

***ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PRATO –
PRATO ANTISISMA: PROTEZIONE SISMICA DEGLI EDIFICI A
DESTINAZIONE PRODUTTIVA DEL DISTRETTO PRATESE***

***CASO STUDIO DELLA REALTÀ PRATESE –
CAPANNONI A VOLTA ED A TELAIO GETTATI IN OPERA –
VULNERABILITÀ E MODALITÀ DI INTERVENTO***



Schemi degli edifici industriali della realtà pratese:

METODO COSTRUTTIVO:

- Capannoni gettati in opera
- Capannoni prefabbricati

SCHEMA STATICO:

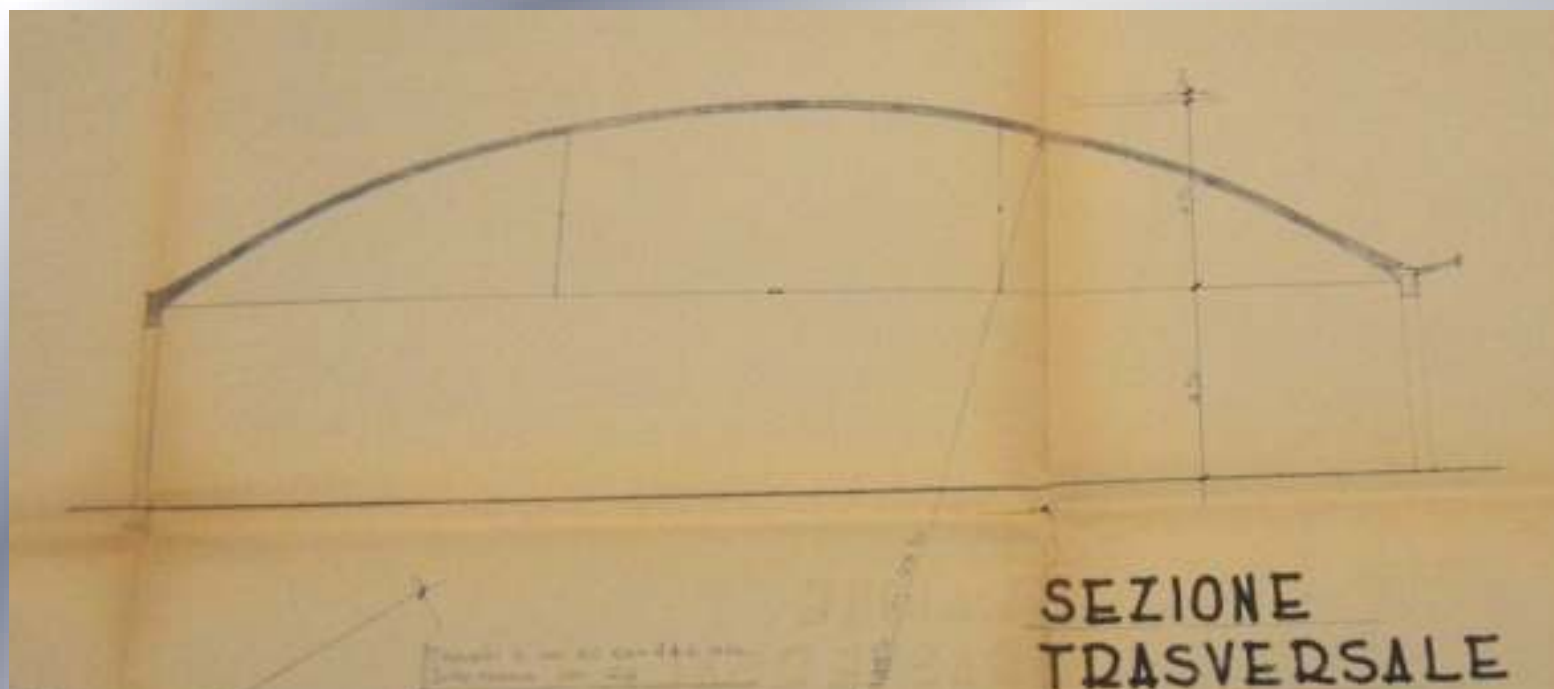
- Capannoni a volta a più campate
- Capannoni a volta a campata singola



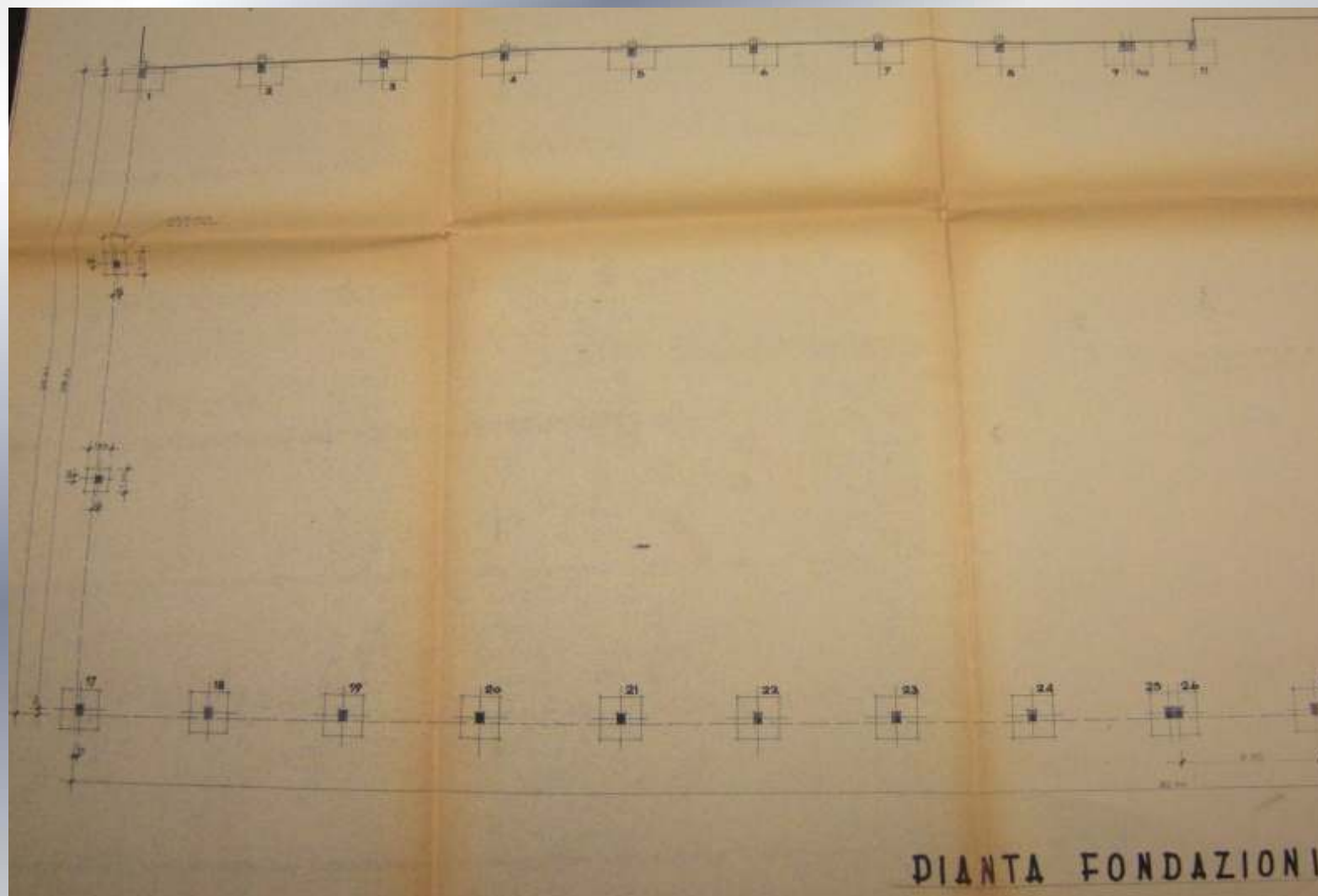
CASO IN ESAME:

- Capannone con singola volta ed a telaio gettato in opera

CASO STUDIO - CAPANNONE A VOLTA ED A TELAIO GETTATO IN OPERA



CASO STUDIO - CAPANNONE A VOLTA ED A TELAIO GETTATO IN OPERA



CASO STUDIO - CAPANNONE A VOLTA ED A TELAIO GETTATO IN OPERA



Schemi degli edifici industriali della realtà pratese:

PERIODO DI COSTRUZIONE DEGLI EDIFICI INDUSTRIALI

→ Anni '60 e '70

NORMATIVE VIGENTI AL MOMENTO DELLA COSTRUZIONE:

Strutture in c.a.:	R.D. 16/11/1939 n. 2229 “Esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato” L. n.1086 del 05/11/1971 “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica” e successive integrazioni.
Carichi:	CNR UNI 10012 del 1967 “Ipotesi di carico sugli edifici”

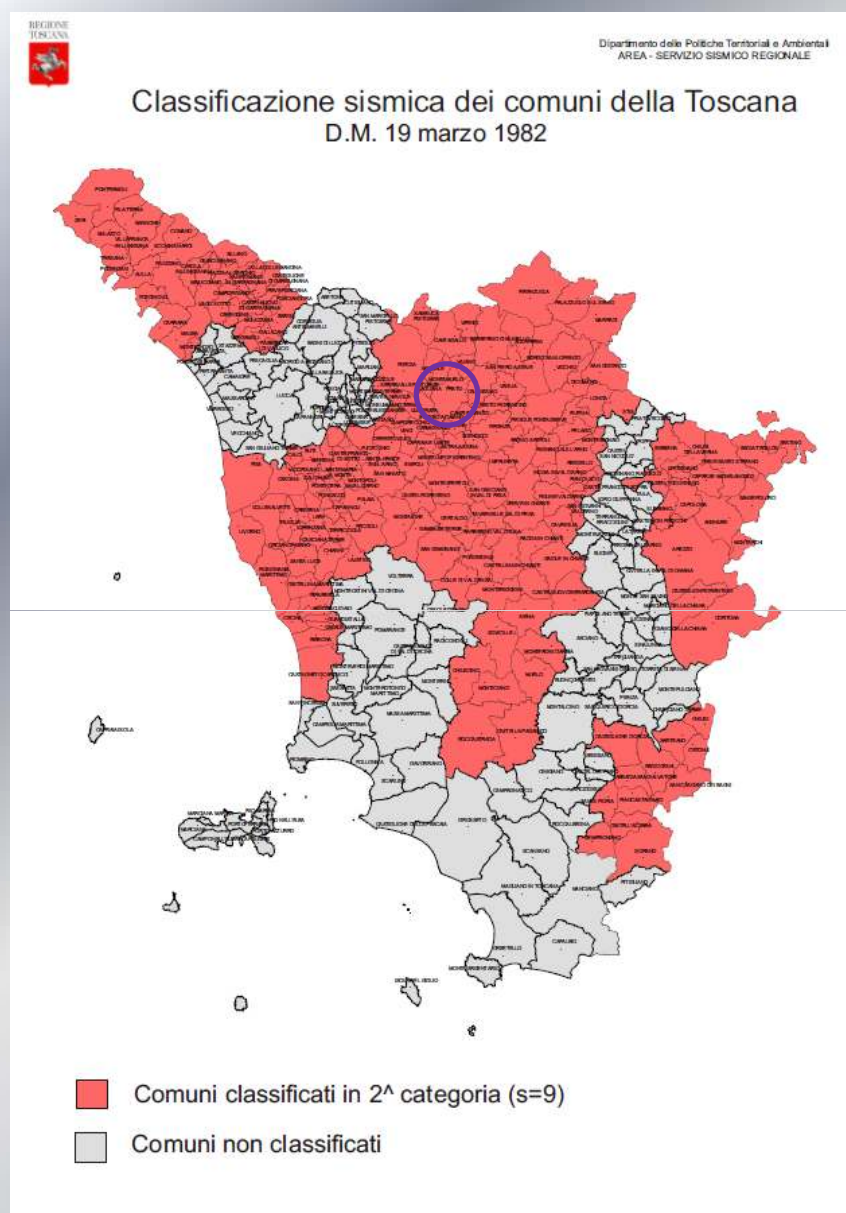
Schemi degli edifici industriali della realtà pratese:

NORMATIVE VIGENTI AL MOMENTO DELLA COSTRUZIONE:

***Normativa sismica:* D.M. 02/02/1974 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”**

D.M. 19/03/1982 “Classificazione sismica dei comuni della Toscana”

CASO STUDIO - CAPANNONE A VOLTA ED A TELAIO GETTATO IN OPERA





CASO IN ESAME:

- Periodo di costruzione → anni '60

- Normativa:

Strutture in c.a.: R.D. 16/11/1939 n. 2229 "Esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato"

Carichi: CNR UNI 10012 del 1967 "Ipotesi di carico sugli edifici"



**IL CAPANNONE IN ESAME NON È STATO DIMENSIONATO PER
CARICHI SISMICI**

CASO STUDIO – CAPANNONE A VOLTA ED A TELAIO GETTATO IN OPERA

- **FASE 1:**

ANALISI DELLA STRUTTURA ESISTENTE MEDIANTE METODI DI CALCOLO MANUALI, CON CARICHI E MATERIALI SECONDO LE NORMATIVE DELL'EPOCA

- **FASE 2:**

MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE, CON CARICHI E MATERIALI SECONDO LA NORMATIVA VIGENTE, CON GLI OPPORTUNI FATTORI DI CONFIDENZA, ED INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITÀ DELLA STRUTTURA

- **FASE 3:**

PROPOSTE DI INTERVENTO

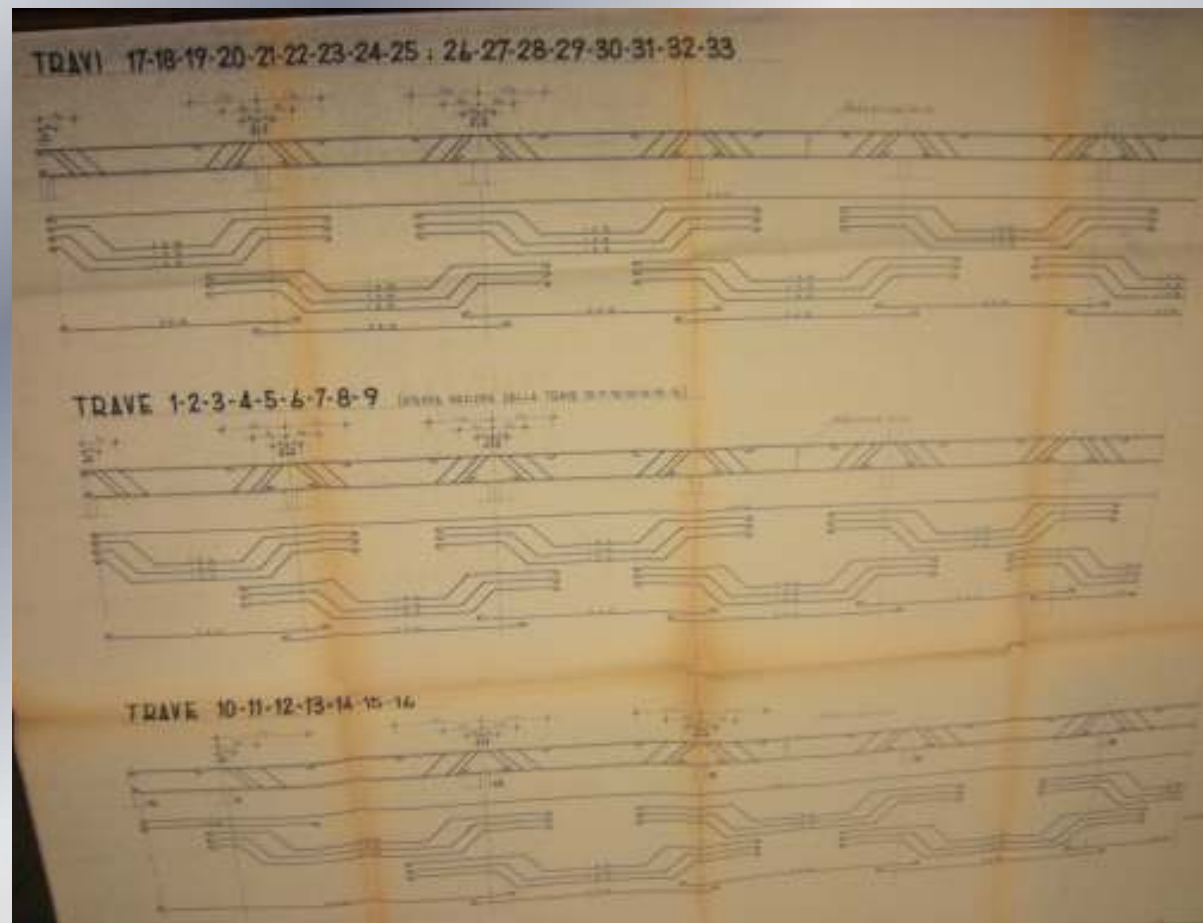
- **FASE 1: ANALISI DELLA STRUTTURA ESISTENTE**

Rilievo della struttura in elevazione e della struttura di fondazione, mediante sopralluogo e reperibilità del progetto strutturale



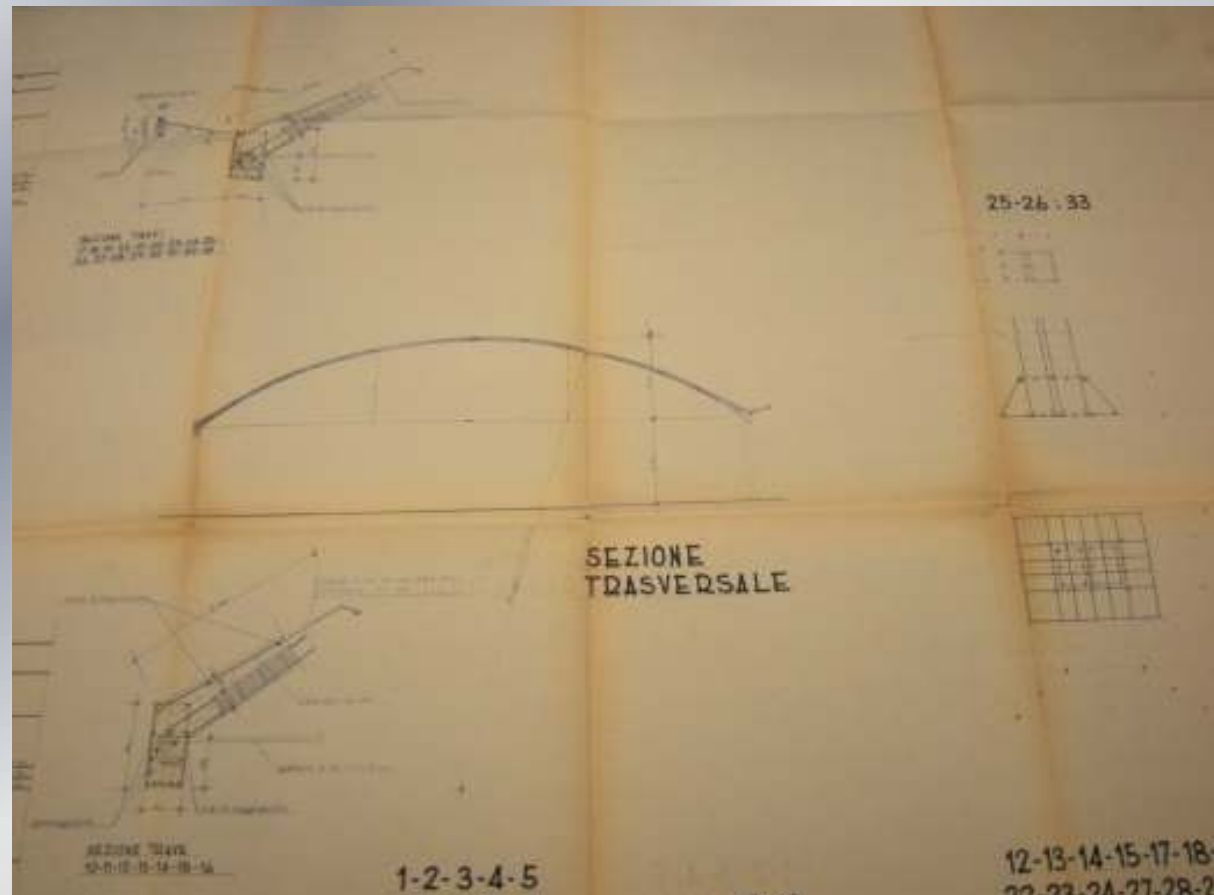
- **FASE 1: ANALISI DELLA STRUTTURA ESISTENTE**

Rilievo della struttura in elevazione e della struttura di fondazione, mediante sopralluogo e reperibilità del progetto strutturale



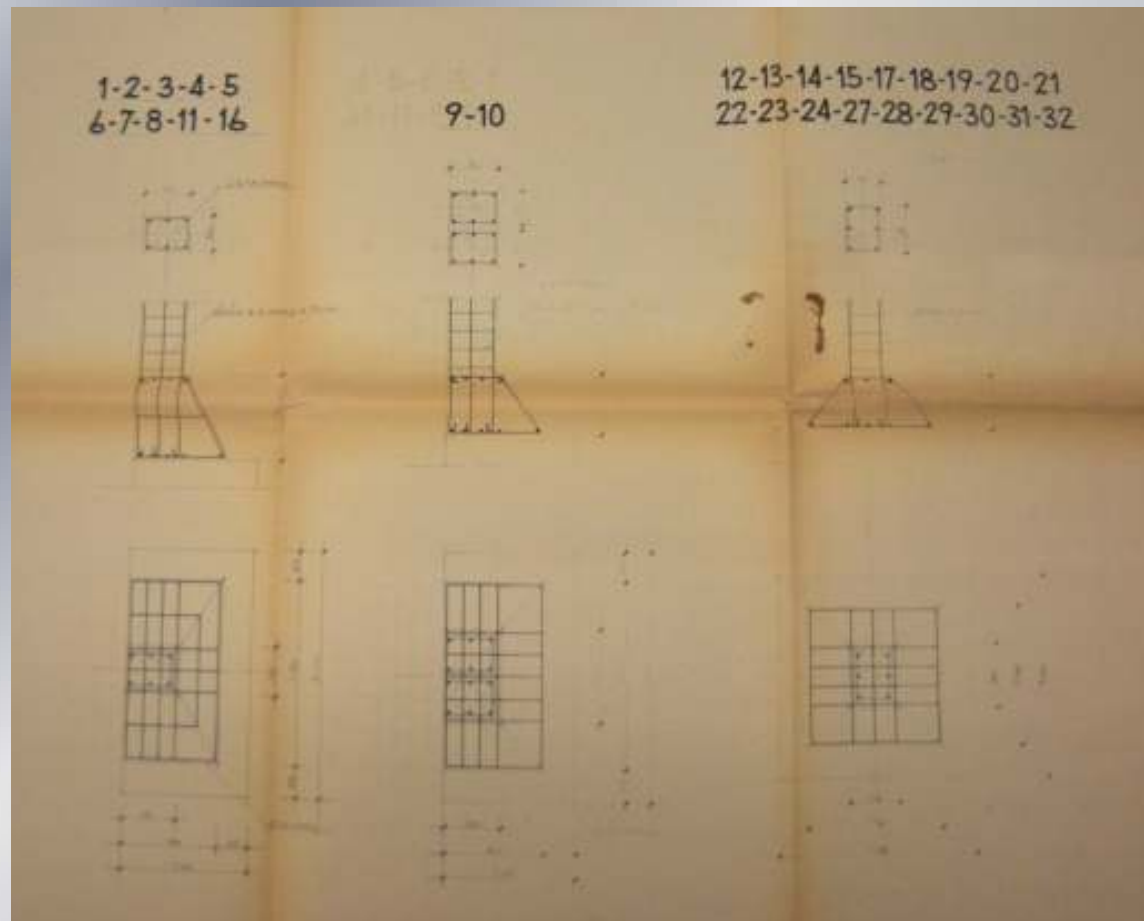
- **FASE 1: ANALISI DELLA STRUTTURA ESISTENTE**

Rilievo della struttura in elevazione e della struttura di fondazione, mediante sopralluogo e reperibilità del progetto strutturale



- **FASE 1: ANALISI DELLA STRUTTURA ESISTENTE**

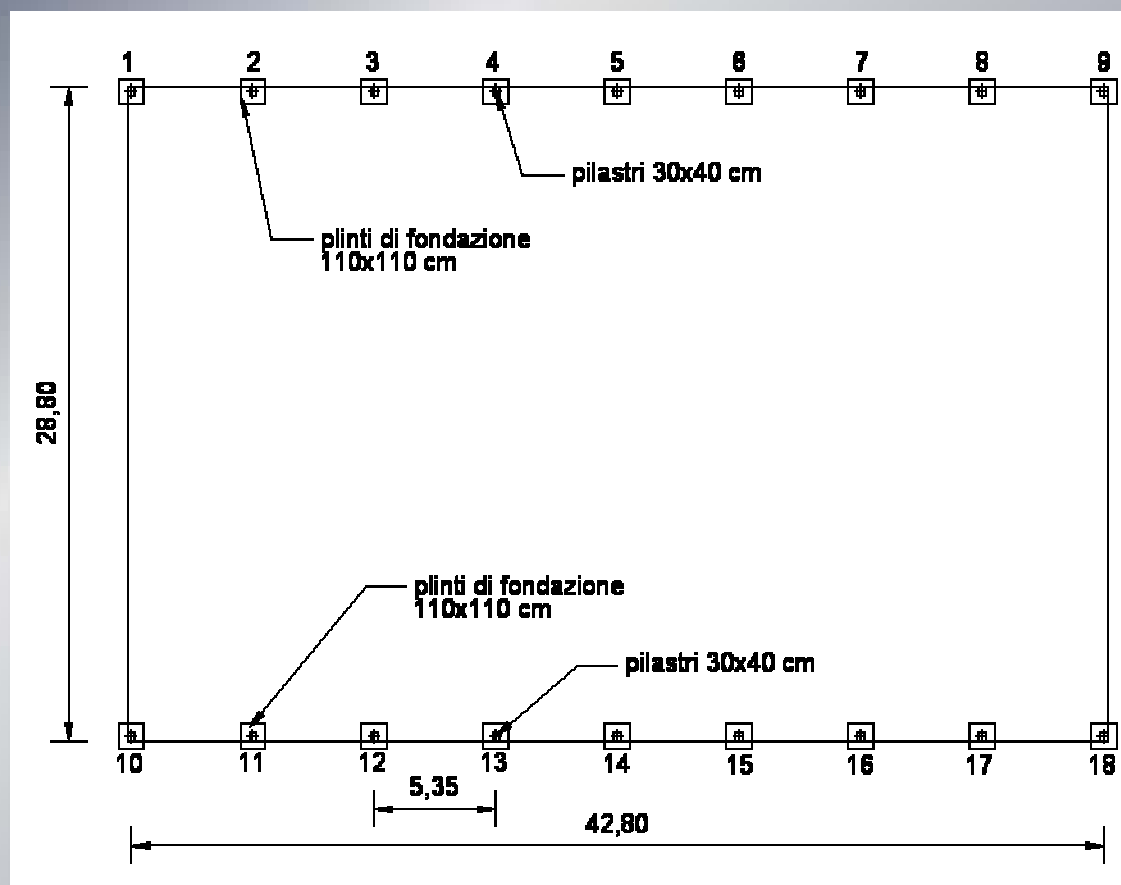
Rilievo della struttura in elevazione e della struttura di fondazione, mediante sopralluogo e reperibilità del progetto strutturale



- **FASE 1: ANALISI DELLA STRUTTURA ESISTENTE**

GEOMETRIA DELLA STRUTTURA:

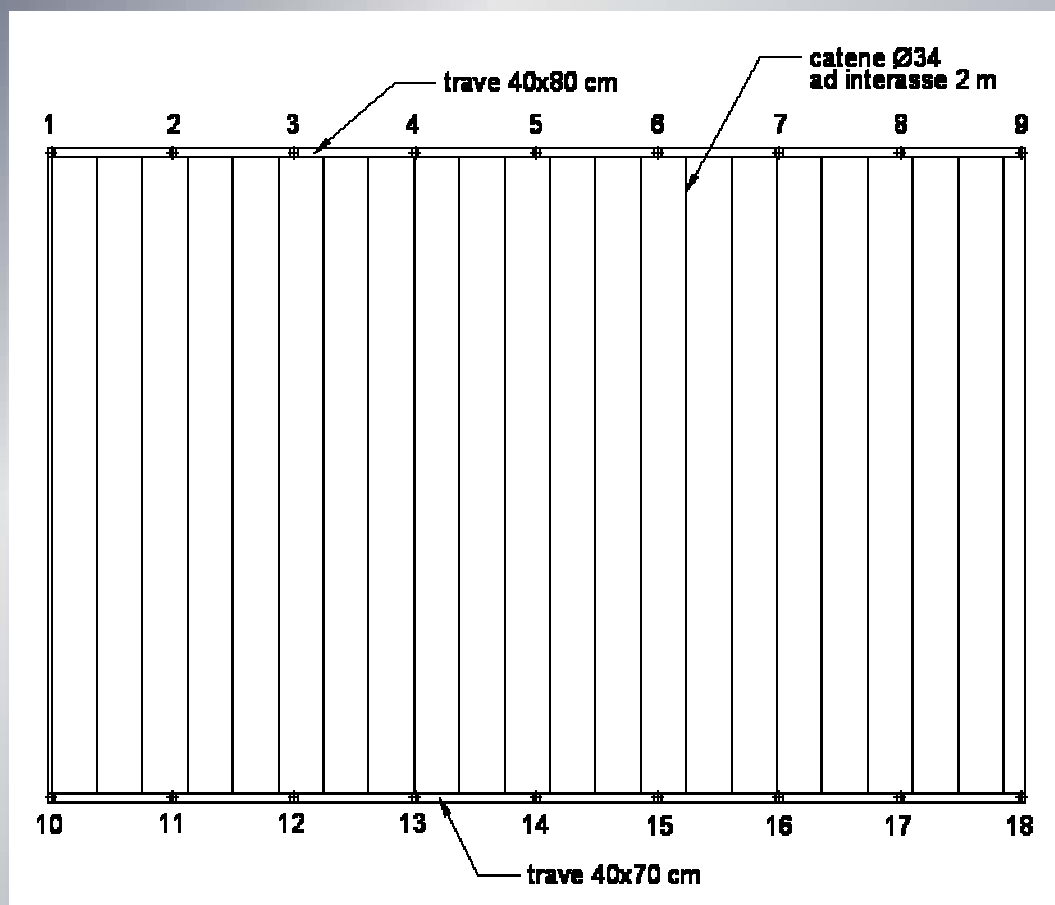
- Pianta fondazioni



- **FASE 1: ANALISI DELLA STRUTTURA ESISTENTE**

GEOMETRIA DELLA STRUTTURA:

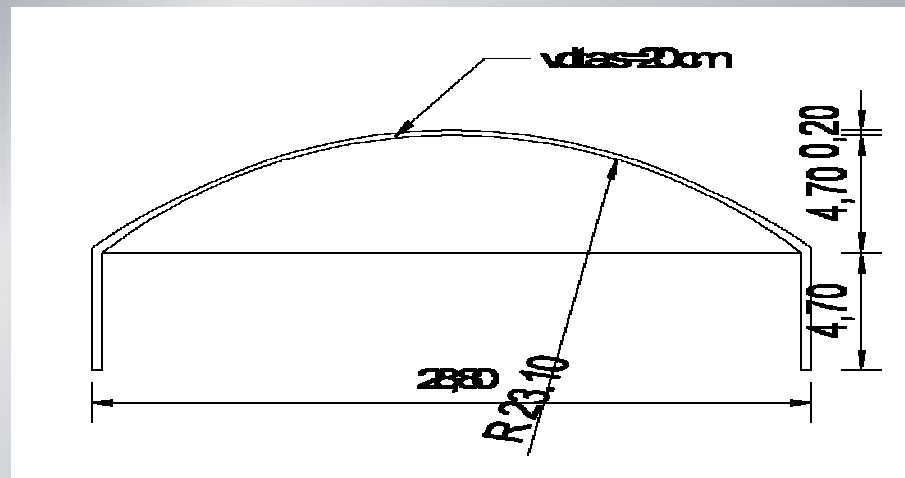
- Pianta fondazioni
- Pianta travi



• FASE 1: ANALISI DELLA STRUTTURA ESISTENTE

GEOMETRIA DELLA STRUTTURA:

- Pianta fondazioni
- Pianta travi
- Sezione trasversale



CASO STUDIO - CAPANNONE A VOLTA ED A TELAIO GETTATO IN OPERA

• FASE 1: ANALISI DELLA STRUTTURA ESISTENTE

ANALISI DEI CARICHI secondo CNR UNI 10012/67:

- Peso proprio volta:

PARTICOLARE X, giunto

si staffa ogni costola di diametro e lunghezza adeguati

			8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30									
Luce libera	ml	N	8,50	9	9,50	10	10,50	11	11,50	12	12,50	13	13,50	14	14,50	15	15,50	16	16,50	17	17,50	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Freccia F	ml		1,20	1,27	1,35	1,42	1,50	1,58	1,65	1,73	1,80	1,88	1,95	2,03	2,10	2,18	2,25	2,33	2,40	2,48	2,56	2,63	2,70	2,78	2,85	3,00	3,15	3,30	3,45	3,60	3,75	3,90	4,20	4,50
Spessore della volta N	cm		9	9	9	9	9	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	15	15	15	15	15	15	18	18	18	18	18	21	21	21	21
Peso proprio dei travetti per m ²	kg		15	15	15	15	15	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	21	21	21	21	21	21	24	24	24	24	24	27	27	27	27
Peso proprio della struttura	kg		80	80	80	80	80	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	120	120	120	120	120	120	145	145	145	145	145	165	165	165	165
Spessore dell'arco (intradosso)	ml		8,45	8,98	9,50	10,05	10,55	11,10	11,60	12,15	12,67	13,20	13,75	14,25	14,80	15,35	15,85	16,35	16,90	17,45	17,95	18,50	19,00	20,05	21,10	22,20	23,20	24,30	25,35	26,40	27,50	28,60	31,70	
Peso proprio del materiale di copertura, per m ²	kg		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Sovraccarico verticale (vento, neve, ecc.), per m ²	kg		80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Reazione max degli appoggi per la corrente di volta	kg		808	858	908	960	1010	1114	1198	1282	1306	1362	1416	1470	1524	1580	1634	1688	1744	1798	2072	2134	2196	2318	2440	2634	2970	3108	3242	3380	3796	4090	4380	
Spinta orizz. max per la corrente di volta	kg		1344	1430	1514	1598	1682	1908	1996	2088	2180	2268	2360	2452	2542	2634	2724	2814	2908	2998	3456	3556	3660	3866	4068	4730	4956	5182	5410	5638	6332	6816	7300	
N. e ϕ delle sospensioni N	N. ϕ		2 12	2 12	2 12	2 12	2 12	2 12	3 12	3 12	3 12	3 12	3 12	3 12	3 12	4 12	4 12	4 12	4 12	4 12	4 12	5 14	5 14	5 14	5 14	5 14	6 14	6 14	6 14	6 14	7 14	7 14	8 14	
Sollecitazione max (n.) alla flessione-compressione	kg/cm ²		21,1	24,3	27,4	29,8	32,6	22,2	25,1	27,5	30,2	32,7	36,4	35,8	39,4	38,1	36,9	38,7	41,6	45,3	37,2	39,5	36,6	41,0	42,5	40,6	38,9	43,9	44,5	48,1	43,6	47,3	50,1	
N. dei segmenti (travetti)	N.		2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	6	6	6	

Nota: La sollecitazione del ferro è costantemente $\sigma_s = 1400 \text{ kg/cm}^2$. — La spinta orizzontale max e le reazioni verticali degli appoggi sono calcolate considerando il sovraccarico esteso a tutto l'arco, mentre le sollecitazioni del ferro e del laterizio alla flessione-compressione sono verificate in base al sovraccarico limitato a metà arco.

Verticali degli appoggi sono calcolate considerando il sovraccarico esteso a tutto l'arco, mentre le sollecitazioni del ferro e

• FASE 1: ANALISI DELLA STRUTTURA ESISTENTE

ANALISI DEI CARICHI secondo CNR UNI 10012/67:

- Peso proprio volta: 200 kg/m²
- Carichi permanenti non strutturali: 50 kg/m²
- Carico neve: 60 kg/m²

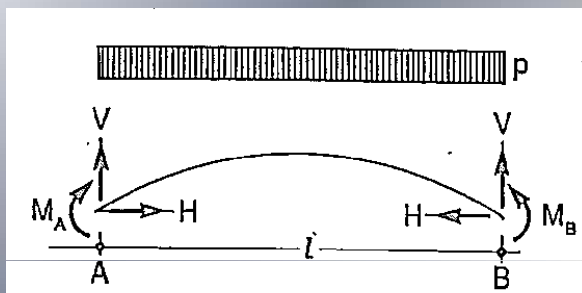
MATERIALI secondo R.D. n. 2229 del 16/11/1939:

- Conglomerato di cemento normale ad alta resistenza: $\sigma_{amm,c} = 50 \text{ kg/cm}^2$
con resistenza cubica minima
 $\sigma_{min,c} = 160 \text{ kg/cm}^2$
 $\tau_{min} = 6 \text{ kg/cm}^2$ $\tau_{max} = 16 \text{ kg/cm}^2$
- Acciaio semiduro: $\sigma_{amm,f} = 1800 \text{ kg/cm}^2$
- Coefficiente di omogeneizzazione: $n = E_f/E_c = 8$

- **FASE 1: ANALISI DELLA STRUTTURA ESISTENTE**

METODI DI CALCOLO:

- Volta: schema di arco circolare a spinta eliminata



Arco circolare → non è funicolare dei carichi.

Le sollecitazioni sono:

$$H = 6611 \text{ kg}$$

$$V = 4340 \text{ kg}$$

- **FASE 1: ANALISI DELLA STRUTTURA ESISTENTE**

ESEMPIO DI ARMATURA PRESENTE NELLE VOLTE: imposta e chiave



- **FASE 1: ANALISI DELLA STRUTTURA ESISTENTE**

ESEMPIO DI DANNI PROVOCATI DAGLI INCENDI: collasso della volta a causa dell'azione del fuoco sulle catene



- **FASE 1: ANALISI DELLA STRUTTURA ESISTENTE**

ESEMPIO DI DANNI PROVOCATI DAGLI INCENDI: collasso della volta a causa dell'azione del fuoco sulle catene



- **FASE 1: ANALISI DELLA STRUTTURA ESISTENTE**

ESEMPIO DI DANNI PROVOCATI DAGLI INCENDI: armature presenti nelle travi



• FASE 1: ANALISI DELLA STRUTTURA ESISTENTE

VERIFICHE:

→ Catena $\phi 34$ ad interasse 2 m:

$$A = \pi/4 \cdot d^2 = \pi/4 \cdot 3,4^2 = 9,08 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = 2 \cdot H/A = 2 \cdot 6611/9,08 = 1456 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{amm,f} = 1800 \text{ kg/cm}^2 \quad \underline{\text{VERIFICATA}}$$

→ Trave 40x70 cm, L = 5,35 m, schema: trave incastrata

$$M_{appoggio} = qL^2/12 = 10352 \text{ kgm}$$

$$M_{campata} = qL^2/12 = 10352 \text{ kgm} \quad [M_{campata} = qL^2/24 = 5176 \text{ kgm}]$$

Verifica Appoggio:

$$\sigma_c = 43 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{c,amm} = 50 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_f = 922 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{f,amm} = 1800 \text{ kg/cm}^2$$

VERIFICATA

• FASE 1: ANALISI DELLA STRUTTURA ESISTENTE

Verifica Campata:

$$\sigma_c = 50 \text{ kg/cm}^2 \cong \sigma_{c,amm} = 50 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{LIMITE DELLA RESISTENZA DEL CLS}$$

$$\sigma_f = 1314 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{f,amm} = 1800 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{VERIFICATA}$$

$$[\sigma_c = 25 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{c,amm} = 50 \text{ kg/cm}^2]$$

$$[\sigma_f = 657 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{f,amm} = 1800 \text{ kg/cm}^2]$$

VERIFICATA

Verifica a taglio:

$$T = ql/2 = 11610 \text{ kg}$$

$$\tau = 4,8 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{amm} = 6 \text{ kg/cm}^2$$

VERIFICATA

• FASE 1: ANALISI DELLA STRUTTURA ESISTENTE

VERIFICHE:

→ *Pilastro 30x40 cm, calcolato per compressione semplice:*

$$N = 23220 \text{ kg}$$

$$\sigma = 19 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{c,amm} = 45 \text{ kg/cm}^2 \text{ (caso di pressione semplice)}$$

VERIFICATA

→ *Plinto di fondazione a base quadrata 110x110 cm e magrone di impronta 160x160 cm, calcolato per sforzo normale centrato:*

$$N = 23220 \text{ kg}; \sigma_t = 1,9 \text{ kg/cm}^2 \text{ sull'impronta di base};$$

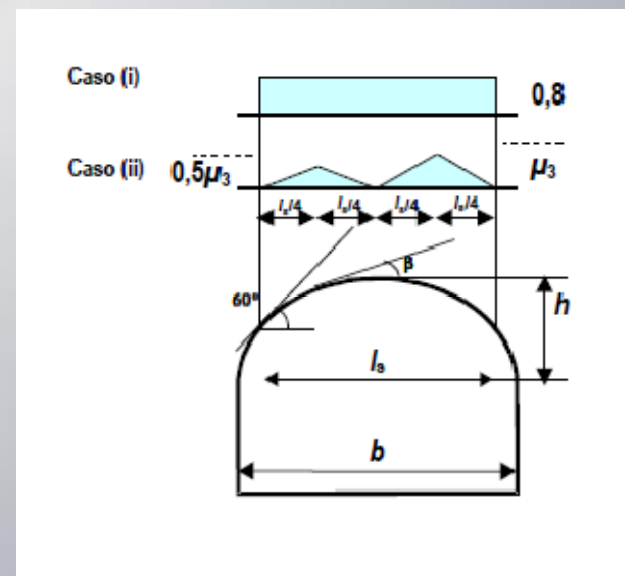
$$\sigma_t = 0,9 \text{ kg/cm}^2 \text{ sull'impronta del magrone}$$

**DIMENSIONAMENTO CORRETTO DELLA STRUTTURA ESISTENTE
CON LA NORMATIVA VIGENTE AL MOMENTO DELLA
COSTRUZIONE**

• FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE

ANALISI DEI CARICHI secondo D.M. 14/01/2008:

- Peso proprio volta: 200 kg/m^2
- Carichi permanenti non strutturali: 50 kg/m^2
- Carico neve:



• **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

ANALISI DEI CARICHI secondo D.M. 14/01/2008:

- **Peso proprio volta:** 200 kg/m²
- **Carichi permanenti non strutturali:** 50 kg/m²
- **Carico neve:** 80 kg/m² > 60 kg/m²
- **Azione sismica:**

Vita nominale: V_N=50 anni

Coefficiente d'uso: C_U=1

Periodo di riferimento: V_R=50 anni

Categoria di sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

- **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

- **Azione sismica secondo D.M. 14/01/2008:**

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate

LONGITUDINE
11.10337

LATITUDINE
43.85616

☐ Ricerca per comune

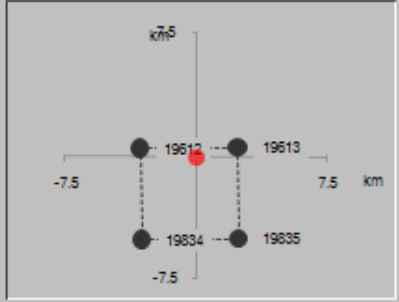
REGIONE
Toscana

PROVINCIA
Prato

COMUNE
Prato

Elaborazioni grafiche
Grafici spettri di risposta
Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche
Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito


Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo
☐ Sito esterno al reticolo
☐ Interpolazione su 3 nodi
☒ Interpolazione corretta

Interpolazione
media ponderata



La "Ricerca per comune" utilizza le ... coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che ... all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

• **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

- **Azione sismica secondo D.M. 14/01/2008:**

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - C_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE {
SLO - $P_{VR} = 81\%$
SLD - $P_{VR} = 63\%$
Stati limite ultimi - SLU {
SLV - $P_{VR} = 10\%$
SLC - $P_{VR} = 5\%$

Elaborazioni

Grafici parametri azione ☐

Grafici spettri di risposta ☐

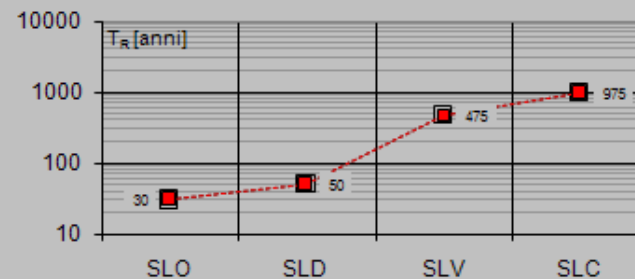
Tabella parametrizzazione ☐

LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

---■--- Strategia scelta

Strategia di progettazione



INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

- **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

- Azione sismica secondo D.M. 14/01/2008:

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato SLV info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo C info
Categoria topografica T1 info
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

$S_s = 1.500$
 $h/H = 0.000$
 $C_o = 1.562$
 $S_T = 1.000$ info

Compon. orizzontale

☐ Spettro di progetto elastico (SLE)
☒ Spettro di progetto inelastico (SLU)

Smorzamento ξ (%) 5
Fattore q_o 1.5
 $\gamma = 1.000$ info
Regol. in altezza sì info

Compon. verticale

Spettro di progetto

Fattore q 1.5
 $\gamma = 0.667$ info

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta →
Parametri e punti spettri di risposta →

— Spettro di progetto - componente orizzontale
— Spettro di progetto - componente verticale
— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

Spettri di risposta

$S_{d,e}$ [g]
 $S_{d,v}$ [g]
 S_e [g]

T [s]

INTRO

FASE 1

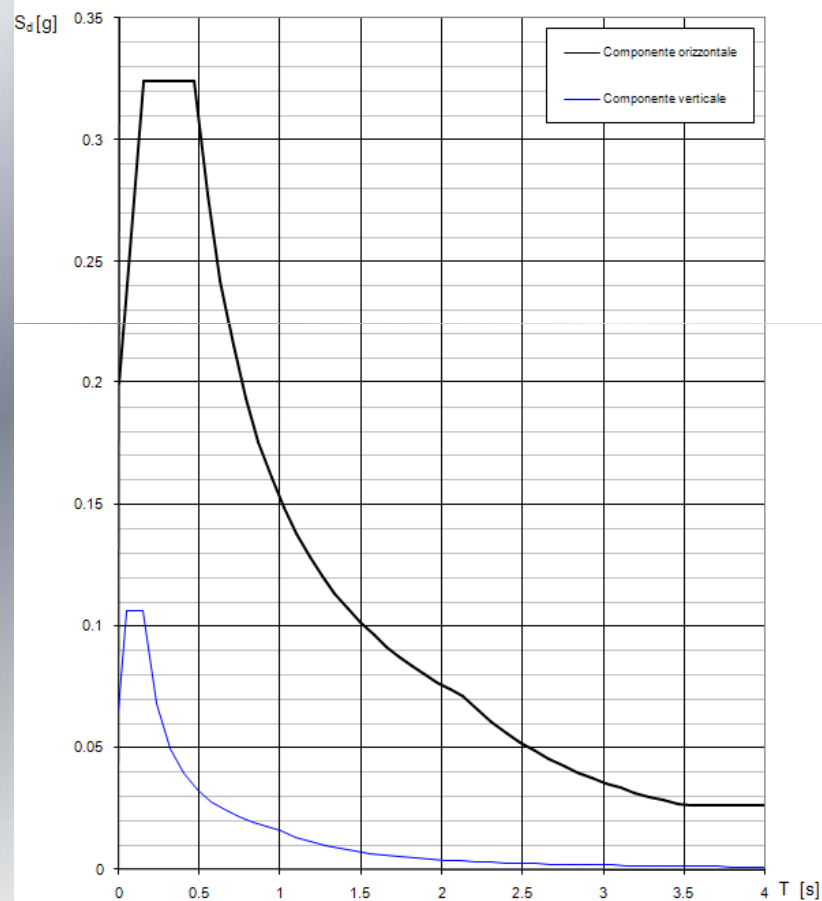
FASE 2

FASE 3

• **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

- **Azione sismica secondo D.M. 14/01/2008:**

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_n	0.133 g
F_a	2.436
T_C^*	0.300 s
S_s	1.500
C_C	1.562
S_T	1.000
q	1.500

Parametri dipendenti

S	1.500
η	0.667
T_B	0.156 s
T_C	0.469 s
T_D	2.132 s

- **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

- **Azione sismica secondo D.M. 14/01/2008:**

Occorre considerare la componente verticale dell'azione sismica in quanto la volta ha luce superiore a 20 m.

- **COMBINAZIONE DEI CARICHI:**

Per carichi non sismici (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Per carichi sismici (SLV):

$$E + G_1 + G_2 + \sum_i \Psi_{2i} Q_{Ki}$$

• FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE

- CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI:

Livello di conoscenza → LC2: Conoscenza Adeguata

Fattore di confidenza → FC=1,2

Tabella C8A.1.2 – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1		Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e limitate verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e limitate prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Disegni costruttivi incompleti con limitate verifiche in situ oppure estese verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con limitate prove in-situ oppure estese prove in-situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi con limitate verifiche in situ oppure esaustive verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in situ oppure esaustive prove in-situ	Tutti	1.00

- **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

- **CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI:**

Livello di conoscenza → LC2: Conoscenza Adeguata

Fattore di confidenza → FC=1,2

VERIFICA PER CARICHI SISMICI:

Elementi/meccanismi duttili:

- Calcestruzzo: $R_{cd} = R_m / FC = 160 / 1,2 = 133 \text{ kg/cm}^2$

- Acciaio: $f_{yd} = f_y / FC = 2700 / 1,2 = 2250 \text{ kg/cm}^2$

Elementi/meccanismi fragili:

- Calcestruzzo: $R_{cd} = R_m / (FC * \gamma_m) = 160 / (1,2 * 1,5) = 89 \text{ kg/cm}^2$

- Acciaio: $f_{yd} = f_y / (FC * \gamma_m) = 2700 / (1,2 * 1,5) = 1957 \text{ kg/cm}^2$

VERIFICA PER CARICHI NON SISMICI:

- Calcestruzzo: $R_{cd} = R_m / FC = 160 / 1,2 = 133 \text{ kg/cm}^2$

- Acciaio: $f_{yd} = f_y / FC = 2700 / 1,2 = 2250 \text{ kg/cm}^2$

- **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

- FATTORE DI STRUTTURA:**

Si effettua un'analisi dinamica modale:

Meccanismi fragili → $q = 1,5$

Meccanismi duttili → $q = 1,5 \div 3,0$

in base ai tassi di lavoro dei materiali
sotto le azioni statiche

N.B.: Comunque **NON** possono essere adottati fattori di struttura superiori a quelli previsti per le nuove costruzioni:

Tabella 7.4.I – Valori di q_0

Tipologia	q_0	
	CD "B"	CD "A"
Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste	$3,0 \alpha_0 / \alpha_1$	$4,5 \alpha_0 / \alpha_1$
Strutture a pareti non accoppiate	3,0	$4,0 \alpha_0 / \alpha_1$
Strutture deformabili torsionalmente	2,0	3,0
Strutture a pendolo inverso	1,5	2,0

Tabella 7.4.II – Valori di q_0 per strutture prefabbricate

Tipologia	q_0	
	CD "B"	CD "A"
Struttura a pannelli	3,0	$4,0 \alpha_0 / \alpha_1$
Strutture monolitiche a cella	2,0	3,0
Strutture a pilastri isostatici	2,5	3,5

- **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

- **FATTORE DI STRUTTURA:**

Si assume pertanto:

$$q = 1,5$$

Per la verifica delle strutture di fondazione e la valutazione delle tensioni sul terreno, si adotta:

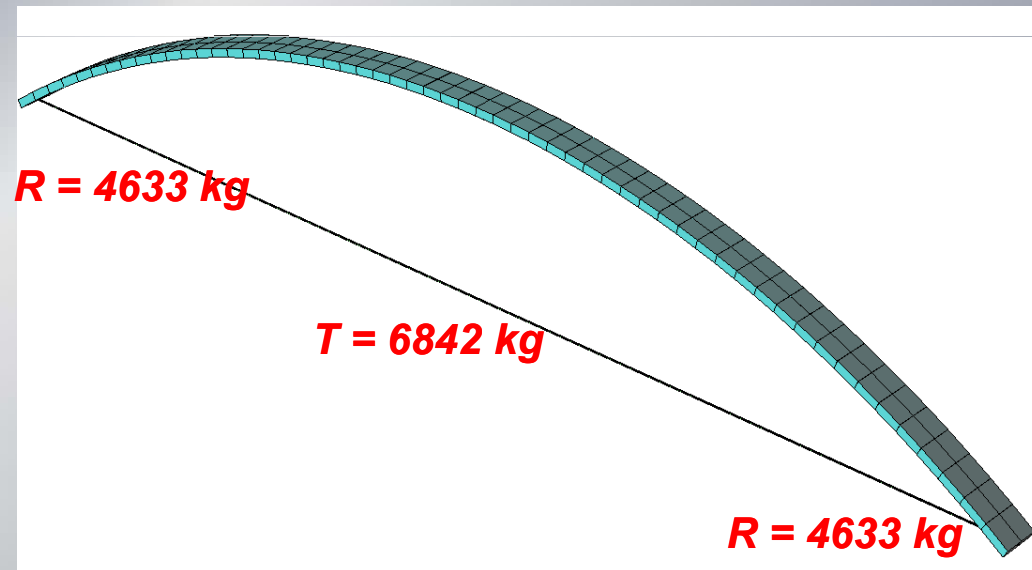
$$q = 1,0$$

- **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

Confronto delle sollecitazioni riferite ad 1 m di volta tra modello agli elementi finiti e valori calcolati manualmente, nell'ipotesi di arco a spinta eliminata:

Tiro catena FEM = 6842 kg

Reazione vincolare FEM = 4633 kg



• **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

Confronto delle sollecitazioni riferite ad 1 m di volta tra modello agli elementi finiti e valori calcolati manualmente, nell'ipotesi di arco a spinta eliminata:

Tiro catena FEM = 6842 kg

Reazione vincolare FEM = 4633 kg

Tiro catena calcolato = 6611 kg

Reazione vincolare calcolato = 4340 kg

~ + 4%

~ + 7%



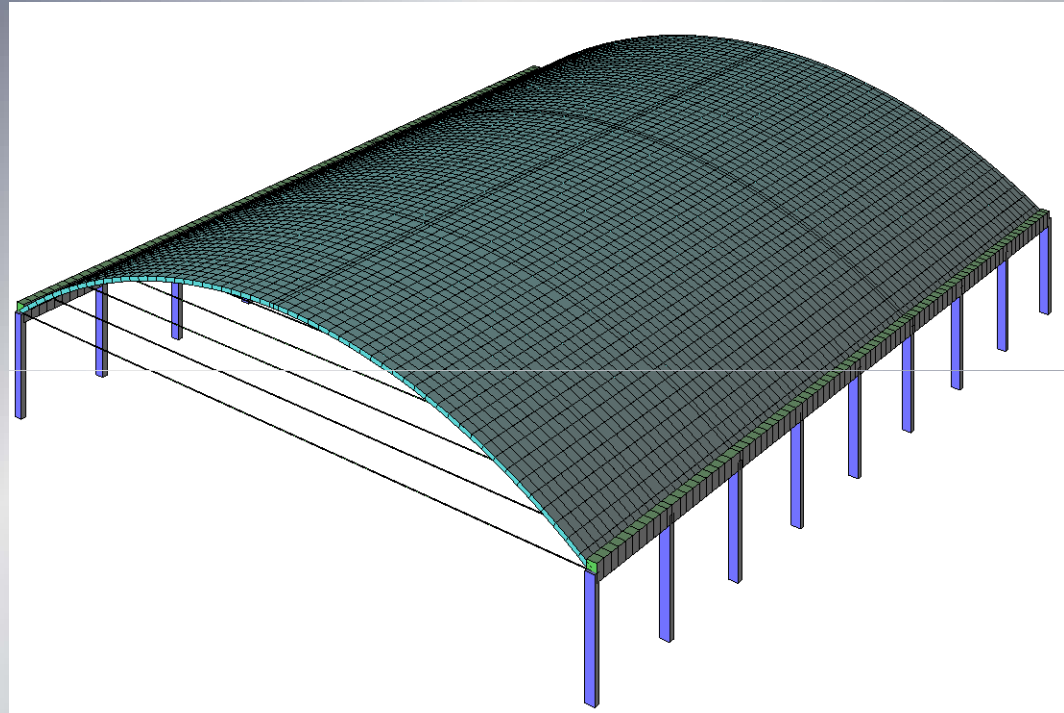
MODELLAZIONE AGLI ELEMENTI FINITI CORRETTA

• **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

Modellazione agli elementi finiti:

Schema limite 1:

- Volta → bidimensionali
- Telai, catene → aste
- Vincoli alla base
→ incastri
- Carico → volta

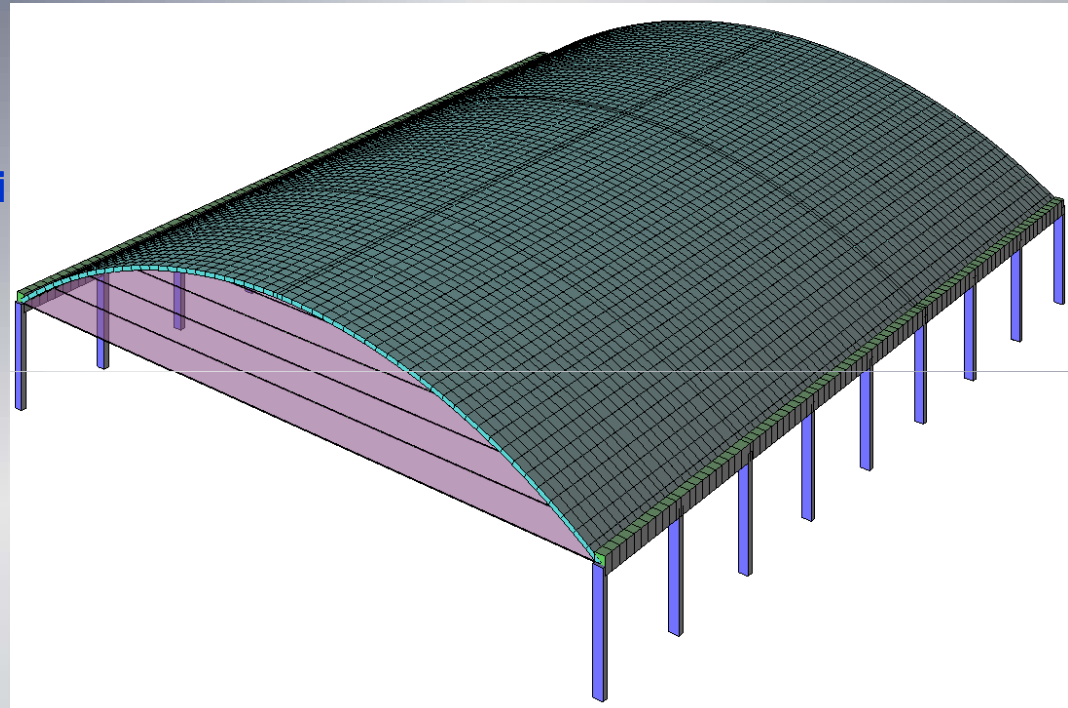


• **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

Modellazione agli elementi finiti:

Schema limite 2:

- Volta → bidimensionali
- Telai, catene → aste
- Vincoli alla base
→ incastri
- Carico → livello travi

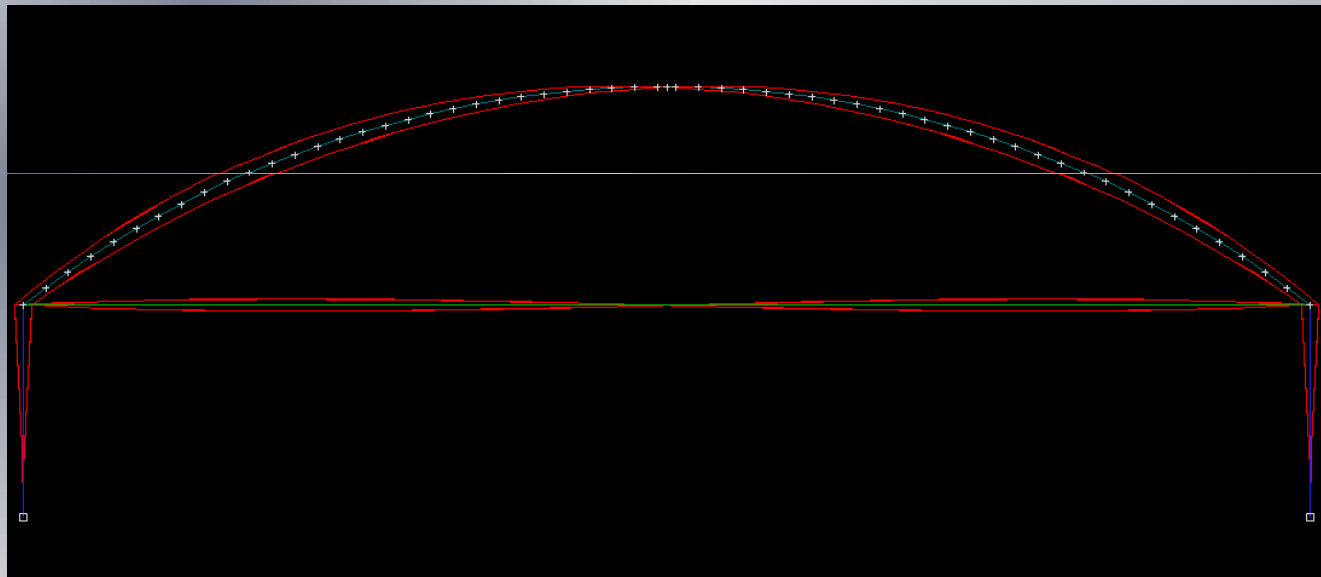


- **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

Modellazione agli elementi finiti:

Forme modali dello Schema 1:

Modo 1: $T = 0.759$ s

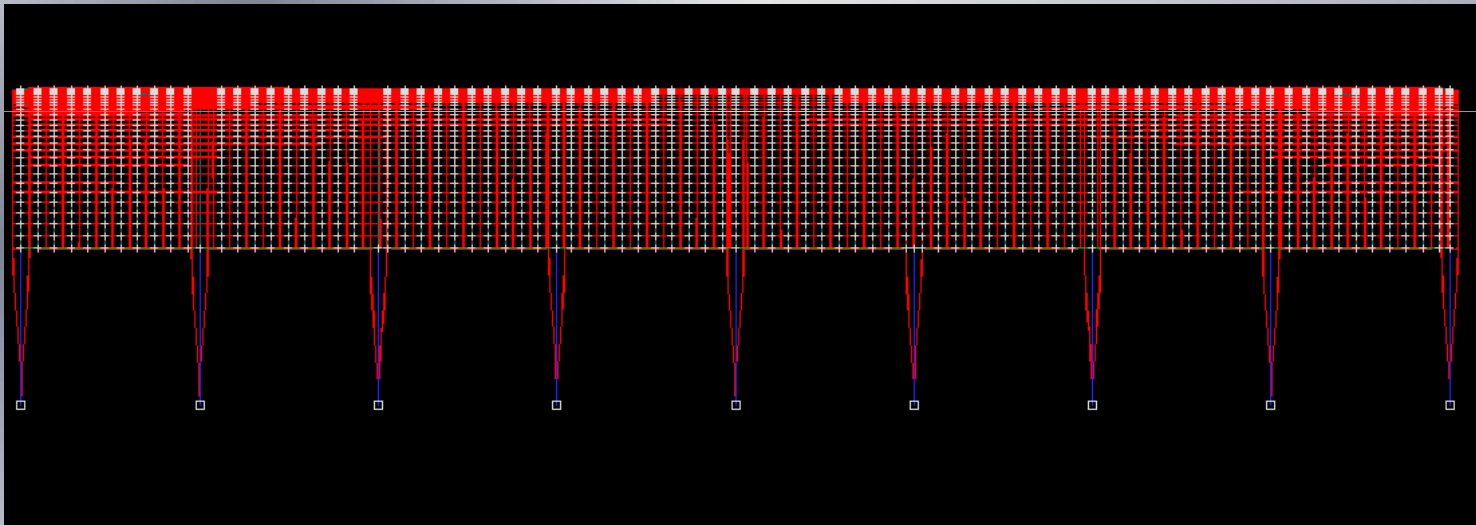


- **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

Modellazione agli elementi finiti:

Forme modali dello Schema 1:

Modo 2: $T = 0.537$ s

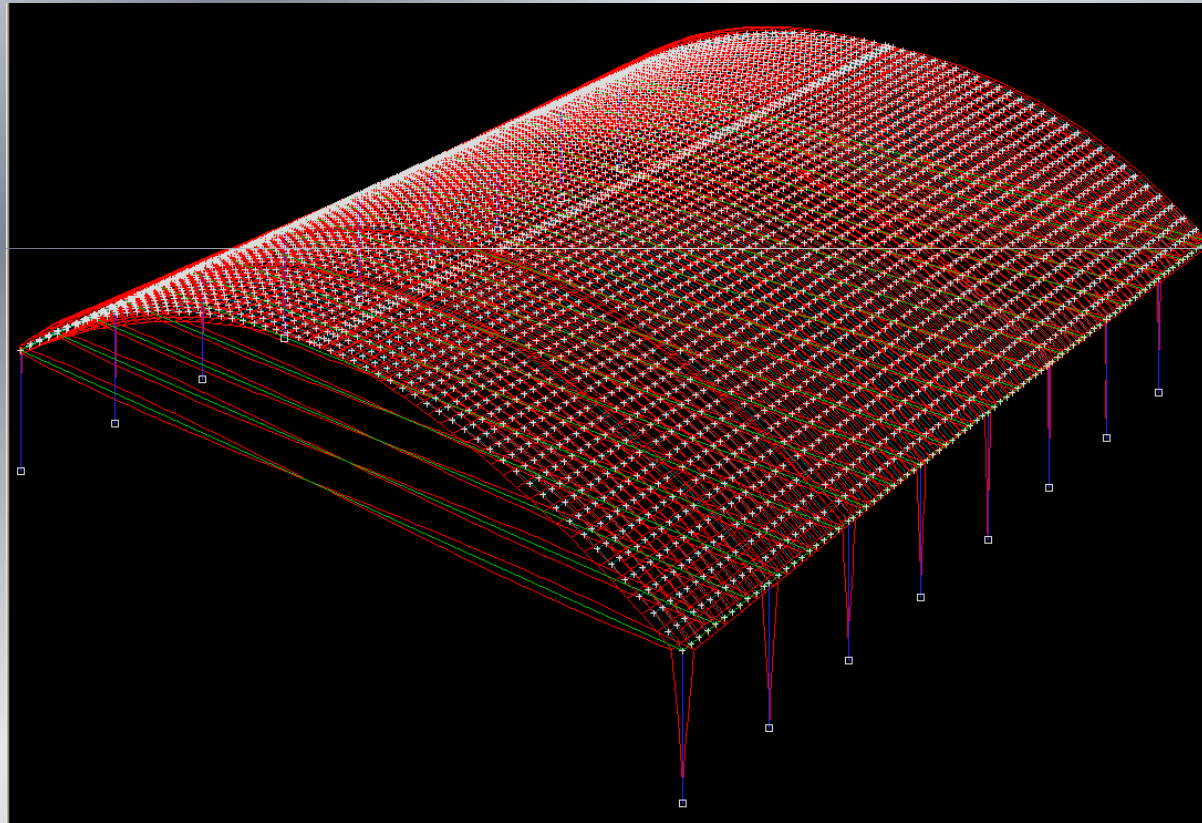


- **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

Modellazione agli elementi finiti:

Forme modali dello Schema 1:

Modo 3: $T = 0.501$ s

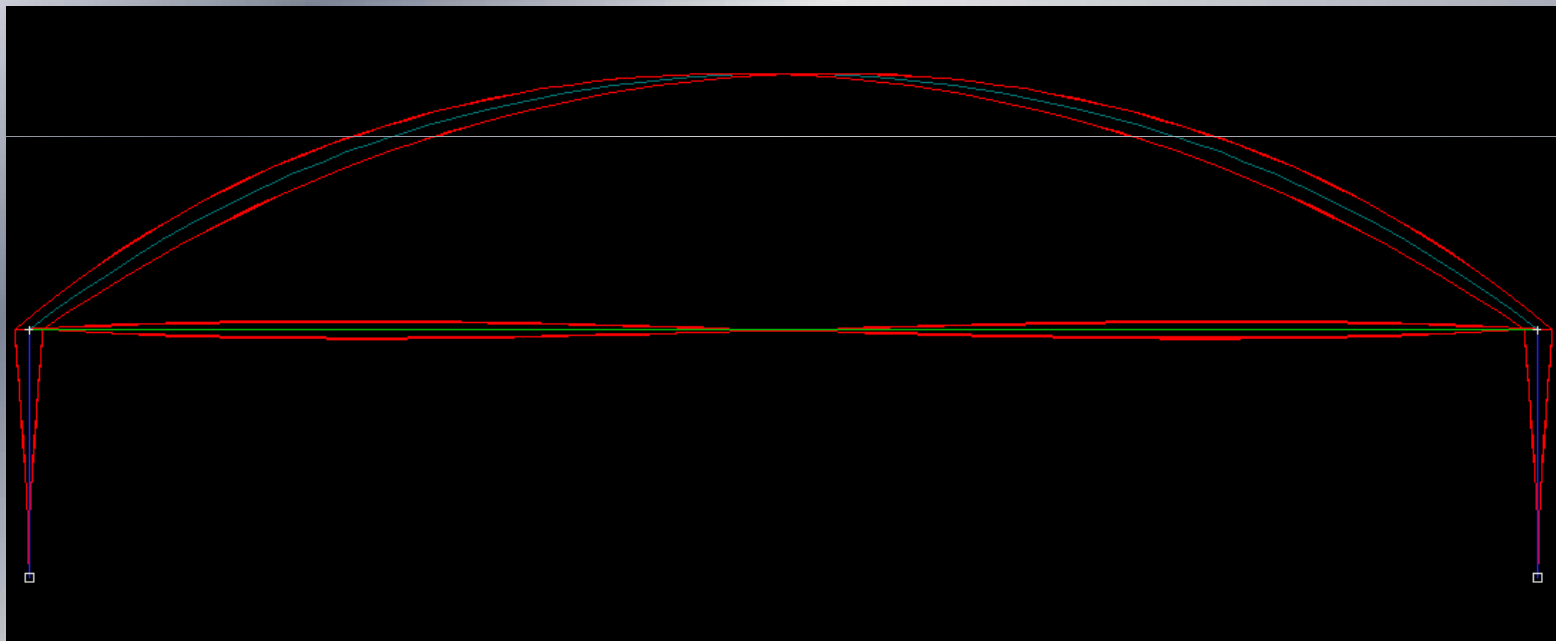


- **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

Modellazione agli elementi finiti:

Forme modali dello Schema 2:

Modo 1: $T = 0.569$ s

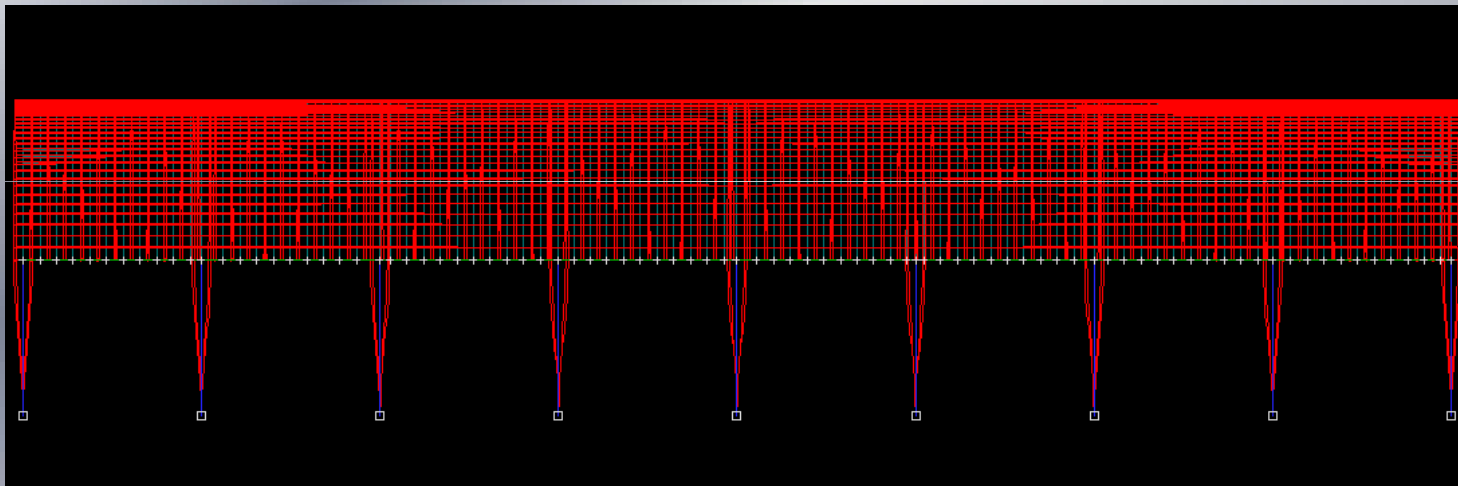


- **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

Modellazione agli elementi finiti:

Forme modali dello Schema 2:

Modo 2: $T = 0.519$ s

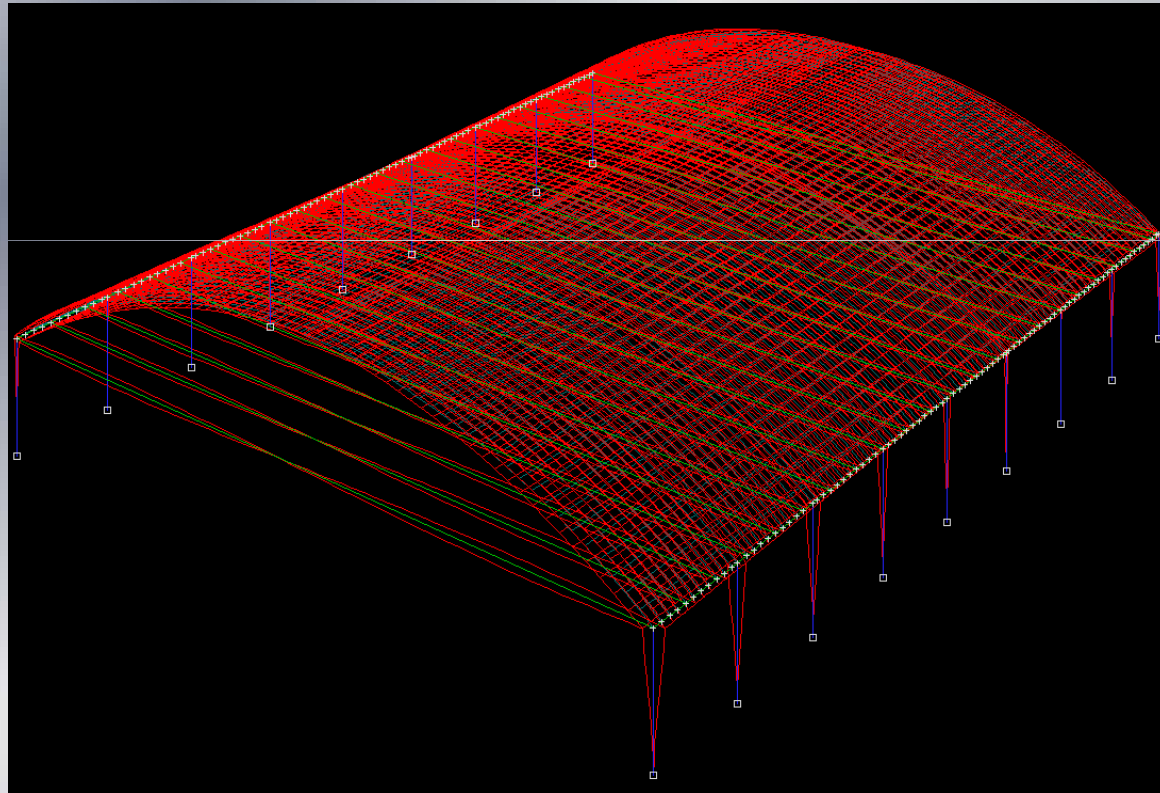


- **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

Modellazione agli elementi finiti:

Forme modali dello Schema 2:

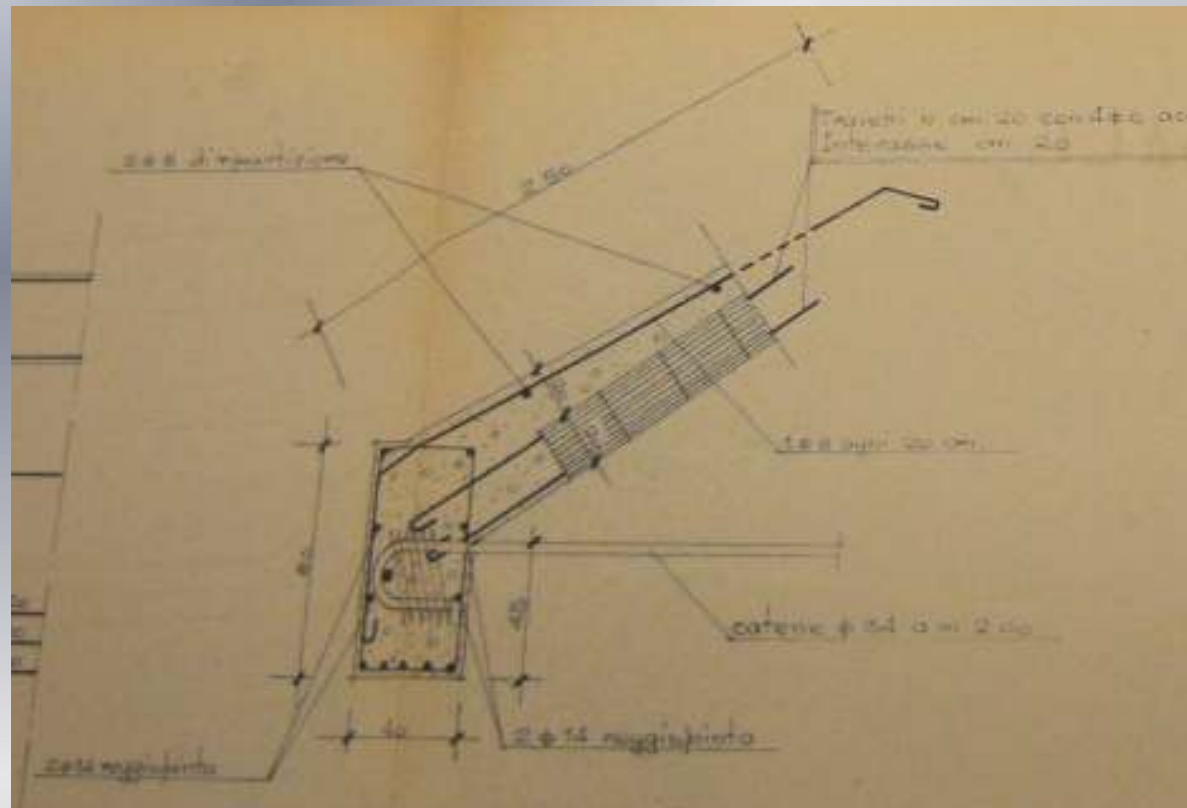
Modo 3: $T = 0.510$ s



- **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

VERIFICHE PER CARICHI STATICI ALLO SLU:

→ **Catena $\phi 34$ ad interasse 2 m, $A = 9,08 \text{ cm}^2$**



- FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE

VERIFICHE PER CARICHI STATICI ALLO SLU:

→ Catena $\phi 34$ ad interasse 2 m, $A = 9,08 \text{ cm}^2$, con sollecitazioni ricavate dallo SCHEMA 1

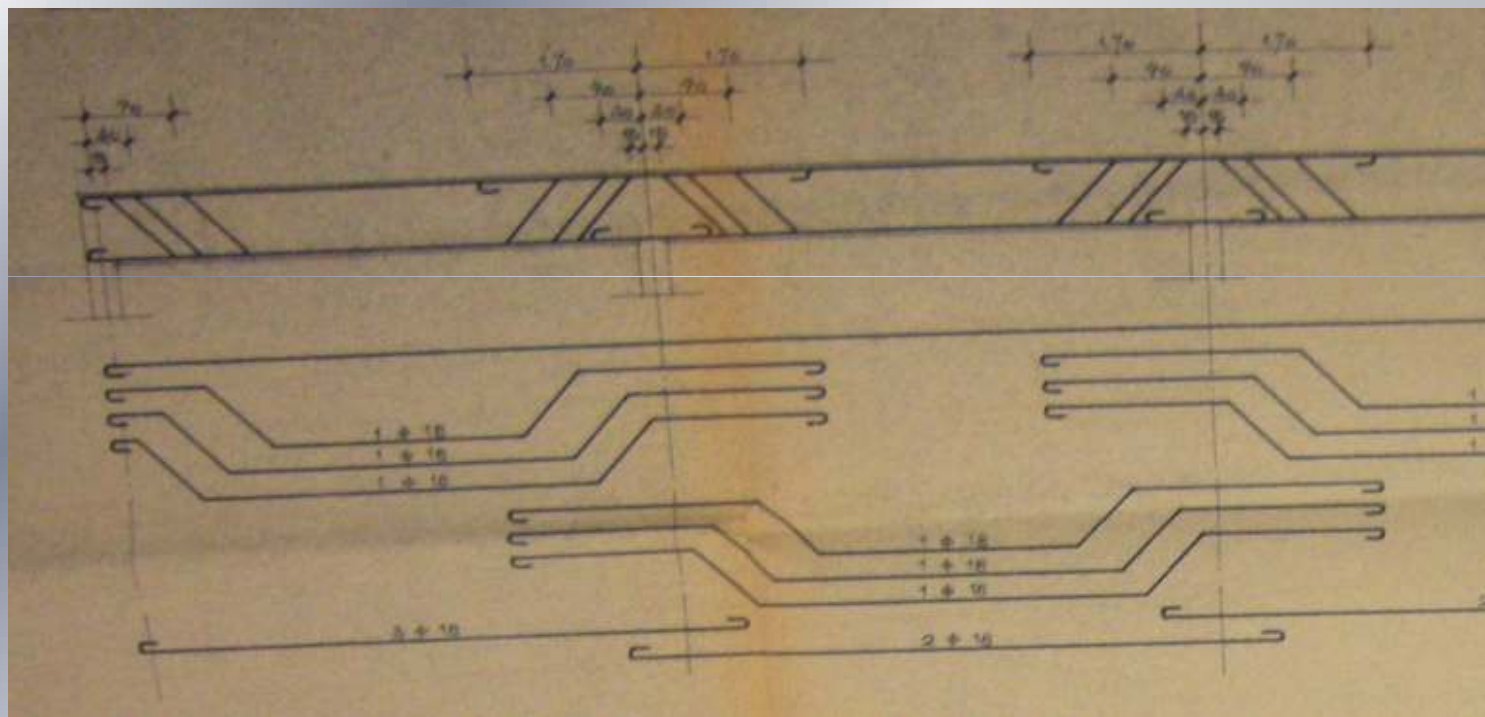
$$N_R = 20430 \text{ kg} > N_S = 15598 \text{ kg}$$

VERIFICA SODDISFATTA

- **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

VERIFICHE PER CARICHI STATICI ALLO SLU:

→ **Trave 40x70 cm**



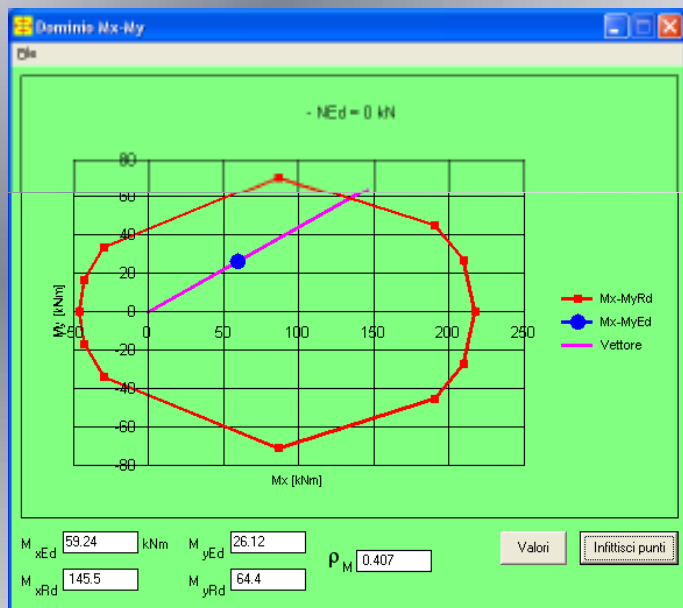
• **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

VERIFICHE PER CARICHI STATICI ALLO SLU:

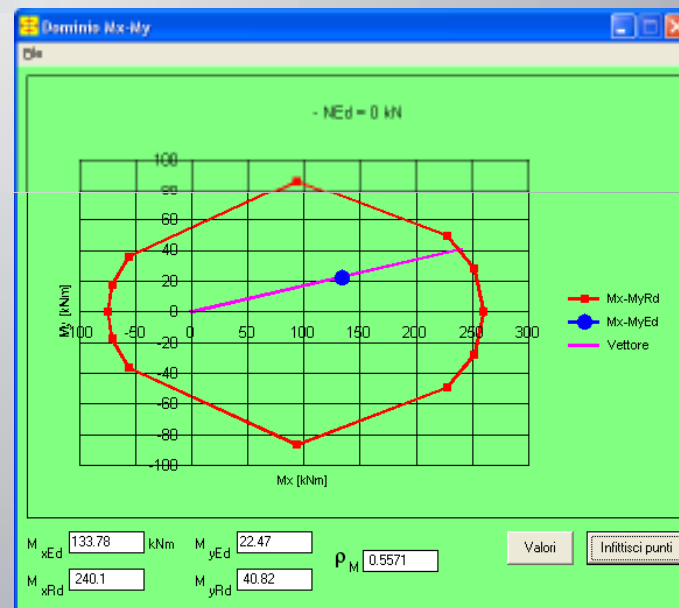
→ **Trave 40x70 cm, con sollecitazioni ricavate dallo SCHEMA 1**

Verifica mezzeria ed appoggio per campate centrali:

Mezzeria: 2 ϕ 14 sup. e 5 ϕ 18 inf.



Appoggio: 2 ϕ 14+6 ϕ 18 sup. e 2 ϕ 18 inf.



VERIFICHE SODDISFATTE

• **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

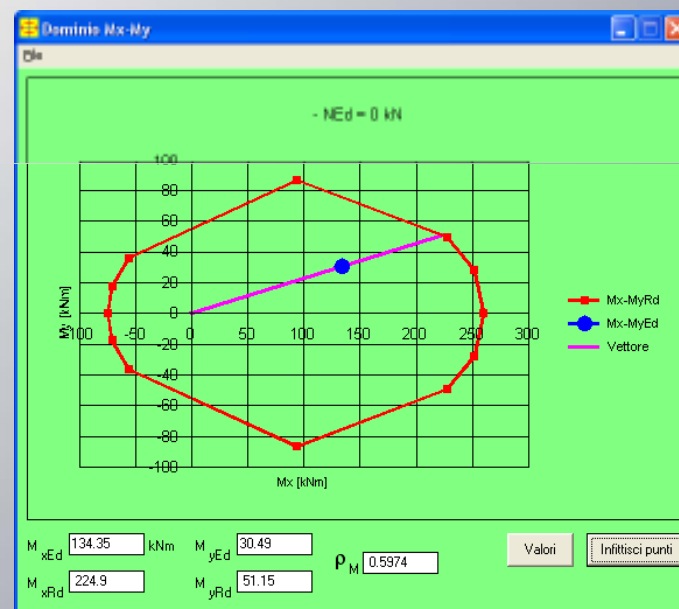
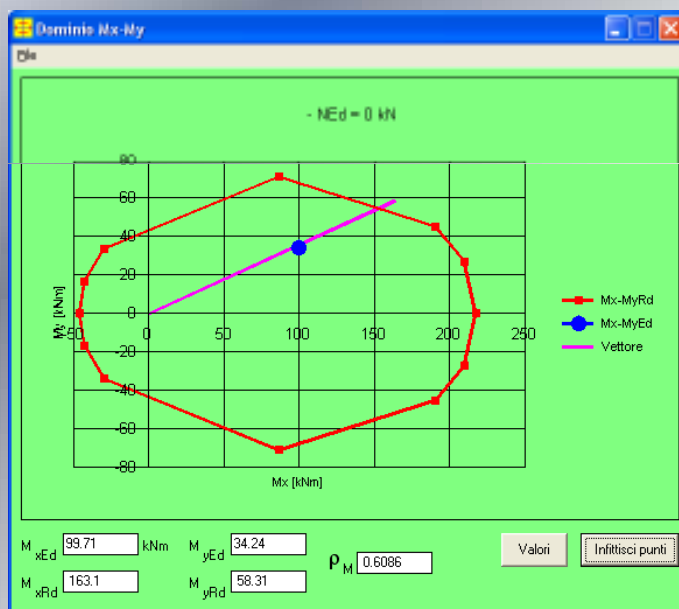
VERIFICHE PER CARICHI STATICI ALLO SLU:

→ **Trave 40x70 cm, con sollecitazioni ricavate dallo SCHEMA 1**

Verifica mezzeria ed appoggio per campate terminali:

Mezzeria: 2 ϕ 14 sup. e 6 ϕ 18 inf.

Appoggio: 2 ϕ 14+6 ϕ 18 sup. e 2 ϕ 18 inf.



VERIFICHE SODDISFATTE

• **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

VERIFICHE PER CARICHI STATICI ALLO SLU:

→ **Trave 40x70 cm, con sollecitazioni ricavate dallo SCHEMA 1**

Verifica a taglio:

- staffe $\phi 6$ con passo 20 cm:

$$V_{z,R} = \min (V_{Rsd}; V_{Rcd}) = \min (3838; 66234) = 3838 \text{ kg}$$

- ferri piegati $\phi 18$ con passo 25 cm:

$$V_{z,R} = \min (V_{Rsd}; V_{Rcd}) = \min (19349; 132468) = 19349 \text{ kg}$$

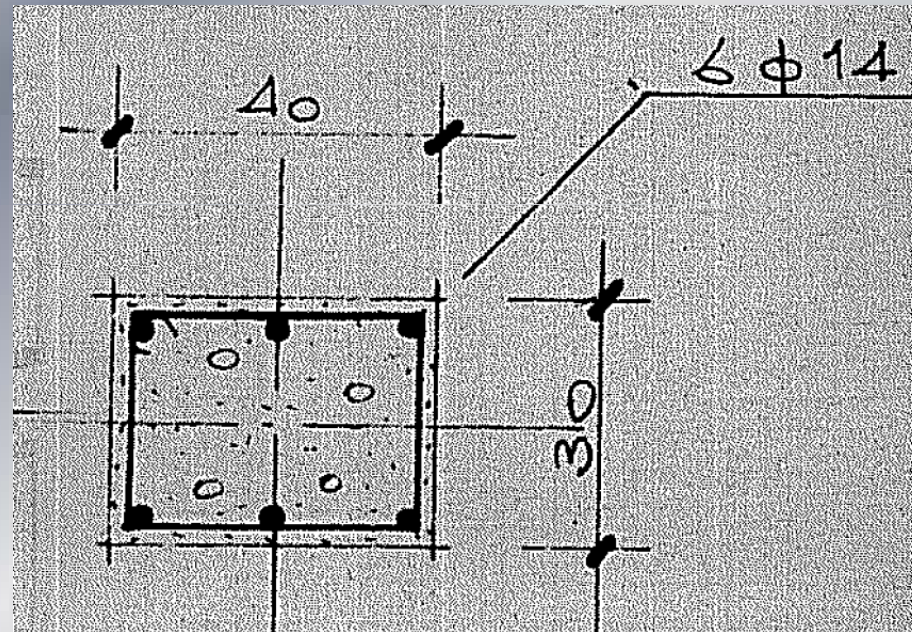
$$V_{z,R} = 19349 \text{ kg} > V_{z,S} = 18304 \text{ kg}$$

VERIFICA SODDISFATTA

- FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE

VERIFICHE PER CARICHI STATICI ALLO SLU:

→ *Pilastro 30x40 cm, con sollecitazioni ricavate dallo SCHEMA 2, armato con 6 ϕ 14 e staffe ϕ 6 con passo 15 cm:*

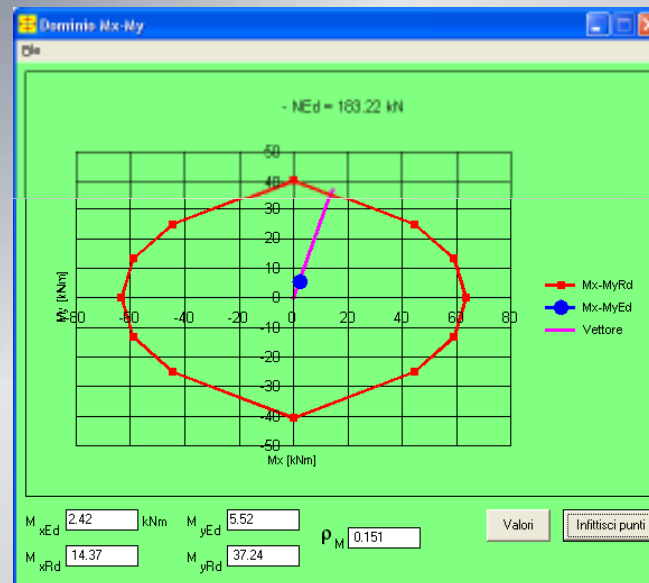


• FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE

VERIFICHE PER CARICHI STATICI:

→ *Pilastro 30x40 cm, con sollecitazioni ricavate dallo SCHEMA 2, armato con 6 ϕ 14 e staffe ϕ 6 con passo 15 cm:*

Verifica per tensioni normali allo SLU :



VERIFICA SODDISFATTA

- **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

VERIFICHE PER CARICHI STATICI:

→ **Verifica a taglio allo SLU, Pilastro 30x40 cm:**

$$V_{z,R} = \min (V_{Rsd}; V_{Rcd}) = \min (2847; 27639) = 2847 \text{ kg}$$

$$V_{z,R} = 2847 \text{ kg} > V_{z,S} = 76 \text{ kg} \quad \textbf{\underline{VERIFICA SODDISFATTA}}$$

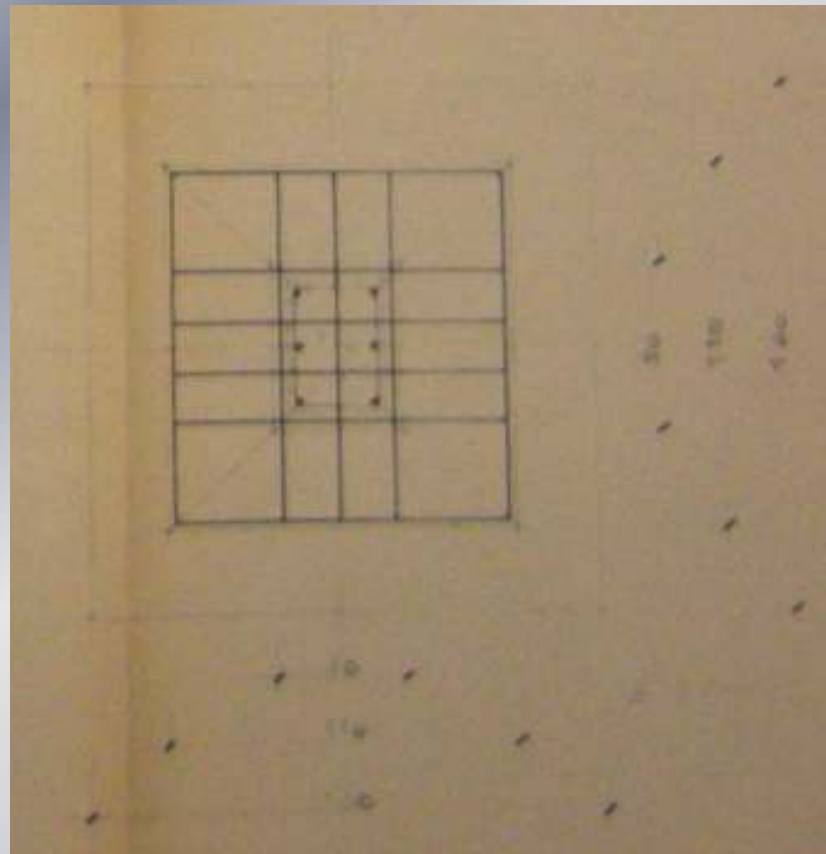
$$V_{y,R} = \min (V_{Rsd}; V_{Rcd}) = \min (2078; 26892) = 2078 \text{ kg}$$

$$V_{y,R} = 2078 \text{ kg} > V_{y,S} = 447 \text{ kg} \quad \textbf{\underline{VERIFICA SODDISFATTA}}$$

- **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

VERIFICHE PER CARICHI STATICI:

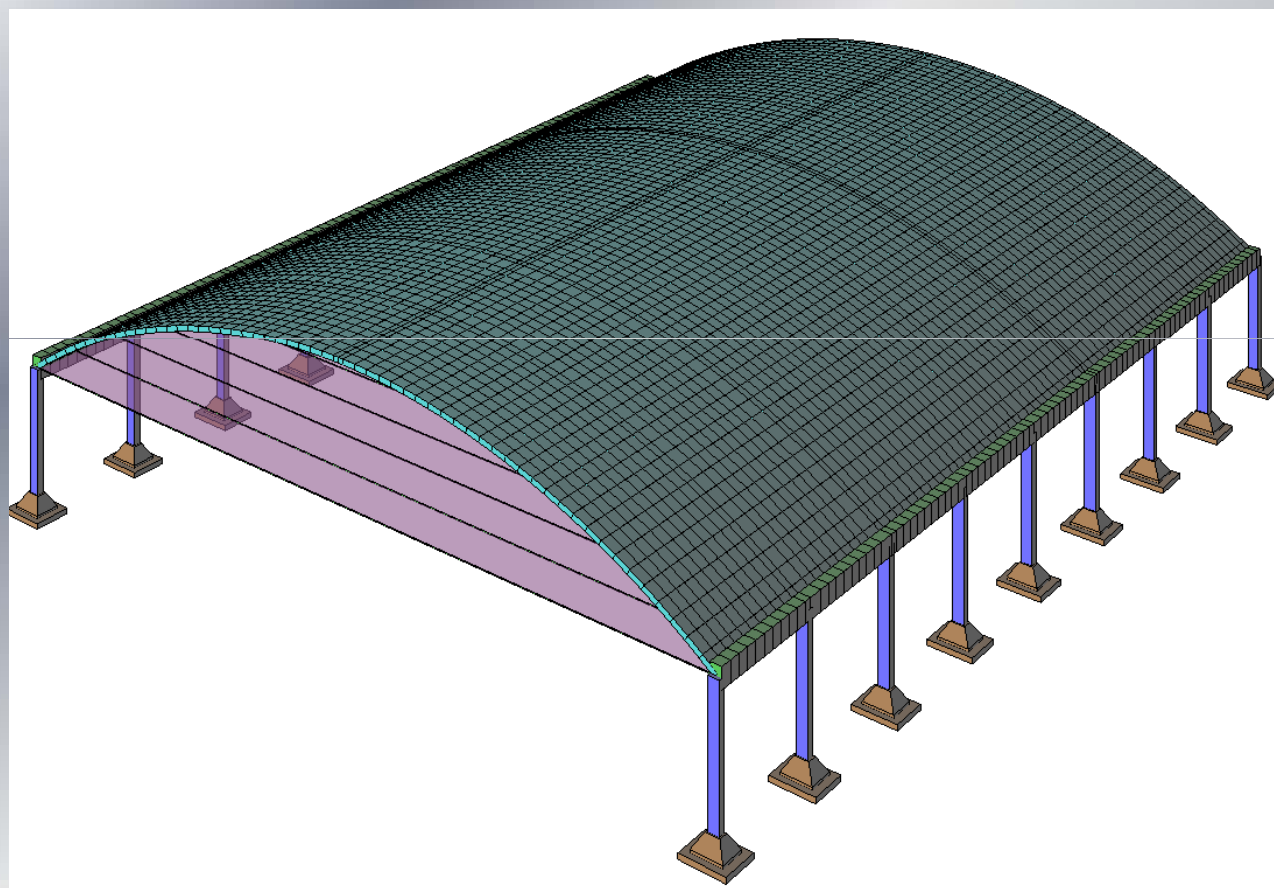
→ **Plinto di fondazione a base quadrata 110x110 cm e magrone di base 160x160 cm, armato con barre $\phi 10$:**



- **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

VERIFICHE PER CARICHI STATICI:

→ **Plinto di fondazione:**

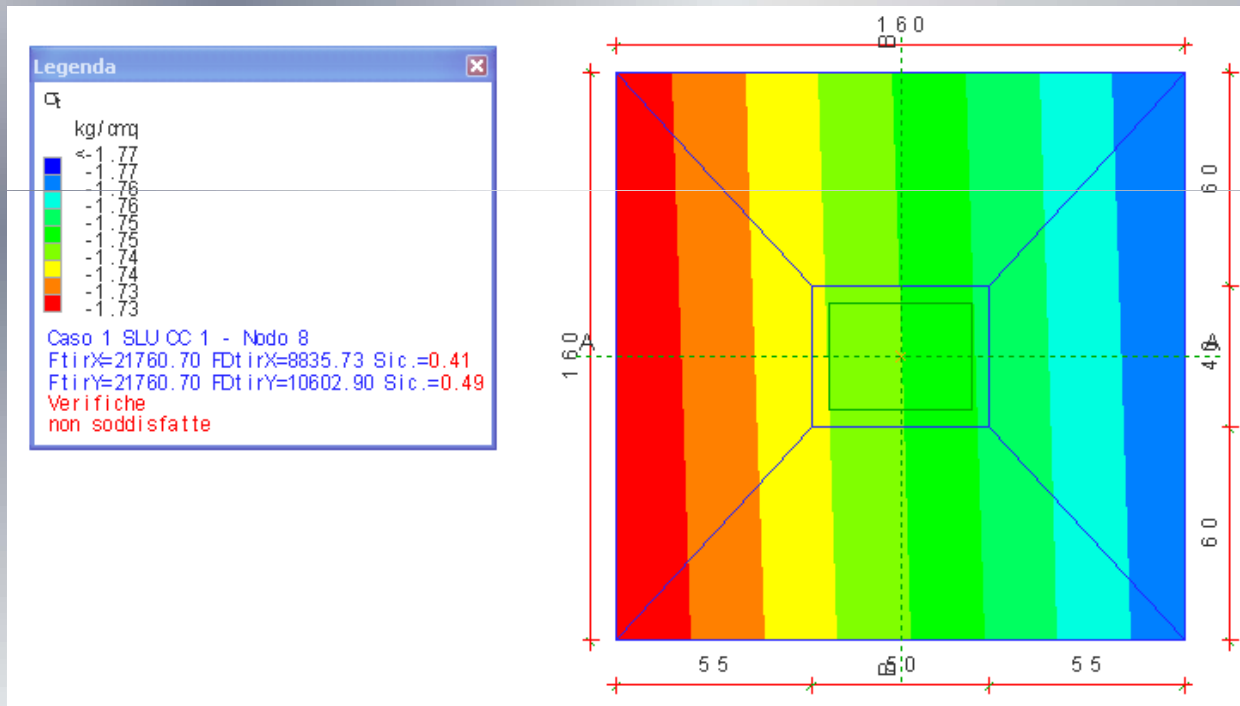


- **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

VERIFICHE PER CARICHI STATICI:

→ **Plinto di fondazione a base quadrata 110x110 cm e magrone di base quadrata di lato 160x160 m:**

Tensioni sul terreno riferite all'impronta del magrone:



- **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

VERIFICHE PER CARICHI SISMICI ALLO SLV:

→ Catena $\phi 34$ ad interasse 2 m, $A = 9,08 \text{ cm}^2$, con sollecitazioni ricavate dallo SCHEMA 1

$$N_R = 20430 \text{ kg} > N_{S,\max} = 9652 \text{ kg}$$

VERIFICA SODDISFATTA

IL SISMA VERTICALE NON INFLUENZA IL TIRO DELLA CATENA

(massimo incremento 5%). Valori comunque inferiore a quelli per carichi statici.

$$N_{S,\max} = 9652 \text{ kg}$$

→

$$N_{S,\max,\text{vert}} = 10143 \text{ kg}$$

• FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE

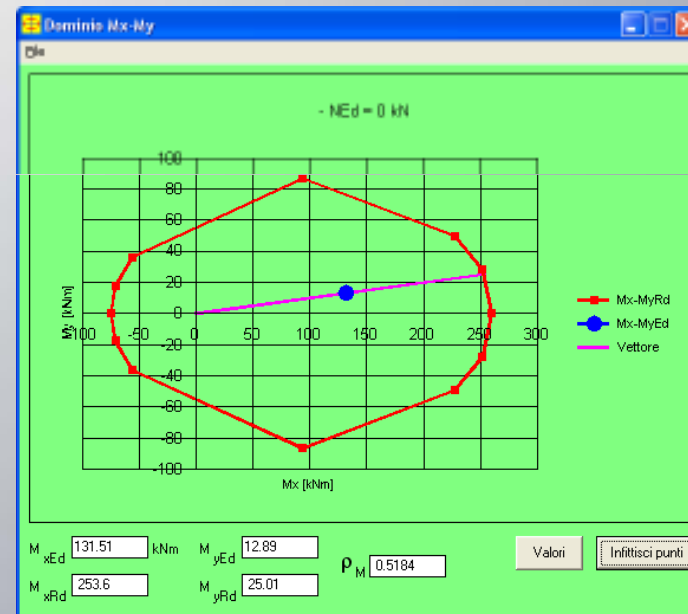
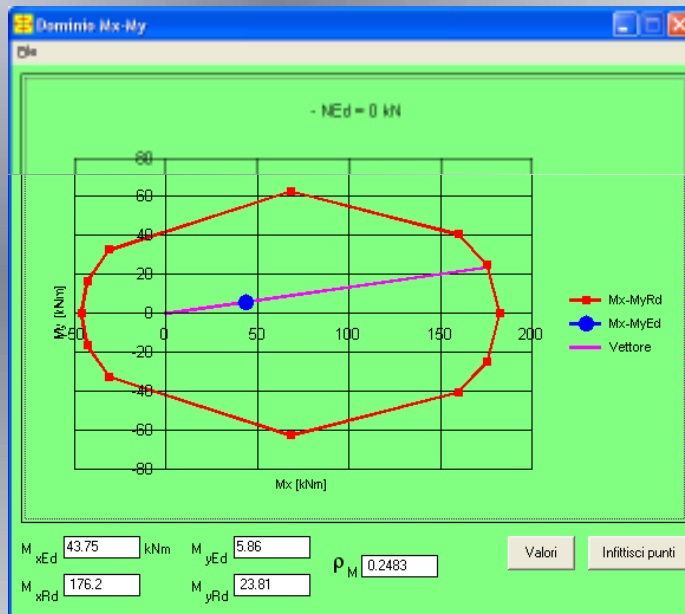
VERIFICHE PER CARICHI SISMICI ALLO SLV:

→ *Trave 40x70 cm, con sollecitazioni ricavate dallo SCHEMA 2*

Verifica mezzeria ed appoggio per campate centrali:

Mezzeria: 2 ϕ 14 sup. e 5 ϕ 18 inf.

Appoggio: 2 ϕ 14+6 ϕ 18 sup. e 2 ϕ 18 inf.



VERIFICHE SODDISFATTE

• FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE

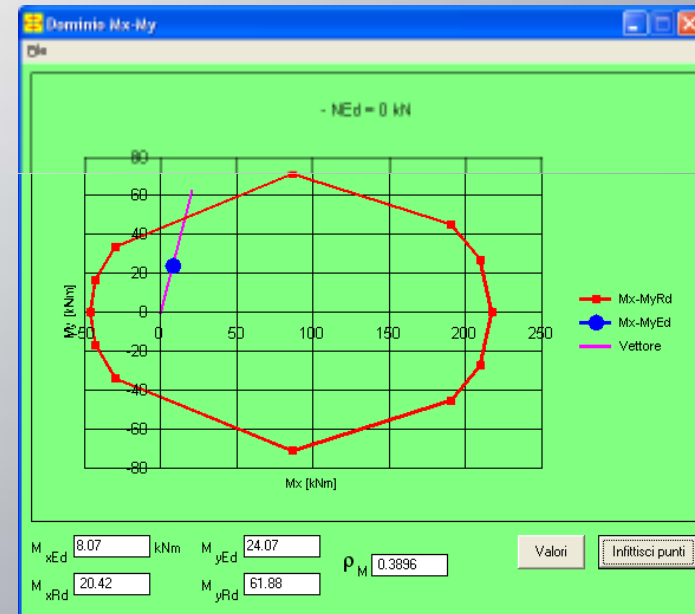
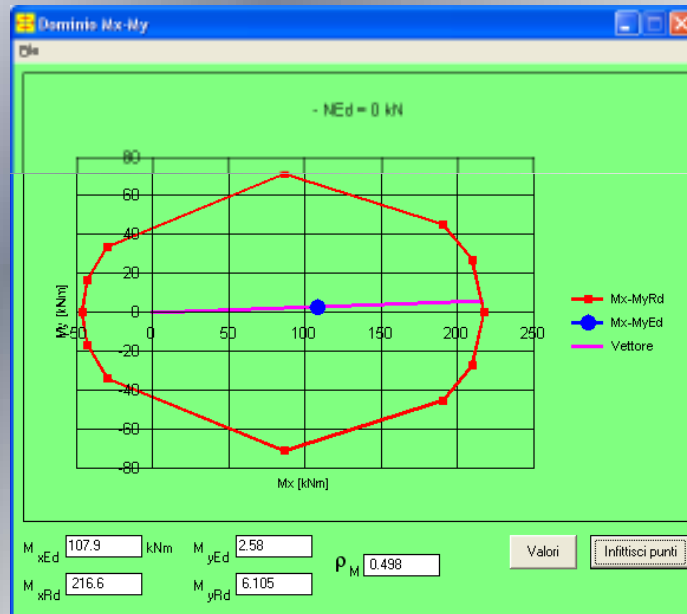
VERIFICHE PER CARICHI SISMICI ALLO SLV:

→ *Trave 40x70 cm, con sollecitazioni ricavate dallo SCHEMA 2*

Verifica mezzeria ed appoggio per campate terminali:

Mezzeria: 2 ϕ 14 sup. e 6 ϕ 18 inf.

Appoggio: 2 ϕ 14+6 ϕ 18 sup. e 2 ϕ 18 inf.



VERIFICHE SODDISFATTE

• **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

→ **Trave 40x70 cm, con sollecitazioni ricavate dallo SCHEMA 2**

Verifica a taglio allo SLV (meccanismo fragile):

- staffe $\phi 6$ con passo 20 cm:

$$V_{z,R} = \min (V_{Rsd}; V_{Rcd}) = \min (3337; 44156) = 3337 \text{ kg}$$

- ferri piegati $\phi 18$ con passo 25 cm:

$$V_{z,R} = \min (V_{Rsd}; V_{Rcd}) = \min (16825; 88312) = 16825 \text{ kg}$$

$$V_{z,R} = 16825 \text{ kg} > V_{z,S,max} = 16365 \text{ kg} \quad \textbf{\underline{VERIFICA SODDISFATTA}}$$

• **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

VERIFICHE PER CARICHI SISMICI:

→ **Pilastro 30x40 cm, con sollecitazioni ricavate dallo SCHEMA 2, armato con 6 ϕ 14 e staffe ϕ 6 con passo 15 cm:**

Verifica per tensioni normali allo SLV (meccanismo duttile):

Si verificano le condizioni di carico con le sollecitazioni maggiori:

Verifica C.A. S.L.U. - File: PILASTRO FRAGILE

Titolo: VERIFICA PILASTRI

N° strati barre: 3

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	30	40	1	3.08	3.5
			2	3.08	20
			3	3.08	36.5

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N: 239.28 kN
M_{Ed}: 191.3 kNm
M_{xEd}: 49.15 kNm
M_{yEd}: 0 kNm

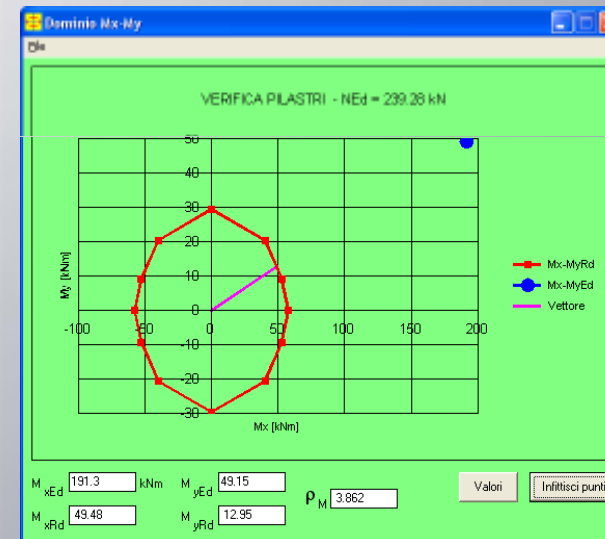
P.to applicazione N: Centro Baricentro cls Coord. [cm] xN: 0 yN: 0

Materiali: Acc-semidi R160

ϵ_{su} : 67.5‰ ϵ_{c2} : 2‰ ϵ_{cu} : 3.5‰
f_{yd}: 195.7 N/mm² ϵ_{cd} : 7.222‰
E_s: 200.000 N/mm² $\epsilon_{cc}/\epsilon_{cd}$: 0.8
E_s/E_c: 15 $\sigma_{c,adm}$: 6.25
 $\sigma_{s,adm}$: 180 N/mm² τ_{co} : 0.4133 τ_{c1} : 1.429

M_{xRd}: 49.48 kNm M_{yRd}: 12.95 kNm
 σ_c : -7.222 N/mm² σ_s : 195.7 N/mm²
 ϵ_c : 3.5‰ ϵ_s : 2.237‰
d: 37.6 cm
x: 22.94 x/d: 0.6101 δ : 1

Metodo di calcolo: S.L.U. + S.L.U. - Metodo n
Tipo flessione: Retta Deviata
N° rett.: 100
Calcola MRd Dominio Mx-My
angolo asse neutro θ° : 320
Precompresso



VERIFICA NON SODDISFATTA

• **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

VERIFICHE PER CARICHI SISMICI:

→ **Verifica per tensioni normali allo SLV (meccanismo duttile), Pilastro 30x40 cm:**

Verifica C.A. S.L.U. - File: PILASTRO FRAGILE

Titolo: VERIFICA PILASTRI

N° strati barre: 3

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	30	40	1	3.08	3.5
2			2	3.08	20
3			3	3.08	35.5

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 252.08 kN
M_{xEd} 80.44 kNm
M_{yEd} 163.99 kNm

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls
Coord. [cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio elastico

Metodo di calcolo: S.L.U. + S.L.U. - Metodo n

Tipo flessione: Retta Deviata

Materiali: Acc-semidi R160

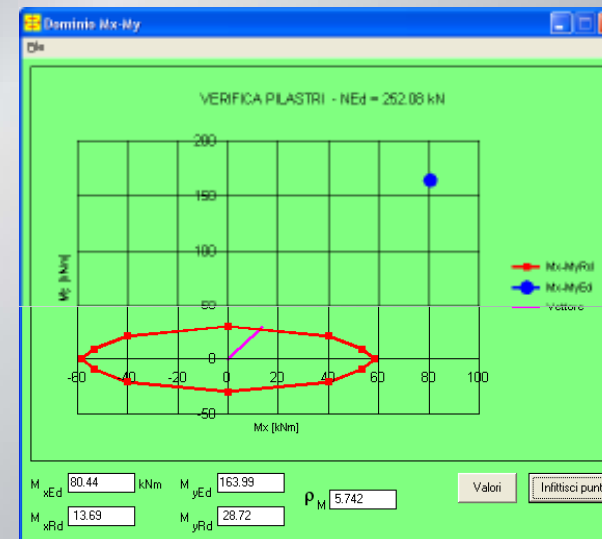
ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 195.7 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200,000 N/mm² f_{cd} 7.222 N/mm²
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ϵ_{syd} 0.978 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 6.25 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 180 N/mm² τ_{co} 0.4133 N/mm²
 τ_{c1} 1.429 N/mm²

M_{xRd} 13.69 kNm
M_{yRd} 28.72 kNm
 σ_c -7.222 N/mm²
 σ_s 146.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 0.7314 ‰
d 19.34 cm
x 15.99 x/d 0.8271
 δ 1

Calcola MRd Dominio Mx-My

angolo asse neutro θ° 277

Precompresso



VERIFICA NON SODDISFATTA

• FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE

VERIFICHE PER CARICHI SISMICI:

→ *Pilastro 30x40 cm*

Verifica a taglio allo SLV (meccanismo fragile):

$$V_{z,R} = \min (V_{Rsd}; V_{Rcd}) = \min (2476; 18426) = 2476 \text{ kg}$$

$$V_{z,R} = 2476 \text{ kg} < V_{z,S} = 6090 \text{ kg} \quad \textbf{\underline{VERIFICA NON SODDISFATTA}}$$

$$V_{y,R} = \min (V_{Rsd}; V_{Rcd}) = \min (1807; 17928) = 1807 \text{ kg}$$

$$V_{y,R} = 1807 \text{ kg} < V_{y,S} = 7110 \text{ kg} \quad \textbf{\underline{VERIFICA NON SODDISFATTA}}$$

- **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

VERIFICHE PER CARICHI SISMICI:

→ ***Plinto di fondazione a base quadrata 110x110 cm e magrone di base quadrata di lato 160x160 m:***

Sollecitazioni ricavate applicando il fattore di struttura $q=1$

Per alcune combinazioni di carico i plinti risultano essere tesi.

- **FASE 2: MODELLAZIONE F.E.M. STRUTTURA ESISTENTE**

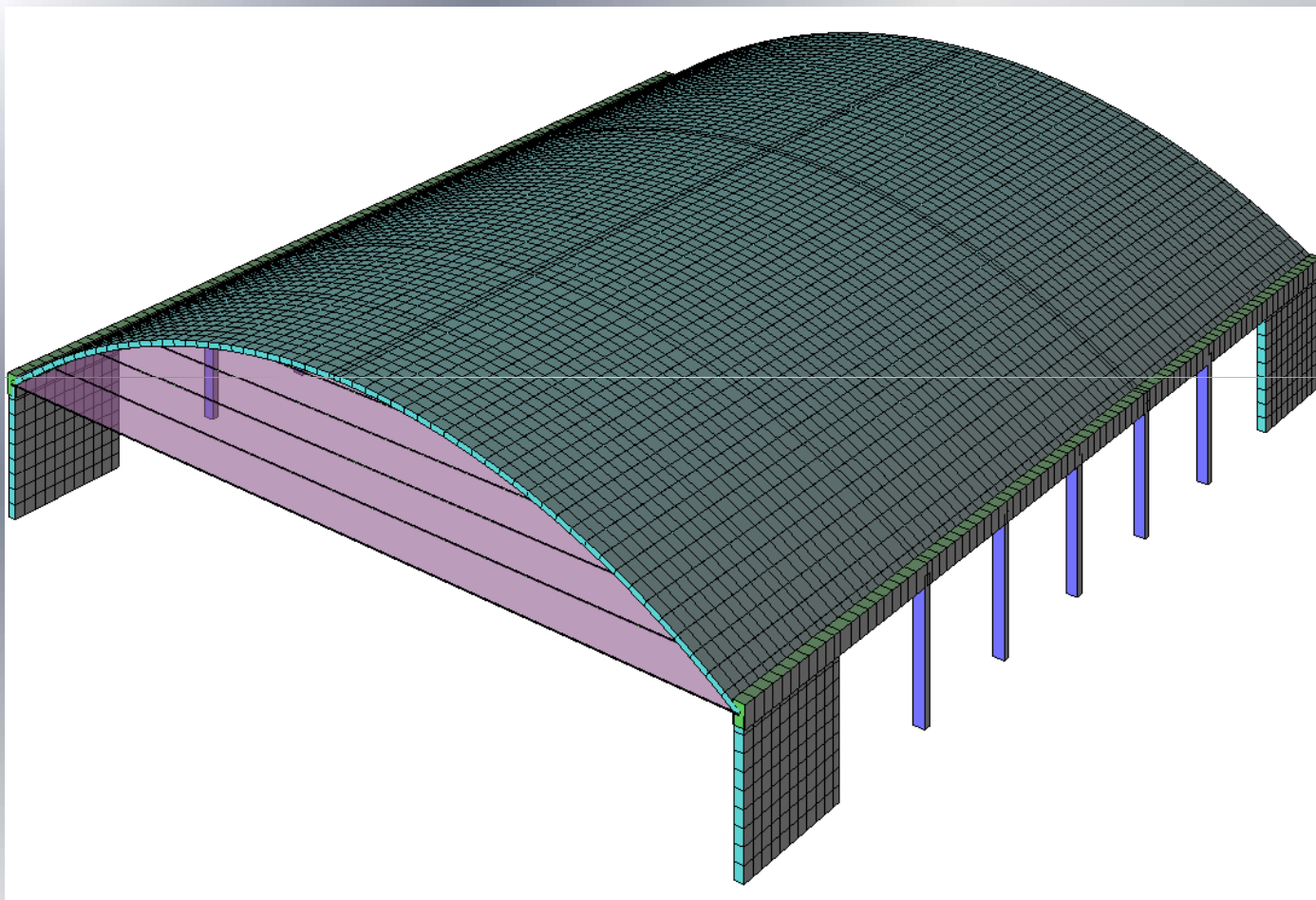
DETERMINAZIONE DEL PERIODO DI RITORNO DELLA STRUTTURA ESISTENTE:

- **PERIODO DI RITORNO IN TERMINI DI DOMANDA: $T_{R,D}(SLV) = 475$ anni**
- **PERIODO DI RITORNO IN TERMINI DI CAPACITA': $T_{R,C}(SLV) = 30$ anni
(MINIMO PREVISTO DALLA NORMATIVA,
LE VERIFICHE DEI PILASTRI RISULTANO NON SODDISFATTE,
DETERMINATO PER TENTATIVI)**
- **INDICE DI RISCHIO NEI CONFRONTI DELLO SLV:**

$$R_{CD}(SLV)=[T_{R,C}(SLV)/T_{R,D}(SLV)]^{0,41} = 0,32$$

- FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO

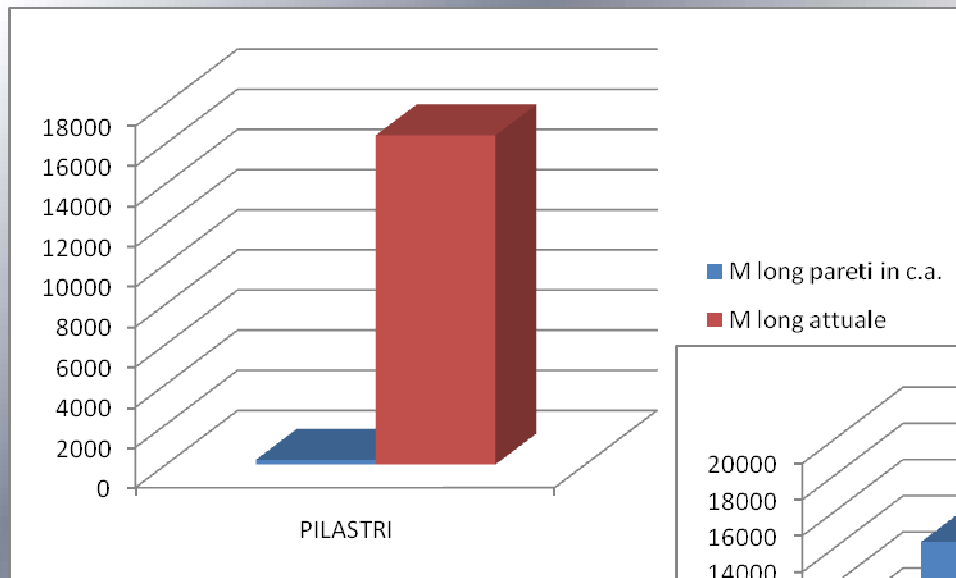
- INSERIMENTO DI PARETI IN C.A.



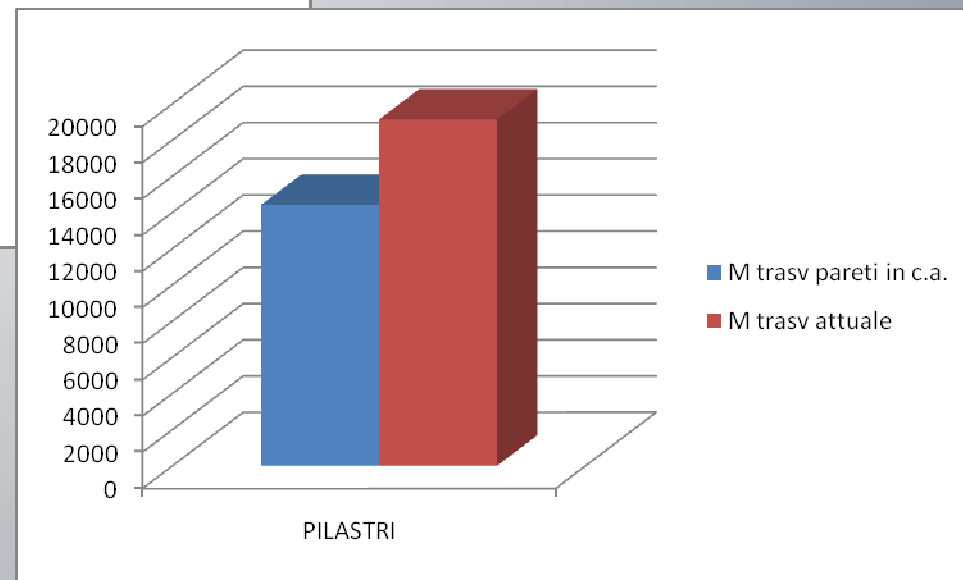
- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

- **INSERIMENTO DI PARETI IN C.A.**

Confronto tra le massime sollecitazioni agenti sui pilastri:



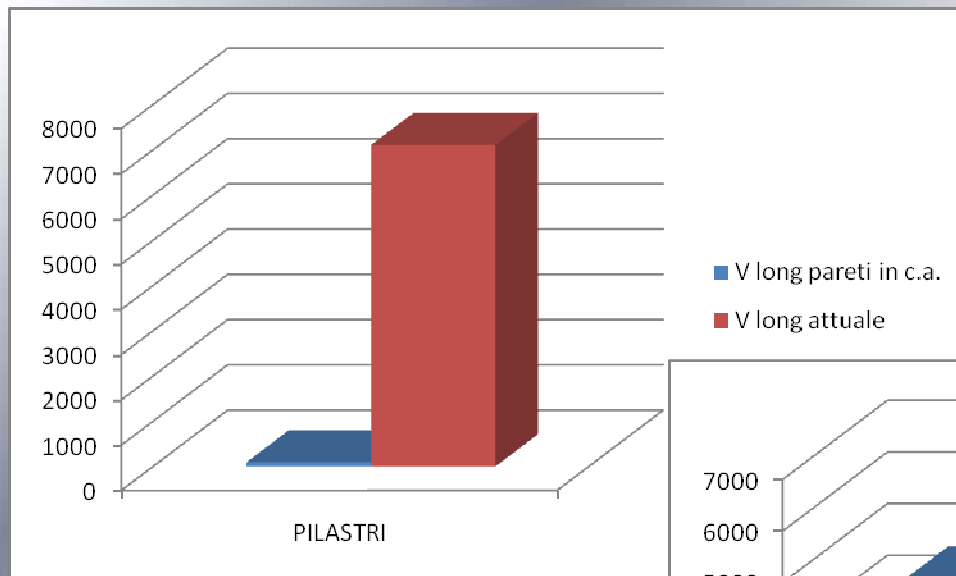
Momenti flettenti



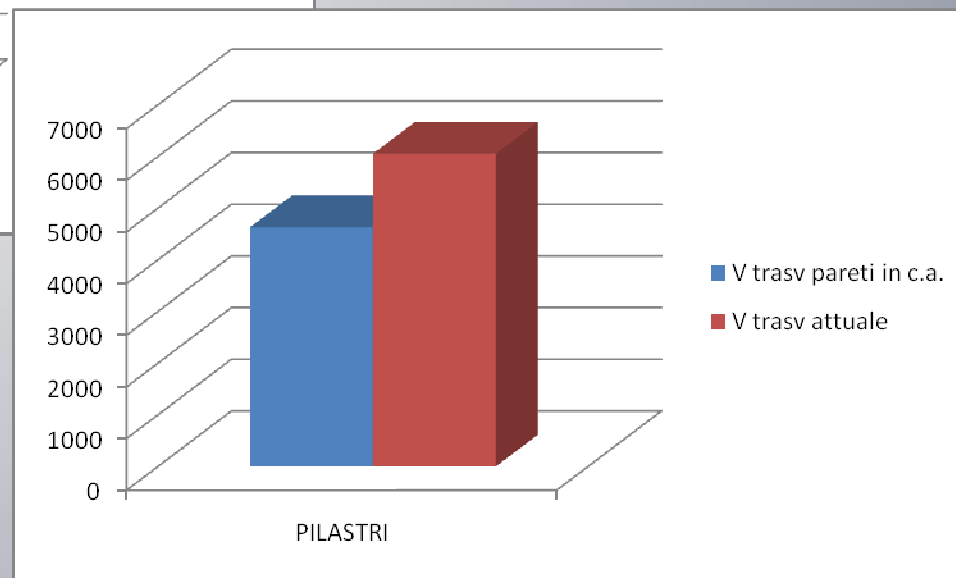
- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

- **INSERIMENTO DI PARETI IN C.A.**

Confronto tra le massime sollecitazioni agenti sui pilastri:



Sforzi di taglio



• FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO

➤ INSERIMENTO DI PARETI IN C.A.

VERIFICHE PILASTRI PER CARICHI SISMICI:

Verifica per tensioni normali allo SLV (meccanismo duttile):

Verifica C.A. S.L.U. - File: PILASTRI FRAGILI

Titolo: VERIFICA PILASTRI

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 3 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	30	40	1	3.08	3.5
			2	3.08	20
			3	3.08	36.5

Tipologia Sezione:
☒ Rettang. se ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☐ Cond.

Sollecitazioni:
 S.L.U. ☒ Metodo n ☐

N_{Ed}: 229.17 kN
 M_{xEd}: 144.05 kNm
 M_{yEd}: 0.47 kNm

P.to applicazione N:
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord. [cm] xN: 0 yN: 0

Tipologia rottura:
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo:
☒ S.L.U. + ☐ S.L.U. - ☐ Metodo n

Tipologia flessione:
☐ Retta ☒ Deviata

N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio Mx-My

angolo asse neutro θ°: 359

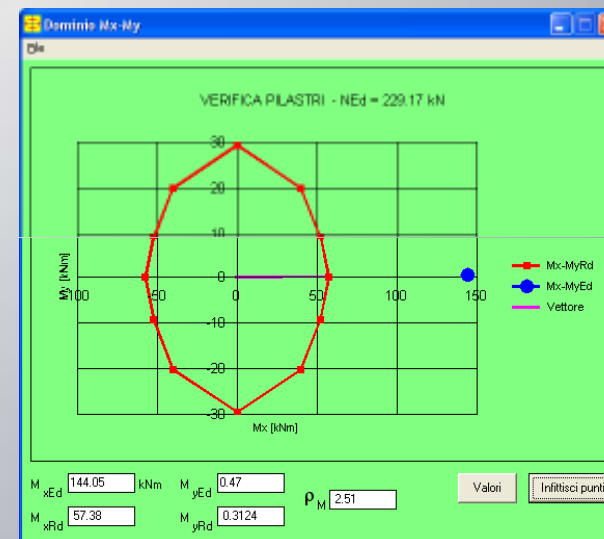
Precompresso ☐

Materiali:

Acc-semidi R160

ε_{su}: 67.5 ‰ ε_{c2}: 2 ‰
 f_{yd}: 195.7 N/mm² ε_{cu}: 3.5 ‰
 E_s: 200,000 N/mm² f_{cd}: 7.222 N/mm²
 E_s/E_c: 15 f_{cc}/f_{cd}: 0.8
 ε_{syd}: 0.9795 ‰ σ_{c,adm}: 6.25 N/mm²
 σ_{s,adm}: 180 N/mm² τ_{co}: 0.4133
 τ_{cl}: 1.429

M_{xRd}: 57.38 kNm
 M_{yRd}: 0.3124 kNm
 σ_c: -7.222 N/mm²
 σ_s: 195.7 N/mm²
 ε_c: 3.5 ‰
 ε_s: 4.379 ‰
 d: 36.76 cm
 x: 16.33 x/d: 0.4442
 δ: 0.9953



VERIFICA NON SODDISFATTA

- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

- **INSERIMENTO DI PARETI IN C.A.**

VERIFICHE PILASTRI PER CARICHI SISMICI:

Verifica a taglio allo SLV (meccanismo fragile):

$$V_{z,R} = \min (V_{Rsd}; V_{Rcd}) = \min (2476; 18426) = 2476 \text{ kg}$$

$$V_{z,R} = 2476 \text{ kg} < V_{z,S} = 4631 \text{ kg} \quad \textbf{\underline{VERIFICA NON SODDISFATTA}}$$

$$V_{y,R} = \min (V_{Rsd}; V_{Rcd}) = \min (1807; 17928) = 1807 \text{ kg}$$

$$V_{y,R} = 1807 \text{ kg} > V_{y,S} = 95 \text{ kg} \quad \textbf{\underline{VERIFICA SODDISFATTA}}$$

**SI OTTIENE UN MIGLIORAMENTO DEL COMPORTAMENTO
DELLA STRUTTURA, IN PARTICOLARE NELLA DIREZIONE
LONGITUDINALE**

- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

DETERMINAZIONE DEL PERIODO DI RITORNO DELLA STRUTTURA CON INSERIMENTO DI PARETI IN C.A.:

- **PERIODO DI RITORNO IN TERMINI DI DOMANDA: $T_{R,D}(SLV) = 475$ anni**
- **PERIODO DI RITORNO IN TERMINI DI CAPACITA': $T_{R,C}(SLV) = 40$ anni**

(LE VERIFICHE DEI PILASTRI CONDIZIONANO IL PERIODO DI RITORNO)

CALCOLO PARAMETRI DELL'AZIONE SISMICA PER UN PERIODO DI RITORNO NON TABELLATO DA NORMATIVA:

- ✓ **Individuazione dei nodi del reticolo**

• **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

11.10337

LATITUDINE

43.85616

☐ Ricerca per comune

REGIONE

Toscana

PROVINCIA

Prato

COMUNE

Prato

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

☐ Sito esterno al reticolo

☐ Interpolazione su 3 nodi

☒ Interpolazione corretta

Interpolazione

media ponderata

La "Ricerca per comune" utilizza le ... coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che ... all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

DETERMINAZIONE DEL PERIODO DI RITORNO DELLA STRUTTURA CON INSERIMENTO DI PARETI IN C.A.:

- **PERIODO DI RITORNO IN TERMINI DI DOMANDA: $T_{R,D}(SLV) = 475$ anni**
- **PERIODO DI RITORNO IN TERMINI DI CAPACITA': $T_{R,C}(SLV) = 40$ anni**

(LE VERIFICHE DEI PILASTRI CONDIZIONANO IL PERIODO DI RITORNO)

CALCOLO PARAMETRI DELL'AZIONE SISMICA PER UN PERIODO DI RITORNO NON TABELLATO DA NORMATIVA:

- ✓ **Individuazione dei nodi del reticolo**
- ✓ **Calcolo delle distanze d dai nodi del reticolo del punto in esame**

CASO STUDIO - CAPANNONE A VOLTA ED A TELAIO GETTATO IN OPERA

• FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO



• **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

DETERMINAZIONE DEL PERIODO DI RITORNO DELLA STRUTTURA CON INSERIMENTO DI PARETI IN C.A.:

- **PERIODO DI RITORNO IN TERMINI DI DOMANDA:** $T_{R,D}(SLV) = 475 \text{ anni}$
- **PERIODO DI RITORNO IN TERMINI DI CAPACITA':** $T_{R,C}(SLV) = 40 \text{ anni}$

(LE VERIFICHE DEI PILASTRI CONDIZIONANO IL PERIODO DI RITORNO)

CALCOLO PARAMETRI DELL'AZIONE SISMICA PER UN PERIODO DI RITORNO NON TABELLATO DA NORMATIVA:

- ✓ **Individuazione dei nodi del reticolo**
- ✓ **Calcolo delle distanze d dai nodi del reticolo del punto in esame**
- ✓ **Determinazione dei parametri a_g (accelerazione orizzontale massima al sito), F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e T_C^* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) per il tempo di ritorno 40 anni per ogni nodo del reticolo, mediante la formula di normativa:**

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

p è il valore del parametro di interesse corrispondente al periodo di ritorno T_R desiderato;

T_{R1} , T_{R2} sono i periodi di ritorno più prossimi a T_R per i quali si dispone dei valori p_1 e p_2 del generico parametro p .

• **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

TR=[tabellato]			TR=			TR=[tabellato]		
30			40			50		
ag	F0	TC*	ag	F0	TC*	ag	F0	TC*
0.480	2.53	0.25	0.533	2.55	0.26	0.579	2.57	0.27
0.489	2.53	0.25	0.543	2.55	0.26	0.589	2.57	0.27
0.457	2.55	0.25	0.507	2.57	0.26	0.550	2.59	0.26
0.464	2.55	0.25	0.514	2.57	0.26	0.557	2.59	0.27

✓ **Determinazione dei parametri a_g , F_0 e T_C^* per il tempo di ritorno 40 anni per il sito in esame, mediante la formula di normativa:**

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

p è il valore del parametro di interesse nel punto in esame;
 p_i è il valore del parametro di interesse nell' i -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;
 d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo punto della maglia suddetta.

nodo E, TR=30 anni			nodo E, TR=40 anni			nodo E, TR=50 anni		
ag	Fo	TC*	ag	Fo	TC*	ag	Fo	TC*
0.47718	2.53650	0.25000	0.52982	2.55895	0.26021	0.57462	2.57650	0.26843

• **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

• **CALCOLO DELL'INDICE DI RISCHIO NEI CONFRONTI DELLO SLV:**

$$R_{CD}(SLV)=[T_{R,C}(SLV)/T_{R,D}(SLV)]^{0,41} = 0,36$$

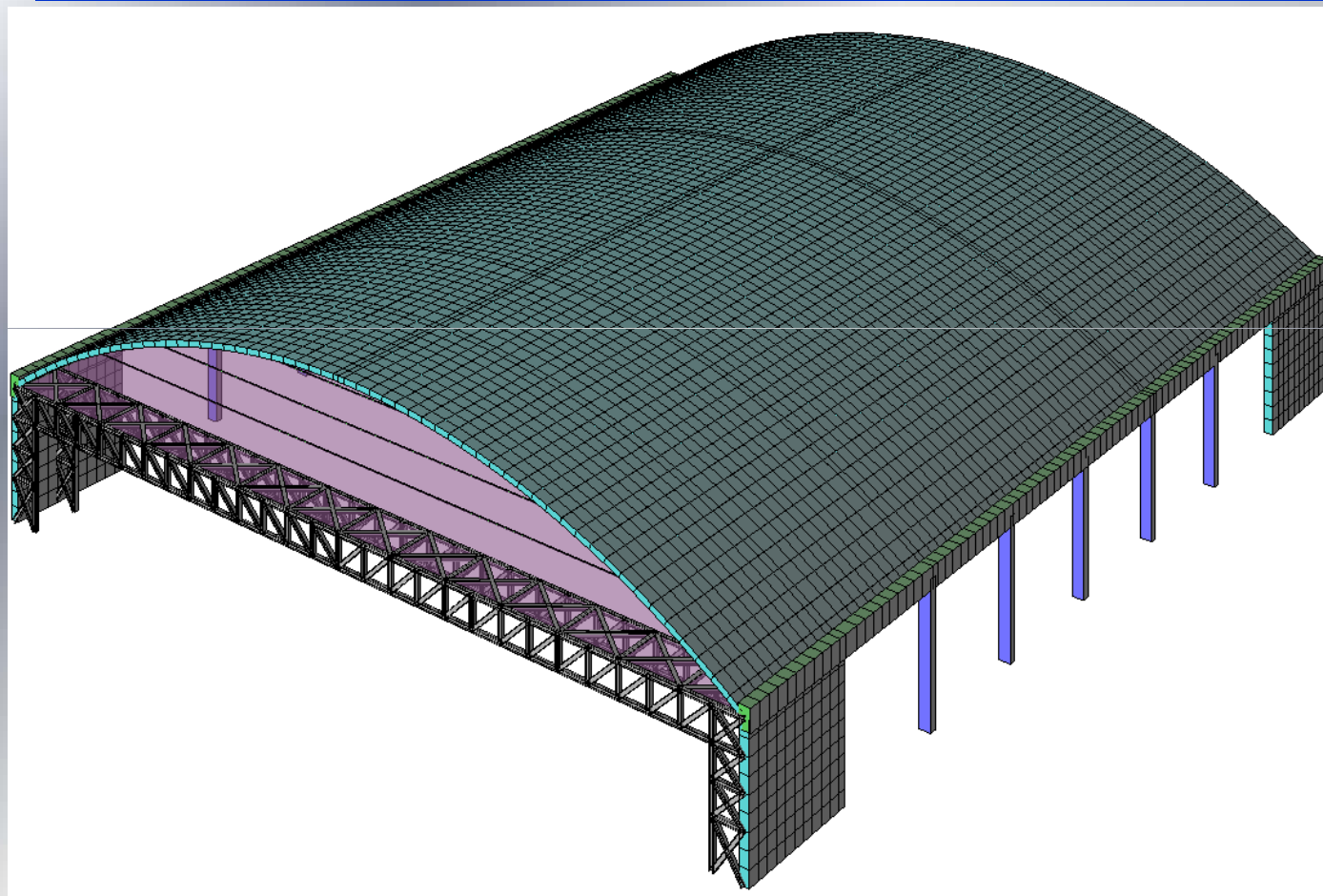
SLV		
$T_R=$	40	anni
$P_{VR}=$	10	%
$V_R=$	4.21	anni
$C_U=$	1	
$V_N=$	4.21	anni
$T_{R,D}=$	475	anni
$T_{R,C}=$	40	anni
$\alpha=$	0.41	
$R_{C,D}=$	0.36	

Con V_R determinato invertendo la formula di Normativa:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

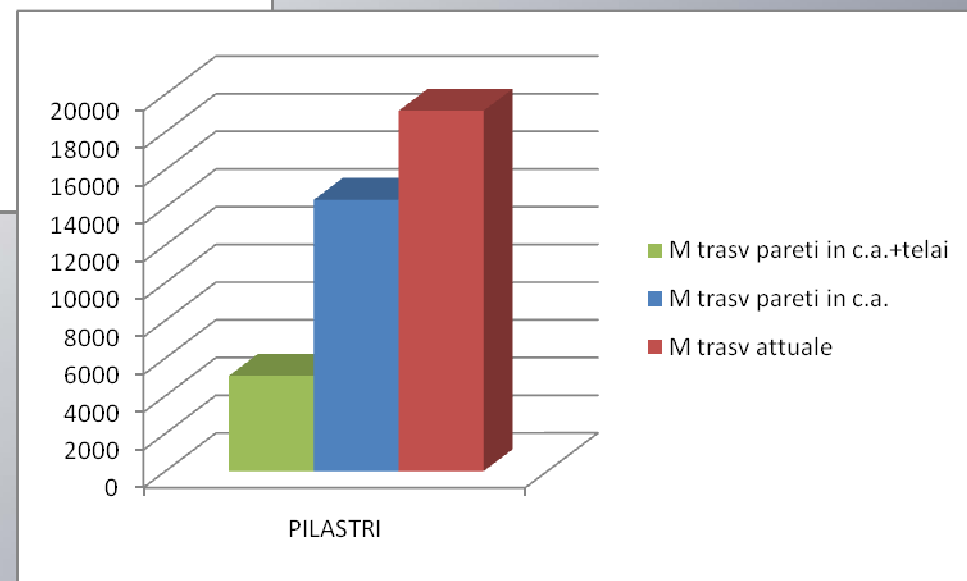
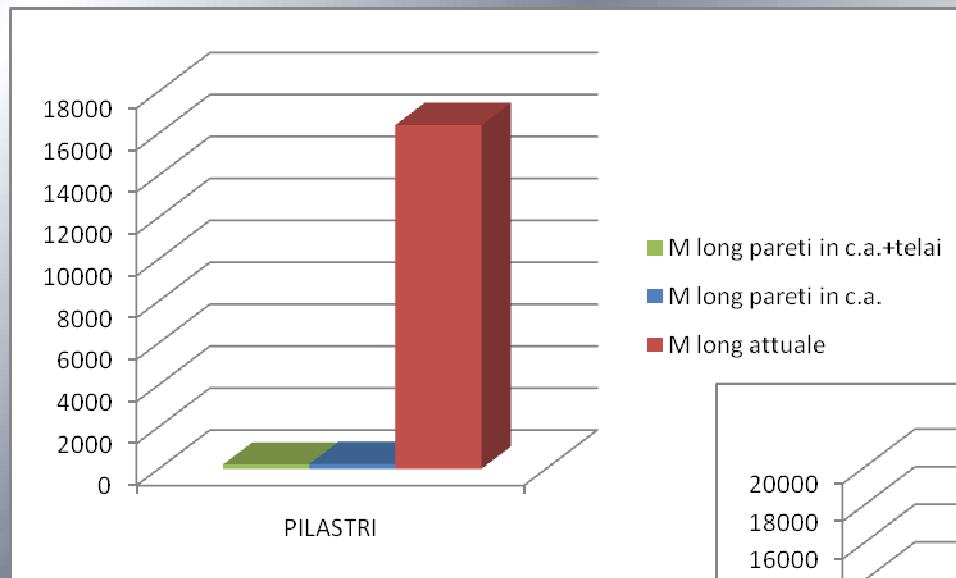
- **INSERIMENTO DI PARETI IN C.A.**
- **INSERIMENTO DI PARETI IN C.A. E DI TELAI METALLICI DI BORDO**



- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

- **INSERIMENTO DI PARETI IN C.A. E DI TELAI METALLICI DI BORDO**

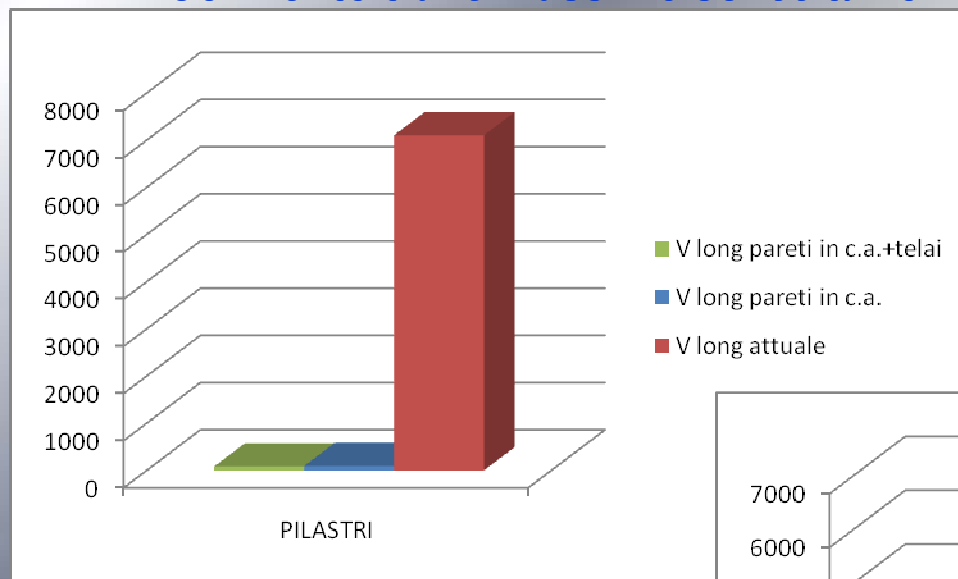
Confronto tra le massime sollecitazioni agenti sui pilastri:



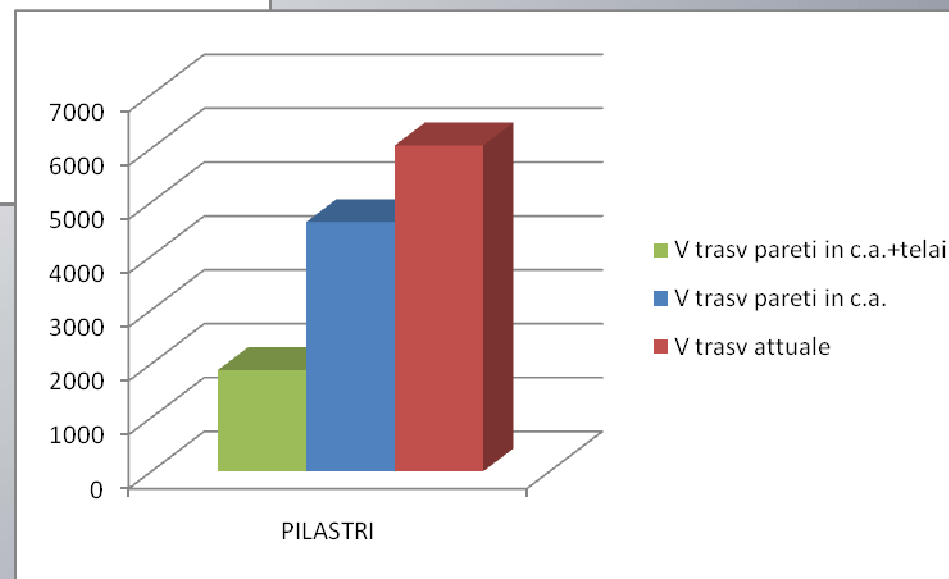
- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

- **INSERIMENTO DI PARETI IN C.A. E DI TELAI METALLICI DI BORDO**

Confronto tra le massime sollecitazioni agenti sui pilastri:



Sforzi di taglio



• FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO

➤ INSERIMENTO DI PARETI IN C.A. E DI TELAI METALLICI DI BORDO

VERIFICHE PILASTRI PER CARICHI SISMICI:

Verifica per tensioni normali allo SLV (meccanismo duttile):

Verifica C.A. S.L.U. - File: PILASTRO FRAGILE

Titolo: VERIFICA PILASTRI

N° figure elementari: 1 ZOOM N° strati barre: 3 ZOOM

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	30	40	1	3.08	3.5
			2	3.08	20
			3	3.08	36.5

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 198.6 kN
M_{xEd}: 50.67 kNm
M_{yEd}: 0.37 kNm

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls
Coord. [cm]: xN 0 yN 0

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo: S.L.U. + S.L.U. - Metodo n

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett: 100

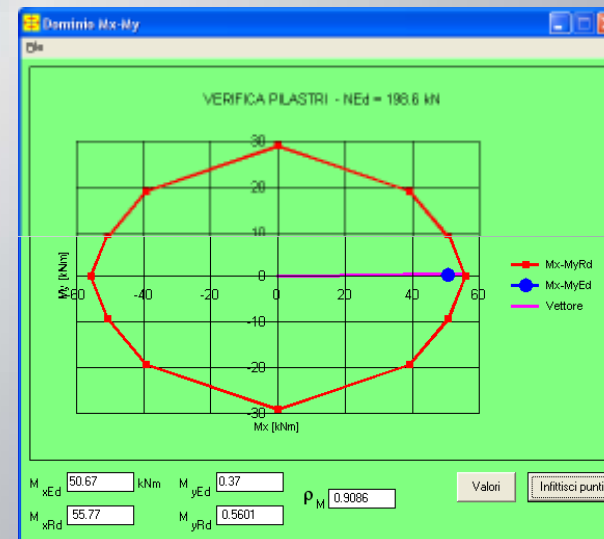
Calcola MRd Dominio Mx-My

Precompresso

Materiali: Acc-semid R160

ϵ_{su} : 67.5 ‰ ϵ_{c2} : 2 ‰
 f_{yd} : 195.7 N/mm² ϵ_{cu} : 3.5 ‰
 E_s : 200,000 N/mm² f_{cd} : 7.222 N/mm²
 E_s/E_c : 15 f_{cc}/f_{cd} : 0.8
 ϵ_{syd} : 0.978 ‰ $\sigma_{c,adm}$: 6.25 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$: 180 N/mm² τ_{co} : 0.4133
 τ_{c1} : 1.429

M_{xRd}: 55.77 kNm
M_{yRd}: 0.5601 kNm
 σ_c : -7.222 N/mm²
 σ_s : 195.7 N/mm²
 ϵ_c : 3.5 ‰
 ϵ_s : 4.923 ‰
d: 37 cm
x: 15.38 x/d: 0.4155
 δ : 0.9594



VERIFICA SODDISFATTA

- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

- **INSERIMENTO DI PARETI IN C.A. E DI TELAI METALLICI DI BORDO**

VERIFICHE PILASTRI PER CARICHI SISMICI:

Verifica a taglio allo SLV (meccanismo fragile):

$$V_{z,R} = \min (V_{Rsd}; V_{Rcd}) = \min (2476; 18426) = 2476 \text{ kg}$$

$$V_{z,R} = 2476 \text{ kg} > V_{z,S} = 1881 \text{ kg} \quad \textbf{\underline{VERIFICA SODDISFATTA}}$$

$$V_{y,R} = \min (V_{Rsd}; V_{Rcd}) = \min (1807; 17928) = 1807 \text{ kg}$$

$$V_{y,R} = 1807 \text{ kg} > V_{y,S} = 84 \text{ kg} \quad \textbf{\underline{VERIFICA SODDISFATTA}}$$

**SI OTTIENE UN MIGLIORAMENTO DEL COMPORTAMENTO
GLOBALE DELLA STRUTTURA**

- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

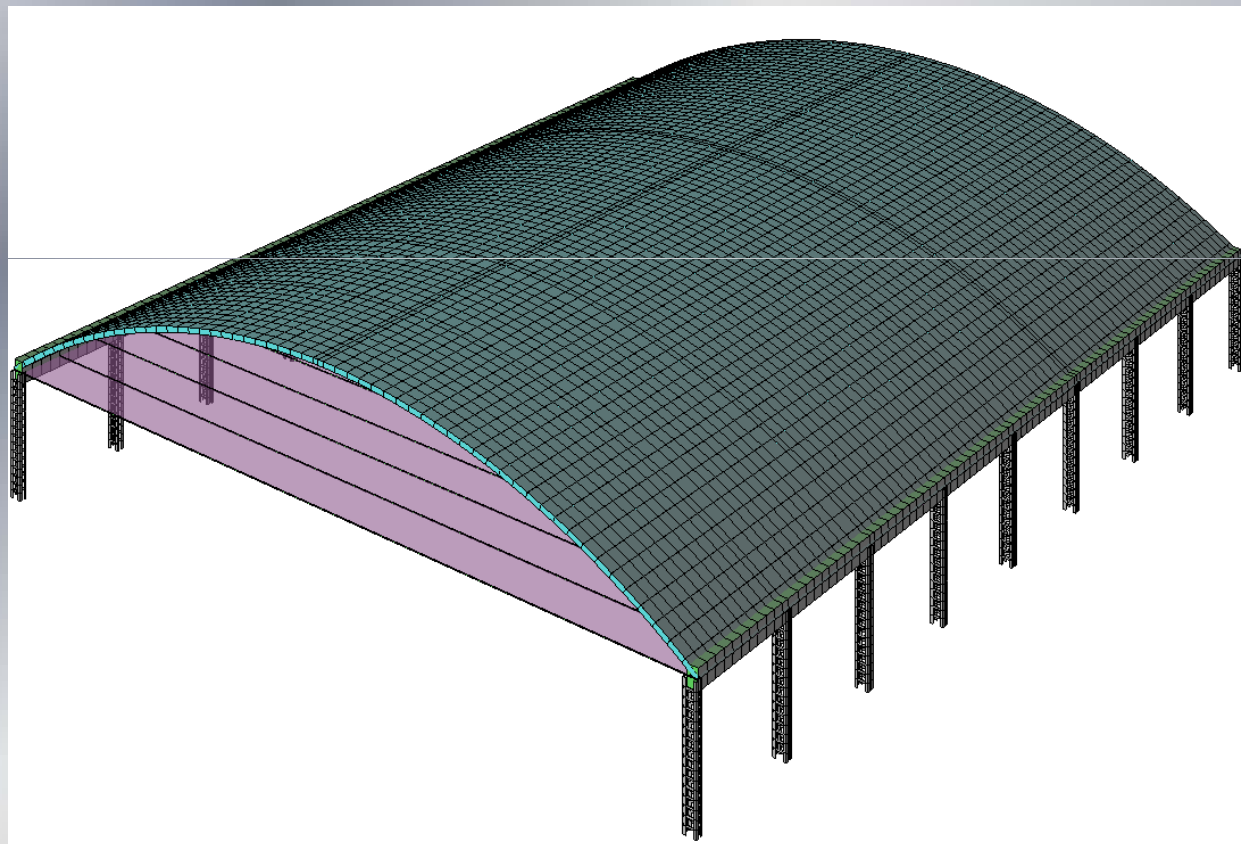
**DETERMINAZIONE DEL PERIODO DI RITORNO DELLA STRUTTURA
CON INSERIMENTO DI PARETI IN C.A. E DI TELAI METALLICI DI
BORDO:**

- **PERIODO DI RITORNO IN TERMINI DI DOMANDA: $T_{R,D}(SLV) = 475$ anni**
- **PERIODO DI RITORNO IN TERMINI DI CAPACITA': $T_{R,C}(SLV) = 475$ anni**
- **INDICE DI RISCHIO NEI CONFRONTI DELLO SLV:**

$$R_{CD}(SLV)=[T_{R,C}(SLV)/T_{R,D}(SLV)]^{0,41} = 1,00$$

- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

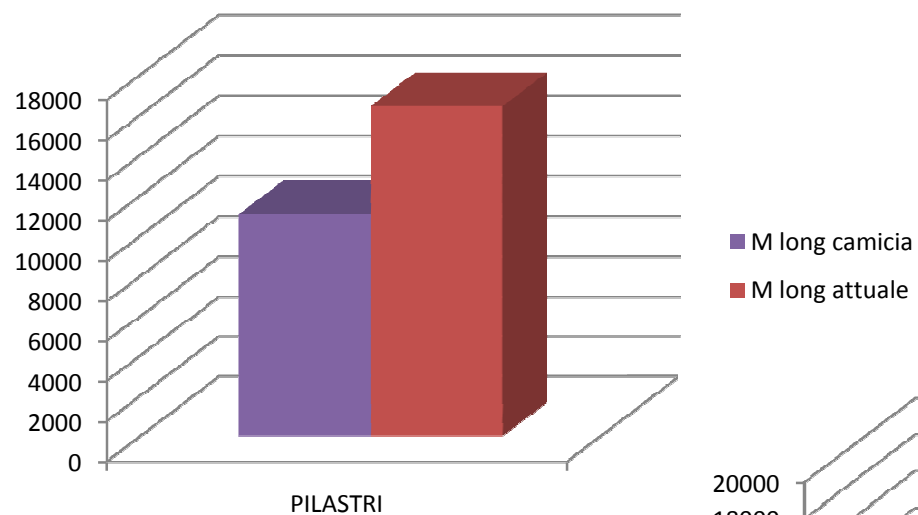
- **INSERIMENTO DI PARETI IN C.A.**
- **INSERIMENTO DI PARETI IN C.A. E DI TELAI METALLICI DI BORDO**
- **INCAMICIATURA DEI PILASTRI MEDIANTE PROFILI IN ACCIAIO**



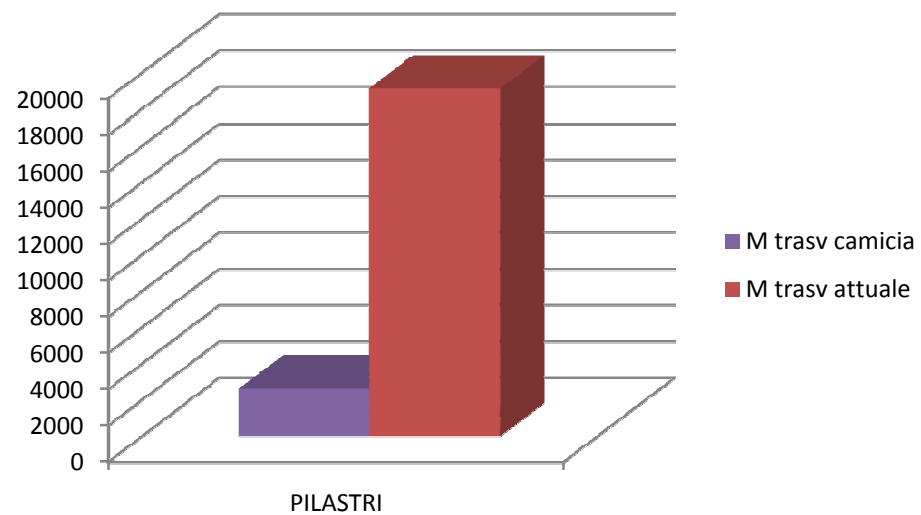
• **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

➤ **INCAMICIATURA DEI PILASTRI MEDIANTE PROFILI IN ACCIAIO**

Confronto tra le massime sollecitazioni agenti sui pilastri:



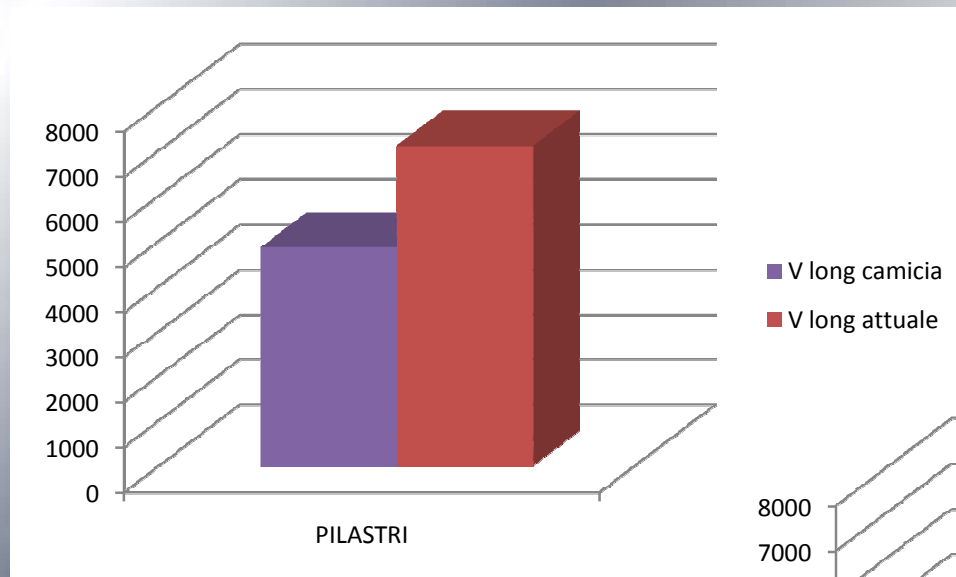
Momenti flettenti



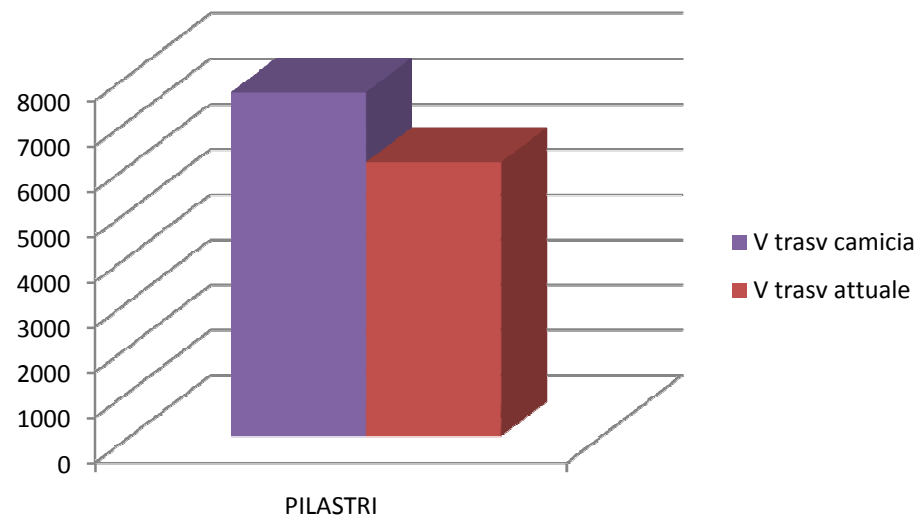
- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

- **INCAMICIATURA DEI PILASTRI MEDIANTE PROFILI IN ACCIAIO**

Confronto tra le massime sollecitazioni agenti sui pilastri:



Sforzi di taglio

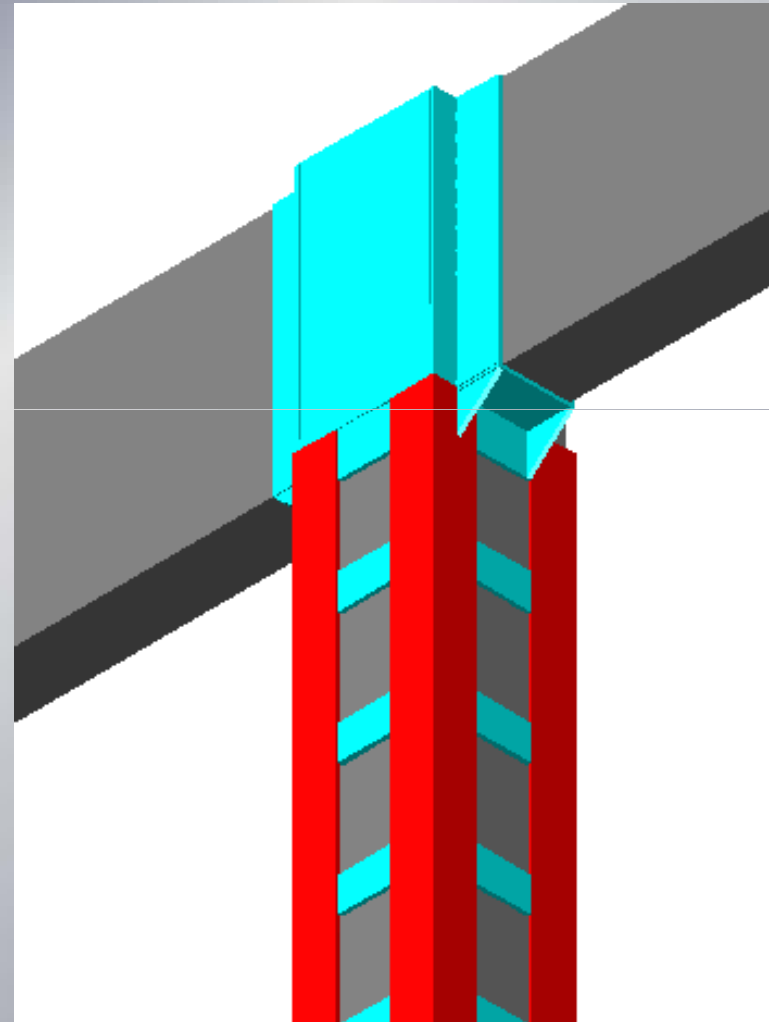


- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

- **INCAMICIATURA DEI PILASTRI MEDIANTE PROFILI IN ACCIAIO**

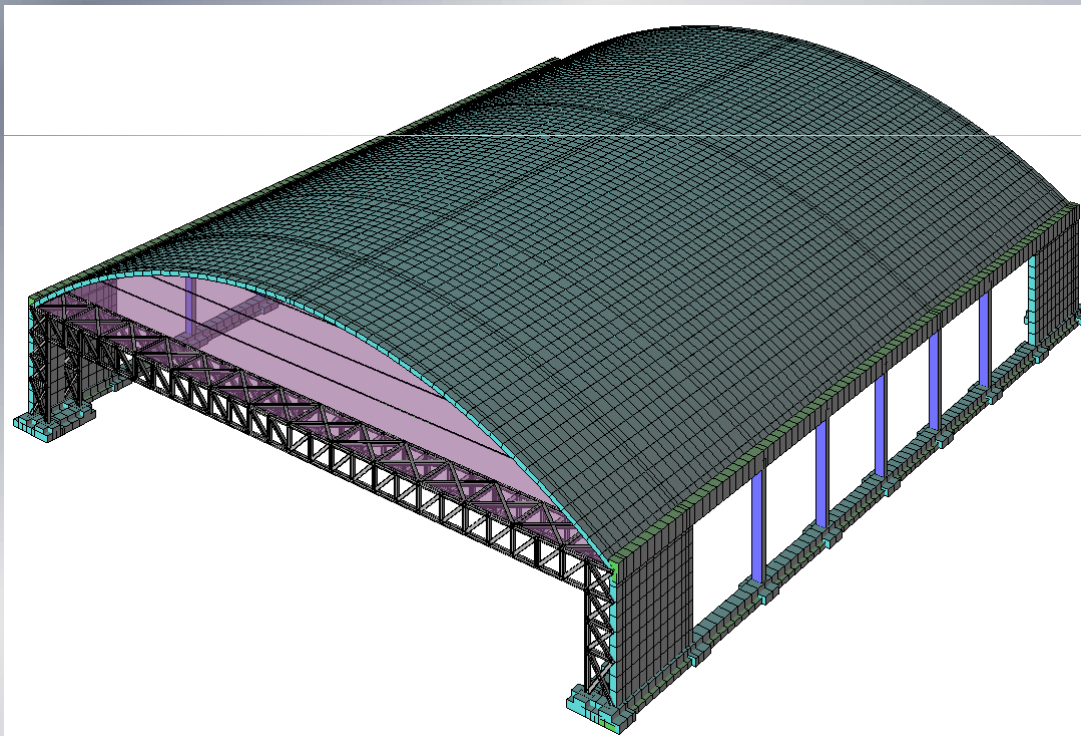
Nell'ipotesi di calcolo, le sollecitazioni agenti sul pilastro sono state fatte assorbire interamente ai profili in acciaio

**SI OTTIENE UN
MIGLIORAMENTO DEL
COMPORTAMENTO GLOBALE
DELLA STRUTTURA**



- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

- **INSERIMENTO DI PARETI IN C.A.**
- **INSERIMENTO DI PARETI IN C.A. E DI TELAI METALLICI DI BORDO**
- **INCAMICIATURA DEI PILASTRI MEDIANTE PROFILI IN ACCIAIO**
- **COLLEGAMENTO DEI PLINTI DI FONDAZIONE MEDIANTE TRAVI LONGITUDINALI**



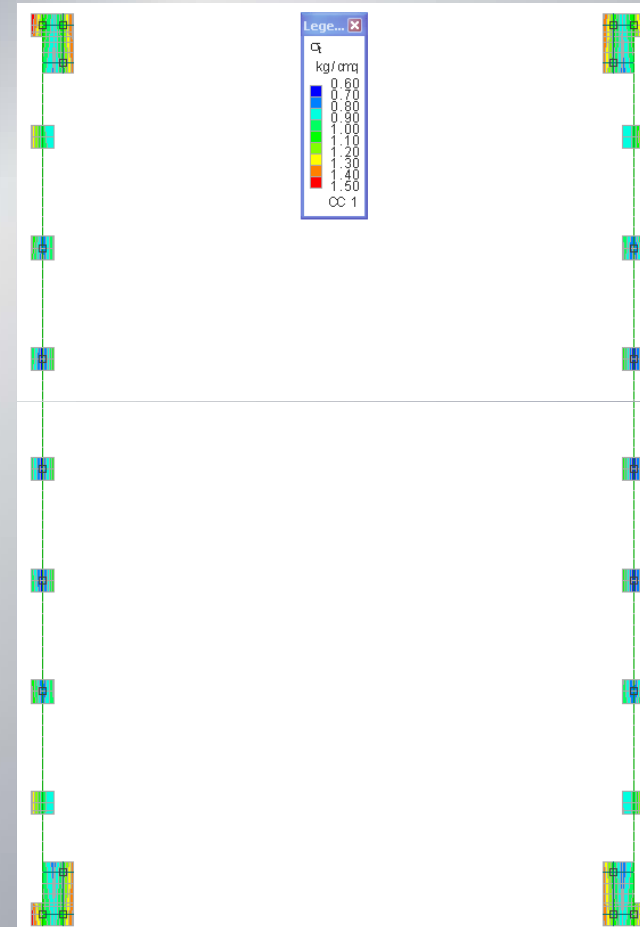
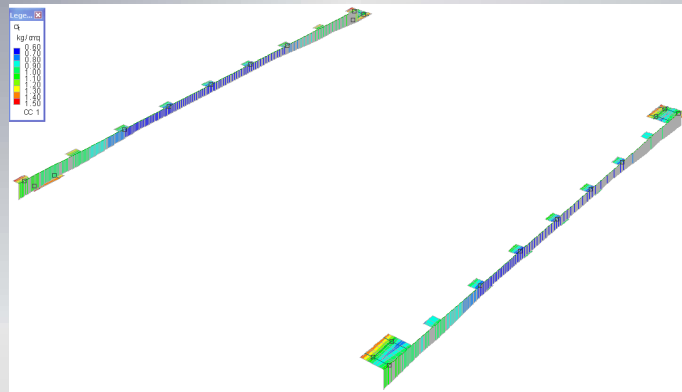
- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

- **COLLEGAMENTO DEI PLINTI DI FONDAZIONE MEDIANTE TRAVI LONGITUDINALI**

I plinti risultano tutti reagenti per le combinazioni sismiche, con tensioni massime sul terreno di circa $1,50 \text{ kg/cm}^2$.



**NOTEVOLE MIGLIORAMENTO
RISPETTO ALLA SITUAZIONE
ATTUALE, IN CUI I PLINTI
RISULTANO TESI**



- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

- **INSERIMENTO DI PARETI IN C.A.**
- **INSERIMENTO DI PARETI IN C.A. E DI TELAI METALLICI DI BORDO**
- **INCAMICIATURA DEI PILASTRI MEDIANTE PROFILI IN ACCIAIO**
- **COLLEGAMENTO DEI PLINTI DI FONDAZIONE MEDIANTE TRAVI LONGITUDINALI**
- **COLLEGAMENTO DEI PLINTI DI FONDAZIONE IN DIREZIONE TRASVERSALE ATTRAVERSO ANCORAGGI ALLA PAVIMENTAZIONE INDUSTRIALE**

La pavimentazione esistente, purché di idonee caratteristiche, viene opportunamente collegata, mediante ancoraggi, in modo da creare un piano per poter ripartire gli sforzi agenti.

METODO MENO INVASIVO RISPETTO ALLA REALIZZAZIONE DELLE TRAVI DI COLLEGAMENTO LONGITUDINALI

- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

- **INSERIMENTO DI PARETI IN C.A.**
- **INSERIMENTO DI PARETI IN C.A. E DI TELAI METALLICI DI BORDO**
- **INCAMICIATURA DEI PILASTRI MEDIANTE PROFILI IN ACCIAIO**
- **COLLEGAMENTO DEI PLINTI DI FONDAZIONE MEDIANTE TRAVI LONGITUDINALI**
- **COLLEGAMENTO DEI PLINTI DI FONDAZIONE IN DIREZIONE TRASVERSALE ATTRAVERSO ANCORAGGI ALLA PAVIMENTAZIONE INDUSTRIALE**
- **TESATURA DELLE CATENE ESISTENTI, SE NECESSARIO, ED EVENTUALE AGGIUNTA DI NUOVE CATENE (IN MANIERA ANALOGA ALLE STRUTTURE IN MURATURA)**
 - Tesatura delle catene mediante il tenditore esistente, avendo cura di controllare preventivamente le condizioni della zona di attacco della catena alle travi perimetrali
 - Aggiunta di nuove catene, con metodo analogo alle murature, con l'inserimento di una piastra esternamente alla trave

- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

- **TESATURA DELLE CATENE ESISTENTI, SE NECESSARIO, ED
EVENTUALE AGGIUNTA DI NUOVE CATENE (IN MANIERA ANALOGA
ALLE STRUTTURE IN MURATURA)**



- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

DETERMINAZIONE DEL TIRO DELLE CATENE:

METODI SPERIMENTALI PER IL CALCOLO DEL TIRO:

- **METODI STATICI** → **S. Briccoli Bati, U. Tonietti**
Momenti in due sezioni → Estensimetri
Abbassamenti in tre sezioni → Trasduttori di spostamento
- **M.L. Beconcini**
Abbassamenti in nove sezioni → Trasduttori di spostamento
- **METODI MISTI** → **C. Blasi, S. Sorace**
Frequenza del 1° modo → Accelerometro
Freccia in mezzeria → Trasduttore di spostamento
- **S. Sorace**
Frequenza del 1° e 2° modo → Accelerometri
Freccia in mezzeria → Trasduttore di spostamento
- **METODI DINAMICI** → **C. Urbano**
Ampiezza di oscillazione in 10 punti
→ Captatori elettrodinamici di spostamento.

- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

DETERMINAZIONE DEL TIRO DELLE CATENE:

INCERTEZZE DEL PROBLEMA:

- Caratteristiche del materiale
- Tipo di vincolo
 - efficienza del collegamento con la trave
 - lunghezza effettiva della catena

CONFRONTO FRA I METODI:

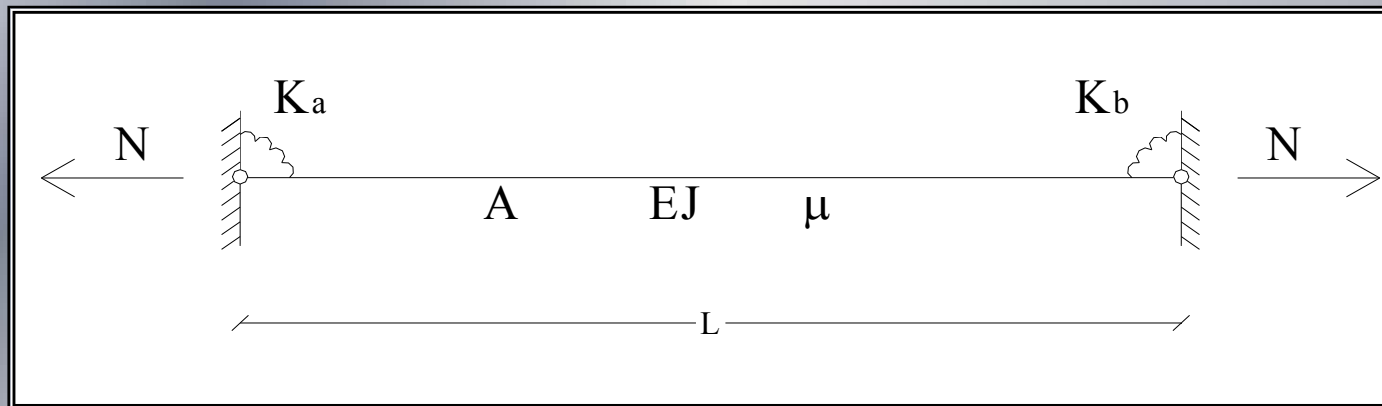
- **METODO MISTO:** 2 misure sperimentali: - freccia sotto l'applicazione di un carico Q verticale in mezzeria (v)
 - frequenza del primo modo di vibrare (f)
- **METODO STATICO:** 9 misure sperimentali: - abbassamenti in mezzeria e ai quarti della luce dovuti alla non contemporanea applicazione di un carico trasversale nelle sezioni suddette

- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

DETERMINAZIONE DEL TIRO DELLE CATENE:

INCERTEZZE DEL PROBLEMA:

La catena è schematizzata come una trave elastica lineare, di sezione costante e vincolata elasticamente alle estremità, con due vincoli rotazionali di costanti elastiche K_a e K_b



Incognite del problema:

N tiro della catena
 K_a e K_b costanti elastiche delle molle

**Schema simmetrico
per entrambi i metodi:**

$$K_a = K_b = K$$

• **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

DETERMINAZIONE DEL TIRO DELLE CATENE:

Teoria delle travi con effetti del 2° ordine:

2 relazioni tra le misure sperimentali e le incognite del problema

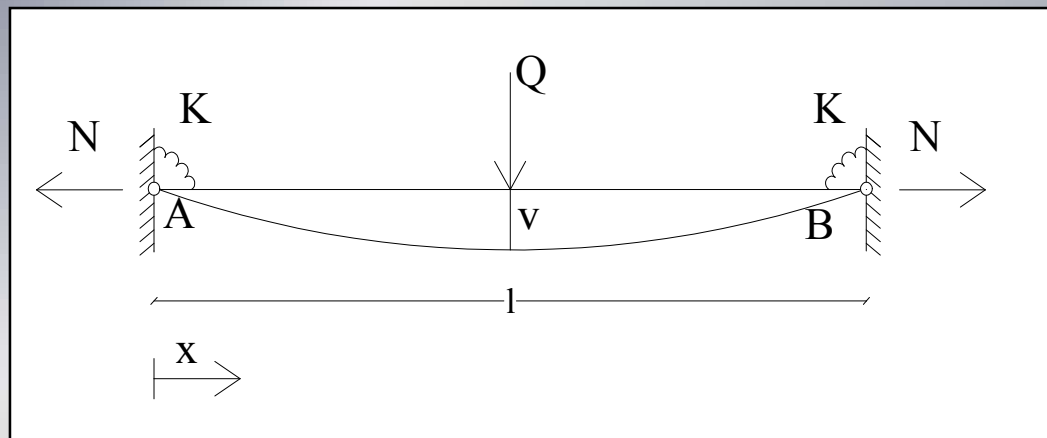
RELAZIONE IN CAMPO STATICO:

$$v = \frac{Ql^3}{16EJ} \cdot \frac{1}{\gamma^3} \left[\gamma - \tanh \gamma - \frac{(2 \cosh \gamma - 2 - \tanh \gamma \cdot \sinh \gamma)}{\cosh \gamma} \cdot \frac{Kl}{Kl \tanh \gamma + 2\gamma EJ} \right]$$

con

$$\gamma = \frac{al}{2}$$

$$a^2 = \frac{N}{EJ}$$



• **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

DETERMINAZIONE DEL TIRO DELLE CATENE:

Teoria delle travi con effetti del 2° ordine:

2 relazioni tra le misure sperimentali e le incognite del problema

RELAZIONE IN CAMPO STATICO:

$$v = \frac{Ql^3}{16EJ} \cdot \frac{1}{\gamma^3} \left[\gamma - \tanh \gamma - \frac{(2 \cosh \gamma - 2 - \tanh \gamma \cdot \sinh \gamma)}{\cosh \gamma} \cdot \frac{Kl}{Kl \tanh \gamma + 2\gamma EJ} \right]$$

con

$$\gamma = \frac{al}{2}$$

$$a^2 = \frac{N}{EJ}$$

RELAZIONE IN CAMPO DINAMICO:

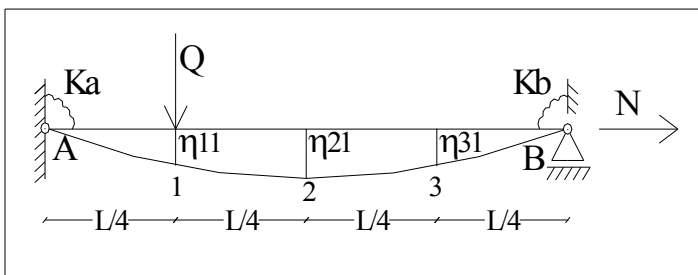
$$\left[2(\alpha l)^2 \sin(\alpha l) \sinh(\alpha l) \right] L^2 + \left[2(\alpha l) (\sin(\alpha l) \cosh(\alpha l) - \cos(\alpha l) \sinh(\alpha l)) \right] L + \\ + (1 - \cos(\alpha l) \cosh(\alpha l)) = 0 \quad \text{con } L = EJ/Kl$$

$$f_1 = \left[(\alpha l)^2 \cdot \sqrt{\frac{EJg}{\Gamma A}} \right] / 2\pi l^2$$

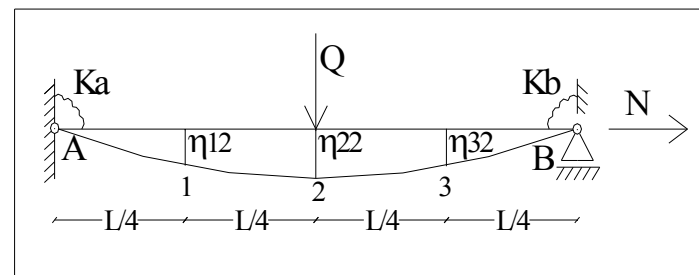
$$f = f_1 \cdot \sqrt{1 + \frac{N}{N_{cr}}}$$

• **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

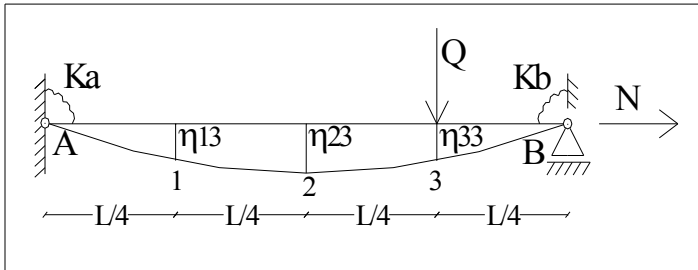
DETERMINAZIONE DEL TIRO DELLE CATENE:



Condizione di carico 1



Condizione di carico 2



Condizione di carico 3

• **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

DETERMINAZIONE DEL TIRO DELLE CATENE:

Condizione di carico 1:

$$\eta_{11} = \frac{1}{N} \left\{ \left[\frac{3Q_1 L}{16} - \frac{Q_1 \sinh(0.5\gamma) \sinh(1.5\gamma)}{\alpha \cdot \sinh(2\gamma)} \right] + M_a \left[\frac{3}{4} + \frac{\sinh(0.5\gamma)}{\tanh(2\gamma)} - \cosh(0.5\gamma) \right] \right\} + \frac{1}{N} \left\{ M_b \left[\frac{1}{4} - \frac{\sinh(0.5\gamma)}{\sinh(2\gamma)} \right] \right\}$$

$$\eta_{21} = \frac{1}{N} \left\{ \left[\frac{Q_1 L}{8} - \frac{Q_1 \sinh(0.5\gamma) \sinh(\gamma)}{\alpha \cdot \sinh(2\gamma)} \right] + M_a \left[\frac{1}{2} - \frac{\sinh(\gamma)}{\sinh(2\gamma)} \right] \right\} + \frac{1}{N} \left\{ M_b \left[\frac{1}{2} + \frac{\sinh(\gamma)}{\tanh(2\gamma)} - \cosh(\gamma) \right] \right\}$$

$$\eta_{31} = \frac{1}{N} \left\{ \left[\frac{Q_1 L}{16} - \frac{Q_1 \sinh^2(0.5\gamma)}{\alpha \cdot \sinh(2\gamma)} \right] + M_a \left[\frac{1}{4} + \frac{\sinh(0.5\gamma)}{\sinh(2\gamma)} \right] \right\} + \frac{1}{N} \left\{ M_b \left[\frac{3}{4} + \frac{\sinh(0.5\gamma)}{\tanh(2\gamma)} - \cosh(0.5\gamma) \right] \right\}$$

$$\eta_1'(x=0) = -\frac{M_a}{K_a} \quad \eta_2'(z=0) = \frac{M_b}{K_b}$$

**Minimizzazione della
funzione errore**

$$y^2 = \sum_{i,j=1}^3 (\eta_{sij} - \eta_{qij})^2$$

dove η_{sij} sono le misure sperimentali e η_{qij} sono i valori ricavati dal modello matematico

- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

DETERMINAZIONE DEL TIRO DELLE CATENE:

PARAMETRI:

Snellezza	(λ)
Tiro	(N)
Condizioni di vincolo	(K)

CONFRONTO FRA I DUE METODI:

ANALISI NUMERICA: 27 combinazioni dei tre parametri per ogni combinazione →
generati 2000 gruppi di misure sperimentali affette da errore

INDAGINI SPERIMENTALI: 48 casi realizzati con quattro catene, quattro condizioni di
vincolo e tre livelli tensionali



**STIMA DELLA PROPAGAZIONE DEGLI ERRORI SPERIMENTALI E
CONFRONTO DEI RISULTATI DEI DUE METODI CON QUELLI DI UN
PROTOTIPO**

- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

DETERMINAZIONE DEL TIRO DELLE CATENE:

ANALISI NUMERICA:

Per ogni caso si calcolano la freccia e la frequenza (v_o e f_o), per il metodo misto, ed i nove abbassamenti (η_{oij}), per il metodo statico, corretti

A questi valori corretti si aggiunge l'errore generato con distribuzione di probabilità di tipo gaussiano in modo che nel 95% dei casi sia interno all'intervallo di precisione degli strumenti di misura

Metodo misto:

$$v = v_o + \delta v \quad f = f_o + \delta f$$

Metodo statico:

$$\eta_i = \eta_{oij} + \delta \eta_{ij} \quad \text{con } i,j=1,2,3$$

**DETERMINAZIONE DEL NUMERO NECESSARIO DI MISURE
RIPETUTE PER LA MIGLIORE STIMA DEL VALORE DEL TIRO:**

n_p = numero di prove ripetute

Per ogni valore di n_p si considerano 2000 gruppi di n_p prove e per ogni gruppo si calcola la media della freccia e della frequenza, per il metodo misto, e dei 9 abbassamenti, per il metodo statico.

A partire da questi valori mediati si calcola il tiro.

- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

DETERMINAZIONE DEL TIRO DELLE CATENE (ANALISI NUMERICA):

Per il metodo statico è indifferente mediare le misure e poi calcolare il tiro o calcolare per ogni prova il tiro e fare la media dei tiri.

Per il metodo misto è vantaggioso mediare le misure.

IL METODO STATICO NECESSITA, IN TUTTE LE CONDIZIONI, DI UN VALORE DI n_p INFERIORE AL METODO MISTO

Calcolo della costante elastica K: il metodo misto non riesce a determinare in modo corretto la costante elastica
il metodo statico solo in alcuni casi ottiene valori di K vicini al valore esatto

Calcolo del tiro:

Si commettono errori maggiori quando la catena è tale da produrre un abbassamento piccolo, sul quale l'errore commesso nelle misure sperimentali ha un'incidenza maggiore

- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

DETERMINAZIONE DEL TIRO DELLE CATENE (ANALISI NUMERICA):

Entrambi i metodi danno risultati migliori quando la catena è poco incastrata e snella

Anche se i risultati dei 2 metodi non sono molto diversi, con il metodo statico si commettono errori più bassi in molte delle 27 combinazioni. La differenza tra i due metodi è evidente con catene tozze e incastrate.

DETERMINAZIONE DEL TIRO DELLE CATENE (INDAGINI SPERIMENTALI):

48 prove sperimentali combinazione dei tre parametri del problema, realizzate presso il Laboratorio Strutture del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Firenze

Tipo di vincolo:

incastro, cerniera, interposizione di gomma 15 mm, interposizione di legno 8 mm



- PROVA STATICA

- PROVA DINAMICA

• **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

DETERMINAZIONE DEL TIRO DELLE CATENE (INDAGINI SPERIMENTALI):

MAGGIORE SENSIBILITÀ DEL METODO MISTO ALLA NON PERFETTA ADERENZA TRA IL PROTOTIPO SPERIMENTALE E LO SCHEMA TEORICO ADOTTATO DA ENTRAMBI I METODI

CON IL METODO STATICO SI OTTENGONO RISULTATI MEDI MIGLIORI IN TUTTE LE PROVE SPERIMENTALI

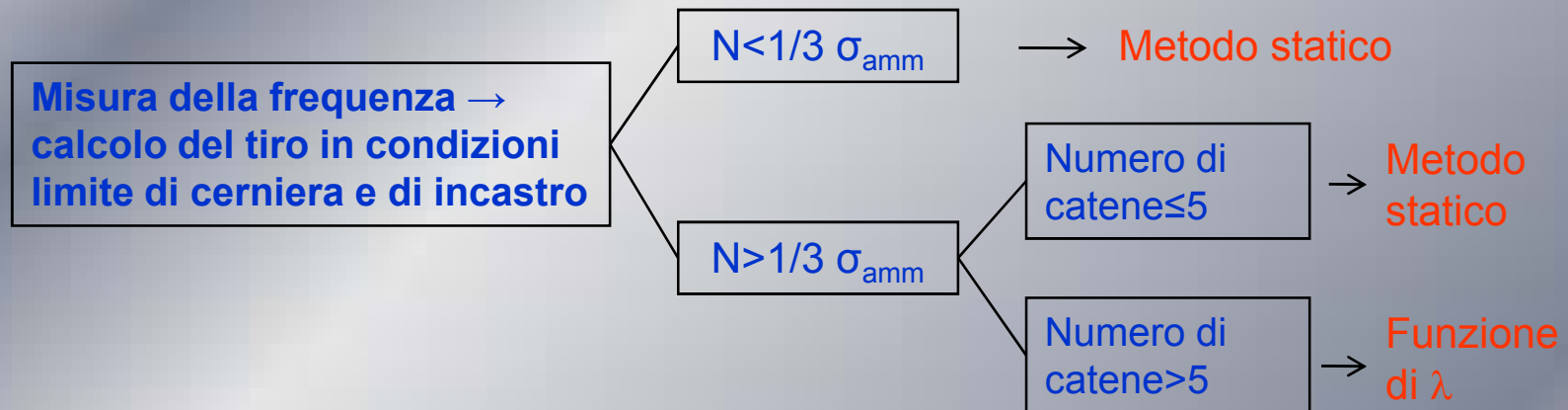
- Il prototipo non è perfettamente aderente allo schema teorico
- Come per l'analisi numerica, gli errori decrescono tanto più la catena è snella e poco incastrata
Al contrario dell'analisi numerica, gli errori decrescono all'aumentare del tiro
→ problemi di identificazione del prototipo sperimentale
- I risultati cambiano in relazione al tiro e non al livello tensionale
- L'errore massimo rilevato per il metodo statico è del 20%
Con il metodo misto si commettono errori inferiori al 10% nelle catene a snellezza $\lambda=450$ solo in condizioni di cerniera, e nelle catene snelle ($\lambda=650$) anche in condizioni di semincastro

• **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

DETERMINAZIONE DEL TIRO DELLE CATENE:

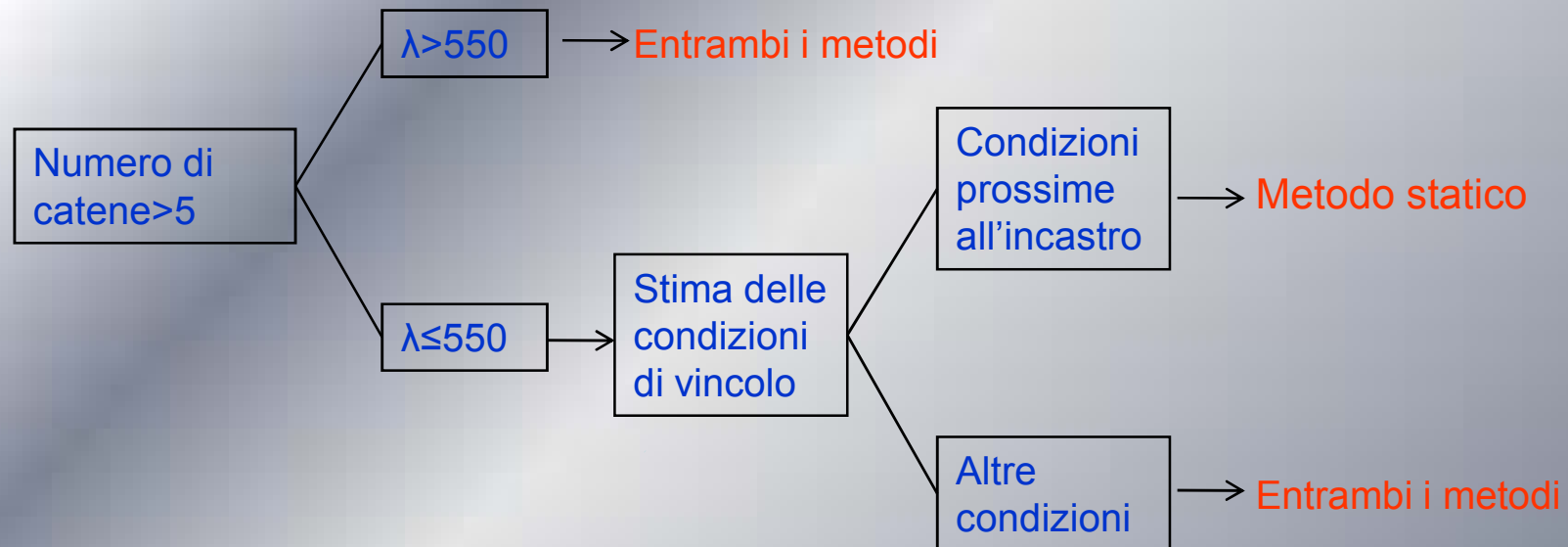
Il metodo statico è meno sensibile agli errori sperimentali nelle misure e più stabile del metodo misto nella maggioranza dei casi. Il metodo statico, generalmente, non commette errori superiori al 10%.

Per strutture in cui è necessario determinare il tiro con una precisione elevata è consigliato l'utilizzo del metodo statico.



• **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

DETERMINAZIONE DEL TIRO DELLE CATENE:



Fonti:

- Tesi di laurea "Determinazione del tiro nelle catene per strutture voltate in muratura: indagini sperimentali e modellazioni numeriche", Ing. CATERINA MACII
- FACCHINI L., GALANO L., VIGNOLI A., Experimental analysis of two methods for estimating in-situ tensile force in tie-rods, Proceedings of the 2nd International Specialty Conference on "The Conceptual Approach to Structural Design", Milano, 1-2 Luglio, 2003, ISBN 981-04-8561-1, Vol. 1, pp. 157-164. 2nd International Specialty Conference on "The Conceptual Approach to Structural Design"

- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

- **INSERIMENTO DI PARETI IN C.A.**
- **INSERIMENTO DI PARETI IN C.A. E DI TELAI METALLICI DI BORDO**
- **INCAMICIATURA DEI PILASTRI MEDIANTE PROFILI IN ACCIAIO**
- **COLLEGAMENTO DEI PLINTI DI FONDAZIONE MEDIANTE TRAVI LONGITUDINALI**
- **COLLEGAMENTO DEI PLINTI DI FONDAZIONE IN DIREZIONE TRASVERSALE ATTRAVERSO ANCORAGGI ALLA PAVIMENTAZIONE INDUSTRIALE**
- **TESATURA DELLE CATENE ESISTENTI, SE NECESSARIO, ED EVENTUALE AGGIUNTA DI NUOVE CATENE (IN MANIERA ANALOGA ALLE STRUTTURE IN MURATURA)**
- **INTERVENTI SULLA VOLTA LESIONATA, MEDIANTE L'APPLICAZIONE DEGLI FRP ALL'INTRADOSSO**

- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

- **INTERVENTI SULLA VOLTA LESIONATA, MEDIANTE L'APPLICAZIONE DEGLI FRP ALL'INTRADOSSO**

Applicazione di FRP all'intradosso della volta



- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

- **INSERIMENTO DI PARETI IN C.A.**
- **INSERIMENTO DI PARETI IN C.A. E DI TELAI METALLICI DI BORDO**
- **INCAMICIATURA DEI PILASTRI MEDIANTE PROFILI IN ACCIAIO**
- **COLLEGAMENTO DEI PLINTI DI FONDAZIONE MEDIANTE TRAVI LONGITUDINALI**
- **COLLEGAMENTO DEI PLINTI DI FONDAZIONE IN DIREZIONE TRASVERSALE ATTRAVERSO ANCORAGGI ALLA PAVIMENTAZIONE INDUSTRIALE**
- **TESATURA DELLE CATENE ESISTENTI, SE NECESSARIO, ED EVENTUALE AGGIUNTA DI NUOVE CATENE (IN MANIERA ANALOGA ALLE STRUTTURE IN MURATURA)**
- **INTERVENTI SULLA VOLTA LESIONATA, MEDIANTE L'APPLICAZIONE DEGLI FRP ALL'INTRADOSSO**
- **INTERVENTI SUI NODI TRAVE-PILASTRO**

- **FASE 3: PROPOSTE DI INTERVENTO**

- **INTERVENTI SUI NODI TRAVE-PILASTRO**

Nel caso in cui non sia soddisfatta la verifica di resistenza dei nodi non interamente confinati

→ FASCIATURA DEI NODI MEDIANTE L'APPLICAZIONE DI FRP



***ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PRATO –
PRATO ANTISISMA: PROTEZIONE SISMICA DEGLI EDIFICI A
DESTINAZIONE PRODUTTIVA DEL DISTRETTO PRATESE***

***CASO STUDIO DELLA REALTÀ PRATESE –
CAPANNONI A VOLTA ED A TELAIO GETTATI IN OPERA –
VULNERABILITÀ E MODALITÀ DI INTERVENTO***

Grazie per l'attenzione.

