

# COMUNE DI PADOVA

## SETTORE LAVORI PUBBLICI

---



### ADEGUAMENTO ENERGETICO TENSOSTRUTTURE "NATIVITAS" E "BETTINI"

### PROGETTO ESECUTIVO

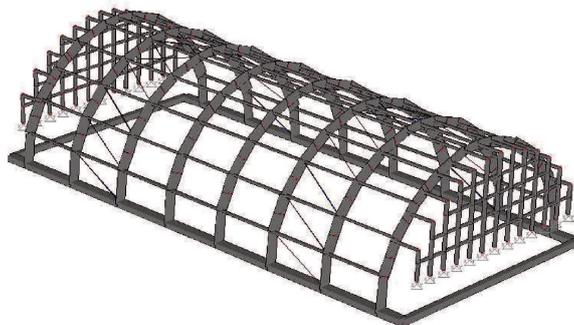
GRUPPO PROGETTAZIONE:

Geom. Sandro Cecchinato  
Ing. Mauro Ferrarese (consulente esterno)

CODICE OPERA		DATA
LLPP EDP 2017/099		Ottobre 2018
DESCRIZIONE ELABORATO		NUMERO
RELAZIONE DI CALCOLO STATICO ARCOSTRUTTURA NATIVITAS		10
IL PROGETTISTA	IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO	IL CAPO SETTORE
Ing. Claudio Rossi	Arch. Stefano Benvegnù	Ing. Massimo Benvenuti

COMUNE DI:  
**PADOVA**

PROVINCIA DI:  
**PADOVA**



COMMITTENTE:  
**COMUNE DI PADOVA**  
**SETTORE EDILIZIA PUBBLICA**  
**ED IMPIANTI SPORTIVI**  
**Via Tommaseo 60, Padova**

PROGETTO:  
**ADEGUAMENTO ENERGETICO ARCOSTRUTTURA "NATIVITAS"**

# PROGETTO ESECUTIVO DELLE STRUTTURE

TITOLO:

**RELAZIONE DI CALCOLO  
DELLE STRUTTURE**

ELABORATO:

**REL.S**

DATA:

**GIUGNO 2018**

REVISIONE:

**00**

## REVISIONI

FILE: NATIVITAS\_relcalcolo

N°	OGGETTO	DATA	SOST.REV.	REDDATTO:	MF
1				VERIFICATO:	MF
2				VALIDATO:	MF
3				CODICE:	07_M_2018

PROGETTISTA

TIMBRO E FIRMA

**Ing. MAURO FERRARESE**

Via Crescini, 63 - 35126 PADOVA  
tel. e fax 049/75.61.53 - cell. 335/65.25.898  
mauro.ferrarese@alice.it

COLLABORATORE



FERRARESE MAURO  
ORDINE DEGLI  
INGEGNERI DELLA  
PROVINCIA DI  
PADOVA/80015440284  
Ingegnere  
11.07.2018 14:41:52  
UTC

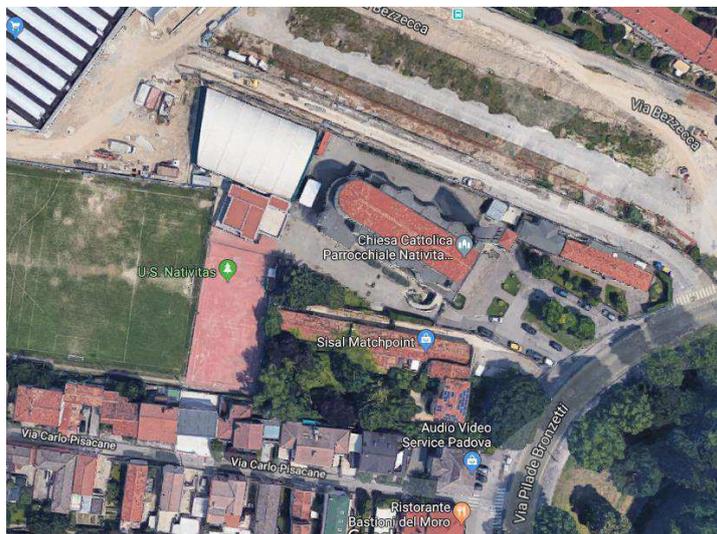


## 1. INDICE

<b>1. INDICE .....</b>	<b>2</b>
<b>2. PREMESSE E DESCRIZIONE DELLE OPERE .....</b>	<b>3</b>
<b>3. CRITERI DI CALCOLO E NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>4. MATERIALI .....</b>	<b>6</b>
4.1. CALCESTRUZZO C25/30 PER FONDAZIONI .....	6
4.2. CALCESTRUZZO C28/35 PER PILASTRI, TRAVI, CORDOLI .....	6
4.3. ACCIAIO DA C.A. B450C .....	6
4.4. ACCIAIO DA CARPENTERIA S275 .....	6
<b>5. PRINCIPALI AZIONI SULLE NUOVE STRUTTURE .....</b>	<b>7</b>
5.1. PREMESSE .....	7
5.2. AZIONI SULLE COSTRUZIONI .....	7
5.3. COMBINAZIONE DELLE AZIONI .....	9
5.3.1. GENERALITA' .....	9
5.3.2. COMBINAZIONI CONSIDERATE .....	10
<b>6. MODELLAZIONE STRUTTURALE .....</b>	<b>11</b>
6.1. PREMESSE .....	11
6.2. DATI CARATTERISTICI DELLA STRUTTURA .....	12
6.2.1. Generalita' .....	12
6.2.2. Riepilogo delle sezioni utilizzate nel modello strutturale .....	14
6.2.3. Riepilogo dei materiali utilizzati nel modello strutturale .....	14
6.2.4. Carichi per elementi trave, trave di fondazione e reticolare .....	15
6.2.5. Massa eccitata quota > 0.00 .....	15
<b>7. RISULTATI DELL'ANALISI ALLO SLU DEGLI ELEMENTI IN C.A. ....</b>	<b>17</b>
<b>8. VERIFICA SINTETICA DEGLI ELEMENTI IN LEGNO LAMELLARE .....</b>	<b>19</b>
8.1. VERIFICA ARcareccio STABILIZZANTE .....	19
8.2. VERIFICA ARcareccio NUOVO PER POSA COPERTURA SANDWICH .....	19
8.3. VERIFICA ARCO .....	22
<b>9. VERIFICA FONDAZIONI IN C.A. ....</b>	<b>26</b>
9.1. FONDAZIONI DIRETTE .....	26
<b>10 ALLEGATI .....</b>	<b>27</b>
<b>ALLEGATO 1: INFORMAZIONI INTEGRATIVE SULL'USO DEI CODICI DI CALCOLO .....</b>	<b>28</b>
CODICE DI CALCOLO ADOTTATO, SOLUTORE E AFFIDABILITÀ DEI RISULTATI .....	28

## 2. PREMESSE E DESCRIZIONE DELLE OPERE

La relazione riporta i criteri generali seguiti nella progettazione esecutiva delle strutture nell'ambito dell' "ADEGUAMENTO ENERGETICO ARCOSTRUTTURE NATIVITAS E BETTINI" in particolare per quanto riguarda quella denominata Nativitas, situata a Padova all'interno dell'omonimo complesso parrocchiale in Via Bronzetti.



La struttura realizzata nel 2006 si trova in ottimo stato di conservazione e viene perciò trattata come se fosse nuova. Copre un'area di forma trapezoidale con lati paralleli di lunghezza rispettivamente 38.52 e 32.98 m e altezza pari a 21.60 m.

E' costituita da otto portali ad "arco a tre cerniere", di luce netta in asse alla fondazione pari a 20.80 metri ed altezza al colmo di circa 10.40 metri. Sette archi sono posti ad interasse 5.60 metri, mentre l'ottavo, posto obliquamente ai precedenti (angolo di circa 20°), consente di seguire la forma della piastra. La sezione degli archi è variabile in altezza e pari a 12 cm in larghezza.

Sugli archi, opportunamente controventati da un'orditura di arcarecci (sezione 14x16.5 cm) anch'essi di legno e tiranti in tondo di acciaio, è posato il telo in PVC di chiusura.

Le fondazioni in c.a. sono del tipo "a trave continua" con sezioni rettangolari.

Le principali opere hanno lo scopo di ridurre sensibilmente il consumo energetico per il riscaldamento del volume coperto sostituendo le membrane in pvc con:

- Pannello/pacchetto sandwich calandrati isolanti e fonoassorbenti per il tamponamento della copertura;
- Muratura perimetrale dalla fondazione alla quota della trave di banchina esistente, rivestita esternamente con cappotto di adeguato spessore;
- Tamponamento delle testate con struttura in legno a sostegno di parete in policarbonato alveolare.

Dal punto di vista prettamente strutturale si prevede perciò:

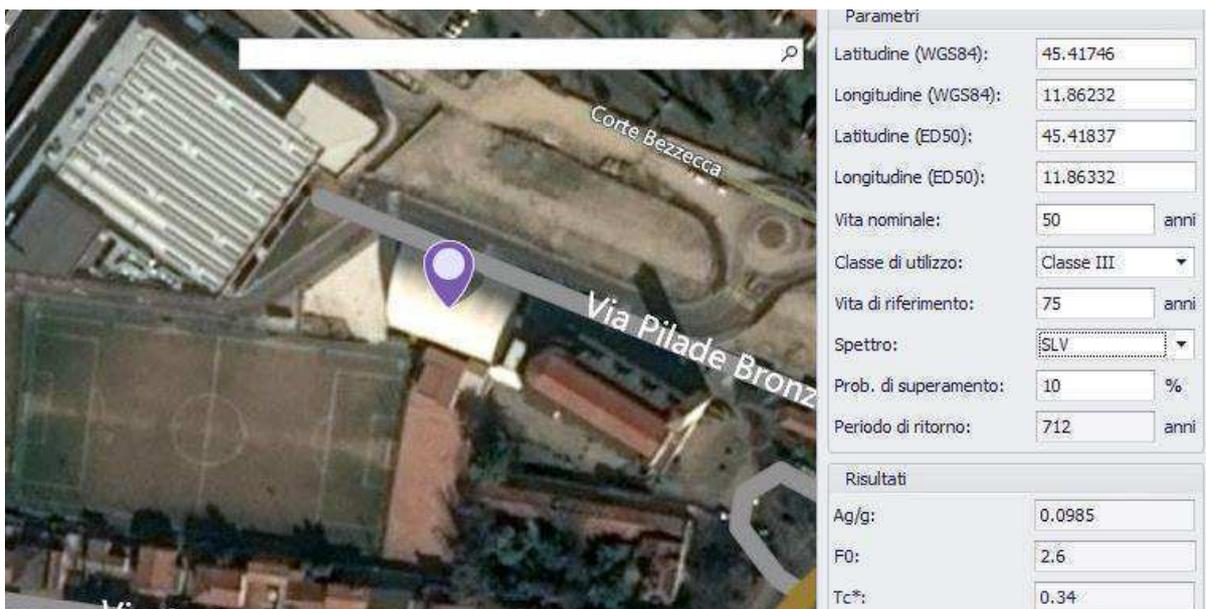
1. Rimozione telo esistente

2. Rimozione arco inclinato e arcarecci relativi
3. Fresatura sommità arco rimosso per renderlo uguale agli altri archi
4. Demolizione cordolo di fondazione inclinato e ridotta demolizione cordoli longitudinali per ripresa getto e armatura metallica esistente
5. Costruzione nuovo cordolo di fondazione con integrazione armature e ripresa di getto
6. Ricollocamento arco, fornitura e posa arcarecci principali con recupero carpenteria di tenuta.
7. Fornitura e posa in opera di nuovi arcarecci a filo superiore archi per posizionamento nuovo manto di copertura coibentante
8. Costruzione muratura sp.30 cm con cordolo sommitale
9. Fornitura e posa di montanti e traversi per baraccatura di testata.
10. Fornitura e posa di copertura calandrata

Le opere saranno completate da tamponamento delle testate con fissaggio di lastre in policarbonato e da tutte le finiture non strutturali (gronde, pluviali, scossaline ecc.).

Si osserva infine che nella progettazione della struttura risalente all'anno 2006 non si tenne conto delle azioni sismiche. Le verifiche di seguito riportate includeranno nella combinazioni di carico specifiche anche tali azioni.

In merito agli aspetti sismici sottolineiamo che Il Comune di Padova è classificato sismico in zona 4 secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003. Dalla data 01 luglio 2009 sono entrate in vigore le Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008 e le successive modifiche in vigore dal 2018 che forniscono puntualmente nel territorio nazionale i valori dei parametri sismici necessari all'individuazione degli spettri di risposta corrispondenti ai diversi stati limite da considerare nel dimensionamento e verifica delle strutture. Di seguito si riportano i valori dei parametri sismici per il sito dell'edificio in oggetto per il quale si è in classe d'uso III .



Parametri	
Latitudine (WGS84):	45.41746
Longitudine (WGS84):	11.86232
Latitudine (ED50):	45.41837
Longitudine (ED50):	11.86332
Vita nominale:	50 anni
Classe di utilizzo:	Classe III
Vita di riferimento:	75 anni
Spettro:	SLV
Prob. di superamento:	10 %
Periodo di ritorno:	712 anni

Risultati	
Ag/g:	0.0985
F0:	2.6
Tc*:	0.34

### **Sismicità del luogo di intervento**

### **3. CRITERI DI CALCOLO E NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO**

In generale ai fini della sicurezza saranno adottati i criteri contemplati dal metodo agli STATI LIMITE. La valutazione dei valori massimi e minimi dei parametri di sollecitazione è stata eseguita considerando le combinazioni più sfavorevoli delle singole azioni.

Si è fatto riferimento in generale per quanto possibile alla normativa italiana e alle norme ed istruzioni elencate nel seguito.

<b>D.M. LL.PP 14.01.2008</b>	Norme Tecniche per le Costruzioni
<b>D.M. LL.PP 17.01.2018</b>	Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"
<b>CIRCOLARE DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI</b>	Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. LL.PP del 14.01.2008.
<b>O.P.C.M. n. 3519 del 28.04.2006</b>	Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone
<b>D.G.R.V. n. 71 del 22.01.2008</b>	Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006, n. 3519 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone"- Direttive per l'applicazione. Adozione del provvedimento n° 96/CR del 7 agosto 2006
<b>UNI EN 1995-1-1: EUROCODICE 5</b>	Progettazione delle strutture in legno

## 4. MATERIALI

### **4.1. CALCESTRUZZO C25/30 PER FONDAZIONI**

Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} R_{ck} \times 0.83 / \gamma_c = 14.11 \text{ MPa} = 144 \text{ kg/cm}^2$
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.19 \text{ MPa} = 12.2 \text{ kg/cm}^2$ $f_{ctm} = 0.3 f_{ck}^{2/3}$
Classe di esposizione:	XC2
Rapporto acqua/cemento max:	0.55

### **4.2. CALCESTRUZZO C28/35 PER PILASTRI, TRAVI, CORDOLI**

Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} R_{ck} \times 0.83 / \gamma_c = 16.46 \text{ MPa} = 168 \text{ kg/cm}^2$
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.32 \text{ MPa} = 13.5 \text{ kg/cm}^2$ $f_{ctm} = 0.3 f_{ck}^{2/3}$
Classe di esposizione:	XC3
Rapporto acqua/cemento max:	0.55

### **4.3 ACCIAIO DA C.A. B450C**

Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391.30 \text{ MPa} = 3835 \text{ kg/cm}^2$
	$\gamma_s = 1.15$
Modulo di elasticita'	$E_s = 200000 \text{ MPa} = 1960000 \text{ kg/cm}^2$

### **4.4 ACCIAIO DA CARPENTERIA S275**

Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 275 / 1.05 \text{ MPa} = 2566 \text{ kg/cm}^2$
Modulo di elasticita'	$E_s = 210000 \text{ MPa} = 2058210 \text{ kg/cm}^2$

## 5. PRINCIPALI AZIONI SULLE NUOVE STRUTTURE

### 5.1 PREMESSE

Le combinazioni di carico s.l.u. statiche (in assenza di azioni sismiche) sono ottenute mediante diverse combinazioni dei carichi permanenti ed accidentali in modo da considerare tutte le situazioni più sfavorevoli agenti sulla struttura. I carichi vengono applicati mediante opportuni coefficienti parziali di sicurezza, considerando l'eventualità più gravosa per la sicurezza della struttura.

Le azioni sismiche sono valutate in conformità a quanto stabilito dalle norme e specificato nel paragrafo sulle azioni. Vengono in particolare controllate le deformazioni allo stato limite ultimo, allo stato limite di danno e gli effetti del second'ordine.

In sede di dimensionamento vengono analizzate tutte le combinazioni, anche sismiche, impostate ai fini della verifica s.l.u. Vengono anche processate le specifiche combinazioni di carico introdotte per valutare lo stato limite di esercizio (tensioni, fessurazione, deformabilità).

Oltre all'impostazione spaziale delle situazioni di carico potenzialmente più critiche, in sede di dimensionamento vengono ulteriormente valutate, per le varie travate, tutte le condizioni di lavoro statico derivanti dall'alternanza dei carichi variabili, i cui effetti si sovrappongono a quelli dei pesi propri e dei carichi permanenti. Vengono anche imposte delle sollecitazioni flettenti di sicurezza in campata e risultano controllate le deformazioni in luce degli elementi.

Ai sensi del par. 2.4.1 delle D.M. 14.01.2008 si prevede una vita nominale dell'opera  $V_n$  pari 50 anni. Si è adottato per l'edificio la classe d'uso III a cui corrisponde un periodo di riferimento per l'azione sismica pari a:  $V_r = V_n \cdot C_u = 712$  anni.

La categoria di sottosuolo adottata è la C.

### 5.2 AZIONI SULLE COSTRUZIONI

#### G1 *Permanenti (peso proprio)*

Calcestruzzo	2500	kg/mc
Strutture legno lamellare	500	kg/mc
Muratura esterna con faccia a vista e cordolo	1260	kg/m
Muratura testate, cordolo e tamponamento superiore	1600	kg/m

#### G2 *Permanenti (elementi non strutturali)*

Permanenti copertura	40	kg/mq
----------------------	----	-------

#### Q *Variabili*

➤ Variabile Neve:	82	kg/mq
-------------------	----	-------

Il carico provocato dalla presenza della neve agisce in direzione verticale ed è riferito alla proiezione orizzontale della superficie della copertura. Esso è valutato con la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

Provincia : Padova  
Zona : II m  
Altitudine : 300 m s.l.m.

Valore caratteristico neve al suolo :  $q_{sk} = 102 \text{ kg/m}^2$   
Coefficiente di esposizione  $C_E$  : 1 (Normale)  
Coefficiente termico  $C_t$  : 1  
Tipo di copertura: ad una falda ( $\alpha_{max} = 22^\circ$ )  
Carico da neve :  
 $q_s(\mu_1(\alpha)) = 81.6 \text{ kg/m}^2$  [  $\mu_1(\alpha) = 0.8$  ]  
 $q_s(\mu_1=0.8) = 81.6 \text{ kg/m}^2$

La neve prevede due casi di carico per coperture cilindriche (circolare 02.02.2009 n.617 - paragrafo C3.4.5.5) che di seguito nella modellazione sono indicate come neve simmetrica ( $\mu=0,80$ ), neve asimmetrica ( $\mu=0,0-2,00$ ).

➤ **Azione Sismica:**

Localita'                  Padova (PD) - Via Pilade Bronzetti  
ag/g                        0.0985  
Fo                            2.60  
Tc                            0.343  
Categoria del sottosuolo: C

➤ **Azione del vento**

Provincia: Padova, Zona: 1  
Altitudine: 0 m s.l.m  
Tempo di ritorno  $T_r$ : 50 anni;  
Velocità di riferimento  $v_b(T_r)$ : 25 m/s  
Pressione cinetica di riferimento  $q_b$ : 39.86 Kg/m<sup>2</sup>  
Altezza della costruzione  $z$ : 11 m ( $z_{min}$ : 5m)  
Distanza dalla costa: Terra, oltre i 40 km dalla costa, sotto i 500 m  
Classe di rugosità del terreno: C  
Categoria di esposizione del sito: III  
Coefficiente topografico  $c_t$ : 1  
Coefficiente dinamico  $c_d$ : 1  
Coefficiente di esposizione  $c_e(z)$ :  
 $c_e(z_{min} = 5m)$ : 1.71  
 $c_e(z = 6m)$ : 2.20

Il vento è applicato alternativamente da sinistra, da destra o in testata (considerata la asimmetria di un caso di carico neve).

## 5.3 COMBINAZIONE DELLE AZIONI

### 5.3.1 GENERALITA'

Le combinazioni di carico s.l.u. statiche (in assenza di azioni sismiche) sono ottenute mediante diverse combinazioni dei carichi permanenti ed accidentali in modo da considerare tutte le situazioni più sfavorevoli agenti sulla struttura. I carichi vengono applicati mediante opportuni coefficienti parziali di sicurezza, considerando l'eventualità più gravosa per la sicurezza della struttura.

Le azioni sismiche sono valutate in conformità a quanto stabilito dalle norme e specificato nel paragrafo sulle azioni. Vengono in particolare controllate le deformazioni allo stato limite ultimo, allo stato limite di danno e gli effetti del second'ordine.

In sede di dimensionamento vengono analizzate tutte le combinazioni, anche sismiche, impostate ai fini della verifica s.l.u. Vengono anche processate le specifiche combinazioni di carico introdotte per valutare lo stato limite di esercizio (tensioni, fessurazione, deformabilità).

Oltre all'impostazione spaziale delle situazioni di carico potenzialmente più critiche, in sede di dimensionamento vengono ulteriormente valutate, per le varie travate, tutte le condizioni di lavoro statico derivanti dall'alternanza dei carichi variabili, i cui effetti si sovrappongono a quelli dei pesi propri e dei carichi permanenti. Vengono anche imposte delle sollecitazioni flettenti di sicurezza in campata e risultano controllate le deformazioni in luce degli elementi.

Per le combinazioni delle azioni ai sensi del par. 2.5.3 per gli stati ultimi strutturali si adotta l'approccio progettuale tipo APPROCCIO 2 COLONNA A1 STR. Ne risultano i seguenti coefficienti parziali per le azioni o effetto delle azioni agli SLU:

		Coefficiente $\gamma_f$	A1 STR
CARICHI PERMANENTI G1	Favorevoli Sfavorevoli	$\gamma_{G1}$	1.0 1.3
CARICHI PERMANENTI G2 (definiti - indefiniti)	Favorevoli Sfavorevoli	$\gamma_{G2}$	0.0 1.3 - 1.5
CARICHI VARIABILI Q	Favorevoli Sfavorevoli	$\gamma_Q$	0.0 1.5

Le combinazioni considerate sono:

$$\text{SLU} \quad \gamma_{G1} G1 + \gamma_{G2} G2 + \gamma_Q Q1 + \gamma_{Q2} \psi_{02} Q2 \quad \begin{array}{l} \psi_{02} = 0.7 \text{ per classi C} \\ \psi_{02} = 0.5 \text{ per neve} \\ \psi_{02} = 0.6 \text{ per vento} \end{array}$$

$$\text{SLE} \quad \text{RARA} \quad G1 + G2 + \psi_{02} Q \text{ con} \quad \begin{array}{l} \psi_{02} = 0.7 \text{ per classi C} \\ \psi_{02} = 0.5 \text{ per neve} \\ \psi_{02} = 0.6 \text{ per vento} \end{array}$$

$$\text{SLE} \quad \text{FREQUENTE} \quad G1 + G2 + \psi_{11} Q \text{ con} \quad \begin{array}{l} \psi_{11} = 0.7 \text{ per classi C} \\ \psi_{11} = 0.2 \text{ per neve} \\ \psi_{11} = 0.2 \text{ per vento} \end{array}$$

$$\text{SLE} \quad \text{QUASI PERM.} \quad G1 + G2 + \psi_{21} Q \text{ con} \quad \begin{array}{l} \psi_{21} = 0.6 \text{ per classi C} \\ \psi_{21} = 0.0 \text{ per neve} \\ \psi_{21} = 0.0 \text{ per vento} \end{array}$$

$$\text{COMBINAZIONE SISMICA E} + G1 + G2 + \psi_{21} Q \text{ con} \quad \begin{array}{l} \psi_{21} = 0.6 \text{ per classi C} \\ \psi_{21} = 0.0 \text{ per neve} \\ \psi_{21} = 0.0 \text{ per vento} \end{array}$$

### 5.3.2 COMBINAZIONI CONSIDERATE

Sulla base delle seguenti condizioni di carico:

1. Peso proprio + permanenti portati
2. Neve - situazione simmetrica
3. Vento da DX (vento trasversale)
4. Vento in direzione Y (sulle testate)
5. ----
6. Neve - situazione asimmetrica
7. Instabilità in direzione Y
8. Vento da direzione SX (vento trasversale)

Sono considerate le seguenti combinazioni di carico:

#### COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
1	Dinamica	Azione sismica: Presente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 2	0.000
			Variabile: Neve	Condizione 6	0.000
			Variabile: Vento	Condizione 3	0.000
			Variabile: Vento	Condizione 4	0.000
2	STATICA: perm+nevesim+ventosx	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Variabile: Neve	Condizione 2	1.500
			Variabile: Vento	Condizione 8	0.900
7	STATICA: perm+neveAsim+ventosx	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Variabile: Neve	Condizione 6	1.500
			Variabile: Vento	Condizione 8	0.900
8	STATICA: perm+neveAsim+ventodx	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Variabile: Neve	Condizione 6	1.500
			Variabile: Vento	Condizione 3	0.900
9	STATICA: perm+nevesim+ventotest ata	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Variabile: Neve	Condizione 2	1.500
			Variabile: Vento	Condizione 4	0.900
10	STATICA: perm+ventosx+nevesim	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Variabile: Neve	Condizione 2	0.750
			Variabile: Vento	Condizione 8	1.500

#### COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE D'ESERCIZIO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
3	Rara A: perm+nevesim+ventosx	Tipologia: Rara	Nessuna	Condizione 1	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 2	1.000
			Variabile: Vento	Condizione 8	0.600
4	Frequente: perm+nevesimm+ventosx	Tipologia: Frequente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 2	0.200
			Variabile: Vento	Condizione 8	0.000
5	Quasi permanente:perm+nevesi m+ventosx	Tipologia: Quasi permanente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 2	0.000
			Variabile: Vento	Condizione 8	0.000
11	Rara B: perm+ventosx+nevesim	Tipologia: Rara	Nessuna	Condizione 1	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 2	1.000
			Variabile: Vento	Condizione 8	0.500
12	Rara C: perm+ventotest+nevesim	Tipologia: Rara	Nessuna	Condizione 1	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 2	1.000
			Variabile: Vento	Condizione 4	0.500

## **6. MODELLAZIONE STRUTTURALE**

### **6.1 PREMESSE**

La struttura e il suo comportamento sotto le azioni statiche e dinamiche è stata adeguatamente valutata, interpretata e trasferita nel modello che si caratterizza per la sua impostazione completamente tridimensionale. A tal fine ai nodi strutturali possono convergere diverse tipologie di elementi, che corrispondono nel codice numerico di calcolo in altrettante tipologie di elementi finiti. Travi e pilastri, ovvero componenti in cui una dimensione prevale sulle altre due, vengono modellati con elementi "beam", il cui comportamento può essere opportunamente perfezionato attraverso alcune opzioni quali quelle in grado di definire le modalità di connessione all'estremità. Eventuali elementi soggetti a solo sforzo normale possono essere trattati come elementi "truss" oppure con elementi "beam" opportunamente svincolati. Le pareti, le piastre, le platee ovvero in generale i componenti strutturali bidimensionali, con due dimensioni prevalenti sulla terza (lo spessore), sono stati modellati con elementi "shell" a comportamento flessionale e membranale. I vincoli con il mondo esterno vengono rappresentati, nei casi più semplici (apparecchi d'appoggio, cerniere, carrelli), con elementi in grado di definire le modalità di vincolo e le rigidità nello spazio. Questi elementi, coniugati con i precedenti, consentono di modellare i casi più complessi ma più frequenti di interazione con il terreno, realizzabile tipicamente mediante fondazioni, pali, platee nonché attraverso una combinazione di tali situazioni. Il comportamento del terreno è sostanzialmente rappresentato tramite una schematizzazione lineare alla Winkler, principalmente caratterizzabile attraverso una opportuna costante di sottofondo, che può essere anche variata nella superficie di contatto fra struttura e terreno e quindi essere in grado di descrivere anche situazioni più complesse.

I parametri dei materiali utilizzati per la modellazione riguardano il modulo di Young, il coefficiente di Poisson, ma sono disponibili anche opzioni per ridurre la rigidità flessionale e tagliante dei materiali per considerare l'effetto di fenomeni fessurativi nei materiali.

Il calcolo viene condotto mediante analisi lineare, ma vengono considerati gli effetti del secondo ordine.

Si ritiene che il modello utilizzato sia rappresentativo del comportamento reale della struttura. Sono stati inoltre valutate tutti i possibili effetti o le azioni anche transitorie che possano essere significative e avere implicazione per la struttura.

È stata impiegata un'analisi dinamica modale in campo lineare con adozione di spettro di risposta conforme alla normativa vigente. Agli effetti del dimensionamento è stato quindi impiegato il metodo degli stati limite ultimo e di esercizio.

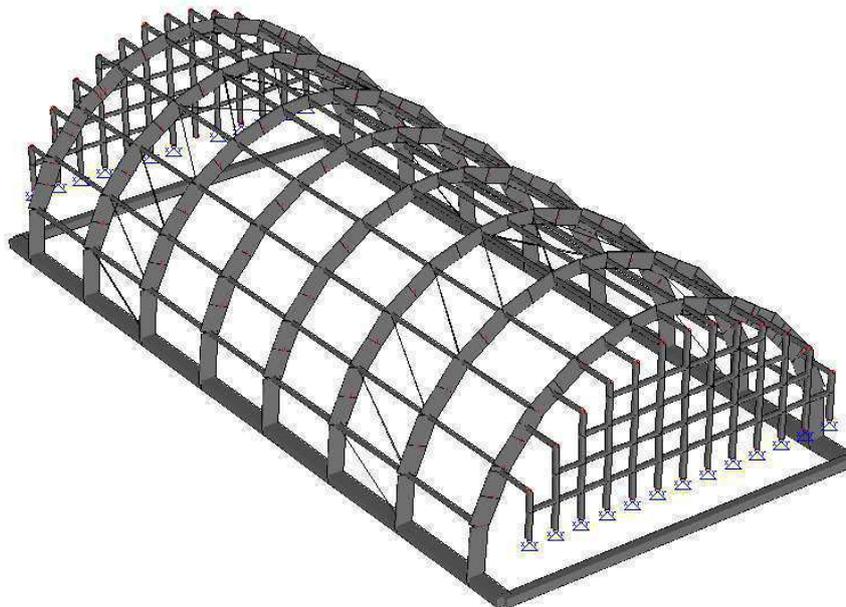
L'analisi di tipo numerico è stata realizzata mediante il programma di calcolo MasterSap, prodotto da Studio Software AMV di Ronchi dei Legionari (Gorizia). È stata utilizzata un'analisi lineare nel rispetto delle norme indicate in precedenza. Le procedure di verifica adottate seguono il metodo di calcolo degli stati limite.

Si ritiene che il programma di calcolo utilizzato (MasterSap) sia idoneo a riprodurre nel modello matematico il comportamento della struttura e che gli elementi finiti disponibili e utilizzati siano rappresentativi della realtà costruttiva. Tramite le funzioni di controllo disponibili, innanzitutto quelle

grafiche, si è verificata la riproduzione della realtà costruttiva ed accertata la corrispondenza del modello con la geometria strutturale e con le condizioni di carico ipotizzate. Si evidenzia che il modello è stato generato direttamente dal disegno architettonico riproducendone così fedelmente le proporzioni geometriche. In ogni caso sono stati effettuati alcuni controlli dimensionali con gli strumenti software a disposizione dell'utente. Tutte le proprietà di rilevanza strutturale (materiali, sezioni, carichi, connessioni, etc.) sono state controllate attraverso le funzioni di indagine specificatamente previste.

Sono state sfruttate le funzioni di autodiagnostica presenti nel software che hanno accertato che non sussistono difetti formali di impostazione. E' stato accertato che le risultanti delle azioni verticali sono in equilibrio con i carichi applicati. Le sollecitazioni prodotte da alcune combinazioni di carico di prova hanno prodotto valori prossimi a quelli ricavabili adottando consolidate formulazioni ricavate dalla Scienza delle Costruzioni. Anche le deformazioni risultano prossime ai valori attesi. Il dimensionamento e le verifiche di sicurezza hanno determinato risultati che sono in linea con casi di comprovata validità, confortati anche dalla mia personale esperienza.

Nel seguito si riporta immagine della modellazione ad elementi finiti.



## **6.2 DATI CARATTERISTICI DELLA STRUTTURA**

### 6.2.1 GENERALITA'

#### **NORMATIVA**

Vita nominale costruzione	50 anni
Classe d'uso costruzione	III
Vita di riferimento	75 anni
Spettro di risposta	Stato limite ultimo SLV
Probabilità di superamento periodo di riferimento	10
Tempo di ritorno del sisma	712 anni
Località	PADOVA

ag/g	0.098
F0	2.60
Tc	0.343
Categoria del suolo	C
Fattore topografico	1
<b>STATO LIMITE ULTIMO</b>	
Coefficiente di smorzamento	5%
Eccentricita' accidentale	5%
Numero di frequenze	13
<b>PARAMETRI SISMICI</b>	
Angolo del sisma nel piano orizzontale	0
Sisma verticale	Assente
Combinazione dei modi	CQC
Combinazione componenti azioni sismiche	NTC 2008 - Eurocodice 8
$\lambda$	0.3
$\mu$	0.3

### FATTORE DI STRUTTURA

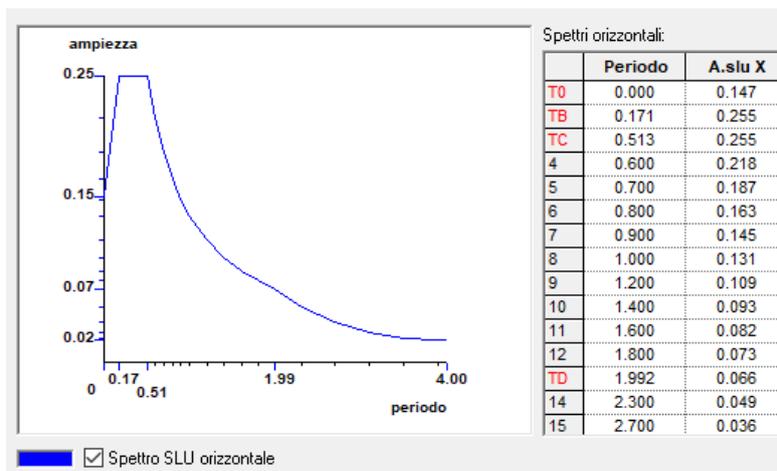
Per il calcolo del fattore di struttura si è fatto riferimento a quanto indicato dalla normativa per strutture in legno (tab. 7.3.II NTC 2018) considerando i seguenti parametri di calcolo:

- tipologia strutturale: strutture isostatiche, portali isostatici con mezzi di unione a gambo cilindrico;
- classe di duttilità: B;
- coefficiente di base  $q_0 = 1.50$
- regolare in altezza:  $k_r = 1.00$

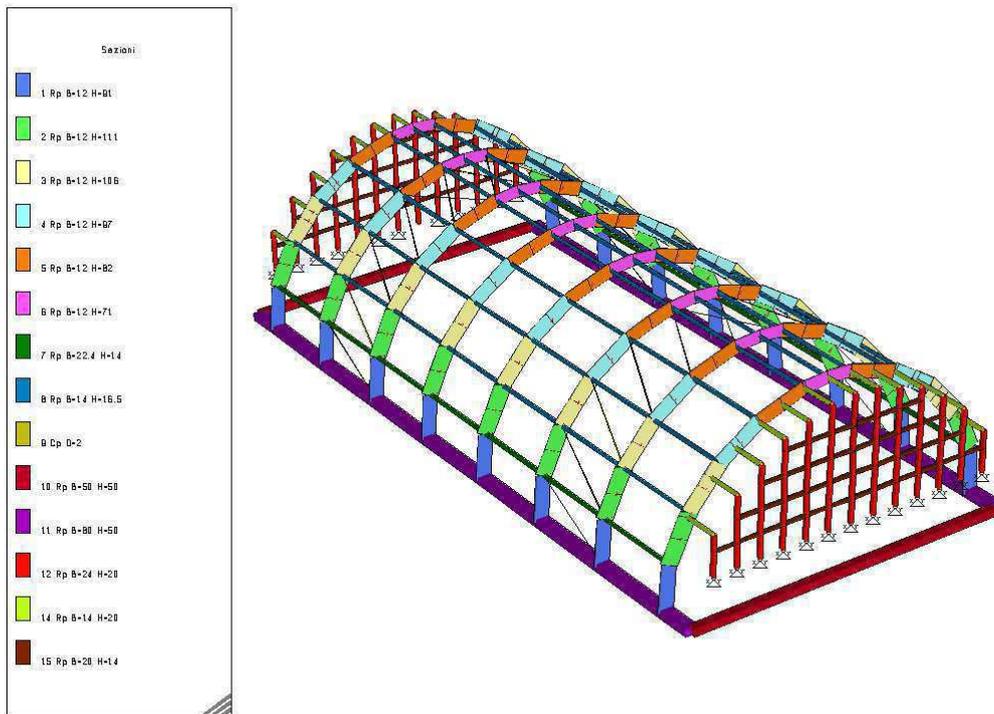
quindi il fattore di struttura per le azioni orizzontali risulta essere pari a :  $q = q_0 k_r = 1.50$

### SPETTRO SLU ORIZZONTALE

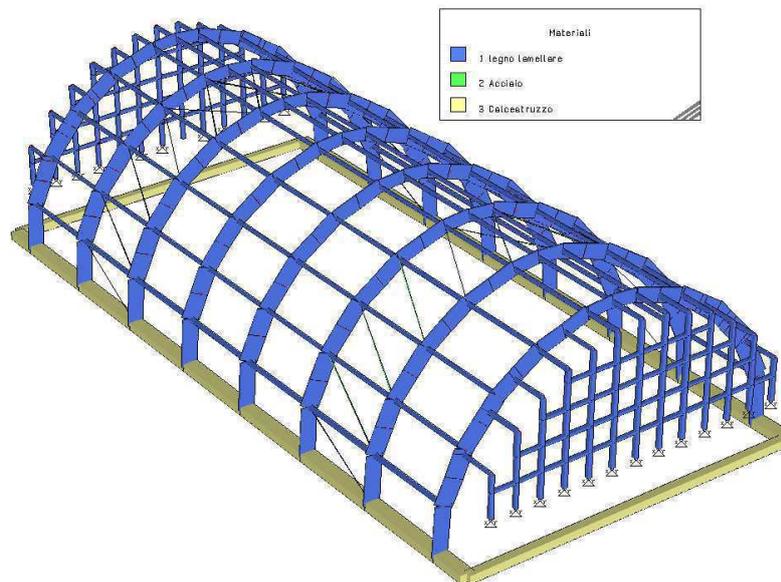
Grafico spettri Norme Tecniche delle Costruzioni 2018



### 6.2.2 RIEPILOGO DELLE SEZIONI UTILIZZATE NEL MODELLO STRUTTURALE



### 6.2.3 RIEPILOGO DEI MATERIALI UTILIZZATI NEL MODELLO STRUTTURALE



### 6.2.4 CARICHI PER ELEMENTI TRAVE, TRAVE DI FONDAZIONE E RETICOLARE

#### Carico distribuito con riferimento globale Y

Descrizione	Cod.	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Val. iniz.	Dist. iniz. nodo I	Val. finale	Dist.fin. nodo I	Aliq.inerz.	Aliq.inerz. SLD
instabilit	11	Condizione 7	Nessuna	1.320000	0.000	1.320000	0.000	0.0000	0.0000
vento testata 1	20	Condizione 4	Variabile: Vento	0.900000	0.000	0.900000	0.000	0.0000	0.0000

#### Carico distribuito con riferimento globale Z

Descrizione	Cod.	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Val. iniz.	Dist. iniz. nodo I	Val. finale	Dist.fin. nodo I	Aliq.inerz.	Aliq.inerz. SLD
PERMEMENTI PORTATI	1	Condizione 1	Nessuna	-0.004000	0.000	-0.004000	0.000	0.0000	0.0000
neve simmetrica	2	Condizione 2	Variabile: Neve	-0.008200	0.000	-0.008200	0.000	0.0000	0.0000
neve asimmm 1	12	Condizione 6	Variabile: Neve	-1.370000	0.000	-3.600000	0.000	0.0000	0.0000
neve asimmm 2	13	Condizione 6	Variabile: Neve	-3.600000	0.000	-4.970000	0.000	0.0000	0.0000
neve asimmm 3	14	Condizione 6	Variabile: Neve	-4.970000	0.000	-1.710000	0.000	0.0000	0.0000
neve asimmm 4	15	Condizione 6	Variabile: Neve	-1.710000	0.000	-0.001000	0.000	0.0000	0.0000
neve asimmm 5	16	Condizione 6	Variabile: Neve	-0.001000	0.000	-3.430000	0.000	0.0000	0.0000
neve asimmm 6	17	Condizione 6	Variabile: Neve	-3.430000	0.000	-10.000000	0.000	0.0000	0.0000
neve asimmm 7	18	Condizione 6	Variabile: Neve	-10.000000	0.000	-7.200000	0.000	0.0000	0.0000
neve asimmm 8	19	Condizione 6	Variabile: Neve	-7.200000	0.000	-2.800000	0.000	0.0000	0.0000
muratura longitudinale	25	Condizione 1	Nessuna	-12.600000	0.000	-12.600000	0.000	0.0000	0.0000
muratura testate	26	Condizione 1	Nessuna	-16.000000	0.000	-16.000000	0.000	0.0000	0.0000

#### Carico distribuito con riferimento locale y

Descrizione	Cod.	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Val. iniz.	Dist. iniz. nodo I	Val. finale	Dist.fin. nodo I	Aliq.inerz.	Aliq.inerz. SLD
vento sx 1 e 2	3	Condizione 8	Variabile: Vento	-0.007500	0.000	-0.007500	0.000	0.0000	0.0000
vento sx 3	4	Condizione 8	Variabile: Vento	-0.005300	0.000	-0.005300	0.000	0.0000	0.0000
vento sx 4	5	Condizione 8	Variabile: Vento	-0.001700	0.000	-0.001700	0.000	0.0000	0.0000
vento sx 5	6	Condizione 8	Variabile: Vento	0.004500	0.000	0.004500	0.000	0.0000	0.0000
vento dx 1 e 2	7	Condizione 3	Variabile: Vento	-0.007500	0.000	-0.007500	0.000	0.0000	0.0000
vento dx 3	8	Condizione 3	Variabile: Vento	-0.005300	0.000	-0.005300	0.000	0.0000	0.0000
vento dx 4	9	Condizione 3	Variabile: Vento	-0.001700	0.000	-0.001700	0.000	0.0000	0.0000
vento dx 5	10	Condizione 3	Variabile: Vento	0.004500	0.000	0.004500	0.000	0.0000	0.0000

### 6.2.5 MASSA ECCITATA QUOTA > 0.00

Si precisa che la massa è eccitata per tutte le traslazioni del centro di massa considerato.

#### TRASLAZIONE CENTRO DELLE MASSE: +EY - FREQUENZE PROPRIE DI OSCILLAZIONE

Numero	Pulsazione	Frequenza	Periodo	Precisione
1	1.739e+001	2.767e+000	3.614e-001	0.000e+000
2	1.901e+001	3.026e+000	3.305e-001	0.000e+000
3	2.339e+001	3.722e+000	2.687e-001	0.000e+000
4	2.404e+001	3.826e+000	2.613e-001	0.000e+000
5	2.607e+001	4.149e+000	2.410e-001	0.000e+000
6	3.024e+001	4.813e+000	2.078e-001	0.000e+000
7	3.365e+001	5.355e+000	1.867e-001	0.000e+000
8	3.609e+001	5.744e+000	1.741e-001	0.000e+000
9	4.906e+001	7.808e+000	1.281e-001	2.474e-017
10	4.997e+001	7.953e+000	1.257e-001	2.463e-015
11	5.071e+001	8.070e+000	1.239e-001	2.068e-013
12	5.083e+001	8.089e+000	1.236e-001	1.918e-013
13	5.172e+001	8.232e+000	1.215e-001	5.089e-013

#### COEFFICIENTI DI PARTECIPAZIONE MODALE

Modo	Direz. X	Direz. Y
1	-1.941e-002	4.361e+000
2	-2.519e+000	-3.826e-002

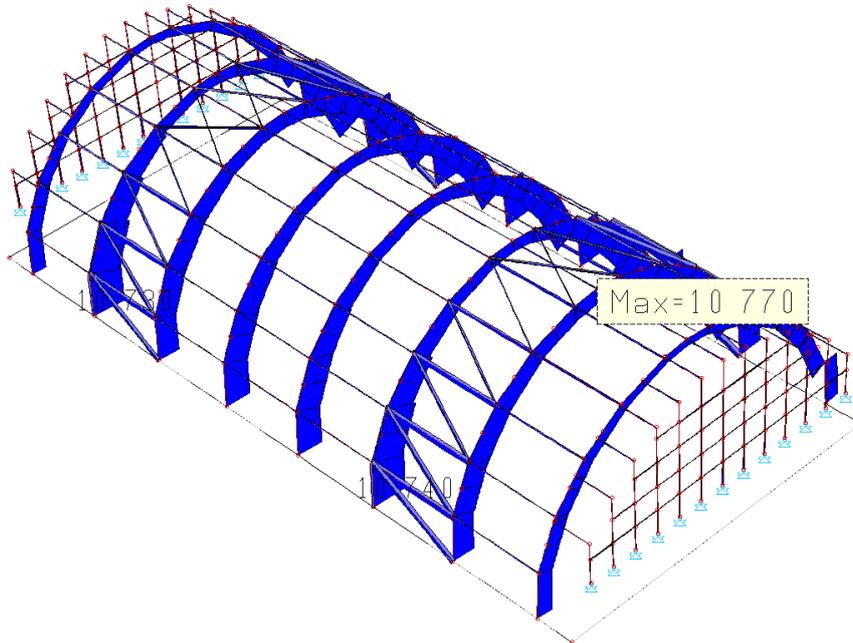
3	3.543e+000	-2.912e-003
4	3.003e-001	-3.589e-003
5	-2.522e-001	-3.812e-003
6	-1.421e-001	-1.891e-003
7	-1.753e+000	-2.769e-003
8	-1.864e-002	-1.525e-002
9	1.658e-002	-2.874e-002
10	-2.034e-002	-1.501e+000
11	-8.350e-004	-9.132e-002
12	1.948e-002	-1.745e-001
13	5.586e-002	-1.464e+000

**MASSA ECCITATA PER QUOTA Z MAGGIORE DI :0.00**

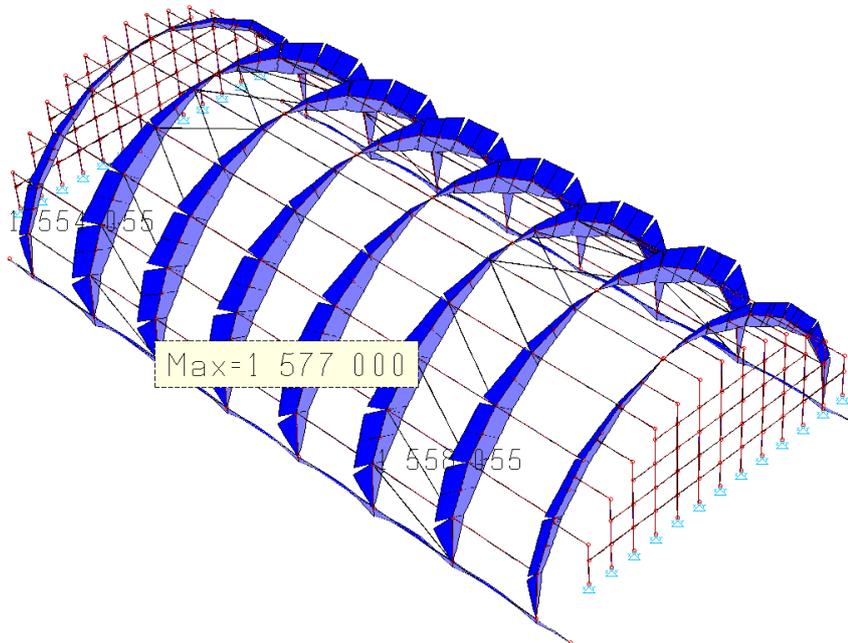
Modo	Direz. X	%	Direz. Y	%	Direz. Z	%
Modo: 1	+3.77e-004	0	+1.90e+001	73	+6.40e-005	0
Progressiva	+3.77e-004	0	+1.90e+001	73	+6.40e-005	0
Modo: 2	+6.34e+000	24	+1.46e-003	0	+5.78e-004	0
Progressiva	+6.34e+000	24	+1.90e+001	73	+6.42e-004	0
Modo: 3	+1.26e+001	48	+8.48e-006	0	+9.12e-007	0
Progressiva	+1.89e+001	73	+1.90e+001	73	+6.43e-004	0
Modo: 4	+9.02e-002	0	+1.29e-005	0	+2.03e-005	0
Progressiva	+1.90e+001	73	+1.90e+001	73	+6.64e-004	0
Modo: 5	+6.36e-002	0	+1.45e-005	0	+5.14e-007	0
Progressiva	+1.91e+001	73	+1.90e+001	73	+6.64e-004	0
Modo: 6	+2.02e-002	0	+3.58e-006	0	+1.02e-006	0
Progressiva	+1.91e+001	73	+1.90e+001	73	+6.65e-004	0
Modo: 7	+3.07e+000	12	+7.67e-006	0	+1.05e-006	0
Progressiva	+2.21e+001	85	+1.90e+001	73	+6.66e-004	0
Modo: 8	+3.48e-004	0	+2.33e-004	0	+2.52e-005	0
Progressiva	+2.21e+001	85	+1.90e+001	73	+6.91e-004	0
Modo: 9	+2.75e-004	0	+8.26e-004	0	+2.32e-002	0
Progressiva	+2.21e+001	85	+1.90e+001	73	+2.39e-002	0
Modo: 10	+4.14e-004	0	+2.25e+000	9	+1.04e-002	0
Progressiva	+2.21e+001	85	+2.13e+001	82	+3.43e-002	0
Modo: 11	+6.97e-007	0	+8.34e-003	0	+1.26e+000	5
Progressiva	+2.21e+001	85	+2.13e+001	82	+1.29e+000	5
Modo: 12	+3.80e-004	0	+3.05e-002	0	+8.28e-001	3
Progressiva	+2.21e+001	85	+2.13e+001	82	+2.12e+000	8
Modo: 13	+3.12e-003	0	+2.14e+000	8	+8.61e-003	0
Progressiva	+2.21e+001	85	+2.35e+001	90	+2.13e+000	8

## 7. RISULTATI DELL'ANALISI ALLO SLU DEGLI ELEMENTI IN C.A.

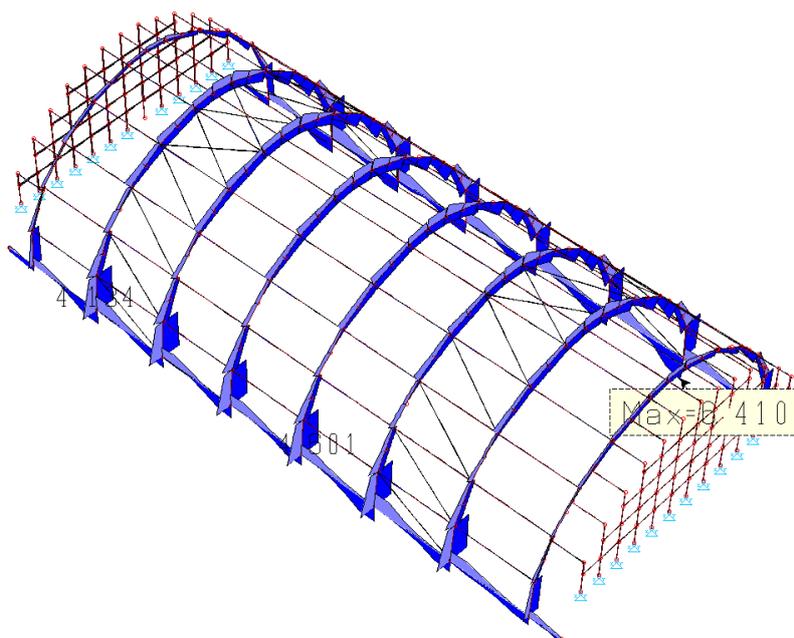
Si riportano per immagini le sollecitazioni di involuppo allo stato limite ultimo.



**Sforzo normale archi I.I. (kg)**



**Momento flettente Mz archi I.I. (kgcm)**



**Sforzo di taglio  $F_y$  archi I.I. (kg)**

## 8. VERIFICA SINTETICA DEGLI ELEMENTI IN LEGNO LAMELLARE

### 8.1 VERIFICA ARCARECCIO STABILIZZANTE

Gli arcarecci esistenti, integrati per il nuovo collegamento dell'arco di estremità risultano compressi con  $N_{dmax} = 1510$  kg

#### VERIFICA DI STABILITA' A PRESSOFLESSIONE CON CARICO DI PUNTA

Nd	<b>15000</b>	[N]
Myd	<b>0</b>	[Nmm]
Mzd	<b>0</b>	[Nmm]
lunghezza colonna sbandamento da Myd	<b>5600</b>	[mm]
lunghezza colonna sbandamento da Mzd	<b>5600</b>	[mm]
B	<b>140</b>	[mm]
h	<b>165</b>	[mm]
Jy	52408125	[mm <sup>4</sup> ]
Jz	37730000	[mm <sup>4</sup> ]
A	23100	[mm <sup>2</sup> ]
Wy	635250	[mm <sup>3</sup> ]
Wz	539000	[mm <sup>3</sup> ]
iy	47,6	[mm]
iz	40,4	[mm]
$\lambda_y$	117,6	
$\lambda_z$	138,6	
$\sigma_{c,0,d}$ tensione di compressione	0,65	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{yd}$ tensione flessione intorno a y	0,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{zd}$ tensione di flessione intorno z	0	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\lambda_{rel,y}$	1,77	
$\lambda_{rel,z}$	2,08	
$\beta_c$	<b>0,10</b>	
ky	2,14	
kz	2,76	
kcy	0,30	
kczy	0,22	
Km	<b>0,7</b>	
verifica 1	<b>0,17</b>	ver. <1.00
verifica 2	<b>0,23</b>	ver. <1.00

### 8.2 VERIFICA ARCARECCIO NUOVO PER POSA COPERTURA SANDWICH

I nuovi arcarecci sono posti ad interasse 147 cm e a favore di sicurezza non sono stati inseriti nella modellazione generale. Si conduce la verifica dell'elemento singolo di sezione 14x20 cm di luce 5,60 m in semplice appoggio:

$$\begin{aligned} \text{Comb. SLU: } q_d &= 1,30 \times (14 + 60) + 1,50 \times 123 = 280,7 \text{ kg/m} \\ M_{yd} &= 1101 \text{ kgm} \\ T_d &= 787 \text{ kg} \end{aligned}$$

### VERIFICHE A FLESSIONE

Nd	0	[N]
Myd	11010000	[Nmm]
Mzd	0	[Nmm]
B	140	[mm]
h	200	[mm]
Khb	1,15	
Khh	1,15	
A	28000	[mm <sup>2</sup> ]
Wy	933333	[mm <sup>3</sup> ]
Wz	653333	[mm <sup>3</sup> ]
$\sigma_{cd}$	0,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{yd}$	11,80	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{zd}$	0,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Km	0,7	
verifica 1	0,48	ver.
verifica 2	0,69	ver.

### CARICO CRITICO DI TRAVE A FLESSIONE

distanza ritegni torsionali L	5600	[mm]
Lef/L	0,9	
carico estradosso/intradosso	es	
Lef	5440	[mm]
A	28000	[mm <sup>2</sup> ]
Jy	93333333	[mm <sup>4</sup> ]
Jz	45733333	[mm <sup>4</sup> ]
Wy	933333	[mm <sup>3</sup> ]
Wz	653333	[mm <sup>3</sup> ]
iy	57,7	[mm]
iz	40,4	[mm]
$\lambda_z$	134,6	
$\sigma_{y,crit}$	120,0	
$\lambda_{rel,y}$	0,45	
k <sub>crit</sub>	1,00	
$\lambda_{rel,z}$	2,03	
$\beta_c$	0,10	
k <sub>z</sub>	2,64	
k <sub>cz</sub>	0,23	
verifica svergolamento $\sigma_{may,d}$	0,69	ver.

### VERIFICHE A TAGLIO

Td	7870	[N]
B	140	[mm]
h	200	[mm]
A	28000	[mm <sup>2</sup> ]
$\tau_d$	0,42	[N/mm <sup>2</sup> ]
verifica 1	0,31	ver.

Si conduce la verifica dell'elemento singolo di sezione 14x20 cm di luce 5,60 m in semplice appoggio ruotato di 60° ovvero in flessione deviata, su interasse pari a 80 cm:

Comb. SLU:  $q_d = 149,7$  kg/m

$q_{dy} = 75$  kg/m,  $q_{dx} = 130$  kg/m  
 $M_{yd} = 294$  kgm,  $M_{zd} = 510$  kgm

#### VERIFICHE A FLESSIONE

Nd	0	[N]
Myd	2940000	[Nmm]
Mzd	5100000	[Nmm]
B	140	[mm]
h	200	[mm]
Khb	1,15	
Khh	1,15	
A	28000	[mm <sup>2</sup> ]
Wy	933333	[mm <sup>3</sup> ]
Wz	653333	[mm <sup>3</sup> ]
$\sigma_{cd}$	0,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{yd}$	3,15	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{zd}$	7,81	[N/mm <sup>2</sup> ]
Km	0,7	
verifica 1	0,58	ver.
verifica 2	0,50	ver.

#### CARICO CRITICO DI TRAVE A FLESSIONE

distanza ritegni torsionali L	$\sigma_{md} < K_{crit} \times f_{md}$	
Lef/L	5600	[mm]
carico estradosso/intradosso	0,9	
Lef	es	
A	5440	[mm]
Jy	28000	[mm <sup>2</sup> ]
Jz	9333333	[mm <sup>4</sup> ]
Wy	4573333	[mm <sup>4</sup> ]
Wz	933333	[mm <sup>3</sup> ]
iy	653333	[mm <sup>3</sup> ]
iz	57,7	[mm]
$\lambda_z$	40,4	[mm]
$\sigma_{y,crit}$	134,6	
$\lambda_{rel,y}$	120,0	
k <sub>crit</sub>	0,45	
$\lambda_{rel,z}$	1,00	
$\beta_c$	2,03	
kz	0,10	
kcz	2,64	
verifica svergolamento $\sigma_{may,d}$	0,23	ver.
	0,18	

### 8.3 VERIFICA ARCO

Si riportano alcune verifiche di sezioni dell'arco soggetto a pressoflessione e taglio.

Sezione 12x111 cm, Nd = 8700 kg, Myd = 15290 kgm

#### VERIFICA DI STABILITA' A PRESSOFLESSIONE CON CARICO DI PUNTA

Nd	<b>84860</b> [N]
Myd	<b>157700000</b> [Nmm]
Mzd	<b>0</b> [Nmm]
lunghezza colonna sbandamento da Myd	<b>5600</b> [mm]
lunghezza colonna sbandamento da Mzd	<b>5600</b> [mm]
B	<b>120</b> [mm]
h	<b>1100</b> [mm]
Jy	1331000000 [mm <sup>4</sup> ]
Jz	158400000 [mm <sup>4</sup> ]
A	132000 [mm <sup>2</sup> ]
Wy	24200000 [mm <sup>3</sup> ]
Wz	2640000 [mm <sup>3</sup> ]
iy	317,5 [mm]
iz	34,6 [mm]
$\lambda_y$	17,6
$\lambda_z$	161,7
$\sigma_{c,0,d}$ tensione di compressione	0,66 [N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{yd}$ tensione flessione intorno a y	6,32 [N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{zd}$ tensione di flessione intorno z	0 [N/mm <sup>2</sup> ]
$\lambda_{rel,y}$	0,27
$\lambda_{rel,z}$	2,43
$\beta_c$	<b>0,10</b>
ky	0,53
kz	3,56
kcy	1,00
kcz	0,16
Km	<b>0,7</b>
verifica 1	<b>0,47</b> ver.
verifica 2	<b>0,61</b> ver.

#### VERIFICHE A FLESSIONE

Nd	<b>84860</b> [N]
Myd	<b>157700000</b> [Nmm]
Mzd	<b>0</b> [Nmm]
B	<b>120</b> [mm]
h	<b>1110</b> [mm]
Khb	1,15
Khh	1
A	133200 [mm <sup>2</sup> ]
Wy	24642000 [mm <sup>3</sup> ]

Wz	2664000	[mm <sup>3</sup> ]
$\sigma_{cd}$	0,65	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{yd}$	6,20	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{zd}$	0,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Km	<b>0,7</b>	
verifica 1	<b>0,29</b>	ver.
verifica 2	<b>0,42</b>	ver.

### CARICO CRITICO DI TRAVE A FLESSIONE

$\sigma_{md} < K_{crit} \times f_{md}$		
distanza ritegni torsionali L	<b>3000</b>	[mm]
Lef/L	<b>0,9</b>	
carico estradosso/intradosso	<b>es</b>	
Lef	<b>4920</b>	[mm]
A	133200	[mm <sup>2</sup> ]
Jy	13676310000	[mm <sup>4</sup> ]
Jz	159840000	[mm <sup>4</sup> ]
Wy	24642000	[mm <sup>3</sup> ]
Wz	2664000	[mm <sup>3</sup> ]
iy	320,4	[mm]
iz	34,6	[mm]
$\lambda_z$	142,0	
$\sigma_{y,crit}$	17,6	
$\lambda_{rel,y}$	1,17	
Kcrit	0,68	
$\lambda_{rel,z}$	2,14	
$\beta_c$	<b>0,10</b>	
kz	2,87	
kcz	0,21	
verifica svergolamento con N sigmay,d	<b>0,61</b>	ver.

Sezione 12x97 cm, Nd = 6703 kg, Myd = 14220 kgm

### VERIFICHE A COMPRESSIONE SEMPLICE PARALLELA ALLE FIBRE

Nd	<b>67030</b>	[N]
B	<b>120</b>	[mm]
h	<b>970</b>	[mm]
A	116400	[mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{c,0,d}$ tensione di compressione	0,58	[N/mm <sup>2</sup> ]
verifica	<b>0,04</b>	ver.

### VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE

Nd	<b>67030</b>	[N]
Myd	<b>14220000</b>	[Nmm]
Mzd	<b>0</b>	[Nmm]
B	<b>120</b>	[mm]
h	<b>970</b>	[mm]
Khb	1,15	[mm <sup>2</sup> ]

Khh	1	[mm <sup>3</sup> ]
A	116400	[mm <sup>3</sup> ]
Wy	18818000	[N/mm <sup>2</sup> ]
Wz	2328000	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{c,0,d}$ tensione di compressione	0,58	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{yd}$ tensione flessione intorno a y	7,56	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{zd}$ tensione di flessione intorno z	0	
Km	<b>0,7</b>	
verifica 1	<b>0,509</b>	ver.
verifica 2	<b>0,36</b>	ver.

### VERIFICA DI STABILITA' A PRESSOFLESSIONE CON CARICO DI PUNTA

Nd	<b>67030</b>	[N]
Myd	<b>142200000</b>	[Nmm]
Mzd	<b>0</b>	[Nmm]
lunghezza colonna sbandamento da Myd	<b>5600</b>	[mm]
lunghezza colonna sbandamento da Mzd	<b>5600</b>	[mm]
B	<b>120</b>	[mm]
h	<b>970</b>	[mm]
Jy	9126730000	[mm <sup>4</sup> ]
Jz	139680000	[mm <sup>4</sup> ]
A	116400	[mm <sup>2</sup> ]
Wy	18818000	[mm <sup>3</sup> ]
Wz	2328000	[mm <sup>3</sup> ]
iy	280,0	[mm]
iz	34,6	[mm]
$\lambda_y$	20,0	
$\lambda_z$	161,7	
$\sigma_{c,0,d}$ tensione di compressione	0,58	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{yd}$ tensione flessione intorno a y	7,56	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{zd}$ tensione di flessione intorno z	0	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\lambda_{rel,y}$	0,30	
$\lambda_{rel,z}$	2,43	
$\beta_c$	<b>0,10</b>	
ky	0,55	
kz	3,56	
kcy	1,00	
kcz	0,16	
Km	<b>0,7</b>	
verifica 1	<b>0,55</b>	ver.
verifica 2	<b>0,63</b>	ver.

### VERIFICHE A FLESSIONE

Nd	<b>67030</b>	[N]
Myd	<b>142200000</b>	[Nmm]
Mzd	<b>0</b>	[Nmm]
B	<b>120</b>	[mm]
h	<b>970</b>	[mm]
Khb	1,15	

Khh	1	
A	116400	[mm <sup>2</sup> ]
Wy	18818000	[mm <sup>3</sup> ]
Wz	2328000	[mm <sup>3</sup> ]
$\sigma_{cd}$	0,58	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{yd}$	7,56	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{zd}$	0,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Km	<b>0,7</b>	
verifica 1	<b>0,36</b>	ver.
verifica 2	<b>0,51</b>	ver.

**CARICO CRITICO DI TRAVE A FLESSIONE**

$\sigma_{md} < K_{crit} \times f_{md}$

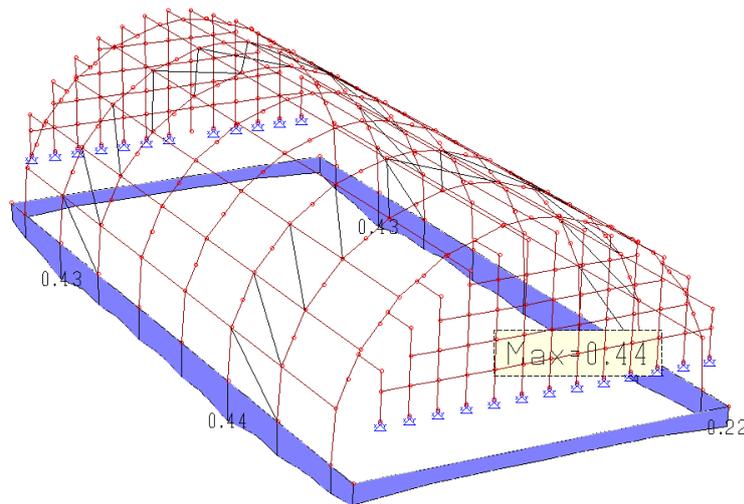
distanza ritegni torsionali L	<b>3000</b>	[mm]
Lef/L	<b>0,9</b>	
carico estradosso/intradosso	<b>es</b>	
Lef	<b>4640</b>	[mm]
A	116400	[mm <sup>2</sup> ]
Jy	9126730000	[mm <sup>4</sup> ]
Jz	139680000	[mm <sup>4</sup> ]
Wy	18818000	[mm <sup>3</sup> ]
Wz	2328000	[mm <sup>3</sup> ]
iy	280,0	[mm]
iz	34,6	[mm]
$\lambda_z$	133,9	
<b><math>\sigma_{y,crit}</math></b>	21,3	
$\lambda_{rel,y}$	1,06	
k <sub>crit</sub>	0,76	
$\lambda_{rel,z}$	2,02	
$\beta_c$	<b>0,10</b>	
kz	2,62	
kcz	0,23	
verifica svergolamento con N sigmay,d	<b>0,63</b>	ver.

## 9. VERIFICA FONDAZIONI IN C.A.

### 9.1 FONDAZIONI DIRETTE

Per la verifica delle fondazioni si è realizzato un ulteriore modello ad elementi finiti, incrementando del 10% le azioni agenti sulle strutture come richiesto dalle NTC 2018 al punto 7.2.5 per le fondazioni superficiali progettate in CD "B".

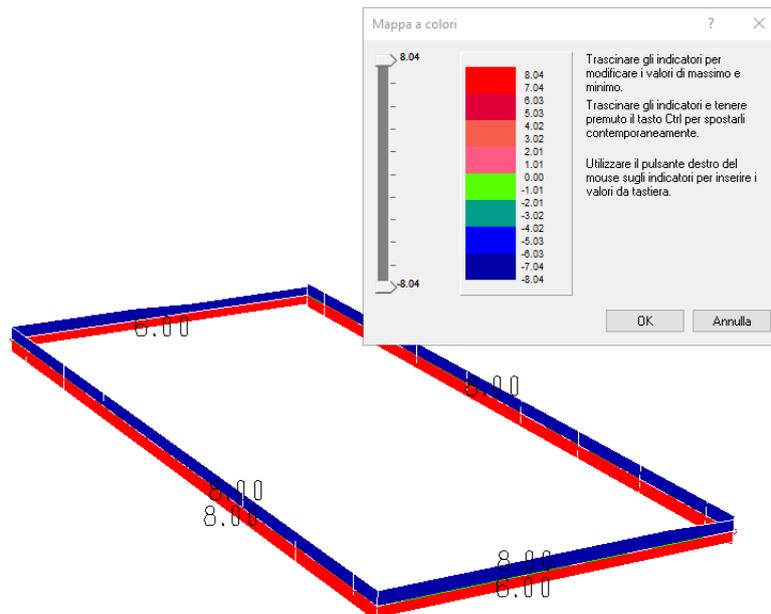
Nella immagini seguenti si riportano le pressioni sul terreno che risultano molto limitate.



**Pressione su elementi tipo trave (SLU)**

Considerati i valori delle pressioni in gioco, lo stato attuale della copertura esistente (assenza totale di cedimenti né assoluti, né differenziali), non si è ritenuto necessario procedere ad indagine specifica sul terreno.

L'armatura delle travi di fondazione risulta ben dimensionata.



**Armatura richiesta nella sezione (cmq)**

## **10 ALLEGATI**

Si rimanda agli allegati per input, output e verifiche estese.

Padova, 26 aprile 2018

Ing. Mauro Ferrarese

## ALLEGATO 1: INFORMAZIONI INTEGRATIVE SULL'USO DEI CODICI DI CALCOLO

### CODICE DI CALCOLO ADOTTATO, SOLUTORE E AFFIDABILITÀ DEI RISULTATI

In base a quanto richiesto al par. 10.2 del D.M. 14.01.2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni) il produttore e distributore Studio Software AMV s.r.l. espone la seguente relazione riguardante il solutore numerico e, più in generale, la procedura di analisi e dimensionamento MasterSap. Si fa presente che sul proprio sito ([www.amv.it](http://www.amv.it)) è disponibile sia il manuale teorico del solutore sia il documento comprendente i numerosi esempi di validazione. Essendo tali documenti (formati da centinaia di pagine) di pubblico dominio, si ritiene pertanto sufficiente proporre una sintesi, sia pure adeguatamente esauriente, dell'argomento.

Il motore di calcolo adottato da MasterSap, denominato LiFE-Pack, è un programma ad elementi finiti che permette l'analisi statica e dinamica in ambito lineare e non lineare, con estensioni per il calcolo degli effetti del secondo ordine.

Il solutore lineare usato in analisi statica ed in analisi modale è basato su un classico algoritmo di fattorizzazione multifrontale per matrici sparse che utilizza la tecnica di condensazione supernodale ai fini di velocizzare le operazioni. Prima della fattorizzazione viene eseguito un riordino simmetrico delle righe e delle colonne del sistema lineare al fine di calcolare un percorso di eliminazione ottimale che massimizza la sparsità del fattore.

Il solutore modale è basato sulla formulazione inversa dell'algoritmo di *Lanczos* noto come *Thick Restarted Lanczos* ed è particolarmente adatto alla soluzione di problemi di grande e grandissima dimensione ovvero con molti gradi di libertà. L'algoritmo di Lanczos oltre ad essere supportato da una rigorosa teoria matematica, è estremamente efficiente e competitivo e non ha limiti superiori nella dimensione dei problemi, se non quelli delle risorse hardware della macchina utilizzata per il calcolo.

Per la soluzione modale di piccoli progetti, caratterizzati da un numero di gradi di libertà inferiore a 500, l'algoritmo di Lanczos non è ottimale e pertanto viene utilizzato il classico solutore modale per matrici dense simmetriche contenuto nella ben nota libreria LAPACK.

L'analisi con i contributi del secondo ordine viene realizzata aggiornando la matrice di rigidità elastica del sistema con i contributi della matrice di rigidità geometrica.

Un'estensione non lineare, che introduce elementi a comportamento multilineare, si avvale di un solutore incrementale che utilizza nella fase iterativa della soluzione il metodo del gradiente coniugato preconditionato.

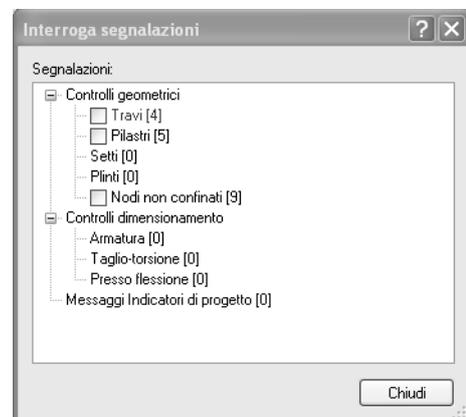
Grande attenzione è stata riservata agli esempi di validazione del solutore. Gli esempi sono stati tratti dalla letteratura tecnica consolidata e i confronti sono stati realizzati con i risultati teorici e, in molti casi, con quelli prodotti, sugli esempi stessi, da prodotti internazionali di comparabile e riconosciuta validità. Il manuale di validazione è disponibile sul sito [www.amv.it](http://www.amv.it).

E' importante segnalare, forse ancora con maggior rilievo, che l'affidabilità del programma trova riscontro anche nei risultati delle prove di collaudo eseguite su sistemi progettati con MasterSap. I verbali di collaudo (per alcuni progetti di particolare importanza i risultati sono disponibili anche nella letteratura tecnica) documentano che i risultati delle prove, sia in campo statico che dinamico, sono corrispondenti con quelli dedotti dalle analisi numeriche, anche per merito della possibilità di dar luogo, con MasterSap, a raffinate modellazioni delle strutture.

In MasterSap sono presenti moltissime procedure di controllo e filtri di autodiagnostica. In fase di input, su ogni dato, viene eseguito un controllo di compatibilità. Un'ulteriore procedura di controllo può essere lanciata dall'utente in modo da individuare tutti gli errori gravi o gli eventuali difetti della modellazione. Analoghi controlli vengono eseguiti da MasterSap in fase di calcolo prima della preparazione dei dati per il solutore. I dati trasferiti al solutore sono facilmente consultabili attraverso la lettura del file di input in formato XML, leggibili in modo immediato dall'utente.

Apposite procedure di controllo sono predisposte per i programmi di dimensionamento per il c.a., acciaio, legno, alluminio, muratura etc.

Tali controlli riguardano l'esito della verifica: vengono segnalati, per via numerica e grafica (vedi esempio a fianco), i casi in contrasto con le comuni tecniche costruttive e gli



errori di dimensionamento (che bloccano lo sviluppo delle fasi successive della progettazione, ad esempio il disegno esecutivo). Nei casi previsti dalla norma, ad esempio qualora contemplato dalle disposizioni sismiche in applicazione, vengono eseguiti i controlli sulla geometria strutturale, che vengono segnalati con la stessa modalità dei difetti di progettazione.

Ulteriori funzioni, a disposizione dell'utente, agevolano il controllo dei dati e dei risultati. E' possibile eseguire una funzione di ricerca su tutte le proprietà (geometriche, fisiche, di carico etc) del modello individuando gli elementi interessati.

Si possono rappresentare e interrogare graficamente, in ogni sezione desiderata, tutti i risultati dell'analisi e del dimensionamento strutturale. Nel caso sismico viene evidenziata la posizione del centro di massa e di rigidità del sistema.

Per gli edifici è possibile, per ogni piano, a partire dalle fondazioni, conoscere la risultante delle azioni verticali orizzontali. Analoghi risultati sono disponibili per i vincoli esterni.

AMV S.r.l.  
Via San Lorenzo, 106  
34077 Ronchi dei Legionari  
(Gorizia) Italy

Ph. +39 0481.779.903 r.a.  
Fax +39 0481.777.125  
E-mail: info@amv.it  
www.amv.it

Cap. Soc. € 10.920,00 i.v.  
P.Iva: IT00382470318  
C.F. e Iscriz. nel Reg. delle Imp. di GO  
00382470318 - R.E.A. GO n° 048216



**Attestato dell'affidabilità del codice di calcolo e delle procedure implementate nei prodotti software AMV  
In base al paragrafo 10.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14.01.2008 e successivi aggiornamenti).**

In base a quanto richiesto al par. 10.2 del D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni) il produttore e distributore AMV s.r.l. espone la seguente relazione riguardante il solutore numerico e, più in generale, la procedura di analisi e dimensionamento MasterSap. Si fa presente che sul proprio sito ([www.amv.it](http://www.amv.it)) è disponibile sia il manuale teorico del solutore sia il documento comprendente i numerosi esempi di validazione. Essendo tali documenti (formati da centinaia di pagine) di pubblico dominio, si ritiene sufficiente proporre una sintesi, sia pure adeguatamente esauriente, dell'argomento.

Il motore di calcolo adottato da MasterSap, denominato LIFE-Pack, è un programma ad elementi finiti che permette l'analisi statica e dinamica in ambito lineare e non lineare, con estensioni per il calcolo degli effetti del secondo ordine.

Il solutore lineare usato in analisi statica ed in analisi modale è basato su un classico algoritmo di fattorizzazione multifrontale per matrici sparse che utilizza la tecnica di condensazione supermodale ai fini di velocizzare le operazioni. Prima della fattorizzazione viene eseguito un riordino simmetrico delle righe e delle colonne del sistema lineare al fine di calcolare un percorso di eliminazione ottimale che massimizza la sparsità del fattore.

Il solutore modale è basato sulla formulazione inversa dell'algoritmo di Lanczos noto come *Thick Restarted Lanczos* ed è particolarmente adatto alla soluzione di problemi di grande e grandissima dimensione ovvero con molti gradi di libertà. L'algoritmo di Lanczos oltre ad essere supportato da una rigorosa teoria matematica, è estremamente efficiente e competitivo e non ha limiti superiori nella dimensione dei problemi, se non quelli delle risorse hardware della macchina utilizzata per il calcolo.

Per la soluzione modale di piccoli progetti, caratterizzati da un numero di gradi di libertà inferiore a 500, l'algoritmo di Lanczos non è ottimale e pertanto viene utilizzato il classico solutore modale per matrici dense simmetriche contenuto nella ben nota libreria LAPACK.

L'analisi con i contributi del secondo ordine viene realizzata aggiornando la matrice di rigidità elastica del sistema con i contributi della matrice di rigidità geometrica.

Un'estensione non lineare, che introduce elementi a comportamento multilineare, si avvale di un solutore incrementale che utilizza nella fase iterativa della soluzione il metodo del gradiente coniugato preconditionato.

Grande attenzione è stata riservata agli esempi di validazione del solutore. Gli esempi sono stati tratti dalla letteratura tecnica consolidata e i confronti sono stati realizzati con i risultati teorici e, in molti casi, con quelli prodotti, sugli esempi stessi, da prodotti internazionali di comparabile e riconosciuta validità. Il manuale di validazione è disponibile sul sito [www.amv.it](http://www.amv.it).

E' importante segnalare, forse ancora con maggior rilievo, che l'affidabilità del programma trova riscontro anche nei risultati delle prove di collaudo eseguite su sistemi progettati con MasterSap. I verbali di collaudo (per alcuni progetti di particolare importanza i risultati sono disponibili anche nella letteratura tecnica) documentano che i risultati delle prove, sia in campo statico che dinamico, sono corrispondenti con quelli dedotti dalle analisi numeriche, anche per merito della possibilità di dar luogo, con MasterSap, a raffinate modellazioni delle strutture.

In MasterSap sono presenti moltissime procedure di controllo e filtri di autodiagnostica. In fase di input, su ogni dato, viene eseguito un controllo di compatibilità. Un'ulteriore procedura di controllo può essere lanciata dall'utente in modo da individuare tutti gli errori gravi o gli eventuali difetti della modellazione. Analoghi controlli vengono eseguiti da MasterSap in fase di calcolo prima della preparazione dei dati per il solutore. I dati trasferiti al solutore sono facilmente consultabili attraverso la lettura del file di input in formato XML, leggibili in modo immediato dall'utente.

Apposite procedure di controllo sono predisposte per i programmi di dimensionamento per l'acciaio, legno, alluminio, muratura etc. Tali controlli riguardano l'esito della verifica: vengono segnalati, per via numerica e grafica (vedi esempio a fianco), i casi in contrasto con le comuni tecniche costruttive e gli errori di dimensionamento (che bloccano lo sviluppo delle fasi successive della progettazione, ad esempio il disegno esecutivo). Nei casi previsti dalla norma, ad esempio qualora contemplato dalle disposizioni sismiche in applicazione, vengono eseguiti i controlli sulla geometria strutturale, che vengono segnalati con la stessa modalità dei difetti di progettazione.

Ulteriori funzioni, a disposizione dell'utente, agevolano il controllo dei dati e dei risultati. E' possibile eseguire una funzione di ricerca su tutte le proprietà (geometriche, fisiche, di carico etc) del modello individuando gli elementi interessati.

Si possono rappresentare e interrogare graficamente, in ogni sezione desiderata, tutti i risultati dell'analisi e del dimensionamento strutturale. Nel caso sismico viene evidenziata la posizione del centro di massa e di rigidità del sistema.

Per gli edifici è possibile, per ogni piano, a partire dalle fondazioni, conoscere la risultante delle azioni verticali orizzontali. Analoghi risultati sono disponibili per i vincoli esterni.

Le altre procedure di calcolo, oltre a MasterSap, seguono la medesima impostazione teorica e lo stesso procedimento di validazione.

AMV s.r.l.  
Il legale rappresentante  
Ing. Eugenio Aiello