

ESERCITAZIONE N. 1

Presentazione del progetto

Corso di Costruzioni in Zona Sismica
A/A 2019-2020

Università degli Studi Roma Tre - Facoltà di Ingegneria

Dott. Ing. Corritore Daniele PhD

Organizzazione e finalità delle esercitazioni

- **Docenti:**

Dott. Ing. Daniele Corritore - Ricercatore Università Roma Tre
Ing. Pietro Meriggi– PHD student Università Roma Tre

- **Finalità:** Sviluppo del progetto di un edificio in cemento armato posto in zona sismica.
(Relazione + Elaborati grafici)

- **Lezioni/Esercitazioni a cadenza settimanale:**

- a. Spiegazione argomenti riguardanti la parte della progettazione;
- b. Attività di revisione dei progetti.

- **Divisione in gruppi di lavoro:**

Il progetto dovrà essere sviluppato lavorando in gruppi di lavoro composti al massimo da n.2/3 studenti

Programma delle esercitazioni

	DATA	GIORNO	ORA	AULA	TEMA
1	25/09/2019	MER	09.00-11.00	N19	Introduzione al corso
2	30/09/2019	LUN	14.00-16.00	N19	Asegnazione tracce progettuali
3	07/10/2019	LUN	14.00-16.00	N19	Modellazione con software agli EF
			16.00-17.30	N19	REVISIONE DEI PROGETTI
4	14/10/2019	LUN	14.00-16.00	N19	Modi di vibrare di una struttura
			16.00-17.30	N19	REVISIONE DEI PROGETTI
5	21/10/2019	LUN	14.00-16.00	N19	Esposizione progetti/REVISIONE
			16.00-17.30	N19	REVISIONE DEI PROGETTI
6	04/11/2019	LUN	14.00-16.00	N19	Analisi statica e dinamica lineare
			16.00-17.30	N19	REVISIONE DEI PROGETTI
7	11/11/2019	LUN	14.00-16.00	N19	Progetto delle travi e dei pilastri
			16.00-17.30	N19	REVISIONE DEI PROGETTI
8	02/12/2019	LUN	14.00-16.00	N19	progetto dei nodi e dei setti
			16.00-17.30	N19	REVISIONE DEI PROGETTI
9	09/12/2019	LUN	14.00-16.00	N19	REVISIONE DEI PROGETTI
10	16/12/2019	LUN	14.00-16.00	N19	REVISIONE DEI PROGETTI

Organizzazione e finalità delle esercitazioni

- **Consegne**

Prima consegna - Deadline 28/10/2019

- Relazione che dovrà includere i calcoli eseguiti per il predimensionamento degli elementi strutturali, le caratteristiche dei materiali, l'analisi dei carichi, il calcolo delle masse sismiche, il calcolo del centro delle rigidità, la descrizione del modello agli E.F. realizzato con il software di calcolo strutturale, la descrizione dei modi di vibrare della struttura.
- Tavole progettuali: Tavola architettonica (piante, prospetti, sezioni), Tavola architettonica-strutturale (indicazione dimensione elementi strutturali, pianta dei fili fissi)

Organizzazione e finalità delle esercitazioni

- **Consegne**

Seconda consegna - Deadline 23/12/2019

- Relazione delle attività progettuali svolte che dovrà includere il calcolo delle sollecitazioni negli elementi strutturali, il calcolo delle deformate della struttura, il dimensionamento degli elementi strutturali (travi, pilastri e setti), le verifiche strutturali.
- Tavole progettuali: Tavola carpenteria travi, tavola carpenteria pilastri, tavola carpenteria dei setti, tavola carpenteria della scala.

Organizzazione e finalità delle esercitazioni

- **Consegne**

Consegna finale - Deadline 10 giorni prima dell'esame

- Relazione di calcolo delle attività progettuali svolte
- Tavole progettuali complete.

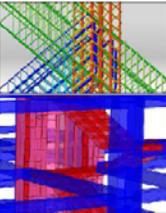
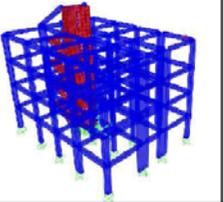
Descrizione progetto

ELABORAZIONE RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO

Descrizione esauriente degli step progettuali eseguiti e riassuntiva dei risultati ottenuti. Completa di tabelle, richiami normativi, calcoli eseguiti, risultati delle analisi, etc.....

VEDI RELAZIONE TECNICA STRUTTURALE TIPO


Relazione di calcolo
 Esame: Costruzioni in zona sismica

Docenti: Prof. Ing. C. Nuti, Ing. A. Bergami, Ing. D. Lavorato
 Studenti: Edoardo Neri, Fabio Perilli, Francesco Falsetti

Anno Accademico 2011/2012

q_{sk} = valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo.
 Per la zona III e sotto i 200 m s.l.m. dove è ubicata la struttura è di $0,6 \text{ KN/m}^2$
 C_e = coefficiente di esposizione; per zone normalmente battute dai venti vale 1.
 C_t = coefficiente termico che può essere preso pari a 1.
 Il carico neve così calcolato è $q_s = 0,40 \text{ KN/m}^2$
 Al balcone va aggiunto uno strato di impermeabilizzazione (per proteggere il solaio dagli effetti meteorici); inoltre non compatino i tramezzi ma c'è un parapetto alto 1,00 m.
 Si riportano di seguito le tabelle relative ai diversi solai:

Analisi dei carichi del solaio interno e di copertura:

Analisi dei carichi del solaio interno				
Carichi strutturali G_s				
Elementi	h (m)	L (m)	P (KN/m ²)	P (KN/m ²)
Travetti (c.a.)	0,25	0,24	25	1,5
Solella (c.a.)	0,05	1	25	1,25
Pignette	0,25	0,76	5,5	1,05
Totale carichi				3,8
Carichi non strutturali G_s				
Elementi	h (m)	L (m)	P (KN/m ²)	P (KN/m ²)
Massetto	0,04	1	10	0,72
Pavimento (marmo)	0,03	1	26	0,78
Intonaco	0,015	1	20	0,3
Tramezzi				1,2
Totale carichi				3,0
Totale carichi permanenti				6,8
Carichi variabili Q_s				
Ambiente	H(m)	L(m)	P (KN/m ²)	P (KN/m ²)
Ambiente ad uso residenziale (Cat.A: locale di abitazione civile)				2
Totale carichi variabili				2

Progetto di un edificio in zona sismica Pagina 20

La prima cosa da fare è definire nel programma l'analisi modale e i suoi parametri attraverso la finestra sotto riportata.



Sono stati scelti, come modi da studiare, i primi 12 modi naturali della struttura. Questa scelta è stata effettuata per avere un numero di modi sufficienti a raggiungere una quota di massa partecipante cumulata superiore al 85% della massa totale. Infatti come già detto precedentemente bisogna considerare per l'analisi tutti i modi superiori al 5%.

Il valore di 12 è stato poi verificato ed è risultato sufficiente allo scopo.

Analisi modale della struttura senza pareti:

Il primo modello della struttura esaminato, è realizzato mediante elementi frame e shells che sono stati utilizzati per modellare il setto dell'ascensore e le scale.

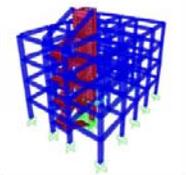


Tabella riassuntiva dei periodi e delle masse partecipanti dei 12 modi associate ai tre gradi di libertà:

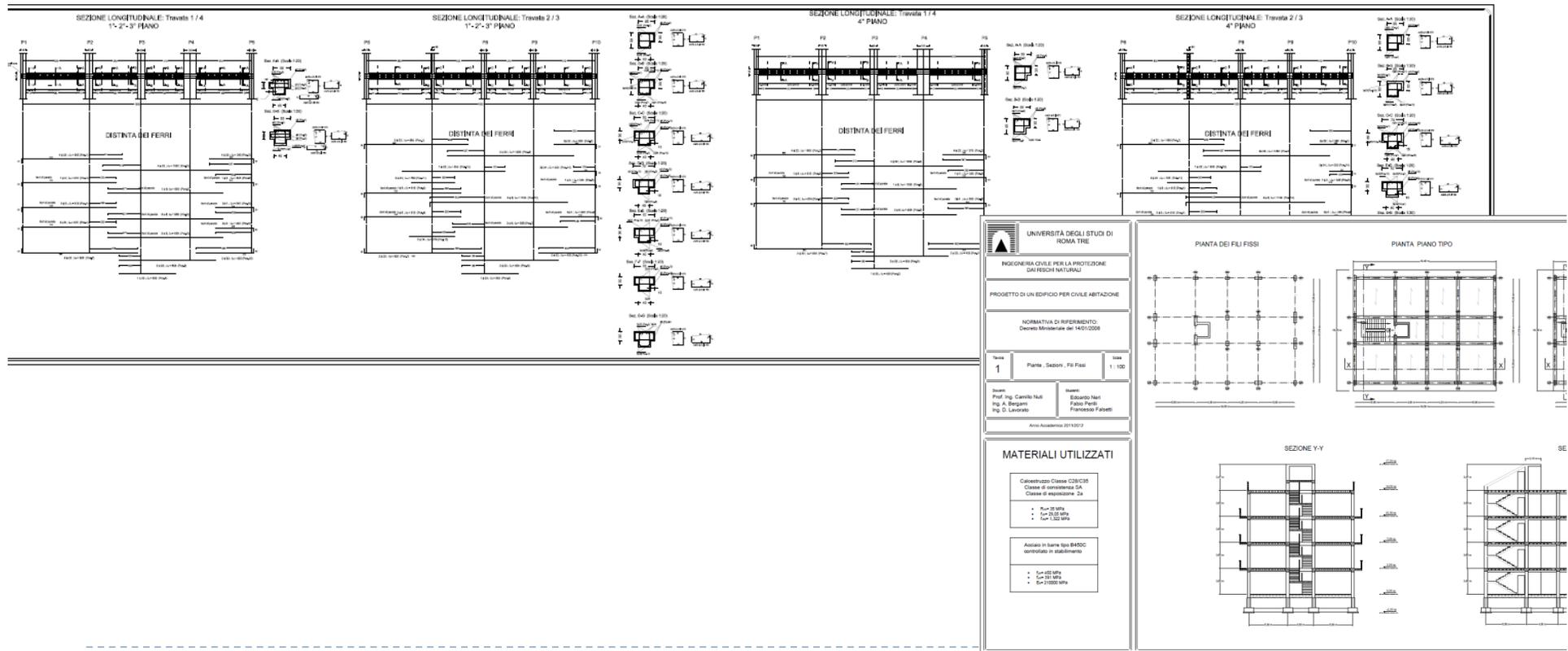
Progetto di un edificio in zona sismica Pagina 101

Descrizione progetto

PRODUZIONE ELABORATI PROGETTUALI

Complete di sezioni, distinta dei ferri, dettagli costruttivi e con una veste grafica adeguata.

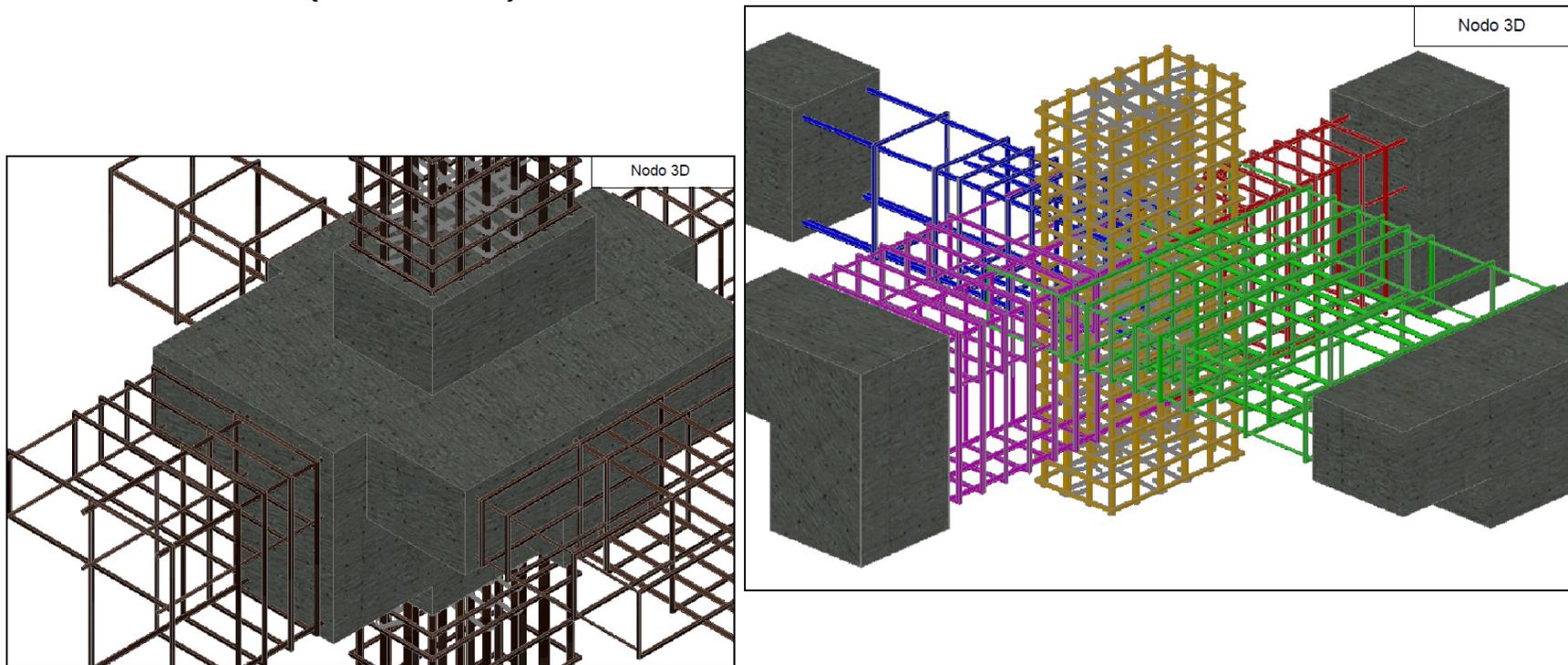
VEDI ELABORATI PROGETTUALI TIPO



Finalità delle esercitazioni

PRODUZIONE ELABORATI PROGETTUALI

Tavola nodo 3D (facoltativa).



Normativa – Software - Bibliografia

NORMATIVE DI RIFERIMENTO ADOTTATE:

- Normativa italiana (NTC 2018 - D.M. 17.01.2018 + cir. Esplicativa 21/01/2019);
- Eurocodici.

SOFTWARE:

- AUTODESK AUTOCAD o simili per la realizzazione dei disegni esecutivi;
- SAP 2000 per la modellazione ed il calcolo strutturale;
- MICROSOFT EXCEL o simili per le verifiche e l'elaborazione di tabelle;
- VCASLU per le verifiche delle sezioni;
- MATLAB per le verifiche.

BIBLIOGRAFIA:

- “ Progettazione sismica di edifici in calcestruzzo armato” - Guida all'uso dell'Eurocodice 2 con riferimento alle norme tecniche D.M. 14.01.2008 - Volume I e 2 – aicap promosso da AITEC, ASSOBETON e ATECAP (**AGGIORNAMENTO?**)
- “ Dettagli costruttivi di strutture in calcestruzzo armato” - aicap promosso da AITEC.

Libri reperibili on-line o direttamente in via G.Amendola 46.

1.Schema architettonico e strutturale

Schema architettonico e strutturale:

- Edificio in cemento armato;
- Edificio di tipo residenziale;
- Opera ordinaria – Vita nominale: 50 anni (NTC 2018-2.4.1);

La vita nominale di progetto V_N di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.4.I. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

V_N è dunque il parametro convenzionale correlato alla durata dell'opera alla quale viene fatto riferimento in sede progettuale per le verifiche dei fenomeni dipendenti dal tempo, (ad esempio: fatica, durabilità, ecc.), rispettivamente attraverso la scelta ed il dimensionamento dei particolari costruttivi, dei materiali e delle eventuali applicazioni di misure protettive per garantire il mantenimento dei livelli di affidabilità, funzionalità e durabilità richiesti.

1.Schema architettonico e strutturale

Assegnazione dello schema architettonico e strutturale:

- Edificio in cemento armato;
- Edificio di tipo residenziale;
- Opera ordinaria – Vita nominale ≥ 50 anni (NTC 2018-2.4.1);
- Opera per normali affollamenti - Classe d'uso II (NTC 2018-2.4.2);

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

1. Schema architettonico e strutturale

Assegnazione dello schema architettonico e strutturale:

- Edificio in cemento armato;
- Edificio di tipo residenziale;
- Opera ordinaria – Vita nominale ≥ 50 anni (NTC 2018-2.4.1);
- Opera per normali affollamenti - Classe d'uso II (NTC 2018-2.4.2);

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Per le costruzioni a servizio di attività a rischio di incidente rilevante si adotteranno valori di C_U anche superiori a 2, in relazione alle conseguenze sull'ambiente e sulla pubblica incolumità determinate dal raggiungimento degli stati limite.

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad [2.4.1]$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II.

Tempo di ritorno

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{V_R})$$

1. Schema architettonico e strutturale

Assegnazione dello schema architettonico e strutturale:

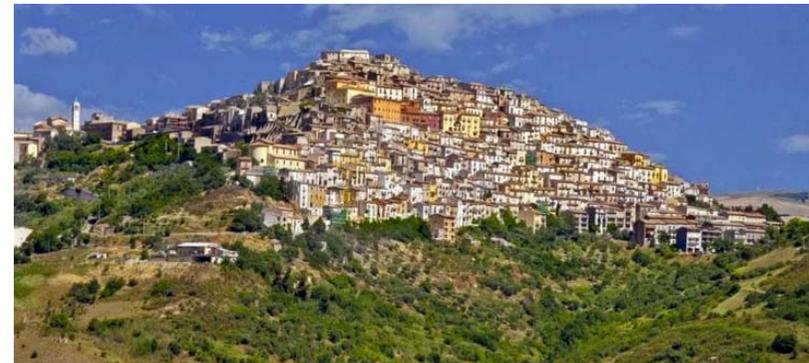
- Edificio in cemento armato;
- Edificio di tipo residenziale;
- Opera ordinaria – Vita nominale ≥ 50 anni (NTC 2018-2.4.1);
- Opera per normali affollamenti - Classe d'uso II (NTC 2018-2.4.2);
- Presenza di una scala e di un nucleo ascensore;
- Zona sismica coincidente con la parte di sismologia;
- Selezione di una categoria di sottosuolo e di condizioni topografiche a piacere;

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa medianamente addensati o terreni a grana fina medianamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$



1.Schema architettonico e strutturale

Assegnazione dello schema architettonico e strutturale:

- Edificio in cemento armato;
- Edificio di tipo residenziale;
- Opera ordinaria – Vita nominale ≥ 50 anni (NTC 2018-2.4.1);
- Opera per normali affollamenti - Classe d'uso II (NTC 2018-2.4.2);
- Presenza di una scala e di un nucleo ascensore;
- Zona sismica coincidente con la parte di sismologia;
- Selezione di una categoria di sottosuolo e di condizioni topografiche a piacere
- Dimensionamento in classe di duttilità media 'CD B' (NTC 2018-7.2.2);

CLASSI DI DUTTILITÀ

Una costruzione a comportamento strutturale dissipativo deve essere progettata per conseguire una delle due Classi di Duttilità (CD):

- Classe di Duttilità Alta (CD" A"), ad elevata capacità dissipativa;
- Classe di Duttilità Media (CD" B"), a media capacità dissipativa.

La differenza tra le due classi risiede nell'entità delle plasticizzazioni previste, in fase di progettazione, sia a livello locale sia a livello globale.

1. Schema architettonico e strutturale

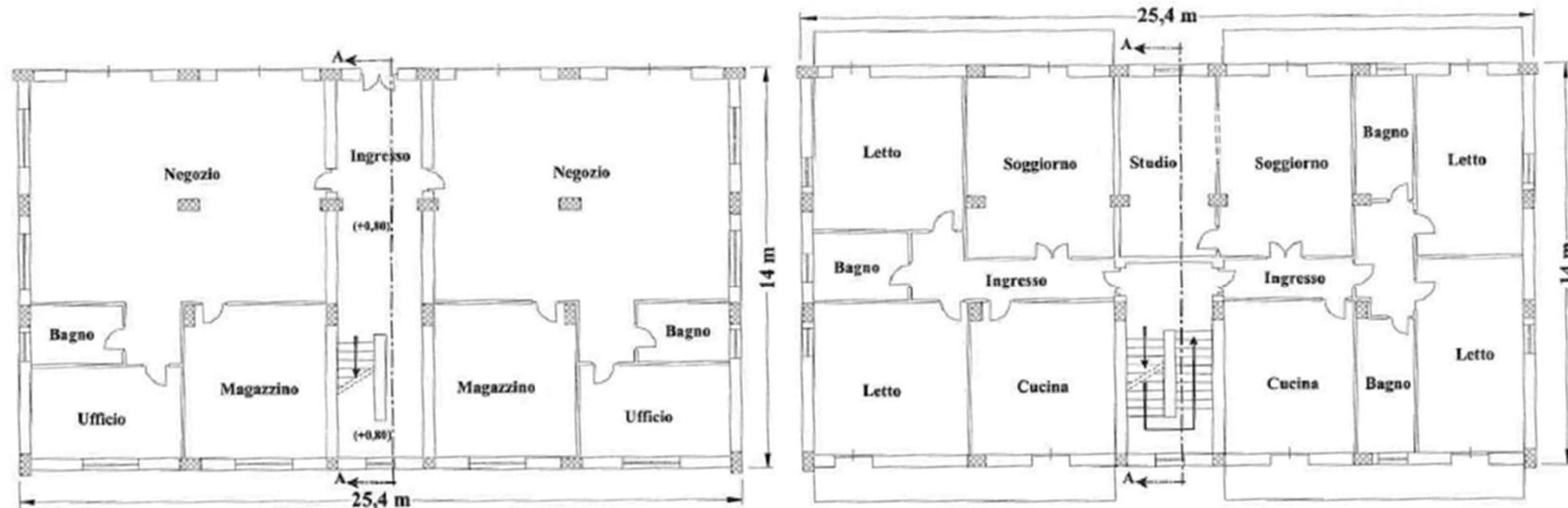


Fig. 2.1 Pianta piano tipo (sx) e primo piano (dx)

Principi di progettazione : **Semplicità strutturale, Uniformità, Simmetria**

Per edifici di civile abitazione sono consigliabili luci libere comprese fra 3 m e 5-6 m. Relativamente alla disposizione dei pilastri l'esperienza suggerisce di orientarli per il 50% in una direzione e per il 50% in quella ortogonale al fine di centrifugare le rigidità laterali ed avere rigidità confrontabili nelle due direzioni principali.

1.Schema architettonico e strutturale

Nella definizione dello schema architettonico è inoltre **consigliabile** soddisfare i requisiti di regolarità in pianta ed in altezza espressi nelle NTC 2018-7.2.1.

REGOLARITÀ

Le costruzioni devono avere, quanto più possibile, struttura iperstatica caratterizzata da *regolarità in pianta e in altezza*. Se necessario, ciò può essere conseguito suddividendo la struttura, mediante giunti, in unità tra loro dinamicamente indipendenti.

Per quanto riguarda gli edifici, una costruzione è *regolare in pianta* se tutte le seguenti condizioni sono rispettate:

- a) la distribuzione di masse e rigidezze è approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali e la forma in pianta è compatta, ossia il contorno di ogni orizzontamento è convesso; il requisito può ritenersi soddisfatto, anche in presenza di rientranze in pianta, quando esse non influenzano significativamente la rigidezza nel piano dell'orizzontamento e, per ogni rientranza, l'area compresa tra il perimetro dell'orizzontamento e la linea convessa circoscritta all'orizzontamento non supera il 5% dell'area dell'orizzontamento;
- b) il rapporto tra i lati del rettangolo circoscritto alla pianta di ogni orizzontamento è inferiore a 4;

Sempre riferendosi agli edifici, una costruzione è *regolare in altezza* se tutte le seguenti condizioni sono rispettate:

- d) tutti i sistemi resistenti alle azioni orizzontali si estendono per tutta l'altezza della costruzione o, se sono presenti parti aventi differenti altezze, fino alla sommità della rispettiva parte dell'edificio;
- g) eventuali restringimenti della sezione orizzontale della costruzione avvengano con continuità da un orizzontamento al successivo; oppure avvengano in modo che il rientro di un orizzontamento non superi il 10% della dimensione corrispondente all'orizzontamento immediatamente sottostante, né il 30% della dimensione corrispondente al primo orizzontamento. Fa eccezione l'ultimo orizzontamento di costruzioni di almeno quattro orizzontamenti, per il quale non sono previste limitazioni di restringimento.

Edifici di forma complessa possono essere scomposti in forme semplici e poi unite mediante giunti strutturali.

1. Schema architettonico e strutturale

Per ragioni di regolarità in elevazione si consiglia per ciascun pilastro **al massimo** una rastremazione della sezione trasversale di 10 cm per piano.



Modellazione della struttura in SAP2000



2. Stati limite, azioni e combinazioni

Progettazione agli stati limite : principi fondamentali

Le opere e le componenti strutturali devono essere progettate, eseguite, collaudate e soggette a manutenzione in modo tale da consentirne la prevista utilizzazione, in forma economicamente sostenibile e con il livello di sicurezza previsto dalle presenti norme.

La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale di progetto, di cui al § 2.4. Si definisce stato limite una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze elencate nelle presenti norme.

In particolare, secondo quanto stabilito nei capitoli specifici, le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU): capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone oppure comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera;
- sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE): capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- sicurezza antincendio: capacità di garantire le prestazioni strutturali previste in caso d'incendio, per un periodo richiesto;
- durabilità: capacità della costruzione di mantenere, nell'arco della vita nominale di progetto, i livelli prestazionali per i quali è stata progettata, tenuto conto delle caratteristiche ambientali in cui si trova e del livello previsto di manutenzione;
- robustezza: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità di possibili cause innescanti eccezionali quali esplosioni e urti.

2. Stati limite, azioni e combinazioni

Progettazione agli stati limite : principi fondamentali

2.2.4. DURABILITA'

Un adeguato livello di durabilità può essere garantito progettando la costruzione, e la specifica manutenzione, in modo tale che il degrado della struttura, che si dovesse verificare durante la sua vita nominale di progetto, non riduca le prestazioni della costruzione al di sotto del livello previsto.

Tale requisito può essere soddisfatto attraverso l'adozione di appropriati provvedimenti stabiliti tenendo conto delle previste condizioni ambientali e di manutenzione ed in base alle peculiarità del singolo progetto, tra cui:

- a) scelta opportuna dei materiali;
- b) dimensionamento opportuno delle strutture;
- c) scelta opportuna dei dettagli costruttivi;
- d) adozione di tipologie costruttive e strutturali che consentano, ove possibile, l'ispezionabilità delle parti strutturali;
- e) pianificazione di misure di protezione e manutenzione; oppure, quando queste non siano previste o possibili, progettazione rivolta a garantire che il deterioramento della costruzione o dei materiali che la compongono non ne causi il collasso;
- f) impiego di prodotti e componenti chiaramente identificati in termini di caratteristiche meccanico-fisico-chimiche, indispensabili alla valutazione della sicurezza, e dotati di idonea qualificazione, così come specificato al Capitolo 11;
- g) applicazione di sostanze o ricoprimenti protettivi dei materiali, soprattutto nei punti non più visibili o difficilmente ispezionabili ad opera completata;
- h) adozione di sistemi di controllo, passivi o attivi, adatti alle azioni e ai fenomeni ai quali l'opera può essere sottoposta.

Le condizioni ambientali devono essere identificate in fase di progetto in modo da valutarne la rilevanza nei confronti della durabilità.

2. Stati limite, azioni e combinazioni

Progettazione agli stati limite : principi fondamentali

C4.1.6.1.3 Copriferro e interferro

Con riferimento al § 4.1.6.1.3 delle NTC, al fine della protezione delle armature dalla corrosione il valore minimo dello strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve rispettare quanto indicato in Tabella C4.1.IV, nella quale sono distinte le tre condizioni ambientali di Tabella 4.1.IV delle NTC. I valori sono espressi in mm e sono distinti in funzione dell'armatura, barre da c.a. o cavi aderenti da c.a.p. (fili, trecce e trefoli), e del tipo di elemento, a piastra (solette, pareti,...) o monodimensionale (travi, pilastri,...).

A tali valori di tabella vanno aggiunte le tolleranze di posa, pari a 10 mm o minore, secondo indicazioni di norme di comprovata validità.

I valori della Tabella C4.1.IV si riferiscono a costruzioni con vita nominale di 50 anni (Tipo 2 secondo la Tabella 2.4.I delle NTC). Per costruzioni con vita nominale di 100 anni (Tipo 3 secondo la citata Tabella 2.4.I) i valori della Tabella C4.1.IV vanno aumentati di 10 mm. Per classi di resistenza inferiori a C_{min} i valori della tabella sono da aumentare di 5 mm. Per produzioni di elementi sottoposte a controllo di qualità che preveda anche la verifica dei copriferri, i valori della tabella possono essere ridotti di 5 mm.

Per acciai inossidabili o in caso di adozione di altre misure protettive contro la corrosione e verso i vani interni chiusi di solai alleggeriti (alveolari, predalles, ecc.), i copriferri potranno essere ridotti in base a documentazioni di comprovata validità.

Tabella C4.1.IV - Copriferri minimi in mm

			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
C_{min}	C_0	ambiente	$C \geq C_0$	$C_{min} \leq C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} \leq C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} \leq C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} \leq C < C_0$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

2. Stati limite, azioni e combinazioni

Progettazione agli stati limite : principi fondamentali

2.2.1. STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

I principali Stati Limite Ultimi sono elencati nel seguito:

- a) perdita di equilibrio della struttura o di una sua parte, considerati come corpi rigidi;
- b) spostamenti o deformazioni eccessive;
- c) raggiungimento della massima capacità di parti di strutture, collegamenti, fondazioni;
- d) raggiungimento della massima capacità della struttura nel suo insieme;
- e) raggiungimento di una condizione di cinematismo irreversibile;
- f) raggiungimento di meccanismi di collasso nei terreni;
- g) rottura di membrature e collegamenti per fatica;
- h) rottura di membrature e collegamenti per altri effetti dipendenti dal tempo;
- i) instabilità di parti della struttura o del suo insieme;

Altri stati limite ultimi sono considerati in relazione alle specificità delle singole opere; in presenza di azioni sismiche, gli Stati Limite Ultimi comprendono gli Stati Limite di salvaguardia della Vita (SLV) e gli Stati Limite di prevenzione del Collasso (SLC), come precisato nel § 3.2.1.

2. Stati limite, azioni e combinazioni

Progettazione agli stati limite : principi fondamentali

2.2.2. STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

I principali Stati Limite di Esercizio sono elencati nel seguito:

- a) danneggiamenti locali (ad es. eccessiva fessurazione del calcestruzzo) che possano ridurre la durabilità della struttura, la sua efficienza o il suo aspetto;
- b) spostamenti e deformazioni che possano limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto;
- c) spostamenti e deformazioni che possano compromettere l'efficienza e l'aspetto di elementi non strutturali, impianti, macchinari;
- d) vibrazioni che possano compromettere l'uso della costruzione;
- e) danni per fatica che possano compromettere la durabilità;
- f) corrosione e/o degrado dei materiali in funzione del tempo e dell'ambiente di esposizione che possano compromettere la durabilità.

Altri stati limite sono considerati in relazione alle specificità delle singole opere; in presenza di azioni sismiche, gli Stati Limite di Esercizio comprendono gli Stati Limite di Operatività (SLO) e gli Stati Limite di Danno (SLD), come precisato nel § 3.2.1.

2. Stati limite, azioni e combinazioni

Si fa riferimento a 4 stati limite per l'azione sismica:

SLE

- ▶ Stato Limite di Operatività (SLO)
- ▶ Stato Limite di Danno (SLD)

SLU

- ▶ Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)
- ▶ Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)

Nei confronti delle azioni sismiche, sia gli Stati limite di esercizio (SLE) che gli Stati limite ultimi (SLU) sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli Stati limite di esercizio (SLE) comprendono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

2. Stati limite, azioni e combinazioni

Si fa riferimento a 4 stati limite per l'azione sismica:

SLE

- ▶ Stato Limite di Operatività (SLO)
- ▶ Stato Limite di Danno (SLD)

SLU

- ▶ Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)
- ▶ Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)

Nei confronti delle azioni sismiche, sia gli Stati limite di esercizio (SLE) che gli Stati limite ultimi (SLU) sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli Stati limite ultimi (SLU) comprendono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

2. Stati limite, azioni e combinazioni

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tab. 3.2.I.

Tab. 3.2.I – Probabilità di superamento P_{V_R} in funzione dello stato limite considerato

Stati Limite	P_{V_R} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di P_{V_R} forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza P_{V_R} nel periodo di riferimento V_R si ricava il periodo di ritorno T_R del sisma utilizzando la relazione:

$$T_R = - V_R / \ln (1- P_{V_R}) = - C_U V_N / \ln (1- P_{V_R}) \quad [3.2.0]$$

2. Stati limite, azioni e combinazioni

Ci si riferisce dunque a due Stati Limite di Esercizio (SLE), lo Stato Limite di immediata Operatività (SLO), particolarmente utile come riferimento progettuale per le opere che debbono restare operative durante e subito dopo il terremoto (ospedali, caserme, centri della protezione civile, etc.) e lo Stato Limite di Danno (SLD) – definito come stato limite da rispettare per garantire inagibilità solo temporanee nelle condizioni post-sismiche, in tal modo articolando le prestazioni della struttura in termini di esercizio.

In modo analogo, ci si riferisce a due Stati Limite Ultimi (SLU) facendo seguire allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV), individuato definendo puntualmente lo stato limite ultimo, lo Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC), particolarmente utile come riferimento progettuale per alcune tipologie strutturali (strutture con isolamento e dissipazione di energia) e, più in generale, nel quadro complessivo della progettazione antisismica.

In mancanza di espresse indicazioni in merito, per un edificio ordinario il rispetto dei vari stati limite si considera conseguito:

- ▶ **Nei confronti di tutti gli stati limite di esercizio qualora siano rispettate le verifiche relative al solo SLD;**
- ▶ **Nei confronti di tutti gli stati limite ultimi qualora siano rispettate le verifiche relative al solo SLV.**

2. Stati limite, azioni e combinazioni

DEFINIZIONE DELLE AZIONI:

- Pesi propri strutturali (es. soletta, travi, pilastri, setti, solai, fasce piene.....);
- Carichi permanenti non strutturali (es. massetti, intonaci, pavimentazione, tramezzature, tamponature...);
- Carichi variabili legati alla destinazione d'uso;

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
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		

2. Stati limite, azioni e combinazioni

- Azione sismica;
- Azione della neve.

3.4.1. CARICO DELLA NEVE SULLE COPERTURE

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

$$q_s = q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_E \cdot C_t \quad [3.4.1]$$

dove:

q_{sk} è il valore di riferimento del carico della neve al suolo, di cui al § 3.4.2;

μ_i è il coefficiente di forma della copertura, di cui al § 3.4.3;

C_E è il coefficiente di esposizione di cui al § 3.4.4;

C_t è il coefficiente termico di cui al § 3.4.5.

Tab. 3.4.I – Valori di C_E per diverse classi di esposizione

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

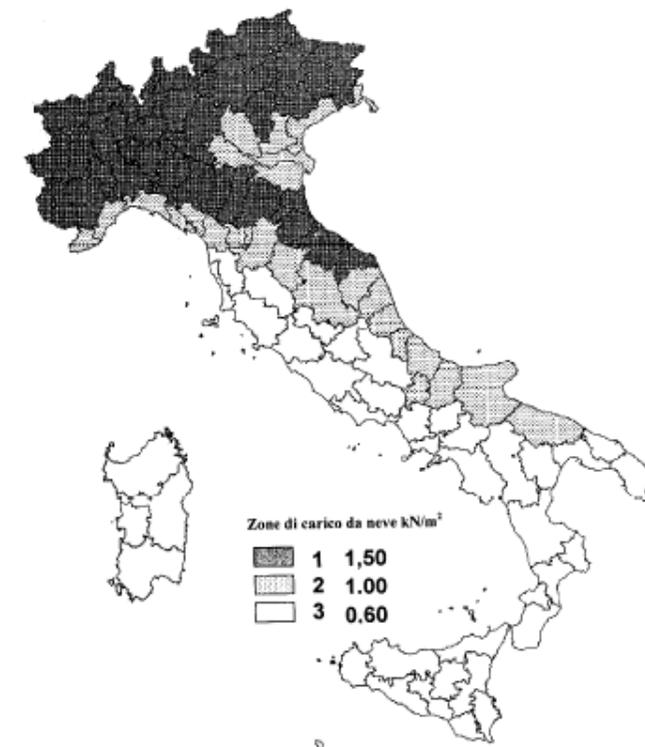


Figura 3.4.1 – Zone di carico da neve

2. Stati limite, azioni e combinazioni

Per la verifica agli stati limite esistono diverse modalità di combinazione delle azioni (vedi punto 2.5.3 delle NTC2018).

2.5.3. COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

– Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

– Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

– Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{33} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

– Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

– Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

– Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.6]$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

2. Stati limite, azioni e combinazioni

Per la verifica agli stati limite esistono diverse modalità di combinazione delle azioni (vedi punto 2.5.3 delle NTC2018).

La combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU) :

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

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

In cui G_1 è il peso proprio di tutti gli elementi strutturali;
 G_2 è il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
 P è il valore della forza di precompressione;
 Q_{k1} è il valore caratteristico dell'azione variabile dominante;
 $Q_{k,i}$ è il valore caratteristico dell'azione variabile non dominante i ;

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		γ_F			
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qk}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
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 - Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I - Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K - Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)	da valutarsi caso per caso		

3. Materiali e resistenze di calcolo

Scelta dei materiali impiegati: calcestruzzo (NTC2018-4.1.1) ed acciaio (NTC2018-11.3.2)

CLASSE DI RESISTENZA
C8/10
C12/15
C16/20
C20/25
C25/30
C28/35
C32/40
C35/45
C40/50
C45/55
C50/60
C55/67
C60/75
C70/85
C80/95
C90/105

Per un calcestruzzo C25/30:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,85 \cdot \frac{25}{1,5} = 14,1 \text{ N / mm}^2$$

$$E_{cm} = 22000 \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{0,3} = 22000 \left(\frac{33}{10} \right)^{0,3} = 31475 \text{ N / mm}^2$$

f_{cm} è il valore medio della resistenza cilindrica a compressione pari a $f_{ck} + 8$

Per acciaio di uso comune B450C:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{450}{1,15} = 391 \text{ N / mm}^2$$

dove: γ_s è il fattore parziale di sicurezza per l'acciaio pari a 1,15.

Il valore di progetto del modulo elastico E_s si assume pari a 210000 N/mm² [11.3.4 - NTC].

4. Predimensionamento degli elementi strutturali

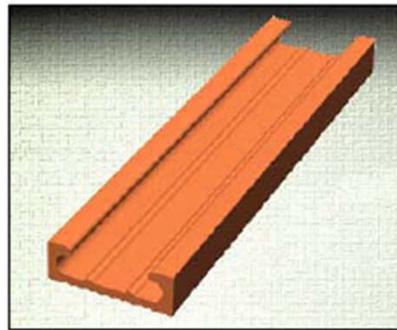
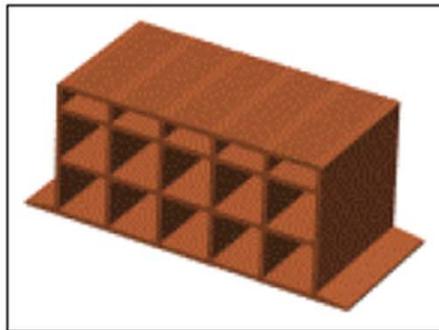
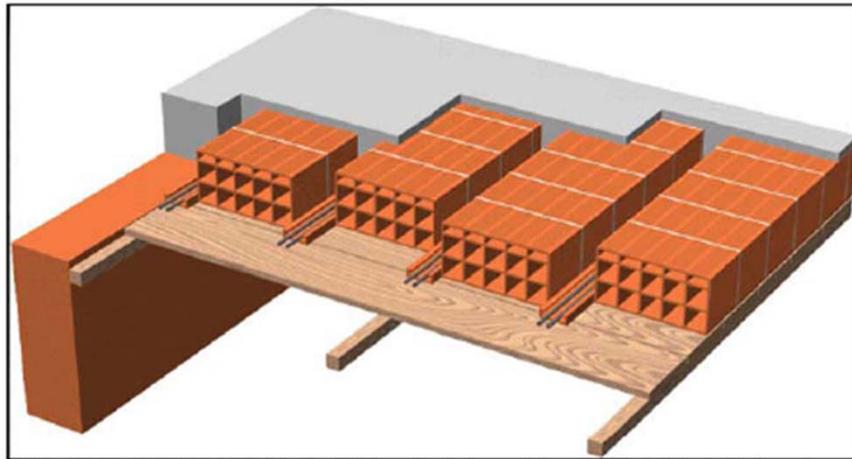
Il solaio si comporta come una piastra ortotropa, con comportamenti differenti nelle due direzioni principali del piano. La rigidezza nella direzione della tessitura dei travetti è superiore a quella ortogonale per cui il comportamento del solaio è approssimabile a quello di una trave continua su più appoggi (costituiti dalle travi che lo supportano).



Fig. 2.9 Orditura dei solai e numerazione travi del primo livello

4. Predimensionamento degli elementi strutturali

Tipologie costruttive: solai gettati in opera

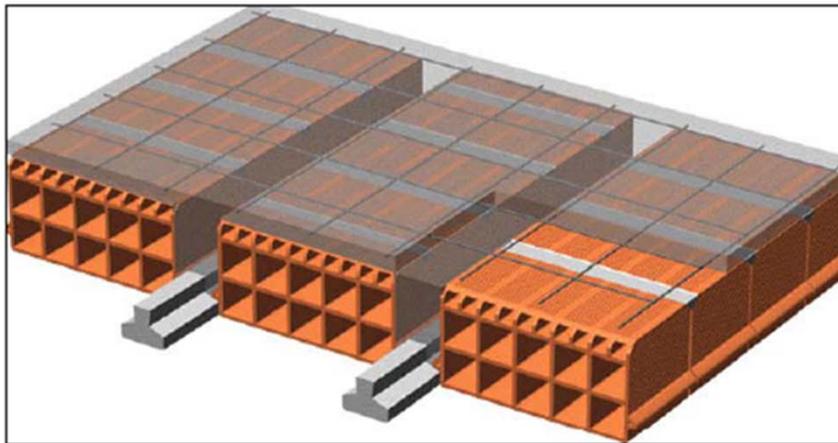
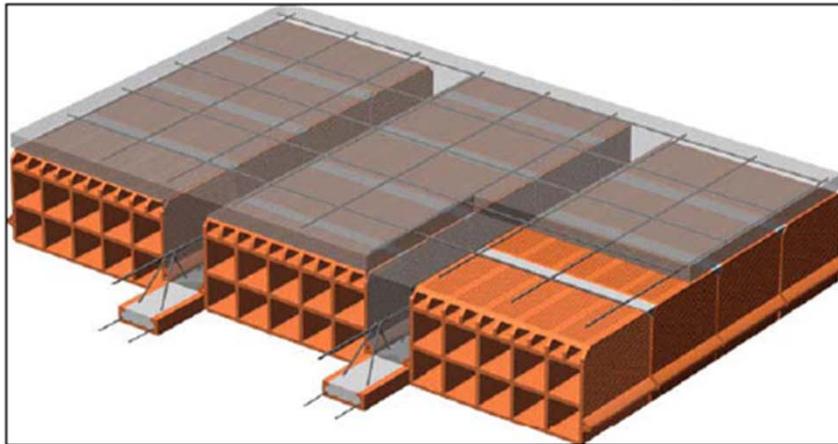


I blocchi, con alette o fondelli, vengono posizionati su di un impalcato di sostegno provvisorio, che viene smontato non appena il conglomerato ha raggiunto la sufficiente resistenza meccanica (comunque non prima di 28 giorni).

In passato ha rappresentato l'unico tipo di solaio misto in laterizio e cemento armato. Oggi è usato quando la pianta del fabbricato presenta forti irregolarità o quando non è possibile impiegare travetti o pannelli prefab.

4. Predimensionamento degli elementi strutturali

Solai a travetti prefabbricati



Un buon compromesso fra solaio in opera e solaio a pannelli è costituito dal solaio a travetti prefabbricati e blocchi interposti. Del solaio in opera conserva la flessibilità di adattamento anche a fabbricati di pianta complessa; mentre del solaio a pannelli mantiene, seppure in parte, la minor incidenza di carpenteria di impalcato.

4. Predimensionamento degli elementi strutturali

Predimensionamento del solaio in accordo alle prescrizioni suggerite dall'EC2

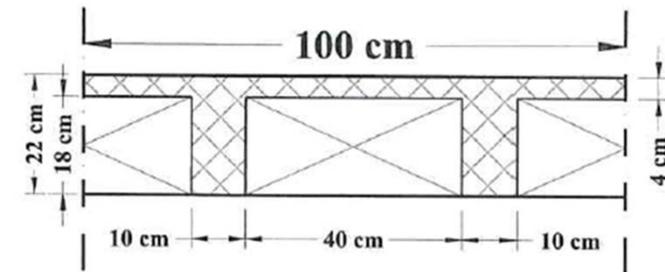
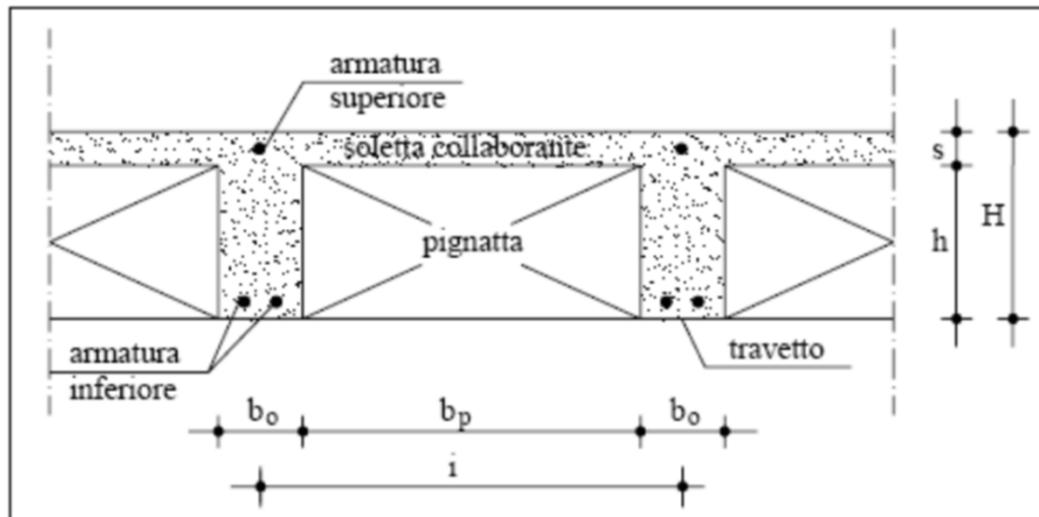


Fig. 2.6 Schema del solaio

Altezza solaio interpiano: $H_{\min} = \min(15\text{cm} ; L_{\max} / 26)$

Altezza solaio balcone: $H_{\min} = \min(H_{si} - 4 ; 16\text{cm})$

Altezza soletta: $s \geq 40 \text{ mm}$ (Fondamentale per validità hp. solai rigidi nel piano)

Interasse travetto: $i \leq 15s$

Larghezza travetto: $b_o = \min (1/8 i ; 8 \text{ cm})$

Dimensioni pignatta: $h_p \geq 120 \text{ mm} ; b_p \leq 520 \text{ mm}$

5. Predimensionamento elementi strutturali

TRAVI

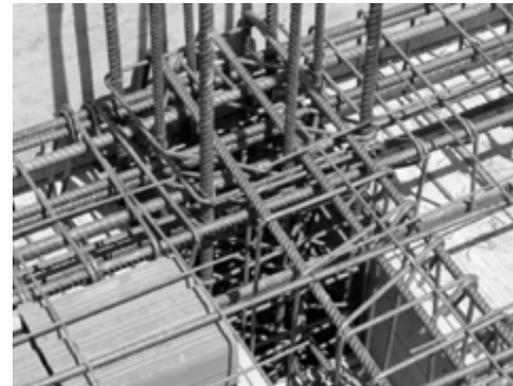
Limitazioni geometriche per le costruzioni in zona sismica (NTC2018 - 7.4.6.1) :

$$b \geq 20 \text{ cm}$$

$$b/h \geq 0,25$$

In zona sismica è consigliato l'uso di travi emergenti piuttosto che travi a spessore ma l'impiego di travi a spessore è comunque ammesso.

La larghezza b della trave deve essere ≥ 20 cm e, per le travi "a spessore di solaio", 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 misurata ortogonalmente all'asse della trave.



5. Predimensionamento elementi strutturali

PILASTRI

Limitazioni geometriche per le costruzioni in zona sismica (NTC2018 - 7.4.6.1.2) :

“La dimensione minima della sezione trasversale non deve essere inferiore a 250 mm”

ATT! La dimensione dei pilastri potrà/dovrà essere variata successivamente al fine di adottare una sezione compatibile per il rispetto della gerarchia delle resistenze.

