

# ANALISI DI VULNERABILITÀ AVANZATE DI STRUTTURE IN C.A. E MURATURA

**A cura del Settore di Calcolo Geotecnico**

*Ing. Paolo Sattamino - Direttore Commerciale*

*Ing. Ada Zirpoli - Coordinatore Tecnico*

*Ingg. A. Bertella, M. Dalla Valle, R. Giangualano - Supporto Tecnico*



# ANALISI E TECNOLOGIE PER LA MESSA IN SICUREZZA DEGLI EDIFICI INDUSTRIALI

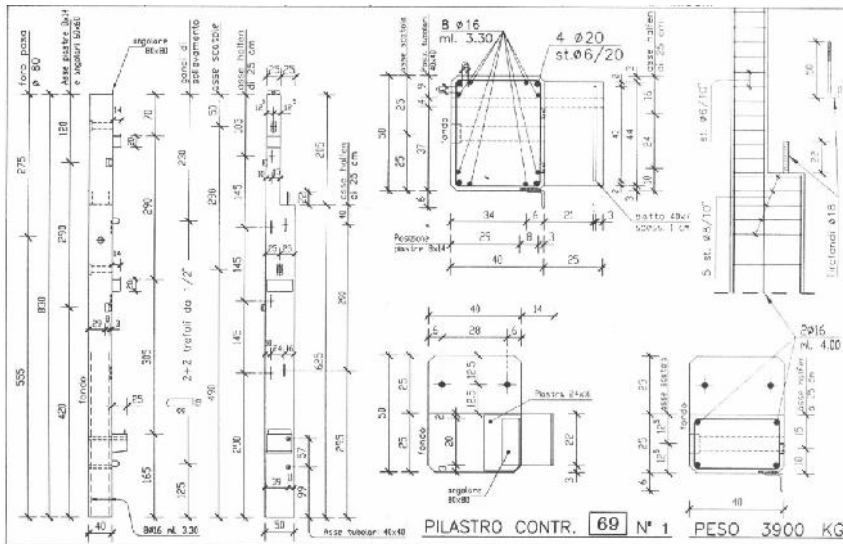
*Ing. Corrado Prandi – Studio Tecnico Civile Ing. Prandi, Correggio (RE)*



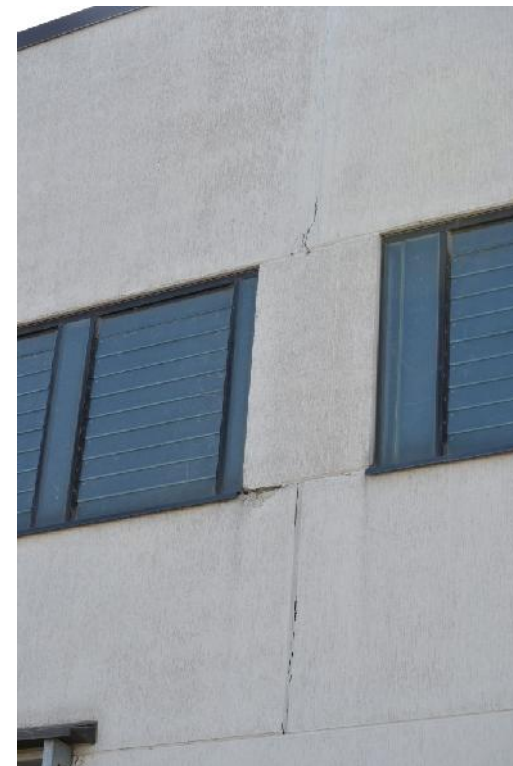
## OPERAZIONI PRELIMINARI AL PROGETTO DI MIGLIORAMENTO SISMICO

- ☐ Recupero della documentazione di progetto disponibile e riscontro con lo stato di fatto
- ☐ Rilievo dell'eventuale danneggiamento e spostamenti riconoscibili e riconducibili all'azione del sisma
- ☐ Riconoscimento della presenza e delle modalità di giunzione tra i componenti strutturali
- ☐ Riscontri delle caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati nella costruzione
- ☐ Classificazione sismica e caratterizzazione geomeccanica del terreno di fondazione

## Recupero della documentazione di progetto disponibile e riscontro con lo stato di fatto



Rilievo dell'eventuale danneggiamento e spostamenti riconoscibili e riconducibili all'azione del sisma

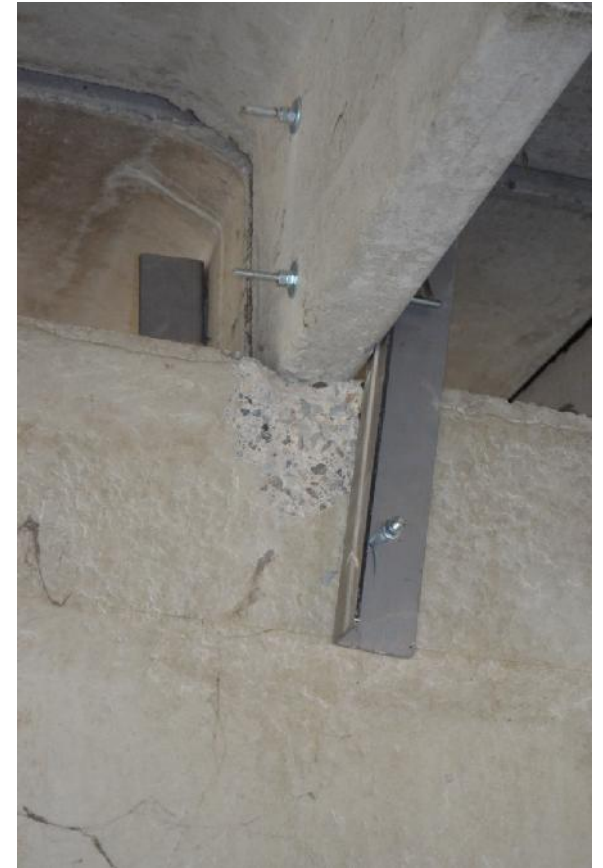
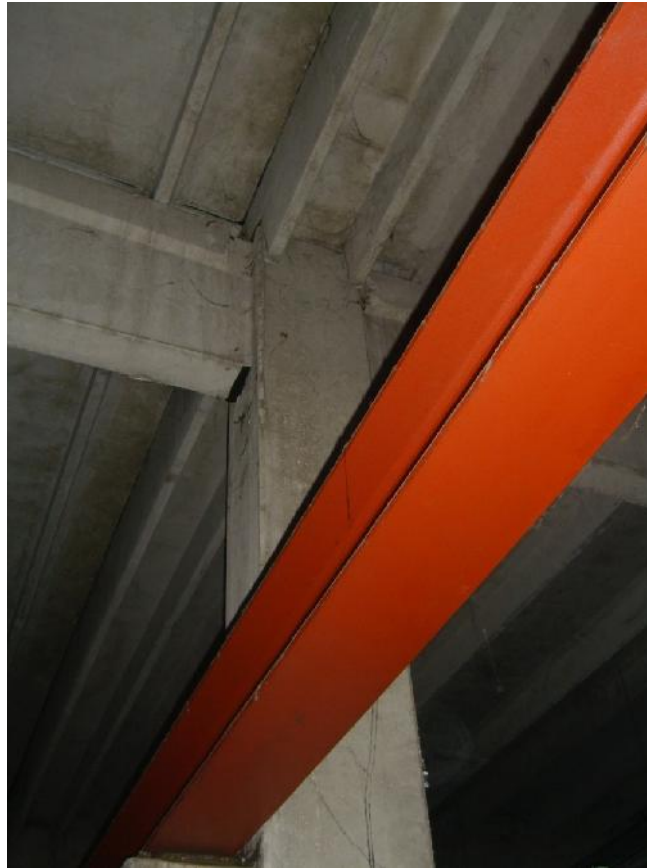






## Riconoscimento della presenza e delle modalità di giunzione tra i componenti strutturali







## Riscontri delle caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati nella costruzione

PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONI E TERRE  
AUTORIZZATO MIN. LL. PP. CON D. M. N. 10388

42100 TERAMO  
QUARTIERE SAN DOMENICO  
TEL. 0861 - 3021 - 30211

# LABORATORIO GEO-TECNOLOGICO EMILIANO S.p.A.

Proc. N. 187/78

Permess. 31/3/78

Rif. lettera n. del  
bolletta n. 144/78 del 11/3/78

## CERTIFICATO DI PROVE A COMPRESSIONE

Commissario: COOP. MURATORI E CEMENTISTI "CETAN"  
Indirizzo: Novi di Modona - via Statale Romana Sud, 36  
Provenienza del campione: C.S.A.  
Proprietà: "CETAN"  
Natura del campione: Produzione propria  
Data di consegna in laboratorio: 11/3/78  
Dannaggio Classe: q.li 4,20  
Cemento: 525

## RISULTATI DELLE PROVE

| N. | Commissario | Dimensioni cm. | Mass Kg. | Area compressa cm <sup>2</sup> | Resistenza critica Kg/cm <sup>2</sup> | Data collaudi                                           | Data prova |
|----|-------------|----------------|----------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------|
| 1  | - D.P. -    | 15x15x15       | 7,985    | 225                            | 530                                   | 24/3/78                                                 | 24/3/78    |
| 2  | "           | 15x15x15       | 7,970    | 225                            | 530                                   | "                                                       | "          |
| 3  | "           | 15x15x15       | 8,015    | 225                            | 545                                   | "                                                       | "          |
| 4  | "           | 15x15x15       | 8,010    | 225                            | 530                                   | "                                                       | "          |
| 5  | "           | 15x15x15       | 8,055    | 225                            | 575                                   | 27/2/78                                                 | 28/3/78    |
| 6  | "           | 15x15,2x15     | 8,030    | 226                            | 539,5                                 | "                                                       | "          |
| 7  | "           | 14,9x15,2x15   | 8,030    | 226,48                         | 521                                   | "                                                       | "          |
| 8  | "           | 15x15,5x15     | 8,065    | 232,5                          | 498,9                                 | Il Direttore lavori nello stato di avvenuta produzione. |            |

DIRETTORE DEL LAVORO: GIULIO CIMONDI  
Ing. G. Napolitano 1271 tel. 1006  
Dr. Ing. CARLO SANI  
Ing. G. Napolitano 1271 tel. 1006  
Ing. G. Napolitano 1271 tel. 1006

Ing. G. Napolitano 1271 tel. 1006  
Dr. Ing. CARLO SANI  
Ing. G. Napolitano 1271 tel. 1006

OSSERVAZIONI: I provini della data di consegna in laboratorio alla data di prova sono stati conservati in vasca climatizzata di maturazione.  
Stamp. dichiarata dal Commissario n. 11. Tipo di rottura: bipartimentale.

LO Sperimentatore

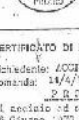
A.L.I. ASSOCIAZIONE LABORATORI INGEGNERIA  
per esperienze sui materiali da costruzione

L'ABONNAMENTO al presente periodico di costruzione  
con relazione tecnica, a richiesta del Direttore L.I.E.  
a. 1978 del 1977, segue alla pag. 10 del 1977.

ISTITUTO DI SCIENZA E TECNICA DELLE COSTRUZIONI

**LABORATORIO PROVE MATERIALI**

PIAZZA LEONARDO DA VINCI 32



PROV. 22 VERIFICA DELLA QUALITA'

di acciaio ed accendri migliorata per accendri uniti al sesto del Decreto Ministeriale 16 Giugno 1979, prove effettuate il giorno del prelievo.

Un incaricato di questo Istituto nei giorni antecedenti al collaudo ha provveduto al prelievo dei campioni da sottoporre a prova, dichiarati "accendri ed accendri migliorati", Fe 54.5, "accendri a caldo in barre", contraddistinti dal numero di lavorazione 101110100.

Le prove sono state eseguite dal tecnico di questo Istituto, presso le stabilimenti del Richiedente, presso officine della struttura delle macchine di prova.

In data 10/11/78

Il direttore lavori della stabilimento di produzione

DET. AN.

Milano, 31/10/78

Provando: ACCIAIERIE E FERRIERE FENOTTI E COMINI - NAVE

Domanda: 14/478



**UFFICIO DEL CAPO ELENCO DI PROVE**  
 Roma, 5 Novembre 1978  
 n. 1085

I risultati delle prove e la relativa modalità di esecuzione sono riportati nelle tabelle delle pagine seguenti.

A norma dell'attestato Esente è stata eseguita la determinazione dei valori caratteristici  $R_{yk}$  di  $R_k(S)$  e di  $R_k$  secondo la relazione:

$$R_{yk} = S_{yk} - (1,64 + \frac{2,33}{n}) \cdot (S + \frac{1}{\sqrt{n}}) \cdot C_n$$

dove:  $n$  è il numero dei saggi controllati ( $n = 75$ );  
 $S$  è la media degli  $n$  valori ottenuti;  
 $C_n$  è la curva quadratico media corrispondente.

I valori dei taccanti caratteristici di snervamento  $R_k(S)$  e di rottura  $R_k$  sono espressi in kg/cm<sup>2</sup>, sono analizzati nelle tabelle seguenti.

data prelievo

14/4/78

$R_k(S)$

48,2

$R_{yk}$

64,1

Il campione prelevato anteriormente al 14/4/78 figura anche nel precedente certificato n. 108/100 in data 11/4/78.

12 SOTTOSCRIZIONI

Il Direttore del Laboratorio

RISCONTRI sulla CONSISTENZA ed ARMATURA

di un PILASTRO in cemento armato

SEZIONE (mm):

$u = 400 \text{ mm}$   
 $t_r = 400 \text{ mm}$   
 $h = 1$

1 = m° 1 Ø 16 L = 4,5 mm  
2 = m° 1 Ø 16 L = 4,5 mm  
3 = m° 1 Ø 1 L = 1  
4 = m° 1 Ø 1 L = 1  
5 = m° 1 Ø/c 6/10 L = 1

⑤ PASSO HELIX STAFFE ÷ 200 cm

5 = m° 1 Ø 1 L = 1  
6 = m° 1 Ø 1 L = 1  
7 = m° 1 Ø 1 L = 1  
8 = m° 1 Ø 1 L = 1  
9 = m° 1 Ø 1 L = 1  
10 = m° 1 Ø 1 L = 1

Simbolizzazione impiegata:

S<sub>L</sub>, I

strumentazione impiegata

a) metodologia di misurazione

metà rigida - metà di n°3 misurazioni/  
distanciometro laser - II  
pacometria - II  
solerimetria - metà di n°10 misurazioni

Sistemi Cerro Clavio 79 - tel. (0522) 641324 - e2015 GONNORFIO (PR)

## Classificazione sismica e caratterizzazione geomeccanica del terreno di fondazione

Stendimento sismico MASW/ Re.Mi. 2

| Orizzonte<br>sismostratigrafico | Profondità da p.c.<br>(m) | Spessore<br>(m) | V <sub>s</sub><br>(m/sec) |
|---------------------------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|
| 1                               | 1,0 ÷ 6,5                 | 5,5             | 140                       |
| 2                               | 6,5 ÷ 11,0                | 4,5             | 190                       |
| 3                               | 11,0 ÷ 15,5               | 4,5             | 230                       |
| 4                               | 15,5 ÷ 28,0               | 12,5            | 320                       |
| 5                               | 28,0 ÷ 31,0               | 3               | 360                       |

Tab. a2

La definizione del valore  $V_{s30}$ , velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m del sottosuolo, si è calcolata mediante la relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{v_i}}$$

dove:

$h_i$  = spessore dello strato  $i$ -esimo, m

$v_i$  = velocità onde di taglio strato  $i$ -esimo, m/sec

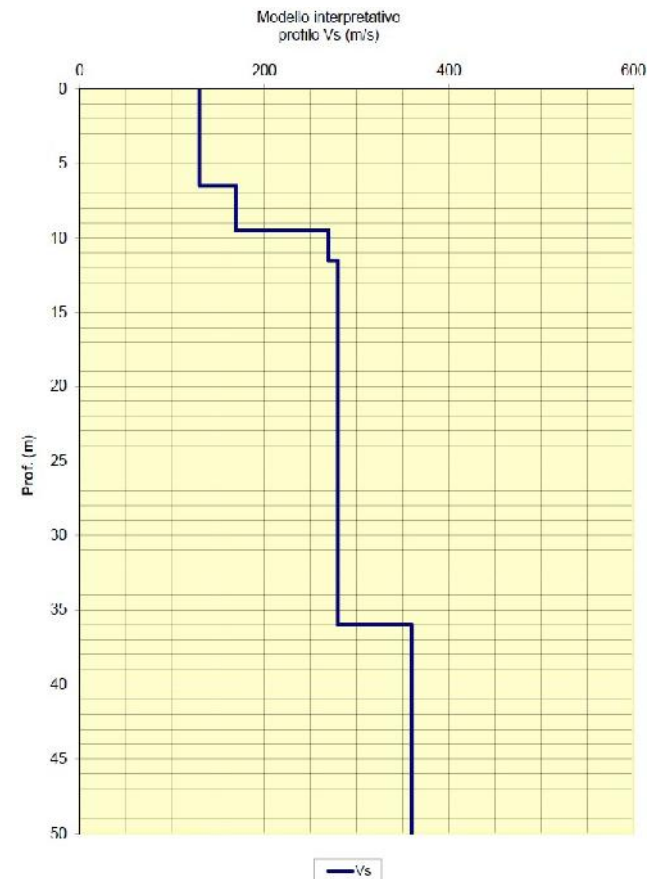
ottenendo:

$$\text{MASW/ Re.Mi.1 } V_{s30} = 219 \text{ m/s}$$

$$\text{MASW/ Re.Mi.2 } V_{s30} = 231 \text{ m/s}$$

Dalle valutazioni sopra esposte e dall'analisi della sequenza sismotecnica, risulta che i litotipi che formano i primi 30 m del sottosuolo, sono attribuibili a:

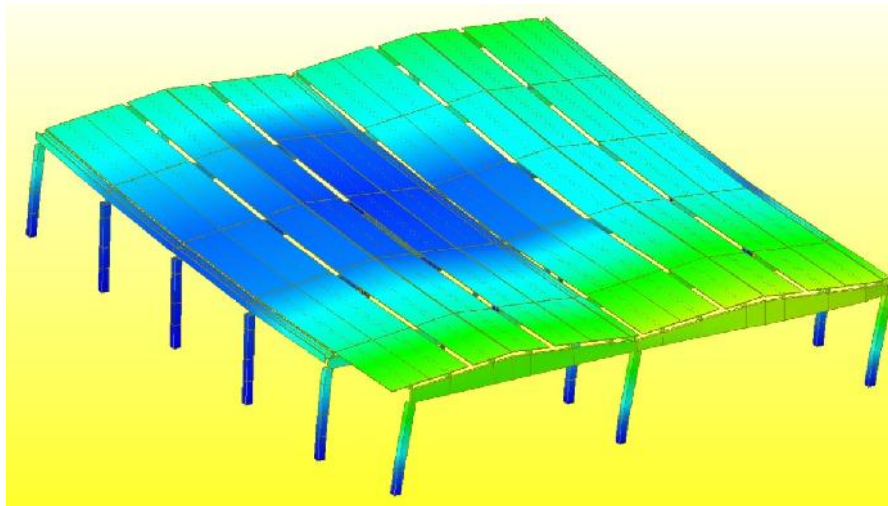
- **Categoria C:** Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).



## CREAZIONE DEL MODELLO STRUTTURALE

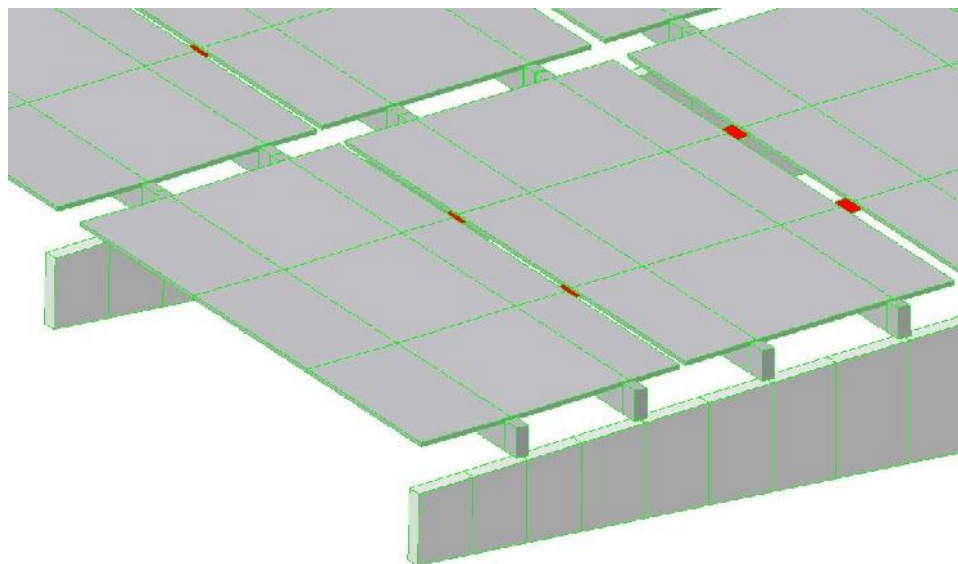
- ☐ Valutazione della distribuzione del danno e degli spostamenti residui nella struttura per riconoscerne le parti maggiormente sollecitate dal sisma
- ☐ Valutazione delle modalità rilevate nelle connessioni tra i componenti strutturali, per attribuire un probabile grado di vincolo nel modello
- ☐ Attribuzione del vincolo dei pilastri in fondazione
- ☐ Determinazione della max. azione del sisma accettabile per la costruzione allo stato attuale
- ☐ Inserimento degli interventi di miglioramento sismico e determinazione della max. azione del sisma accettabile per la costruzione nello stato modificato

Valutazione della distribuzione del danno e degli spostamenti residui nella struttura per riconoscerne le parti maggiormente sollecitate dal sisma



Le parti riconosciute al vero maggiormente gravate, dovrebbero trovare coerente riscontro nei risultati offerti dal modello; la presenza eventuale di importanti difformità, indirizza nell'intervenire sul modello per conseguire risultati più coerenti.

Valutazione delle modalità rilevate nelle connessioni tra i componenti strutturali, per attribuire un probabile grado di vincolo nel modello

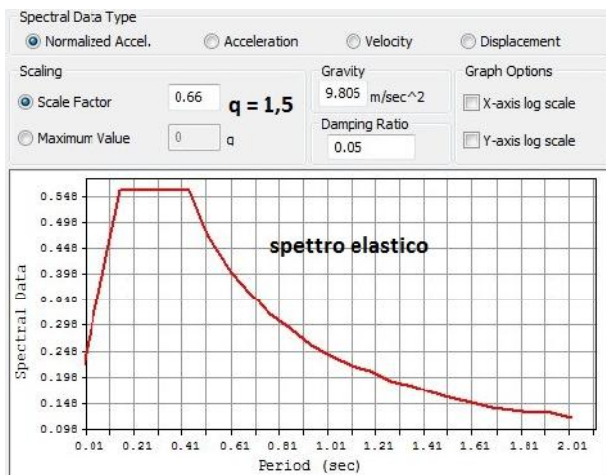


L'attenzione nella modellazione delle connessioni tra i componenti strutturali, favorisce l'attribuzione delle più probabili rigidezze al modello, con possibilità di una maggiore accuratezza nell'individuazione del tagliante sismico di pertinenza e nella distribuzione delle forze d'inerzia nelle varie parti della costruzione

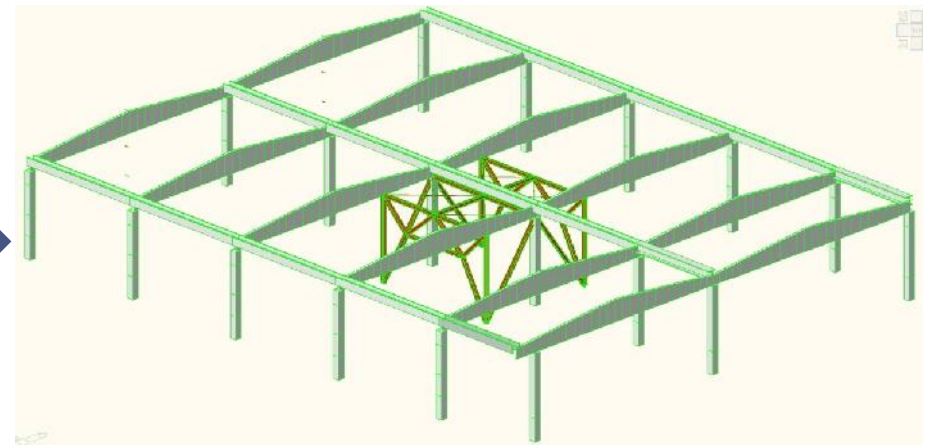
### Attribuzione del vincolo dei pilastri in fondazione

|                            |           |   |      |
|----------------------------|-----------|---|------|
| PLINTO                     | lato (cm) |   | 290  |
| N (kg)                     | 27500     |   |      |
| M (kg*cm)                  | 3400000   |   |      |
| eccentricità (cm)          | 124       | > | 48.3 |
| smax (kg/cm <sup>2</sup> ) | 2.96      |   |      |
| K (kg/cm <sup>2</sup> )    | 1.00      |   |      |
| rotazione (°)              | 0.58      |   |      |
| rigidezza<br>(kgm/rad)     | 3332144   |   |      |

L'attenzione nella valutazione della possibile valutazione della rigidezza rotazionale in fondazione, favorisce l'attribuzione delle più probabili rigidezze al modello, con possibilità di una maggiore accuratezza nell'individuazione del tagliante sismico di pertinenza e nella distribuzione delle forze d'inerzia nelle varie parti della costruzione; l'attribuzione del vincolo di incastro in fondazione può non essere la condizione più cautelativa.



| LoadCase | Direction | Scale |
|----------|-----------|-------|
| sisma X  | X-Y       | 0.6   |
| sisma y  | X-Y       | 0.6   |

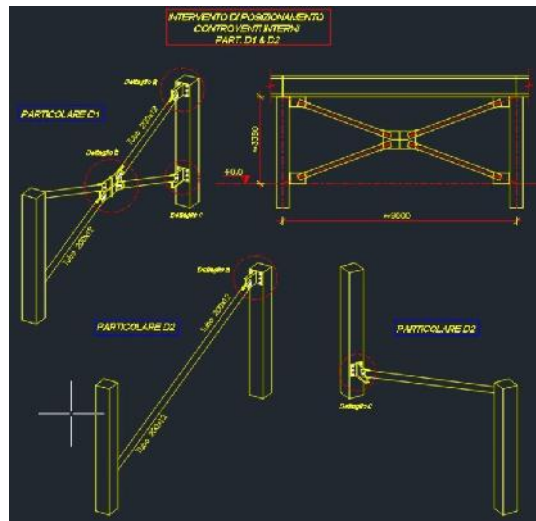
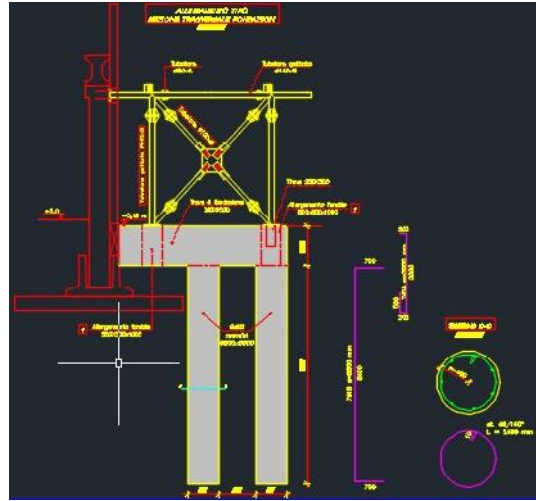


60/0,573 = 104,7  
 raggiunta per il pilastro  
 una capacità pari al 105%  
 di quella richiesta ad una nuova costruzione  
 di caratteristiche comparabili

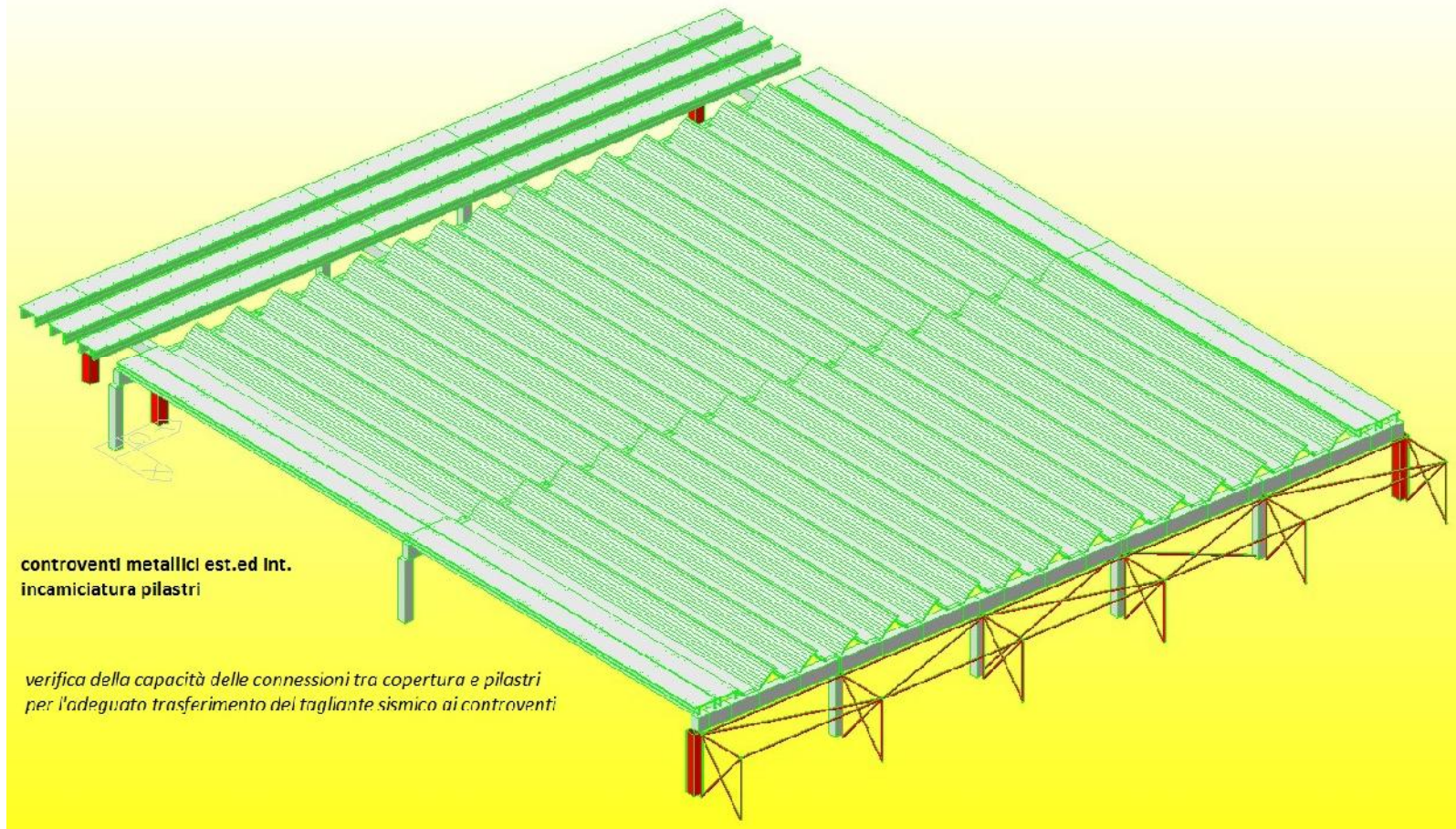
Pilastro 45x45: 0,497 < 1;  
 Pilastro 45x45 sommità: 0,573 < 1;  
 Pilastro portapannello: 0,156 < 1;

## MIGLIORAMENTO SISMICO CON INSERIMENTO DI NUOVI CONTROVENTI METALLICI

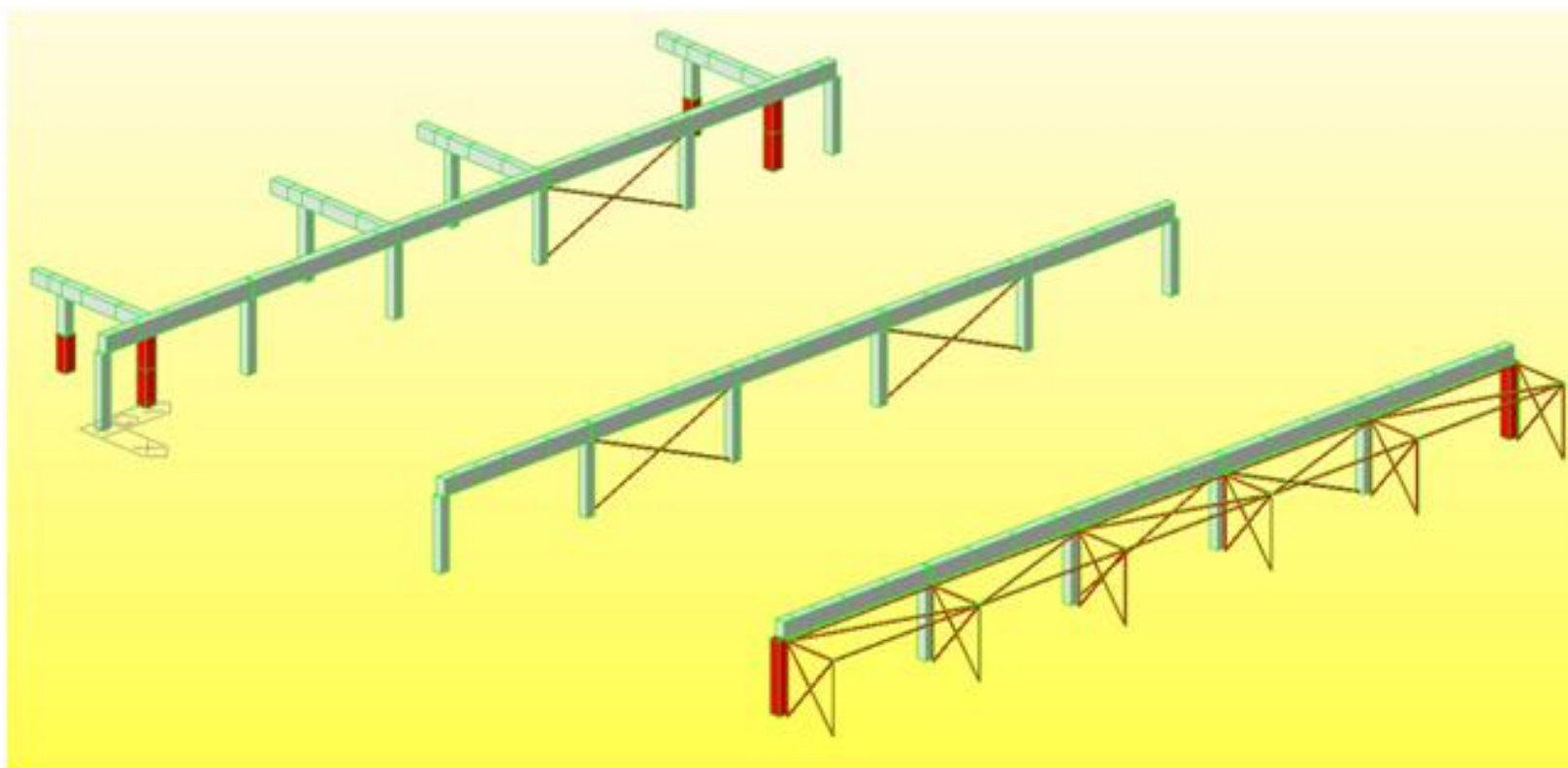
- ☐ è una delle varie possibilità di intervento
- ☐ può essere combinata con altre modalità di intervento
- ☐ può essere preferita per la localizzazione circoscritta e/o esterna degli interventi
- ☐ di caso in caso presuppone l'attuazione di alcuni accorgimenti



## Immobile Navy Group – Rio Saliceto (RE)

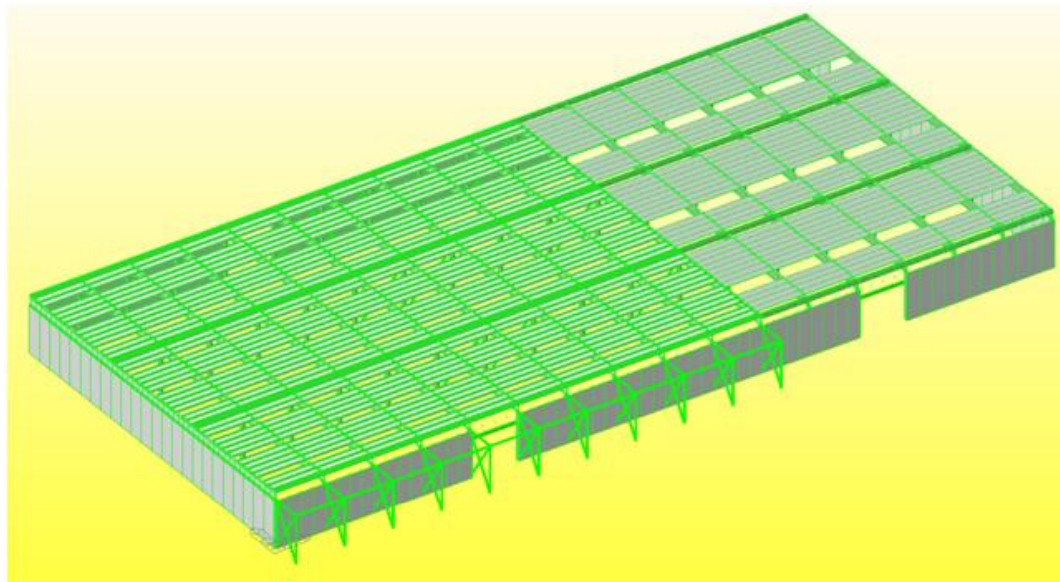


|                                      |                                               |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| dimensioni principali del capannone: | 52.00 x 45.00 x 5.00 (m)                      |
| ag:                                  | 0.22 (g)                                      |
| incidenza pilastri:                  | 450 (m <sup>3</sup> capannone/pilastro)       |
| controventi metallici:               | 0,4 (kg carpenteria/m <sup>3</sup> capannone) |





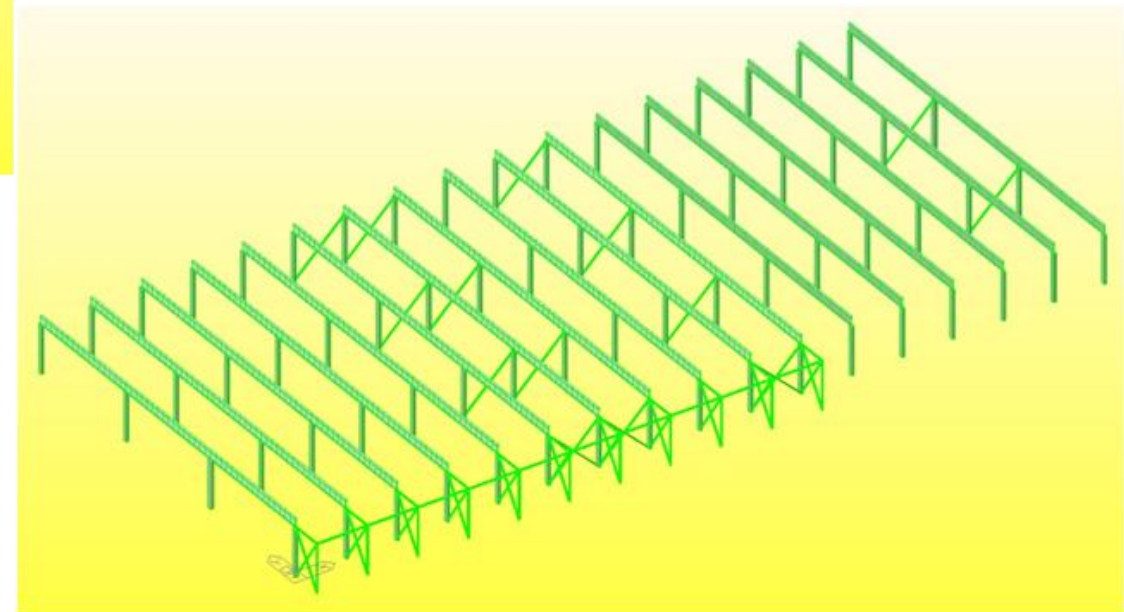




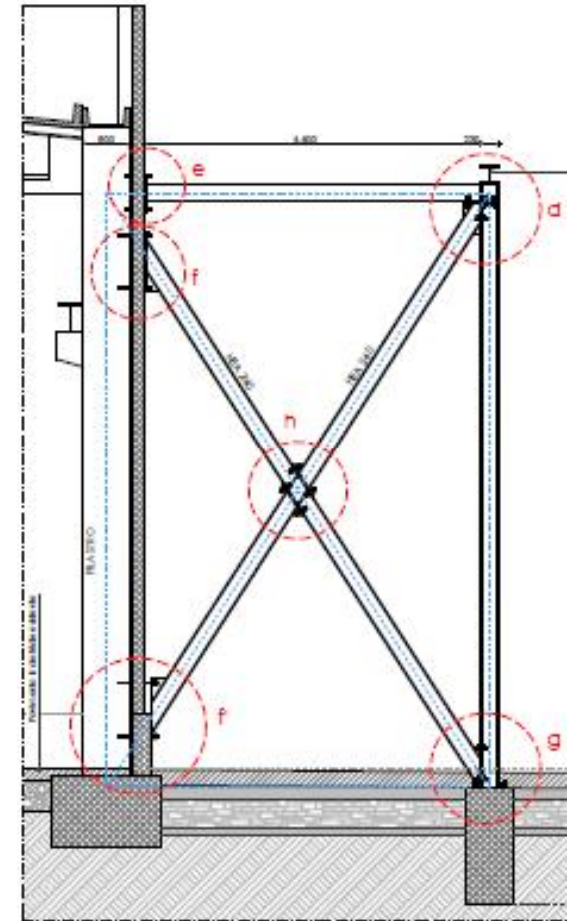
## Magazzino CARBONI S.p.a. – Correggio (RE)

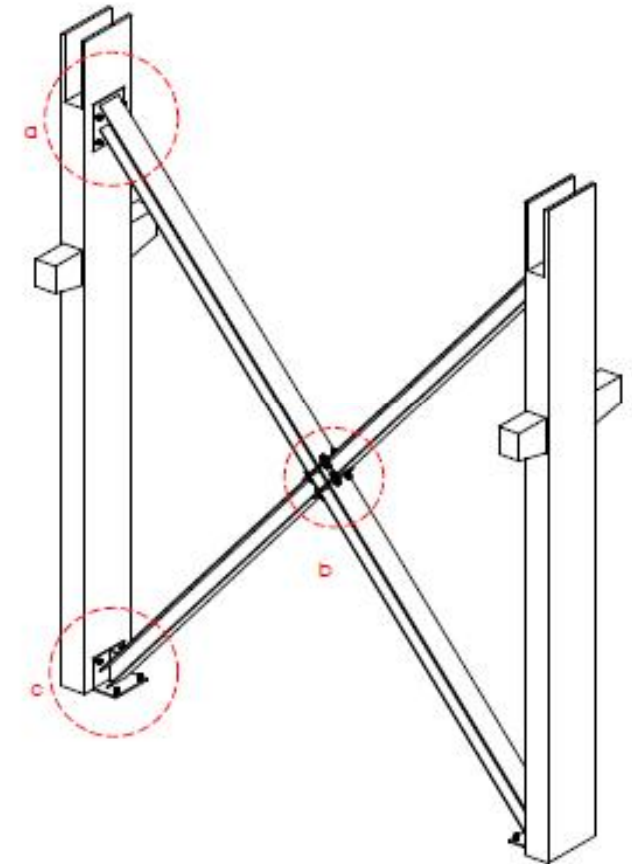
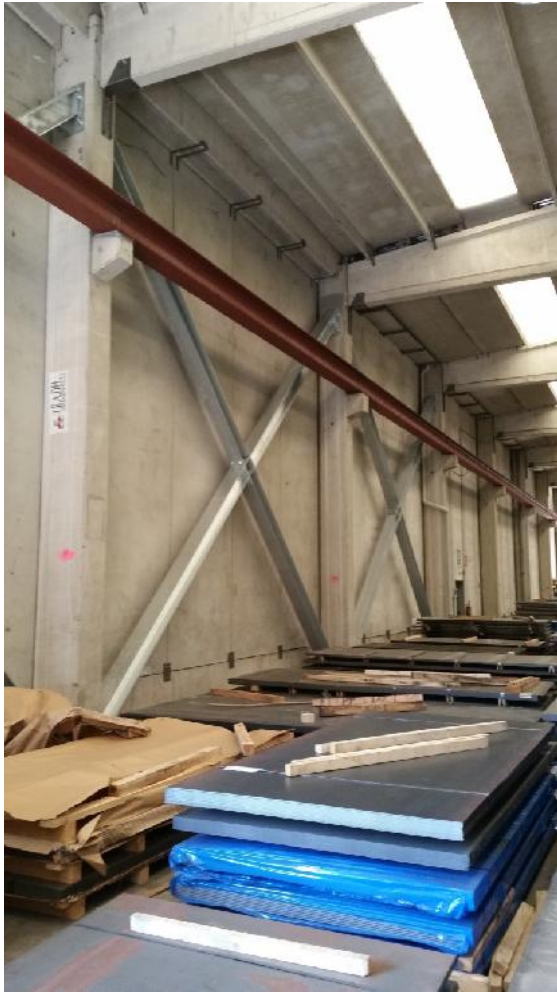
Interventi in progetto:

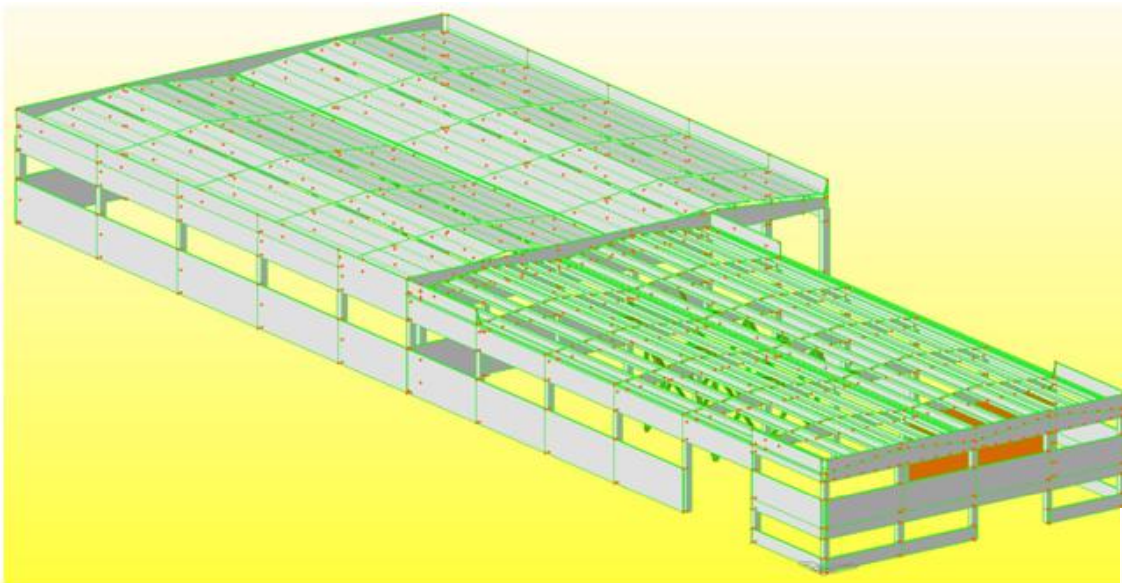
- placcaggio di pilastri alle estremità,
- controventi metallici diagonali tra i pilastri,
- carpenteria di controvento esterna.



dimensioni principali del capannone: 128.00 x 60.00 x 6.50 (m)  
ag: 0.22 (g)  
incidenza pilastri: 735 (m<sup>3</sup>capannone/pilastro)  
controventi metallici: 0,60 (kg carpenteria/m<sup>3</sup>capannone)



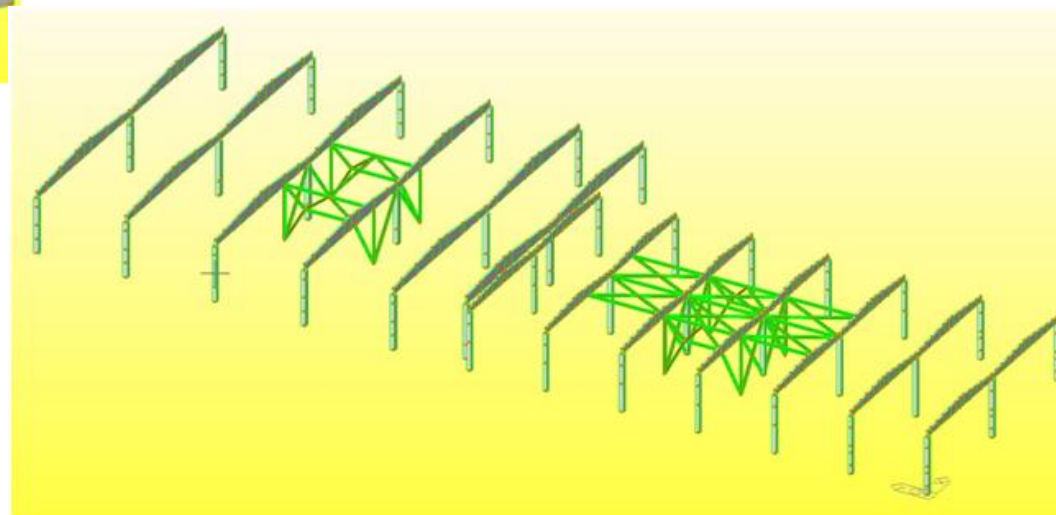


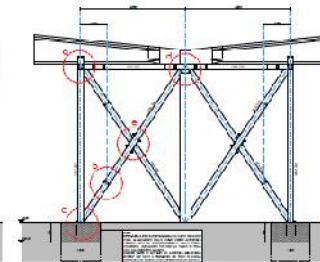
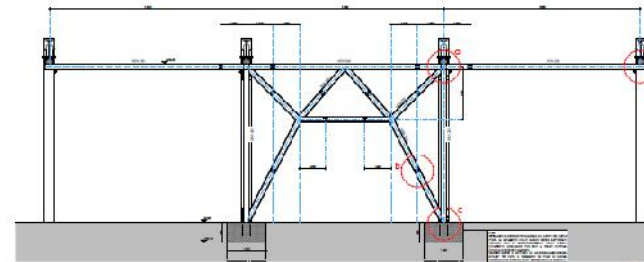
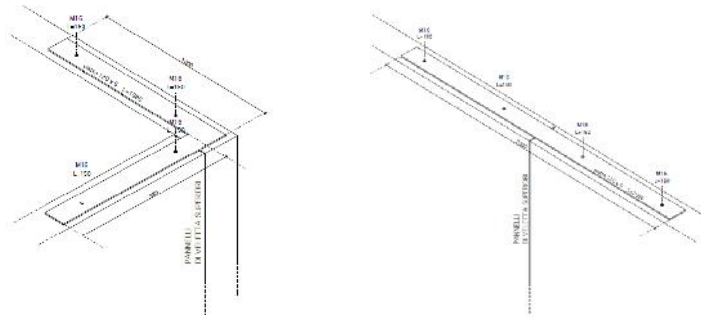


Fabbricati FIRMA S.p.a. – Correggio (RE)

Interventi in progetto:  
carpenteria di controvento interna.

dimensioni principali del capannone:  $41.50 \times 33.00 \times 7.00 + 45.00 \times 23.00 \times 7.00$  (m)  
ag: 0.22 (g)  
incidenza pilastri: 345 ( $\text{m}^3$ capannone/pilastro)  
controventi metallici: 1,30 (kg carpenteria/ $\text{m}^3$ capannone)





**QUESTION** *What is the difference between a chemical reaction and a physical change?*

**ANSWER**

**Chemical reaction:**

- New substances are formed
- Chemical bonds are broken and new ones are formed
- Energy is either absorbed or released
- The process is irreversible

**Physical change:**

- No new substances are formed
- Only the physical properties of the substance change
- The process is reversible

**Examples:**

- **Chemical reaction:** Burning of wood, rusting of iron, digestion of food
- **Physical change:** Melting of ice, boiling of water, crushing of a can

**QUESTION** *What is the difference between a chemical reaction and a physical change?*

**ANSWER**

**Chemical reaction:**

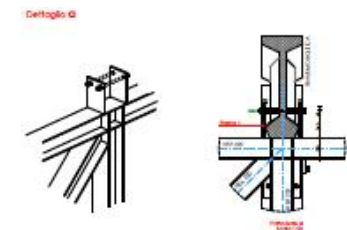
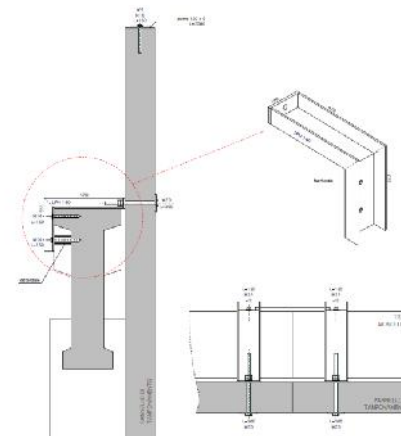
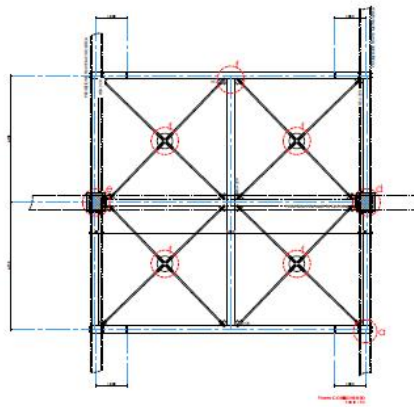
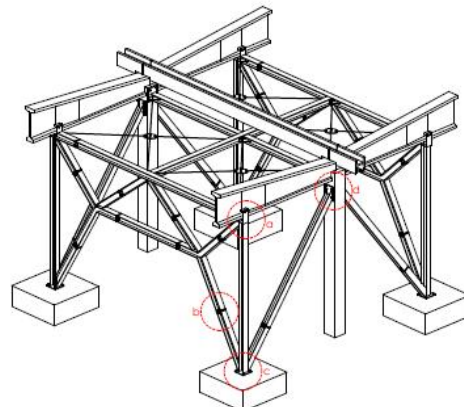
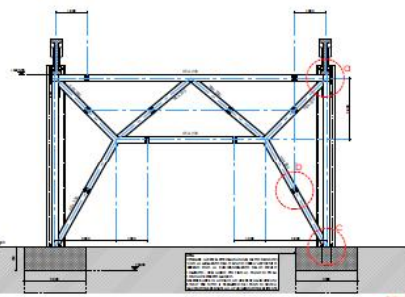
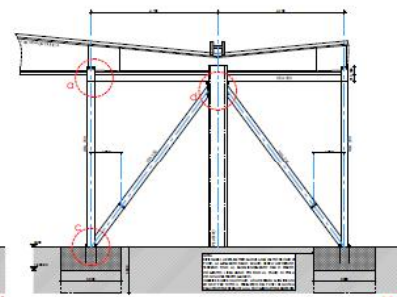
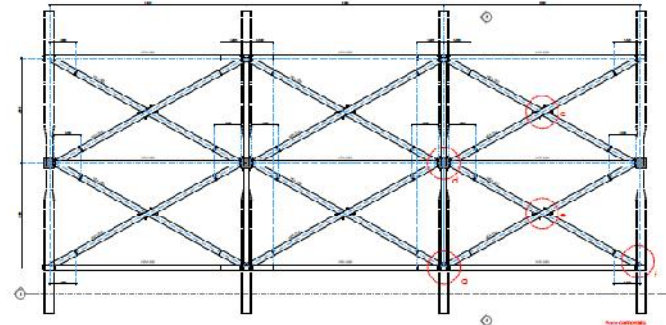
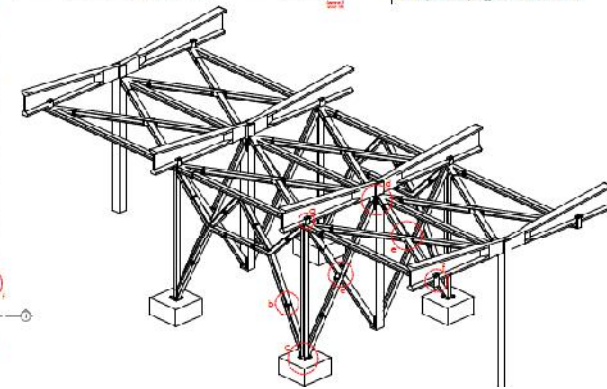
- New substances are formed
- Chemical bonds are broken and new ones are formed
- Energy is either absorbed or released
- The process is irreversible

**Physical change:**

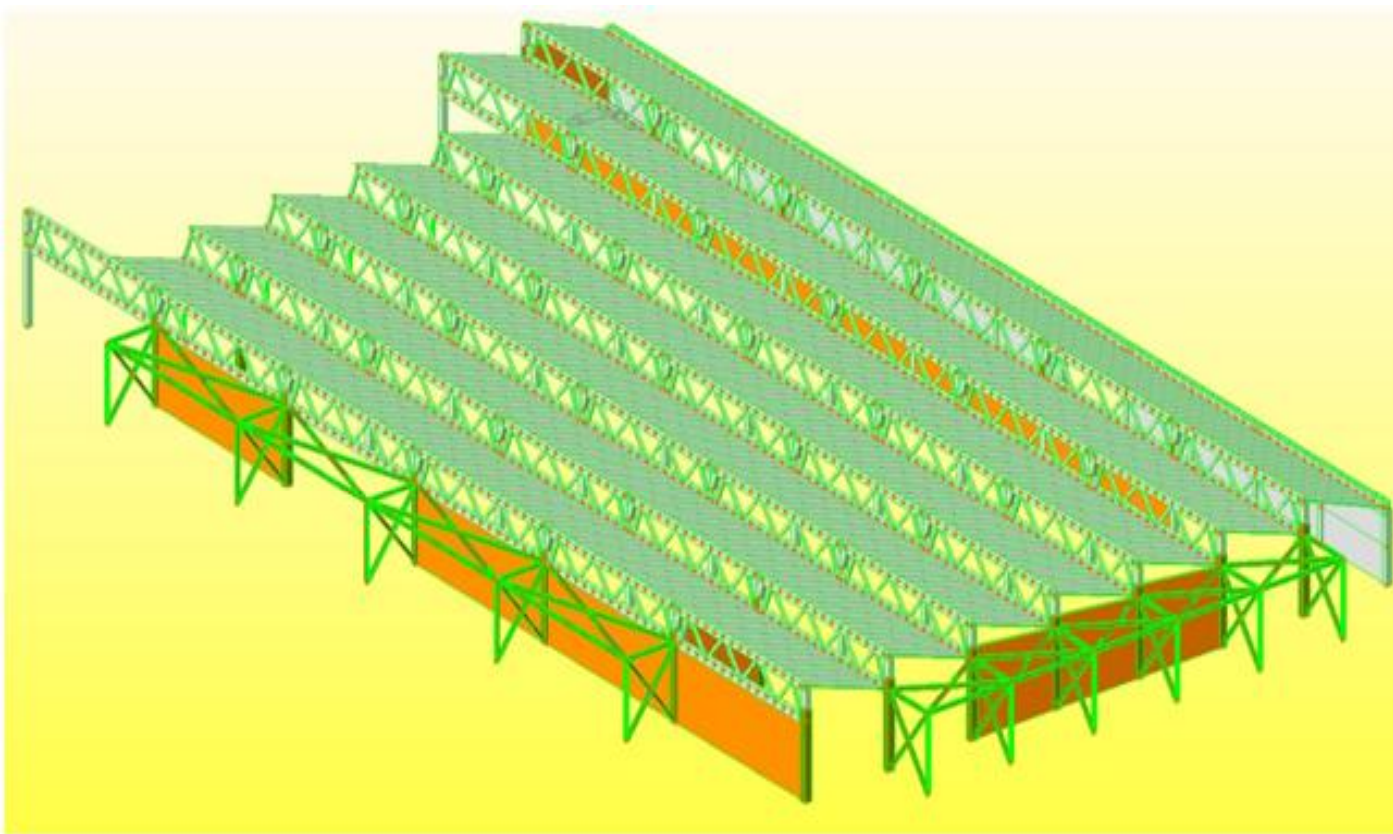
- No new substances are formed
- Only the physical properties of the substance change
- The process is reversible

**Examples:**

- **Chemical reaction:** Burning of wood, rusting of iron, digestion of food
- **Physical change:** Melting of ice, boiling of water, crushing of a can

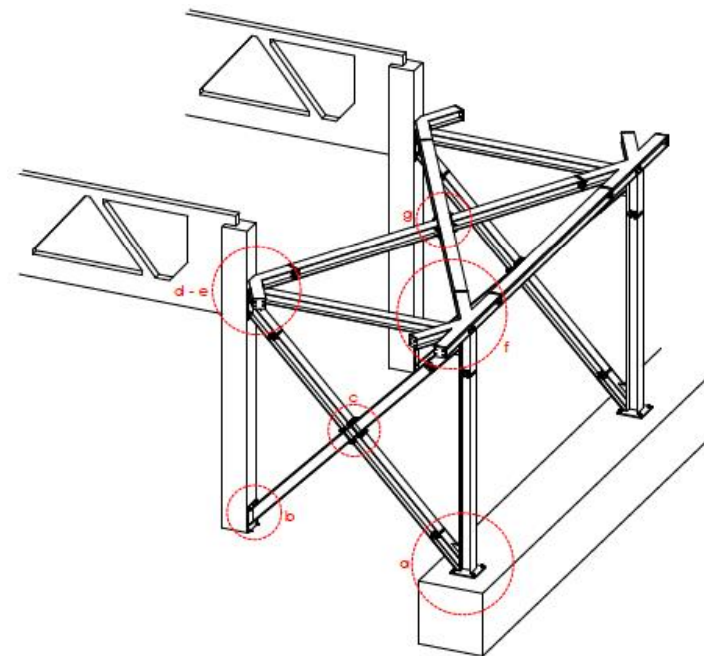






dimensioni principali del capannone: 90.50 x 53.00 x 6.50 (m)  
ag: 0.22 (g)  
incidenza pilastri: 560 (m<sup>3</sup>capannone/pilastro)  
controventi metallici: 1,00 (kg carpenteria/m<sup>3</sup>capannone)

Interventi in progetto:  
placcaggio di pilastri,  
carpenteria di controvento esterna.





Giugno 2016

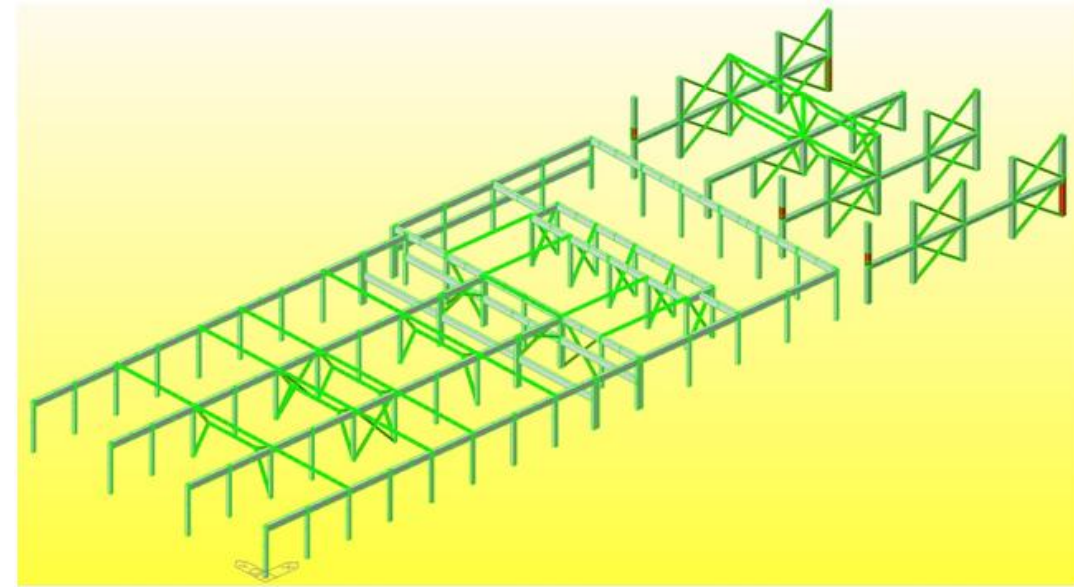
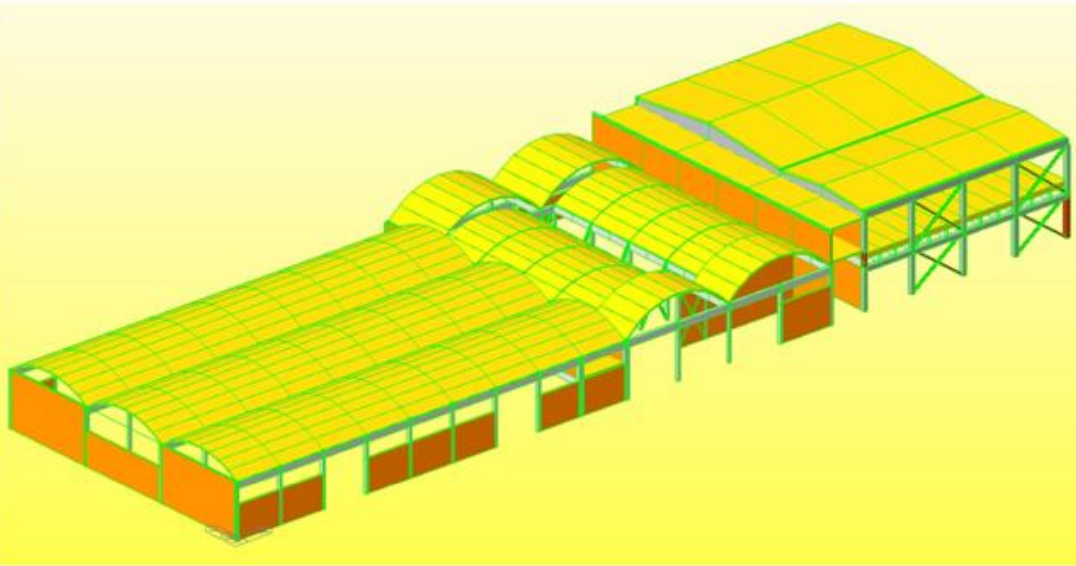


Seminari Calcolo Strutturale

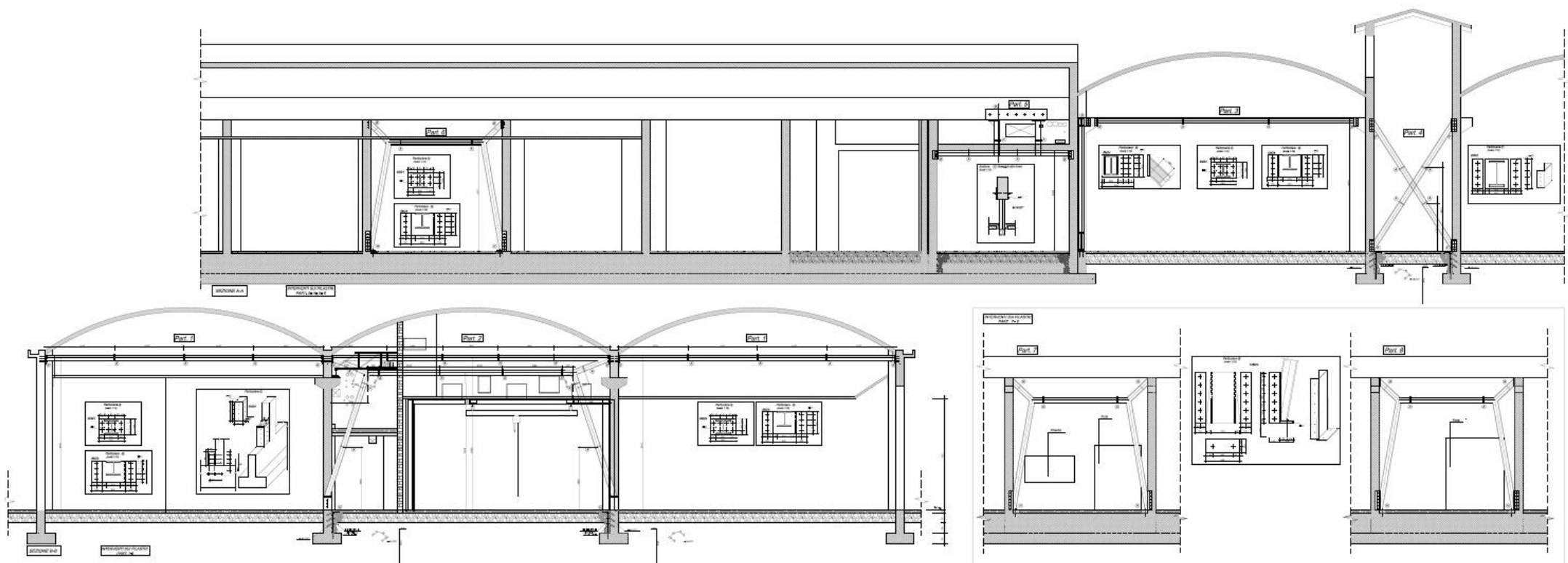
Fabbricati COMEF Srl

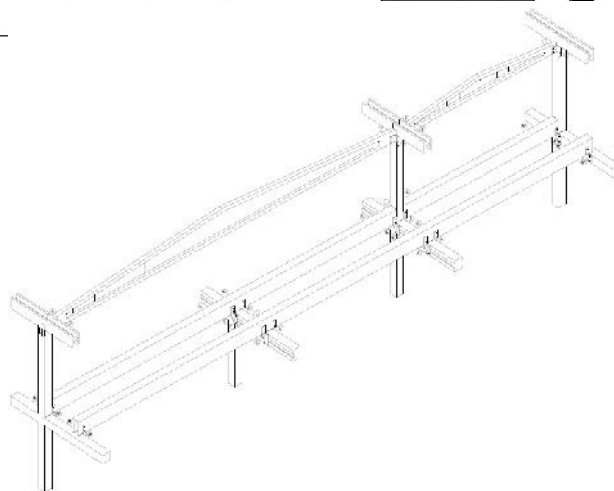
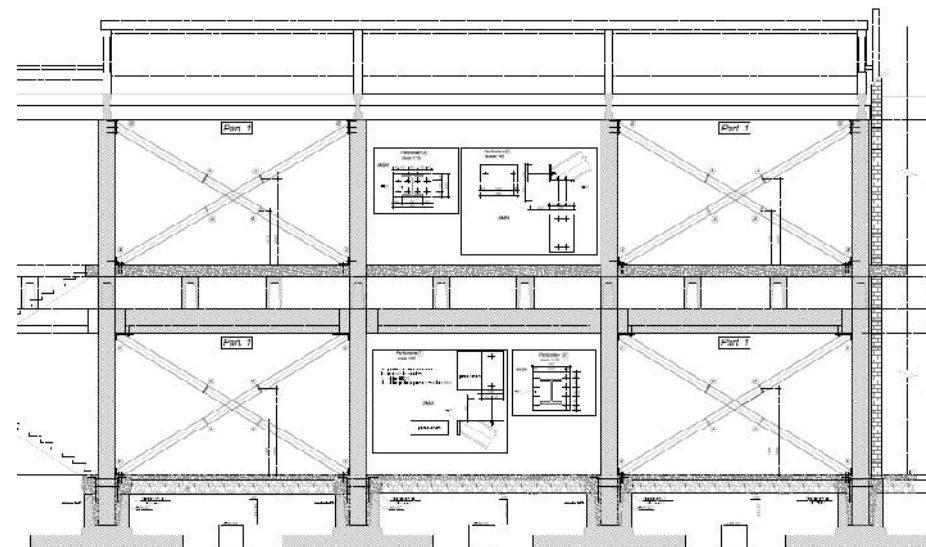
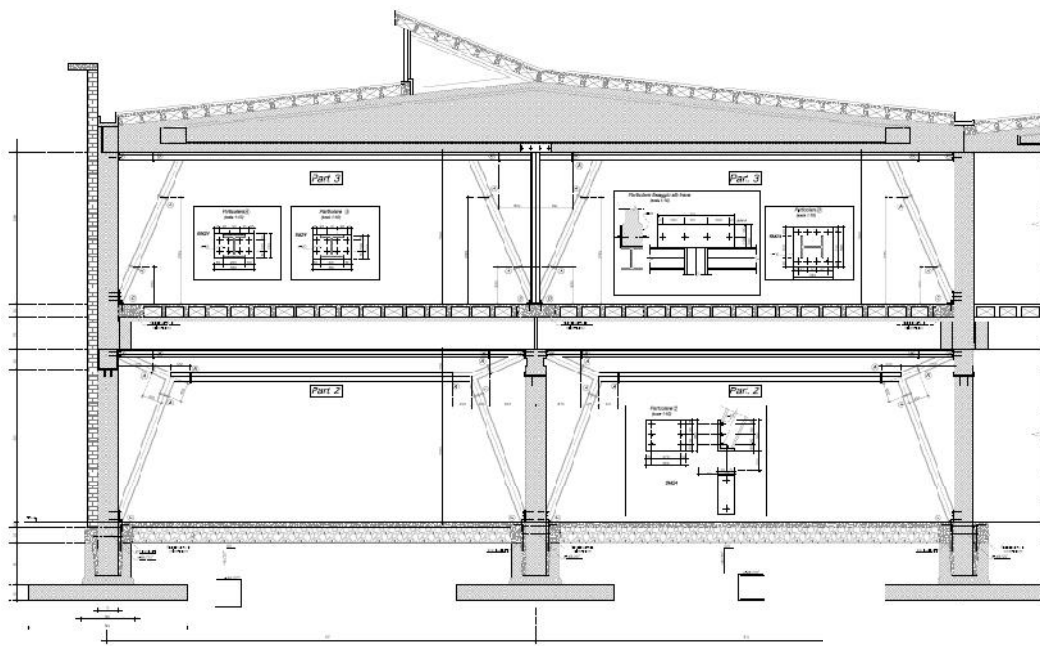
Carpi (MO)

Interventi in progetto:  
placcaggio di pilastri,  
carpenteria di controvento interna.



dimensioni principali del capannone:  
 $45.50 \times 31.50 \times 6.50 + 24.00 \times 33.00 \times 6.5 + 28.00 \times 33.00 \times 9.50$  (m)  
ag: 0.22 (g)  
incidenza pilastri:  $250 \text{ m}^3 \text{ capannone/pilastro}$   
controventi metallici:  $1,60 \text{ (kg carpenteria/m}^3 \text{ capannone)}$

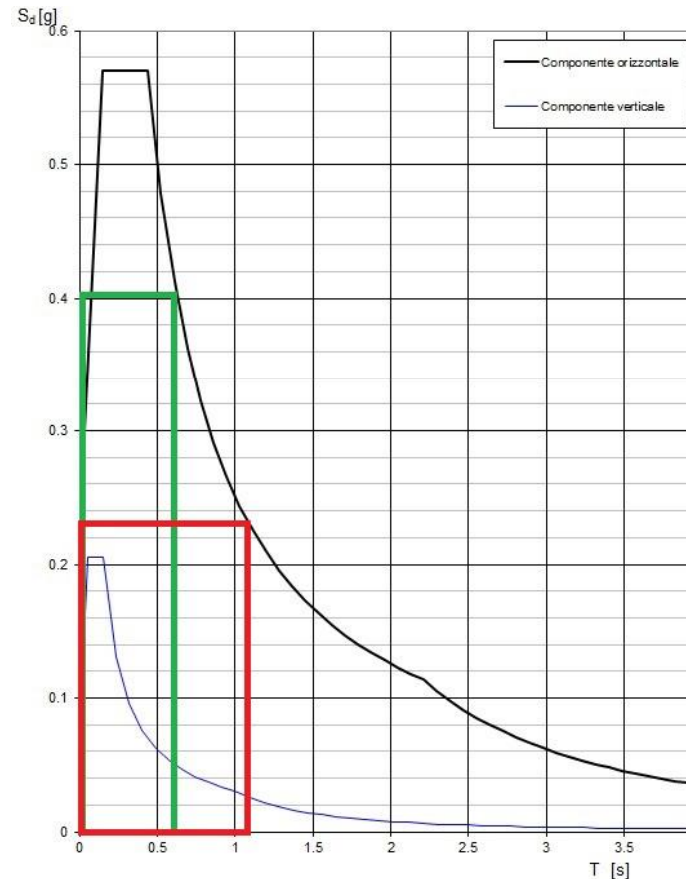




## CONCLUSIONI

| Mode                | UX                  | UY                    | UZ           | RX          |
|---------------------|---------------------|-----------------------|--------------|-------------|
| EIGENVALUE ANALYSIS |                     |                       |              |             |
| Mode No             | Frequency (rad/sec) | Frequency (cycle/sec) | Period (sec) | Tolerance   |
| 1                   | 5.2938              | 0.8425                | 1.1869       | 3.8721e-029 |
| 2                   | 5.3625              | 0.8535                | 1.1717       | 3.8721e-029 |
| 3                   | 5.4276              | 0.8638                | 1.1576       | 3.8721e-029 |
| 4                   | 5.5457              | 0.8826                | 1.1330       | 3.8721e-029 |
| 5                   | 5.6774              | 0.9036                | 1.1067       | 3.8721e-029 |
| 6                   | 5.8251              | 0.9271                | 1.0786       | 3.8721e-029 |
| 7                   | 5.8449              | 0.9302                | 1.0750       | 3.8721e-029 |
| 8                   | 5.9909              | 0.9535                | 1.0488       | 3.8721e-029 |
| 9                   | 6.3376              | 1.0087                | 0.9914       | 3.8721e-029 |
| 10                  | 6.5186              | 1.0375                | 0.9639       | 3.8721e-029 |

| Mode                | UX                  | UY                    | UZ           | RX          |
|---------------------|---------------------|-----------------------|--------------|-------------|
| EIGENVALUE ANALYSIS |                     |                       |              |             |
| Mode No             | Frequency (rad/sec) | Frequency (cycle/sec) | Period (sec) | Tolerance   |
| 1                   | 8.7684              | 1.3955                | 0.7166       | 2.9145e-028 |
| 2                   | 8.9673              | 1.4272                | 0.7007       | 2.9145e-028 |
| 3                   | 9.8141              | 1.5620                | 0.6402       | 2.9145e-028 |
| 4                   | 9.8837              | 1.5730                | 0.6357       | 2.9145e-028 |
| 5                   | 10.3138             | 1.6415                | 0.6092       | 2.9145e-028 |
| 6                   | 10.6171             | 1.6898                | 0.5918       | 2.9145e-028 |
| 7                   | 10.7757             | 1.7150                | 0.5831       | 2.9145e-028 |
| 8                   | 11.1270             | 1.7709                | 0.5647       | 2.9145e-028 |
| 9                   | 11.3683             | 1.8093                | 0.5527       | 2.9145e-028 |
| 10                  | 11.6220             | 1.8497                | 0.5406       | 2.9145e-028 |



L'inserimento di controventi elastici comporta un notevole irrigidimento della costruzione, con corrispondente incremento del tagliante sismico di pertinenza.

Un robusto dimensionamento dei controventi e delle relative fondazioni, protegge i pilastri limitando le azioni sugli stessi.

L'efficacia delle connessioni tra i componenti della struttura garantisce il trasferimento di ampia parte del tagliante sismico ai controventi.

Negli interventi presentati, i controventi sono dimensionati per limitare le azioni sui pilastri, in modo che gli stessi possano sostenere l'azione di un sisma pari al 60% di quello previsto per nuove costruzioni comparabili, mantenendo i controventi ampie riserve di capacità.