

VOL. II - CAP. 3

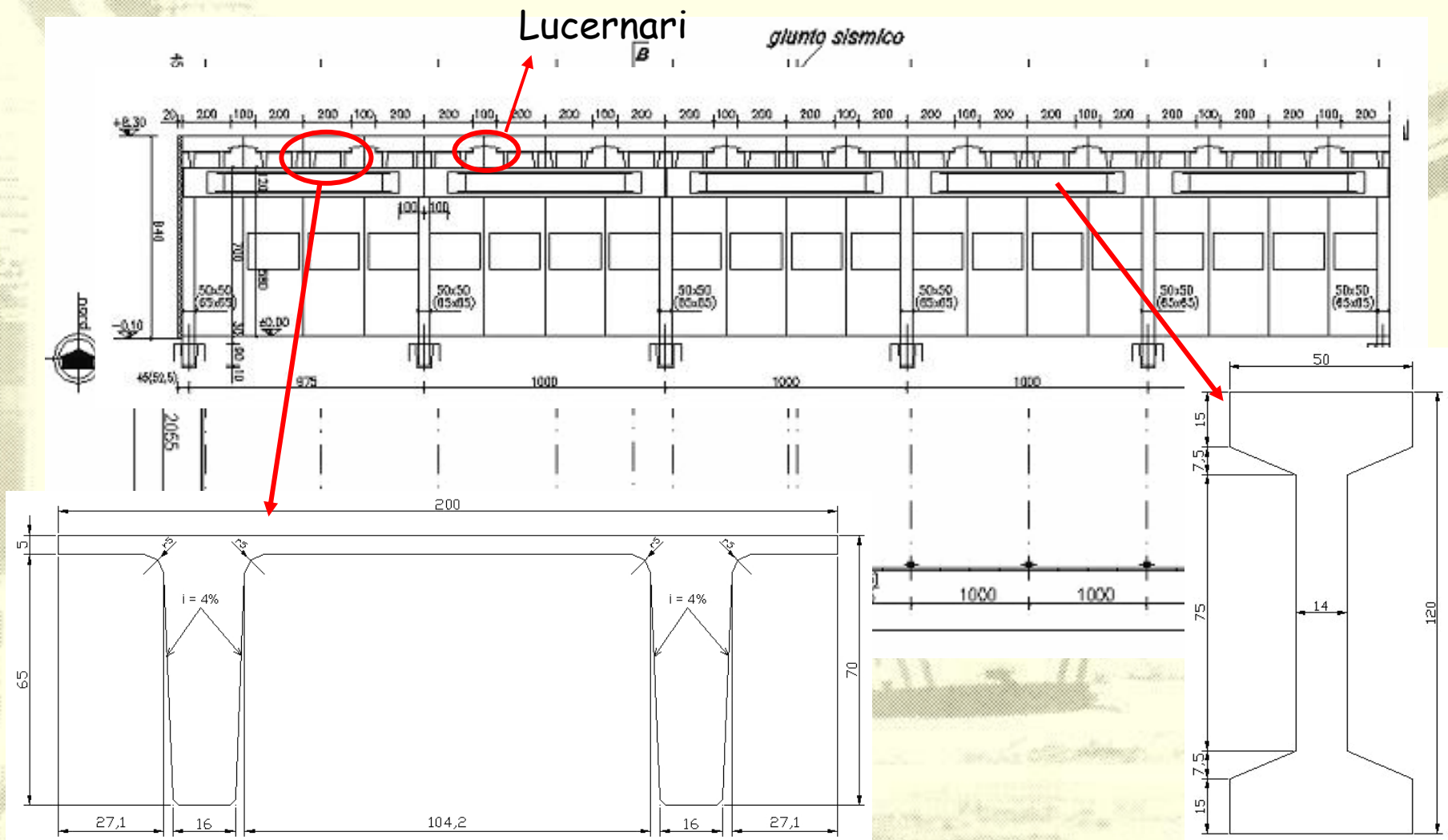
PROGETTAZIONE STRUTTURALE
DI UN EDIFICIO INDUSTRIALE
PREFABBRICATO IN ZONA SISMICA

Dr.ssa Antonella Colombo

ASSOBETON

Associazione Produttori Manufatti Cementizi

Diffusa tipologia: edificio monopiano



Assunzioni

Materiali:

ACCIAIO: Barre nervate B450C
(come FeB44k)

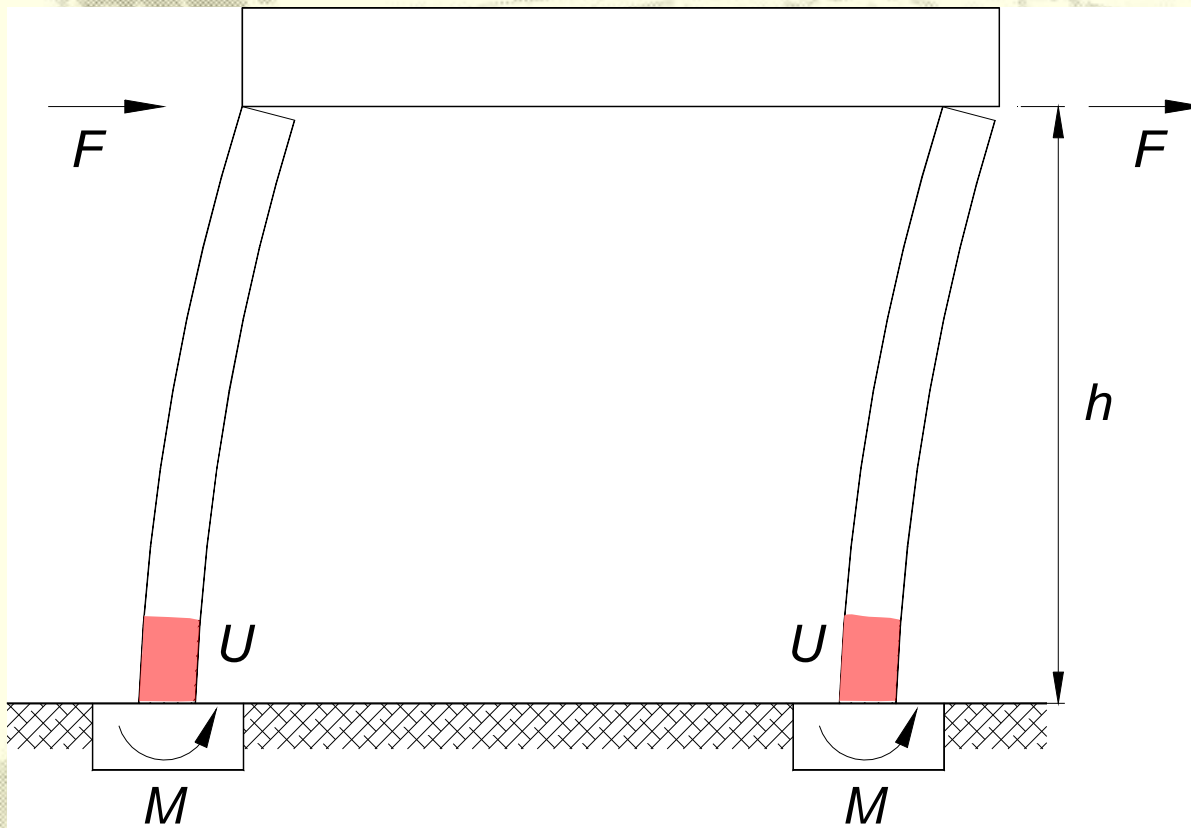
snervamento $f_{yk} = 450 \text{ MPa}$

sovraresistenza $(f_t/f_y)_k \geq 1,15$
 $\leq 1,35$

deformazione $\epsilon_{uk} \geq 7,5\%$

CALCESTRUZZO: C45/55

Duttilità: DCH



$\epsilon_{uk} \geq 7,5\%$
(acciaio duttile)

staffe fitte

Fattore di struttura:

5.11.1.4 di EC8 → $q_p = k_p q$

- $k_p = 1,0$ connessioni da 5.11.2.1 EC8
(sovradimensionate con $\gamma_{Rd} = 1,2$)
- $q = q_0 k_w$ da 5.1 EC8
 $k_w = 1,0$ per modo flessionale
- $q_0 = 4,5$ da prospetto 5.1 per telai
 $\alpha_u/\alpha_1 = 1,0$ (nessun contributo)

$$q_p = 4,5$$

Esempio con

Zona 2

$$\alpha_g = 0,25$$

Terreno tipo

B

PILASTRI - FONDAZIONI - CONNESSIONI

Diverse condizioni e metodi

0 - CALCOLO NON SISMICO

Ordinario con neve e vento da EC1

1 - CALCOLO SISMICO "AFFINATO"

Analisi dinamica su modello 3D

2 - CALCOLO SISMICO TELAI

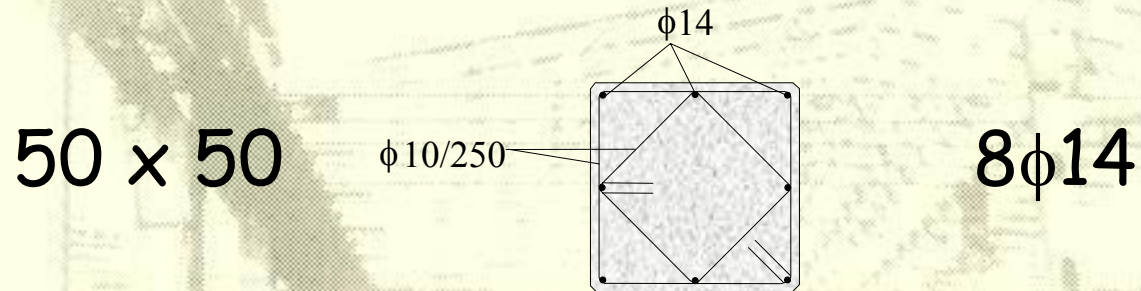
Analisi statica senza diaframma

3 - CALCOLO SISMICO STRUTTURA

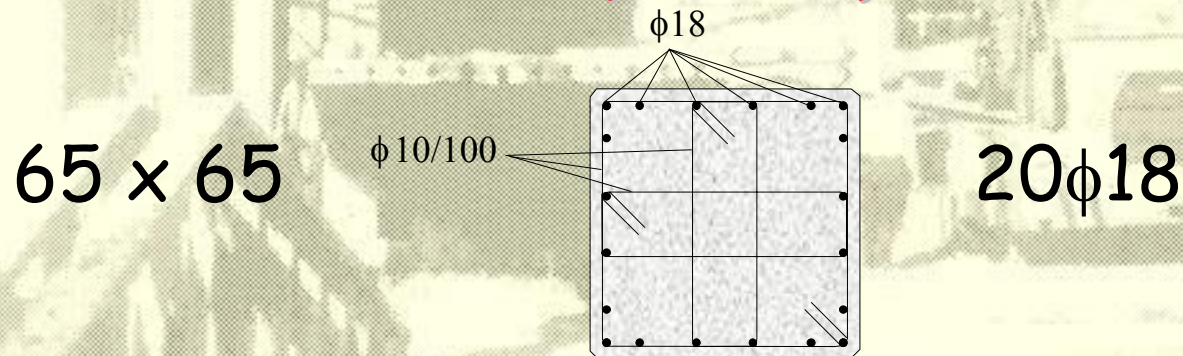
Analisi statica con diaframma

Risultato

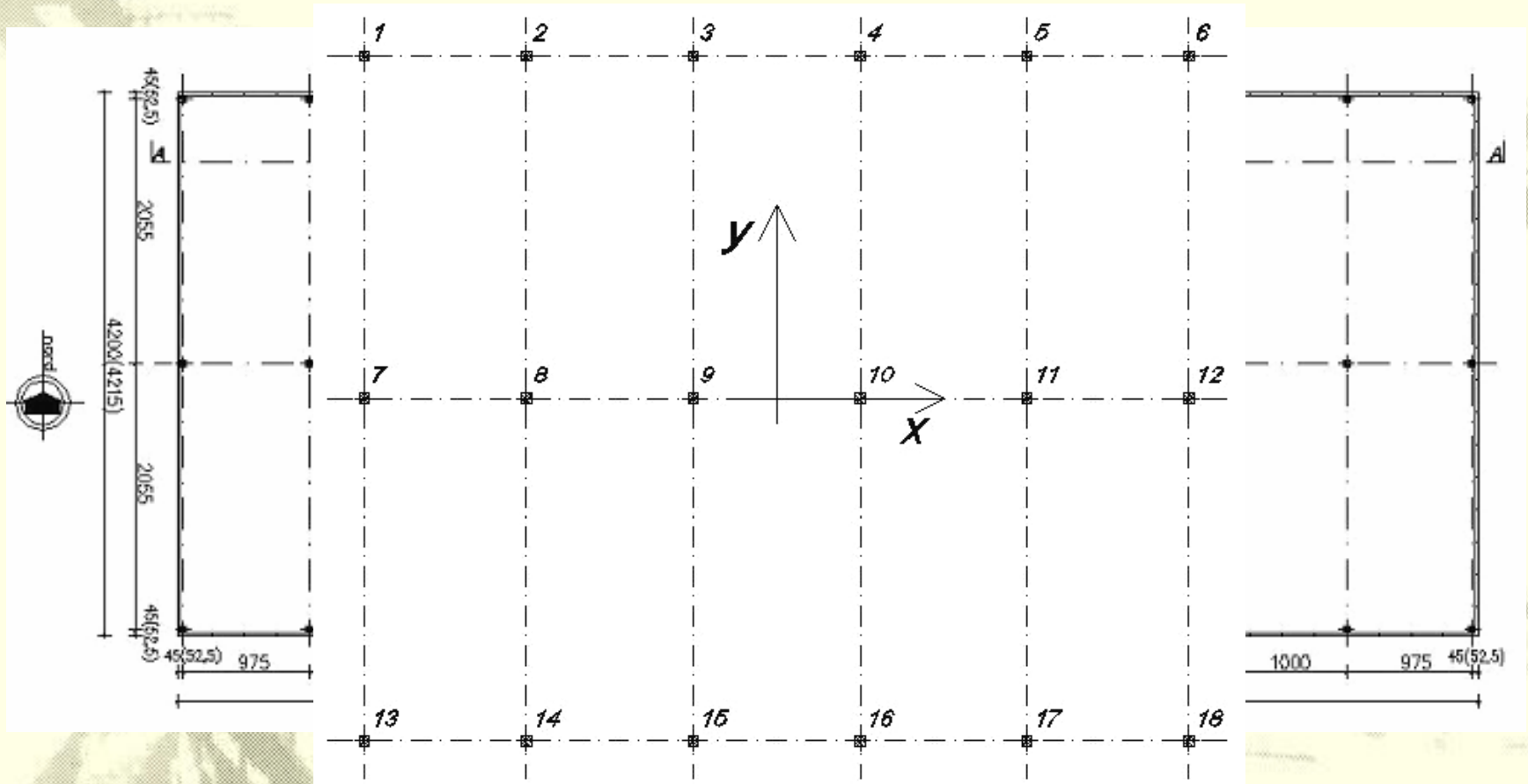
0 - Non sismico (zona 1 - sito III)



1/2/3 - Sismico (zona 2)



0 - Calcolo non sismico tradizionale (EC2+EC1)



Verifiche SLU e SLE

CARICO NEVE - EC1 parte 1.3

Zona 1 Mediterranea $s_k = 1,50 \text{ kN/m}^2$

Carico neve:

$$s = \mu_i C_e C_t s_k = 1,20 \text{ kN/m}^2$$

C_e = Coefficiente di esposizione = 1,0

C_t = Coefficiente termico = 1,0

μ_i = Coefficiente di forma = 0,8

AZIONE VENTO - EC1 parte 1.4

Zona 1 - Sito categoria III

Pressione base ($v_b = 25 \text{ m/sec}$)

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2 = 390 \text{ N/m}^2$$

Pressione di picco

$$q_p = C_e(z) q_b = 547 \div 859$$

Pressione sulle pareti

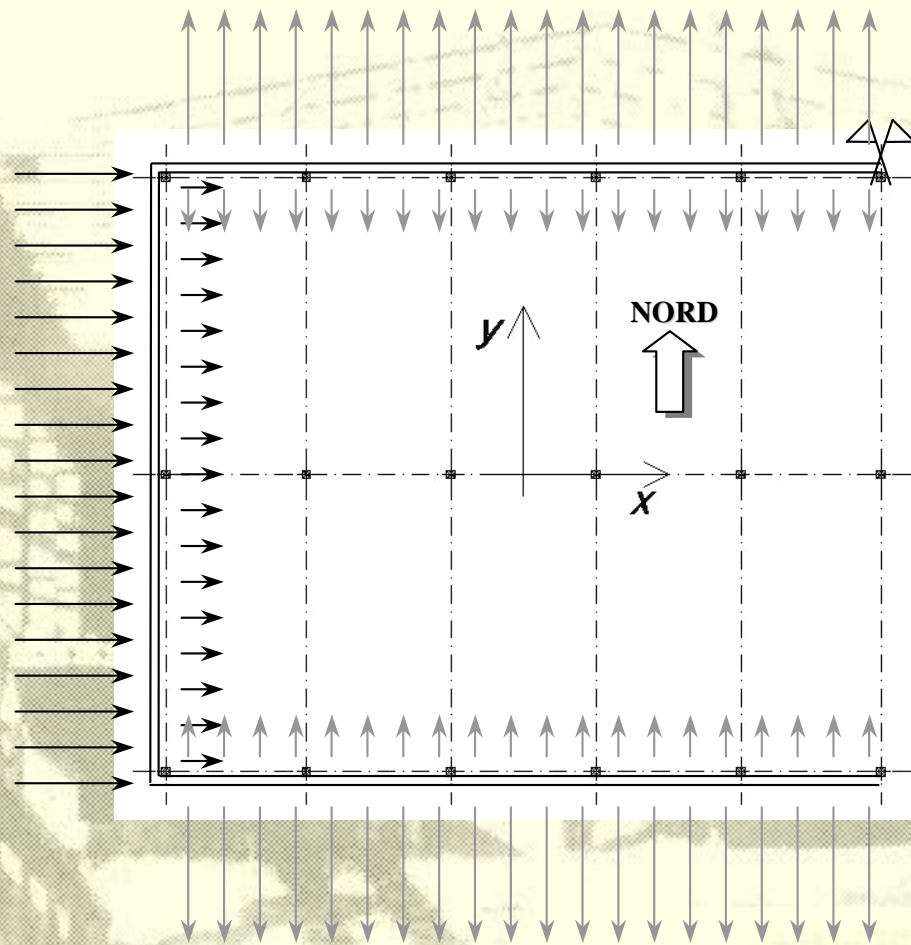
$$w = C_p q_p$$

$$C_{pe}^I = -0,7;$$

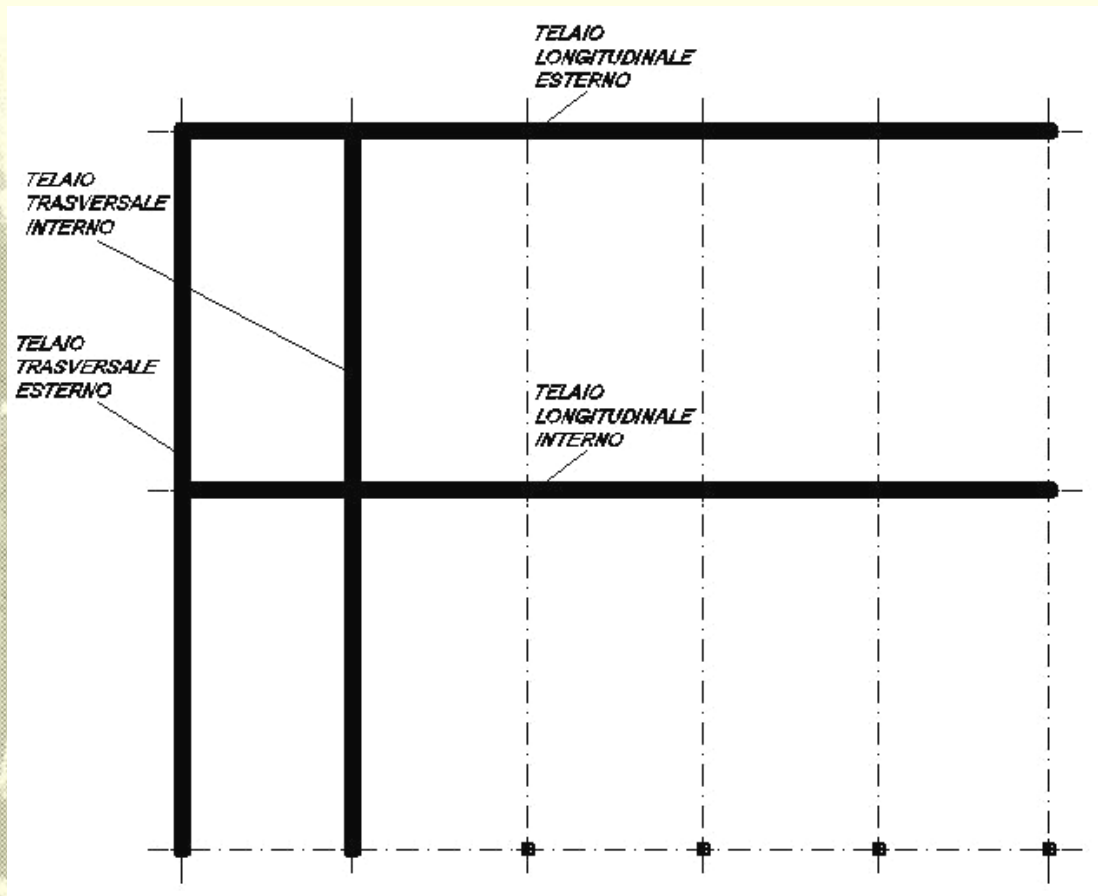
$$C_{pe}^{II} = -0,3;$$

$$C_{pe}^{III} = -0,6;$$

$$C_{pi} = \pm 0,10 \div 0,25$$

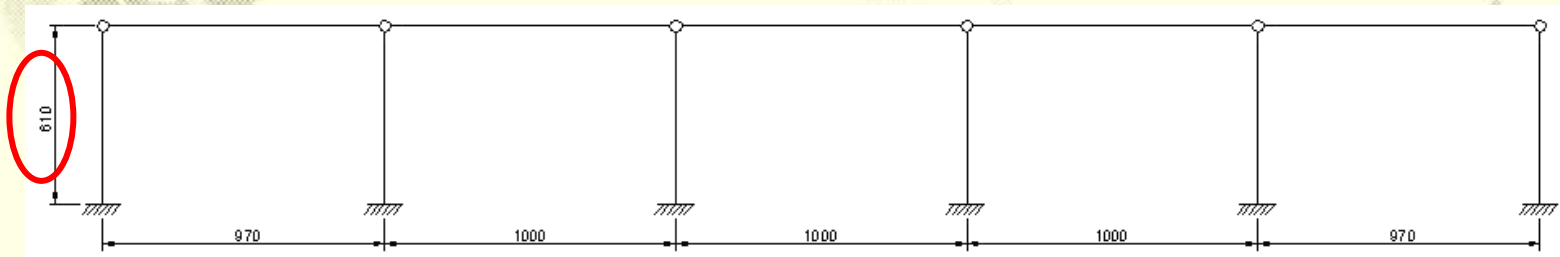


Verifiche di 4 pilastrate

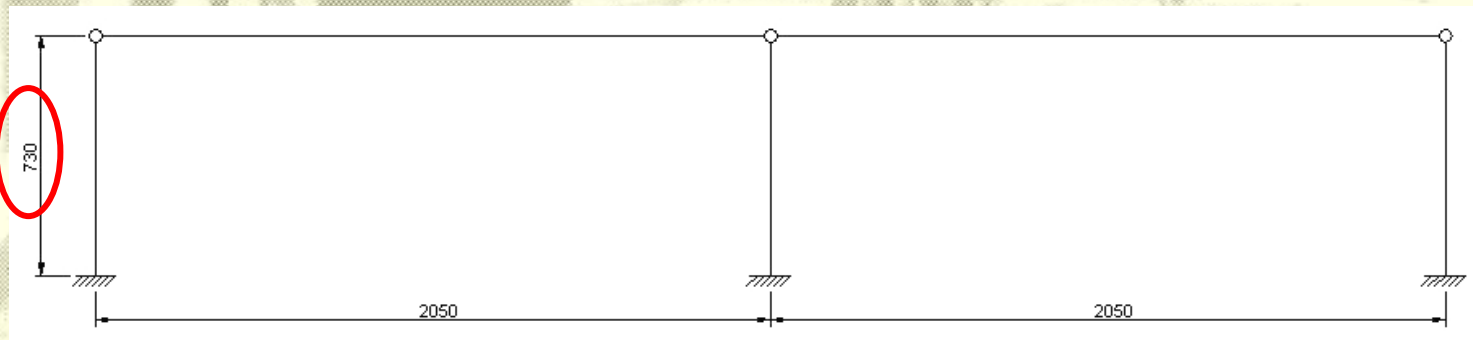


Schemi statici

Telai longitudinalali



Telai trasversali



Combinazione azioni

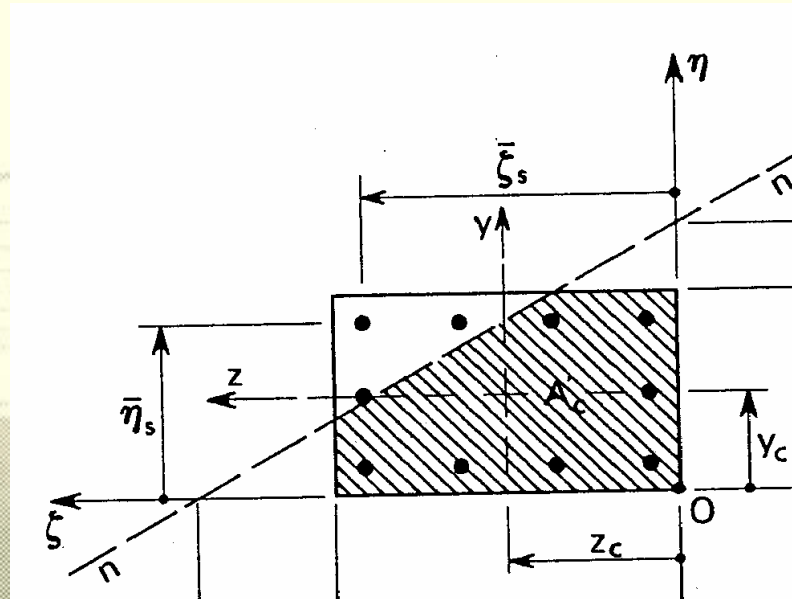
- Carichi max con neve
- Carichi min senza neve
- Vento lungo X
- Vento lungo Y

Pilastro centrale

Pilastro di bordo

In generale ...

PRESSOFLESSIONE DEVIATA



Verifica analitica

$$\left(\frac{M_{Eds}}{M_{Rdy}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{Ed2}}{M_{Rdz}} \right)^\alpha \leq 1$$

1 - Calcolo sismico affinato

REGOLARITA' (scelta modello / tipo analisi)

- Elevazione: SI (1 solo piano!!!)
- Pianta:
 - Configurazione compatta
 - Distribuzione simmetrica di rigidezza
 - Massa eccentrica (pannelli su 3 lati!)
 - Presenza di lucernari in copertura:
diaframma rigido???

Regolarità in pianta ???

Modello / Analisi

Table 4.1: Consequences of structural regularity on seismic analysis and design

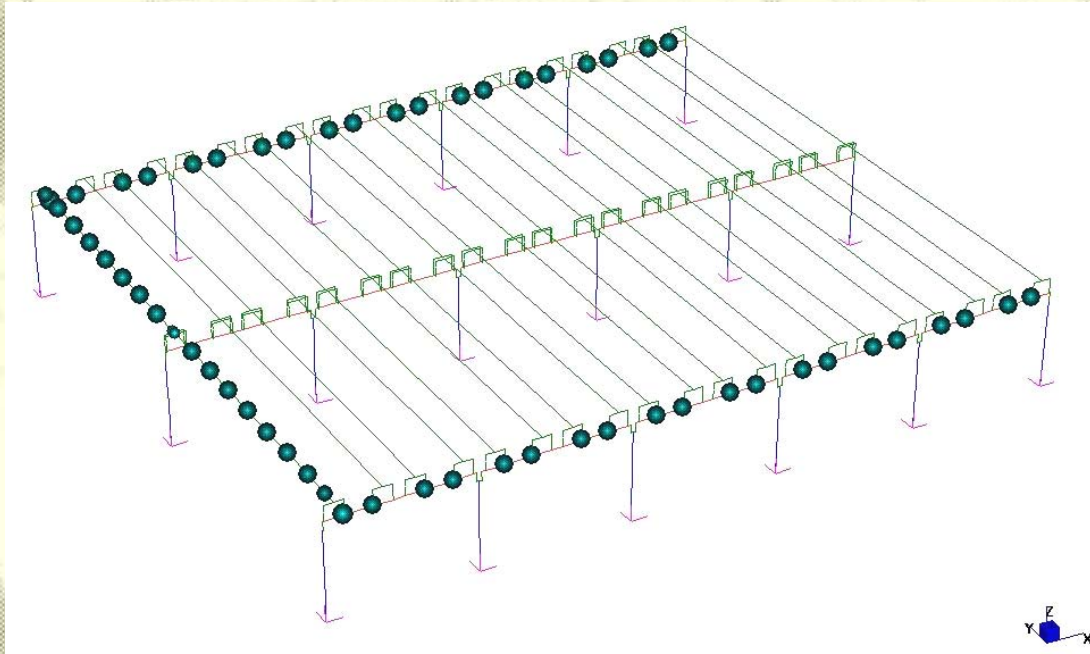
Regularity		Allowed Simplification		Behaviour factor
Plan	Elevation	Model	Linear-elastic Analysis	(for linear analysis)
Yes	Yes	Planar	Lateral force ^a	Reference value
Yes	No	Planar	Modal	Decreased value
No	Yes	Spatial ^b	Lateral force ^a	Reference value
No	No	Spatial	Modal	Decreased value

^a If the condition of 4.3.3.2.1(2)a) is also met.

^b Under the specific conditions given in 4.3.3.1(8) a separate planar model may be used in each horizontal direction, in accordance with 4.3.3.1(8).

Analisi modale

Analisi Dinamica Modale su completo modello tridimensionale



con effetti del 2° ordine (P- Δ)

Modi di vibrare

Modo di vibrare	Periodo	Massa Partecipante	Massa Partecipante
	T [s]	M_x [%]	M_y [%]
1°	1,076	0,00	98,44
2°	0,849	99,84	0,00
3°	0,828	0,00	0,86
4°	0,505	0,00	0,00
5°	0,404	0,00	0,07
	TOTALE	99,84	99,37

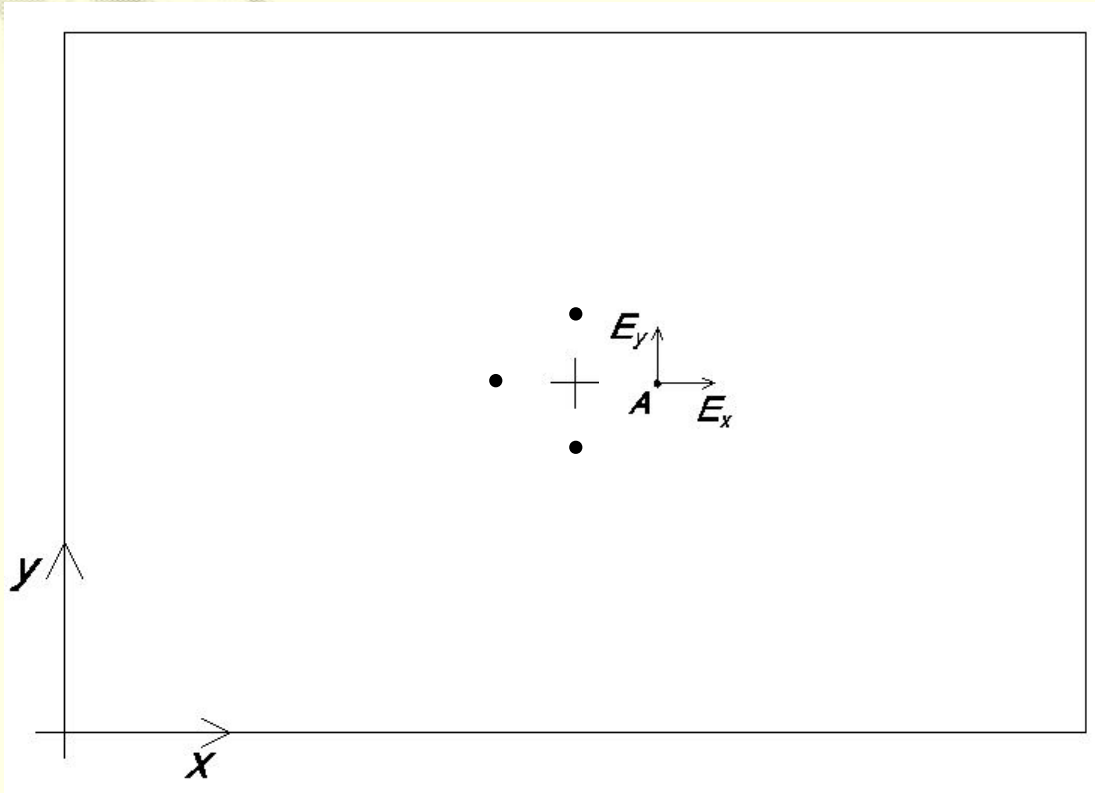
3 modi indipendenti

TRASL. x - TRASL. y - ROTAT.

Effetti torsionali accidentali

$$e_x = 0,05 L_x$$

$$e_y = 0,05 L_y$$



$$1 \quad +E_x + 0,3 E_y$$

$$2 \quad +E_x - 0,3 E_y$$

$$3 \quad -E_x + 0,3 E_y$$

$$4 \quad -E_x - 0,3 E_y$$

$$5 \quad +0,3 E_x + E_y$$

$$6 \quad +0,3 E_x - E_y$$

$$7 \quad -0,3 E_x + E_y$$

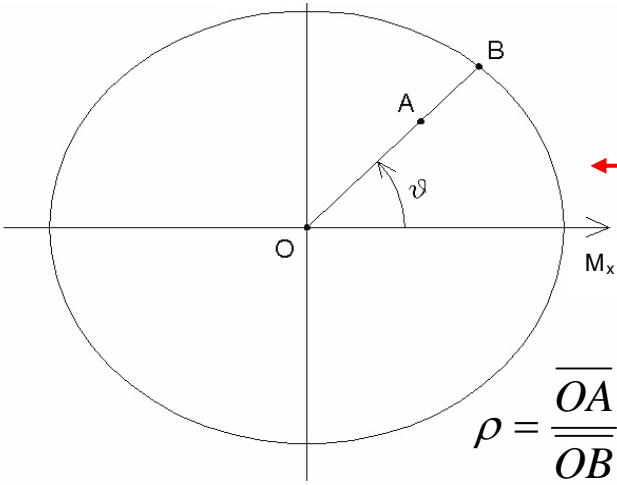
$$8 \quad -0,3 E_x - E_y$$

4 SITUAZIONI

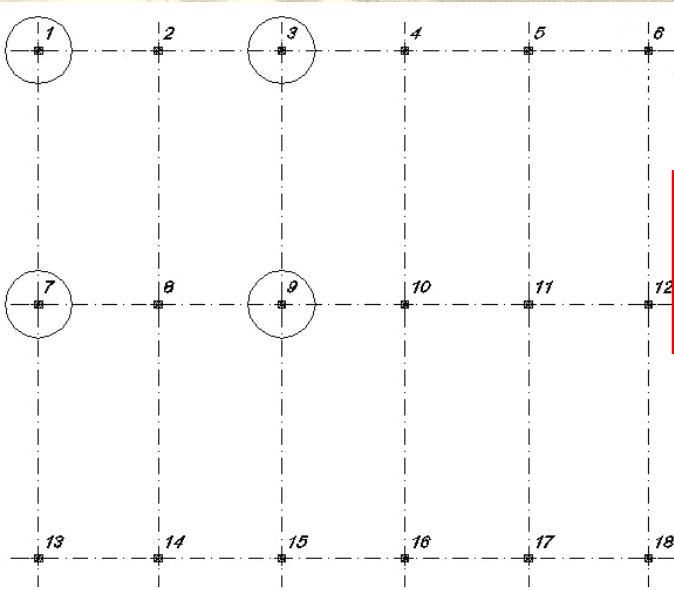
4 x 8 = 32 combinazioni!!!

Risultati delle verifiche SLU

Pressoflessione deviata



		32 condizioni x 18 pilastri	32 condizioni x 4 pilastri	
Pilastri d'angolo	N_{Ed}	305,75	307,65	[kN]
	$M_{Ed,X}$	129,04	139,40	[kNm]
	$M_{Ed,Y}$	476,62	472,46	[kNm]
	ρ	0,756	0,755	
Pilastri di bordo longitudinale	N_{Ed}	511,65	516,28	[kN]
	$M_{Ed,X}$	142,49	435,23	[kNm]
	$M_{Ed,Y}$	453,81	140,24	[kNm]
	ρ	0,675	0,649	
Pilastri di bordo trasversale	N_{Ed}	497,59	497,59	[kN]
	$M_{Ed,X}$	137,69	137,69	[kNm]
	$M_{Ed,Y}$	485,37	485,37	[kNm]
	ρ	0,721	0,721	
Pilastri centrali	N_{Ed}	883,51	897,08	[kN]
	$M_{Ed,X}$	122,52	109,78	[kNm]
	$M_{Ed,Y}$	442,81	407,13	[kNm]
	ρ	0,581	0,531	
Pilastro più sollecitato	N_{Ed}	305,75	307,65	[kN]
	$M_{Ed,X}$	129,04	139,40	[kNm]
	$M_{Ed,Y}$	476,62	472,46	[kNm]
	ρ	0,756	0,755	
	$\vartheta_{x,max}$	0,196	0,196	
	$\vartheta_{y,max}$	0,278	0,275	



Effetti del 2° ordine vincolanti !!!

$$\vartheta = \frac{P_{tot} \cdot d_r}{V_{tot} \cdot h} \leq 0,30$$

Verifiche spostamenti

Analisi elastica $d_{ex} = 2,31$ $d_{ey} = 3,16$

Spost. elastoplastico $d_r = q d_{ex} = 10,4$ cm

SLU - MARTELLAMENTO GIUNTO

$$2 d_r = 20,8 < 25 \text{ cm}$$

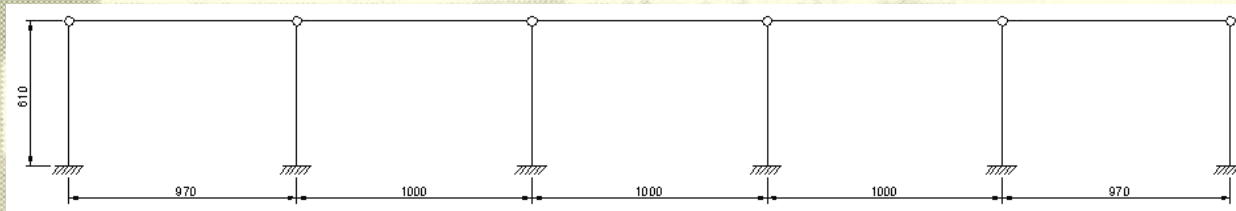
SLD - DEFORMAZIONE DI PIANO

$$v q d_{ey} = 7,12 < 0,01 h_y = 7,3 \text{ cm}$$

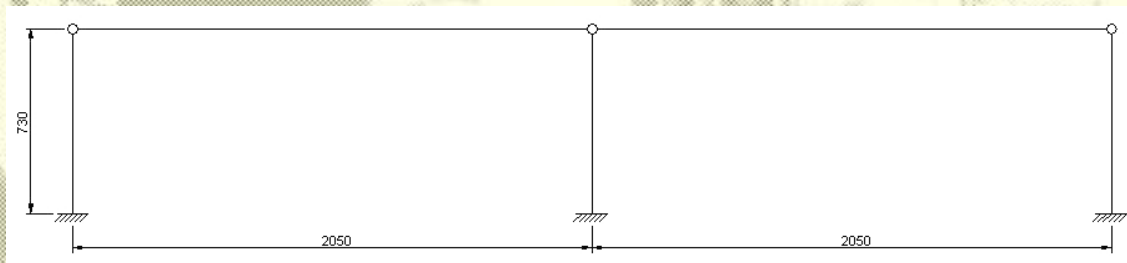
2 - Calcolo sismico telai

Analisi statica lineare su modelli piani indipendenti

Telai longitudinali interno/esterno



Telai trasversali interno/esterno



con effetti 2° ordine

Periodi di vibrazione diversi

$$T_i = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_i}} \quad k_i = \sum \frac{3EI}{h}$$

Risposte diverse

DIREZIONE X	telaio longitudinale interno	$S_d(T_1) = 0,089 \text{ g}$
	telaio longitudinale esterno	$S_d(T_1) = 0,104 \text{ g}$
DIREZIONE Y	telaio trasversale interno	$S_d(T_1) = 0,071 \text{ g}$
	telaio trasversale esterno	$S_d(T_1) = 0,079 \text{ g}$

Vantaggi:

- Calcoli manuali con forze equivalenti

Svantaggi (incertezze):

- Necessarie verifiche di compatibilità deformativa
- Eccentricità accidentale ???

Amplificare con 1,25 (vedi 4.3.3.1 EC8 - uso di modelli piani e analisi elastica lineare per strutture irregolari in pianta ma con diaframma rigido)

Combinazioni:

- $E_x + 0,3 E_y$
- $0,3 E_x + E_y$

Verifiche pressoflessione:

$$\rho_{MAX} = 0,803 \quad (\rho_{MAX} = 0,643 \text{ senza ampl. } 1,25 \rightarrow 15\%)$$

(analisi modale $\rho_{MAX} = 0,756 \rightarrow 6\%$)

3 - Calcolo sismico struttura

Analisi statica lineare nelle direzioni x , y

	L [m]	K_{pil} [kN/m]	K [kN/m]	m [kg]	T_1 [s]
Direzione X	6,10	3567	64202	1166424	0,847
Direzione Y	7,30	2081	37460	1154796	1,103

Direzione x $S_d(T_{1x}) = 0,098 g$

Direzione y $S_d(T_{1y}) = 0,076 g$

Effetti torsionali

Sisma lungo x

$$M_T = F_x e_y$$

Sisma lungo y

$$M_T = F_y e_x$$

Sul pilastro j con $I_p = \sum x_i^2 + \sum y_i^2$

$$f_{jx} = M_T \frac{y_j}{I_p}$$

$$f_{jy} = M_T \frac{x_j}{I_p}$$

Combinazioni:

- $E_x + 0,3 E_y$
- $0,3 E_x + E_y$

Verifiche pressoflessione:

$$\rho_{MAX} = 0,724$$

(analisi modale $\rho_{MAX} = 0,756 \rightarrow 4\%$)

4 - Analisi statica lineare

Table 4.1: Consequences of structural regularity on seismic analysis and design

Regularity		Allowed Simplification		Behaviour factor
Plan	Elevation	Model	Linear-elastic Analysis	(for linear analysis)
Yes	Yes	Planar	Lateral force ^a	Reference value
Yes	No	Planar	Modal	Decreased value
No	Yes	Spatial ^b	Lateral force ^a	Reference value
No	No	Spatial	Modal	Decreased value

^a If the condition of 4.3.3.2.1(2)a) is also met.

^b Under the specific conditions given in 4.3.3.1(8) a separate planar model may be used in each horizontal direction, in accordance with 4.3.3.1(8).

Non regolare in pianta → modello tridimensionale

Regolare in altezza → Analisi statica

Operativamente non conviene.

Coincide con l'analisi dinamica modale arrestata ai primi modi riportati a peso 1,0.

Verifiche pressoflessione:

$$\rho_{MAX} = 0,795$$

(analisi modale $\rho_{MAX} = 0,756 \rightarrow 5\%$)

Sisma verticale

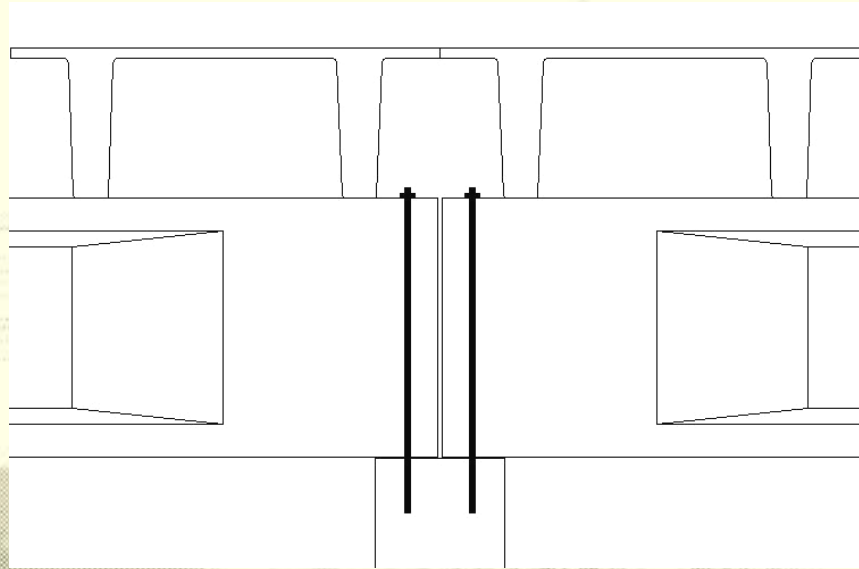
#4.3.3.5.2 - EC8: componente verticale solo per alcuni elementi strutturali (el. precompressi)
se $a_{vg} > 0,25g$

$$a_{vg} = 0,9 a_g = 0,9 \cdot 0,25 = 0,225g$$

SOLO ZONA 1!

- Analisi n-modi vs analisi 1°-modo \Rightarrow **OK**
- Per sisma \uparrow **verifica tensione da freccia negativa**

Collegamento trave pilastro



Progettazione secondo **CAPACITY DESIGN**

$$V_{Rd} = \gamma_{Rd} \frac{M_{Rd}}{h_x}$$

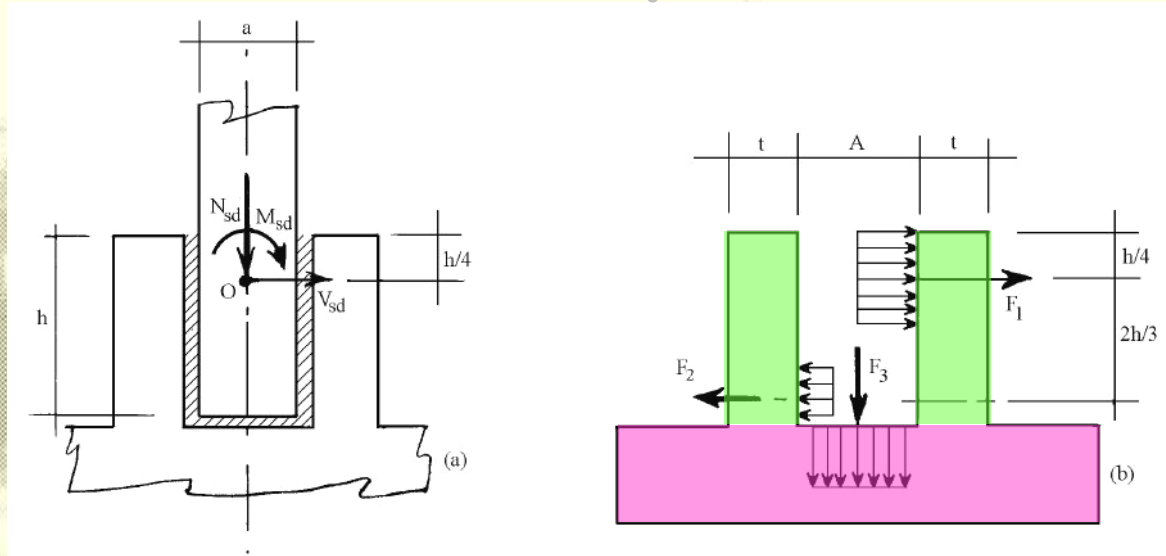
con

$\gamma_{Rd} =$

1,2

Lontana da zone critiche

Plinto a pozzetto



Collare visto come "connessione", quindi progettazione secondo **CAPACITY DESIGN**.

$$V_{Rd} = \gamma_{Rd} \frac{M_{Rd}}{h_y} \quad \text{con} \quad \gamma_{Rd} = 1,35$$

Dado visto come "fondazione" → sollecitazioni diverse sulle due parti!!!!



Grazie!

a.colombo@assobeton.it