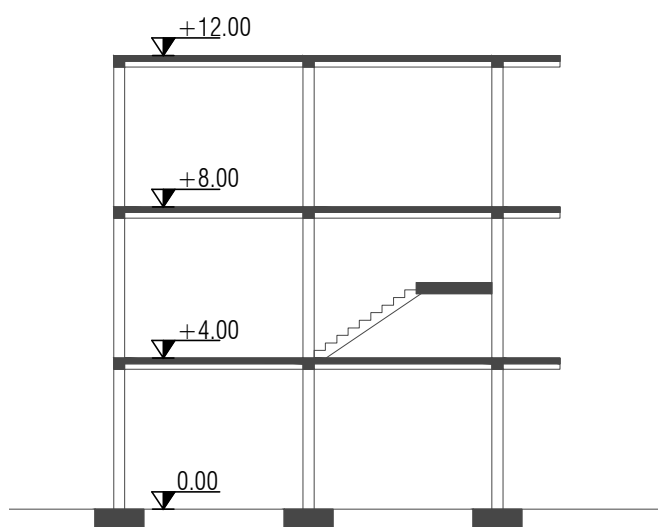
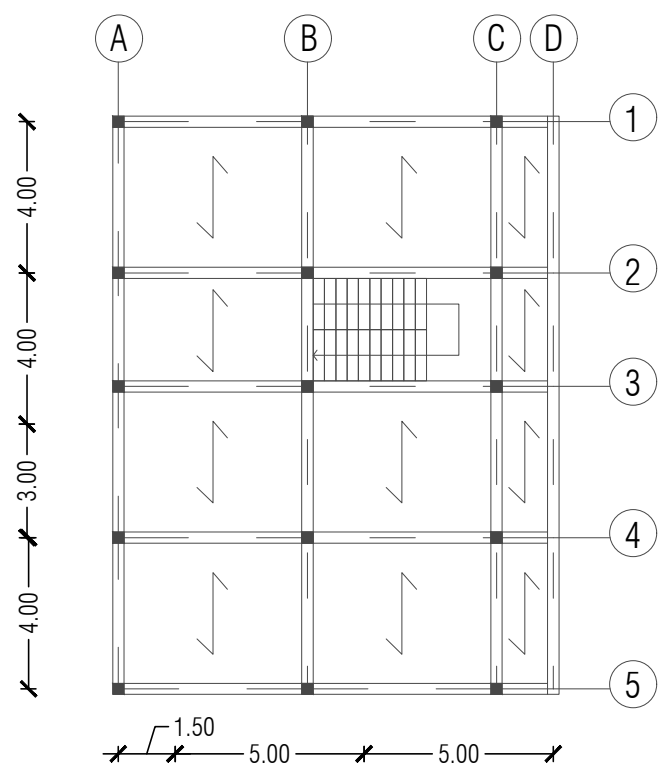


## ES.1: PROGETTO DI UN EDIFICIO MULTIPIANO IN CALCESTRUZZO

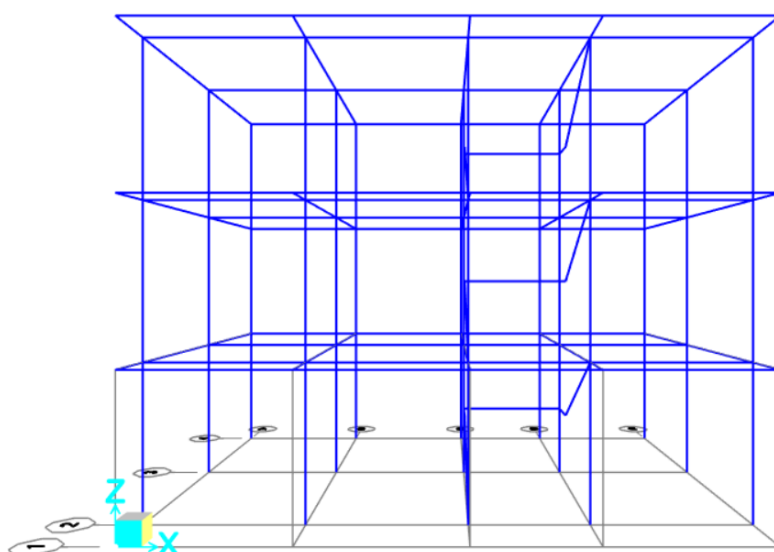
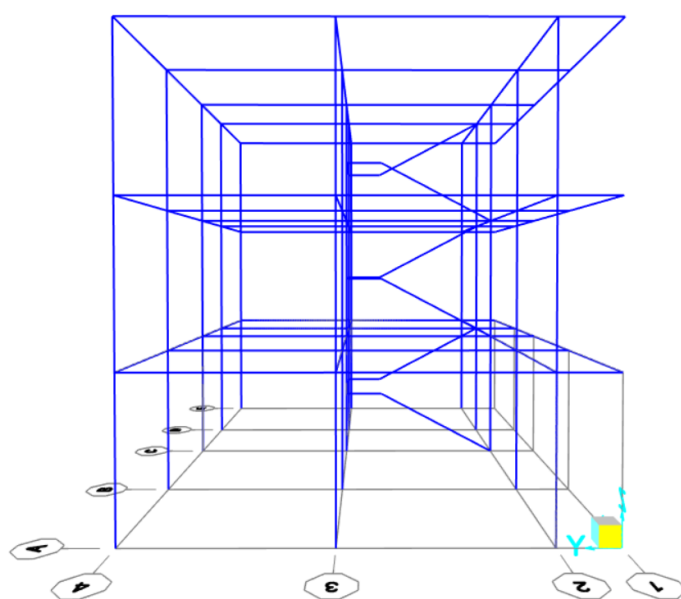
L'obiettivo di questa esercitazione era quello di dimensionare una struttura semplice in calcestruzzo armato allo Stato Limite Ultimo.

### 1. Descrizione del progetto

Come primo passo abbiamo immaginato piante e alzati possibili della struttura, includendo in essa uno sbalzo ed una scala realizzata con una trave a ginocchio. La struttura si sviluppa su una pianta rettangolare divisa sul lato lungo da quattro campate, tre di queste di 4 metri ed una di 3 che ospita la scala. Sul lato corto invece sono presenti due campate di 5 metri ed un aggetto di 1,5 metri.



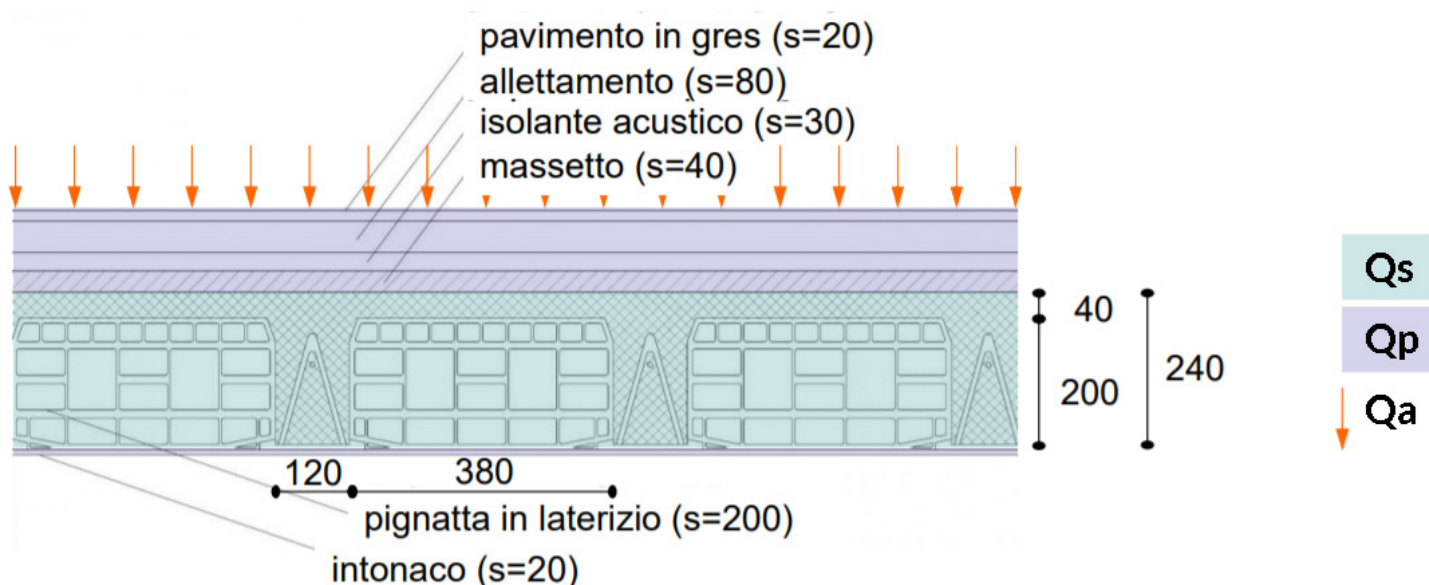
pianta e sezione della struttura



modello della struttura in SAP2000

## 2. Analisi dei carichi

Per iniziare con il dimensionamento abbiamo definito il pacchetto di solaio dal quale abbiamo ricavato i carichi strutturali, permanenti ed accidentali. Il solaio in questione è un solaio in laterocemento che prevede tra i carichi permanenti strutturali una soletta in cls, i travetti e le pignatte. Per i carichi permanenti non strutturali sono stati inseriti gli strati relativi alla pavimentazione in gres, un isolante acustico, il massetto, l'intonaco ed un coefficiente relativo all'incidenza dei tramezzi (ipotizzati) nella struttura. Per quanto riguarda il carico accidentale se ne è determinato uno di 2 KN/m<sup>2</sup>. In ultima analisi è stata definita la combinazione di carichi allo Stato Limite Ultimo considerando i rispettivi coefficienti di sicurezza, determinando un carico distribuito lungo tutta la superficie del solaio.



### Carico permanente strutturale

peso soletta c.a.	$25,00 \times 0,04 =$	1,00
peso travetti c.a.	$25,00 \times 0,12 \times 0,20/0,50 =$	1,20
peso pignatte	$6,00 \times 0,38 \times 0,20/0,50 =$	0,92
<b>Q<sub>s</sub></b>		<b>3,12</b>

### Carico permanente non strutturale

pavimento in gres ceramico (s = 20 mm)		0,40
allettamento + massetto (s = 80+40 mm)	$20,00 \times 0,12 =$	2,40
isolante acustico (s = 30 mm)		0,03
intonaco (s = 20 mm)	$20,00 \times 0,12 =$	0,40
incidenza tramezzi		1,60
<b>Q<sub>p</sub></b>		<b>4,83</b>

### Carico variabile Q<sub>a</sub>

Cat. A (civile abitazione)		<b>2,00</b>
----------------------------	--	-------------

## 3. Dimensionamento delle travi

Il predimensionamento delle travi ha richiesto l'individuazione dell'orditura dei solai, con la conseguente differenziazione delle travi principali da quelle secondarie. In secondo luogo si è determinata l'area di influenza e l'interasse delle travi principali, differenziate in travi di bordo e centrali, riducendo il carico superficiale ad un carico linearmente distribuito (di differente entità a seconda dell'area di influenza individuata).

Per quanto riguarda il dimensionamento delle travi principali, abbiamo determinato la classe di calcestruzzo (C28/35) e di acciaio utilizzata (B450), ottenendo le tensioni caratteristiche e di progetto necessarie per la definizione delle sezioni impiegate. Successivamente si è ottenuta l'altezza effettiva della sezione, previa definizione di altezza utile e copriferro tramite i coefficienti  $r$ ,  $B$ (beta) e  $d$ (delta), sia per le travi principali di bordo che per le travi principali centrali. Conducendo l'analisi su Sap è stato verificato che il momento massimo registrato nelle sezioni risultasse inferiore al momento resistente della sezione.

## Classificazione elementi strutturali

- Travi principali perimetrali
- Travi principali centrali
- Travi secondarie
- Pilastri perimetrali
- Pilastri centrali
- Pilastri spigolo

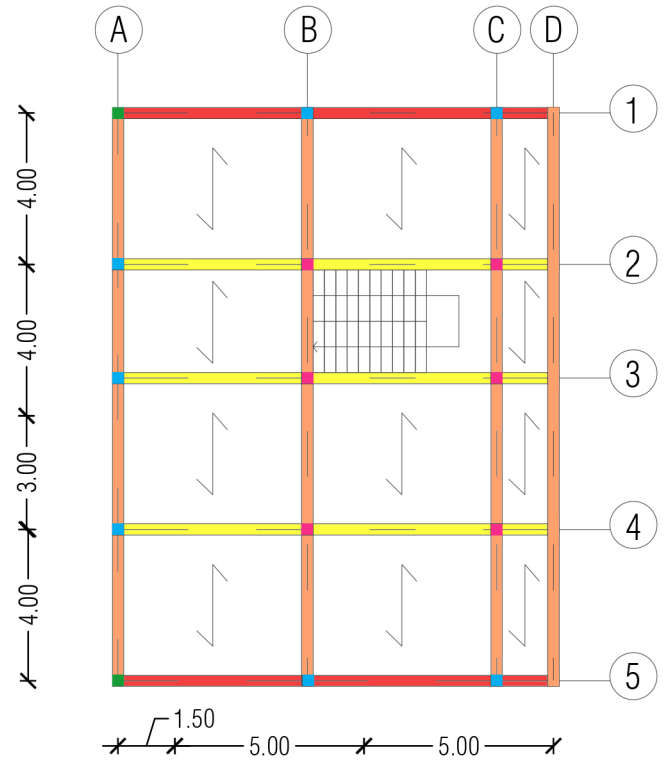


tabella excel per il dimensionamento delle travi

TRAVI																					
interasse (m)	$q_e$ (KN/m <sup>2</sup> )	$q_p$ (KN/m <sup>2</sup> )	$q_a$ (KN/m <sup>2</sup> )	$q_u$ (KN/m)	luce (m)	$M_{max}$ (KN*m)	$f_{yk}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{yd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{cd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta$	$r$	$b$ (cm)	$h_u$ (cm)	$\delta$ (cm)	$H_{min}$ (cm)	H	H/I	area (m <sup>2</sup> )	peso unitario (KN/m)	
2,00	3,12	4,83	2,00	28,60	5,00	89,38	450,00	391,30	29,03	16,45	0,39	2,44	30,00	32,79	5,00	37,79	45,00	0,08	0,14		3,38
principali perimetrali				32,99	5,00	103,09	450,00	391,30	29,03	16,45	0,39	2,44	30,00	35,22	5,00	40,22	verificata				
4,00	3,12	4,83	2,00	57,20	5,00	178,76	450,00	391,30	29,03	16,45	0,39	2,44	30,00	46,37	5,00	51,37	55,00	0,11	0,17		4,13
principali centrali				62,57	5,00	195,52	450,00	391,30	29,03	16,45	0,39	2,44	30,00	48,50	5,00	53,50	verificata				
0,50	3,12	4,83	2,00	7,15	4,00	14,30	450,00	391,30	29,03	16,45	0,39	2,44	20,00	16,06	5,00	21,06	25,00	0,06	0,05		1,25
secondarie				8,78	4,00	17,55	450,00	391,30	29,03	16,45	0,39	2,44	20,00	17,80	5,00	22,80	verificata				

ridimensionamento delle travi

VERIFICA																					
interasse (m)	$q_e$ (KN/m <sup>2</sup> )	$q_p$ (KN/m <sup>2</sup> )	$q_a$ (KN/m <sup>2</sup> )	$q_u$ (KN/m)	luce (m)	$M_{max}$ (KN*m)	$f_{yk}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{yd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{cd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta$	$r$	$b$ (cm)	$h_u$ (cm)	$\delta$ (cm)	$H_{min}$ (cm)	H	H/I	area (m <sup>2</sup> )	peso unitario (KN/m)	
2,00	3,12	4,83	2,00	28,60	5,00	89,38	450,00	391,30	29,03	16,45	0,39	2,44	30,00	32,79	5,00	37,79	35,00	0,08	0,11		2,63
principali perimetrali				32,01	5,00	72,81	450,00	391,30	29,03	16,45	0,39	2,44	30,00	29,60	5,00	34,60	verificata				
4,00	3,12	4,83	2,00	57,20	5,00	178,76	450,00	391,30	29,03	16,45	0,39	2,44	30,00	46,37	5,00	51,37	45,00	0,09	0,14		3,38
principali centrali				61,59	5,00	118,38	450,00	391,30	29,03	16,45	0,39	2,44	30,00	37,74	5,00	42,74	verificata				
0,50	3,12	4,83	2,00	7,15	4,00	14,30	450,00	391,30	29,03	16,45	0,39	2,44	15,00	18,55	5,00	23,55	20,00	0,05	0,03		0,75
secondarie				1,77	4,00	3,54	450,00	391,30	29,03	16,45	0,39	2,44	15,00	9,23	5,00	14,23	verificata				

## 4. Dimensionamento delle mensole

interasse (m)	$q_s$ (kN/mq)	$q_p$ (kN/mq)	$q_a$ (kN/mq)	$q_u$ (kN/m)	luce (m)	$M_{max}$ (kN*m)	$f_{yk}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{yd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{cd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta$	$r$
4	3,12	4,83	2,00	57,20	1,5	64,35	450	391,30	29,03	16,45	0,39	2,44
				61,59	1,50	69,29	450,00	391,30	29,03	16,45	0,39	2,44
b (cm)	$h_u$ (cm)	$\delta$ (cm)	$H_{min}$ (cm)	H (cm)	area (m <sup>2</sup> )	peso (kN/m)	$q_e$	E (N/mm <sup>2</sup> )	$I_x$ (cm <sup>4</sup> )	$v_{max}$ (cm)	$l/v_{max}$	
30	27,82	5	32,82	45	0,14	3,38	39,18	21000	227813	0,05	2894,70	Sì
30,00	28,87	5,00	33,87	verificata								

## 5. Dimensionamento dei pilastri

Per quanto riguarda i pilastri, si è optato per una classificazione di questi ultimi in tre categorie: angolari, centrali e perimetrali. Si è definita un'area di influenza caratteristica per ogni categoria e si è tenuto conto dell'alzata della struttura, aggiungendo il peso di solai e travi soprastanti per ogni piano considerato. Determinata la sezione si è verificata a pressoflessione ognuna delle categorie definite per ogni piano presente, facendo attenzione che la tensione massima presente (descritta dall'intervento dello Sforzo Normale e dal Momento flettente) non superasse la resistenza del materiale.

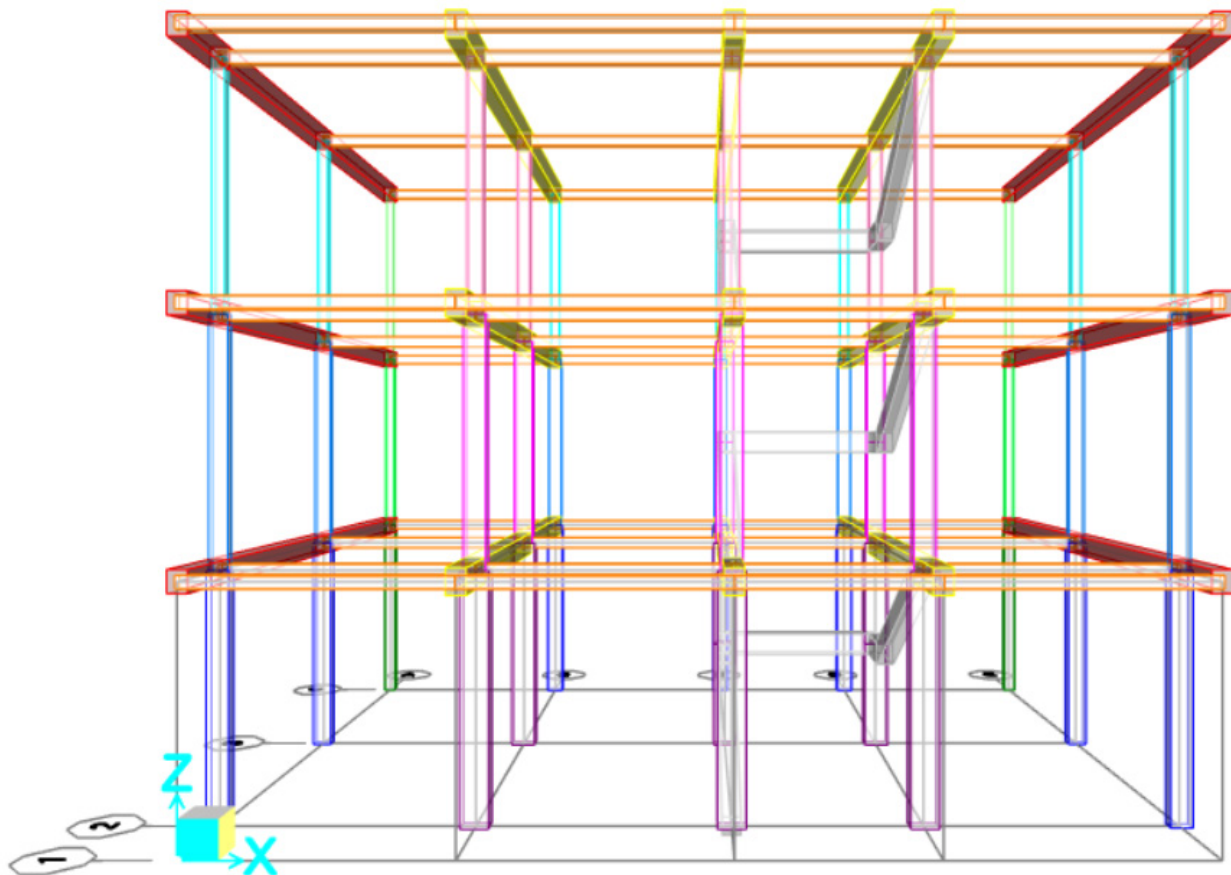
tabelle excel per il dimensionamento dei pilastri dei diversi piani

L <sub>p</sub>	L <sub>s</sub>	Area	trave <sub>p</sub>	trave <sub>s</sub>	q <sub>trave</sub>	q <sub>s</sub>	q <sub>p</sub>	q <sub>a</sub>	q <sub>solaio</sub>	n <sub>piani</sub>	N	f <sub>ck</sub>	f <sub>cd</sub>	f <sub>cd</sub> *	A <sub>min</sub>	b <sub>min</sub>	E	β	l	λ*	ρ <sub>min</sub>	b <sub>min</sub>	b	h <sub>min</sub>	h	A <sub>design</sub>	
m	m	m <sup>2</sup>	kN/m	kN/m	kN	kN/mq	kN/mq	kN/mq	kN		kN	Mpa	Mpa	Mpa	cm <sup>2</sup>	cm	Mpa		m		cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>		
Piano 1																											
5,00	2,00	10,00	4,50	4,50	40,95	3,12	4,83	2,00	143,01	3	552	29,0	16,5	8,2	671,0	25,9	21000	0,35	4,00	112,25	1,26	4,37	20,00	33,55	35,00	700	pilastro perimetrale
2,50	2,00	5,00	4,50	4,50	26,33	3,12	4,83	2,00	71,51	3	293	29,0	16,5	8,2	356,8	18,9	21000	0,35	4,00	112,25	1,25	4,32	15,00	23,79	25,00	375	pilastro angolare
5,00	4,00	20,00	4,50	4,50	52,65	3,12	4,83	2,00	286,02	3	1016	29,0	16,5	8,2	1235,2	35,1	21000	0,35	4,00	112,25	1,25	4,32	30,00	41,17	45,00	1350	pilastro centrale
Piano 2																											
5,00	2,00	10,00	4,50	4,50	40,95	3,12	4,83	2,00	143,01	2	368	29,0	16,5	8,2	447,3	21,1	21000	0,35	4,00	112,25	1,26	4,37	15,00	29,82	30,00	450	pilastro perimetrale
2,50	2,00	5,00	4,50	4,50	26,33	3,12	4,83	2,00	71,51	2	196	29,0	16,5	8,2	237,9	15,4	21000	0,35	4,00	112,25	1,25	4,32	15,00	15,86	20,00	300	pilastro angolare
5,00	4,00	20,00	4,50	4,50	52,65	3,12	4,83	2,00	286,02	2	677	29,0	16,5	8,2	823,5	28,7	21000	0,35	4,00	112,25	1,25	4,32	25,00	32,94	35,00	875	pilastro centrale
Piano 3																											
5,00	2,00	10,00	4,50	4,50	40,95	3,12	4,83	2,00	143,01	1	184	29,0	16,5	8,2	223,7	15,0	21000	0,35	4,00	112,25	1,26	4,37	15,00	14,91	20,00	300	pilastro perimetrale
2,50	2,00	5,00	4,50	4,50	26,33	3,12	4,83	2,00	71,51	1	98	29,0	16,5	8,2	118,9	10,9	21000	0,35	4,00	112,25	1,25	4,32	10,00	11,89	15,00	150	pilastro angolare
5,00	4,00	20,00	4,50	4,50	52,65	3,12	4,83	2,00	286,02	1	339	29,0	16,5	8,2	411,7	20,3	21000	0,35	4,00	112,25	1,25	4,32	20,00	20,59	25,00	500	pilastro centrale

verifica dei pilastri

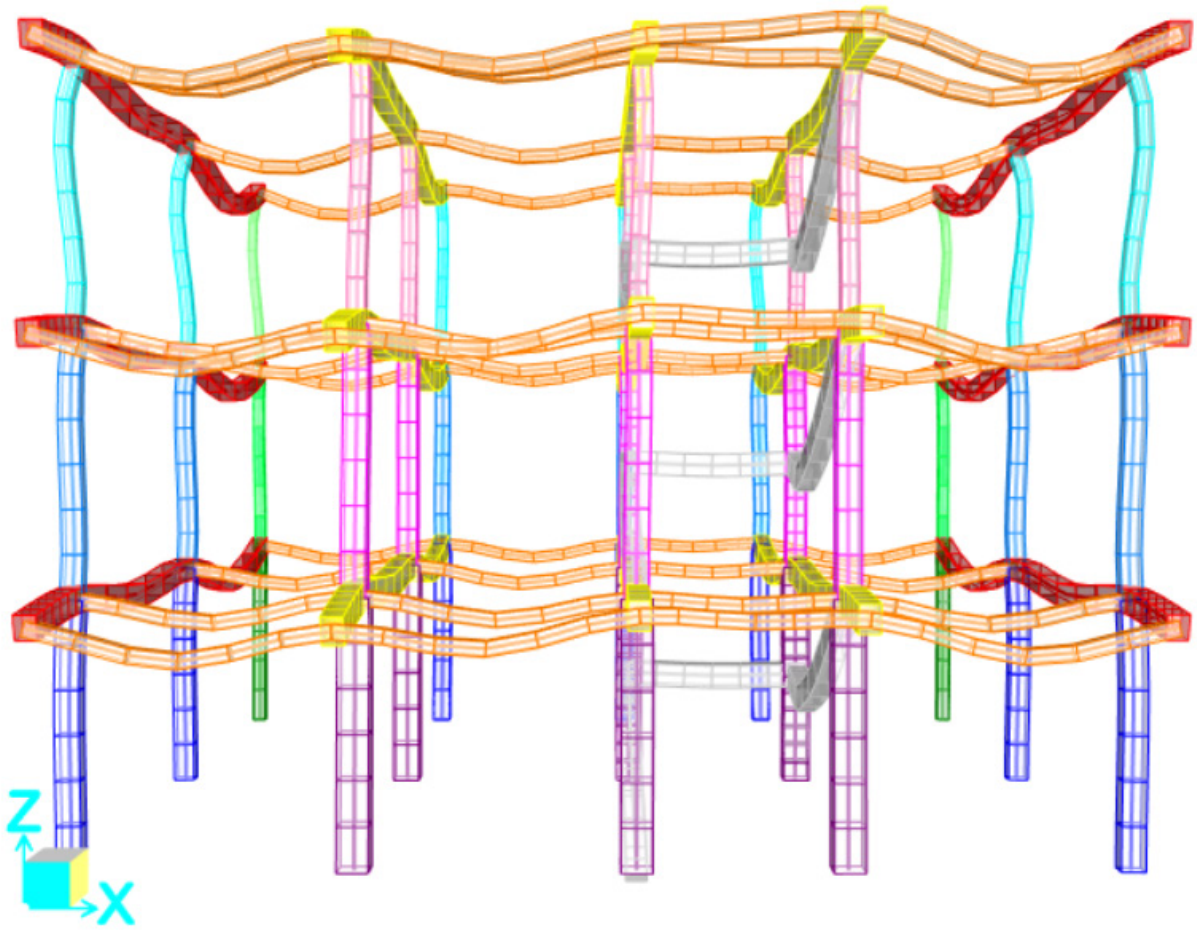
Pressoflessione in casi di piccola eccentricità: e=M/N <= h/6														
f <sub>ck</sub>	f <sub>cd</sub>	b	h	A	I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	N	M <sub>x</sub>	e	h/6	sigma <sub>N</sub>	sigma <sub>M</sub>	sigma <sub>max</sub>	
Mpa	Mpa	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	KN	KNm	cm	cm	Mpa	Mpa	Mpa	
Piano 1														
29,0	16,5	30	45	1350	227813	10125	690,08	1,26	0,18	7,50	5,11	0,12	5,24	Pilastri centrali
29,0	16,5	20	35	700	71458	4083	406,74	1,16	0,29	5,83	5,81	0,28	6,10	Pilastri perimetrali
29,0	16,5	15	25	375	19531	1563	230,09	0,79	0,34	4,17	6,14	0,50	6,64	Pilastri angolari
Piano 2														
29,0	16,5	25	35	875	89323	5104	457,43	1,29	0,28	5,83	5,23	0,25	5,48	Pilastri centrali
29,0	16,5	15	30	450	33750	2250	269,64	1,06	0,39	5,00	5,99	0,47	6,46	Pilastri perimetrali
29,0	16,5	15	20	300	10000	1000	153,15	2,11	1,38	3,33	5,10	2,11	7,22	Pilastri angolari
Piano 3														
29,0	16,5	20	25	500	26042	2083	226,34	0,87	0,39	4,17	4,53	0,42	4,95	Pilastri centrali
29,0	16,5	15	20	300	10000	1000	133,09	0,67	0,51	3,33	4,44	0,67	5,11	Pilastri perimetrali
29,0	16,5	10	15	150	2813	375	73,67	0,61	0,83	2,50	4,91	1,64	6,55	Pilastri angolari

5. Analisi in SAP2000

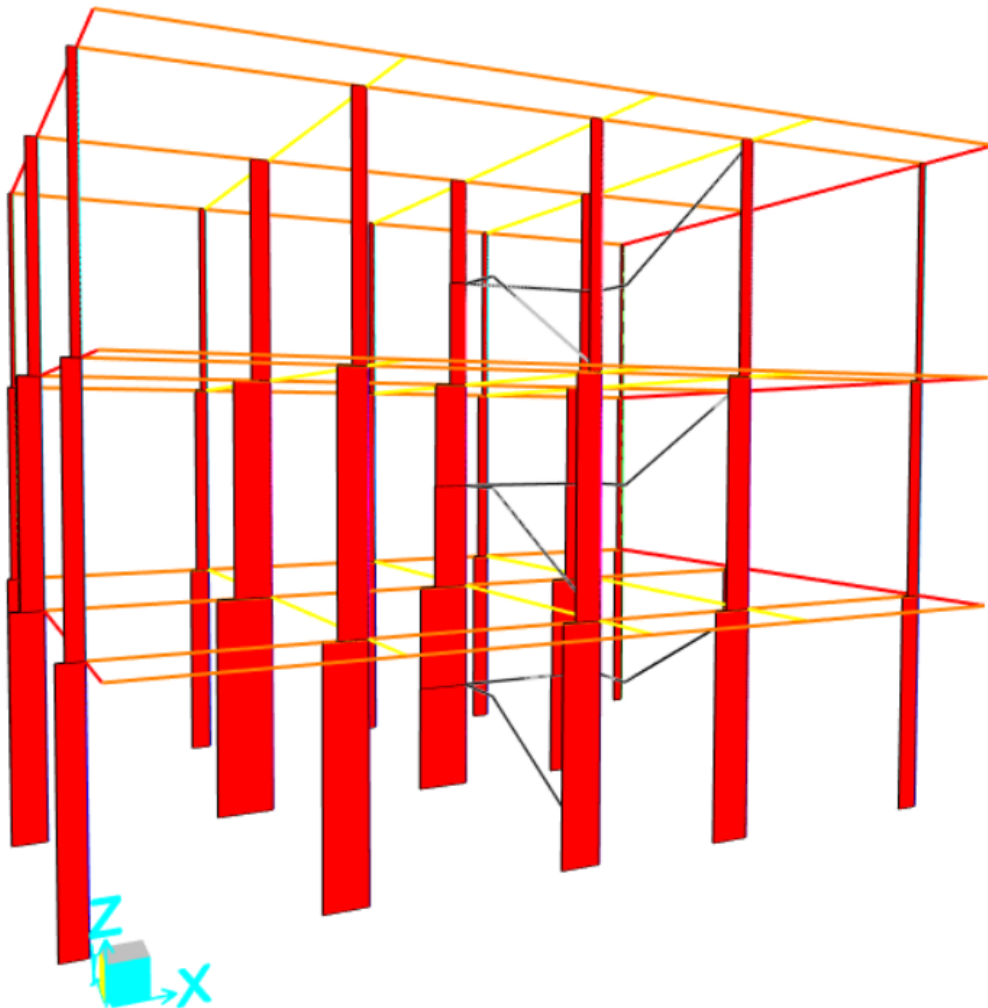


modello della struttura in SAP2000

*struttura deformata*

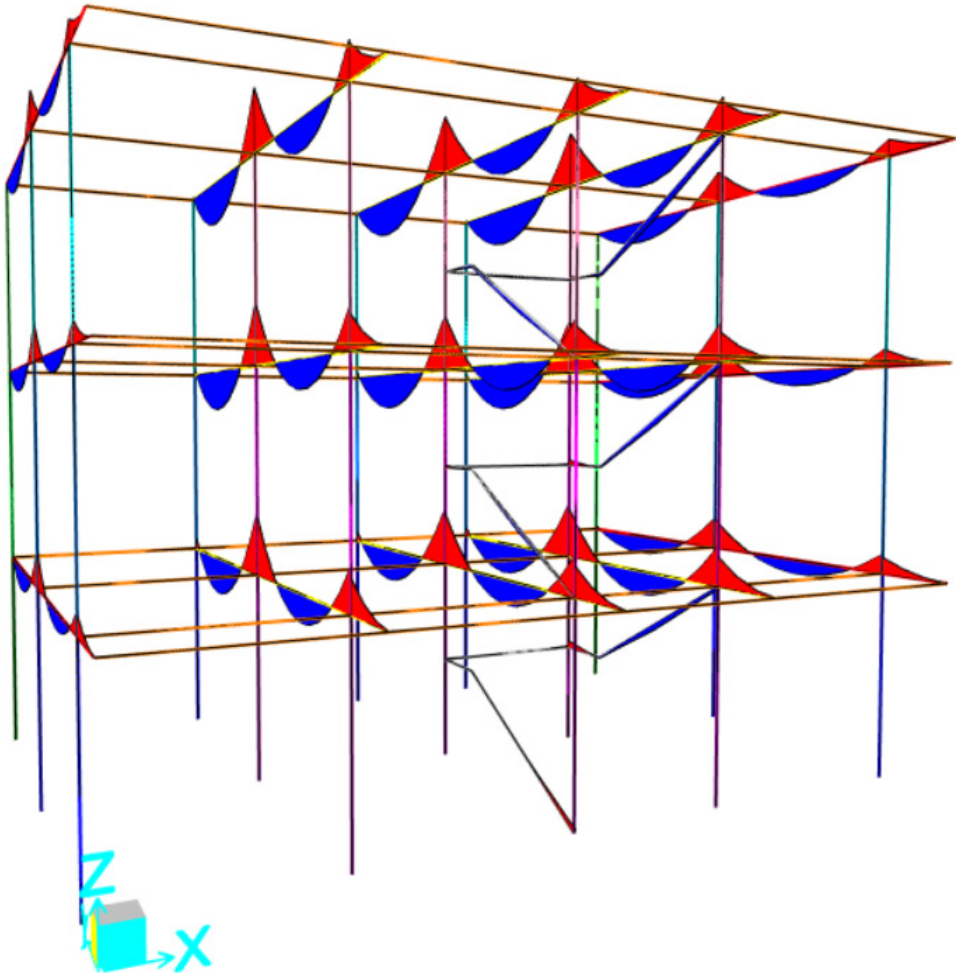


*sfuerzo normale pilastri*





*momento travi*



*momento pilastri*

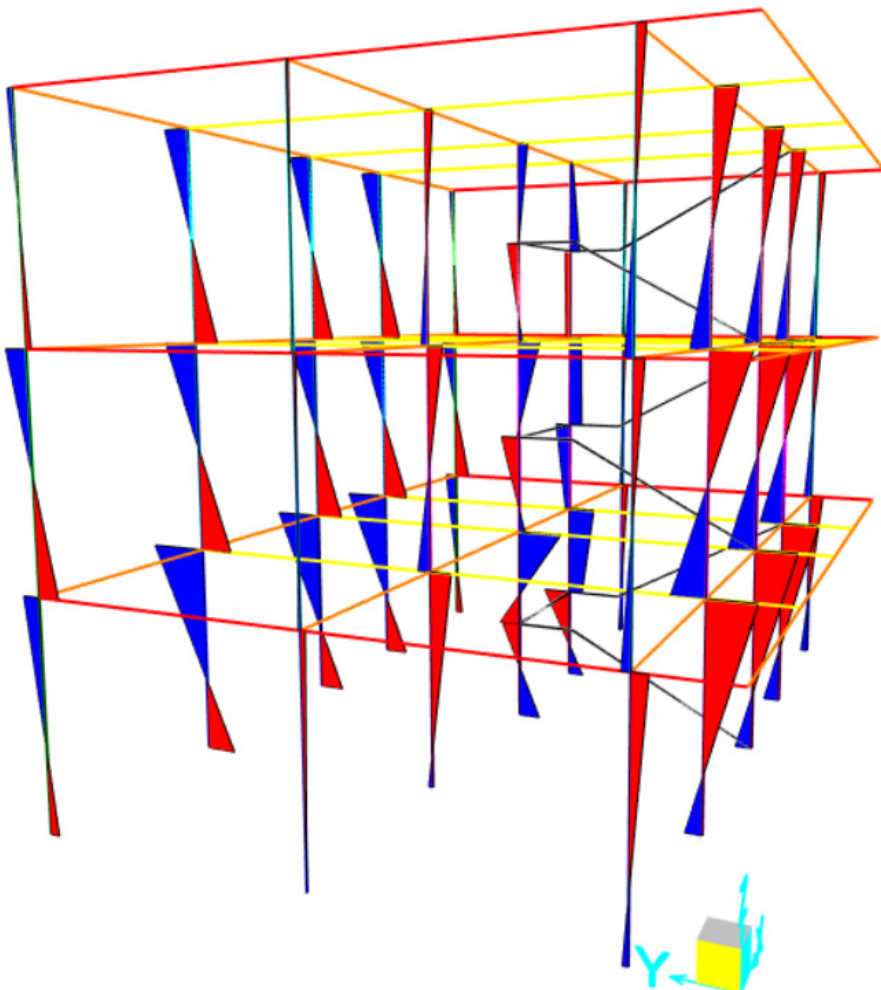


tabella excel dei risultati dell'analisi in SAP sulle travi e sui pilastri progettati

TABLE: Element Forces - Frames											
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text	m
<b>PILASTRI</b>											
39	0	SLU	Combination	-457,428	0,551	-2,861	-0,0743	-6,1378	1,2906	39-1	0
42	0	SLU	Combination	-690,08	0,704	-2,886	-0,1428	-8,2988	1,2561	42-1	0
36	0	SLU	Combination	-406,742	0,509	-0,346	-0,0361	-1,24	1,1631	36-1	0
25	0	SLU	Combination	-269,639	0,491	-0,378	-0,0169	-0,8331	1,0609	25-1	0
94	0	SLU	Combination	-226,341	0,367	-1,383	-0,0119	-2,9322	0,8741	94-1	0
90	0	SLU	Combination	-133,094	0,289	-0,378	-0,0042	-0,7933	0,6725	90-1	0
21	4	SLU	Combination	-153,148	-0,296	1,088	-0,0088	-2,1108	0,5561	21-1	4
32	4	SLU	Combination	-230,092	-0,286	0,578	-0,0106	-0,7887	0,465	32-1	4
82	0	SLU	Combination	-73,665	0,105	0,303	-0,001	0,6137	0,2277	82-1	0
<b>TRAVI</b>											
122	2	SLU	Combination	0	-1,222	-5,7E-17	-0,0234	-4,2E-17	118,3779	122-1	2
116	2	SLU	Combination	0	-2,051	-5,7E-17	0,3148	-4,2E-17	72,8097	116-1	2
128	4	SLU	Combination	0	110,122	-5,7E-17	0,198	7,22E-17	2,8736	128-1	4