

COMUNE DI PADOVA

SETTORE LAVORI PUBBLICI



RISTRUTTURAZIONE DI DUE ARCOSTRUTTURE IN VIA SCHIAVONE E IN VIA VERMIGLI

PROGETTO ESECUTIVO

IL PROGETTISTA DELLE OPERE STRUTTURALI

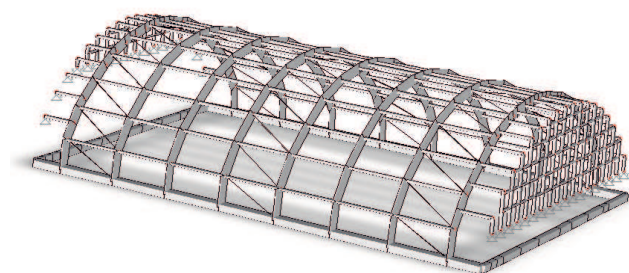
Ing. Mauro Ferrarese

CODICE OPERA		DATA
LLPP EDP 2018/143		Marzo 2019
DESCRIZIONE ELABORATO		NUMERO
PROGETTO STATICO STRUTTURALE ARCOSTRUTTURA DI VIA VERMIGLI - RELAZIONE DI CALCOLO		12
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 DI VIA VERMIGLI

PROGETTO ESECUTIVO DELLE STRUTTURE

TITOLO:

**RELAZIONE DI CALCOLO
DELLE STRUTTURE**

ELABORATO:

REL.S

DATA:

NOVEMBRE 2018

REVISIONE:

00

REVISIONI

FILE: VLACOVICH_REL.CALC

N°	OGGETTO	DATA	SOST.REV.	
1				REDATTO:MF
2				VERIFICATO:MF
3				VALIDATO:MF
				CODICE:12_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



1. INDICE

1. INDICE	2
2. PREMESSE E DESCRIZIONE DELLE OPERE	3
3. CRITERI DI CALCOLO E NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO	5
4. MATERIALI.....	6
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
4.5. LEGNO LAMELLARE CLASSE GL 24C SECONDO UNI EN 1194:2000	6
5. PRINCIPALI AZIONI SULLE NUOVE STRUTTURE	7
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
6. MODELLAZIONE STRUTTURALE.....	11
6.1. PREMESSE.....	11
6.2. DATI CARATTERISTICI DELLA STRUTTURA	13
6.2.1. Generalita'.....	13
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
7. RISULTATI DELL'ANALISI ALLO SLU DEGLI ARCHI	18
8. VERIFICA SINTETICA DEGLI ELEMENTI IN LEGNO LAMELLARE	20
8.1. VERIFICA ARCA RECCIO NUOVO PER POSA COPERTURA SANDWICH.....	20
8.2. VERIFICA ARCO	22
8.3. VERIFICA CONTROVENTI	26
9. VERIFICA FONDAZIONI IN C.A.	27
9.1. FONDAZIONI DIRETTE.....	27
10. DEFORMAZIONI	29
10.1. COMBINAZIONE RARA	29
11 ALLEGATI	30
ALLEGATO 1: INFORMAZIONI INTEGRATIVE SULL'USO DEI CODICI DI CALCOLO	31
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 VERMIGLI.



La struttura progettata e realizzata nel 2006 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 circa rispettivamente 45,00 e 28,50 m.

E' costituita da otto portali ad "arco a tre cerniere (cerniere agli appoggi degli archi e in sommità)", di luce netta in asse alla fondazione pari a 20,80 metri ed altezza al colmo di circa 11,11 m. Gli archi sono posti ad interasse 5,30 metri, con sezione variabile in altezza e pari a 12 cm in larghezza. Ciascun arco, con estradosso ad unico raggio di curvatura pari a 11,37 m, è costituito da due pezzi, semiarchi con giunzione metallica a cerniera bullonata nel legno.

Sugli archi, opportunamente controventati da un'orditura di arcarecci (sezione 14x16.5 cm) anch'essi di legno e tiranti in tondo di acciaio di diametro $\phi 20$ 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 80x50 cm sui lati principali, 50x50 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:

- Pannello/pacchetto sandwich calandrato isolante e fonoassorbente 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 sud con struttura in legno impostata sulla muratura esistente a sostegno di tamponamento in polycarbonato alveolare;
- Tamponamento delle testate nord con struttura in legno impostata sulla sommità della muratura esistente in c.a. del blocco spogliatoi, a sostegno di tamponamento in polycarbonato alveolare.

Dal punto di vista prettamente strutturale si prevede perciò:

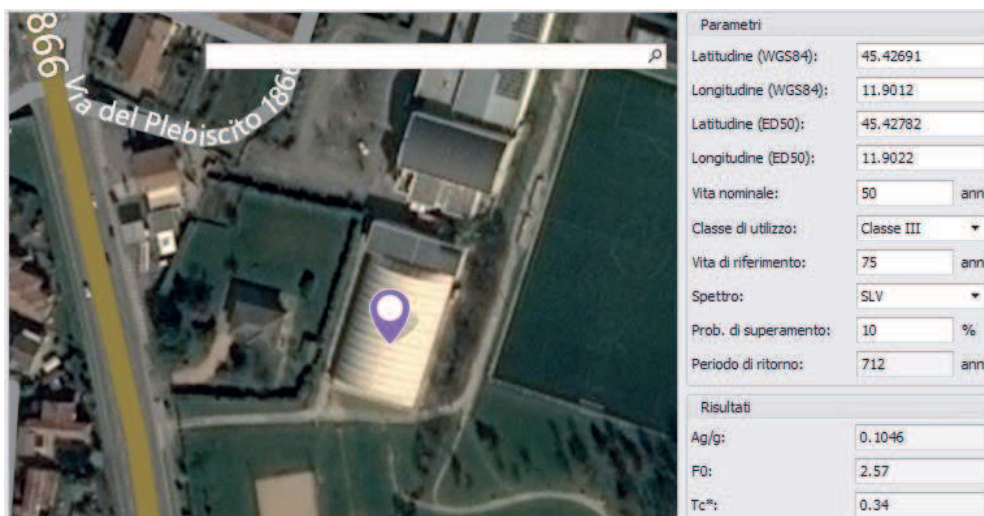
1. Rimozione telo esistente
2. Fornitura e posa in opera di nuovi arcarecci a filo superiore archi per posizionamento nuovo manto di copertura coibentante
3. Costruzione muratura sp.25 cm con cordolo sommitale tra gli archi, già presente sulle fondazioni di testata
4. Fornitura e posa di montanti e traversi per baraccatura di testata.
5. Fornitura e posa di copertura calandrata

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

Si osserva che nella progettazione della struttura risalente all'anno 2005 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 .

Si evidenzia infine che il collegamento tra la nuova e ridotta testata nord in legno e polycarbonato e il fabbricato esistente (spogliatoi ecc.) non è tale da trasferire azioni sismiche di un fabbricato sull'altro, lasciando l'arcostruttura e il fabbricato spogliatoi assolutamente autonomi l'uno dall'altro.



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.

D.M. LL.PP 14.01.2008	Norme Tecniche per le Costruzioni
D.M. LL.PP 17.01.2018	Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"
CIRCOLARE DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI	Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. LL.PP del 14.01.2008.
O.P.C.M. n. 3519 del 28.04.2006	Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone
D.G.R.V. n. 71 del 22.01.2008	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
UNI EN 1995-1-1: EUROCODICE 5	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 elasticità	$E_s = 200000 \text{ MPa} = 1960000 \text{ kg/cm}^2$

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

4.5 LEGNO LAMELLARE CLASSE GL 24C SECONDO UNI EN 1194:2000

Resistenza a flessione	$f_{m,g,k}$	24,0	[MPa]	235.2	[kg/cm ²]
Resistenza a trazione	$f_{t,0,g,k}$	14,0	[MPa]	137.2	[kg/cm ²]
	$f_{t,90,g,k}$	0,35	[MPa]	3.4	[kg/cm ²]
Resistenza a compressione	$f_{c,0,g,k}$	21,0	[MPa]	205.8	[kg/cm ²]
	$f_{c,90,g,k}$	2,40	[MPa]	23.5	[kg/cm ²]
Resistenza a taglio	$f_{v,g,k}$	2,20	[MPa]	21.5	[kg/cm ²]
Modulo di elasticità	$E_{0,g,mean}$	11600	[MPa]	113680	[kg/cm ²]
	$E_{0,g,05}$	9400	[MPa]	92120	[kg/cm ²]
Modulo di taglio	$G_{g,mean}$	590	[MPa]	5782	[kg/cm ²]
Massa volumica	$\rho_{g,k}$	350	[kg/m ³]	350	[kg/m ³]

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 : 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	0.1056
Fo	2.56
Tc	0.34

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/m²
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 $c_e(z)$:
 $c_e(z_{\min} = 5\text{m})$: 1.71
 $c_e(z = 6\text{m})$: 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 γ_f	A1 STR
CARICHI PERMANENTI G1	Favorevoli Sfavorevoli	γ_{G1}	1.0 1.3
CARICHI PERMANENTI G2 (definiti – indefiniti)	Favorevoli Sfavorevoli	γ_{G2}	0.0 1.3 - 1.5
CARICHI VARIABILI Q	Favorevoli Sfavorevoli	γ_Q	0.0 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	$E + G1 + G2 + \psi_{21} Q$ 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

Sulla base delle seguenti condizioni di carico:

1. Peso proprio + permanenti portati + murature
2. Neve – situazione simmetrica
3. Vento da Sx (vento trasversale)
4. Vento da direzione Dx (vento trasversale)
5. Neve – situazione asimmetrica
7. Vento in direzione Y (sulle testate)

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
			Variabile: Neve	Condizione 2	0.000
			Variabile: Neve	Condizione 5	0.000
			Variabile: Vento	Condizione 3	0.000
			Variabile: Vento	Condizione 4	0.000
			Variabile: Vento	Condizione 7	0.000
2	pp+perm	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
7	pp+perm+1,50nevesim+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 3	0.900
8	pp+perm+1,50nesim+0,9ventodx	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
9	pp+perm+1,50neveasim+0,90ventosx	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Neve	Condizione 5	1.500
			Variabile: Vento	Condizione 3	1.500
10	pp+perm+1,50neveasim+0,90ventodx	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Neve	Condizione 5	1.500
			Variabile: Vento	Condizione 4	1.500
11	pp+perm+1,50nevesim	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
12	pp+perm+1,50neveasim	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Neve	Condizione 5	1.500
13	pp+perm+1,50ventosx+0,75neveasim	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Neve	Condizione 5	0.750
			Variabile: Vento	Condizione 3	1.500
14	pp+perm+1,50ventodx+0,75neveasim	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Neve	Condizione 5	0.750
			Variabile: Vento	Condizione 4	1.500
15	pp+perm+1,50ventotestat	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Vento	Condizione 7	1.500

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE D'ESERCIZIO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
3	frequente pp+perm+nevesim	Tipologia: Frequente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 2	0.200
4	frequente pp+perm+0,20nevasim	Tipologia: Frequente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 5	0.200
5	quasi permanente pp+perm	Tipologia: Quasi permanente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
16	rara pp+perm+0,50nevasim	Tipologia: Rara	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 2	0.500
17	rara pp+perm+0,50nevasim	Tipologia: Rara	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 5	0.500

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 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.

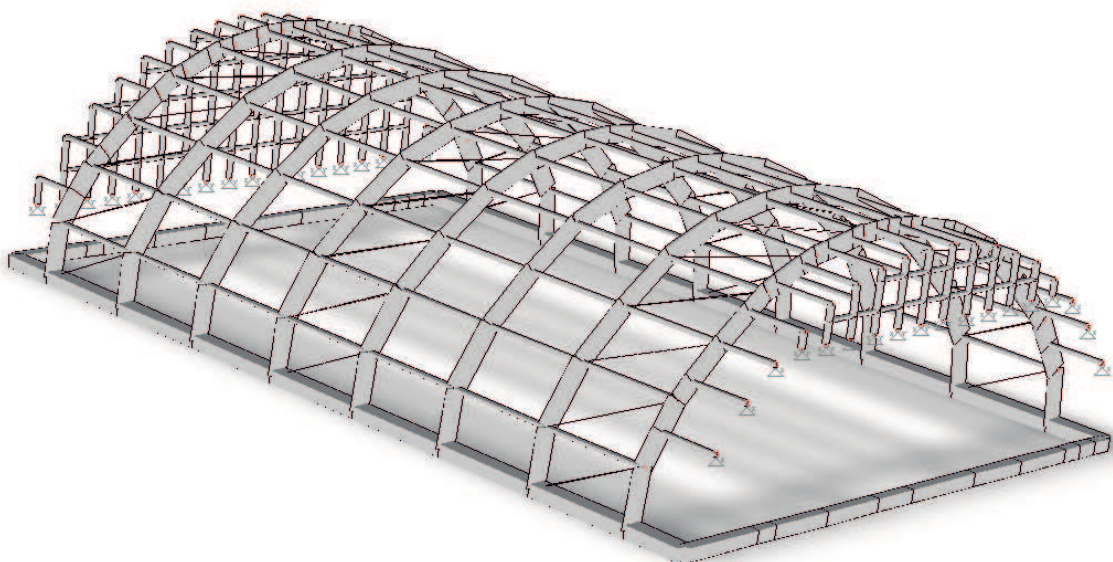
E' stata impiegata un'analisi dinamica modale in campo lineare con adozione di spettro di risposta conforme alla normativa vigente. Agli effetti del dimensionamento è stato quindi impiegato il metodo degli stati limite ultimo e di esercizio.

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 della 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 vermigli
ag/g	0.1046
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	15

PARAMETRI SISMICI

Angolo del sisma nel piano orizzontale	0
Sisma verticale	Assente
Combinazione dei modi	CQC
Combinazione componenti azioni sismiche	NTC 2008 - Eurocodice 8
λ	0.3
μ	0.3

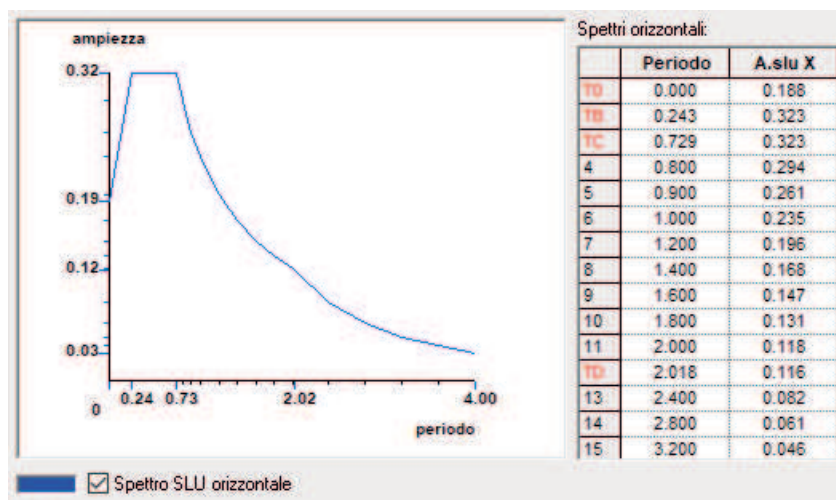
FATTORE DI STRUTTURA

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:

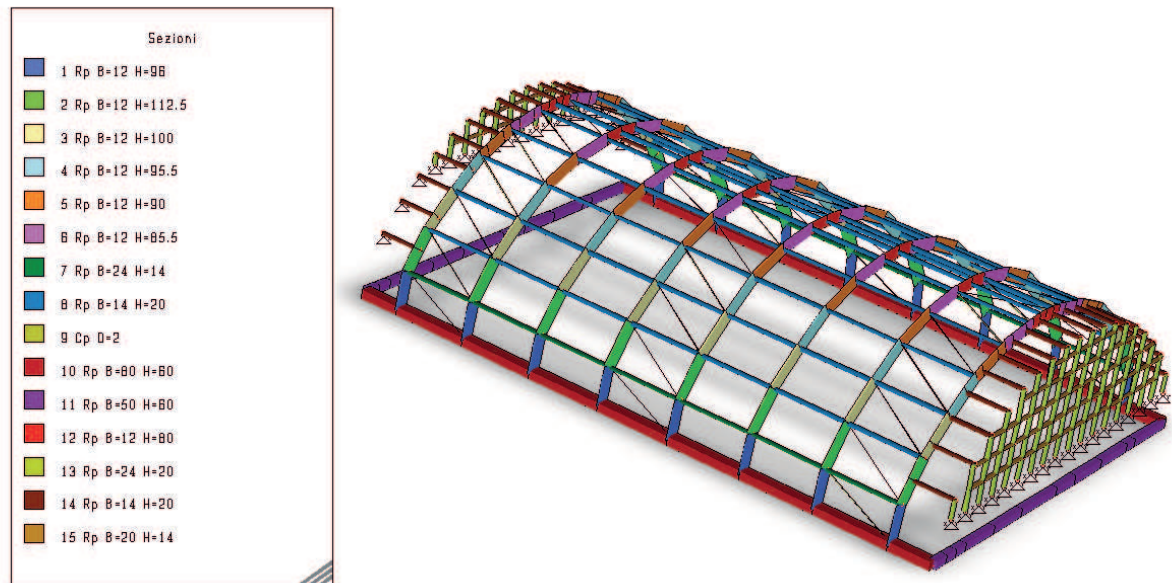
- tipologia strutturale: strutture isostatiche, portali isostatici con mezzi di unione a gambo cilindrico;
- coefficiente di base $q_0 = 1.50$
- regolare in altezza: $k_r = 1.00$

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

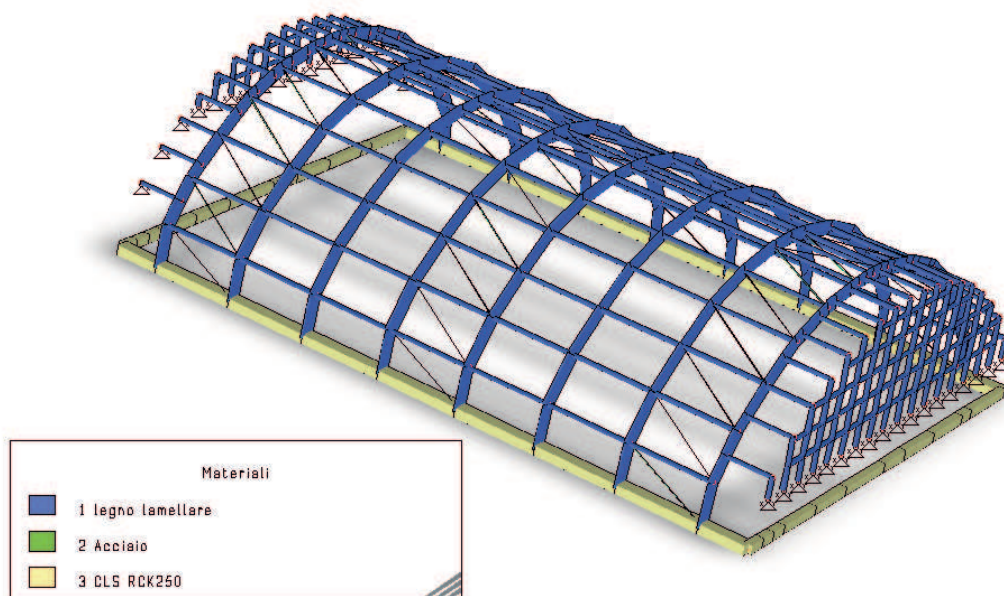
SPETTRO SLU ORIZZONTALE



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 testata 1	22	Condizione 7	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
permanenti (telo e carp.)	1	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-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	14	Condizione 5	Variabile: Neve	-0.005600	0.000	-0.009400	0.000	0.0000	0.0000
neve asimmm 2	15	Condizione 5	Variabile: Neve	-0.009400	0.000	-0.006700	0.000	0.0000	0.0000
neve asimmm 3	16	Condizione 5	Variabile: Neve	-0.006700	0.000	-0.002200	0.000	0.0000	0.0000
neve asimmm 4	17	Condizione 5	Variabile: Neve	-0.002200	0.000	-0.000100	0.000	0.0000	0.0000
neve asimmm 5	18	Condizione 5	Variabile: Neve	-0.000100	0.000	-0.004400	0.000	0.0000	0.0000
neve asimmm 6	19	Condizione 5	Variabile: Neve	-0.004600	0.000	-0.013500	0.000	0.0000	0.0000
neve asimmm 7	20	Condizione 5	Variabile: Neve	-0.013500	0.000	-0.018900	0.000	0.0000	0.0000
neve asimmm 8	21	Condizione 5	Variabile: Neve	-0.018900	0.000	-0.011300	0.000	0.0000	0.0000
muratura su fondazione	23	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-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	3	Condizione 3	Variabile: Vento	-0.007700	0.000	-0.007700	0.000	0.0000	0.0000
vento sx 2	4	Condizione 3	Variabile: Vento	-0.007200	0.000	-0.007200	0.000	0.0000	0.0000
vento sx 3	5	Condizione 3	Variabile: Vento	-0.004500	0.000	-0.004500	0.000	0.0000	0.0000
vento sx 4	6	Condizione 3	Variabile: Vento	-0.001900	0.000	-0.001900	0.000	0.0000	0.0000
vento sx 5	7	Condizione 3	Variabile: Vento	0.004600	0.000	0.004600	0.000	0.0000	0.0000
vento dx 1	8	Condizione 4	Variabile: Vento	-0.007700	0.000	-0.007700	0.000	0.0000	0.0000
vento dx 2	9	Condizione 4	Variabile: Vento	-0.007200	0.000	-0.007200	0.000	0.0000	0.0000
vento dx 3	10	Condizione 4	Variabile: Vento	-0.004500	0.000	-0.004500	0.000	0.0000	0.0000
vento dx 4	11	Condizione 4	Variabile: Vento	-0.001900	0.000	-0.001900	0.000	0.0000	0.0000
vento dx 5	12	Condizione 4	Variabile: Vento	0.004600	0.000	0.004600	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: +EX**FREQUENZE PROPRIE DI OSCILLAZIONE**

Numero	Pulsazione	Frequenza	Periodo	Precisione
1	1.641e+001	2.612e+000	3.828e-001	0.000e+000
2	2.132e+001	3.394e+000	2.947e-001	0.000e+000
3	2.635e+001	4.194e+000	2.385e-001	0.000e+000
4	2.666e+001	4.243e+000	2.357e-001	0.000e+000
5	3.239e+001	5.155e+000	1.940e-001	0.000e+000
6	3.462e+001	5.510e+000	1.815e-001	0.000e+000
7	3.471e+001	5.524e+000	1.810e-001	0.000e+000
8	3.622e+001	5.765e+000	1.735e-001	0.000e+000
9	3.818e+001	6.077e+000	1.646e-001	0.000e+000
10	4.141e+001	6.590e+000	1.517e-001	0.000e+000
11	4.406e+001	7.012e+000	1.426e-001	0.000e+000
12	4.511e+001	7.179e+000	1.393e-001	0.000e+000
13	4.586e+001	7.299e+000	1.370e-001	0.000e+000

Numero	Pulsazione	Frequenza	Periodo	Precisione
14	4.724e+001	7.519e+000	1.330e-001	0.000e+000
15	5.568e+001	8.861e+000	1.129e-001	0.000e+000
16	5.746e+001	9.146e+000	1.093e-001	0.000e+000
17	5.776e+001	9.193e+000	1.088e-001	0.000e+000
18	5.807e+001	9.242e+000	1.082e-001	0.000e+000
19	6.045e+001	9.621e+000	1.039e-001	0.000e+000
20	6.122e+001	9.744e+000	1.026e-001	0.000e+000
21	6.450e+001	1.027e+001	9.741e-002	0.000e+000
22	6.780e+001	1.079e+001	9.268e-002	0.000e+000
23	7.653e+001	1.218e+001	8.210e-002	6.853e-029
24	7.855e+001	1.250e+001	7.999e-002	2.728e-026
25	7.897e+001	1.257e+001	7.957e-002	9.800e-025
26	8.186e+001	1.303e+001	7.675e-002	8.208e-022
27	8.294e+001	1.320e+001	7.575e-002	2.205e-023
28	9.101e+001	1.449e+001	6.904e-002	1.373e-017
29	9.532e+001	1.517e+001	6.592e-002	4.788e-014
30	9.579e+001	1.525e+001	6.559e-002	2.618e-013

COEFFICIENTI DI PARTECIPAZIONE MODALE

Modo	Direz.X	Direz.Y
1	4.371e+000	7.180e-003
2	-2.236e+000	4.468e-002
3	1.115e-002	3.911e+000
4	5.274e-002	4.925e-001
5	-8.153e-002	1.716e-002
6	-6.749e-003	3.660e-002
7	1.165e-001	1.693e-002
8	3.345e-001	7.704e-003
9	-1.460e-003	-8.148e-002
10	-9.881e-003	-4.803e-002
11	1.388e-002	5.239e-001
12	-1.358e-003	1.470e-001
13	-4.826e-003	2.912e-002
14	-2.223e-001	-3.355e-002
15	-3.458e-001	-4.145e-002
16	4.372e-001	6.921e-001
17	-3.629e-001	2.042e+000
18	8.555e-001	4.804e-001
19	7.678e-003	5.245e-001
20	-2.162e-002	8.014e-001
21	-6.996e-002	-2.433e-002
22	-2.837e-001	-1.303e-004
23	-9.187e-004	-4.286e-001
24	2.645e-001	-7.341e-004
25	1.933e-003	4.962e-002
26	3.682e-002	6.020e-003
27	5.762e-001	-3.465e-003
28	7.777e-002	2.316e-002
29	-3.508e-002	2.199e+000
30	-1.436e+000	-5.219e-002

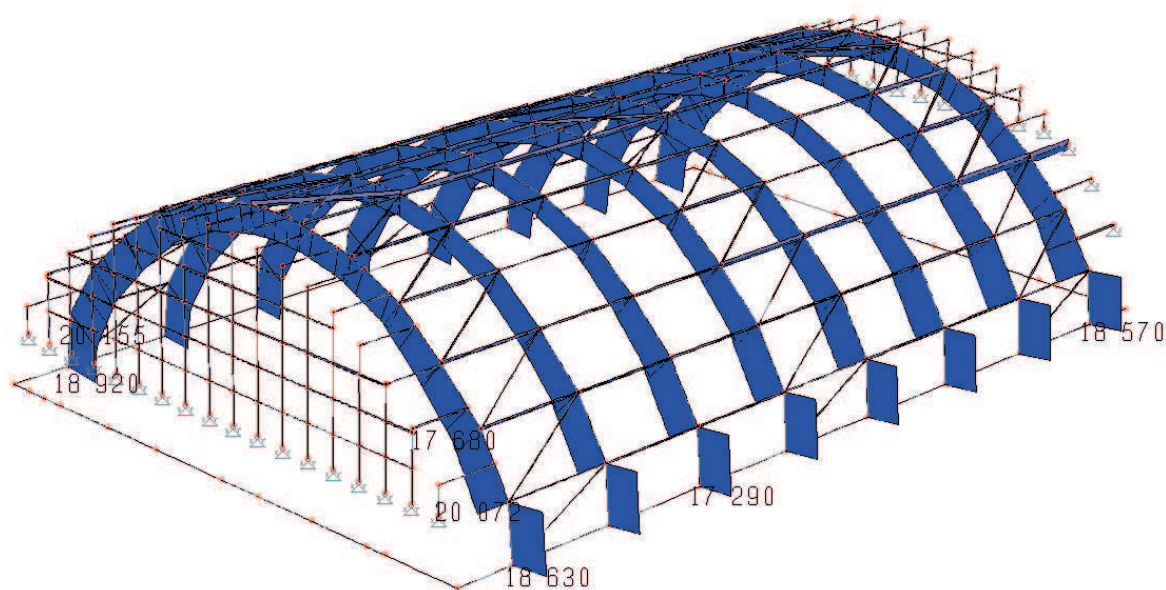
MASSA ECCITATA PER QUOTA Z MAGGIORE DI :0.00

Modo	Direz.X	%	Direz.Y	%	Direz.Z	%
Modo: 1	+1.91e+001	61	+5.16e-005	0	+1.24e-004	0
Progressiva	+1.91e+001	61	+5.16e-005	0	+1.24e-004	0
Modo: 2	+5.00e+000	16	+2.00e-003	0	+1.68e-005	0
Progressiva	+2.41e+001	77	+2.05e-003	0	+1.41e-004	0
Modo: 3	+1.24e-004	0	+1.53e+001	49	+9.47e-004	0
Progressiva	+2.41e+001	77	+1.53e+001	49	+1.09e-003	0
Modo: 4	+2.78e-003	0	+2.43e-001	1	+3.60e-004	0

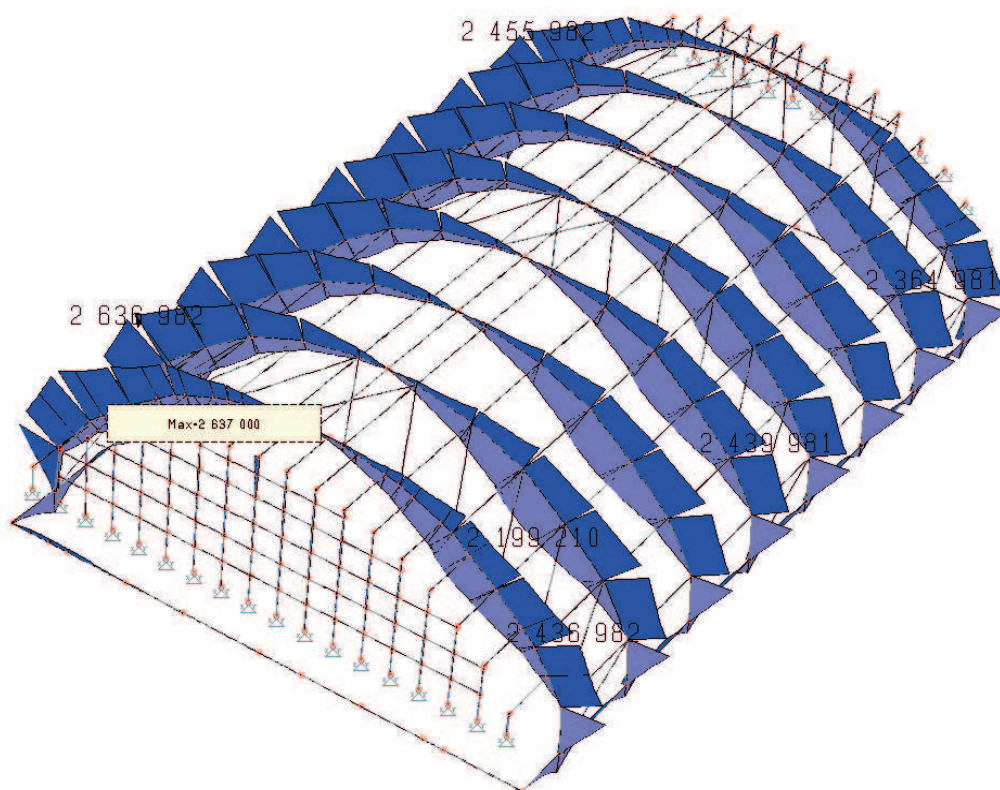
Modo	Direz.X	%	Direz.Y	%	Direz.Z	%
Progressiva	+2.41e+001	77	+1.55e+001	50	+1.45e-003	0
Modo: 5	+6.65e-003	0	+2.95e-004	0	+3.25e-005	0
Progressiva	+2.41e+001	77	+1.55e+001	50	+1.48e-003	0
Modo: 6	+4.56e-005	0	+1.34e-003	0	+3.70e+000	12
Progressiva	+2.41e+001	77	+1.55e+001	50	+3.70e+000	12
Modo: 7	+1.36e-002	0	+2.87e-004	0	+4.07e-004	0
Progressiva	+2.41e+001	78	+1.55e+001	50	+3.70e+000	12
Modo: 8	+1.12e-001	0	+5.93e-005	0	+7.89e-004	0
Progressiva	+2.42e+001	78	+1.55e+001	50	+3.70e+000	12
Modo: 9	+2.13e-006	0	+6.64e-003	0	+1.89e-003	0
Progressiva	+2.42e+001	78	+1.55e+001	50	+3.70e+000	12
Modo: 10	+9.76e-005	0	+2.31e-003	0	+5.29e-002	0
Progressiva	+2.42e+001	78	+1.55e+001	50	+3.75e+000	12
Modo: 11	+1.93e-004	0	+2.74e-001	1	+3.56e-003	0
Progressiva	+2.42e+001	78	+1.58e+001	51	+3.76e+000	12
Modo: 12	+1.85e-006	0	+2.16e-002	0	+8.99e-005	0
Progressiva	+2.42e+001	78	+1.58e+001	51	+3.76e+000	12
Modo: 13	+2.33e-005	0	+8.48e-004	0	+2.08e-003	0
Progressiva	+2.42e+001	78	+1.58e+001	51	+3.76e+000	12
Modo: 14	+4.94e-002	0	+1.13e-003	0	+4.66e-008	0
Progressiva	+2.43e+001	78	+1.58e+001	51	+3.76e+000	12
Modo: 15	+1.20e-001	0	+1.72e-003	0	+7.77e-003	0
Progressiva	+2.44e+001	78	+1.58e+001	51	+3.77e+000	12
Modo: 16	+1.91e-001	1	+4.79e-001	2	+3.31e-003	0
Progressiva	+2.46e+001	79	+1.63e+001	52	+3.77e+000	12
Modo: 17	+1.32e-001	0	+4.17e+000	13	+7.85e-003	0
Progressiva	+2.47e+001	79	+2.05e+001	66	+3.78e+000	12
Modo: 18	+7.32e-001	2	+2.31e-001	1	+1.45e-002	0
Progressiva	+2.55e+001	82	+2.07e+001	67	+3.79e+000	12
Modo: 19	+5.90e-005	0	+2.75e-001	1	+6.69e-003	0
Progressiva	+2.55e+001	82	+2.10e+001	67	+3.80e+000	12
Modo: 20	+4.68e-004	0	+6.42e-001	2	+1.32e-002	0
Progressiva	+2.55e+001	82	+2.16e+001	70	+3.81e+000	12
Modo: 21	+4.89e-003	0	+5.92e-004	0	+9.78e-004	0
Progressiva	+2.55e+001	82	+2.16e+001	70	+3.81e+000	12
Modo: 22	+8.05e-002	0	+1.70e-008	0	+6.39e-004	0
Progressiva	+2.56e+001	82	+2.16e+001	70	+3.81e+000	12
Modo: 23	+8.44e-007	0	+1.84e-001	1	+1.75e-003	0
Progressiva	+2.56e+001	82	+2.18e+001	70	+3.82e+000	12
Modo: 24	+6.99e-002	0	+5.39e-007	0	+1.46e-005	0
Progressiva	+2.56e+001	82	+2.18e+001	70	+3.82e+000	12
Modo: 25	+3.73e-006	0	+2.46e-003	0	+6.11e-004	0
Progressiva	+2.56e+001	82	+2.18e+001	70	+3.82e+000	12
Modo: 26	+1.36e-003	0	+3.62e-005	0	+2.85e-006	0
Progressiva	+2.56e+001	82	+2.18e+001	70	+3.82e+000	12
Modo: 27	+3.32e-001	1	+1.20e-005	0	+1.48e-002	0
Progressiva	+2.60e+001	83	+2.18e+001	70	+3.83e+000	12
Modo: 28	+6.05e-003	0	+5.36e-004	0	+1.27e-004	0
Progressiva	+2.60e+001	83	+2.18e+001	70	+3.83e+000	12
Modo: 29	+1.23e-003	0	+4.83e+000	16	+5.61e-004	0
Progressiva	+2.60e+001	83	+2.67e+001	86	+3.83e+000	12
Modo: 30	+2.06e+000	7	+2.72e-003	0	+2.25e-001	1
Progressiva	+2.80e+001	90	+2.67e+001	86	+4.06e+000	13

7. RISULTATI DELL'ANALISI ALLO SLU DEGLI ARCHI

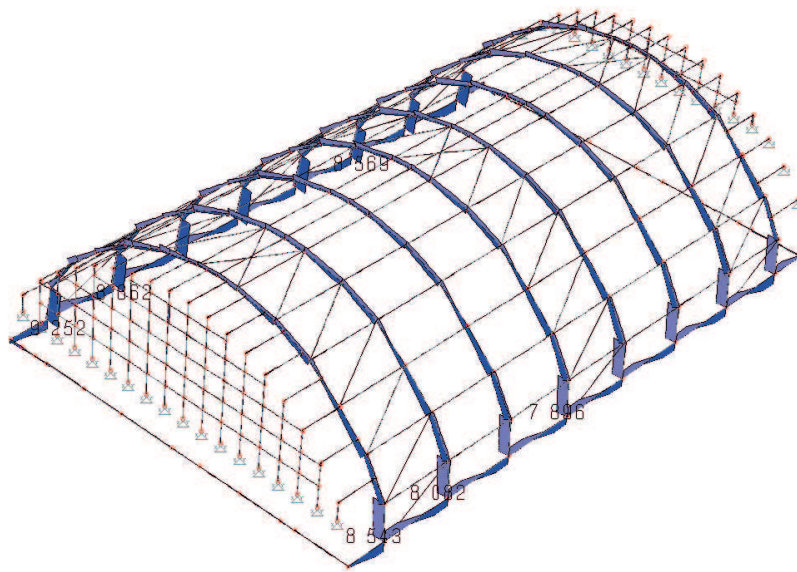
Si riportano per immagini le sollecitazioni di involucro allo stato limite ultimo.



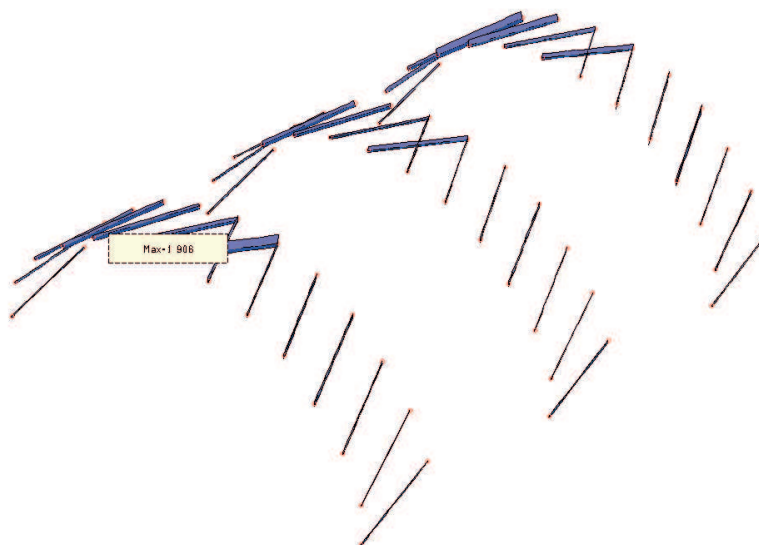
Sforzo normale archi I.I. (kg)



Momento flettente Mz archi I.I. (kgcm)



Sforzo di taglio F_y archi l.l. (kg)



Trazione controventi (kg)

8. VERIFICA SINTETICA DEGLI ELEMENTI IN LEGNO LAMELLARE

8.1 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 5,38 m in semplice appoggio:

$$\begin{aligned}\text{Comb. SLU: } q_d &= 1,30 \times (14 + 60) + 1,50 \times 123 = 280,7 \text{ kg/m} \\ M_{yd} &= 1016 \text{ kgm} \\ T_d &= 755 \text{ kg}\end{aligned}$$

VERIFICHE A FLESSIONE

Nd	0	[N]
Myd	10160000	[Nmm]
Mzd	0	[Nmm]
B	140	[mm]
h	200	[mm]
Khb	1,15	
Khh	1,15	
A	28000	[mm ²]
Wy	933333	[mm ³]
Wz	653333	[mm ³]
σ_{cd}	0,00	[N/mm ²]
σ_{yd}	10,89	[N/mm ²]
σ_{zd}	0,00	[N/mm ²]
Km	0,7	
verifica 1	0,44	ver.
verifica 2	0,64	ver.

CARICO CRITICO DI TRAVE A FLESSIONE

distanza ritegni torsionali L	5200	[mm]
Lef/L	0,9	
carico estradosso/intradosso	es	
Lef	5080	[mm]
A	28000	[mm ²]
Jy	93333333	[mm ⁴]
Jz	45733333	[mm ⁴]
Wy	933333	[mm ³]
Wz	653333	[mm ³]
iy	57,7	[mm]
iz	40,4	[mm]
λ_z	125,7	
$\sigma_{y,crit}$	128,5	
$\lambda_{rel,y}$	0,43	
k _{crit}	1,00	
$\lambda_{rel,z}$	1,89	
β_c	0,10	
kz	2,37	
kcz	0,26	

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

verifica svergolamento $\sigma_{may,d}$	0,64	ver.
CARICO CRITICO DI TRAVE A FLESSIONE	$\sigma_{md} < K_{crit} \times f_{md}$	
distanza ritegni torsionali L	5200	[mm]
L_{ef}/L	0,9	
carico estradosso/intradosso	es	
L_{ef}	5080	[mm]
A	28000	[mm ²]
J_y	93333333	[mm ⁴]
J_z	45733333	[mm ⁴]
W_y	933333	[mm ³]
W_z	653333	[mm ³]
i_y	57,7	[mm]
i_z	40,4	[mm]
λ_z	125,7	
$\sigma_{y,crit}$	128,5	
$\lambda_{rel,y}$	0,43	
k_{crit}	1,00	
$\lambda_{rel,z}$	1,89	
β_c	0,10	
k_z	2,37	
k_{cz}	0,26	
verifica svergolamento $\sigma_{may,d}$	0,64	ver.
VERIFICHE A TAGLIO		
T_d	7550	[N]
B	140	[mm]
h	200	[mm]
A	28000	[mm ²]
τ_d	0,40	[N/mm ²]
verifica 1	0,30	ver.

Si conduce la verifica dell'elemento singolo di sezione 14x20 cm di luce 5,38 m in semplice appoggio ruotato di 60° ovvero in flessione deviata, su interasse pari a 80 cm:

Comb. SLU: $q_d = 158.2 \text{ kg/m}$

$M_{yd} = 286 \text{ kgm}$, $M_{zd} = 496 \text{ kgm}$

VERIFICHE A FLESSIONE

N_d	0	[N]
M_{yd}	2860000	[Nmm]
M_{zd}	4960000	[Nmm]
B	140	[mm]
h	200	[mm]
K_{hb}	1,15	
K_{hh}	1,15	
A	28000	[mm ²]
W_y	933333	[mm ³]
W_z	653333	[mm ³]
σ_{cd}	0,00	[N/mm ²]
σ_{yd}	3,06	[N/mm ²]
σ_{zd}	7,59	[N/mm ²]
K_m	0,7	

verifica 1	0,57	ver.
verifica 2	0,49	ver.

CARICO CRITICO DI TRAVE A FLESSIONE

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

distanza ritegni torsionali L	5200	[mm]
Lef/L	0,9	
carico estradosso/intradosso	es	
Lef	5080	[mm]
A	28000	[mm ²]
Jy	9333333	[mm ⁴]
Jz	4573333	[mm ⁴]
Wy	933333	[mm ³]
Wz	653333	[mm ³]
iy	57,7	[mm]
iz	40,4	[mm]
λ_z	125,7	
$\sigma_{y,crit}$	128,5	
$\lambda_{rel,y}$	0,43	
k _{crit}	1,00	
$\lambda_{rel,z}$	1,89	
β_c	0,10	
k _z	2,37	
k _{cz}	0,26	
verifica svergolamento $\sigma_{may,d}$	0,18	ver.

8.2 VERIFICA ARCO

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

Sezione con massimo momento flettente **12x108 cm**, **Nd = 10719 kg**, **Myd = 18130 kgm**

VERIFICHE A COMPRESSIONE SEMPLICE PARALLELA ALLE FIBRE

Nd	161520	[N]
B	120	[mm]
h	1250	[mm]
A	150000	[mm ²]
$\sigma_{c,0,d}$ tensione di compressione	1,08	[N/mm ²]
verifica	0,08	ver.

VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE

Nd	161520	[N]
Myd	263700000	[Nmm]
Mzd	0	[Nmm]
B	120	[mm]
h	1250	[mm]
Kh _b	1,15	[mm ²]
Kh _h	1	[mm ³]
A	150000	[mm ³]
Wy	31250000	[N/mm ²]
Wz	3000000	[N/mm ²]
$\sigma_{c,0,d}$ tensione di compressione	1,08	[N/mm ²]

σ_{yd} tensione flessione intorno a y	8,44 [N/mm ²]	
σ_{zd} tensione di flessione intorno z	0	
Km	0,7	
verifica 1	0,573	ver.
verifica 2	0,40	ver.

VERIFICA DI STABILITA' A PRESSOFLESSIONE CON CARICO DI PUNTA

Nd	161520 [N]	
Myd	308770000 [Nmm]	
Mzd	0 [Nmm]	
lunghezza colonna sbandamento da Myd	3000 [mm]	
lunghezza colonna sbandamento da Mzd	3000 [mm]	
B	120 [mm]	
h	1250 [mm]	
Jy	19531250000 [mm ⁴]	
Jz	180000000 [mm ⁴]	
A	150000 [mm ²]	
Wy	31250000 [mm ³]	
Wz	3000000 [mm ³]	
iy	360,8 [mm]	
iz	34,6 [mm]	
λ_y	8,3	
λ_z	86,6	
$\sigma_{c,0,d}$ tensione di compressione	1,08 [N/mm ²]	
σ_{yd} tensione flessione intorno a y	9,88 [N/mm ²]	
σ_{zd} tensione di flessione intorno z	0 [N/mm ²]	
$\lambda_{rel,y}$	0,13	
$\lambda_{rel,z}$	1,30	
β_c	0,10	
ky	0,50	
kz	1,40	
kcy	1,02	
kcz	0,52	
Km	0,7	
verifica 1	0,74	ver.
verifica 2	0,62	ver.

VERIFICHE A FLESSIONE

Nd	161520 [N]	
Myd	263700000 [Nmm]	
Mzd	0 [Nmm]	
B	120 [mm]	
h	1250 [mm]	
Khb	1,15	
Khh	1	
A	150000 [mm ²]	
Wy	31250000 [mm ³]	
Wz	3000000 [mm ³]	
σ_{cd}	1,08 [N/mm ²]	

σ_{yd}	8,44	[N/mm ²]
σ_{zd}	0,00	[N/mm ²]
Km	0,7	
verifica 1	0,40	ver.
verifica 2	0,57	ver.

CARICO CRITICO DI TRAVE A FLESSIONE	$\sigma_{md} < K_{crit} \times f_{md}$	
distanza ritegni torsionali L	1500	[mm]
Lef/L	0,9	
carico estradosso/intradosso	es	
Lef	3850	[mm]
A	150000	[mm ²]
Jy	19531250000	[mm ⁴]
Jz	1800000000	[mm ⁴]
Wy	31250000	[mm ³]
Wz	3000000	[mm ³]
iy	360,8	[mm]
iz	34,6	[mm]
λ_z	111,1	
$\sigma_{y,crit}$	19,9	
$\lambda_{rel,y}$	1,10	
k _{crit}	0,74	
$\lambda_{rel,z}$	1,67	
β_c	0,10	
kz	1,97	
kcz	0,33	
verifica svergolamento con N sigmay,d	0,84	ver.

Sezione di base **12x74 cm**, Nd = 18840 kg, Myd = 0 kgm, Td = 9252 kg

VERIFICHE A COMPRESSIONE SEMPLICE PARALLELA ALLE FIBRE	
Nd	188400 [N]
B	120 [mm]
h	740 [mm]
A	88800 [mm ²]
$\sigma_{c,0,d}$ tensione di compressione	2,12 [N/mm ²]
verifica	0,16 ver.

VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE	
Nd	188400 [N]
Myd	0 [Nmm]
Mzd	0 [Nmm]
B	120 [mm]
h	740 [mm]
Kh _b	1,15 [mm ²]
Kh _h	1 [mm ³]
A	88800 [mm ³]
Wy	10952000 [N/mm ²]
Wz	1776000 [N/mm ²]

$\sigma_{c,0,d}$ tensione di compressione	2,12 [N/mm ²]	
σ_{yd} tensione flessione intorno a y	0,00 [N/mm ²]	
σ_{zd} tensione di flessione intorno z	0	
Km	0,7	
verifica 1	0,026	ver.
verifica 2	0,03	ver.

VERIFICA DI STABILITA' A PRESSOFLESSIONE CON CARICO DI PUNTA

Nd	188400 [N]	
Myd	0 [Nmm]	
Mzd	0 [Nmm]	
lunghezza colonna sbandamento da Myd	3000 [mm]	
lunghezza colonna sbandamento da Mzd	3000 [mm]	
B	120 [mm]	
h	740 [mm]	
Jy	4052240000 [mm ⁴]	
Jz	106560000 [mm ⁴]	
A	88800 [mm ²]	
Wy	10952000 [mm ³]	
Wz	1776000 [mm ³]	
iy	213,6 [mm]	
iz	34,6 [mm]	
λ_y	14,0	
λ_z	86,6	
$\sigma_{c,0,d}$ tensione di compressione	2,12 [N/mm ²]	
σ_{yd} tensione flessione intorno a y	0,00 [N/mm ²]	
σ_{zd} tensione di flessione intorno z	0 [N/mm ²]	
$\lambda_{rel,y}$	0,21	
$\lambda_{rel,z}$	1,30	
β_c	0,10	
ky	0,52	
kz	1,40	
kcy	1,01	
kcz	0,52	
Km	0,7	
verifica 1	0,16	ver.
verifica 2	0,31	ver.

VERIFICHE A TAGLIO

Td	92520 [N]	
B	140 [mm]	
h	740 [mm]	
A	103600 [mm ²]	
τ_d	1,34 [N/mm ²]	
verifica 1	0,98	ver.

8.3 VERIFICA CONTROVENTI

Nd = 1906 kg

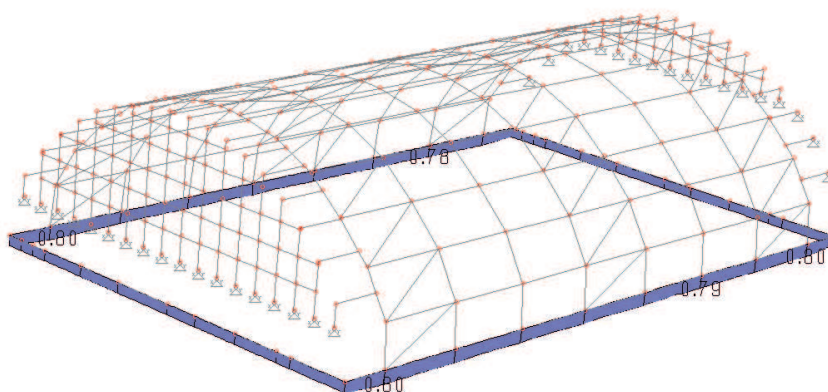
VERIFICA A TRAZIONE									
Verifica a Trazione della sezione									
Ned/Nc,Rd<1		0,27	Verificata						
dove:									
Ned		18,67	kN	sforzo normale di trazione agente sulla sezione					
Nt, Rd		70,28	kN	resistenza di calcolo a trazione					
Npl,Rd=(A*fyk)/γMo		70,28	kN	resistenza di progetto a trazione					
Nu,Rd = (0,9 * A _{net} *	81,3888	kN		resist. a rot. della sezione in corrispondenza dei fori per i collegamenti					
A		3,14	cmq	area della sezione					
A _{net}		3,14	cmq	area della sezione al netto dei fori					
fyk		235	N/mmq	tensione di snervamento dell'acciaio					
ftk		360	N/mmq	tensione di rottura dell'acciaio					
γMo		1,05	adim.	coeff.					
γM2		1,25	adim.	coeff.					

9. VERIFICA FONDAZIONI IN C.A.

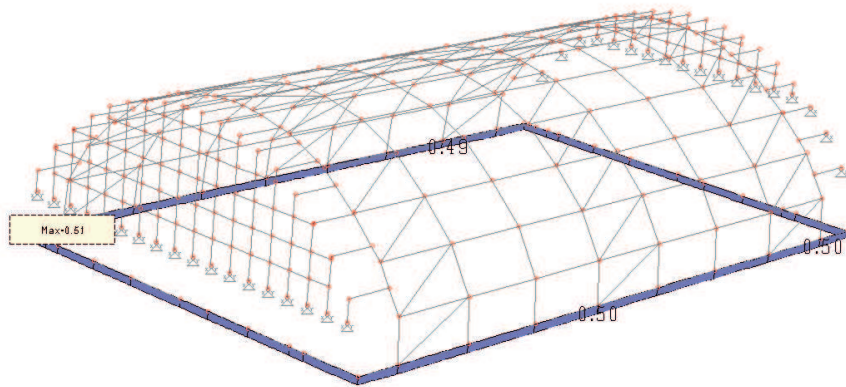
9.1 FONDAZIONI DIRETTE

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 limitate.



Pressione su elementi tipo trave (SLU)



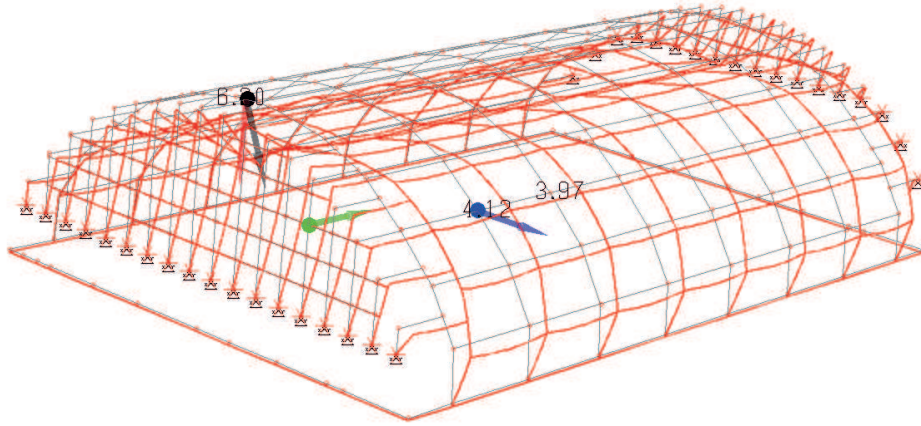
Pressione su elementi tipo trave (SLE)

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.

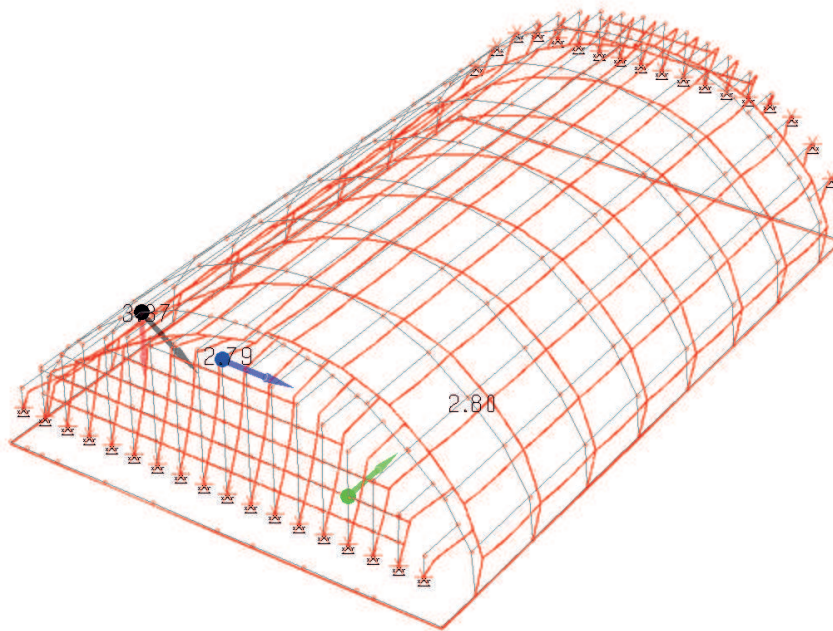
10. DEFORMAZIONI

10.1 COMBINAZIONE RARA

Si riportano per immagini gli spostamenti della struttura soggetta alle due combinazioni di tipo "rara" considerate. Gli spostamenti sono risultati ridotti ed accettabili per la tipologia della struttura.



Comb. Rara 1



Comb. Rara 2

11 ALLEGATI

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

Padova, 12 novembre 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) 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.

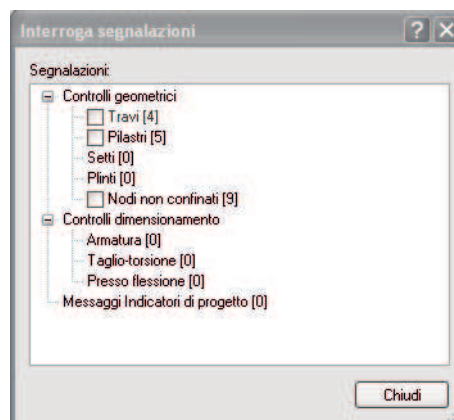
Un'estensione non lineare, che introduce elementi a comportamento multilineare, si avvale di un solutore incrementale che utilizza nella fase iterativa della soluzione il metodo del gradiente coniugato preconditionato.

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.

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) 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.

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