

Ordine degli Ingegneri di Lecco

CORSO DI AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

«PROGETTARE EDIFICI IN ZONA SISMICA»

PROGETTARE LE GEOMETRIE STRUTTURALI

MODULO M3

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Ipogea Associati – Torino
ipogea.ass@gmail.com

Lecco, 16/03/2017

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

LE AZIONI SULLE COSTRUZIONI

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

2/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

LE AZIONI

AZIONE *causa o insieme di cause capace di indurre effetti (stati limite) in una struttura*

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

3/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

LE AZIONI

Classificazione in base al modo di esplicarsi

DIRETTE

- Carichi concentrati o distribuiti
- Azioni sismiche

INDIRETTE

- Distorsioni
- Variazioni termiche
- Cedimenti
- Fessurazioni

FRASE

DEFORMAZIONI IMPRESSE

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

4/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

LE AZIONI

*Classificazione in base alla **variazione dell'intensità e della durata nel tempo** con riferimento alla **vita nominale dell'opera***

PERMANENTI
G

Strutturali **G₁**

Non strutturali **G₂**

VARIABILI
Q

Antropici

Naturali

ECCEZIONALI
A

Esplosioni

Incendi

Urti

SISMICHE
E

Terremoti

5/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

LE AZIONI

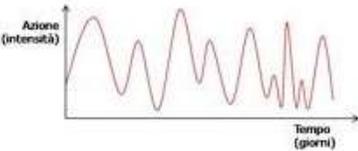


Azione (intensità)

Tempo (giorni)

PERMANENTI
G

Pressochè costanti
nel tempo

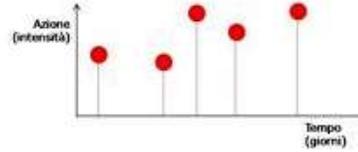


Azione (intensità)

Tempo (giorni)

VARIABILI
Q

Intensità variabile
nel tempo



Azione (intensità)

Tempo (giorni)

ECCEZIONALI
A

Effetti «puntuali»
nel tempo

6/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

AZIONI PERMANENTI, VARIABILI, ECCEZIONALI

Azioni permanenti e variabili (valori «caratteristici»)



Neve e fotovoltaico su coperture



Folla su ponte



Vento



Sisma

7/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

LE «AZIONI» VARIABILI Q

Azioni non controllate dall'uomo

NEVE



VENTO



- Verticale
- Uniformemente ripartito
- Variabile nel tempo e nello spazio
- Possibilità di accumulo

- Sostanzialmente orizzontale, genera pressioni e depressioni
- Variabile nel tempo e nello spazio

8/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

I CARICHI «CONCENTRATI»

$$\vec{P} = \lim_{dA \rightarrow 0} \frac{d\vec{P}}{dA}$$

CARICHI «CONCENTRATI» → NON ESISTONO!!!

I carichi «concentrati» sono sempre distribuiti su un'area molto piccola

9/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

I CARICHI D'AREA (LE PRESSIONI)

$$P = \gamma \cdot V = \gamma \cdot A \cdot h \rightarrow q = \frac{P}{A} = \frac{\gamma \cdot V}{A} = \gamma \cdot h \quad \left[\frac{kN}{m^3} \cdot m = \frac{kN}{m^2} \right]$$

ES: piscina
 $h = 2,5m$
 $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$
 $p = 2,5 \cdot 10 = 25 \text{ kN/m}^2$

Pressione
 (carico per unità di superficie [kN/m²])

Peso specifico
 (peso per unità di volume [kN/m³])

$$\gamma = \frac{P}{V}$$

11/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

I CARICHI D'AREA (LE PRESSIONI)

Principio di Pascal
 la pressione esercitata in un punto di una massa fluida ha la stessa intensità in ogni altro punto e in tutte le direzioni

MURO DI SOSTEGNO

Coefficiente di spinta attiva
 (dipende dalle caratteristiche del terreno)
 Per i liquidi $K_a \cong 1$

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$\varphi = \text{angolo d'attrito del terreno}$

11/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

I CARICHI PERMANENTI G

Tabella 3.1.1 - *Pesi dell'unità di volume dei principali materiali strutturali*

NTC2008
 Cap. 3.1.2

Servono per il calcolo dei pesi propri strutturali e non strutturali

MATERIALI	PESO UNITÀ DI VOLUME [kN/m ³]
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
Calcare compatto	26,0
Calcare 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

12/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

I CARICHI LINEARI : TRAVI

$$P = \gamma \cdot V = \gamma \cdot A \cdot L$$

$$q = \frac{P}{L} = \gamma \cdot A \quad \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot \text{m}^2 = \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$$

I CARICHI LINEARI : SOLAI

Se b ha larghezza unitaria:

$$q = \frac{P}{b} = p \quad \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \text{m} = \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$$

13/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

I CARICHI PERMANENTI G

MATERIALI	PESO UNITÀ DI VOLUME [kN/m ³]
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

Quantità «media» di acciaio in una struttura di calcestruzzo armato : $(25 - 24) = 1 \text{ kN/m}^3$ (100 kg/m³)

Peso per unità di lunghezza di una trave in calcestruzzo armato (0,20x0,50) m

$$g_1 = \gamma \cdot A = 25 \cdot 0,20 \cdot 0,50 = 2,5 \text{ kN/m}$$

14/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

ANALISI DEI CARICHI - ESEMPIO

Carichi di un solaio d'interpiano con balcone

15/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

ESEMPIO - PESO PROPRIO STRUTTURALE G_1

SOLAIO INTERNO

Carico unitario (=per metro di lunghezza) di una fascia di solaio di larghezza 1m

CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI				
Strato	h [m]	b [m]	Peso unitario [kN/m ³]	Peso [kN/m]
Travetti	0,16	2 x 0,10	25	0,16 x 0,2 x 25 = 0,80
Cappa	0,05	1	25	0,04 x 1 x 25 = 1,03
Pignatte	0,16	2 x 0,4	5,5	0,16 x 0,8 x 5,5 = 0,71
TOTALE g_1 (kN/m)				2,54

$2,54/21 = 0,12 \text{ kN/m}^2$ per cm di altezza di solaio
Es: solaio (20 + 5) cm $g_1 = 0,12 \times 25 = 3,0 \text{ kN/m}^2$

16/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

CARICHI PERMANENTI PORTATI G_2

Carichi permanenti **NON STRUTTURALI** G_2

- Sottofondi (18-19 kN/m^3)
- Intonaci (20 kN/m^3)
- Finiture: secondo tipologia
- Murature perimetrali
- Tramezzi divisori

NTC2008 Cap. 3.1.3

- per elementi divisori con $G_2 \leq 1,00 \text{ kN/m}^2$:	$g_2 = 0,40 \text{ kN/m}^2$;
- per elementi divisori con $1,00 < G_2 \leq 2,00 \text{ kN/m}^2$:	$g_2 = 0,80 \text{ kN/m}^2$;
- per elementi divisori con $2,00 < G_2 \leq 3,00 \text{ kN/m}^2$:	$g_2 = 1,20 \text{ kN/m}^2$;
- per elementi divisori con $3,00 < G_2 \leq 4,00 \text{ kN/m}^2$:	$g_2 = 1,60 \text{ kN/m}^2$;
- per elementi divisori con $4,00 < G_2 \leq 5,00 \text{ kN/m}^2$:	$g_2 = 2,00 \text{ kN/m}^2$.

Il peso a m degli elementi divisori interni è trasformato in un carico permanente **portato** g_2 uniformemente distribuito **su tutto il solaio**

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

17/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

ESEMPIO - CARICHI PERMANENTI PORTATI G_2

TRAMEZZI INTERNI $h = 2,80$

CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI

Strato	s [m]	P-specifico [kN/m^3]	H [m]	Peso [kN/m]
Intonaco	0,01x2	20	2,80	$0,02 \times 20 \times 2,8 = 1,12$
Mattoni forati	0,08	8,3		$0,08 \times 8,3 \times 2,8 = 1,86$
	0,10	7,9		$0,10 \times 7,9 \times 2,8 = 2,21$
	0,12	7,6		$0,12 \times 7,6 \times 2,8 = 2,55$

Intonaco
mattoni forati
intonaco

Tramezzo 10 cm $G_2 = 1,12 + 1,86 = 2,98 \text{ kN/m}$ $g_2 = 1,20 \text{ kN/m}^2$
 Tramezzo 12 cm $G_2 = 1,12 + 2,21 = 3,34 \text{ kN/m}$ $g_2 = 1,60 \text{ kN/m}^2$
 Tramezzo 14 cm $G_2 = 1,12 + 2,55 = 3,67 \text{ kN/m}$ $g_2 = 1,60 \text{ kN/m}^2$

Murature perimetrali
 Poroton 25 cm $G_2 = (0,01 \times 2 \times 20) + 2,07 = 2,5 \text{ kN/m}^2$
 di superficie del muro (non di solaio), senza tener conto del rapporto vuoti/pieni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

18/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

ESEMPIO: PESO PROPRIO NON STRUTTURALE G_2

SOLAIO INTERNO

Carico unitario (= per metro di lunghezza) relativo a una fascia di solaio larga 1m

CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI

Strato	h [m]	b [m]	Peso unitario [kN/m^2]	Peso [kN/m]
Massetto	0,06	1,0	19	$0,06 \times 1 \times 19 = 1,14$
Pavimento	0,02	1,0	20	$0,02 \times 1 \times 20 = 0,40$
Intonaco	0,015	1,0	20	$0,015 \times 1 \times 20 = 0,30$
Murature ripartite (tramezzi da 12/14) cm				1,60
TOTALE G_2 (kN/m)				3,44

Carico permanente complessivo
 $G = G_1 + G_2 = 2,54 + 3,44 = 5,98 \text{ kN/m}^2 \rightarrow 6,0 \text{ kN/m}^2$

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

19/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

ESEMPIO: PESO PROPRIO E PERMANENTE PORTATO

SOLAIO BALCONE

Carico unitario (= per metro di lunghezza) relativo a una fascia di solaio larga 1m

CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI G_1

Strato	h_{med} [m]	L [m]	Peso unitario [kN/m^2]	Peso [kN/m]
Soletta	0,16	1	25	$0,16 \times 1 \times 25 = 4,0$
TOTALE G_1				4,0

CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI G_2

Strato	h [m]	L [m]	Peso unitario [kN/m^2]	Peso unitario [kN/m^2]	Peso [kN/m]
Massetto	0,04	1	19		$0,04 \times 1 \times 19 = 0,76$
Pavimento	0,02	1	20		$0,02 \times 1 \times 20 = 0,40$
Impermeab.		1		0,25	$1 \times 0,25 = 0,25$
Intonaco	0,015	1	20		$0,015 \times 1 \times 20 = 0,30$
TOTALE G_2					1,71

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

20/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

I CARICHI VARIABILI Q

Carichi «antropici» → In base alla destinazione d'uso dell'opera



Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

21/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

I CARICHI VARIABILI Q

NTC2008 Cap. 3.1.4

Carichi verticali uniformemente distribuiti q_k

Carichi verticali concentrati Q_k

Carichi orizzontali lineari H_k

Tabella 3.1.II – Valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
	Uffici.			
B	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
C	Ambienti suscettibili di affollamento			
	Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole	3,00	2,00	1,00
	Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune	5,00	5,00	3,00

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

22/83

2/3/4/5/6 kN/m²

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

I CARICHI VARIABILI Q

NTC2008 Cap. 3.1.4

Carichi verticali uniformemente distribuiti q_k

Carichi verticali concentrati Q_k

Carichi orizzontali lineari H_k

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, librerie...	5,00	5,00	2,00
E	Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale.			
	Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	≥ 6,00	6,00	1,00*
	Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	—	—	—
F-G	Rimesse e parcheggi			
	Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN; da valutarsi caso per caso	—	—	—
H	Coperture e sottotetti			
	Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione	0,50	1,20	1,00
	Cat. H2 Coperture praticabili	secondo categoria di appartenenza		
	Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	—	—	—

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

23/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

IL CARICO NEVE



3.4 AZIONI DELLA NEVE

NTC2008 Cap 3.4

3.4.1 CARICO NEVE

Il carico provocato dalla neve sulle coperture sarà valutato mediante la seguente espressione:

$$q_s = \mu_s \cdot q_{sk} \cdot C_{te} \cdot C_{s1} \quad (3.3.7)$$

dove:

- q_s è il carico neve sulla copertura;
- μ_s è il coefficiente di forma della copertura, fornito al successivo § 3.4.5;
- q_{sk} è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m²], fornito al successivo § 3.4.2 per un periodo di ritorno di 50 anni;
- C_{te} è il coefficiente di esposizione di cui al § 3.4.3;
- C_{s1} è il coefficiente termico di cui al § 3.4.4.

Si ipotizza che il carico agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

IL CARICO NEVE

q_{sk} - CARICO NEVE AL SUOLO

$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$

LOCALITA'
ALTITUDINE

↓

ZONE DI CARICO DA NEVE

Zona I - Alpina
Zona I - Mediterranea
Zona II
Zona III

Per $a_s \leq 200m$
Zone di carico da neve kN/m²

1	1,50
2	1,00
3	0,60

ZONA I - MEDITERRANEA
Lecco $a_s = 214$ m s.l.m.
 $q_{sk} = 1,52$ kN/m²

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

25/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

IL CARICO NEVE

$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$

C_E - COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE (RIMOZIONE DOVUTA AL VENTO)

Topografia	Descrizione	C_E
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti.	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti.	1,1

CLASSI DI TOPOGRAFIA → specifiche della zona dove sorge l'opera

TOPOGRAFIA «NORMALE» → $C_E = 1$

C_t - COEFFICIENTE TERMICO

LIQUEFAZIONE NEVE SE ISOLAMENTO TERMICO → $C_t = 1$

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

26/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

IL CARICO NEVE

$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$

μ_i - COEFFICIENTE DI FORMA

Per coperture a 1 o 2 falde (in assenza di fermaneve!)

GEOMETRIA DELLA COPERTURA
DISPOSIZIONE DEL CARICO NEVE

Se $\alpha = 20^\circ$ (p=35%) $\mu = 0,8$ [-]
Se $\alpha = 45^\circ$ $\mu = 0,4$ [-]
Se $\alpha = 60^\circ$ $\mu = 0$ [-]

q_s - CARICO NEVE (copertura a due falde $\alpha = 20^\circ$)

$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t = 0,8 \cdot 1,52 \cdot 1 \cdot 1 = 1,23$ kN/m²

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

27/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

LA PRESSIONE DEL VENTO

Il vento investe la facciata dell'edificio

DEPRESSIONE

Il corpo arresta il moto delle particelle d'aria

PRESSIONE

EFFETTO DEL VENTO dipende da LOCALITA', POSIZIONE, FORMA STRUTTURA

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

28/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

LA PRESSIONE DEL VENTO

3.3.4 PRESSIONE DEL VENTO
La pressione del vento è data dall'espressione: $p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$ (3.3.2) *NTC2008 Cap 3.3*

dove

- q_b è la pressione cinetica di riferimento di cui al § 3.3.6;
- c_e è il coefficiente di esposizione di cui al § 3.3.7;
- c_p è il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento;
- c_d è il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali. Indicazioni per la sua valutazione sono riportate al § 3.3.8.

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017 29/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

LA PRESSIONE DEL VENTO

q_b - PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO $p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$

$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2 = 391 \text{ N/m}^2$

DENSITA' DELL'ARIA $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

VELOCITA' DI RIFERIMENTO [m/s]

$v_b = v_{b,0}$ se $a_s \leq a_0$

$v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0)$ se $a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$

LECCO ZONA 1
 $a_s = 239 \text{ m s.l.m}$
 $a_0 = 1000 \text{ m}$
 $v_b = v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017 30/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

LA PRESSIONE DEL VENTO

c_e - COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE $p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$

$c_e = f(z; c_t; k_r; z_0; z_{min})$

ALTEZZA DELL'EDIFICIO [m]

TOPOGRAFIA DEL TERRENO $c_t = 1 [-]$

CATEGORIA DI ESPOSIZIONE DEL SITO (I ... V)

TORINO
ZONA 1, $a_s = 200 \text{ m s.l.m}$
A-D Classe di RUGOSITA' del terreno
LECCO: Classe V
($K_r = 0,23$, $z_0 = 0,70 \text{ m}$, $z_{min} = 12 \text{ m}$)

	ZONE 1	2	3	4	5
A	--	IV	IV	V	V
B	--	III	III	IV	IV
C	--	*	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

La situazione «migliora» passando da cat I a V

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017 31/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

LA PRESSIONE DEL VENTO

LE CLASSI DI RUGOSITA' $p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$

A Aree urbane (edifici con $h_{media} > 15 \text{ m}$)

B Aree urbane, suburbane, industriali

C Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri...)

D Aree prive di ostacoli diffusi (campagna, aeroporti...)

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017 32/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

LA PRESSIONE DEL VENTO

c_s - COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE

$p = q_b c_s c_p c_d$

Andamento di c_s in funzione della quota z del colmo del fabbricato e delle Categorie di esposizione

33/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

LA PRESSIONE DEL VENTO

c_p - COEFFICIENTE DI FORMA

$p = q_b c_s c_p c_d$

Orientamento
Geometria
Tipologia

+ PRESSIONE
- DEPRESSIONE

$c_p = 0,8 + 0,4 = 1,2$

c_d - COEFFICIENTE DINAMICO

EDIFICI DI FORMA REGOLARE ($h_{max} < 80m$)
CAPANNONI INDUSTRIALI

$p = q_b c_s c_p c_d$

$c_d = 1$

34/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

LA «COMBINAZIONE» DELLE AZIONI

ANALISI DEI CARICHI → Individuare le combinazioni più gravose per gli elementi strutturali

Combinazione fondamentale (SLU)

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

Precompressione Azione variabile «dominante» Azioni variabili che possono agire contemporaneamente a quella dominante

γ_{G1} Coefficienti parziali di sicurezza (NTC08 2.6.1): tengono conto della probabilità di avere intensità maggiori dei valori «caratteristici» e delle incertezze del modello per il calcolo delle sollecitazioni

ψ_{0i} Coefficienti di combinazione (NTC08 2.5.3): tengono conto della ridotta probabilità che più azioni variabili agiscano contemporaneamente con i loro valori «caratteristici»

35/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

LA COMBINAZIONE DELLE AZIONI

Coefficienti parziali di sicurezza

	Coefficiente	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,3

⁽¹⁾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.

Categoria/Azione variabile	ψ_{01}	ψ_{02}	ψ_{03}
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 ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
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	0,0

Coefficienti di combinazione

36/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

LA COMBINAZIONE DELLE AZIONI

Combinazione rara (SLE irreversibili)

$$F_d = G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \Psi_{02} Q_{k2} + \Psi_{03} Q_{k3} + \dots$$

Combinazione frequente (SLE reversibili)

$$F_d = G_1 + G_2 + P + \Psi_{11} Q_{k1} + \Psi_{22} Q_{k2} + \Psi_{23} Q_{k3} + \dots$$

Combinazione quasi permanente (SLE effetti a lungo termine)

$$F_d = G_1 + G_2 + P + \Psi_{21} Q_{k1} + \Psi_{22} Q_{k2} + \Psi_{23} Q_{k3} + \dots$$

Combinazione sismica (SLU e SLE)

$$F_d = E + G_1 + G_2 + P + \Psi_{21} Q_{k1} + \Psi_{22} Q_{k2} + \dots$$

Combinazione eccezionale (SLU)

$$F_d = G_1 + G_2 + P + A_d + \Psi_{21} Q_{k1} + \Psi_{22} Q_{k2} + \dots$$

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

37/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

I CARICHI VARIABILI «CARATTERISTICI» q_k

SOLAIO INTERPIANO - CARICHI DI ESERCIZIO

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
B	Uffici. Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	2,00 3,00	2,00 2,00	1,00 1,00
C	Ambienti suscettibili di affollamento Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune	3,00 4,00 5,00	2,00 4,00 5,00	1,00 2,00 3,00

SOLAIO INTERNO → CAT. A → $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$

SOLAIO BALCONE → CAT. C2 → $q_k = 4,0 \text{ kN/m}^2$

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

38/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

ANALISI DEI CARICHI - ESEMPIO

RICAPITOLANDO...

SOLAIO INTERMEDIO - INTERNO ALL'EDIFICIO

Carichi permanenti	Nome	Valore [kN/m]
Permanenti strutturali e non strutturali	g	2,50
Permanente non strutturale	G_2	1,46
Tramezzi	g_2	1,60
TOTALE G_{sol}		5,56

Carichi variabili

Nome	Valore [kN/m]	
Cat. A - Ambienti ad uso residenziale	$q_{k,sol}$	2,0

SOLAIO INTERMEDIO - BALCONE

Carichi permanenti	Nome	Valore [kN/m]
Permanente strutturale	G_1	4,0
Permanente non strutturale	G_2	1,76
TOTALE G_{balc}		5,76

Carichi variabili

Nome	Valore [kN/m]	
Cat. C2 - Balconi	$q_{k,balc}$	4,0

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

39/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

LA DISPOSIZIONE DEI CARICHI VARIABILI

SOLLECITAZIONI MASSIME SULLA CAMPATA 2

$F_d = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1}$

CAMPATA 1
 $F_{d1} = 1,0 \times 4 = 4 \text{ kN/m}$

CAMPATA 2
 $F_{d1} = 1,3 \times 2,5 + 1,3 \times 3,06 = 1,5 \times 2 = 10,2 \text{ kN/m}$

CAMPATA 3
 $F_{d1} = 1,3 \times 2,5 + 1,3 \times 3,06 = 7,2 \text{ kN/m}$

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

40/83

LEZIONE 3

I DIAGRAMMI DI «INVILUPPO» DELLE SOLLECITAZIONI

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

«INVILUPPO» DEI DIAGRAMMI DI MOMENTO

«INVILUPPO» DEI DIAGRAMMI DI TAGLIO

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

41/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

IL «CONCEPTUAL DESIGN» DEGLI EDIFICI

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

42/83

“Quando il tempo è denaro, sembra morale risparmiare il tempo. Specialmente il proprio.”

Theodor W. Adorno
“Minima moralia”

Lecco, 16/3/2017

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

IL «CONCEPTUAL DESIGN»

CONCEPTUAL DESIGN

Fase che «precede» il progetto

```

    graph TD
      CD((CONCEPTUAL DESIGN)) --> SPS[Scelte preliminari]
      SPS --> VA[Valutazione delle alternative]
  
```

• architettoniche
 • strutturali
 • economiche
 • sociali

• materiali
 • modalità esecutive
 • costo

PREDIMENSIONAMENTO DELLA **GEOMETRIA** DEGLI ELEMENTI PRINCIPALI IN BASE AGLI «STATI LIMITE» DI RIFERIMENTO

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

45/83

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- **Conceptual design**
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

«CONCEPTUAL DESIGN» ?



46/83

Un disegno vale 50 parole

Leonardo, 1490 L'uomo di Vitruvio

"Vetruvio architetto mette nella sua opera d'architettura che le misure dell'omo sono dalla natura distribuite in questo modo. Il centro del corpo umano è per natura l'ombelico; infatti, se si sdraia un uomo sul dorso, mani e piedi allargati, e si punta un compasso sul suo ombelico, si toccherà tangenzialmente, descrivendo un cerchio, l'estremità delle dita delle sue mani e dei suoi piedi".

Il disegno e' il "linguaggio" dei tecnici.
Il CONCEPTUAL DESIGN strutturale può fondarsi su **disegno** e **calcolo**

F. Biasioli – Asti, 10 Novembre 2016

I «10 passi» del progetto preliminare

SCELTE PRELIMINARI

1. Analisi critica della "geometria" complessiva
2. **Materiali e tipologia strutturale**

AZIONI VERTICALI

3. **Analisi carichi verticali: pesi propri G_1 , permanenti portati G_2 , variabili Q_k**
4. **Predimensionamento solai (SLE)**
5. **Aree di carico di competenza di travi, pilastri, setti e nuclei (CACD)**
6. **Predimensionamento degli elementi verticali (SLU)**

AZIONI SISMICHE

7. **Stima del periodo T_1**
8. **Predimensionamento degli elementi di controvento e verifica di T_1**
9. **Distribuzione planimetrica degli elementi di controvento**

AZIONI VERTICALI

10. **Predimensionamento delle travi (SLU)**

Lecco, 16/3/2017

Le basi del progetto in zona sismica

Obiettivo: un comportamento della struttura sotto sisma
"prevedibile" e "comprensibile"

che, secondo le norme, si ottiene ricercando:

- **Forma in pianta regolare e compatta**
- **Simmetria di masse e rigidezze**
- **Rigidezza e resistenza bidirezionali**
- **Piano rigido (soletta $h = 4/5 - 7$ cm)**
- **Elevata rigidezza torsionale del complesso strutturale**

Lecco, 16/3/2017

“Conceptual Design “ delle strutture di un edificio in c.a.

Quadro di riferimento: Norme Tecniche e Eurocodici

Obiettivo: strutture resistenti, durevoli, **resilienti** ed economiche sia come realizzazione che come manutenzione

Carichi verticali: dal progetto architettonico (spesso disponibile come DWG), o stimati.

Azioni orizzontali (vento, azioni sismiche) : da norma

Lecco, 16/3/2017

“Conceptual Design “ delle strutture di un edificio in c.a.

I carichi verticali sono pressochè “certi”,
le azioni sismiche solo “probabili”

Di conseguenza, per quanto possibile, ricordando che i percorsi delle azioni verticali e del vento sono diversi da quelli delle azioni sismiche, occorre:

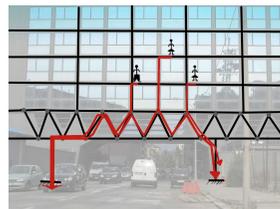
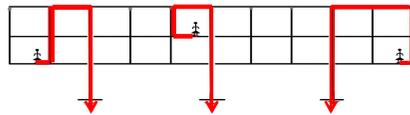
- **prevedere** due percorsi per i diversi carichi (due sistemi resistenti **distinti**), ricordando che
- ogni qual volta un percorso aumenta, aumentano le sollecitazioni!

Lecco, 16/3/2017

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- **Conceptual design**
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

IL «PERCORSO» DEI CARICHI VERTICALI



LEGATI ALLA GRAVITA', «FLUISCONO» NELLA STRUTTURA FINO ALLE FONDAZIONI OVE TROVANO L'EQUILIBRIO.

La struttura fa da «intermediario» tra carichi e vincoli

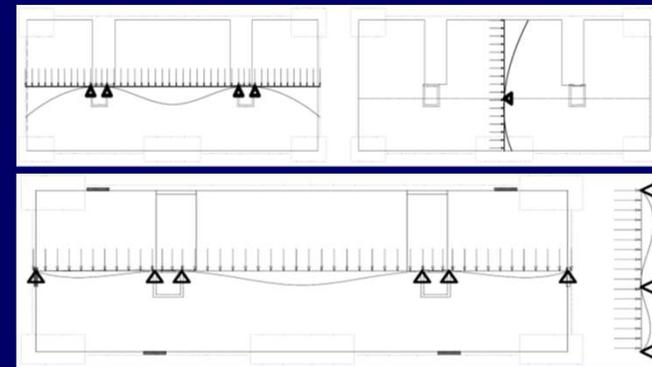
Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

53/83

I percorsi delle forze sismiche

..... è un piano rigido?



Lecco, 16/3/2017

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

REGOLARITA' IN PIANTA (EC8)

- 1) Tracciare un poligono che «tocchi» gli elementi strutturali verticali esterni e alcuni interni – considerare le scale come vuoti-
- 2) Calcolare l'area A racchiusa da tale poligono
- 3) Tracciare un poligono convesso (= si gira sempre nello stesso verso) che si appoggia sui soli elementi esterni
- 4) Le zone racchiusse tra i due poligoni devono avere aree $< 0,05A$ (5% di A)
- 5) Se la condizione non è rispettata, inserire giunti strutturali

16,3/469 x 100 = 3,5 < 5% SI

241/750 x 100 = 32 > 5% NO

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

55/83

I 10 passi del progetto preliminare

SCELTE PRELIMINARI

1. Analisi critica della “geometria” complessiva
2. Materiali e tipologia strutturale

AZIONI VERTICALI

3. Analisi carichi verticali: pesi propri G_1 , permanenti portati G_2 , variabili Q_k
4. Predimensionamento solai (SLE)
5. Aree di carico di competenza di travi, pilastri, setti e nuclei (CACD)
6. Predimensionamento degli elementi verticali (SLU)

AZIONI SISMICHE

7. Stima del periodo T_1
8. Predimensionamento degli elementi di controvento e verifica di T_1
9. Distribuzione planimetrica degli elementi di controvento

AZIONI VERTICALI

10. Predimensionamento delle travi (SLU)

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/3/2017

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

PREDIMENSIONAMENTO DI FONDAZIONI, SOLAI, TRAVI E PILASTRI

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

58/88

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali
- Regolarità strutturale

RIPARTIZIONE DEI CARICHI

L'alpinista affonda nella neve se il suo peso è distribuito su una superficie piccola, come quella degli scarponi.

Le racchette ai piedi «aumentano» la superficie che ne sostiene il peso e gli permettono di avanzare senza sprofondare.

Volume “vuoto per pieno”

↓

Peso totale edificio F [kN]

↓

Distribuzione del peso su fondazioni

$$P = \frac{F}{A} \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

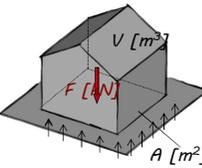
Lecco, 16/03/2017

59/88

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale

STIMA DEL PESO TOTALE F



Peso solaio + tramezzi + finiture:
 $G = G_1 + G_2 = 6,0 \text{ kN/m}^2$
 Murature perimetrali:
 $G_3 = 2,5 \text{ kN/m}^2$ di superficie
 Carico variabile Q_k : $2,0 - 5 \text{ kN/m}^2$

Ciascun piano ha perimetro «p» e altezza «h» di interpiano dunque peso totale delle murature perimetrali di ciascun piano è (G_3ph)
 P/V : peso/ m^3 «vuoto per pieno» di un edificio con area di solaio A e altezza d'interpiano h, dunque con volume di piano $V_{piano} = Ah$

$P/V = P/(Ah) = [(G+Q_k)A + G_3ph]/(Ah) = (G+Q_k)/h + G_3 p/A$

Peso totale F di un edificio con «n» solai e volume $V = nAh$:
 $F = (P/V) V = [(G+Q_k)/h + G_3 p/A] nAh = n[(G+Q_k)A + G_3 ph]$

$F = n [8A + 2,5ph] \text{ [kN]}$ p, h [m] A [m²]

$n=4$ $p=2(12 \times 4) = 104 \text{ m}$ $A=480 \text{ m}^2$ $h=3 \text{ m}$
 $F = 4(8 \times 480 + 2,5 \times 104 \times 3) = 18480 \text{ kN} \text{ (1848 t)}$

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

60/88

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale

TIPOLOGIE DI FONDAZIONE

$\sigma_{t,amm} = \text{«Tensione «ammissibile» sul terreno}$

Limi – Argille Organiche	0,2 – 0,4 Kg/cm ²
Terreni ArgilloLimosi	0,5 – 1,0 Kg/cm ²
Sabbie – Ghiaie	1,0 – 2,0 Kg/cm ²
Rocce	> 2,0 Kg/cm ²

$1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 100 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

$\frac{F}{\sigma_{t,amm}} = A_f$ $A_f = \text{area complessiva di base delle fondazioni}$

PLINTO
 $A_f < \frac{1}{3} A$

TRAVE ROVESCIA
 $\frac{1}{3} A < A_f < \frac{2}{3} A$

PLATEA
 $A_f > \frac{2}{3} A$

PALI
 Per portare i carichi o limitare i cedimenti

Es: Edificio con $F = 18480 \text{ kN}$ e area $A = 480 \text{ m}^2$
 Fondazioni su ghiaia $\sigma_{t,amm} = 200 \text{ kN/m}^2$
 $A_f = 18480/200 = 92,4 < 480/3 = 160 \text{ m}^2$ ➔ plinti

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

61/88

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale

I SOLAI




LA «SNELLEZZA» l_{eff}/h

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

62/88

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale

SOLAI: LIMITARE LE INFLESSIONI

FORMA DELLA SEZIONE INFLESSA

SCHEMA STATICO

EFFETTO DELLA «VISCOSITA'» (CLS, LEGNO)

DEFORMAZIONE LIMITE $L/500$ ovvero $L/250$

ASPETTO ESTETICO

FUNZIONALITA'

EC2 Cap. 7.4.1

(4) L'aspetto e la funzionalità della struttura possono essere pregiudicati se l'inflessione calcolata di una trave, piastra o sbalzo soggetti ai carichi quasi-permanenti è maggiore di $1/500$ della luce. L'inflessione è intesa relativa agli appoggi. Può essere prevista una controfrecce per compensare tutta o parte dell'inflessione, ma si raccomanda che la montata delle casseforme verso l'alto non sia maggiore di $1/500$ della luce.

(5) Si raccomanda che le inflessioni che possono causare danni a parti adiacenti della struttura siano limitate. Un adeguato limite per l'inflessione (dopo la costruzione) in presenza dei carichi quasi-permanenti è generalmente $1/500$ della luce. Altri limiti possono essere considerati in funzione della sensibilità delle parti adiacenti.

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

63/88

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale

SOLAI: LIMITARE LE INFLESSIONI!

1. FORMA (INERZIA) DELLA SEZIONE
2. USO DI ALLEGGERIMENTI
3. GRADO DI VINCOLO («SCHEMA STATICO»)

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

64/88

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale

DIMENSIONAMENTO ALTEZZA SOLAI

FRECCIA LIMITE

Condizione PIU' SEVERA di quanto previsto dalla norma, a favore di sicurezza

$$f = \frac{1}{500} l_{eff}$$

l_{eff} = lunghezza «efficace» (asse-asse travi) di una nervatura
EC2 Cap. 7.4.2

SCHEMA STATICO

$$l_n = \frac{l_{eff}}{k}$$

l_n = lunghezza «normalizzata» di ogni campo di solaio

k «normalizza» i diversi schemi statici a un unico schema di riferimento → **«trave» semplicemente appoggiata**

$k = 1$

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

65/88

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale

IL COEFFICIENTE k

$f_M = \frac{1}{8} \frac{qL_m^4}{EJ}$

$f_A = \frac{5}{384} \frac{qL_n^4}{EJ}$

$f_A = f_M \Rightarrow \frac{5}{384} \frac{qL_n^4}{EJ} = \frac{1}{8} \frac{qL_m^4}{EJ} \Rightarrow \frac{5}{48} L_n^4 = L_m^4$

$L_n = \frac{L_m}{k} \Rightarrow L_m = k \cdot L_n$

$\frac{5}{48} L_n^4 = (k \cdot L_n)^4 \Rightarrow k = \sqrt[4]{\frac{5}{48}} = 0,57$

Per geometria e carico q assegnati, una mensola di $l = 2$ m ha la stessa inflessione di una trave ideale appoggiata di luce «normalizzata» $l_n = l/k = (2/0,57) = 3,52$ m.

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

66/88

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale

DIMENSIONAMENTO ALTEZZA SOLAI

EC2 Cap. 7.4.2

Sistema strutturale	K'	Calcestruzzo molto sollecitato $\rho = 1,5\%$	Calcestruzzo poco sollecitato $\rho = 0,5\%$
Travi semplicemente appoggiate, piastre semplicemente appoggiate mono o bidirezionali	1,0	14	20
Campata terminale di travi continue o piastre continue monodirezionali o piastre bidirezionali continue su un lato lungo	1,3	18	26
Campata intermedia di travi o di piastre mono o bidirezionali	1,5	20	30
Piastre sorrette da pilastri senza travi (piastre non nervate) (in base alla luce maggiore)	1,2	17	24
Mensole	0,4	6	8

Nota 1 I valori dati sono stati scelti in genere in via prudenziale e il calcolo può dimostrare frequentemente che si possono realizzare elementi più ottimi.
Nota 2 Per piastre bidirezionali si raccomanda che la verifica sia effettuata con il riferimento alla luce minore, per piastre non nervate si raccomanda di considerare la luce maggiore.
Nota 3 I limiti dati per piastre prive di nervature corrispondono a una limitazione meno severa di quella che impone una freccia in mezz'aria minore di 1/500 delle luci, relativamente agli appoggi sui pilastri. L'esperienza ha dimostrato che ciò è comunque soddisfacente.

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

67/88

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale

EFFETTO DELLA CONTINUITA' STRUTTURALE

$l_1 \geq l_2$? **NO!** $l_{n1} = l_{n2} = l_{n2}$ **SI'**

Per la prima campata di una trave continua:

$$\frac{l_1}{k_1} = \frac{l_2}{k_2} \Rightarrow l_1 = \frac{k_1}{k_2} l_2 = \frac{1,3}{1,5} l_2 = 0,87 l_2 \quad (-13/15\%)$$

SEMPRE trave corta-trave lunga, mai il contrario

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

68/88

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale

DIMENSIONAMENTO ALTEZZA SOLAI

IPOTESI

- Tipologia strutturale univoca (a T, a piastra ecc.)
- Carichi identici G_1, G_2 e Q_k
- Unico spessore (altezza h)

l'ALTEZZA (lo spessore strutturale) dipende dalla geometria di quella campata per la quale risulta MASSIMA la lunghezza "normalizzata":

$$l_n = \frac{l_{eff}}{k}$$

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

69/88

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale

DIMENSIONAMENTO ALTEZZA SOLAI

DM 16/1/96

7.3.2 ALTEZZA MINIMA DEL SOLAIO:
L'altezza minima del solaio va determinata con riferimento alle dimensioni finali di esercizio e non riguarda le dimensioni degli elementi componenti nelle fasi di costruzione.
L'altezza minima non può essere inferiore ad 8 cm.

Nel caso di solaio vincolato in semplice appoggio monodirezionale, il rapporto tra luce di calcolo del solaio e spessore del solaio stesso non deve essere superiore a 25.

Per solai costituiti da pannelli piani, pieni od alleggeriti, prefabbricati precompressi (tipo III), senza soletta integrativa, in deroga alla precedente limitazione, il rapporto sopra indicato può essere portato a 35.

Appoggio $k = 1,0$

$h = \frac{l_n}{25}$ anche per altri schemi statici? **NO!!**

Tipologia strutturale (sezione dunque J)

Carichi G_1, G_2 e Q_k

VARIANO DA ZONA A ZONA DI SOLAIO

COSA FARE??

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

70/88

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale

ALTEZZA SOLAI CON $l_{eff} \leq 7$ m

EC2 Cap. 7.4.2 **V/d SOLAI**

Sistema strutturale	K'	Calcestruzzo molto sollecitato $\rho = 1,5\%$	Calcestruzzo poco sollecitato $\rho = 0,5\%$
Travi semplicemente appoggiate, piastre semplicemente appoggiate mono o bidirezionali	1,0	14	20
Campata terminale di travi continue o piastre continue monodirezionali o piastre bidirezionali continue su un lato lungo	1,3	18	26
Campata intermedia di travi o di piastre mono o bidirezionali	1,5	20	30
Piastre solette da pilastri senza travi (piastre non nervate) (in base alla luce maggiore)	1,2	17	24
Mensole	0,4	6	8

Nota 1 I valori dati sono stati scelti in genere in via prudenziale e il calcolo può dimostrare frequentemente che si possono realizzare elementi più ottimali.
Nota 2 Per piastre bidirezionali si raccomanda che la verifica sia effettuata con il fessuramento alla luce minore; per piastre non nervate si raccomanda di considerare la luce maggiore.
Nota 3 I limiti dati per piastre prive di nervature corrispondono a una limitazione meno severa di quella che impone una fessura in mezz'ora minore di 1/500 delle luci, relativamente agli appoggi sui pilastri. L'esperienza ha dimostrato che ciò è comunque soddisfacente.

$d =$ altezza «utile» $H = (d + d')$ altezza totale
Per solaio $H = (d + 3)$ cm
Per trave $H = (d + 4)$ cm

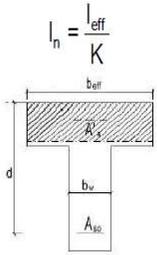
Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

71/88

SLE DI DEFORMAZIONE - SOLAI E PIASTRE LUNGHEZZE NORMALIZZATE - COEFFICIENTI K

Sistema strutturale		K
Travi semplicemente appoggiate		1,0
Piastrre semplicemente appoggiate mono o bidirezionali (in base alla luce minore)		1,0
Campata terminale di travi continue o di piastre continue monodirezionali di piastre bidirezionali continue su un lato lungo (in base alla luce minore)		1,30
Campata intermedia di travi continue Campata intermedia di piastre mono o bidirezionali (in base alla luce minore)		1,50
Piastrre non nervate sorrette da pilastri senza travi (in base alla luce maggiore)		1,20
Mensele		0,40

$$l_n = \frac{l_{eff}}{K}$$


$$\frac{l_n}{d} = \sqrt[3]{\frac{\lambda_s}{G + \psi_2 Q_k}}$$

s	λ_s per R_{ck} (N/mm ²) =				
	20	25	30	35	40
1,0	51	55	58	60	62

Tab. 34.04 – Solai e piastre - coefficienti K e λ_s

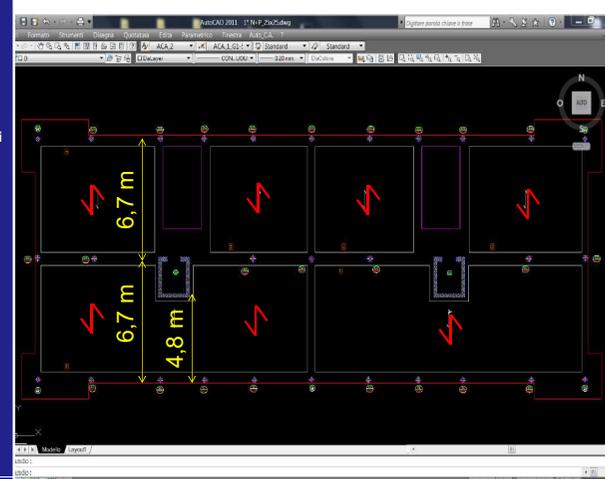
Note:

- Q_k, G_k in kN/m²
- Moltiplicare le lunghezze efficaci l_{eff} per (7/1_{eff}) per solai a T, piastre con nervature e travi di sezione rettangolare o a T con $l_{eff} > 7$ m, per (8,5/1_{eff}) per piastre senza nervature con $l_{eff} > 8,5$ m
- Sezioni a T con $b_{eff}/b_w > 3$ (s=0,80): ridurre le snellezze del 7%.

LEZIONE 3

DIMENSIONAMENTO ALTEZZA SOLAI

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- **Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale



Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

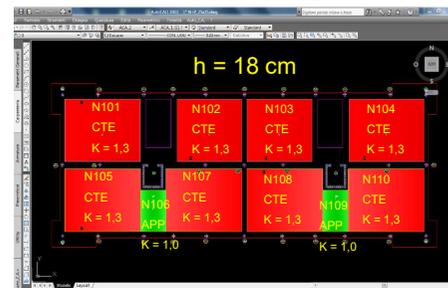
Lecco, 16/03/2017

73/88

LEZIONE 3

I SOLAI DA ROSSI DIVENTANO...

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- **Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale



CAMPATA	l_{eff} [m]	SCHEMA STATICO	k	l_n [m]	$h = l_n/25$ [m]
N101	6.70	CTE	1.30	5.15	0.21
N102	6.70	CTE	1.30	5.15	0.21
N103	6.70	CTE	1.30	5.15	0.21
N104	6.70	CTE	1.30	5.15	0.21
N105	6.70	CTE	1.30	5.15	0.21
N106	4.80	APP	1.00	4.80	0.19
N107	6.70	CTE	1.30	5.15	0.21
N108	6.70	CTE	1.30	5.15	0.21
N109	4.80	APP	1.00	4.80	0.19
N110	6.70	CTE	1.30	5.15	0.21

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

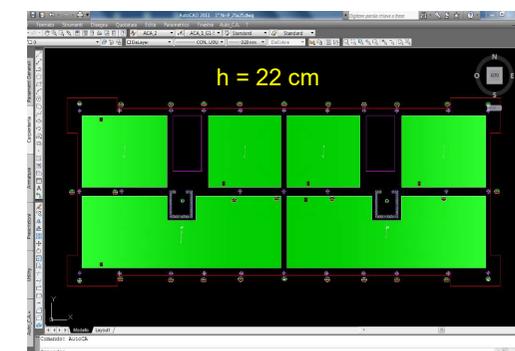
Lecco, 16/03/2017

74/88

LEZIONE 3

... VERDI, AUMENTANDO LO SPESSORE h

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- **Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale



Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

75/88

Attribuzione dei carichi a travi e pilastri

Nota l'intensità di tutti i carichi verticali:

- 1) quali sono le aree di competenza delle travi, dunque i carichi sulle travi?
- 2) quali le aree di competenza di pilastri, setti e nuclei, dunque i carichi sugli elementi verticali?

Lecco, 16/3/2017

LEZIONE 3 LA RIPARTIZIONE DEI CARICHI SUI PILASTRI

IL CASO DEL SOLAIO

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- **Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale

Carico distribuito su area di larghezza pari a 1m

↓

Carico distribuito a metro lineare sulla trave

↓

Carico concentrato sul pilastro

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

77/88

LEZIONE 3 EFFETTO DELLA CONTINUITA' STRUTTURALE

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- **Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale

TRAVE CONTINUA
2 CAMPATE

TRAVE CONTINUA
5 CAMPATE

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

78/88

LEZIONE 3 EFFETTO DELLA CONTINUITA' STRUTTURALE

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- **Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale

Prima e ultima campata: 0,4l a sinistra e 0,6l a destra
Campate interne: 0,5l a sinistra e a destra

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

79/88

LEZIONE 3

EFFETTO DELLA CONTINUITA' STRUTTURALE

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale

Punti di taglio nulli

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

80/88

LEZIONE 3

EFFETTO DELLA CONTINUITA' STRUTTURALE

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale

Prima e ultima campata: 40% della lunghezza teorica della campata
Altre campate: 50% delle lunghezze teoriche delle due campate adiacenti (11^a campata: 60% della prima)

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

81/88

Predimensionamento pilastri – SLU statico

$v = 0,90$

$$\lambda = \frac{l_0}{i_{\min}}$$

$$\lambda_{\lim} = \frac{15,4 C}{\sqrt{v}} = 44$$

$$i_{\min} = \frac{l_0}{\lambda_{\lim}} = \frac{l_0}{44}$$

sez R: $(b, h)_{\min} = i_{\min} \sqrt{12} = 0,08 l_0$ sez C: $\phi_{\min} = 4 i_{\min} = 0,09 l_0$

$C = 2,7$ $C = 0,7$

Lecco, 16/3/2017

LEZIONE 3

GEOMETRIA DEI PILASTRI

NTC2008

7.4.4.2.2.1 *Presso-flessione*

Per le strutture in CD "B" ed in CD "A" la sollecitazione di compressione non deve eccedere, rispettivamente, il 65% ed il 55% della resistenza massima a compressione della sezione di solo calcestruzzo.

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

83/88

LEZIONE 3

GEOMETRIA DEI PILASTRI

7.4.4.2.2.1 Presso-flessione **NTC2008**

Per le strutture in CD "B" ed in CD "A" la sollecitazione di compressione non deve eccedere, rispettivamente, il 65% ed il 55% della resistenza massima a compressione della sezione di solo calcestruzzo.

column, pilastro

$$N_{Rd} = A_c \cdot f_{cd}$$

$$f_{cd} = 0,55 R_{ck}$$

R = resistance, resistenza c = concrete, calcestruzzo
d = design, progetto d = design, progetto

$$CD \ll B \gg \Rightarrow 0,65 N_{Rd} = A_{c,min} 0,65 \cdot 0,55 R_{ck} = 0,36 \cdot A_{c,min} \cdot R_{ck}$$

Individuata «l'area di influenza» A_{in} di un pilastro a un singolo piano, se n è il numero di piani:

$$N_{Sd} = (\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k) \cdot n \cdot A_{in} \quad \frac{2}{8} = 0,33$$

$$\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k = G_k (\gamma_G + \gamma_Q \cdot \frac{Q_k}{G_k}) \cong 1,80 \cdot G_k$$

$$1,3 + 1,5 \times 0,33 = 1,80$$

$$N_{Rd} = N_{Sd} \Rightarrow 0,36 \cdot A_{c,min} \cdot R_{ck} = 1,80 \cdot G_k \cdot (n \cdot A_{in})$$

$$A_{c,min} = \frac{5 \cdot G_k}{R_{ck}} (n \cdot A_{in}) \quad A_{c,min}, A_{in} [m^2], G_k, R_{ck} [kN/m^2]$$

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

84/88

LEZIONE 3

GEOMETRIA DEI PILASTRI

7.4.4.2.2.1 Presso-flessione **NTC2008**

Per le strutture in CD "B" ed in CD "A" la sollecitazione di compressione non deve eccedere, rispettivamente, il 65% ed il 55% della resistenza massima a compressione della sezione di solo calcestruzzo.

$$A_{c,min} = \frac{5 \cdot G_k}{R_{ck}} (n \cdot A_{in})$$

ESEMPIO

$$A_{in} = (4 \times 6) m^2 = 24 m^2 \quad n = 5 \text{ piani}$$

$$G_k = 6,0 kN/m^2$$

$$R_{ck} = 30 N/mm^2 = \frac{30 \cdot 10^{-3} kN}{10^{-6} m^2} = 30 \cdot 10^3 kN/m^2$$

$$A_{c,min} = \frac{5 \cdot 6}{30 \cdot 10^3} (5 \cdot 24) = 120 \cdot 10^{-3} = 0,12 m^2$$

Pilastro rettangolare R (0,3x0,4) m, (0,25x0,5) m, ...

Se si assume $R_{ck} = 30 N/mm^2$ e $G_k = 6,0 kN/m^2$

$$A_{c,min} = \frac{n \cdot A_{in}}{1000} \quad A_{c,min}, A_{in} [m^2]$$

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

85/88

Cosa passa il convento'

Inerzia minima degli elementi di controvento per carichi verticali

$$F_{V,Ed} = k_1 \frac{n_s}{n_s + 1,6} \frac{\sum E_{cd} I_c}{L^2} \Rightarrow \sum I_c = \frac{F_{V,Ed} L^2}{k_1 E_{cd}} \left(1 + \frac{1,6}{n_s} \right)$$

Verificare se gli elementi disponibili (vani ascensore) sono sufficienti per controventare il sistema (a nodi fissi)

$K_1 = 0,31/0,62$ almeno un controvento fessurato/non fessurato sotto N_{Ed}, M_{Ed}

Lecco, 16/3/2017

"Conceptual Design" delle strutture di un edificio in c.a.

semplicità strutturale,
 uniformità, simmetria, ridondanza,
 rigidità di piano,
 rigidità flessionale e torsionale,
 deformabilità limitata,
 duttilità degli elementi,
elementi primari e secondari,
movimenti torsionali limitati.

Lecco, 16/3/2017

$R_{ed} = \frac{\sum K_{ed}}{\sum K_x}$ $R_{ed} = \frac{\sum K_{ed}}{\sum K_x}$

Resistenza e duttilità



Lecco, 16/3/2017

I 10 passi del progetto preliminare

SCELTE PRELIMINARI

1. Analisi critica della "geometria" complessiva
2. Materiali e tipologia strutturale

AZIONI VERTICALI

3. Analisi carichi verticali: pesi propri G_1 , permanenti portati G_2 , variabili Q_k
4. Predimensionamento solai (SLE)
5. Aree di carico di competenza di travi, pilastri, setti e nuclei (CACD)
6. Predimensionamento degli elementi verticali (SLU)

AZIONI SISMICHE

7. Stima del periodo T_1
8. Predimensionamento degli elementi di controvento e verifica di T_1
9. Distribuzione planimetrica degli elementi di controvento

AZIONI VERTICALI

10. Predimensionamento delle travi (SLU)

Lecco, 16/3/2017

$R_{ed} = \frac{\sum K_{ed}}{\sum K_x}$ $R_{ed} = \frac{\sum K_{ed}}{\sum K_x}$

I PASSI SUCCESSIVI: STIMA DELL'AZIONE SISMICA

PERIODO : FORMULA DI RAYLEIGH

ACCELERAZION: SPETTRO DI RISPOSTA

Lecco, 16/3/2017

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

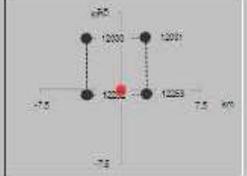
Ricerca per coordinate: LONGITUDINE: 9,8179 LATITUDINE: 46,4416

Ricerca per comune: REGIONE: Piemonte PROVINCIA: Novara COMUNE: Novara

Elaborazioni grafiche:
 Grafici spettri di risposta
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche:
 Tabella parametri

Modi del reticolo intorno al sito:



Reticolo di riferimento:

Controllo sul reticolo:
 sito stesso si lavora
 interpolazione su 3 nodi
 interpolazione completa

Interpolazione:

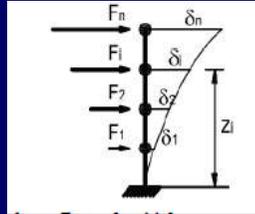
La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate (ISTAT) del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle ipotizzate e si consiglia quindi la "Ricerca per coordinate".

Lecco, 16/3/2017

Edifici normali con strutture di calcestruzzo o edifici non verificati con regole semplificate

1. Periodo proprio T_1 (Rapporto di Rayleigh)

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_i m_i \delta_i^2}{\sum_i F_i \delta_i}}$$



Indipendente dall'intensità delle forze e, in larga misura, anche dalla distribuzione delle forze

Calcolare il periodo!

$R_{ed} = 30$ N/mmq, $E = 31447$ N/mmq, $\beta_{ed} = 0,5$

$l_x = 1,69$ m, $l_y = 2,5$ m, $A = 4,56$ m², $t_x = 1,2$ m, $t_y = 1,2$ m

$n_x = 6 < 11$, $h_{piano} = 3,00$ m, $W_{piano} = 5731$ kN

1) IMPOSTA TABELLA

Piano	h _i [m]	z _i [m]	W _i [kN]	m _i [kg]	m _i z _i [kgm]	F _i [kN]	DIREZIONE X			DIREZIONE Y				
							δ_i [m]	$m_i \delta_i^2$ [kgm ²]	$F_i \delta_i$ [kNm]	δ_i [m]	$m_i \delta_i^2$ [kgm ²]	$F_i \delta_i$ [kNm]		
Totali							33912	3457	35935	33912	2707,72	32955,70	1811,20	26927,61
6	3	18,00	5257	536	9646	9103	1,54	1272,07	14024,93	1,22	802,77	11141,42		
5	3	15,00	5731	584	8763	8270	1,19	821,45	9806,17	1,00	578,55	8229,61		
4	3	12,00	5731	584	7010	6616	0,84	412,90	5561,85	0,71	296,14	4710,91		
3	3	9,00	5731	584	5258	4962	0,52	159,77	2054,81	0,43	106,41	2137,42		
2	3	6,00	5731	584	3505	3308	0,26	38,53	849,57	0,20	23,69	666,10		
1	3	3,00	5731	584	1753	1654	0,07	3,00	118,46	0,05	1,64	87,76		

2) CALCOLA PERIODO

$T_{1x} = 1,80$ sec, $T_{1y} = 1,63$ sec

3) VERIFICA DI TETA

Piano	h _i [m]	z _i [m]	W _i [kN]	P _i [kN]	F _i [kN]	V _i [kN]	δ_i [m]	d _x [m]	θ_i [rad]	δ_i [m]	d _y [m]	θ_i [rad]
Totali												
6	3	18,00	5257	5257	9103	9103	1,54	0,35	0,43	1,22	0,23	0,23
5	3	15,00	5731	10988	8270	17373	1,19	0,35	0,10	1,00	0,28	0,11
4	3	12,00	5731	16719	6616	23988	0,84	0,32	0,10	0,71	0,28	0,09
3	3	9,00	5731	22450	4962	28950	0,52	0,27	0,05	0,43	0,23	0,05
2	3	6,00	5731	28181	3308	32289	0,26	0,19	0,02	0,20	0,15	0,02
1	3	3,00	5731	33912	1654	33912	0,07	0,07	0,00	0,05	0,05	0,00

$e_i = \frac{P_i d_i}{V_i}$

Lecco, 16/3/2017

I PASSI SUCCESSIVI:

PREDIMENSIONAMENTO (A TAGLIO)

DEGLI ELEMENTI DI CONTROVENTO

Lecco, 16/3/2017

Verifiche elementi strutturali

3) Aree a taglio e tagliante alla base H_E

3. Aree a taglio degli elementi verticali "ridotte" per tener conto delle eccentricità x rispetto a CM:

$$A_{ti\ x,y} = A_t / (1 + 0,6 x/L_e)$$

3.3 Area a taglio totale nelle direzioni x,y $A_{t\ x,y} = \sum A_{ti\ x,y}$

3.4 Area totale minima a taglio $A_{t\ x,y} \geq 1,5 H_E / \tau$

Da NT 7.4.4.5.2.2 - progetto pareti in CD"A":

$$\tau = 0,20 f_{cd} = 0,20 \times 0,47 R_{ck} \approx 0,1 R_{ck}$$

Lecco, 16/3/2017

**I PASSI SUCCESSIVI:
GEOMETRIA DELLE TRAVI**

Lecco, 16/3/2017

Rapporti delle sollecitazioni nei diversi stati limite

Analisi elastica lineare \rightarrow
$$\frac{E_k}{E_d} = \frac{G + \psi Q_k}{1,30 G + 1,50 Q_k} = \frac{1 + \psi \frac{Q_k}{G}}{1,30 + 1,50 \frac{Q_k}{G}}$$

Combinazione	Codice azione	ψ	M_{Ek}/M_{Ed} per $Q_k/G =$											
			0,05	0,10	0,20	0,33	0,40	0,50	0,75	1,00	1,50	2	4	10
QP	H-V-N1	0,00	0,73	0,69	0,63	0,56	0,53	0,49	0,41	0,36	0,28	0,23	0,14	0,06
	N2	0,20	0,73	0,70	0,65	0,59	0,57	0,54	0,47	0,43	0,37	0,33	0,25	0,18
	A-B-G	0,30	0,74	0,71	0,66	0,61	0,59	0,56	0,51	0,46	0,41	0,37	0,30	0,25
	C-D-F	0,60	0,75	0,73	0,70	0,67	0,65	0,63	0,60	0,57	0,54	0,51	0,47	0,43
	E	0,80	0,76	0,74	0,73	0,70	0,69	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58	0,55
CA	tutti	1,00	0,76	0,76	0,75	0,74	0,74	0,73	0,72	0,71	0,70	0,70	0,68	0,67
Fondamentale	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Tab. 30.01 – Rapporti M_{Ek}/M_{Ed} - $\gamma_G = 1,30$

Lecco, 16/3/2017

Progetto delle sezioni delle travi: i cinque vincoli

1. Geometria $b_{max} = l_c + h_s$
2. Inflessione $f_{max} \text{ a } t = \infty$
3. Tensioni

Calcestruzzo σ_c/f_{ck}		Acciaio σ_s/f_{yk}	
QP	CA	QP	CA
$\leq 0,45$	$\leq 0,60$	$0,35 - 0,62$	$\leq 0,80$

Tab. 32.01 – Rapporti limite di tensione per materiale e combinazione di carico¹⁵
4. Sollecitazioni in esercizio $M_{Rk} \geq M_{Ek, QP}, M_{Ek, CA}$
5. Sollecitazioni di SLU $M_{Rd} \geq M_{Ed}$

Lecco, 16/3/2017

Progetto delle sezioni delle travi: i cinque vincoli

QT3 – STATI LIMITE PER FLESSIONE TEORIA

M_{Ed}/M_{Rk}	$M_{Ed}/M_{Ed} l_0/d$ e ϕ_{max} per R_{ck} (N/mm ²) pari a														
	25			30			35			40			45		
	M_{Ed}/M_{Rk}	l_0/d	ϕ_{max}	M_{Ed}/M_{Rk}	l_0/d	ϕ_{max}	M_{Ed}/M_{Rk}	l_0/d	ϕ_{max}	M_{Ed}/M_{Rk}	l_0/d	ϕ_{max}	M_{Ed}/M_{Rk}	l_0/d	ϕ_{max}
0,180	0,75	16,5													
0,187	0,73	16,7													
0,190	0,72	16,8													
0,200	0,70	17,1	12	0,73	16,3										
0,210	0,68	17,5	12	0,71	16,6										
0,220	0,66	17,8	12	0,69	16,9	12	0,71	16,2							
0,230	0,64	18,2	14	0,67	17,3	12	0,69	16,6	12	0,71	16,0		0,73	15,6	
0,240	0,62	18,6	14	0,65	17,6	14	0,67	16,9	12	0,69	16,4	12	0,70	15,9	
0,250	0,61	18,9	16	0,63	18,0	14	0,65	17,3	14	0,67	16,7	12	0,69	16,2	12
0,260	0,59	19,3	18	0,62	18,4	16	0,64	17,7	14	0,65	17,1	14	0,67	16,6	12
0,270	0,58	19,7	18	0,60	18,8	16	0,62	18,0	14	0,64	17,4	14	0,65	17,0	14
0,280	0,56	20,1	20	0,59	19,1	18	0,60	18,4	16	0,62	17,8	14	0,63	17,3	14
0,290	0,55	20,5	20	0,57	19,5	18	0,59	18,8	18	0,61	18,2	16	0,62	17,7	14
0,296	0,54	20,7	20	0,57	19,8	20	0,58	19,0	18	0,60	18,4	16	0,61	17,9	16
0,310	0,53	21,3	22	0,55	20,4	20	0,57	19,6	20	0,58	19,0	18	0,59	18,5	18
0,320	0,52	21,8	24	0,54	20,8	22	0,55	20,0	20	0,57	19,4	20	0,58	18,9	18

In base al momento massimo di campata

Lecco, 16/3/2017

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- **Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale

LIMITAZIONI GEOMETRICHE - NTC 2008

7.4.6.1.1 Travi
La larghezza b della trave deve essere ≥ 20 cm e, per le travi basse comunemente denominate "a spessore", deve essere non maggiore della larghezza del pilastro, aumentata da ogni lato di metà dell'altezza della sezione trasversale della trave stessa, risultando comunque non maggiore di due volte b_c , essendo b_c la larghezza del pilastro ortogonale all'asse della trave.
 Il rapporto b/h tra larghezza e altezza della trave deve essere ≥ 0.25 .

7.4.6.1.2 Pilastri
 La dimensione minima della sezione trasversale non deve essere inferiore a 250 mm.

PILASTRI **TRAVI** **TRAVI IN SPESSORE**

$b_c, h_c \geq 25$ cm $b \geq \frac{h}{4} \geq 20$ cm $b = \min(2b_c; b_c+h)$

$h = 80$ $b \geq 20$ cm $b_c = 30 > 25$ cm
 $h = 60$ $b_{min} = 20$ cm $h = 25$ cm
 $b = \min(60, 55) = 55$ cm

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

103/88

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- **Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale

LIMITAZIONI GEOMETRICHE - NTC 2008

7.4.6.1.3 Nodi trave-pilastro
Sono da evitare per quanto possibile eccentricità tra l'asse della trave e l'asse del pilastro concorrenti in un nodo. Nel caso che tale eccentricità superi $1/4$ della larghezza del pilastro la trasmissione degli sforzi deve essere assicurata da armature adeguatamente dimensionate allo scopo.

$e \leq \frac{1}{4} b_c$

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

104/88

LEZIONE 3

- Azioni sulle costruzioni
- Conceptual design
- **Progettazione elementi strutturali**
- Regolarità strutturale

SETTI E PARETI - NTC 2008

7.4.6.1.4 Pareti
Lo spessore delle pareti deve essere non inferiore al valore massimo tra 150 mm, (200 mm nel caso in cui nelle travi di collegamento siano da prevedersi, ai sensi del § 7.4.4.6, armature inclinate), e $1/20$ dell'altezza libera di interpiano.

Possono derogare da tale limite, su motivata indicazione del progettista, le strutture a funzionamento scatolare ad un solo piano non destinate ad uso abitativo.
Devono essere evitate aperture distribuite inegolarmente, a meno che la loro presenza non venga specificamente considerata nell'analisi, nel dimensionamento e nella disposizione delle armature.

$h \geq 4b$

$b \geq \max(20 \text{ cm}; \frac{H}{20})$

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco, 16/03/2017

105/88

Ordine degli Ingegneri di Lecco

CORSO DI AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

«PROGETTARE EDIFICI IN ZONA SISMICA»

PROGETTARE LE STRUTTURE

MODULO M3

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Ipogea Associati – Torino
 ipogea.ass@gmail.com

Lecco, 16/03/2017