

La seconda parte della seconda esercitazione consiste nel verificare e ridimensionare il telaio precedentemente dimensionato nelle tre tecnologie tenendo questa volta in conto il carico neve, vento e sisma.

Per la prima parte lo svolgimento dell'esercizio è indifferente per tutte e tre le tecnologie, gli unici cambiamenti da fare sono i passi strutturali e i valori dei carichi da assegnare.

Inizialmente si è costruito il modello di ciascun telaio su SAP.

- La griglia iniziale è stata stabilita in base alle misure del telaio, si è disegnato il primo piano e incollato per tre volte in modo da arrivare ai quattro piani.
- Ora si assegnano gli incastri a tutti i punti del piano terra.
- Inseriamo le dimensioni delle sezioni calcolate nella precedente esercitazione così da poterle definire ed assegnare a travi, mensole e pilastri di ciascuna tecnologia.

Per il telaio in legno bisogna definire il materiale, poiché non è presente tra i materiali predefiniti di SAP; tramite "Define/Material" spunto "select advanced properties", "Add new material", "User" "Other" e seleziono OK. Successivamente inserisco il nome del nuovo materiale e l'opzione "Orthotropic". Selezionando poi Show properties otterrò un tabella dove si dovranno inserire alcuni valori del tipo di legno scelto, che si possono reperire online.

- Ora si definisce un load pattern per ogni carico  $q_s$ ,  $q_p$  e  $q_a$  e si assegna il carico distribuito alle travi principali assegnandogli il rispettivo valore.
- Si definisce anche una load combination chiamata **Qtot** che comprende i tre valori di  $q$  moltiplicati per il relativo  $\gamma$ .
- Si assegna infine un constraint = diaphragm su asse z a tutti i punti di un piano. Questo è un passaggio fondamentale perché così facendo si simula un nodo rigido, cioè si impone ai pilastri e alle travi di ruotare senza avere una rotazione relativa, ovvero, facendo in modo che l'angolo tra i due rimanga retto. È importante anche avere un diaphragm diverso per ogni piano, perché altrimenti tutti i piani sarebbero vincolati a ruotare allo stesso modo.

Ora facciamo partire le analisi eliminando quella "MODAL", si estraggono le tabelle, scegliendo come caso di carico la combinazione **Qtot**.

Esportando le tabelle su Excel e le abbiamo ordinate, individuando il telaio più sollecitato.

Nel del Cemento armato, i telai più sollecitati sono risultati due, con gli stessi valori: 31-32 con il pilastro 20 e 36-37 con pilastro 21.

Nel del legno la trave è la 379, la mensola la 32 e il pilastro il 20.

Nel dell'acciaio la trave 12 è la più sollecitata, la mensola 71 e il pilastro 53.

A questo punto si guarda il valore del momento M3 relativo alle travi e alle mensole più sollecitate e il valore dello sforzo assiale P del pilastro più compresso e si sostituiscono sotto le rispettive voci nei fogli Excel usati in precedenza. In questo siamo andate a dimensionare in telaio utilizzando il nuovo momento che è quello reale.

Successivamente si sostituiscono le vecchie sezioni con quelle nuove, per poi aggiungere i carichi neve, vento e sisma. Anche in questo caso il procedimento per le tre tecnologie è lo stesso, cambiano solo i valori da inserire.

## NEVE

- Si definisce il load pattern  $Q_n$  con multiplier = 0.
- Si definisce una nuova combinazione che comprenda la neve e i carichi aggiunti in precedenza ( $Q_{tot} + \text{Neve}$ ); inseriamo uno Scale Factor = 1,5 come i carichi accidentali.
- Si assegna alle travi principali un carico distribuito =  $0,5 \text{ KN/m}^2$  moltiplicato per l'area d'influenza delle travi  $0,5 \text{ KN/m}^2 \cdot 6 \text{ m} = 3 \text{ KN}$ .
- Si fa partire l'analisi selezionando come caso di carico la nuova combinazione e si esporta la tabella su Excel.
- Si individua il telaio più sollecitato

## CALCESTRUZZO ARMATO

### Mensola

TABLE: Element Forces - Frames				
Frame	OutputCase	P	M2	M3
380	Qtot + Neve	0	0	-132,3716
385	Qtot + Neve	0	0	-132,3716
375	Qtot + Neve	0	0	-115,3101

### Trave

390	Qtot + Neve	0	0	-82,3824
379	Qtot + Neve	0	0	-81,5892
384	Qtot + Neve	0	0	-81,5892

### Pilastro

Frame	OutputCase	P	M2	M3
20	Qtot + Neve	-639,044	-0,0112	3,3813
21	Qtot + Neve	-639,044	0,0112	3,3813

## LEGNO

### Mensola e trave

TABLE: Element Forces - Frames					
Frame	Station	OutputCase	P	M2	M3
380	0	Q tot+ neve	0	0	-71,6742
385	0	Q tot+ neve	0	0	-71,6742
375	0	Q tot+ neve	0	0	-69,8361
390	0	Q tot+ neve	0	0	-69,8361
379	6	Q tot+ neve	0	0	-61,2025
384	6	Q tot+ neve	0	0	-61,2025

## Pilastro

Frame	Station	OutputCase	P	M2	M3
20	0	Q tot+ neve	-283,701	-0,0062	-1,2679
21	0	Q tot+ neve	-283,701	0,0062	-1,2679

## ACCIAIO

### Mensola

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem
1	6	Q tot+neve	0	0,311	-5,819E-20	-5,863E-11	9,129E-19	-0,3118	1-1
187	0	Q tot+neve	0	-62,859	0	0,0017	0	-127,0721	187-1

### Trave

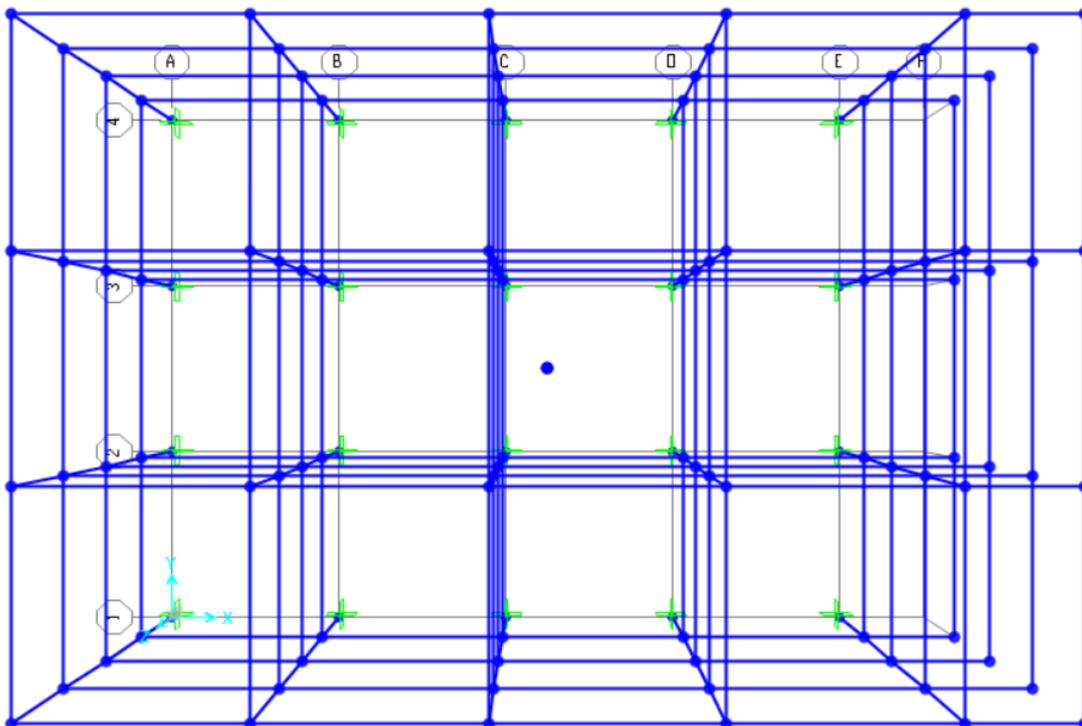
TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem
1	6	Q tot+neve	0	0,311	-5,819E-20	-5,863E-11	9,129E-19	-0,3118	1-1
186	8	Q tot+neve	0	66,427	0	2,705E-07	0	-105,0094	186-1

### Pilastro

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem
53	3	Q tot+neve	-414,896	3,328	0,0008214	-2,511E-18	-0,0008145	1,4898	53-1
58	3	Q tot+neve	-414,896	3,328	-0,0008214	-2,511E-18	0,0008145	1,4898	58-1

## SISMA

- Per applicare le forze relative al sisma bisogna individuare il centro di massa di ogni piano. Nel nostro caso i vari piani non sono differenti, quindi basta individuarne uno, posizionarvi il punto e copiarlo in corrispondenza degli altri solai.
- Ora assegniamo al joint lo stesso diaphragm degli altri sullo stesso piano, di modo che vi appartenga a tutti gli effetti.



- Si definisce un load pattern per ogni forza che si applicherà al punto; il numero delle forze è pari a quello dei solai fuori terra. Di norma di dovrebbero analizzare due situazioni diverse con due direzioni di forza perpendicolari; ma dato che il telaio è molto regolare e sappiamo che tutti i carichi agiscono nella stessa direzione si può dedurre che la situazione più sfavorevole si troverà lungo x, e dunque applicare solo questa.  
Si avranno quindi 4 pattern: Sisma  $X_3$ , Sisma  $X_6$ , Sisma  $X_9$ , Sisma  $X_{12}$ .
- Si calcolano i carichi effettivi del sisma per ogni piano.

$$F_s \text{ (forza sismica)} = c \cdot W$$

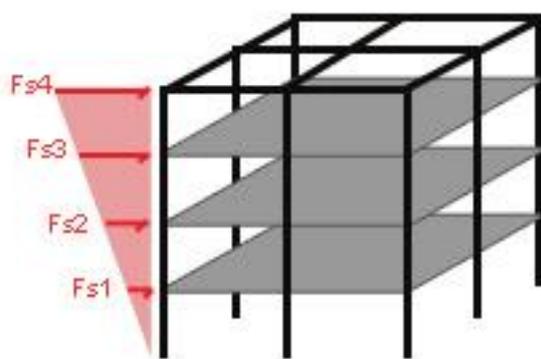
Dove:

$c$  = "frazione" dell'accelerazione di gravità che dipende dalla zona  $\rightarrow 0,2 \div 0,3$

$$W = (P + 20\% \text{ Neve} + 30\% q_a)$$

$$P = q_s + q_p$$

La forza si ripartisce in forma triangolare, con



$$F_i = F_s \cdot \frac{z_i W_i}{\sum_{i=1}^n z_i W_i}$$

Perciò, con le semplificazioni dovute ai piani di altezza regolare e costante e all'ipotesi che i carichi siano uguali:

$$F_1 = F_s/10$$

$$F_2 = 2F_s/10$$

$$F_3 = 3F_s/10$$

$$F_4 = 4F_s/10$$

- Si assegnano i carichi appena trovati sotto forma di Joint/Forces lungo x ai centri di massa.
- Si definisce una nuova combinazione di carico che comprenda i carichi verticali già utilizzati e in più le quattro forze lungo x. Con scale factor = 1.
- Si fa partire l'analisi, si estraggono le tabelle e si individuano i telaio più sollecitati.

## CEMENTO ARMATO

### Mensola e Trave

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	M2	M3	ElemStation
380	0	Qtot	0	-63,711	0	0	-112,1216	0
27	0,5	Qtot + SISMA X	0	-49,128	0	0	-68,3197	0,5
42	0,5	Qtot	0	-49,128	0	0	-68,3197	0,5
42	0,5	Qtot + SISMA X	0	-49,128	0	0	-68,3197	0,5
379	6	Qtot + SISMA X	0	53,185	0	0	-66,0472	6

### Pilastro

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	M2	M3	ElemStation
20	0	Qtot + SISMA X	-611,237	-9,06	-0,011	-0,0112	3,5397	0
21	0	Qtot + SISMA X	-611,237	-9,06	0,011	0,0112	3,5397	0

## LEGNO

### Mensola

TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	Station	OutputCase	P	M2	M3	FrameElem	ElemStation
32	0	Q tot+ sisma	0	0	-51,4286	32-1	0
380	0	Qtot	0	0	-51,4242	380-1	0
380	0	Q tot+ sisma	0	0	-51,4242	380-1	0

### Trave

42	0	Q tot+ sisma	0	0	-49,5816		
379	6	Q tot+ sisma	0	0	-42,8095		
384	6	Q tot+ sisma	0	0	-42,8095		

### Pilastro

TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	Station	OutputCase	P	M2	M3	FrameElem	ElemStatio
20	0	Q tot+ sisma	-255,674	-0,0062	-1,115	20-1	
21	0	Q tot+ sisma	-255,674	0,0062	-1,115	21-1	

## ACCIAIO

### Mensola

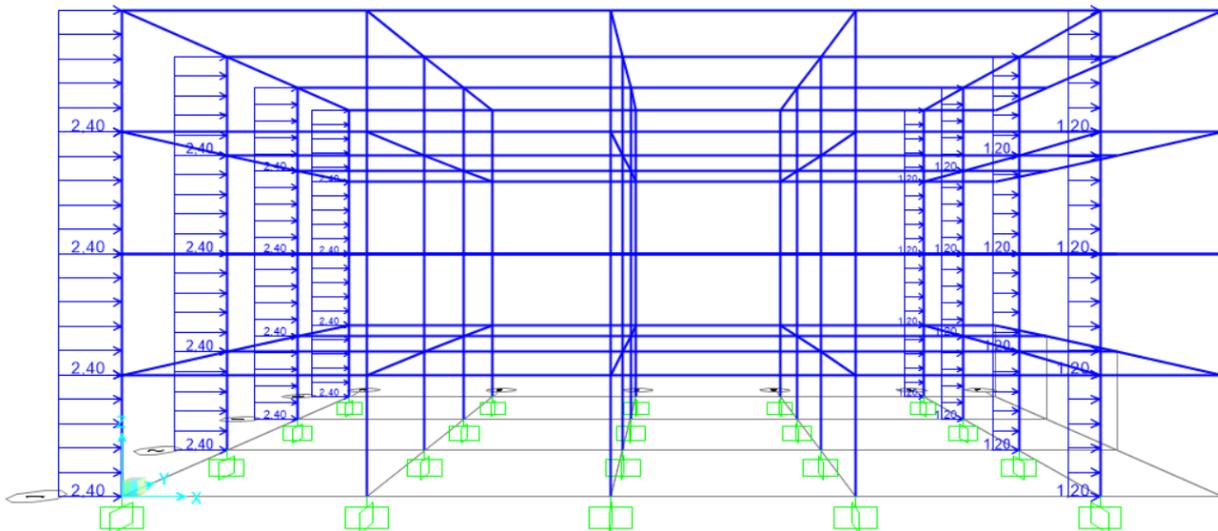
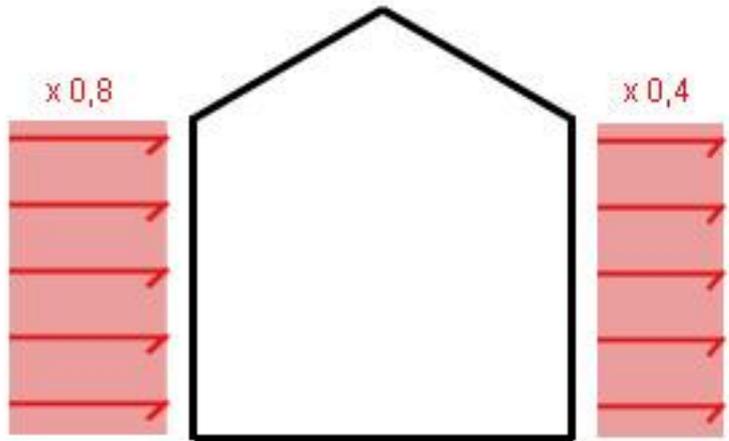
TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	Station	OutputCase	P	M2	M3	FrameElem	ElemStation
129	0	Q tot+ sisma	0	0	-91,0738	129-1	0
130	4	Q tot+ sisma	0	0	91,0738	130-1	4

### Pilastro

TABLE: Element Forces - Frames					
Frame	Station	OutputCase	P	M2	M3
53	3	Q tot+ sisma	-377,644	-0,0008145	1,6614

## VENTO

- Si semplificano i calcoli che richiederebbe la normativa imponendo un carico di  $0,5 \text{ KN/m}^2$  e moltiplicando quest'ultimo per i coefficienti in figura.
- Si definisce un load pattern "Vento su X"; anche per questa situazione, la norma imporrebbe di verificare due situazioni perpendicolari, ma per lo stesso motivo si esaminerà solo X.
- Si assegnano due carichi alle file di pilastri, uno per la parete sopravvento e una per quella sottovento di valore pari a :  
 $0,8 \cdot 0,5 \text{ KN/m}^2 \cdot 6\text{m (Area di influenza)} = 1,2 \text{ KN/m}$   
 $0,4 \cdot 0,5 \text{ KN/m}^2 \cdot 6\text{m (Area di influenza)} = 2,4 \text{ KN/m}$



- Si definisce una nuova combinazione che comprenda vento e forze verticali.
- Si fa partire l'analisi e si analizzano i risultati su Excel.

## CALCESTRUZZO ARMATO

### Mensola

TABLE: Element Forces - Frames						
Frame	Station	OutputCase	P	M2	M3	ElemStation
380	0	Qtot + VentoX	0	0	-112,1216	0
264	0	Qtot + VentoX	0	0	-112,0977	0
269	0	Qtot + VentoX	0	0	-112,0977	0

### Trave

327	0,5	Qtot + VentoX	0	0	-82,4192
263	6	Qtot + VentoX	0	0	-71,7415
268	6	Qtot + VentoX	0	0	-71,7415
258	6	Qtot + VentoX	0	0	-71.1197

### Pilastro

TABLE: Element Forces - Frames						
Frame	Station	OutputCase	P	M2	M3	ElemStation
20	0	Qtot + VentoX	-621,086	-0,0112	33,2612	0
21	0	Qtot + VentoX	-621,086	0,0112	33,2612	0

## LEGNO

### Mensola e Trave

Frame	Station	OutputCase	P	M2	M3
31	6	Q tot + vento	0	0	-60,2023
273	6	Q tot + vento	0	0	-52,9756
32	0	Qtot	0	0	-51,4286

### Pilastro

Frame	Station	OutputCase	P	M2	M3	ElemStation
20	0	Q tot + vento	-269,062	-0,0062	17,8139	0
21	0	Q tot + vento	-269,062	0,0062	17,8139	0

## ACCIAIO

### Mensola

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem
129	0	Q tot+ vento	0	-44,859	0	0,0017	0	-91,0738	129-1

### Trave

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem
1	6	Q tot+ vento	0	0,311	-1,358E-18	-5,863E-11	6,109E-18	-0,3118	1-1
70	8	Q tot+ vento	0	48,966	0	1,247E-07	0	-80,5981	70-1

### Pilastro

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem
1	6	Q tot+ vento	0	0,311	-1,358E-18	-5,863E-11	6,109E-18	-0,3118	1-1
53	3	Q tot+ vento	-383,392	-5,946	0,0008214	-3,516E-18	-0,0008145	17,261	53-1

Individuati i valori più alti e i relativi elementi del solaio, si procede ad un ulteriore dimensionamento.

Le sezioni risultanti sono:

## CALCESTRUZZO ARMATO

**Mensola:**  $M = -137,37 \text{ KNm} \rightarrow$  SEZIONE : 40 x 50 cm

**Trave:**  $M = -81,58 \text{ KNm} \rightarrow$  SEZIONE : 30 x 45 cm

**Pilastro:**  $N = -621 \text{ KN} \rightarrow$  SEZIONE : 30 x 20 cm

## LEGNO

**Mensola:**  $M = -71,67 \text{ KNm} \rightarrow$  SEZIONE : 30 x 40 cm

**Trave:**  $M = -61,20 \text{ KNm} \rightarrow$  SEZIONE : 30 x 40 cm

**Pilastro:**  $N = -621 \text{ KN} \rightarrow$  SEZIONE : 30 x 20 cm

## ACCIAIO

**Mensola:**  $M = 127,07 \text{ KNm} \rightarrow$  SEZIONE : IPE 330

**Trave:**  $M = -105 \text{ KNm} \rightarrow$  SEZIONE : IPE 300

**Pilastro:**  $N = -403,6 \text{ KN} \rightarrow$  SEZIONE : HEA100

Per ultima cosa di devono verificare le sezioni dei pilastri, poiché sono soggetti a pressoflessione e non a semplice flessione come viene calcolato nelle tabelle.

Si sceglie per ogni tecnologia il pilastro con lo sforzo normale massimo di segno concorde al momento maggiore. Per ogni tecnologia si applica un metodo diverso.

### CALCESTRUZZO ARMATO

- Pilastro con  $N = -428,26$  KN e  $M = -22,235$
- Sezione  $b = 30$  cm e  $H = 20$  cm
- $h/6 = 20/6 = 3,3$  cm

Si determina l'eccentricità  $e = M/N = 0,045$  m = **4,5** cm

$e > h/6 \rightarrow$  formula monomia

$$u = h/2 - e = 5,5 \text{ cm}$$

$$\sigma_{\max} = 2N/3u \cdot b = 19,68 \text{ MPa} > f_{cd} = 14,2 \text{ MPa} \quad \text{NON VERIFICATO}$$

Si sceglie allora una sezione quadrata di 30 x 30 cm.

$e = 4,5$  cm  $< h/6 = 5$  cm  $\rightarrow$  si considera la sezione completamente compressa; si utilizza Navier.

$$\sigma_{\max} = N/A + M/W$$

$$W = I^3/6 = 4500 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = 5,5415 \text{ MPa} < 14,2 \text{ MPa} \quad \text{VERIFICATO}$$

### LEGNO

- Pilastro con  $N = -223,3$  KN e  $M = -19,5$
- Sezione  $b = H = 20$  cm
- Legno GL24H :  $f_{fk} = f_{ck} = 24$  MPa

$$f_{fd} = f_{cd} = (k_{mod} \cdot f_k) / \gamma_m = 9,93 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = N/A = 5,58 \text{ MPa}$$

$$\sigma_f = M/W = 0,14 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c / f_{cd} + \sigma_f / f_{fd} = 0,575 < 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

### ACCIAIO

- Pilastro HEA 100
- $N = -404$  KN
- $M = -3,63$  KNm

$$\sigma_{\max} = N/A + M/W = (-404000 \text{ N}/0,002124 \text{ m}^2) + (-3,63 \text{ Knm}/0,00007276 \text{ m}^3) = 240.097.000 \text{ N/m}^2$$

→ 240 Mpa

240 Mpa > 223 Mpa **NON VERIFICATO**

Si sceglie una HEA più grande → HEA120

sigla HEA	b mm	h mm	a mm	e mm	r mm	Peso kg/m	Sezione cm <sup>2</sup>	Momenti di inerzia		Moduli di resistenza		Raggi di inerzia	
								Jx cm <sup>4</sup>	Jy cm <sup>4</sup>	Wx cm <sup>3</sup>	Wy cm <sup>3</sup>	ix cm	iy cm
100	100	96	5,0	8,0	12	16,7	21,24	349,2	133,8	72,76	26,76	4,06	2,51
120	120	114	5,0	8,0	12	19,9	25,34	606,2	230,9	106,3	38,48	4,89	3,02

$$\sigma_{\max} = N/A + M/W = (-404.000 \text{ N}/0,002534 \text{ m}^2) + (-3,63 \text{ Kn}^* \text{m}/0,0001063 \text{ m}^3) = 193.580.363 \text{ N/m}^2$$

→ 194 Mpa

193 Mpa < 223 Mpa **VERIFICATO**