

COMMITTENTE

Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Comune di Vinci  
Piazza Leonardo da Vinci 29, Vinci 50059  
RUP: Ing. Claudia Peruzzi

VINCI (FI)

## NUOVA SCUOLA DELL'INFANZIA "STACCIA BURATTA"

PROGETTISTA



ST GRUPPO MARCHE  
Contrada Potenza, 11 62100 Macerata  
P.Iva 00141310433  
Tel. +39 0733 492522  
azienda certificata  
ISO 9001:2015 e ISO 14001:2015

Progetto Esecutivo

Elaborati Generali

## RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Repertorio/Posizione 2815/01

Data Aprile 2021

Verificato da AC

# E-GA-3

Scala

N.	Descrizione	Data
0	Prima Emissione	Apr 2021
1	Revisione	Ago 2021
2	Revisione	Set 2021
3		
4		
5		
6		





Comune di Vinci (FI)

REALIZZAZIONE NUOVA SCUOLA DELL'INFANZIA "STACCIA BURATTA"  
NEL COMUNE DI VINCI (FI)

**Progetto Esecutivo**

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

## INDICE

1.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	3
2.	DESCRIZIONE GENERALE DELLA STRUTTURA .....	5
3.	CRITERI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE .....	7
4.	PRESCRIZIONI SUI MATERIALI .....	9
5.	TIPOLOGIA COSTRUTTIVA E ANALISI STRUTTURALE .....	10
6.	PRESTAZIONI DI PROGETTO, CLASSE DELLA STRUTTURA, VITA UTILE E PROCEDURE DI QUALITÀ .....	11
7.	CARICHI E COMBINAZIONE DELLE AZIONI .....	12
8.	AZIONE SISMICA (DM2018 PAR. 3.2) .....	12
9.	COMBINAZIONE DI CARICO .....	17
10.	ANALISI DEI MODELLI STRUTTURALI AGLI ELEMENTI FINITI .....	19
10.1.	PREMESSA .....	19
10.2.	I METODI DI CALCOLO .....	20
10.2.1.	ANALISI STATICA LINEARE .....	20
10.2.2.	ANALISI DINAMICA MODALE .....	20
11.	MODELLAZIONE E ANALISI DELLA STRUTTURA .....	22
12.	SINTESI DEI RISULTATI E CRITERI DI ACCETTABILITÀ .....	23

## 1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

**Legge 5 novembre 1971 N. 1086** - Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica.

Circolare Ministero dei lavori Pubblici 14 Febbraio 1974, N.11951 - "Applicazione delle norme sul cemento armato".

**Circolare Ministero dei lavori Pubblici 25 Gennaio 1975, N.13229** - "L'impiego di materiali con elevate caratteristiche di resistenza per cemento armato normale e precompresso.

**D.M. 11.03.1988** - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"

**Circolare MIN. LL. PP. n°30483 del 24.09.1988** - "Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

**C.N.R. - UNI 10011-97** - "Costruzioni di acciaio: Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione".

**CNR 10011** - "Costruzioni di acciaio - Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione - Novembre 1997"

**Istruzioni CNR 10025/98** - "Istruzioni per il progetto, l'esecuzione ed il controllo delle strutture prefabbricate in calcestruzzo"

**Norma CNR 10016-2000** - "Strutture composte da acciaio e calcestruzzo istruzioni per l'impiego nelle costruzioni".

**D.M. 18.09.2002 - GU nr.227 DEL 27.09.2002** - "Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione e l'esercizio delle strutture sanitarie pubbliche e private.

**UNI 11104:2004 Calcestruzzo** - "Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1"

**CNR - DT 206/2007** - "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle strutture in legno"

**D.M. 16.02.2007** - "Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione"

**DM 09.03.2007** - "Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco"

**UNI 9502** - Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi strutturali in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso.

**UNI 9503** - Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi strutturali in acciaio.

**UNI EN 15129:2009** "Dispositivi antisismici"

**UNI EN 338** – “Legno strutturale classi di resistenza”

**UNI EN 14080** – Strutture in legno – Legno lamellare incollato e legno massiccio incollato - Requisiti

**CNR-DT 210/2012** – “Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo di Costruzioni con Elementi Strutturali di Vetro”

**EUROCODE 2** - “Design of concrete structures”

**EUROCODE 3** - “Design of steel structures”

**EUROCODE 5** - “Design of timber structures”

**EUROCODE 8** - “Design of structures for earthquake resistance”

**D.M. 16.02.2007** – “Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione”

**UNI EN 14080-2013** – Strutture di legno - Legno lamellare incollato e legno massiccio incollato

**NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI – D.M. del 17 Gennaio 2018 (NTC2018)** - “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”

**CIRCOLARE 21/01/19, n. 7** - Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”

## 2. DESCRIZIONE GENERALE DELLA STRUTTURA

L'intervento riguarda la demolizione e ricostruzione della nuova scuola di infanzia sita a Vinci, in via XXV Aprile n°3, in provincia di Firenze. L'edificio è costituito da un unico piano con copertura non praticabile, ma accessibile per sola manutenzione, di superficie lorda pari a circa 990 mq.

Il progetto propone una pianta a forma rettangolare ed un volume puro, dettata dalla forma del lotto e dalla viabilità interna esistente che non subisce particolari modifiche, se non quella di ricavare una fascia di parcheggi sul confine orientale del lotto in adiacenza ad uno dei muri che delimitano l'area.



Figura 1 - Inquadramento dell'intervento

L'intera struttura portante in elevazione sarà realizzata in legno X-LAM. Tale tecnologia costruttiva offre dal punto di vista tecnico e strutturale prestazioni elevate e superiori a quanto altri materiali della costruzione in legno siano in grado di offrire, permettendo la realizzazione di una struttura scatolare formata da superfici strutturali sottili particolarmente performanti, anche in caso di sollecitazioni sismiche.

Data la destinazione d'uso della costruzione si prevede una resistenza al fuoco di tutti gli elementi strutturali pari a R60. Per garantire tale requisito verranno posati pannelli di protezione in cartongesso sui lati interni delle pareti, in modo da proteggere anche le connessioni metalliche.

Nel dettaglio la struttura è così composta:

- La fondazione è di tipo superficiale a travi rovesce in conglomerato cementizio armato su cui poggia un solaio alveolare. La quota di imposta, desunta dalla Relazione Geologica, verrà raggiunta mediante calcestruzzo magro.
- La copertura a tre falde ha una pendenza del 5% lati aule, del 21% nella parte centrale a portali e del 6% nel lato ingresso. Saranno realizzate in legno X-LAM.

- La struttura verrà realizzata utilizzando pareti e solai in X-lam. Alla base delle pareti si prevede la realizzazione di una nervatura di fondazione in conglomerato cementizio ad alta resistenza.
- Nella parte centrale del complesso è previsto l'utilizzo di portali in legno lamellare.
- La fondazione sarà di tipo superficiale a travi rovesce in conglomerato cementizio armato su cui poggia un solaio alveolare. La quota di imposta, desunta dalla Relazione Geologica, verrà raggiunta mediante calcestruzzo magro. Le caratteristiche meccaniche sia delle strutture in legno che delle strutture fondali sono riportate nella Relazione sui materiali.
- Completano il progetto le sistemazioni esterne costituite da una rampa in conglomerato cementizio armato che dall'entrata posta in via XXV Aprile conduce all'ingresso della scuola, un muro di contenimento a ridosso del parcheggio lungo via XXV Aprile, in parte realizzato con una tura di pali nella zona a confine ed infine dei muri in aderenza a quelli esistenti a nord e nord est del lotto. La rampa è realizzata con fondazione superficiale a platea e pareti controterra anch'esse in conglomerato cementizio armato. L'altezza delle pareti è variabile da un massimo di circa cm 150 fino ad un minimo di circa 20 cm. Il muro di contenimento è realizzato parte con fondazione superficiale a scarpa e parte con struttura di pali (pali diametro 50 cm e lunghezza m 8,00). I muri realizzati in aderenza nella parte nord, nord est del lotto, sono realizzati con fondazioni profonde su pali diametro cm 50 e lunghezza m 8,00.

### 3. CRITERI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE

Le sollecitazioni agenti sulla struttura sono dovute al peso proprio, all'azione sismica e ai carichi permanenti e accidentali, la loro valutazione è stata eseguita mediante i metodi derivanti dalla Scienza delle Costruzioni. Più precisamente, sono state ritenute valide le ipotesi di base della teoria tecnica della trave per quanto riguarda gli elementi monodirezionali (travi e pilastri) e quelle della teoria tecnica di lastre o piastre per gli elementi bidirezionali (lastre e piastre); si è proceduto ad un calcolo agli elementi finiti per la valutazione degli stati tensionali nelle parti strutturali discretizzando le stesse in elementi "beam", "shell" o "mesh" ed utilizzando un modello tridimensionale analizzato mediante il software dedicato SISMICAD ( Ditta produttrice: Concrete s.r.l. - Via della Pieve 19 - Padova, Italia – chiave SN 140914218 versione 12.16).

Nella progettazione sviluppata sono stati considerati i seguenti obiettivi:

- Sicurezza

Le soluzioni progettuali sono state studiate in modo da garantire la massima sicurezza nel rispetto delle Norme, considerando il carattere strategico della struttura, per cui è stata garantita la completa funzionalità anche in corrispondenza di eventi eccezionali. Alla struttura viene quindi richiesto di resistere senza danni alla forza d'urto del sisma, ciò significa che è stata posta particolare attenzione non solo agli elementi portanti, ma anche a quelli non strutturali e impiantistici.

- Prestazione statica in esercizio

Sono state garantite le prestazioni statiche nonché la congruenza con i carichi e le esigenze funzionali derivanti dallo sviluppo dei progetti architettonici ed impiantistici.

- Prestazione in caso di sisma

L'azione sismica è stata determinata secondo i criteri descritti nelle NTC 2018 e relativa circolare applicativa. La progettazione ha avuto il duplice scopo di garantire la capacità delle strutture di sostenere le azioni sismiche di progetto e di assicurare il mantenimento della completa funzionalità (strutturale e impiantistica).

- Prestazione in caso di incendio

La progettazione svolta garantisce la capacità dell'edificio di sostenere i carichi di incendio identificati nelle vigenti normative. In particolare, il progetto è stato svolto tenendo conto di un REI 60.

- Igienicità

Le scelte progettuali sono state fatte considerando tale aspetto e, in particolare, hanno avuto tra gli obiettivi quello di contribuire a garantire l'igiene negli ambienti puliti, in particolare evitando o limitando il più possibile superfici che favoriscano il ristagno della polvere, fessurazioni estese, emissioni di umidità o polveri dalle superfici strutturali, emissione di gas dalle strutture sotto carico di incendio, etc.

- Coordinamento con le altre discipline

Nella progettazione delle strutture sono state debitamente considerate interrelazioni con le altre discipline del progetto, con le condizioni dei manufatti esistenti e le esigenze di funzionalità in fase di cantiere.

- Flessibilità.

La progettazione strutturale svolta ha tenuto conto dell'esigenza di realizzare una struttura con il più elevato grado di flessibilità possibile, così da limitare i vincoli a futuri adeguamenti dei layout.

- Durabilità

Le prescrizioni dei materiali e dei componenti strutturali sono state fatte in modo da massimizzarne la durabilità, e conseguentemente ridurre al minimo gli oneri di manutenzione. A tal proposito è stata definita la Vita Nominale della struttura, considerato un valore della stessa non minore di 50 anni. Ciò ha comportato la necessità di prevedere tutti gli accorgimenti utili alla conservazione delle caratteristiche fisiche e dinamiche dei materiali e delle strutture, in considerazione dell'ambiente in cui l'opera dovrà vivere e dei cicli di carico a cui sarà sottoposta. A tale scopo sono state definite le diverse classi di esposizione per i diversi elementi strutturali in calcestruzzo armato, prevedendo, sulla base dell'ambiente in cui sono poste, le possibili cause di degrado. Sulla base delle classi di esposizione così individuate sono stati fissati i parametri che maggiormente sono coinvolti nei processi di degrado del materiale: massimo rapporto acqua/cemento, minimo dosaggio di cemento, minimo spessore del copriferro e minima classe di resistenza. La qualità del materiale prescritto e le dimensioni degli elementi sono progettati per garantire tali obiettivi. Per le strutture della fondazione, è previsto l'utilizzo in classe di esposizione "XC2" (UNI EN 206-1) e per assicurare una adeguata protezione alle barre di armatura è stato progettato un ricoprimento di 50mm, ampiamente maggiore del minimo da normativa. Mentre per la durabilità delle opere lignee è stata posta particolare attenzione nell'isolamento di queste dai possibili fattori esterni che ne potrebbero causare il degrado.

La costruzione soggetta alle azioni statiche e sismiche sarà progettata in accordo ai seguenti comportamenti strutturali:

- a) Comportamento strutturale non dissipativo, SLE: gli effetti sono calcolati senza tener conto delle non linearità di comportamento (di materiale e geometriche).
- b) Comportamento strutturale dissipativo, SLU: gli effetti sono calcolati, in funzione della tipologia strutturale adottata, tenendo conto delle non linearità di comportamento (di materiale sempre, geometriche quando rilevanti e comunque sempre quando precisato).

Gli elementi strutturali di fondazione sono dimensionati sulla base delle sollecitazioni ad essi trasmesse dalla struttura sovrastante, con gli accorgimenti previsti dalla normativa vigente, tenendo conto che questi devono avere comportamento non dissipativo, indipendentemente dal comportamento attribuito alla struttura su di esse gravante.

Le verifiche di resistenza del terreno sono state effettuate in base alle classiche teorie della geotecnica relative alla portanza dei terreni, cioè tenendo conto dei termini attritivi, coesivi e di confinamento come caratteristiche resistenti da confrontare con le sollecitazioni scaricate.

## 4. PRESCRIZIONI SUI MATERIALI

Vedi Elaborato **E-GA-4 – RELAZIONE SUI MATERIALI.**

## 5. TIPOLOGIA COSTRUTTIVA E ANALISI STRUTTURALE

Come già sopra esposto, l'intervento prevede la realizzazione della nuova scuola di infanzia sita nel comune di Vinci in provincia di Firenze. L'edificio di un solo piano, con una superficie pari a circa 990 mq, verrà realizzato interamente in legno X-LAM mentre le fondazioni in calcestruzzo armato.

Si riportano di seguito le considerazioni sugli elementi strutturali al fine del loro corretto dimensionamento:

- **STRUTTURE DI FONDAZIONE**

Le fondazioni superficiali saranno realizzate con travi rovesce di altezza 108,5 cm, alle quali si appoggiano solai alveolari di spessore 26 cm con 5 cm di getto di completamento.

- **STRUTTURA VERTICALI**

Le strutture verticali saranno realizzate il legno con tecnologia costruttiva tipo X-LAM. Le pareti esterne ed interne sono state predimensionate tenendo conto dei carichi verticali gravanti su di esse, della loro altezza e delle prestazioni da garantire nei confronti del fuoco, tenendo conto che tutte le pareti saranno rivestite. Dal predimensionamento e dai successivi risultati di calcolo si adotteranno dei pannelli a 5 strati (20, 20, 20, 20, 20 mm) di spessore totale pari a 100 mm. Questi verranno giuntati alla fondazione tramite staffaggi tipo Hold-Down, che permettono l'assorbimento di forze di trazione, e piastre per l'assorbimento delle forze di taglio.

- **STRUTTURE ORIZZONTALI**

Le falde di copertura, con pendenza trasversale del 5% e del 21%, saranno realizzare anch'esse in X-LAM. Il predimensionamento dello spessore necessario è stato effettuato considerando i carichi permanenti e il carico neve gravante sul solaio e la luce di appoggio. Si adotteranno quindi pannelli a 5 strati (40, 30, 40, 30, 40 mm) di spessore totale pari a 180 mm.

## 6. PRESTAZIONI DI PROGETTO, CLASSE DELLA STRUTTURA, VITA UTILE E PROCEDURE DI QUALITÀ

Le prestazioni della struttura e le condizioni per la sua sicurezza sono state individuate considerando il tipo della struttura, il suo uso e le possibili conseguenze di azioni anche accidentali; particolare rilievo è stato dato alla sicurezza delle persone. Risulta così definito l'insieme degli stati limite riscontrabili nella vita della struttura ed è stato accertato, in fase di dimensionamento, che essi non siano superati.

Altrettanta cura è stata posta per garantire la durabilità della struttura, con la consapevolezza che tutte le prestazioni attese potranno essere adeguatamente realizzate solo mediante opportune procedure da seguire non solo in fase di progettazione, ma anche di costruzione, manutenzione e gestione dell'opera. Per quanto riguarda la durabilità si sono presi tutti gli accorgimenti utili alla conservazione delle caratteristiche fisiche e dinamiche dei materiali e delle strutture, in considerazione dell'ambiente in cui l'opera dovrà vivere e dei cicli di carico a cui sarà sottoposta. La qualità dei materiali e le dimensioni degli elementi sono coerenti con tali obiettivi.

In fase di costruzione saranno attuate severe procedure di controllo sulla qualità, in particolare per quanto riguarda materiali, componenti, lavorazione, metodi costruttivi.

Saranno seguiti tutte le indicazioni previste nelle "Norme Tecniche per le Costruzioni".

I principali parametri di calcolo adottati per tutte le strutture oggetto della presente progettazione risultano:

- Opera ordinaria con Vita nominale  $V_N \geq 50$ anni
- Classe d'uso III:  $C_U = 1.5$
- Periodo di riferimento per l'azione sismica:  $V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.5 = 75$  anni

La possibilità di accedere a riserve anelastiche delle costruzioni con struttura X-LAM è stata dimostrata ampiamente, fra l'altro, da prove sperimentali su edifici di dimensioni ragguardevoli. Nelle NTC le strutture formate da pannelli X-LAM, sotto forma di pareti e di solette collegate fra di loro tramite connettori meccanici, fanno parte della tipologia strutturale "pannelli di parete incollati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi e bulloni", e sono quindi definite come strutture aventi quanto meno una bassa capacità di dissipazione energetica, cui viene attribuito il fattore di struttura  $q_0 = 2.5$ . Ciò nonostante, essendo la struttura monopiano, e quindi con un numero limitato di risorse di possibile plasticizzazione, si è scelto in via conservativa di assumere un comportamento non dissipativo per il caso in esame, utilizzando un fattore di struttura pari a  $q = 1.0$ .

## 7. CARICHI E COMBINAZIONE DELLE AZIONI

Vedi Elaborato E-GF-2 – RELAZIONE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE.

## 8. AZIONE SISMICA (DM2018 PAR. 3.2)

Si è condotta l'analisi dell'intero complesso edilizio, facendo riferimento alle coordinate del sito dove sarà realizzato il complesso edilizio.

Nello studio di fattibilità si è dimostrato come la ricerca per comune rispetto alla ricerca per coordinate non influenza sostanzialmente l'input sismico.

Al fine di una maggiore precisione si considera l'input sismico relativo alla ricerca per coordinate.

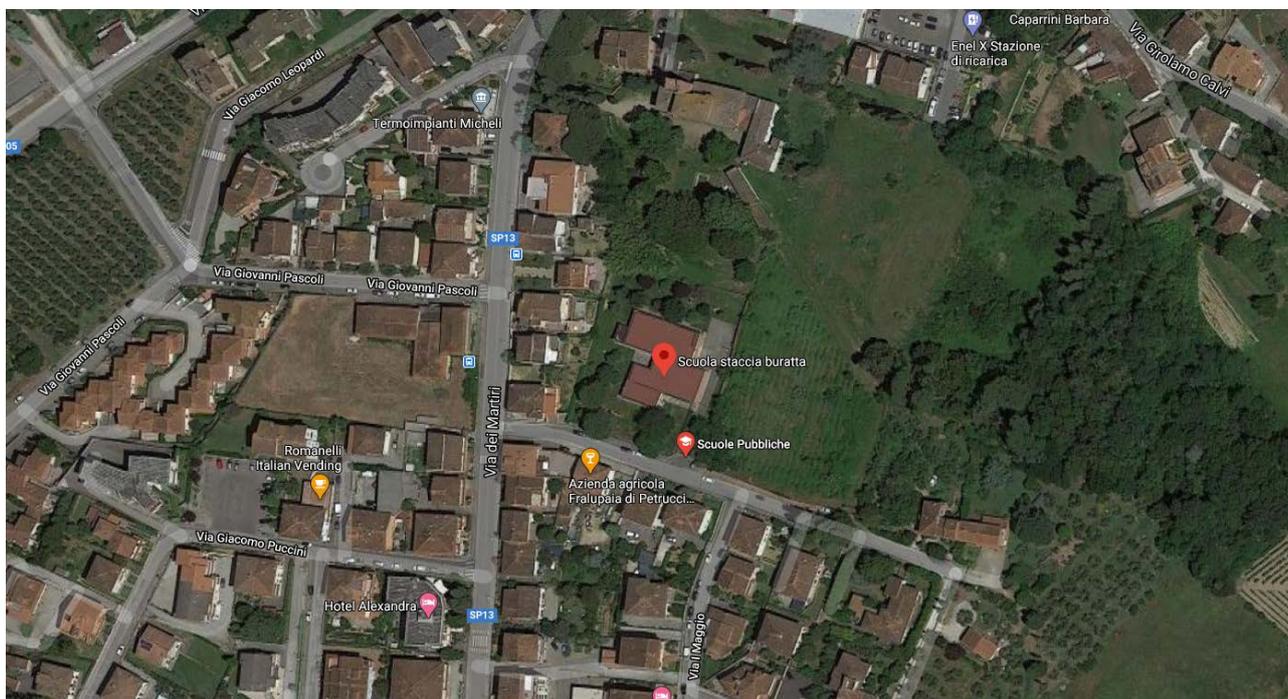


Figura 2 - Localizzazione del sito in esame

Azione sismica con ricerca per coordinate:

Tipo di costruzione 2 - Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari

Vn Default (50)

Classe d'uso III

Località: Firenze, Vinci, Grappa  
 Latitudine ED50 43.7851° (43° 47' 6")  
 Longitudine ED50 10.9254° (10° 55' 32")  
 Altitudine s.l.m. 97 m Dettagli...

Vr Default (75)

Stato limite	Pvr(%)	Tr(anni)	Ag/g	Fo	Tc*(s)
SLO	Default (81)	45	Default (0.0515)	Default (2.582)	Default (0.257)
SLD	Default (63)	75	Default (0.0612)	Default (2.611)	Default (0.271)
SLV	Default (10)	712	Default (0.1445)	Default (2.386)	Default (0.296)
SLC	Default (5)	1462	Default (0.1813)	Default (2.39)	Default (0.304)

Classe di duttilità Non dissipativa

Regolarità in pianta

Regolarità in elevazione

Edificio C.A.

Tipologia C.A. Strutture a telaio  $q_0=3.0 \cdot \alpha/\alpha_1$

$\alpha/\alpha_1$  C.A. Strutture a telaio di un piano  $\alpha/\alpha_1=(1.0+1.1)/2$

Kw 0.500

Edificio acciaio

Tipologia acciaio a) Strutture intelaiate  $q_0=4.0$

$\alpha/\alpha_1$  acciaio

Edificio muratura

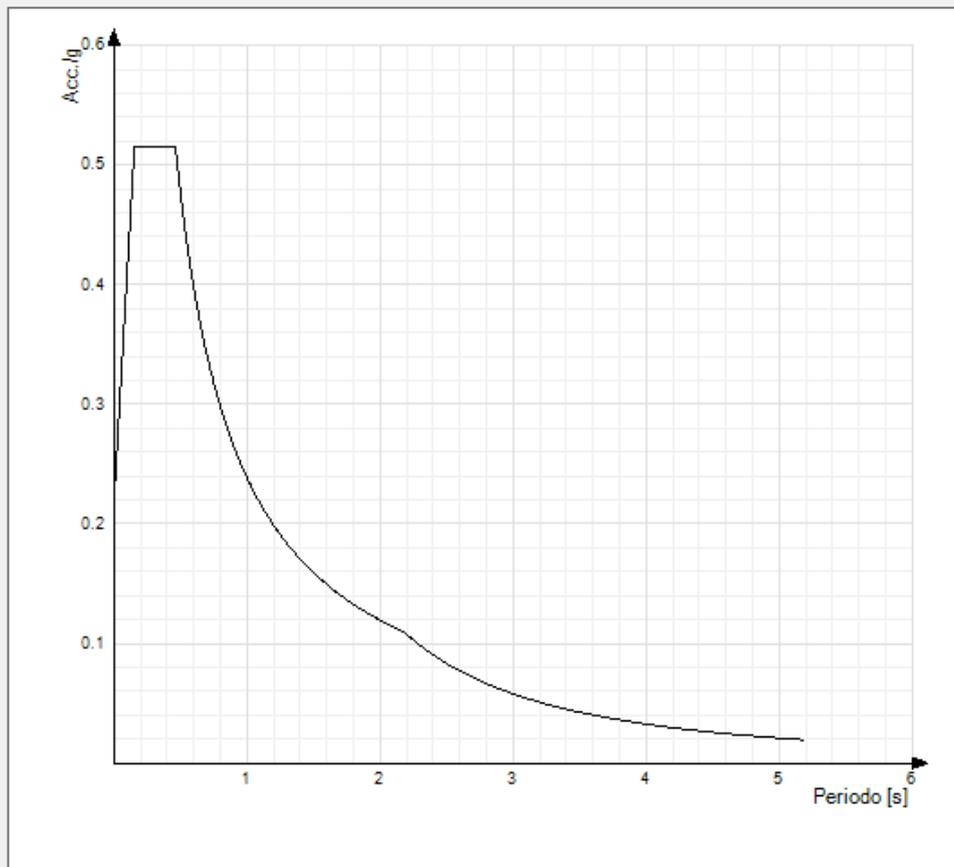
Tipologia muratura Costruzioni di muratura ordinaria  $q_0=1.75 \cdot \alpha/\alpha_1$

Edificio legno

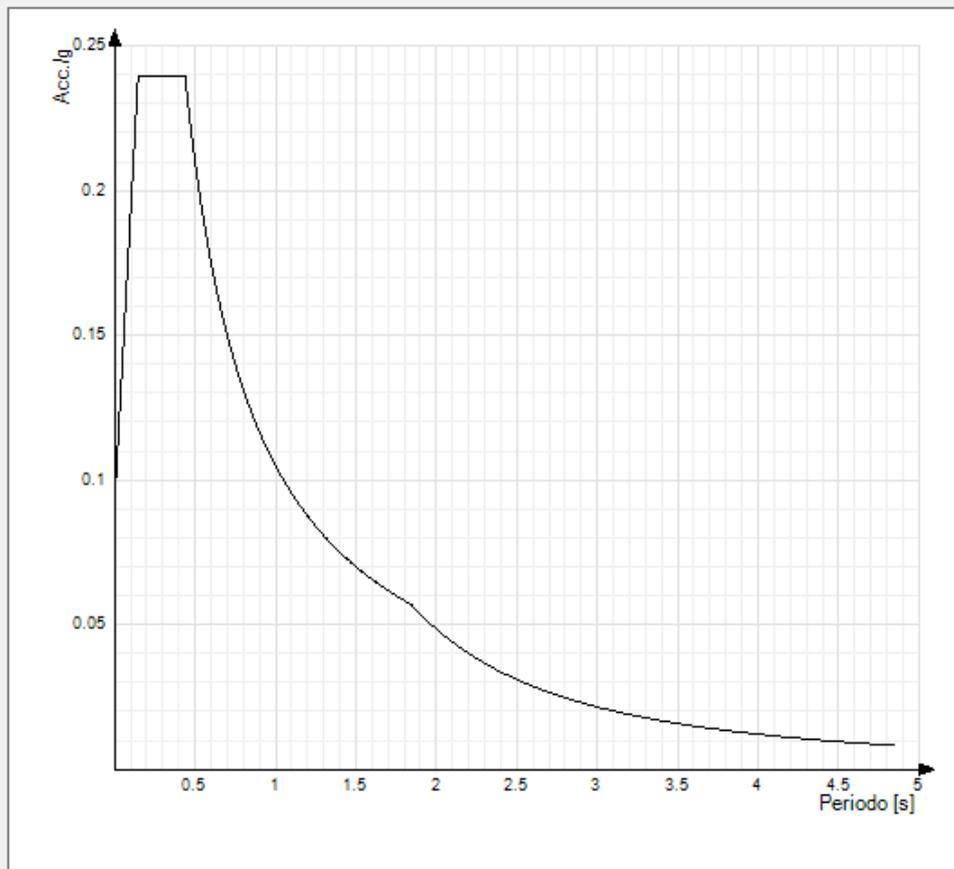
Tipologia legno Pannelli di parete incollati a strati incrociati, collegati

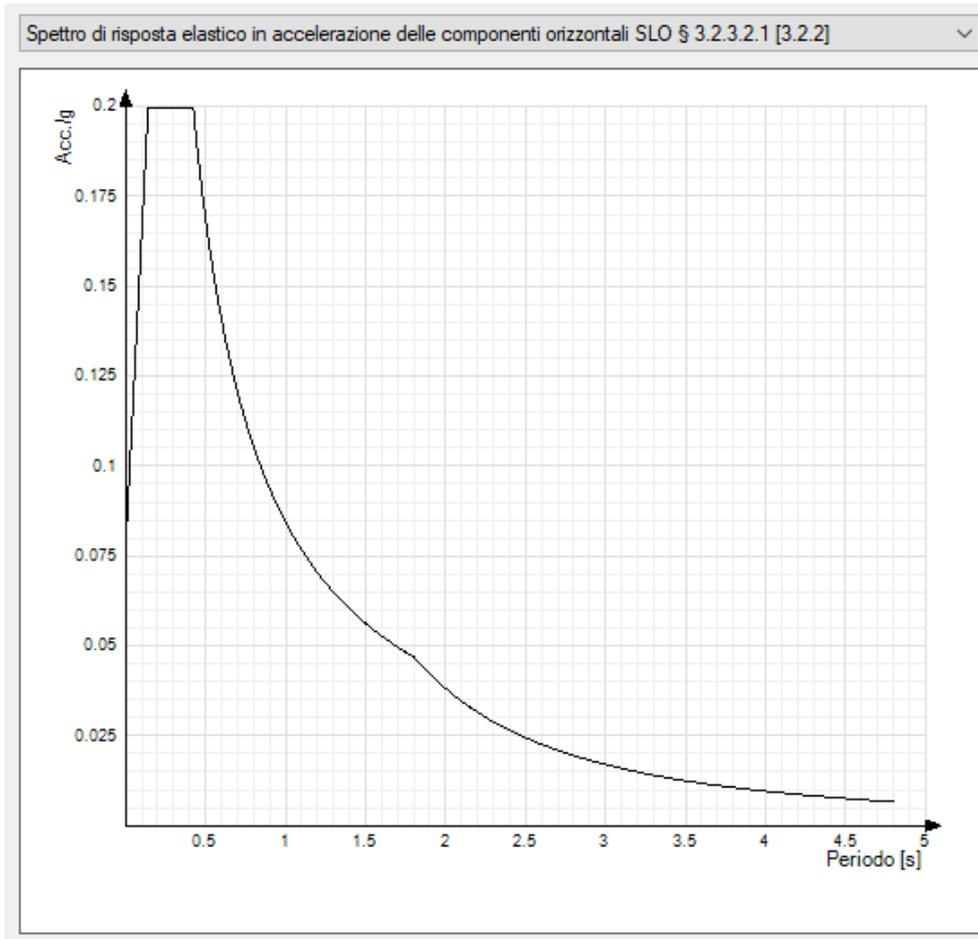
Categoria del suolo		C Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati	
SLO		SLD	
Ss orizzontale SLO		Ss orizzontale SLD	
Tb orizzontale SLO	s	Tb orizzontale SLD	s
Tc orizzontale SLO	s	Tc orizzontale SLD	s
Td orizzontale SLO	s	Td orizzontale SLD	s
SLV		SLC	
Ss orizzontale SLV		Ss orizzontale SLC	
Tb orizzontale SLV	s	Tb orizzontale SLC	s
Tc orizzontale SLV	s	Tc orizzontale SLC	s
Td orizzontale SLV	s	Td orizzontale SLC	s
Verticale			
Ss verticale			
Tb verticale		s	
Tc verticale		s	
Td verticale		s	
Categoria topografica		T1 Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione	
St			Default (1.00)

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali SLV § 3.2.3.2.1 [3.2.2]



Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali SLD § 3.2.3.2.1 [3.2.2]





## 9. COMBINAZIONE DI CARICO

Con riferimento alle azioni elementari prima determinate, si sono considerate le seguenti combinazioni di carico:

- **Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):**

$$F_d = \gamma_g G_k + \gamma_p P_k + \gamma_q \left[ Q_{1k} + \sum_{i=2}^{i=n} \psi_{0i} Q_{ik} \right]$$

dove:

$G_k$  = valore caratteristico delle azioni permanenti

$P_k$  = valore caratteristico della forza di precompressione

$Q_{1k}$  = valore caratteristico dell'azione variabile di base di ogni combinazione

$Q_{ik}$  = valore caratteristico dell'i-esima azione variabile

$\gamma_g$  = coeff. parziale = 1.3 (1.0 se il suo contributo aumenta la sicurezza)

$\gamma_p$  = coeff. parziale = 0.9 (1.2 se il suo contributo diminuisce la sicurezza)

$\gamma_q$  = coeff. parziale = 1.5 (0.0 se il suo contributo aumenta la sicurezza)

- **Combinazione sismica (SLV):**

$$F_d = E + G_k + P_k + \left[ \sum_i (\psi_{ji} Q_{ik}) \right]$$

dove:

$E$  = valore dell'azione sismica per lo stato limite in esame

$Q_k$  = valore caratteristico delle azioni permanenti

$P_k$  = valore caratteristico delle azioni di precompressione

$Q_{ki}$  = valori caratteristici delle azioni variabili, tra loro indipendenti

$\psi_{0,i}$  = coeff. che fornisce il valore raro dell'azione variabile

- **Stato Limite di Danno (SLD):**

L'azione sismica, ottenuta dallo spettro di progetto per lo stato limite di danno, è stata combinata con le altre azioni mediante la seguente relazione:

$$F_d = E + G_k + P_k + \left[ \sum_i (\psi_{ji} Q_{ik}) \right]$$

dove:

$E$  = valore dell'azione sismica per lo stato limite in esame

$Q_k$  = valore caratteristico delle azioni permanenti

$P_k$  = valore caratteristico delle azioni di precompressione

$Q_{ki}$  = valori caratteristici delle azioni variabili, tra loro indipendenti

$\psi_{0,i}$  = coeff. che fornisce il valore raro dell'azione variabile

### - Stato Limite di Esercizio (SLE):

Le combinazioni previste per gli SLE sono le seguenti:

$$F_r = G_k + P_k + Q_{1k} + \sum_i (\psi_{0i} Q_{ik}) \quad \text{combinazione rara}$$

$$F_f = G_k + P_k + \psi_{11} Q_{1k} + \sum_i (\psi_{2i} Q_{ik}) \quad \text{combinazione frequente}$$

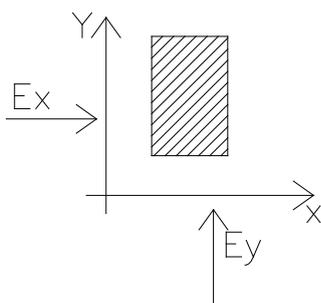
$$F_q = G_k + P_k + \sum_i (\psi_{2i} Q_{ik}) \quad \text{combinazione quasi permanente}$$

dove:

$\psi_{1i}$  = coeff. atto a definire i valori delle azioni ammissibili ai frattali di ordine 0,95 delle distribuzioni dei valori istantanei;

$\psi_{2i}$  = coeff. atto a definire i valori quasi permanenti delle azioni ammissibili ai valori medi delle distribuzioni dei valori istantanei

Rappresentazione della direzione di ingresso del sisma di tutte le strutture:



Le direzioni di ingresso del sisma sono 4:

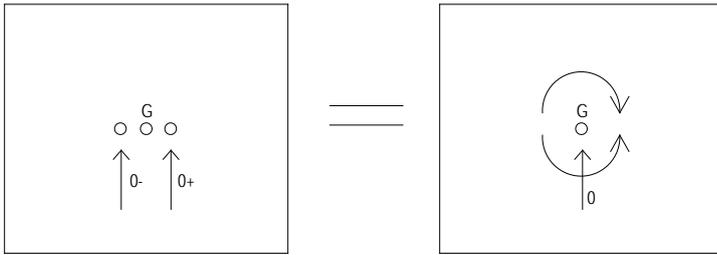
- Angolo 0°
- Angolo 90°
- Angolo 180°
- Angolo 270°

La normativa però prescrive di considerare una eccentricità accidentale del centro di massa non inferiore al 5% della dimensione dell'edificio misurata perpendicolarmente alla direzione di applicazione dell'azione sismica. Questo significa applicare per ogni direzione del sisma due momenti torcenti di piano (pari alla forzante di piano sismica moltiplicata per l'eccentricità).

Come si può notare dallo schema sotto, per ogni "angolo di direzione" di ingresso del sisma si avranno due differenti azioni, una che considera il torcente positivo e una che considera il torcente negativo.

In totale si avranno perciò non 4 direzioni di ingresso ma 8 direzioni di ingresso.

Queste direzioni di ingresso sono state poi opportunamente combinate tra loro come da normativa (es:  $E_x + 0.3 E_y$ ) e in totale per ogni stato limite considerato si avranno 16 combinazioni di carico.



NB: Ha senso spostare il centro di massa solo nei solai che vengono considerati infinitamente rigidi perché la massa è concentrata nel baricentro. (Non ha senso spostare un centro di massa che non è stato possibile definire, infatti nel caso di solai non rigidi la massa è concentrata in ogni nodo in base all'incidenza dei carichi).

## 10. ANALISI DEI MODELLI STRUTTURALI AGLI ELEMENTI FINITI

### 10.1. PREMESSA

I calcoli sono stati condotti secondo i criteri della Scienza delle Costruzioni assumendo i carichi di normativa e valutando le sollecitazioni per via numerica. È stata utilizzata un'analisi lineare dinamica nel rispetto delle norme indicate in precedenza. Le procedure di verifica adottate seguono il metodo di calcolo degli stati limite ultimo e di esercizio. Il solutore individua le sollecitazioni per ogni nodo e quindi i post processor nella verifica delle aste determinano le sollecitazioni per ogni sezione delle stesse.

La struttura e il suo comportamento sotto le azioni statiche e dinamiche sono state adeguatamente valutate e trasferite nel modello che si caratterizza per la sua impostazione completamente tridimensionale. A tal fine ai nodi strutturali possono convergere diverse tipologie di elementi, che corrispondono nel codice numerico di calcolo in altrettante tipologie di elementi finiti. Travi e pilastri, ovvero componenti in cui una dimensione prevale sulle altre due, vengono modellati con elementi "beam", il cui comportamento può essere opportunamente perfezionato attraverso alcune opzioni quali quelle in grado di definire le modalità di connessione all'estremità. Eventuali elementi soggetti a solo sforzo normale possono essere trattati come elementi "truss" oppure con elementi "beam" opportunamente svincolati. Le pareti, le piastre, le platee ovvero in generale i componenti strutturali bidimensionali, con due dimensioni prevalenti sulla terza (lo spessore), sono stati modellati con elementi "shell" a comportamento flessionale e membranale. I vincoli con il mondo esterno vengono rappresentati con elementi in grado di definire le modalità di vincolo e le rigidità nello spazio. Questi elementi, coniugati con i precedenti, consentono di modellare i casi più complessi ma più frequenti di interazione con il terreno, realizzabile tipicamente mediante fondazioni, pali, platee nonché attraverso una combinazione di tali situazioni. Il comportamento del terreno è sostanzialmente rappresentato tramite una schematizzazione lineare alla Winkler, principalmente caratterizzabile attraverso una opportuna costante di sottofondo, che può essere anche variata nella superficie di contatto fra struttura e terreno e quindi essere in grado di descrivere anche situazioni più complesse. Nel caso dei pali il comportamento del terreno implica anche l'introduzione di vincoli per la traslazione orizzontale.

I parametri dei materiali utilizzati per la modellazione riguardano il modulo di Young, il coefficiente di Poisson, ma sono disponibili anche opzioni per ridurre la rigidità flessionale e tagliante dei materiali per considerare l'effetto di fenomeni fessurativi nei materiali.

Il calcolo viene condotto mediante analisi lineare, ma vengono considerati gli effetti del secondo ordine e si può simulare il comportamento di elementi resistenti a sola trazione o compressione.

La presenza di diaframmi orizzontali, se rigidi, nel piano viene gestita attraverso l'impostazione di un'apposita relazione fra i nodi strutturali coinvolti, che ne condiziona il movimento relativo. Relazioni analoghe possono essere impostate anche fra elementi contigui.

Si ritiene che i modelli utilizzati siano rappresentativi del comportamento reale di ciascuna struttura. Sono stati inoltre valutati tutti i possibili effetti o le azioni anche transitorie che possano essere significative e avere implicazione per la struttura.

E' stata impiegata un'analisi dinamica modale in campo lineare con adozione di spettro di risposta conforme al DM2018. Agli effetti del dimensionamento è stato quindi impiegato il metodo degli stati limite ultimo e di esercizio.

## 10.2. I METODI DI CALCOLO

### 10.2.1. ANALISI STATICA LINEARE

L'analisi statica lineare è la più comune e tradizionale delle analisi strutturali possibili. L'aggettivo statico sottintende che i carichi applicati non dipendono dal tempo o più esattamente variano molto lentamente tra l'istante iniziale di applicazione  $t_0$  e l'istante finale di osservazione  $t_f$  (carichi quasi-statici).

Ipotesizzando inoltre che la forza di reazione interna dipenda linearmente dagli spostamenti, attraverso una matrice di rigidità costante  $K$  e che le forze esterne siano costituite da carichi indipendenti dallo spostamento, si ottiene l'equazione di equilibrio classica per i problemi quasi statici lineari

$$KU = F$$

dove  $K$  è la matrice di rigidità,  $U$  è il vettore delle deformazioni nodali,  $F$  è il vettore dei carichi.

E' bene ricordare che la linearità della risposta strutturale deriva da almeno due grandi semplificazioni: l'ipotesi di elasticità lineare del materiale (linearità materiale) e l'ipotesi di piccolezza degli spostamenti e delle deformazioni (linearità geometrica).

Nell'analisi sismica con il metodo statico equivalente, le corrispondenti forze inerziali vengono automaticamente aggiunte agli altri carichi eventualmente presenti sulla struttura.

Note le deformazioni vengono calcolate le sollecitazioni.

### 10.2.2. ANALISI DINAMICA MODALE

Il programma effettua l'analisi dinamica con il metodo dello spettro di risposta.

Il sistema da analizzare è essere visto come un oscillatore a  $n$  gradi di libertà, di cui vanno individuati i modi propri di vibrazione. Il numero di frequenze da considerare è un dato di ingresso che l'utente

deve assegnare. In generale si osservi che il numero di modi propri di vibrazione non può superare il numero di gradi di libertà del sistema.

La procedura attua l'analisi dinamica in due fasi distinte: la prima si occupa di calcolare le frequenze proprie di vibrazione, la seconda calcola spostamenti e sollecitazioni conseguenti allo spettro di risposta assegnato in input.

Nell'analisi spettrale il programma utilizza lo spettro di risposta assegnato in input, coerentemente con quanto previsto dalla normativa. L'eventuale spettro nella direzione globale Z è unitario. L'ampiezza degli spettri di risposta è determinata dai parametri sismici previsti dalla normativa e assegnati in input dall'utente.

La procedura calcola inizialmente i coefficienti di partecipazione modale per ogni direzione del sisma e per ogni frequenza. Tali coefficienti possono essere visti come il contributo dinamico di ogni modo di vibrazione nelle direzioni assegnate. Si potrà perciò notare in quale direzione il singolo modo di vibrazione ha effetti predominanti.

Successivamente vengono calcolati, per ogni modo di vibrazione, gli spostamenti e le sollecitazioni relative a ciascuna direzione dinamica attivata, per ogni modo di vibrazione. Per ogni direzione dinamica viene calcolato l'effetto globale, dovuto ai singoli modi di vibrazione, mediante la radice quadrata della somma dei quadrati dei singoli effetti. E' prevista una specifica fase di stampa per tali risultati.

L'ultima elaborazione riguarda il calcolo degli effetti complessivi, ottenuti considerando tutte le direzioni dinamiche applicate. Tale risultato (inviluppo) può essere ottenuto, a discrezione dell'utente in tre modi distinti, inclusi quelli suggeriti della normativa italiana e dall'Eurocodice 8.

## 11. MODELLAZIONE E ANALISI DELLA STRUTTURA

L'edificio è stato modellato con elementi tipo "setto", identificando così le pareti in X-LAM.

È stata condotta un'analisi numerica di tipo dinamico modale al fine di determinare le sollecitazioni e gli spostamenti per i carichi verticali e sotto l'azione sismica di normativa. Sono state quindi determinate le sollecitazioni di inviluppo, sia per i carichi verticali sia per le azioni sismiche e del vento, considerando le combinazioni di carico come da normativa. Per quelle più gravose sono state effettuate le verifiche preliminari delle strutture, in termini di sollecitazione e di deformazione.

La tipologia strutturale di riferimento è quella di un edificio in legno a pareti portanti a cui è affidata la resistenza alle azioni orizzontali. In ogni caso gli elementi resistenti sono stati distribuiti in pianta e in altezza verificando che il centro di massa non risulti troppo distante dal centro di rigidità, così da limitare gli effetti torsionali che si manifestano quando si ha una concentrazione di rigidità condensata in una determinata zona del fabbricato. Gli effetti torsionali, infatti, sono i più dannosi per l'edificio in quanto la struttura non risponde in maniera omogenea, vengono sollecitati in modo non uniforme i vari elementi e non si ottiene la massima dissipazione di energia. Avere un edificio torsionalmente disaccoppiato (cioè un edificio che ha i primi modi di vibrare traslazionali) permette di sfruttare appieno le risorse di duttilità, dissipando quindi gran parte dell'energia sismica. La resistenza e la rigidità flessionali sono distribuite equamente secondo le due direzioni ortogonali, senza privilegiarne una in particolare, assicurando un buon comportamento della struttura qualunque sia la direzione del moto sismico. Per limitare al massimo gli effetti torsionali, infine, sono state garantite resistenza e rigidità torsionali elevate in modo da ridurre il rischio che spostamenti differenziati dovuti a tali effetti nei diversi elementi strutturali inducano sollecitazioni non uniformi.

I solai sono stati considerati non rigidi ed è stata svolta un'analisi dinamica lineare.

La struttura ha mostrato un buon comportamento sia sotto l'azione dei carichi verticali, sia sotto l'azione del vento (che per alcuni elementi è la combinazione di carico più importante) che sotto l'azione sismica.

## 12. SINTESI DEI RISULTATI E CRITERI DI ACCETTABILITÀ

La struttura ha mostrato un buon comportamento sia sotto l'azione dei carichi verticali (che per alcuni elementi è la combinazione di carico più importante) sia sotto l'azione sismica.

Giudizio di accettabilità: i risultati dei modelli strutturali sia in termini di spostamento sia in termini di sollecitazione rispondono esattamente a quanto ipotizzato e calcolato a mano dallo scrivente in fase di predimensionamento. In particolare, le sollecitazioni agli SLU, derivanti dai carichi verticali, degli elementi strutturali più significativi risultano coerenti con i risultati di calcoli semplificati (utilizzando gli schemi statici di travi semplicemente appoggiate, telai piani...), mentre per quanto riguarda l'analisi sismica è stato fatto un controllo relativamente al calcolo delle masse sismiche, dei tagli di piano e delle rigidezze di piano, nonché dei massimi spostamenti, confrontando i risultati del software con quelli ottenuti da analisi lineari statiche su telai piani.

Tutte le strutture risultano verificate secondo le attuali NTC2018.