

# COMUNE DI PADOVA

## SETTORE LAVORI PUBBLICI

---



### RISTRUTTURAZIONE CON ADEGUAMENTO ENERGETICO DELL'ARCOSTRUTTURA DI VIA GOZZANO

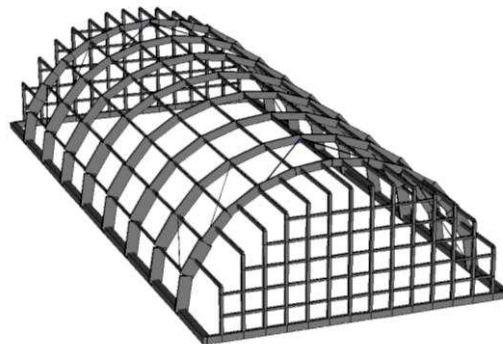
### PROGETTO ESECUTIVO

CODICE OPERA  LLPP EDP 2021/087		DATA  Gennaio 2022
DESCRIZIONE ELABORATO PROGETTO STATICO STRUTTURE - RELAZIONE DI CALCOLO		NUMERO  7
IL PROGETTISTA  Ing. Claudio Rossi	IL PROGETTISTA DELLE OPERE STRUTTURALI  Ing. Mauro Ferrarese	IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO  Arch. Stefano Benvegnù

COMUNE DI:  
**PADOVA**

PROVINCIA DI:  
**PADOVA**

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



PROGETTO:  
**ADEGUAMENTO ENERGETICO ARCOSTRUTTURA DI VIA G.GOZZANO**

# **PROGETTO ESECUTIVO DELLE STRUTTURE**

TITOLO:

**RELAZIONE DI CALCOLO  
DELLE STRUTTURE**

ELABORATO:

**REL.S**

DATA:

**GENNAIO 2022**

REVISIONE:

**00**

## **REVISIONI**

FILE: GOZZANO\_REL.CALC

N°	OGGETTO	DATA	SOST.REV.	
1				REDATTO:MF
2				VERIFICATO:MF
3				VALIDATO:MF
				CODICE:13_M_2021

**PROGETTISTA**

**Ing. MAURO FERRARESE**

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

**TIMBRO E FIRMA**



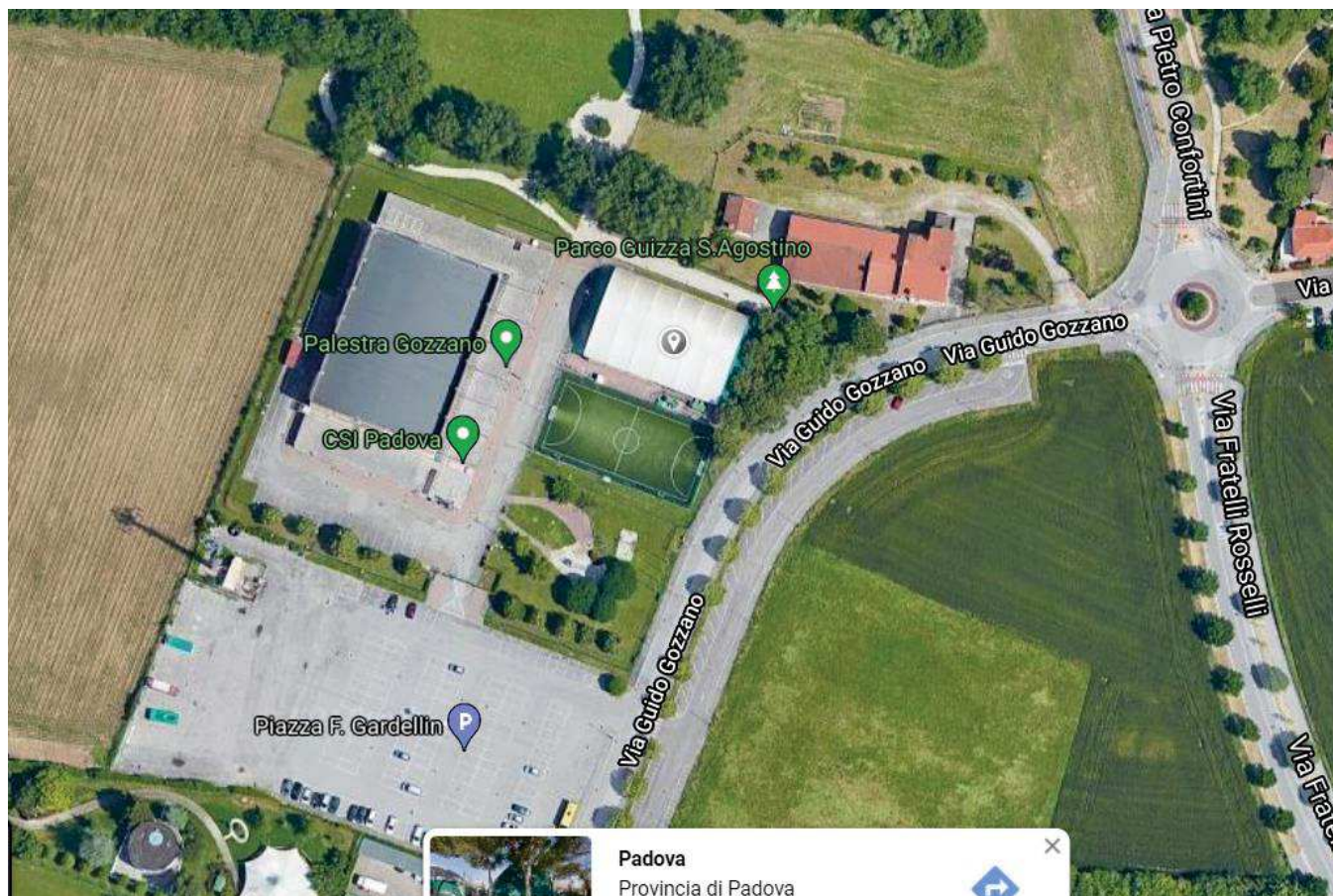
**COLLABORATORE**

## 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>6</b>
<b>4. MATERIALI.....</b>	<b>7</b>
4.1. CALCESTRUZZO C25/30 PER FONDAZIONI .....	7
4.2. ACCIAIO DA CARPENTERIA S275 .....	7
4.3. LEGNO LAMELLARE.....	7
<b>5. PRINCIPALI AZIONI SULLE NUOVE STRUTTURE .....</b>	<b>8</b>
5.1. PREMESSE.....	8
5.2. AZIONI SULLE COSTRUZIONI.....	8
5.3. COMBINAZIONE DELLE AZIONI .....	10
5.3.1. GENERALITA'.....	10
5.3.2. COMBINAZIONI CONSIDERATE .....	11
<b>6. MODELLAZIONE STRUTTURALE.....</b>	<b>12</b>
6.1. PREMESSE.....	12
6.2. DATI CARATTERISTICI DELLA STRUTTURA .....	14
6.2.1. Generalita'.....	14
6.2.2. Riepilogo delle sezioni utilizzate nel modello strutturale .....	15
6.2.3. Riepilogo dei materiali utilizzati nel modello strutturale .....	15
6.2.4. Carichi per elementi trave, trave di fondazione e reticolare .....	16
6.2.5. Massa eccitata quota > 0.00 .....	16
<b>7. RISULTATI DELL'ANALISI ALLO SLU DEGLI ARCHI .....</b>	<b>18</b>
<b>8. VERIFICA SINTETICA DEGLI ELEMENTI IN LEGNO LAMELLARE .....</b>	<b>20</b>
8.1. GIUNZIONI TRA SEMIARCHI .....	20
8.2. VERIFICA ARCARECCIO STABILIZZANTE .....	20
8.3. VERIFICA ARCARECCIO NUOVO PER POSA COPERTURA SANDWICH.....	22
8.4. VERIFICA ARCO .....	23
8.5. VERIFICA CONTROVENTI .....	26
8.6. VERIFICA TRAVE COLLEGAMENTO TESTATE-ARCO .....	27
<b>9. VERIFICA FONDAZIONI IN C.A. ....</b>	<b>29</b>
9.1. FONDAZIONI DIRETTE.....	29
<b>10 ALLEGATI .....</b>	<b>30</b>
<b>ALLEGATO 1: INFORMAZIONI INTEGRATIVE SULL'USO DEI CODICI DI CALCOLO .....</b>	<b>31</b>
CODICE DI CALCOLO ADOTTATO, SOLUTORE E AFFIDABILITÀ DEI RISULTATI.....	31

## 2. PREMESSE E DESCRIZIONE DELLE OPERE

La relazione riporta i criteri generali seguiti nella progettazione esecutiva delle strutture nell'ambito dell' "ADEGUAMENTO ENERGETICO ARCOSTRUTTURA DI VIA G. GOZZANO A PADOVA".



La struttura progettata e realizzata nel 2008 si trova in buono stato di conservazione e viene perciò trattata come se fosse nuova. Copre un'area di forma rettangolare posata su un anello rettangolare di fondazione in cls con lati di lunghezza rispettivamente 41,00 e 22,60.

E' costituita da sette portali ad "arco a tre cerniere (cerniere agli appoggi degli archi e in sommità)", di luce netta in asse alla fondazione pari a 21,20 metri ed altezza al colmo di circa 10,52 metri. Gli archi sono posti ad interasse 5,70 metri, con sezione variabile in altezza e pari a 12 cm in larghezza. Ciascun arco, è costituito da due pezzi, uniti in corrispondenza alla mezzeria dell'arco con giunzione metallica a cerniera bullonata.

Sugli archi, controventati da un'orditura di arcarecci (sezione 14x16 cm) anch'essi di legno lamellare e tiranti in tondo di acciaio di diametro  $\phi 18$  mm, è posato il telo in PVC di chiusura.

Le fondazioni in c.a. sono del tipo "a trave continua" con sezioni rettangolari pari a 70x50 cm sui lati principali, 30x50 cm sui lati minori.

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

- Pacchetto copertura sandwich isolante e fonoassorbente per il tamponamento della copertura costituita da doppia lamiera grecata e curvata in opera, imbottita con lana di vetro;
- Tamponamenti verticali dei lati lunghi della palestra dalla fondazione alla quota della trave di banchina esistente, con pannelli isolanti autoportanti con doppio paramento metallico e isolamento in resina PIR;
- Tamponamento delle testate con struttura in legno a montanti e traversi a sostegno si di tamponamento in polycarbonato alveolare che di tamponamento come i lati lunghi della palestra.

Dal punto di vista prettamente strutturale si prevede perciò:

1. Rimozione telo esistente
2. Fornitura e posa in opera di nuovi arcarecci a filo superiore archi per posizionamento nuovo manto di copertura coibentante;
3. Integrazione di controventature metalliche risultate insufficienti;
4. Integrazione della giunzione centrale a cerniera tra semiarchi;
5. Fornitura e posa di montanti e traversi per baraccatura di testata, posti in appoggio al cordolo in c.a. esistente.
6. Fornitura e posa di copertura coibentata;
7. Tamponamento delle testate (una con pannello sandwich e una con pannello in polycarbonato).

Le opere saranno completate da tutte le finiture non strutturali (gronde, pluviali, scossaline ecc.).

Si osserva infine che nella progettazione della struttura risalente all'anno 2008 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 si sottolinea che il territorio di Padova, precedentemente indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Deliberazione del Consiglio Regionale Veneto n. 67 del 3.12.2003 come zona sismica 4, è stata in seguito modificata con la D.G.R. n.244 del 9 marzo 2021, passando a zona 3.

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 .

Tipo di struttura	Nello Spazio
Tipo di analisi	Statica e Dinamica
Tipo di soluzione	Lineare
Unita' di misura delle forze	kg
Unita' di misura delle lunghezze	cm
Normativa	NTC-2018
<b>NORMATIVA</b>	
Vita nominale costruzione	50 anni
Classe d'uso costruzione	III



Vita di riferimento	75 anni
Localita'	Padova - Via Guido Gozzano 58
Longitudine (WGS84)	11.8655
Latitudine (WGS84)	45.3742
Categoria del suolo	C
Coefficiente topografico	1
Coefficiente di smorzamento	5%
Eccentricita' accidentale	5%
Numero di frequenze	20
Periodo proprio T1 in direzione X	0.837
Periodo proprio T1 in direzione Y	0.685
Comportamento strutturale	NON Dissipativo

#### PARAMETRI SISMICI

	TR	ag/g	FO	TC*	CC	Ss	Pga (ag*S) (m/s^2)
SLO	45	0.0349	2.5270	0.24	1.68	1.50	0.514
SLD	75	0.0416	2.5320	0.28	1.60	1.50	0.612
SLV	712	0.1067	2.5700	0.34	1.50	1.50	1.570
SLE	712	0.0902	2.6660	0.35	1.49	1.50	1.327
SLC	1462	0.1151	2.6430	0.36	1.47	1.50	1.694

#### STATO LIMITE ULTIMO

Fattore di comportamento q per sisma orizzontale	qor=1.5
--	---------

#### PARAMETRI SISMICI

Angolo del sisma nel piano orizzontale	0
Sisma verticale	Assente
Combinazione dei modi	CQC
Combinazione componenti azioni sismiche	NTC - Eurocodice 8
$\lambda$	0.3
$\mu$	0.3

### 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. 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 elasticità	$E_s = 210000 \text{ MPa} = 2058210 \text{ kg/cm}^2$

### 4.3. LEGNO LAMELLARE

Resistenza a flessione	$f_{m,g,k}$	24,0	[MPa]	235.2	[kg/cm <sup>2</sup> ]
Resistenza a trazione	$f_{t,0,g,k}$	14,0	[MPa]	137.2	[kg/cm <sup>2</sup> ]
	$f_{t,90,g,k}$	0,35	[MPa]	3.4	[kg/cm <sup>2</sup> ]
Resistenza a compressione	$f_{c,0,g,k}$	21,0	[MPa]	205.8	[kg/cm <sup>2</sup> ]
	$f_{c,90,g,k}$	2,4	[MPa]	23.5	[kg/cm <sup>2</sup> ]
Resistenza a taglio	$f_{v,g,k}$	2,2	[MPa]	21.5	[kg/cm <sup>2</sup> ]
Modulo di elasticità	$E_{0,g,mean}$	11600	[MPa]	113680	[kg/cm <sup>2</sup> ]
	$E_{0,g,05}$	9400	[MPa]	92120	[kg/cm <sup>2</sup> ]
	$E_{90,g,mean}$	320	[MPa]	3136	[kg/cm <sup>2</sup> ]
Modulo di taglio	$G_{g,mean}$	590	[MPa]	5782	[kg/cm <sup>2</sup> ]
Massa volumica	$\rho_{g,k}$	350	[kg/m <sup>3</sup> ]	350	[kg/m <sup>3</sup> ]



## 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*

➤ <b>Variabile Neve:</b>	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 : IIIm  
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 :

$$q_s(\mu_1(\alpha)) = 81.6 \text{ kg/m}^2 \quad [\mu_1(\alpha) = 0.8]$$

$$q_s(\mu_1=0.8) = 81.6 \text{ kg/m}^2$$

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)
ag/g	0.1067
Fo	2.57
Tc	0.34

Categoria del sottosuolo: C

➤ **Azione del vento**

Normativa: D.M. 17/01/2018 (NTC 2018, Circolare 17/01/2019, n.7)

La pressione del vento è calcolata secondo l'espressione:

$$p = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

Provincia: Padova  
Zona: 1  
Altitudine: 0 m s.l.m  
Tempo di ritorno  $T_r$ : 50 anni;  
Velocità di riferimento  $v_r(T_r)$ : 25 m/s  
Pressione cinetica di riferimento  $q_r$ : 39.86 Kg/m<sup>2</sup>  
Altezza della costruzione  $z$ : 10 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

$c_e(z = 10.28m)$ : 2.16



Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde inclinate o curvilinee

Dimensioni in pianta: 40.7 \* 21.8 m

Altezza: 2.4 m

Pareti verticali

Faccia sopravento:  $c_{pe} = 0.711$

Faccia laterale:  $c_{pe} = -0.588$

Faccia sottovento:  $c_{pe} = -0.322$

Copertura a volta cilindrica

Freccia  $f$ : 7.88 m

Vento perpendicolare alle generatrici della copertura

$c_{pe,A}$  (prima condizione) = 0.546

$c_{pe,A}$  (seconda condizione) = --

$c_{pe,B} = -1.061$

$c_{pe,C} = -0.4$

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

Le combinazioni considerate sono:

SLU	$\gamma_{G1} G1 + \gamma_{G2} G2 + \gamma_Q 1 Q1 + \gamma_{Q2} \psi_{02} Q2$	$\psi_{02} = 0.7$ per classi C $\psi_{02} = 0.5$ per neve $\psi_{02} = 0.6$ per vento
SLE RARA	$G1 + G2 + \psi_{02} Q$ con	$\psi_{02} = 0.7$ per classi C $\psi_{02} = 0.5$ per neve $\psi_{02} = 0.6$ per vento
SLE FREQUENTE	$G1 + G2 + \psi_{11} Q$ con	$\psi_{11} = 0.7$ per classi C $\psi_{11} = 0.2$ per neve $\psi_{11} = 0.2$ per vento
SLE QUASI PERM.	$G1 + G2 + \psi_{21} Q$ con	$\psi_{21} = 0.6$ per classi C $\psi_{21} = 0.0$ per neve $\psi_{21} = 0.0$ per vento
COMBINAZIONE SISMICA E	$G1 + G2 + \psi_{21} Q$ con	$\psi_{21} = 0.6$ per classi C $\psi_{21} = 0.0$ per neve $\psi_{21} = 0.0$ per vento

### 5.3.2 COMBINAZIONI CONSIDERATE

#### 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
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
2	statica: 1.3per+1.5nevesim+0.9ventosx	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Neve	Condizione 2	1.500
			Variabile: Vento	Condizione 4	0.900
3	statica: 1.3per+1.5neve asim+0.9ventosx	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Neve	Condizione 3	1.500
			Variabile: Vento	Condizione 4	0.900
4	statica: 1.3per+1.5neve asim+0.9vento dx	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Neve	Condizione 3	1.500
			Variabile: Vento	Condizione 5	0.900
5	statica: 1.3per+0.75neve asim+ 1.5 ventosx	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.750
			Variabile: Vento	Condizione 4	1.500
6	statica: 1.3per+0.75neve asim+ 1.5 vento dx	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.750
			Variabile: Vento	Condizione 5	1.500
7	statica: 1.3per+0.75neve sim+ 1.5 ventosx	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Neve	Condizione 2	0.750
			Variabile: Vento	Condizione 4	1.500
8	statica: 1.3per+1.5nevesim+0.9vento testate	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Neve	Condizione 2	1.500
			Variabile: Vento	Condizione 6	0.900

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
9	statica: 1.3per+0.75neve sim+ 1.5 vento testate	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Neve	Condizione 2	0.750
			Variabile: Vento	Condizione 6	1.500

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

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
10	RARA 1: 1 neve sim + 0.6 vento sx	Tipologia: Rara	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 2	1.000
			Variabile: Vento	Condizione 4	0.600
11	RARA 2: 0.5 neve sim + 1 vento sx	Tipologia: Rara	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 2	0.500
			Variabile: Vento	Condizione 4	1.000
12	RARA 3: 0.5 neve sim + 1 vento testate	Tipologia: Rara	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 2	0.500
			Variabile: Vento	Condizione 6	1.000

## 6. MODELLAZIONE STRUTTURALE

### 6.1 PREMESSE

La struttura e il suo comportamento sotto le azioni statiche e dinamiche è stata adeguatamente valutato, interpretato e trasferito 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 rigidezza 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.

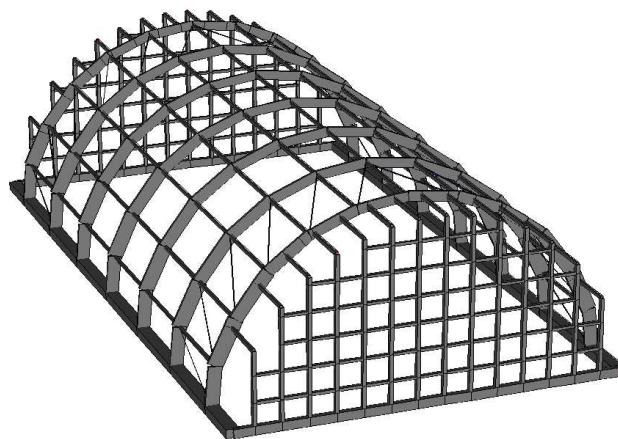
E' stata impiegata un'analisi dinamica modale in campo lineare con adozione di spettro di risposta conforme alla normativa vigente. Agli effetti del dimensionamento è stato quindi impiegato il metodo degli stati limite ultimo e di esercizio.

L'analisi di tipo numerico è stata realizzata mediante il programma di calcolo MasterSap, prodotto da Studio Software AMV di Ronchi dei Legionari (Gorizia). E' stato 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 – Via Ferdinando Bettini
ag/g	0.1067
F0	2.57
Tc	0.34
Categoria del suolo	C
Fattore topografico	1

#### STATO LIMITE ULTIMO

Coefficiente di smorzamento	5%
Eccentricità accidentale	5%
Numero di frequenze	13

#### PARAMETRI SISMICI

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

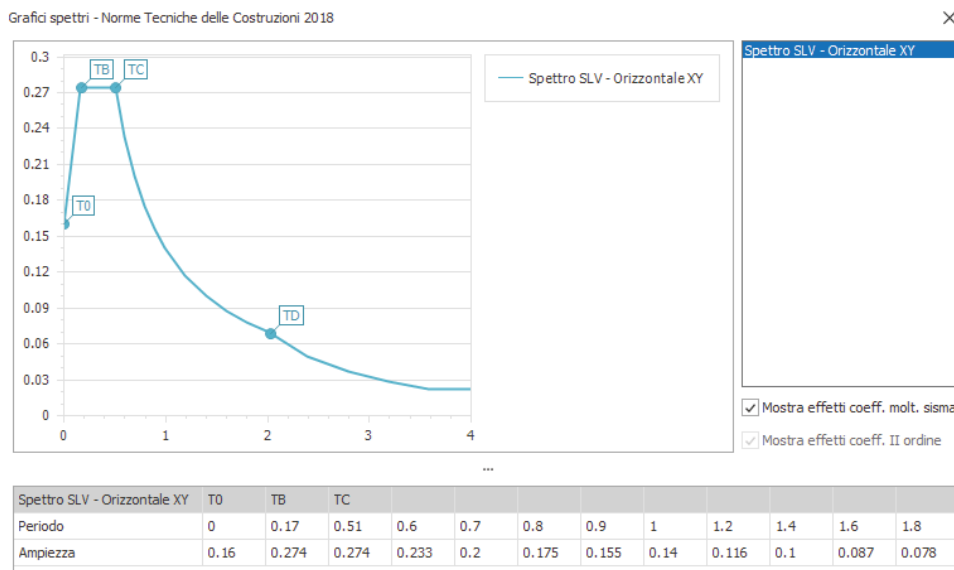
#### FATTORE DI STRUTTURA

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:

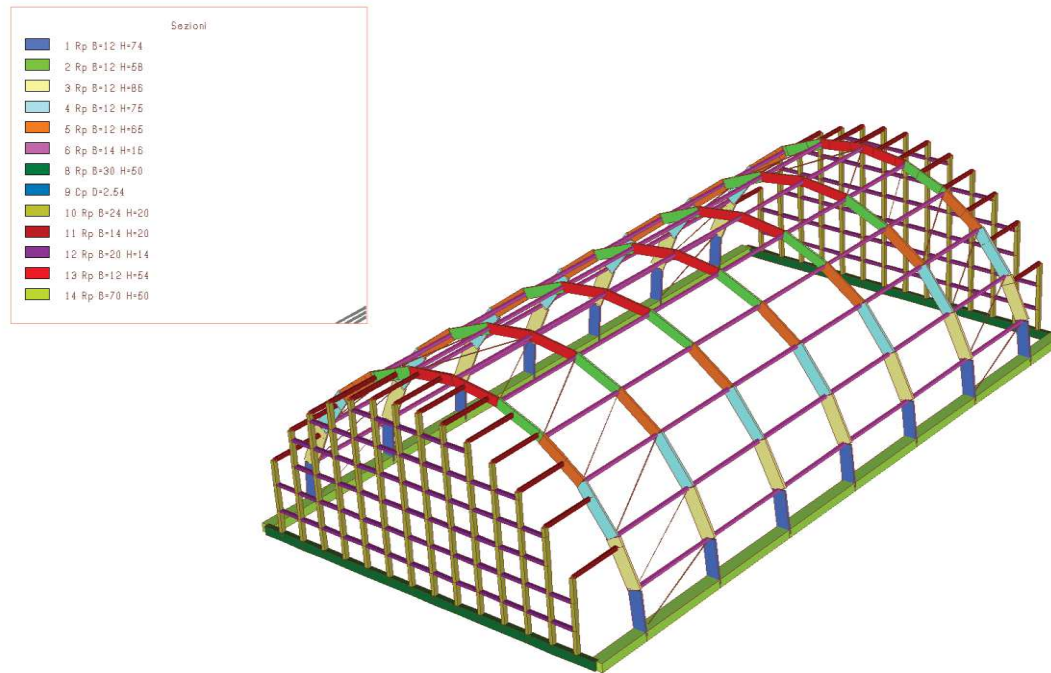
- tipologia strutturale: strutture isostatiche, portali isostatici con mezzi di unione a gambo cilindrico;
- classe di duttilità: B;
- coefficiente di base  $q_0 = 1.50$
- regolare in altezza:  $k_r = 1.00$

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

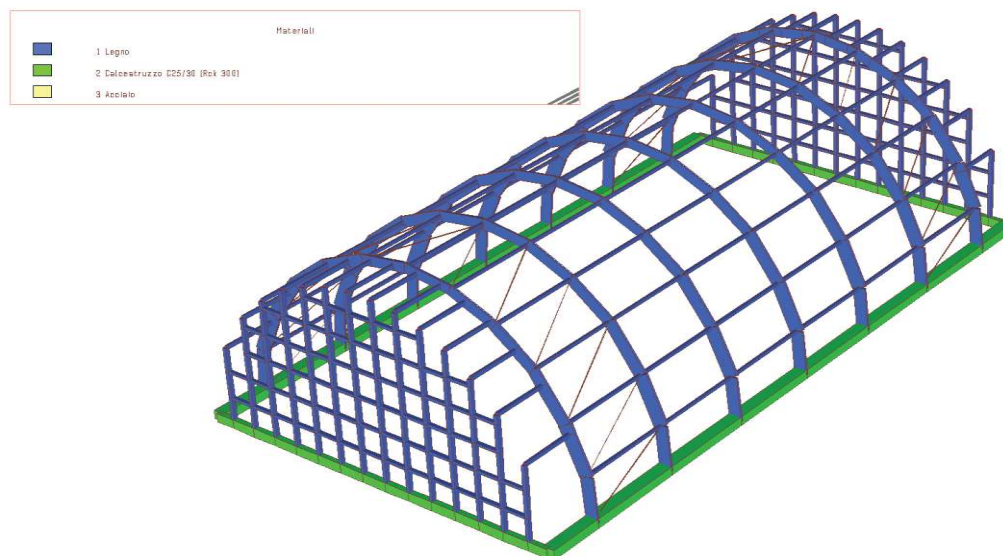
#### SPETTRO SLV ORIZZONTALE



### 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
vento testate	19	Condizione 6	Variabile: Vento	0.590000	0.000	0.590000	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
Neve simmetrica	2	Condizione 2	Variabile: Neve	-0.008200	0.000	-0.008200	0.000	0.0000	0.0000
Neve ASIM 1	11	Condizione 3	Variabile: Neve	0.000000	0.000	-2.650000	0.000	0.0000	0.0000
neve ASIM 2	12	Condizione 3	Variabile: Neve	-3.980000	0.000	-3.980000	0.000	0.0000	0.0000
Neve ASIM 3	13	Condizione 3	Variabile: Neve	-2.650000	0.000	0.000000	0.000	0.0000	0.0000
Neve ASIM 4	14	Condizione 3	Variabile: Neve	0.000000	0.000	-5.300000	0.000	0.0000	0.0000
Neve ASIM 5	15	Condizione 3	Variabile: Neve	-7.960000	0.000	-7.960000	0.000	0.0000	0.0000
Neve ASIM 6	16	Condizione 3	Variabile: Neve	-5.300000	0.000	0.000000	0.000	0.0000	0.0000
tamponamento longitudinale	17	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-0.500000	0.000	-0.500000	0.000	0.0000	0.0000
tamponamento testate testate	18	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-1.500000	0.000	-1.500000	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	3	Condizione 4	Variabile: Vento	-0.004865	0.000	-0.004865	0.000	0.0000	0.0000
vento SX 2	4	Condizione 4	Variabile: Vento	-0.003788	0.000	-0.003788	0.000	0.0000	0.0000
vento SX 3	5	Condizione 4	Variabile: Vento	0.008100	0.000	0.008100	0.000	0.0000	0.0000
vento SX 4	6	Condizione 4	Variabile: Vento	0.003140	0.000	0.003140	0.000	0.0000	0.0000
vento DX 1	7	Condizione 5	Variabile: Vento	-0.004865	0.000	-0.004865	0.000	0.0000	0.0000
vento DX 2	8	Condizione 5	Variabile: Vento	-0.003788	0.000	-0.003788	0.000	0.0000	0.0000
vento DX 3	9	Condizione 5	Variabile: Vento	0.008100	0.000	0.008100	0.000	0.0000	0.0000
vento DX 4	10	Condizione 5	Variabile: Vento	0.003140	0.000	0.003140	0.000	0.0000	0.0000
vento SX 5	20	Condizione 4	Variabile: Vento	0.002650	0.000	0.002650	0.000	0.0000	0.0000
vento DX 5	21	Condizione 5	Variabile: Vento	0.002650	0.000	0.002650	0.000	0.0000	0.0000

**Carico distribuito con riferimento globale Z, agente sulla lunghezza reale**

Descrizione	Cod.	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Val. iniz.	Dist.iniz. nodo I	Val. finale	Dist.fin. nodo I	Aliq.inerz.	Aliq.inerz. SLD
Permanente	1	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-0.004000	0.000	-0.004000	0.000	1.0000	1.0000

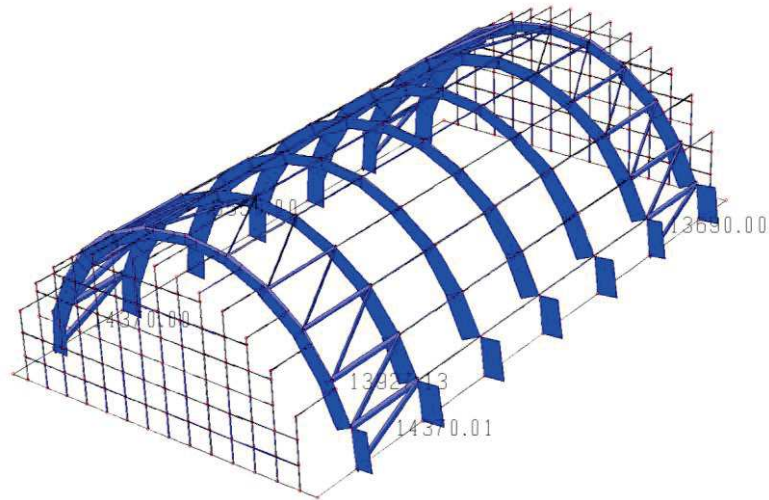
**6.2.5 MASSA ECCITATA QUOTA > 0.00****MASSA ECCITATA  
PER QUOTA Z MAGGIORE DI :0.00**

Modo	Direz.X	%	Direz.Y	%	Direz.Z	%
Modo: 1	+5.38e+01	76	+8.02e-06	0	+9.72e-05	0
Progressiva	+5.38e+01	76	+8.02e-06	0	+9.72e-05	0
Modo: 2	+5.65e-05	0	+7.78e-07	0	+2.18e-08	0
Progressiva	+5.38e+01	76	+8.80e-06	0	+9.72e-05	0
Modo: 3	+3.67e+00	5	+7.25e-05	0	+2.24e-07	0
Progressiva	+5.75e+01	81	+8.13e-05	0	+9.75e-05	0
Modo: 4	+3.32e-05	0	+4.19e+01	59	+3.47e-04	0
Progressiva	+5.75e+01	81	+4.19e+01	59	+4.44e-04	0
Modo: 5	+3.41e-07	0	+3.79e-04	0	+6.72e-10	0
Progressiva	+5.75e+01	81	+4.19e+01	59	+4.44e-04	0

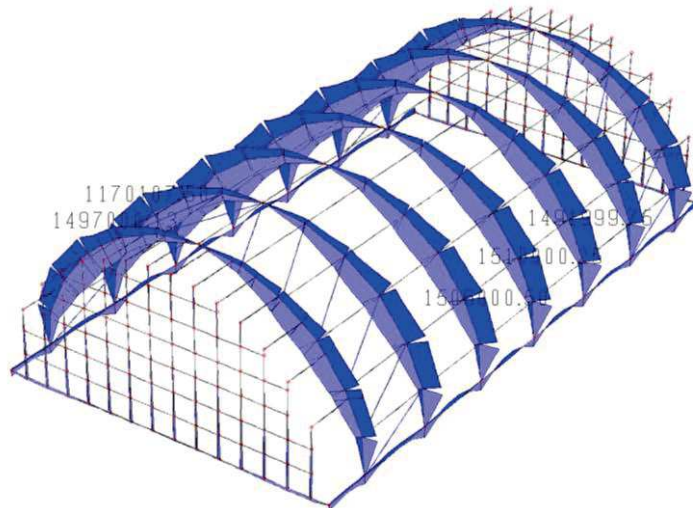
Modo	Direz.X	%	Direz.Y	%	Direz.Z	%
Modo: 6	+2.01e-02	0	+4.24e-08	0	+1.75e-06	0
Progressiva	+5.75e+01	81	+4.19e+01	59	+4.46e-04	0
Modo: 7	+8.26e-05	0	+2.75e-05	0	+3.82e+00	5
Progressiva	+5.75e+01	81	+4.19e+01	59	+3.82e+00	5
Modo: 8	+2.50e-08	0	+2.84e-01	0	+3.19e-07	0
Progressiva	+5.75e+01	81	+4.22e+01	59	+3.82e+00	5
Modo: 9	+1.72e-05	0	+1.00e-03	0	+1.28e+00	2
Progressiva	+5.75e+01	81	+4.22e+01	59	+5.10e+00	7
Modo: 10	+2.13e-06	0	+1.67e+00	2	+2.71e-02	0
Progressiva	+5.75e+01	81	+4.38e+01	62	+5.13e+00	7
Modo: 11	+5.03e-05	0	+1.08e-02	0	+2.36e+00	3
Progressiva	+5.75e+01	81	+4.39e+01	62	+7.49e+00	11
Modo: 12	+3.62e-04	0	+1.83e-03	0	+1.55e-06	0
Progressiva	+5.75e+01	81	+4.39e+01	62	+7.49e+00	11
Modo: 13	+5.96e-01	1	+3.07e-05	0	+1.74e-05	0
Progressiva	+5.81e+01	82	+4.39e+01	62	+7.49e+00	11
Modo: 14	+7.56e-05	0	+4.41e+00	6	+4.71e-04	0
Progressiva	+5.81e+01	82	+4.83e+01	68	+7.49e+00	11
Modo: 15	+1.58e-05	0	+1.35e+01	19	+1.54e-03	0
Progressiva	+5.81e+01	82	+6.18e+01	87	+7.49e+00	11
Modo: 16	+2.20e-06	0	+3.90e-03	0	+1.99e-01	0
Progressiva	+5.81e+01	82	+6.18e+01	87	+7.69e+00	11
Modo: 17	+1.72e-05	0	+4.43e-03	0	+5.41e-03	0
Progressiva	+5.81e+01	82	+6.18e+01	87	+7.69e+00	11
Modo: 18	+1.88e-07	0	+4.35e-01	1	+6.05e-04	0
Progressiva	+5.81e+01	82	+6.22e+01	87	+7.69e+00	11
Modo: 19	+6.99e-01	1	+2.66e-09	0	+2.78e-04	0
Progressiva	+5.88e+01	83	+6.22e+01	87	+7.69e+00	11
Modo: 20	+5.01e-02	0	+3.25e-05	0	+1.35e-05	0
Progressiva	+5.88e+01	83	+6.22e+01	87	+7.69e+00	11
Modo: 21	+4.26e+00	6	+3.64e-07	0	+8.01e-04	0
Progressiva	+6.31e+01	89	+6.22e+01	87	+7.69e+00	11

## 7. RISULTATI DELL'ANALISI ALLO SLU DEGLI ARCHI

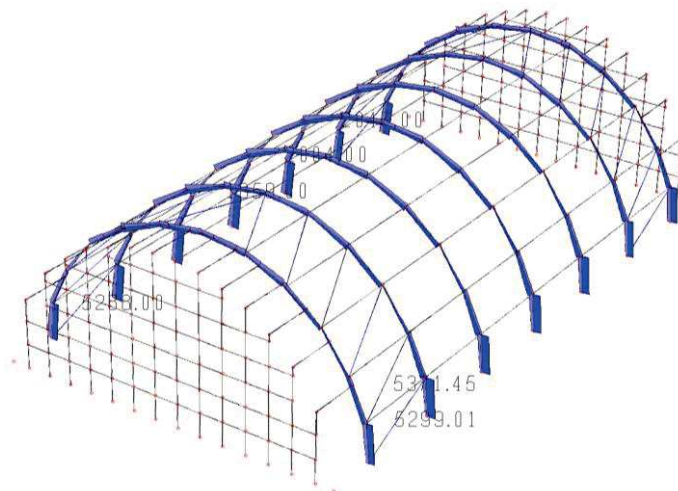
Si riportano per immagini le sollecitazioni di involucro allo stato limite ultimo.



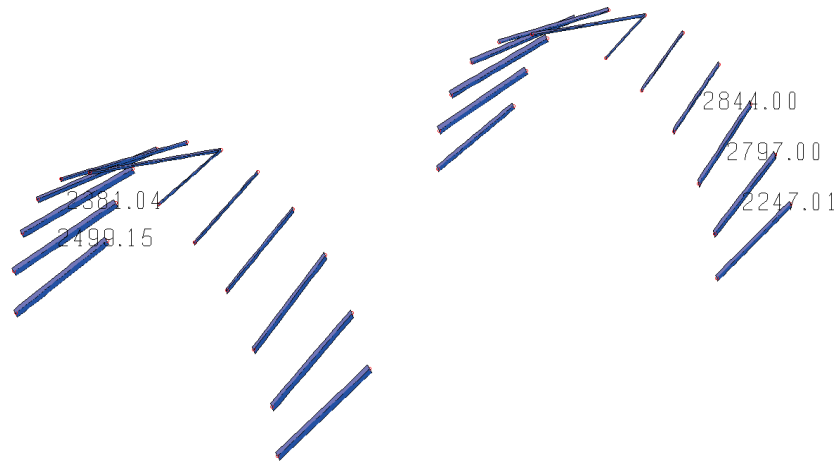
**Sforzo normale archi I.I. (kg)**



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

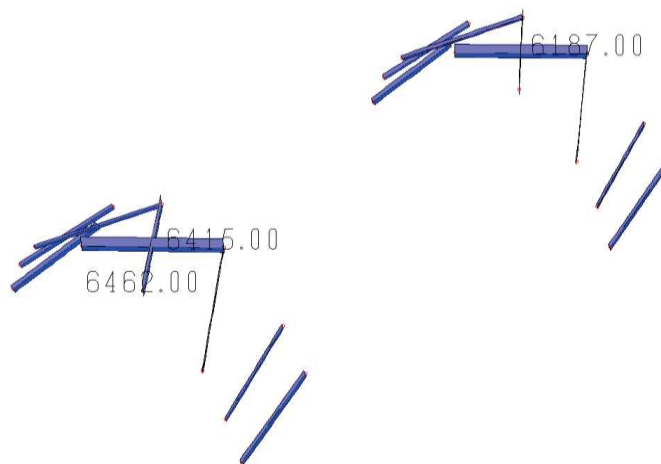


**Sforzo di taglio Fy archi I.I. (kg)**



### Trazione controventi (kg)

Si evidenzia che nello stato di fatto (con controventi disposti in modo insufficiente) lo sforzo massimo di trazione ammonta a  $N = 6462 \text{ kg}$



E la sezione del controvento non risulta verificata:

Verifica a Trazione della sezione											
Ned/Nc,Rd<1			<b>1,11</b>	Non Verificata							
dove:											
Ned		63,32	kN	sforzo normale di trazione agente sulla sezione							
Nt, Rd		56,85	kN	resistenza di calcolo a trazione							
Npl,Rd=(A*fyk)/γM0		56,85	kN	resistenza di progetto a trazione							
Nu,Rd = ( 0,9 * A <sub>net</sub> *		65,8368	kN	resist. a rot. della sezione in corrispondenza dei fori per i collegamenti							
A		2,54	cmq	area della sezione							
A <sub>net</sub>		2,54	cmq	area della sezione al netto dei fori							
fyk		235	N/mm <sup>2</sup>	tensione di snervamento dell'acciaio							
ftk		360	N/mm <sup>2</sup>	tensione di rottura dell'acciaio							
γM0		1,05	adim.	coeff.							
γM2		1,25	adim.	coeff.							

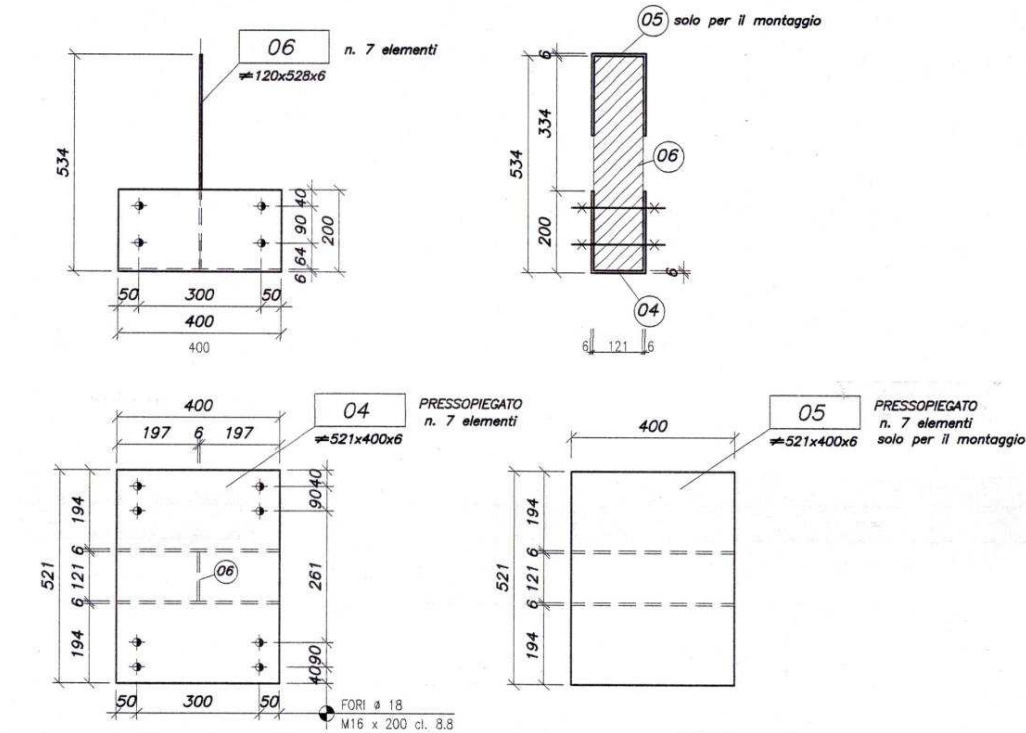


## 8. VERIFICA SINTETICA DEGLI ELEMENTI IN LEGNO LAMELLARE

### 8.1 GIUNZIONI TRA SEMIARCHI

La giunzione esistente è così progettata:

(B) COLLEGAMENTO CENTRALE  
N. 7 ELEMENTI



I semiarchi risultano di fatto appoggiati e liberi di ruotare (la coppia di bulloni M16 non è in grado di trasferire momento flettente significativo). I bulloni esistenti assorbono lo sforzo di taglio e impediscono il distacco di un semiarco dall'altro.

A favore di sicurezza si ritiene opportuno, senza stravolgere lo schema statico di arco a tre cerniera, di disporre una coppia di piatti metallici nella parte superiore del contatto tra gli archi per ridurre il rischio di distacco dovuto a carichi non simmetrici (neve, vento ecc.). Si rimanda per tale intervento alle tavole grafiche esecutive.

### 8.2 VERIFICA ARCARECCIO STABILIZZANTE

Gli arcarecci esistenti, integrati per il nuovo collegamento dell'arco di estremità risultano compressi con  $N_{dmax} = 2147 \text{ kg}$

#### VERIFICHE A COMPRESSIONE SEMPLICE PARALLELA ALLE FIBRE

Nd	21470 [N]
B	140 [mm]
h	160 [mm]
A	22400 [mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{c,0,d}$ tensione di compressione	0,96 [N/mm <sup>2</sup> ]
verifica	0,07 ver.

#### VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE

Nd	21470	[N]	
Myd	0	[Nmm]	
Mzd	0	[Nmm]	
B	140	[mm]	
h	160	[mm]	
Khb	1,15	[mm <sup>2</sup> ]	
Khh	1,15	[mm <sup>3</sup> ]	
A	22400	[mm <sup>3</sup> ]	
Wy	597333,3333	[N/mm <sup>2</sup> ]	
Wz	522666,6667	[N/mm <sup>2</sup> ]	
$\sigma_{c,0,d}$ tensione di compressione	0,96	[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		
Km	0,7		
verifica 1	0,005		ver.
verifica 2	0,01		ver.

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

Nd	21470	[N]	
Myd	0	[Nmm]	
Mzd	0	[Nmm]	
lunghezza colonna sbandamento da Myd	5700	[mm]	
lunghezza colonna sbandamento da Mzd	5700	[mm]	
B	140	[mm]	
h	160	[mm]	
Jy	47786666,67	[mm <sup>4</sup> ]	
Jz	36586666,67	[mm <sup>4</sup> ]	
A	22400	[mm <sup>2</sup> ]	
Wy	597333,3333	[mm <sup>3</sup> ]	
Wz	522666,6667	[mm <sup>3</sup> ]	
iy	46,2	[mm]	
iz	40,4	[mm]	
$\lambda_y$	123,4		
$\lambda_z$	141,0		
$\sigma_{c,0,d}$ tensione di compressione	0,96	[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> ]	
$\lambda_{rel,y}$	1,86		
$\lambda_{rel,z}$	2,12		
$\beta_c$	0,10		
ky	2,30		
kz	2,84		
kcy	0,27		
kcz	0,21		
Km	0,7		
verifica 1	0,27		ver.
verifica 2	0,35		ver.

### 8.3 VERIFICA ARcareccio NUOVO PER POSA COPERTURA SANDWICH

I nuovi arcarecci sono posti ad interasse 150 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:

$$\begin{aligned}\text{Comb. SLU: } q_d &= 1,30 \times (14 + 60) + 1,50 \times 123 = 280,7 \text{ kg/m} \\ M_{yd} &= 1100 \text{ kgm} \\ T_d &= 786 \text{ kg}\end{aligned}$$

#### VERIFICHE A FLESSIONE

Nd	0	[N]
Myd	11000000	[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> ]
$\sigma_{yd}$	11,79	[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	
kcrit	1,00	
$\lambda_{rel,z}$	2,03	
$\beta_c$	0,10	
kz	2,64	
kcz	0,23	
verifica svergolamento $\sigma_{may,d}$	0,69	ver.

#### VERIFICHE A TAGLIO

Td	<b>7860</b> [N]
B	<b>140</b> [mm]
h	<b>200</b> [mm]
A	28000 [mm <sup>2</sup> ]
$\tau_d$	0,42 [N/mm <sup>2</sup> ]
verifica 1	<b>0,31</b> ver.

#### 8.4 VERIFICA ARCO

Si riportano alcune verifiche di sezioni dell'arco soggetto a pressoflessione e taglio.  
Sezione con momento flettente massimo 12x86 cm, Nd = 12720 kg, Myd = 15100 kgm

#### VERIFICHE A COMPRESSIONE SEMPLICE PARALLELA ALLE FIBRE

Nd	<b>127200</b> [N]
B	<b>120</b> [mm]
h	<b>860</b> [mm]
A	103200 [mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{c,0,d}$ tensione di compressione	1,23 [N/mm <sup>2</sup> ]
verifica	<b>0,09</b> ver.

#### VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE

Nd	<b>127200</b> [N]
Myd	<b>151000000</b> [Nmm]
Mzd	<b>0</b> [Nmm]
B	<b>120</b> [mm]
h	<b>860</b> [mm]
Khb	1,15 [mm <sup>2</sup> ]
Khh	1 [mm <sup>3</sup> ]
A	103200 [mm <sup>3</sup> ]
Wy	14792000 [N/mm <sup>2</sup> ]
Wz	2064000 [N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{c,0,d}$ tensione di compressione	1,23 [N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{yd}$ tensione flessione intorno a y	10,21 [N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{zd}$ tensione di flessione intorno z	0
Km	<b>0,7</b>
verifica 1	<b>0,694</b> ver.
verifica 2	<b>0,49</b> ver.

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

Nd	<b>127200</b> [N]
Myd	<b>151000000</b> [Nmm]
Mzd	<b>0</b> [Nmm]
lunghezza colonna sbandamento da Myd	<b>3000</b> [mm]
lunghezza colonna sbandamento da Mzd	<b>3000</b> [mm]
B	<b>120</b> [mm]
h	<b>860</b> [mm]

Jy	6360560000	[mm <sup>4</sup> ]
Jz	123840000	[mm <sup>4</sup> ]
A	103200	[mm <sup>2</sup> ]
Wy	14792000	[mm <sup>3</sup> ]
Wz	2064000	[mm <sup>3</sup> ]
iy	248,3	[mm]
iz	34,6	[mm]
λy	12,1	
λz	86,6	
σ <sub>c,0,d</sub> tensione di compressione	1,23	[N/mm <sup>2</sup> ]
σ <sub>yd</sub> tensione flessione intorno a y	10,21	[N/mm <sup>2</sup> ]
σ <sub>zd</sub> tensione di flessione intorno z	0	[N/mm <sup>2</sup> ]
λ <sub>rel,y</sub>	0,18	
λ <sub>rel,z</sub>	1,30	
β <sub>c</sub>	<b>0,10</b>	
k <sub>y</sub>	0,51	
k <sub>z</sub>	1,40	
k <sub>cy</sub>	1,01	
k <sub>cz</sub>	0,52	
K <sub>m</sub>	<b>0,7</b>	
verifica 1	<b>0,78</b>	ver.
verifica 2	<b>0,66</b>	ver.

#### VERIFICHE A FLESSIONE

N <sub>d</sub>	<b>127200</b>	[N]
M <sub>yd</sub>	<b>151000000</b>	[Nmm]
M <sub>zd</sub>	<b>0</b>	[Nmm]
B	<b>120</b>	[mm]
h	<b>860</b>	[mm]
K <sub>hb</sub>	1,15	
K <sub>hh</sub>	1	
A	103200	[mm <sup>2</sup> ]
Wy	14792000	[mm <sup>3</sup> ]
Wz	2064000	[mm <sup>3</sup> ]
σ <sub>cd</sub>	1,23	[N/mm <sup>2</sup> ]
σ <sub>yd</sub>	10,21	[N/mm <sup>2</sup> ]
σ <sub>zd</sub>	0,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
K <sub>m</sub>	<b>0,7</b>	
verifica 1	<b>0,48</b>	ver.
verifica 2	<b>0,69</b>	ver.

#### CARICO CRITICO DI TRAVE A FLESSIONE

	σ <sub>md</sub> < K <sub>crit</sub> x f <sub>md</sub>	
distanza ritegni torsionali L	<b>1500</b>	[mm]
L <sub>ef</sub> /L	<b>0,9</b>	
carico estradosso/intradosso	<b>es</b>	
L <sub>ef</sub>	<b>3070</b>	[mm]
A	103200	[mm <sup>2</sup> ]
Jy	6360560000	[mm <sup>4</sup> ]
Jz	123840000	[mm <sup>4</sup> ]

Wy	14792000	[mm <sup>3</sup> ]
Wz	2064000	[mm <sup>3</sup> ]
iy	248,3	[mm]
iz	34,6	[mm]
$\lambda_z$	88,6	
$\sigma_{y,crit}$	36,3	
$\lambda_{rel,y}$	0,81	
k <sub>crit</sub>	0,95	
$\lambda_{rel,z}$	1,33	
$\beta_c$	<b>0,10</b>	
k <sub>z</sub>	1,44	
k <sub>cz</sub>	0,50	
verifica svergolamento con N sigmay,d	<b>0,71</b>	ver.

Sezione di base 12x55 cm, Nd = 14360 kg, Myd = 0 kgm

#### VERIFICHE A COMPRESSIONE SEMPLICE PARALLELA ALLE FIBRE

Nd	<b>143600</b>	[N]
B	<b>120</b>	[mm]
h	<b>550</b>	[mm]
A	66000	[mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{c,0,d}$ tensione di compressione	2,18	[N/mm <sup>2</sup> ]
verifica	<b>0,17</b>	ver.

#### VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE

Nd	<b>143600</b>	[N]
Myd	<b>0</b>	[Nmm]
Mzd	<b>0</b>	[Nmm]
B	<b>120</b>	[mm]
h	<b>550</b>	[mm]
K <sub>hb</sub>	1,15	[mm <sup>2</sup> ]
K <sub>hh</sub>	1,017554577	[mm <sup>3</sup> ]
A	66000	[mm <sup>3</sup> ]
Wy	6050000	[N/mm <sup>2</sup> ]
Wz	1320000	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{c,0,d}$ tensione di compressione	2,18	[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	
K <sub>m</sub>	<b>0,7</b>	
verifica 1	<b>0,028</b>	ver.
verifica 2	<b>0,03</b>	ver.

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

Nd	<b>143600</b>	[N]
Myd	<b>0</b>	[Nmm]
Mzd	<b>0</b>	[Nmm]
lunghezza colonna sbandamento da Myd	<b>3000</b>	[mm]
lunghezza colonna sbandamento da Mzd	<b>3000</b>	[mm]
B	<b>120</b>	[mm]



h	550	[mm]
Jy	1663750000	[mm <sup>4</sup> ]
Jz	79200000	[mm <sup>4</sup> ]
A	66000	[mm <sup>2</sup> ]
Wy	6050000	[mm <sup>3</sup> ]
Wz	1320000	[mm <sup>3</sup> ]
iy	158,8	[mm]
iz	34,6	[mm]
λy	18,9	
λz	86,6	
σc,0,d tensione di compressione	2,18	[N/mm <sup>2</sup> ]
σyd tensione flessione intorno a y	0,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
σzd tensione di flessione intorno z	0	[N/mm <sup>2</sup> ]
λrel,y	0,28	
λrel,z	1,30	
βc	0,10	
ky	0,54	
kz	1,40	
kcy	1,00	
kcz	0,52	
Km	0,7	
verifica 1	0,17	ver.
verifica 2	0,32	ver.

#### VERIFICHE A TAGLIO

Td	53000	[N]
B	120	[mm]
h	550	[mm]
A	66000	[mm <sup>2</sup> ]
τd	1,20	[N/mm <sup>2</sup> ]
verifica 1	0,88	ver.

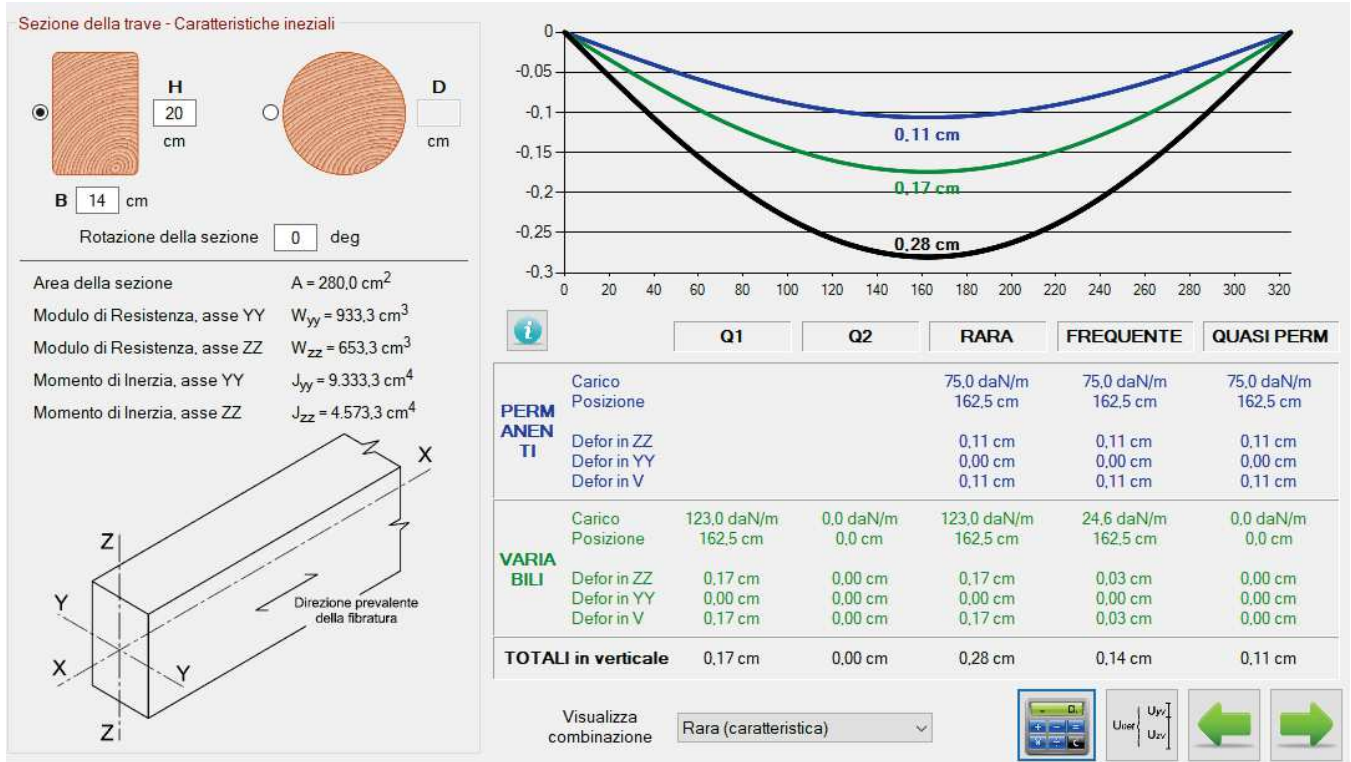
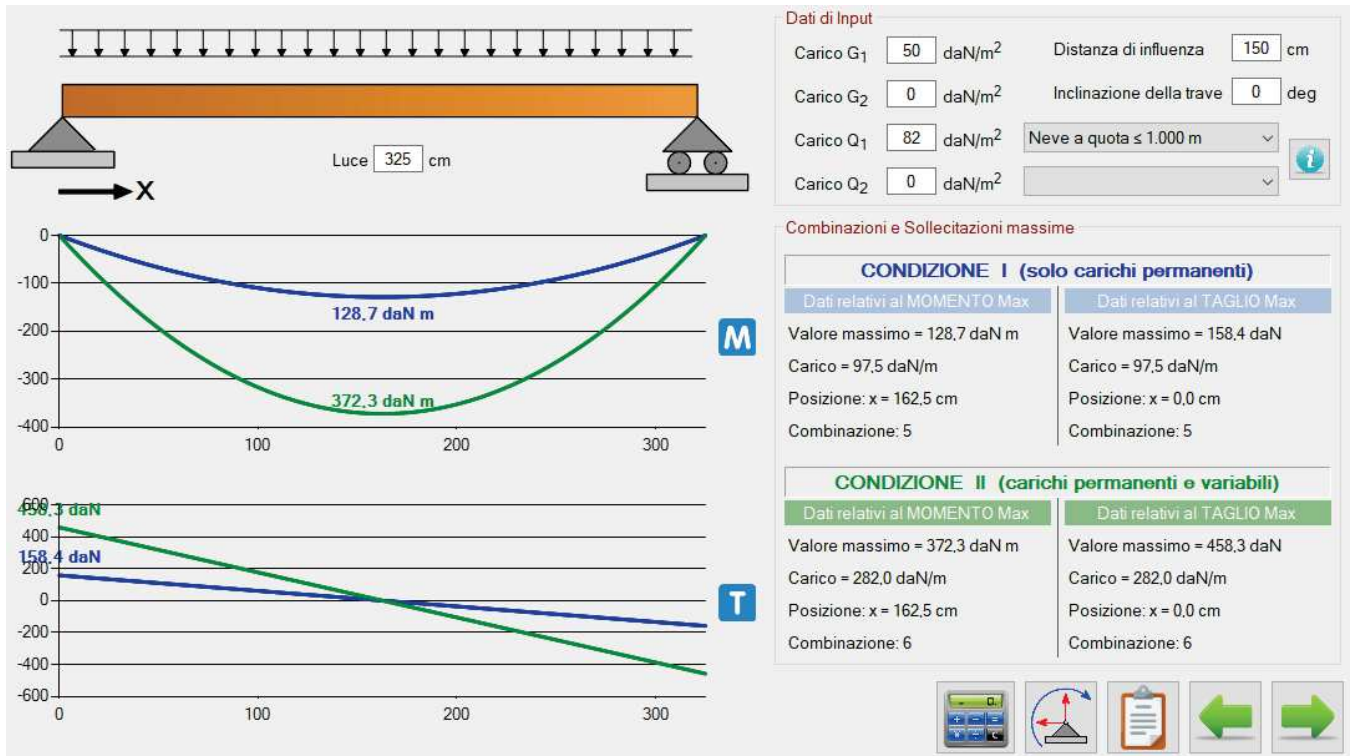
#### 8.5 VERIFICA CONTROVENTI

Nd = 2844 kg

Verifica a Trazione della sezione									
Ned/Nc,Rd<1		0,49	Verificata						
dove:									
Ned		27,97	kN	sforzo normale di trazione agente sulla sezione					
Nt, Rd		56,85	kN	resistenza di calcolo a trazione					
Npl,Rd=(A*fyk)/γMo		56,85	kN	resistenza di progetto a trazione					
Nu,Rd = ( 0,9 * A <sub>net</sub> *		65,8368	kN	resist. a rot. della sezione in corrispondenza dei fori per i collegamenti					
A		2,54	cmq	area della sezione					
A <sub>net</sub>		2,54	cmq	area della sezione al netto dei fori					
fyk		235	N/mm <sup>2</sup>	tensione di snervamento dell'acciaio					
ftk		360	N/mm <sup>2</sup>	tensione di rottura dell'acciaio					
γMo		1,05	adim.	coeff.					
γM2		1,25	adim.	coeff.					

## 8.6 VERIFICA TRAVE COLLEGAMENTO TESTATE-ARCO

La trave in oggetto ha sezione di base 14x24 cm, e luce di calcolo pari a 505 cm.

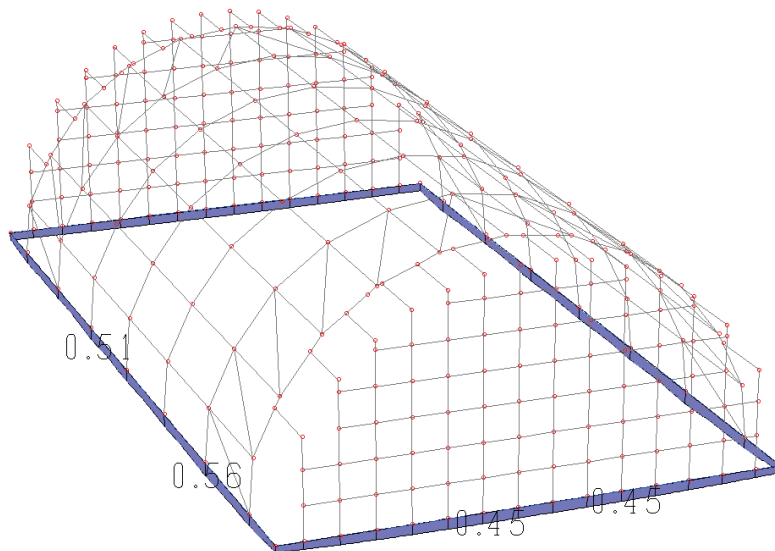




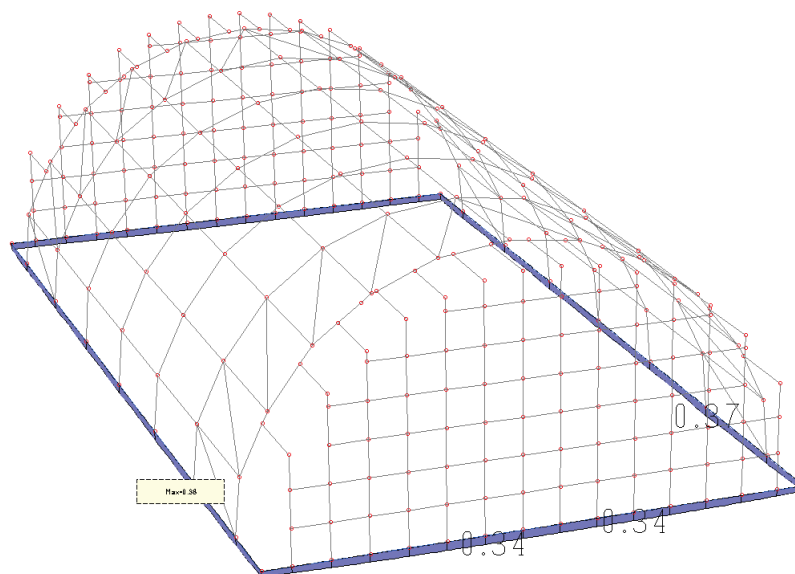
## 9. VERIFICA FONDAZIONI IN C.A.

### 9.1 FONDAZIONI DIRETTE

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



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



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

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.

## **10 ALLEGATI**

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

Padova, 04 gennaio 2022

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 rigidezza elastica del sistema con i contributi della matrice di rigidezza geometrica.

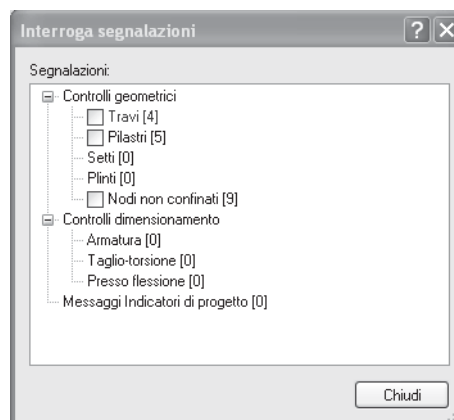
Un'estensione non lineare, che introduce elementi a comportamento multilineare, si avvale di un solutore incrementale che utilizza nella fase iterativa della soluzione il metodo del gradiente coniugato preconditionato.

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 autodiagnostica. In fase di input, su ogni dato, viene eseguito un controllo di compatibilità. Un'ulteriore procedura di controllo può lanciata dall'utente in modo da individuare tutti gli errori gravi o eventuali difetti della modellazione. Analoghi controlli vengono eseguiti da MasterSap in fase di calcolo prima della preparazione 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 dimensionamento per il c.a., acciaio, legno, alluminio, muratura. Tali controlli riguardano l'esito della verifica: vengono segnalati, numerica e grafica (vedi esempio a fianco), i casi in contrasto con 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.



filtri di  
essere  
gli  
dei  
  
di  
etc.  
per via  
le



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