

Distanza massima tra le fessure $\Delta s_m = 432.24$ [mm]
Deformazione unitaria media $\epsilon_{s,max} = 2.7E-4$ []
Ampiezza delle fessure $w_d = 0.117$ [mm]
Ampiezza massima delle fessure $w_{max} = 0.2$ [mm]

$w_d < w_l$ Verifica Soddisfatta

15 VERIFICHE SEZIONE 5

15.1 SLU – FLESSIONE

Verifica C.A. S.L.U. - File: 561616161

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	26.55	6.3
2	40.21	38.20
3	80.42	43.40

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

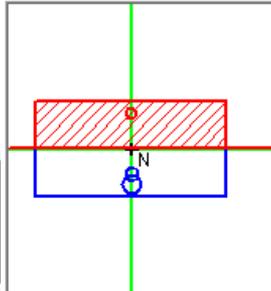
Precompresso

Materiali

B450C	C32/40
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="18.81"/> ‰
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"/> ‰	σ _{c,adm} <input type="text" value="12.25"/>
σ _{s,adm} <input type="text" value="255"/> N/mm ²	τ _{co} <input type="text" value="0.7333"/>
	τ _{c1} <input type="text" value="2.114"/>

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²
σ_s N/mm²
ε_c ‰
ε_s ‰
d cm
x x/d
δ



15.2 SLU – TAGLIO

RELAZIONE

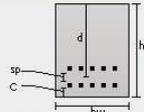
Sezione 5 $V_d = 347.0$ [kN] $N_d = 0.0$ [kN]

Base "bw"	100	[cm]
Altezza "h"	50	[cm]
Copriferro "C"	5	[cm]
Spessore "sp"	2	[cm]
Altezza Utile "d"	41.8	[cm]

Armatura Tesa

N°	Ø
10	32
5	32

A [cm²]
120.63



**ELEMENTI SENZA ARMATURA
TRASVERSALE RESISTENTI A TAGLIO**

Rapporto Geometrico $\rho_l = 0.02$ []

Coefficiente $k = 1.69$ []

Tensione Media Di Compressione Nella Sezione $\sigma_{cp} = 0.0$ [MPa]

Calcestruzzo C32/40

Resistenza Caratteristica Cilindrica $f_{ck} = 33.2$ [MPa]

Taglio Resistente $V_{rd} = 343.62$ [MPa]

$V_{rd} < V_d$

La sezione necessita di armatura a taglio

**ELEMENTI CON ARMATURA
TRASVERSALE RESISTENTI A TAGLIO**

Diametro Delle Staffe .. 12 [mm]

Numero Braccia .. 5 []

Passo delle staffe .. 20 [cm]

Inclinazione Puntone Compresso .. 45.02 [°]

Inclinazione Staffe .. 90 [°]

Area Armatura Trasversale a Taglio .. 565.49 [mm²]

Coef. maggiorativo .. 1.0 []

Cotangente di θ Auto ($V_{rsd} = V_{rcd}$) $\theta = 1$ []

$f_{yd} = 391.3$ [MPa]

Resistenza a compressione ridotta $0.5 f_{cd} = 9.41$ [MPa]

Resistenza offerta dall'armatura a taglio = 416.2 [kN]

Resistenza offerta dai puntoni = 1769.4 [kN]

Taglio Resistente $V_{rd} = 416.2$ [kN]

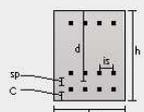
$V_{rd} > V_d$

La sezione è verificata a taglio

15.3 SLE – FESSURAZIONE

RELAZIONE

Combinazione RARA Sezione 5



Base "bw"	100	[cm]
Altezza "h"	50	[cm]
Copriferro "C"	5	[cm]
Spessore "sp"	2	[cm]
Altezza Utile "d"	39.9	[cm]
Interasse max "s"	20	[cm]

Armatura Tesa

N°	Ø	y
5	32	6.6
10	32	11.8

Armatura Compressa

N°	Ø	y
5	26	43.7

STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE

$M_d = 650.0$ [kN] $N_d = 0.0$ [kN] (+)Compressione

Y asse neutro $y_n = 27.55$ [cm]

Altezza efficace $h_{c,eff} = 9.18$ [cm]

Area efficace del calcestruzzo $A_{c,eff} = 918.29$ [cm²]

Rapporto geometrico efficace $\rho_{eff} = 0.1314$ []

Diametro equivalente barre tese $\phi_{eq} = 32.0$ [mm]

Coef Aderenza migliorata $k_1 = 0.8$ []

Coef Flessione pura $k_2 = 0.5$ []

Coef $k_3 = 3.4$ []

Coef $k_4 = 0.425$ []

Modulo di elasticità acciaio $E_s = 206000.0$ [MPa]

Modulo di elasticità calcestruzzo $E_{cm} = 33642.78$ [MPa]

Rapporto Es/Ecm $\alpha_e = 6.12$ []

Tensione acciaio $\sigma_s = 195.45$ [MPa]

Resistenza a trazione calcestruzzo $f_{ctm} = 3.1$ [MPa]

Fattore durata carico $k_{rt} = 0.4$ []

Distanza massima tra le fessure $\Delta s_{sm} = 211.41$ [mm]

Deformazione unitaria media $\epsilon_{s,max} = 8.66E-4$ []

Ampiezza delle fessure $w_d = 0.183$ [mm]

Ampiezza massima delle fessure $w_{max} = 0.2$ [mm]

$w_d < w_1$ Verifica Soddisfatta

16 VERIFICHE SEZIONE 6

16.1 SLU – FLESSIONE

Verifica C.A. S.L.U. - File: 561616161

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	26.55	6.3
			2	40.21	38.20
			3	40.21	43.40

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

File

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

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

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		C32/40	
E _{su}	67.5 ‰	E _{c2}	2 ‰
f _{yd}	391.3 N/mm²	E _{cu}	3.5 ‰
E _s	200 000 N/mm²	f _{cd}	18.81
E _s /E _c	15	f _{cc} /f _{cd}	0.8
E _{syd}	1.957 ‰	σ _{c,adm}	12.25
σ _{s,adm}	255 N/mm²	τ _{co}	0.7333
		τ _{c1}	2.114

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ε_c ‰
 ε_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

16.2 SLU – TAGLIO

Non viene effettuata verifica essendo la sezione non sollecitata a taglio

16.3 SLE – FESSURAZIONE

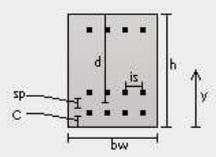






RELAZIONE

Combinazione RARA Sezione 6



STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE

$M_d = 454.0$ [kN] $N_d = 0.0$ [kN]

(+)Compressione

Y asse neutro $y_n = 30.1$ [cm]
 Altezza efficace $h_{c,eff} = 10.03$ [cm]
 Area efficace del calcestruzzo $A_{c,eff} = 1003.36$ [cm²]
 Rapporto geometrico efficace $\rho_{eff} = 0.0802$ []
 Diametro equivalente barre tese $\phi_{eq} = 32.0$ [mm]
 Coeff Aderenza migliorata $k_1 = 0.8$ []
 Coeff Flessione pura $k_2 = 0.5$ []
 Coeff $k_3 = 3.4$ []
 Coeff $k_4 = 0.425$ []
 Modulo di elasticità acciaio $E_s = 206000.0$ [MPa]
 Modulo di elasticità calcestruzzo $E_{cm} = 33642.78$ [MPa]
 Rapporto E_s/E_{cm} $\sigma_e = 6.12$ []
 Tensione acciaio $\sigma_s = 183.65$ [MPa]
 Resistenza a trazione calcestruzzo $f_{ctm} = 3.1$ [MPa]
 Fattore durata carico $k_t = 0.4$ []

Distanza massima tra le fessure $\Delta_{sm} = 237.87$ [mm]
Deformazione unitaria media $\epsilon_{s,max} = 7.8E-4$ []
Ampiezza delle fessure $w_d = 0.185$ [mm]
Ampiezza massima delle fessure $w_{max} = 0.2$ [mm]

$w_d < w_1$ Verifica Soddisfatta

Armatura Tesa			Armatura Compressa		
N°	Ø	y	N°	Ø	y
5	32	6,6	5	26	43,7
5	32	11,8			

Base "bw" = 100 [cm]
 Altezza "h" = 50 [cm]
 Copriferro "C" = 5 [cm]
 Spessore "sp" = 2 [cm]
 Altezza Utile "d" = 40.8 [cm]
 Interasse max "is" = 20 [cm]

Combinazione: Rara (ITF)
 Azione: Lunga Durata
 Condizioni Ambientali: Aggressive
 Barre: Aderenza Migliorata
 Armatura: Poco Sensibile