



REGIONE DEL VENETO

SUPERSTRADA A PEDAGGIO PEDEMONTANA VENETA

CONCESSIONARIO



SPV SpA
Via Inverio, 24/A
10146 Torino

IL DIRETTORE TECNICO:
Geom. Giovanni Salvatore D'Agostino

Società di progetto ai sensi dell'art. 156 D.LGS 163/06
subentrato all'ATI



SIS Scpa
Via Inverio, 24/A
10146 Torino

Consorzio Stabile fra le Imprese:



Sacyr Construcción S.A.



INC S.p.A.



SIPAL S.p.A.



INFRAESTRUCTURAS S.A.
Paseo de la Castellana, 83-85
28046 Madrid

CONTRAENTE GENERALE



SIS Scpa
Via Inverio, 24/A
10146 Torino

PROGETTISTA

ORDINE INGEGNERI PROVINCIA TARANTO	
Dott. Ing. TURSO Adriano n° 1400	Sezione A Settore: Civile Ambientale Industriale Informazione

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE



GEOLOGO



DIRETTORE DEI LAVORI



Il presente elaborato è Valido per Costruire solo se firmato digitalmente ai sensi del D.Lgs 82/2005

N. Progr. _____
Cartella N. _____

PROGETTO ESECUTIVO

VARIAZIONE PROGETTUALE
dal KM 79+300 al KM 79+900

LOTTO 3 - TRATTA "D"
Dal Km 75+625 al Km 87+700

TITOLO ELABORATO:

**PROGETTO DELL'INFRASTRUTTURA
OPERE D'ARTE MINORI: OPERE DI ATTRAVERSAMENTO
PC3D004-0 - CANALE S.ANDRA' - RAMO 1 - SCARICO SERESER**
Relazione di calcolo canaletta

P V V S R A P P C 3 D 0 0 4 - 0 0 1 0 0 1 0 R A 0

SCALA: -

REV.	CL	DESCRIZIONE	REDATTO	DATA	VERIFICATO	DATA	APPROVATO	DATA
0	PR	Integrazione progetto esecutivo relativa alla variazione progettuale dal km 79+300 al km 79+900	SIPAL	30/09/2020	SIPAL	01/10/2020	SIS	02/10/2020

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Elisabetta Pellegrini

VALIDAZIONE:

PROTOCOLLO : _____

DEL: _____

INDICE

<u>1. DESCRIZIONE DELLE OPERE</u>	2
1.1. LE OPERE PROGETTATE.....	2
1.2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	3
1.3. DURABILITÀ E PRESCRIZIONI DEI MATERIALI.....	3
<u>2. SCHEMATIZZAZIONE DELLE AZIONI</u>	4
2.1. GENERALITÀ.....	4
2.2. DATI SISMICI.....	4
2.3. COMBINAZIONI DI CARICO.....	5
2.4. VERIFICHE.....	5
<u>3. VERIFICHE CANALETTA IN C.A.</u>	7
3.1. AZIONI SUL CANALE IN SENSO LONGITUDINALE.....	7
3.2. AZIONI SUL CANALE IN SENSO TRASVERSALE.....	9
3.3. VERIFICHE CANALETTA IN FASE DI GETTO.....	9
3.4. VERIFICHE IN DIREZIONE LONGITUDINALE.....	11
3.5. VERIFICHE IN DIREZIONE TRASVERSALE.....	17

1. DESCRIZIONE DELLE OPERE

Il calcolo della canaletta in c.a., descritto in questo documento, è stato affrontato sulla base dei metodi di calcolo indicati dalla normativa vigente in materia e più dettagliatamente riportate nei paragrafi successivi.

Nella relazione si descrivono i problemi di carattere strutturale che sono stati affrontati nel corso della progettazione e per essi vengono espone le modalità di soluzione e le procedure di calcolo adottate per la determinazione delle dimensioni delle strutture principali.

La relazione si completa mediante una serie di elaborati che consistono in tabelle schematiche riportanti le caratteristiche della sollecitazione utilizzate alla base della verifica degli elementi strutturali costituenti l'opera, nonché le verifiche di resistenza dei materiali, eseguite nelle sezioni più significative e maggiormente sollecitate.

1.1. LE OPERE PROGETTATE

L'opera si presenta con una sezione ad "U", costituita da una soletta inferiore di spessore 0.15m, da due montanti di spessore 0.15m e una sezione utile di dimensioni 2.00x1.50m.

La vasca sarà realizzata con un cassero metallico appoggiato alla soletta dell'impalcato e composto di lamiere saldate di spessore 8mm per le pareti verticali e 5mm per il fondo della vasca.

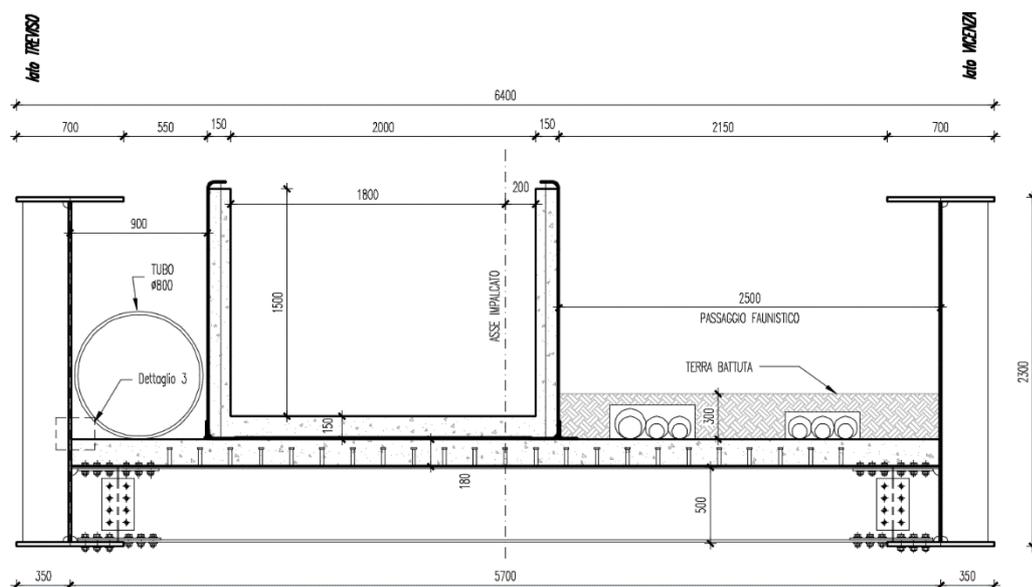
Lo spessore complessivo delle pareti e del fondo, comprensivo del getto in cls, è di 15 cm.

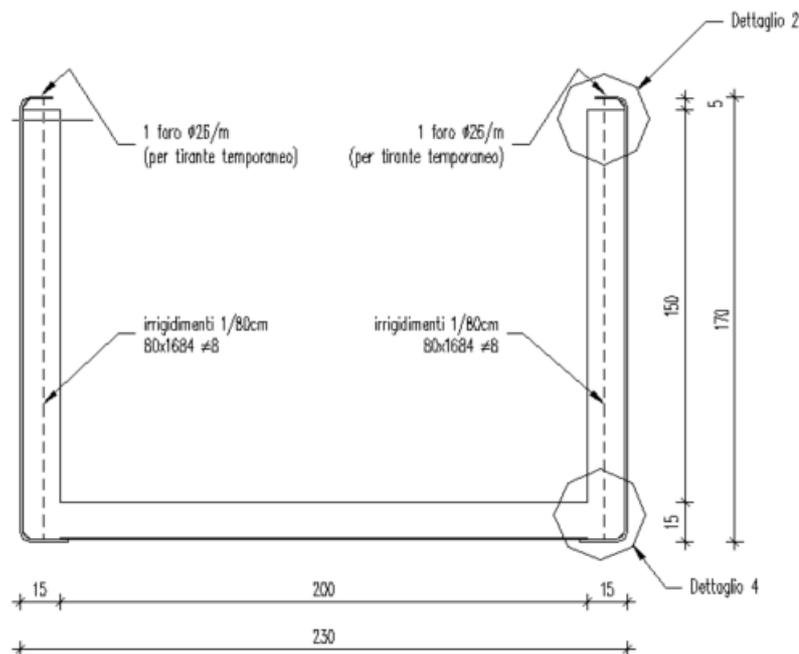
La collaborazione delle lamiere è garantita dalla predisposizione in direzione longitudinale e trasversale di pioli Nelson $\Phi 13$ h=50mm.

È prevista la rimozione dei giunti precedentemente previsti sull'opera e il giunto longitudinale della vasca è nella medesima posizione di quello tra i conci dell'impalcato metallico.

In fase di getto per limitare le deformazioni sono stati inseriti degli irrigidimenti verticali a tutta altezza 80x1684x8mm con passo 80 cm.

Si riporta di seguito la sezione trasversale di carpenteria e in esercizio.





1.2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

La progettazione degli elementi strutturali è stata condotta in conformità al quadro legislativo attualmente vigente in merito al dimensionamento delle strutture e per quanto riguarda la classificazione sismica del territorio nazionale. Le norme di riferimento adottate sono riportate nel seguito:

- Legge 5 Novembre 1971 n° 1086 – Norma per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica;
- NTC2008 – Norme Tecniche delle costruzioni - D.M. 14 Gennaio 2008;
- Norma tecnica UNI ENV 1992-1-1:1993, Eurocodice 2 progettazione delle strutture di calcestruzzo;

1.3. DURABILITÀ E PRESCRIZIONI DEI MATERIALI

Per la descrizione dettagliata dei materiali utilizzati, riferirsi alla Relazione Materiali.

2. SCHEMATIZZAZIONE DELLE AZIONI

2.1. GENERALITÀ

Il calcolo delle azioni agenti sulla canaletta, è stato svolto secondo le prescrizioni impartite dalla normativa vigente in materia e già citata nella parte introduttiva della relazione. Sono stati considerati quindi i carichi permanenti determinati dal peso proprio delle strutture e dal peso dell'acqua contenuta all'interno della canaletta, nonché la spinta esercitata dall'acqua sui piedritti. Ai fini delle verifiche strutturali sono state considerate anche le forze sismiche impresse dal terremoto di progetto.

2.2. DATI SISMICI

Di seguito si riportano i dati sismici adoperati per l'analisi strutturale dell'opera in oggetto e riferiti, a vantaggio di sicurezza, alla zona con accelerazione maggiore tra quelle ricadenti nella tratta in oggetto.

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_n	0.372 g
F_D	2.408
T_C	0.359 s
S_S	1.042
C_C	1.350
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.036
η	1.000
T_B	0.161 s
T_C	0.483 s
T_D	3.106 s

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato lim SLV

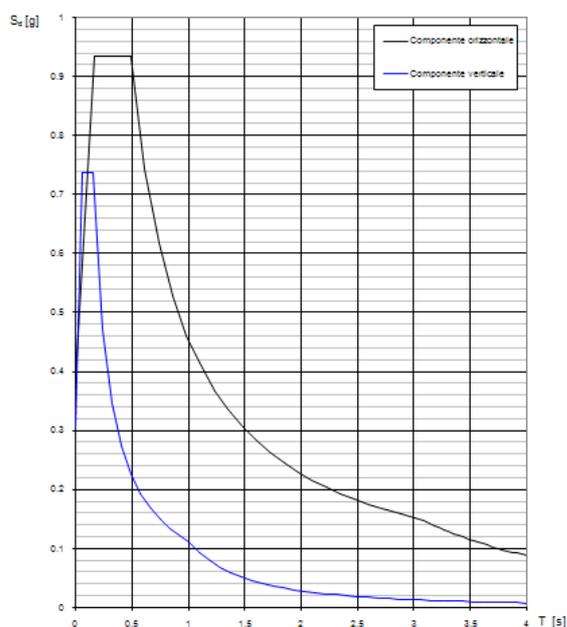


Figura 3.1: Spettri di risposta

Per la verifica sismica delle strutture si prende in considerazione lo stato limite ultimo di salvaguardia della Vita (SLV).

2.3. COMBINAZIONI DI CARICO

Di seguito si riportano i coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU ed i coefficienti ψ adoperati per le definizioni delle combinazioni di carico.

COEFFICIENTI PARZIALI

COEFFICIENTI PARZIALI PER GLI STATI LIMITE ULTIMI				
CARICHI	EQU	A1	A2	SISM
Permanenti (γ_{ei})	0.90	1.00	1.00	1.00
	1.10	1.35	1.00	1.00
Permanenti non strutturali (γ_{e2})	0.00	0.00	0.00	1.00
	1.50	1.50	1.30	1.00
Variabili (γ_{e1})	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.50	1.50	1.30	0.00
Variabili da traffico	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.50	1.35	1.15	0.00

2.4. VERIFICHE

2.4.1. Verifica di resistenza

La verifica consiste nel controllare che il valore della resistenza di calcolo risulti superiore alla sollecitazione agente.

$$R_d \geq A$$

2.4.2. Verifica a fessurazione

La verifica consiste nel controllare che il valore di calcolo dell'apertura delle fessure rispetti le limitazioni imposte dalla normativa. La normativa definisce lo 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:

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

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

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

Tabella 4.1.IV – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

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	$\leq w_1$

w_1, w_2, w_3 sono definiti al § 4.1.2.2.4.1, il valore di calcolo w_d , è definito al § 4.1.2.2.4.6.

2.4.3. Verifica delle tensioni di esercizio

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni caratteristica e quasi permanente delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo sia nelle armature; si deve verificare che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti di seguito riportati:

$$\sigma_c < 0,60 f_{ck} \text{ per combinazione caratteristica (rara)}$$

$$\sigma_c < 0,45 f_{ck} \text{ per combinazione quasi permanente}$$

$$\sigma_s < 0,8 f_{yk}$$

3. VERIFICHE CANALETTA IN C.A.

3.1. AZIONI SUL CANALE IN SENSO LONGITUDINALE

Per valutare le sollecitazioni agenti sulla canaletta in direzione longitudinale si è valutata la ripartizione dei carichi variabili tra impalcato metallico e canaletta basandosi sulla deformabilità dei due elementi. L'insieme di impalcato metallico e canaletta, appoggiata alla soletta, contribuiscono in base alle proprie caratteristiche inerziali ad assorbire la flessione agente.

La vasca ha spessore delle pareti pari a 15 cm e dimensioni interne rispettivamente pari a 200 cm in altezza e 150 cm in larghezza. Il modulo elastico del calcestruzzo è quello a tempo 0 perché la quota parte di carico affidata alla vasca è maggiore e pertanto le verifiche sono dimensionanti per tale elemento.

L'inerzia dei conci è quella attribuibile alla sezione lorda di entrambe le travi.

Dati inerzia sezioni

ID	Shape	Name	Area (cm ²)	Asy (cm ²)	Asz (cm ²)	Ixx (cm ⁴)	Iyy (cm ⁴)	Izz (cm ⁴)
1		vasca	7.95E+03			596,250	67,296,300	21,793,600
2		c1	1502		718	2,662	13,131,266	122,320,236
3		c2	1782		572	5,734	16,866,558	145,177,570

Momento flettente variabile SLE [kNm]		8,215
Condizione a tempo zero		
	Quota ripartizione su vasca	17%
	Momento flettente SLE vasca [kNm]	1,388
	Coefficiente parziale	1.50
Momento flettente variabile SLU [kNm]		12,322
Condizione a tempo zero		
	Quota ripartizione su vasca	17%
	Momento flettente SLU vasca [kNm]	2,081
Momento flettente variabile Sismico [kNm]		
Condizione a tempo zero		
	Ag/g	0.755
	Momento flettente SLU vasca [kNm]	2,435

Taglio SLE [kN]		843
Condizione a tempo zero		
	Quota ripartizione su vasca	17%
	Taglio SLE vasca [kN]	142
	Coefficiente parziale	1.50
Taglio SLU [kN]		1,264
Condizione a tempo zero		
	Quota ripartizione su vasca	17%
	Taglio SLU vasca [kN]	214
Taglio Sismico [kN]		
Condizione a tempo zero		
	Ag/g	0.755
	Taglio SLU vasca [kN]	250

3.2. AZIONI SUL CANALE IN SENSO TRASVERSALE

Lo schema utilizzato per calcolare le azioni trasversali sulle pareti è quello di mensola incastrata alla base. Il fondo è appoggiato alla soletta pertanto il momento massimo è pari a quello trasmesso dalla parete.

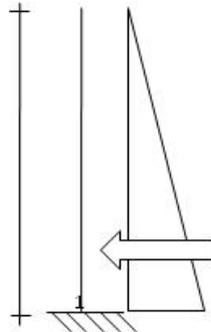


Figura 3-1: Schema di calcolo utilizzato per le pareti

Pareti

	SLU-STA	SLU-SIS	SLE
Taglio massimo alla base (kN)	15	37	11
Momento massimo alla base (kNm)	8	39	6

3.3. VERIFICHE CANALETTA IN FASE DI GETTO

Per la verifica della vasca in fase di getto è stato sviluppato un modello agli elementi finiti con il programma di calcolo MIDAS Civil 2017 v2.2. La lamiera e gli irrigidenti sono stati modellati con elementi plate.

3.3.1. Verifica di resistenza

Per la verifica è stata usata la combinazione SLU con coefficiente amplificativo $\gamma=1.5$

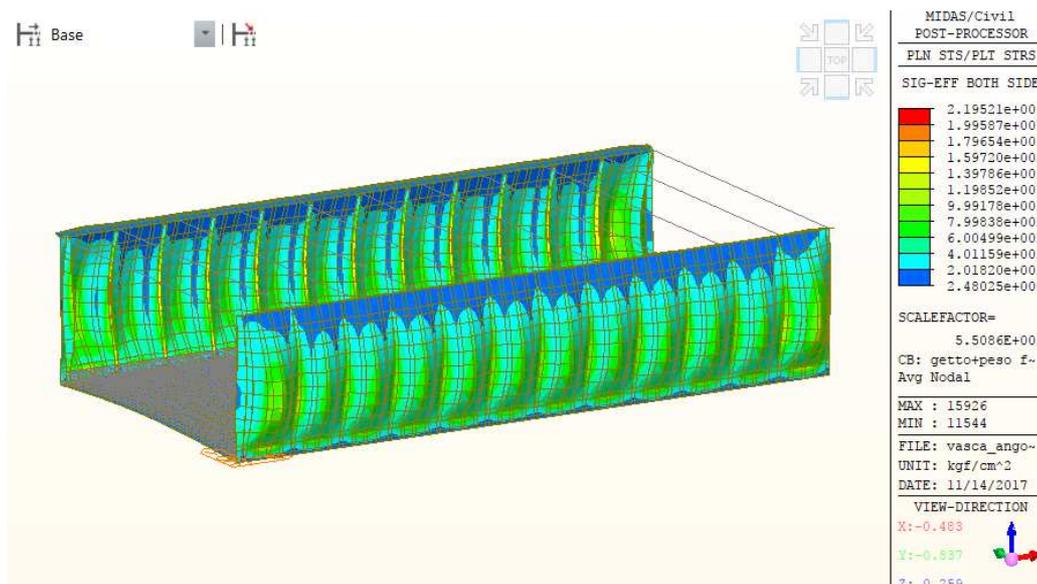


Figura 3-2 - Verifica di resistenza combinazione SLU

3.3.2. Controllo della deformabilità

Tale verifica si limita solo a dimostrare che la deformabilità della vasca in fase di getto sia contenuta per non avere un effetto ottico negativo.

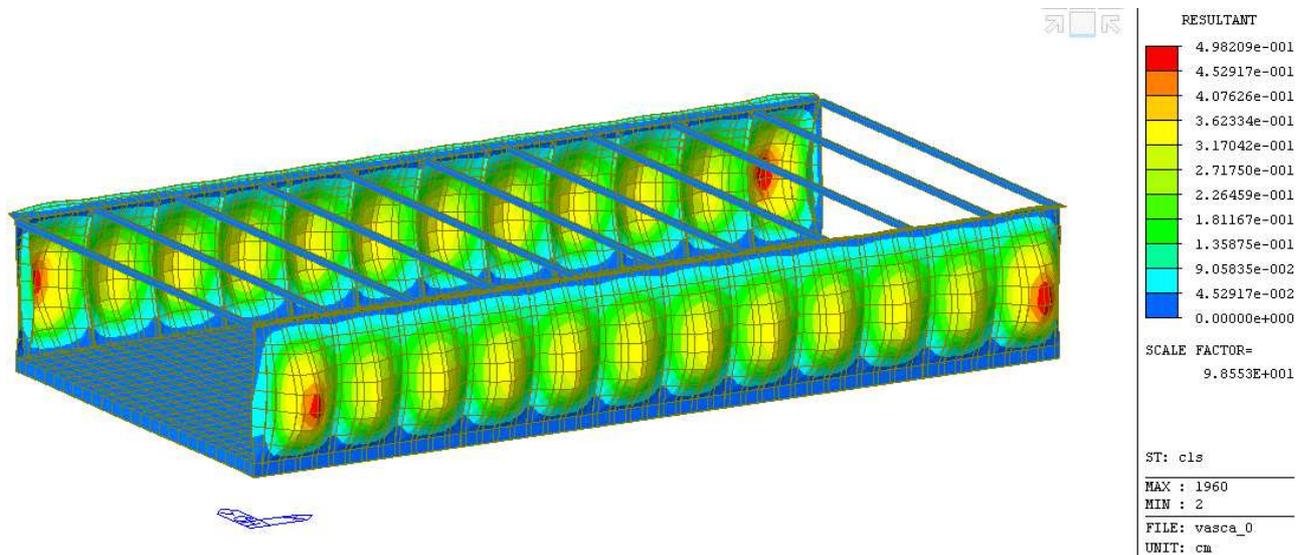


Figura 3-3 - verifica di deformazione combinazione SLE

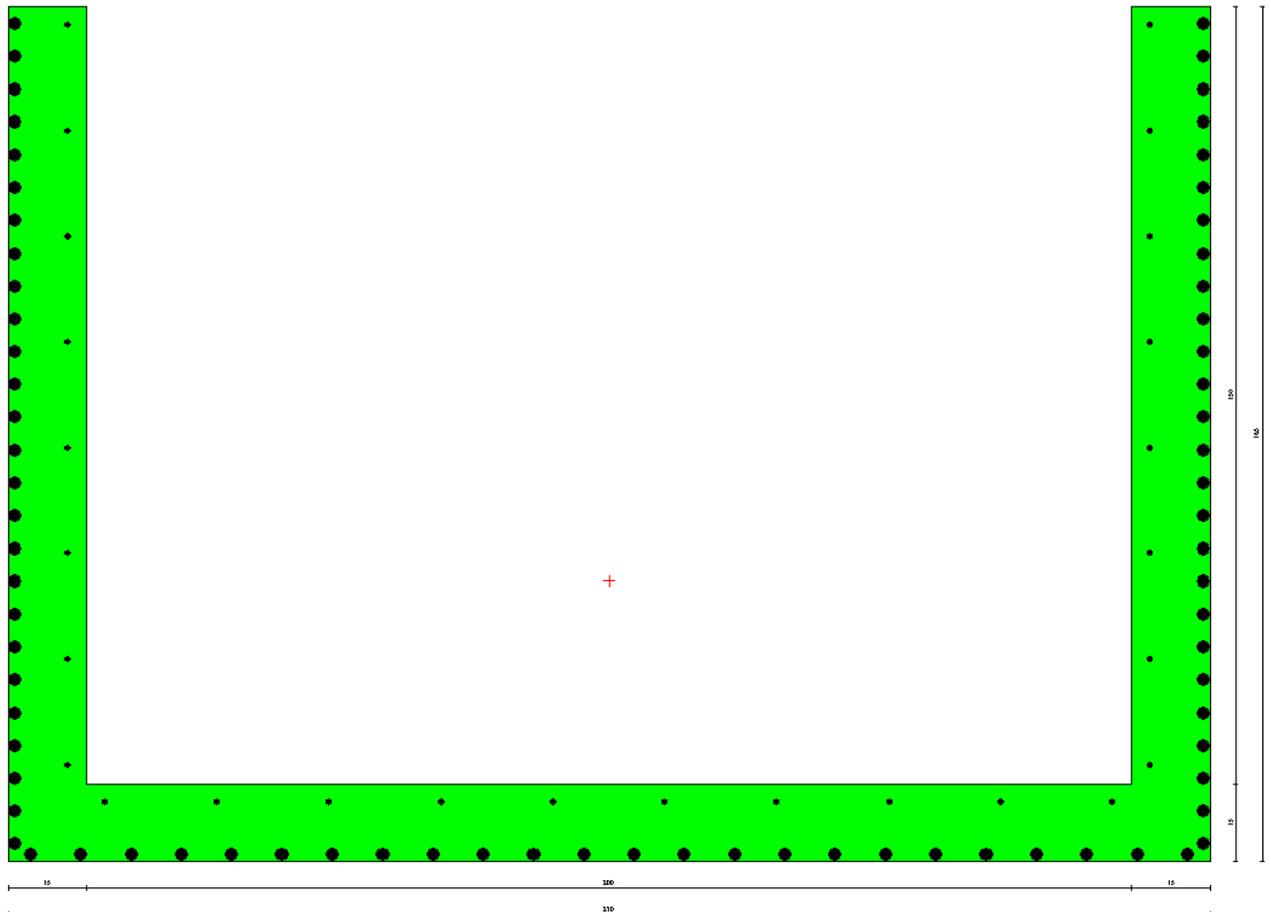
La deformazione nei campi tipici rientra all'interno del cm ed è pari a 1/265 della luce. Solo nei campi di estremità la deformazione aumenta, restando comunque ampiamente entro il valore di 1 cm.

3.4. VERIFICHE IN DIREZIONE LONGITUDINALE

Di seguito si riporta una sintesi delle verifiche di resistenza per il calcolo dell'armatura longitudinale della sezione a "U" della canaletta in c.a. Si è considerata in tutti gli elementi della canaletta in c.a. un singolo strato in armatura interno $\varnothing 12/20$. Al lembo esterno l'armatura è data dalla lamiera qui rappresentata con barre che diano area equivalente:

Per le pareti, $A_{lamiera}=1700 \times 8=13600 \text{ mm}^2 \approx 26\varnothing 26$ (13806 mm^2)

Per il fondo, $A_{lamiera}=180 \times 8 \times 2 + 2000 \times 5=12880 \text{ mm}^2 \approx 24\varnothing 26$ (12744 mm^2)



3.4.1. Verifiche a flessione

Sollecitazioni applicate

N = 0.0000 kN $T_y = 0.0000$ kN $T_x = 0.0000$ kN
 $M_{y\text{tot}} = 2081.0000$ kNm $M_{x\text{tot}} = 0.0000$ kNm $M_t = 0.0000$ kNm
Verifiche eseguite: Verifica di dominio (SLU)
 ..

Sollecitazioni ultime Dominio 3D Momento-Curvatura

	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	FS
▶	0.0000	0.0000	9349.5911	4.493

N = 0.0000 kN $M_x = 0.0000$ kNm $M_y = 9349.5911$ kNm FS = 4.493
 FSmin = 4.493

Vasca << >> **Comb. n° 1** << >>

Sezione calcolata Combinazione calcolata

Chiudi Help

Figura 3-4 - Verifica di resistenza combinazione SLU

Sollecitazioni applicate

N = 0.0000 kN $T_y = 0.0000$ kN $T_x = 0.0000$ kN
 $M_{y\text{tot}} = 2435.0000$ kNm $M_{x\text{tot}} = 0.0000$ kNm $M_t = 0.0000$ kNm
Verifiche eseguite: Verifica di dominio (SLU)
 ..

Sollecitazioni ultime Dominio 3D Momento-Curvatura

	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	FS
▶	0.0000	0.0000	9349.5912	3.840

N = 0.0000 kN $M_x = 0.0000$ kNm $M_y = 9349.5912$ kNm FS = 3.840
 FSmin = 3.840

Vasca << >> **Comb. n° 2** << >>

Sezione calcolata Combinazione calcolata

Chiudi Help

Figura 3-5- Verifica di resistenza combinazione sismica SLU

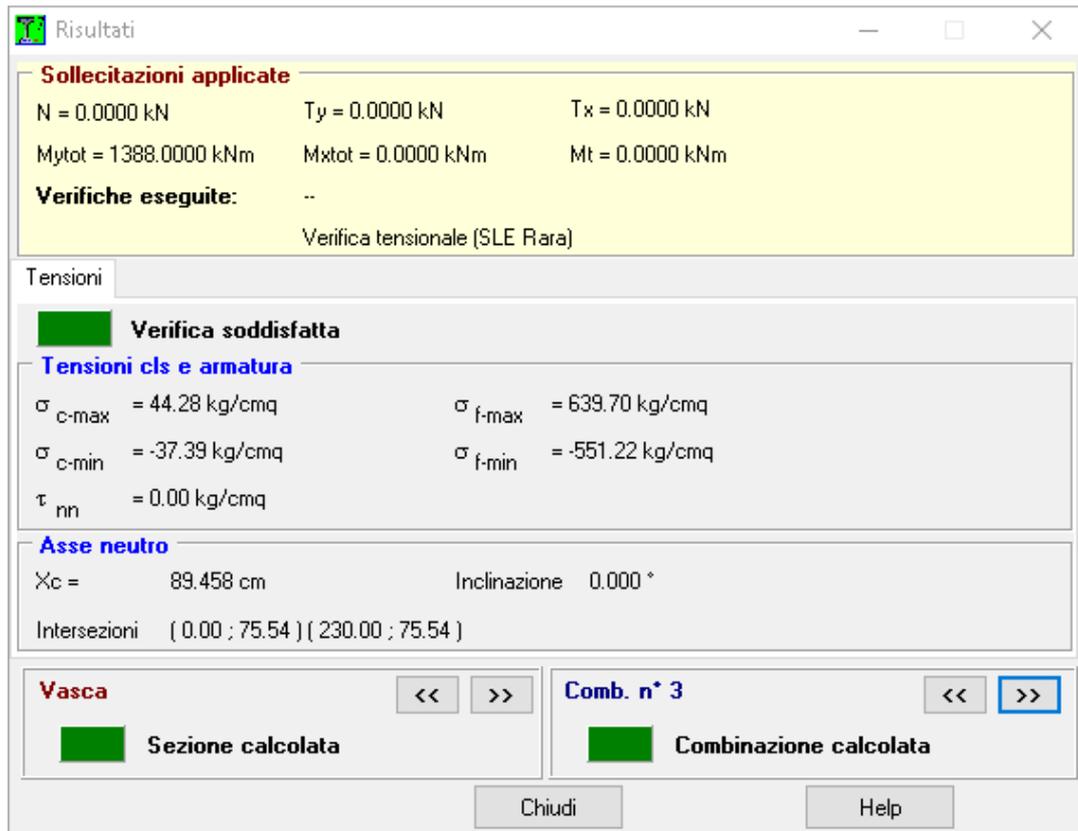


Figura 3-6 - Verifica di resistenza combinazione SLE (rara)

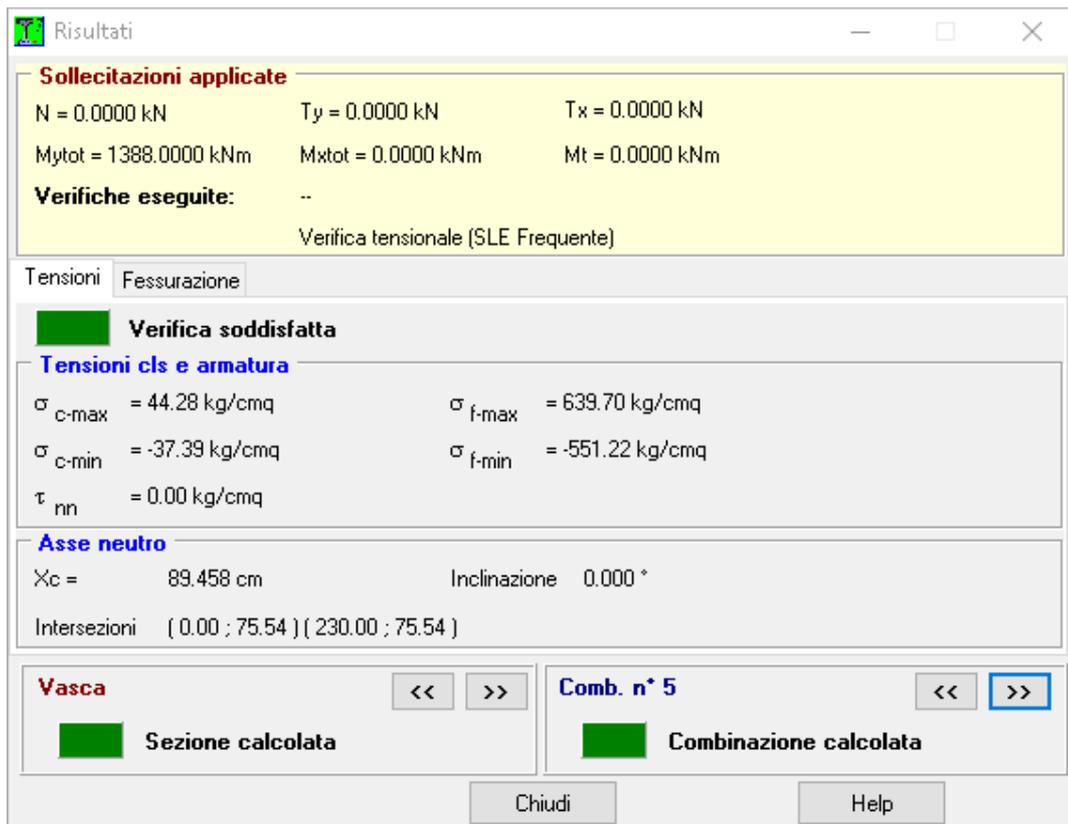


Figura 3-7 - Verifica di resistenza combinazione SLE (frequente)

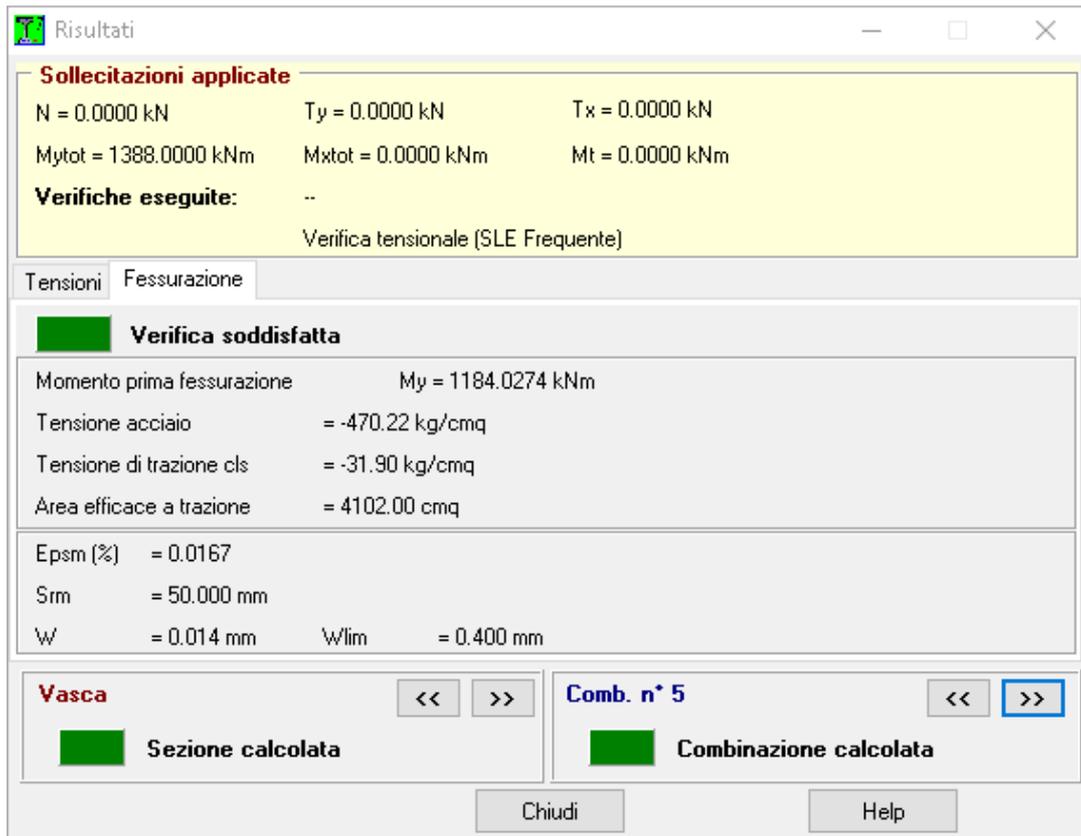


Figura 3-8 - Verifica di fessurazione combinazione SLE (frequente)

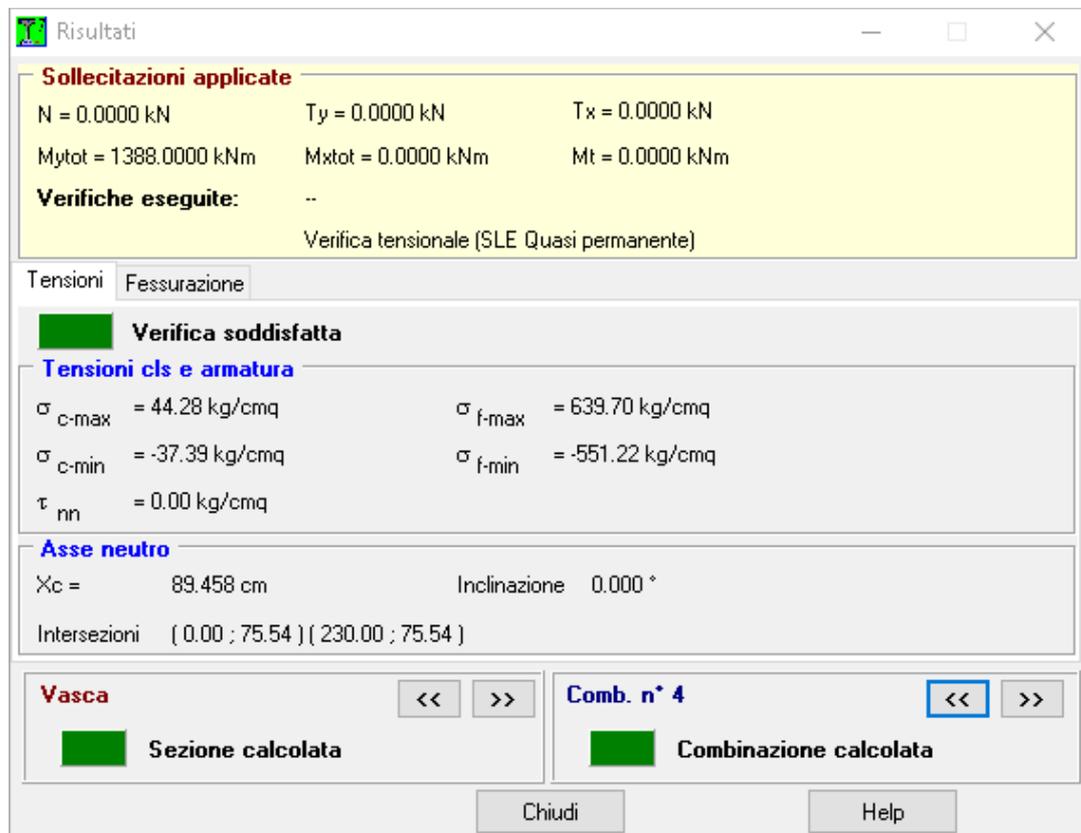


Figura 3-9 - Verifica di resistenza combinazione SLE (quasi permanente)

Risultati

Sollecitazioni applicate

N = 0.0000 kN	T _y = 0.0000 kN	T _x = 0.0000 kN
M _{ytot} = 1388.0000 kNm	M _{xtot} = 0.0000 kNm	M _t = 0.0000 kNm

Verifiche eseguite: --
Verifica tensionale (SLE Quasi permanente)

Tensioni | Fessurazione

Verifica soddisfatta

Momento prima fessurazione	M _y = 1184.0274 kNm
Tensione acciaio	= -470.22 kg/cmq
Tensione di trazione cls	= -31.90 kg/cmq
Area efficace a trazione	= 4102.00 cmq

E _{psm} (%)	= 0.0167		
S _{rm}	= 50.000 mm		
W	= 0.014 mm	W _{lim}	= 0.200 mm

Vasca << >> **Comb. n° 4** << >>

Sezione calcolata **Combinazione calcolata**

Chiudi Help

Figura 3-10 - Verifica di fessurazione combinazione SLE (quasi permanente), massimo momento

3.4.2. Verifiche a taglio

Il taglio viene affidato alla lamiera metallica.

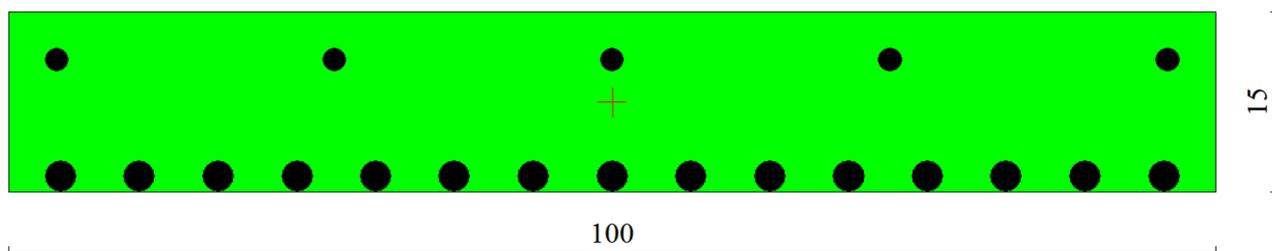
f_y	355	MPa
ε	0.814	-
η	1.20	
h_w	1700	mm
t	8	mm
k_τ	5.340	
σ_E	4.21	MPa
τ_{cr}	22.47	MPa
h_w/t	212.5	
$h_w/t, \text{lim}$	48.8	
λ_w	3.02	
χ_w	0.368	
$V_{Rd,inst}$	933	kN
$V_{Rd,pl}$	2,655	kN

$$V_{Rd} > V_{Ed} \quad 933 > 125 = 250/2 \text{ [kN] (combinazione sismica)}$$

3.5. VERIFICHE IN DIREZIONE TRASVERSALE

Di seguito si riporta una sintesi delle verifiche di resistenza per il calcolo dell'armatura delle pareti. Si dispongono $\Phi 20/20$ al lembo interno a contatto con l'acqua mentre al lembo esterno l'armatura è data dalla lamiera qui rappresentata con barre che diano area equivalente:

- $A_{lamiera} = 1000 \times 8 = 8000 \text{ mm}^2 \approx 15\Phi 26$ (7965 mm^2)



Risultati

Sollecitazioni applicate

N = 0.0000 kN Ty = 0.0000 kN Tx = 0.0000 kN
 Mytot = -8.0000 kNm Mxtot = 0.0000 kNm Mt = 0.0000 kNm

Verifiche eseguite: Verifica di dominio (SLU)
 ..

Sollecitazioni ultime Dominio 3D Momento-Curvatura

N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	FS
0.0000	0.0000	-60.7480	7.593

N = 0.0000 kN Mx = 0.0000 kNm My = -60.7480 kNm FS = 7.593
 FSmin = 7.593

sezione trasversale

Sezione calcolata

Comb. n° 1 << >>

Combinazione calcolata

Chiudi Help

Figura 3-11 -Verifica di resistenza combinazione SLU

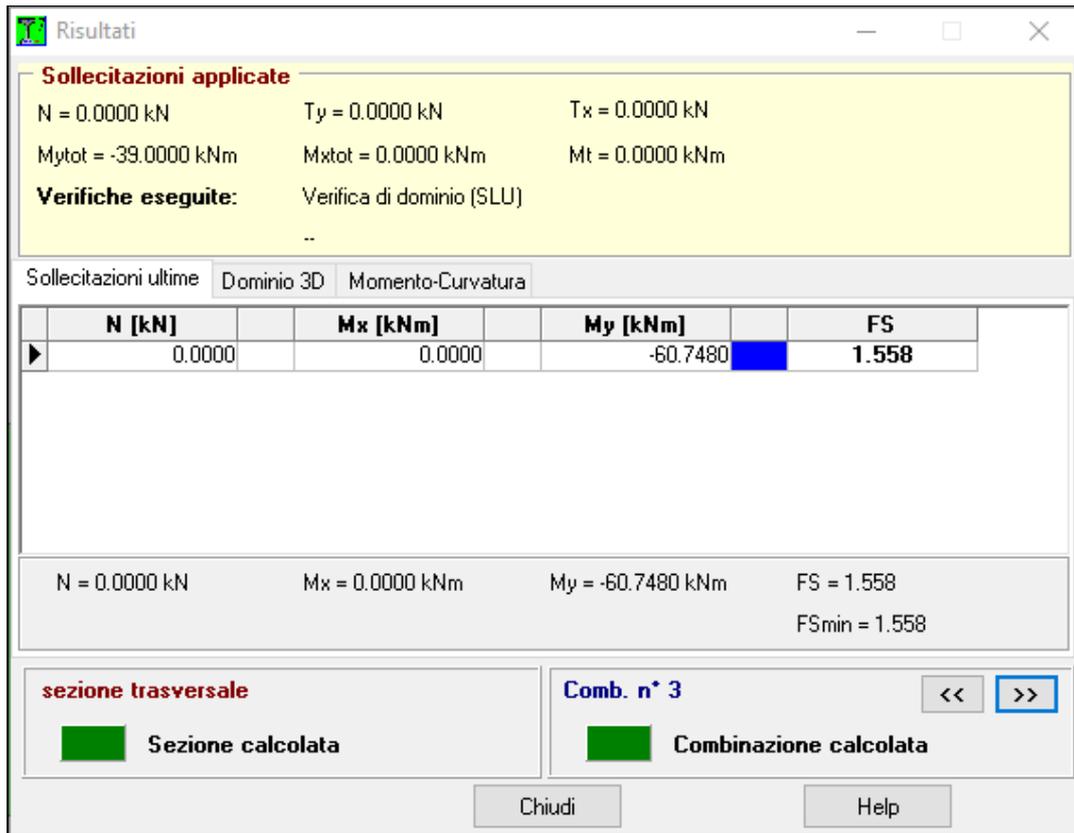


Figura 3-12 -Verifica di resistenza combinazione Sismica

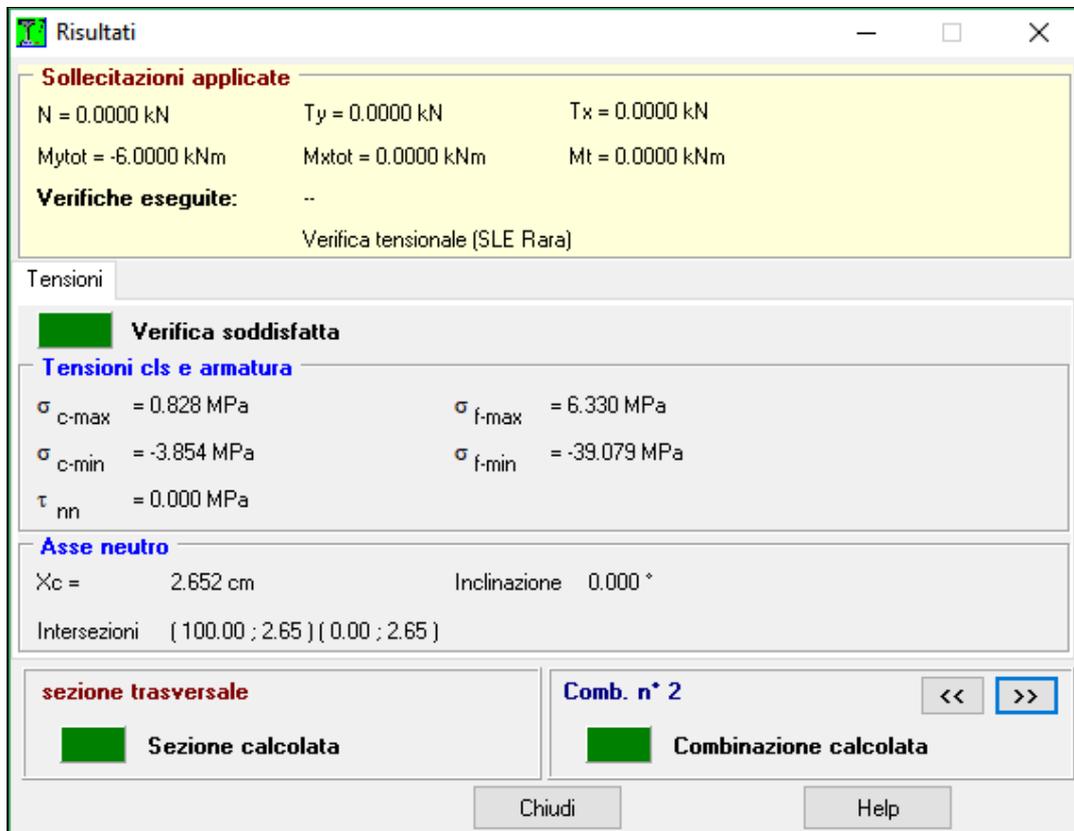


Figura 3-13 - Verifica di resistenza SLE (rara)

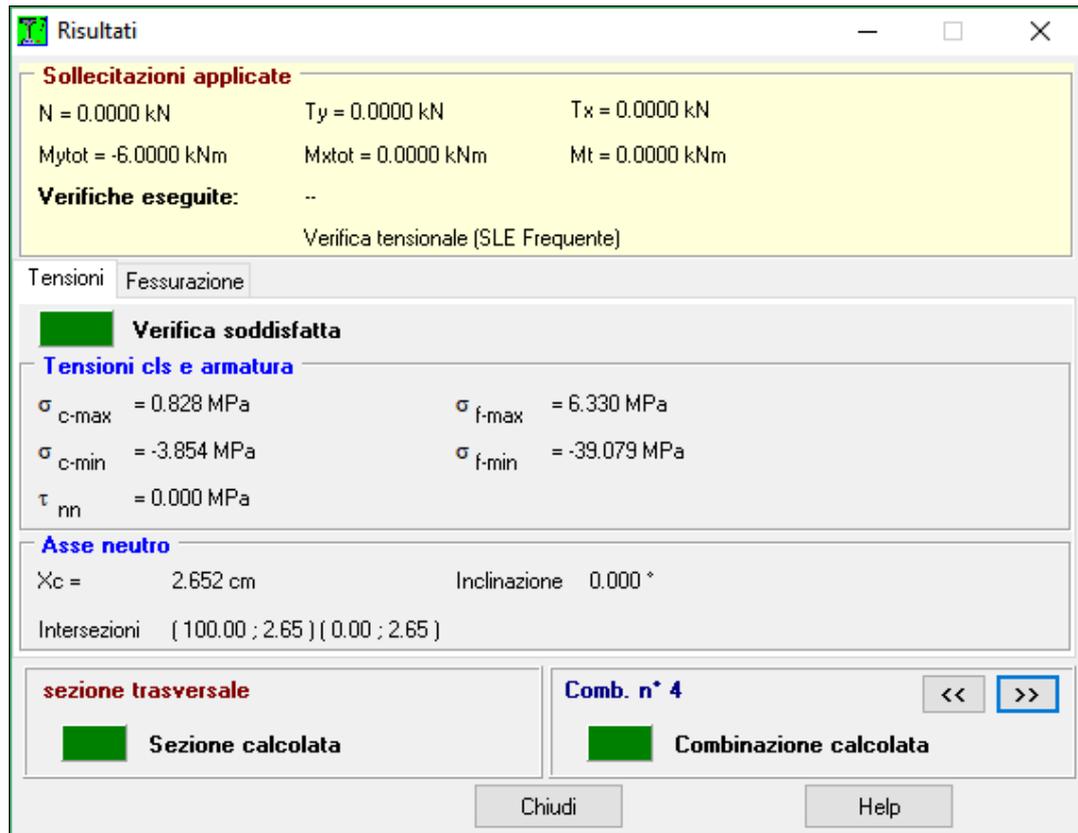


Figura 3-14 - Verifica di resistenza combinazione SLE (frequente)

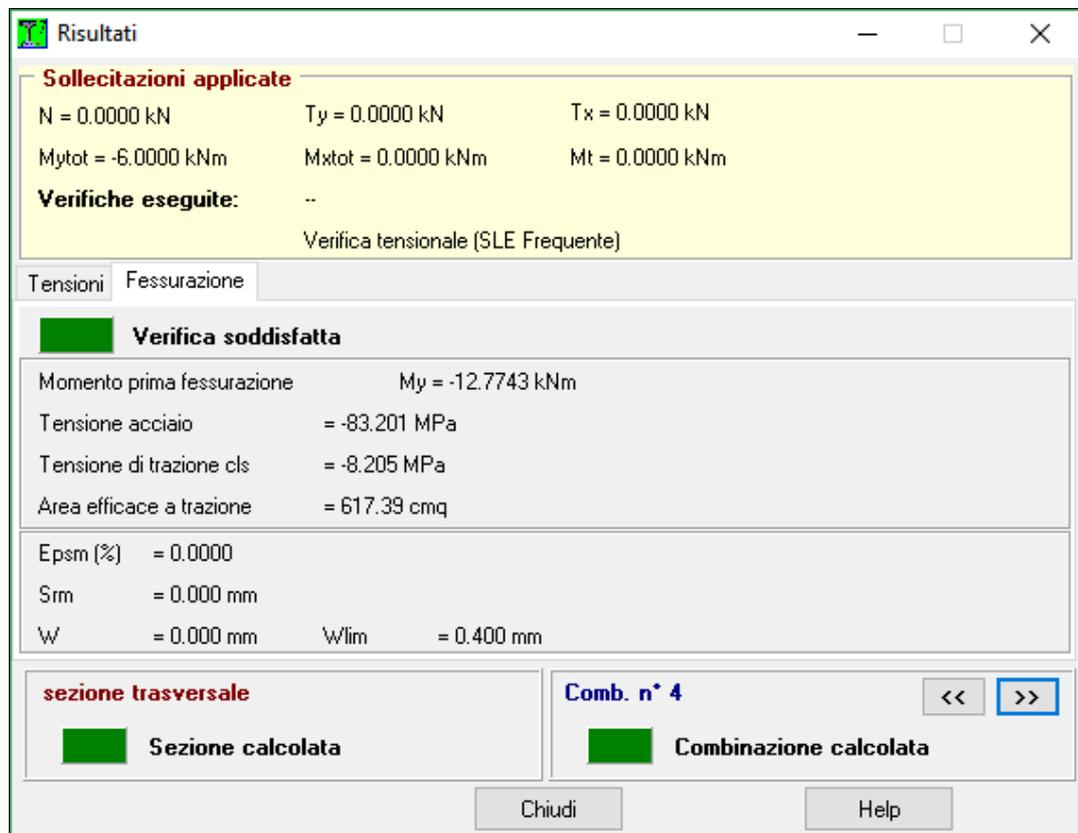


Figura 3-15 - Verifica a fessurazione combinazione SLE (frequente)

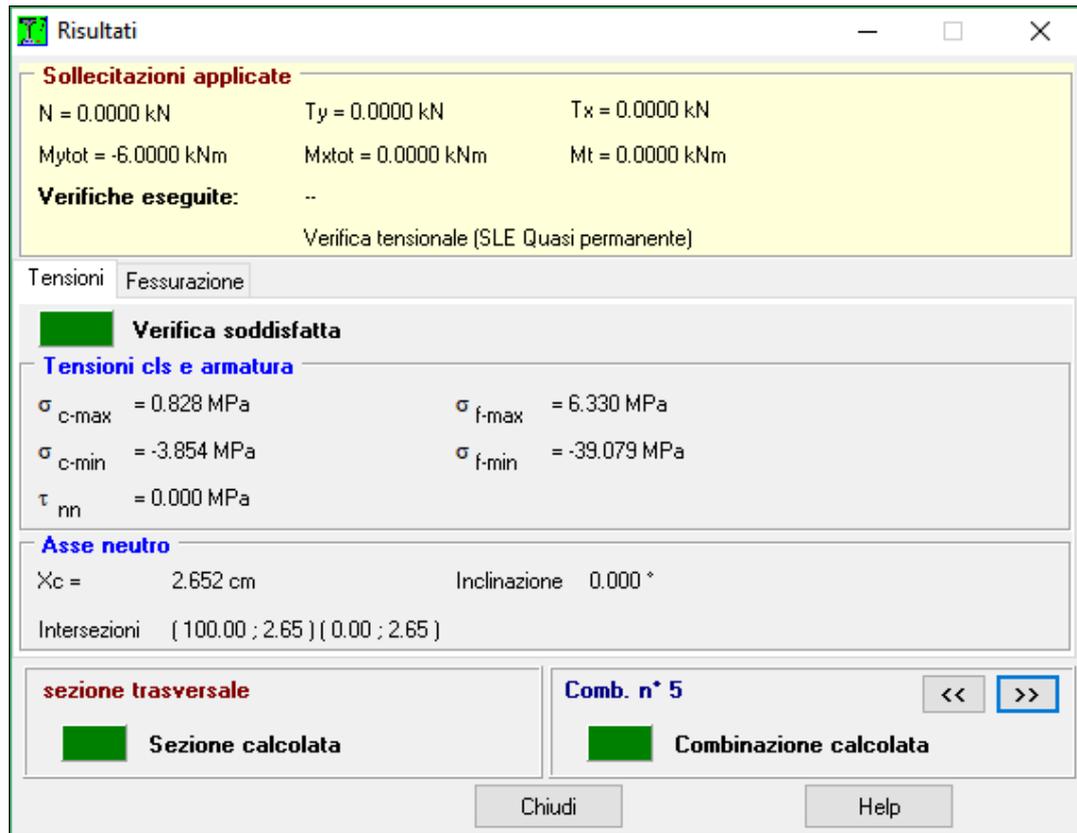


Figura 3-16 - Verifica di resistenza combinazione SLE (quasi permanente)

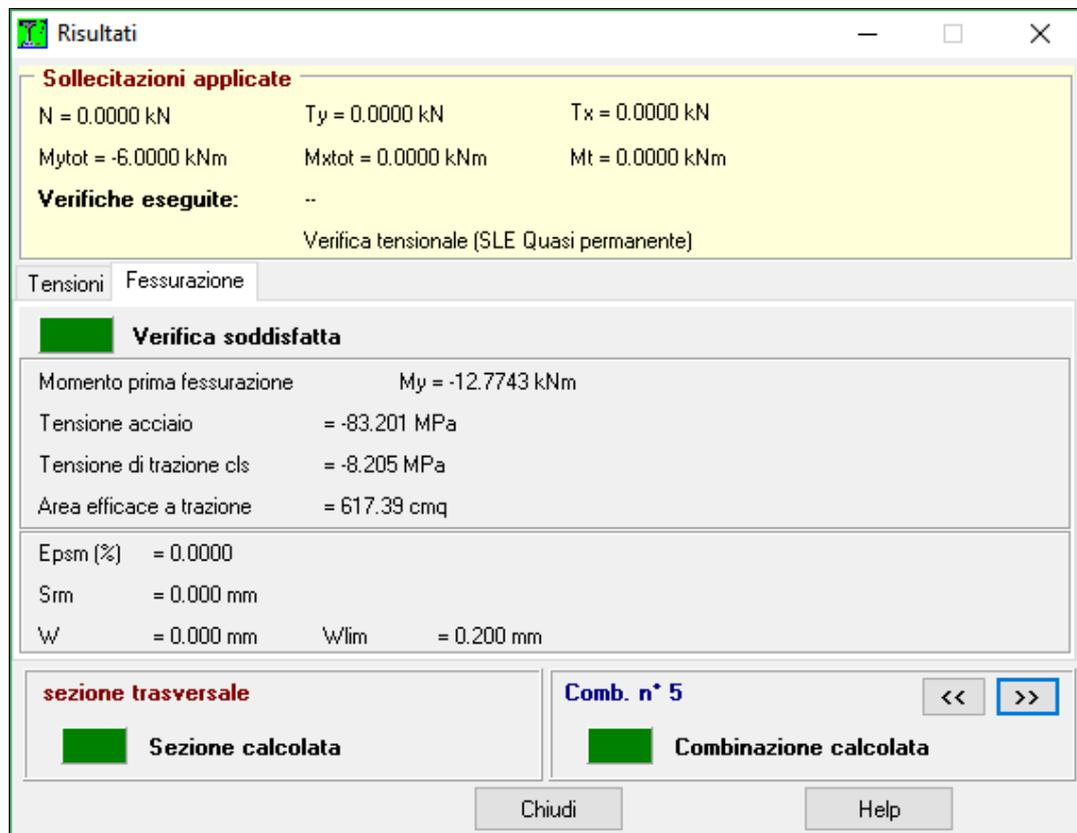


Figura 3-17 - Verifica a fessurazione combinazione SLE (quasi permanente)

3.5.1. Verifiche a taglio in senso trasversale

GEOMETRIA DELLA SEZIONE			
Altezza della sezione.....	H	150	[mm]
Base della sezione.....	b _w	1000	[mm]
Altezza utile della sezione.....	d	120	[mm]
Area della sezione di calcestruzzo.....	A _c	150000	[mm ²]
Diametro massimo delle barre longitudinali.....	φ _{max}	12	[mm]
Diametro minimo delle barre longitudinali.....	φ _{min}	12	[mm]
CARATTERISTICHE DEI MATERIALI			
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni.....	f _{ck}	28	[N/mm ²]
Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo.....	γ _c	1.5	[-]
Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata.....	α _{cc}	0.85	[-]
Resistenza di calcolo a compressione	f _{cd}	15.87	[N/mm ²]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima.....	f _{cd}	7.93	[N/mm ²]
Tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio.....	f _{yd}	391.30	[N/mm ²]
Resistenza di progetto a compressione ridotta.....	f _{cd1}	7.93	[N/mm ²]
Resistenza media a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo.....	f _{ctm}	2.77	[N/mm ²]
Resistenza media a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo (frattile 5%).....	f _{ctm}	1.94	[N/mm ²]

Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente	V _{Ed}	37	[kN]
Armatura longitudinale tesa nella sezione.....	A _{s1}	1571	[mm ²]
Valore di calcolo dello sforzo normale agente.....	N _{Ed}	0	[kN]
Valore di calcolo del momento flettente.....	M _{Ed}	0	[kNm]
Tensione media di compressione nella sezione (≤ 0,2 f _{cd}).....	σ _{cp}	0.000	[N/mm ²]
Rapporto geometrico di armatura longitudinale (≤ 0,02).....	ρ ₁	0.013090	[-]
Coefficiente k (effetto ingranamento).....	k	2.000	[-]
	V _{min}	0.524	[N/mm ²]
$V_{Rd} = \{0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$		96	[kN]
		96	[kN]

Resistenza a taglio dell'elemento	V _{Rd}	96	[kN]
-----------------------------------	-----------------	----	------