



**COMUNE DI SOLIERA**  
**PROVINCIA DI MODENA**

| AGG  | DATA   | MOTIVO               |
|--|--|----------------------|
| <b>REALIZZAZIONE DI CAMPI PADEL PRESSO IL CENTRO SPORTIVO "REBEL" SITO IN SOLIERA (MO) VIA CORTE / STRUTTURA AD ARCHI IN LEGNO LAMELLARE</b> |  |                      |
| <b>STUDIO SISA</b>   | CLAUDIO SISA INGEGNERE<br>VIA PICCIOLA, 54 - PESARO (TEL: +39 335 8023541)<br>web: <a href="http://www.studiosisa.it">www.studiosisa.it</a> - e-mail: <a href="mailto:info@studiosisa.it">info@studiosisa.it</a> | <b>01</b>            |
| DATA 29.04.2024  | <b>- RELAZIONE ILLUSTRATIVA E SINTETICA DELL'INTERVENTO</b><br><b>- RELAZIONE DI CALCOLO</b>   | CART:<br><b>5680</b> |
| AGG.:  |  |                      |

## INDICE

|  |    |
|--|----|
| 1 - RELAZIONE TECNICO - ILLUSTRATIVA .....   | 2  |
| 1.1 - PREMESSE .....   | 2  |
| 1.1.1-Normativa .....  | 2  |
| 1.1.2 - Carichi .....  | 2  |
| 1.1.3 - Orizzontamenti .....   | 2  |
| 2 – ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI DEL PROGETTO STRUTTURALE .....  | 2  |
| 2.1 – DESCRIZIONE DEL CONTESTO EDILIZIO .....  | 2  |
| 2.2 – DESCRIZIONE GENERALE DELLA STRUTTURA.....  | 3  |
| 2.3 – NORMATIVA TECNICA.....   | 3  |
| 2.4 – DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI PROGETTO .....  | 3  |
| 2.5 – CRITERI DI PROGETTAZIONE .....   | 4  |
| 2.6 - PRESTAZIONI ATTESE – CLASSE DELLA COSTRUZIONE - VITA ESERCIZIO - MODELLI DI CALCOLO – TOLLERANZE – DURABILITÀ PROCEDURE QUALITÀ E MANUTENZIONE ..... | 5  |
| 2.7 – INDICAZIONE DELLE PRINCIPALI COMBINAZIONI .....  | 5  |
| 2.8. – INDICAZIONE MOTIVATA DEL METODO DI ANALISI SEGUITO .....  | 7  |
| 2.9 – CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE INDAGATI IN PRESENZA DI AZIONE SISMICA.....  | 7  |
| 2.10 – CONFIGURAZIONI DI SOLLECITAZIONE PIÙ SIGNIFICATIVE .....  | 8  |
| 2.10.1 SOLLECITAZIONE TAGLIO .....   | 8  |
| 2.10.2 SOLLECITAZIONE MOMENTO .....  | 10 |
| 2.10.3 SOLLECITAZIONE SFORZO NORMALE.....  | 12 |
| 2.10.4 CAPACITÀ DI RESISTENZA LEGNO .....  | 14 |
| 2.10.5 CAPACITÀ DI RESISTENZA ACCIAIO .....  | 16 |
| 2.11 – RAPPRESENTAZIONI DELLE CONFIGURAZIONI DEFORMATE .....   | 17 |
| 2.12 – GIUDIZIO MOTIVATO SULL'ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI .....  | 23 |
| 2.13 – CARATTERISTICHE E AFFIDABILITÀ DEL CODICE DI CALCOLO.....   | 24 |
| 2.14 – STRUTTURE GEOTECNICHE.....  | 25 |
| 2.15 - DESTINAZIONE D'USO E SOVRACCARICHI VARIABILI DOVUTO ALLE AZIONI ANTROPICHE .....  | 25 |
| 2.16 - MODELLI DI CALCOLO .....  | 26 |
| 3 - RELAZIONE SULLE FONDAZIONI .....   | 27 |
| 3.1 – CARATTERIZZAZIONE DEL TERRENO .....  | 28 |
| 4 – REGOLE PER L'ESECUZIONE .....  | 28 |
| 5 – RELAZIONE DI CALCOLO .....   | 30 |
| 5.1 ELEVAZIONE .....   | 30 |
| 5.1.1 PREMESSE.....  | 30 |
| 5.1.2 - ANALISI MODALE.....  | 30 |
| 5.1.3 ANALISI DEI CARICHI .....  | 31 |
| 5.1.4 SCHEMI CONDIZIONI DI CARICO.....   | 34 |
| 5.1.5 SCHEMI STRUTTURALI .....   | 37 |
| 5.1.6 RELAZIONE DI CALCOLO ELEVAZIONE.....   | 38 |

## 1 - RELAZIONE TECNICO - ILLUSTRATIVA

### 1.1 - PREMESSE

#### 1.1.1-Normativa

La normativa seguita per la realizzazione delle strutture in legno lamellare è la seguente:

|                      |   |
|----------------------|---|
| L. 03.11.1971 n.1086 | Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso e a struttura metallica.   |
| D.M. 17.01.2018      | Norme Tecniche per le Costruzioni   |
| CIRC. 07/2109        | Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 17 gennaio 2018 |
| DIN 4074             | Qualità del legno   |
| DIN 68141            | Incollaggio delle lamelle per le travi in legno lamellare   |
| UNI EN 1995-1        | Costruzioni in legno  |
| UNI EN 1998-1        | Azioni sismiche e regole sulle costruzioni  |

#### 1.1.2 - Carichi

I sovraccarichi permanenti considerati nel calcolo delle varie strutture sono i seguenti:

|                   |                                |
|-------------------|--------------------------------|
| Telo di copertura | 0,70 daN/m                     |
| Neve              | $q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2$ |
| Vento             | variabile                      |

I carichi agenti sono meglio specificati al successivo punto 5.1.3.

#### 1.1.3 - Orizzontamenti

Gli orizzontamenti saranno realizzati:

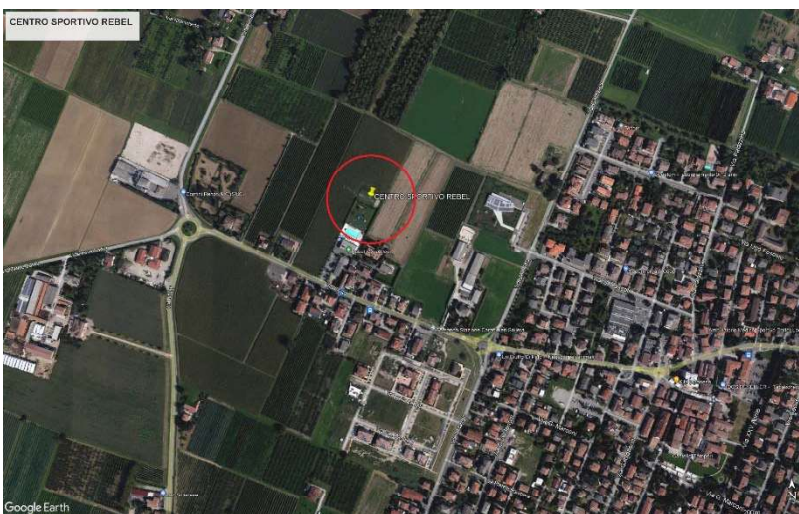
Copertura: la copertura verrà realizzata con una serie di archi in legno lamellare controventati con puntoni antisbandamento in legno lamellare e tiranti in acciaio; sopra gli archi verrà posto in opera un telo in PVC bispalmato, in grado di trasferire agli archi stessi i carichi previsti.

Struttura fondale: a cura di altro progetto.

## 2 – ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI DEL PROGETTO STRUTTURALE

### 2.1 – DESCRIZIONE DEL CONTESTO EDILIZIO

Si tratta della realizzazione di una struttura in legno lamellare per la copertura di 3 nuovi campi Padel presso il centro sportivo "REBEL" sito in comune di Soliera (MO) via Corte, snc.



Il sito sul quale sorgerà la struttura di progetto è essenzialmente una zona sportiva. L'intera area si presenta pianeggiante con un'altezza attorno a 24 m slmm.

I terreni sui quali sorgerà la struttura sono noti.

Si fa riferimento a un sottosuolo appartenente alla categoria "C" - *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

Allo stato non risultano particolari problematiche per il sito in oggetto, né lo strumento di pianificazione prevede indicazioni particolari. Si procede quindi secondo le indicazioni di legge.

## 2.2 – DESCRIZIONE GENERALE DELLA STRUTTURA

Il progetto consiste nella realizzazione della copertura con struttura ad archi in legno lamellare di 3 nuovi campi per il gioco del Padel presso il centro sportivo "REBEL" sito in comune di Soliera (MO) via Corte. Il fabbricato, di pianta rettangolare, è costituito da un piano fuori terra adibito ad attività sportive, coperto da un sistema di 7 archi in legno lamellare sez. 12 \* 72 cm, controventati con puntoni antisbandamento in legno lamellare sez. 12\*16 cm e con controventi in acciaio  $\phi$  16 sulle due campate di estremità. Le travi di banchina, quelle sulle quali, lateralmente è ancorato il telo, avranno dimensioni pari a 28\*16 cm. La struttura fondale, così come il dimensionamento della stessa, è considerata in altro progetto. La destinazione d'uso principale della costruzione risulta essere di copertura di impianto sportivo.

## 2.3 – NORMATIVA TECNICA

La normativa seguita per la realizzazione delle strutture in legno lamellare è la seguente:

|                            |   |
|----------------------------|---|
| L. 03.11.1971 n.1086       | Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso e a struttura metallica.   |
| D.M. 17.01.2018            | Norme Tecniche per le Costruzioni   |
| CIRC. 07/2109              | Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 17 gennaio 2018 |
| DIN 4074                   | Qualità del legno   |
| DIN 68141                  | Incollaggio delle lamelle per le travi in legno lamellare   |
| UNI ENV 1992-1-1 Parte 1-1 | Regole generali e regole per gli edifici  |
| UNI EN 1995-1              | Costruzioni in legno  |
| UNI EN 1998-1              | Azioni sismiche e regole sulle costruzioni  |

## 2.4 – DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI PROGETTO

I parametri di progetto che concorrono alla definizione dell'azione sismica di base del sito sono i seguenti:

|                            |       |                               |
|----------------------------|-------|-------------------------------|
| Vita nominale              | $V_N$ | > 50                          |
| Classe d'uso               |       | II                            |
| Periodo di riferimento     | $V_R$ | 50                            |
| Categoria di sottosuolo    |       | C                             |
| Categoria topografica      |       | T1                            |
| Amplificazione topografica | $S_T$ | 1,0                           |
| Zona sismica del sito      |       | 2                             |
| Coordinate geografiche     |       | 44.742467 Nord; 10.917244 Est |

Non sussistono particolari scenari di azioni eccezionali.

## 2.5 – CRITERI DI PROGETTAZIONE

Il modello della struttura è tridimensionale e rappresenta in modo adeguato le effettive distribuzioni spaziali di massa, rigidità e resistenza, con particolare attenzione alle situazioni nelle quali componenti orizzontali dell'azione sismica possono produrre forze d'inerzia verticali (travi di grande luce, sbalzi significativi, etc.).

La struttura è stata modellata con il metodo degli elementi finiti utilizzando vari elementi di libreria specializzati per schematizzare i vari elementi strutturali.

In particolare le travi in c.a sono schematizzate con elementi trave a due nodi deformabili assialmente, a flessione e taglio utilizzando funzioni di forma cubiche di Hermite.

Tale modello finito ha la caratteristica di fornire la soluzione esatta in campo elastico lineare per cui non necessita di ulteriori suddivisioni interne degli elementi strutturali.

I vincoli tra i vari elementi strutturali e con il terreno sono modellati in maniera congruente al reale comportamento strutturale, in particolare per le connessioni tra aste in acciaio o legno.

I legami costitutivi utilizzati nelle analisi globali finalizzate al calcolo delle sollecitazioni sono elastico lineari.

Si sono utilizzati come modelli di calcolo quelli esplicitamente richiamati nel D.M. 17.01.2018, nella circ. 07/2019 ed in particolare:

- analisi elastica lineare per il calcolo delle sollecitazioni derivanti da carichi statici
- analisi dinamica modale con spettri di progetto per il calcolo delle sollecitazioni di progetto dovute all'azione sismica
- analisi degli effetti del 2° ordine quando significativi
- verifiche sezionali agli s.l.u. per le sezioni in c.a. utilizzando il legame parabola rettangolo per il calcestruzzo ed il legame elastoplastico incrudente a duttilità limitata per l'acciaio
- verifiche tensionali per le sezioni in legno

### **Per quanto riguarda le azioni sismiche ed in particolare per la determinazione del fattore di struttura, dei dettagli costruttivi e le prestazioni sia agli SLU che allo SLD si fa riferimento al D.M. 17.01.2018 e circ. 07/2019 del 11.02.2019**

La definizione quantitativa delle prestazioni e le verifiche sono riportati nel fascicolo delle elaborazioni numeriche allegate.

In particolare:

- Classe di duttilità: si tratta di struttura in legno, non dissipativa anche grazie ai sistemi utilizzati per i collegamenti dei suoi componenti strutturali;
- Regolarità in pianta: si, poiché si tratta di una pianta rettangolare e sono verificate tutte le condizioni di cui al punto 7.2.2 a,b,c,d, delle NTC;
- Regolarità in altezza: si, poiché si tratta di una volta semicilindrica e sono verificate tutte le condizioni di cui al punto 7.2.2 e,f,h delle NTC;
- Tipologia strutturale: si tratta di una serie di archi in legno lamellare a due cerniere in corrispondenza degli appoggi a terra;
- Fattore di struttura (7.3.1): a favore di sicurezza si prende in considerazione un fattore di struttura, secondo la 7.3.2 delle NTC 2018:  
 $q_{ND} = 2/3 q_{CD} \cdot B^* = 2/3 \cdot 2 = 1,33 \leq 1,50$ ;
- Stati limite indagati: Si è concordato che le prestazioni attese nei confronti delle azioni sismiche siano verificate agli stati limite, sia di esercizio che ultimi individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO)
- Stato Limite di Danno (SLD)

Gli stati limite ultimi sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva tabella:

| Stati Limite PVR :        |     | Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR |
|---------------------------|-----|--|
| Stati limite di esercizio | SLO | 81%  |
|                           | SLD | 63%  |
| Stati limite ultimi       | SLV | 10%  |
|                           | SLC | 5%   |

- Giunti di separazione tra strutture: non esistono strutture contigue
- Criteri per la valutazione di elementi non strutturali e impianti: non esistono elementi secondari e impianti

Requisiti delle fondazioni: La categoria di suolo di fondazione risulta pari a: **"C"** - *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

- Schemi statici adottati: si tratta di una serie di archi a due cerniere.

## 2.6 - PRESTAZIONI ATTESE – CLASSE DELLA COSTRUZIONE - VITA ESERCIZIO - MODELLI DI CALCOLO – TOLLERANZE – DURABILITÀ PROCEDURE QUALITÀ E MANUTENZIONE

Le norme precisano che la sicurezza e le prestazioni di una struttura o di una parte di essa devono essere valutate in relazione all'insieme degli stati limite che verosimilmente si possono verificare durante la vita normale.

Prescrivono inoltre che debba essere assicurata una robustezza nei confronti di azioni eccezionali.

Le prestazioni della struttura e la vita nominale sono riportati nei successivi tabulati di calcolo della struttura

La sicurezza e le prestazioni saranno garantite verificando gli opportuni stati limite definiti di concerto al Committente in funzione dell'utilizzo della struttura, della sua vita nominale e di quanto stabilito dalle norme di cui al D.M. 17.01.2018 e s.m. ed i.

In particolare si è verificata:

- la sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi (**SLU**) che possono provocare eccessive deformazioni permanenti, crolli parziali o globali, dissesti, che possono compromettere l'incolumità delle persone e/o la perdita di beni, provocare danni ambientali e sociali, mettere fuori servizio l'opera. Per le verifiche sono stati utilizzati i coefficienti parziali relativi alle azioni ed alle resistenze dei materiali in accordo a quanto previsto dal D.M. 17.01.2018 per i vari tipi di materiale. I valori utilizzati sono riportati nel fascicolo delle elaborazioni numeriche allegate.
- la sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio (**SLE**) che possono limitare nell'uso e nella durata l'utilizzo della struttura per le azioni di esercizio. In particolare di concerto con il committente e coerentemente alle norme tecniche si sono definiti i limiti riportati nell'allegato fascicolo delle calcolazioni.
- la sicurezza nei riguardi dello stato limite del danno (**SLD**) causato da azioni sismiche con opportuni periodi di ritorno definiti di concerto al committente ed alle norme vigenti per le costruzioni in zona sismica
- robustezza nei confronti di opportune azioni accidentali in modo da evitare danni sproporzionati in caso di incendi, urti, esplosioni, errori umani.
- Per quando riguarda le fasi costruttive intermedie la struttura non risulta cimentata in maniera più gravosa della fase finale.

## 2.7 – INDICAZIONE DELLE PRINCIPALI COMBINAZIONI

Le combinazioni di calcolo considerate sono quelle previste dal D.M. 17.01.2018 e dalla circ. n° 07/2019 per i vari stati limite e per le varie azioni e tipologie costruttive.

In particolare, ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni per cui si rimanda al § 2.5.3 NTC 2018; queste sono:

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU) (NTC 2.5.1)
- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7(NTC 2.5.2)
- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili (NTC 2.5.3)
- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine(NTC 2.5.4)
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2 form. NTC 2.5.5):
- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto Ad (v. § 3.6 form. NTC 2.5.6):

Nelle combinazioni per SLE, si intende che vengono omessi i carichi  $Q_{kj}$  che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi  $G_2$ .

Altre combinazioni sono da considerare in funzione di specifici aspetti (p. es. fatica, ecc.). Nelle formule sopra riportate il simbolo + vuol dire "combinato con".

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{Gi}$  e  $\gamma_{Qj}$  sono dati in § 2.6.1, Tab. 2.6.I

#### Per le combinazioni sismiche:

Nel caso delle costruzioni civili e industriali le verifiche agli stati limite ultimi o di esercizio devono essere effettuate per la combinazione dell'azione sismica con le altre azioni già fornita in § 2.5.3 form. 3.2.16 delle NTC 2018

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai carichi gravitazionali (form. 3.2.17).

I valori dei coefficienti  $\Psi_{2j}$  sono riportati nella Tabella 2.5.I

La struttura deve essere progettata così che il degrado nel corso della sua vita nominale, purché si adotti la normale manutenzione ordinaria, non pregiudichi le sue prestazioni in termini di resistenza, stabilità e funzionalità, portandole al di sotto del livello richiesto dalle presenti norme.

Le misure di protezione contro l'eccessivo degrado devono essere stabilite con riferimento alle previste condizioni ambientali.

La protezione contro l'eccessivo degrado deve essere ottenuta attraverso un'opportuna scelta dei dettagli, dei materiali e delle dimensioni strutturali, con l'eventuale applicazione di sostanze o ricoprimenti protettivi, nonché con l'adozione di altre misure di protezione attiva o passiva.

Le azioni definite come al § 2.5.1 delle NTC 2018 sono state combinate in accordo a quanto definito al § 2.5.3. applicando i coefficienti di combinazione come di seguito definiti:

**Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione**

| Categoria/Azione variabile  | $\psi_{0j}$                | $\psi_{1j}$ | $\psi_{2j}$ |
|---|----------------------------|-------------|-------------|
| Categoria A Ambienti ad uso residenziale  | 0,7                        | 0,5         | 0,3         |
| Categoria B Uffici  | 0,7                        | 0,5         | 0,3         |
| Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento   | 0,7                        | 0,7         | 0,6         |
| Categoria D Ambienti ad uso commerciale   | 0,7                        | 0,7         | 0,6         |
| Categoria E Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale<br>Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale | 1,0                        | 0,9         | 0,8         |
| Categoria F Rimesse , parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)                                 | 0,7                        | 0,7         | 0,6         |
| Categoria G Rimesse e parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)                                    | 0,7                        | 0,5         | 0,3         |
| Categoria H Coperture accessibili per sola manutenzione   | 0,0                        | 0,0         | 0,0         |
| Categoria I Coperture praticabili   | da valutarsi caso per caso |             |             |
| Categoria K Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ....)   |                            |             |             |
| Vento   | 0,6                        | 0,2         | 0,0         |
| Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)   | 0,5                        | 0,2         | 0,0         |
| Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)  | 0,7                        | 0,5         | 0,2         |

|                     |     |     |     |
|---------------------|-----|-----|-----|
| Variazioni termiche | 0,6 | 0,5 | 0,0 |
|---------------------|-----|-----|-----|

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{Gi}$  e  $\gamma_{Qj}$  utilizzati nelle calcolazioni sono dati nelle NTC 2018 in § 2.6.1, Tab. 2.6.I

## 2.8. – INDICAZIONE MOTIVATA DEL METODO DI ANALISI SEGUITO

La struttura è stata progettata utilizzando analisi lineare dinamica. L'analisi sismica dinamica è stata svolta con il metodo dell'analisi modale; la ricerca dei modi e delle relative frequenze è stata perseguita con il metodo delle "iterazioni nel sottospazio". I modi di vibrazione considerati sono in numero tale da assicurare l'eccitazione di più dell'85% della massa totale della struttura.

Per ciascuna direzione di ingresso del sisma si sono valutate le forze modali che vengono applicate su ciascun nodo spaziale (tre forze, in direzione X, Y e Z, e tre momenti).

Per la verifica della struttura si è fatto riferimento all'analisi modale, pertanto sono prima calcolate le sollecitazioni e gli spostamenti modali e poi viene calcolato il loro valore efficace. I valori stampati nei tabulati finali allegati sono proprio i suddetti valori efficaci e pertanto l'equilibrio ai nodi perde di significato. I valori delle sollecitazioni sismiche sono combinate linearmente (in somma e in differenza) con quelle per carichi statici per ottenere le sollecitazioni per sisma nelle due direzioni di calcolo. Gli angoli delle direzioni di ingresso dei sismi sono valutati rispetto all'asse X del sistema di riferimento globale.

Nella tabella seguente sono indicati i modi considerati e le relative masse partecipanti. Si nota come sia stata eccitata più dell'85 % della massa totale della struttura

| FREQUENZE E MASSE ECCITATE |                      |               |              |          |          |            |            |            |          |                    |             |                    |             |                    |       |
|----------------------------|----------------------|---------------|--------------|----------|----------|------------|------------|------------|----------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|-------|
| Modo N.ro                  | Pulsazione (rad/sec) | Periodo (sec) | Smorz Mod(%) | Sd/g SLO | Sd/g SLD | Sd/g SLV X | Sd/g SLV Y | Sd/g SLV Z | Sd/g SLC | SISMA N.ro 1       |             | SISMA N.ro 2       |             | SISMA N.ro 3       |       |
|                            |                      |               |              |          |          |            |            |            |          | Massa 12.32        | Perc. 90.41 | Massa 12.55        | Perc. 92.15 | Massa              | Perc. |
|                            |                      |               |              |          |          |            |            |            |          | Massa Mod Ecc. (t) | Perc.       | Massa Mod Ecc. (t) | Perc.       | Massa Mod Ecc. (t) | Perc. |
| 1                          | 16,297               | 0,38554       | 5,0          | 0,164    | 0,210    | 0,443      | 0,443      |            | 0,729    | 0,00               | 0           | 5,81               | 43          |                    |       |
| 2                          | 16,341               | 0,38450       | 5,0          | 0,164    | 0,210    | 0,443      | 0,443      |            | 0,729    | 0,00               | 0           | 0,00               | 0           |                    |       |
| 3                          | 16,387               | 0,38344       | 5,0          | 0,164    | 0,210    | 0,443      | 0,443      |            | 0,729    | 0,00               | 0           | 0,22               | 2           |                    |       |
| 4                          | 16,886               | 0,37209       | 5,0          | 0,164    | 0,210    | 0,443      | 0,443      |            | 0,729    | 0,00               | 0           | 0,00               | 0           |                    |       |
| 5                          | 16,887               | 0,37208       | 5,0          | 0,164    | 0,210    | 0,443      | 0,443      |            | 0,729    | 0,00               | 0           | 6,53               | 48          |                    |       |
| 6                          | 21,675               | 0,28988       | 5,0          | 0,164    | 0,210    | 0,443      | 0,443      |            | 0,729    | 8,70               | 64          | 0,00               | 0           |                    |       |
| 7                          | 49,370               | 0,12727       | 5,0          | 0,157    | 0,195    | 0,416      | 0,416      |            | 0,665    | 0,00               | 0           | 0,00               | 0           |                    |       |
| 8                          | 71,740               | 0,08758       | 5,0          | 0,128    | 0,160    | 0,357      | 0,357      |            | 0,547    | 3,62               | 27          | 0,00               | 0           |                    |       |
| 9                          | 72,644               | 0,08649       | 5,0          | 0,128    | 0,159    | 0,356      | 0,356      |            | 0,544    | 0,00               | 0           | 0,00               | 0           |                    |       |
| 10                         | 72,699               | 0,08643       | 5,0          | 0,128    | 0,159    | 0,356      | 0,356      |            | 0,544    | 0,00               | 0           | 0,00               | 0           |                    |       |
| 11                         | 72,752               | 0,08636       | 5,0          | 0,128    | 0,159    | 0,356      | 0,356      |            | 0,544    | 0,00               | 0           | 0,00               | 0           |                    |       |
| 12                         | 75,784               | 0,08291       | 5,0          | 0,125    | 0,156    | 0,351      | 0,351      |            | 0,534    | 0,00               | 0           | 0,00               | 0           |                    |       |

## 2.9 – CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE INDAGATI IN PRESENZA DI AZIONE SISMICA

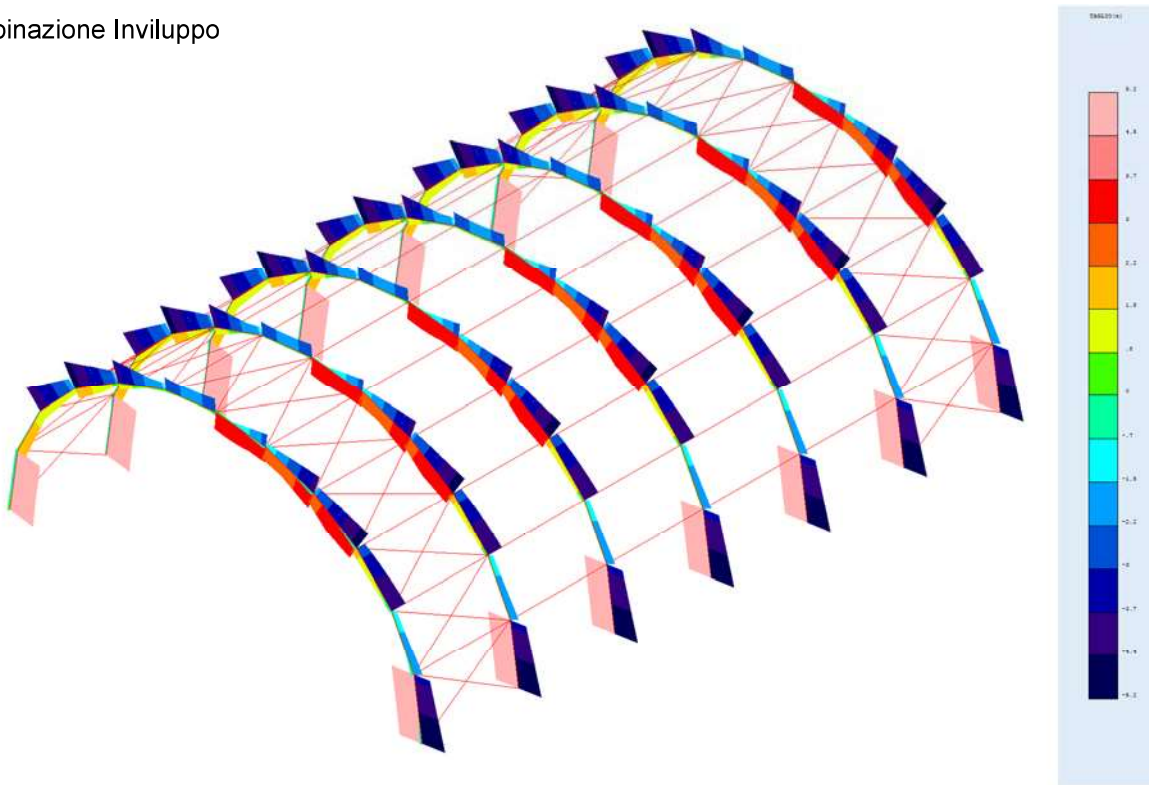
Le verifiche, svolte secondo il metodo degli stati limite ultimi e di esercizio, si ottengono involupando tutte le condizioni di carico prese in considerazione.



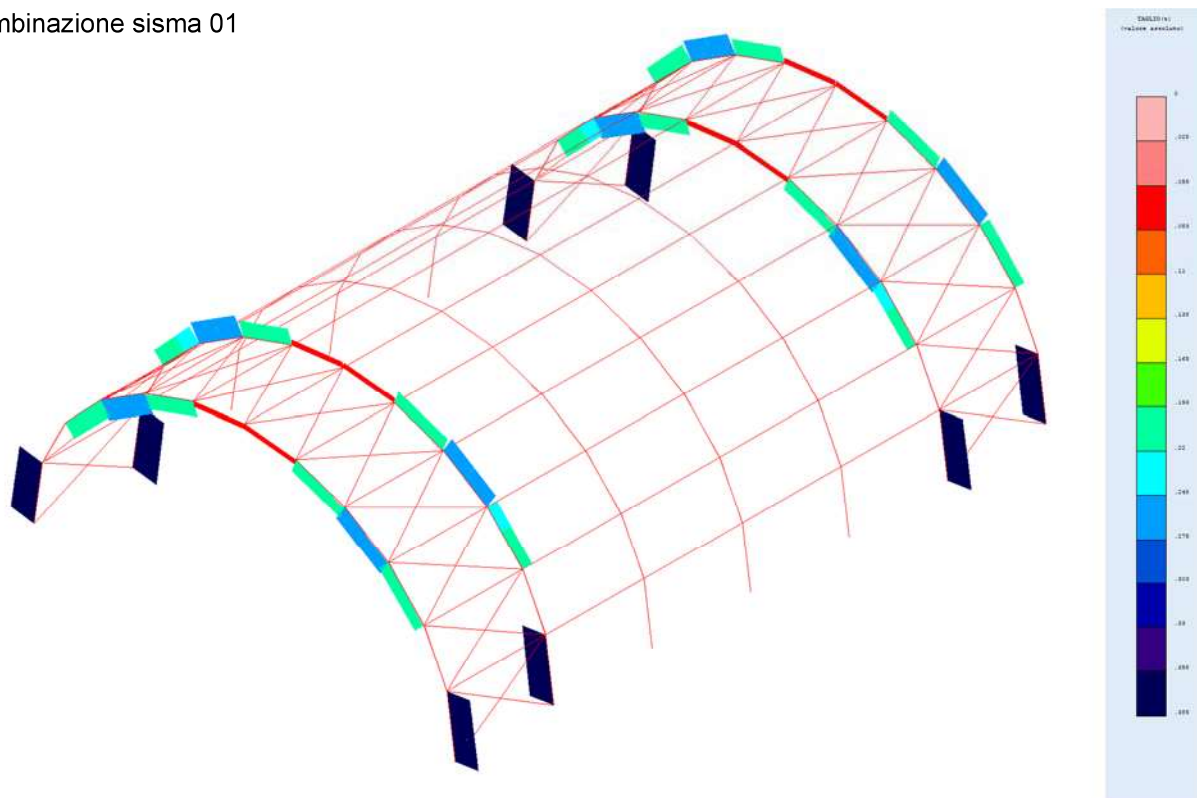
## 2.10 – CONFIGURAZIONI DI SOLLECITAZIONE PIÙ SIGNIFICATIVE

### 2.10.1 SOLLECITAZIONE TAGLIO

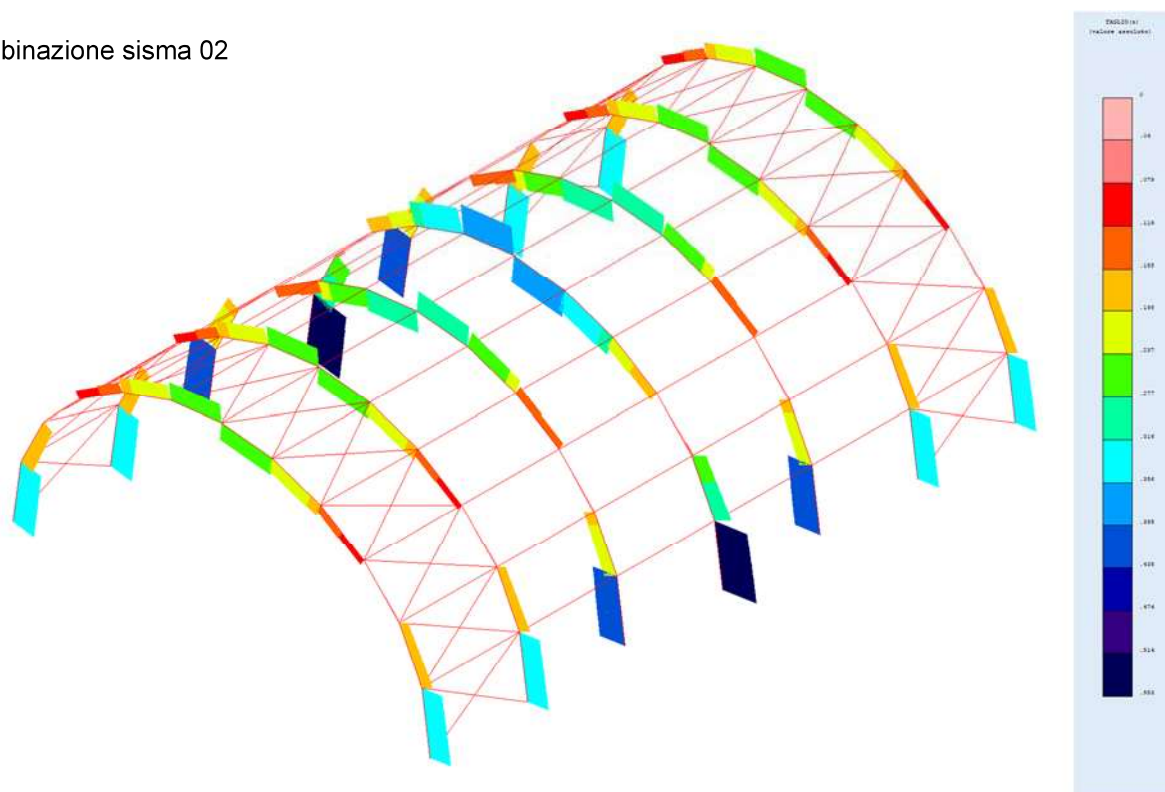
Combinazione Inviluppo



Combinazione sisma 01

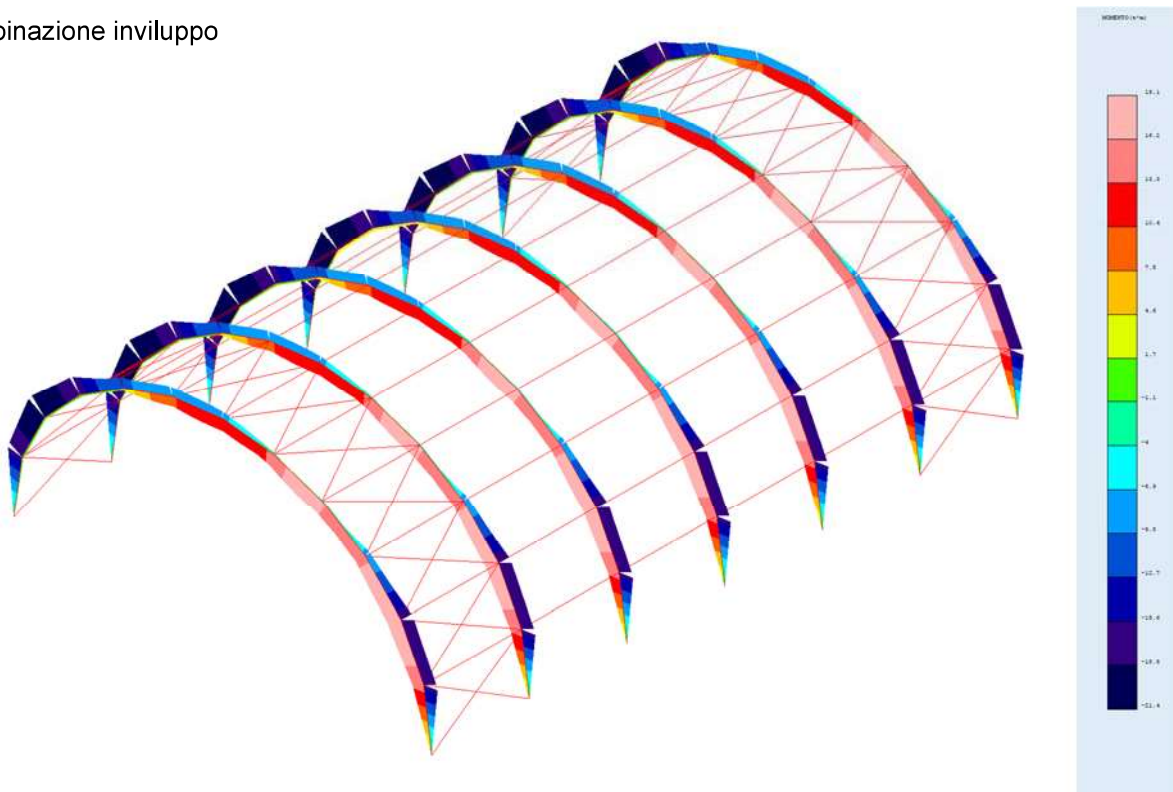


Combinazione sisma 02

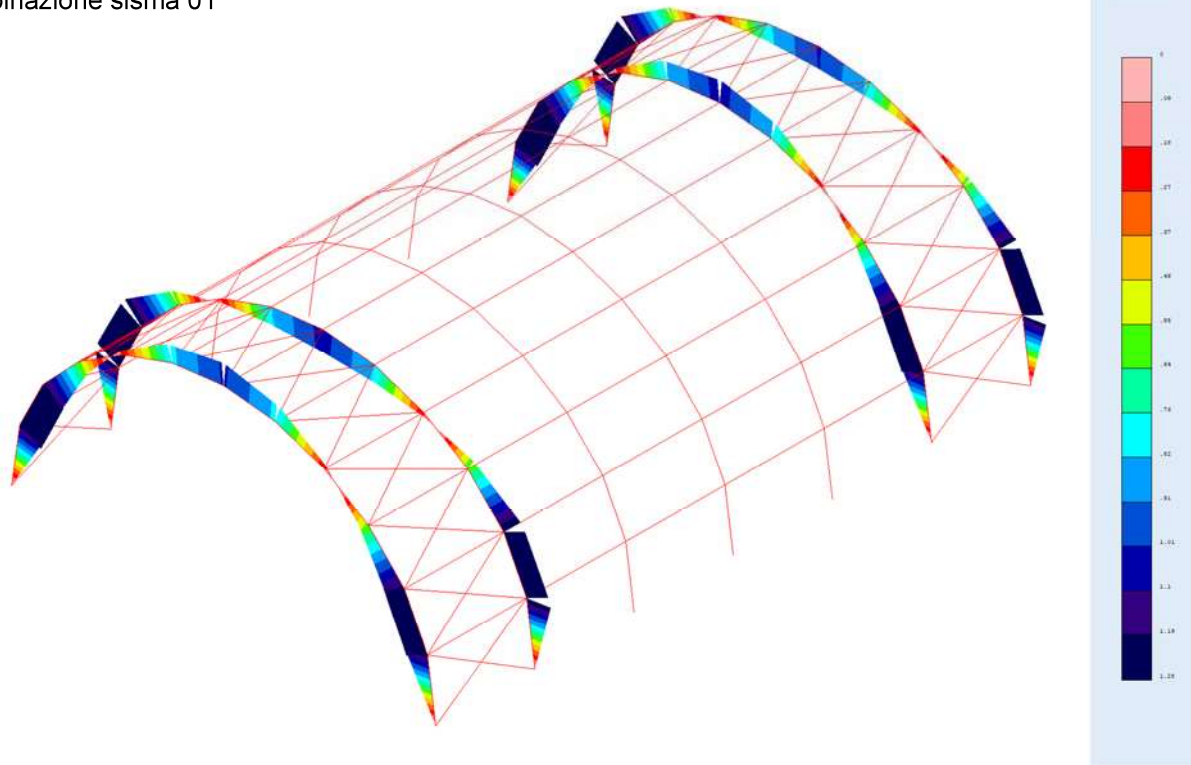


## 2.10.2 SOLLECITAZIONE MOMENTO

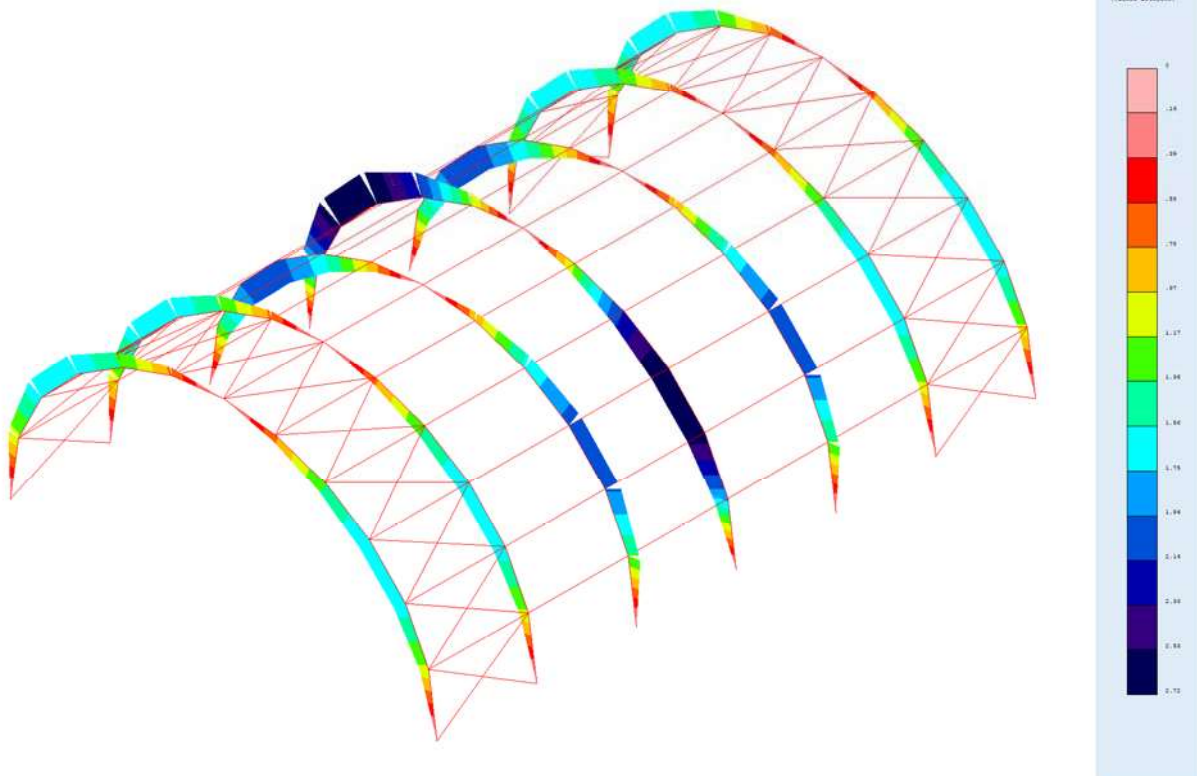
Combinazione involuppo



Combinazione sisma 01

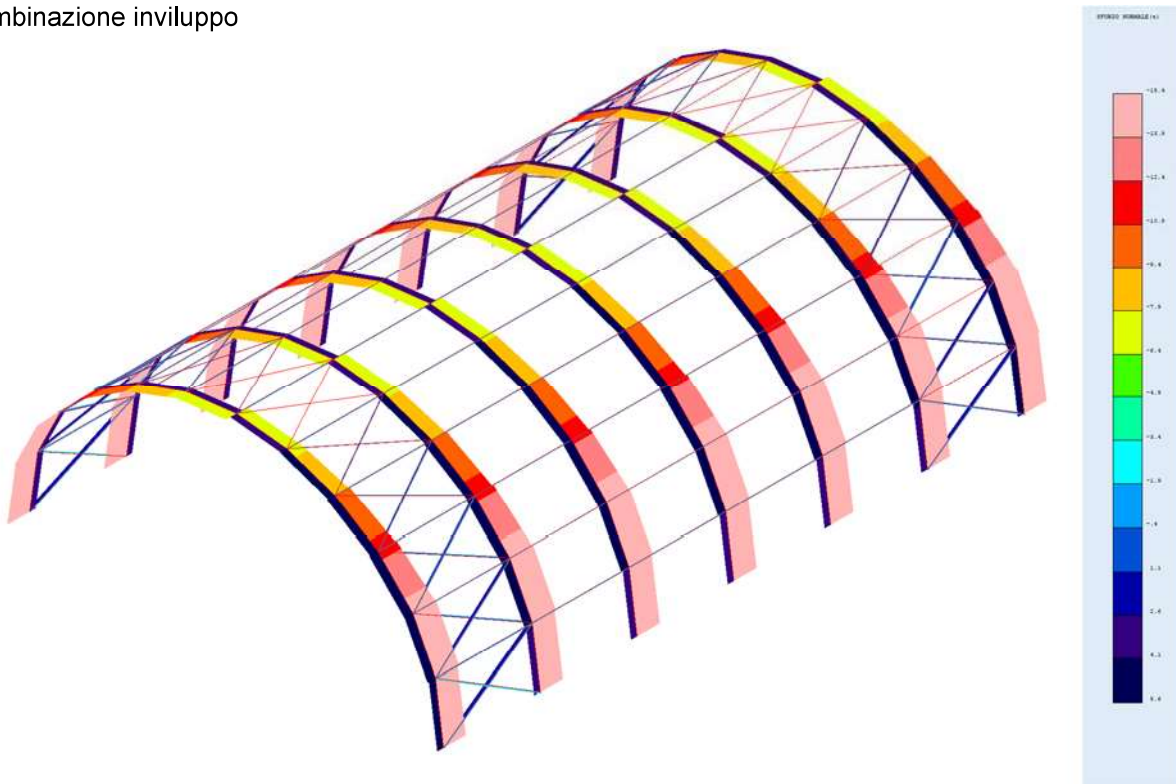


Combinazione sisma 02



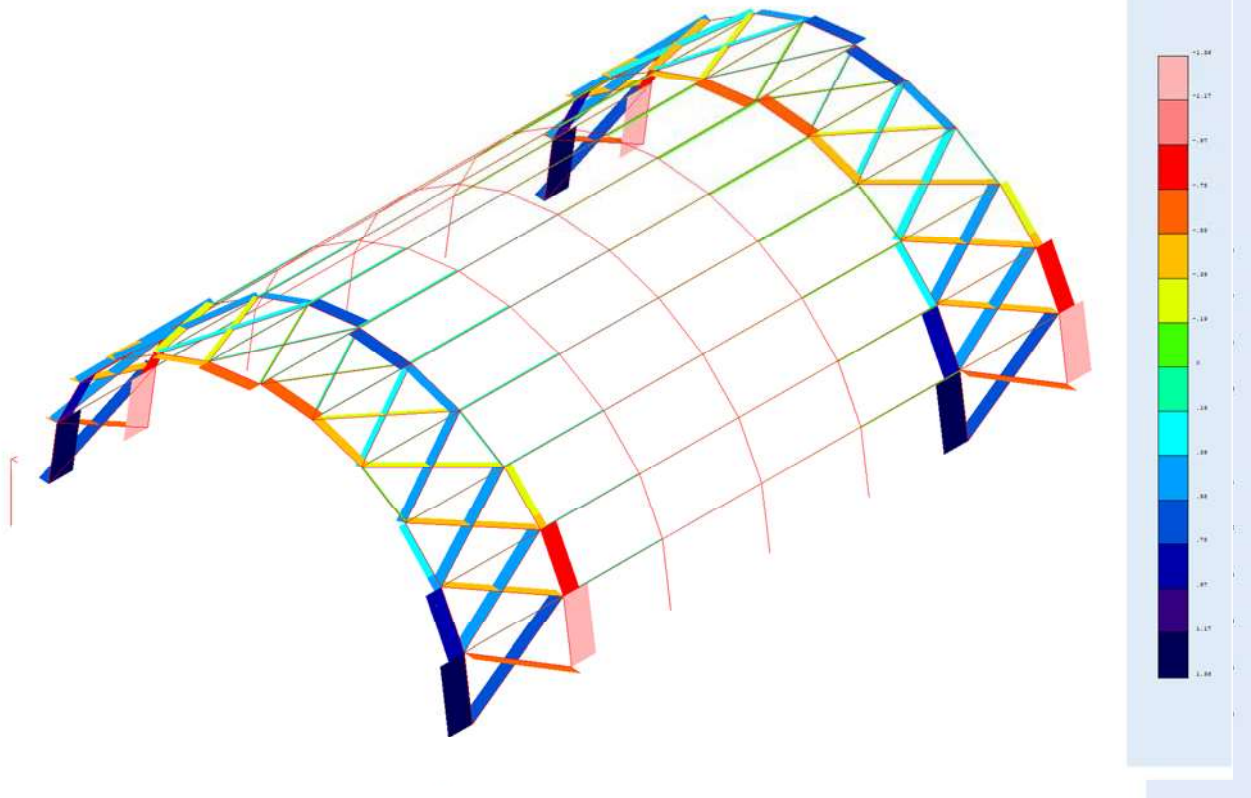
### 2.10.3 SOLLECITAZIONE SFORZO NORMALE

Combinazione involuppo

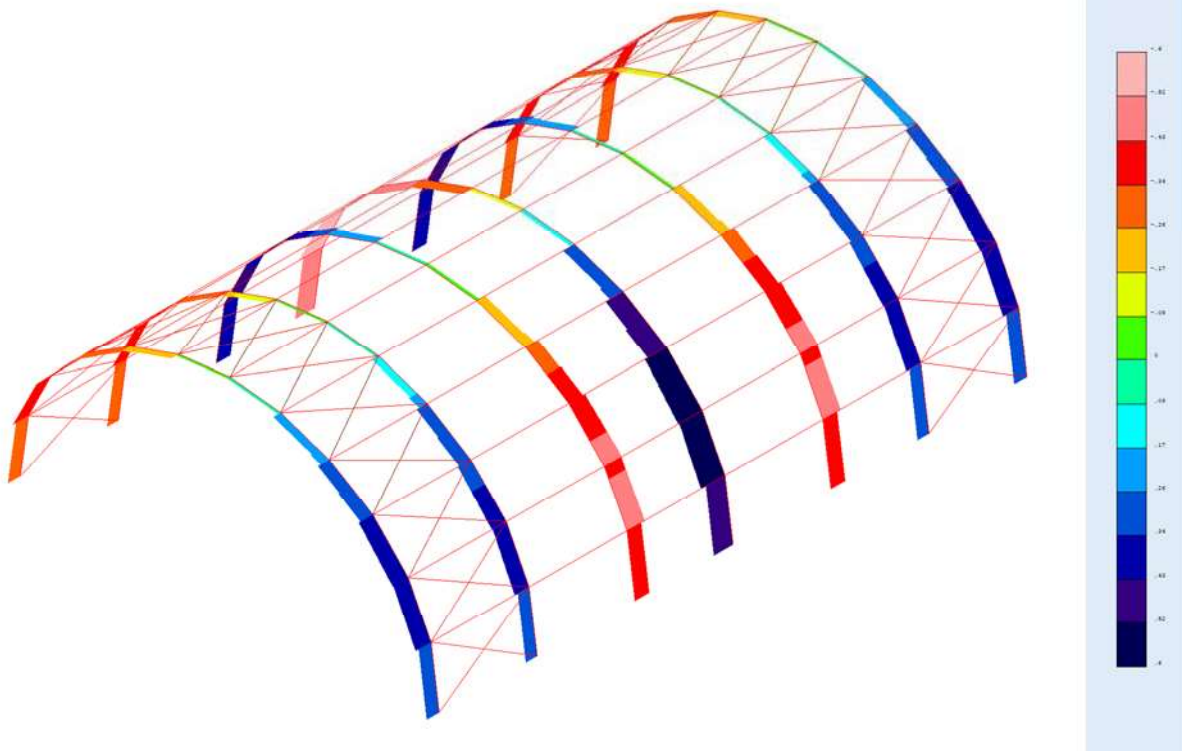




Combinazione sisma 01

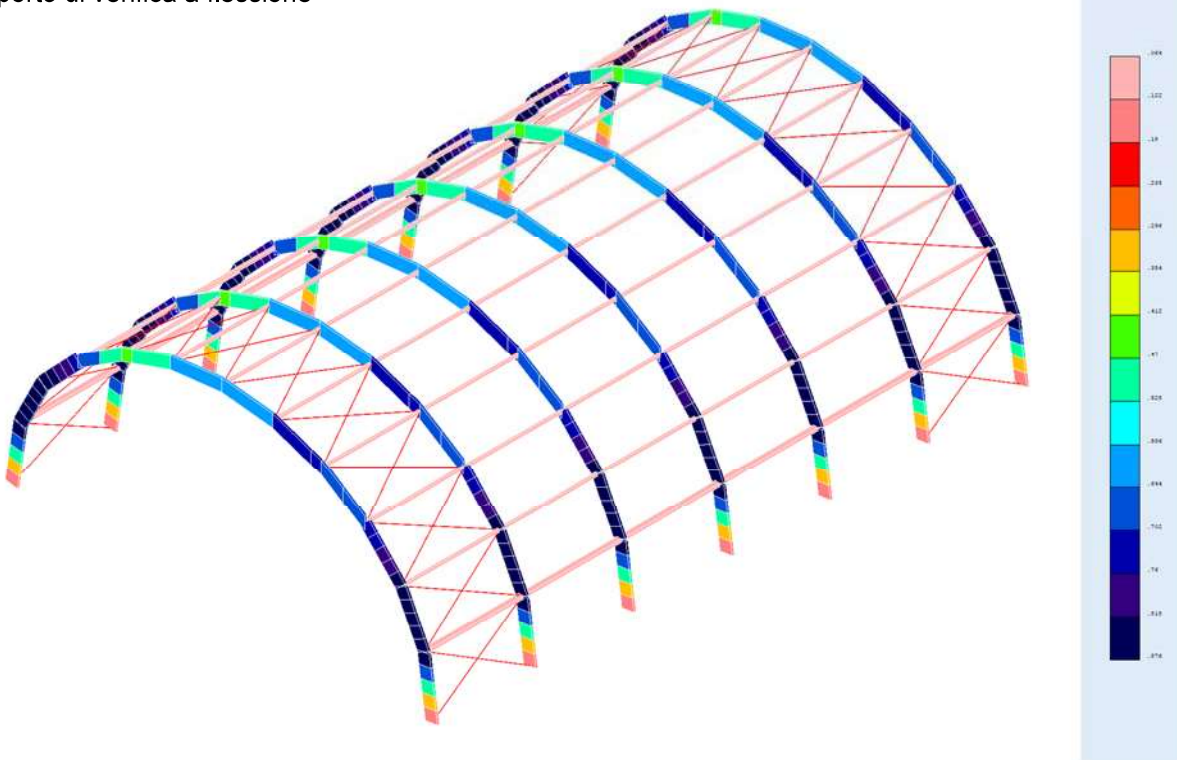


Combinazione sisma 02

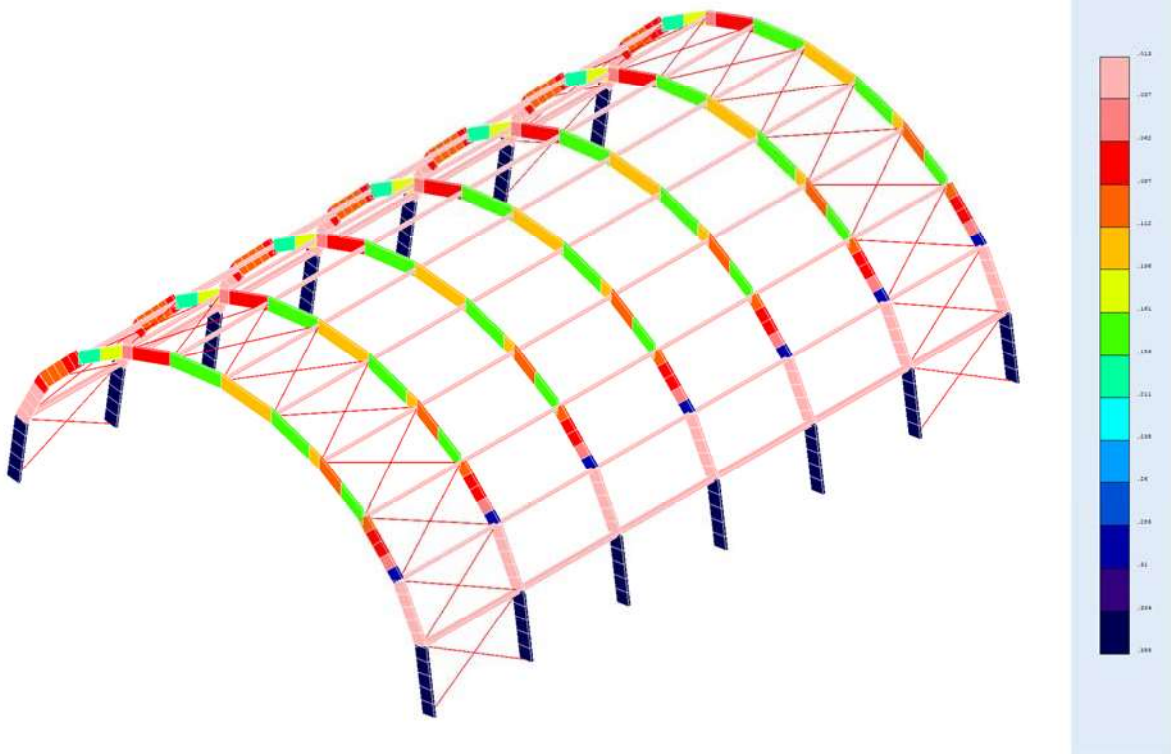


## 2.10.4 CAPACITÀ DI RESISTENZA LEGNO

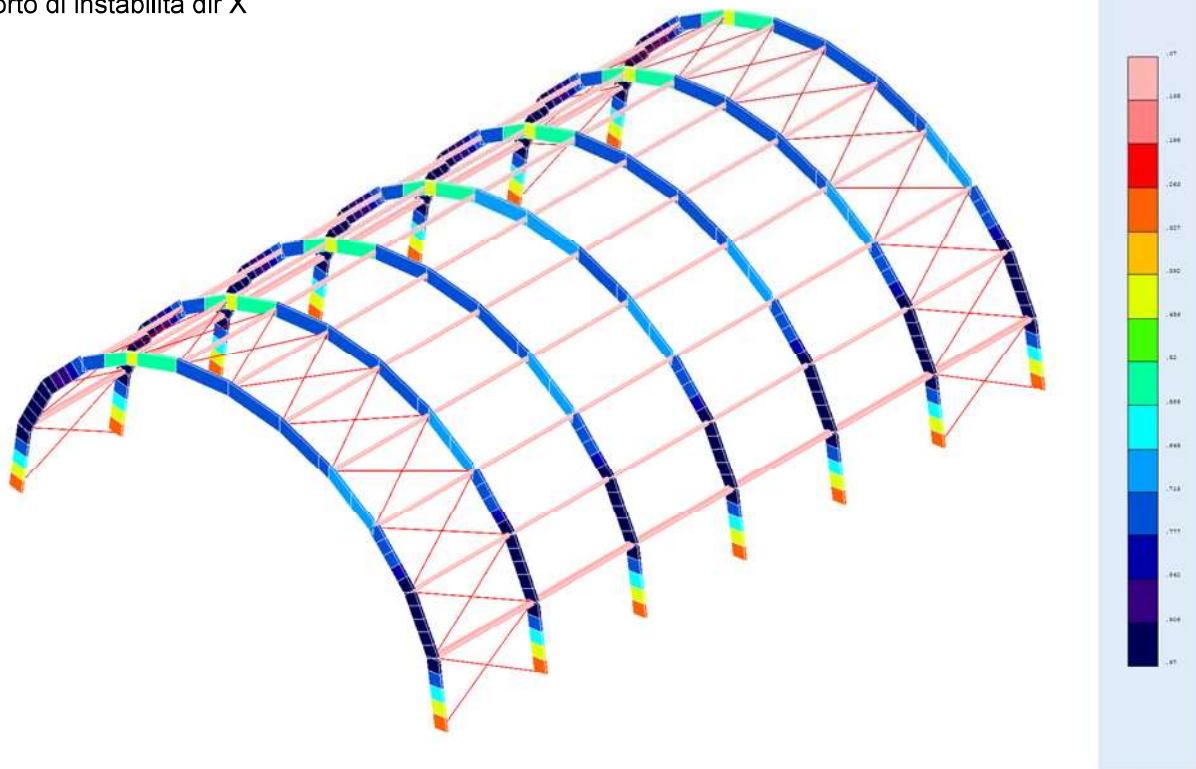
Rapporto di verifica a flessione



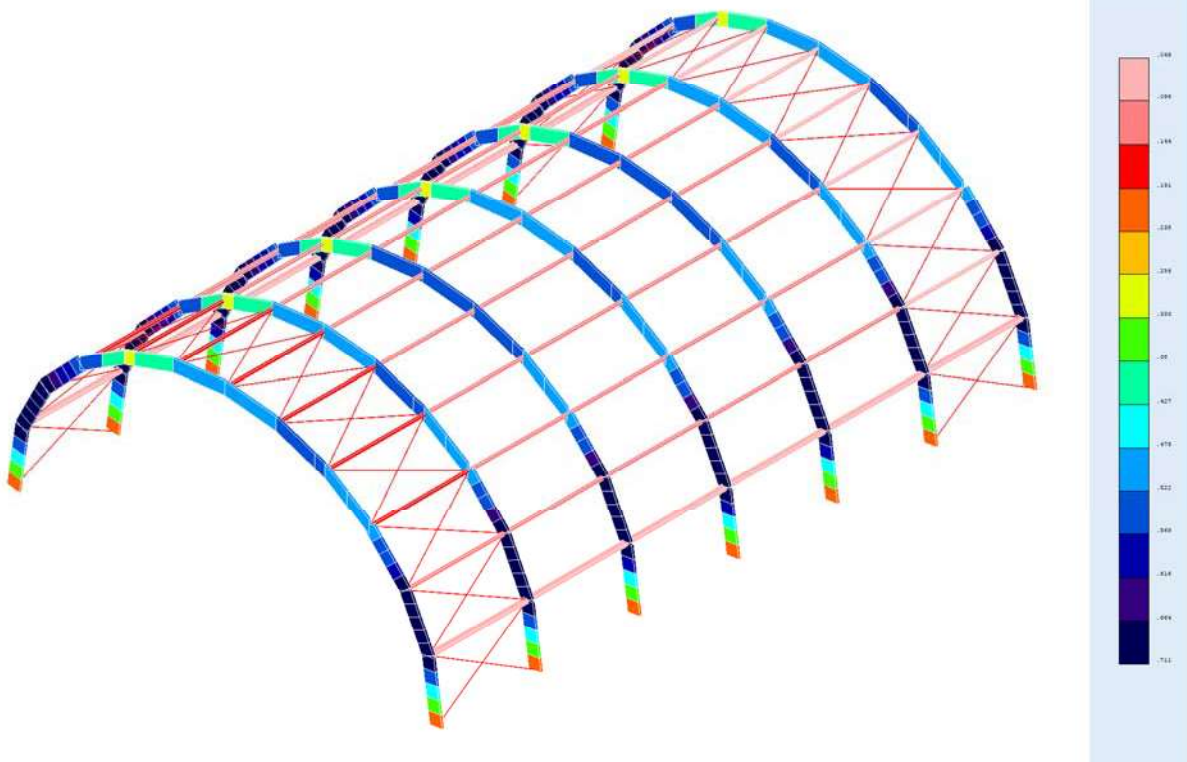
Rapporto di verifica a taglio



Rapporto di instabilità dir X

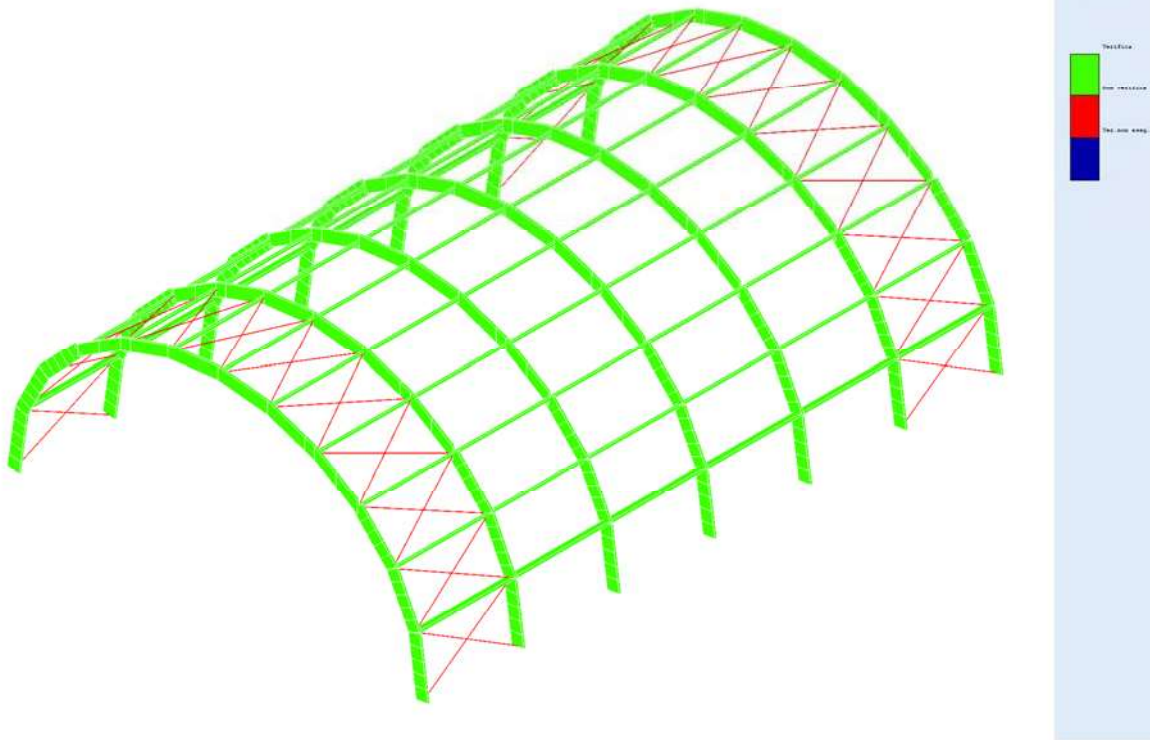


Rapporto di instabilità dir Y



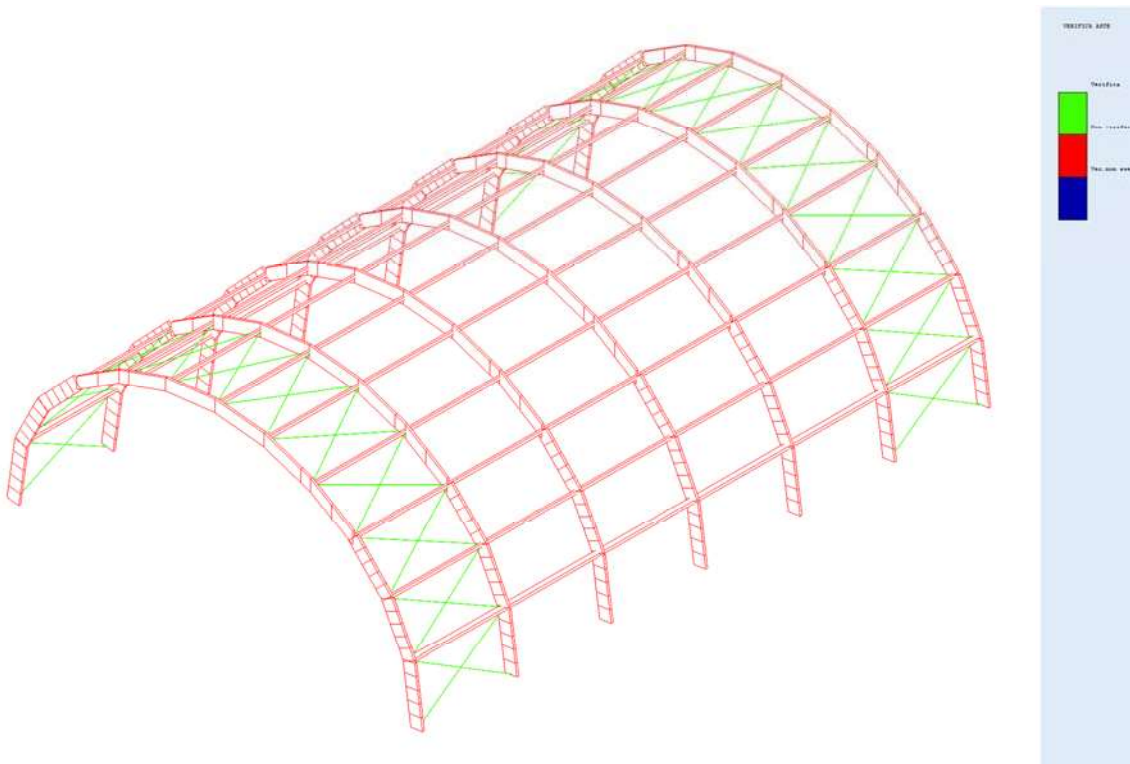


Verifica generale



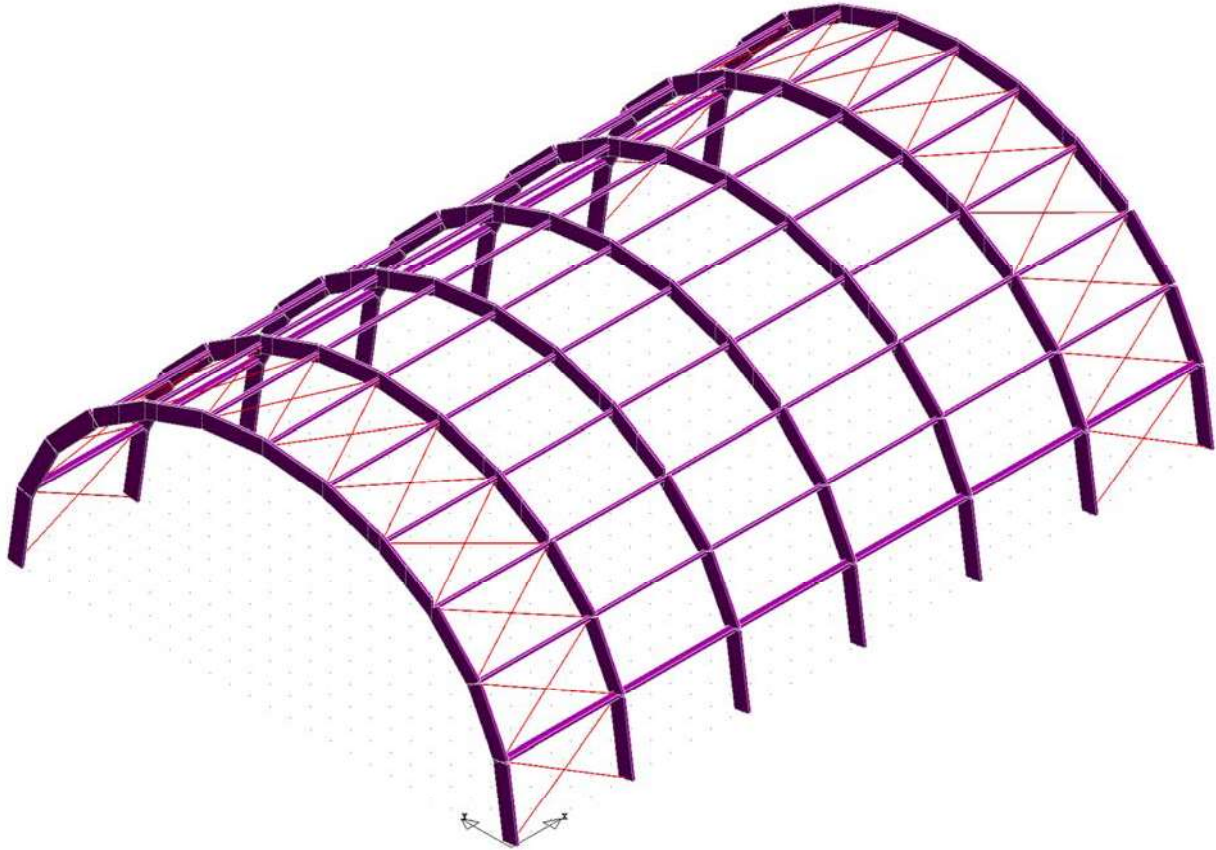
## 2.10.5 CAPACITÀ DI RESISTENZA ACCIAIO

Verifica generale

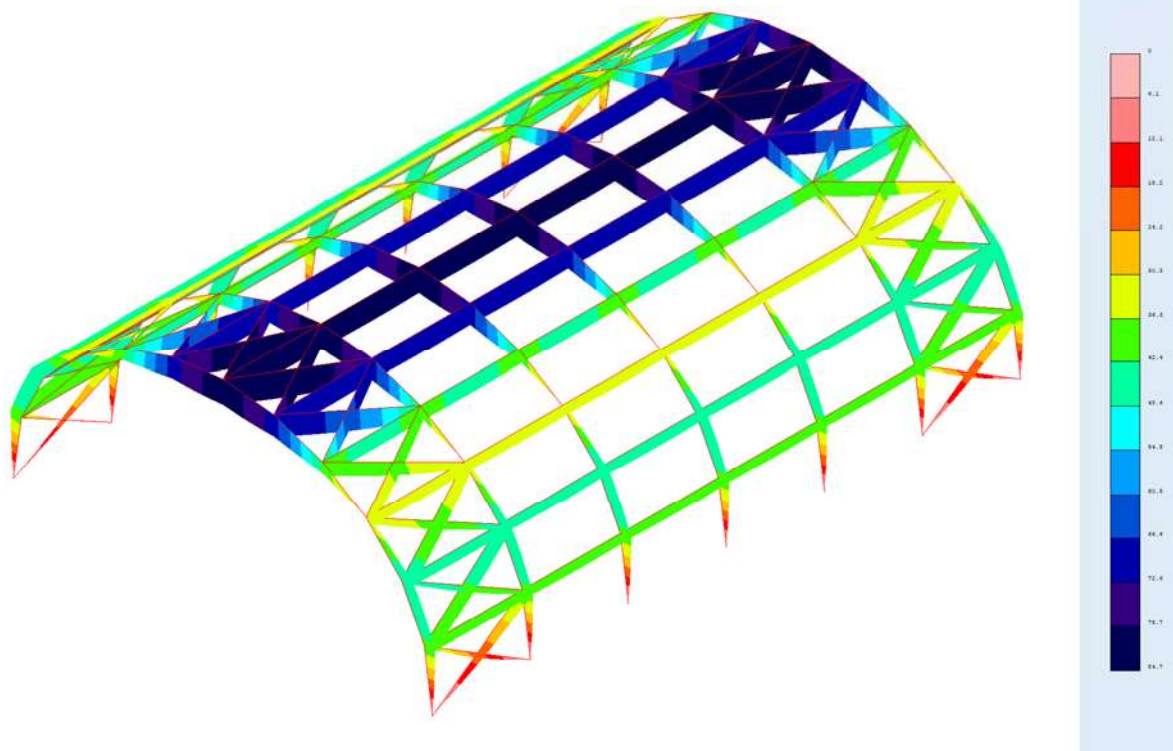


## 2.11 – RAPPRESENTAZIONI DELLE CONFIGURAZIONI DEFORMATE

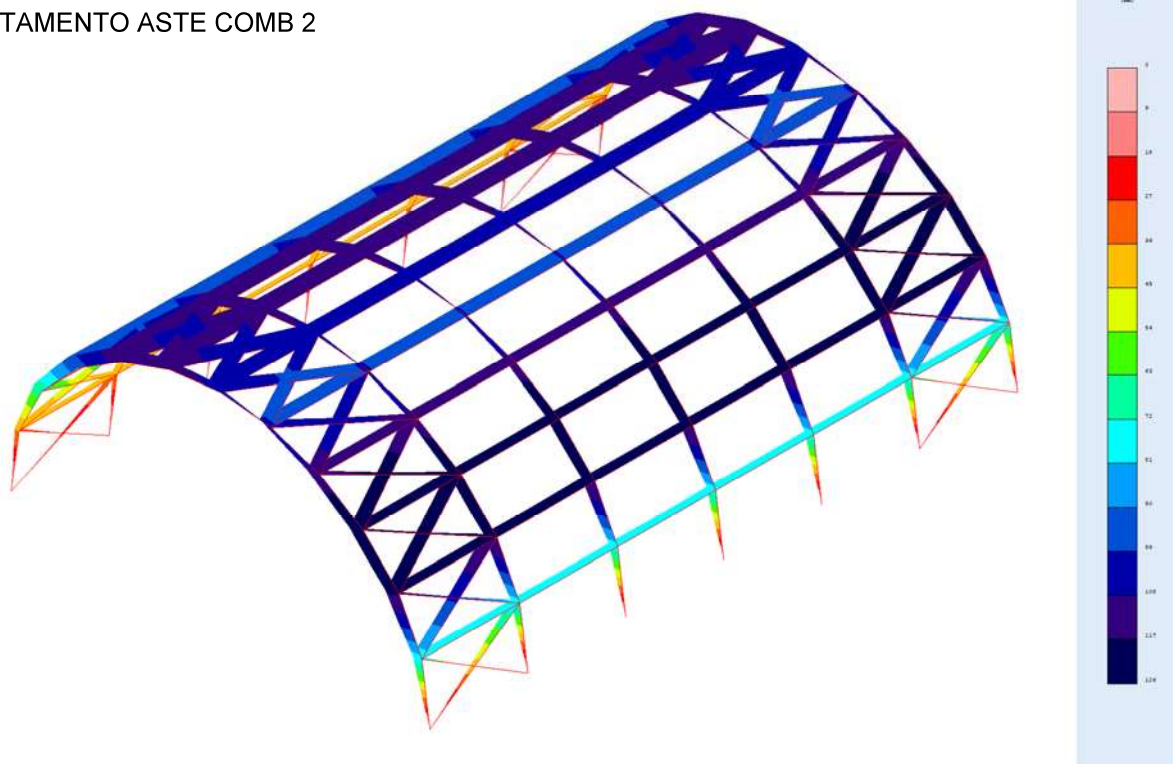
INDEFORMATA



SPOSTAMENTO ASTE COMB 1

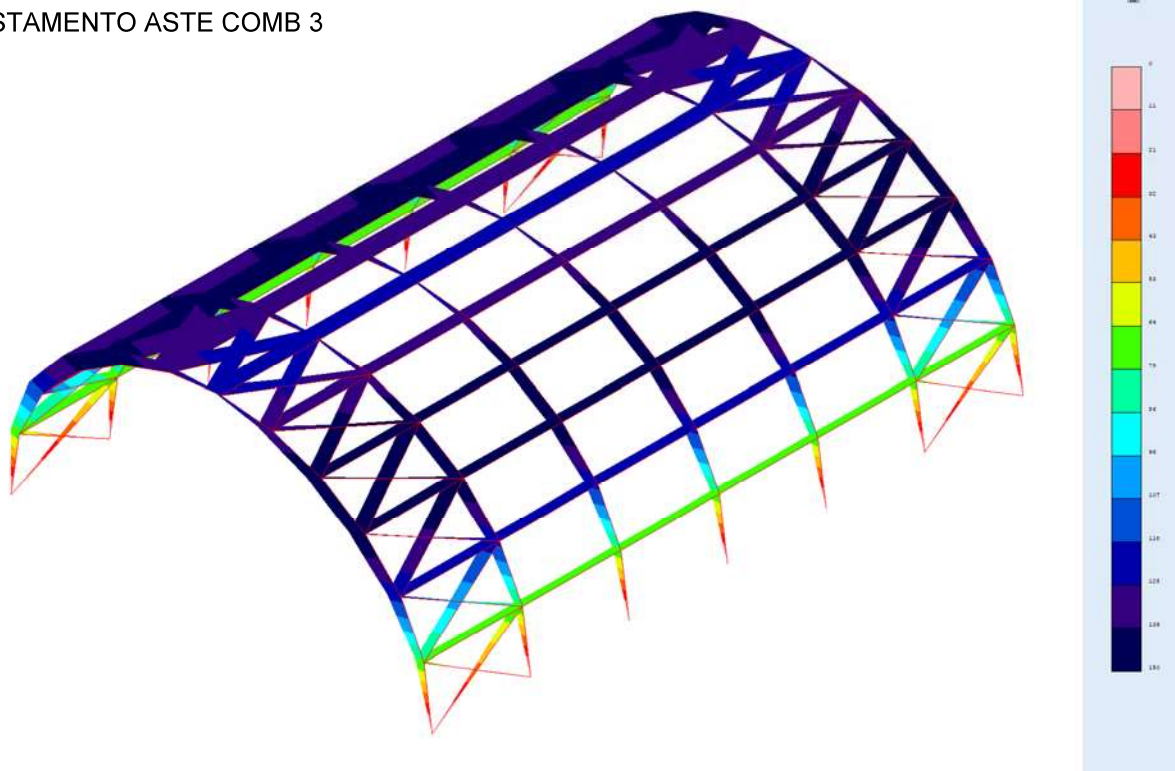


SPOSTAMENTO ASTE COMB 2

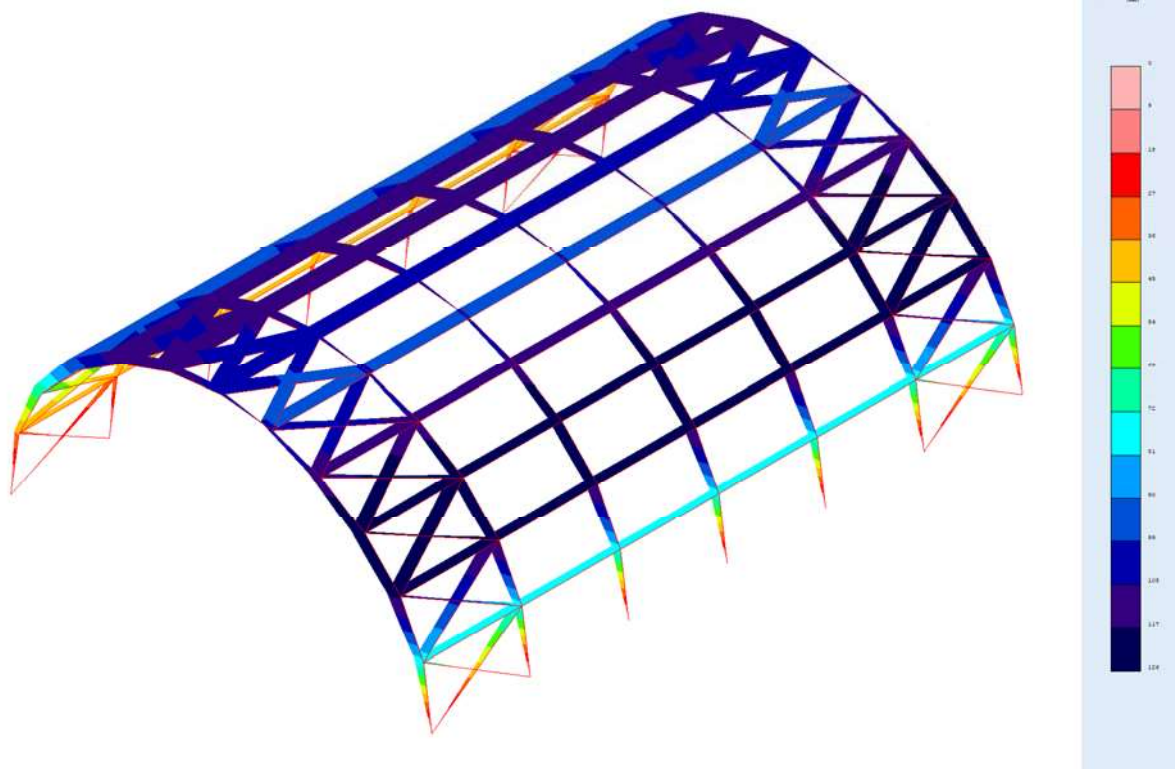




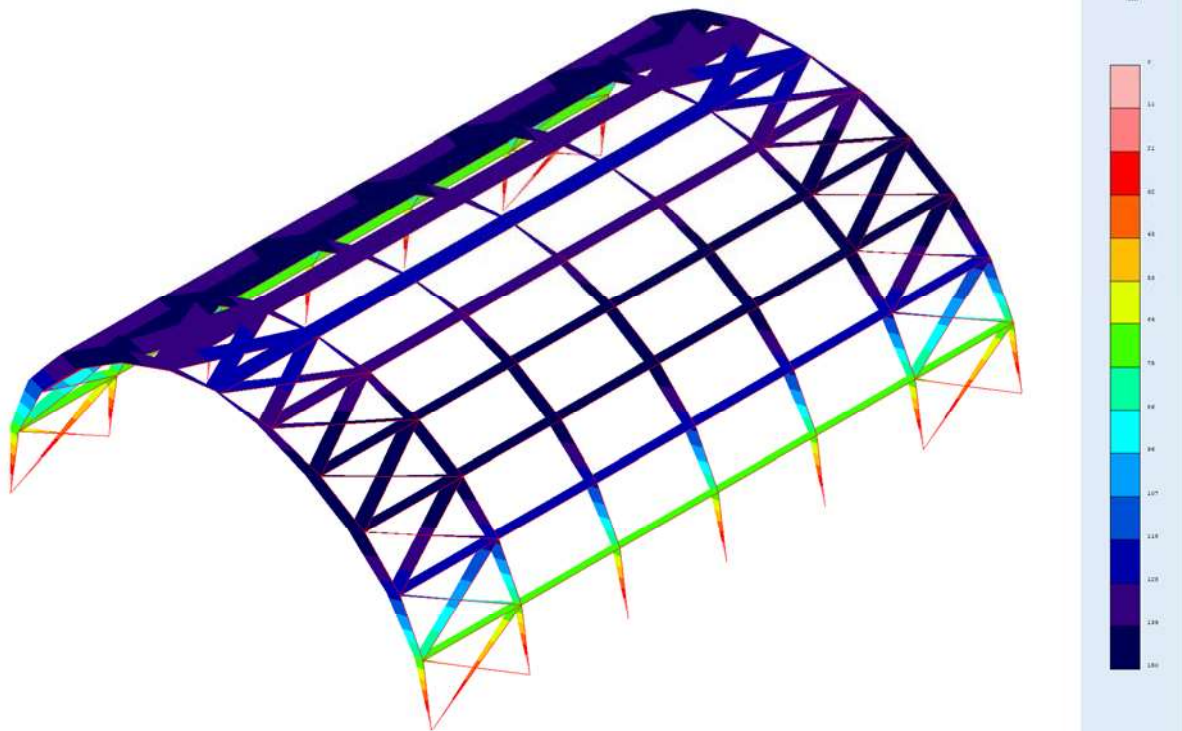
SPOSTAMENTO ASTE COMB 3



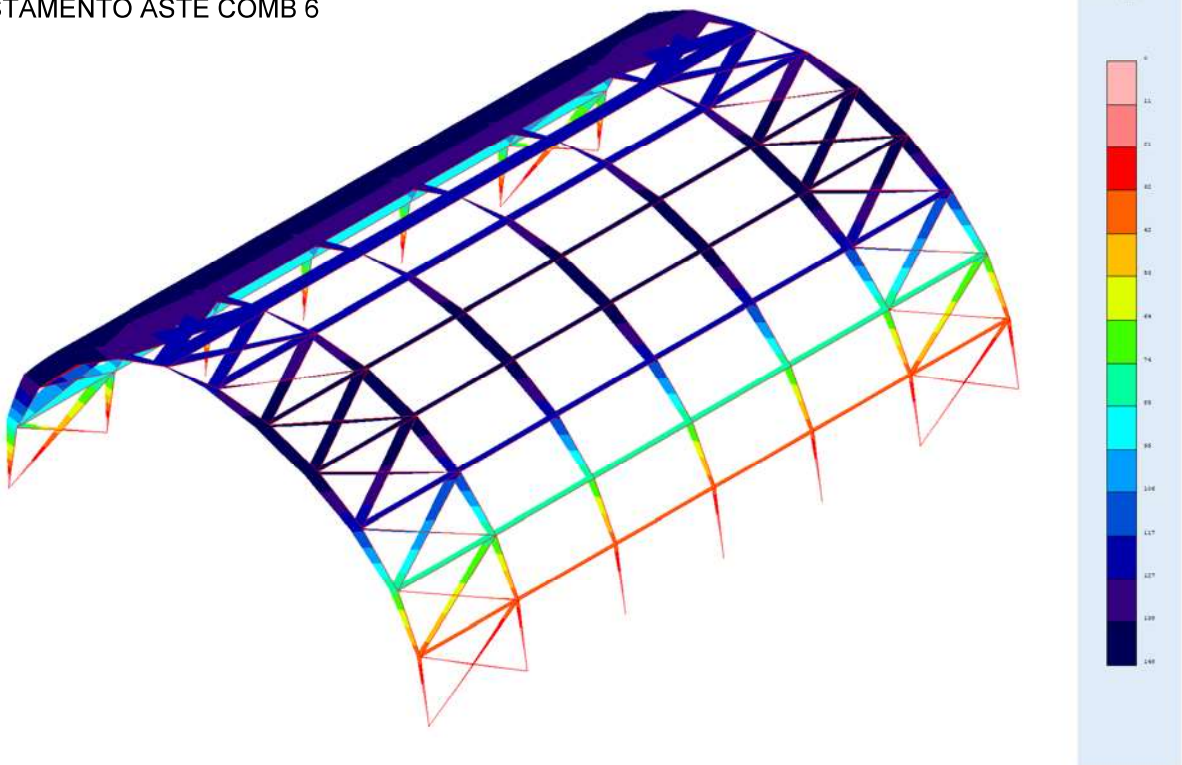
SPOSTAMENTO ASTE COMB 4



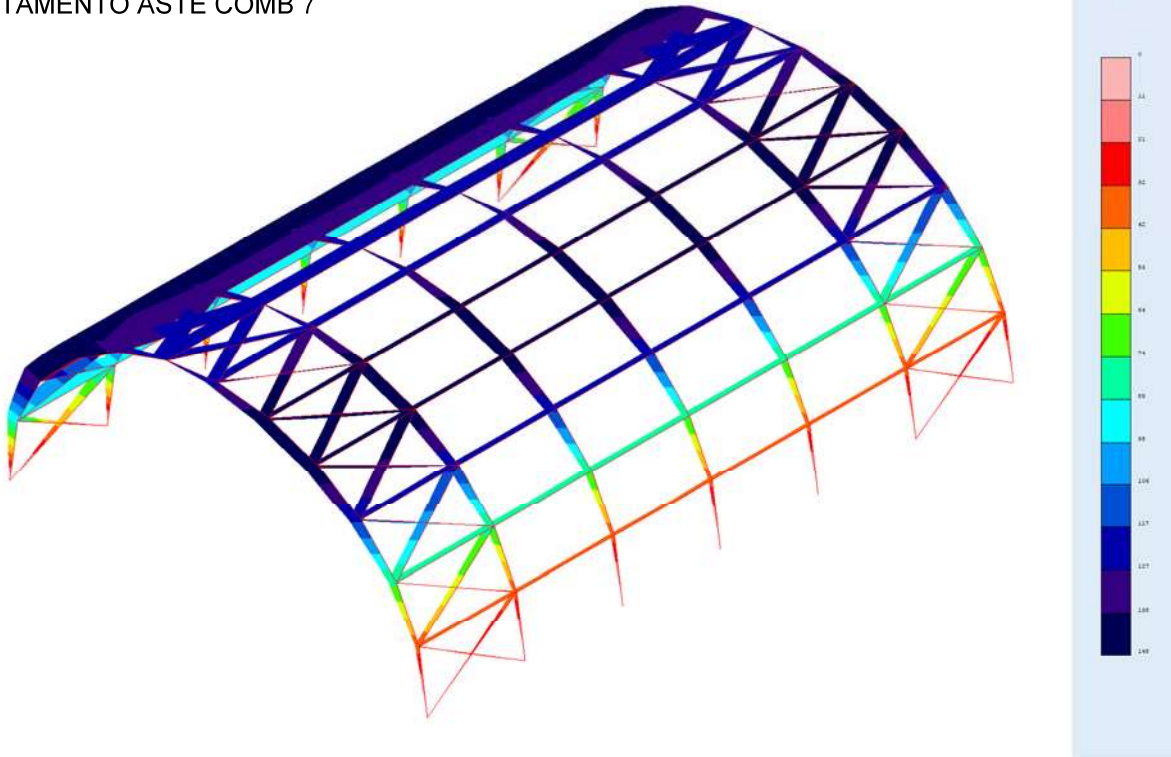
SPOSTAMENTO ASTE COMB 5



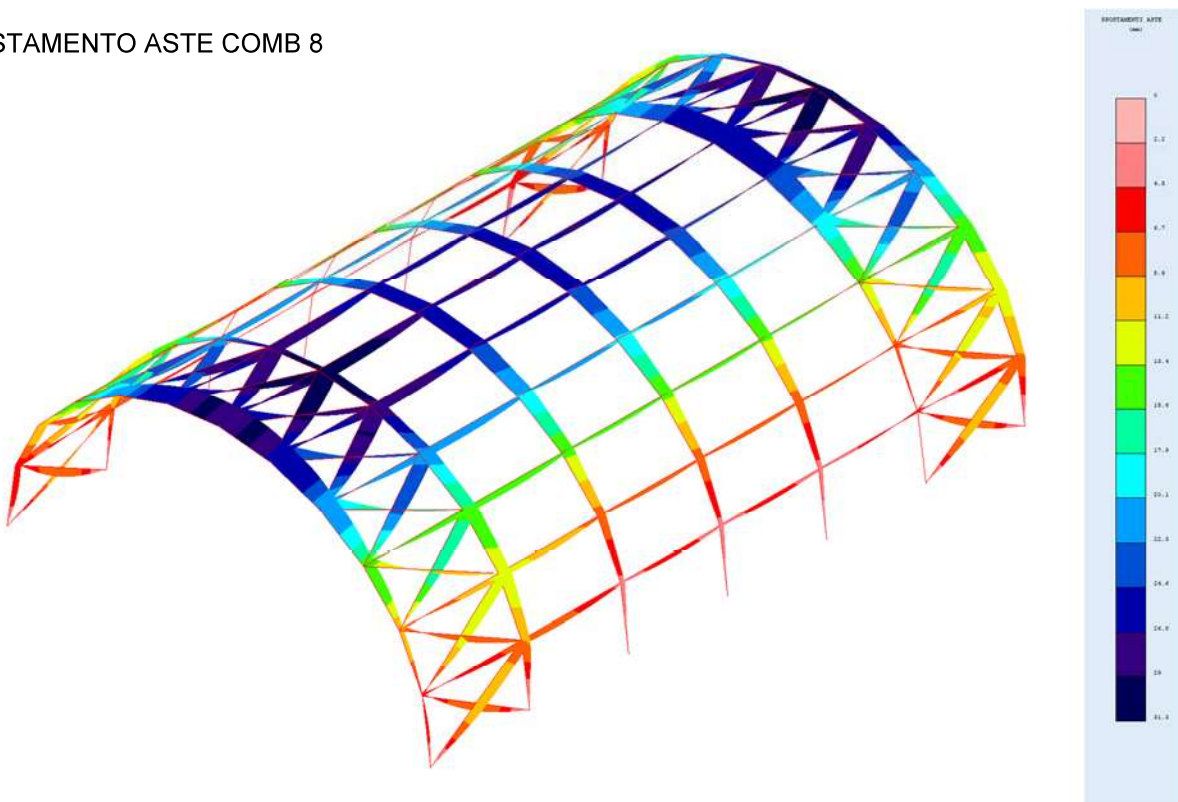
SPOSTAMENTO ASTE COMB 6



SPOSTAMENTO ASTE COMB 7

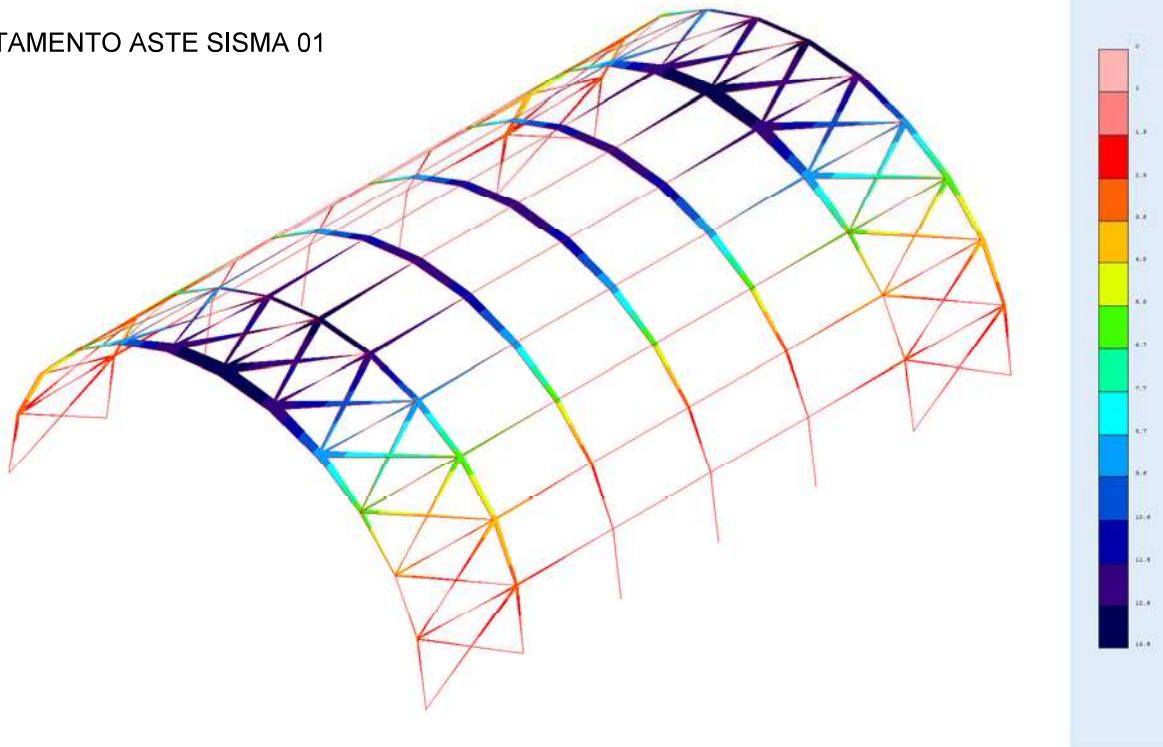


SPOSTAMENTO ASTE COMB 8

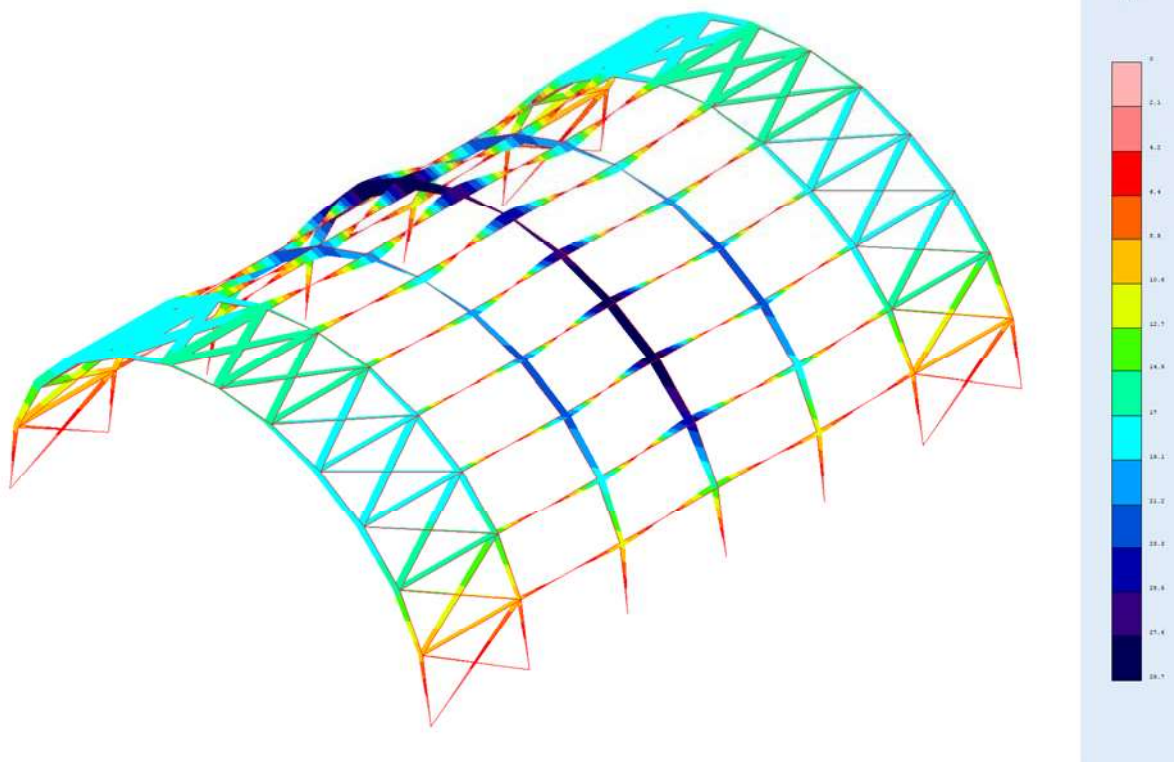




SPOSTAMENTO ASTE SISMA 01



SPOSTAMENTO ASTE SISMA 02



## 2.12 – GIUDIZIO MOTIVATO SULL'ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI

Il software utilizzato permette di modellare analiticamente il comportamento fisico della struttura utilizzando la libreria disponibile di elementi finiti.

Le funzioni di visualizzazione ed interrogazione sul modello permettono di controllare sia la coerenza geometrica che le azioni applicate rispetto alla realtà fisica.

Inoltre la visualizzazione ed interrogazione dei risultati ottenuti dall'analisi quali sollecitazioni, tensioni, deformazioni, spostamenti, reazioni vincolari hanno permesso un immediato controllo con i risultati ottenuti mediante schemi semplificati di cui è nota la soluzione in forma chiusa nell'ambito della Scienza delle Costruzioni.

Si è inoltre controllato che le reazioni vincolari diano valori in equilibrio con i carichi applicati, in particolare per i valori dei taglianti di base delle azioni sismiche si è provveduto a confrontarli con valori ottenuti da modelli SDOF semplificati.

Le sollecitazioni ottenute sulle travi per i carichi verticali direttamente agenti sono stati confrontati con semplici schemi a trave continua.

Si è inoltre verificato che tutte le funzioni di controllo ed autodiagnostica del software abbiano dato esito positivo.

In ottemperanza al cap. 10.2.1 delle NTC 2018 (D.M. 17/01/2018), si effettua una valutazione/controllo delle reazioni verticali (lungo l'asse z) con neve in assenza di vento, quindi centrata, a ulteriore giustificazione del giudizio motivato di accettabilità dei risultati (NB: si considera solo metà struttura).

I carichi considerati, riportati in relazione tecnica sono i seguenti:

### peso proprio

|      | b  | h  | p     | p. unit | lungh. | per arco | p. tot         |
|------|----|----|-------|---------|--------|----------|----------------|
| arco | 12 | 72 | 460 = | 39,74   | 36,54  | 1452,25  | 1452,25        |
| punt | 12 | 16 | 420 = | 8,06    | 5,68   | 45,80    | 9              |
| TB   | 28 | 16 | 420 = | 18,82   | 5,68   | 106,87   | 2              |
|      |    |    |       |         |        |          | <b>2078,23</b> |

coefficiente STR = 1.3

### neve

696 kg/m

coefficiente STR = 1.5

### permanente (telo di copertura)

4,06 kg/m

coefficiente STR = 1.5

Considerando che la neve agisce su 28,50 m in proiezione orizzontale, il carico permanente su 41,08 m in proiezione orizzontale, mentre la lunghezza dell'arco lungo l'asse risulta pari a 41,51 m, si ha:

| carico     | valutazione    | valore  | c. adim       | somma           |
|------------|----------------|---------|---------------|-----------------|
| p. proprio | 2078,23 / 2 =  | 1039,11 | 1,3           | 1350,85         |
| neve       | 16850,16 / 2 = | 8425,08 | 1,5           | 12637,62        |
| perm       | 148,3524 / 2 = | 74,18   | 1,5           | 111,26          |
|            |                |         | <b>totale</b> |                 |
|            |                |         | kg.           | <b>14099,73</b> |

Il valore ricavato mediante calcoli di larga massima, pari a 14.099,73 kg, è simile a quello riportato nel tabulato seguente che riporta le reazioni vincolari relative alla combinazione 1 a meno di una percentuale pari a circa il 1,0 %.



**REAZIONI VINCOLARI COMBINAZIONE 1- S.L.V.**

| Nodo 3D | Fx (t) | Fy (t) | Fz (t) | Mx (t*m) | My (t*m) | Mz (t*m) |
|---------|--------|--------|--------|----------|----------|----------|
| 1       | 0,125  | 7,017  | 13,807 | 0,000    | 0,000    | 0,000    |
| 17      | 0,125  | -7,017 | 13,807 | 0,000    | 0,000    | 0,000    |
| 18      | -0,111 | 7,044  | 13,919 | 0,000    | 0,000    | 0,000    |
| 27      | -0,111 | -7,044 | 13,919 | 0,000    | 0,000    | 0,000    |
| 35      | 0,000  | 7,061  | 13,959 | 0,000    | 0,000    | 0,000    |
| 44      | 0,000  | -7,061 | 13,959 | 0,000    | 0,000    | 0,000    |
| 52      | 0,111  | 7,044  | 13,919 | 0,000    | 0,000    | 0,000    |
| 61      | 0,111  | -7,044 | 13,919 | 0,000    | 0,000    | 0,000    |
| 69      | -0,125 | 7,017  | 13,807 | 0,000    | 0,000    | 0,000    |
| 78      | -0,125 | -7,017 | 13,807 | 0,000    | 0,000    | 0,000    |
| 86      | 0,000  | 7,061  | 13,959 | 0,000    | 0,000    | 0,000    |
| 95      | 0,000  | -7,061 | 13,959 | 0,000    | 0,000    | 0,000    |
| 103     | 0,000  | 7,061  | 13,959 | 0,000    | 0,000    | 0,000    |
| 112     | 0,000  | -7,061 | 13,959 | 0,000    | 0,000    | 0,000    |

**2.13 – CARATTERISTICHE E AFFIDABILITÀ DEL CODICE DI CALCOLO**

Il software utilizzato è **CDSWin versione 2024** con licenze chiave n° 46, n° 21679 e n° 35432 intestate al sottoscritto progettista, prodotto dalla:

**S.T.S. s.r.l. Software Tecnico Scientifico S.r.l.**  
 via Tre Torri n°11 – Compl. Tre Torri  
 95030 Sant’Agata li Battiati (CT).

Le analisi e le verifiche sono state condotte con il metodo degli stati limite (SLU ed SLE) utilizzando i coefficienti parziali della normativa di cui al DM 17.01.2018 e circ. 07/2019 come in dettaglio specificato negli allegati tabulati di calcolo.

L’analisi delle sollecitazioni è stata effettuata in campo elastico lineare, per l’analisi sismica si è effettuata una analisi dinamica modale.

Come previsto al punto **10.2 delle norme tecniche di cui al D.M. 17.01.2018** l’affidabilità del codice utilizzato è stata verificata sia effettuando il raffronto tra casi prova di cui si conoscono i risultati esatti sia esaminando le indicazioni, la documentazione ed i test forniti dal produttore stesso.

La S.T.S. s.r.l. a riprova dell’affidabilità dei risultati ottenuti fornisce direttamente on-line i test sui casi prova (<http://www.stsweb.it/STSWeb/ITA/homepage.htm>)

Il software è inoltre dotato di filtri e controlli di autodiagnostica che agiscono a vari livelli sia della definizione del modello che del calcolo vero e proprio.

I controlli vengono visualizzati, sotto forma di tabulati, di videate a colori o finestre di messaggi.

In particolare il software è dotato dei seguenti filtri e controlli:

- Filtri per la congruenza geometrica del modello di calcolo generato
- Controlli a priori sulla presenza di elementi non connessi, interferenze, mesh non congruenti o non adeguate.
- Filtri sulla precisione numerica ottenuta, controlli su eventuali mal condizionamenti delle matrici, verifica dell’indice di condizionamento.
- Controlli sulla verifiche sezionali e sui limiti dimensionali per i vari elementi strutturali in funzione della normativa utilizzata.

Controlli e verifiche sugli esecutivi prodotti.

## 2.14 – STRUTTURE GEOTECNICHE

Gli aspetti e i risultati significativi sono riportati negli elaborati allegati al progetto delle strutture fondali.

## 2.15 - DESTINAZIONE D'USO E SOVRACCARICHI VARIABILI DOVUTO ALLE AZIONI ANTROPICHE

Per la determinazione dell'entità e della distribuzione spaziale e temporale dei sovraccarichi variabili si farà riferimento alla tabella del D.M. 17.01.2018 in funzione della destinazione d'uso.

I carichi variabili comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera; i modelli di tali azioni possono essere costituiti da:

- **carichi verticali uniformemente distribuiti**  $q_k$  [kN/m<sup>2</sup>]
- **carichi verticali concentrati**  $Q_k$  [kN]
- **carichi orizzontali lineari**  $H_k$  [kN/m]

Tab. 3.1.II - Valori dei sovraccarichi per le diverse categorie d'uso delle costruzioni

| Cat.  | Ambienti  | $q_k$<br>[kN/m <sup>2</sup> ]                                | $Q_k$<br>[kN] | $H_k$<br>[kN/m] |
|-------|---|--|---------------|-----------------|
| A     | <b>Ambienti ad uso residenziale</b>   |  |               |                 |
|       | Aree per attività domestiche e residenziali; sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi (ad esclusione delle aree soggette ad affollamento), camere di degenza di ospedali | 2,00   | 2,00          | 1,00            |
|       | Scale comuni, balconi, ballatoi   | 4,00   | 4,00          | 2,00            |
| B     | <b>Uffici</b>   |  |               |                 |
|       | Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico   | 2,00   | 2,00          | 1,00            |
|       | Cat. B2 Uffici aperti al pubblico   | 3,00   | 2,00          | 1,00            |
|       | Scale comuni, balconi e ballatoi  | 4,00   | 4,00          | 2,00            |
| C     | <b>Ambienti suscettibili di affollamento</b>  |  |               |                 |
|       | Cat. C1 Aree con tavoli, quali scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento   | 3,00   | 3,00          | 1,00            |
|       | Cat. C2 Aree con posti a sedere fissi, quali chiese, teatri, cinema, sale per conferenze e attesa, aule universitarie e aule magne  | 4,00   | 4,00          | 2,00            |
|       | Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli al movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, aree d'accesso a uffici, ad alberghi e ospedali, ad atri di stazioni ferroviarie  | 5,00   | 5,00          | 3,00            |
|       | Cat. C4. Aree con possibile svolgimento di attività fisiche, quali sale da ballo, palestre, palcoscenici.   | 5,00   | 5,00          | 3,00            |
|       | Cat. C5. Aree suscettibili di grandi affollamenti, quali edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune, gradinate e piattaforme ferroviarie.                                  | 5,00   | 5,00          | 3,00            |
|       | Scale comuni, balconi e ballatoi  | Secondo categoria d'uso servita, con le seguenti limitazioni |               |                 |
|       | ≥ 4,00  | ≥ 4,00   | ≥ 2,00        |                 |
| D     | <b>Ambienti ad uso commerciale</b>  |  |               |                 |
|       | Cat. D1 Negozi  | 4,00   | 4,00          | 2,00            |
|       | Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini   | 5,00   | 5,00          | 2,00            |
|       | Scale comuni, balconi e ballatoi  | Secondo categoria d'uso servita                              |               |                 |
| E     | <b>Aree per immagazzinamento e uso commerciale ed uso industriale</b>   |  |               |                 |
|       | Cat. E1 Aree per accumulo di merci e relative aree d'accesso, quali biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri  | ≥ 6,00   | 7,00          | 1,00*           |
|       | Cat. E2 Ambienti ad uso industriale   | da valutarsi caso per caso                                   |               |                 |
| F-G   | <b>Rimesse e aree per traffico di veicoli (esclusi i ponti)</b>   |  |               |                 |
|       | Cat. F Rimesse, aree per traffico, parcheggio e sosta di veicoli leggeri (peso a pieno carico fino a 30 kN)   | 2,50   | 2 x 10,00     | 1,00**          |
|       | Cat. G Aree per traffico e parcheggio di veicoli medi (peso a pieno carico compreso fra 30 kN e 160 kN), quali rampe d'accesso, zone di carico e scarico merci.   | 5,00   | 2 x 50,00     | 1,00**          |
| H-I-K | <b>Coperture</b>  |  |               |                 |
|       | Cat. H Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione  | 0,50   | 1,20          | 1,00            |
|       | Cat. I Coperture praticabili di ambienti di categoria d'uso compresa fra A e D  | secondo categorie di appartenenza                            |               |                 |
|       | Cat. K Coperture per usi speciali, quali impianti, eliporti   | da valutarsi caso per caso                                   |               |                 |

\* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati

\*\* per i soli parapetti o partizionari nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso.

I valori riportati nella Tab. 3.1.II sono riferiti a condizioni di uso corrente delle rispettive imporre valori superiori, in relazione ad esigenze specifiche.

In presenza di carichi atipici (quali macchinari, serbatoi, depositi interni, impianti, ecc.) il per caso, in funzione dei massimi prevedibili: tali valori dovranno essere indicati esplicitamente e di collaudo statico.

I valori nominali e/o caratteristici  $q_k$ ,  $Q_k$  ed  $H_k$  di riferimento sono riportati nella Tab. 3.1.II. delle NTC 2018. In presenza di carichi verticali concentrati  $Q_k$  essi sono stati applicati su impronte di carico appropriate all'utilizzo ed alla forma dello orizzontamento; in particolare si considera una forma dell'impronta di carico quadrata pari a 50 x 50 mm, salvo che per le rimesse ed i parcheggi, per i quali i carichi si sono applicano su due impronte di 200 x 200 mm, distanti assialmente di 1,80 m.

## 2.16 - MODELLI DI CALCOLO

Si sono utilizzati come modelli di calcolo quelli esplicitamente richiamati nel D.M. 17.01.2018 e circ. 07/2019 ed in particolare:

- analisi elastica lineare per il calcolo delle sollecitazioni derivanti da carichi statici
- analisi dinamica modale con spettri di progetto per il calcolo delle sollecitazioni di progetto dovute all'azione sismica
- analisi degli effetti del 2° ordine quando significativi
- verifiche sezionali agli s.l.u. per le sezioni in c.a. utilizzando il legame parabola rettangolo per il calcestruzzo ed il legame elastoplastico incrudente a duttilità limitata per l'acciaio
- verifiche plastiche per le sezioni in acciaio di classe 1 e 2 e tensionali per quelle di classe 3
- verifiche tensionali per le sezioni in legno
- analisi statica non lineare (push Over), quando specificato, nelle elaborazioni numeriche allegate

### **Per quanto riguarda le azioni sismiche ed in particolare per la determinazione del fattore di struttura, dei dettagli costruttivi e le prestazioni sia agli SLU che allo SLD si fa riferimento al D.M. 17.01.2018 e circ. 07/2019**

La definizione quantitativa delle prestazioni e le verifiche sono riportati nel fascicolo delle elaborazioni numeriche allegate.

## TOLLERANZE

Nelle calcolazioni si è fatto riferimento ai valori nominali delle grandezze geometriche ipotizzando che le tolleranze ammesse in fase di realizzazione siano conformi alle euronorme EN 1992-1991- EN206 - EN 1992-2005:

- Copriferro -5 mm (EC2 4.4.1.3)
- Per dimensioni  $\leq 150$  mm  $\pm 5$  mm
- Per dimensioni =400 mm  $\pm 15$  mm
- Per dimensioni  $\geq 2500$  mm  $\pm 30$  mm

Per i valori intermedi si interpola linearmente.

## DURABILITÀ

Per garantire la durabilità della struttura sono state prese in considerazione opportuni stati limite di esercizio (SLE) in funzione dell'uso e dell'ambiente in cui la struttura dovrà vivere limitando sia gli stati tensionali che nel caso delle opere in calcestruzzo anche l'ampiezza delle fessure. La definizione quantitativa delle prestazioni, la classe di esposizione e le verifiche sono riportati nel fascicolo delle elaborazioni numeriche allegate.

Inoltre per garantire la durabilità, così come tutte le prestazioni attese, è necessario che si ponga adeguata cura sia nell'esecuzione che nella manutenzione e gestione della struttura e si utilizzino tutti gli accorgimenti utili alla conservazione delle caratteristiche fisiche e dinamiche dei materiali e delle strutture. La qualità dei materiali e le dimensioni degli elementi sono coerenti con tali obiettivi.

Durante le fasi di costruzione il direttore dei lavori implementerà severe procedure di controllo sulla qualità dei materiali, sulle metodologie di lavorazione e sulla conformità delle opere eseguite al progetto esecutivo nonché alle prescrizioni contenute nelle "Norme Tecniche per le Costruzioni" DM 17.01.2018. e relativa circolare 07/2019.

## METODI DI CALCOLO

I metodi di calcolo adottati per il calcolo sono i seguenti:

- 1) Per i carichi statici: *METODO DELLE DEFORMAZIONI*;
- 2) Per i carichi sismici: metodo dell'*ANALISI MODALE*.

Per lo svolgimento del calcolo si è accettata l'ipotesi che, in corrispondenza dei piani sismici, i solai siano infinitamente rigidi nel loro piano e che le masse ai fini del calcolo delle forze di piano siano concentrate alle loro quote.

## CALCOLO SPOSTAMENTI E CARATTERISTICHE

Il calcolo spostamenti e caratteristiche viene effettuato con il metodo degli elementi finiti (F.E.M.).

Possono essere inseriti due tipi di elementi:

- 1) L'elemento monodimensionale asta ("beam") che unisce due nodi aventi ciascuno 6 gradi di libertà spaziale. Per maggiore precisione di calcolo, viene tenuta in conto anche la deformabilità a taglio e quella assiale di questi elementi. Queste aste inoltre non sono considerate flessibili da nodo a nodo ma hanno sulla parte iniziale e finale due tratti infinitamente rigidi formati dalla parte di trave connessa con il pilastro; questi tratti rigidi forniscono al nodo una dimensione reale.
- 2) L'elemento bidimensionale setto ("quad") che unisce quattro nodi nello spazio. Il suo comportamento è duplice, funziona da parete di taglio (lastra) per i carichi agenti sul suo piano, da muro di sostegno (piastra) per i carichi ortogonali. .

Assemblate tutte le matrici di rigidezza degli elementi in quella della struttura spaziale la risoluzione del sistema viene perseguita tramite il metodo di Cholesky.

Ai fini della risoluzione della struttura, gli spostamenti X e Y e le rotazioni attorno l'asse verticale Z di tutti i nodi che giacciono su di un impalcato dichiarato rigido sono mutuamente vincolati.

## RELAZIONE SUI MATERIALI

Le caratteristiche meccaniche dei materiali sono descritte nei tabulati riportati nel seguito per ciascuna tipologia di materiale utilizzato.

## ANALISI SISMICA DINAMICA A MASSE CONCENTRATE

L'analisi sismica dinamica è stata svolta con il metodo dell'analisi modale; la ricerca dei modi e delle relative frequenze è stata perseguita con il metodo delle "iterazioni nel sottospazio".

I modi di vibrazione considerati sono in numero tale da assicurare l'eccitazione di più dell'85% della massa totale della struttura.

Per ciascuna direzione di ingresso del sisma si sono valutate le forze modali che vengono applicate su ciascun nodo spaziale (tre forze, in direzione X, Y e Z, e tre momenti).

Per la verifica della struttura si è fatto riferimento all'analisi modale, pertanto sono prima calcolate le sollecitazioni e gli spostamenti modali e poi viene calcolato il loro valore efficace.

I valori stampati nei tabulati finali allegati sono proprio i suddetti valori efficaci e pertanto l'equilibrio ai nodi perde di significato. I valori delle sollecitazioni sismiche sono combinate linearmente (in somma e in differenza) con quelle per carichi statici per ottenere le sollecitazioni per sisma nelle due direzioni di calcolo.

Gli angoli delle direzioni di ingresso dei sismi sono valutati rispetto all'asse X del sistema di riferimento globale.

## VERIFICHE

Le verifiche, svolte secondo il metodo degli stati limite ultimi e di esercizio, si ottengono involupando tutte le condizioni di carico prese in considerazione.

In fase di verifica è stato differenziato l'elemento trave dall'elemento pilastro. Nell'elemento trave le armature sono disposte in modo asimmetrico, mentre nei pilastri sono sempre disposte simmetricamente.

Per l'elemento trave, l'armatura si determina suddividendola in cinque conci in cui l'armatura si mantiene costante, valutando per tali conci le massime aree di armatura superiore ed inferiore richieste in base ai momenti massimi riscontrati nelle varie combinazioni di carico esaminate. Lo stesso criterio è stato adottato per il calcolo delle staffe.

Anche l'elemento pilastro viene scomposto in cinque conci in cui l'armatura si mantiene costante. Vengono però riportate le armature massime richieste nella metà superiore (testa) e inferiore (piede).

La fondazione su travi rovesce è risolta contemporaneamente alla sovrastruttura tenendo in conto sia la rigidezza flettente che quella torcente, utilizzando per l'analisi agli elementi finiti l'elemento asta su suolo elastico alla *Winkler*.

Le travate possono incrociarsi con angoli qualsiasi e avere dei disassamenti rispetto ai pilastri su cui si appoggiano.

La ripartizione dei carichi, data la natura matriciale del calcolo, tiene automaticamente conto della rigidezza relativa delle varie travate convergenti su ogni nodo.

Le verifiche per gli elementi bidimensionali (setti) vengono effettuate sovrapponendo lo stato tensionale del comportamento a lastra e di quello a piastra. Vengono calcolate le armature delle due facce dell'elemento bidimensionale disponendo i ferri in due direzioni ortogonali.

## 3 - RELAZIONE SULLE FONDAZIONI

### 3.1 – CARATTERIZZAZIONE DEL TERRENO

Il dimensionamento delle fondazioni viene trattato da altro progetto, cui si rimanda per tutte le caratteristiche.

Nel progetto delle strutture in elevazione si è considerato un sottosuolo appartenente alla categoria “C” - **Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.**

I dati sulla geologia del suolo sono raccolti negli elaborati, allegati al progetto delle fondazioni:

## 4 – REGOLE PER L'ESECUZIONE

In fase di progetto è stata posta particolare attenzione nella individuazione e nella definizione delle tolleranze di lavorazione, esecuzione e montaggio, soprattutto per le membrature sensibili a fenomeni di instabilità. Le limitazioni sull'arcuatura contenute nella maggior parte delle regole di classificazione secondo la resistenza meccanica sono inadeguate ai fini della selezione del materiale per questi elementi, e pertanto è stata posta particolare attenzione alla loro rettilineità.

Verranno adottati i necessari provvedimenti in fase di stoccaggio, trasporto e costruzione affinché i componenti e gli elementi strutturali di legno e a base di legno non subiscano variazioni di umidità conseguenti ad esposizioni climatiche più severe di quelle attese per la struttura finita.

Prima di essere utilizzato nella costruzione, si raccomanda che il legno sia essiccato fino al valore di umidità appropriato alle condizioni climatiche di esercizio della struttura finita Limitatamente ai casi previsti al §4.4.15 delle NTC per i quali siano accettate umidità maggiori durante la messa in opera, specifica attenzione verrà posta nella definizione delle condizioni necessarie per un corretto essiccamento in opera prevedendo in fase progettuale gli effetti del processo di essiccamento sul comportamento strutturale.

Nelle regioni dei collegamenti di carpenteria e di quelli meccanici sarà limitata la presenza di nodi, cretti, smussi o altri difetti, che possano ridurre la capacità portante del collegamento.

Se non diversamente previsto in sede progettuale ed espressamente specificato, si raccomanda che i chiodi siano infissi ortogonalmente rispetto alla fibratura e fino a una profondità tale che le superfici delle teste risultino a filo della superficie del legno.

Si raccomanda che il diametro delle preforature non sia maggiore di 0,8 d, essendo d il diametro del chiodo.

Si raccomanda che i fori nel legno per i bulloni abbiano un diametro che non sia più grande di 1 mm rispetto al diametro d del bullone.

Si raccomanda che i fori nelle piastre di acciaio per i bulloni abbiano un diametro non maggiore di max (2mm; 0,1d).

Al di sotto della testa del bullone e del dado saranno utilizzate rondelle aventi lunghezza del lato o diametro pari ad almeno 3d e spessore pari ad almeno 0,d e che le superfici di contatto tra rondella, legno, dado, testa del bullone saranno conformi su tutto il loro contorno.

Si raccomanda che bulloni e tirafondi siano serrati in modo tale che gli elementi siano perfettamente accostati. Quando il legno raggiunge l'umidità di equilibrio in fase di costruzione, si deve procedere ad un ulteriore controllo del serraggio al fine di assicurare il mantenimento della capacità portante e della rigidità della struttura.

Per le unioni con spinotti, il diametro dello spinotto non sarà minore di 6 mm, e le tolleranze sul suo diametro saranno entro 0/+0,1 mm, le preforature negli elementi di legno avranno un diametro non maggiore di quello dello spinotto e i fori delle eventuali piastre di acciaio avranno un diametro non superiore a 1 mm rispetto al diametro dello spinotto.

Per viti infisse in legno di conifera, con diametro del gambo liscio d 6 mm, non è richiesta la preforatura. Per tutte le viti infisse in legno di latifoglie e per viti in legno di conifere aventi un diametro d > 6 mm, è richiesta preforatura tale che:

- il foro-guida per il gambo avrà diametro uguale a quello del gambo stesso e profondità uguale alla lunghezza del gambo;
- il foro-guida per la porzione filettata avrà un diametro pari approssimativamente al 70% del diametro del gambo.

Per legno con massa volumica maggiore di 500 kg/m<sup>3</sup>, si raccomanda che il diametro di preforatura sia determinato tramite prove.

Si raccomanda che siano seguite le prescrizioni del produttore dell'adesivo, in relazione alla conservazione, miscelazione e applicazione, alle condizioni ambientali necessarie, sia in fase di applicazione sia in fase di indurimento, all'umidità degli elementi e a tutti i fattori pertinenti al corretto utilizzo dell'adesivo.

Per gli adesivi per i quali il raggiungimento della piena resistenza richiede un periodo di condizionamento dopo l'indurimento iniziale, si raccomanda che l'applicazione di carichi non avvenga per tutto il tempo necessario. In fase di montaggio della struttura si raccomanda di evitare sovraccarichi sugli elementi o sulle connessioni, di porre particolare attenzione alla rispondenza degli elementi strutturali alle prescrizioni progettuali con riferimento alle condizioni di umidità, alla presenza di distorsione, di spaccature, difetti o imprecisioni di lavorazione in corrispondenza dei giunti, prevedendo eventualmente la sostituzione degli elementi difettosi. Nelle fasi di immagazzinamento, trasporto o messa in opera si raccomanda che il sovraccarico degli elementi sia accuratamente evitato. Se la struttura è caricata o vincolata provvisoriamente durante la costruzione in maniera differente da quella prevista nelle condizioni di esercizio in opera, la condizione temporanea sarà considerata come uno specifico caso di carico, includendo ogni possibile azione dinamica. Nel caso di strutture a telaio, archi intelaiati, portali intelaiati, si raccomanda di porre particolare cura nell'evitare distorsioni durante il sollevamento dalla posizione orizzontale a quella verticale.

## 5 – RELAZIONE DI CALCOLO

### 5.1 ELEVAZIONE

#### 5.1.1 PREMESSE

La seguente relazione fa riferimento ai calcoli strutturali relativi alla realizzazione della copertura con struttura ad archi in legno lamellare di 3 nuovi campi per il gioco del Padel presso il centro sportivo "REBEL" sito in comune di Soliera (MO) via Corte.

Il fabbricato, di pianta rettangolare, è costituito da un piano fuori terra adibito ad attività sportive, coperto da un sistema di 7 archi in legno lamellare sez. 12 \* 72 cm, controventati con puntoni antisbandamento in legno lamellare sez. 12\*16 cm e con controventi in acciaio  $\phi$  16 sulle due campate di estremità. Le travi di banchina, quelle sulle quali, lateralmente è ancorato il telo, avranno dimensioni pari a 28\*16 cm.

La struttura fondale, così come il dimensionamento della stessa, è considerata in altro progetto.

La struttura verrà verificata attraverso un apposito software agli elementi finiti (CDS win) con il quale è stata eseguita una analisi sismica dinamica modale con la quale è stata eccitata almeno l'85% della massa.

#### 5.1.2 - ANALISI MODALE

È stato utilizzato un modello tridimensionale della struttura che ne considera l'articolazione planimetrica ed altimetrica e si è tenuto conto di un numero di modi di vibrazione sufficiente ad assicurare l'eccitazione di più dell'85 % della massa totale della struttura, così come risulta dalla tabella che segue:

| FREQUENZE E MASSE ECCITATE |                      |               |              |          |          |            |            |            |          |                    |             |                    |             |                    |       |
|----------------------------|----------------------|---------------|--------------|----------|----------|------------|------------|------------|----------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|-------|
| Modo N.ro                  | Pulsazione (rad/sec) | Periodo (sec) | Smorz Mod(%) | Sd/g SLO | Sd/g SLD | Sd/g SLV X | Sd/g SLV Y | Sd/g SLV Z | Sd/g SLC | SISMA N.ro 1       |             | SISMA N.ro 2       |             | SISMA N.ro 3       |       |
|                            |                      |               |              |          |          |            |            |            |          | Massa 12.32        | Perc. 90.41 | Massa 12.55        | Perc. 92.15 | Massa              | Perc. |
|                            |                      |               |              |          |          |            |            |            |          | Massa Mod Ecc. (t) | Perc.       | Massa Mod Ecc. (t) | Perc.       | Massa Mod Ecc. (t) | Perc. |
| 1                          | 16,297               | 0,38554       | 5,0          | 0,164    | 0,210    | 0,443      | 0,443      |            | 0,729    | 0,00               | 0           | 5,81               | 43          |                    |       |
| 2                          | 16,341               | 0,38450       | 5,0          | 0,164    | 0,210    | 0,443      | 0,443      |            | 0,729    | 0,00               | 0           | 0,00               | 0           |                    |       |
| 3                          | 16,387               | 0,38344       | 5,0          | 0,164    | 0,210    | 0,443      | 0,443      |            | 0,729    | 0,00               | 0           | 0,22               | 2           |                    |       |
| 4                          | 16,886               | 0,37209       | 5,0          | 0,164    | 0,210    | 0,443      | 0,443      |            | 0,729    | 0,00               | 0           | 0,00               | 0           |                    |       |
| 5                          | 16,887               | 0,37208       | 5,0          | 0,164    | 0,210    | 0,443      | 0,443      |            | 0,729    | 0,00               | 0           | 6,53               | 48          |                    |       |
| 6                          | 21,675               | 0,28988       | 5,0          | 0,164    | 0,210    | 0,443      | 0,443      |            | 0,729    | 8,70               | 64          | 0,00               | 0           |                    |       |
| 7                          | 49,370               | 0,12727       | 5,0          | 0,157    | 0,195    | 0,416      | 0,416      |            | 0,665    | 0,00               | 0           | 0,00               | 0           |                    |       |
| 8                          | 71,740               | 0,08758       | 5,0          | 0,128    | 0,160    | 0,357      | 0,357      |            | 0,547    | 3,62               | 27          | 0,00               | 0           |                    |       |
| 9                          | 72,644               | 0,08649       | 5,0          | 0,128    | 0,159    | 0,356      | 0,356      |            | 0,544    | 0,00               | 0           | 0,00               | 0           |                    |       |
| 10                         | 72,699               | 0,08643       | 5,0          | 0,128    | 0,159    | 0,356      | 0,356      |            | 0,544    | 0,00               | 0           | 0,00               | 0           |                    |       |
| 11                         | 72,752               | 0,08636       | 5,0          | 0,128    | 0,159    | 0,356      | 0,356      |            | 0,544    | 0,00               | 0           | 0,00               | 0           |                    |       |
| 12                         | 75,784               | 0,08291       | 5,0          | 0,125    | 0,156    | 0,351      | 0,351      |            | 0,534    | 0,00               | 0           | 0,00               | 0           |                    |       |

### 5.1.3 ANALISI DEI CARICHI

#### 5.1.3.1 CARICHI PERMANENTI

**COP. (Condizione 2)**      0,70      \*      5,8      =      4,06 kg/m      =      **0,004 ton/m**

#### 5.1.3.2 CARICO DI NEVE

zona      **I Med**      **MO**  
 altitudine      24 m

##### 5.1.3.2.1 NEVE SENZA VENTO (Condizione 3)

$q_{neve} = \mu * q_{sk} * C_e * C_t = 1,2 \text{ kN/m}^2$       su ogni arco      6,96 kN/m = **0,696 ton/m**  
 $\mu = 0,80$   
 $q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2$   
 $C_e = 1,00$   
 $C_t = 1,00$

##### 5.1.3.2.2 NEVE CON VENTO (Condizione 6)

$q_{neve} = \mu_3 * q_{sk} * C_e * C_t = 3 \text{ kN/m}^2$       su ogni arco      17,40 kN/m = **1,740 ton/m**  
 $\mu_3 = 0,2 + 10 * h/b = 4,2$   
 $q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2$   
 $C_e = 1,00$       sottovento      **0,87 ton/m**  
 $C_t = 1,00$

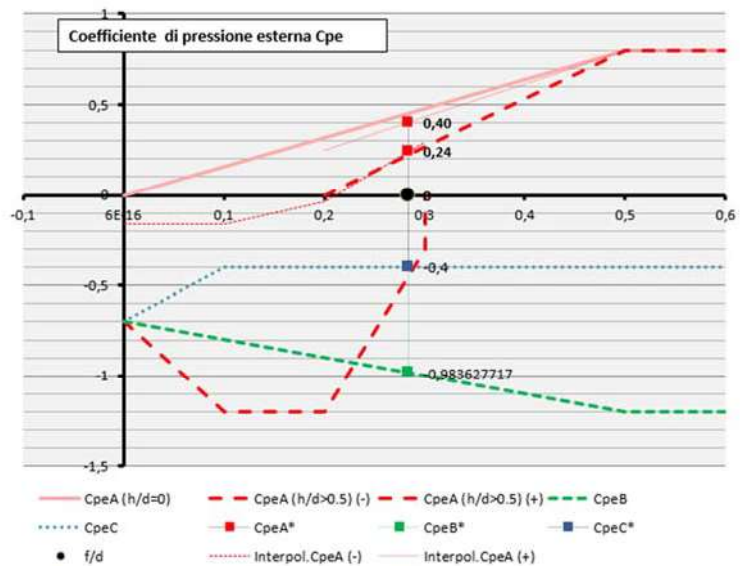
#### 5.1.3.3 VENTO

Si utilizza la circ. 07/2019 in particolare l'art. C3.3.8.1.7 "Coperture a volta cilindrica".

$h = 3,36 \text{ m}$   
 $f = 8,06 \text{ m}$   
 $d = 25,36 \text{ m}$   
 per cui:  
 $h/d = 0,1325$   
 $f/d = 0,1786$   
 $z = h + f/2 = 7,39$

in questo caso, poiché  $f/d$  è compreso tra 0.2 e 0.3, i casi 01 e 02 coincidono.  
 I due casi sono diversi quando  $0.2 < f/d < 0.3$

i valori di  $C_{peA}$ ,  $C_{peB}$ ,  $C_{peC}$  sono indicati nel grafico a lato e valgono:  
 $C_{peA}$  (caso 01) = 0,457  
 $C_{peA}$  (caso 02) = 0,457  
 $C_{peB} = -1.0178$   
 $C_{peC} = -0.40$



REGIONE      **EMILIA ROMAGNA**

Zona      2  
 as      24      m  
 a<sub>0</sub>      750      m  
 V<sub>b0</sub>      25      m/s  
 K<sub>a</sub>      0,024

→ N.B. se  $a_s \leq a_0$  allora  $v_b = v_{b0}$ , altrimenti  $v_b = v_{b0} + k_a * (a_s - a_0)$



Pressione cinetica di riferimento  $q_b$

$$v_b = 25,00 \text{ m/s}$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = 39,06 \text{ kg/m}^2 = 390,63 \text{ N/m}^2$$

Caratteristiche del sito

|                          |      |
|--------------------------|------|
| classe di rugosità       | D    |
| categoria di esposizione | II   |
| $K_r$                    | 0,19 |
| $z_0$ (m)                | 0,05 |
| $z_{min}$ (m)            | 4,00 |

**5.1.3.3.1 VENTO TRASVERSALE (Condizione 4)**

pressione del vento

**CASO 01**

| $\alpha^\circ$ |         | $q_v$ | $q_b$ | * | $i$  | * | $C_p$ | * | $C_e$ | * | $C_d$ | = | $\downarrow$ |      |
|----------------|---------|-------|-------|---|------|---|-------|---|-------|---|-------|---|--------------|------|
| 82             | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | 0,80  | * | 1,80  | * | 1     | = | 326,35       | kg/m |
| 63             | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | 0,46  | * | 1,86  | * | 1     | = | 194,28       | kg/m |
| 45             | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | 0,46  | * | 2,01  | * | 1     | = | 209,96       | kg/m |
| 26             | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | -1,02 | * | 2,01  | * | 1     | = | -464,20      | kg/m |
| 12             | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | -1,02 | * | 2,01  | * | 1     | = | -464,20      | kg/m |
| 4              | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | -1,02 | * | 2,01  | * | 1     | = | -464,20      | kg/m |
| -4             | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | -1,02 | * | 2,01  | * | 1     | = | -464,20      | kg/m |
| -12            | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | -1,02 | * | 2,01  | * | 1     | = | -464,20      | kg/m |
| -26            | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | -0,40 | * | 2,01  | * | 1     | = | -182,57      | kg/m |
| -45            | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | -0,40 | * | 2,01  | * | 1     | = | -182,57      | kg/m |
| -63            | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | -0,40 | * | 1,86  | * | 1     | = | -168,94      | kg/m |
| -82            | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | -0,40 | * | 1,80  | * | 1     | = | -163,17      | kg/m |

**5.1.3.3.2 VENTO TRASVERSALE (Condizione 5)**

pressione del vento

**CASO 02**

| $\alpha^\circ$ |         | $q_v$ | $q_b$ | * | $i$  | * | $C_p$ | * | $C_e$ | * | $C_d$ | = | $\downarrow$ |      |
|----------------|---------|-------|-------|---|------|---|-------|---|-------|---|-------|---|--------------|------|
| 82             | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | 0,80  | * | 1,80  | * | 1     | = | 326,35       | kg/m |
| 63             | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | 0,46  | * | 1,86  | * | 1     | = | 194,28       | kg/m |
| 45             | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | 0,46  | * | 2,01  | * | 1     | = | 209,96       | kg/m |
| 26             | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | -1,02 | * | 2,01  | * | 1     | = | -464,20      | kg/m |
| 12             | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | -1,02 | * | 2,01  | * | 1     | = | -464,20      | kg/m |
| 4              | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | -1,02 | * | 2,01  | * | 1     | = | -464,20      | kg/m |
| -4             | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | -1,02 | * | 2,01  | * | 1     | = | -464,20      | kg/m |
| -12            | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | -1,02 | * | 2,01  | * | 1     | = | -464,20      | kg/m |
| -26            | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | -0,40 | * | 2,01  | * | 1     | = | -182,57      | kg/m |
| -45            | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | -0,40 | * | 2,01  | * | 1     | = | -182,57      | kg/m |
| -63            | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | -0,40 | * | 1,86  | * | 1     | = | -168,94      | kg/m |
| -82            | $q_v =$ | 39,06 | 39,06 | * | 5,80 | * | -0,40 | * | 1,80  | * | 1     | = | -163,17      | kg/m |

in cui:

- $i$  = interasse archi
- $C_p$  = coefficiente di forma

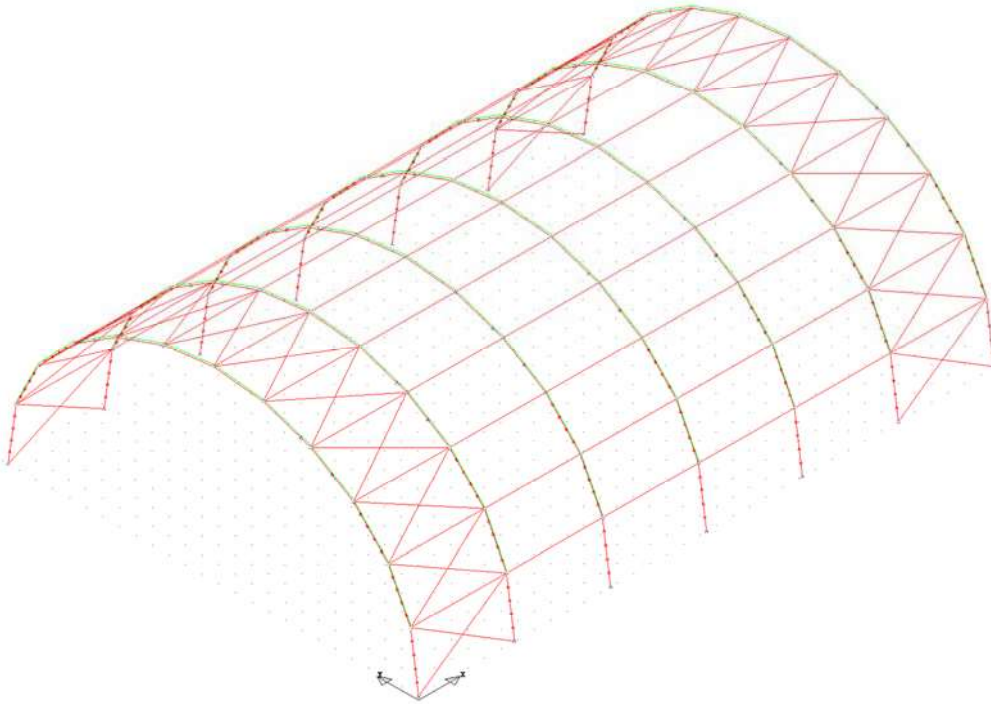
$c_e$  = coefficiente di esposizione  
 $c_d$  = coefficiente dinamico

**5.1.3.3 VENTO LONG. (Condizione 7)**

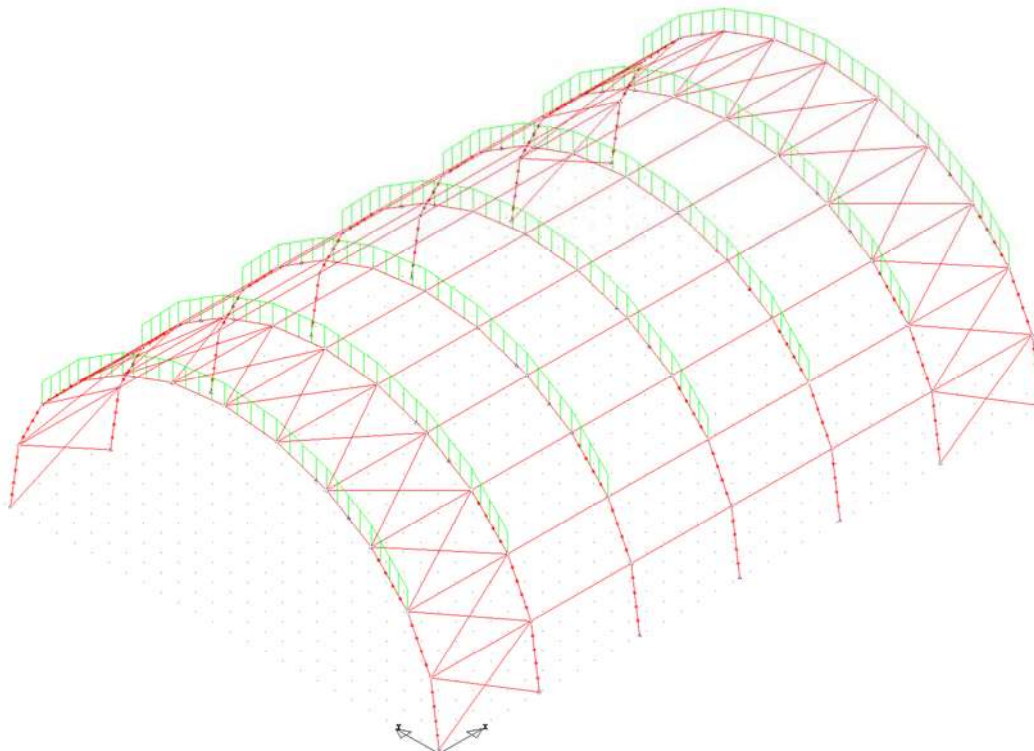
|                     |        |                |     |     |   |    |      |   |     |   |     |   |    |   |               |
|---------------------|--------|----------------|-----|-----|---|----|------|---|-----|---|-----|---|----|---|---------------|
| Area                | 286,30 | m <sup>2</sup> |     |     |   |    |      |   |     |   |     |   |    |   |               |
| perimetro -<br>base | 43,04  | m              |     |     |   |    |      |   |     |   |     |   |    |   |               |
| qb                  | 39,06  | *              | cpe | 0,8 | * | ce | 1,80 | * | 286 | * | 2/3 | / | 43 | = | <b>249,52</b> |
|                     |        |                |     |     |   |    |      |   |     |   |     |   |    |   | kg/m          |
|                     |        |                |     |     |   |    |      |   |     |   |     |   |    |   | <b>0,25</b>   |
|                     |        |                |     |     |   |    |      |   |     |   |     |   |    |   | ton/m         |

#### 5.1.4 SCHEMI CONDIZIONI DI CARICO

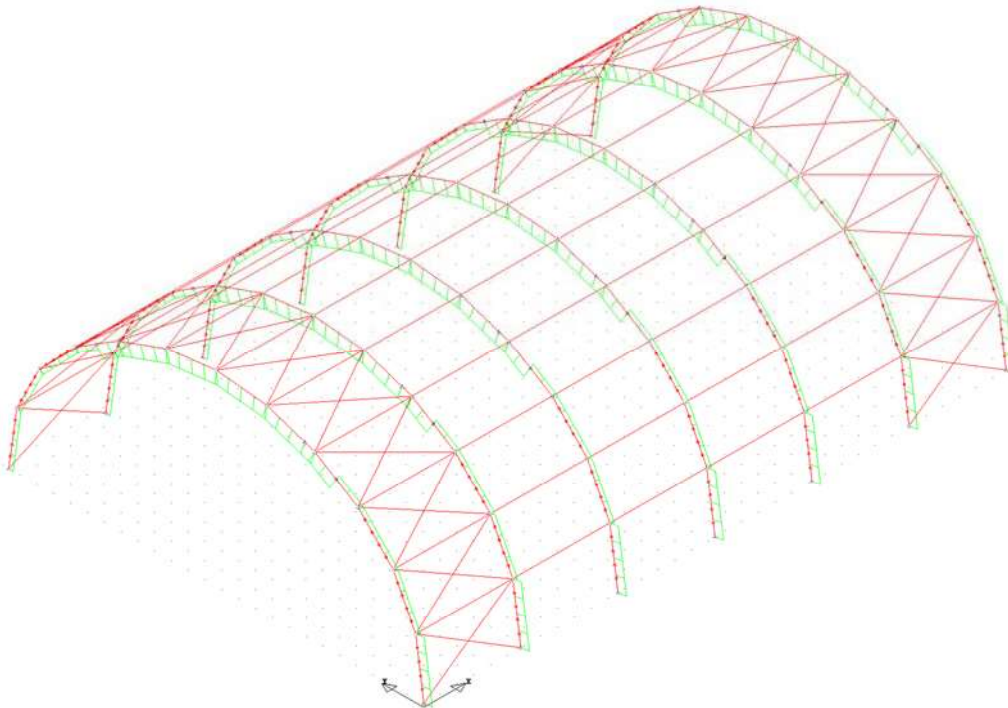
**TELO DI COPERTURA (condizione 2) = 4,06 kg/ml = 0,004 ton/ml**



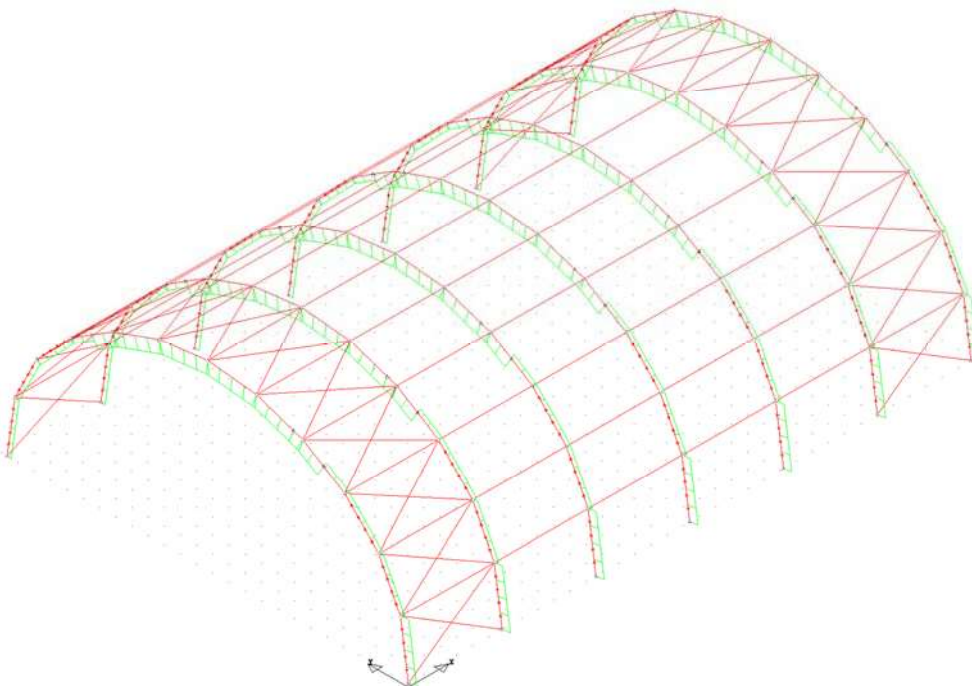
**NEVE SENZA VENTO (condizione 3) = 6,96 kN/m = 0,696 ton/m<sup>2</sup>**



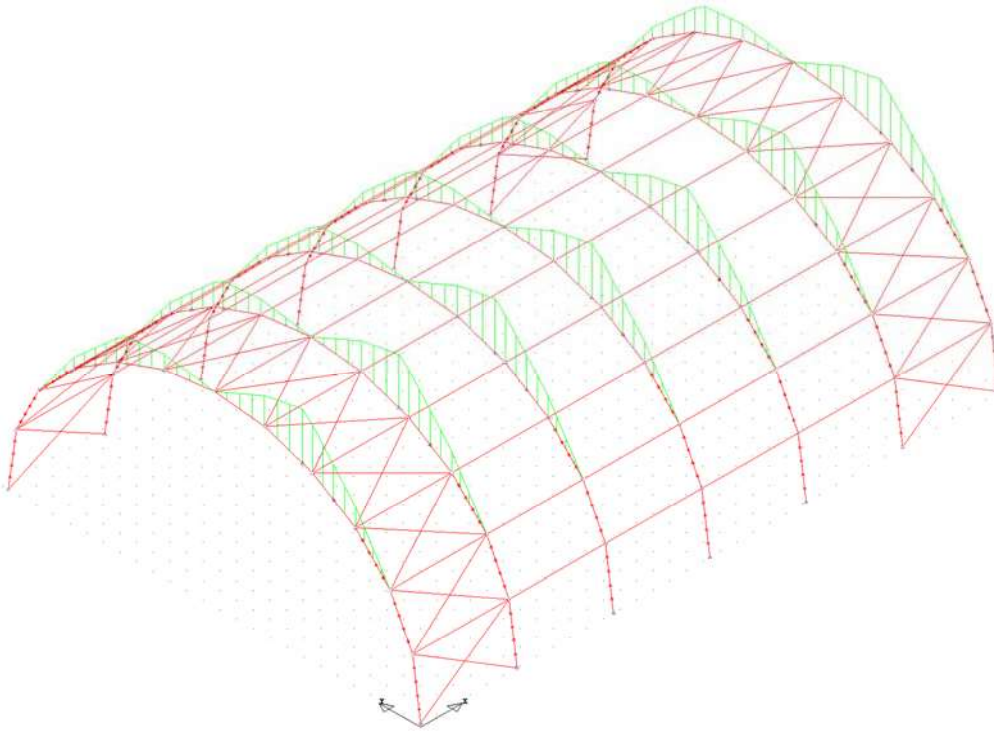
**VENTO TRASVERSALE variabile (condizione 4) = carico max = - 4,64 kN/m = - 0,464 ton/m**  
(vedi punto 5.1.3.3.1)



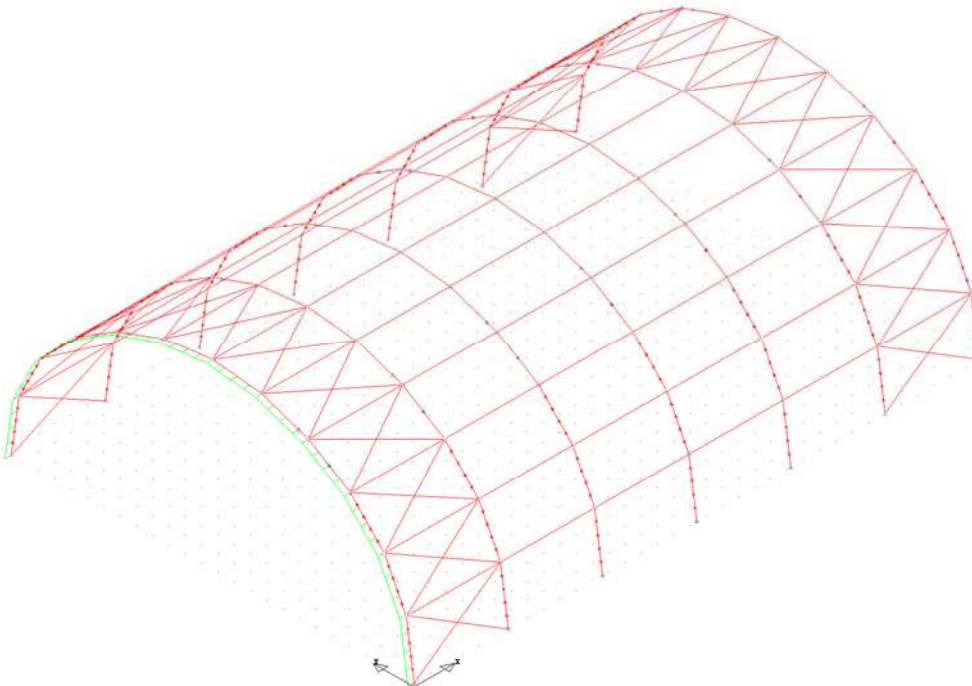
**VENTO TRASVERSALE variabile (condizione 5) = carico max = - 4,64 kN/m = - 0,464 ton/m**  
(vedi punto 5.1.3.3.2)



**NEVE CON VENTO variabile (condizione 6) = carico max = 17,40 kN/m = 1,740 ton/m**  
(vedi punto 5.1.3.2.2)

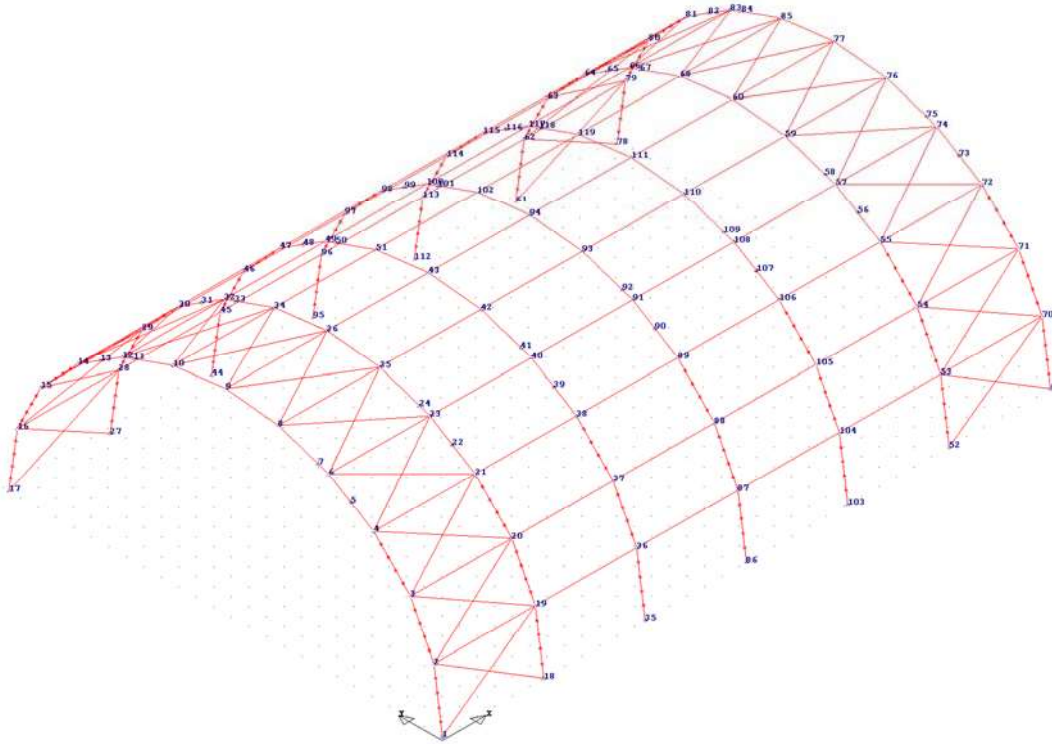


**VENTO LONGITUDINALE (condizione 7) = carico max = 249,52 kg/m = 0,250 ton/m**  
(vedi punto 5.1.3.3.2)

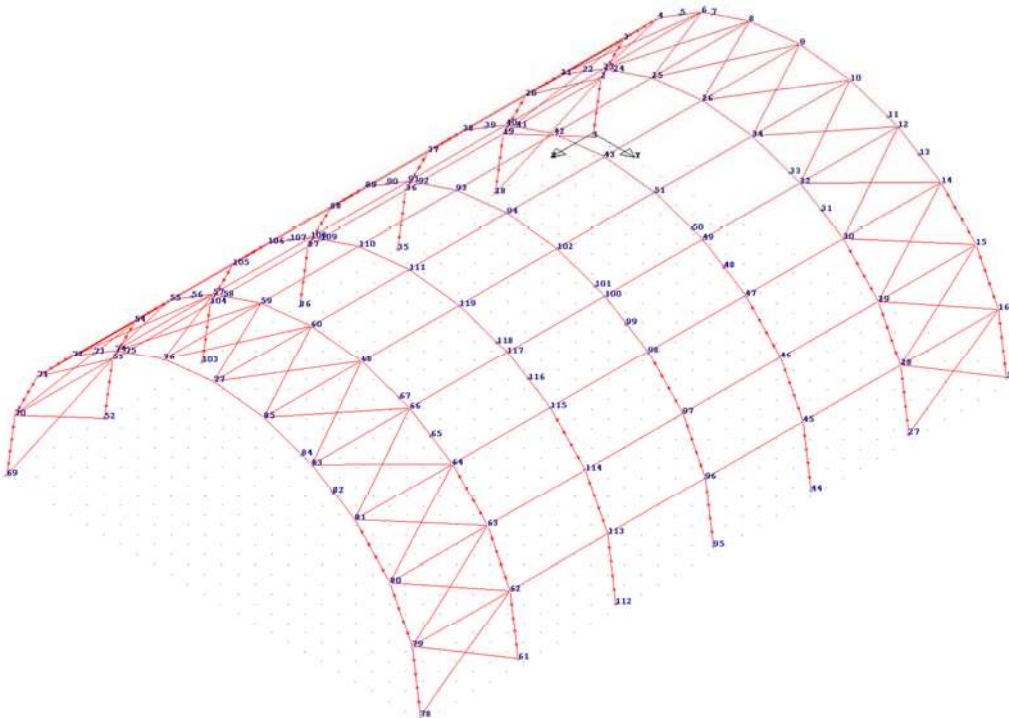




## 5.1.5 SCHEMI STRUTTURALI



VISTA DALL'ORIGINE DEGLI ASSI



VISTA DAL LATO OPPOSTO DELL'ORIGINE DEGLI ASSI

## 5.1.6 RELAZIONE DI CALCOLO ELEVAZIONE

Sono illustrati con la presente i risultati dei calcoli che riguardano il progetto degli elementi strutturali e la verifica delle tensioni di lavoro dei materiali.

### NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è costituita dall' *Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 17/01/2018 suppl. 8 G.U. 42 del 20/02/2018 e circolare 07/2019 G.U. 35/2019 del 11.02.2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 17 gennaio 2018*

### METODI DI CALCOLO

I metodi di calcolo adottati per il calcolo sono i seguenti:

- 1) Per i carichi statici: *METODO DELLE DEFORMAZIONI*;
- 2) Per i carichi sismici: metodo dell'*ANALISI MODALE*.

Per lo svolgimento del calcolo si è accettata l'ipotesi che, in corrispondenza dei piani sismici, i solai siano infinitamente rigidi nel loro piano e che le masse ai fini del calcolo delle forze di piano siano concentrate alle loro quote.

### CALCOLO SPOSTAMENTI E CARATTERISTICHE

Il calcolo degli spostamenti e delle caratteristiche viene effettuato con il metodo degli elementi finiti (**F.E.M.**).

Possono essere inseriti due tipi di elementi:

1) Elemento monodimensionale asta (*beam*) che unisce due nodi aventi ciascuno 6 gradi di libertà. Per maggiore precisione di calcolo, viene tenuta in conto anche la deformabilità a taglio e quella assiale di questi elementi. Queste aste, inoltre, non sono considerate flessibili da nodo a nodo ma hanno sulla parte iniziale e finale due tratti infinitamente rigidi formati dalla parte di trave inglobata nello spessore del pilastro; questi tratti rigidi forniscono al nodo una dimensione reale.

2) L'elemento bidimensionale shell (*quad*) che unisce quattro nodi nello spazio. Il suo comportamento è duplice, funziona da lastra per i carichi agenti sul suo piano, da piastra per i carichi ortogonali.

Assemblate tutte le matrici di rigidezza degli elementi in quella della struttura spaziale, la risoluzione del sistema viene perseguita tramite il *metodo di Cholesky*.

Ai fini della risoluzione della struttura, gli spostamenti X e Y e le rotazioni attorno l'asse verticale Z di tutti i nodi che giacciono su di un impalcato dichiarato rigido sono mutuamente vincolati.

### RELAZIONE SUI MATERIALI

Le caratteristiche meccaniche dei materiali sono descritte nei tabulati riportati nel seguito per ciascuna tipologia di materiale utilizzato e nella relazione sui materiali di cui al precedente punto **3 RELAZIONE SUI MATERIALI**.

### ANALISI SISMICA DINAMICA A MASSE CONCENTRATE

L'analisi sismica dinamica è stata svolta con il metodo dell'analisi modale; la ricerca dei modi e delle relative frequenze è stata perseguita con il metodo delle *"iterazioni nel sottospazio"*.

I modi di vibrazione considerati sono in numero tale da assicurare l'eccitazione di più dell'85% della massa totale della struttura.

Per ciascuna direzione di ingresso del sisma si sono valutate le forze modali che vengono applicate su ciascun nodo spaziale (tre forze, in direzione X, Y e Z, e tre momenti).

Per la verifica della struttura si è fatto riferimento all'analisi modale, pertanto sono prima calcolate le sollecitazioni e gli spostamenti modali e poi viene calcolato il loro valore efficace.

I valori stampati nei tabulati finali allegati sono proprio i suddetti valori efficaci e pertanto l'equilibrio ai nodi perde di significato. I valori delle sollecitazioni sismiche sono combinate linearmente (in somma e in differenza) con quelle per carichi statici per ottenere le sollecitazioni per sisma nelle due direzioni di calcolo.

Gli angoli delle direzioni di ingresso dei sismi sono valutati rispetto all'asse X del sistema di riferimento globale.

### VERIFICHE

Le verifiche, svolte secondo il metodo degli stati limite ultimi e di esercizio, si ottengono involupando tutte le condizioni di carico prese in considerazione.

In fase di verifica è stato differenziato l'elemento trave dall'elemento pilastro. Nell'elemento trave le armature sono disposte in modo asimmetrico, mentre nei pilastri sono sempre disposte simmetricamente.

Le travate possono incrociarsi con angoli qualsiasi e avere dei disassamenti rispetto ai pilastri su cui si appoggiano.

La ripartizione dei carichi, data la natura matriciale del calcolo, tiene automaticamente conto della rigidezza relativa delle varie travate convergenti su ogni nodo.