

COMUNE DI INVERUNO

Provincia di Milano

oggetto

PERMESSO DI COSTRUIRE PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO EDIFICIO COMMERCIALE TIGROS

Corso Italia S.P. N31

proprietario

TIGROS S.p.A.
via del Lavoro, 45
21048 SOLBIATE ARNO (VA)
Tel. 0331/986111 Fax 0331/986048
P. IVA 12790620152 - C.F. 00753150127

progettista

Arch. LETIZIA MORETTI
via del Lavoro, 45
21048 SOLBIATE ARNO (VA)
Tel. 0331/986111 Fax 0331/986048
e-mail: letizia.moretti@tigros.it

progetto strutture vasche laminazione

Ing. GIAN MARIO COMAZZI
c.so Garibaldi, 195
13045 GATTINARA (VC)
Tel. 0163 826228
e-mail: info@comazzi.it

titolo

RELAZIONE STRUTTURE dimensionamento vasche di laminazione

Tav. 14/3

REVISIONI

n.	data	modifiche
0		

scala

data 06/05/2019

- A . Materiali strutturali di riferimento

Nel presente capitolo sono riportati i materiali strutturali utilizzati per la struttura in esame.

cls 20/25

Calcestruzzo tipo
C20/25

Resistenza caratteristica cubica R_{ck} kg/cm^2	250
--	-----

Resistenza caratteristica cilindrica f_{ck} kg/cm^2	208
--	-----

Coeff. sicurezza parziale per il calcestruzzo

1.5

Resistenza di calcolo f_{cd} kg/cm^2	117.58
---	--------

Resistenza di calcolo a trazione f_{ctd} kg/cm^2	10.64
---	-------

Modulo elastico E kg/cm^2	300000
----------------------------------	--------

Modulo di elasticità tangenziale G kg/cm^2	15000
---	-------

classe di esposizione in fondazione

XC 2

classe di esposizione in elevazione

XC 1

acciaio

Acciaio tipo
B450C

Resistenza di snervamento f_{yk} kg/cm^2	4500
---	------

Coeff. sicurezza parziale per l'acciaio

1.15

Resistenza di calcolo f_{yd} kg/cm^2	3913
---	------

B. Relazione tecnica illustrativa

La presente relazione si riferisce al progetto strutturale delle opere di seguito descritte inquadrando tale progetto in relazione alle normative citate.

1.1. Descrizione generale dell'opera

1.1.1. Caratteristiche della costruzione

1.1.1.1. Descrizione

L'edificio in esame è ubicato nel comune di Inverigo in provincia di Milano nella regione Lombardia .

Le coordinate geografiche ED50 del sito di costruzione sono:

Longitudine: 8,85278

Latitudine: 45,5150

1.1.1.2. Descrizione

Trattasi di una struttura scatolare composta da setti e soletta in c.a. con fondazione su trave su suolo elastico.

Pianta ed elevato regolare.

1.1.1.3. Dimensioni principali della costruzione

La costruzione ha dimensioni massime in pianta di 18/20,50 m per 3.00 m di larghezza e un'altezza di 4.60 m

1.1.1.4. Regolarità e duttilità

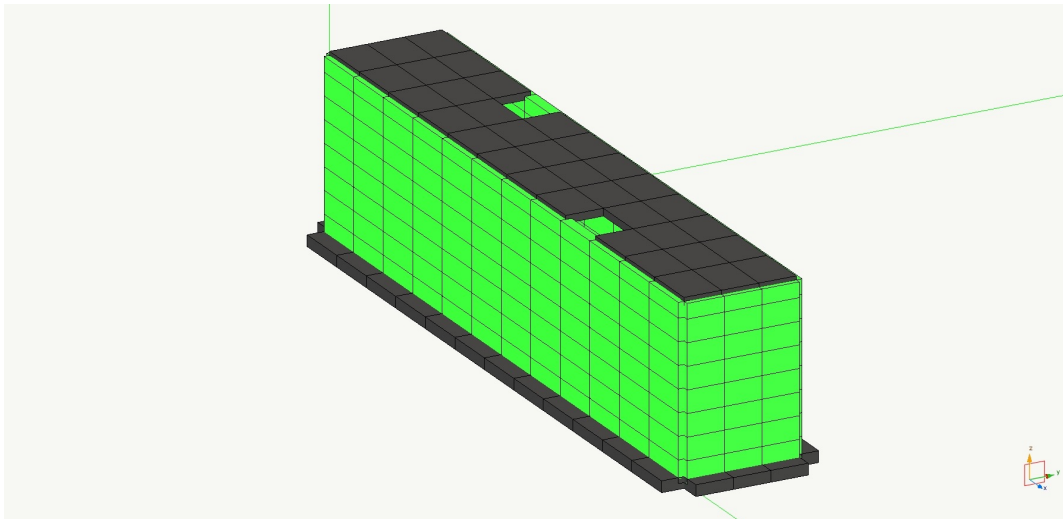
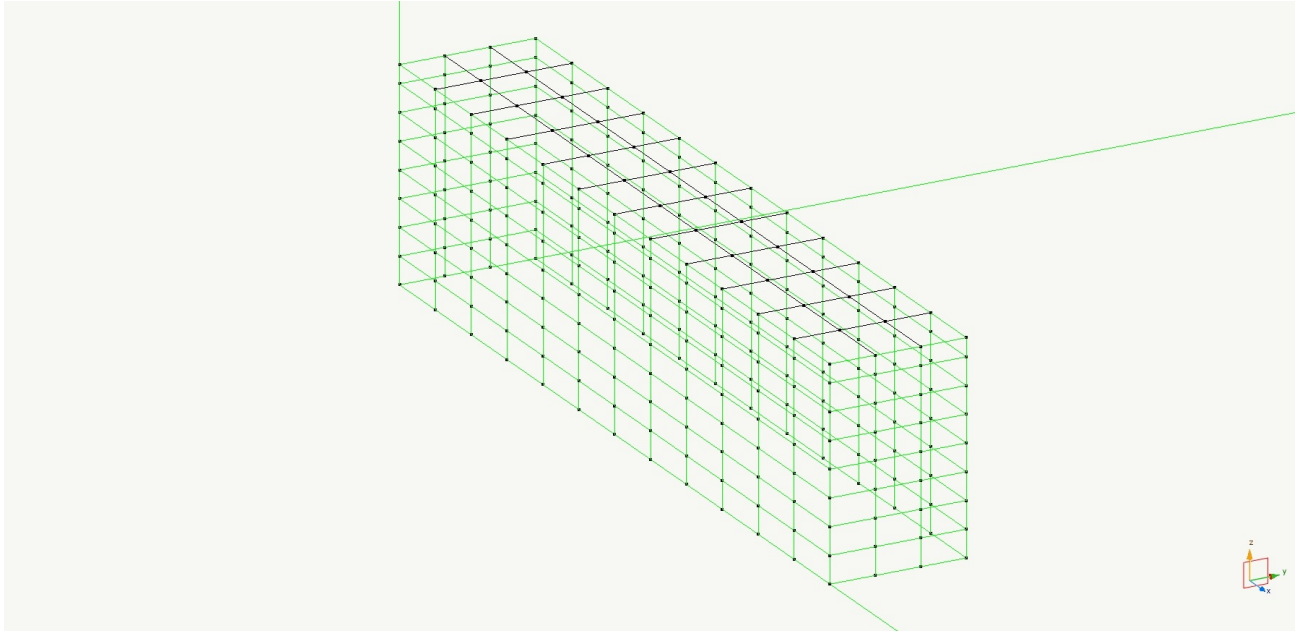
La struttura è stata considerata regolare in pianta, regolare in altezza ed ha una classe di duttilità bassa.

1.2. Classe di uso della costruzione e vita utile di servizio

La costruzione, soggetta ad azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, è definita con una classe d'uso 2 e cioè : strutture a pareti accoppiate o miste equivalenti a pareti con una vita nominale di 50.0 anni, un coefficiente di uso di 1.0 e un periodo di riferimento per l'azione sismica pari a $VR=50.0$.

2. Concezione strutturale

Dal punto di vista strutturale la vasca in oggetto è realizzata in calcestruzzo armato ed organizzato come strutture a pareti accoppiate o miste equivalenti a pareti con soletta superiore collegata a cerniera mediante lo svincolo in appoggio e fondazione discretizzata mediante una trave winkler di distribuzione delle sollecitazioni sul suolo.



La struttura è realizzata con criteri tali da permetterne una bassa capacità dissipativa e quindi rientrare nella classe di duttilità alta CD"B". (DM 17-01-18 - cap. 7.2.1.).

3. Normative applicate

Le normative prese a riferimento nella stesura della presente relazione sono:

- 1) D.M. 17/01/2018 "Norme tecniche per le costruzioni"
- 2) MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. (19A00855) (GU Serie Generale n.35 del 11-02-2019 - Suppl. Ordinario n. 5)

4. Unità di misura e simbologia

Nei calcoli della relazione si farà uso di unità di misura congruenti con le unità di misura utilizzate nei programmi di calcolo e verifica utilizzati, nella fattispecie quelle utilizzate nel programma Nòlian:

per i carichi:	kg/cm
per i momenti:	kgxcm
per i tagli e sforzi normali:	kg
per le tensioni:	kg/cm ²
per gli spostamenti	cm

5. Misura della sicurezza

In questo capito sono indicati i criteri adottati per le misure della sicurezza.

5.1. Criteri di calcolo

I calcoli e le verifiche sono condotti con il *criterio semiprobabilistico degli stati limite* secondo i metodi indicati nelle norme indicate nel capitolo Normative Applicate.

5.2. Coefficienti parziali dei carichi

Si riportano i coefficienti di combinazione utilizzati

	γ_1	γ_2	ψ_0	ψ_1	ψ_2	ψ_3
Permanente	1.4	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sismico SLU	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sismico SLD	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Torcente SLU	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Torcente SLD	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cat. A: Residenziale	1.5	1.0	0.7	0.5	0.3	0.3
Cat. B: Uffici	1.5	1.0	0.7	0.5	0.3	0.3
Cat. C: Affollamento	1.5	1.0	0.7	0.7	0.6	0.6
Cat. D: Commerciale	1.5	1.0	0.7	0.7	0.6	0.6
Cat. E: Magazzini	1.5	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8
Cat. F: Rimesse (<30kN)	1.5	1.0	0.7	0.7	0.6	0.6
Cat. G: Rimesse (>30kN)	1.5	1.0	0.7	0.5	0.3	0.3
Cat. H: Copertura	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Neve (q<1000)	1.5	1.0	0.5	0.2	0.0	0.0
Neve (q>1000)	1.5	1.0	0.7	0.5	0.2	0.2
Vento	1.5	0.0	0.6	0.2	0.0	0.0
Tipo di carico 01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sismico SLV	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sismico SLO	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sismico SLC	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Torcente SLO	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Combinazione	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0

dove:

γ_1 è il coefficiente parziale per i carichi permanenti

γ_2 è il coefficiente parziale per i carichi permanenti in fase di sisma

ψ_0 è il coefficiente parziale per i carichi variabili in caso di combinazione "rara"

ψ_1 è il coefficiente parziale per i carichi variabili in caso di combinazione "frequente"

ψ_2 è il coefficiente parziale per i carichi variabili in caso di combinazione "quasi permanente"

ψ_3 è il coefficiente parziale per i carichi variabili in caso di combinazione con il sisma

5.3. Coefficienti parziali dei materiali degli elementi bidimensionali in cemento armato

I coefficienti parziali del calcestruzzo e dell'acciaio per elementi piani (pareti e muri) sono:

Coefficiente di riduzione della resistenza del calcestruzzo $\gamma_{cc}=1.5$

Coefficiente di riduzione della resistenza dell'acciaio $\gamma_{ss}=1.15$

5.4. Coefficienti di combinazione dei carichi permanenti, variabili

Si riporta la Tab. 2.6.1 delle Norme tecniche delle costruzioni. In essa sono contenuti i coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

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

Nella Tab. 2.6.1 il significato dei simboli è il seguente:

γ_{G1} coefficiente parziale del peso proprio della struttura, nonché del peso proprio del terreno e dell'acqua, quando pertinenti;

γ_{G2} coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;

γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili.

Nel caso in cui l'azione sia costituita dalla spinta del terreno, per la scelta dei coefficienti parziali di sicurezza valgono le indicazioni riportate nel Cap. 6.

6. Schematizzazione della struttura

In questo capitolo sono riportati i criteri seguiti nella schematizzazione della struttura, dei vincoli, e delle sconnessioni con particolare attenzione rivolta ai problemi riguardanti l'interazione tra terreno e struttura.

6.1. Il modello della struttura

Il modello e' costituito da 292 nodi e da 304 elementi.

Nel modello vi sono:

30.0 elementi lineari a due nodi

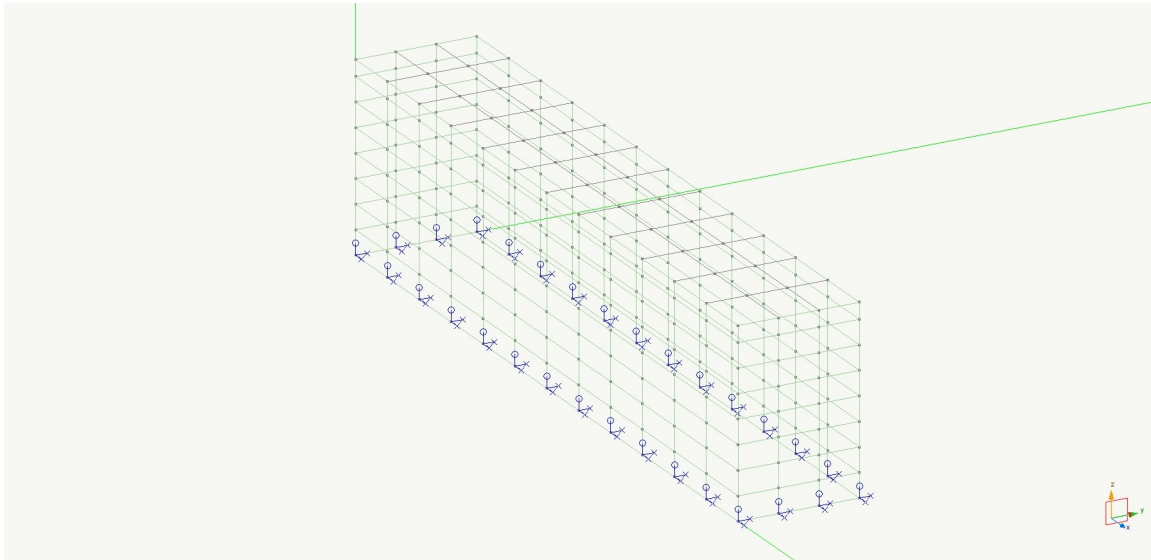
274.0 elementi piani a quattro nodi

Il tipo di elementi impiegati è il seguente:

30.0 elementi trave su suolo elastico alla Winkler

274.0 elementi lastra-piastra

0.0 elementi solidi



I vincoli esterni imposti alla struttura sono riportati nel seguente schema di vincolamento della struttura.

Nella struttura non è stato impiegato il metodo Master-Slave per modellare impalcati rigidi.

7. Azioni

In questo capitolo vengono definite le azioni di progetto utilizzate nella struttura.

7.1. Carichi permanenti e variabili

7.1.1. Peso proprio della struttura

Il peso proprio della struttura viene calcolato automaticamente in funzione dei pesi specifici di ogni singolo materiale utilizzato e delle dimensioni delle sezioni.

I valori dei pesi specifici utilizzati sono in accordo con la tabella 3.1.I del DM 17/01/2018.

7.1.2. Carichi permanenti e variabili unitari agenti sui solai (P.to 3.1 DM 17/01/2018)

In considerazione della posizione delle vasche in area soggetta a transiti pesanti è stato preso un carico accidentale pari a 2000 kg/mq e un permanente di 250 kg/mq.

7.2. Forze indotte dalla pressione del terreno

Trattandosi di pareti interrato le spinte del terreno sono calcolate considerando una distribuzione lineare crescente con la profondità ottenute dalle tensioni litostatiche moltiplicate per un opportuno coefficiente di spinta orizzontale K valutato in funzione in funzione dell'angolo di attrito del terreno posto a tergo delle pareti. La spinta dovuta al carico variabile sul terrapieno viene calcolata moltiplicando tale carico per il medesimo coefficiente K.

7.3. Forze indotte dalla pressione dell'acqua

La pressione dell'acqua agisce all'interno della vasca in contropinta, quindi la condizione a vasca piena è più favorevole. Le verifiche sono state condotte nella condizione peggiore, ossia vasca vuota e massimo carico sulla soletta.

7.4. Azione da sisma

7.4.1. Localizzazione geografica

L'edificio sorge nel comune di Inveruno ed ha le seguenti coordinate geografiche:

Latitudine	Longitudine
45.515	8.853

7.4.2. Categoria del sottosuolo

Il sottosuolo è stato classificato di categoria D: Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure poco coesivi da poco a mediamente consistenti.

7.4.3. Categoria topografica

Il sottosuolo è stato classificato di categoria T1: superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i = 15^\circ$.

7.4.4. Classe di duttilità

La struttura dell'edificio è realizzata con strutture a pareti accoppiate o miste equivalenti a pareti ed è stata progettata con i criteri specifici della classe di duttilità bassa.

7.4.5. Regolarità della struttura

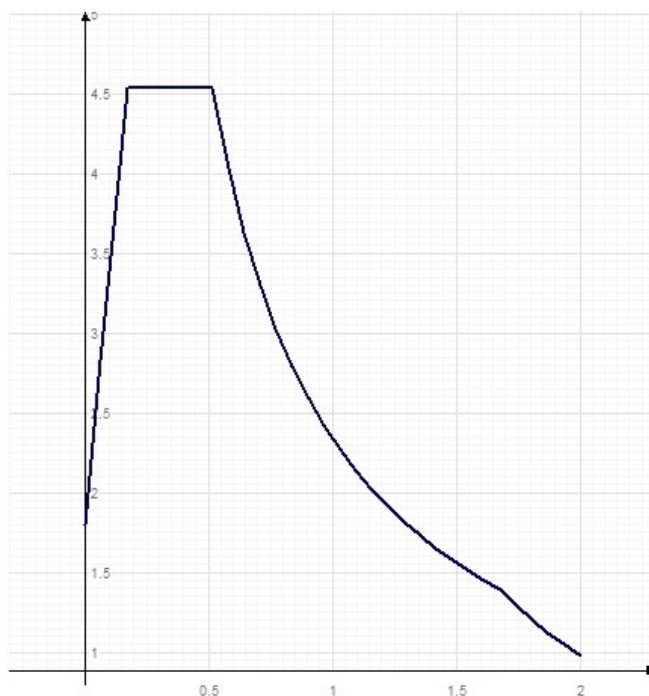
La struttura in esame per le sue particolarità è stata considerata dal progettista, regolare in pianta e regolare in elevazione.

7.4.6. Analisi spettrale

L'analisi spettrale è condotta per le seguenti condizioni dinamiche:

Nome della condizione dinamica	Nome dello spettro	Acc. X	Acc. Y	Acc. Z	
Dinamica SLDh X	SLDh	18.606	0.000	0.000	
Dinamica SLDh Y	SLDh	0.000	18.606	0.000	
Dinamica SLVh X	SLVh	37.831	0.000	0.000	
Dinamica SLVh Y	SLVh	0.000	37.831	0.000	

Sono stati impiegati i seguenti spettri di risposta:

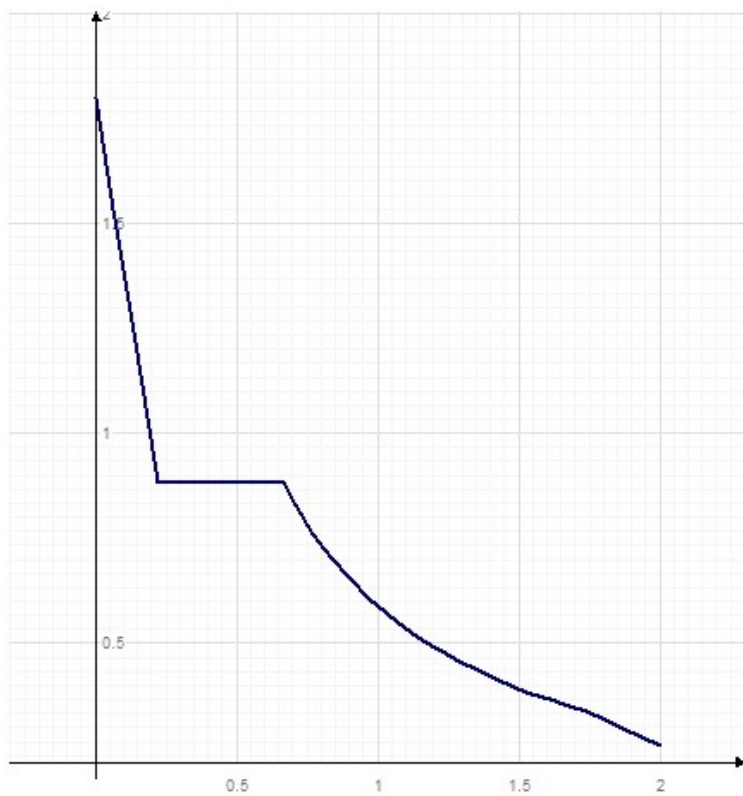


Spettro: SLDh.

I parametri utilizzati per la generazione dello spettro su riportato SLD sono riassunti nella seguente tabella:

Tipo	Ag/g	Tc	Fo	S	Fattore di comportamento q
Stato Limite di Danno	0.019	0.170	2.522	1.800	1.000

dove: Ag/g è la accelerazione parametrica, tc è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, Fo è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, $S=S_s \cdot S_c$ è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche.



Spettro: SLVh.

I parametri utilizzati per la generazione dello spettro su riportato SLV sono riassunti nella seguente tabella:

Tipo	Ag/g	Tc	Fo	S	Fattore di comportamento q
Stato Limite di salvaguardia della Vita	0.039	0.285	2.652	1.800	5.400

dove: Ag/g è la accelerazione parametrica, tc è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, Fo è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, $S=S_s \cdot S_c$ è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche.

7.5. Azione della neve

In considerazione dell'elevato carico accidentale previsto pari a 2000 kg/mq non si è tenuto conto dell'effetto neve.

7.6. Azioni eccezionali

Vista la concezione strutturale dell'edificio, i materiali e i dettagli costruttivi adottati si ritiene di non dover effettuare verifiche specifiche nei riguardi delle azioni eccezionali quali urto, esplosione e incendio.

7.7. Ripartizione dei carichi unitari dei solai

Tarattandosi di unica campata il carico di solaio è stato ripartito in modo uguale su tutta la superficie.

7.8. Tipizzazione di carichi

Nella seguente tabella si riporta la associazione delle condizioni di carico ai tipi di carico che sono stati utilizzati nel presente progetto ai fini della generazione delle corrette combinazioni di carico.

Nome carico	Tipo carico associato
(1) #2	Cat. G: Rimesse (>30kN)
(1) #1	Permanente
(1) Dinamica SLDh X	Sismico SLD
(1) Dinamica SLDh Y	Sismico SLD
(1) Dinamica SLVh X	Sismico SLV
(1) Dinamica SLVh Y	Sismico SLV

7.9. Sistema di masse corrispondenti alle azioni statiche

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

$$G_k + \Sigma(\Psi_{Ei} \cdot Q_{ki})$$

Ψ_{Ei} è il coefficiente di combinazione dell'azione variabile Q_i che tiene conto che tutti i carichi $\Psi_{Ei} \cdot Q_{ki}$ siano presenti sull'intera struttura in occasione del sisma e si ottiene moltiplicando Ψ_{2i} per ϕ .

I valori di Ψ_{2i} , ϕ sono riportati nel capitolo della Misura della Sicurezza.

7.9.1. Distribuzione accidentale delle masse

Gli effetti torsionali accidentali sono tenuti in conto applicando ad ogni piano un momento torcente calcolato come:

$$M_i = F_i \times e_{ai}$$

dove:

F_i sono le forze statiche equivalenti al sisma calcolate in base a quanto definito al punto 7.3.3.2 del DM 17/01/2018

e_{ai} è l'eccentricità definita al punto 7.2.6 del DM 17/01/2018

7.10. Condizioni di carico

I nomi delle condizioni di carico statiche impiegate sono i seguenti:

- 1) #1 permanenti
- 2) #2 variabili

7.11. Le combinazioni di carico

Per gli elementi in cemento armato bidimensionali sono state prese in considerazione le combinazioni di carico di seguito elencate.

Le combinazioni di progetto considerate sono:

-0.30 * (1) Dinamica SLVh Y + 0.30 * (1) #2 + 1.00 * (1) #1 + -1.00 * (1) Dinamica SLVh X
-0.30 * (1) Dinamica SLVh Y + 0.30 * (1) #2 + 1.00 * (1) #1 + 1.00 * (1) Dinamica SLVh X
0.30 * (1) Dinamica SLVh Y + 0.30 * (1) #2 + 1.00 * (1) #1 + -1.00 * (1) Dinamica SLVh X
0.30 * (1) Dinamica SLVh Y + 0.30 * (1) #2 + 1.00 * (1) #1 + 1.00 * (1) Dinamica SLVh X

$-0.30 * (1) \text{ Dinamica SLVh X} + 0.30 * (1) \#2 + 1.00 * (1) \#1 + -1.00 * (1) \text{ Dinamica SLVh Y}$
 $-0.30 * (1) \text{ Dinamica SLVh X} + 0.30 * (1) \#2 + 1.00 * (1) \#1 + 1.00 * (1) \text{ Dinamica SLVh Y}$
 $0.30 * (1) \text{ Dinamica SLVh X} + 0.30 * (1) \#2 + 1.00 * (1) \#1 + -1.00 * (1) \text{ Dinamica SLVh Y}$
 $0.30 * (1) \text{ Dinamica SLVh X} + 0.30 * (1) \#2 + 1.00 * (1) \#1 + 1.00 * (1) \text{ Dinamica SLVh Y}$
 $1.50 * (1) \#2 + 1.00 * (1) \#1$
 $1.00 * (1) \#1$
 $1.50 * (1) \#2 + 1.40 * (1) \#1$
 $1.40 * (1) \#1$

Le combinazioni di carico di servizio considerate sono le seguenti:

$0.30 * (1) \#2 + 1.00 * (1) \#1$
 $1.00 * (1) \#1$
 $0.50 * (1) \#2 + 1.00 * (1) \#1$
 $1.00 * (1) \#1$
 $1.00 * (1) \#2 + 1.00 * (1) \#1$
 $1.00 * (1) \#1$

8. Legami costitutivi

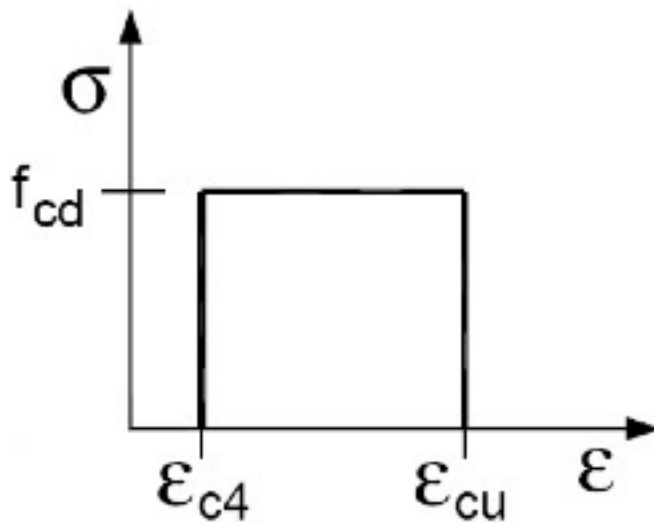
In questo capitolo sono riportati i legami costitutivi adottati per la modellazione dei materiali e dei terreni.

8.1. Elementi bidimensionali

8.1.1. Conglomerato cementizio

Nella figura di seguito è rappresentato il legame costitutivo σ - ϵ adottato per il calcestruzzo del tipo rettangolo (stress block) nel calcolo degli elementi piani bidimensionali.

Legame costitutivo utilizzato



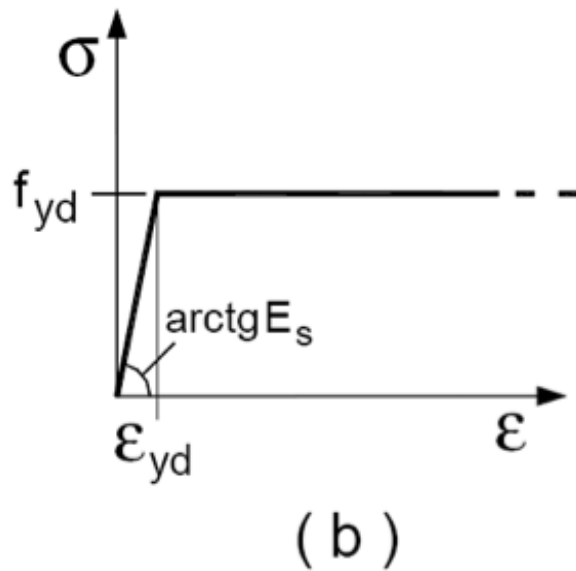
per il calcestruzzo

I valori delle deformazioni utilizzati sono i seguenti:

ϵ_{c4}	ϵ_{cu}
$0.2\epsilon_{cu}$	0.0035

8.1.2. Acciaio da cemento armato

Il legame costitutivo dell'acciaio utilizzato nel calcolo degli elementi bidimensionali è definito come una bilatera con o senza incrudimento.



Legame costitutivo utilizzato per l'acciaio

ϵ_{yd}	f_{yd}
0.0018	3826.09

8.1.3. Rete elettrosaldata per elementi in c.a. e c.a.p.

Per le reti e i tralicci elettrosaldati si utilizzeranno gli acciai tipo B450C e B450A.

8.2. Terreno di fondazione

Il terreno è considerato a comportamento elastico lineare.

Per l'analisi strutturale si fa uso del modulo di reazione (coefficiente di sottofondo) k_s pari a $5.000 \text{ kg} / \text{cm}^3$.

9. Rappresentatività del modello

La rappresentatività dei risultati ottenuti è in primo luogo assicurata dal metodo adottato che è il Metodo degli Elementi Finiti che non richiede delle significative semplificazioni del modello strutturale. Tale metodo ha permesso infatti di rappresentare tutte le particolarità strutturali con l'opportuna adeguatezza. Il modello strutturale utilizzato corrisponde inoltre alle concezioni e alle esigenze di analisi in quanto il programma di calcolo adottato per trattarlo, consente una completa verifica e diagnosi sul modello stesso di elementi finiti non avendo fasi intermedi di automazione che possano rendere poco identificabile il modello adottato.

10. Analisi condotta con ausilio di elaboratore

L'analisi è stata condotta con l'ausilio dell'elaboratore tramite il programma di calcolo Nòlian prodotto dalla Softing srl. Le caratteristiche identificative di tale programma e le caratteristiche di affidabilità sono raccolte in un apposito documento allegato.

La rappresentatività dei risultati ottenuti è in primo luogo assicurata dal metodo adottato che è il Metodo degli Elementi Finiti che non richiede delle significative semplificazioni del modello strutturale. Inoltre, come si evince dal documento relativo allegato, Nòlian è sottoposto a procedure di validazione e alcuni test di validazione e sono presenti nel documento stesso. Inoltre Nòlian è dotato di procedure automatiche di test che possono essere attivate da chiunque per verificare la corrispondenza dei risultati ai principali benchmark internazionali di validazione.

10.1. tipo di analisi svolta

Per la struttura in esame sono state eseguite:

Una analisi statica lineare per i carichi statici verticali ed orizzontali

Una analisi dinamica spettrale

11. Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Programma di calcolo e post processori

All-In-One

Produttore Softing s.r.l.

Versione EWS 48 (09.05.2019) build 7471

Licenza Licenza 1230

12. Affidabilità dei codici utilizzati

Le caratteristiche di affidabilità sono raccolte in un apposito documento allegato alla presente relazione di calcolo.

13. Validazione dei codici

Vista la dimensione contenuta dell'opera, non si ritiene necessaria una validazione indipendente del calcolo strutturale.

La rappresentatività dei risultati ottenuti è in primo luogo assicurata dal metodo adottato che è il Metodo degli Elementi Finiti che non richiede delle significative semplificazioni del modello strutturale. Inoltre, come si evince dal documento relativo alla validazione lineare allegato, Nòlian è sottoposto a procedure di validazione e alcuni test di validazione e sono presenti nel documento stesso. Inoltre Nòlian è dotato di procedure automatiche di test che possono essere attivate da chiunque per verificare la corrispondenza dei risultati ai principali benchmark internazionali di validazione.

14. Presentazione dei risultati delle analisi

14.1. Risultati della analisi statica

Sulla struttura in esame è stata eseguita l'analisi statica. Nella tabella seguente si riassumono le informazioni principali:

Larghezza della semibanda della matrice	222.000
Numero di equazioni, o di righe e colonne della matrice	1662.000
numero di blocchi in cui la matrice è stata divisa	1.000
numero di equazioni di ogni blocco in cui la matrice è stata divisa	1662.000
zero algoritmico	0.000
tempo in secondi impiegato per l'analisi	0.200

14.2. Risultati dell'analisi modale

Sulla struttura in esame è stata eseguita l'analisi modale. L'analisi modale consiste nel determinare le frequenze e modi propri di vibrare di un sistema a più gradi di libertà. Siano \mathbf{k} e \mathbf{m} rispettivamente le matrici di rigidezza e di massa della struttura da analizzare. Se si indica con ω_n e ϕ_n rispettivamente frequenze e modi propri di vibrare,

si può scrivere la relazione che ci fornisce la dinamica delle strutture che lega le grandezze appena citate:

$$[\mathbf{k} - \omega_n^2 \mathbf{m}] \phi_n = 0$$

Chiaramente \mathbf{k} e \mathbf{m} sono termini noti in quanto ricavati a priori dalle caratteristiche del sistema strutturale, ω_n e ϕ_n sono incognite. La precedente espressione può essere

riscritta nel seguente modo:

$$\mathbf{k} \phi_n = \omega_n^2 \mathbf{m} \phi_n$$

questo rappresenta un problema agli autovalori e autovettori generalizzato e può essere ricondotto nella forma standard semplicemente premoltiplicando per la matrice inversa di \mathbf{m}

$$\mathbf{m}^{-1} \mathbf{k} \phi_n = \omega_n^2 \phi_n$$

La forma standard del problema è:

$$\mathbf{A} \phi = \lambda \phi$$

L'analisi modale, quindi, consiste nella risoluzione di un problema di autovalori e autovettori.

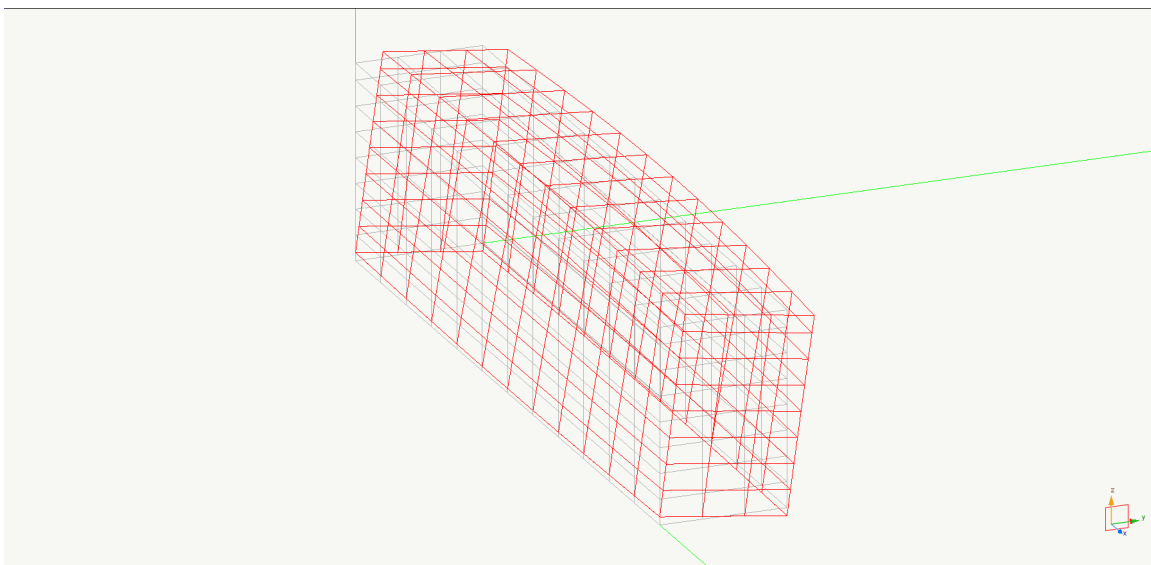
Il numero degli autovalori calcolati è pari a 8.000 e la tabella che segue contiene i valori dei periodi propri:

Modo	Periodo	Var. percentuale	Masse eccitate
1	0.162	0.000	40.389
2	0.039	76.080	0.000
3	0.038	1.990	0.000
4	0.036	4.370	1.213
5	0.033	8.540	41.184
6	0.032	4.180	0.471
7	0.029	8.150	4.085
8	0.026	10.820	0.000

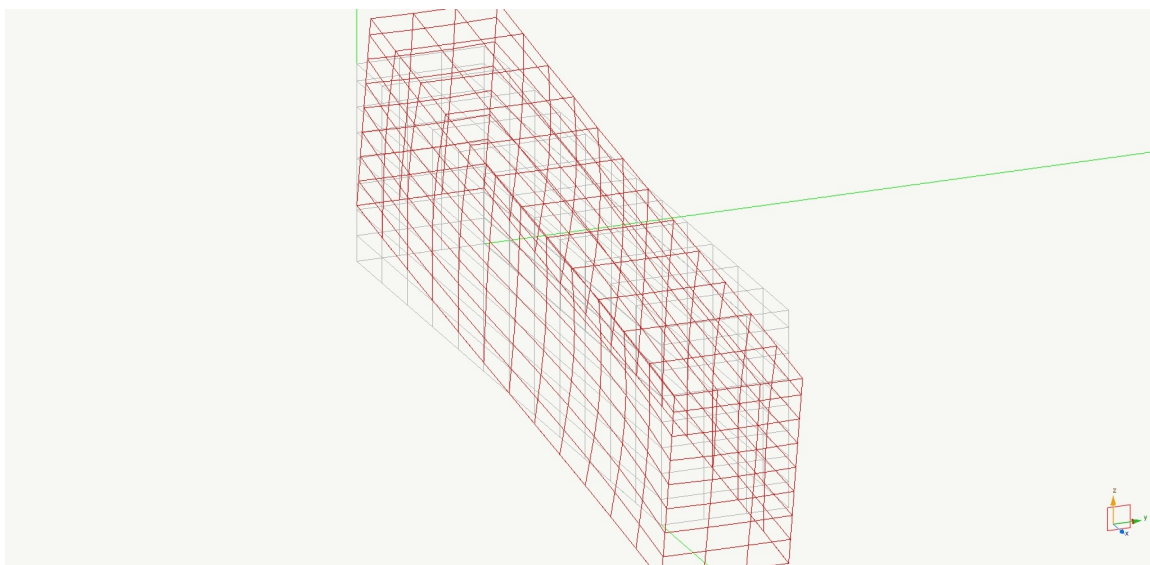
La somma delle masse relative eccitate dai modo considerati e' il 87.343% delle masse totali maggiore del 85% della massa totale e quindi il punto 7.3.3.1 della normativa risulta verificato

Siccome la variazione percentuale minima tra i periodi nel modello con spostamento è del 1.990% ed è inferiore al 10% si utilizza nel calcolo delle azioni sismiche la combinazione quadratica completa (CQC).

Si riportano le forme modali della struttura relative agli autovettori più significativi (solo i modi con masse eccitare maggiori del 5%) nei diagrammi seguenti.



*Rappresentazione della forma modale relativa al modo 1.0
avente massa eccitata pari a 0.40389345792918*



*Rappresentazione della forma modale relativa al modo 5.0
avente massa eccitata pari a 0.41184105207346*

15. Progetto degli elementi piani in cemento armato

15.1. Generalità

Il progetto delle armature degli elementi piani in calcestruzzo di questa struttura è stata condotta con il programma EasyWall prodotto dalla Softing S.r.l. di Roma.

La verifica degli elementi piani in cemento armato sono riportate nell'allegato analitico di calcolo di EW.

15.2. Nota su EasyWall

EasyWall è un programma per il progetto delle armature in elementi strutturali bidimensionali in calcestruzzo armato.

EasyWall è un post processore di Nòlian che acquisisce direttamente il modello di calcolo e gli stati di sollecitazione da Nòlian. Pertanto EasyWall riceve i dati di un modello ad elementi finiti di una struttura tridimensionale del tutto generale comunque sollecitata.

EasyWall gestisce questa situazione del tutto generale senza porvi limitazioni ma gestendo lo stato completo di sollecitazione (sollecitazione flessionale accoppiata alla sollecitazione membranale) in elementi piani.

Per far ciò EasyWall impiega una sofisticata funzione di analisi non lineare applicata a molti punti della superficie media dell'elemento per determinare i piani di fessurazione e quindi le direzioni delle sollecitazioni.

Queste capacità di EasyWall diminuiscono drasticamente le possibilità di errore di progetto.

Nel caso di progetto con il metodo delle tensioni ammissibili viene impiegato un modello lineare sforzi-deformazioni, come previsto dalla normativa, nel caso invece di analisi con il metodo degli stati limite viene impiegata la funzione sforzo-deformazione non lineare, sempre prevista dalla normativa.

Nelle stampe analitiche effettuate dal programma, vengono poi eseguite nuovamente le verifiche nei punti richiesti in modo tale da garantire che gli stampati analitici riflettano le vere situazioni progettuali tenendo quindi conto anche delle eventuali modifiche che il progettista abbia ritenuto opportuno praticare.

15.3. Criteri di calcolo

Per le verifiche di resistenza si è adottato il criterio degli stati limite seguendo i dettami imposti dalla legge n.1086 del 5/11/71 ed i successivi aggiornamenti.

Per il calcolo delle armature si sono adottati :
per il calcestruzzo di classe $R_{ck} = 250 \text{ kg/cm}^2$:

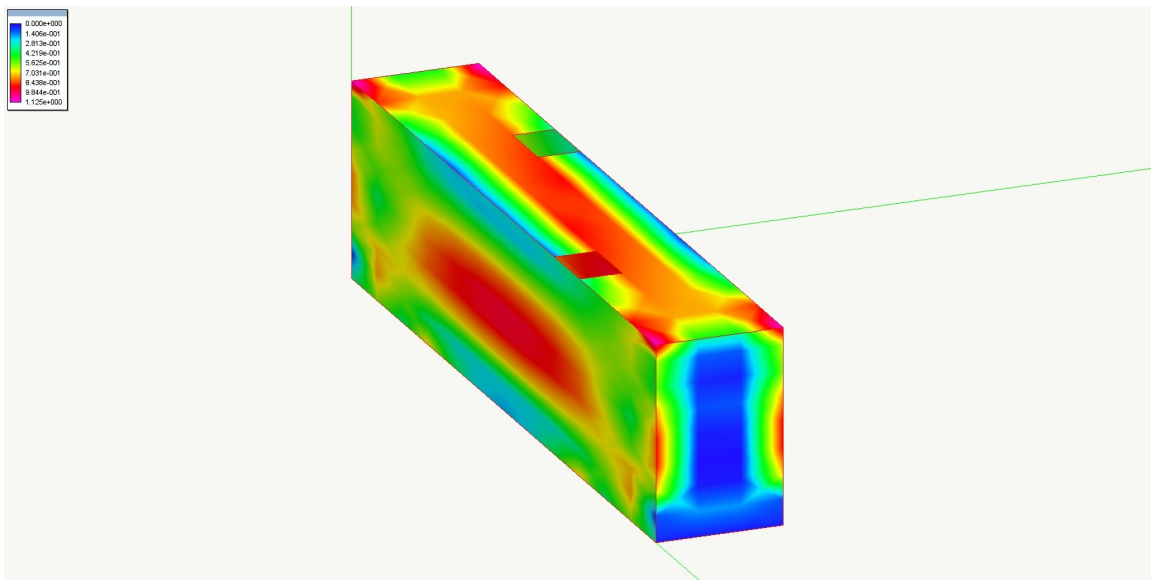
coefficiente di sicurezza parziale calcestruzzo	1.500
coefficiente di sicurezza addizionale calcestruzzo	0.850
accorciamento unitario massimo nel calcestruzzo	0.004

e per l'acciaio tipo B450C:

resistenza caratteristica acciaio	4400.000 kg/cm ²
coefficiente di sicurezza parziale acciaio	1.150
allungamento unitario massimo nell'acciaio	0.010

15.4. Verifiche per lo stato limite ultimo

Nella immagine che segue vengono riportati i risultati delle verifiche degli elementi visualizzate globalmente cioè sull'intera struttura con esplicitato il valori massimo delle diverse grandezze caratteristiche in gioco.



Coefficiente di sfruttamento

Tale coefficiente va inteso come rapporto tra azioni agenti agente e resistenza ultima ed è quindi l'inverso del coefficiente di sicurezza. Il colore rosso della rappresentazione evidenzia lo stato di massima tensione sull'elemento.

Il fattore di sicurezza viene valutato costruendo la funzione del dominio di rottura e verificando il fattore di sicurezza per tutte le combinazioni di carico di progetto. Il valore minimo del fattore di sicurezza (massimo del fattore di sfruttamento) viene espresso in colore.

Il calcolo del fattore di sicurezza avviene considerando il punto di carico. La misura del fattore di sicurezza avviene lungo la retta che congiunge questo punto con l'origine nello spazio delle sollecitazioni. L'intersezione di tale retta con il confine del dominio di rottura determina il punto limite. Il rapporto tra la distanza di tale punto dall'origine e la distanza del punto di carico, determina il fattore di sicurezza.

Questa verifica è la più sofisticata e accurata possibile in quanto fornisce in una visione sintetica della reale sicurezza dell'elemento. Infatti la verifica avviene sul dominio di rottura considerando tutte le componenti di sforzo.

15.5. Verifiche per lo stato limite di esercizio

15.5.1. Fessurazione

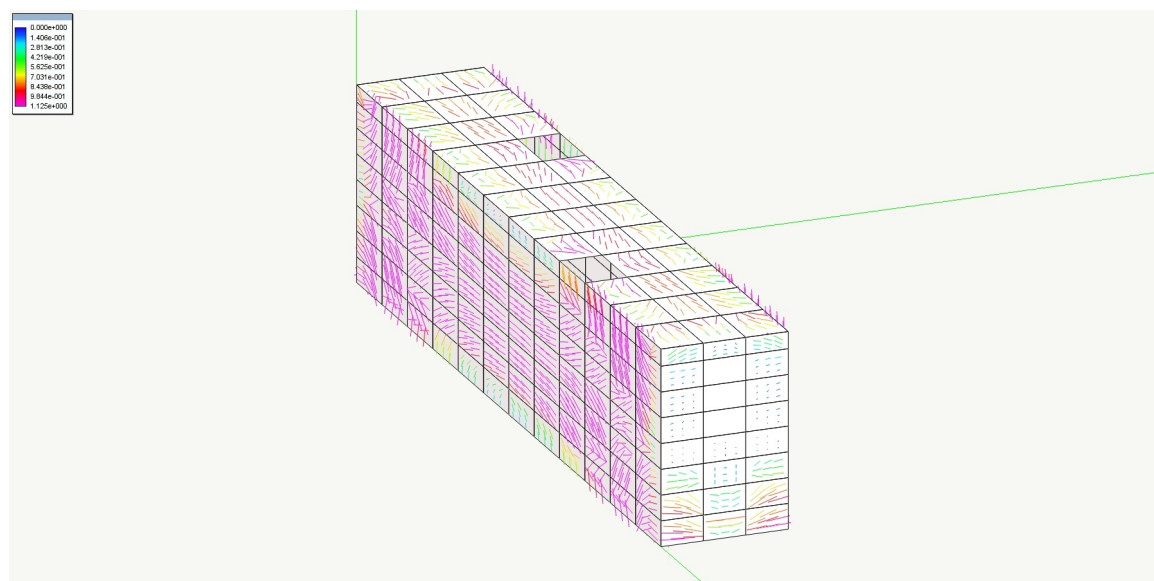
Secondo quanto dettato dal DM 17/01/2018 si considera per la struttura in esame le seguenti esigenze:

Ambiente:	Ordinario
Gruppo esigenze:	A
Sensibilità armatura:	Poco sensibile

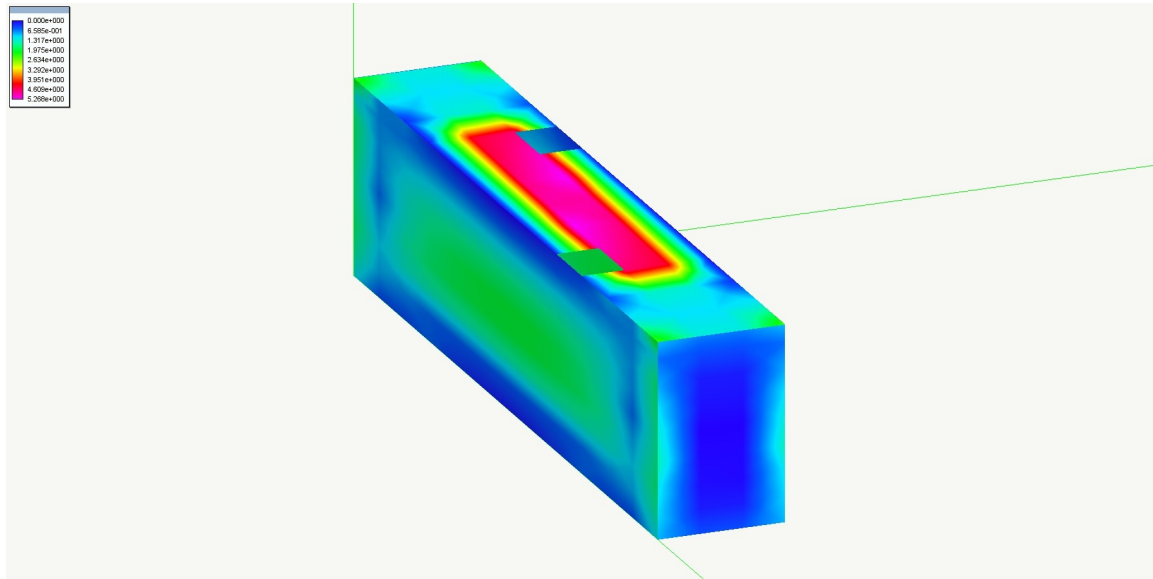
queste comportano il controllo dei seguenti stati limite:

combinazione di carico:	Stato limite: apertura fessure
Frequente	$\leq w_3=0.4\text{mm}$
Quasi permanente	$\leq w_3=0.3\text{mm}$

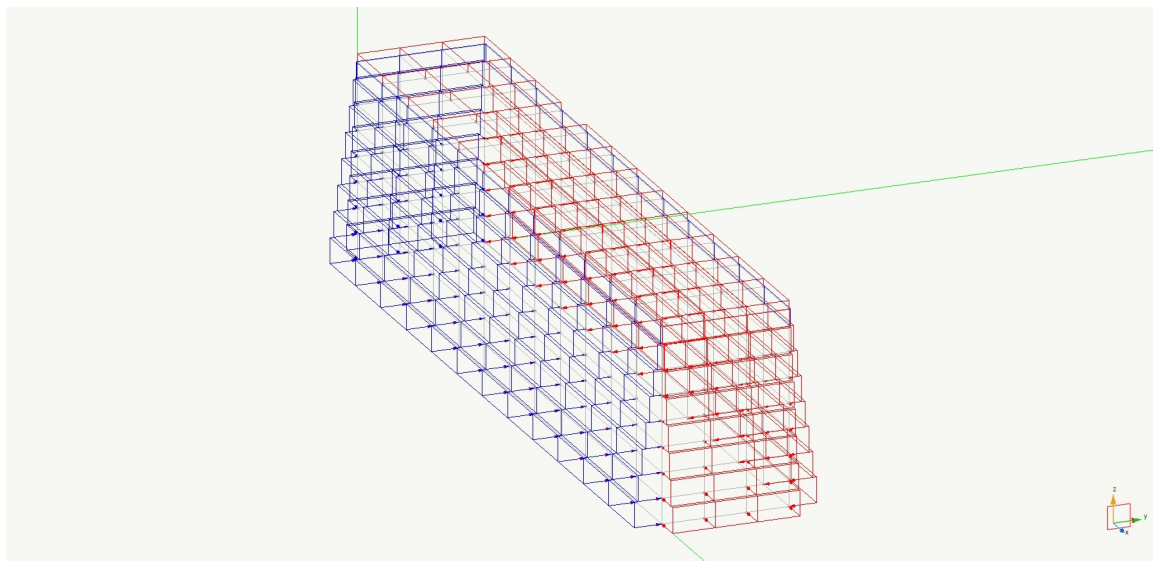
La figura seguente riassume lo stato di fessurazione



La figura seguente riassume lo stato tensionale



La figura seguente riassume l'intensità dei carichi applicati, spinta del terreno sui setti, accidentale sulla soletta



16. Valutazione dei risultati e giudizio motivato sulla loro accettabilità

Il software utilizzato permette di modellare analiticamente il comportamento fisico della struttura utilizzando la libreria disponibile di elementi finiti.

Le funzioni di visualizzazione ed interrogazione sul modello permettono di controllare sia la coerenza geometrica che le azioni applicate rispetto alla realtà fisica.

Inoltre la visualizzazione ed interrogazione dei risultati ottenuti dall'analisi quali sollecitazioni, tensioni, deformazioni, spostamenti, reazioni vincolari hanno permesso un immediato controllo con i risultati ottenuti mediante schemi semplificati di cui è nota la soluzione in forma chiusa nell'ambito della Scienza delle Costruzioni.

Si è inoltre controllato che le reazioni vincolari diano valori in equilibrio con i carichi applicati, in particolare per i valori dei taglianti di base delle azioni sismiche si è provveduto a confrontarli con valori ottenuti da modelli semplificati.

Le sollecitazioni ottenute sulle travi per i carichi verticali direttamente agenti sono stati confrontati con semplici schemi a trave continua.

Per gli elementi inflessi di tipo bidimensionale si è provveduto a confrontare i valori ottenuti dall'analisi con i valori di momento flettente ottenuti con gli schemi semplificati della Tecnica delle Costruzioni.

Si è inoltre verificato che tutte le funzioni di controllo ed autodiagnostica del software abbiano dato esito positivo.

Ciò quanto dovuto.

ing. Gian Mario Comazzi



maggio 2019