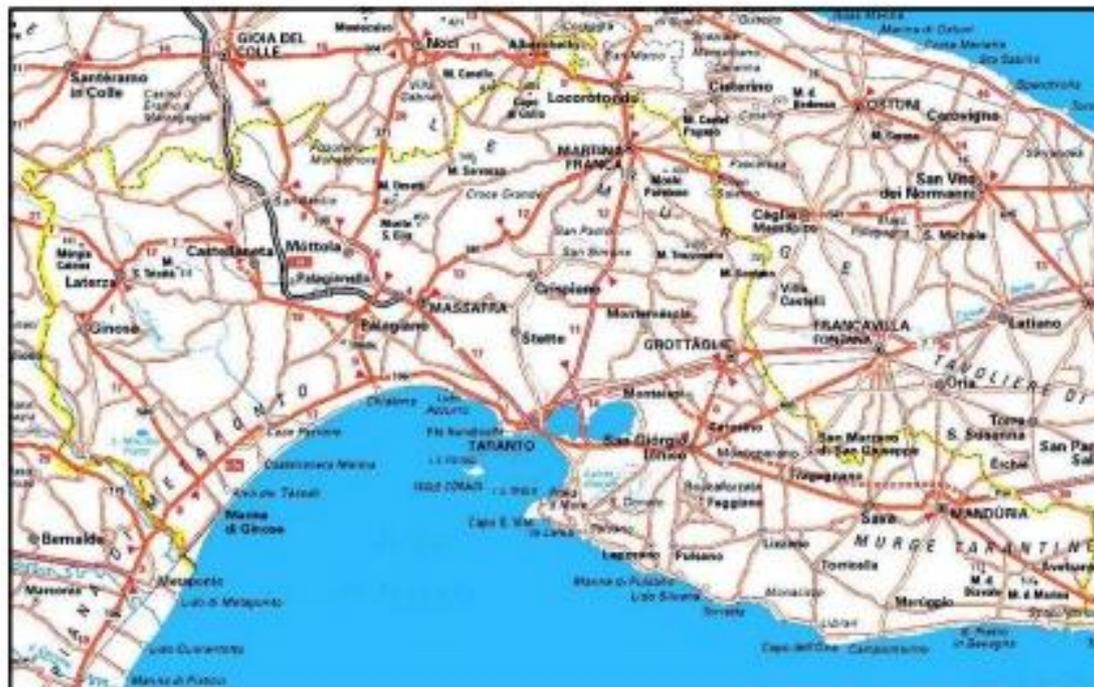


# CONSORZIO DI BONIFICA STORNARA E TARA

## TARANTO



### PROGETTO DEFINITIVO CANALE LAMA DI POZZO LAVORI URGENTI DI DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DELL'OPERA D'ARTE DI ATTRAVERSAMENTO DEL CANALE CHIARADONNA

ALLEGATO  
06.01.01

RELAZIONE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE

SCALA:

DATA: Dicembre 2015

Visto:  
Il Direttore Generale  
(Dott. Angelo D'Andria)

Il Progettista  
(Dott. Ing. Domenico Genchi)

CONSORZIO DI BONIFICA STORNARA E TARA

TARANTO

PROGETTO DEFINITIVO

CANALE LAMA DI POZZO

LAVORI URGENTI DI DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DELL'OPERA D'ARTE DI

ATTRAVERSAMENTO DEL CANALE CHIARADONNA

**RELAZIONE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE**

## Sommario

1)	<b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO</b> .....	4
2)	<b>MATERIALI</b> .....	5
3)	<b>INTRODUZIONE</b> .....	6
4)	<b>CARATTERISTICHE DELL'OPERA DA REALIZZARE</b> .....	6
5)	<b>MODELLO DI CALCOLO</b> .....	9
6)	<b>AZIONI DI CALCOLO</b> .....	10
	6.1 AZIONI DALL'ACQUA DEL CANALE .....	10
	6.2 AZIONI DAL VENTO .....	12
	6.3 AZIONI DAL SISMA .....	13
7)	<b>COMBINAZIONI DI CARICO</b> .....	16
8)	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI</b> .....	17
9)	<b>CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELL'IMPALCATO</b> .....	18
10)	<b>RISULTATI DI CALCOLO</b> .....	20

## **1) NORMATIVE DI RIFERIMENTO**

- [1] L.1086 05/11/1971** - Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- [2] D.M. 14/01/2008** - Norme tecniche per le costruzioni.
- [3] Circolare Ministero Infrastrutture 02 febbraio.2009 n.617** - Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- [4] UNI EN 206-1:2006** - Calcestruzzo - specificazione, prestazione, produzione e conformità.

## 2) MATERIALI

Si prescrive l'uso dei materiali con le seguenti caratteristiche:

### CALCESTRUZZO IN FONDAZIONE

- classe di esposizione XC2 (condizioni "ordinarie")
- classe di resistenza C25/30
- diametro inerte max 25 mm
- classe di consistenza S4
- copriferro 50 mm

### CALCESTRUZZO ELEVAZIONE (pareti spalle, fusti e pulvini pile, solettone, pareti)

- classe di esposizione XC4 (condizioni "aggressive")
- classe di resistenza C32/40
- diametro inerte max 25 mm
- classe di consistenza S4
- copriferro 50 mm

### CALCESTRUZZO PREFABBRICATO (lastre alveolari di impalcato)

- classe di esposizione XC4 (condizioni "aggressive")
- classe di resistenza C45/55
- diametro inerte max 25 mm
- classe di consistenza S1

### ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO

- B450C  $f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$  ;  $f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$

### ACCIAIO PER PRECOMPRESSIONE

- Trefoli a basso rilassamento  $f_{tpk} \geq 1860 \text{ MPa}$ ;  $f_{lpk} \geq 1674 \text{ MPa}$

### 3) INTRODUZIONE

La presente relazione ha per oggetto le verifiche condotte sulle strutture in elevazione (impalcato, spalle e pile) e fondazione (solettoni e palificate), costituenti l'opera d'arte "PONTE CANALE LAMA DI POZZO" posta lungo il corso del canale Lama di Pozzo in corrispondenza dello scavalco altimetrico di questo sul canale Chiaradonna, in agro del comune di Ginosa, (coordinate geografiche WGS84 40.4615° N, 16.8071°), opere di pertinenza del Consorzio di Bonifica Stornara e Tara di Taranto.

L'intervento è reso necessario dalle condizioni dell'opera esistente e dei tratti di canale adiacenti, che presentano evidenti e rilevanti danneggiamenti idraulici e strutturali: la rottura degli argini del canale a valle dell'opera ha causato fuoriuscite d'acqua che hanno eroso il terreno al piede delle strutture, causando lo scalzamento ed il cedimento delle fondazioni che hanno notevolmente danneggiato la sovrastruttura.

Si rende pertanto necessario un ridisegno completo, idraulico e strutturale, del nodo in interesse del canale, con una nuova verifica idraulica dello stesso ed una conseguente nuova progettazione dello scavalco.

La struttura esistente è un'opera d'arte a tre luci, costituita essenzialmente da una sovrastruttura monolitica in c.a. con sezione ad U, che funge direttamente da alveo sospeso del canale Lama di Pozzo, poggiante su spallette esterne e su due pile a parete interne; tanto le spalle che le pile sono fondate su solettoni in c.a. del tipo superficiale.

I due canali si intersecano con un angolo tra gli assi pari a 36.00° (40.00g).

La sezione del canale Lama di Pozzo è la classica a doppio trapezio, larghezza massima del trapezio inferiore pari a 6.30 m e del trapezio superiore 12.54 m, ed altezze rispettivamente di 1.50 e 1.35 m, mentre la sezione sullo scavalco è rettangolare, di larghezza interna costante tra le pareti laterali pari a circa 4.70 m ed altezza pari a 2.85 m. Le due sezioni idrauliche sono raccordate con tratti di invito delle pareti in c.a., sia a monte che a valle.

### 4) CARATTERISTICHE DELL'OPERA DA REALIZZARE

Si è assunta l'ipotesi della realizzazione di un nuovo scavalco, costituito essenzialmente da un'opera a più luci di maggiore lunghezza complessiva, con luce centrale determinata dalle massime dimensioni trasversali dell'alveo del canale Chiaradonna e luci laterali definite in funzione della lunghezza degli elementi di impalcato, per come sarà appresso chiarito.

Per la realizzazione degli impalcati è stata ipotizzata l'adozione di elementi prefabbricati, costituiti da lastre alveolari in c.a.p. poggianti su apposite travi di pulvino in c.a. realizzate sulle pile a fusto intermedie.

Date le **maggiori lunghezze** delle luci orizzontali così definite, è stato da subito evidente che le necessarie altezze degli elementi strutturali del nuovo scavalco non sarebbero state tali da rispettare i franchi inferiori richiesti dalle verifiche idrauliche del canale Chiaradonna, perlomeno laddove fosse realizzato un impalcato con elementi disposti lungo l'asse del canale: con una luce tra le pile (in asse) pari a 25.52 m le travi avrebbero una luce di circa 25.20 m e, dati i carichi, una altezza pari ad almeno 100 cm, con una altezza di impalcato finito (considerando la necessaria soletta in opera) di circa 125-130 cm.

D'altro canto la **maggiore larghezza trasversale**, assieme alla tipologia strutturale (che adotta un impalcato con elementi prefabbricati) assunta per l'opera, non consente di ipotizzare una sezione unica per la struttura di impalcato, cosa che permetterebbe di considerare una struttura estradossata (ad U), scevra quindi dai problemi di rispetto dei franchi inferiori. Si è pertanto deciso di adottare, per la campata centrale di scavalco, una diversa geometria: sulle pile realizzate parallelamente al corso del canale inferiore viene disposto un impalcato con elementi non paralleli all'asse del canale superiore, bensì normali alle pile, con il vantaggio quindi di avere una lunghezza, in asse alle pile, pari a 15.00 m.

Su questa lunghezza vengono pertanto disposte le pile laterali e le spalle e ciò dato è possibile utilizzare, come elementi di impalcato, lastre precomprese in c.a.p. al posto delle usuali travi ad I, con il duplice vantaggio di avere impalcato di ridotto spessore (ipotizzati  $42+30=72$  cm) ed intradosso liscio e continuo, di fondamentale importanza per evitare il possibile intralcio al deflusso di piena del canale inferiore causato da eventuali oggetti trasportati.

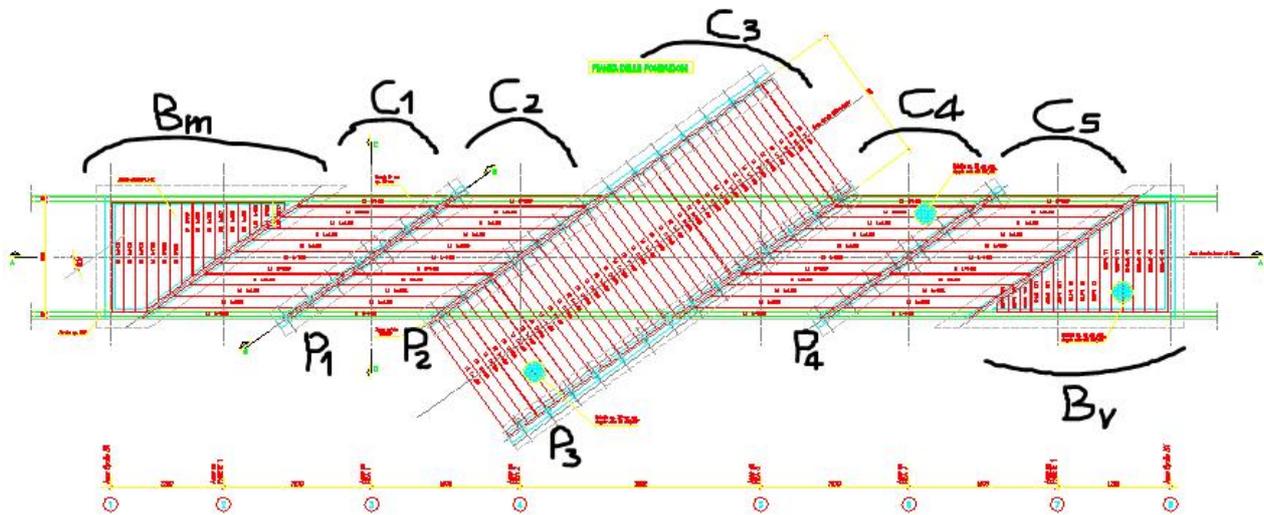


Fig. A - Schema Planimetrico dell'opera

L'opera di progetto sarà quindi essenzialmente costituita dai seguenti elementi:

- 1) **B<sub>m</sub>** - Blocco Spalla Monte. È costituito da una struttura a pareti a sagoma in pianta trapezia, come raccordo planimetrico tra le 5 campate in obliquo interne ed il canale esistente; le pareti sono spiccate da una fondazione continua perimetrale, gettata su apposita palificata. L'impalcato sarà realizzato con lastre alveolari disposte trasversalmente al canale, con lunghezza massima pari a 11.50 m; la parete di valle del Blocco Spalla costituisce la parete di appoggio della prima campata del ponte canale (Campata 1).
- 2) **C<sub>1</sub>** - Campata 1. Costituita da lastre alveolari h42 della lunghezza di 14.85 m; parallele all'asse del canale Lama di Pozzo, prendono appoggio a monte sulla parete del Blocco B1, mentre a valle appoggiano sulla trave pulvino della pila **P<sub>1</sub>**.

- 3) **C<sub>2</sub> - Campata 2.** Campata identica alla C1; in appoggio tra le pile **P<sub>1</sub>** e **P<sub>2</sub>**.
- 4) **C<sub>3</sub> - Campata 3.** È la campata di scavalco sul Canale Chiaradonna; è costituita da lastre alveolari h42 della lunghezza di 14.50 m; sono disposte tra le pile **P<sub>2</sub>** e **P<sub>3</sub>**, con asse perpendicolare a queste.
- 5) **C<sub>4</sub> - Campata 4.** Campata identica alla C1; in appoggio tra le pile **P<sub>3</sub>** e **P<sub>4</sub>**.
- 6) **C<sub>5</sub> - Campata 5.** Campata identica alla C1; in appoggio tra la pila **P<sub>4</sub>** ed il Blocco Spalla di valle **B<sub>v</sub>**.
- 7) **B<sub>v</sub> - Blocco Spalla Valle.** Struttura a pareti a sagoma trapezia, identica al Blocco di Monte **B<sub>m</sub>**.

L'impalcato è realizzato dall'assemblaggio delle lastre in c.a.p. e da una soletta di impalcato in c.a. dello spessore di 30 cm, gettata su queste a formare una struttura di impalcato continua dello spessore finito di  $(42+30) = 72$  cm. L'impalcato risulta continuo sulle strutture (pulvini e pareti) intermedie, essendo garantiti i collegamenti mutui tra le lastre e gli elementi portanti dalle armature predisposte e da quelle disposte in opera al getto della soletta.

Sulla soletta di impalcato saranno realizzate due pareti di bordo in c.a. dello spessore di 50 cm, a contenimento del flusso idrico del Canale Lama di Pozzo. L'altezza di dette pareti, verticali, è uguale a quella delle pareti esistenti, pari a  $h_p = 2.85$  m, mentre la larghezza del canale risulta pari a 11.80 m, per una sezione d'acqua pari a  $A_w = 11.80 \cdot 2.85 = 33.63$  m<sup>2</sup>.

*[Si specifica a questo punto che la sezione massima a doppio trapezio del canale esistente a monte ed a valle dell'opera d'arte è pari a circa 20.50 m<sup>2</sup>].*

Le pareti sono considerate incastrate al piede all'impalcato e collegate tra loro in testa da appositi tiranti in acciaio, posti ad interasse di 5.90 m, per un numero complessivo di tiranti pari a 20.

## 5) MODELLO DI CALCOLO

Il modello di calcolo assunto considera la struttura complessiva, con i Blocchi Spalla e le Pile fondate su palificata. L'impalcato viene modellato, come le pareti, mediante elementi shell di adeguato spessore e rigidezza, considerando una piastra di spessore equivalente in rigidezza alla sezione composta lastra-soletta.

Data la sezione assunta per la lastra alveolare, il modulo di inerzia della sezione omogeneizzata lastra+soletta (sulla larghezza  $b = 1.20$  m della lastra) risulta pari a

$$J_{s,comp} = 2860300 \text{ cm}^4$$

avendo assunto:

$$J_{alv} = 549709 \text{ cm}^4; E_{c,alv} = 364160 \text{ daN/cm}^2; C45/55$$

$$h_{sol} = 30 \text{ cm}; b_{sol} = 120 \text{ cm}; k_{omog} = 0.80; C32/40$$

In detta ipotesi si assume uno spessore di piastra di impalcato (su  $b = 1.20$  m) pari a

$$s = (12 \cdot J/b)^{1/3} = (12 \cdot 2876800/120b)^{1/3} = 65 \text{ cm}$$

Per quanto attiene ai carichi si considera per il peso effettivo dell'impalcato:

$$\text{peso lastra} = 612 \text{ daN/m} = 510 \text{ daN/m}^2$$

$$\text{peso soletta} = 0.30 \cdot 2500 = 750 \text{ daN/m}^2$$

peso impalcato =  $510+750 = 1260 \text{ daN/m}^2$  da cui uno spessore equivalente (su  $b = 1.00$  m):

$$s_{eq} = 1260/2500 = 0.51 \text{ m}$$

risulta pertanto necessario, per la congruenza dei carichi, assegnare al materiale cls dell'impalcato un peso specifico "fittizio" pari a

$$\gamma_c^* = 0.51 \cdot 2500/0.65 = 1960 \text{ daN/m}^3$$



Fig. B - Schema di calcolo: Vista Assonometrica Solida

## 6) AZIONI DI CALCOLO

### 6.1 Azioni dall'acqua del Canale

Dette azioni, che saranno meglio specificate al punto successivo, sono fundamentalmente costituite dai soli pesi propri delle strutture, alle quali va ad aggiungersi la presenza dell'acqua in alveo alla sezione rettangolare del canale.

Data la particolare destinazione d'uso, le azioni di calcolo della struttura in esame saranno di tipo "caratteristico", essendo esse associate ad una condizione di carico (flusso di piena del canale) che può essere assunta alla stregua di una condizione **eccezionale**.

Le pareti rappresentano, nella prima fase di getto, un carico diretto per il solettone di impalcato; a maturazione avvenuta presentano invero una tale sezione che possono considerarsi autoportanti; nel modello di calcolo globale la sovrastruttura del canale viene considerata nella effettiva geometria e condizione statica finale, mentre verranno considerate le condizioni specifiche di verifica:

- a) della lastra alveolare prefabbricata tipo, nelle diverse fasi di getto della soletta (reagente la sola sezione prefabbricata), e di esercizio e di resistenza ultima (reagente la sezione finita complessiva lastra+solettone);
- b) della sezione finita complessiva lastra+solettone per la fase di getto della parete, situazione questa di carico esclusivo (cioè senza presenza di carico d'acqua).

Il carico dall'acqua del canale viene considerato per le diverse condizioni di funzionamento dello stesso; a tal fine si distinguono le seguenti differenti situazioni di carico:

- 7) Condizione di Esercizio, considerata come la situazione "normale" o di più frequente funzionamento dell'opera; ad essa può associarsi la combinazione **SLE Frequente**, considerando a vantaggio di sicurezza un carico d'acqua pari alla sezione completa del trapezio inferiore del canale esistente, pari a circa  $6 \text{ m}^2$  e che corrisponde ad una altezza d'acqua di  $6.00/11.80 \approx 0.50 \text{ m}$  tra le pareti.
- 8) Condizione di Esercizio, considerata come la situazione "Limite" di funzionamento dell'opera; ad essa può associarsi la combinazione **SLE Rara**, considerando un carico d'acqua pari a  $1/3$  della altezza massima, cioè  $2.85/3 = 0.95 \text{ m}$ , pari ad una sezione di  $11.21 \text{ m}^2$  che è  $0.54$  volte la sezione complessiva del canale.
- 9) Condizione di Progetto, considerata come la situazione "Ultima" di funzionamento dell'opera; ad essa può associarsi la combinazione **SLU Statica**, considerando i valori del

carico della condizione “caratteristica” considerata in SLE Rara, con i coefficienti di progetto come da Norma.

- 10) Con le assunzioni progettuali sopra svolte, la situazione di massima piena può essere considerata come una condizione di carico “eccezionale”, se non proprio come inteso dalla Norma per le azioni da incendio, esplosioni ed urti (vedi NTC par. 3.6), quantomeno alla stregua dell’azione sismica, che è caratterizzata da tempi di ritorno dello stesso ordine di grandezza (centinaia di anni).

Riassumendo, si considereranno sul solettone i seguenti casi di carico elementari:

a) Pesi strutturali: lastre alv. h42	510 daN/m <sup>2</sup>
Soletta sp. 30 cm	750 daN/m <sup>2</sup>
Pareti spessore 50 cm; h = 2.85 m	3562 daN/m
b) Variabile Acqua: cmb SLE Frequente	500 daN/m <sup>2</sup>
cmb SLE Rara	1000 daN/m <sup>2</sup>
cmb SLU Statica 1.5 · 1000 =	1500 daN/m <sup>2</sup>
cmb SLU (Piena) =	2850 daN/m <sup>2</sup>

## 6.2 Azioni dal Vento

Dati sito

- Regione: Puglia; Provincia: Taranto
- $v_0$ : 27.00 m/s;  $a_0$ : 500.00 m  $k_a$ : 0.02 s<sup>-1</sup>
- Zona: 3; Classe di rugosità: D
- Distanza dalla costa: 9 km
- Categoria di esposizione: II
- $k_r$ : 0.19  $z_0$ : 0.05 m  $z_{min}$ : 4.00 m
- Quota s.l.m.m.: 20 m
- Pendenza falda  $\alpha$ : 0 °; Altezza edificio sul p.c.: 5 m
- Tempo di ritorno  $T_R$ : 50 anni
- Coefficiente di topografia  $c_t$ : 1.00; Coefficiente dinamico  $c_d$ : 1.00
- Coefficiente di esposizione  $c_e$ : 1.93;  $\alpha_R$ : 1.00
- $v_b$ : 27.00 m/s;  $v_b(T_R)$ : 27.02 m/s;  $q_b(T_R)$ : 456.29 N/m<sup>2</sup> = 45.5 daN/m<sup>2</sup>
- Coefficiente di forma = 1.20
- Pressione max del vento  $p_v = 1.93 \cdot 1.20 \cdot 45.50 = 105.38$  daN/m<sup>2</sup>

Altezza della faccia esposta  $h_v = 2.85 + 0.75 = 3.60$  m (*approssimato a vantaggio di sicurezza*)

Taglio dal vento al piede della parete  $T_v = 105.40 \cdot 3.60 = 379.44$  daN/m

Momento dal vento al piede della parete  $M_v = 105.40 \cdot 3.60^2 / 2 = 682.99$  daN/m

La parete del canale sarà realizzata in sezione di larghezza 50 cm, armata simmetricamente con barre  $\phi 16/20$ "; in dette ipotesi, con cls C32/40 e sotto il carico del solo peso proprio ( $N_{d,pp} = 1781$  daN/m), la sezione di incastro presenta un momento resistente pari a

$M_{R,v} = 173.80$  kNm  $\gg 1.50 \cdot 683 = 1024.50$  daNm = 10.24 kNm

Date le caratteristiche della struttura, l'azione del vento è certamente secondaria rispetto alle altre possibili azioni (sisma, spinta dell'acqua). Essendo esse azioni indipendenti (cioè non combinabili tra loro) si determina in questa sede in maniera esplicita l'entità delle azioni al piede del singolo fusto pila, al fine di verificare l'effettivo ordine di grandezza di dette azioni.

Azione globale di taglio sulle pareti (a canale vuoto da acqua, sull'interasse pulvino di 15.00 m):

$T_{v,g} = T_v \cdot 15.00 = 379.44 \cdot 15.00 = 5691.60$  daN

Altezza di applicazione da attacco pila  $h^* = 3.60 + 0.80 + 3.00 = 7.40$  m

Momento al piede del "sistema Pile"  $M_{v,p} = 5691.60 \cdot 7.40 = 42118$  daNm

N° pile  $n_p = 8$

(*Si trascura, a vantaggio di sicurezza, la distribuzione ipertatica dei momenti all'attacco pile-pulvino*)

Taglio al piede della singola pila  $T_{v,p} = 5692/8 = 711.45$  daN

Momento al piede della singola pila (a vant.sic.)  $M_{v,p} = 42118/8 = 5264.73$  daNm

Carico normale minimo associato:

$N_{p,min} = (510 + 750) \cdot 13.20 / 8 + 1.00 \cdot 0.80 \cdot 3.20 \cdot 2500 + (\pi \cdot 0.60^2 / 4) \cdot 2500 \cdot 3.00 = 10600$  daN

Nelle condizioni di progetto in SLU con le dette azioni dal vento,

$N_{d,v} = 10600$  daN;  $M_{d,v} = 1.50 \cdot 5265 = 7898$  daNm

la sezione del fusto  $\phi 600$ , cls C32/40, armata con 13 $\phi 24$  presenta un momento resistente pari a

$M_{R,d,v} = 490.3$  kNm = 49030 daNm  $\gg 7898$  daNm

La sezione può ritenersi pertanto certamente **verificata**.

### 6.3 Azioni dal Sisma

La struttura è considerata in Classe d'Uso II:

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

A tale Classe d'Uso è associato un Coefficiente d'Uso pari a  $C_u = 1.00$  ed una Vita Nominale pari a  $V_N = 50$  anni, per cui il periodo di riferimento dell'azione sismica di progetto risulta pari a  $V_R = C_u \cdot V_N = 1.00 \cdot 50 = 50$  anni

I parametri di riferimento per l'azione sismica, sono:

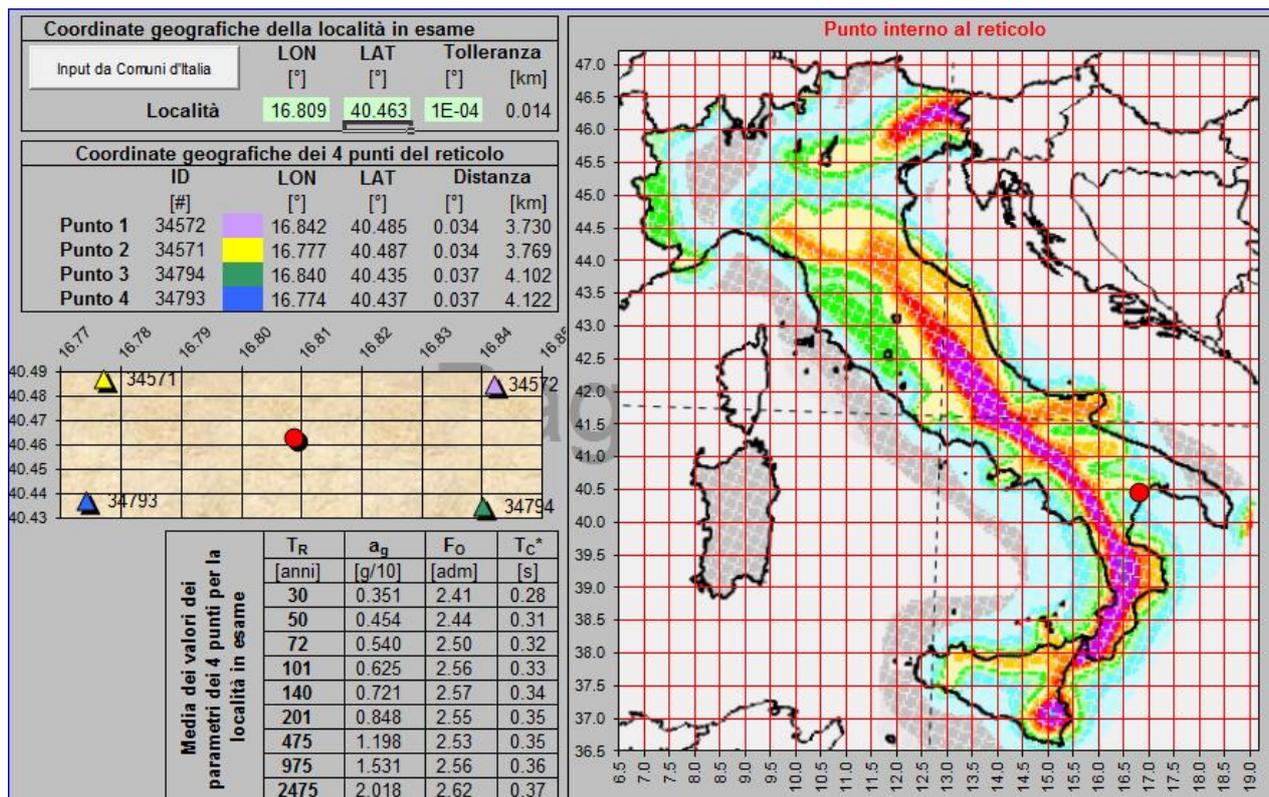
- Comune di Ginosa – Località Lama di Pozzo
- Latitudine:  $40.4631^\circ$  N;
- Longitudine:  $16.8086^\circ$  E.

I parametri relativi delle forme spettrali sono determinati direttamente dal software di calcolo utilizzato (PRO\_SAP della ditta 2SI srl di Ferrara). Per semplicità di lettura essi vengono riportati nelle form sottostanti.

Il sottosuolo presente in sito è assimilabile alla categoria C prevista dalla normativa per il quale risulta il coefficiente del suolo  $S_S = 1,50$ .

La categoria topografica è la T1 (superficie pianeggiante, rilievi con inclinazione  $< 15^\circ$ ) e pertanto  $S_T = 1,50$ .

Viste le caratteristiche della struttura e la sua funzione, si assume per essa un comportamento di tipo NON DISSIPATIVO nei confronti delle azioni sismiche, pertanto si adotta nel calcolo un coefficiente di struttura unitario,  $\mathbf{q = 1}$ .



Localizzazione sismica del punto considerato

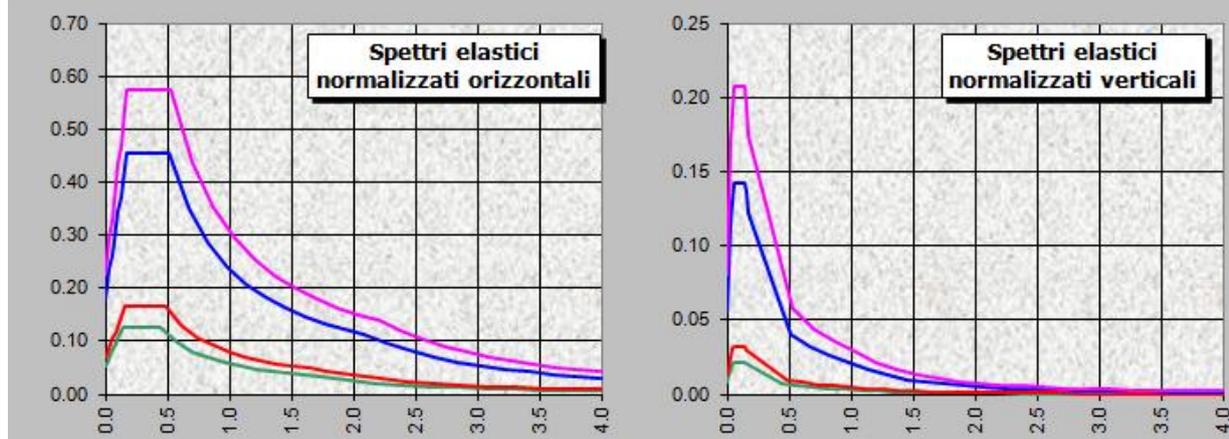
§ 2.4		Stratigraf.-Topograf.		Dissipaz. convenz.		Valori costanti per spettro verticale				Valori per spettro in spostamento	
$V_N$	50 [anni]	Cat. sottosuolo	C	$\zeta$	$\eta$	$S_{S,V}$	$T_{B,V}$	$T_{C,V}$	$T_{D,V}$	$T_E$	$T_F$
Clas.	II	Cond. topografia	T1	[adm]	[adm]	[adm]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]
$C_U$	1.0 [adm]	$S_T$	1.0 [adm]	5.0%	1.00	1.0	0.05	0.15	1.00	6.0	10.0
$V_R$	50 [anni]										

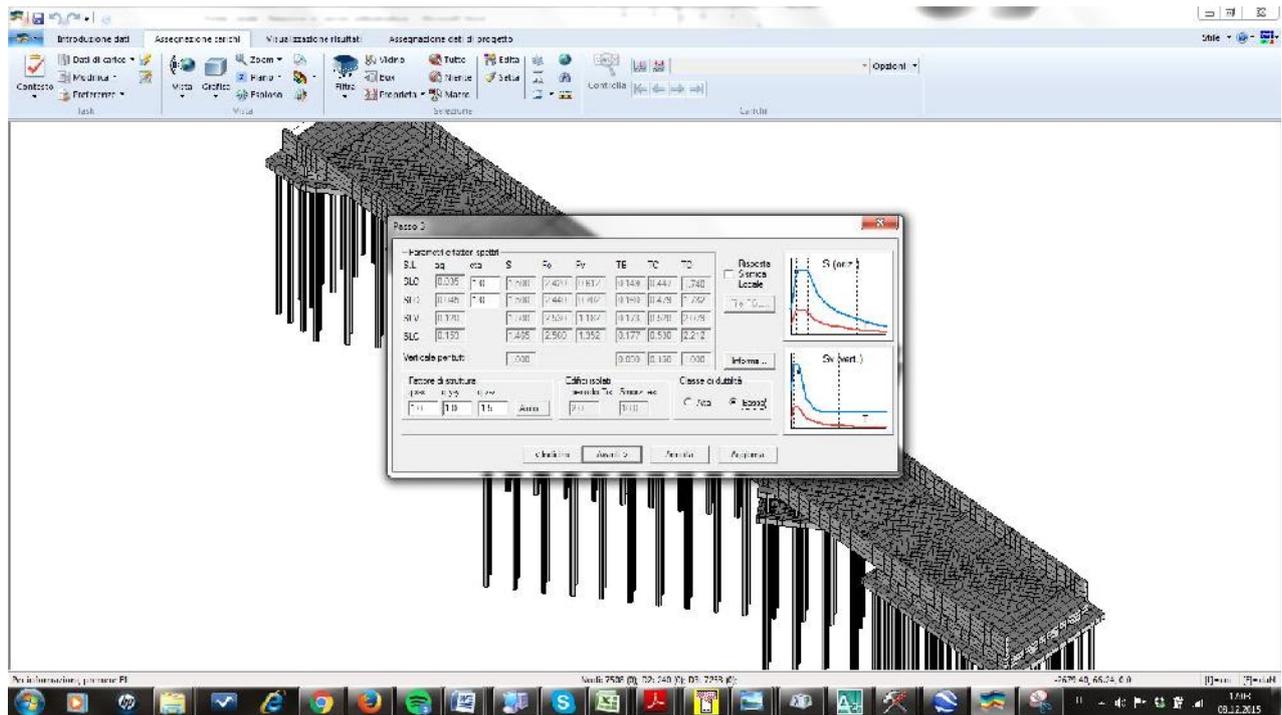
§ 3.2.1			Valori interpolati			Valori ricavati da $a_g$ , $F_0$ , e $T_C^*$						
	$P_{VR}$	$T_R$	$a_g$	$F_0$	$T_C^*$	$S_S$	$C_C$	$S$	$T_B$	$T_C$	$T_D$	$F_V$
	[adm]	[anni]	[g/10]	[adm]	[s]	[adm]	[adm]	[adm]	[s]	[s]	[s]	[adm]
SLE	SLO 81%	30	0.351	2.415	0.28	1.50	1.60	1.50	0.15	0.45	1.74	0.61
	SLD 63%	50	0.454	2.440	0.31	1.50	1.55	1.50	0.16	0.48	1.78	0.70
	SLV 10%	475	1.198	2.532	0.35	1.50	1.48	1.50	0.17	0.52	2.08	1.18
SLU	SLC 5%	975	1.531	2.560	0.36	1.46	1.47	1.46	0.18	0.53	2.21	1.35

CommandButt



Parametri sismici e Spettri di Risposta



Parametri sismici in PRO\_SAP

## 7) COMBINAZIONI DI CARICO

Le singole componenti di sollecitazione sono combinate in accorso con le seguenti prescrizioni di Normativa:

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{33} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto  $A_d$  (v. § 3.6):

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.6)$$

dove:

$G_1$  valore caratteristico delle azioni da peso proprio;  
 $G_2$  valore caratt. delle azioni da carichi permanenti portati;  
 $Q_{k1}$  valore caratt. dell'azione variabile di base di ogni combinazione;  
 $Q_{ki}$  valore caratt. delle azioni variabili tra loro indipendenti;  
 $P$  valore caratt. delle deformazioni impresse;  
 $\gamma_G, \gamma_Q, \gamma_P$  coefficienti parziali per le azioni;  
 $\psi_{0i}$  coefficienti di comb. per le verifiche allo stato limite ultimo.  
 $E$  = azione sismica.

Si considerano 3 direzioni principali secondo cui si effettuano le combinazioni sismiche:

$$1,00 \cdot E_x + 0,30 \cdot E_y + 0,30 \cdot E_z$$

Per come specificato al par. 4, le combinazioni considerate nel calcolo saranno quelle:

- **Rare** (SLE) di cui alla formula generale (2.5.2)
- **Quasi Permanenti** (SLE) di cui alla formula generale (2.5.4)
- **Fondamentale** (SLU) di cui alla formula generale (2.5.1)
- **Sismica** (SLV) di cui alla formula generale (2.5.5)
- **Eccezionale** (SLU) di cui alla formula generale (2.5.6)

## 8) CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Le caratteristiche geotecniche del terreno assunte nei calcoli sono:

*-Terreno a tergo dei Blocchi Spalla:*

Si assumono le caratteristiche presumibili del terreno del rilevato canale:

- peso specifico:  $\gamma_t = 1900 \text{ daN/m}^3$ ;
- angolo di attrito:  $\phi = 35^\circ$ ;
- coesione:  $c' = 0$ ;
- sovraccarico accidentale sul rilevato:  $p = 1000 \text{ daN/m}^2$ .

*-Terreno di fondazione:*

Dalla Relazione Geologica appositamente redatta dal dott. geol. Rita AMATI, alla quale si rimanda per una esauriente descrizione della campagna geognostica effettuata, si evince che i terreni fondali interessati dall'opera sono caratterizzati essenzialmente da tre strati di terreno alluvionale di differenti caratteristiche, che possono essere come di seguito specificati:

- litotipo A) da 0.00 a 4.00 m: limo sabbioso argilloso, poco addensato  
 $\gamma_v = 1.29 \text{ g/cm}^3$ ;                       $\gamma_w = 1.85 \text{ g/cm}^3$   
 $c' = 0.00$ ;     $\phi' = 25^\circ$
- litotipo B) da 4.00 a 15.00 m: sabbie con ciottoli e limo argilloso-sabbioso, poco addensati  
 $\gamma_v = 1.99 \text{ g/cm}^3$ ;                       $\gamma_w = 2.05 \text{ g/cm}^3$   
 $c' = 24.54 \text{ KN/m}^2$ ;                       $c_u = 112.73 \text{ KN/m}^2$ ;                       $\phi' = 25^\circ$
- litotipo C) da 15.00 a 22.00 m: limo argilloso con sabbia, mediamente addensati  
 $\gamma_v = 1.85 \text{ g/cm}^3$ ;                       $\gamma_w = 1.92 \text{ g/cm}^3$   
 $c' = 20.93 \text{ KN/m}^2$ ;                       $c_u = 711.83 \text{ KN/m}^2$ ;                       $\phi' = 23^\circ$

Al di sotto del litotipo C, ma già gradante ad esse dalla profondità di circa 21 m, si rinvengono le argille subappenniniche di base, notevolmente più addensate e compatte degli strati superiori.

Le caratteristiche individuate per i terreni, i carichi stimati per la struttura, le caratteristiche e la funzionalità di questa hanno portato a considerare una fondazione di tipo profondo, con palificate di pali  $\phi 600$  portate sino alla profondità di 24.00 da p.c. al fine di attestare la testa dei pali ben all'interno dello strato di limi argillosi.

Il programma di calcolo utilizzato determina, sulla scorta delle caratteristiche geotecniche degli strati, i valori dei moduli di reazione, verticali ed orizzontali, da assegnare agli elementi strutturali (solettoni e pali) costituenti il complesso di fondazione.

## 9) CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELL'IMPALCATO

L'impalcato tipo è costituito dall'assemblaggio di 11 lastre alveolari prefabbricate in c.a.p., di spessore 42 cm, completate in opera dal getto di un solettone in c.a.o. dello spessore di 30 cm.

Le lastre alveolari appoggiano sulle strutture portanti previa l'interposizione di nastri di materiale elastomerico (neoprene) ad alta densità, al fine di garantire una uniforme distribuzione dei carichi verticali tra lastra e supporto.

Il collegamento tramite getto di continuità delle strutture di impalcato alle strutture portanti (pulvini e pareti spalle) fa sì che gli elementi di appoggio in neoprene servano esclusivamente a regolarizzare l'appoggio delle lastre, non assolvendo alcuna funzione di effettivo collegamento.

Al getto del solettone le lastre vengono tra loro solidarizzate orizzontalmente attraverso le apposite sagomature delle chiavi di taglio realizzate sulle facce delle lastre dal processo di estrusione delle stesse; contestualmente avviene il collegamento tra lastre e le strutture del pulvino e delle pareti dei Blocchi Spalla, attraverso il collegamento garantito dal getto monolitico e armato tra le testate delle lastre, i cui alveoli sono opportunamente aperti, gli estradossi opportunamente armati delle strutture portanti ed il solettone di completamento.

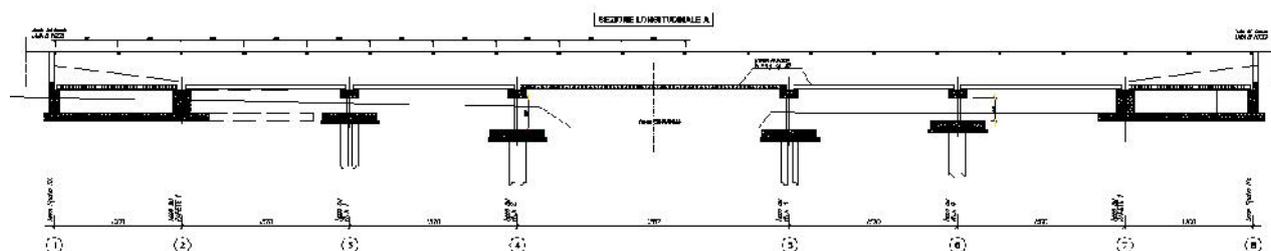


Fig. C – Sezione Longitudinale dell'Opera

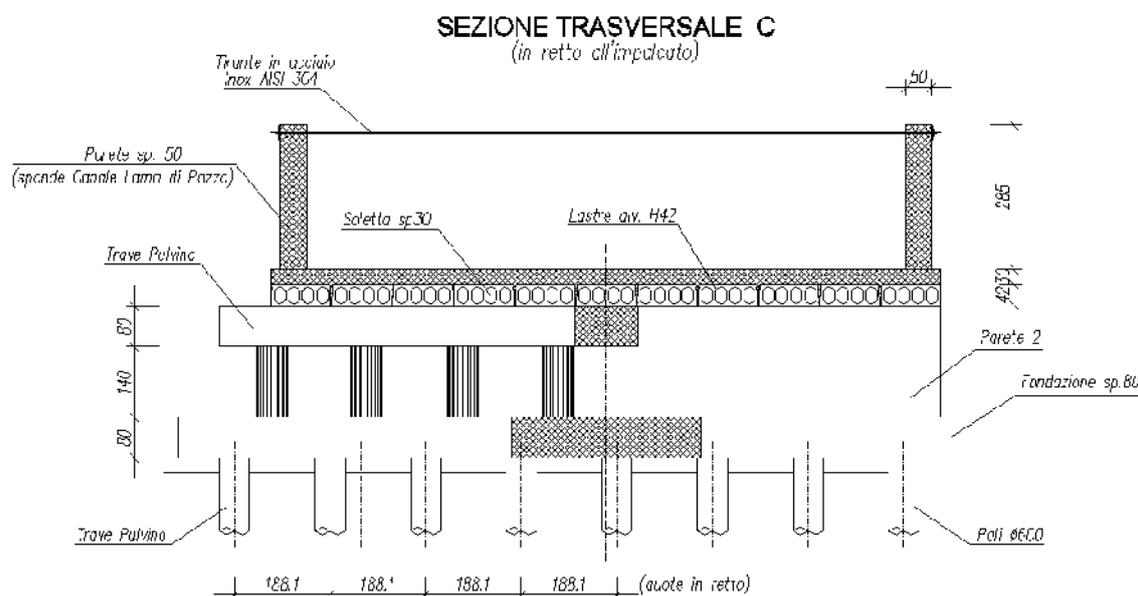


Fig. D – Sezione Trasversale dell'Opera (in retto all'impalcato)

L'impalcato così realizzato presenta le caratteristiche, assunte nel calcolo globale, di una piastra continua sugli appoggi terminali ed intermedi, solidarizzata a questi. Non sono pertanto necessari particolari presidi di tenuta laterale e longitudinale alle azioni orizzontali (ritegni sismici).

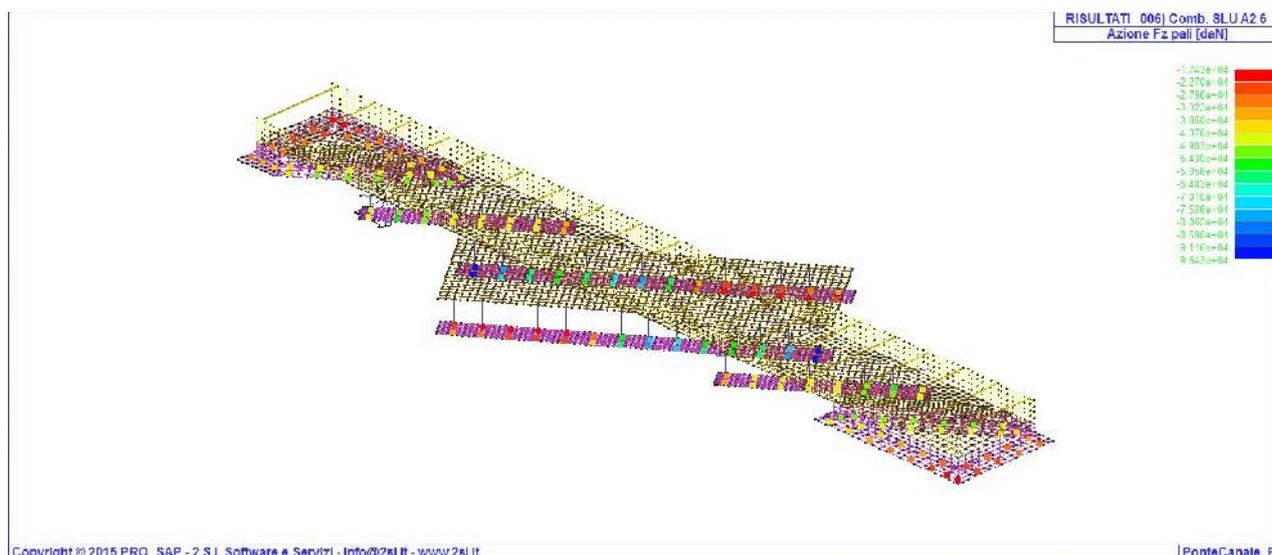
La sezione trasversale dell'impalcato ha una larghezza complessiva pari a 13.20 m, di cui 11.80 m di larghezza della sezione del canale.

La tirantatura superiore, in tondi in acciaio inox del diametro previsto  $\phi 30$ , viene disposta allo scopo di contenere le azioni all'incastro della parete al solettone, nelle ipotesi di canale in massima piena; operativamente si farà in modo che il collegamento delle armature della parete interessi non solo il solettone ma anche la lastra prefabbricata inferiore, avendo cura di prevedere apposite tasche distribuite sulla lunghezza della lastra dalle quali fare estradossare apposite armature di cacciata per la soletta e la parete.

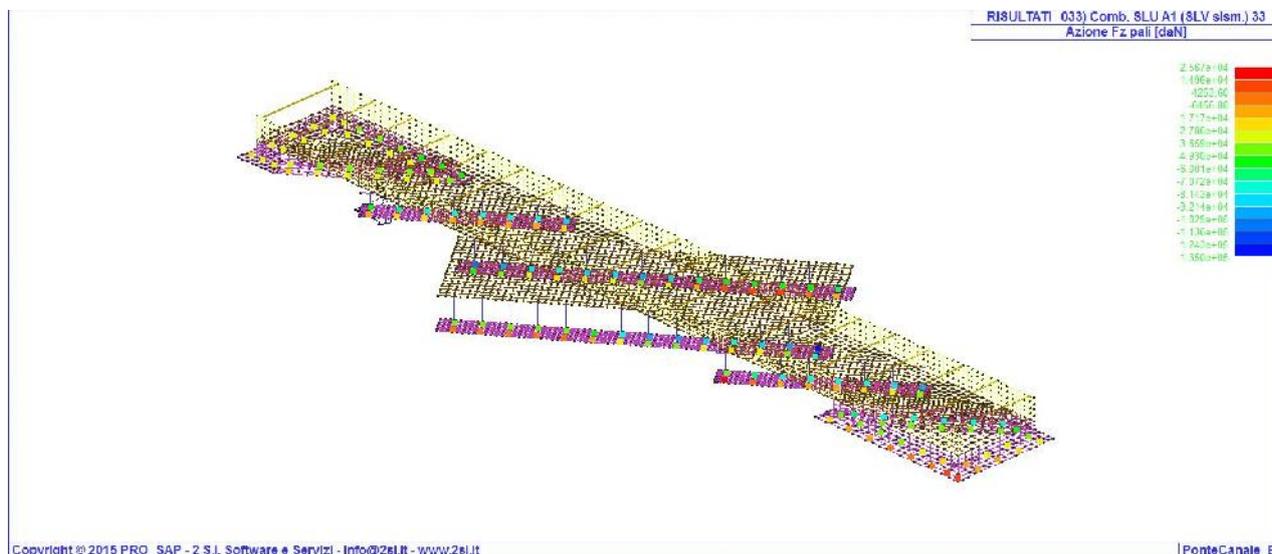
## 10) RISULTATI DI CALCOLO

L'input del modello di calcolo è specificato nei Tabulati appositi di cui all'All 06\_01\_02, ove è specificata la geometria della struttura, le sezioni degli elementi strutturali – sia in fondazione che in elevazione - ed i carichi con le combinazioni considerate.

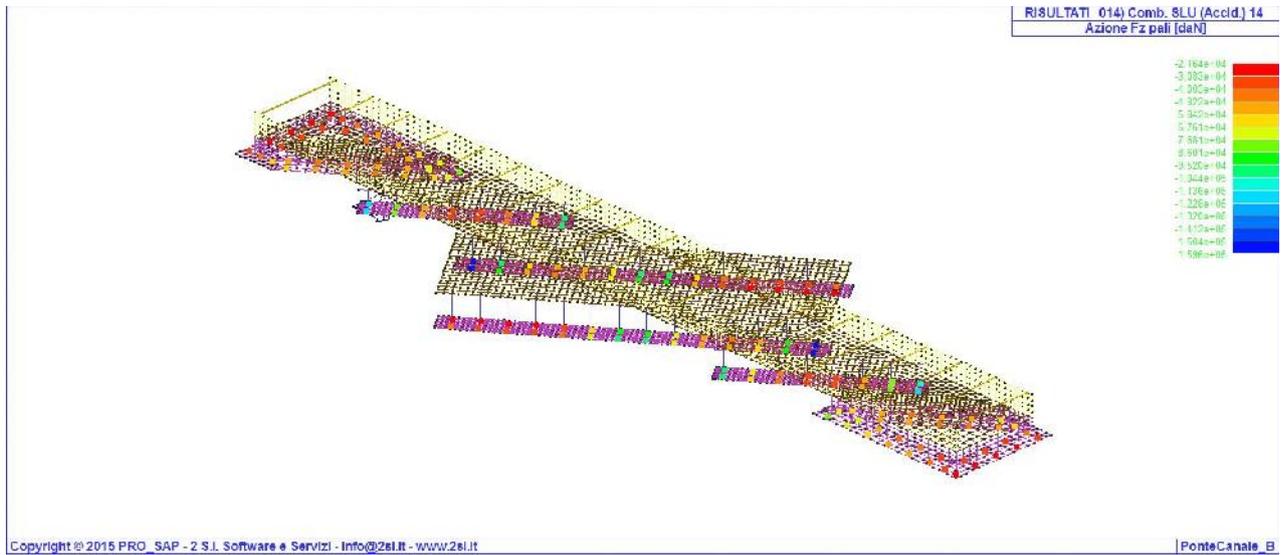
Date le dimensioni del modello di calcolo (7508 nodi, 240 aste, 7253 shell) non vengono materialmente allegati al progetto i dati completi dell'output, in considerazione della mole enorme di pagine da stampare. Si riportano, pertanto, i risultati in maniera sintetica, mediante diagrammi dai quali possono evincersi le verifiche locali e globali dei diversi elementi strutturali (pali, platee, pilastri, travi pulvino, soletta, pareti). Resta inteso che i dati completi di output restano a disposizione e, qualora richiesti, saranno prontamente forniti al committente.



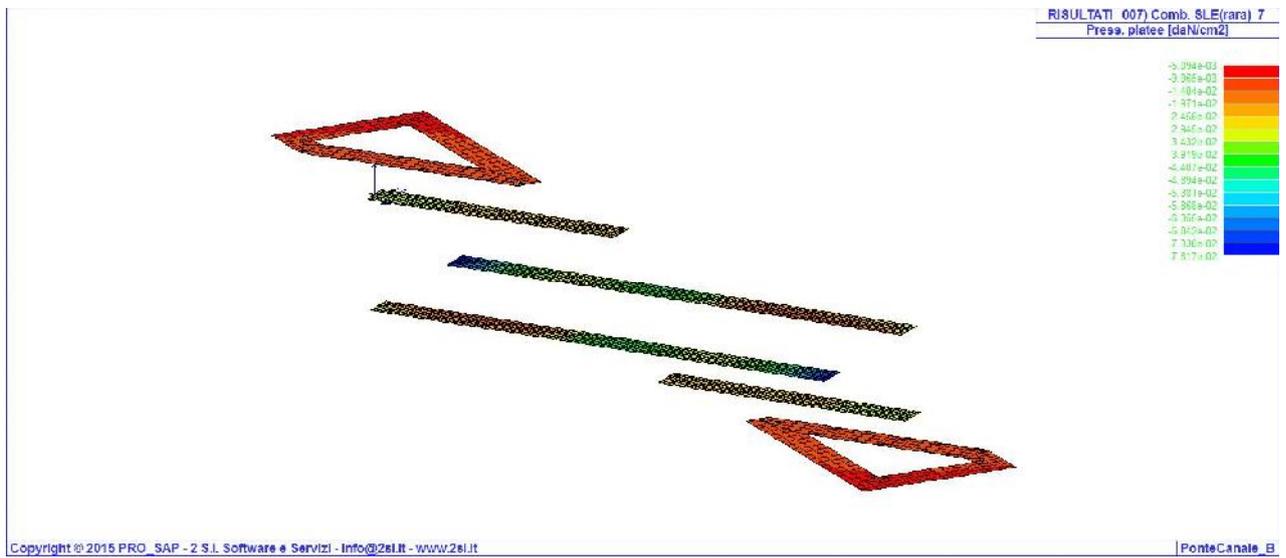
*Carichi Massimi sulla testa dei pali – SLU (Progetto)*



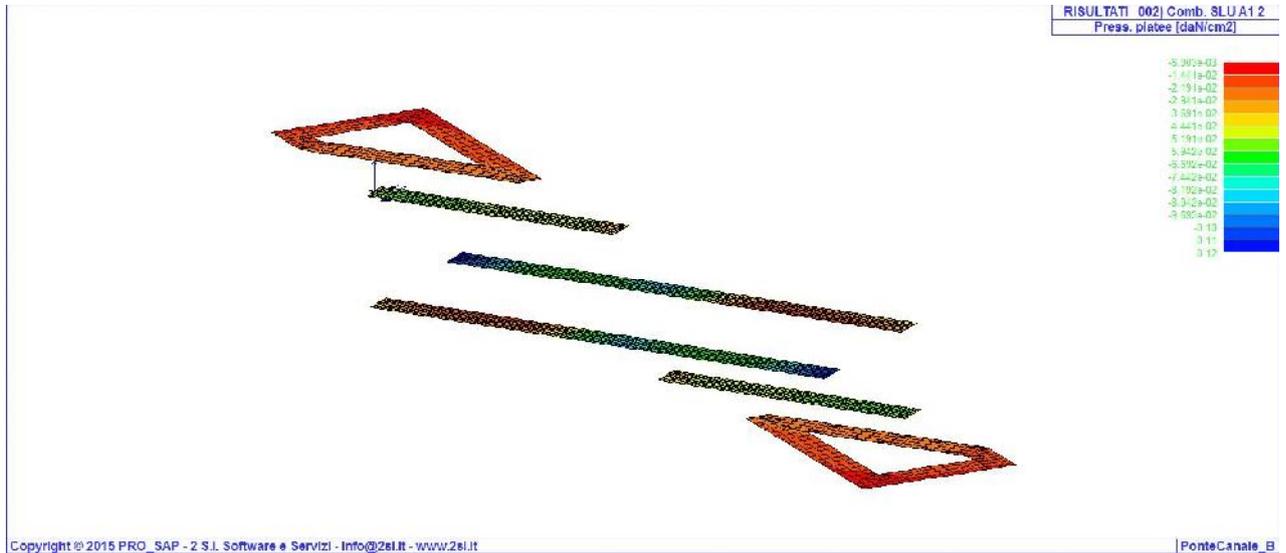
*Carichi Massimi sulla testa dei pali – SLV (Sismico)*



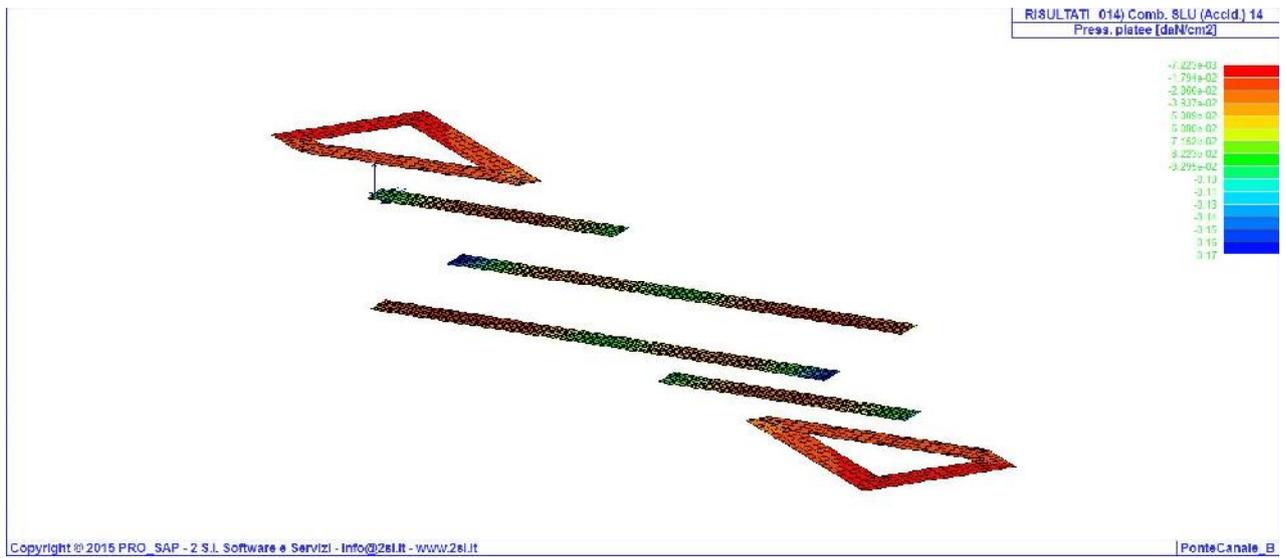
*Carichi Massimi sulla testa dei pali – SLU (Accidentale)*



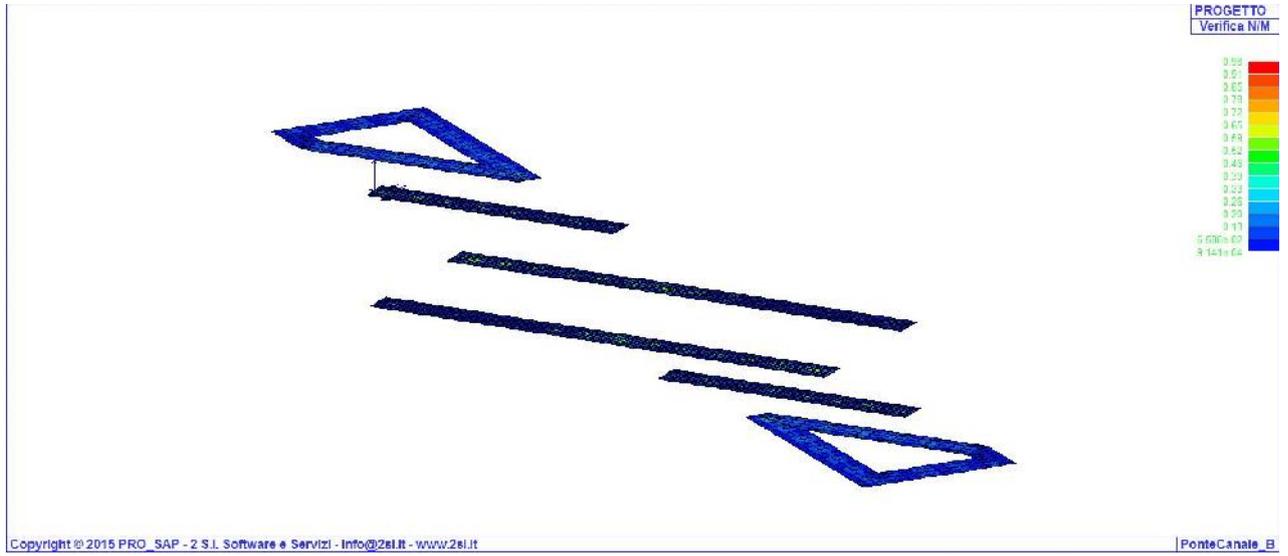
*Platee : Pressioni Massime – SLE Rara*



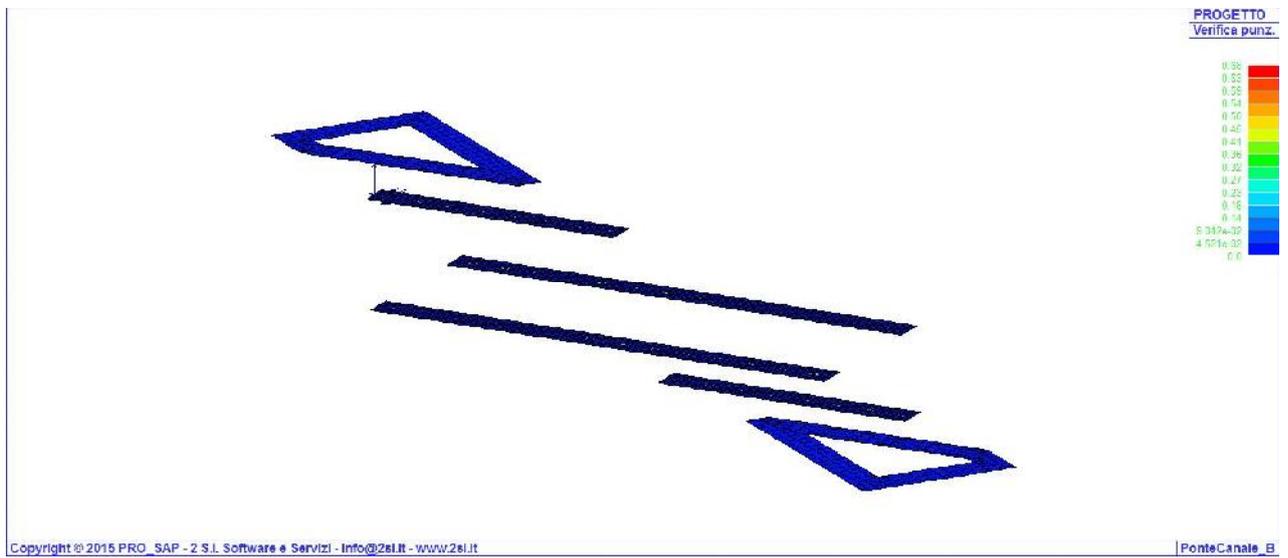
*Platee : Pressioni Massime – SLU*



*Platee : Pressioni Massime – SLU (Accidentale)*



*Platee : Verifica N/M*



*Platee : Verifica Punzonamento*



*Pilastrini : Verifica N/M*



*Pilastrini : Verifica V/T (lato cls)*



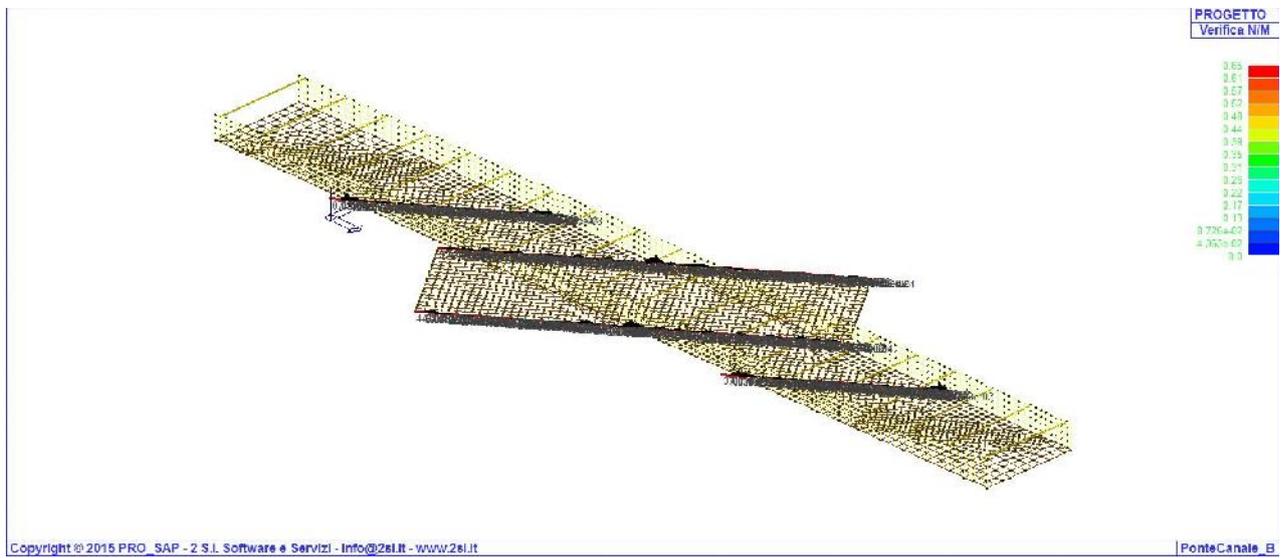
*Pilastrini : Verifica V/T (lato acciaio)*



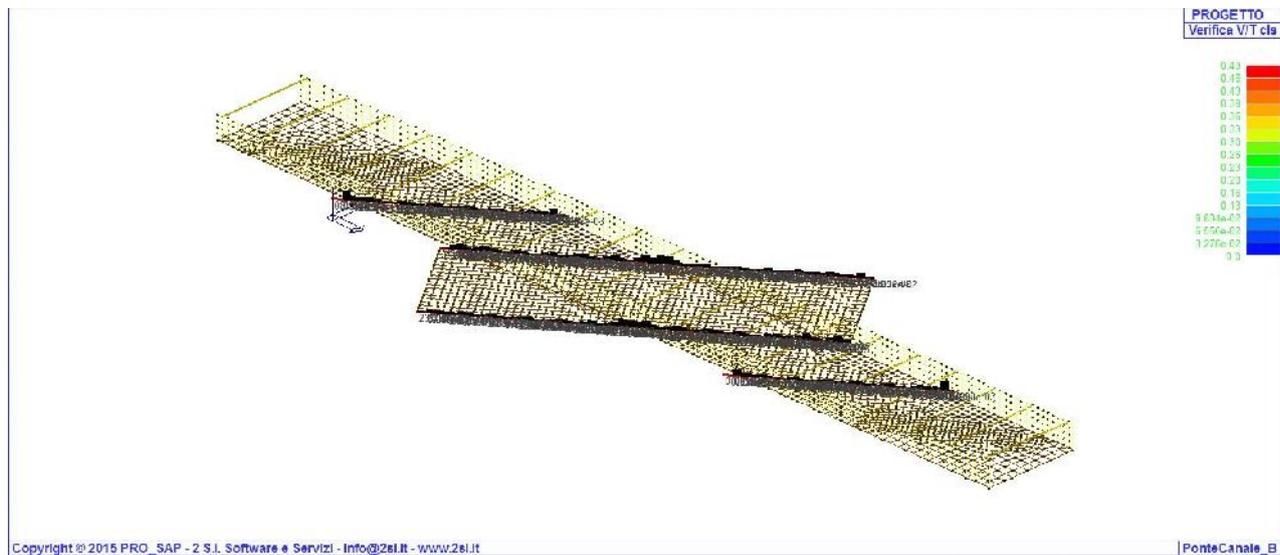
*Pilastrini : Verifica SLE Rara (lato cls)*



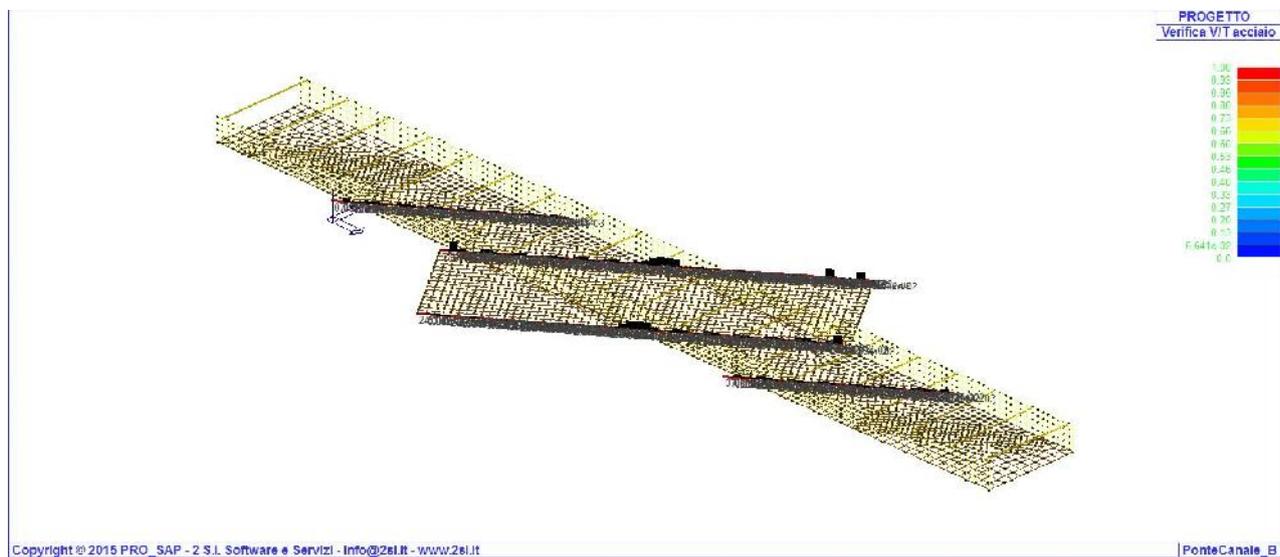
*Pilastri : Verifica SLE Rara (lato acciaio)*



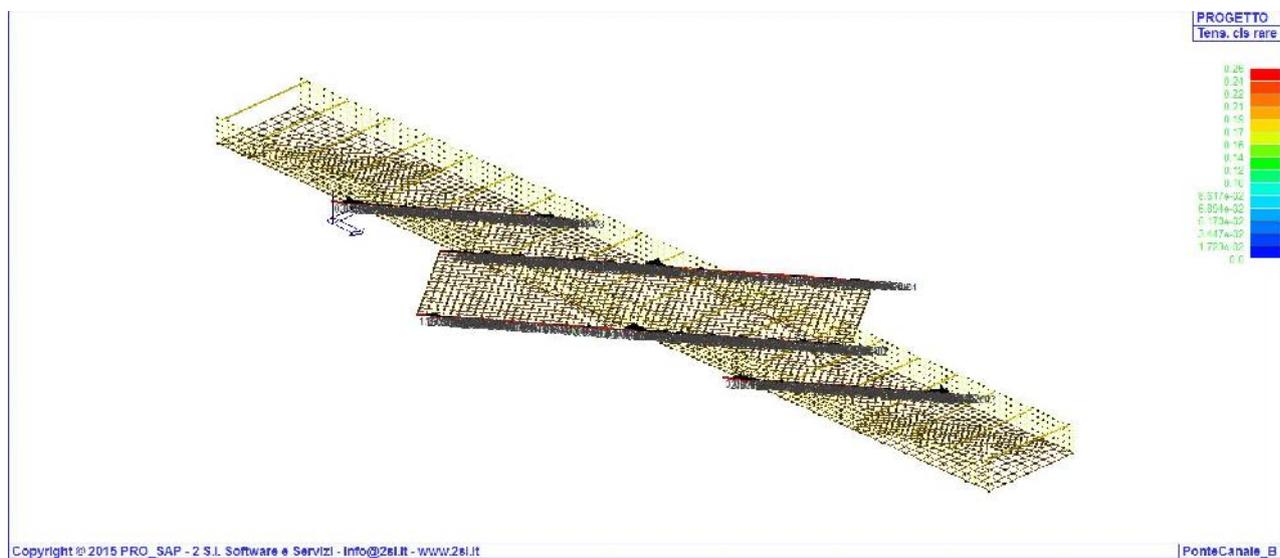
*Travi : Verifica N/M*



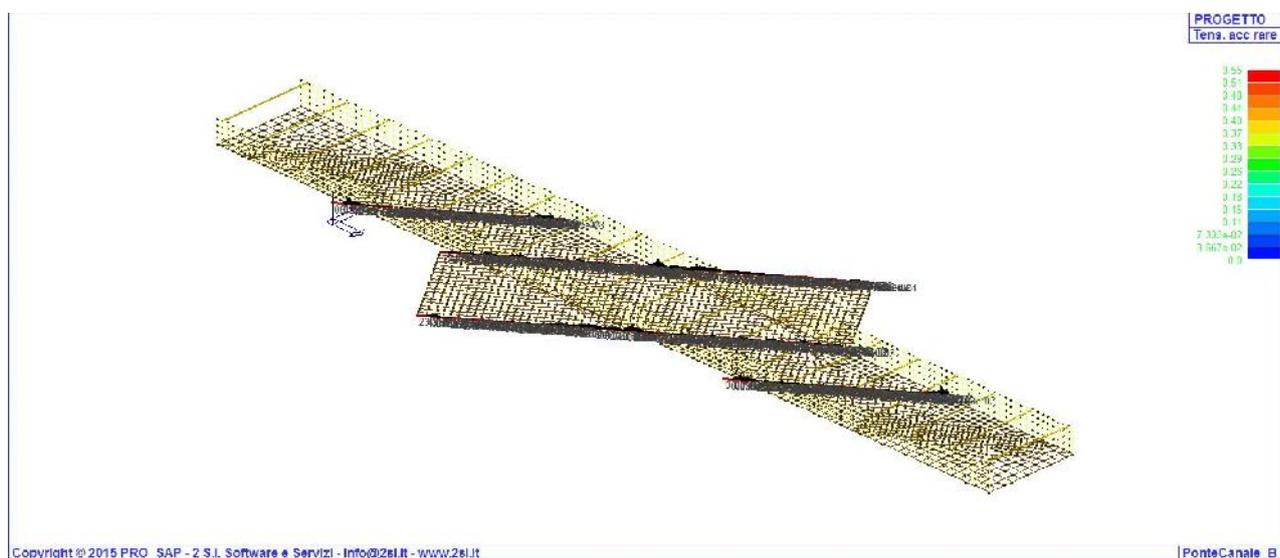
*Travi : Verifica V/T (lato cls)*



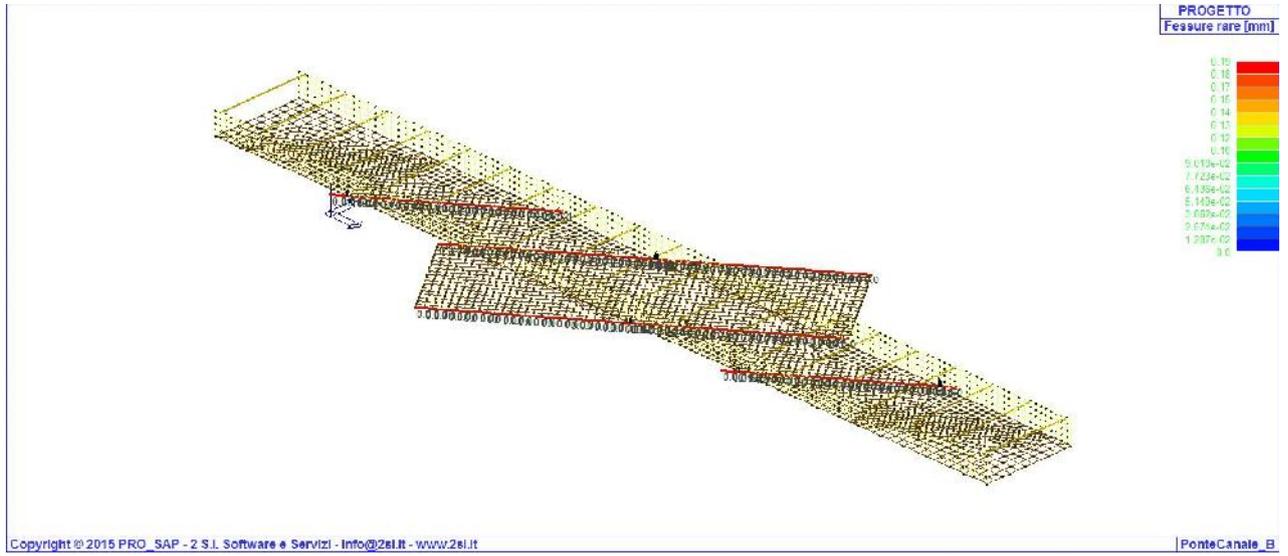
*Travi : Verifica V/T (lato acciaio)*



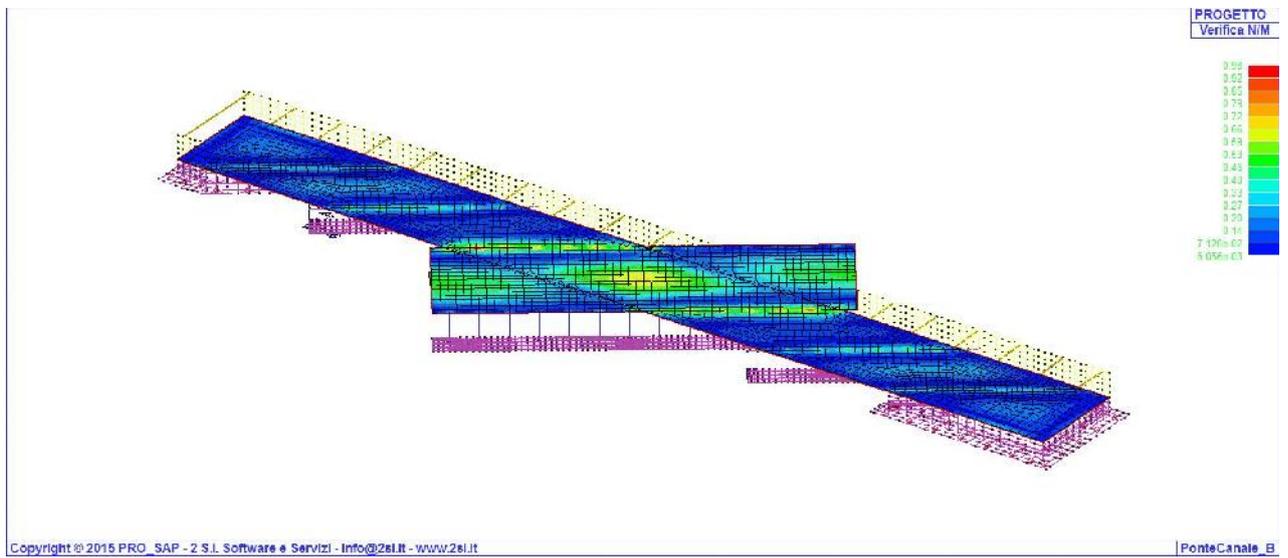
*Travi : Verifica SLE Rara (lato cls)*



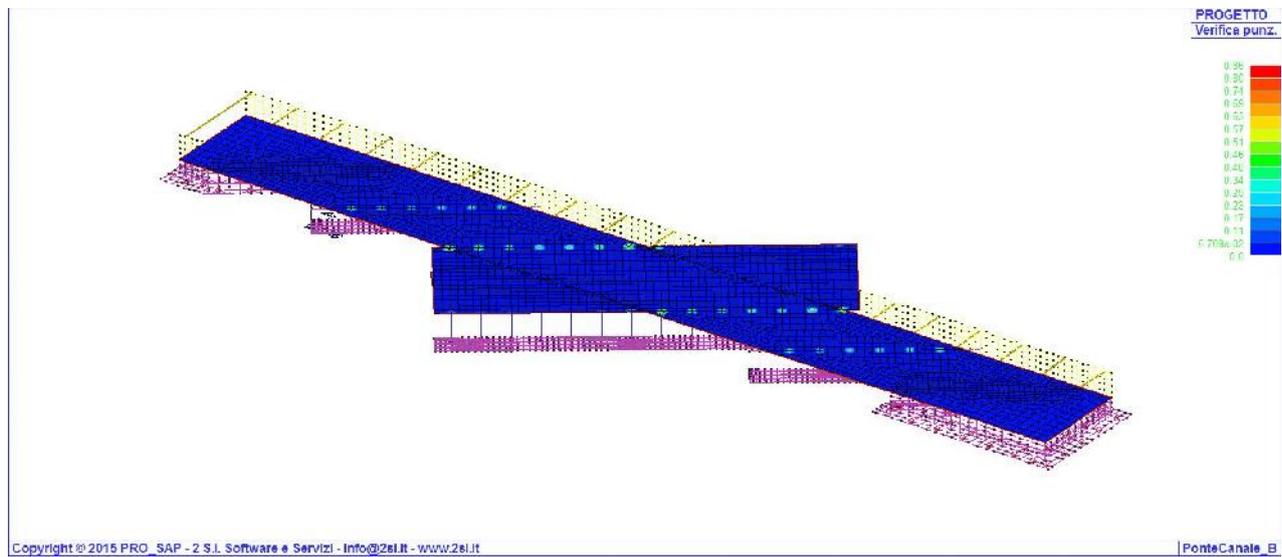
*Travi : Verifica SLE Rara (lato acciaio)*



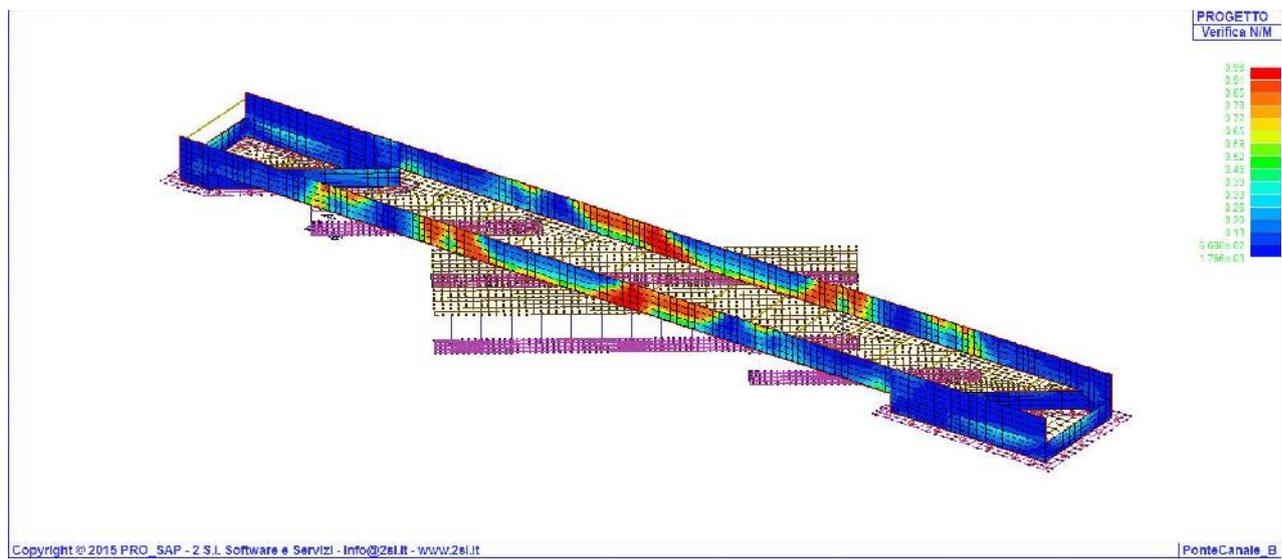
*Travi : Apertura Fessure SLE Rare*



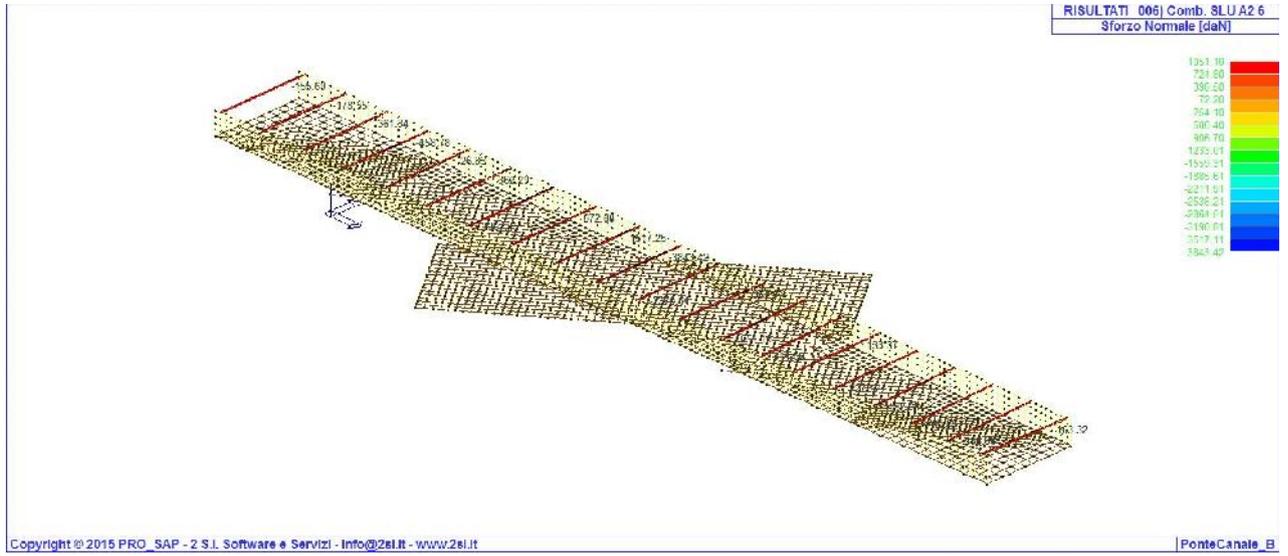
*Solettone : Verifica N/M*



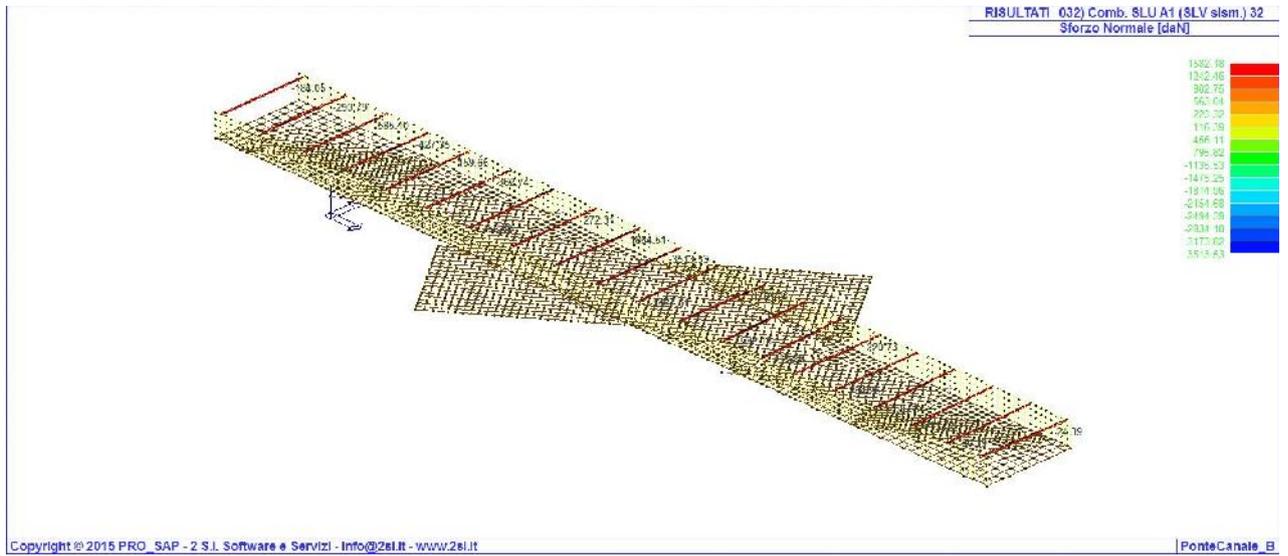
*Solettone : Verifica Punzonamento*



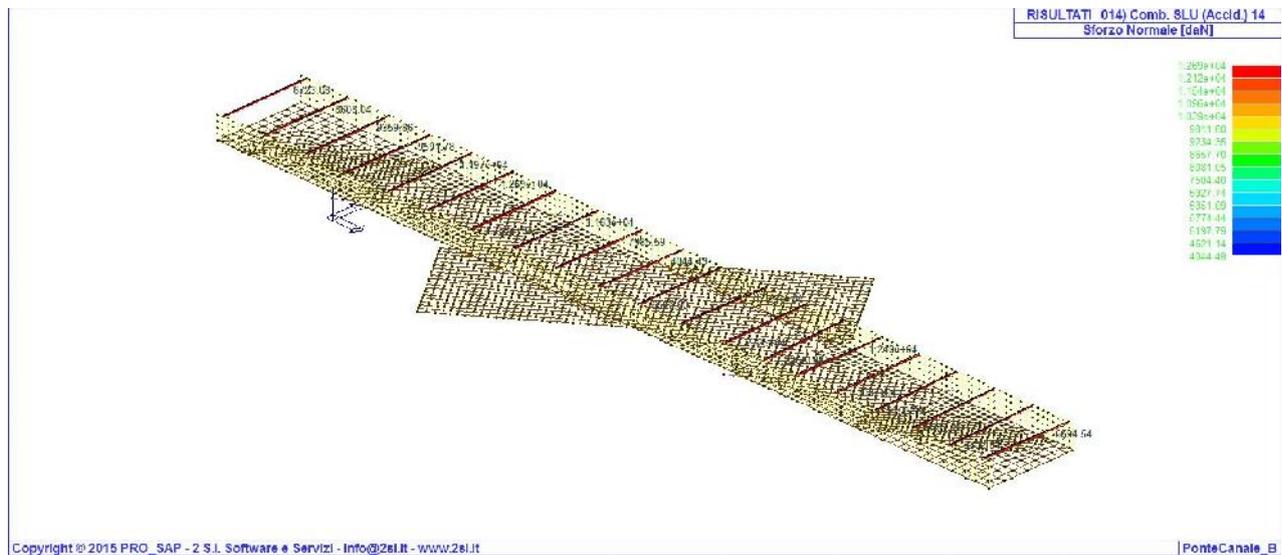
*Pareti : Verifica N/M*



*Tiranti : Azione massima SLU*



*Tiranti : Azione massima SLV*



*Tiranti : Azione massima SLU (Accidentale)*

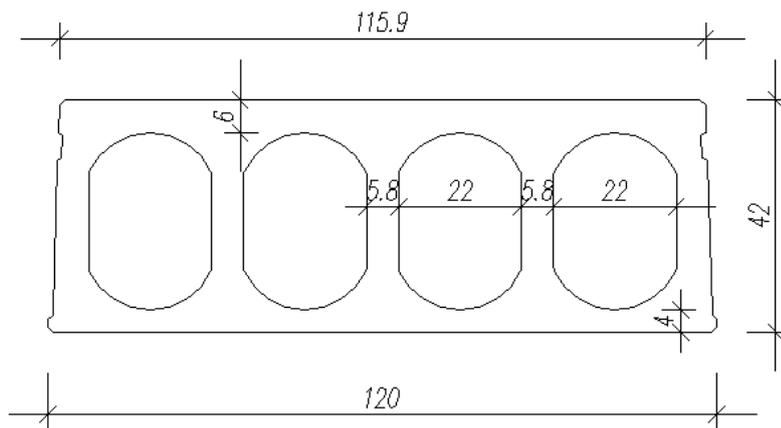
Come può evincersi dagli schemi soprariportati, gli elementi strutturali (platee, pilastri, travi, pareti) risultano essere sempre verificati.

Per quanto attiene ai pali di fondazione, le relative verifiche sono riportate nell'elaborato Relazione Geotecnica.

La verifica degli elementi di impalcato (lastra alveolare in c.a.p. + soletta in c.a.) è invece riportata di seguito.

## 11) VERIFICA DELLA LASTRA ALVEOLARE IN C.A.P. DI IMPALCATO

La lastra in oggetto è un elemento alveolare di altezza pari a 42 cm, avente sezione come da schema sotto riportato.



Essa è precompressa con trefoli aderenti, di diametro pari a 0.6" e 0.5", di sezione nominale pari rispettivamente a  $A_p = 1.39 \text{ cm}^2$  e  $A_p = 0.93 \text{ cm}^2$ .

Data la continuità dell'impalcato in corrispondenza degli appoggi, sia sulle pareti che sulle travi pulvino delle pile, in fase di esercizio le lastre vengono considerate appunto in continuità, con un grado di incastro (a vantaggio di sicurezza) pari a  $k = 16$ .

In corrispondenza delle testate della lastra, tramite opportuni tagli della soletta superiore effettuati a fresco subito dopo l'estrusione dell'elemento, gli alveoli vengono aperti per una adeguata lunghezza, in modo da poter predisporre la necessaria armatura di verifica; in corrispondenza della sezione terminale del taglio, appositi "tappi" in polistirene contengono il getto di cls, evitando che questo vada ad interessare una maggiore lunghezza dell'alveolo.

Per quanto sopra specificato relativamente ai carichi, per le diverse combinazioni di carico si determinano di seguito le azioni massime di verifica dell'impalcato.

Peso proprio lastra 615 daN/m	→	$p_p = 615/1.20 = 513 \text{ daN/m}^2$
Solettone in opera sp. 30 cm	→	$p_{sol} = 750 \text{ daN/m}^2$
Getto Asole Laterali 30 daN/m	→	$p_{asole} = 25 \text{ daN/m}^2$
Carico da Acqua caratteristico	→	$q_{acqua} = 1000 \text{ daN/m}^2$

Le verifiche delle sezioni saranno effettuate con il programma freeware VcaSLU del prof. Piero Gelfi.

### 11.1) Condizione di carico : Getto del solettone (Fase Transitoria)

Sezione reagente: sola lastra alveolare;  $L_c = 14.85 - 0.10 - 0.10 = 14.65$  m

$$p_1 = 615 + 1.20 \cdot (750 + 25) = 1545 \text{ daN/m}$$

$$M_1 = 1545 \cdot 14.65^2 / 8 = 41449 \text{ daNm}$$

$$\sigma_{\text{sup},1} = -12.31 \text{ Mpa} = -123.10 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{inf},1} = -0.639 \text{ Mpa} = -6.39 \text{ daN/cm}^2$$

Verifica C.A. S.L.U. - File: ALV42senzaSoletta - SLE

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

Titolo: ALVEOLARE H42 - Getto Solettone

N° Vertici: 24 Zoom N° barre: 0 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
13	-48	42
14	48	42
15	48	42
16	58.05	42
17	58.15	36
18	30	35

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

Armatura Precompressione  
 N° cavi: 3 Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]	$\sigma_{pe}$ [MPa]
1	1.86	0	4	1200
2	8.34	0	4	1200
3	2.79	0	7.2	1200

Sollecitazioni  
 S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 1215.59 414.49 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0 0

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

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

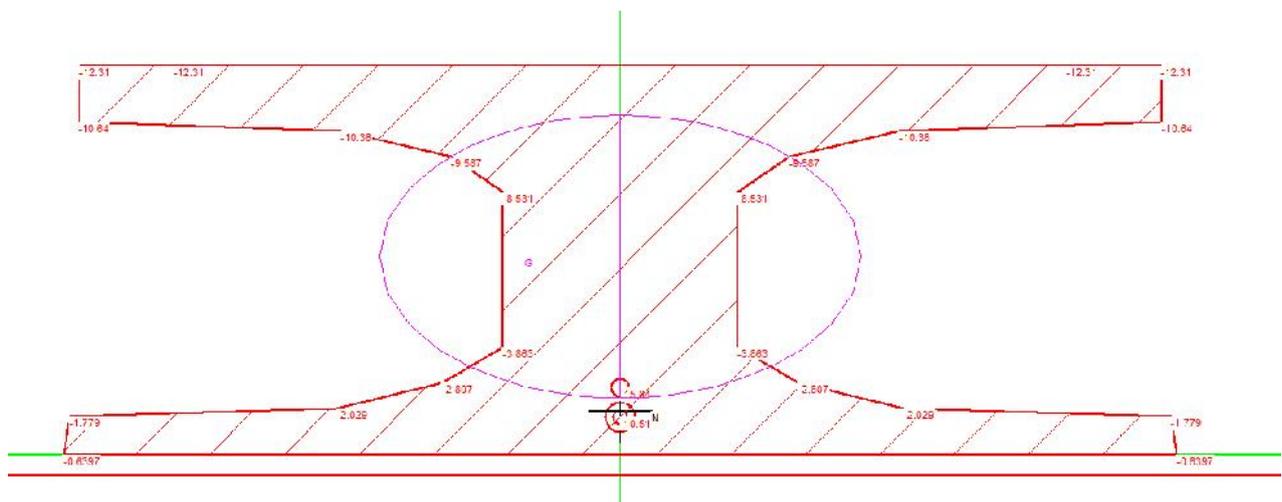
Materiali  
 B450C C45/55  
 $\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰  
 $E_s$ : 200'000 N/mm²  $f_{cd}$ : 25.5  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 16  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm²  $T_{co}$ : 0.9333  
 $T_{c1}$ : 2.543

$\sigma_c$ : -12.31 N/mm²  
 $\epsilon_s$ : ‰

Verifica N° iterazioni: 0  
 Precompresso

Tipo cavo: Trefolo  
 $\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰  
 $f_{yd}$ : 1'500 N/mm²  
 $E_s/E_c$ : 6  
 $\epsilon_{syd}$ : 7.5 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$ : 1080 N/mm²

$\sigma_{sp}$ : 1'189 N/mm²  
 $\epsilon_{sp}$ : 5.947 ‰ compressa predef.



Il taglio massimo all'appoggio della lastra vale:

$$T_1 = 1545 \cdot 14.65 / 2 = 11317 \text{ daN}$$

La verifica si effettua per sezione non appositamente armata a taglio (NTC 4.1.2.1.3.1, formula 4.1.15, per elementi precompressi in semplice appoggio); deve risultare:

$$V_{Rd} = 0.7 \cdot b_w \cdot d \cdot (f_{ctd}^2 + \sigma_{cp} \cdot f_{ctd}^2)^{1/2}$$

dove:

$b_w$  = larghezza minima della sezione = 28 cm

$d$  = altezza utile della sezione = 42 - 3.75 = 38.25 cm

$f_{ctd}$  = resistenza di calcolo a trazione del cls = 1.798 MPa

$\sigma_{cp}$  = compressione nella sezione (= 0 a vantaggio di sicurezza)

Si ottiene:

$$V_{Rd} = 0.7 \cdot 280 \cdot 382.5 \cdot (1.798^2 + 0 \cdot 1.798)^{1/2} = 134796 \text{ N} = 13479 \text{ daN} > T_1 \quad \mathbf{VERIFICATO}$$

## 11.2) Combinazione SLE Rara

Sezione reagente: lastra alveolare + soletta omogeneizzata;  $L_c = 14.85 - 0.10 - 0.10 = 14.65$  m

$$q^*_2 = 1000 \text{ daN/m}^2 \rightarrow q_2 = 1.20 \cdot 1000 = 1200 \text{ daN/m}$$

sezione in continuità con grado di incastro  $k = 1/16$

$$M_2 = (1/8 - 1/16) \cdot 1200 \cdot 14.65^2 = (1/16) \cdot 1200 \cdot 14.65^2 = 16097 \text{ daNm}$$

$$T_2 = 1200 \cdot 14.65/2 = 8790 \text{ daN}$$

$$\sigma_{\text{sup,sol}} = -1.952 \text{ Mpa} = -19.52 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{sup},2} = 0.031 \text{ Mpa} = 0.31 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{inf},2} = 2.808 \text{ Mpa} = 28.08 \text{ daN/cm}^2$$

che, sommate alle tensioni che la lastra aveva dalla condizione 1):

$$\sigma_{\text{sup}} = 0.031 - 5.663 = -5.632 \text{ Mpa} = -56.32 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{inf}} = 2.808 - 0.639 = 2.169 \text{ Mpa} = 21.69 \text{ daN/cm}^2$$

The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The main window displays the following information:

- Titolo:** ALVEOLARE H42+soletta30
- N° Vertici:** 24 (Zoom)
- N° barre:** 2 (Zoom)

N°	x [cm]	y [cm]
12	-48	42
13	-48	72
14	48	72
15	48	42
16	58.05	42
17	58.15	36

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	12.06	0	45
2	12.06	0	68

**Sollecitazioni:** S.L.U. Metodo n

N <sub>Ed</sub>	0	0	kN
M <sub>xEd</sub>	0	160.97	kNm
M <sub>yEd</sub>	0	0	

**P.to applicazione N:** Centro (selected), Baricentro cls, Coord.[cm]

**Metodo di calcolo:** S.L.U.+ (selected), S.L.U.-, Metodo n

**Materiali:** B450C, C45/55

$\epsilon_{su}$	67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391.3 N/mm²	$\epsilon_{cu}$	3.5 ‰
$E_s$	200'000 N/mm²	$f_{cd}$	25.5
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	0.8
$\epsilon_{syd}$	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	16
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	$\tau_{co}$	0.9333
		$\tau_{c1}$	2.543

**Results:**

- $\sigma_c$ : -1.952 N/mm²
- $\sigma_c$ : 2.808 N/mm²
- $\epsilon_s$ : -0.01252 ‰

**Verifica** button and **Precompresso** checkbox are also visible.

All'incastro si ha, come sopra determinato:

$$M^- = -16097 \text{ daNm}$$

Considerando una armatura sugli appoggi costituita dalla doppia maglia  $\phi 16/20''$  del solettone ( $12.06 \text{ cm}^2$  per strato), integrata da  $1\phi 20$ /asola (quindi  $12.56 \text{ cm}^2$ ), si ha la verifica sotto riportata

**Titolo :** ALVEOLARE H42+soletta - Incastro SLE Rara

**N° Vertici** 24 **Zoom** **N° barre** 4 **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]
12	-48	42
13	-48	72
14	48	72
15	48	42
16	58.05	42
17	58.15	38

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	12.06	0	45
2	24.62	0	68
3	6.28	-55	8
4	6.28	55	8

**Sollecitazioni**  
S.L.U. **Metodo n**

**N<sub>Ed</sub>** 0 kN  
**M<sub>xEd</sub>** 0 kNm  
**M<sub>yEd</sub>** 0 kNm

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

**Materiali**  
B450C C45/55  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  25.5 N/mm²  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  16 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.9333  
 $\tau_{c1}$  2.543

$\sigma_c$  -2.819 N/mm²  
 $\sigma_s$  90.05 N/mm²  
 $\epsilon_s$  0.4502 ‰  
d 68 cm  
x 21.73 x/d 0.3196  
 $\delta$  0.8394

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

**Verifica**  
N° iterazioni: 4  
 Precompresso

Il taglio massimo all'appoggio della lastra vale:

$$T_1 = 1200 \cdot 14.65/2 = 8790 \text{ daN}$$

La verifica si effettua per sezione non appositamente armata a taglio (NTC 4.1.2.1.3.1, formula 4.1.14); implementata la detta formula in un foglio di calcolo si determina la verifica allegata

VERIFICA A TAGLIO - (Sezione non armata a taglio, NTC 4.1.2.1.3.1)							
altezza utile sezione	d =	682.50	mm				
larghezza minima sezione	bw =	280.00	mm				
	As, sup =	314	mm <sup>2</sup>	1	φ20/Asola		
	As, inf =	314	mm <sup>2</sup>	1	φ20/Asola		
rapporto arm. Longitudinale	ρ1 =	0.0033	<= 0.020				
tensione media compr.	σcp =	0.00	N/mm <sup>2</sup>	<	0.2·fcd =	5.04	MPa
	k =	1.54	<= 2				
	vmin =	0.4315					
	VRd =	90480	N	=	9048	daN	> Vmax = 8790 daN
	Vmin =	82451	N	<	VRd		

### 11.3) Combinazione SLU (Progetto)

Sezione reagente: lastra alveolare + soletta omogeneizzata;  $L_c = 14.85 - 0.10 - 0.10 = 14.65$  m

$$q_d = 1.3 \cdot (615 + 900) + 1.5 \cdot 1200 = 3770 \text{ daN/m}$$

$$M_d = (1/8 - 1/16) \cdot 3770 \cdot 14.65^2 = (1/16) \cdot 3770 \cdot 14.65^2 = 50570 \text{ daNm} = 505.70 \text{ KNm}$$

La verifica è sotto riportata

Verifica C.A. S.L.U. - File: ALV42conSoletta\_OMOG - SLU\_2sopra

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

**Titolo:** ALVEOLARE H42+soletta - SLU

N° Vertici: 24 Zoom N° barre: 2 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
10	-58.15	36
11	-58.05	42
12	-48	42
13	-48	72
14	48	72
15	48	42

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	12.06	0	45
2	12.06	0	68

**Armatura Precompressione**

N° cavi: 3 Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]	$\sigma_{sp}$ [MPa]
1	1.86	0	4	1200
2	8.34	0	4	1200
3	2.79	0	7.2	1200

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Armat. Precompressione**

Tipo cavo: **Trefolo**

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  
 $f_{yd}$  1'500 N/mm²  
 $E_s/E_c$  6  
 $\epsilon_{syd}$  7.5 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$  1080 N/mm²

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

$N_{Ed}$  0 kN  
 $M_{xEd}$  505.70 kNm  
 $M_{yEd}$  0

**P.to applicazione N**

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

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Cavo snervato

**Metodo di calcolo**

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

**Tipo flessione**

Retta  Deviata

**Materiali**

**B450C** **C45/55**

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  25.5 N/mm²  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  16 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.9333  
 $\tau_{c1}$  2.543

**M**  $M_{xRd}$  1'340 kNm

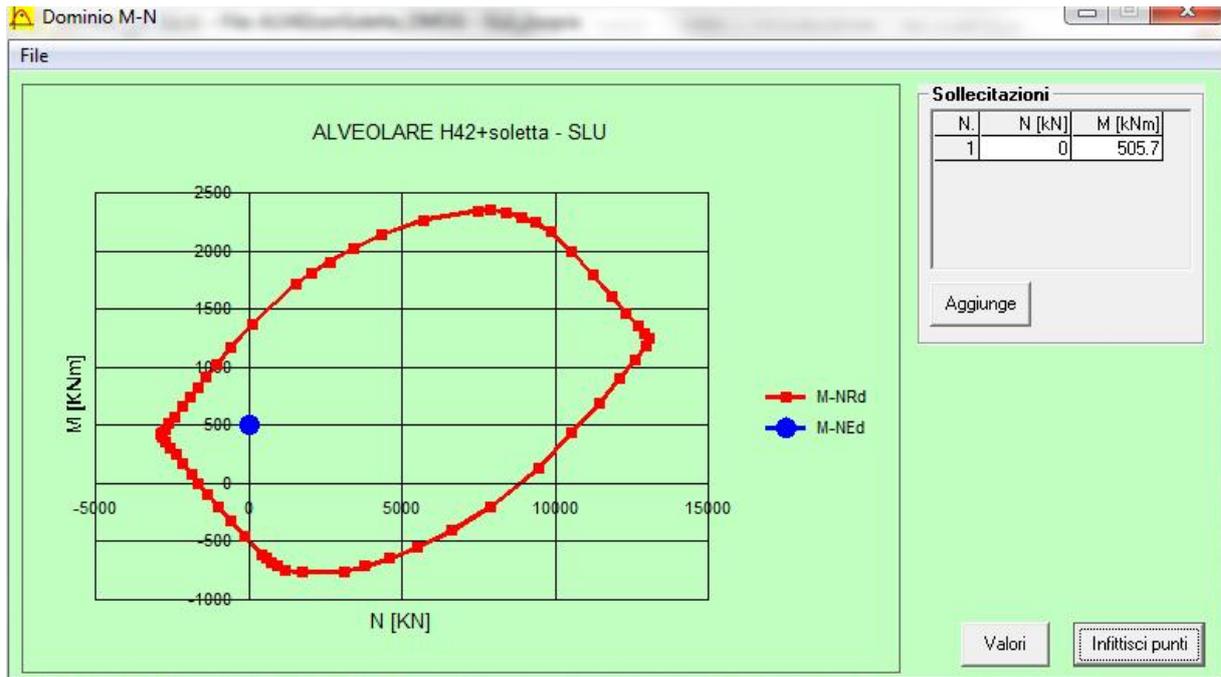
$\sigma_c$  -25.5 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  6.12 ‰  
 $d$  68 cm  
 $x$  9.824  $x/d$  0.1445  
 $\delta$  0.7

**Calcola MRd** **Dominio M-N**

$L_0$  0 cm **Col. modello**

$\sigma_{sp}$  1'500 N/mm²  
 $\epsilon_{sp}$  26.73 ‰ compressa predef.

Precompresso



All'incastro si ha, come sopra determinato:

$$M^- = -505.70 \text{ KNm}$$

Considerando una armatura sugli appoggi costituita dalla doppia maglia  $\phi 16/20''$  del solettone ( $12.06 \text{ cm}^2$  per strato), integrata da  $1\phi 20$ /asola (quindi  $12.56 \text{ cm}^2$ ), si ha la verifica sotto riportata

Verifica C.A. S.L.U. - File: ALV42conSoletta\_OMOG - SLU Neg

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

**Titolo :** ALVEOLARE H42+soletta - Incastro SLU

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
10	-58.15	38	1	12.06	0	45
11	-58.05	42	2	24.62	0	68
12	-48	42	3	6.28	-55	8
13	-48	72	4	6.28	55	8
14	48	72				
15	48	42				

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

**Sezio...**

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN  
 M<sub>xEd</sub>  kNm  
 M<sub>yEd</sub>

**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

**Materiali**

B450C		C45/55	
$\epsilon_{su}$	67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391.3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	3.5 ‰
$E_s$	200'000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	25.5
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	0.8 ?
$\epsilon_{syd}$	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	16
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	0.9333
		$\tau_{c1}$	2.543

**M<sub>xRd</sub>**  kN m

$\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$   ‰  
 $\epsilon_s$   ‰  
 d  cm  
 x  x/d   
 $\delta$

N° rett.   
 Calcola MRd   
 L<sub>0</sub>  cm   
 Precompresso

#### 11.4) Combinazione SLU (Accidentale)

Nella Condizione di Piena massima, con una altezza d'acqua pari alla massima altezza delle pareti ( $h_w = 2.85$  m) si viene a determinare la seguente condizione di carico, considerata con coefficienti di amplificazione unitari, date le condizioni assunte di eccezionalità:

$$q_{d,a} = 1.0 \cdot (615 + 900) + 1.0 \cdot 2850 = 4365 \text{ daN/m}$$

$$M_{d,pos} = (1/8 - 1/16) \cdot 4365 \cdot 14.65^2 = (1/16) \cdot 4365 \cdot 14.65^2 = 58552 \text{ daNm} = 585.52 \text{ KNm}$$

$$M_{d,neg} = - M_{d,pos} = - 58552 \text{ daNm} = -585.52 \text{ KNm}$$

La sezione di verifica è la stessa del punto precedente; dagli schemi delle form riportate può facilmente verificarsi che

$$M_{Rd,pos} = 1340 \text{ KNm} > 585.52 \text{ KNm}$$

$$M_{Rd,neg} = 837.9 \text{ KNm} > 585.52 \text{ KNm}$$

pertanto la sezione può considerarsi **VERIFICATA**.