Firmato digitalmente da:
Simone Di Girolamo
L'Aquila

AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DELL'AQUILA

DM 125/2022 – Lavori di messa in sicurezza del ponte al Km 15+226 della Sp 105 " Di Monte Cabbia"

CUP. F85F23000370001

ELABORATO:

Relazione di calcolo_ANTE intervento

N° TAV.

R02

DATA

Giugno 2026

AGG.

SCALA

IL DIRIGENTE DEL SETTORE VIABILITA'

Ing. Nicolino D'AMICO

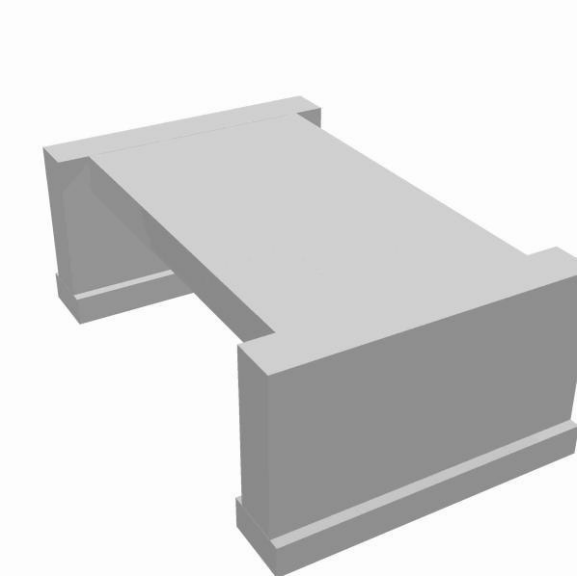
RUP: Arch. Wanda Ilinca PAOLINI

APPROVATO CON DETERMINA DIRIGENZIALE

IL PROGETTISTA : ING. DI GIROLAMO SIMONE
VIA DELL'ARINGO N° S6 - 67100 - PRETURO (AQ)
P. Iva n.01726030669 - C.F. DGRSMN80C03A34SV
ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI L'AQUILA 2328

Comune di MONTERALE

Committente



PONTE PROVINCIA

Relazione di calcolo

Data
09/06/2026

Il Tecnico

Relazione di calcolo

1 Premessa

La seguente relazione riporta i risultati dei calcoli statici relativi alle opere strutturali dell'edificio PONTE PROVINCIA sito nel comune di MONTERALE così come ottenuti dal responsabile dei calcoli con l'uso del programma EDISIS 2000 della Newsoft s.a.s. di Cosenza, programma specifico per l'analisi e la verifica di edifici multipiano in cemento armato.
Il programma EDISIS è diffuso su tutto il territorio nazionale ed è assistito dalla ditta produttrice. Il responsabile dei calcoli ne è licenziatario registrato.

2 Descrizione dell'opera ed inquadramento normativo dell'intervento

La classificazione del presente intervento è di miglioramento/adeguamento sismico.

3 Riferimenti legislativi

L'analisi della struttura è stata condotta in accordo alle seguenti norme tecniche:
Legge n.1086 del 05/11/1971: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.
Legge n.64 del 02/02/74: Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
D.M. del 17/01/2018: Norme tecniche per le costruzioni (2018).
C.M. n.7 del 19/01/2019: Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
D.M. del 14/01/2008: Allegato A alle norme tecniche per le costruzioni: pericolosità sismica. Allegato B alle norme tecniche per le costruzioni: tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica.

4 Parametri di progetto

In funzione dei livelli di prestazione richiesti la costruzione in esame è considerata di tipo 2, ovvero costruzione con livelli di prestazione elevati e quindi con vita nominale Vn di 100 anni, periodo nel quale si ritiene che l'opera mantenga specifici livelli prestazionali, purchè soggetta alla necessaria manutenzione.
Ai fini delle verifiche a fessurazione sono state considerate condizioni ambientali ordinarie e armature poco sensibili alla corrosione.
Ai fini dell'importanza delle funzioni e in relazione alle conseguenze per interruzione di operatività o di perdita di vite umane per la costruzione è stata considerata la classe d'uso III, relativa a costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente.
Per quanto riguarda l'applicazione dei carichi, questi sono stati distinti in carichi permanenti strutturali (peso proprio degli elementi strutturali), carichi permanenti non strutturali (peso proprio degli elementi non strutturali), carichi variabili antropici di vario tipo in funzione della destinazione d'uso degli ambienti e carichi variabili ambientali per rappresentare le azioni dovute alla neve, al vento ed alla temperatura.
Per il progetto e la verifica sotto l'azione sismica la struttura è stata considerata dissipativa, con classe di duttilità media (classe B).
In virtù di questi accorgimenti, è stato possibile applicare fattori di struttura meno conservativi rispetto al caso non dissipativo.

5 Materiali

Nella struttura sono presenti elementi strutturali esistenti in conglomerati cementizi armati, sui quali sono state condotte indagini conoscitive di livello LC1 basso, sia per quanto riguarda la matrice di calcestruzzo, sia per i ferri.

6 Pericolosità sismica di base del sito di costruzione

Nel caso in esame i valori della pericolosità sismica di base sono stati ottenuti dalle tabelle pubblicate nell'Allegato A alle Ntc08, in base alle coordinate geografiche del sito e ai parametri tipologici della costruzione, indicati nel seguito.
La definizione di dettaglio degli spettri di risposta è riportata nell'omonima tabella nella sezione dei risultati globali di analisi, riportata nel tabulato di calcolo.
Sono stati considerati i seguenti stati limite di verifica, per i quali la normativa fissa l'azione sismica con una data probabilità di superamento, in un periodo di riferimento dipendente dal tipo e dalla classe d'uso della costruzione:

-SLO: S.l. di Operatività sismica (probabilità di superamento 81%)
-SLD: S.l. di Danno sismico (probabilità di superamento 63%)
-SLV: S.l. di Salvaguardia della vita ovvero Ultimo sismico (probabilità di superamento 10%)
-SLC: S.l. di Collasso sismico (probabilità di superamento 5%)

Per ciascuno degli stati limite indicati sono stati valutati i periodi di ritorno dell'azione sismica, tenendo conto della probabilità di superamento prescritta dalla norma e ricavando il periodo di riferimento per l'azione sismica in base al tipo di costruzione e alla classe d'uso.
In funzione dei periodi di ritorno e delle coordinate geografiche del sito, si valutano infine i parametri di pericolosità sismica per gli stati limite di interesse, estrapolando i valori dalle tabelle allegate alla normativa.
In particolare, le coordinate geografiche del sito sono: latitudine 41.854°, longitudine 12.522°.
Il tipo di costruzione è grande opera, la classe d'uso è la III (importante) e la classe di duttilità media. Le caratteristiche del suolo di fondazione corrispondono alla categoria stratigrafica B e alla categoria topografica T1.
Si valuta per l'edificio una vita nominale di 100 anni e un periodo di riferimento per l'azione sismica di 150 anni.
Per lo stato limite di Operatività sismica (SLO) sono stati considerati i seguenti parametri di pericolosità:

-Periodo di ritorno dell'azione sismica [anni]: 90
-Accelerazione orizzontale massima al suolo [g]: 0,079
-Fattore di amplificazione per spettro orizzontale: 2,46
-Periodo spettrale di riferimento [s]: 0,28

Per lo stato limite di Danno sismico (SLD) sono stati considerati i seguenti parametri di pericolosità:

-Periodo di ritorno dell'azione sismica [anni]: 151
-Accelerazione orizzontale massima al suolo [g]: 0,097
-Fattore di amplificazione per spettro orizzontale: 2,51
-Periodo spettrale di riferimento [s]: 0,28

Per lo stato limite di Salvaguardia della vita (SLV) sono stati considerati i seguenti parametri di pericolosità:

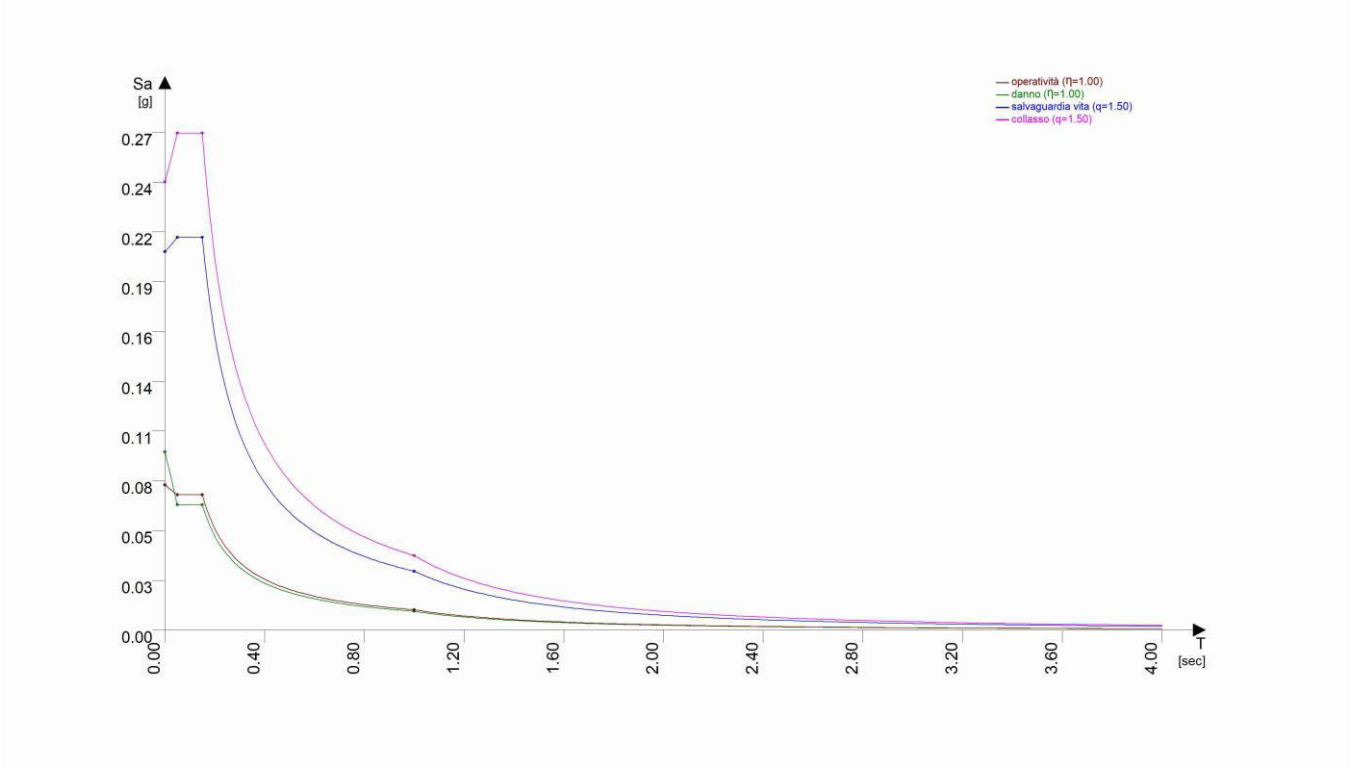
-Periodo di ritorno dell'azione sismica [anni]: 1424
-Accelerazione orizzontale massima al suolo [g]: 0,206
-Fattore di amplificazione max per spettro orizzontale: 2,54
-Periodo spettrale di riferimento [s]: 0,29

Per lo stato limite di Collasso sismico (SLC) sono stati considerati i seguenti parametri di pericolosità:

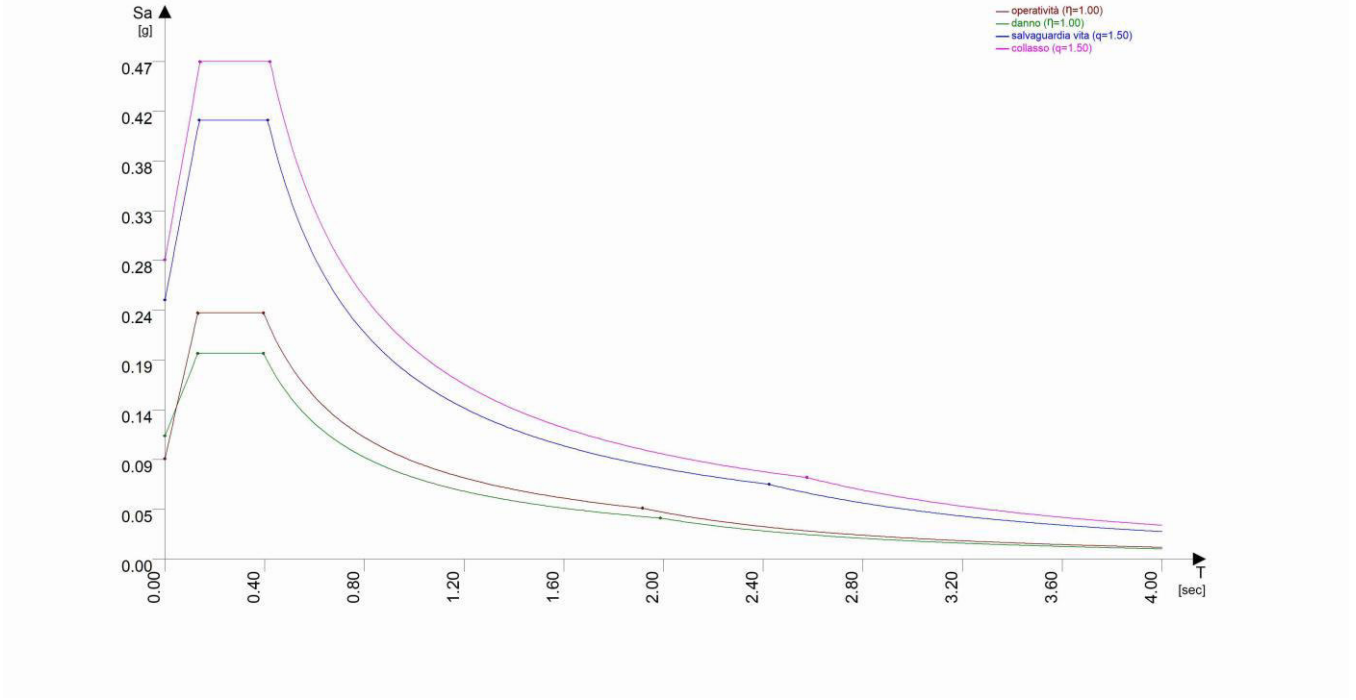
-Periodo di ritorno dell'azione sismica [anni]: 2475
-Accelerazione orizzontale massima al suolo [g]: 0,244
-Fattore di amplificazione per spettro orizzontale: 2,50

-Periodo spettrale di riferimento [s]: 0,30

In base ai parametri di pericolosità sismica sono stati definiti gli spettri sismici di progetto per la componente orizzontale e verticale in corrispondenza degli stati limite di interesse.



Spettri verticali



Spettri orizzontali

7 Modellazione della struttura

La struttura è vista come un organismo tridimensionale composto da elementi resistenti diversi: travi, pilastri, pareti, solai e platee, ciascuno dei quali descritto come solido tridimensionale di dimensione finita.
Nella valutazione delle caratteristiche di rigidezza degli elementi si tiene conto della dimensione finita delle sezioni e dell'ingombro finito dei nodi di interconnessione.
Coerentemente con le caratteristiche degli edifici in cemento armato, il modello tiene conto del contributo irrigidente di ciascun solaio, modellando questi con elementi finiti bidimensionali connessi alle travi di contorno.

8 Criteri adottati per le analisi statiche

L'analisi dei carichi è svolta considerando i volumi reali al netto delle sovrapposizioni, per quanto riguarda i pesi propri, e le aree effettive di incidenza, per quanto riguarda i sovraccarichi.
Nella valutazione degli sforzi normali, ai fini della verifica dei pilastri e solo per questa, si è tenuto conto dell'azione non contemporanea dei carichi accidentali riducendo il carico accidentale gravante ai piani sovrastanti; si è assunto un fattore riduttivo del 0% per il piano immediatamente sovrastante a quello considerato e del 15% per i piani superiori.
Si è tenuto conto del fatto che i carichi permanenti sono parzialmente applicati già in fase di costruzione e quindi la deformazione assiale prodotta da questi è parzialmente compensata in fase di getto, riducendo di un fattore 100 % la deformabilità assiale dei pilastri ai fini della analisi per la condizione di carico permanente, e solo di questa.
Il calcolo per le singole azioni statiche è condotto assumendo un comportamento elastico lineare.

9 Criteri adottati per l'analisi sismica

La verifica alle azioni sismiche è stata condotta con il metodo dinamico per sovrapposizione modale.
Per tener conto di effetti dinamici locali, è stata utilizzata una distribuzione uniforme della massa sismica su tutti gli elementi. Per gli elementi monodimensionali è stato utilizzato un elemento finito con dodici variabili di spostamento nodale, con l'aggiunta di due ulteriori parametri che governano le funzioni di forma interne (bubble functions).
Inoltre è stata messa in conto un'eccentricità sismica accidentale pari a 70 cm.
Gli effetti delle azioni sismiche orizzontali e verticali sono valutati mediante analisi dinamica linearizzata e sovrapposizione dei contributi modali, utilizzando la tecnica degli spettri di risposta, con le modalità prescritte dalla normativa.
In aggiunta alle azioni sismiche legate ai modi naturali calcolati, sono state inserite azioni sismiche di completamento modale. Il completamento modale introduce ulteriori modi di vibrazione che completano lo spettro già calcolato della sua parte complementare rispetto ai moti rigidi della struttura, e che raccolgono gli effetti dei modi a basso periodo trascurati dall'analisi modale. Il completamento modale svolge un ruolo particolarmente significativo nella valutazione degli effetti della componente verticale dell'accelerazione sismica che, tipicamente, tende ad eccitare prevalentemente i modi a basso periodo di vibrazione.
La formula di combinazione modale utilizzata è la nota CQC in accordo con le normative vigenti.
Nelle formule di combinazione CQC è stato assunto un coefficiente di smorzamento viscoso pari a 0.05.

10 Fattori di comportamento

Il fattore di comportamento o di struttura o semplicemente fattore q gioca un ruolo fondamentale nella definizione dell'azione sismica per lo stato limite di salvaguardia della vita e di collasso nell'ambito dell'analisi sismica lineare. Interviene infatti negli spettri sismici di progetto per Slv e Slc come fattore riduttivo delle accelerazioni spettrali, per tener conto del comportamento elasto-plastico dell'edificio sotto azione sismica.
I valori sono stati ottenuti in base alle indicazioni euristiche di normativa, tenendo conto della tipologia strutturale 'Deformabile torsionalmente', della regolarità in altezza 'Regolare', della regolarità in pianta 'Regolare' e della classe di duttilità 'Media'.
Per lo stato limite di Danno (SLD) sono stati adottati i seguenti fattori di struttura:

-fattore di comportamento per la componente sismica verticale : 1,50

-fattore di comportamento per la componente sismica orizzontale: 1,50

Per lo stato limite di Salvaguardia vita (SLV) sono stati adottati i seguenti fattori di struttura:

-fattore di comportamento per la componente sismica verticale : 1,50

-fattore di comportamento per la componente sismica orizzontale: 1,50

Per lo stato limite di Collasso (SLC) sono stati adottati i seguenti fattori di struttura:

-fattore di comportamento per la componente sismica verticale : 1,50

-fattore di comportamento per la componente sismica orizzontale: 1,50

Il valore del rapporto di sovraresistenza che concorre alla formazione del fattore di comportamento è stato assunto pari a 1.00.

La definizione completa degli spettri di risposta è riportata nell'omonima tabella nella sezione dei risultati globali di analisi, nel seguito del presente tabulato.

11 Combinazioni delle azioni

Il progetto e la verifica degli elementi strutturali sono stati condotti col metodo degli stati limite in accordo con le disposizioni e le modalità operative specificate dalle norme tecniche precedentemente citate, applicate in maniera unitaria ed integrale all'intero organismo strutturale.

Le verifiche delle sezioni sono condotte in campo elastico per gli stati limite di esercizio (verifiche tensionali e di fessurazione) ed in campo nonlineare per gli stati limite ultimi (verifiche di resistenza ultima). Le sollecitazioni di verifica sono state ottenute con procedure di inviluppo capaci di restituire i valori più gravosi per la particolare verifica, sia nei casi in cui comanda una singola componente (ad esempio nelle verifiche a flessione semplice dovuta al solo momento), sia nei casi in cui c'è l'interazione di più componenti (ad esempio nelle verifiche composte a pressoflessione deviata dovuta all'azione contemporanea dello sforzo normale e di due momenti flettenti o nelle verifiche a taglio-torsione in cui il taglio è accoppiato col momento torcente). Si tenga presente che nei casi di verifica a più componenti la procedura utilizzata nel software assicura la coerenza meccanica degli accoppiamenti, per evitare di mettere insieme componenti temporalmente incompatibili. Questo lo si ottiene con la tecnica dell'inviluppo associato, che consiste nel valutare le componenti accessorie applicando la stessa combinazione lineare utilizzata per la prima componente. Un'altra particolarità è che gli inviluppi non sono eseguiti in maniera massiva o su un sottoinsieme definito a priori fra tutte le possibili combinazioni, in quanto tali tecniche oltre ad essere di scarsa efficienza numerica (per l'elevatissimo numero di casi), non garantiscono che vengano individuati gli effettivi casi di massimo impegno (per una definizione carente del sottoinsieme iniziale o per lo sfoltimento successivo dei casi effettivi di verifica). Nel software si adotta invece una ricerca selettiva degli inviluppi, per puntare direttamente alle sollecitazioni più gravose per una data verifica, applicando una implementazione efficiente del metodo dell'inviluppo ellittico proposto da Menun e Der Kiureghian in Envelopes for seismic response vectors (J Struct Eng New York, 2000)

Con le procedure qui descritte si applicano le regole di combinazione definite nella normativa per vari stati limite secondo le espressioni riportate di seguito:

$\gamma_{G1,SLQ}\ G_1 + \gamma_{G2,SLQ}\ G_2 + \psi_2\ \gamma_{Q1,SLQ}\ Q_1 + \psi_2\ \gamma_{Q2,SLQ}\ Q_2 + \ldots$	Q.permanente	(SLQ)
$\gamma_{G1,SLF}\ G_1 + \gamma_{G2,SLF}\ G_2 + \psi_1\ \gamma_{Q1,SLF}\ Q_1 + \psi_2\ \gamma_{Q2,SLF}\ Q_2 + \ldots$	Frequente	(SLF)
$\gamma_{G1,SLR}\ G_1 + \gamma_{G2,SLR}\ G_2 + 1\ \gamma_{Q1,SLR}\ Q_1 + \psi_0\ \gamma_{Q2,SLR}\ Q_2 + \ldots$	Raro	(SLR)
$\gamma_{G1,SLU}\ G_1 + \gamma_{G2,SLU}\ G_2 + 1\ \gamma_{Q1,SLU}\ Q_1 + \psi_0\ \gamma_{Q2,SLU}\ Q_2 + \ldots$	Ultimo statico	(SLU)
$\gamma_{G1,SLV}\ G_1 + \gamma_{G2,SLV}\ G_2 + \psi_2\ \gamma_{Q1,SLV}\ Q_1 + \psi_2\ \gamma_{Q2,SLV}\ Q_2 + \ldots + E$	Sismici	(SLV e altri s.l.sismici)

Espressioni delle combinazioni di carico

in cui:

i fattori gamma sono fattori di combinazione per massimizzare o minimizzare l'effetto,

i fattori psi sono fattori di combinazione per tener conto di effetti statistici di simultaneità,

G1 rappresenta l'azione dei carichi permanenti,

G2 rappresenta l'azione dei carichi permanenti non strutturali,

Q1 rappresenta l'azione del carico variabile (assunta a turno nel ruolo di principale),

Q2,... rappresentano le azioni dei restanti carichi variabili (assunte a turno come secondarie),

E rappresenta l'azione sismica.

In queste espressioni i fattori gamma tengono conto della possibilità che l'azione possa avere effetti favorevoli o sfavorevoli sulla sicurezza, per cui sono considerati sempre ed in maniera indipendente sia in valore minimo (per minimizzare gli effetti favorevoli), sia in valore massimo (per massimizzare gli effetti sfavorevoli). In termini più generali, considerato che la sollecitazione d'inviluppo è un valore algebrico con un proprio segno (+/-), i fattori gamma permettono di minimizzare o massimizzare il valore algebrico finale, adottando di volta in volta il valore gamma nel suo valore minimo o massimo in funzione del segno del contributo da sommare.

Si noti che le espressioni riportate rappresentano una forma generalizzata delle espressioni di normativa. In particolare quando nella norma si sottintende un gamma unitario (ad esempio nelle combinazioni per SLQ, SLF, SLR sui termini G1 e G2) l'effetto può essere riprodotto adottando per gamma valori minimo e massimo coincidenti ad uno.

I fattori psi tengono conto della ridotta probabilità di occorrenza simultanea di due o più azioni indipendenti ed esprimono i valori statistici raro, frequente e quasi-permanente dell'azione, denotati rispettivamente dai pedici 0, 1 e 2.

Si applica inoltre il meccanismo della turnazione sui carichi variabili, che consiste nel considerare a turno uno di essi nel ruolo di carico principale (Q1) e tutti gli altri (Q2, Q3, ...) nel ruolo di carichi secondari, adottando per il principale fattori gamma e psi di maggiore peso.

Tutti i fattori che intervengono nelle espressioni sopra riportate sono inizializzati con valori in accordo con la normativa selezionata e sono eventualmente editabili dall'utente per trattare casi particolari in cui si richieda l'adozione di fattori imposti. In particolare i fattori psi sono riportati nella tabella Caratteristiche dei tipi di carico, i fattori gamma nella tabella Fattori di combinazione per l'inviluppo delle sollecitazioni.

Analizziamo adesso il termine E delle combinazioni di tipo sismico. Nelle analisi sismiche lineari condotte con la tecnica dell'analisi dinamica modale con spettro di risposta, il termine rappresenta la sollecitazione di inviluppo dei modi di vibrazione e viene valutato con una delle due regole indicate di seguito:

la prima corrispondente alla regola SRSS (radice quadrata della somma dei quadrati),

la seconda alla regola CQC (combinazione quadratica completa):

$$E = \pm\sqrt{\sum E_i^2} \qquad E = \pm\sqrt{\sum \psi_{ij} E_i E_j}$$

Inviluppi delle componenti sismiche

in cui:

Ei o Ej è il singolo contributo modale,

?ij è l'eventuale fattore di correlazione fra i modi i e j.

Si tenga presente che queste tecniche di inviluppo rappresentano la regola generale d'inviluppo delle componenti sismiche (riportate ai §7.3.3.1/Ntc08 e §7.3.3.1/Ntc18) e si ritrovano nei più autorevoli testi di dinamica strutturale (vedi .Wilson: Three dimensional static and dynamic analysis of structures, §15.8 Orthogonal effects in spectral analysis), nonché nello stesso Eurocodice 8 (EN1998-1/4.3.3.5.1).

Questa impostazione ha il vantaggio di non essere dipendente dalla particolare scelta del sistema di riferimento ed inoltre ha una chiara giustificazione teorica, in quanto discende dalla teoria dei processi aleatori gaussiani: interpretando la dinamica del singolo modo come un processo aleatorio è possibile infatti ricavare i valori caratteristici tramite la legge della radice quadrata della somma dei quadrati.
Per queste ragioni, nel software si adotta tale tecnica d'inviluppo, preferendola a tecniche alternative quali quella comunemente nota come "100-30-30", prevista sia dalle norme italiane che dall'Eurocodice 8 come possibile alternativa.
Sono state considerate le combinazioni di azioni corrispondenti ai seguenti stati limite:
quasi permanente,
ultimo,
sismico slo,
sismico sld,
sismico slv,
sismico slc.

12 Modalità di progetto e verifica

Gli elementi strutturali sono stati progettati in accordo con quanto prescritto dalle norme tecniche adottate.
La verifica degli elementi per le combinazioni di carico non sismiche è stata eseguita sulla base di analisi statiche riguardanti l'azione permanente e le varie azioni variabili agenti sulla struttura. Le soluzioni per le singole azioni sono quindi state inviluppate nel rispetto delle leggi di combinazione dettate dalla norma, ricavando in questo modo le sollecitazioni da considerare nelle verifiche degli elementi, su varie sezioni significative lungo la luce.
La verifica degli elementi per le combinazioni di carico sismiche è stata eseguita in maniera analoga mediante analisi lineare, procedendo quindi agli inviluppi delle sollecitazioni e all'esecuzione delle verifiche nelle sezioni di campionamento poste sugli elementi.
Le resistenze di calcolo sono state ottenute in maniera differenziata per meccanimi duttili e fragili. Per i meccanismi duttili le resistenze di calcolo sono state ottenute dai valori medi dei materiali, dividendo per il fattore di confidenza. Per i meccanismi fragili le resistenze di calcolo sono state ottenute dai valori medi dei materiali, dividendo per i fattori gamma e per il fattore di confidenza.

13 Sintesi dei risultati del calcolo

In questa sezione vengono presentati informazioni sintetiche e di facile lettura sull'impostazione progettuale e sui risultati raggiunti, con la finalità di facilitare il controllo e la valutazione del calcolo da parte di figure professionali preposte a tali compiti. In particolare verranno riportate tabelle ed elaborati grafici capaci di trasmettere visivamente le principali informazioni inerenti la modellazione e il calcolo eseguito. Per il controllo della modellazione risultano significative le viste a toni di colore sulla disposizione dei carichi, sia della componente permanente sia di quella variabile. Nel caso delle analisi lineari verranno riportati il quadro sintetico delle verifiche a testimonianza del grado di sicurezza raggiunto, gli istogrammi delle verifiche sugli elementi più sollecitati, i diagrammi delle sollecitazioni su alcuni elementi selezionati a campione, le deformate 3D dei principali modi di vibrare e le mappe cromatiche in 3D degli elementi maggiormente impegnati. Nel caso dell'analisi pushover verranno messi in evidenza per le scansioni più significative, i modi di deformazione pushover in 3D, le curve pushover con i relativi istogrammi capacità/domanda e la mappa cromatica in 3D degli impegni di duttilità al raggiungimento degli stati limite di interesse.

Quadro sintetico di tutte le verifiche eseguite.
In questa tabella sono indicati i fattori di sicurezza minimi registrati per tutte le verifiche eseguite dal programma in corrispondenza degli stati limite di riferimento.

La verifica è soddisfatta se il relativo fattore di sicurezza è maggiore o uguale ad 1.

Verifica per stati limite	SLQ	SLF	SLR	SLU	SLO	SLD	SLV	SLC	GR	TA
Punte di tensione	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Fessurazione	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Resistenza a p.flessione	---	---	---	0,21 !	0,48 !	0,48 !	0,51 !	0,51 !	---	---
Resistenza a taglio	---	---	---	0,16 !	0,46 !	0,46 !	0,43 !	0,43 !	---	---
Resistenza dei nodi	---	---	---	---	---	---	4,49	---	---	---
Spostamenti relativi	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Spostamenti assoluti	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Tensioni in fondazione	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Cedimenti in fondazione	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Distorsioni in fondazione	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Scorrimento in fondazione	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Quadro del miglioramento o dell'adeguamento sismico.

Quest'altro quadro è invece riferito alla valutazione del miglioramento o dell'adeguamento sismico. E' disponibile quindi per edifici esistenti e permette di confrontare i fattori di sicurezza delle due situazioni strutturali da confrontare in questi casi: ovvero la situazione allo stato di fatto o ante-operam (prima di un eventuale intervento di rinforzo) e la situazione allo stato rinforzato o post-operam (dopo la messa in opera di rinforzi).

Si tenga presente che nel caso in esame, la tabella mostra i fattori di sicurezza del solo stato ante-operam essendo non disponibile nel modello di calcolo l'analisi della situazione post operam.

Verifica	Ze(E)	Ze(R)	PgaC(E)	PgaC(R)	PgaD	Miglioramento	Adeguamento
Slc	0,000	---	0,000	---	0,244	---	---
Slv	0,000	---	0,000	---	0,206	---	---
Sld	---	---	---	---	0,097	---	---
Slo	---	---	---	---	0,079	---	---

Quadro della capacità sismica.

Il quadro seguente riporta i valori di capacità sismica per varie tipologie di verifica e per gli stati limite in cui le verifiche in esame sono effettivamente richieste.

I valori di capacità sono espressi in termini di:

Ze: fattore di sicurezza

PgaC: capacità in Pga [g]

TrC: capacità in periodo di ritorno [anni]

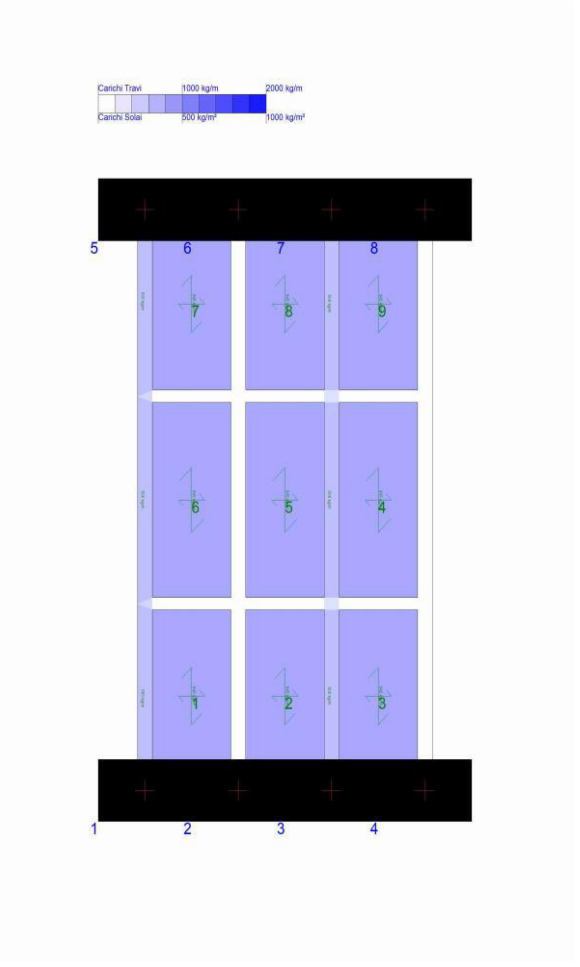
Tali informazioni sono utili per la compilazione delle schede di vulnerabilità sismica della Protezione Civile, assunte come riferimento in tutte le procedure che disciplinano i contributi statali per gli interventi di prevenzione del rischio sismico.

I fattori di sicurezza sismici rappresentano il rapporto tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura (capacità di Pga) e l'azione sismica di progetto (domanda di Pga). Possono anche essere visti come il moltiplicatore massimo del sisma di progetto compatibile con il soddisfacimento delle verifiche strutturali, ovvero esprimono di quanto è possibile amplificare il sisma per raggiungere in quella particolare verifica la prima crisi strutturale.

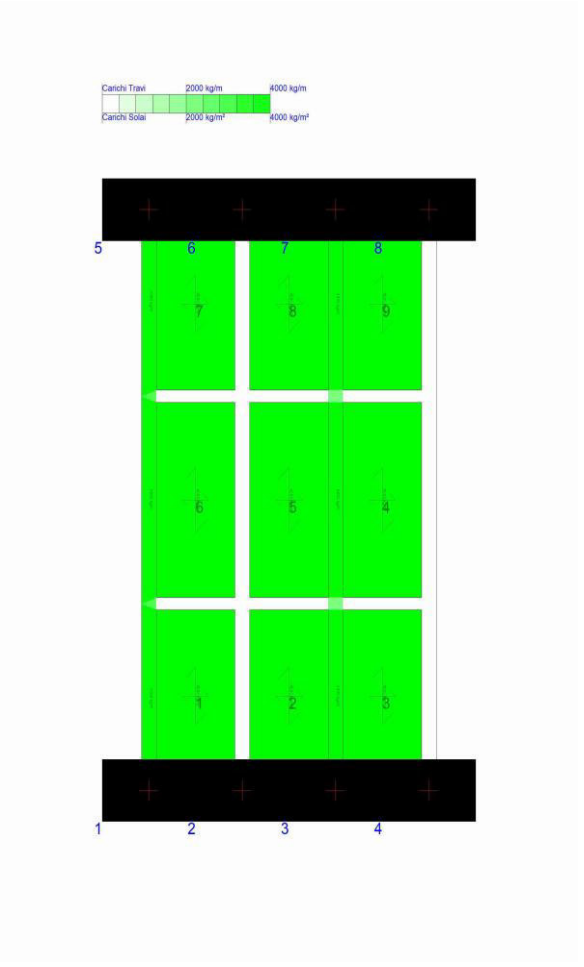
Meccanismo di crisi	Slo: Ze, PgaC, TrC	Sld: Ze, PgaC, TrC	Slv: Ze, PgaC, TrC	Slc: Ze, PgaC, TrC
Deformazione di danno	----	----	----	----
Resistenza a taglio	0.000 0.000 0 !	0.000 0.000 0 !	0.000 0.000 0 !	0.000 0.000 0 !
Resistenza nodo	----	----	8.000 1.648 3000	6.754 1.648 3000
Resistenza p.flessione/Rotazione	0.000 0.000 0 !	0.000 0.000 0 !	0.000 0.000 0 !	0.000 0.000 0 !
Portanza fondazioni	----	----	----	----

Mappe dei carichi permanenti e variabili applicati sui solai e sulle travi.

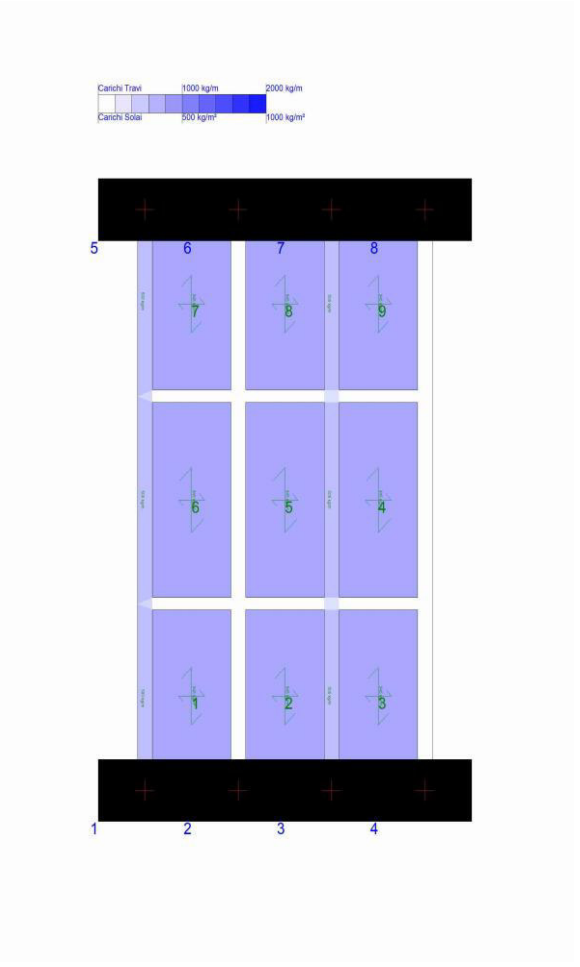
Nelle viste che seguono è possibile apprezzare visivamente disposizione ed intensità dei carichi permanenti e variabili applicati sui solai e sulle travi, essendo l'entità del carico espresso con codice colore.



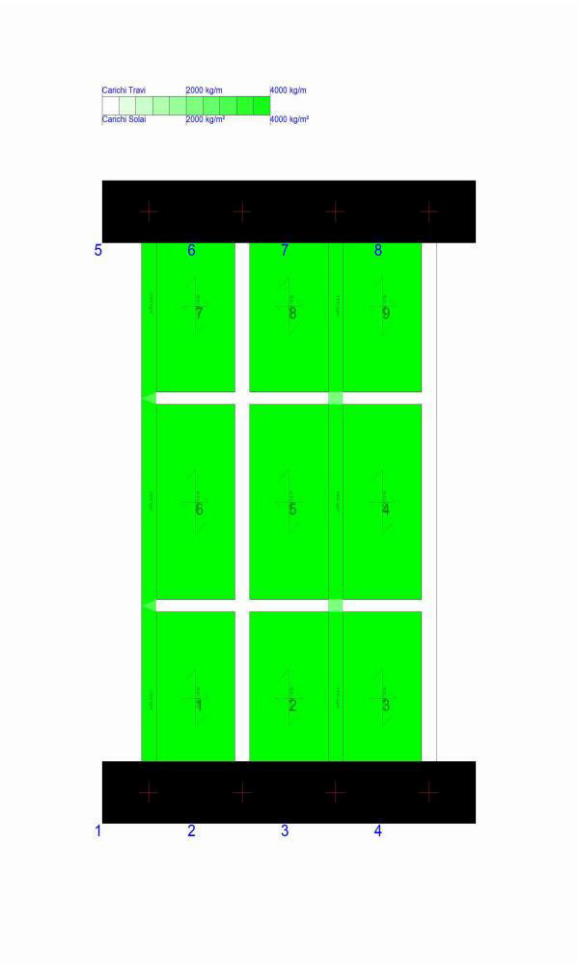
Mappa carichi permanenti al livello 0



Mappa carichi variabili al livello 0



Mappa carichi permanenti al livello 1



Mappa carichi variabili al livello 1

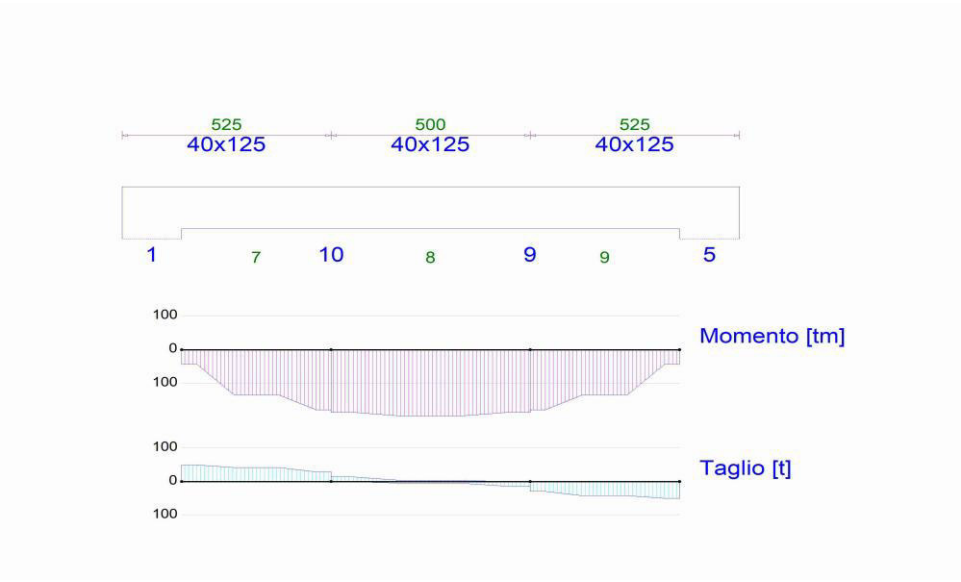
Diagrammi delle sollecitazioni di inviluppo in travi e pilastri.

Si riportano nelle figure seguenti i diagrammi delle sollecitazioni in due travate e in una pilastrata comune alla due, selezionati a campione.

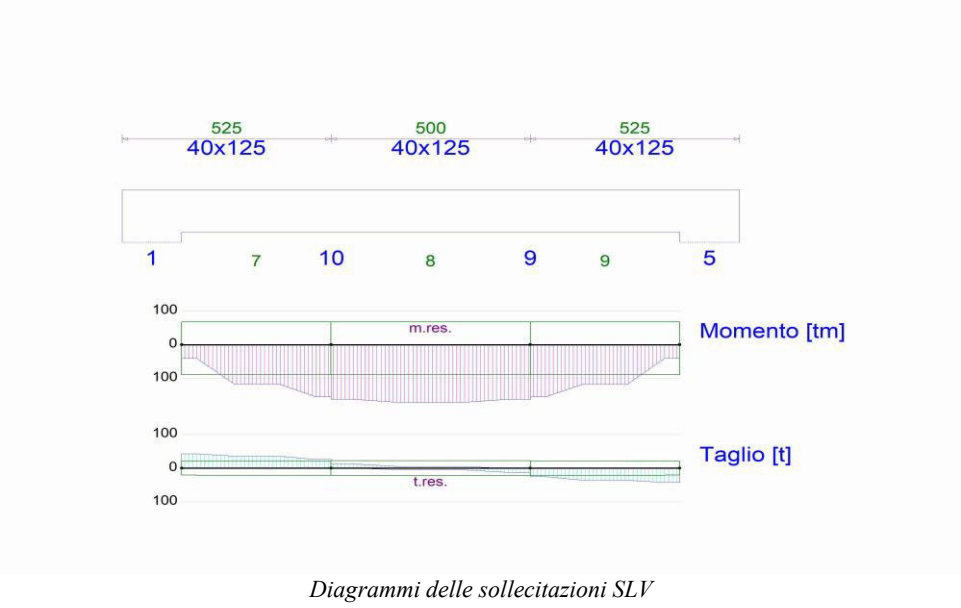
Per le combinazioni di carico allo stato limite ultimo sono riportati anche i diagrammi dei momenti resistenti M1 e M2, rispettivamente attorno agli assi rappresentati dalle due direzioni della sezione (lato B/lato H) in regime di presso-flessione retta, e i diagrammi dei tagli resistenti nelle due direzioni B/H, in regime di taglio unidirezionale e in assenza di torsione.

In particolare, si riportano di seguito i diagrammi per gli stati limite Slq di esercizio e Slv ultimo.

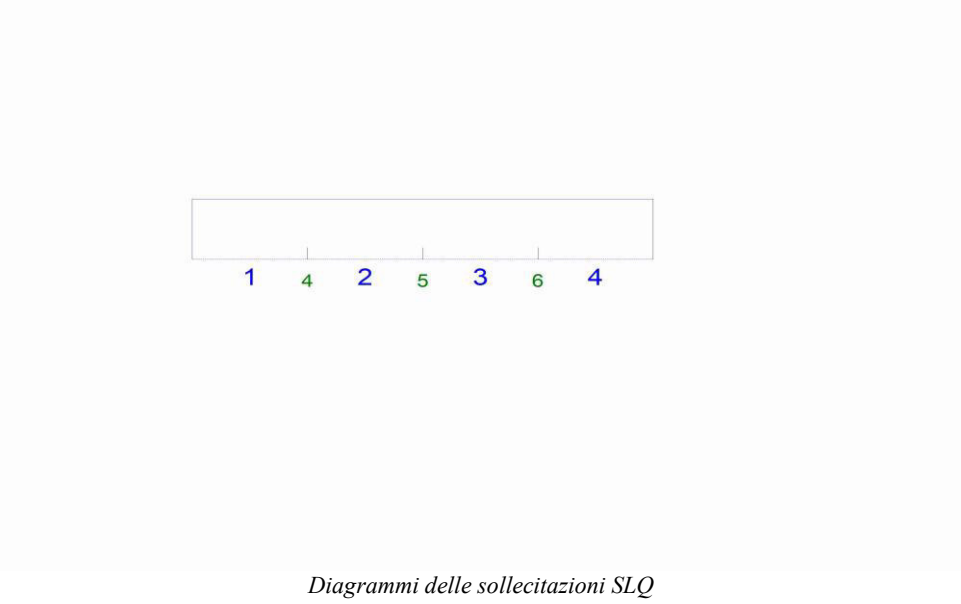
Di seguito si riportano i diagrammi delle sollecitazioni per alcune travate.



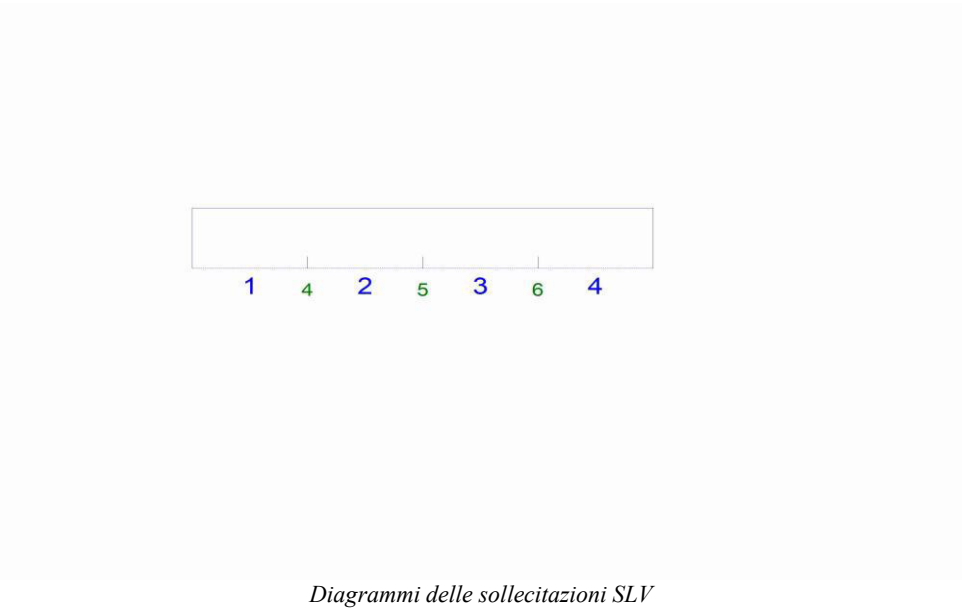
Diagrammi delle sollecitazioni SLQ



Diagrammi delle sollecitazioni SLV

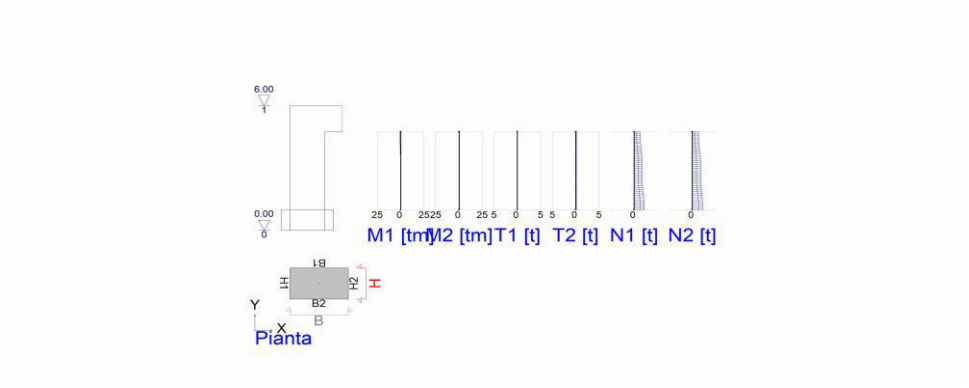


Diagrammi delle sollecitazioni SLQ

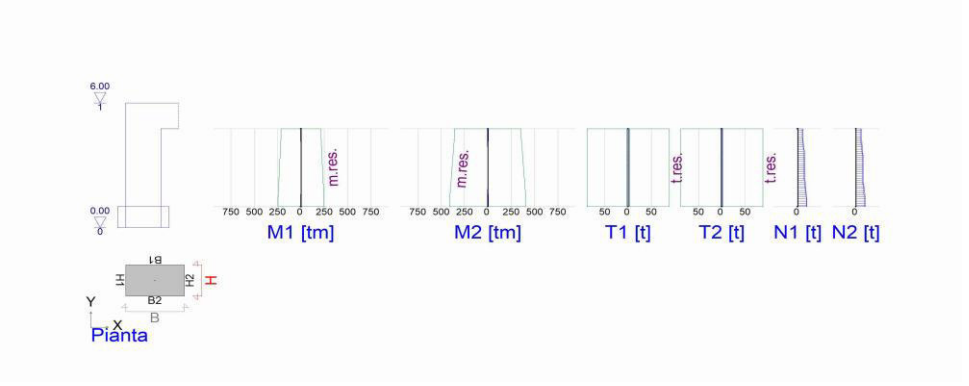


Diagrammi delle sollecitazioni SLV

A seguire si espongono i diagrammi delle sollecitazioni relativi ad una pilastrata.



Diagrammi delle sollecitazioni SLQ



Diagrammi delle sollecitazioni SLV

Istogrammi di verifica per s.l. di esercizio ed ultimi in travi e pilastri.

Vengono adesso riportate alcune viste di carpenteria di travi e pilastri scelti a campione in cui si evidenziano gli istogrammi delle verifiche eseguite lungo la luce, che trasmettono visivamente l'impegno di verifica per lo stato limite preso in considerazione (di esercizio o ultimo), come ottenuti dall'analisi lineare. In particolare, ogni istogramma di verifica è composto da una barra colorata che rappresenta l'impegno di verifica, contenuta in un riquadro a sfondo bianco che rappresenta la capacità di verifica. Fintanto che l'istogramma di verifica è contenuto nel riquadro di capacità la verifica è soddisfatta, quando lo oltrepassa la verifica è non soddisfatta, in definitiva, l'esame visuale consiste quindi nel controllare che tutti gli istogrammi siano contenuti all'interno del rispettivo riquadro di capacità. E' utile notare che tale compito è comunque facilitato dal fatto che le eventuali violazioni sono graficamente evidenziate, riportando in rosso la parte di istogramma che sconfina oltre il limite di capacità.
Nel caso in esame, si riportano di seguito gli istogrammi per gli stati limite Slq di esercizio e Slv ultimo.
Gli istogrammi degli stati limite di esercizio fanno riferimento alle verifiche tensionali e di fessurazione e riportano gli impegni massimi della tensione di compressione e tangenziale nel calcestruzzo, di trazione nelle barre longitudinali e nelle staffe e l'impegno a fessurazione.
Per gli stati limite ultimi gli istogrammi riportano invece gli impegni relativi alle verifiche di resistenza a pressoflessione e a taglio-torsione.
La successione delle figure comprende alcune travate ed una pilastrata comune.
Di seguito si riportano gli istogrammi di verifica relativi ad alcune travate.



Istogrammi verifiche SLQ



Istogrammi verifiche SLV

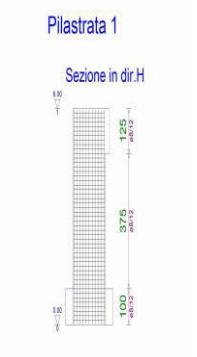


Istogrammi verifiche SLQ

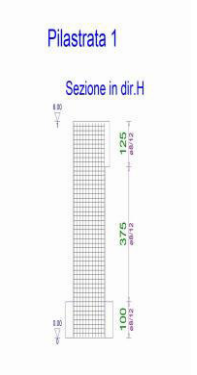


Istogrammi verifiche SLV

A seguire si espongono gli istogrammi di verifica relativi ad una pilastrata.



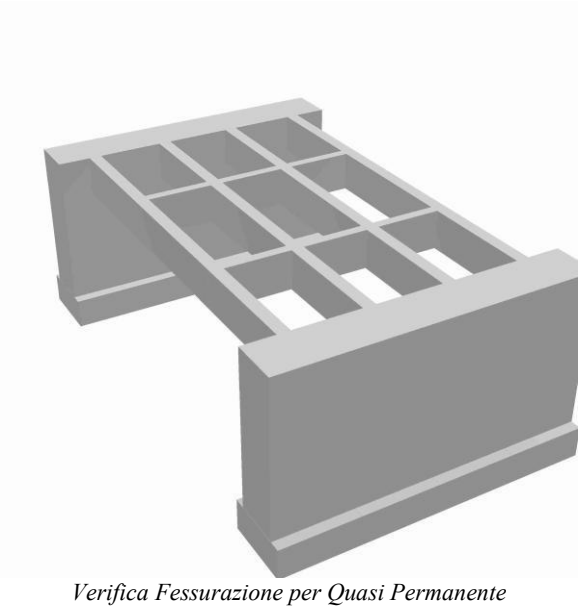
Istogrammi verifiche SLQ



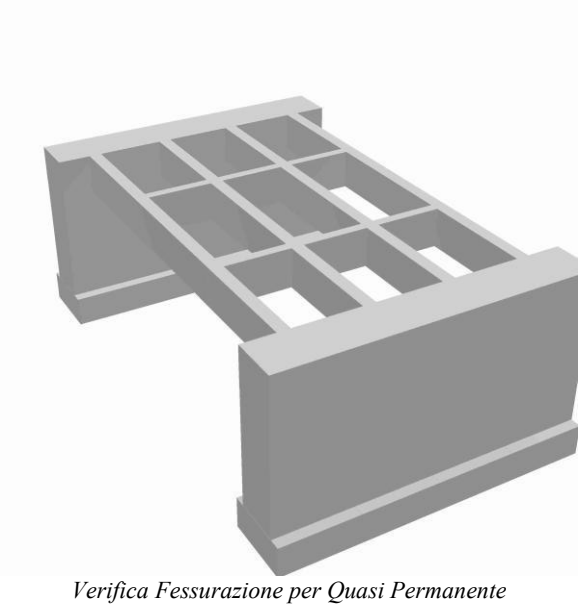
Istogrammi verifiche SLV

Mappe cromatiche 3D delle verifiche.

In questa successione di figure è possibile apprezzare visivamente gli impegni di verifica mediante mappa cromatica nella vista tridimensionale del modello.



Verifica Fessurazione per Quasi Permanente



Verifica Fessurazione per Quasi Permanente

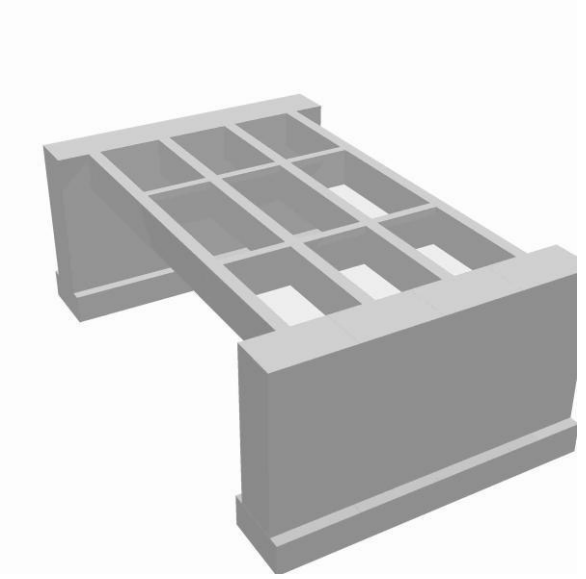
Vista delle deformate del modello 3D.

Nel seguito vengono mostrate le deformate del modello corrispondenti alle azioni applicate, all'analisi modale dinamica o all'analisi pushover, in funzione delle fasi di analisi eseguite. Coerentemente con la natura tridimensionale del modello di calcolo, è opportuno che gli aspetti deformativi vengano anch'essi visualizzati nel modello grafico tridimensionale, adottando tutti gli accorgimenti che possano facilitare il controllo visivo dell'informazione. In particolare, nel corso dell'esecuzione del programma la deformazione è trasmessa efficacemente come sequenza video sfruttando le opportunità date dall'ambiente grafico interattivo 3D OpenGl, che consente di apprezzare sia le componenti meno visibili della soluzione (come le rotazioni torsionali), sia di individuare subito quelle di maggiore prevalenza.

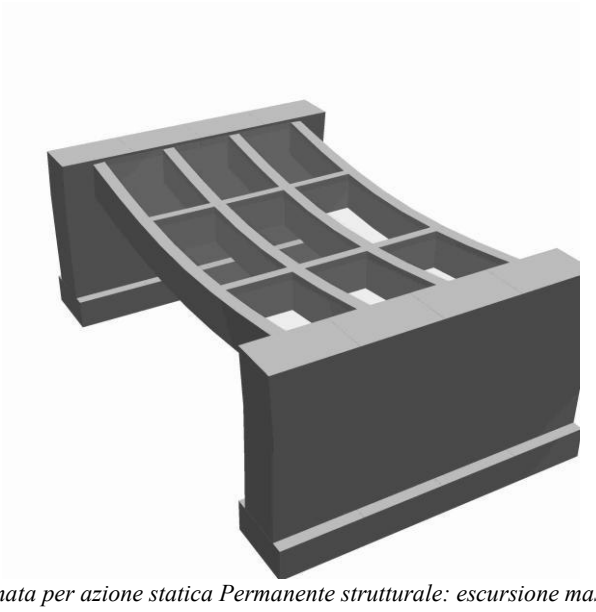
Nei disegni seguenti lo stesso contenuto informativo è comunque trasmesso con sufficiente chiarezza dal confronto visivo dei due fotogrammi corrispondenti all'escursione di minimo e massimo spostamento.

Vista delle deformate per azioni statiche.

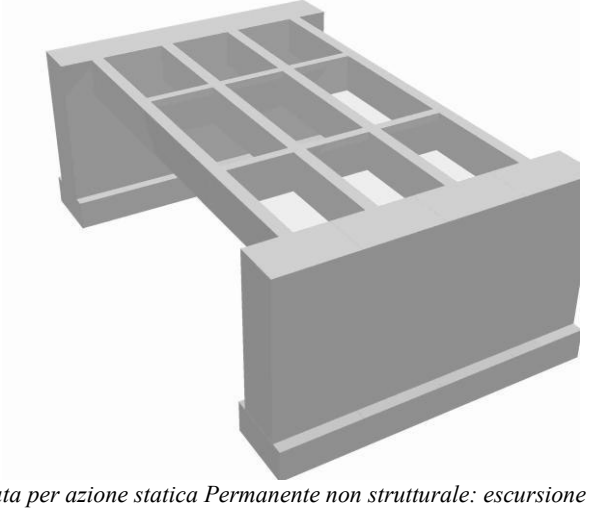
Le figure successive mostrano le deformate per azioni statiche nell'ambito della vista del modello 3D.



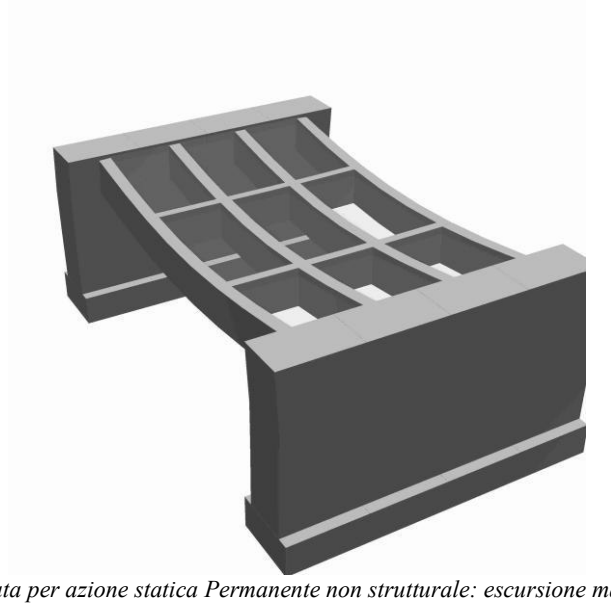
Deformata per azione statica Permanente strutturale: escursione minima



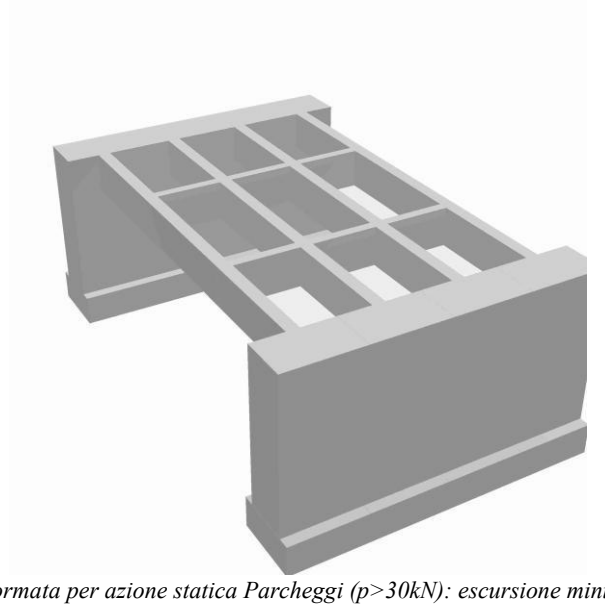
Deformata per azione statica Permanente strutturale: escursione massima



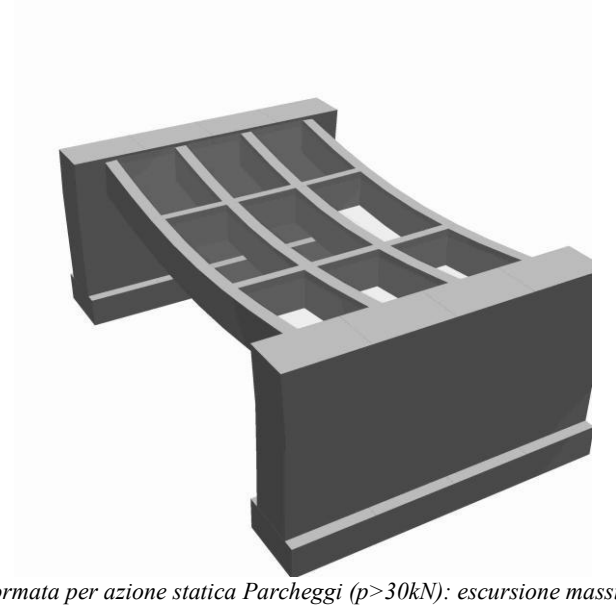
Deformata per azione statica Permanente non strutturale: escursione minima



Deformata per azione statica Permanente non strutturale: escursione massima



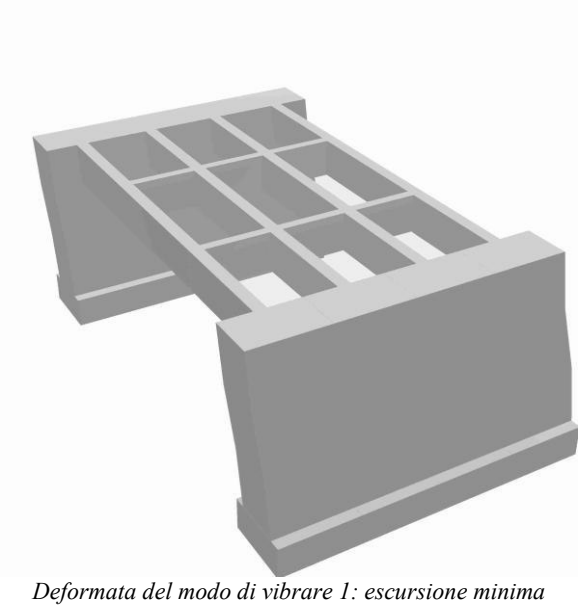
Deformata per azione statica Parcheggi (p>30kN): escursione minima



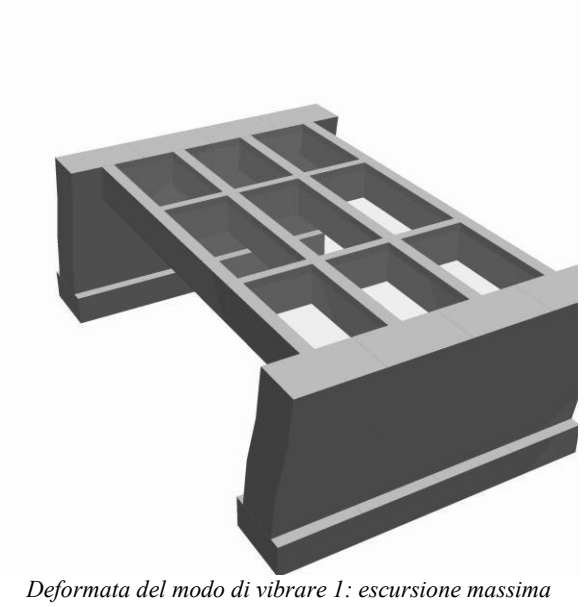
Deformata per azione statica Parcheggi (p>30kN): escursione massima

Vista delle deformate modali dell'analisi dinamica.

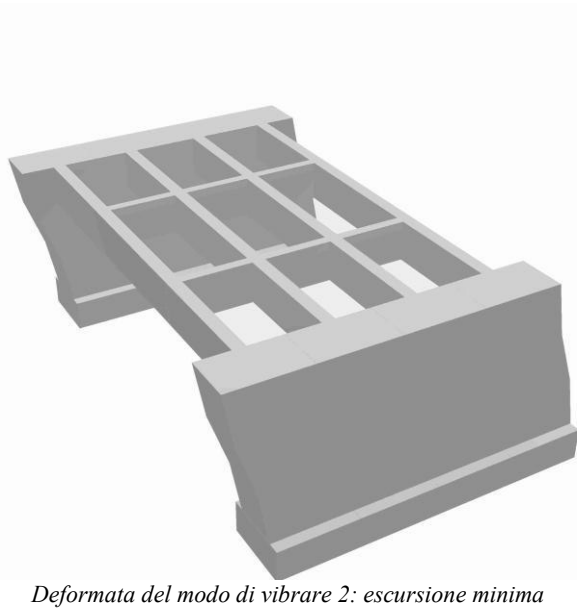
In queste viste 3D si mostrano i modi di vibrare ottenuti dall'analisi dinamica.



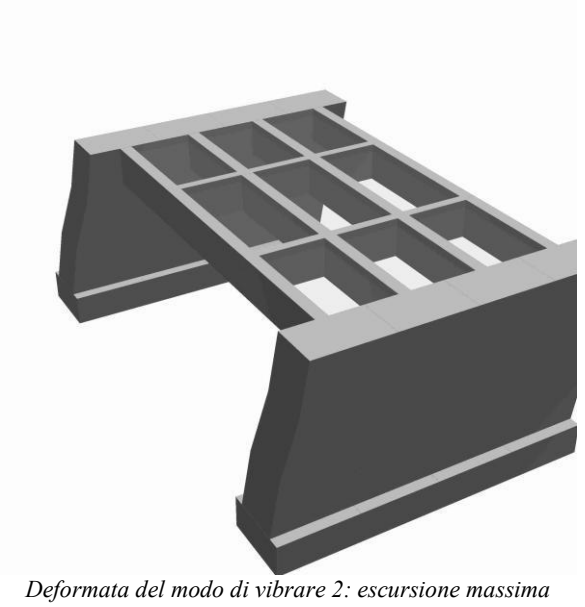
Deformata del modo di vibrare 1: escursione minima



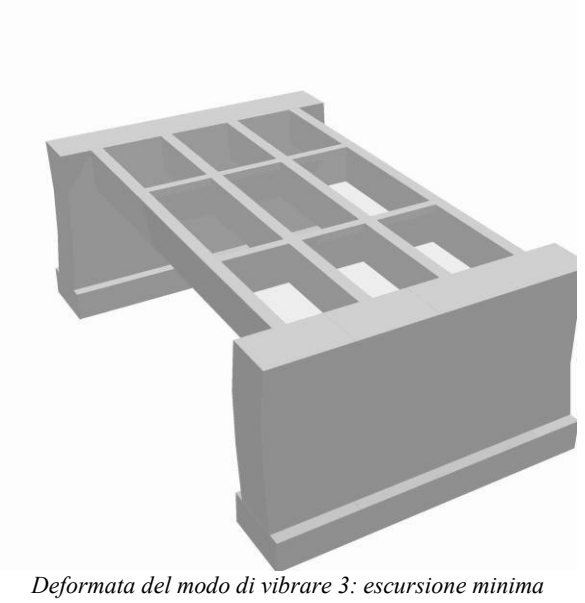
Deformata del modo di vibrare 1: escursione massima



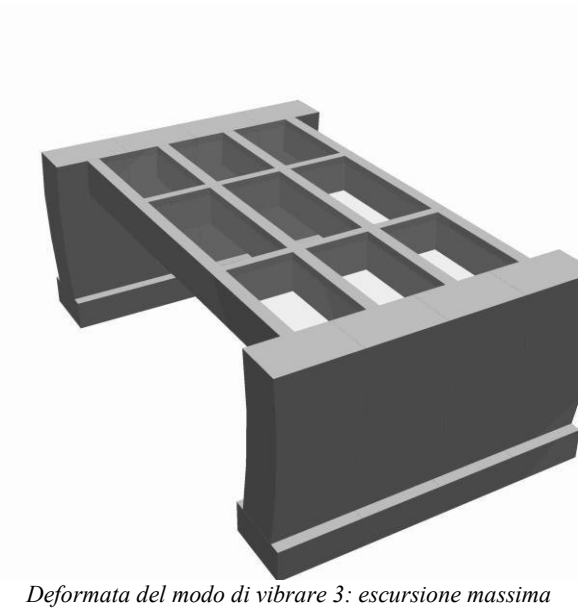
Deformata del modo di vibrare 2: escursione minima



Deformata del modo di vibrare 2: escursione massima



Deformata del modo di vibrare 3: escursione minima



Deformata del modo di vibrare 3: escursione massima

14 Precisazioni sul codice di calcolo utilizzato per l'analisi

Si forniscono di seguito le ulteriori indicazioni richieste dal punto 10.2 del testo unico delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. del 17/01/2018)

L'analisi è stata condotta utilizzando il codice di calcolo Edisis, versione 14.06, di cui lo scrivente è licenziatario registrato.

Il programma Edisis è un codice di calcolo specifico per l'analisi e la verifica di strutture multipiano in cemento armato, che consente una modellazione tridimensionale della struttura, basata sui criteri esposti sinteticamente nei paragrafi precedenti.

Il programma è prodotto dalla Newsoft, software-house specificamente indirizzata alla produzione di software per l'ingegneria civile. La casa produttrice cura direttamente il servizio di assistenza tecnica e rende disponibili sul suo sito Internet manuali operativi e documentazioni tecniche complete relativi a casi di prova, liberamente scaricabili, che consentono un controllo ed un riscontro sull'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo.

Lo scrivente ha avuto modo di valutare, in base ad uno studio della documentazione fornita ed all'esame dei risultati ottenuti su strutture test significative, la robustezza ed affidabilità del codice utilizzato, di cui fa proprie le ipotesi di base e le modalità operative, che ritiene adeguate al contesto di utilizzo.

Lo scrivente fa inoltre propri i risultati forniti dal codice ed inseriti nella presente relazione di calcolo, che ha avuto modo di controllare sia attraverso le restituzioni sintetico tabellari e grafiche ed i filtri di autodiagnostica offerti dal codice, sia mediante riscontri di massima eseguiti a campione sui risultati delle analisi.

Ulteriori informazioni sulla Società produttrice possono ricavarsi dal sito ufficiale http://www.newsoft-eng.it.

Informazioni dettagliate sul codice Edisis, comprendenti le ipotesi base utilizzate e le modalità operative, sono descritte nella pagina web http://www.newsoft-eng.it/Edisis.htm.

Il manuale operativo ed una serie di strutture test, utilizzabili per un controllo sulla accuratezza dei risultati, sono liberamente scaricabili dagli indirizzi web http://www.newsoft-eng.it/Down_Manuali.htm e http://www.newsoft-eng.it/TestsEdisis.htm.

Sommario

Relazione di calcolo **2**
1 Premessa 2
2 Descrizione dell'opera ed inquadramento normativo dell'intervento 2
3 Riferimenti legislativi 2
4 Parametri di progetto 2
5 Materiali 3
6 Pericolosità sismica di base del sito di costruzione 3
7 Modellazione della struttura 5
8 Criteri adottati per le analisi statiche 5
9 Criteri adottati per l'analisi sismica 5
10 Fattori di comportamento 5
11 Combinazioni delle azioni 6
12 Modalità di progetto e verifica 8
13 Sintesi dei risultati del calcolo 8
14 Precisazioni sul codice di calcolo utilizzato per l'analisi 23