

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

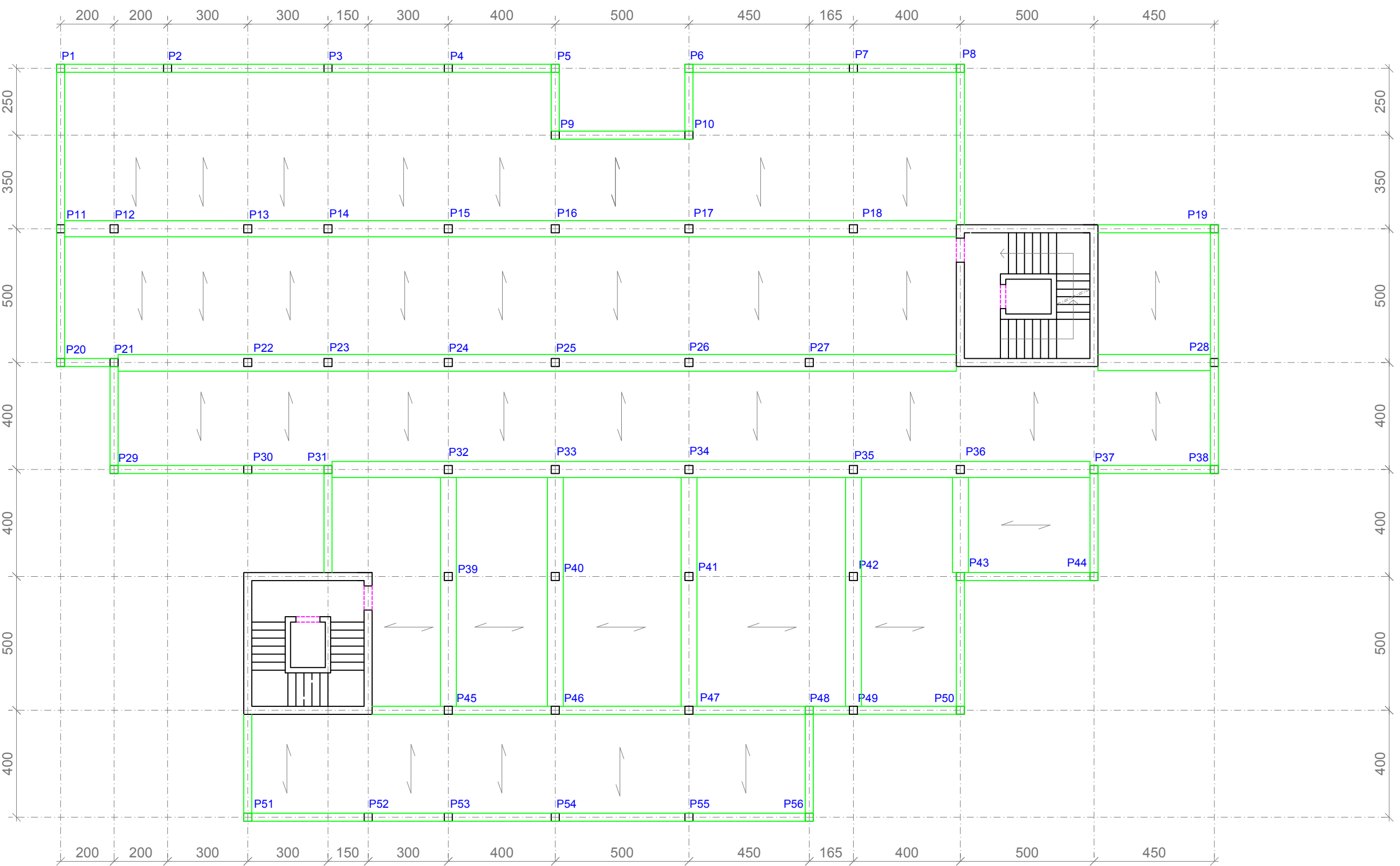
Esercitazione

ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI IN UN EDIFICIO

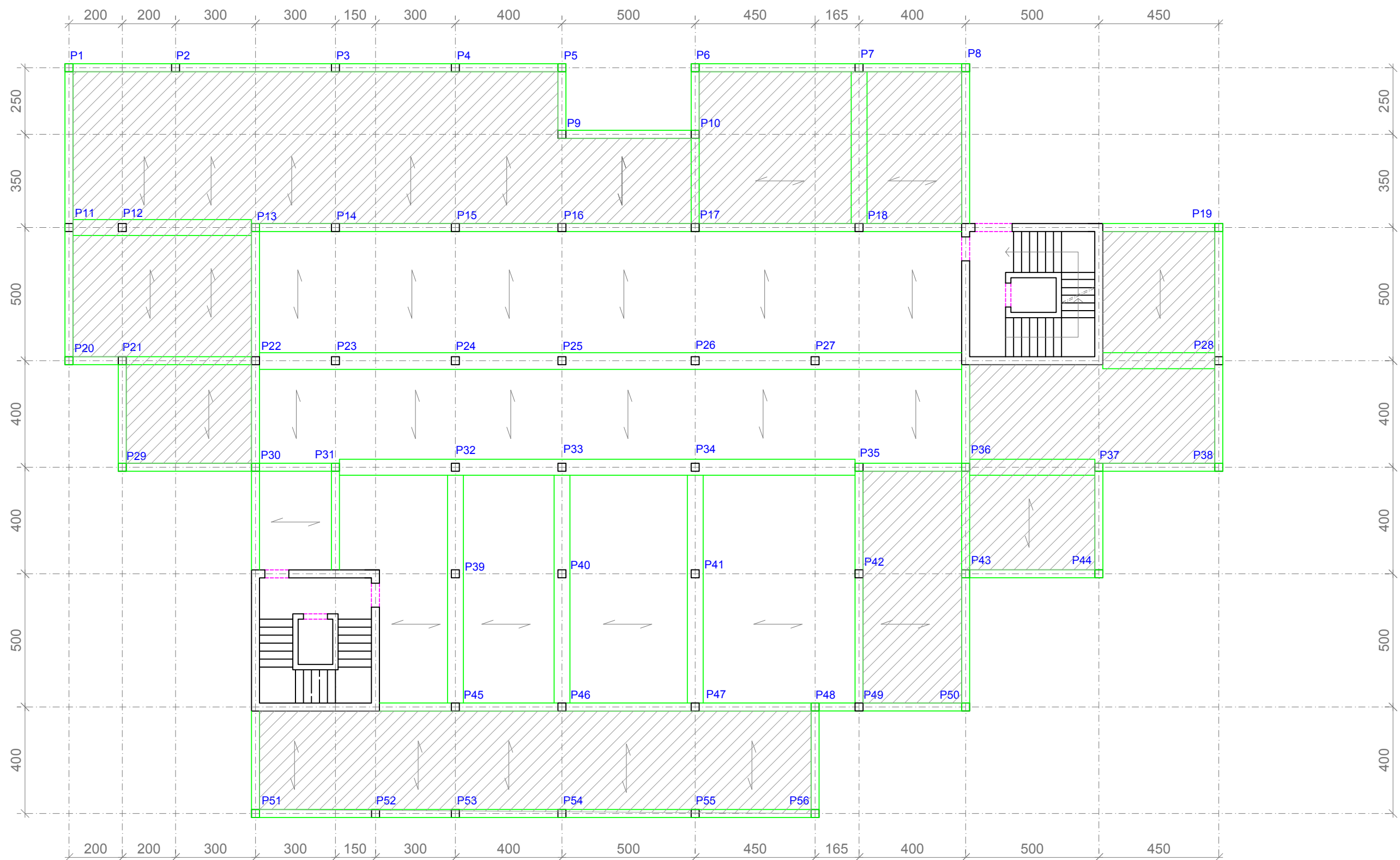
SICUREZZA STRUTTURALE

A.A. 2019-2020

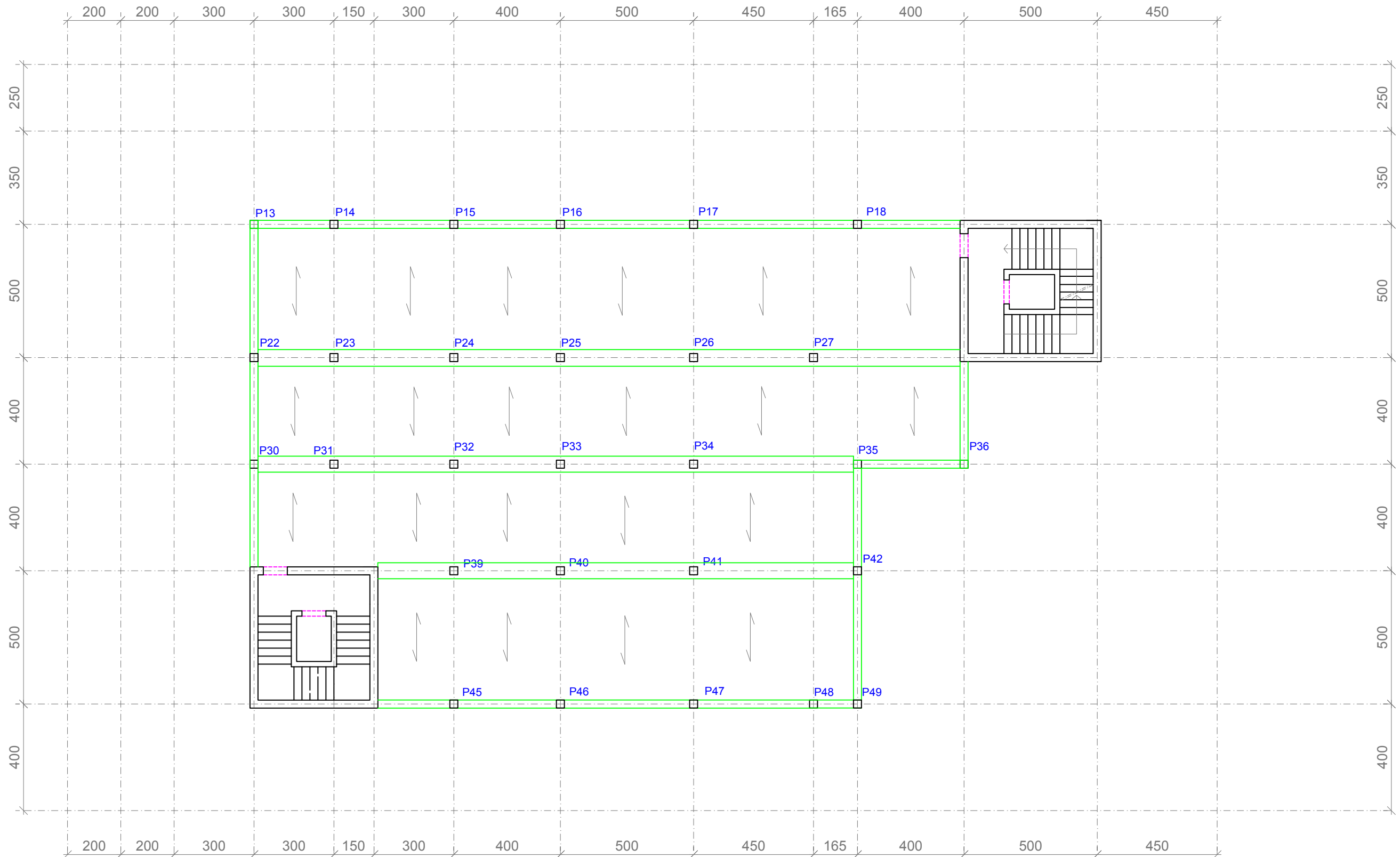
Piano Terra



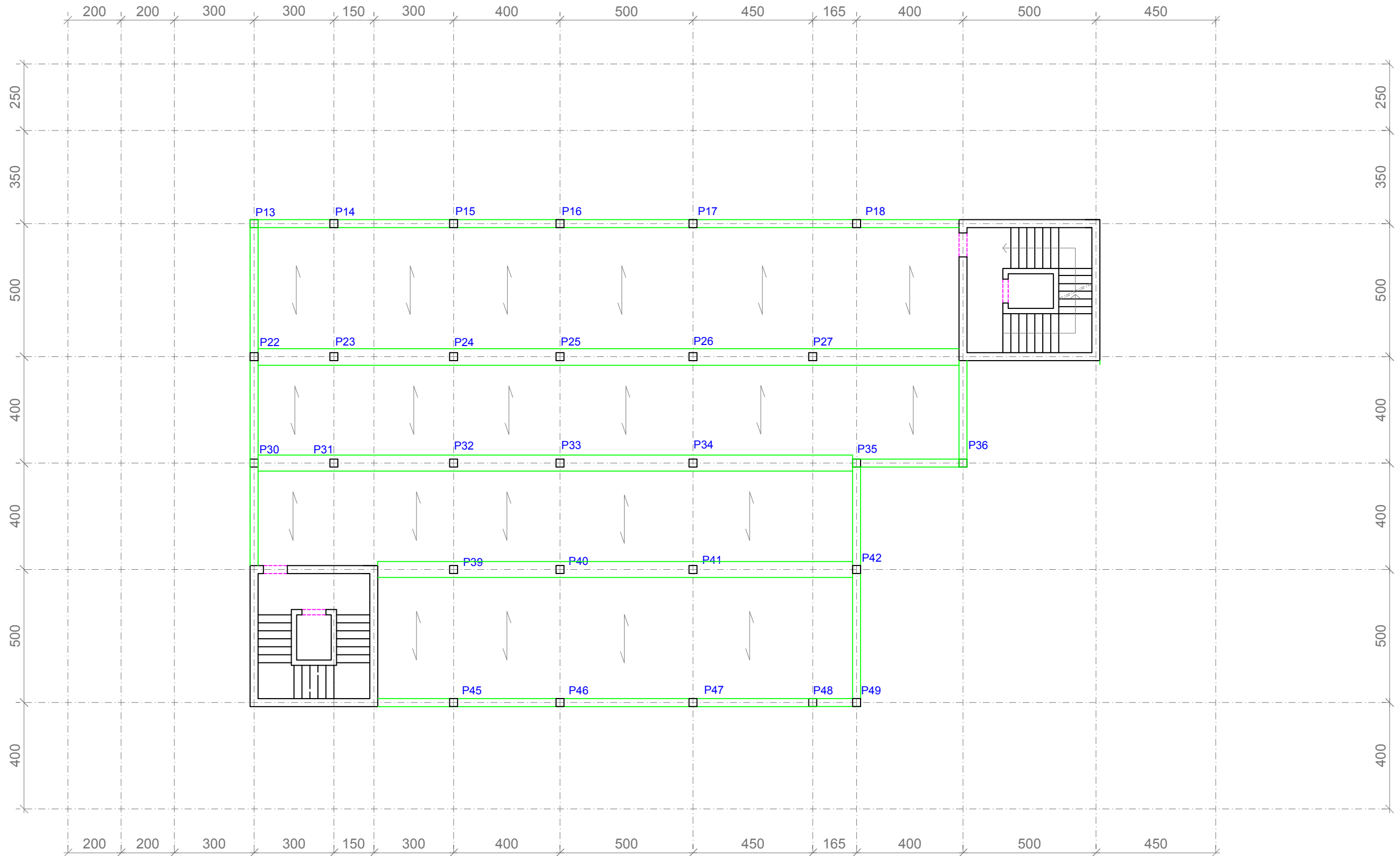
Piano Primo



Piano Secondo



Copertura



Sezione

Sezione
trasversale

Solaio piano terzo (copertura)

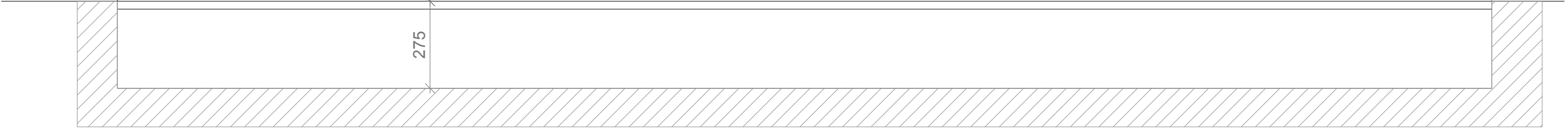
310

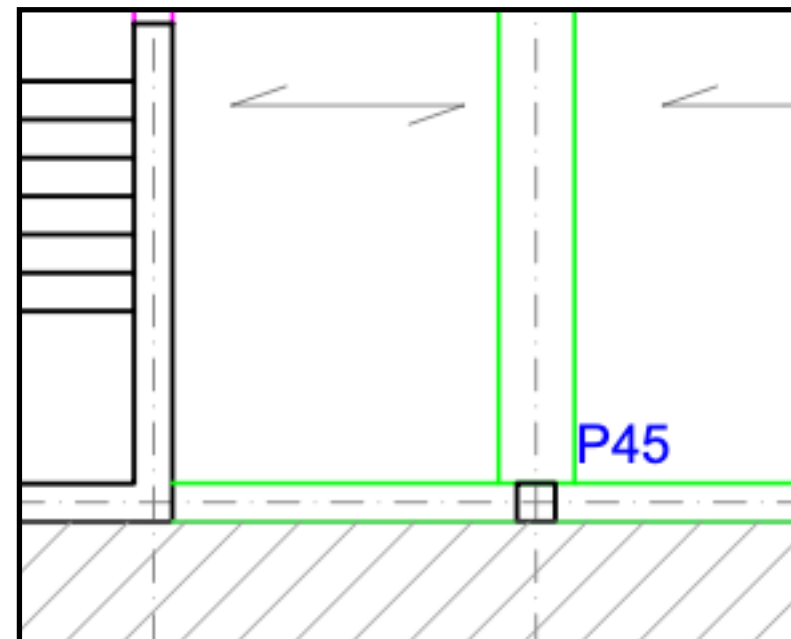
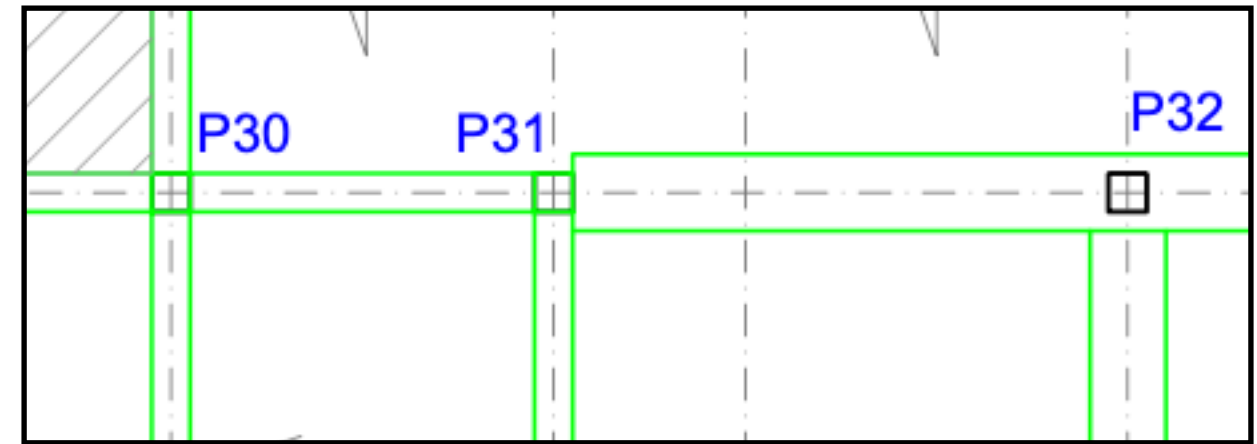
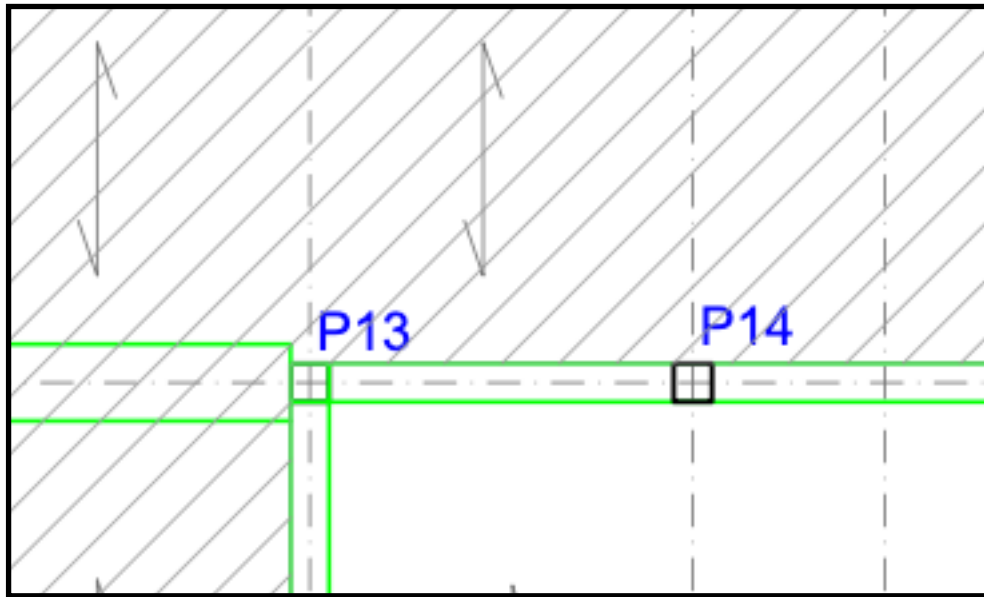
310

350

Solaio piano terra

275





caratteristiche geometriche:

- Pilastri $B=30\text{cm}$, $H=30\text{cm}$;
- Setti di spessore $s=30\text{cm}$;
- Travi in spessore di solaio $B=60\text{cm}$ $H=25\text{cm}$;
- Travi perimetrali $B=30\text{cm}$ $H=50\text{cm}$

Carichi

- il solaio fra piano interrato e piano terra ed il solaio di copertura sono realizzati con lastre tralicciate di tipo predalle di spessore 4+16+5 cm, il peso del solaio ultimato è 3.6 kN/mq;
- i solai fra i piani intermedi sono realizzati a travetti tralicciati in laterocemento con spessore 20+5 cm, il peso del solaio ultimato 3.20 kN/mq;
- i solai interni sono finiti all'estradosso con un sottofondo di cls alleggerito di 8 cm (peso specifico: 16 kN/m³), un massetto di allettamento da 6 cm (peso specifico: 24 kN/m³) e un pavimento in ceramica dal peso di 0.50 kN/m²; all'intradosso, con 1 cm di intonaco (peso specifico 20 kN/m³);
- il solaio di copertura è finito all'estradosso con uno strato isolante di spessore 20 cm (peso specifico: 0.30 kN/m³), un massetto in calcestruzzo alleggerito di spessore medio pari a 6 cm (peso specifico: 18 kN/m³), uno strato di impermeabilizzazione di peso trascurabile e uno strato di ghiaio di 10 cm (peso specifico: 15 kN/m³); all'intradosso, con 1 cm di intonaco; il solaio è accessibile solo per manutenzione;

Carichi

- i solai delle terrazze presenti al piano primo sono finiti all'estradosso con uno strato isolante di spessore 15 cm (peso specifico: 0.50 kN/m^3) , uno strato di impermeabilizzazione di peso trascurabile, un massetto in calcestruzzo di spessore medio pari a 6 cm (peso specifico: 24 kN/m^3) e un pavimento di peso pari 0.50 kN/m^2 ; all'intradosso, con 1 cm di intonaco; questi solai sono identificati nelle piante allegate con un retino a linee inclinate.
- le pareti divisorie interne sono realizzate tramezze in laterizio di spessore 8 cm (peso specifico apparente: 8.00 kN/m^3), finite con 1 cm di intonaco per lato;
- i tamponamenti perimetrali sono realizzati in muratura di laterizio di spessore 30cm (peso specifico apparente: 10 kN/m^3), con cappotto esterno di spessore 12 cm (peso specifico: 0.20 kN/m^3) e con 1 cm di intonaco interno;
- l'edificio si trova in provincia di Trento ad altitudine pari alle ultime tre cifre del vostro numero di matricola (sommare 200 se il numero risultante è inferiore a 200);
- l'edificio è adibito a negozi al piano terra, ad uffici aperti al pubblico al piano primo, a civile abitazione in corrispondenza dei piani successivi. L'interrato è adibito a garage.

Combinazioni di azioni

- COMBINAZIONE FONDAMENTALE: stati limite ultimi (SLU)

$$\gamma_{G1} \mathbf{G}_1 + \gamma_{G2} \mathbf{G}_2 + \gamma_P \mathbf{P} + \gamma_{Q1} \mathbf{Q}_{k1} + \gamma_{Q2} \psi_{02} \mathbf{Q}_{k2} + \gamma_{Q3} \psi_{03} \mathbf{Q}_{k3} + \dots$$

- COMBINAZIONE CARATTERISTICA (RARA): stati limite di esercizio (SLE) irreversibili

$$\mathbf{G}_1 + \mathbf{G}_2 + \mathbf{P} + \mathbf{Q}_{k1} + \psi_{02} \mathbf{Q}_{k2} + \psi_{03} \mathbf{Q}_{k3} + \dots$$

- COMBINAZIONE FREQUENTE: stati limite di esercizio (SLE) reversibili

$$\mathbf{G}_1 + \mathbf{G}_2 + \mathbf{P} + \psi_{11} \mathbf{Q}_{k1} + \psi_{22} \mathbf{Q}_{k2} + \psi_{23} \mathbf{Q}_{k3} + \dots$$

- COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE (SLE): effetti a lungo termine

$$\mathbf{G}_1 + \mathbf{G}_2 + \mathbf{P} + \psi_{21} \mathbf{Q}_{k1} + \psi_{22} \mathbf{Q}_{k2} + \psi_{23} \mathbf{Q}_{k3} + \dots$$

- COMBINAZIONE SISMICA: stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E

- COMBINAZIONE ECCEZIONALE: stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali

Coefficienti parziali

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

- γ_{G1} coefficiente parziale del peso proprio della struttura, nonchè del peso proprio del terreno e dell'acqua;
- γ_{G2} coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili.

Coefficienti di combinazione

Categorie di edificio	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Categoria A: ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B: uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C: ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D: ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E: biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F: rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso veicoli ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G: rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso veicoli > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H: coperture	0	0	0
Vento	0,6	0,2	0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni Termiche	0,6	0,5	0

Coefficienti di combinazione

Categorie di edificio	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Categoria A: ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B: uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C: ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D: ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E: biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F: rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso veicoli ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G: rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso veicoli > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H: coperture	0	0	0
Vento	0,6	0,2	0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni Termiche	0,6	0,5	0

Coefficienti di combinazione

Categorie di edificio	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Categoria A: ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B: uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C: ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D: ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E: biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F: rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso veicoli ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G: rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso veicoli > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H: coperture	0	0	0
Vento	0,6	0,2	0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni Termiche	0,6	0,5	0

Coefficienti di combinazione

Categorie di edificio	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Categoria A: ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B: uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C: ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D: ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E: biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F: rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso veicoli ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G: rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso veicoli > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H: coperture	0	0	0
Vento	0,6	0,2	0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni Termiche	0,6	0,5	0

Coefficienti di combinazione

Categorie di edificio	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Categoria A: ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B: uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C: ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D: ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E: biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F: rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso veicoli ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G: rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso veicoli > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H: coperture	0	0	0
Vento	0,6	0,2	0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni Termiche	0,6	0,5	0

Pesi propri dei materiali strutturali

Tab. 3.1.I - *Pesi dell'unità di volume dei principali materiali*

MATERIALI	PESO UNITÀ DI VOLUME [kN/m³]
Calcestruzzi cementizi e malte	
Calcestruzzo ordinario	24,0
Calcestruzzo armato (e/o precompresso)	25,0
Calcestruzzi "leggeri": da determinarsi caso per caso	14,0 ÷ 20,0
Calcestruzzi "pesanti": da determinarsi caso per caso	28,0 ÷ 50,0
Malta di calce	18,0
Malta di cemento	21,0
Calce in polvere	10,0
Cemento in polvere	14,0
Sabbia	17,0
Metalli e leghe	
Acciaio	78,5
Ghisa	72,5
Alluminio	27,0
Materiale lapideo	
Tufo vulcanico	17,0
Calcere compatto	26,0
Calcere tenero	22,0
Gesso	13,0
Granito	27,0
Laterizio (pieno)	18,0
Legnami	
Conifere e pioppo	4,0 ÷ 6,0
Latifoglie (escluso pioppo)	6,0 ÷ 8,0
Sostanze varie	
Acqua dolce (chiara)	9,81
Acqua di mare (chiara)	10,1
Carta	10,0
Vetro	25,0

Carichi permanenti non strutturali

TRAMEZZI E IMPIANTI LEGGERI DI EDIFICI RESIDENZIALI ED UFFICI

Possono essere considerati uniformemente distribuiti in presenza di orizzontamenti (anche con orditura unidirezionale) con capacità di ripartizione trasversale

Elementi divisorii con peso per unità di lunghezza	Carico equivalente uniformemente ripartito
$G_2 \leq 1,00 \text{ kN/m}$	$g_2 = 0,40 \text{ kN/m}^2$
$1,00 < G_2 \leq 2,00 \text{ kN/m}$	$g_2 = 0,80 \text{ kN/m}^2$
$2,00 < G_2 \leq 3,00 \text{ kN/m}$	$g_2 = 1,20 \text{ kN/m}^2$
$3,00 < G_2 \leq 4,00 \text{ kN/m}$	$g_2 = 1,60 \text{ kN/m}^2$
$4,00 < G_2 \leq 5,00 \text{ kN/m}$	$g_2 = 2,00 \text{ kN/m}^2$

Elementi divisorii con peso maggiore devono essere considerati in fase di progettazione, tenendo conto del loro effettivo posizionamento sul solaio

Sovraccarichi variabili

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

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale			
	Aree per attività domestiche e residenziali; sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi (ad esclusione delle aree soggette ad affollamento), camere di degenza di ospedali	2,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi, ballatoi	4,00	4,00	2,00
B	Uffici			
	Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico	2,00	2,00	1,00
	Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	3,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	4,00	4,00	2,00
C	Ambienti suscettibili di affollamento			
	Cat. C1 Aree con tavoli, quali scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento	3,00	3,00	1,00
	Cat. C2 Aree con posti a sedere fissi, quali chiese, teatri, cinema, sale per conferenze e attesa, aule universitarie e aule magne	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli al movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, aree d'accesso a uffici, ad alberghi e ospedali, ad atri di stazioni ferroviarie	5,00	5,00	3,00
	Cat. C4. Aree con possibile svolgimento di attività fisiche, quali sale da ballo, palestre, palcoscenici.	5,00	5,00	3,00
	Cat. C5. Aree suscettibili di grandi affollamenti, quali edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune, gradinate e piattaforme ferroviarie.	5,00	5,00	3,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita, con le seguenti limitazioni		
		≥ 4,00	≥ 4,00	≥ 2,00

Sovraccarichi variabili

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
D	Ambienti ad uso commerciale			
	Cat. D1 Negozi	4,00	4,00	2,00
	Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini	5,00	5,00	2,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita		
E	Aree per immagazzinamento e uso commerciale ed uso industriale			
	Cat. E1 Aree per accumulo di merci e relative aree d'accesso, quali biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	≥ 6,00	7,00	1,00*
	Cat. E2 Ambienti ad uso industriale	da valutarsi caso per caso		
F-G	Rimesse e aree per traffico di veicoli (esclusi i ponti)			
	Cat. F Rimesse, aree per traffico, parcheggio e sosta di veicoli leggeri (peso a pieno carico fino a 30 kN)	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. G Aree per traffico e parcheggio di veicoli medi (peso a pieno carico compreso fra 30 kN e 160 kN), quali rampe d'accesso, zone di carico e scarico merci.	5,00	2 x 50,00	1,00**
H-I-K	Coperture			
	Cat. H Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	0,50	1,20	1,00
	Cat. I Coperture praticabili di ambienti di categoria d'uso compresa fra A e D	secondo categorie di appartenenza		
	Cat. K Coperture per usi speciali, quali impianti, eliporti.	da valutarsi caso per caso		

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

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

Sovraccarichi verticali uniformemente distribuiti

In presenza di orizzontamenti anche con orditura unidirezionale ma con capacità di ripartizione trasversale, i sovraccarichi potranno assumersi, per la verifica d'insieme, come uniformemente ripartiti. In caso contrario, occorre valutarne le effettive distribuzioni.

Per le categorie d'uso A, B, C, D, H e I, i sovraccarichi verticali distribuiti che agiscono su un singolo elemento strutturale facente parte di un orizzontamento (ad esempio una trave), possono essere ridotti in base all'estensione dell'area di influenza A [m²] di competenza dell'elemento stesso. Il coefficiente riduttivo α è dato da

$$\alpha_A = \frac{5}{7}\Psi_0 + \frac{10}{A} \leq 1$$

essendo Ψ_0 il coefficiente di combinazione (Tab. 2.5.I). Per le categorie C e D, A non può essere minore di 0,6.

Analogamente, per le sole categorie d'uso da A a D, le componenti di sollecitazione indotte dai sovraccarichi agenti su membrature verticali, tra i quali pilastri o setti, facenti parte di edifici multipiano con più di 2 piani, possono essere ridotti in funzione del numero di piani caricati n , essendo il coefficiente riduttivo α_n dato da

$$\alpha_n = \frac{2 + (n - 2)\Psi_0}{n}$$

I due coefficienti riduttivi α_A e α_n non possono essere combinati.

Azione della neve

$$q_s = \mu_i * q_{sk} * C_E * C_T$$

con:

q_s carico neve sulla copertura (direzione verticale e proiezione orizzontale)

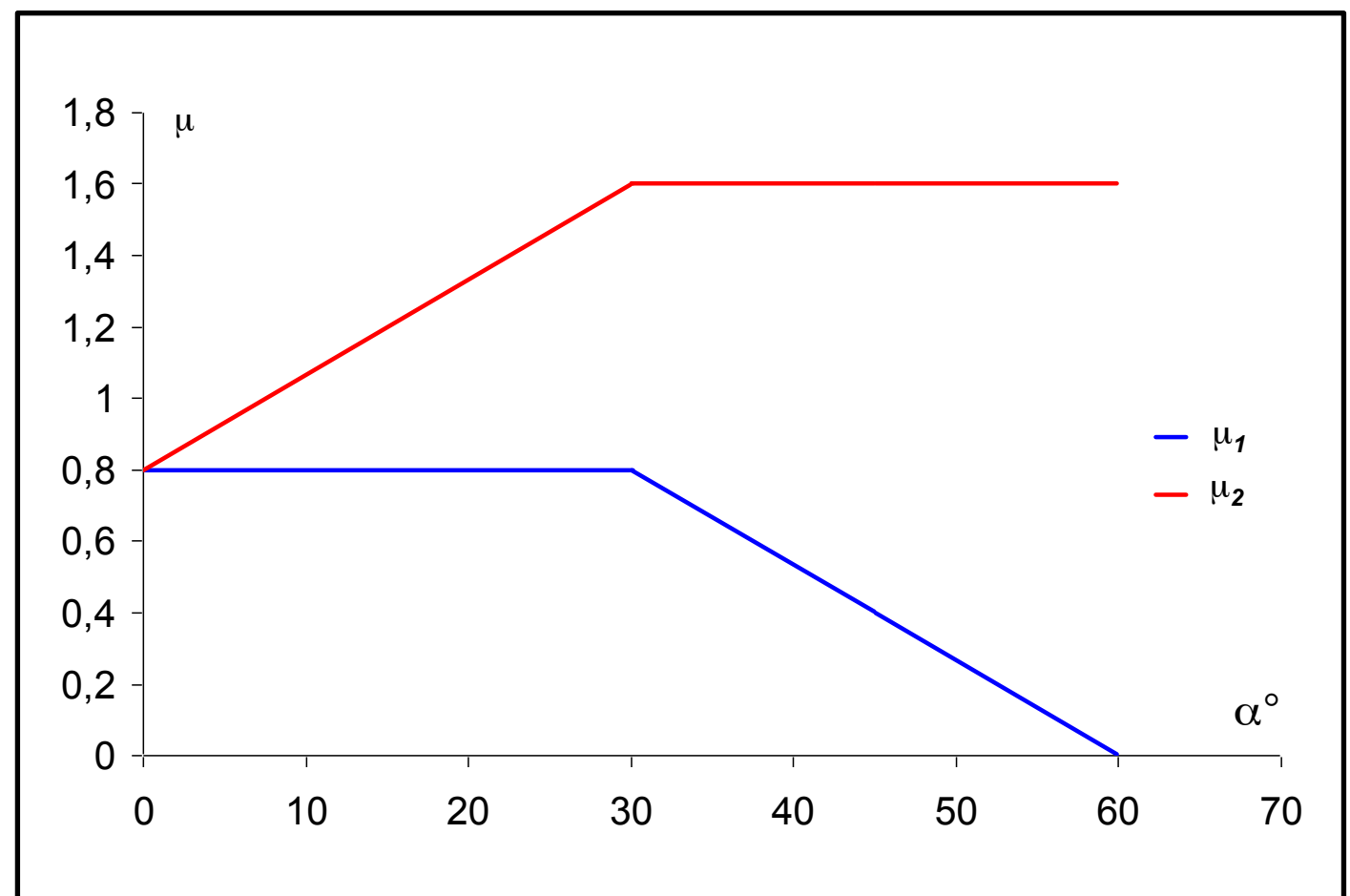
μ_i coefficiente di forma della copertura;

q_{sk} valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo (periodo di ritorno di 50 anni);

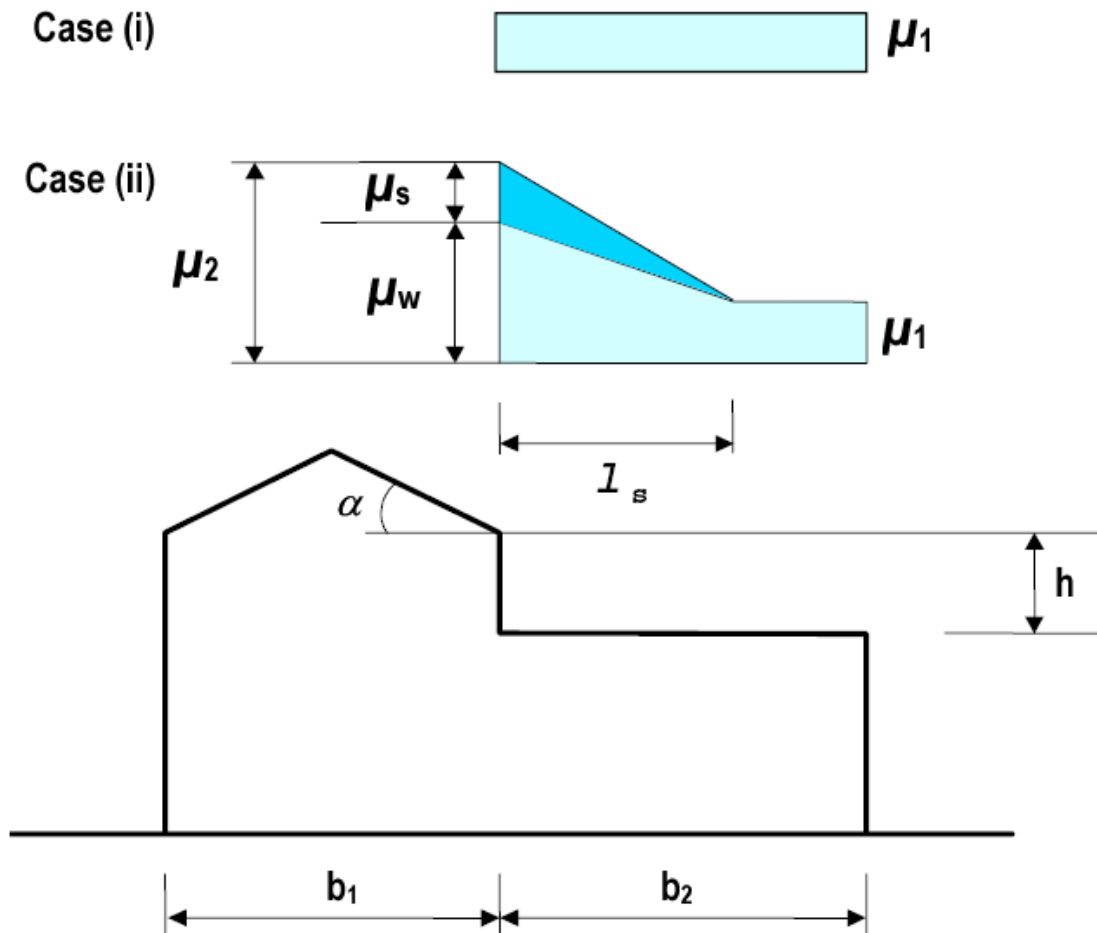
C_E coefficiente di esposizione;

C_T coefficiente termico.

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8		0,0
μ_2 (Circ NTC 08)	$0,8 + 0,8 * \alpha / 30$	1,6	--



Accumulo di neve



Accumulo di neve causato da:

- deposito di neve nella zona d'ombra aerodinamica;
- scivolamento della neve dalle coperture poste a quote superiori.

$$\mu_1 = 0,8 \quad (\text{se la copertura è piana})$$

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$$

μ_s è il coefficiente di forma dovuto allo scivolamento;

μ_w è il coefficiente di forma dovuto alla redistribuzione prodotta dal vento.

Coefficiente di forma dovuto allo scivolamento (μ_s):

per $\alpha \leq 15^\circ$ $\mu_s = 0$

per $\alpha > 15^\circ$ μ_s corrisponde ad un carico addizionale pari al 50% del massimo carico neve, sulla copertura adiacente posta a quota superiore.

Accumulo di neve

Coefficiente di forma dovuto al vento (μ_w):

$$\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2h} \leq \frac{\gamma h}{q_{sk}}$$

con la limitazione $0,8 \leq \mu_w \leq 4$

γ densità della neve, assunta convenzionalmente pari a 2 kN/m³.

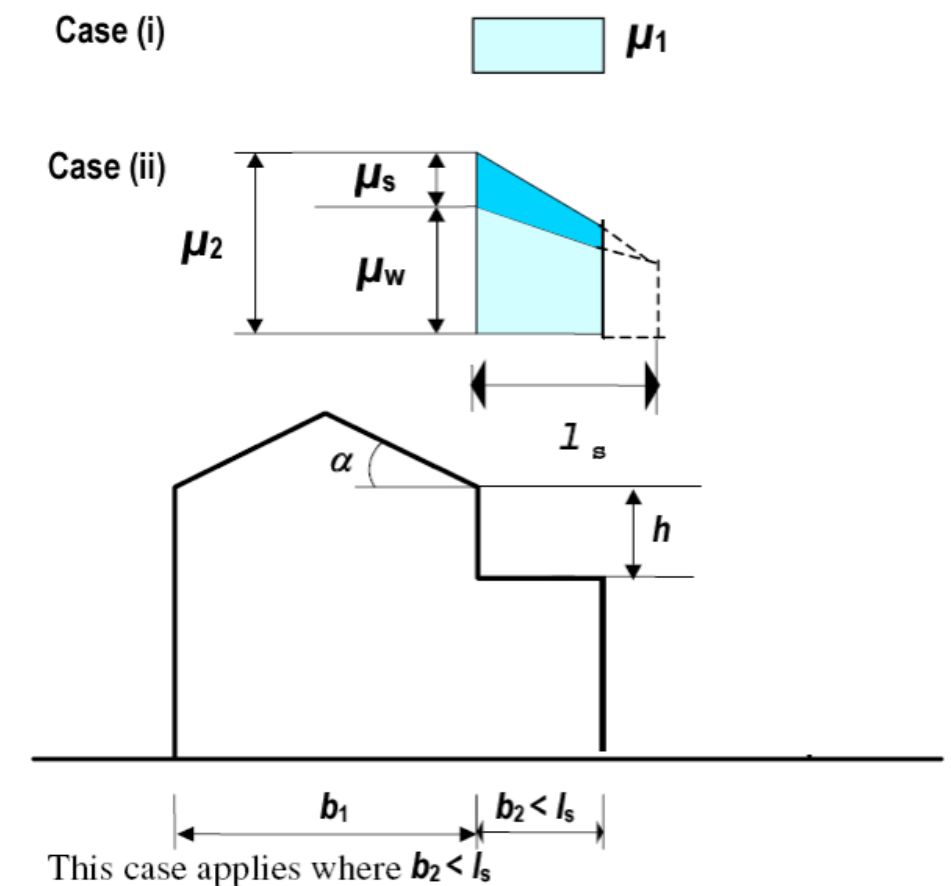
Lunghezza di accumulo (l_s):

$l_s = 2h$ con la limitazione $5 \leq l_s \leq 15$ m

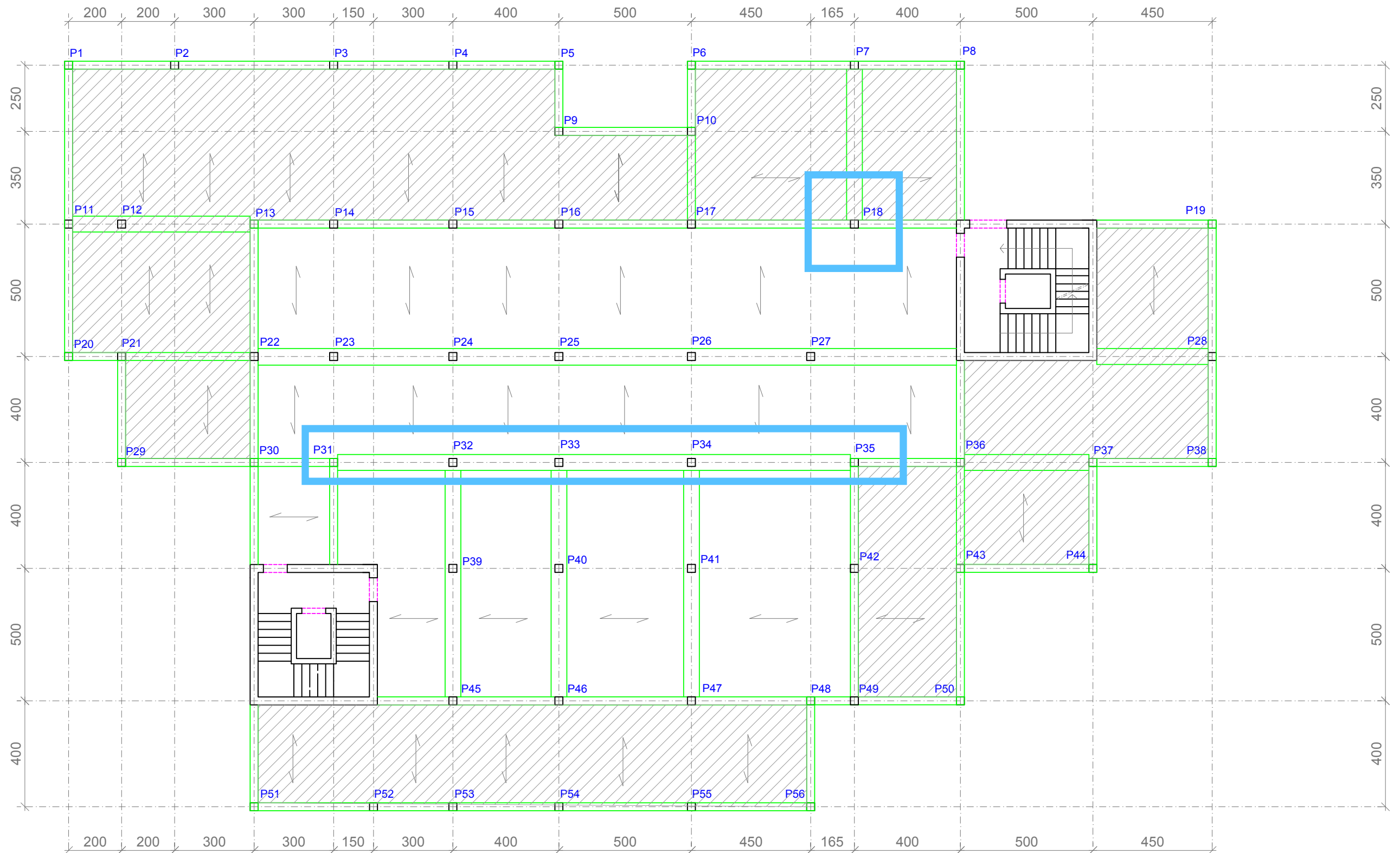
Se $b_2 \leq l_s$ il coefficiente all'estremità della copertura inferiore è determinato per interpolazione fra μ_1 e μ_2 .

Si assume:

- Caso I Carico da neve senza vento
- Caso II Carico da neve con vento



Piano Primo



Schemi statici negli edifici - carichi verticali

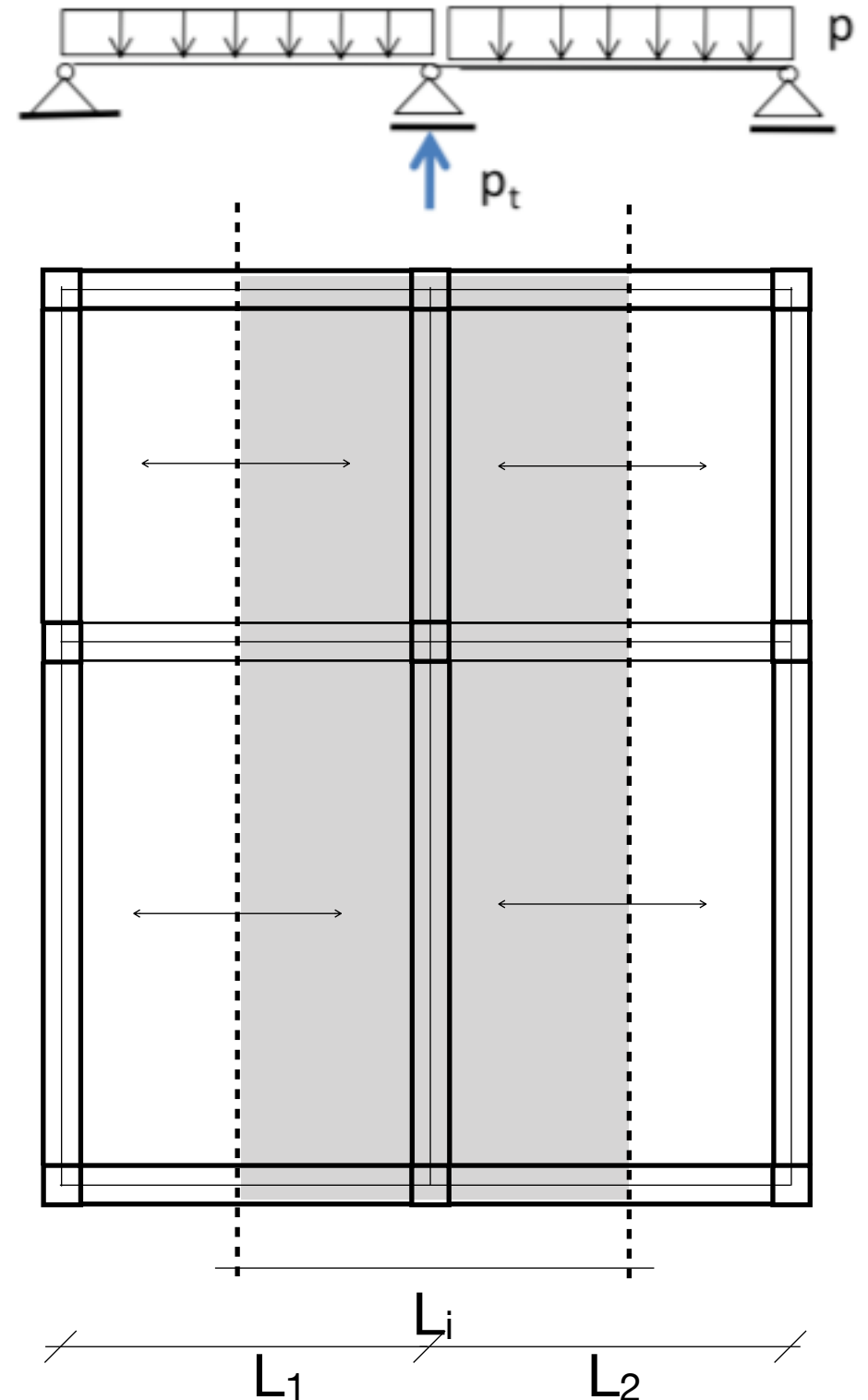
Trasmissione dei carichi → maglia strutturale

Carichi verticali (gravitazionali) → permanenti e variabili

Solai → Travi → Pilastri (Setti) → Fondazioni

Trave → Approccio monodirezionale

Modello isostatico (travi in semplice appoggio)



$$p_t = p \frac{L_1 + L_2}{2}$$

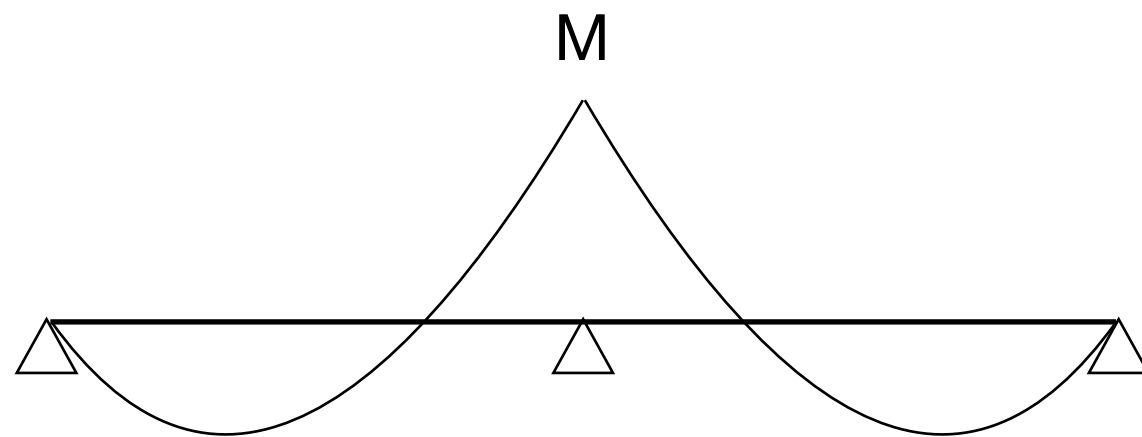
Se $L_1 = L_2 = L$, $p_t = pL$

Schemi statici negli edifici - carichi verticali

Modello a trave continua

- comportamento bidimensionale del solaio
- interazione flessione solaio-trave

Modello iperstatico (trave continua)



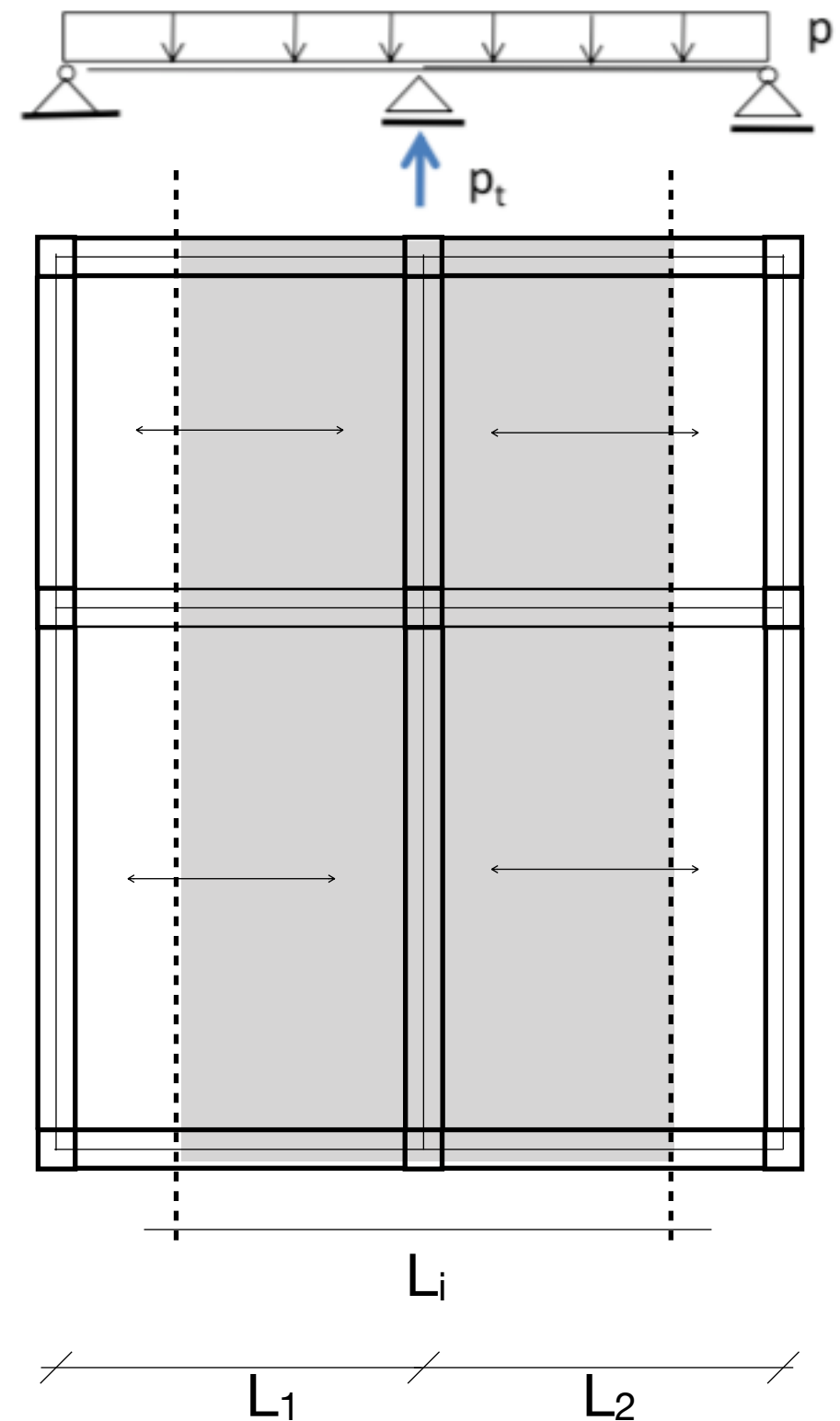
Se $L_1 \neq L_2$

$$M_{Ed,max} = -\frac{p}{24} \frac{3L_1^3 + 3L_2^3}{L_1 + L_2}$$

Se $L_1 = L_2 = L$

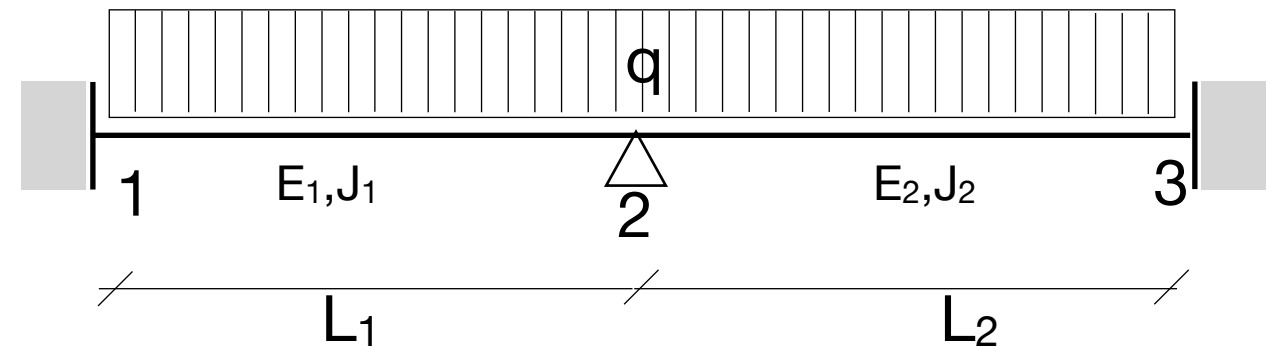
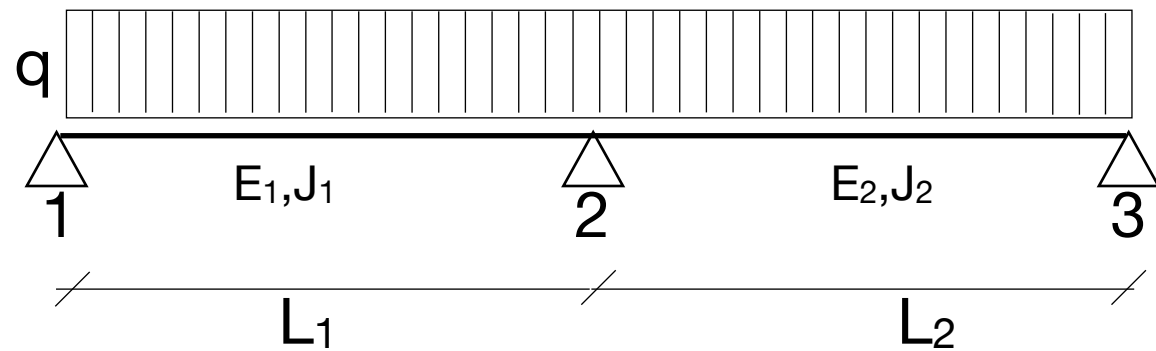
$$M_{Ed,max} = -\frac{pL^2}{8}$$

$$p_t = 1,25pL$$

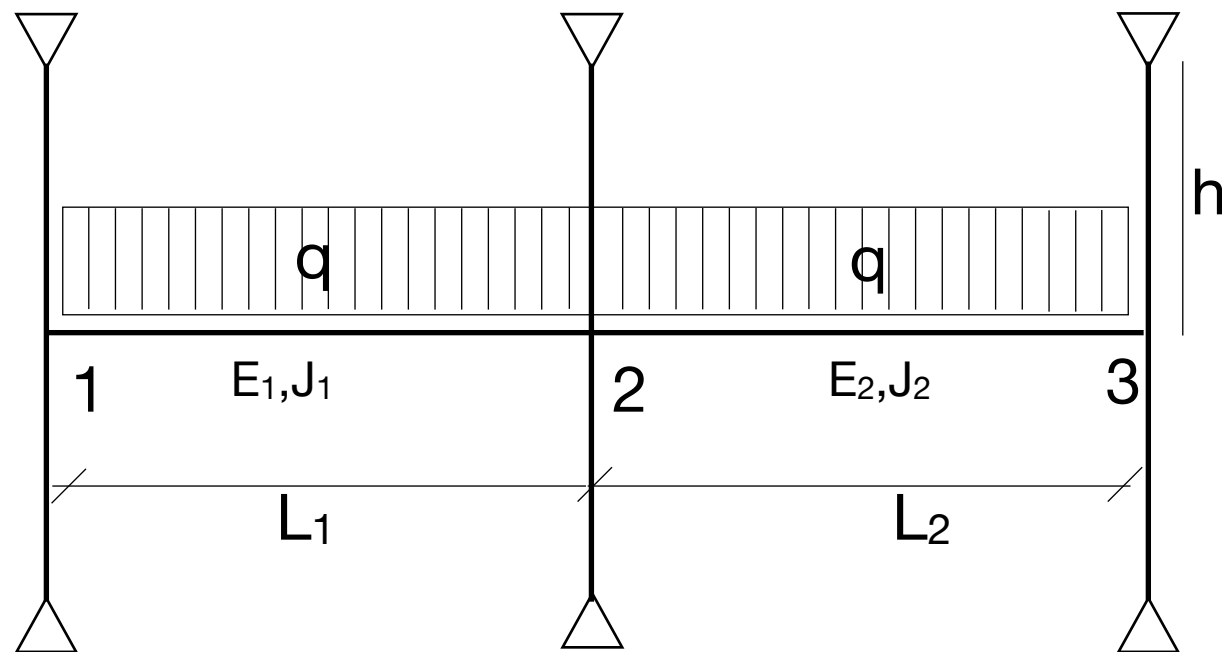


Schemi statici negli edifici - carichi verticali

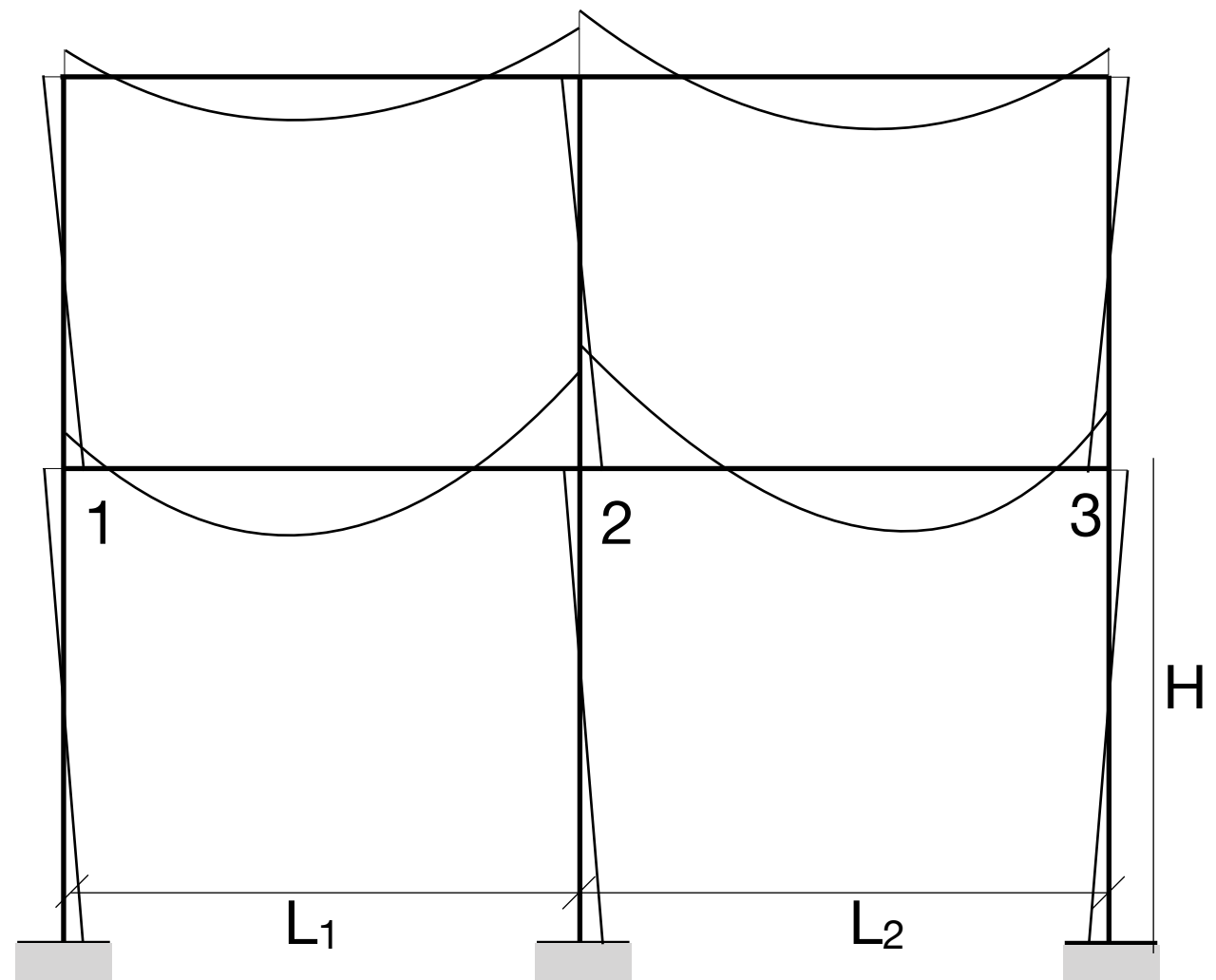
TRAVE-PILASTRO: MODELLO A TRAVE CONTINUA



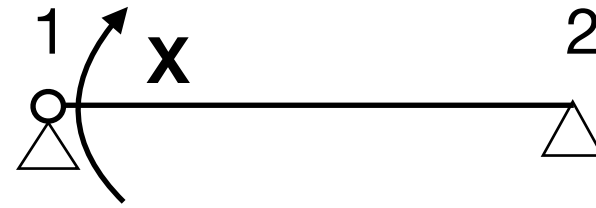
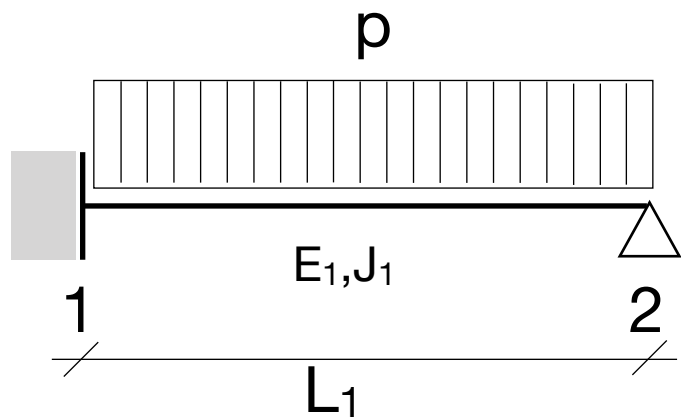
TRAVE-PILASTRO: MODELLO A TELAIO



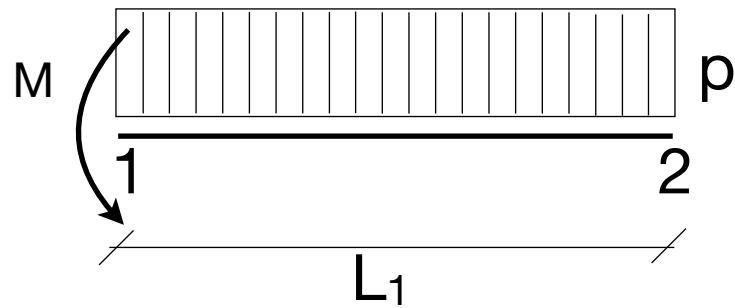
Piani intermedi: $h=H/2$
Piani terra e ultimo: $h=2/3H$
(zone più deformabili)



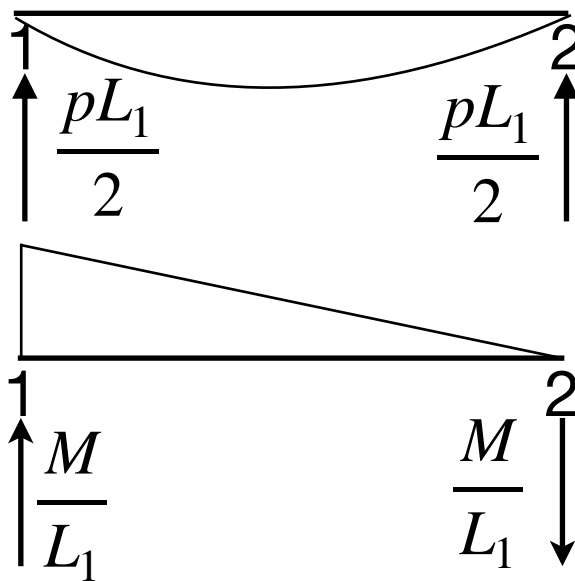
Campate di estremità



$$\left[\frac{L_1}{3E_1J_1} \right] \cdot X = - \left[\frac{pL_1^3}{24E_1J_1} \right] \Rightarrow X = - \frac{pL^2}{8}$$



$$\begin{cases} R_1 = \frac{pL_1}{2} + \frac{M}{L_1} \\ R_2 = \frac{pL_1}{2} - \frac{M}{L_1} \end{cases}$$



$$\begin{cases} R_1 = \frac{5pL_1}{8} \\ R_2 = \frac{3pL_1}{8} \end{cases}$$