



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Provincia di Ravenna

Settore Edilizia Scolastica e Patrimonio

Servizio Programmazione e Progettazione

LAVORI DI ADEGUAMENTO SISMICO DELL'ISTITUTO "A. ORIANI" DI VIA A. MANZONI, 6 - FAENZA (RA) – 1° STRALCIO – FINANZIATO CON FONDI NEXT GENERATION EU PNRR – MISSIONE 4 – COMPONENTE 1 – INVESTIMENTO 3.3 PIANO DI MESSA IN SICUREZZA E RIQUALIFICAZIONE DELL'EDILIZIA SCOLASTICA. CUP J21B2000105001 - CUI L00356680397202100026

VARIANTE MIGLIORATIVA

Presidente: Michele de Pascale	Consigliere delegato Pubblica Istruzione - Edilizia Scolastica - Patrimonio: Maria Luisa Martinez
Dirigente responsabile del Settore: Ing. Marco Conti	Responsabile del Servizio: Arch. Giovanna Garzanti

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Ing. Paolo Nobile



Via Argirocastro, 15 - 48122 RA
Tel. 0544 453853
Fax 0544 450337
arcolavori@arcolavori.com



Laboratorio Città di Ferrara Engineering Srl
Via Bologna, 166/A - 44122 Ferrara (FE)
email: info@lcferrara.it - Tel. 0532 209093
P.Iva/ C.F.: 01663340386

LABORATORIO
CITTÀ DI FERRARA
ENGINEERING



Marco Peroni
Ingegneria

via Sant'Antonino 1, 48018 Faenza (RA)
tel. 0546/31433 – peroni@marcoperoni.it
p.i. 02043760392

TITOLO ELABORATO: RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE dei CORPI A - B

Codice elaborato:	Revisione:	Data:	Scala:	Nome file di archiviazione:
STR 02	01	08/2024		2. Relazione di calcolo

PROFESSIONISTA RESPONSABILE:

Arch. Daniele Spoletini
Ing. Marco Peroni
Ing. Giovanni Bertoli

FIRMATO DIGITALMENTE

Timbro e firma del Professionista

Rev.	Descrizione	Redatto:	Controllato:	Approvato:	Data:
00					25/09/2024
01					
02					
03					

INDICE

a) Descrizione del contesto edilizio e delle caratteristiche geomorfologiche	4
b) Descrizione generale della struttura.....	5
b.1) Definizione delle Unità Strutturali.....	6
b.2) Rilievo Geometrico-Strutturale	7
b.3) Rilievo delle Strutture Orizzontali e coperture.....	8
b.4) Rilievo delle Strutture Verticali	8
b.5) Rilievo delle Fondazioni	10
b.6) Identificazione di vulnerabilità e meccanismi di danno attivi.....	12
b.7) Interventi migliorativi strutturali da eseguirsi	12
c) Normativa tecnica e riferimenti tecnici utilizzati	14
d) Definizione dei parametri di progetto.....	15
d.1) Azione sismica	15
d.2) Analisi dei carichi.....	18
e) Descrizione dei materiali	20
Esistenti:	20
Nuova realizzazione:	20
f) Illustrazione dei criteri di progettazione e di modellazione.....	21
f.1) Criteri di progettazione:	21
g) Principali combinazioni delle azioni.....	26
h) Metodo di analisi.....	29
i) Criteri di verifica agli stati limite	48
j) Configurazioni deformate e delle caratteristiche di sollecitazione.....	49
j.1) VALUTAZIONE DI SICUREZZA STATICA	49
j.1.1) Verifiche di sicurezza statica	50
j.1.2) Verifiche di sicurezza statica - Stato di progetto	53
j.2) VALUTAZIONE DI SICUREZZA SISMICA (ANALISI DINAMICA LINEARE)	62
j.2.1) Verifiche di sicurezza sismica SLV – Stato di fatto	63
j.2.2) Verifiche di sicurezza sismica SLV – Stato di progetto	67
VERIFICHE dei MECCANISMI DUTTILI	69
VERIFICHE dei MECCANISMI FRAGILI	70
j.3) VERIFICHE AGLI STATI LIMITE	73
j.3.1) Verifiche agli SLU - Stato di fatto:	73
j.4) VERIFICHE DEGLI ELEMENTI RESISTENTI IN ACCIAIO.....	79
j.4.1) Verifiche di sicurezza sismica SLV – Stato di progetto	80
j.4.2) Progetto dei collegamenti in acciaio.....	84
k) Caratteristiche e affidabilità del codice di calcolo	91
Codice di calcolo adottato, solutore e affidabilità dei risultati.....	92
l) Verifiche Geotecniche delle Fondazioni	94
Capacità portante trave di fondazione.....	95

m) Categoria di intervento previsto e motivazione della scelta adottata	98
n) Analisi storico-critica (§ 8.5.1 del D.M. 17-01-2018)	99
o) Proprietà meccaniche dei materiali in relazione dei livelli di conoscenza.....	101
o.1) Relazione sul livello di conoscenza raggiunto e sui fattori di confidenza adottati	101
o.2) proprietà meccaniche dei materiali esistenti	102

2. RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

a) Descrizione del contesto edilizio e delle caratteristiche geomorfologiche

Il progetto in questione riguarda la realizzazione di interventi di adeguamento sismico su fabbricato in c.c.a. ad uso scolastico **Scuola Secondaria di Secondo Grado "ITS Alfredo Oriani"**, situato nel Comune di Faenza (RA), in via Manzoni n°6.

Oggetto della presente relazione di calcolo sono i **Corpi A e B**.



Inquadramento dell'edificio nel contesto



Suddivisione dell'edificio in corpi (corpo A in rosso, corpo B in verde)

Il comune di Faenza (RA) è classificato in Zona Sismica 2, caratterizzata da una pericolosità sismica media

($0,15 \leq PGA < 0,25g$), secondo quanto indicato nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Deliberazione della Giunta Regionale n.1435 del 21 luglio 2003 e successivamente con la n.1164 del 23 luglio 2018.

Il fabbricato in esame è adibito ad uso scolastico, pertanto si considera di rientrare, ai sensi della Delibera di Giunta della Regione Emilia Romagna n.1661/2009, tra le opere che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso nell'elenco *"B2 CATEGORIE DI EDIFICI ED OPERE INFRASTRUTTURALI DI COMPETENZA REGIONALE - B2.1 STRUTTURE CON AFFOLLAMENTI SIGNIFICATIVI"* dell'Allegato B, considerando la classe d'uso III.

Dal punto di vista litologico, sull'area è stata individuata una situazione stratigrafica caratterizzata da un deposito alluvionale costituito da una successione di limi talora sabbiosi e/o argillosi passanti a ghiaie. Il deposito è sede di una falda freatica stabile attestata alla profondità di 10.50 m. 11.70 m. La presenza in superficie di terreni a matrice prevalentemente limoso sabbiosa comporta una buona filtrazione verticale delle acque, ma va considerato che l'istituto è inserito nel contesto urbano, in cui marcata è l'impermeabilizzazione e dove è presente un reticolo fognante in cui viene incanalata la maggioranza delle acque di precipitazione. In relazione alle verifiche analitiche si può affermare che in caso di sisma, con conseguente processo di liquefazione, i danni attesi sono da considerarsi di molto scarsa/scarsa entità.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto secondo la classificazione indicata nelle NTC 17/01/2018, il profilo stratigrafico risulta appartenere alla categoria di sottosuolo di tipo "B".

Dal punto di vista topografico il sito, caratterizzato da superficie pianeggiante, rientra nella categoria topografica T₁ (Tabella 3.2.III e Tabella 3.2.V del D.M. 17-01-2018).

Il substrato del lotto in esame, considerando tempi di ritorno di 475 anni, non presenta rischio di liquefazione. Per ulteriori approfondimenti in merito alle caratteristiche geologiche, morfologiche ed idrogeologiche del sito oggetto di intervento, si rimanda alla Relazione geologica, datata 14 settembre 2021, redatta dal Dott. Geologo Rodolfo Baroncioni.

b) Descrizione generale della struttura

Il complesso scolastico in esame è stato realizzato in tempi diversi:

- Corpi A-B-C-D-E-L dal 1961 al 1965
- Corpo LC dal 1964
- Corpi C1 – LA dal 1965

con struttura portante in calcestruzzo armato che si eleva per quattro piani di cui tre fuori terra ed uno seminterrato. Si evidenzia che la struttura portante non è stata progettata per resistere ai carichi da sisma previsti dalle vigenti NTC18.

Nel corso degli ultimi anni il complesso scolastico è stato oggetto di indagini di varia natura, messe a disposizione dalla Committenza:

Sono state effettuate prove di caratterizzazione del cls, dell'acciaio da CA e sono state effettuate prove a campione con rilievo visivo, microdemolizioni etc. In particolare, sono state eseguite due diverse campagne diagnostiche:

- 1) Eseguita da ComSigma Srl nelle date 9-10-11 Agosto 2021. In tali date sono state eseguite le seguenti indagini
 - a) Nr. 78 indagini pacometriche con successiva micro-demolizione (PACi);

- b) Nr. 14 prelievi di campioni cilindrici Ø100 mm, comprensivo di prova a rottura per compressione monoassiale e verifica profondità di carbonatazione (CAi);
- c) Nr. 4 prelievi di barra d'armatura e successiva esecuzione di prova a trazione a rottura (BARi);
- d) Nr. 3 indagini videoendoscopiche per l'identificazione stratigrafica delle pareti (ENDi);
- e) Nr. 8 indagini videoendoscopiche per l'identificazione stratigrafica dei solai (STi);
- f) Nr. 15 indagini con apparecchiatura georadar (GPRi).
- g)

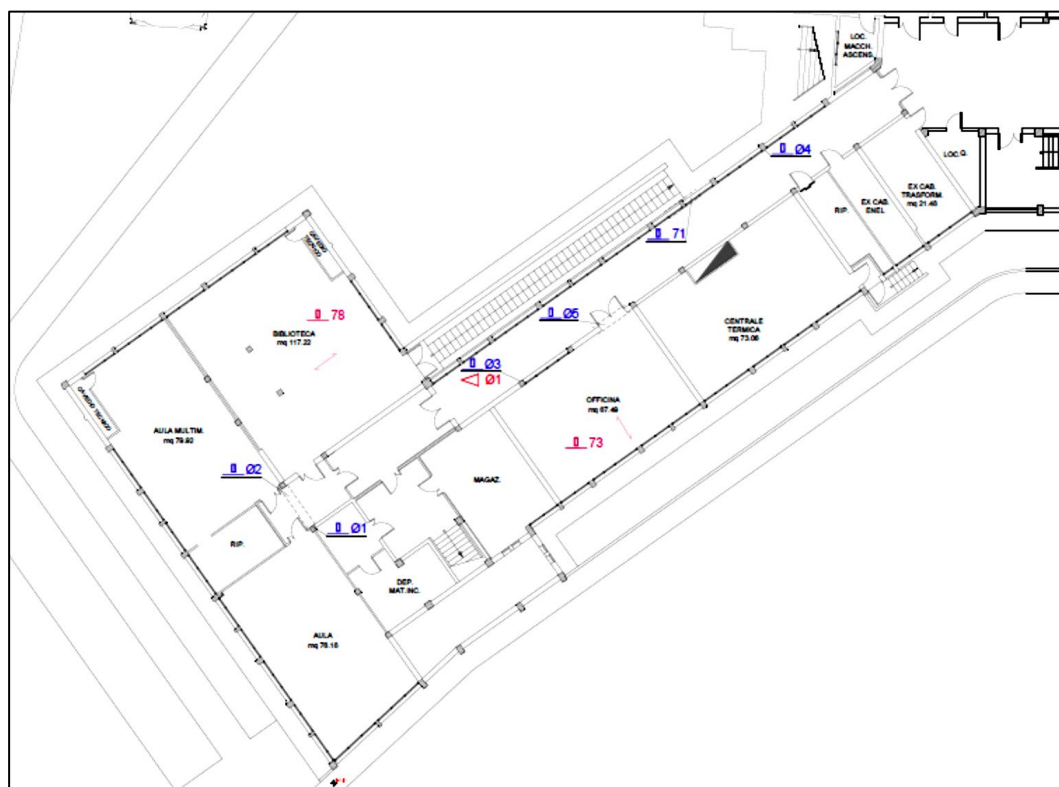
2) Eseguita da Classedil Srl nelle date 1-9 Settembre 2022. In tali date sono state eseguite le seguenti indagini:

- a) Nr. 21 indagini pacometriche con successiva micro-demolizione (PACi);
- b) Nr. 18 prelievi di campioni cilindrici Ø100 mm, comprensivo di prova a rottura per compressione monoassiale e verifica profondità di carbonatazione (CAi);
- c) Nr. 4 prelievi di barra d'armatura e successiva esecuzione di prova a trazione a rottura (BARi);
- d) Nr. 6 indagini videoendoscopiche per l'identificazione stratigrafica delle pareti (ENDi);

Tali prove sono state effettuate in numero sufficiente a raggiungere un livello di conoscenza LC3 considerando la ripetibilità dei materiali e degli elementi strutturali.

b.1) Definizione delle Unità Strutturali

Il complesso scolastico è caratterizzato da una conformazione planimetrica non regolare costituita da porzioni di edificio realizzate in epoche diverse che seguono un corpo rettilineo che si dirama in due porzioni, una delle quali strutturalmente indipendente e costituita dai corpi A e B, oggetto della presente istanza di autorizzazione sismica.



Planimetria corpi A e B ITS Oriani

Ai fini della modellazione numerica, in assenza di approfondimenti nella documentazione fornita dalla Committenza, i due corpi sono stati considerati come un unico corpo

Il **Corpo A** (Rosso) ed il **Corpo B** (Verde), ospitano aule, aule speciali e locali per attività varie di laboratorio e presentano una conformazione simile: entrambi hanno una planimetria regolare, di forma in pianta rettangolare. Non si rileva la presenza di un giunto sismico che rende le due unità indipendenti, pertanto, si considerano come un solo corpo di forma irregolare.

Giunto sismico presente invece tra il corpo B ed il corpo C.

Si elevano su quattro piani, di cui uno seminterrato con altezza di interpiano pari a 270cm, e tre fuori terra, con altezza di interpiano pari a 350cm, e altezza alla gronda pari a 1285cm.

Il corpo A presenta un vano scale che permette il collegamento di tutti i piani, accessibili anche dalle altre unità strutturali collegate al corpo B e l'accesso dall'esterno dell'edificio.

La struttura portante è costituita da un telaio di pilastri perimetrali ed interni in c.c.a. gettato in opera, muri in calcestruzzo debolmente armato per i vani scala e per le pareti del piano seminterrato. Le travi perimetrali ed interne sono in parte ribassate e in parte in spessore di solaio, anch'esse in c.c.a. gettato in opera.

Gli orizzontamenti e la copertura a falda sono costituiti da solai in laterocemento gettato in opera di spessore $20+6=26\text{cm}$.

I prospetti longitudinali che affacciano sulla strada e sul cortile interno sono tamponati con murature e vetrate continue da pilastro a pilastro.



Planimetria con individuazione Corpi A e B

b.2) Rilievo Geometrico-Strutturale

Il rilievo geometrico-strutturale è riferito alla geometria complessiva del manufatto e degli elementi costruttivi, comprendendo i rapporti con le eventuali strutture in aderenza.

Il sopralluogo, attraverso l'ausilio di varie strumentazioni, permette di individuare la membratura resistente del manufatto, tenendo in considerazione la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi. Per ciascun elemento che compone la struttura portante, indipendentemente dalla sua natura, è quindi necessario risalire accuratamente alle proprie dimensioni in pianta e alla precisa posizione planimetrica mediante il reperimento della documentazione storica.

Grazie a quest'ultima è stato possibile definire le componenti geometriche, compreso numero, dimensione e disposizione dei ferri di armatura presenti nei pilastri e nei setti in c.a. o nel caso delle murature la tipologia muraria che realizza le pareti portanti, confermate mediante l'esecuzione di:

- analisi pacometrica per la localizzazione delle armature nei getti di calcestruzzo;
- valutazioni a campione al vero delle dimensioni delle armature metalliche da rilevare, previa scarificazione del copriferro cementizio e messa a nudo parziale delle armature sia longitudinali che trasversali e successiva misurazione mediante calibro digitale;
- prove di laboratorio a rottura dei campioni di calcestruzzo ed acciaio estratti in situ.

Per i dettagli si rimanda agli **elaborati grafici di rilievo geometrico strutturale** allegati alla presente relazione.

b.3) Rilievo delle Strutture Orizzontali e coperture

I rilievi non distruttivi e le demolizioni localizzate, effettuate in alcuni punti dell'edificio, hanno permesso di identificare le tipologie di solaio e copertura presenti.

All'interno dell'edificio è stata rinvenuta una prevalente tipologia costruttiva, classificabile come soletta mista in laterocemento e caratterizzata dalla presenza di travetti gettati direttamente in opera e pignatte di alleggerimento interposte, di spessore 20+6cm per i solai di piano.

Dalle indagini è stata rinvenuta la presenza di massetto non armato composto da sabbia e cemento di spessore di circa 6cm.

Considerato che non è stata riscontrata la presenza di armatura all'interno della soletta, facendo riferimento al paragrafo §.7.2.6 delle norme tecniche per le costruzioni del 2018 (NTC 2018), nel quale si cita che: *“A meno di specifiche valutazioni e purché le aperture presenti non ne riducano significativamente la rigidità, gli orizzontamenti piani possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano medio a condizione che siano realizzati in calcestruzzo armato, oppure in latero-cemento con soletta in calcestruzzo armato di almeno 40 mm di spessore, o in struttura mista con soletta in calcestruzzo armato di almeno 50 mm di spessore collegata agli elementi strutturali in acciaio o in legno da connettori a taglio opportunamente dimensionati”*, non consideriamo i solai esistenti come elementi infinitamente rigidi

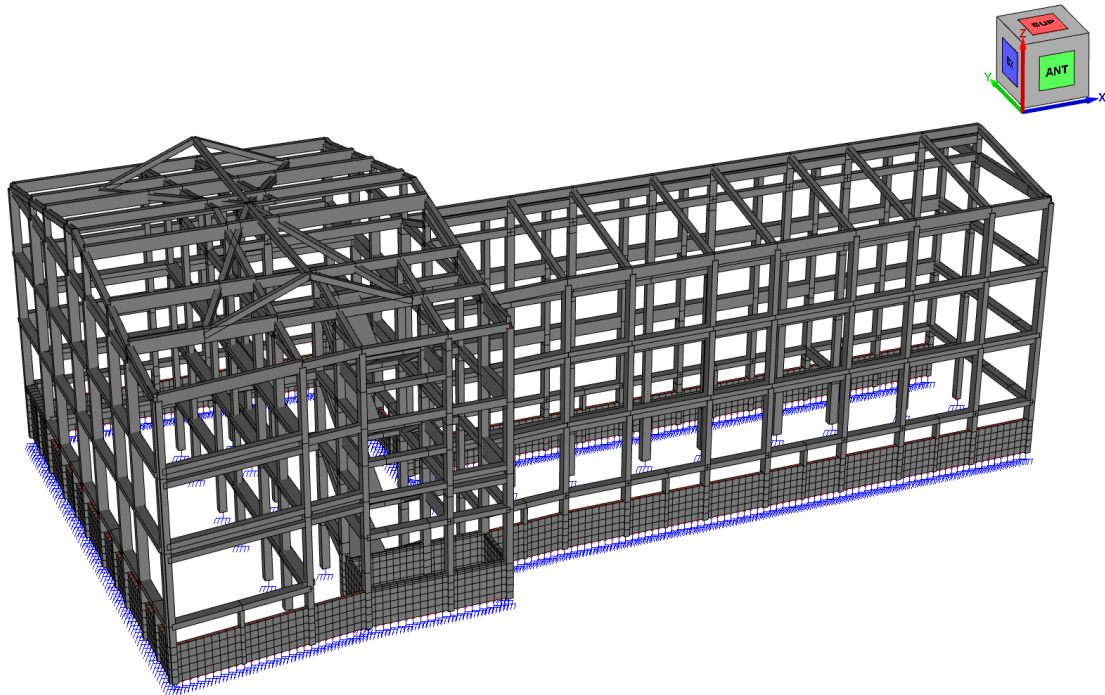
b.4) Rilievo delle Strutture Verticali

La struttura in elevazione è costituita da telai composti da pilastri e travi orditi in entrambe le direzioni in conglomerato cementizio armato gettato in opera.

Parallelamente all'esito delle verifiche condotte si riporta che le prove eseguite durante il sopralluogo non hanno permesso il rilievo del quantitativo di armatura nei nodi trave-pilastro a causa della elevata intrusività e delle demolizioni ingenti che avrebbe richiesto una diagnostica specifica. In assenza di tale informazione e di

elaborati di progetto esecutivo del nodo, le verifiche sono state condotte considerando costante l'armatura presente in mezzera dei pilastri lungo l'intero sviluppo dell'elemento. Tale scelta è stata condotta a favore di sicurezza.

Le pareti del piano seminterrato, posti planimetricamente in posizione periferica, nelle tre unità strutturali sono realizzate in calcestruzzo debolmente armato. A livello statico non mostrano alcuna criticità, soddisfacendo pienamente le verifiche a SLU, mentre costituiscono una vulnerabilità in caso di evento sismico.



Osservazione generale del modello globale dell'edificio in esame

I tramezzi interni di altezza 270cm al piano seminterrato e 350cm al piano terra, primo e secondo sono realizzati in laterizio forato di spessore 10cm nel caso di separazione tra le aule ed il corridoio, mentre di spessore 30cm quando di separazione tra le aule didattiche.

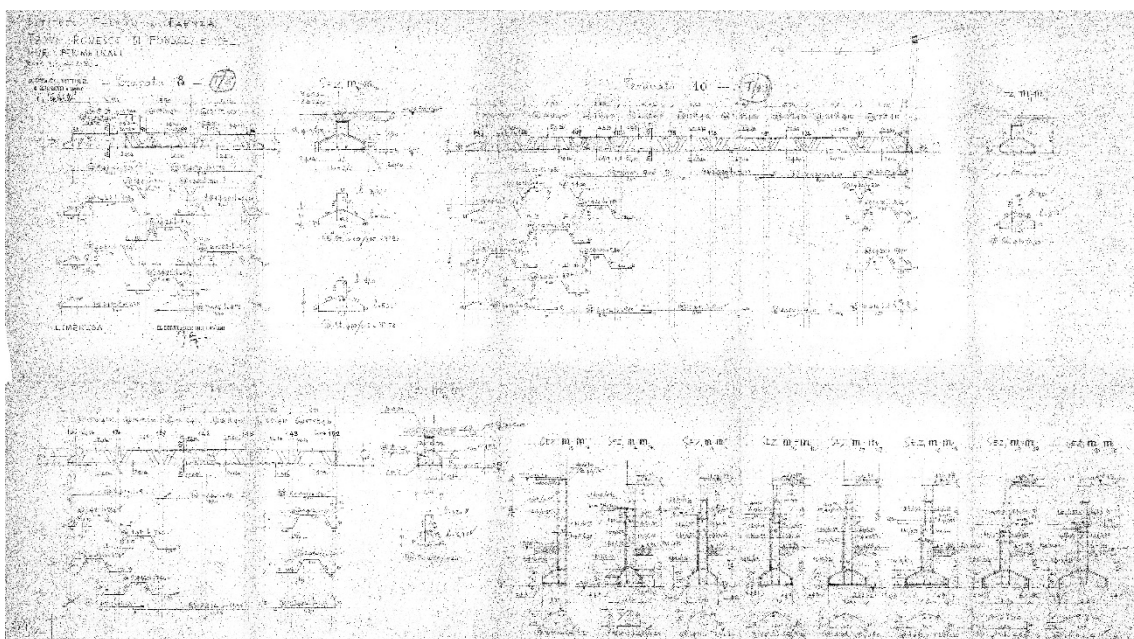
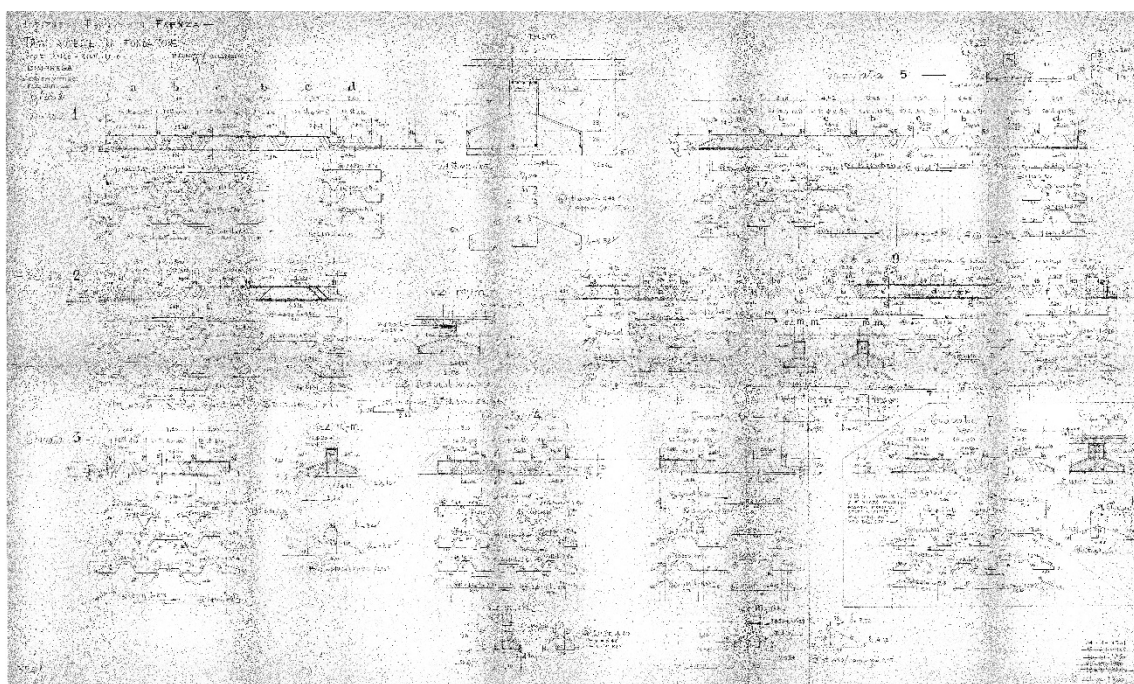
Le strutture di tamponamento esterno sono realizzate:

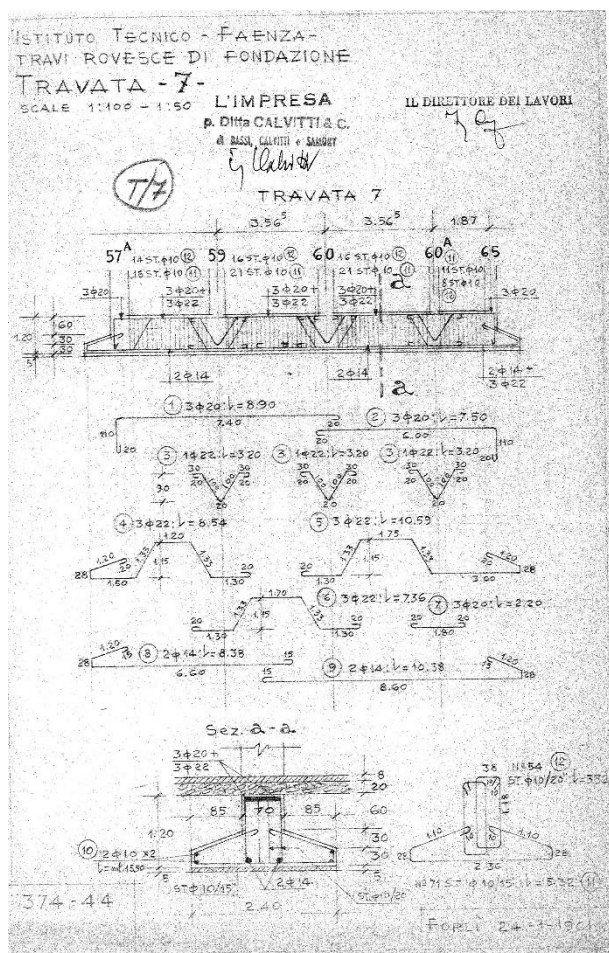
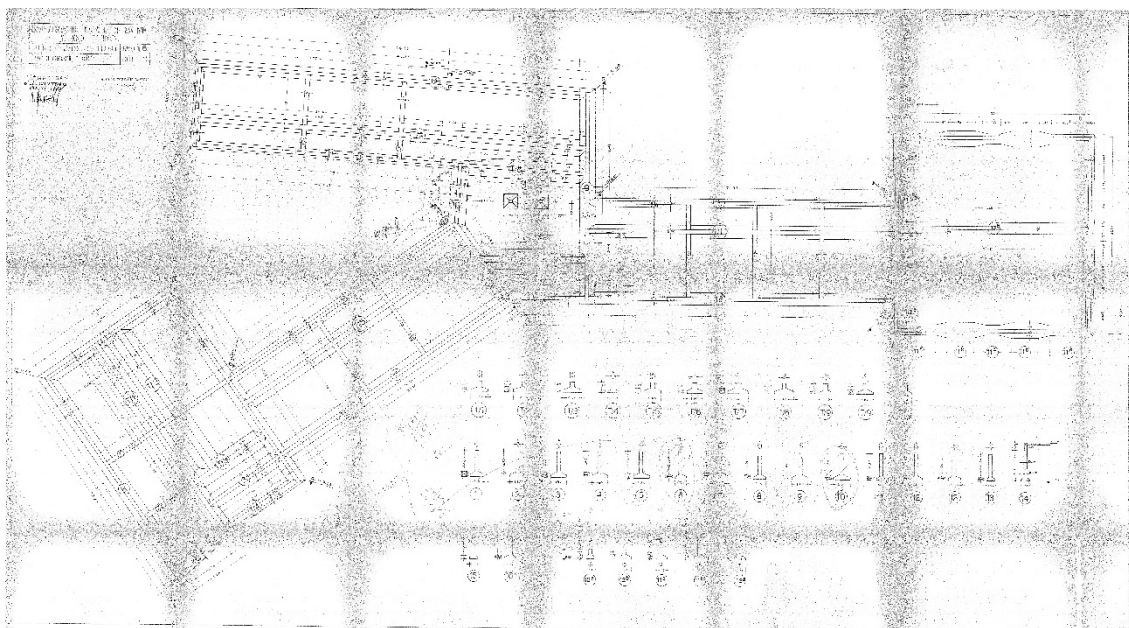
- in parte in muratura di laterizio con spessore indicativo di 30cm ma con la presenza di vani per l'alloggiamento dei termosifoni;
- in parte in infissi vetrati a nastro (da pilastro a pilastro).

b.5) Rilievo delle Fondazioni

Dalla documentazione fornita dalla Committenza è stato possibile apprendere che le fondazioni sono di tipo superficiale a trave rovescia.

Non si evidenziano fenomeni di instabilità globale o condizioni che possano dar luogo ai dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni, fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto di condizioni morfologiche sfavorevoli, di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni, delle azioni sismiche di progetto, fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovuti alle azioni sismiche di progetto.





Estratti di tavole relative alle fondazioni dell'edificio in esame

b.6) Identificazione di vulnerabilità e meccanismi di danno attivi

Dal punto di vista statico non sono state rilevate criticità.

Le vulnerabilità riscontrate nei confronti delle azioni sismiche vengono riassunte di seguito:

- a) Irregolarità in pianta;
- b) Setti del vano scala suscettibili di danneggiamento in caso di evento sismico;
- c) Impossibilità, durante il sopralluogo, di rilievo del quantitativo di armatura nei nodi trave-pilastro a causa della elevata intrusività e delle demolizioni ingenti che avrebbe richiesto una diagnostica specifica;
- d) Possibile cinematismo fuori piano dei tamponamenti esterni in laterizio faccia a vista e dei tramezzi interni;
- e) Tramezzi interni in laterizio suscettibili di pesante danneggiamento in caso di evento sismico.

Dalla "Verifica di vulnerabilità sismica" redatta nel 2022, si evince che le unità strutturali in esame presentano una prestazione di sicurezza sismica inferiore a quella minima accettabile (ζ_E pari al 60%), da intendersi in termini probabilistici, nei confronti di quanto richiesto dalla normativa vigente in materia di costruzioni esistenti (NTC 2018: Decreto Ministeriale n. 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018 - Suppl. Ordinario n. 8.).

Pertanto i risultati delle analisi svolte evidenziano la necessità di un adeguamento locale e globale della risposta sismica dell'edificio, intendendo con esso l'esecuzione di un insieme di opere ed interventi sufficienti a far conseguire allo stesso un maggior grado di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche, eliminando le vulnerabilità specifiche rilevate descritte nei paragrafi precedenti. Gli interventi comportano il miglioramento del comportamento in termini di rigidezza e deformabilità della struttura, oltre che della capacità deformativa ("duttilità") e di resistenza di singoli elementi.

b.7) Interventi migliorativi strutturali da eseguirsi

La valutazione di sicurezza globale statica e sismica del fabbricato mediante il programma di calcolo MasterSAP, insieme all'identificazione delle vulnerabilità specifiche insite nella struttura, permettono di definire gli interventi compatibili con le caratteristiche della costruzione per il miglioramento statico e sismico della struttura. Si fa riferimento ai capitoli della normativa NTC2018 § 8.7 "Progettazione degli interventi in presenza di azioni sismiche", § 8.7.2. "Costruzioni in calcestruzzo armato o in acciaio", § 8.7.4. "Criteri e tipi d'intervento". Si riporta di seguito una sintetica descrizione degli interventi previsti per il raggiungimento del miglioramento sismico del fabbricato, porzione del plesso della Scuola Primaria di Secondo Grado "ITS Alfredo Oriani" di Faenza (RA).

Per le strutture in c.a. in esame si applicherà la combinazione delle tipologie di intervento di seguito esposte per il raggiungimento del miglioramento sismico dei fabbricati:

- Sulle strutture orizzontali esistenti (travi e solai) non si prevede la realizzazione di interventi di rinforzo.
- **INT. A:** Realizzazione di nuovi plinti e cordoli di collegamento in c.a. in fondazione, opportunamente collegati alle strutture esistenti. Le nuove fondazioni saranno il basamento su cui poggiare le nuove strutture in carpenteria metallica;
- **INT. B:** Realizzazione di telai di controvento in acciaio (pilastri, traversi ed altri elementi in profili di carpenteria metallica) disposti in entrambe le direzioni dei corpi A e B, in continuità per tutta l'altezza

dell'edificio, dal piano seminterrato al secondo piano, e opportunamente collegati alla struttura esistente in c.a.

- **INT. C:** Rinforzo dei pilastri/setti in c.a. esistenti mediante incamiciatura degli elementi in c.a. con piastre e angolari di carpenteria metallica opportunamente tassellati, con la funzione di irrigidimento della struttura.

c) Normativa tecnica e riferimenti tecnici utilizzati

Per la redazione della presente relazione sono state considerate le normative tecniche di seguito elencate:

- **NTC 2018:** Decreto Ministeriale n. 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018 - Suppl. Ordinario n. 8.
- **DD.MM: 58-65 2017:** Decreto Ministeriale n.58, 28 febbraio 2017: Approvazione delle linee guida per la classificazione di rischio sismico delle costruzioni nonché delle modalità per l'attestazione dell'efficacia degli interventi effettuati. Decreto Ministeriale n.65, 7 marzo 2017: Modifiche all'articolo 3 del Decreto Ministeriale numero 58 del 28/02/2017.
- **CSLP 7:** Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 7 del 21 gennaio 2019: "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 17 gennaio 2018. Pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 35 dell'11 febbraio 2019 - Suppl. Ordinario n. 5.
- **CSLP PnD:** Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici febbraio 2008: Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive.
- **OPCM 3274:** Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003: Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle stesse zone. Pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 72 dell'8 maggio 2003.
- **OPCM 3519:** Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006: Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. Pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 108 dell'11 maggio 2006.

Più in generale, la stessa NTC 2018 prevede che, per quanto non diversamente specificato nel capitolo 8, si faccia riferimento alle disposizioni di carattere generale contenute negli altri capitoli della norma e queste costituiscono pertanto il riferimento anche per le costruzioni esistenti. Si intendono inoltre coerenti con i principi alla base della stessa norma, le indicazioni riportate nei seguenti documenti:

- Eurocodici strutturali pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali o, in mancanza di esse, nella forma internazionale EN;
- Norme UNI EN armonizzate i cui riferimenti siano pubblicati su Gazzetta Ufficiale dell'UE;
- Norme per prove, materiali e prodotti pubblicate da UNI.

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, a integrazione delle presenti norme e per quanto con esse non in contrasto, possono essere utilizzati i documenti di seguito indicati che costituiscono riferimenti di comprovata validità:

- Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale e successive modificazioni del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, come licenziate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e ss. mm. ii.;
- Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.).

d) Definizione dei parametri di progetto

Il fabbricato è situato in Via Alessandro Manzoni n.6 nel comune di Faenza (RA), con le seguenti coordinate geografiche:

Spigolo nord-est	Spigolo nord-ovest
Latitudine 44.28995269636212	Latitudine 44.2900210660022
Longitudine 11.87847851682264	Longitudine 11.8783646035493
Spigolo sud-est	Spigolo sud-ovest
Latitudine 44.28956962388946	Latitudine 44.2897048557972
Longitudine 11.87815082283609	Longitudine 11.877889426261191

Il fabbricato viene classificato come opera in Classe d'uso III, essendo un edificio che può assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso. Si assume come vita nominale della costruzione $V_N = 50 \text{anni}$.

Per costruzioni in Classe d'uso III il valore del coefficiente d'uso C_U viene assunto pari a 1,5.

d.1) Azione sismica

Le azioni sismiche sulla costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento, valutato moltiplicando la vita nominale per il coefficiente d'uso della costruzione, per cui si ha:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 1,5 = 75 \text{anni}$$

Definizione dei parametri di amplificazione e periodo di riferimento:

	V_N	Classe	C_U	V_R	S_S	S_T
Edificio oggetto di analisi	50	III	1.5	75	1.35	1.00

Per tale vita di riferimento si devono considerare azioni sismiche che abbiano una probabilità di superamento pari al:

- SLO: 81% in $V_R = 75$ anni $\rightarrow$ tempo di ritorno $T_R = 45$ anni
- SLD: 63% in $V_R = 75$ anni $\rightarrow$ tempo di ritorno $T_R = 75$ anni
- SLV: 10% in $V_R = 75$ anni $\rightarrow$ tempo di ritorno $T_R = 712$ anni
- SLC: 5% in $V_R = 75$ anni $\rightarrow$ tempo di ritorno $T_R = 1462$ anni
-

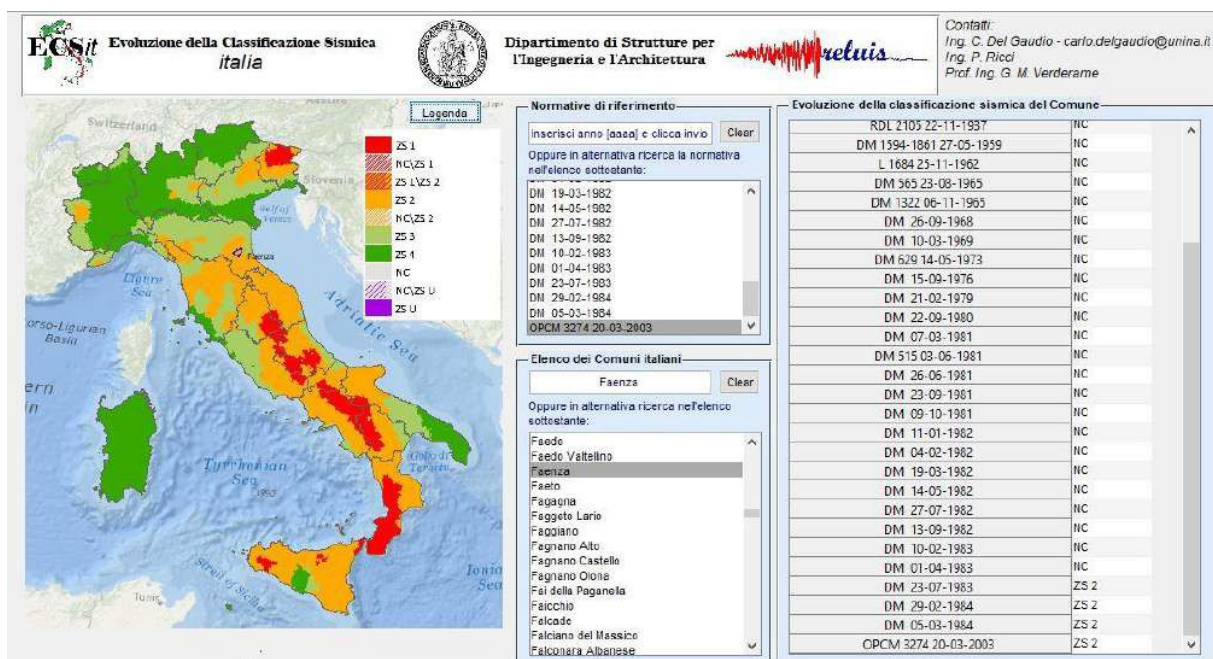
Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto secondo la classificazione indicata nelle NTC 17/01/2018, il profilo stratigrafico risulta appartenere alla **categoria di sottosuolo di tipo "B"**, per fondazioni

impostate oltre 1,0 m di profondità, secondo quanto risulta dalla Relazione geologica redatta dal Dott. Geol. Rodolfo Baroncioni redatta nel 2021.

Dal punto di vista topografico il sito, caratterizzato da superficie pianeggiante, rientra nella **categoria topografica T₁** (Tabella 3.2.III e Tabella 3.2.V del D.M. 17-01-2018), da cui risulta il **coefficiente di amplificazione topografica S_T** pari a 1,0.

V _{s,30} [m/s]	Categoria di sottosuolo	Categoria topografica	Destinazione d'uso
347	B	T1 Superficie pianeggiante	Scolastico

Il comune di Faenza (RA) è classificato in Zona Sismica 2, caratterizzata da una pericolosità sismica “media” ($0,15 \leq PGA < 0,25g$), secondo quanto indicato nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Deliberazione della Giunta Regionale n.1435 del 21 luglio 2003 e successivamente con la n.1164 del 23 luglio 2018.



I valori dei parametri sismici relativi a ciascuno stato limite sono riportati nella tabella riassuntiva:

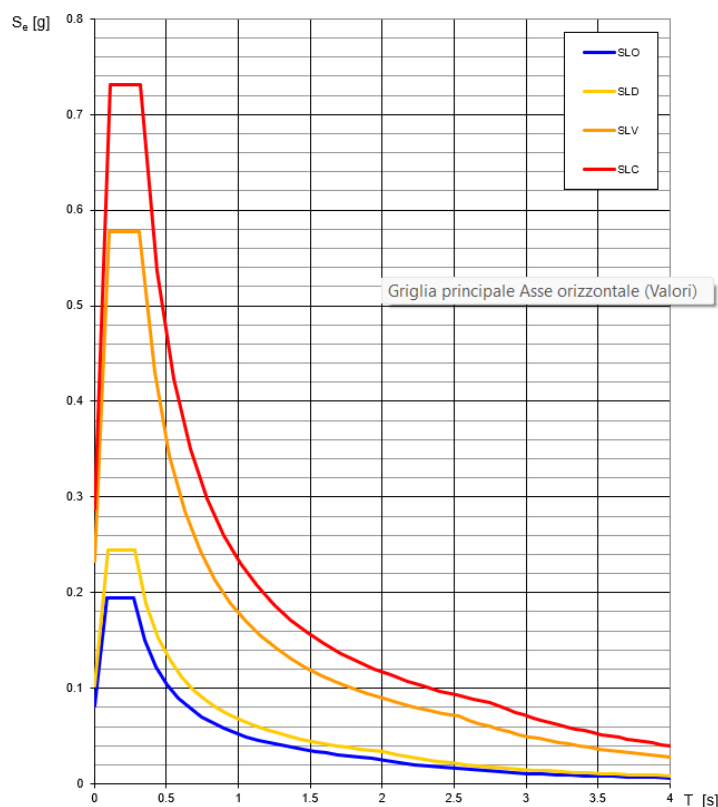
Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL:

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	45	0.081	2.394	0.268
SLD	75	0.102	2.392	0.276
SLV	712	0.233	2.482	0.309
SLC	1462	0.288	2.541	0.320

Definizione dei parametri di domanda:

PARAMETRI SISMICI DI DOMANDA			
Stato limite	Tempo di ritorno	Accelerazione al suolo di picco	Accelerazione al suolo di domanda
	T_R	a_g	PGA_D
	[anni]	[m/s ²]	[m/s ²]
SLO	45	0.081	0.109
SLD	75	0.102	0.138
SLV	712	0.233	0.314
SLC	1462	0.288	0.389

I valori dei parametri sismici sono riportati nelle schermate seguenti che riassumono i dati di input utilizzati nell'analisi. Nota la categoria del suolo e tutti i parametri (a_g , F_0 , T_C^* , S , η , T_B , T_C , T_D), si ricava il grafico degli spettri di risposta.



d.2) Analisi dei carichi

Le combinazioni di carico s.l.u. (fondamentale) e s.l.e. (rara, frequente e quasi permanente) sono ottenute mediante diverse combinazioni dei carichi permanenti ed accidentali in modo da considerare tutte le situazioni più sfavorevoli agenti sulla struttura. Nella modellazione oltre al peso proprio degli elementi strutturali, sono stati applicati il carico permanente strutturale "G₁", il carico permanente non strutturale "G₂", il carico variabile "Q_{k1}" per Ambienti suscettibili di affollamento di Cat. C1 ad uso scolastico per i solai di interpiano, il carico variabile "Q_{k1}" della neve in copertura.

SOLAIO tipo 20+6cm:

CAT.	TIPO DI CARICO	VALORE CARATT[daN/mq]	γ	ψ_0	ψ_2	CARICO SLU [daN/mq]
G1	Peso proprio solaio in laterocemento sp.20+6	350	1.3	1.0	1.0	455
G2	sottofondo + pavimento	186	1.3	1.0	1.0	242
G2	tramezzi interni	80	1.3	1.0	1.0	104
	TOTALE PERMANENTI Gk	536				801
Qk1	Variabile Cat. C1	300	1.5	1.0	0.6	450
	TOTALE VARIABILI Qk	300				450
Fd	TOTALE CARICHI	836				1251

SOLAIO tipo 16+4cm:

CAT.	TIPO DI CARICO	VALORE CARATT[daN/mq]	γ	ψ_0	ψ_2	CARICO SLU [daN/mq]
G1	Peso proprio solaio in laterocemento sp.16+4	250	1.3	1.0	1.0	325
G2	Sottofondo + pavimento	186	1.3	1.0	1.0	242
G2	tramezzi interni	80	1.3	1.0	1.0	104
	TOTALE PERMANENTI Gk	436				671
Qk1	Variabile Cat. C1	300	1.5	1.0	0.6	450
	TOTALE VARIABILI Qk	300				450
Fd	TOTALE CARICHI	736				1121

Scale di collegamento in c.a.:

CAT.	TIPO DI CARICO	VALORE CARATT[daN/mq]	γ	ψ_0	ψ_2	CARICO SLU [daN/mq]
G1	Peso proprio soletta c.a. sp.12cm	300	1.3	1.0	1.0	390
G2	Intonaco, pavimento	50	1.3	1.0	1.0	65
	TOTALE PERMANENTI Gk	350				455
Qk1	Variabile Scale - Cat. C1	400	1.5	1.0	0.6	600
	TOTALE VARIABILI Qk	400				600
Fd	TOTALE CARICHI	750				1055

Tamponature in laterizio

L'apporto derivante dalle tamponature esterne in laterizio presenti tra gli elementi in c.c.a. è stato valutato considerando un peso specifico di 15 kN/m^3 che tiene in considerazione delle logge per i termosifoni, attribuendo agli elementi di competenza un carico permanente non strutturale G_2 compreso tra $6.5\text{-}18.5 \text{ kN/m}$, decurtato di un 30% in presenza di aperture.

Azione della neve

La norma stabilisce che il valore del carico neve sulla copertura sia calcolato come:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot c_e \cdot c_t$$

Valore caratteristico del carico neve al suolo:

Il valore di q_{sk} dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona.

Il sito di riferimento è quello della zona II - Mediterranea (regione Emilia Romagna).

Il valore caratteristico minimo del carico della neve al suolo vale:

$$q_{sk} = 1,5 \text{ kN/m}^2 \text{ per } a_s \leq 200 \text{ m}$$

Coefficiente di esposizione:

Il coefficiente di esposizione c_e viene di norma assunto pari a 1.

Coefficiente termico:

Il coefficiente termico c_t viene di norma assunto pari a 1.

Coefficiente di forma – coperture a due falde:

Il coefficiente di forma si assume pari a:

$$\mu_1 = 0,8 \text{ (inclinazione } 0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ)$$

Pertanto il valore del carico neve sulla copertura risulta:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot c_e \cdot c_t = 0,8 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1 = 1,2 \text{ kN/m}^2 = 120 \text{ kg/m}^2$$

Azione variabile della neve in accumulo

Coefficiente di forma della copertura – COPERTURA INFERIORE CORPO B:

Poiché viene ritenuta estremamente penalizzante per gli edifici a quota minore non essendoci effetto di scivolamento direttamente sulla falda si assume la facciata opaca della struttura adiacente come una sporgenza e per questo si ricade nel punto C.3.4.3.3.4:

$$\mu_1 = 0,8\mu_2 = \gamma \cdot h / q_{sk} \quad \text{con } 0,8 < \mu_2 < 2,0$$

Considerando l'altezza della sporgenza come la differenza delle strutture $h=1.50\text{m}$ si ottiene quindi $l_s = 2 \cdot h = 2 \cdot 1.5\text{m} = 3.0\text{m}$

Pertanto il valore del carico neve sulla copertura risulta:

$$q_{s,1} = \mu_1 \cdot q_{sk} \cdot c_e \cdot c_t = 0,8 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1 = 1,2 \text{ kN/m}^2 = 120 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{s,2} = \mu_2 \cdot q_{sk} \cdot c_e \cdot c_t = 2,0 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1 = 3,0 \text{ kN/m}^2 = 300 \text{ kg/m}^2$$

Da cui si ottiene un carico distribuito che corrisponde, assumendo come peso della neve quello riportato in normativa $\gamma=2.0\text{kN/m}^3$ a 1 m di neve distribuita su tutta la copertura:

$$q_{s,neve} = (\mu_1 + \mu_2)/2 \cdot q_{sk} \cdot c_e \cdot c_t = (0,8 + 2,0)/2 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1 = 2,1 \text{ kN/m}^2 = 210 \text{ daN/m}^2$$

SOLAIO di copertura di tipo 16+4cm:

CAT.	TIPO DI CARICO	VALORE CARATT[daN/mq]	γ	ψ_0	ψ_2	CARICO SLU [daN/mq]
G1	Peso proprio solaio in laterocemento sp.16+4	250	1.3	1.0	1.0	325
G2	Sottofondo + pavimento	120	1.3	1.0	1.0	156
	TOTALE PERMANENTI Gk	370				481
Qk1	Neve (accumulo)	120	1.5	1.0	0.6	180
	TOTALE VARIABILI Qk	120				180
Fd	TOTALE CARICHI	490				661

e) Descrizione dei materiali

I materiali strutturali presenti nel fabbricato possono essere riassunti come segue:

Esistenti:

<u>Tipologia strutturale:</u>	<u>Calcestruzzo</u>
<u>Classe di resistenza necessaria ai fini statici:</u>	= 10.30 N/mm ²
$f_{ck} = 0,83 \times R_{ck}$	= 8.72 N/mm ²
$f_{cd} = 0,85 \times f_{ck} / 1,5$	= 5.80 N/mm ²

<u>Tipologia strutturale:</u>	<u>Acciaio</u>
F_y	= 388.3 N/mm ²
F_u	= 577 N/mm ²

Nuova realizzazione:

CALCESTRUZZO

<u>Tipologia strutturale:</u>	<u>Fondazioni</u>
<u>Classe di resistenza necessaria ai fini statici:</u>	<u>C 25/30 (Rck 300 daN/cm²)</u>
<u>Condizioni ambientali:</u>	<u>Bagnato, raramente asciutto</u>
<u>Classe di esposizione:</u>	<u>XC2</u>
<u>Rapporto acqua/cemento max:</u>	<u>0.60</u>
<u>Classe di consistenza:</u>	<u>S4 (Fluida) con Additivo Superfluidificante</u>
<u>Diametro massimo aggregati:</u>	<u>30 mm</u>

Tab. 1 - modulo elastico e resistenza a trazione del calcestruzzo

classe	C20/25	C25/30	C28/35	C32/40
f_{ck}	20 MPa	25 MPa	28 MPa	32 MPa
E_{cm}	30000 MPa	31500 MPa	32300 MPa	33300 MPa
f_{ctm}	2.21 MPa	2.57 MPa	2.77 MPa	3.02 MPa
f_{ctk}	1.55 MPa	1.80 MPa	1.94 MPa	2.12 MPa
f_{cfk}	1.86 MPa	2.16 MPa	2.32 MPa	2.54 MPa

ACCIAIO PER C.A. B450C	
f_{yk} tensione nominale di snervamento:	$\geq 4580 \text{ kg/cm}^2 (\geq 450 \text{ N/mm}^2)$
f_{tk} tensione nominale di rottura:	$\geq 5500 \text{ kg/cm}^2 (\geq 540 \text{ N/mm}^2)$
f_{td} tensione di progetto a rottura:	$f_{yk} / \gamma_s = f_{yk} / 1.15 = 3980 \text{ kg/cm}^2 (= 391 \text{ N/mm}^2)$
ACCIAIO PER C.A. B450A	
f_{yk} tensione nominale di snervamento:	$\geq 4580 \text{ kg/cm}^2 (\geq 450 \text{ N/mm}^2)$
f_{tk} tensione nominale di rottura:	$\geq 5500 \text{ kg/cm}^2 (\geq 540 \text{ N/mm}^2)$
f_{td} tensione di progetto a rottura:	$f_{yk} / \gamma_s = f_{yk} / 1.15 = 3980 \text{ kg/cm}^2 (= 391 \text{ N/mm}^2)$

BARRE FILETTATE 8.8:

Tensione di rottura	$f_{btk} = 800 \text{ N/mm}^2$
Tensione di snervamento	$f_{byk} = 640 \text{ N/mm}^2$

ACCIAIO DA CARPENTERIA METALLICA S275JR:

Tensione di rottura	$f_{tk} = 430 \text{ N/mm}^2$
Tensione di snervamento	$f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di progetto	$f_d = f_{yk} / \gamma_M$ con $\gamma_M = 1,05$ $f_d = 262 \text{ N/mm}^2$
Modulo elastico	$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$
Coefficiente dilatazione termica	$\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

f) Illustrazione dei criteri di progettazione e di modellazione

f.1) Criteri di progettazione:

Per le verifiche delle Unità Strutturali realizzate in calcestruzzo armato si adotta il metodo dell'analisi dinamica lineare a spettro di risposta, attenendosi alle specifiche istruzioni espresse dalle NTC per lo studio di edifici esistenti in calcestruzzo armato e/o in acciaio.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva di criteri di verifica considerati in questa trattazione.

Criteri di verifica adottati per gli stati limite di riferimento considerati:

Stato limite	Criterio di verifica
SLV [2, Par.C 8.7.2.2]	<i>Azione sismica:</i> spettro elastico di riferimento SLV ridotto mediante un fattore di struttura q compreso tra 1.5 e 3. <i>Criteri di Verifica:</i> elementi/meccanismi duttili , confronto tra le sollecitazioni da analisi e le corrispondenti resistenze.
	<i>Azione sismica:</i> spettro elastico di riferimento SLV ridotto mediante un fattore di struttura q pari a 1.5. <i>Criteri di Verifica:</i> elementi/meccanismi fragili , confronto tra le sollecitazioni da analisi e le corrispondenti resistenze.

L'analisi globale è stata sviluppata con i criteri specifici di un'analisi dinamica lineare considerando un comportamento strutturale dissipativo nei confronti dell'azione sismica.

La capacità dissipativa della struttura è messa in conto attraverso il fattore di struttura q riduttivo delle forze elastiche.

Il fattore di struttura da utilizzare per ciascuna direzione della azione sismica orizzontale è calcolato come riportato di seguito (§ 7.4.3.2).

- Il fabbricato è schematizzato come una struttura a telaio a 4 piani deformabile torsionalmente;

Tab. 7.3.II – Valori massimi del valore di base q_0 del fattore di comportamento allo SLV per diverse tecniche costruttive ed in funzione della tipologia strutturale e della classe di duttilità CD		
Tipologia strutturale	q_0	
	CD "A"	CD "B"
Costruzioni di calcestruzzo (§ 7.4.3.2)		
Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste (v. § 7.4.3.1)	$4,5 \alpha_w / \alpha_1$	$3,0 \alpha_w / \alpha_1$
Strutture a pareti non accoppiate (v. § 7.4.3.1)	$4,0 \alpha_w / \alpha_1$	3,0
Strutture deformabili torsionalmente (v. § 7.4.3.1)	3,0	2,0
Strutture a pendolo inverso (v. § 7.4.3.1)	2,0	1,5
Strutture a pendolo inverso intelaiate monopiano (v. § 7.4.3.1)	3,5	2,5

- Il fabbricato non è regolare nè in pianta nè in altezza;

Le strutture aventi i telai resistenti all'azione sismica realizzati, anche in una sola delle direzioni principali, con travi a spessore devono essere progettate in CD "B" salvo che tali travi non si possano considerare elementi strutturali "secondari". Per strutture regolari in pianta, possono essere adottati i seguenti valori di α_w / α_1 :	
a) Strutture a telaio o miste equivalenti a telai	
- strutture a telaio di un piano	$\alpha_w / \alpha_1 = 1,1$
- strutture a telaio con più piani ed una sola campata	$\alpha_w / \alpha_1 = 1,2$
- strutture a telaio con più piani e più campate	$\alpha_w / \alpha_1 = 1,3$

- La struttura viene progettata con i criteri specifici della classe di duttilità bassa CD "B".

Il fabbricato presenta una struttura classificabile come "a telaio", a cui corrisponde un valore base del fattore di comportamento $q_0=3.0$, ma essendo deformabile torsionalmente si utilizza $q_0=2.0$. Inoltre, risultando non regolare in altezza ed in pianta si utilizza un fattore di regolarità $K_R=1.3$.

Pertanto il fattore di comportamento si valuta come segue:

$$q_{lim} = q_0 \cdot K_R = 2,0 \cdot \left(\frac{1 + 1,30}{2} \right) \cdot 0,8 = \mathbf{1.86}$$

Per il calcolo delle azioni sollecitanti e delle verifiche di resistenza allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita SLV, si adottano i seguenti fattori di comportamento:

- meccanismi **duttili** di travi (flessione) e pilastri (pressoflessione) in c.a. esistenti: **$q = 1.86$**
- meccanismi **fragili** (taglio) di travi c.a., pilastri c.a., nuove strutture in acciaio: **$q = 1.50$**
- meccanismi di **pareti** in c.a. esistenti (pressoflessione e taglio): **$q = 1.50$**
- nuove strutture in acciaio di rinforzo: **$q = 1.50$**

Metodologia di modellazione

L'analisi di tipo numerico della nuova struttura in c.c.a. è stata realizzata mediante il programma di calcolo MasterSap, prodotto da Studio Software AMV di Ronchi dei Legionari (Gorizia).

È stata utilizzata un'analisi dinamica nel rispetto delle norme indicate in precedenza.

Le procedure di verifica adottate seguono il metodo di calcolo agli stati limite ultimo / esercizio secondo quanto previsto dal DM 17/01/2018, Norme Tecniche per le Costruzioni.

Il modello della struttura viene creato automaticamente dal codice di calcolo, individuando i vari elementi strutturali e fornendo loro caratteristiche geometriche e meccaniche.

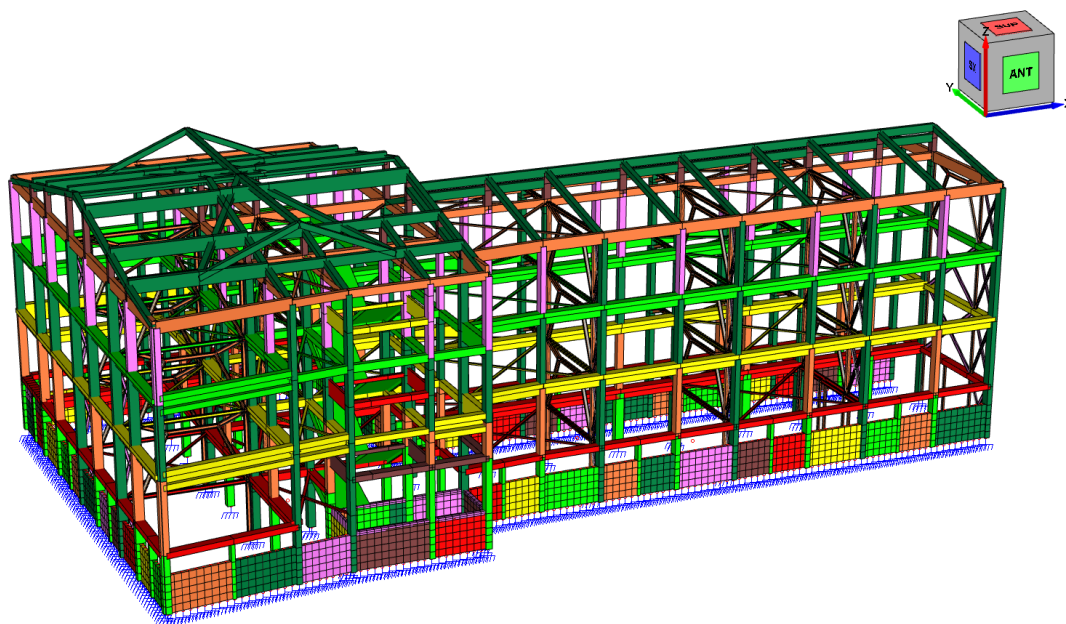
Il modello tiene conto della distribuzione delle masse e non considera rigidzze aggiuntive costituite da elementi non strutturali.

Modellazione della geometria e delle proprietà meccaniche

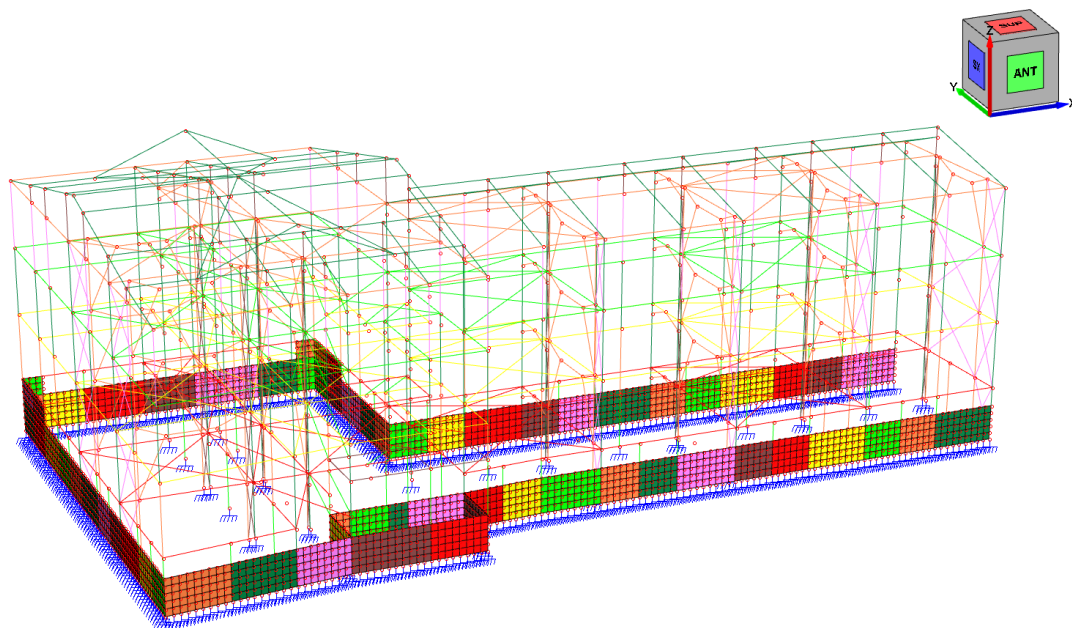
Ai fini della modellazione gli elementi finiti presi in considerazione sono:

- I pilastri e le travi sono modellati come elementi “beam” con deformabilità a taglio (travi alla Timoshenko);
- I setti in c.c.a. del piano seminterrato e i setti dei vani scala sono modellati come elementi bidimensionali tipo “plate”;
- Gli orizzontamenti sono inseriti solamente in termini di massa. I carichi dei solai sono distribuiti in corrispondenza delle travi di competenza e/o cordoli che caricano direttamente i pilastri;
- Al fine di mantenere la continuità e la trasmissione di forze e spostamenti che caratterizza le strutture in calcestruzzo armato gettato in opera, i collegamenti tra elementi strutturali avvengono mediante incastri relativi nelle verifiche sismiche;
- I nodi di collegamento dei nuovi controventi in acciaio sono modellati mediante vincoli a cerniera, svincolando le rotazioni M_y e M_z alle estremità nel nodo finale mediante vincoli di tipo “Beam End Release”;
- Il contributo dei tamponamenti in muratura è computato in termini di carico permanente come distribuito sulle travi ma non vengono considerati in termini di rigidzza come controventi;
- Lo zero sismico è posto a livello del piano seminterrato.
- Si assume che gli elementi ad asse verticale del piano più basso siano vincolati alla base mediante condizioni di incastro perfetto, posizionati al livello delle fondazioni, escludendo il processo di modellazione delle fondazioni e l'interazione suolo-struttura, a favore di sicurezza nella valutazione delle azioni sollecitanti.

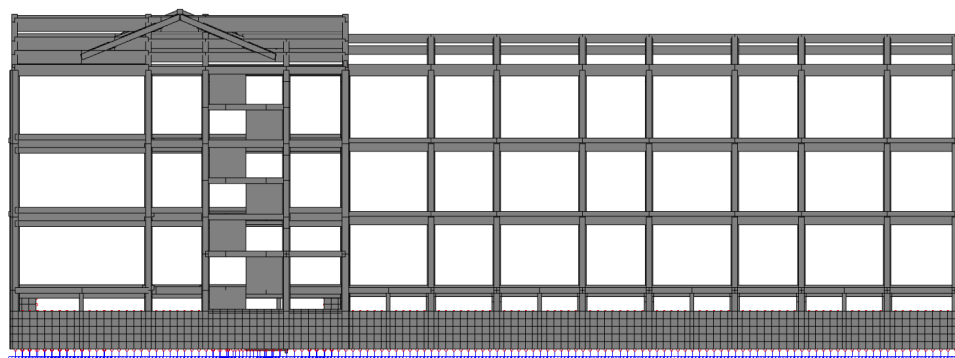
MODELLO DI CALCOLO



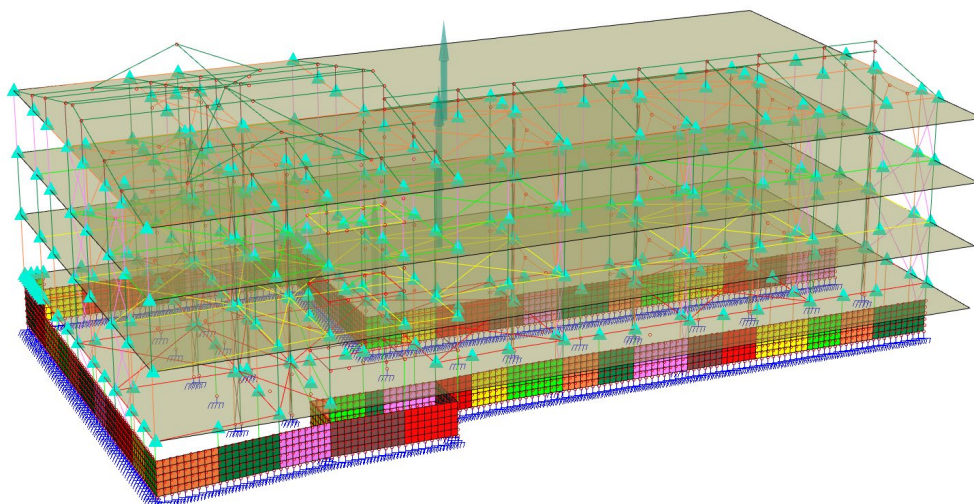
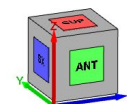
Modello globale solido dei corpi A e B



Modello globale wireframe dei corpi A e B



Individuazione dei vincoli esterni dei corpi A e B



Individuazione dei solai rigidi di piano dei corpi A e B

I risultati dell'elaborazione elettronica automatica sono stati controllati con verifiche di massima.

Si riportano comunque di seguito alla presente relazione di calcolo, gli elaborati di output risultato dell'elaborazione (un estratto, considerando che tutti i dati completi sono comunque a disposizione del calcolatore strutturale); in particolare si riportano, oltre ai dati di input della struttura, anche la parte delle verifiche dei singoli elementi strutturali agli s.l.u. e agli s.l.e. (deformazioni massime compatibili).

Noti i valori dello sforzo normale, del taglio e del momento flettente negli elementi del telaio, è possibile eseguire le verifiche di resistenza e il dimensionamento delle armature longitudinali e trasversali.

g) Principali combinazioni delle azioni

Le combinazioni di carico S.L.U. statiche (in assenza di azioni sismiche) sono ottenute mediante diverse combinazioni dei carichi permanenti ed accidentali in modo da considerare tutte le situazioni più sfavorevoli agenti sulla struttura. I carichi vengono applicati mediante opportuni coefficienti parziali di sicurezza, considerando l'eventualità più gravosa per la sicurezza della struttura.

Le azioni sismiche sono valutate in conformità a quanto stabilito dalle norme e specificato nel paragrafo sulle azioni. Vengono in particolare controllate le deformazioni allo stato limite ultimo, allo stato limite di danno e gli effetti del second'ordine. In sede di dimensionamento vengono analizzate tutte le combinazioni, anche sismiche, impostate ai fini della verifica S.L.U.

Vengono anche processate le specifiche combinazioni di carico introdotte per valutare lo stato limite di esercizio (deformazioni ecc.).

I carichi variabili comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera e in questo caso vengono considerati come carichi verticali uniformemente distribuiti.

Tutti gli altri carichi accidentali considerati sono il carico dovuto al vento, il carico neve e l'azione dinamica dovuta al sisma.

Le azioni sollecitanti utilizzate sono state calcolate secondo le seguenti espressioni:

Combinazione fondamentale: stati limite ultimi (SLU) $F_d = \gamma_g \cdot G_k + \gamma_p \cdot P_k + \gamma_q \cdot [Q_{1k} + \sum(\psi_{0i} \cdot Q_{ik})]$

Combinazione caratteristica rara (SLE) $F_r = G_k + P_k + Q_{1k} + \sum(\psi_{0i} \cdot Q_{ki})$

Combinazione frequente (SLE) $F_f = G_k + P_k + \psi_{11} \cdot Q_{1k} + \sum(\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$

Combinazione quasi permanente (SLE) $F_p = G_k + P_k + \sum(\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$

dove:

G_k è il valore caratteristico delle azioni permanenti;

Q_{k,1} è il valore caratteristico dell'azione variabile dominante (principale) di ogni combinazione;

Q_{k,J} sono i valori caratteristici delle azioni variabili tra loro indipendenti e che possono agire contemporaneamente a quella dominante;

γ_g = coefficiente parziale per le azioni permanenti = 1,3

(1,0 se il suo contributo aumenta la sicurezza);

γ_q = coefficiente parziale per le azioni variabili = 1,5

(0 se il suo contributo aumenta la sicurezza) ;

γ_p = coefficiente parziale per la precompressione = 1,0 ;

Le azioni variabili Q_{k,j} vengono combinate con i coefficienti di combinazione $\psi_{0j}, \psi_{1j}, \psi_{2j}$.

Con riferimento alla durata percentuale relative ai livelli di intensità dell'azione variabile, si definiscono:

- Valore quasi permanente $\psi_{2j} \cdot Q_{kj}$
- Valore frequente $\psi_{1j} \cdot Q_{kj}$
- Valore raro $\psi_{0j} \cdot Q_{kj}$

Il programma di calcolo utilizza nelle combinazioni di carico un valore finale di moltiplicatore della condizione che discende dal prodotto dei coefficienti $\gamma \cdot \psi$ che il programma stabilisce in base alla categoria di carico selezionata (Permanente, Variabile, ecc.).

Alle configurazioni delle azioni di tipo statico si aggiungono quelle sismiche.

Combinazione sismica

$$F_{SISMICA} = E + G_K + P + \sum_{j=1}^n (\psi_{2,j} \cdot Q_{K,j})$$

dove E rappresenta l'azione sismica per lo stato limite in esame.

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali $G_K + \sum_j (\psi_{2,j} \cdot Q_{K,j})$.

L'azione sismica è considerata come caratterizzata da tre componenti traslazionali lungo i tre assi globali X, Y e Z; la risposta della struttura è stata calcolata separatamente per i tre effetti e quindi combinata secondo la seguente espressione simbolica:

$$\alpha = \alpha_i + 0.3 \cdot \alpha_{ii} + 0.3 \cdot \alpha_{iii}$$

con α effetto totale dell'azione sismica, α_i , α_{ii} e α_{iii} azioni sismiche nelle tre direzioni. Nelle combinazioni viene effettuata una rotazione degli indici e dei segni e si tiene conto dell'eccentricità accidentale in direzione x e y. Per tenere conto del fatto che le sollecitazioni sismiche vengono ricavate come CQC delle sollecitazioni derivanti dai modi di vibrazione, vengono ricavate 16 combinazioni di carico sismiche permutando i segni delle sollecitazioni derivanti dal sisma.

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
1	Dinamica	Azione sismica: Presente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 4	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 5	1.000
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000
2	Statica	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 4	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 5	1.300
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	1.500
			Variabile: Neve	Condizione 3	1.500

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE D'ESERCIZIO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
3	Rara	Tipologia: Rara	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 4	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 5	1.000
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 3	1.000
4	Frequente	Tipologia: Frequente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 4	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 5	1.000
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.700
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.200
5	Quasi permanente	Tipologia: Quasi permanente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 4	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 5	1.000
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI DANNO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
6	S.L.D.	Azione sismica: Presente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 4	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 5	1.000
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000

h) Metodo di analisi

Si rimanda alle indicazioni fornite dalla normativa tecnica al §8.7 del D.M. 17-01-2018 e §C8.7 della Circolare n.7 Gennaio 2019 (§C8.7.1 per le costruzioni di muratura e §C8.7.2 per le costruzioni di calcestruzzo armato e acciaio).

L'analisi condotta è del tipo dinamica modale lineare con il metodo dello spettro di risposta, è il metodo standard per la definizione delle sollecitazioni di progetto e va associata ad un modello tridimensionale dell'edificio.

Opera una scomposizione della risposta dinamica nei contributi dei singoli modi di vibrare: trasformazione di un sistema ad N gradi di libertà in N sistemi ad 1 grado di libertà. La risposta strutturale è ottenuta attraverso la sovrapposizione dei singoli modi di vibrare (sovrapposizione modale).

Sono considerati tutti i modi con massa partecipante superiore al 5% e comunque un numero di modi la cui massa partecipante totale è superiore all'85%.

La combinazione dei modi di vibrare utilizzata è la CQC "Combinazione quadratica completa" che tiene conto dello smorzamento viscoso.

Il sistema da analizzare può 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.

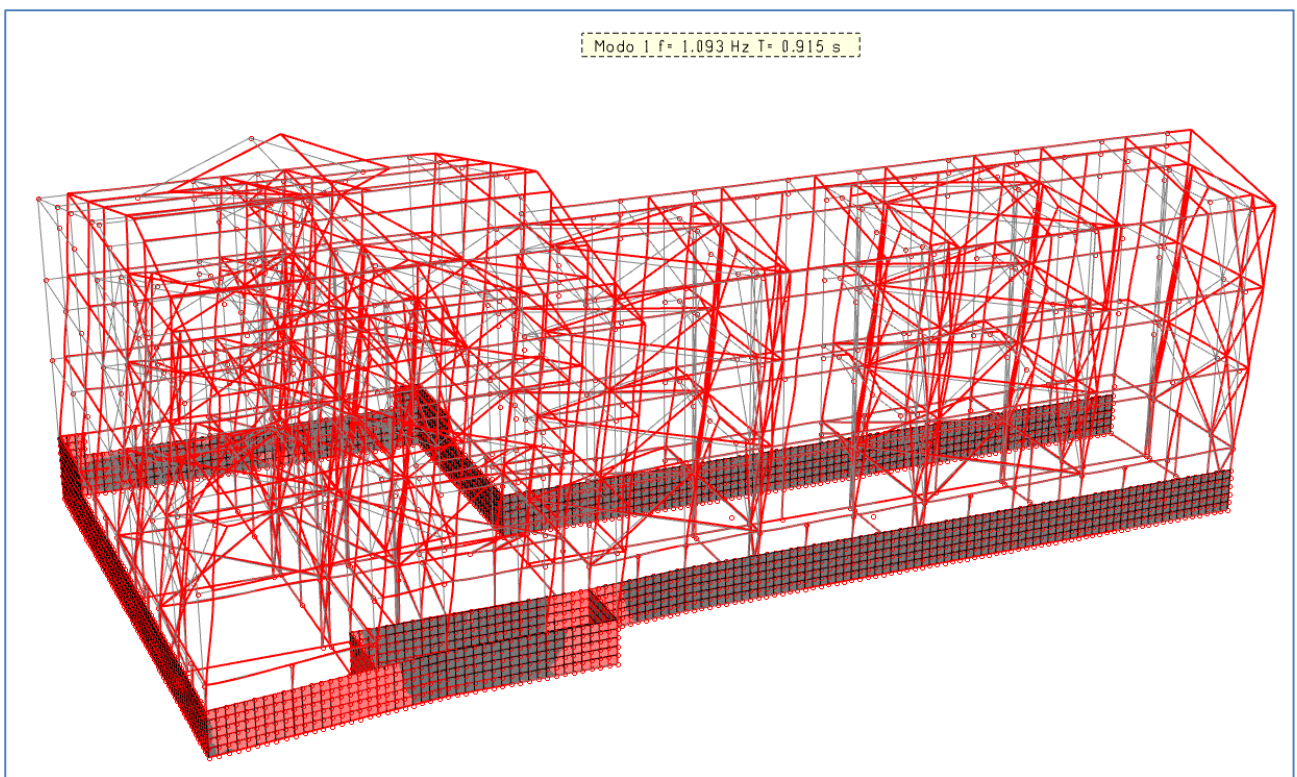
Si potrà perciò notare in quale direzione il singolo modo di vibrazione ha effetti predominanti. Successivamente vengono calcolati, per ogni modo di vibrazione, gli spostamenti e le sollecitazioni relative a ciascuna direzione dinamica attivata, per ogni modo di vibrazione. Per ogni direzione dinamica viene calcolato l'effetto globale, dovuto ai singoli modi di vibrazione, mediante la radice quadrata della somma dei quadrati dei singoli effetti. È 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 (involuppo) può essere ottenuto, a discrezione dell'utente in tre modi distinti, inclusi quelli suggeriti della normativa italiana e dall'Eurocodice 8.

In particolare si sottolinea che nel caso in esame è presente un seminterrato con pareti in c.a. Tali parti della struttura, essendo molto rigide, hanno frequenze di oscillazione elevate. Per poter eccitare la relativa massa è perciò necessario a calcolare un elevato numero di modi di vibrazione. D'altra parte però ai fini della determinazione dello stato deformativo e di sollecitazione l'effetto di questi modi superiori è generalmente modesto, pertanto nella ricerca della massa eccitata si considerano le masse ai piani superiori della struttura cioè a partire dal piano terra alla copertura, che risultano le più significative.

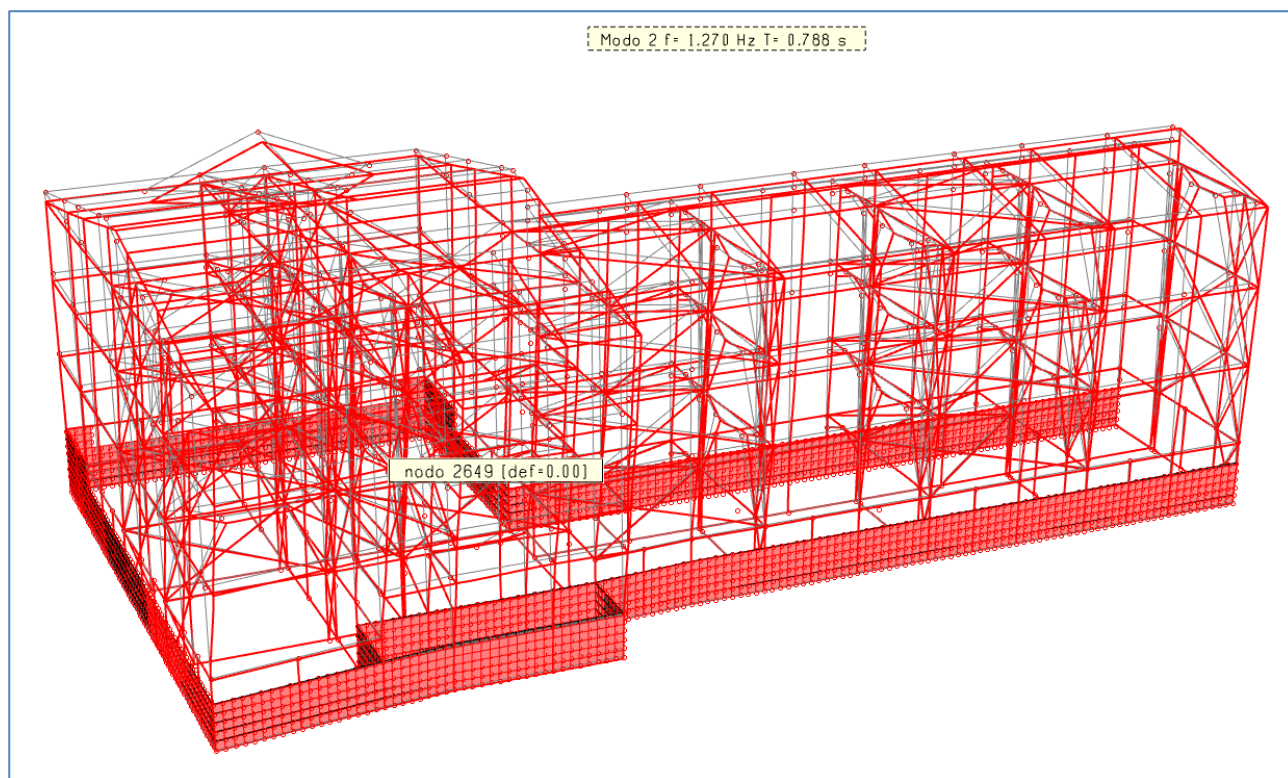
Per la valutazione della risposta sismica di ogni Unità Strutturale individuata all'interno del fabbricato in esame, è necessario evidenziare i principali modi di vibrare della struttura, opportunamente combinati secondo la regola CQC.

Modi propri di vibrare della struttura:

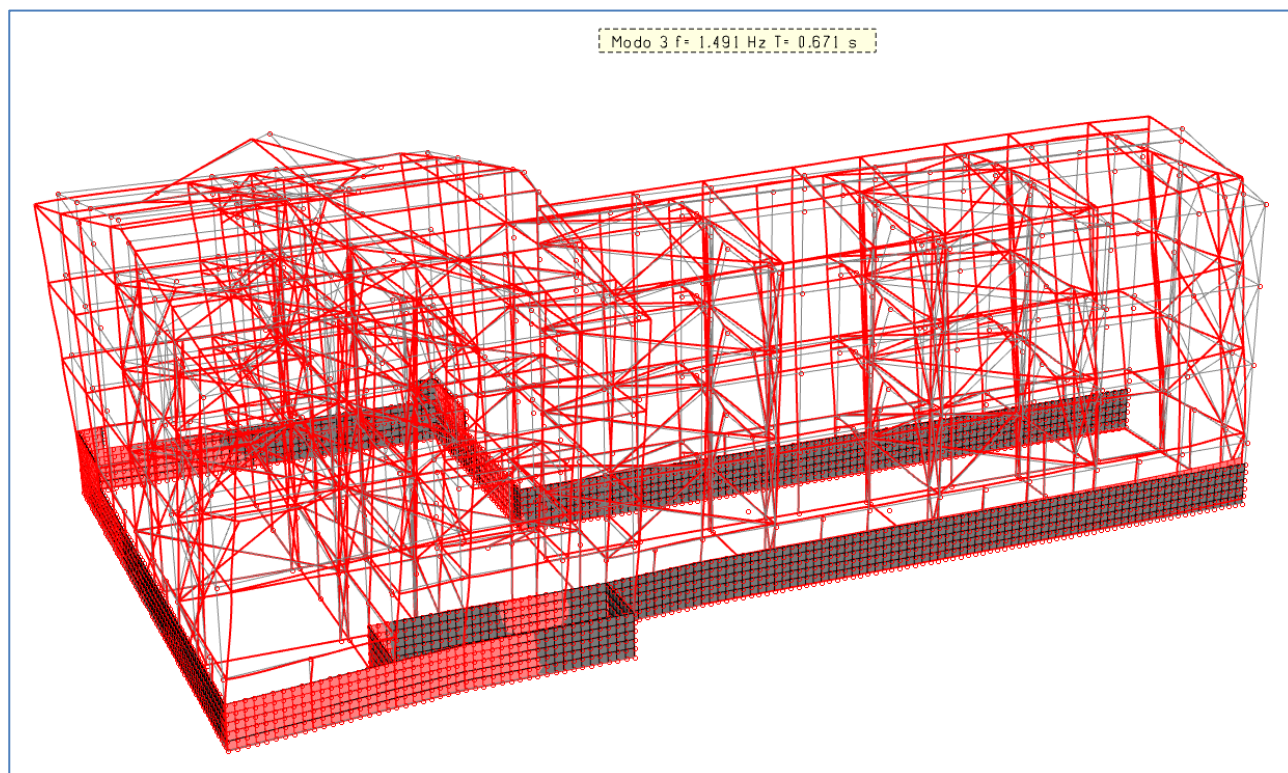
L'elemento fondamentale nell'analisi dinamica di sistemi a più gradi di libertà è l'individuazione dei modi propri di vibrare: essi, in numero pari al grado di libertà della struttura, costituiscono le oscillazioni periodiche libere del sistema elastico non smorzato. La loro combinazione lineare definisce la posizione del sistema ad ogni istante. In ciascun modo di vibrare tutte le masse del sistema oscillano con la medesima pulsazione ed in fase tra loro, mantenendo immutati i rapporti tra le ampiezze. Ciò implica che per ogni oscillazione le masse passano attraverso il punto di massimo spostamento allo stesso istante. Si riportano di seguito i modi di vibrare più significativi:



Primo modo di vibrare



Secondo modo di vibrare



Terzo modo di vibrare

Tabella Masse Eccitate

Nelle seguenti tabelle vengono riportati i modi di vibrare caratterizzati da una massa modale superiore al 5%, suddivisi per Unità Strutturale, evidenziando quelli che possiedono la maggior massa partecipante nelle due direzioni principali.

TRASLAZIONE CENTRO DELLE MASSE: +EX

FREQUENZE PROPRIE DI OSCILLAZIONE

Numero	Pulsazione	Frequenza	Periodo	Precisione
1	7.994e+00	1.272e+00	7.860e-01	0.000e+00
2	9.471e+00	1.507e+00	6.634e-01	0.000e+00
3	1.038e+01	1.651e+00	6.055e-01	0.000e+00
4	2.373e+01	3.776e+00	2.648e-01	0.000e+00
5	2.755e+01	4.385e+00	2.281e-01	0.000e+00
6	3.065e+01	4.878e+00	2.050e-01	0.000e+00
7	3.089e+01	4.917e+00	2.034e-01	0.000e+00
8	4.052e+01	6.448e+00	1.551e-01	0.000e+00
9	5.085e+01	8.093e+00	1.236e-01	0.000e+00
10	5.145e+01	8.189e+00	1.221e-01	0.000e+00
11	5.279e+01	8.403e+00	1.190e-01	0.000e+00
12	5.634e+01	8.967e+00	1.115e-01	0.000e+00
13	6.277e+01	9.991e+00	1.001e-01	0.000e+00
14	6.287e+01	1.001e+01	9.995e-02	0.000e+00
15	6.291e+01	1.001e+01	9.988e-02	1.482e-59
16	6.811e+01	1.084e+01	9.225e-02	5.142e-55
17	6.956e+01	1.107e+01	9.033e-02	0.000e+00
18	7.303e+01	1.162e+01	8.604e-02	6.204e-37
19	7.304e+01	1.163e+01	8.602e-02	9.960e-42
20	7.311e+01	1.164e+01	8.594e-02	9.432e-36
21	7.312e+01	1.164e+01	8.592e-02	2.154e-40
22	7.315e+01	1.164e+01	8.590e-02	1.131e-35
23	7.317e+01	1.164e+01	8.588e-02	5.295e-41
24	7.400e+01	1.178e+01	8.491e-02	1.467e-40
25	7.420e+01	1.181e+01	8.468e-02	1.852e-38
26	7.428e+01	1.182e+01	8.459e-02	3.082e-37
27	7.431e+01	1.183e+01	8.455e-02	1.511e-36
28	7.432e+01	1.183e+01	8.454e-02	2.670e-36
29	7.436e+01	1.183e+01	8.450e-02	5.715e-38
30	7.443e+01	1.185e+01	8.442e-02	2.093e-39
31	7.517e+01	1.196e+01	8.359e-02	1.070e-41
32	7.546e+01	1.201e+01	8.327e-02	6.532e-43
33	7.611e+01	1.211e+01	8.255e-02	8.205e-44
34	7.806e+01	1.242e+01	8.050e-02	2.660e-42
35	8.011e+01	1.275e+01	7.843e-02	8.664e-41
36	8.296e+01	1.320e+01	7.573e-02	4.483e-34
37	8.389e+01	1.335e+01	7.490e-02	1.827e-29
38	8.397e+01	1.336e+01	7.483e-02	1.362e-28
39	8.404e+01	1.338e+01	7.476e-02	6.380e-28
40	8.414e+01	1.339e+01	7.468e-02	2.230e-29
41	8.494e+01	1.352e+01	7.398e-02	5.079e-28
42	8.520e+01	1.356e+01	7.374e-02	2.351e-29
43	8.557e+01	1.362e+01	7.343e-02	1.006e-27
44	8.586e+01	1.367e+01	7.318e-02	1.659e-27
45	8.700e+01	1.385e+01	7.222e-02	6.949e-29
46	8.820e+01	1.404e+01	7.123e-02	2.475e-28
47	8.846e+01	1.408e+01	7.103e-02	2.975e-27
48	8.957e+01	1.426e+01	7.015e-02	3.918e-28
49	9.274e+01	1.476e+01	6.775e-02	4.631e-25
50	9.370e+01	1.491e+01	6.706e-02	6.238e-23

COEFFICIENTI DI PARTECIPAZIONE MODALE

Modo	Direz.X	Direz.Y
1	5.627e+01	1.270e+00
2	4.679e-01	-5.108e+01
3	1.120e+00	-2.330e+01
4	-1.880e+01	9.578e-02
5	-1.310e+00	-1.579e+01
6	2.451e-02	9.086e-01
7	1.357e+00	-1.316e+01
8	1.003e+01	1.025e-01
9	1.117e+00	1.030e+01
10	1.614e+00	-1.013e+00
11	-4.287e-01	5.242e+00
12	2.520e-01	3.556e-01
13	1.686e-01	3.680e-02
14	-1.279e-01	-1.692e-02
15	-3.551e-02	-9.479e-03
16	1.062e-01	3.919e-02
17	-3.186e-01	6.874e-01
18	4.105e-06	4.173e-06
19	-4.564e-01	-3.604e-01
20	6.439e-06	6.000e-06
21	-3.617e-01	-3.828e-01
22	7.406e-07	6.067e-07
23	8.008e-02	1.100e-01
24	7.384e-01	1.140e+00
25	-2.141e-06	3.434e-06
26	1.088e-04	2.399e-04
27	4.314e-02	2.876e-01
28	1.625e-04	4.681e-05
29	3.142e-01	4.578e-01
30	-1.145e+00	-1.885e+00
31	7.765e+00	1.149e+01
32	-4.913e+00	-6.930e+00
33	-7.091e-01	-1.031e+00
34	2.843e-01	-7.689e-02
35	-5.515e-02	1.665e-02
36	6.324e-01	-3.082e-02
37	5.865e-01	-2.771e-01
38	-3.222e-01	1.545e-01
39	5.017e-01	-2.534e-01
40	5.275e-01	-4.564e-01
41	7.711e+00	-2.116e+00
42	2.546e+00	-8.775e-01
43	-2.070e+01	7.223e+00
44	-7.819e+00	2.608e+00
45	6.780e-02	1.891e-01
46	-9.682e-01	1.561e-01
47	6.272e-01	-2.668e-01
48	-3.516e-01	-1.991e-02
49	-1.737e-01	-2.335e-02
50	3.253e-01	-7.218e-02

**MASSA ECCITATA
PER QUOTA Z MAGGIORE DI :0.00**

Modo	Direz.X	%	Direz.Y	%	Direz.Z	%	Rotaz.Z	%
Modo: 1	+3.17e+03	71	+1.61e+00	0	+2.03e-03	0	+4.51e+03	0
Progressiva	+3.17e+03	71	+1.61e+00	0	+2.03e-03	0	+4.51e+03	0
Modo: 2	+2.19e-01	0	+2.61e+03	59	+3.08e-03	0	+2.08e+09	20
Progressiva	+3.17e+03	71	+2.61e+03	59	+5.12e-03	0	+2.08e+09	20
Modo: 3	+1.25e+00	0	+5.43e+02	12	+4.40e-03	0	+4.36e+09	42
Progressiva	+3.17e+03	71	+3.15e+03	71	+9.52e-03	0	+6.44e+09	61
Modo: 4	+3.53e+02	8	+9.17e-03	0	+6.86e-03	0	+7.57e+06	0
Progressiva	+3.52e+03	79	+3.15e+03	71	+1.64e-02	0	+6.45e+09	61
Modo: 5	+1.72e+00	0	+2.49e+02	6	+7.23e-02	0	+1.05e+09	10
Progressiva	+3.52e+03	79	+3.40e+03	76	+8.86e-02	0	+7.50e+09	72
Modo: 6	+6.01e-04	0	+8.26e-01	0	+1.58e-04	0	+2.29e+06	0
Progressiva	+3.52e+03	79	+3.40e+03	76	+8.88e-02	0	+7.50e+09	72
Modo: 7	+1.84e+00	0	+1.73e+02	4	+7.83e-02	0	+5.75e+08	5
Progressiva	+3.52e+03	79	+3.58e+03	80	+1.67e-01	0	+8.08e+09	77
Modo: 8	+1.01e+02	2	+1.05e-02	0	+4.30e-02	0	+1.52e+06	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.58e+03	80	+2.10e-01	0	+8.08e+09	77
Modo: 9	+1.25e+00	0	+1.06e+02	2	+3.81e-01	0	+2.59e+08	2
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.68e+03	83	+5.91e-01	0	+8.34e+09	80
Modo: 10	+2.61e+00	0	+1.03e+00	0	+8.92e+00	0	+3.99e+05	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.68e+03	83	+9.51e+00	0	+8.34e+09	80
Modo: 11	+1.84e-01	0	+2.75e+01	1	+1.69e+00	0	+2.51e+07	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.71e+03	83	+1.12e+01	0	+8.36e+09	80
Modo: 12	+6.35e-02	0	+1.26e-01	0	+8.46e+01	2	+1.22e+06	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.71e+03	83	+9.58e+01	2	+8.36e+09	80
Modo: 13	+2.84e-02	0	+1.35e-03	0	+1.45e-04	0	+6.35e+03	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.71e+03	83	+9.58e+01	2	+8.36e+09	80
Modo: 14	+1.63e-02	0	+2.86e-04	0	+1.46e-04	0	+3.90e+03	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.71e+03	83	+9.58e+01	2	+8.36e+09	80
Modo: 15	+1.26e-03	0	+8.99e-05	0	+5.66e-05	0	+1.70e+04	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.71e+03	83	+9.58e+01	2	+8.36e+09	80
Modo: 16	+1.13e-02	0	+1.54e-03	0	+3.14e+02	7	+2.42e+04	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.71e+03	83	+4.09e+02	9	+8.36e+09	80
Modo: 17	+1.02e-01	0	+4.73e-01	0	+1.92e+01	0	+3.89e+06	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.71e+03	83	+4.29e+02	10	+8.37e+09	80
Modo: 18	+1.69e-11	0	+1.74e-11	0	+5.00e-12	0	+1.84e-04	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.71e+03	83	+4.29e+02	10	+8.37e+09	80
Modo: 19	+2.08e-01	0	+1.30e-01	0	+2.63e-03	0	+4.29e+05	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.71e+03	83	+4.29e+02	10	+8.37e+09	80
Modo: 20	+4.15e-11	0	+3.60e-11	0	+1.34e-13	0	+2.40e-05	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.71e+03	83	+4.29e+02	10	+8.37e+09	80
Modo: 21	+1.31e-01	0	+1.47e-01	0	+6.40e-03	0	+3.10e+05	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.71e+03	83	+4.29e+02	10	+8.37e+09	80
Modo: 22	+5.48e-13	0	+3.68e-13	0	+1.42e-12	0	+2.97e-05	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.71e+03	83	+4.29e+02	10	+8.37e+09	80
Modo: 23	+6.41e-03	0	+1.21e-02	0	+3.13e-04	0	+4.26e+05	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.71e+03	83	+4.29e+02	10	+8.37e+09	80
Modo: 24	+5.45e-01	0	+1.30e+00	0	+6.05e-01	0	+1.48e+06	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.71e+03	83	+4.29e+02	10	+8.37e+09	80
Modo: 25	+4.58e-12	0	+1.18e-11	0	+3.03e-08	0	+1.72e-03	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.71e+03	83	+4.29e+02	10	+8.37e+09	80
Modo: 26	+1.18e-08	0	+5.75e-08	0	+3.31e-07	0	+1.34e-02	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.71e+03	83	+4.29e+02	10	+8.37e+09	80
Modo: 27	+1.86e-03	0	+8.27e-02	0	+6.76e-02	0	+2.64e+04	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.71e+03	83	+4.29e+02	10	+8.37e+09	80
Modo: 28	+2.64e-08	0	+2.19e-09	0	+1.42e-07	0	+2.04e-01	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.71e+03	83	+4.29e+02	10	+8.37e+09	80

Modo: 29	+9.87e-02	0	+2.10e-01	0	+8.54e-02	0	+3.90e+06	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.71e+03	83	+4.29e+02	10	+8.37e+09	80
Modo: 30	+1.31e+00	0	+3.56e+00	0	+1.75e+00	0	+2.21e+02	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.72e+03	83	+4.31e+02	10	+8.37e+09	80
Modo: 31	+6.03e+01	1	+1.32e+02	3	+2.16e+01	0	+3.74e+08	4
Progressiva	+3.69e+03	83	+3.85e+03	86	+4.53e+02	10	+8.75e+09	83
Modo: 32	+2.41e+01	1	+4.80e+01	1	+7.55e+01	2	+9.22e+07	1
Progressiva	+3.72e+03	83	+3.90e+03	87	+5.28e+02	12	+8.84e+09	84
Modo: 33	+5.03e-01	0	+1.06e+00	0	+9.11e+01	2	+8.29e+05	0
Progressiva	+3.72e+03	83	+3.90e+03	87	+6.19e+02	14	+8.84e+09	84
Modo: 34	+8.08e-02	0	+5.91e-03	0	+1.26e+02	3	+1.10e+07	0
Progressiva	+3.72e+03	83	+3.90e+03	87	+7.46e+02	17	+8.85e+09	84
Modo: 35	+3.04e-03	0	+2.77e-04	0	+3.49e+01	1	+2.58e+07	0
Progressiva	+3.72e+03	83	+3.90e+03	87	+7.81e+02	18	+8.88e+09	85
Modo: 36	+4.00e-01	0	+9.50e-04	0	+1.02e+01	0	+4.82e+04	0
Progressiva	+3.72e+03	83	+3.90e+03	87	+7.91e+02	18	+8.88e+09	85
Modo: 37	+3.44e-01	0	+7.68e-02	0	+7.56e+00	0	+9.01e+04	0
Progressiva	+3.72e+03	83	+3.90e+03	87	+7.98e+02	18	+8.88e+09	85
Modo: 38	+1.04e-01	0	+2.39e-02	0	+1.02e-01	0	+1.16e+05	0
Progressiva	+3.72e+03	83	+3.90e+03	87	+7.99e+02	18	+8.88e+09	85
Modo: 39	+2.52e-01	0	+6.42e-02	0	+1.69e-02	0	+1.39e+04	0
Progressiva	+3.72e+03	83	+3.90e+03	87	+7.99e+02	18	+8.88e+09	85
Modo: 40	+2.78e-01	0	+2.08e-01	0	+2.54e+02	6	+1.08e+05	0
Progressiva	+3.72e+03	83	+3.90e+03	87	+1.05e+03	24	+8.88e+09	85
Modo: 41	+5.95e+01	1	+4.48e+00	0	+1.31e+00	0	+4.55e+06	0
Progressiva	+3.78e+03	85	+3.90e+03	88	+1.05e+03	24	+8.88e+09	85
Modo: 42	+6.48e+00	0	+7.70e-01	0	+6.63e+02	15	+3.30e+05	0
Progressiva	+3.78e+03	85	+3.91e+03	88	+1.72e+03	38	+8.88e+09	85
Modo: 43	+4.29e+02	10	+5.22e+01	1	+4.18e+00	0	+7.44e+07	1
Progressiva	+4.21e+03	94	+3.96e+03	89	+1.72e+03	39	+8.96e+09	85
Modo: 44	+6.11e+01	1	+6.80e+00	0	+5.40e+00	0	+1.11e+07	0
Progressiva	+4.27e+03	96	+3.96e+03	89	+1.73e+03	39	+8.97e+09	86
Modo: 45	+4.60e-03	0	+3.58e-02	0	+4.80e+01	1	+5.36e+02	0
Progressiva	+4.27e+03	96	+3.96e+03	89	+1.77e+03	40	+8.97e+09	86
Modo: 46	+9.37e-01	0	+2.44e-02	0	+1.08e+02	2	+4.17e+06	0
Progressiva	+4.28e+03	96	+3.96e+03	89	+1.88e+03	42	+8.97e+09	86
Modo: 47	+3.93e-01	0	+7.12e-02	0	+1.46e+01	0	+4.82e+05	0
Progressiva	+4.28e+03	96	+3.96e+03	89	+1.90e+03	43	+8.97e+09	86
Modo: 48	+1.24e-01	0	+3.96e-04	0	+1.96e-01	0	+1.79e+03	0
Progressiva	+4.28e+03	96	+3.96e+03	89	+1.90e+03	43	+8.97e+09	86
Modo: 49	+3.02e-02	0	+5.45e-04	0	+3.00e+01	1	+1.53e+07	0
Progressiva	+4.28e+03	96	+3.96e+03	89	+1.93e+03	43	+8.99e+09	86
Modo: 50	+1.06e-01	0	+5.21e-03	0	+7.43e+00	0	+3.13e+06	0
Progressiva	+4.28e+03	96	+3.96e+03	89	+1.93e+03	43	+8.99e+09	86

MASSA TOTALE ECCITABILE

Direzione X	Direzione Y	Direzione Z	Rotazione Z
+4.46e+03	+4.46e+03	+4.46e+03	+1.05e+10

TRASLAZIONE CENTRO DELLE MASSE: -EX

FREQUENZE PROPRIE DI OSCILLAZIONE

Numero	Pulsazione	Frequenza	Periodo	Precisione
1	7.993e+00	1.272e+00	7.861e-01	0.000e+00
2	9.120e+00	1.452e+00	6.889e-01	0.000e+00
3	1.093e+01	1.739e+00	5.751e-01	0.000e+00
4	2.371e+01	3.774e+00	2.649e-01	0.000e+00
5	2.723e+01	4.334e+00	2.307e-01	0.000e+00
6	3.065e+01	4.879e+00	2.050e-01	0.000e+00
7	3.159e+01	5.028e+00	1.989e-01	0.000e+00
8	4.049e+01	6.445e+00	1.552e-01	0.000e+00
9	4.592e+01	7.309e+00	1.368e-01	0.000e+00
10	5.152e+01	8.200e+00	1.219e-01	0.000e+00
11	5.631e+01	8.962e+00	1.116e-01	0.000e+00
12	5.860e+01	9.326e+00	1.072e-01	5.127e-63
13	6.277e+01	9.991e+00	1.001e-01	0.000e+00
14	6.287e+01	1.001e+01	9.995e-02	0.000e+00
15	6.291e+01	1.001e+01	9.988e-02	3.021e-59
16	6.811e+01	1.084e+01	9.225e-02	0.000e+00
17	6.969e+01	1.109e+01	9.016e-02	8.469e-54
18	7.303e+01	1.162e+01	8.604e-02	1.437e-37
19	7.304e+01	1.163e+01	8.602e-02	2.975e-42
20	7.311e+01	1.164e+01	8.594e-02	2.078e-36
21	7.313e+01	1.164e+01	8.592e-02	6.682e-41
22	7.315e+01	1.164e+01	8.590e-02	3.056e-36
23	7.317e+01	1.164e+01	8.588e-02	1.665e-41
24	7.375e+01	1.174e+01	8.520e-02	2.181e-43
25	7.420e+01	1.181e+01	8.468e-02	2.553e-39
26	7.427e+01	1.182e+01	8.460e-02	4.438e-37
27	7.428e+01	1.182e+01	8.459e-02	1.003e-37
28	7.432e+01	1.183e+01	8.454e-02	1.298e-37
29	7.433e+01	1.183e+01	8.453e-02	8.046e-37
30	7.436e+01	1.183e+01	8.450e-02	2.235e-39
31	7.535e+01	1.199e+01	8.339e-02	2.470e-44
32	7.602e+01	1.210e+01	8.265e-02	7.538e-45
33	7.783e+01	1.239e+01	8.073e-02	5.139e-43
34	7.971e+01	1.269e+01	7.883e-02	2.279e-41
35	8.163e+01	1.299e+01	7.697e-02	2.380e-37
36	8.297e+01	1.320e+01	7.573e-02	5.912e-34
37	8.389e+01	1.335e+01	7.490e-02	1.184e-29
38	8.397e+01	1.336e+01	7.483e-02	9.270e-29
39	8.404e+01	1.338e+01	7.476e-02	5.275e-28
40	8.412e+01	1.339e+01	7.469e-02	1.473e-29
41	8.499e+01	1.353e+01	7.393e-02	1.474e-28
42	8.521e+01	1.356e+01	7.374e-02	4.193e-30
43	8.583e+01	1.366e+01	7.321e-02	1.156e-28
44	8.700e+01	1.385e+01	7.222e-02	4.570e-29
45	8.815e+01	1.403e+01	7.128e-02	2.896e-28
46	8.844e+01	1.408e+01	7.104e-02	2.787e-26
47	8.957e+01	1.425e+01	7.015e-02	1.560e-27
48	9.096e+01	1.448e+01	6.908e-02	3.735e-25
49	9.247e+01	1.472e+01	6.795e-02	1.235e-24
50	9.369e+01	1.491e+01	6.706e-02	1.308e-22

COEFFICIENTI DI PARTECIPAZIONE MODALE

Modo	Direz.X	Direz.Y
1	5.624e+01	1.909e+00
2	-2.125e+00	4.738e+01
3	3.872e-01	2.986e+01
4	-1.873e+01	-8.250e-01
5	2.251e+00	-1.282e+01
6	9.485e-02	-3.109e-01
7	1.123e+00	1.535e+01
8	9.965e+00	1.480e-02
9	1.410e+00	-5.514e+00
10	-1.319e+00	-7.293e-02
11	2.247e-01	-2.242e-01
12	1.821e+00	9.192e+00
13	1.774e-01	6.536e-02
14	-1.257e-01	-9.210e-03
15	3.434e-02	2.646e-03
16	-1.306e-02	-1.772e-01
17	1.831e-01	-8.940e-01
18	-9.092e-07	3.618e-07
19	2.942e-01	5.195e-02
20	4.958e-06	9.150e-07
21	2.225e-01	8.731e-02
22	-5.638e-07	8.345e-08
23	3.488e-02	2.114e-02
24	1.969e-01	7.399e-02
25	-1.669e-06	2.595e-06
26	1.434e-02	1.181e-01
27	-7.066e-06	-7.292e-05
28	3.274e-05	-1.435e-06
29	-6.004e-02	-2.490e-02
30	-4.136e-02	-1.749e-02
31	8.498e-02	1.325e-01
32	2.336e-02	-9.168e-02
33	-4.832e-01	-2.123e-02
34	2.961e-01	1.262e-01
35	-2.164e+01	-4.438e+00
36	4.485e-01	-7.481e-02
37	3.600e-01	1.673e-01
38	3.311e-01	6.268e-02
39	-5.549e-01	-8.772e-02
40	2.315e-01	3.981e-01
41	9.358e-01	-3.460e-01
42	6.205e-01	-3.377e-01
43	-4.295e-01	-2.247e-01
44	5.965e-01	-1.032e-01
45	-4.349e-01	-1.479e-01
46	2.265e-01	-3.979e-01
47	2.597e-01	-6.730e-01
48	-1.299e+01	1.319e+01
49	1.060e+00	-1.203e+00
50	8.797e-01	-4.813e-01

**MASSA ECCITATA
PER QUOTA Z MAGGIORE DI :0.00**

Modo	Direz.X	%	Direz.Y	%	Direz.Z	%	Rotaz.Z	%
Modo: 1	+3.16e+03	71	+3.64e+00	0	+1.97e-03	0	+2.39e+06	0
Progressiva	+3.16e+03	71	+3.64e+00	0	+1.97e-03	0	+2.39e+06	0
Modo: 2	+4.52e+00	0	+2.24e+03	50	+8.23e-04	0	+2.58e+09	25
Progressiva	+3.17e+03	71	+2.25e+03	50	+2.80e-03	0	+2.58e+09	25
Modo: 3	+1.50e-01	0	+8.91e+02	20	+8.03e-03	0	+3.80e+09	36
Progressiva	+3.17e+03	71	+3.14e+03	70	+1.08e-02	0	+6.38e+09	61
Modo: 4	+3.51e+02	8	+6.81e-01	0	+5.87e-03	0	+1.38e+07	0
Progressiva	+3.52e+03	79	+3.14e+03	70	+1.67e-02	0	+6.39e+09	61
Modo: 5	+5.07e+00	0	+1.64e+02	4	+7.62e-02	0	+8.76e+08	8
Progressiva	+3.52e+03	79	+3.30e+03	74	+9.29e-02	0	+7.27e+09	69
Modo: 6	+9.00e-03	0	+9.66e-02	0	+4.07e-07	0	+1.95e+05	0
Progressiva	+3.52e+03	79	+3.30e+03	74	+9.29e-02	0	+7.27e+09	69
Modo: 7	+1.26e+00	0	+2.36e+02	5	+7.63e-02	0	+6.68e+08	6
Progressiva	+3.53e+03	79	+3.54e+03	79	+1.69e-01	0	+7.94e+09	76
Modo: 8	+9.93e+01	2	+2.19e-04	0	+4.53e-02	0	+3.49e+06	0
Progressiva	+3.62e+03	81	+3.54e+03	79	+2.15e-01	0	+7.94e+09	76
Modo: 9	+1.99e+00	0	+3.04e+01	1	+2.25e-03	0	+5.35e+07	1
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.57e+03	80	+2.17e-01	0	+8.00e+09	76
Modo: 10	+1.74e+00	0	+5.32e-03	0	+1.01e+01	0	+6.06e+06	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.57e+03	80	+1.04e+01	0	+8.00e+09	76
Modo: 11	+5.05e-02	0	+5.03e-02	0	+8.47e+01	2	+2.53e+06	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.57e+03	80	+9.50e+01	2	+8.00e+09	76
Modo: 12	+3.32e+00	0	+8.45e+01	2	+1.15e+00	0	+1.74e+08	2
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+9.62e+01	2	+8.18e+09	78
Modo: 13	+3.15e-02	0	+4.27e-03	0	+4.15e-04	0	+1.14e+04	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+9.62e+01	2	+8.18e+09	78
Modo: 14	+1.58e-02	0	+8.48e-05	0	+1.15e-04	0	+2.36e+03	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+9.62e+01	2	+8.18e+09	78
Modo: 15	+1.18e-03	0	+7.00e-06	0	+4.85e-05	0	+1.39e+04	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+9.62e+01	2	+8.18e+09	78
Modo: 16	+1.71e-04	0	+3.14e-02	0	+3.15e+02	7	+2.09e+02	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+4.11e+02	9	+8.18e+09	78
Modo: 17	+3.35e-02	0	+7.99e-01	0	+1.77e+01	0	+2.20e+06	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+4.29e+02	10	+8.18e+09	78
Modo: 18	+8.27e-13	0	+1.31e-13	0	+6.78e-12	0	+1.48e-03	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+4.29e+02	10	+8.18e+09	78
Modo: 19	+8.65e-02	0	+2.70e-03	0	+5.82e-03	0	+1.30e+05	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+4.29e+02	10	+8.18e+09	78
Modo: 20	+2.46e-11	0	+8.37e-13	0	+4.35e-13	0	+6.17e-04	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+4.29e+02	10	+8.18e+09	78
Modo: 21	+4.95e-02	0	+7.62e-03	0	+2.66e-03	0	+1.55e+01	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+4.29e+02	10	+8.18e+09	78
Modo: 22	+3.18e-13	0	+6.96e-15	0	+1.45e-12	0	+1.49e-04	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+4.29e+02	10	+8.18e+09	78
Modo: 23	+1.22e-03	0	+4.47e-04	0	+5.95e-04	0	+3.10e+05	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+4.29e+02	10	+8.18e+09	78
Modo: 24	+3.88e-02	0	+5.47e-03	0	+3.35e-01	0	+2.50e+07	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+4.29e+02	10	+8.21e+09	78
Modo: 25	+2.79e-12	0	+6.74e-12	0	+3.05e-08	0	+1.78e-03	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+4.29e+02	10	+8.21e+09	78
Modo: 26	+2.06e-04	0	+1.39e-02	0	+9.85e-02	0	+8.45e+05	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+4.29e+02	10	+8.21e+09	78
Modo: 27	+4.99e-11	0	+5.32e-09	0	+5.49e-08	0	+3.75e-01	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+4.29e+02	10	+8.21e+09	78
Modo: 28	+1.07e-09	0	+2.06e-12	0	+3.89e-07	0	+7.76e-02	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+4.29e+02	10	+8.21e+09	78

Modo: 29	+3.60e-03	0	+6.20e-04	0	+1.29e-01	0	+4.31e+04	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+4.29e+02	10	+8.21e+09	78
Modo: 30	+1.71e-03	0	+3.06e-04	0	+1.14e-01	0	+6.94e+06	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+4.29e+02	10	+8.21e+09	78
Modo: 31	+7.22e-03	0	+1.76e-02	0	+8.81e+01	2	+4.70e+06	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+5.18e+02	12	+8.22e+09	78
Modo: 32	+5.46e-04	0	+8.40e-03	0	+9.30e+01	2	+7.49e+06	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+6.11e+02	14	+8.23e+09	78
Modo: 33	+2.34e-01	0	+4.51e-04	0	+1.20e+02	3	+1.41e+07	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+7.31e+02	16	+8.24e+09	79
Modo: 34	+8.77e-02	0	+1.59e-02	0	+4.79e+01	1	+2.08e+07	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.66e+03	82	+7.79e+02	17	+8.26e+09	79
Modo: 35	+4.68e+02	10	+1.97e+01	0	+4.96e-01	0	+1.03e+08	1
Progressiva	+4.10e+03	92	+3.68e+03	82	+7.79e+02	17	+8.37e+09	80
Modo: 36	+2.01e-01	0	+5.60e-03	0	+1.09e+01	0	+2.56e+05	0
Progressiva	+4.10e+03	92	+3.68e+03	82	+7.90e+02	18	+8.37e+09	80
Modo: 37	+1.30e-01	0	+2.80e-02	0	+7.97e+00	0	+5.43e+04	0
Progressiva	+4.10e+03	92	+3.68e+03	82	+7.98e+02	18	+8.37e+09	80
Modo: 38	+1.10e-01	0	+3.93e-03	0	+8.70e-02	0	+8.92e+04	0
Progressiva	+4.10e+03	92	+3.68e+03	82	+7.98e+02	18	+8.37e+09	80
Modo: 39	+3.08e-01	0	+7.70e-03	0	+6.55e-02	0	+2.82e+03	0
Progressiva	+4.10e+03	92	+3.68e+03	82	+7.98e+02	18	+8.37e+09	80
Modo: 40	+5.36e-02	0	+1.58e-01	0	+2.59e+02	6	+2.43e+05	0
Progressiva	+4.10e+03	92	+3.68e+03	82	+1.06e+03	24	+8.37e+09	80
Modo: 41	+8.76e-01	0	+1.20e-01	0	+1.48e+00	0	+9.35e+04	0
Progressiva	+4.10e+03	92	+3.68e+03	82	+1.06e+03	24	+8.37e+09	80
Modo: 42	+3.85e-01	0	+1.14e-01	0	+6.63e+02	15	+2.89e+04	0
Progressiva	+4.10e+03	92	+3.68e+03	82	+1.72e+03	39	+8.37e+09	80
Modo: 43	+1.84e-01	0	+5.05e-02	0	+2.46e+00	0	+2.48e+04	0
Progressiva	+4.10e+03	92	+3.68e+03	82	+1.72e+03	39	+8.37e+09	80
Modo: 44	+3.56e-01	0	+1.07e-02	0	+4.82e+01	1	+1.23e+05	0
Progressiva	+4.10e+03	92	+3.68e+03	82	+1.77e+03	40	+8.37e+09	80
Modo: 45	+1.89e-01	0	+2.19e-02	0	+1.15e+02	3	+3.27e+06	0
Progressiva	+4.10e+03	92	+3.68e+03	82	+1.89e+03	42	+8.37e+09	80
Modo: 46	+5.13e-02	0	+1.58e-01	0	+7.24e+00	0	+2.10e+06	0
Progressiva	+4.10e+03	92	+3.68e+03	82	+1.89e+03	42	+8.37e+09	80
Modo: 47	+6.74e-02	0	+4.53e-01	0	+3.90e-01	0	+2.96e+05	0
Progressiva	+4.10e+03	92	+3.68e+03	82	+1.90e+03	42	+8.37e+09	80
Modo: 48	+1.69e+02	4	+1.74e+02	4	+1.24e+00	0	+2.66e+08	3
Progressiva	+4.27e+03	96	+3.85e+03	86	+1.90e+03	43	+8.64e+09	82
Modo: 49	+1.12e+00	0	+1.45e+00	0	+1.19e+01	0	+3.97e+07	0
Progressiva	+4.27e+03	96	+3.85e+03	86	+1.91e+03	43	+8.68e+09	83
Modo: 50	+7.74e-01	0	+2.32e-01	0	+1.88e+01	0	+7.50e+06	0
Progressiva	+4.27e+03	96	+3.85e+03	86	+1.93e+03	43	+8.68e+09	83

MASSA TOTALE ECCITABILE

Direzione X	Direzione Y	Direzione Z	Rotazione Z
+4.46e+03	+4.46e+03	+4.46e+03	+1.05e+10

TRASLAZIONE CENTRO DELLE MASSE: +EY

FREQUENZE PROPRIE DI OSCILLAZIONE

Numero	Pulsazione	Frequenza	Periodo	Precisione
1	7.958e+00	1.267e+00	7.895e-01	0.000e+00
2	9.583e+00	1.525e+00	6.556e-01	0.000e+00
3	1.039e+01	1.653e+00	6.050e-01	0.000e+00
4	2.351e+01	3.741e+00	2.673e-01	0.000e+00
5	2.918e+01	4.644e+00	2.154e-01	0.000e+00
6	2.963e+01	4.715e+00	2.121e-01	0.000e+00
7	3.065e+01	4.879e+00	2.050e-01	0.000e+00
8	4.015e+01	6.390e+00	1.565e-01	0.000e+00
9	4.948e+01	7.876e+00	1.270e-01	0.000e+00
10	5.143e+01	8.185e+00	1.222e-01	0.000e+00
11	5.483e+01	8.727e+00	1.146e-01	0.000e+00
12	5.632e+01	8.964e+00	1.116e-01	0.000e+00
13	6.277e+01	9.991e+00	1.001e-01	0.000e+00
14	6.287e+01	1.001e+01	9.995e-02	2.124e-59
15	6.291e+01	1.001e+01	9.987e-02	0.000e+00
16	6.811e+01	1.084e+01	9.225e-02	0.000e+00
17	6.957e+01	1.107e+01	9.031e-02	0.000e+00
18	7.303e+01	1.162e+01	8.604e-02	3.028e-37
19	7.305e+01	1.163e+01	8.602e-02	3.330e-42
20	7.311e+01	1.164e+01	8.594e-02	2.309e-36
21	7.313e+01	1.164e+01	8.592e-02	7.656e-41
22	7.315e+01	1.164e+01	8.590e-02	3.880e-36
23	7.317e+01	1.164e+01	8.587e-02	1.798e-41
24	7.386e+01	1.176e+01	8.507e-02	1.226e-42
25	7.420e+01	1.181e+01	8.468e-02	3.177e-39
26	7.428e+01	1.182e+01	8.459e-02	2.915e-37
27	7.429e+01	1.182e+01	8.458e-02	5.062e-37
28	7.432e+01	1.183e+01	8.454e-02	1.475e-37
29	7.435e+01	1.183e+01	8.451e-02	3.506e-38
30	7.438e+01	1.184e+01	8.448e-02	1.781e-39
31	7.536e+01	1.199e+01	8.337e-02	4.194e-44
32	7.603e+01	1.210e+01	8.264e-02	1.317e-44
33	7.790e+01	1.240e+01	8.066e-02	1.241e-42
34	7.986e+01	1.271e+01	7.868e-02	1.010e-40
35	8.146e+01	1.296e+01	7.713e-02	3.518e-37
36	8.296e+01	1.320e+01	7.574e-02	2.186e-33
37	8.388e+01	1.335e+01	7.490e-02	7.291e-29
38	8.397e+01	1.336e+01	7.483e-02	6.358e-28
39	8.404e+01	1.338e+01	7.476e-02	2.542e-27
40	8.412e+01	1.339e+01	7.469e-02	1.191e-28
41	8.480e+01	1.350e+01	7.410e-02	1.414e-28
42	8.518e+01	1.356e+01	7.376e-02	1.196e-28
43	8.530e+01	1.358e+01	7.366e-02	2.540e-28
44	8.584e+01	1.366e+01	7.320e-02	6.817e-28
45	8.700e+01	1.385e+01	7.222e-02	9.451e-29
46	8.822e+01	1.404e+01	7.122e-02	3.766e-28
47	8.846e+01	1.408e+01	7.103e-02	3.929e-27
48	8.957e+01	1.426e+01	7.015e-02	5.449e-28
49	9.266e+01	1.475e+01	6.781e-02	4.406e-25
50	9.370e+01	1.491e+01	6.706e-02	5.905e-23

COEFFICIENTI DI PARTECIPAZIONE MODALE

Modo	Direz.X	Direz.Y
1	5.584e+01	2.195e+00
2	3.788e+00	-5.348e+01
3	5.818e+00	1.679e+01
4	-1.840e+01	-1.036e-01
5	-3.049e+00	1.465e+01
6	-2.946e+00	-1.404e+01
7	2.018e-01	1.481e-01
8	9.775e+00	8.245e-02
9	-2.035e+00	5.885e+00
10	1.150e+00	-1.299e+00
11	1.693e+00	9.460e+00
12	4.019e-01	9.393e-01
13	1.739e-01	7.627e-02
14	-1.321e-01	-4.140e-02
15	-3.514e-02	-1.199e-02
16	7.464e-02	-4.251e-02
17	-4.202e-01	5.992e-01
18	1.889e-06	7.734e-07
19	-2.777e-01	-1.105e-01
20	-3.594e-06	-1.861e-06
21	1.946e-01	1.433e-01
22	-4.408e-07	-1.432e-07
23	3.418e-02	4.495e-02
24	1.032e-01	2.238e-01
25	3.148e-06	-2.348e-06
26	9.070e-05	-2.562e-04
27	5.961e-02	-1.495e-01
28	-3.677e-05	-8.337e-06
29	-6.263e-02	-7.908e-02
30	-2.163e-02	-1.359e-01
31	-4.098e-04	-3.079e-01
32	3.355e-02	4.693e-02
33	3.419e-01	2.273e-02
34	-1.893e-01	-2.267e-01
35	1.213e+01	1.224e+01
36	7.720e-01	-2.429e-01
37	-6.586e-01	4.541e-01
38	-1.712e-01	3.001e-01
39	2.188e-01	-4.971e-01
40	-1.256e+00	5.834e-01
41	-1.539e+01	5.004e+00
42	-7.654e+00	3.118e+00
43	1.399e+01	-6.051e+00
44	2.922e+00	-9.000e-01
45	-4.500e-02	-4.043e-01
46	-7.897e-01	-6.735e-02
47	5.072e-01	-2.692e-01
48	2.180e-01	1.078e-01
49	-2.192e-01	-9.794e-02
50	2.247e-01	-3.893e-02

**MASSA ECCITATA
PER QUOTA Z MAGGIORE DI :0.00**

Modo	Direz.X	%	Direz.Y	%	Direz.Z	%	Rotaz.Z	%
Modo: 1	+3.12e+03	70	+4.82e+00	0	+1.29e-03	0	+2.30e+08	2
Progressiva	+3.12e+03	70	+4.82e+00	0	+1.29e-03	0	+2.30e+08	2
Modo: 2	+1.43e+01	0	+2.86e+03	64	+3.92e-05	0	+4.35e+08	4
Progressiva	+3.13e+03	70	+2.87e+03	64	+1.33e-03	0	+6.65e+08	6
Modo: 3	+3.39e+01	1	+2.82e+02	6	+9.53e-03	0	+5.63e+09	55
Progressiva	+3.17e+03	71	+3.15e+03	71	+1.09e-02	0	+6.29e+09	61
Modo: 4	+3.39e+02	8	+1.07e-02	0	+1.03e-03	0	+1.00e+08	1
Progressiva	+3.50e+03	79	+3.15e+03	71	+1.19e-02	0	+6.39e+09	62
Modo: 5	+9.29e+00	0	+2.15e+02	5	+6.58e-02	0	+5.09e+08	5
Progressiva	+3.51e+03	79	+3.36e+03	75	+7.77e-02	0	+6.90e+09	67
Modo: 6	+8.68e+00	0	+1.97e+02	4	+1.02e-01	0	+9.61e+08	9
Progressiva	+3.52e+03	79	+3.56e+03	80	+1.79e-01	0	+7.86e+09	76
Modo: 7	+4.07e-02	0	+2.19e-02	0	+2.31e-04	0	+7.88e+05	0
Progressiva	+3.52e+03	79	+3.56e+03	80	+1.80e-01	0	+7.86e+09	76
Modo: 8	+9.56e+01	2	+6.80e-03	0	+2.98e-02	0	+1.35e+07	0
Progressiva	+3.62e+03	81	+3.56e+03	80	+2.09e-01	0	+7.88e+09	76
Modo: 9	+4.14e+00	0	+3.46e+01	1	+4.35e-03	0	+2.62e+07	0
Progressiva	+3.62e+03	81	+3.59e+03	81	+2.14e-01	0	+7.90e+09	77
Modo: 10	+1.32e+00	0	+1.69e+00	0	+9.91e+00	0	+1.83e+07	0
Progressiva	+3.62e+03	81	+3.60e+03	81	+1.01e+01	0	+7.92e+09	77
Modo: 11	+2.87e+00	0	+8.95e+01	2	+3.78e-01	0	+1.97e+08	2
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.68e+03	83	+1.05e+01	0	+8.12e+09	79
Modo: 12	+1.61e-01	0	+8.82e-01	0	+8.54e+01	2	+2.24e+03	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+9.59e+01	2	+8.12e+09	79
Modo: 13	+3.02e-02	0	+5.82e-03	0	+3.19e-04	0	+1.24e+04	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+9.59e+01	2	+8.12e+09	79
Modo: 14	+1.75e-02	0	+1.71e-03	0	+6.55e-05	0	+1.27e+04	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+9.59e+01	2	+8.12e+09	79
Modo: 15	+1.23e-03	0	+1.44e-04	0	+4.32e-05	0	+1.77e+04	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+9.59e+01	2	+8.12e+09	79
Modo: 16	+5.57e-03	0	+1.81e-03	0	+3.14e+02	7	+3.94e+03	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.09e+02	9	+8.12e+09	79
Modo: 17	+1.77e-01	0	+3.59e-01	0	+1.92e+01	0	+2.98e+06	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.12e+09	79
Modo: 18	+3.57e-12	0	+5.98e-13	0	+5.17e-12	0	+7.49e-04	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.12e+09	79
Modo: 19	+7.71e-02	0	+1.22e-02	0	+6.76e-03	0	+5.71e+04	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.12e+09	79
Modo: 20	+1.29e-11	0	+3.46e-12	0	+4.17e-13	0	+3.35e-04	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.12e+09	79
Modo: 21	+3.79e-02	0	+2.05e-02	0	+3.38e-03	0	+2.26e+04	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.12e+09	79
Modo: 22	+1.94e-13	0	+2.05e-14	0	+1.35e-12	0	+8.84e-05	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.12e+09	79
Modo: 23	+1.17e-03	0	+2.02e-03	0	+4.83e-04	0	+3.02e+05	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.12e+09	79
Modo: 24	+1.07e-02	0	+5.01e-02	0	+5.27e-01	0	+1.59e+07	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.14e+09	79
Modo: 25	+9.91e-12	0	+5.51e-12	0	+3.03e-08	0	+1.68e-03	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.14e+09	79
Modo: 26	+8.23e-09	0	+6.56e-08	0	+1.09e-06	0	+1.50e+00	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.14e+09	79
Modo: 27	+3.55e-03	0	+2.23e-02	0	+1.32e-01	0	+5.57e+05	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.14e+09	79
Modo: 28	+1.35e-09	0	+6.95e-11	0	+2.86e-07	0	+2.91e-03	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.14e+09	79

Modo: 29	+3.92e-03	0	+6.25e-03	0	+1.38e-01	0	+3.52e+05	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.30e+02	10	+8.14e+09	79
Modo: 30	+4.68e-04	0	+1.85e-02	0	+4.68e-01	0	+7.34e+06	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.30e+02	10	+8.15e+09	79
Modo: 31	+1.68e-07	0	+9.48e-02	0	+8.98e+01	2	+5.34e+06	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+5.20e+02	12	+8.15e+09	79
Modo: 32	+1.13e-03	0	+2.20e-03	0	+9.22e+01	2	+7.04e+06	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+6.12e+02	14	+8.16e+09	79
Modo: 33	+1.17e-01	0	+5.17e-04	0	+1.25e+02	3	+1.30e+07	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+7.37e+02	17	+8.17e+09	79
Modo: 34	+3.58e-02	0	+5.14e-02	0	+4.19e+01	1	+2.04e+07	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+7.79e+02	17	+8.19e+09	79
Modo: 35	+1.47e+02	3	+1.50e+02	3	+3.90e-02	0	+2.67e+08	3
Progressiva	+3.77e+03	85	+3.84e+03	86	+7.79e+02	17	+8.46e+09	82
Modo: 36	+5.96e-01	0	+5.90e-02	0	+1.03e+01	0	+5.99e+05	0
Progressiva	+3.78e+03	85	+3.84e+03	86	+7.90e+02	18	+8.46e+09	82
Modo: 37	+4.34e-01	0	+2.06e-01	0	+8.76e+00	0	+4.05e+05	0
Progressiva	+3.78e+03	85	+3.84e+03	86	+7.98e+02	18	+8.46e+09	82
Modo: 38	+2.93e-02	0	+9.00e-02	0	+1.21e-02	0	+3.18e+05	0
Progressiva	+3.78e+03	85	+3.84e+03	86	+7.98e+02	18	+8.46e+09	82
Modo: 39	+4.79e-02	0	+2.47e-01	0	+1.28e-01	0	+2.46e+05	0
Progressiva	+3.78e+03	85	+3.84e+03	86	+7.98e+02	18	+8.46e+09	82
Modo: 40	+1.58e+00	0	+3.40e-01	0	+2.57e+02	6	+5.17e+02	0
Progressiva	+3.78e+03	85	+3.84e+03	86	+1.06e+03	24	+8.46e+09	82
Modo: 41	+2.37e+02	5	+2.50e+01	1	+2.06e+00	0	+7.03e+07	1
Progressiva	+4.01e+03	90	+3.86e+03	87	+1.06e+03	24	+8.53e+09	83
Modo: 42	+5.86e+01	1	+9.72e+00	0	+5.07e+02	11	+2.27e+07	0
Progressiva	+4.07e+03	91	+3.87e+03	87	+1.56e+03	35	+8.55e+09	83
Modo: 43	+1.96e+02	4	+3.66e+01	1	+1.57e+02	4	+1.04e+08	1
Progressiva	+4.27e+03	96	+3.91e+03	88	+1.72e+03	39	+8.66e+09	84
Modo: 44	+8.54e+00	0	+8.10e-01	0	+4.25e+00	0	+3.22e+06	0
Progressiva	+4.28e+03	96	+3.91e+03	88	+1.73e+03	39	+8.66e+09	84
Modo: 45	+2.03e-03	0	+1.63e-01	0	+4.80e+01	1	+9.26e+04	0
Progressiva	+4.28e+03	96	+3.91e+03	88	+1.77e+03	40	+8.66e+09	84
Modo: 46	+6.24e-01	0	+4.54e-03	0	+1.07e+02	2	+3.18e+06	0
Progressiva	+4.28e+03	96	+3.91e+03	88	+1.88e+03	42	+8.66e+09	84
Modo: 47	+2.57e-01	0	+7.25e-02	0	+1.57e+01	0	+3.66e+05	0
Progressiva	+4.28e+03	96	+3.91e+03	88	+1.90e+03	43	+8.67e+09	84
Modo: 48	+4.75e-02	0	+1.16e-02	0	+2.54e-01	0	+6.09e+03	0
Progressiva	+4.28e+03	96	+3.91e+03	88	+1.90e+03	43	+8.67e+09	84
Modo: 49	+4.80e-02	0	+9.59e-03	0	+2.51e+01	1	+1.76e+07	0
Progressiva	+4.28e+03	96	+3.91e+03	88	+1.92e+03	43	+8.68e+09	84
Modo: 50	+5.05e-02	0	+1.52e-03	0	+7.56e+00	0	+3.26e+06	0
Progressiva	+4.28e+03	96	+3.91e+03	88	+1.93e+03	43	+8.69e+09	84

MASSA TOTALE ECCITABILE

Direzione X	Direzione Y	Direzione Z	Rotazione Z
+4.46e+03	+4.46e+03	+4.46e+03	+1.03e+10

TRASLAZIONE CENTRO DELLE MASSE: -EY

FREQUENZE PROPRIE DI OSCILLAZIONE

Numero	Pulsazione	Frequenza	Periodo	Precisione
1	7.972e+00	1.269e+00	7.882e-01	0.000e+00
2	9.574e+00	1.524e+00	6.563e-01	0.000e+00
3	1.038e+01	1.651e+00	6.055e-01	0.000e+00
4	2.373e+01	3.776e+00	2.648e-01	0.000e+00
5	2.896e+01	4.610e+00	2.169e-01	0.000e+00
6	2.955e+01	4.702e+00	2.127e-01	0.000e+00
7	3.065e+01	4.879e+00	2.050e-01	0.000e+00
8	4.053e+01	6.450e+00	1.550e-01	0.000e+00
9	4.902e+01	7.802e+00	1.282e-01	0.000e+00
10	5.172e+01	8.232e+00	1.215e-01	0.000e+00
11	5.465e+01	8.698e+00	1.150e-01	0.000e+00
12	5.634e+01	8.968e+00	1.115e-01	0.000e+00
13	6.277e+01	9.991e+00	1.001e-01	0.000e+00
14	6.287e+01	1.001e+01	9.995e-02	0.000e+00
15	6.291e+01	1.001e+01	9.988e-02	0.000e+00
16	6.811e+01	1.084e+01	9.225e-02	0.000e+00
17	6.965e+01	1.108e+01	9.022e-02	4.992e-54
18	7.303e+01	1.162e+01	8.604e-02	1.872e-37
19	7.304e+01	1.163e+01	8.602e-02	4.942e-42
20	7.311e+01	1.164e+01	8.594e-02	4.288e-36
21	7.312e+01	1.164e+01	8.592e-02	1.062e-40
22	7.315e+01	1.164e+01	8.590e-02	5.380e-36
23	7.317e+01	1.164e+01	8.588e-02	2.720e-41
24	7.393e+01	1.177e+01	8.498e-02	7.962e-42
25	7.420e+01	1.181e+01	8.468e-02	6.106e-39
26	7.428e+01	1.182e+01	8.459e-02	2.955e-37
27	7.429e+01	1.182e+01	8.457e-02	4.198e-37
28	7.432e+01	1.183e+01	8.454e-02	2.706e-37
29	7.435e+01	1.183e+01	8.451e-02	3.167e-38
30	7.439e+01	1.184e+01	8.446e-02	1.776e-39
31	7.536e+01	1.199e+01	8.338e-02	1.001e-43
32	7.608e+01	1.211e+01	8.258e-02	4.403e-44
33	7.713e+01	1.228e+01	8.146e-02	4.732e-43
34	7.798e+01	1.241e+01	8.057e-02	6.766e-42
35	7.990e+01	1.272e+01	7.864e-02	4.114e-41
36	8.297e+01	1.320e+01	7.573e-02	2.119e-34
37	8.389e+01	1.335e+01	7.490e-02	6.405e-30
38	8.397e+01	1.336e+01	7.483e-02	4.643e-29
39	8.404e+01	1.338e+01	7.476e-02	2.523e-28
40	8.414e+01	1.339e+01	7.468e-02	7.082e-30
41	8.500e+01	1.353e+01	7.392e-02	4.656e-29
42	8.521e+01	1.356e+01	7.374e-02	3.310e-30
43	8.583e+01	1.366e+01	7.321e-02	7.891e-29
44	8.700e+01	1.385e+01	7.222e-02	5.217e-29
45	8.813e+01	1.403e+01	7.130e-02	4.599e-28
46	8.843e+01	1.407e+01	7.105e-02	2.045e-26
47	8.930e+01	1.421e+01	7.036e-02	1.654e-25
48	8.959e+01	1.426e+01	7.013e-02	5.539e-27
49	9.253e+01	1.473e+01	6.790e-02	5.944e-25
50	9.369e+01	1.491e+01	6.707e-02	8.490e-23

COEFFICIENTI DI PARTECIPAZIONE MODALE

Modo	Direz.X	Direz.Y
1	5.611e+01	6.346e-01
2	-1.233e+00	-5.326e+01
3	-4.506e+00	1.760e+01
4	-1.889e+01	-5.066e-01
5	-3.917e-01	-1.029e+01
6	-4.377e-01	1.748e+01
7	1.064e-01	3.062e-02
8	1.016e+01	-6.533e-02
9	-3.915e-02	5.341e+00
10	1.460e+00	2.305e+00
11	1.235e+00	9.610e+00
12	2.450e-01	-1.925e-01
13	1.643e-01	3.005e-03
14	-1.203e-01	1.719e-02
15	-3.435e-02	7.624e-04
16	1.829e-02	-9.548e-02
17	1.022e-01	-8.168e-01
18	1.970e-06	6.279e-07
19	-3.924e-01	-1.005e-01
20	-6.205e-06	-1.780e-06
21	-3.046e-01	-1.256e-01
22	7.647e-07	1.033e-07
23	4.935e-02	2.662e-02
24	4.394e-01	2.271e-01
25	-1.458e-06	2.403e-06
26	-1.011e-04	-1.574e-04
27	8.338e-02	1.541e-01
28	6.015e-05	1.854e-05
29	-1.278e-01	-8.658e-02
30	-3.510e-01	-2.321e-01
31	8.183e-01	5.651e-01
32	9.681e-01	4.551e-01
33	-1.692e+01	-8.553e+00
34	-3.681e-01	-3.953e-01
35	-8.547e-02	-4.677e-02
36	-1.098e-01	-1.153e-01
37	-2.321e-02	1.639e-01
38	-8.563e-03	-6.675e-02
39	2.590e-02	1.053e-01
40	-1.234e-01	-3.693e-01
41	-1.334e+00	4.049e-01
42	5.094e-01	-3.001e-01
43	-2.552e-01	3.825e-01
44	5.250e-01	-9.289e-02
45	8.926e-01	-8.623e-01
46	1.749e+00	-1.243e+00
47	-1.773e+01	1.244e+01
48	-5.087e+00	3.327e+00
49	4.796e-01	-4.092e-01
50	8.929e-01	-4.141e-01

**MASSA ECCITATA
PER QUOTA Z MAGGIORE DI :0.00**

Modo	Direz.X	%	Direz.Y	%	Direz.Z	%	Rotaz.Z	%
Modo: 1	+3.15e+03	71	+4.03e-01	0	+2.77e-03	0	+1.97e+08	2
Progressiva	+3.15e+03	71	+4.03e-01	0	+2.77e-03	0	+1.97e+08	2
Modo: 2	+1.52e+00	0	+2.84e+03	64	+4.03e-06	0	+5.16e+08	5
Progressiva	+3.15e+03	71	+2.84e+03	64	+2.78e-03	0	+7.14e+08	7
Modo: 3	+2.03e+01	0	+3.10e+02	7	+6.72e-03	0	+5.58e+09	54
Progressiva	+3.17e+03	71	+3.15e+03	71	+9.50e-03	0	+6.29e+09	61
Modo: 4	+3.57e+02	8	+2.57e-01	0	+1.80e-02	0	+2.53e+07	0
Progressiva	+3.53e+03	79	+3.15e+03	71	+2.75e-02	0	+6.32e+09	61
Modo: 5	+1.53e-01	0	+1.06e+02	2	+8.72e-02	0	+9.82e+08	10
Progressiva	+3.53e+03	79	+3.25e+03	73	+1.15e-01	0	+7.30e+09	71
Modo: 6	+1.92e-01	0	+3.06e+02	7	+4.23e-02	0	+5.90e+08	6
Progressiva	+3.53e+03	79	+3.56e+03	80	+1.57e-01	0	+7.89e+09	76
Modo: 7	+1.13e-02	0	+9.37e-04	0	+3.98e-05	0	+2.41e+04	0
Progressiva	+3.53e+03	79	+3.56e+03	80	+1.57e-01	0	+7.89e+09	76
Modo: 8	+1.03e+02	2	+4.27e-03	0	+5.26e-02	0	+1.10e+06	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.56e+03	80	+2.10e-01	0	+7.89e+09	76
Modo: 9	+1.53e-03	0	+2.85e+01	1	+2.80e-01	0	+3.23e+07	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.59e+03	80	+4.89e-01	0	+7.93e+09	77
Modo: 10	+2.13e+00	0	+5.31e+00	0	+1.01e+01	0	+6.12e+05	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.59e+03	81	+1.06e+01	0	+7.93e+09	77
Modo: 11	+1.53e+00	0	+9.24e+01	2	+1.77e+00	0	+2.21e+08	2
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.68e+03	83	+1.24e+01	0	+8.15e+09	79
Modo: 12	+6.00e-02	0	+3.71e-02	0	+8.35e+01	2	+2.53e+06	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.68e+03	83	+9.59e+01	2	+8.15e+09	79
Modo: 13	+2.70e-02	0	+9.03e-06	0	+1.27e-04	0	+1.12e+03	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.68e+03	83	+9.59e+01	2	+8.15e+09	79
Modo: 14	+1.45e-02	0	+2.95e-04	0	+2.06e-04	0	+1.56e+02	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.68e+03	83	+9.59e+01	2	+8.15e+09	79
Modo: 15	+1.18e-03	0	+5.81e-07	0	+6.43e-05	0	+1.25e+04	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.68e+03	83	+9.59e+01	2	+8.15e+09	79
Modo: 16	+3.35e-04	0	+9.12e-03	0	+3.14e+02	7	+8.83e+03	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.68e+03	83	+4.10e+02	9	+8.15e+09	79
Modo: 17	+1.05e-02	0	+6.67e-01	0	+1.87e+01	0	+2.27e+06	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.15e+09	79
Modo: 18	+3.88e-12	0	+3.94e-13	0	+5.50e-12	0	+5.79e-04	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.15e+09	79
Modo: 19	+1.54e-01	0	+1.01e-02	0	+3.74e-03	0	+1.95e+05	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.15e+09	79
Modo: 20	+3.85e-11	0	+3.17e-12	0	+4.18e-13	0	+1.71e-04	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.15e+09	79
Modo: 21	+9.28e-02	0	+1.58e-02	0	+3.50e-03	0	+1.90e+04	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.15e+09	79
Modo: 22	+5.85e-13	0	+1.07e-14	0	+1.51e-12	0	+5.24e-05	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.15e+09	79
Modo: 23	+2.44e-03	0	+7.09e-04	0	+6.10e-04	0	+3.10e+05	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.15e+09	79
Modo: 24	+1.93e-01	0	+5.16e-02	0	+4.44e-01	0	+1.14e+07	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.16e+09	79
Modo: 25	+2.13e-12	0	+5.77e-12	0	+3.05e-08	0	+1.67e-03	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.16e+09	79
Modo: 26	+1.02e-08	0	+2.48e-08	0	+5.29e-07	0	+3.31e-01	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.16e+09	79
Modo: 27	+6.95e-03	0	+2.38e-02	0	+8.81e-02	0	+3.99e+05	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.16e+09	79
Modo: 28	+3.62e-09	0	+3.44e-10	0	+2.82e-07	0	+2.33e-04	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.16e+09	79

Modo: 29	+1.63e-02	0	+7.50e-03	0	+8.24e-02	0	+1.00e+06	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.29e+02	10	+8.17e+09	79
Modo: 30	+1.23e-01	0	+5.39e-02	0	+6.29e-01	0	+6.67e+06	0
Progressiva	+3.63e+03	81	+3.69e+03	83	+4.30e+02	10	+8.17e+09	79
Modo: 31	+6.70e-01	0	+3.19e-01	0	+9.25e+01	2	+8.41e+06	0
Progressiva	+3.64e+03	82	+3.69e+03	83	+5.22e+02	12	+8.18e+09	79
Modo: 32	+9.37e-01	0	+2.07e-01	0	+9.54e+01	2	+1.29e+07	0
Progressiva	+3.64e+03	82	+3.69e+03	83	+6.18e+02	14	+8.19e+09	79
Modo: 33	+2.86e+02	6	+7.32e+01	2	+2.25e-02	0	+2.91e+08	3
Progressiva	+3.92e+03	88	+3.76e+03	84	+6.18e+02	14	+8.48e+09	82
Modo: 34	+1.35e-01	0	+1.56e-01	0	+1.22e+02	3	+1.79e+07	0
Progressiva	+3.92e+03	88	+3.76e+03	84	+7.40e+02	17	+8.50e+09	82
Modo: 35	+7.30e-03	0	+2.19e-03	0	+4.06e+01	1	+2.67e+07	0
Progressiva	+3.92e+03	88	+3.76e+03	84	+7.80e+02	17	+8.53e+09	83
Modo: 36	+1.21e-02	0	+1.33e-02	0	+1.07e+01	0	+1.98e+04	0
Progressiva	+3.92e+03	88	+3.76e+03	84	+7.91e+02	18	+8.53e+09	83
Modo: 37	+5.39e-04	0	+2.69e-02	0	+7.43e+00	0	+2.63e+04	0
Progressiva	+3.92e+03	88	+3.76e+03	84	+7.98e+02	18	+8.53e+09	83
Modo: 38	+7.33e-05	0	+4.46e-03	0	+1.50e-01	0	+6.74e+04	0
Progressiva	+3.92e+03	88	+3.76e+03	84	+7.98e+02	18	+8.53e+09	83
Modo: 39	+6.71e-04	0	+1.11e-02	0	+2.43e-02	0	+2.57e+02	0
Progressiva	+3.92e+03	88	+3.76e+03	84	+7.99e+02	18	+8.53e+09	83
Modo: 40	+1.52e-02	0	+1.36e-01	0	+2.53e+02	6	+2.49e+05	0
Progressiva	+3.92e+03	88	+3.76e+03	84	+1.05e+03	24	+8.53e+09	83
Modo: 41	+1.78e+00	0	+1.64e-01	0	+4.40e+00	0	+3.22e+03	0
Progressiva	+3.92e+03	88	+3.76e+03	84	+1.06e+03	24	+8.53e+09	83
Modo: 42	+2.59e-01	0	+9.01e-02	0	+6.66e+02	15	+6.70e+04	0
Progressiva	+3.92e+03	88	+3.76e+03	84	+1.72e+03	39	+8.53e+09	83
Modo: 43	+6.51e-02	0	+1.46e-01	0	+2.60e+00	0	+2.87e+04	0
Progressiva	+3.92e+03	88	+3.76e+03	84	+1.72e+03	39	+8.53e+09	83
Modo: 44	+2.76e-01	0	+8.63e-03	0	+4.80e+01	1	+5.75e+04	0
Progressiva	+3.93e+03	88	+3.76e+03	84	+1.77e+03	40	+8.53e+09	83
Modo: 45	+7.97e-01	0	+7.44e-01	0	+1.15e+02	3	+1.69e+06	0
Progressiva	+3.93e+03	88	+3.76e+03	84	+1.89e+03	42	+8.53e+09	83
Modo: 46	+3.06e+00	0	+1.55e+00	0	+8.23e+00	0	+4.18e+06	0
Progressiva	+3.93e+03	88	+3.76e+03	84	+1.90e+03	42	+8.53e+09	83
Modo: 47	+3.14e+02	7	+1.55e+02	3	+3.12e-01	0	+1.13e+08	1
Progressiva	+4.24e+03	95	+3.92e+03	88	+1.90e+03	43	+8.65e+09	84
Modo: 48	+2.59e+01	1	+1.11e+01	0	+1.45e-01	0	+8.46e+06	0
Progressiva	+4.27e+03	96	+3.93e+03	88	+1.90e+03	43	+8.66e+09	84
Modo: 49	+2.30e-01	0	+1.67e-01	0	+1.47e+01	0	+2.41e+07	0
Progressiva	+4.27e+03	96	+3.93e+03	88	+1.91e+03	43	+8.68e+09	84
Modo: 50	+7.97e-01	0	+1.72e-01	0	+2.02e+01	0	+5.48e+06	0
Progressiva	+4.27e+03	96	+3.93e+03	88	+1.93e+03	43	+8.69e+09	84

MASSA TOTALE ECCITABILE

Direzione X	Direzione Y	Direzione Z	Rotazione Z
+4.46e+03	+4.46e+03	+4.46e+03	+1.03e+10

i) Criteri di verifica agli stati limite

Il metodo di calcolo utilizzato è agli Stati Limite Ultimi in termini di resistenza, di duttilità e di capacità di deformazione, e agli Stati Limite di Esercizio in termini di resistenza e di contenimento del danno degli elementi non strutturali, in presenza di azione sismica e in presenza di sole azioni statiche, come previsto dalle NTC2018 “Nuove norme tecniche per le costruzioni”.

In particolare, vengono adottati i seguenti criteri di verifica nei confronti del raggiungimento degli stati limite indagati, in presenza di azione sismica:

7.3.6. RISPETTO DEI REQUISITI NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE

Per tutti gli elementi strutturali primari e secondari, gli elementi non strutturali e gli impianti si deve verificare che il valore di ciascuna domanda di progetto, definito dalla tabella 7.3.III per ciascuno degli stati limite richiesti, sia inferiore al corrispondente valore della capacità di progetto.

Le verifiche degli elementi strutturali primari (ST) si eseguono, come sintetizzato nella tabella 7.3.III, in dipendenza della Classe d'Uso (CU):

- nel caso di comportamento strutturale non dissipativo, in termini di rigidezza (RIG) e di resistenza (RES), senza applicare le regole specifiche dei dettagli costruttivi e della progettazione in capacità;
- nel caso di comportamento strutturale dissipativo, in termini di rigidezza (RIG), di resistenza (RES) e di duttilità (DUT) (quando richiesto), applicando le regole specifiche dei dettagli costruttivi e della progettazione in capacità.

Le verifiche degli elementi strutturali secondari si effettuano solo in termini di duttilità.

Le verifiche degli elementi non strutturali (NS) e degli impianti (IM) si effettuano in termini di funzionamento (FUN) e stabilità (STA), come sintetizzato nella tabella 7.3.III, in dipendenza della Classe d'Uso (CU).

Tab. 7.3.III – Stati limite di elementi strutturali primari, elementi non strutturali e impianti

STATI LIMITE		CU I	CU II			CU III e IV		
		ST	ST	NS	IM	ST	NS	IM ^(*)
SLE	SLO					RIG		FUN
	SLD	RIG	RIG			RES		
SLU	SLV	RES	RES	STA	STA	RES	STA	STA
	SLC		DUT ^(**)			DUT ^(**)		

^(*) Per le sole CU III e IV, nella categoria Impianti ricadono anche gli arredi fissi.

^(**) Nei casi esplicitamente indicati dalle presenti norme.

Le verifiche allo stato limite di prevenzione del collasso (SLC), a meno di specifiche indicazioni, si svolgono soltanto in termini di duttilità e solo qualora le verifiche in duttilità siano espressamente richieste (v.§7.3.6.1)

j) Configurazioni deformate e delle caratteristiche di sollecitazione

i.1) VALUTAZIONE DI SICUREZZA STATICA

La verifica della sicurezza di una struttura è volta a determinare l'entità delle azioni che la struttura è in grado di sostenere con un livello di sicurezza minimo.

Tale valutazione deve permettere di stabilire se:

- L'uso della costruzione possa continuare senza interventi;
- L'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);
- Sia necessario aumentare la sicurezza strutturale, mediante interventi.

La valutazione della sicurezza di costruzioni esistenti può essere eseguita, come specificato nelle NTC 2018 § 8.3, prendendo in analisi i soli carichi verticali e le combinazioni di carico che riguardano esclusivamente lo Stato Limite Ultimo.

La combinazione dei carichi considerata è quella fondamentale, così come proposta nelle NTC 2018 e già esplicitata al capitolo 3.1.3 della presente trattazione.

Ai sensi delle NTC 2018 § 8.3, si specifica che è necessario adottare provvedimenti restrittivi dell'uso della costruzione e/o procedere ad interventi di miglioramento o adeguamento nel caso in cui non siano soddisfatte le verifiche relative alle azioni controllate dall'uomo, ossia prevalentemente ai carichi permanenti e alle altre azioni di servizio.

Per la valutazione della sicurezza statica degli elementi strutturali sono state introdotte alcune ipotesi e considerazioni di base per uniformare la lettura dei risultati:

- Le travi principali in corrispondenza dei pilastri sono considerate continue sugli appoggi;
- Per le strutture con sistema resistente realizzato in calcestruzzo armato, si considera una verifica di resistenza statica così come previsto dalla normativa, che prende in considerazione le azioni e le combinazioni di carico nella condizione di Stato Limite Ultimo (SLU). In questo modo è possibile evidenziare tutti gli elementi che risultano non verificati in condizione SLU e, pertanto, non sono adeguati staticamente secondo quanto previsto dalla normativa attualmente vigente.

i.1.1) Verifiche di sicurezza statica

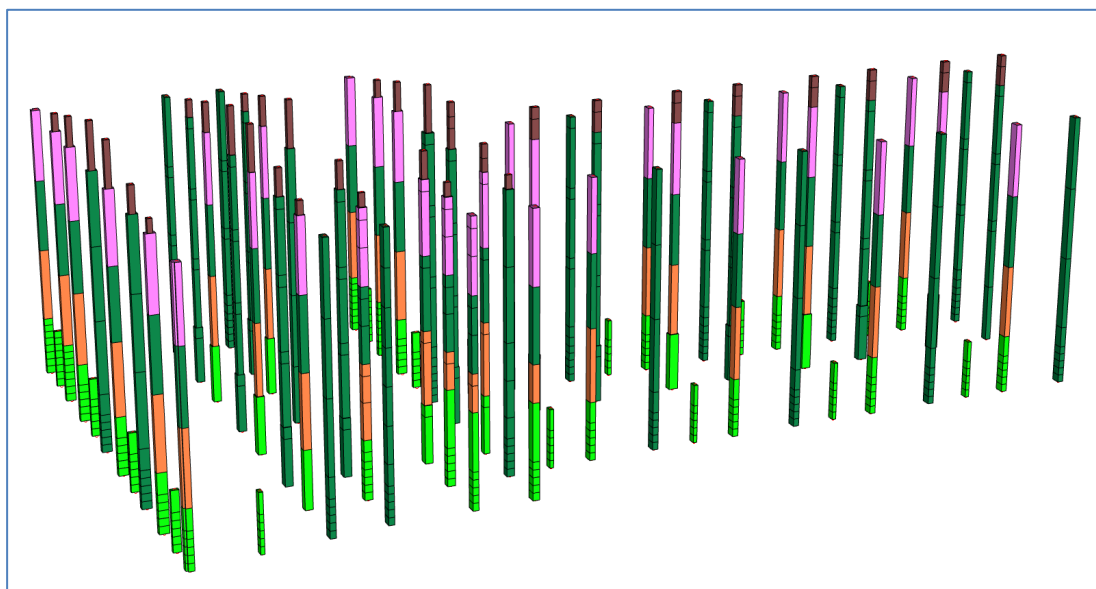
L'analisi statica delle unità strutturali è stata svolta sulla base dei risultati e dei modelli prodotti in sede di analisi dello stato di fatto. La valutazione di sicurezza statica si traduce essenzialmente nella determinazione della capacità, dipendente dalla resistenza massima che le strutture sono in grado di esibire se soggette ad azioni verticali statiche.

Si effettua un'analisi elastica lineare non sismica mediante l'utilizzo delle combinazioni di carico prodotte secondo NTC2018, eseguita mediante il software di calcolo MasterSAP.

Secondo il §8.3 delle NTC18 si eseguono le verifiche di resistenza statica per carichi verticali in combinazione statica fondamentale SLU.

Di seguito si riportano le sollecitazioni ed i risultati delle verifiche di tutti gli elementi strutturali verticali (pilastri e setti esistenti in c.a.) in condizione di Stato Limite Ultimo.

RAPPRESENTAZIONE SOLLECITAZIONI



Rappresentazione degli elementi strutturali verticali

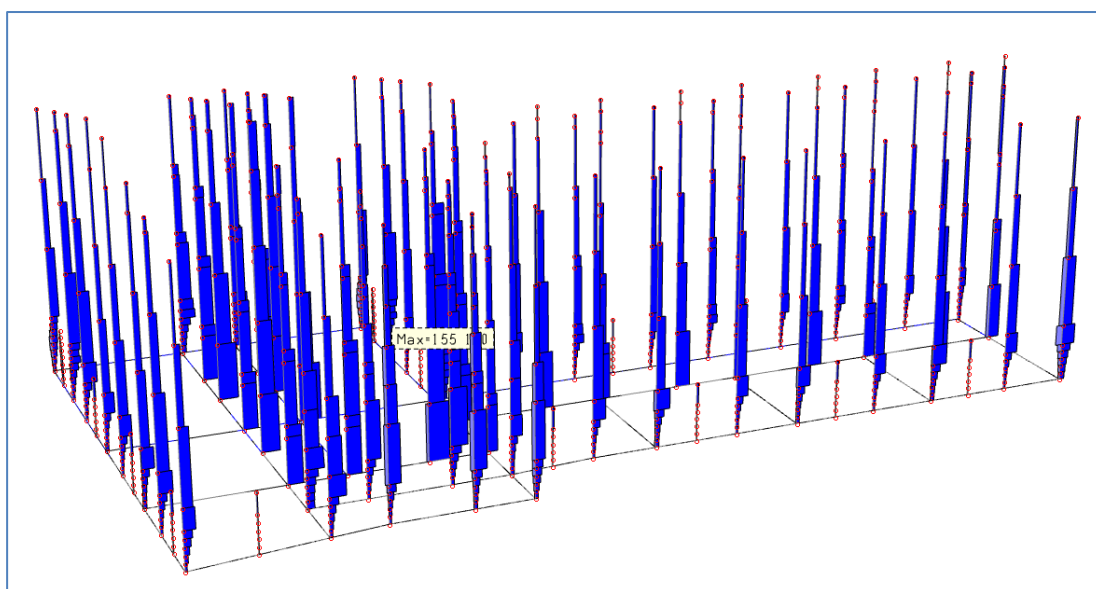


Diagramma sforzi normali Fx [daN] - Pilastri

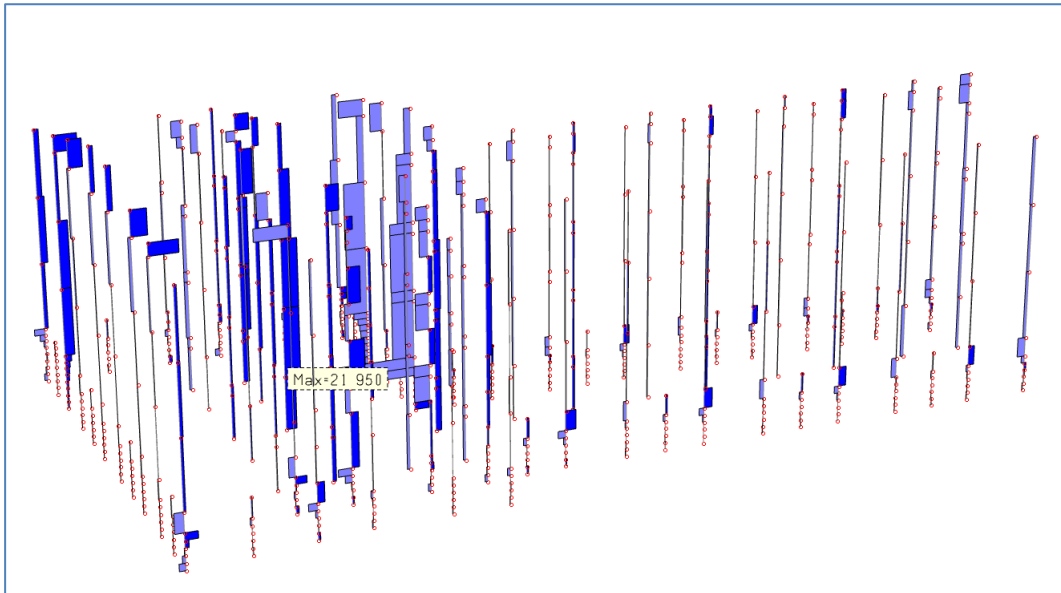


Diagramma sforzi di taglio F_y [daN] - *Pilastri*

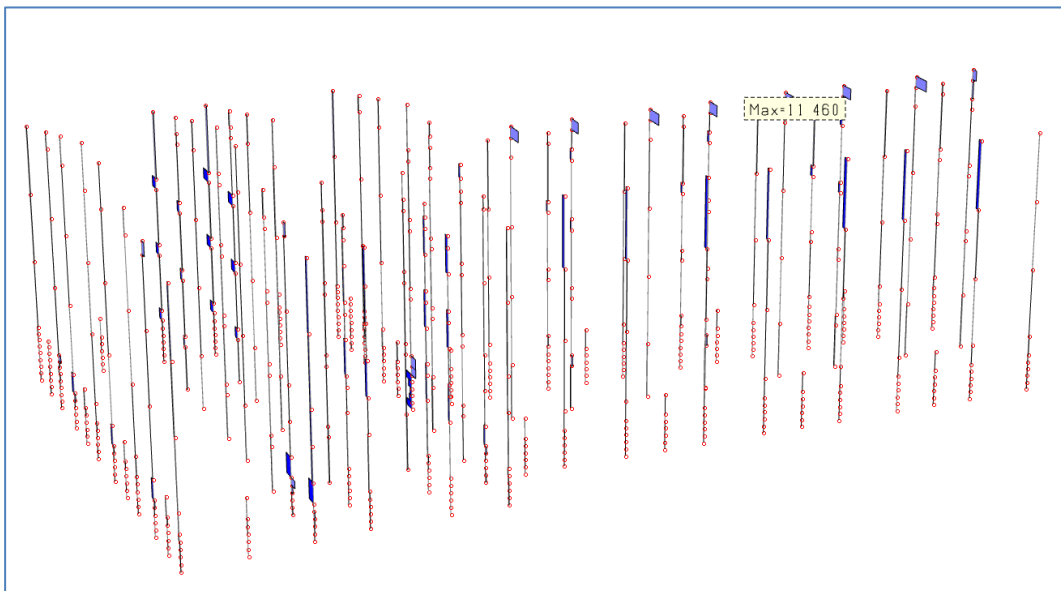


Diagramma sforzi di taglio F_z [daN] - *Pilastri*

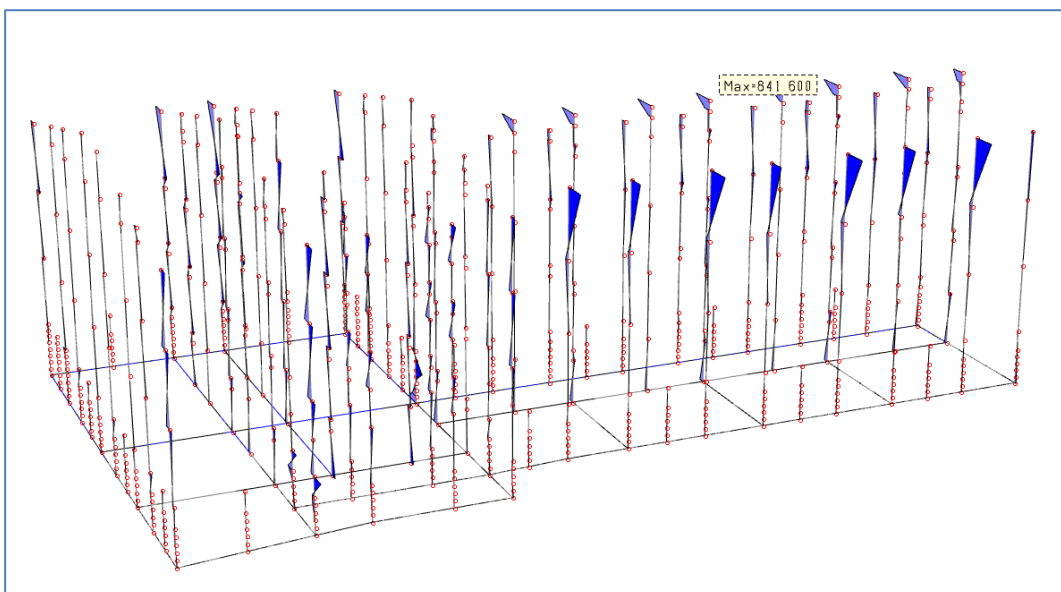
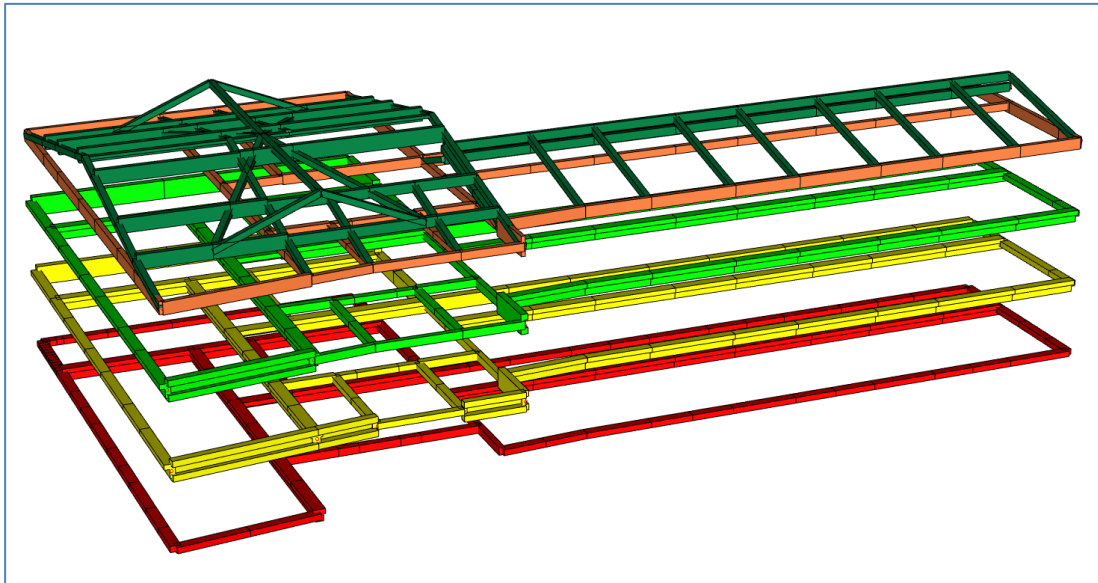


Diagramma Momento flettente M_y [daNm] - *Pilastri*



Rappresentazione degli elementi strutturali orizzontali

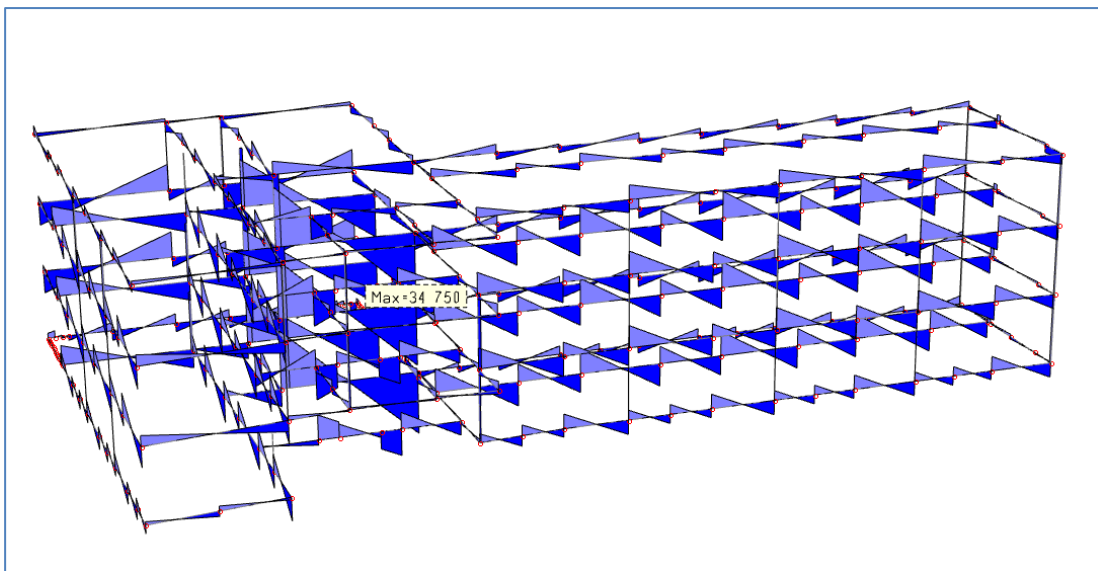


Diagramma sforzi di taglio F_y [daN] - Travi

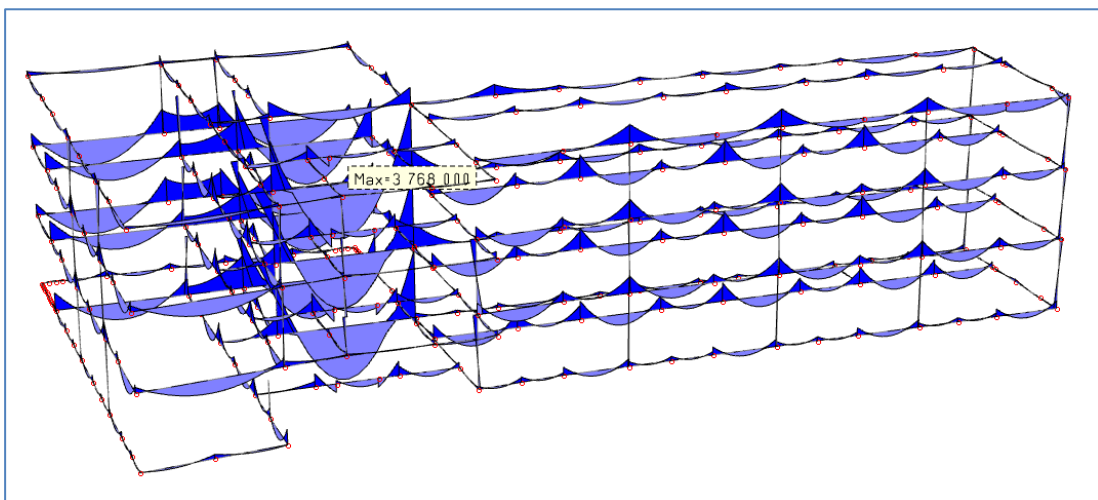


Diagramma Momento flettente M_z [daNm] - Travi

i.1.2) Verifiche di sicurezza statica - Stato di progetto

Secondo il §8.3 delle NTC18 si eseguono le verifiche di resistenza statica per carichi verticali in combinazione statica fondamentale SLU considerando i rinforzi degli elementi verticali in c.a. esistenti, previsti dal progetto di adeguamento sismico.

Secondo il §8.4.3 delle NTC18 per la verifica delle strutture rispetto alle azioni sismiche il livello di sicurezza della costruzione deve assumere un rapporto $\xi_E \geq 1$ tra l'azione statica massima sopportabile dalla struttura e l'azione statica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione.

Di seguito si riportano le verifiche in condizione di Stato Limite Ultimo degli elementi per cui è previsto il rinforzo strutturale. Quando l'indice è superiore ad "1" (100%) significa che la struttura risulta verificata per quella determinata azione.

Verifica statica solai - Solaio luce netta 6.70 m

Si verifica di seguito il solaio in laterocemento 20+6cm maggiamente sollecitato, di luce netta massima 6.70 m, sottoposto al carico SLU di 1150 kg/m² (escludendo il carico dei tramezzi localizzati sulle travi di bordo, cfr. analisi dei carichi).

Il solaio è realizzato con travetti di larghezza 7 cm disposti a interasse 40 cm. Il carico lineare SLU agente sul singolo travetto è pari a $q=1150 \times 0.4=460$ kg/m. Si riportano le caratteristiche meccaniche impostate nel programma di calcolo delle sezioni in acciaio, derivanti dai risultati delle prove sperimentali sui solai in oggetto:

Normativa: NTC 2018

Acciaio			
Sigla	f _{yk}	f _{tk}	sig. adm
B450C	450	540	255
B450A	450	540	255
Trefolo	1620	1800	1080
> ACC	388.3	577	577

Aggiungi Elimina

ACC f_{yk} 388.3 N/mm²
f_{tk} 577 N/mm²

γ_s 1

E_s/E_c 15 E_s 200.000 N/mm²
 ϵ_{su} 67.5 ‰
f_{yd} 388.3 N/mm²
 ϵ_{syd} 1.942 ‰
Q_{s,adm} 577 N/mm²

Calcestruzzo		
Sigla	f _{ck}	R _{ck}
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C28/35	28	35
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50

Aggiungi Elimina

CLS f_{ck} 8.72 N/mm²
R_{ck} 11 N/mm²

γ_c 1

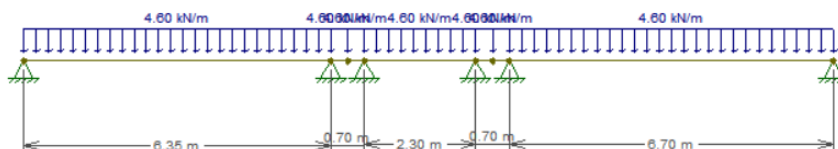
ϵ_{cc} 2 ‰ ϵ_{cu} 3.5 ‰
 α_{cc} 1 f_{cd} 8.72 N/mm²
f_{oc}/f_{cd} 1

Q_{c,adm} 5 N/mm²
 τ_{co} 0.3467 τ_{c1} 1.286 N/mm²
f_{ctm} 1.271 E_{cm} 25.668 N/mm²

In verde i dati che verranno usati nei calcoli

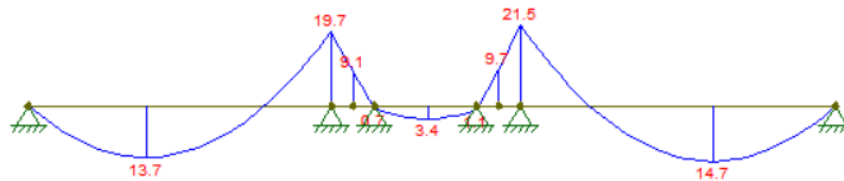
Aggiorna form verifica Annulla Carica materiali di default Salva materiali nel file VcaShuMateriali.txt

Si riporta lo schema statico considerato nel calcolo, ottenuto considerando gli interassi netti dei travetti, decurtati dalla larghezza delle travi:

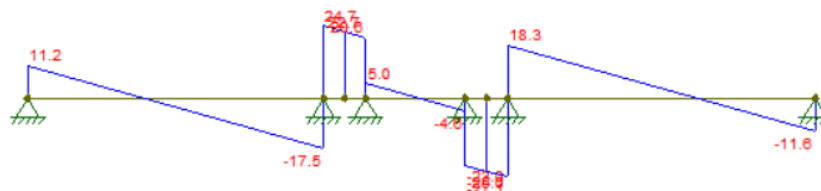


Il momento massimo positivo agente nella mezzeria delle travi è pari a 14.7 kNm, mentre il momento massimo

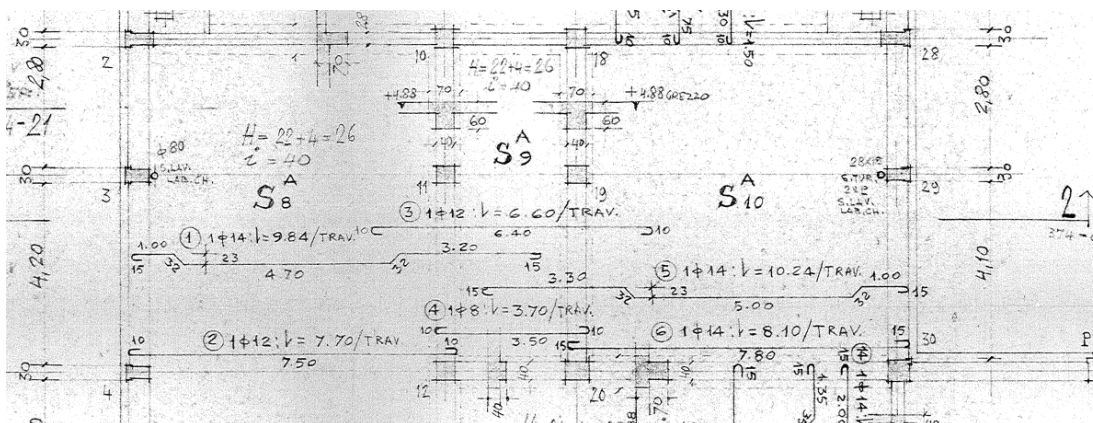
positivo agente in corrispondenza degli appoggi centrali è pari a 21.5 kNm:



Il taglio massimo raggiunto agli appoggi centrali è invece pari a 18.3 kN, mentre quello agli appoggi esterni è pari a 11.6 kN:



Nel calcolo si considera l'armatura riportata negli elaborati rinvenuti, costituita da armature superiori 1φ14+1φ12 agli appoggi centrali e 1φ14 agli appoggi esterni, e da 1φ14 inferiori in mezzera:



Il momento resistente negativo è pari a 22.1 kNm, superiore a quello di progetto (21.5 kNm):

Titolo: []

N° Vertici: 10 **Zoom:** [] **N° barre:** 3 **Zoom:** []

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	7	0
3	7	15
4	12	20
5	23	20
6	23	26

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	1.54	3.5	2
2	1.54	1.5	24
3	1.13	5.5	24

Sollecitazioni: S.L.U. **Metodo n**

N^o Ed: 0 **N^o kN:** 0

M^o Ed: 0 **M^o kNm:** 0

M^o yEd: 0 **M^o kNm:** 0

P.to applicazione N: Centro **Baricentro cls:** []

Coord. [cm]: xN [] yN []

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M^o xRd: -22.07 kNm

Materiali: ACC **CLS**

ACC: E_{cu} 67.5 % E_{c2} 2 % f_{yd} 388.3 N/mm² E_{cu} 3.5 % E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 8.72 % E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 1 [] E_{syd} 1.942 % C_{o,adm} 4.825 C_{o,adm} 577 N/mm² τ_{co} 0.3373 τ_{c1} 1.266

CLS: E_c 3.5 % E_s 5.961 % d 24 cm x 8.878 x/d 0.3699 δ 0.9024

Metodo di calcolo: S.L.U. + S.L.U. **Metodo n**

Tipo flessione: Retta **Deviata**

N° rett: 100 **Calcola MRd:** Dominio M-N **L_o:** 0 cm **Col. modello:** M-curvatura **Precompresso:** []

Il momento resistente positivo è pari a 14.8 kNm, superiore a quello di progetto (14.7 kNm):

Titolo :
 N° Vertici 10 Zoom N° barre 3 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	7	0
3	7	15
4	12	20
5	23	20
6	23	26

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	1.54	3.5	2
2	1.54	5.5	24
3	1.13	1.5	24

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n
 N_{Ed} 0 kN
 M_{Ed} 14.7 kNm
 M_{yEd} 0 kNm

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato
 M_{xRd} 14.8 kNm

Materiali
 ACC CLS
 ε_{tu} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 388.3 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 8.72 ‰
 E_c/E_s 15 f_{cc}/f_{cd} 1 ‰
 ε_{syd} 1.942 ‰ σ_{c,adm} 4.825
 σ_{s,adm} 577 N/mm² τ_{co} 0.3373
 τ_{c1} 1.266

σ_c -0.72 N/mm²
 σ_s 388.3 N/mm²
 ε_c 3.5 ‰
 ε_s 37.71 ‰
 d 24 cm
 x 2.038 x/d 0.08493
 δ 0.7

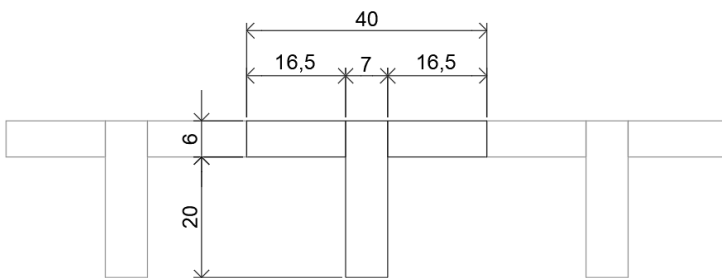
Tipo Sezione
☐ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☒ Coord.
☐ DXF

Metodo di calcolo
☒ S.L.U. + ☐ S.L.U. - ☐ Metodo n

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100
 Calcola MRd Dominio M-N
 L₀ 0 cm Col. modello
 M-curvatura
☐ Precompresso

Si riporta inoltre la verifica a taglio del generico travetto, privo di armature trasversali resistenti a taglio. Vista la sezione a T del travetto, si considera come resistenza totale a taglio della sezione la somma tra la resistenza della sezione 7x26 cm del travetto e le due sezioni 16.5x6 cm della soletta a destra e a sinistra del travetto.



APPOGGI ESTERNI

Si considera l'armatura superiore costituita da 1φ14 (appoggi esterni) e si stima il taglio resistente come segue:

$$V_{Rd,7x26} = \left(\frac{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}}}{\gamma_c} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right) \cdot b_w \cdot d = \left(\frac{0.18 \cdot 1.91 \cdot (100 \cdot 0.009 \cdot 8.72)^{\frac{1}{3}}}{1.5} + 0 \right) \cdot 70 \cdot 240$$

$$= 7.6 \text{ kN (resistenza a taglio della sezione in c.a. 7x26)}$$

Dove:

$$k = 1 + \left(\frac{200}{d} \right)^{0.5} = 1 + \left(\frac{200}{240} \right)^{0.5} = 1.91$$

$$b_w = 70 \text{ mm}$$

$$A_{sl} = A_s' = 154 \text{ mm}^2$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{154 \text{ mm}^2}{70 \text{ mm} \cdot 240 \text{ mm}} = 0.009$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N}{b_w \cdot d} = 0$$

Analogamente:

$$V_{Rd,40x6} = \left(\frac{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}}}{\gamma_c} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right) \cdot b_w \cdot d = \left(\frac{0.18 \cdot 2.0 \cdot (100 \cdot 0.02 \cdot 8.72)^{\frac{1}{3}}}{1.5} + 0 \right) \cdot 165 \cdot 40$$

$$= 4.1 \text{ kN (resistenza a taglio della sezione in c.a. 16.5x6 cm)}$$

Dove:

$$k = 1 + \left(\frac{200}{d}\right)^{0.5} = 1 + \left(\frac{200}{40}\right)^{0.5} > 2.0$$

$$b_w = 165 \text{ mm}$$

$$A_{sl} = A_s' = 154 \text{ mm}^2$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{154 \text{ mm}^2}{165 \text{ mm} \cdot 40 \text{ mm}} = 0.02$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N}{b_w \cdot d} = 0$$

Il taglio resistente complessivo è dunque pari a $7.6+4.1+4.1=15.8$ kN, superiore a quello di progetto (11.6 kN) e la verifica è soddisfatta.

APPOGGI INTERNI

Si considera l'armatura superiore costituita da $1\phi 14+1\phi 12$ (appoggi interni) e si stima il taglio resistente come segue:

$$V_{Rd,7 \times 26} = \left(\frac{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}}}{\gamma_c} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right) \cdot b_w \cdot d = \left(\frac{0.18 \cdot 1.91 \cdot (100 \cdot 0.016 \cdot 8.72)^{\frac{1}{3}}}{1.5} + 0 \right) \cdot 70 \cdot 240 =$$

$$= 9.3 \text{ kN (resistenza a taglio della sezione in c. a. } 7 \times 26)$$

Dove:

$$k = 1 + \left(\frac{200}{d}\right)^{0.5} = 1 + \left(\frac{200}{240}\right)^{0.5} = 1.91$$

$$b_w = 70 \text{ mm}$$

$$A_{sl} = A_s' = 267 \text{ mm}^2$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{267 \text{ mm}^2}{70 \text{ mm} \cdot 240 \text{ mm}} = 0.016$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N}{b_w \cdot d} = 0$$

Analogamente:

$$V_{Rd,40 \times 6} = \left(\frac{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}}}{\gamma_c} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right) \cdot b_w \cdot d = \left(\frac{0.18 \cdot 2.0 \cdot (100 \cdot 0.04 \cdot 8.72)^{\frac{1}{3}}}{1.5} + 0 \right) \cdot 165 \cdot 40$$

$$= 5.2 \text{ kN (resistenza a taglio della sezione in c. a. } 16.5 \times 6 \text{ cm)}$$

Dove:

$$k = 1 + \left(\frac{200}{d}\right)^{0.5} = 1 + \left(\frac{200}{40}\right)^{0.5} > 2.0$$

$$b_w = 165 \text{ mm}$$

$$A_{sl} = A_s' = 267 \text{ mm}^2$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{267 \text{ mm}^2}{165 \text{ mm} \cdot 40 \text{ mm}} = 0.04$$

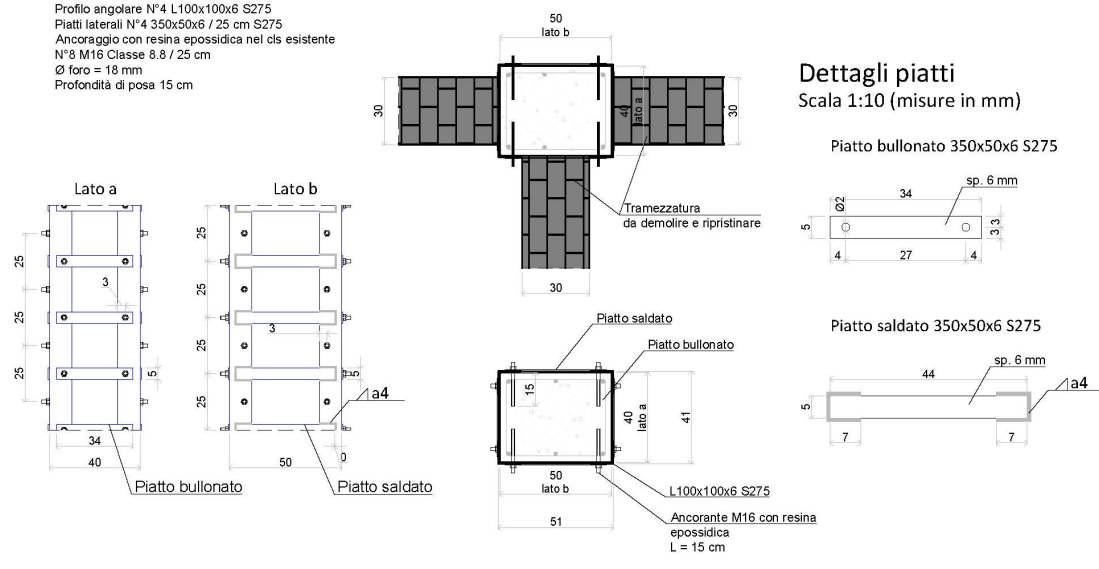
$$\sigma_{cp} = \frac{N}{b_w \cdot d} = 0$$

Il taglio resistente complessivo è dunque pari a $9.3+5.2+5.2=19.7$ kN, superiore a quello di progetto (18.3 kN) e la verifica è soddisfatta.

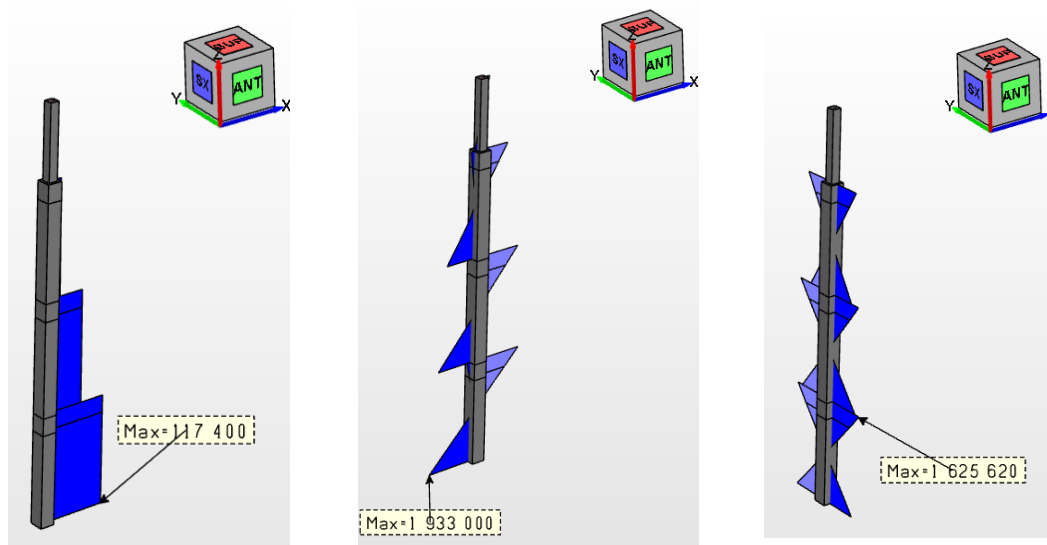
Verifica statica pilastri - Pilastro 50x50 maggiormente sollecitato (N e M_z max)

INTERVENTO C.1: Rinforzo dei pilastri centrali (TIPOLOGICO)

Profilo angolare N°4 L100x100x6 S275
 Piatti laterali N°4 350x50x6 / 25 cm S275
 Ancoraggio con resina epossidica nel cls esistente
 N°8 M16 Classe 8.8 / 25 cm
 Ø foro = 18 mm
 Profondità di posa 15 cm



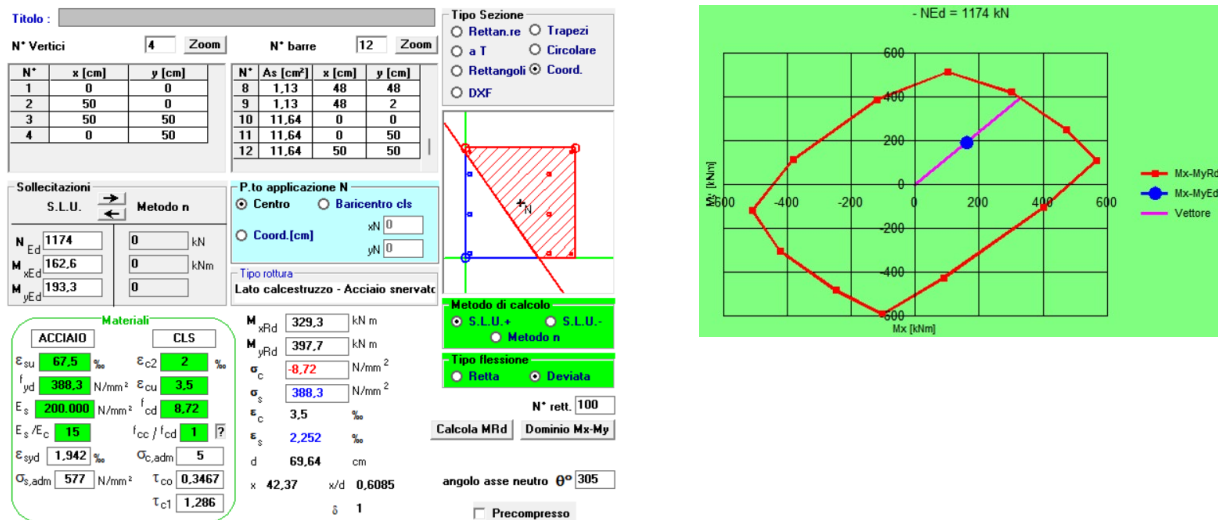
Si riporta la verifica del pilastro maggiormente sollecitato in condizioni statiche. Il pilastro in questione ha sezione 50x50 cm ed è armato con 2+2 ϕ 18, 1+1 ϕ 16 reggistaffe interni e 3 ϕ 12 reggistaffe esterni. Si riportano le sollecitazioni normali e flettenti agenti sul pilastro in esame in condizioni statiche:



Il pilastro è sottoposto ad uno sforzo normale pari a 1174 kN e a due momenti flettenti pari rispettivamente a 193.3 kNm e 162.6 kNm.

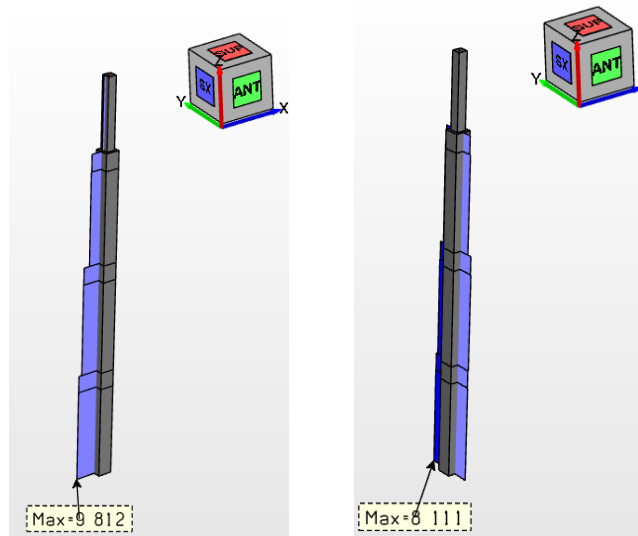
E' previsto inoltre per il pilastro in oggetto la calastrellatura con angolari L100x100x6mm su tre dei quattro spigoli. La sezione degli angolari previsti è pari a 11,64 cm².

E' stata schematizzata la sezione 50x50 cm con le armature ricavate dagli elaborati di progetto e con ulteriori ferri di sezione 11,64 cm² posti in corrispondenza degli spigoli in cui sono presenti le calastrellature. Sono stati impostati gli stessi materiali impostati in precedenza nella verifica statica dei travetti dei solai, con le caratteristiche meccaniche derivate dalle prove effettuate:



I due momenti resistenti del pilastro sottoposto allo sforzo normale di progetto sono pari a 329.3 kNm e 397.7 kNm, entrambi superiori a quelli di progetto. La verifica a pressoflessione è dunque soddisfatta.

Si riporta inoltre la verifica a taglio del pilastro armato con staffe a quattro bracci $\phi 6/15''$. Si riportano gli sforzi di progetto agenti nelle due direzioni:



Si calcola il valore di $\cotg(\theta)$:

$$\cotg(\theta) = \frac{b_w \cdot f'_{cd}}{\frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd}} - 1 = \frac{500 \text{ mm} \cdot 8.72 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\frac{112 \text{ mm}^2}{150 \text{ mm}} \cdot 388.3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} - 1 = 3.88$$

Poiché il valore trovato è superiore a 2.50, si assume $\cotg(\theta) = 2.50$:

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot \cotg(\theta) = 0.9 \cdot 480 \text{ mm} \cdot \frac{112 \text{ mm}^2}{150 \text{ mm}} \cdot 388.3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 2.50 = 313125 \text{ N} = 31313 \text{ kg}$$

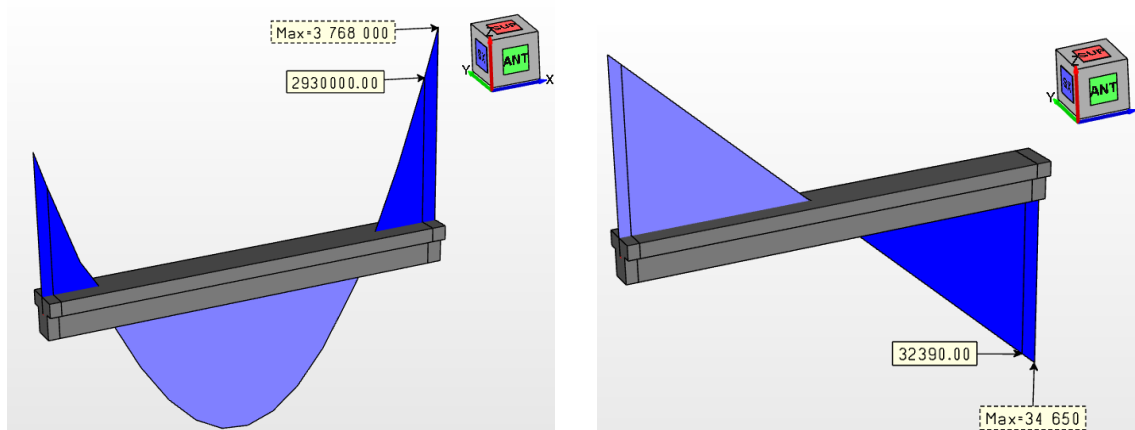
$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot f'_{cd} \cdot \frac{\cotg(\theta)}{1 + \cotg^2(\theta)} = 0.9 \cdot 480 \text{ mm} \cdot 500 \text{ mm} \cdot 8.72 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \frac{2.50}{1 + 6.25} = 649490 \text{ N} = 64949 \text{ kg}$$

$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd}) = 31313 \text{ kg}$ (rottura duttile dell'acciaio)

Il taglio resistente (relativo alla rottura duttile dell'acciaio) è superiore al taglio di progetto, anche trascurando il contributo migliorativo dei calastrelli di rinforzo. La verifica è quindi soddisfatta.

Verifica statica travi - Trave T70x70x40x25 maggiormente sollecitata (M_z max)

Si riportano gli sforzi agenti sulla trave maggiormente sollecitata. Gli sforzi massimi sono ottenuti considerando lo spuntamento tra trave e pilastro, ossia la distanza tra l'incrocio degli assi trave-pilastro decurtata dell'effettivo spessore del pilastro ($50/2 = 25$ cm). Il momento massimo è pari a 293.0 kNm, mentre il taglio massimo è pari a 323.9 kN.



E' stata schematizzata la sezione a T della trave con le armature ricavate dagli elaborati di progetto. Sono stati impostati gli stessi materiali impostati in precedenza nella verifica statica dei travetti dei solai, con le caratteristiche meccaniche derivate dalle prove effettuate:

Titolo :

N° Vertici 8 **Zoom** **N° barre** 3 **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	40	0
3	40	45
4	55	45
5	55	70
6	-15	70

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	10.9	20	67
2	5.09	20	3
3	3.27	20	48

Sollecitazioni
S.L.U. **Metodo n**

N Ed 0 kN
M xEd -293 kNm
M yEd 0 kNm

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord. [cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali
ACCIAIO **CLS**

ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 388.3 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 8.72 N/mm²
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 1
 ϵ_{syd} 1.942 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 5 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 577 N/mm² τ_{co} 0.3467
 τ_{c1} 1.286

Metodo di calcolo
☒ S.L.U. ☐ S.L.U.
☐ Metodo n

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd **Dominio M-N**

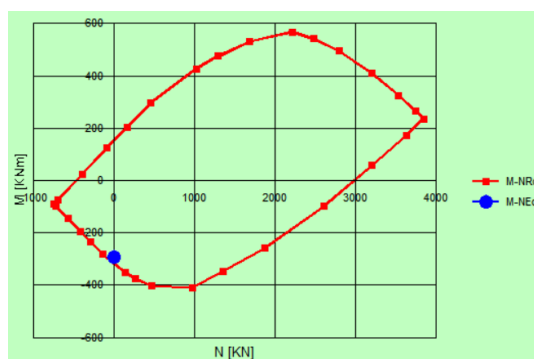
L₀ 0 cm **Col. modello**

M-curvatura

☐ Precompresso

M xRd -320.3 kNm

σ_c -8.72 N/mm²
 σ_s 388.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 15.29 ‰
 d 67 cm
 x 12.48 x/d 0.1863
 δ 0.7



Il momento massimo della trave armata come da elaborati di progetto è pari a 320.3 kNm, superiore a quello di progetto.

Si riporta inoltre la verifica a taglio del pilastro armato con staffe a quattro bracci $\phi 6/15''$. Si calcola il valore di $\cot g(\theta)$:

$$\cot g(\theta) = \sqrt{\frac{b_w \cdot f'_{cd}}{\frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd}}} - 1 = \sqrt{\frac{400 \text{ mm} \cdot 8.72 \frac{N}{\text{mm}^2}}{\frac{112 \text{ mm}^2}{150 \text{ mm}} \cdot 388.3 \frac{N}{\text{mm}^2}}} - 1 = 3.47$$

Poiché il valore trovato è superiore a 2.50, si assume $\cot g(\theta) = 2.50$:

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot \cot g(\theta) = 0.9 \cdot 670 \text{ mm} \cdot \frac{112 \text{ mm}^2}{150 \text{ mm}} \cdot 388.3 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 2.50 = 437070 \text{ N} = 43707 \text{ kg}$$

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot f'_{cd} \cdot \frac{\cot g(\theta)}{1 + \cot g^2(\theta)} = 0.9 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 670 \text{ mm} \cdot 8.72 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot \frac{2.50}{1 + 6.25} = 725263 \text{ N} = 72526 \text{ kg}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd}) = 43707 \text{ kg} \text{ (rottura duttile dell'acciaio)}$$

Il taglio resistente (relativo alla rottura duttile dell'acciaio) è superiore al taglio di progetto. La verifica è quindi soddisfatta.

Verifica a ribaltamento delle pareti

Si effettua la verifica a ribaltamento delle pareti esterne di spessore 30 cm e di quelle interne di spessore 10cm:

RIBALTAMENTO DEI TAMPONAMENTI		
Parete spessore 30cm		
Proprietà del tamponamento		
γ	8.00 [kN/m ³]	densità muratura
t	0.32 [m]	spessore muratura
H	3.50 [m]	altezza tamponamento
f_d	2.00 [MPa]	resistenza del blocco
σ_0	14.00 [kN/m ²]	tensione sul piano medio
M_{Rd}	2.22 [kNm]	momento resistente [7.8.2]
Sollecitazioni		
a_g/g	0.233 [-]	accelerazione su suolo rigido A
S	1.35 [-]	coefficiente condizioni topografiche e sottosuolo
Z	6.10 [m]	quota baricentro elemento non str da piano fond.
H	15.70 [m]	altezza della costruzione da piano fondazioni
S_a	0.50 [-]	accelerazione orizzontale sull'elemento
F_a	4.46 [kN]	forza orizzontale sul tamponamento L=1m
q_a	2.00 [-]	fattore di compotamento dell'elemento
M_{Ed}	1.95 [kNm]	momento sollecitante
Verifiche		
M_{Rd}	>	M_{Ed} VERIFICATO

RIBALTAMENTO DEI TAMPONAMENTI		
Parete spessore 10cm		
Proprietà del tamponamento		
γ	8.00 [kN/m ³]	densità muratura
t	0.10 [m]	spessore muratura
H	3.50 [m]	altezza tamponamento
f_d	2.00 [MPa]	resistenza del blocco
σ_0	14.00 [kN/m ²]	tensione sul piano medio
M_{Rd}	0.69 [kNm]	momento resistente [7.8.2]
Sollecitazioni		
a_g/g	0.233 [-]	accelerazione su suolo rigido A
S	1.35 [-]	coefficiente condizioni topografiche e sottosuolo
Z	6.10 [m]	quota baricentro elemento non str da piano fond.
H	15.70 [m]	altezza della costruzione da piano fondazioni
S_a	0.50 [-]	accelerazione orizzontale sull'elemento
F_a	1.39 [kN]	forza orizzontale sul tamponamento L=1m
q_a	2.00 [-]	fattore di compotamento dell'elemento
M_{Ed}	0.61 [kNm]	momento sollecitante
Verifiche		
M_{Rd}	>	M_{Ed} VERIFICATO

Le verifiche a ribaltamento risultano verificate.

i.2) VALUTAZIONE DI SICUREZZA SISMICA (ANALISI DINAMICA LINEARE)

La valutazione della sicurezza sismica degli edifici esistenti si traduce nella determinazione della capacità, dipendente dalla resistenza massima e soprattutto dalla duttilità che le strutture sono in grado di esibire se soggette ad azioni orizzontali quali quelle sismiche.

Ciascuna verifica, la cui “domanda sismica” (sollecitazione da analisi) risulti maggiore della “capacità sismica” (resistenza), si ritiene non soddisfatta.

L'indice di sicurezza sismica ζ_E della struttura è definito come il rapporto tra l'azione sismica corrispondente al raggiungimento della capacità della struttura e la domanda sismica allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita. In caso di calcolo mediante analisi statica, la vulnerabilità sismica può essere calcolata come il rapporto tra resistenza ultima T_{Ri} e le sollecitazioni T_{Si} per ciascuna sottostruttura i-esima, il valore di vulnerabilità sismica da attribuire all'intera struttura è il minimo tra tutti quelli ottenuti su ciascuna sottostruttura: la vulnerabilità è dunque determinata dalla prima sottostruttura che raggiunge lo stato limite ultimo.

$$\zeta_E = \min \left\{ \frac{T_{Ri}}{T_{Si}} \right\}$$

Se si ottiene un indice di ζ_E inferiore all'unità la struttura non ha resistenza sufficiente a far fronte ad un evento sismico con intensità fissata dalle norme pertanto le verifiche risultano non soddisfatte; la carenza rispetto all'unità rappresenta il suo grado di inadeguatezza.

Pertanto, una volta determinata la sollecitazione che porta al raggiungimento dello stato limite ultimo SLV della prima sottostruttura, è possibile determinare l'accelerazione $PGA_C(SLV)$ che genera tale sollecitazione, per ciascuna direzione principale e tenuto conto del fattore di struttura. Rappresentando su un diagramma cartesiano in ascissa la accelerazione PGA ed in ordinata la vulnerabilità V, il valore $PGA_C(SLV)$ rappresenta il limite oltre il quale le verifiche di vulnerabilità vengono soddisfatte e quindi l'Unità Strutturale considerata risulta sicura.

La combinazione dei carichi considerata è quella quasi permanente e i tassi di lavoro dei materiali quelli indicati nel paragrafo 2.4 della presente trattazione.

La normativa attualmente vigente (NTC 2018) consente una diversa metodologia di verifica in funzione della tipologia strutturale dell'edificio in questione, pertanto, nei paragrafi seguenti verranno presentate le seguenti metodologie di valutazione della sicurezza sismica:

- **Verifica sismica mediante analisi dinamica lineare a spettro di risposta**: la necessità di verificare ogni singolo elemento facente parte del sistema resistente delle Unità Strutturali si traduce con l'esigenza di determinare, per ciascuno di essi, le azioni a cui viene sottoposto durante i sismi di progetto lungo due direzioni (x e y) tra di loro ortogonali.

Per stabilire l'azione sismica si utilizza la vita nominale per calcolare il tempo di ritorno dell'azione sismica, in funzione della probabilità di superamento PV_R per un dato stato limite.

Per l'analisi sismica si adottano i seguenti parametri in input (domanda):

Edificio esistente, Classe d'uso (§2.4.2): III
Coefficiente d'uso della costruzione C_U : 1.5
Dati in input (domanda): Vita Nominale V_N : 50 anni
Vita di Riferimento (§2.4.3) $V_R = V_N \cdot C_U$: 75 anni

PV_R per SLV (definita in input): 10 %

Si riportano nei capitoli a seguire le sollecitazioni e le verifiche sismiche degli elementi strutturali esistenti e quelli previsti da progetto, secondo normativa vigente.

i.2.1) Verifiche di sicurezza sismica SLV – Stato di fatto

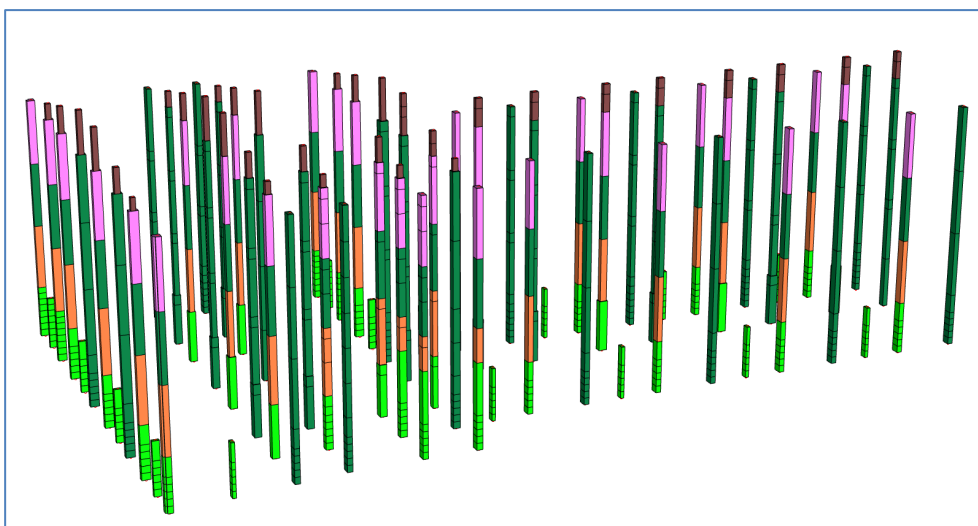
L'indice di sicurezza sismica è dato dal rapporto tra resistenza dell'elemento e sollecitazione applicata allo stesso. Per edifici di classe III ad uso scolastico e di classe IV, la normativa vigente (NTC 2018 § 8.4.2), richiede, in caso di interventi di miglioramento sulla struttura, il raggiungimento di un indice di sicurezza ζ_E non minore di 0,60.

Il modello strutturale utilizzato per il calcolo permette di estrapolare graficamente i risultati della verifica di sicurezza sismica e di evidenziare con colorazioni differenti gli elementi verticali sismo-resistenti che presentano problematiche in quanto non soddisfano le richieste normative.

Nei paragrafi seguenti vengono riportate le verifiche a pressoflessione e a taglio di tutti gli elementi sismo resistenti, ovvero, pilastri e setti in calcestruzzo armato-debolmente armato.

RAPPRESENTAZIONE SOLLECITAZIONI

Si espongono di seguito le caratteristiche di sollecitazione risultanti dall'analisi dinamica lineare.



Rappresentazione degli elementi strutturali verticali

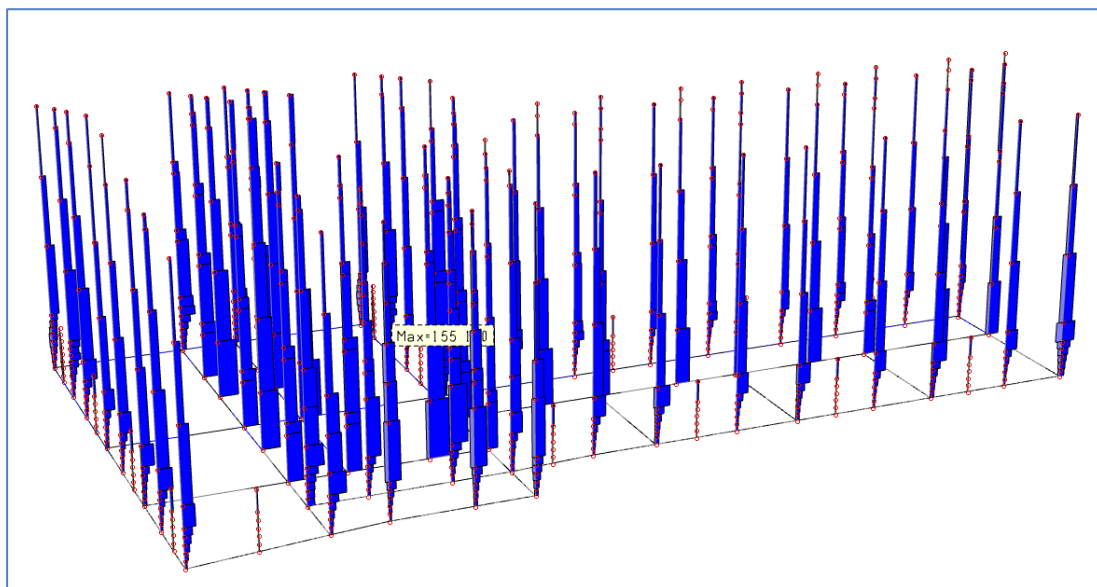


Diagramma sforzo normale Fx [daN] - Pilastri

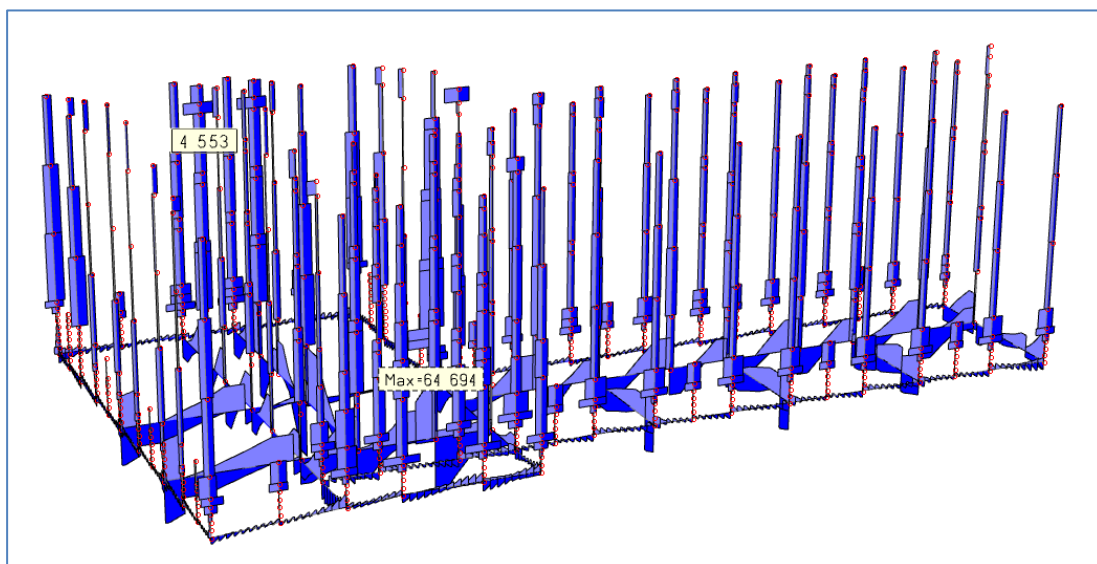


Diagramma sforzi a taglio Fy [daN] - Pilastri

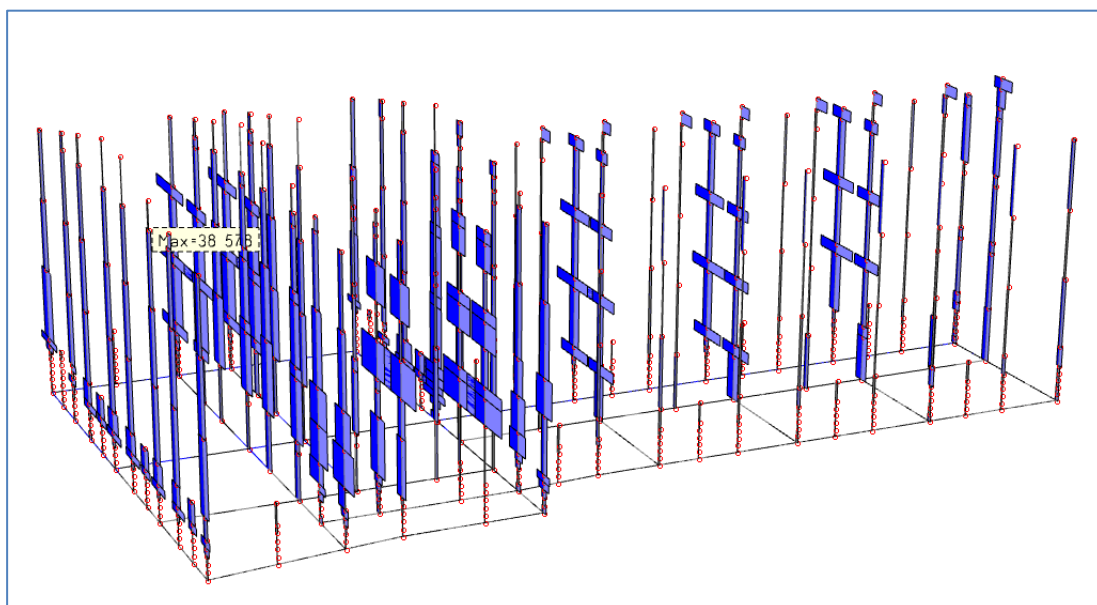


Diagramma sforzi a taglio Fz [daN] - Pilastri

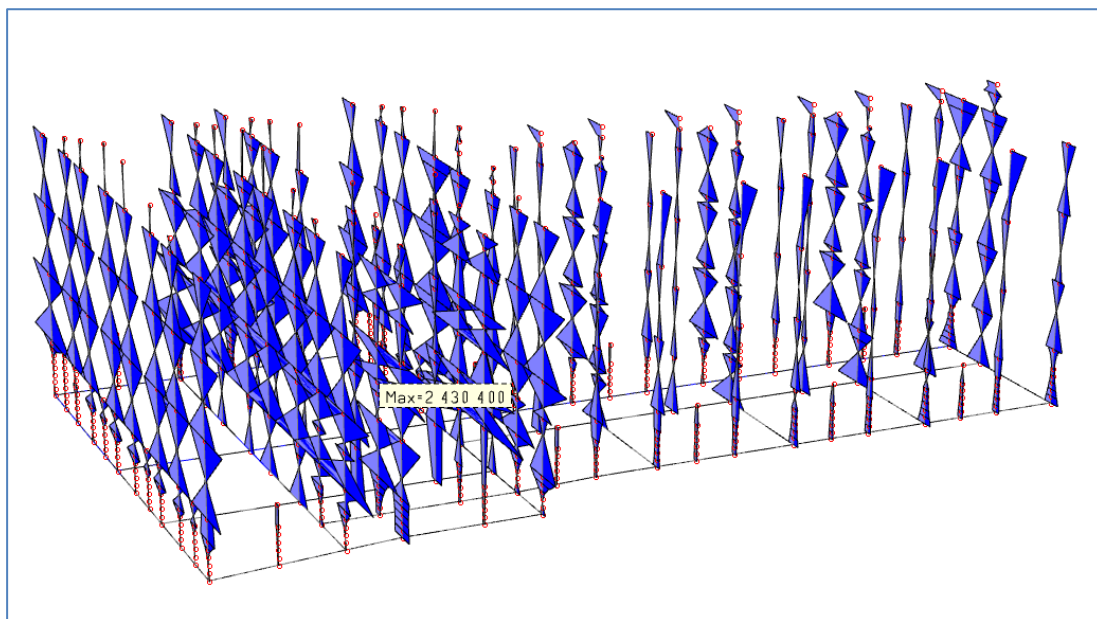


Diagramma Momento flettente My [daNcm] – Pilastri

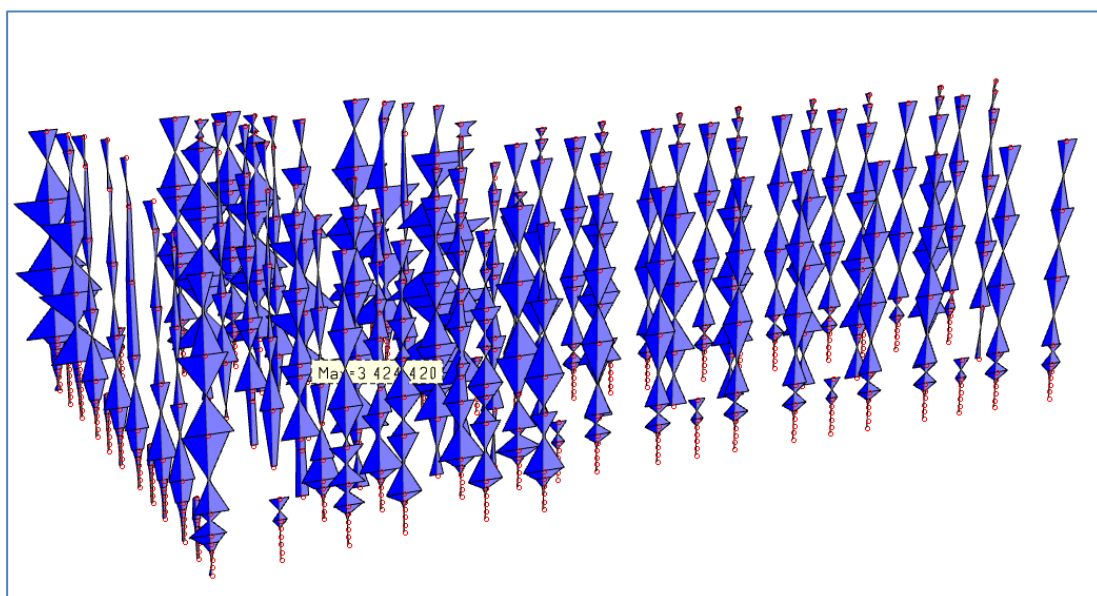
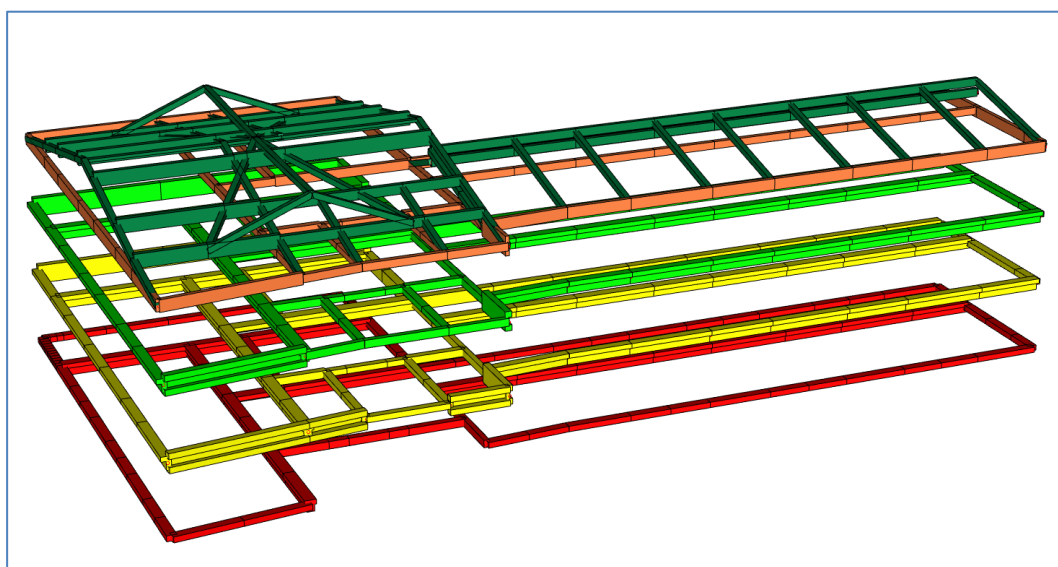


Diagramma Momento flettente Mz [daNcm] - Pilastri



Rappresentazione degli elementi strutturali orizzontali

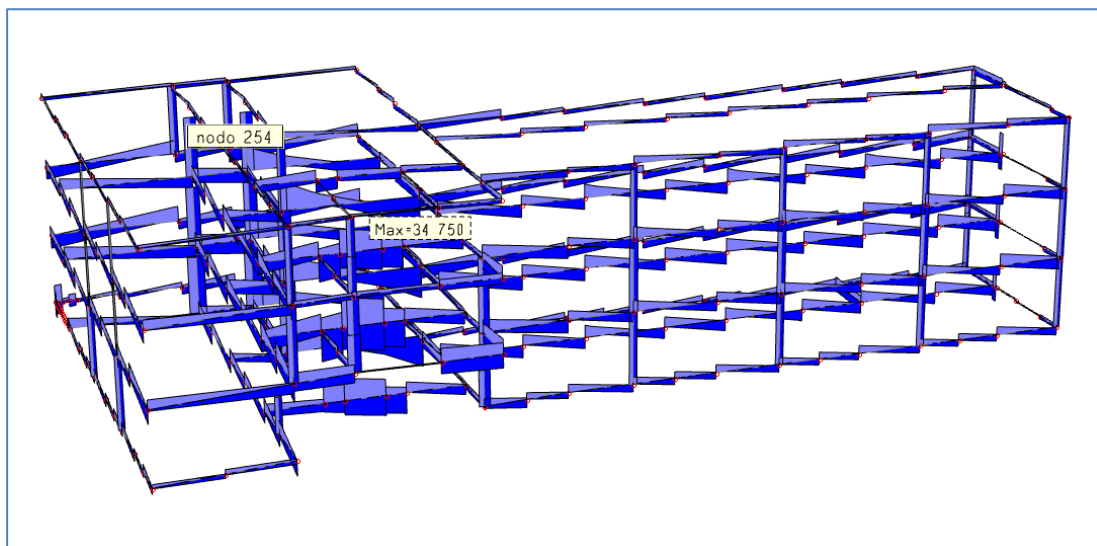


Diagramma sforzo a taglio F_y [daN] - Travi

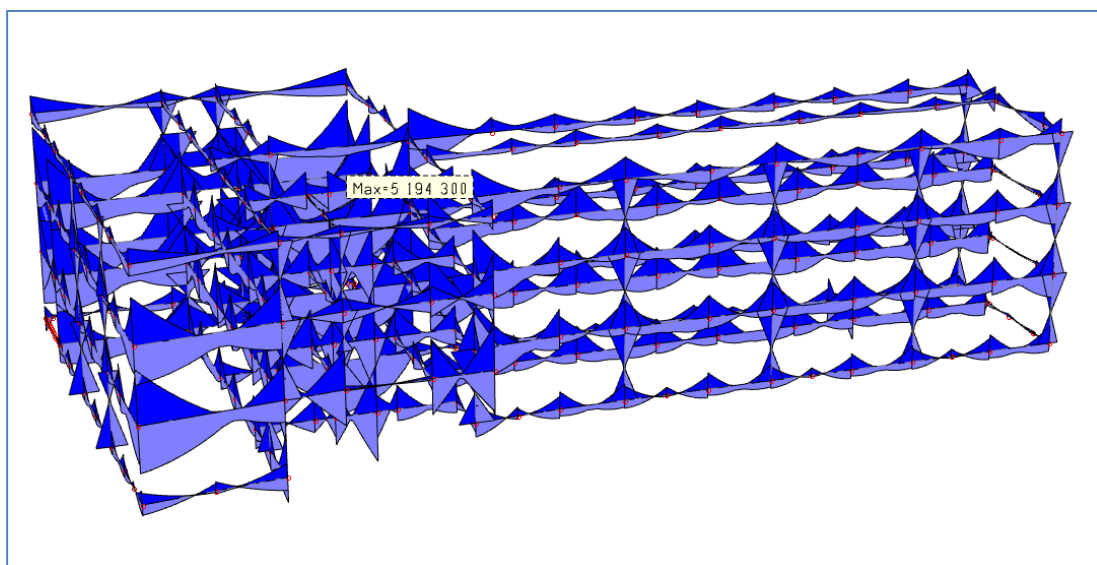
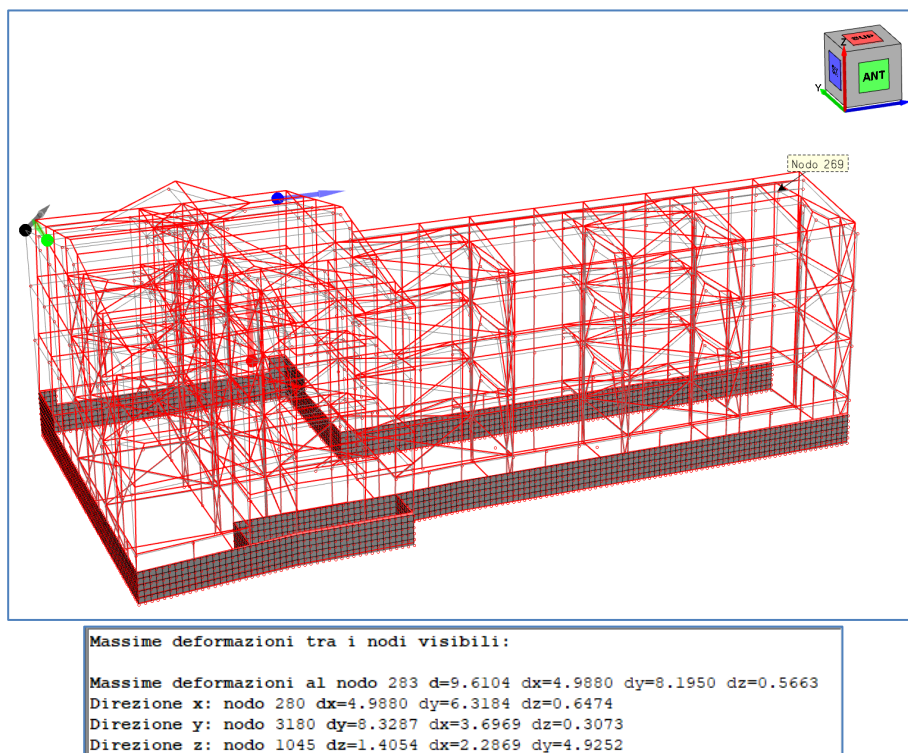
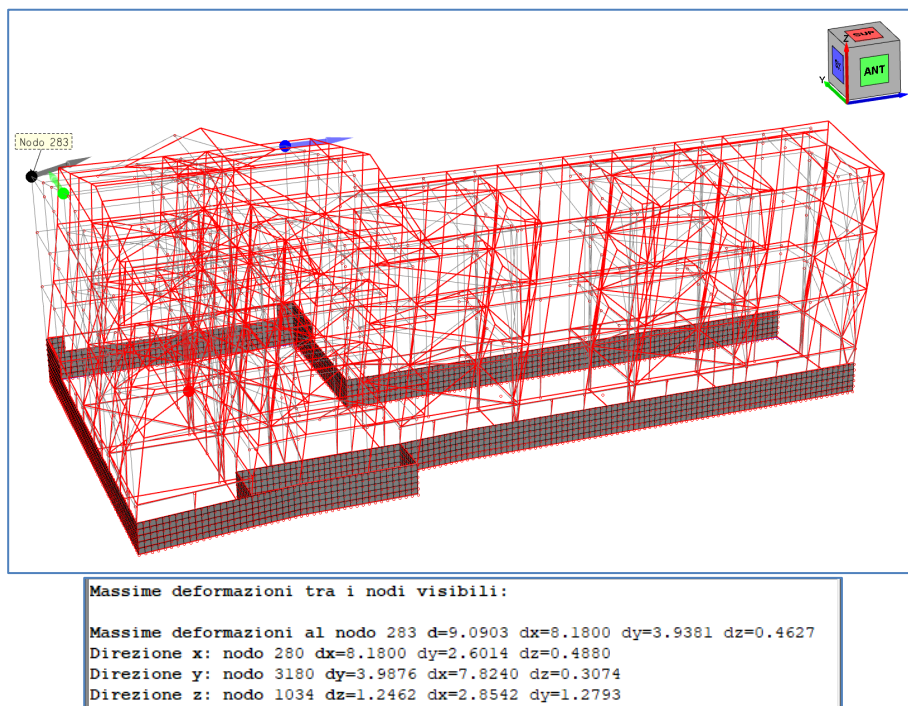


Diagramma Momento flettente M_z [daNcm] – Travi

i.2.2) Verifiche di sicurezza sismica SLV – Stato di progetto

RAPPRESENTAZIONE DEFORMATA - ANALISI DINAMICA LINEARE SLV

Si riporta di seguito la tabella degli inviluppi delle deformazioni nodali SLV maggiormente significative ottenute dall'analisi.



```

Nodo: 269
X:4938.13 Y:1504.91 Z:1463 (C.cartesiane)
R.:5162.35 Theta:16.9488 Z:1463 (C.cilindriche)
R.:5365.65 Theta:16.9488 Phi:74.1774 (C.sferiche)

      Gradi di libertà
uX slave Piano rigido XY
uY slave Piano rigido XY
uZ libero
rX libero
rY libero
rZ slave Piano rigido XY

      Relazioni Slave
Ux-Uy-Rz: Piano rigido orizzontale

Deformazione=7.95 dX=2.73 dY=7.44 dZ=0.68
Rotazione: rX=0.00150055 rY=0.000909384 rZ=0.00206883

```

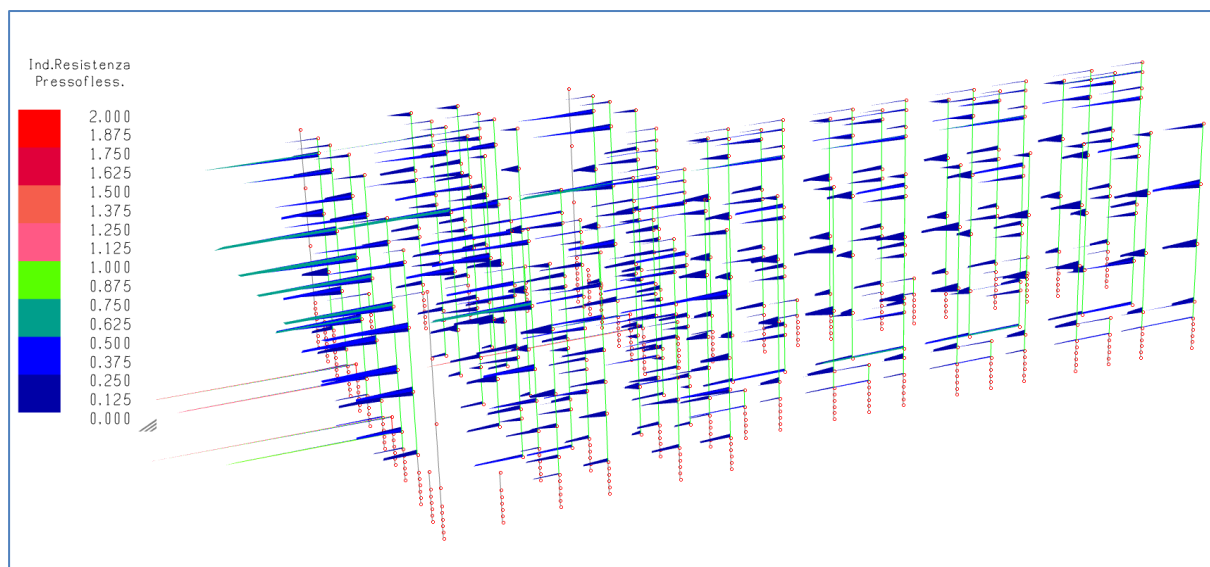
Involuppi dinamici SLV

Lo spostamento massimo rilevato agli SLV per il nodo 269, in adiacenza al corpo C e in direzione del giunto sismico (direzione X) è pari a 2.73cm, misura che si ritiene compatibile per evitare il martellamento tra il corpo B ed il corpo C. Pertanto, si ritiene possibile adeguare lo spessore del giunto in fase di progettazione ed esecuzione dei lavori di adeguamento del Corpo C, intervenendo sul telaio esistente individuato dai pilastri 56-57-58, da modificare e di conseguenza rinforzare con allargamento della sezione in c.a. e/o inserimento di ulteriore telaio, a completamento della struttura del Corpo C stesso; tale intervento non dovrà influire sulle strutture del corpo A-B, e si ritiene la soluzione più vantaggiosa in termini di incidenza sulle strutture (in particolare con riguardo alla copertura) e finiture esistenti (in particolare con riguardo agli infissi), oltre che di modalità esecutive e costi.

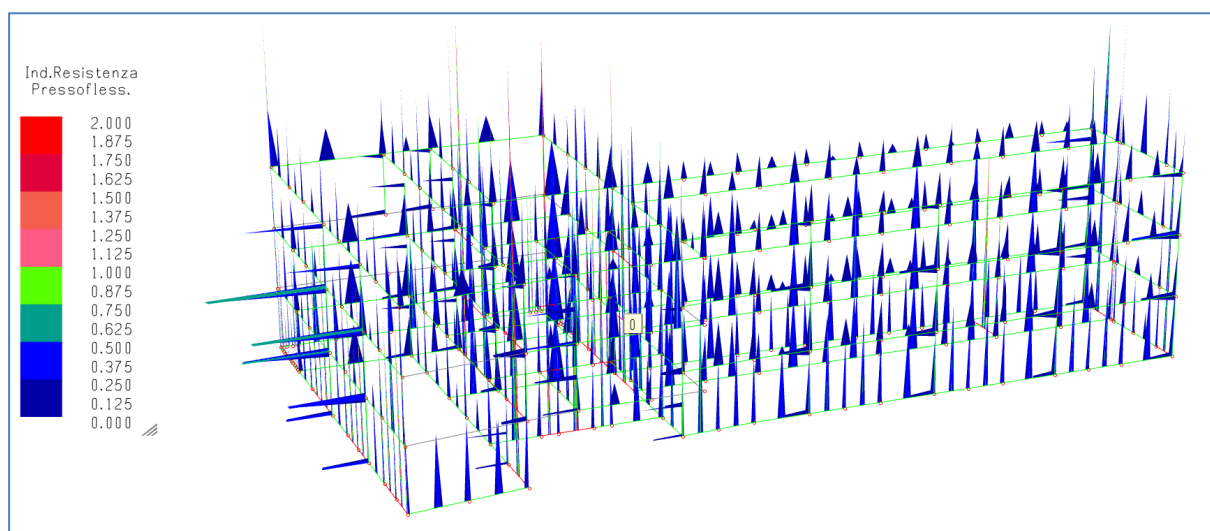
VERIFICHE dei MECCANISMI DUTTILI

Di seguito si riportano graficamente gli indici di resistenza forniti dal programma di calcolo, che esplicitano la verifica a pressoflessione, considerando i meccanismi di tipo duttile, degli elementi verticali sismo-resistenti (pilastri/setti) della struttura in esame, evidenziando il soddisfacimento delle verifiche di sicurezza per ciascuna tipologia di sezione tra quelle utilizzati (rappresentando per le aste con la medesima sezione quella con il più alto indice di sfruttamento).

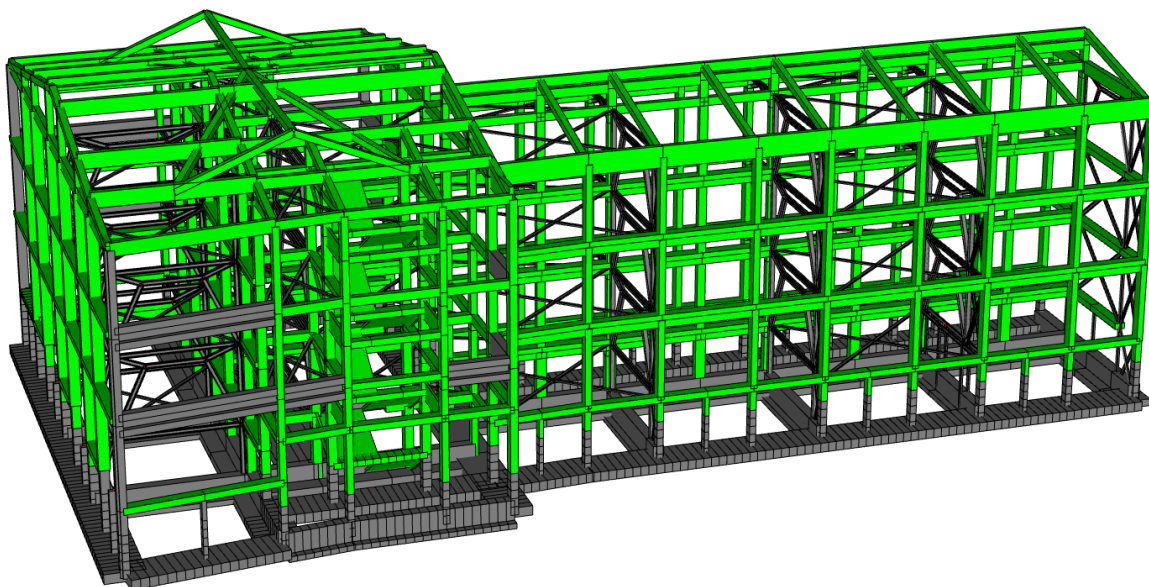
Gli elementi con valore massimo minore di 1, colorati di verde o blu, rispettano l'indice di sicurezza sismico ζ_E allo Stato di Progetto per meccanismi duttili.



Indici di resistenza per meccanismi Duttili – Pilastri



Indici di resistenza per meccanismi Duttili – Travi

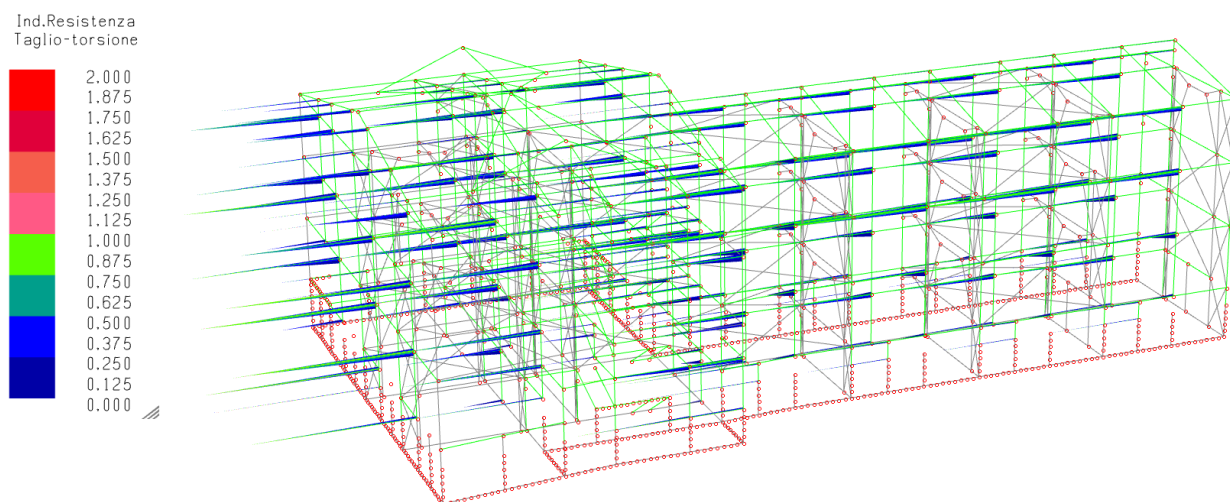


Verifica di resistenza per meccanismi Duttili – Modello globale

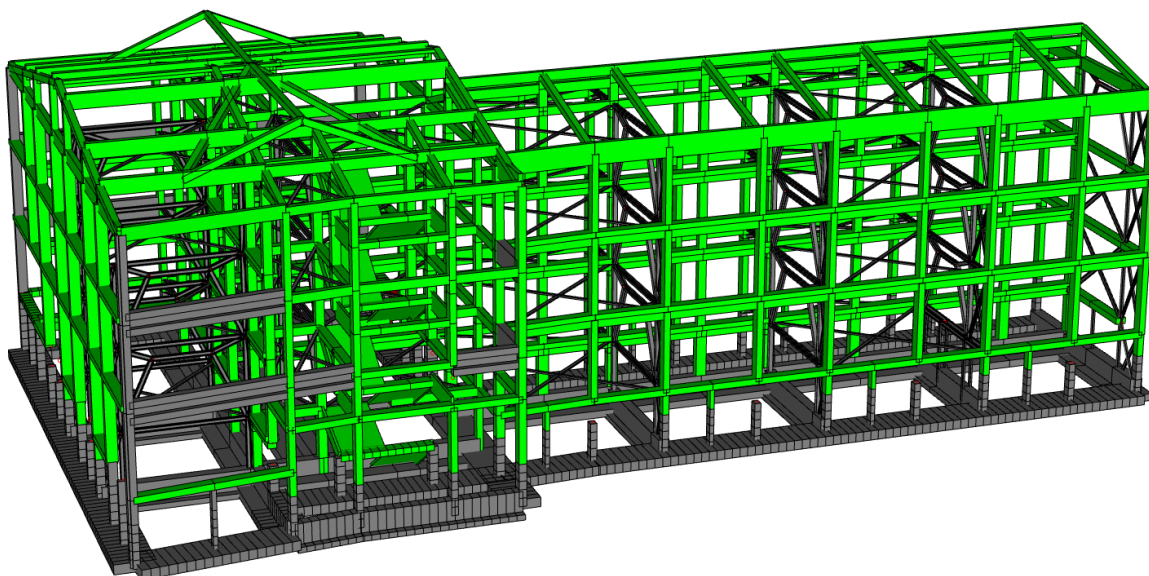
VERIFICHE dei MECCANISMI FRAGILI

Di seguito si riportano graficamente gli indici di resistenza forniti dal programma di calcolo, che esplicitano la verifica a taglio-torsione, considerando i meccanismi di tipo fragile, degli elementi orizzontali sismo-resistenti (travi) della struttura in esame, evidenziando il soddisfacimento delle verifiche di sicurezza per ciascuna tipologia di sezione tra quelle utilizzati (rappresentando per le aste con la medesima sezione quella con il più alto indice di sfruttamento).

Gli elementi con valore massimo minore di 1, colorati di verde o blu, rispettano l'indice di sicurezza sismico ζ_E allo Stato di Progetto per meccanismi fragili.



Indici di resistenza per meccanismi Fragili – Modello globale



Verifica di resistenza per meccanismi Fragili – Modello globale

Verifiche di sicurezza: descrizione della metodologia

Nel caso in esame le verifiche di sicurezza globali allo stato limite di salvaguardia della vita mostrano una **capacità** di spostamento inferiore alla **domanda** di spostamento per diversi “*load cases*” analizzati. L'**Indicatore di rischio**, consistente nel rapporto tra Capacità e Domanda in termini di PGA, costituisce il risultato in sintesi dell'analisi sismica dell'edificio e mostra per ciascun “*load cases*” il livello di sicurezza che raggiunge la nostra struttura relativamente alle azioni sismiche prescritte dalla normativa. Quando l'indice è superiore ad “1” (100%) significa che la struttura risulta verificata per quella determinata azione sismica. Sulla base delle informazioni ottenute sul fabbricato i risultati emersi dall'analisi mostrano il livello di sicurezza atteso per la tipologia costruttiva.

L'**Indicatore di rischio**, consistente nel rapporto tra Capacità e Domanda in termini di PGA, costituisce il risultato in sintesi dell'analisi sismica dell'edificio e mostra per ciascun “*loadcases*” il livello di sicurezza che raggiunge la nostra struttura relativamente alle azioni sismiche prescritte dalla normativa. Quando l'indice è superiore ad “1” (100%) significa che la struttura risulta verificata per quella determinata azione sismica. Sulla base delle informazioni ottenute sul fabbricato i risultati emersi dall'analisi mostrano il livello di sicurezza atteso per la tipologia costruttiva.

Il calcolo dell'indicatore di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni: a) capacità $\geq$ domanda (in termini di spostamento); b) q^* (rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente) ≤ 3.0 (§7.8.1.6). Per tutti gli stati limite di riferimento (SLO, SLD e SLV), esso può essere espresso sia in termini di PGA che di TR; i due valori non sono uguali data la non linearità del legame fra PGA e TR, ma in ogni caso sono contemporaneamente maggiori o minori di 1. Per gli indicatori di rischio in termini di TR può essere richiesta (ad. es.: Regione Toscana, Istruzioni tecniche per edifici pubblici strategici e rilevanti) l'espressione con elevamento a potenza al coefficiente $a=0.41$ (derivato dall'analisi statistica delle curve di pericolosità a livello

nazionale) al fine di ottenere una scala analoga a quella degli indicatori in PGA.

Il risultato coincide con il minimo indicatore di rischio fra tutte le verifiche eseguite per lo Stato Limite considerato. In particolare:

- Per **SLO**, le verifiche sono solo per spostamenti ed il risultato può non essere considerato per costruzioni di Classe I e II.
- Per **SLD**: per costruzioni di Classe III e IV, il valore minimo dell'indicatore è valutato sulle verifiche sia per spostamenti sia per resistenza, mentre per le altre costruzioni (Classe I e II) è valutato solo sulle verifiche per spostamenti, ignorando i risultati delle verifiche a SLD per resistenza. In ogni caso, quindi, il valore dell'indicatore dovrà essere sempre considerato.
- Per **SLV**, le verifiche sono solo per resistenza ed il risultato dovrà essere sempre considerato, qualunque sia la Classe della costruzione.

La **completezza dei risultati** è assicurata nei seguenti casi:

a) Analisi lineare (statica o dinamica): si è eseguita l'analisi; il fattore q può essere tratto dalla Normativa (senza quindi la necessità di un'analisi pushover); si sono inoltre calcolati i cinematismi.

b) Analisi pushover: si è eseguita l'analisi; si è quindi eseguita un'analisi lineare (statica o dinamica) utilizzando, per le verifiche allo stato limite ultimo, il fattore q calcolato in analisi pushover; si sono inoltre calcolati i cinematismi.

Per quanto riguarda l'**intervallo di calcolo dei periodi di ritorno**: il D.M. 17.1.2018 definisce un periodo di ritorno compreso tra 30 e 2475 anni. Se dal calcolo risulta una capacità in termini di TR superiore a 2475 anni, si pone $TR=2475$ come limite superiore. Per quanto riguarda il limite inferiore, è possibile considerare valori di TR minori di 30 anni con riferimento al Programma di ricerca DPC-ReLUI (Unità di Ricerca CNR-ITC): viene adottata un'estrapolazione mediante una regressione sui tre valori di hazard $ag(30)$, $ag(50)$ e $ag(75)$, effettuata con la funzione di potenza: $ag(TR)=k \cdot TR^\alpha$. L'intervallo di calcolo di TR è quindi $[1, 2475]$; ne consegue che la capacità in termini di PGA può assumere anche valori minori di quello corrispondente a $TR=30$ anni.

La **capacità della struttura in termini di Vita Nominale (V_{NC})** si identifica con la Vita Nominale che è possibile assegnare alla struttura, in conseguenza del periodo di ritorno sostenibile TR_{CLV} , mantenendo nel corrispondente periodo di riferimento $V_{RC} (=V_{NC} \cdot C_U)$ la probabilità di superamento PV_R definita in input per lo Stato Limite ultimo SLV. Per una valutazione del valore ottenuto per V_{NC} relativa a beni monumentali, si tenga presente che valori della vita nominale maggiori di 20 anni possono considerarsi ammissibili per un manufatto tutelato (§2.4 Direttiva P.C.M 9.2.2011). Se risulta: $TR_{CLV} \geq 2475$ anni, si potrà considerare un valore della vita nominale $\geq$ del limite V_{NC} riportato nella scheda (corrispondente a $TR=2475$ anni: $V_{NC} \geq 2475 \cdot -\ln(1-PV_R) / C_U$).

i.3) VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

i.3.1) Verifiche agli SLU - Stato di fatto:

Effetti della NON LINEARITÀ GEOMETRICHE (§7.3.1)

La non linearità geometrica è trascurabile, per edifici civili e industriali, qualora, ad ogni orizzontamento, si abbia che:

$$\vartheta = P \cdot dr / V \cdot h \leq 0,1$$

Si riporta il tabulato della “verifica di non linearità geometrica” calcolato da MasterSap dove sono indicati gli spostamenti medi del piano (ΔX e ΔY), gli spostamenti di interpiano drX e drY , le forze taglianti orizzontali FX e FY (indicate con V nell’espressione della norma), il carico verticale di compressione FZ (cioè P), ed infine i due coefficienti ϑX e ϑY , che rappresentano l’esito finale del calcolo.

ANALISI DEL SECONDO ORDINE

Nome archivio di lavoro : ITS Oriani Stato attuale
Intestazione del lavoro : ITS Oriani - Adeguamento sismico
Tipo di analisi : Statica e Dinamica
Unità' di misura delle Forze : kg
Unità' di misura Lunghezze : cm
Sisma lungo l'asse Z : No
Combinazione dei modi : CQC
Combinazione componenti azioni sismiche : Eurocodice 8
 λ : 0.3
 μ : 0.3

*** analisi alla quota: 0.000

Gruppo di copertura: Travi Pianerottolo PT altezza interpiano: 199.00
Gruppo di copertura: Travi P1 altezza interpiano: 308.00
Gruppo di copertura: Travi Pianerottolo 1 altezza interpiano: 499.00
Gruppo di copertura: Travi P2 altezza interpiano: 693.00
Gruppo di copertura: Scala altezza interpiano: 707.69
Gruppo di copertura: Travi Pianerottolo 2 altezza interpiano: 884.00
Gruppo di copertura: Travi P3 altezza interpiano: 1078.00
Gruppo di copertura: Travi Pianerottolo 3 altezza interpiano: 1269.00
Gruppo di copertura: Travi P4 altezza interpiano: 1463.00
Gruppo di copertura: Travi Copertura altezza interpiano: 1575.33

altezza media di interpiano: 867.60

C.C	Δ_X [cm]	Δ_Y [cm]	d_{rx} [cm]	d_{ry} [cm]	FX	FY	FZ	ϑ_X	ϑ_Y
1	0.00	0.00	0.02	-0.07	830.59	5187.43	7556319.00	0.00	0.00
2 Statica+(EX+ λ *EY)	0.00	0.00	-3.33	-1.31	527591.62	216034.98	5158476.00	0.04	0.04
2 Statica+(λ *EX+EY)	0.00	0.00	-1.61	-3.47	337826.25	461261.22	5158476.00	0.03	0.04
3 Statica+(EX+ λ *EY)	0.00	0.00	-3.33	-1.31	527591.62	216034.98	5158476.00	0.04	0.04
3 Statica+(λ *EX+EY)	0.00	0.00	-1.61	-3.47	337826.25	461261.22	5158476.00	0.03	0.04
4 Statica+(EX+ λ *EY)	0.00	0.00	-3.33	-1.31	527591.62	216034.98	5158476.00	0.04	0.04
4 Statica+(λ *EX+EY)	0.00	0.00	-1.61	-3.47	337826.25	461261.22	5158476.00	0.03	0.04
5 Statica+(EX+ λ *EY)	0.00	0.00	-3.33	-1.31	527591.62	216034.98	5158476.00	0.04	0.04
5 Statica+(λ *EX+EY)	0.00	0.00	-1.61	-3.47	337826.25	461261.22	5158476.00	0.03	0.04
6 Statica+(EX+ λ *EY)	0.00	0.00	-3.33	-1.31	527591.62	216034.98	5158476.00	0.04	0.04
6 Statica+(λ *EX+EY)	0.00	0.00	-1.61	-3.47	337826.25	461261.22	5158476.00	0.03	0.04
7 Statica+(EX+ λ *EY)	0.00	0.00	-3.33	-1.31	527591.62	216034.98	5158476.00	0.04	0.04
7 Statica+(λ *EX+EY)	0.00	0.00	-1.61	-3.47	337826.25	461261.22	5158476.00	0.03	0.04
8 Statica+(EX+ λ *EY)	0.00	0.00	-3.33	-1.31	527591.62	216034.98	5158476.00	0.04	0.04
8 Statica+(λ *EX+EY)	0.00	0.00	-1.61	-3.47	337826.25	461261.22	5158476.00	0.03	0.04
9 Statica+(EX+ λ *EY)	0.00	0.00	-3.33	-1.31	527591.62	216034.98	5158476.00	0.04	0.04
9 Statica+(λ *EX+EY)	0.00	0.00	-1.61	-3.47	337826.25	461261.22	5158476.00	0.03	0.04
10 Statica+(EX+ λ *EY)	0.00	0.00	-3.33	-1.31	527591.62	216034.98	5158476.00	0.04	0.04
10 Statica+(λ *EX+EY)	0.00	0.00	-1.61	-3.47	337826.25	461261.22	5158476.00	0.03	0.04
11 Statica+(EX+ λ *EY)	0.00	0.00	-3.33	-1.31	527591.62	216034.98	5158476.00	0.04	0.04
11 Statica+(λ *EX+EY)	0.00	0.00	-1.61	-3.47	337826.25	461261.22	5158476.00	0.03	0.04
12 Statica+(EX+ λ *EY)	0.00	0.00	-3.33	-1.31	527591.62	216034.98	5158476.00	0.04	0.04
12 Statica+(λ *EX+EY)	0.00	0.00	-1.61	-3.47	337826.25	461261.22	5158476.00	0.03	0.04
13 Statica+(EX+ λ *EY)	0.00	0.00	-3.33	-1.31	527591.62	216034.98	5158476.00	0.04	0.04
13 Statica+(λ *EX+EY)	0.00	0.00	-1.61	-3.47	337826.25	461261.22	5158476.00	0.03	0.04
14 Statica+(EX+ λ *EY)	0.00	0.00	-3.33	-1.31	527591.62	216034.98	5158476.00	0.04	0.04
14 Statica+(λ *EX+EY)	0.00	0.00	-1.61	-3.47	337826.25	461261.22	5158476.00	0.03	0.04
15 Statica+(EX+ λ *EY)	0.00	0.00	-3.33	-1.31	527591.62	216034.98	5158476.00	0.04	0.04
15 Statica+(λ *EX+EY)	0.00	0.00	-1.61	-3.47	337826.25	461261.22	5158476.00	0.03	0.04
16 Statica+(EX+ λ *EY)	0.00	0.00	-3.33	-1.31	527591.62	216034.98	5158476.00	0.04	0.04
16 Statica+(λ *EX+EY)	0.00	0.00	-1.61	-3.47	337826.25	461261.22	5158476.00	0.03	0.04
17 Statica+(EX+ λ *EY)	0.00	0.00	-3.33	-1.31	527591.62	216034.98	5158476.00	0.04	0.04
17 Statica+(λ *EX+EY)	0.00	0.00	-1.61	-3.47	337826.25	461261.22	5158476.00	0.03	0.04
18	0.00	0.00	0.02	-0.05	596.84	3786.87	5649498.00	0.00	0.00
19	0.00	0.00	0.02	-0.04	571.57	2948.22	5275662.00	0.00	0.00
20	0.00	0.00	0.02	-0.04	557.70	2731.85	5158476.00	0.00	0.00

CONTROLLO REGOLARITÀ DELLA VARIAZIONE DELLA RIGIDEZZA LATERALE IN ALTEZZA

	Quota [cm]	Rigidezza laterale X [kg/cm]	Variazione [%]	Rigidezza laterale Y [kg/cm]	Variazione [%]
Livello 0	0	183861.61	---	146426.70	---

RIPARTIZIONE DELLE AZIONI TAGLIANTI AI PIANI

*** Piano rigido alla quota: 0.000

C.C	FX(Tot)	FX(Pil.)	(%)	FX(Setti)	(%)	FX(Pareti)	(%)	FY(Tot)	FY(Pil.)	(%)	FY(Setti)	(%)	FY(Pareti)	(%)
2 Statica+(EX+λ*EY)	527592	145866	28	2831	1	378895	72	216035	71374	33	30003	14	114659	53
2 Statica+(λ*EX+EY)	337826	65160	19	4808	1	267858	79	461261	174606	38	49145	11	237511	51
3 Statica+(EX+λ*EY)	527592	145866	28	2831	1	378895	72	216035	71374	33	30003	14	114659	53
3 Statica+(λ*EX+EY)	337826	65160	19	4808	1	267858	79	461261	174606	38	49145	11	237511	51
4 Statica+(EX+λ*EY)	527592	145866	28	2831	1	378895	72	216035	71374	33	30003	14	114659	53
4 Statica+(λ*EX+EY)	337826	65160	19	4808	1	267858	79	461261	174606	38	49145	11	237511	51
5 Statica+(EX+λ*EY)	527592	145866	28	2831	1	378895	72	216035	71374	33	30003	14	114659	53
5 Statica+(λ*EX+EY)	337826	65160	19	4808	1	267858	79	461261	174606	38	49145	11	237511	51
6 Statica+(EX+λ*EY)	527592	145866	28	2831	1	378895	72	216035	71374	33	30003	14	114659	53
6 Statica+(λ*EX+EY)	337826	65160	19	4808	1	267858	79	461261	174606	38	49145	11	237511	51
7 Statica+(EX+λ*EY)	527592	145866	28	2831	1	378895	72	216035	71374	33	30003	14	114659	53
7 Statica+(λ*EX+EY)	337826	65160	19	4808	1	267858	79	461261	174606	38	49145	11	237511	51
8 Statica+(EX+λ*EY)	527592	145866	28	2831	1	378895	72	216035	71374	33	30003	14	114659	53
8 Statica+(λ*EX+EY)	337826	65160	19	4808	1	267858	79	461261	174606	38	49145	11	237511	51
9 Statica+(EX+λ*EY)	527592	145866	28	2831	1	378895	72	216035	71374	33	30003	14	114659	53
9 Statica+(λ*EX+EY)	337826	65160	19	4808	1	267858	79	461261	174606	38	49145	11	237511	51
10 Statica+(EX+λ*EY)	527592	145866	28	2831	1	378895	72	216035	71374	33	30003	14	114659	53
10 Statica+(λ*EX+EY)	337826	65160	19	4808	1	267858	79	461261	174606	38	49145	11	237511	51
11 Statica+(EX+λ*EY)	527592	145866	28	2831	1	378895	72	216035	71374	33	30003	14	114659	53
11 Statica+(λ*EX+EY)	337826	65160	19	4808	1	267858	79	461261	174606	38	49145	11	237511	51
12 Statica+(EX+λ*EY)	527592	145866	28	2831	1	378895	72	216035	71374	33	30003	14	114659	53
12 Statica+(λ*EX+EY)	337826	65160	19	4808	1	267858	79	461261	174606	38	49145	11	237511	51
13 Statica+(EX+λ*EY)	527592	145866	28	2831	1	378895	72	216035	71374	33	30003	14	114659	53
13 Statica+(λ*EX+EY)	337826	65160	19	4808	1	267858	79	461261	174606	38	49145	11	237511	51
14 Statica+(EX+λ*EY)	527592	145866	28	2831	1	378895	72	216035	71374	33	30003	14	114659	53
14 Statica+(λ*EX+EY)	337826	65160	19	4808	1	267858	79	461261	174606	38	49145	11	237511	51
15 Statica+(EX+λ*EY)	527592	145866	28	2831	1	378895	72	216035	71374	33	30003	14	114659	53
15 Statica+(λ*EX+EY)	337826	65160	19	4808	1	267858	79	461261	174606	38	49145	11	237511	51
16 Statica+(EX+λ*EY)	527592	145866	28	2831	1	378895	72	216035	71374	33	30003	14	114659	53
16 Statica+(λ*EX+EY)	337826	65160	19	4808	1	267858	79	461261	174606	38	49145	11	237511	51
17 Statica+(EX+λ*EY)	527592	145866	28	2831	1	378895	72	216035	71374	33	30003	14	114659	53
17 Statica+(λ*EX+EY)	337826	65160	19	4808	1	267858	79	461261	174606	38	49145	11	237511	51

Verifiche RIG in termini di contenimento del danno (SLD)

Secondo quanto indicato al §7.3.6.1 NTC2018, la condizione in termini di rigidezza sulla struttura si ritiene soddisfatta qualora la conseguente deformazione degli elementi strutturali non produca sugli elementi non strutturali danni tali da rendere la costruzione temporaneamente inagibile.

Nel caso delle costruzioni civili e industriali, qualora la temporanea inagibilità sia dovuta a spostamenti di interpiano eccessivi, questa condizione si può ritenere soddisfatta quando gli spostamenti di interpiano ottenuti dall'analisi in presenza dell'azione sismica di progetto corrispondente allo SL e alla CU considerati siano inferiori ai limiti indicati nel seguito.

7.3.6.1 ELEMENTI STRUTTURALI (ST)

VERIFICHE DI RIGIDEZZA (RIG)

La condizione in termini di rigidezza sulla struttura si ritiene soddisfatta qualora la conseguente deformazione degli elementi strutturali non produca sugli elementi non strutturali danni tali da rendere la costruzione temporaneamente inagibile.

Nel caso delle costruzioni civili e industriali, qualora la temporanea inagibilità sia dovuta a spostamenti di interpiano eccessivi, questa condizione si può ritenere soddisfatta quando gli spostamenti di interpiano ottenuti dall'analisi in presenza dell'azione sismica di progetto corrispondente allo SL e alla CU considerati siano inferiori ai limiti indicati nel seguito.

Per le CU I e II ci si riferisce allo *SLD* (v. Tab. 7.3.III) e deve essere:

a) per tamponature collegate rigidamente alla struttura, che interferiscono con la deformabilità della stessa:

$$qd_r \leq 0,0050 \cdot h \quad \text{per tamponature fragili} \quad [7.3.11a]$$

$$qd_r \leq 0,0075 \cdot h \quad \text{per tamponature duttili} \quad [7.3.11b]$$

b) per tamponature progettate in modo da non subire danni a seguito di spostamenti d'interpiano d_{rp} , per effetto della loro deformabilità intrinseca oppure dei collegamenti alla struttura:

$$qd_r \leq d_{rp} \leq 0,0100 \cdot h \quad [7.3.12]$$

c) per costruzioni con struttura portante di muratura ordinaria

$$qd_r \leq 0,0020 \cdot h \quad [7.3.13]$$

d) per costruzioni con struttura portante di muratura armata

$$qd_r \leq 0,0030 \cdot h \quad [7.3.14]$$

e) per costruzioni con struttura portante di muratura confinata

$$qd_r < 0,0025 \cdot h \quad [7.3.15]$$

dove:

d_r è lo spostamento di interpiano, cioè la differenza tra gli spostamenti del solaio superiore e del solaio inferiore, calcolati, nel caso di analisi lineare, secondo il § 7.3.3.3 o, nel caso di analisi non lineare, secondo il § 7.3.4, sul modello di calcolo non comprensivo delle tamponature,

h è l'altezza del piano.

Per le CU III e IV ci si riferisce allo *SLO* (v. Tab. 7.3.III) e gli spostamenti d'interpiano devono essere inferiori ai 2/3 dei limiti in precedenza indicati.

Stato Limite di Operatività SLO

Per le CU III e IV ci si riferisce allo *SLO* (v. Tab. 7.3.III) e gli spostamenti d'interpiano devono essere inferiori ai 2/3 dei limiti indicati:

$$d_r \leq \frac{2}{3} \cdot 0,005 \cdot h = 0,0033 \cdot h$$

per tamponature fragili, collegate rigidamente alla struttura, che interferiscono con la deformabilità

dove:

d_r è lo spostamento di interpiano, cioè la differenza tra gli spostamenti del solaio superiore e del solaio inferiore, calcolati, nel caso di analisi lineare, secondo il § 7.3.3.3 o, nel caso di analisi non lineare, secondo il § 7.3.4, sul modello di calcolo non comprensivo delle tamponature, h è l'altezza del piano.

La verifica agli *SLO* (in termini di contenimento del danno agli elementi non strutturali) risulta soddisfatta in quanto gli spostamenti di interpiano sono inferiori al limite di $0,0033h$.

Si dichiara che gli spostamenti strutturali e le accelerazioni da cui essi derivano, prodotti dalle azioni relative allo Stato Limite Operativo, sono tali da non produrre alcuna interruzione dell'uso degli impianti di cui si prevede l'installazione all'interno del fabbricato ricadente in classe d'uso III.

Per poter determinare il massimo spostamento di interpiano, si sono ricavati gli spostamenti relativi a ciascun impalcato, generati dall'azione sismica agente sia in direzione X che in direzione Y. Ciascuna delle due azioni considerate genera uno spostamento in direzione X (Drift X) ed uno spostamento in direzione Y (Drift Y).

In particolare nei tabulati di calcolo sono riportate le seguenti informazioni in formato tabellare:

- Load Case: Unit load case/combination
- Story: Story ID
- Story Height: Story Height
- Allowable Story Drift Ratio

Vengono eseguite le seguenti verifiche:

1. Maximum Drifts of All Vertical Elements (Maximum drifts are produced for each story):

- Node: Node numbers corresponding to the maximum story drifts at each story level
- Story Drift: Incremental lateral displacement over two consecutive story levels
- Modified Drift: Incremental factor for P-Delta effect * Deflection Amplification Factor * Story Drift * Scale Factor / Importance Factor
- Story Drift Ratio: Modified Drift / Story height
- Remark: Acceptance of story drift ratio relative to the allowable story drift ratio

2. Drift at the Center of Mass (Difference in lateral displacements at the centers of mass at top and bottom ends is produced):

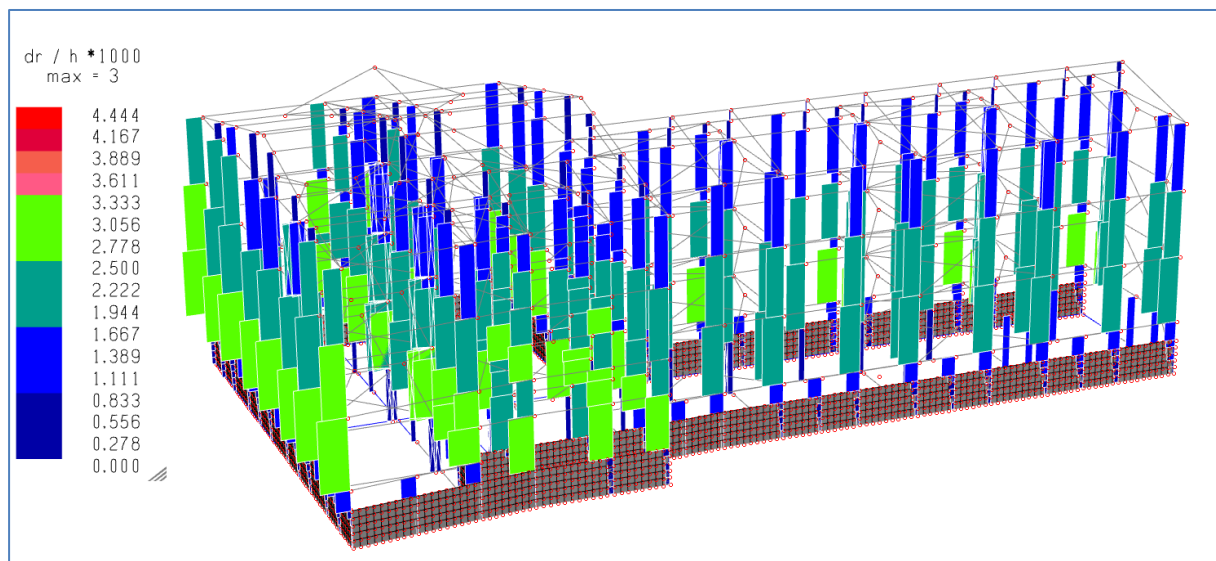
- Drift Factor (Maximum / Current): Maximum story drift / Story drift at center of mass
- Refer to Maximum Drift for the remainder.

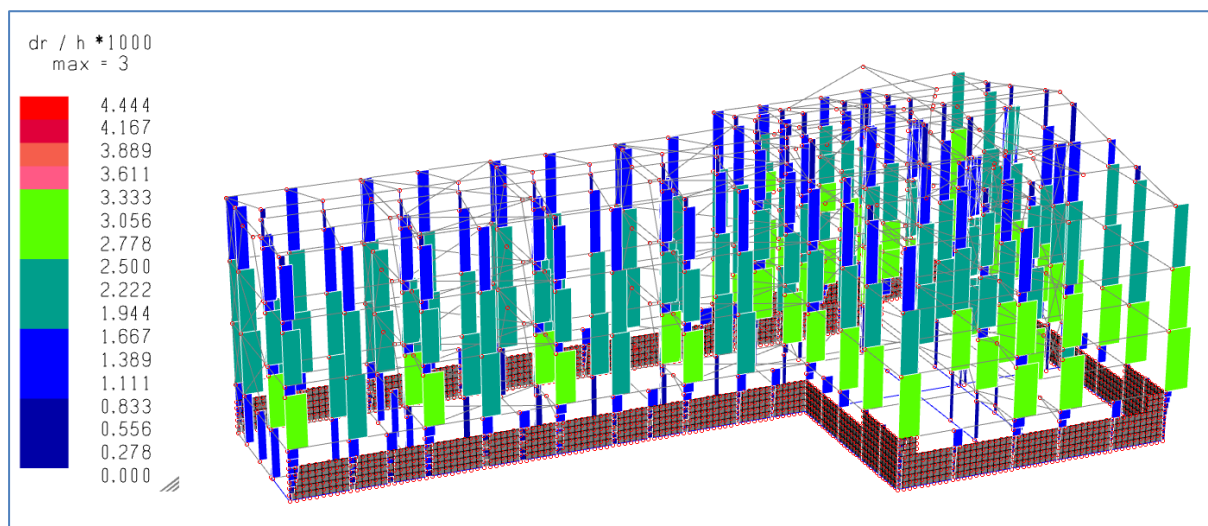
Quando i rapporti superano il limite impostato, nella colonna "Remark" compare la scritta in rosso "Irregular".

Di seguito si riportano, in forma tabellare, i risultati della verifica dello spostamento allo Stato Limite di Operatività (SLO), eseguiti per ogni Unità Strutturale, dove:

- NG esplicita una verifica di spostamento non soddisfatta (il massimo drift è maggiore dello 0,33%);
- OK esplicita che la verifica di spostamento è soddisfatta (il massimo drift è inferiore a 0,33%).

Infine, sono riportati gli schemi strutturali che mostrano gli spostamenti nelle due direzioni, valutati nella condizione di Stato Limite di Operatività (SLO):





Diagrammi dei rapporti $dr/h * 1000$ (SLO)

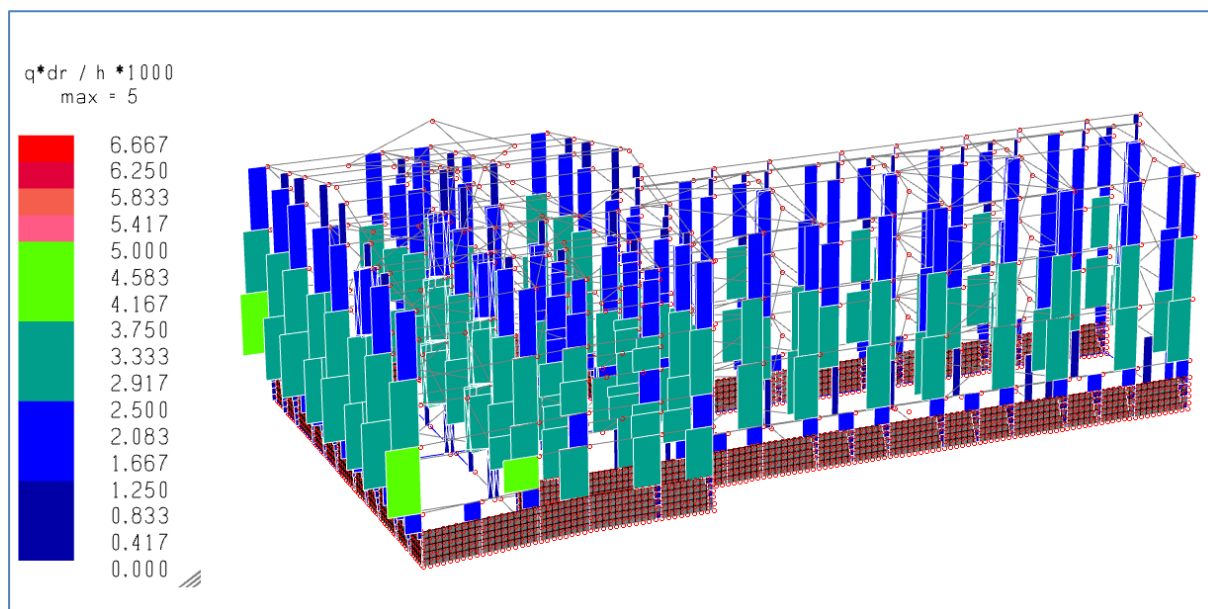
Dalle verifiche emerge che tutte le US soddisfano pienamente le verifiche allo Stato Limite di Operatività allo stato di progetto.

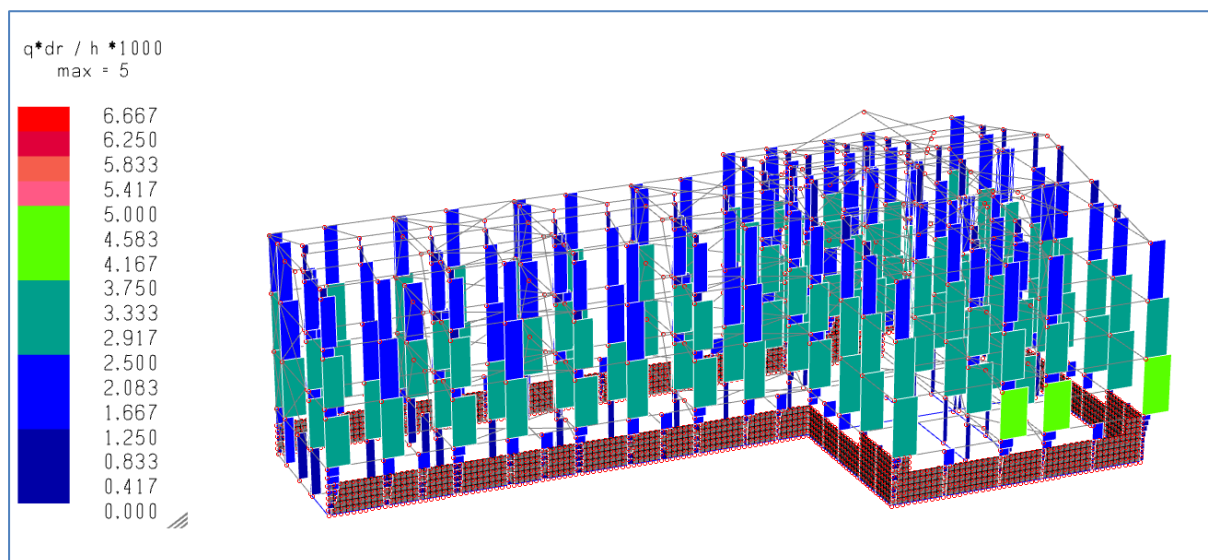
Stato Limite di Danno SLD

Il software effettua in automatico il calcolo dello spostamento dinamico di interpiano individuando il valore massimo.

La verifica si può ritenere soddisfatta in quanto gli spostamenti di interpiano ottenuti dall'analisi strutturale in presenza dell'azione sismica di progetto relativa allo SLD soddisfano la seguente limitazione per tamponamenti collegati rigidamente alla struttura e che interferiscono con la deformabilità della stessa:

$$dr < 0,005 h$$





Diagrammi dei rapporti $dr/h \cdot 1000$ (SLD)

1.4) VERIFICHE DEGLI ELEMENTI RESISTENTI IN ACCIAIO

VERIFICHE DI RESISTENZA SLV E DEFORMABILITÀ SLE - ELEMENTI STRUTTURALI

Per le verifiche RES la resistenza di calcolo delle membrature R_d si pone nella forma:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$$

dove R_k è la resistenza caratteristica del materiale, $\gamma_M = \gamma_{M0} = 1,05$ è il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature, e $\gamma_M = \gamma_{M1} = 1,05$ è il coefficiente di sicurezza per la resistenza all'instabilità.

Le verifiche allo SLU sono effettuate sempre controllando il soddisfacimento della relazione:

$$R_d \geq S_d$$

dove S_d è la generica sollecitazione di progetto calcolata considerando tutte le Combinazioni di Carico per lo Stato Limite esaminato. resistenza viene determinata, in funzione della Classe di appartenenza della Sezione metallica, col metodo Elastico o Plastico (vedi §4.2.3.2 del D.M. 2018), portato in conto l'indebolimento causato dall'eventuale presenza di fori.

Le verifiche di resistenza e di stabilità sono condotte in automatico dal software per tutte le aste ed i relativi risultati sono allegati alla presente sotto forma dei tabulati di calcolo (allegato 1).

L'interfaccia grafica del software di calcolo consente però un immediato riscontro del soddisfacimento delle suddette verifiche (indici di sicurezza > 1) attraverso una colorazione blu delle aste soggette a verifica (laddove invece l'asta verrebbe colorata di rosso qualora la verifica non risultasse soddisfatta).

Le verifiche hanno interessato tutte le aste.

Sono state condotte le seguenti verifiche degli elementi strutturali:

- verifiche di resistenza previste al §4.2.4.1.2 D.M. 2018 (trazione, compressione, flessione monoassiale, pressoflessione retta/deviata, taglio) e verifiche di instabilità a compressione e a pressoflessione deviata degli elementi strutturali per condizioni di carico statiche SLU e sismiche SLD e SLV;
- verifiche di deformabilità agli S.L.E. previste al §4.2.4.2 D.M. 2018.

Di seguito, si riporta un estratto dei tabulati di calcolo con evidenziato il soddisfacimento delle verifiche di sicurezza per ciascuna tipologia di sezione tra quelle utilizzati (rappresentando per le aste con la medesima sezione quella con il più alto indice di sfruttamento).

DETTAGLI STRUTTURALI

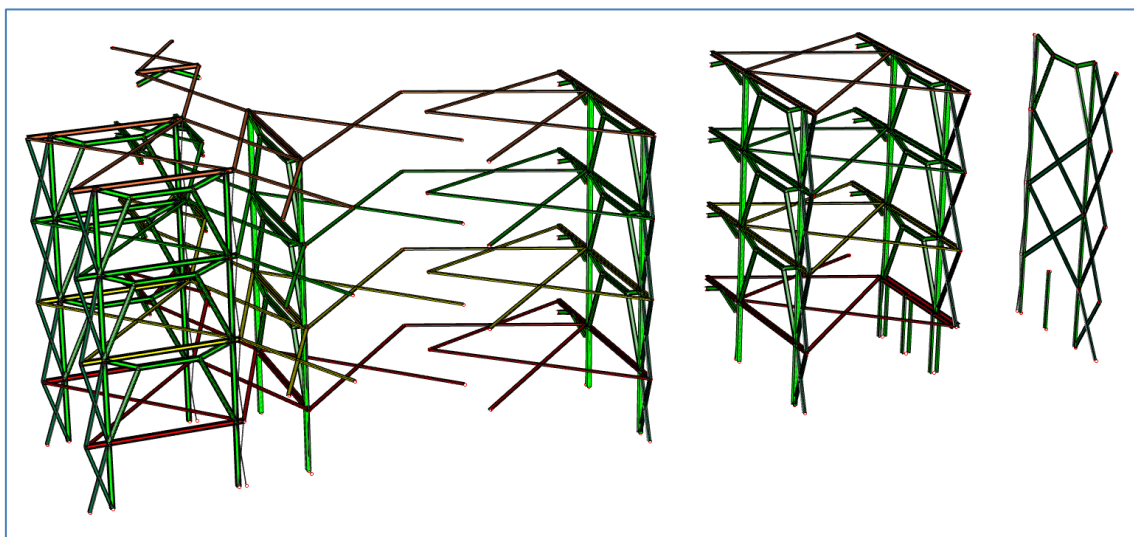
Il progetto delle strutture è stato condotto rispettando i dettagli strutturali previsti dal D.M. 2018, nel seguito illustrati. Il rispetto dei dettagli può essere evinto, oltreché dagli elaborati grafici, anche dalle verifiche riportate nei tabulati allegati alla presente relazione.

i.4.1) Verifiche di sicurezza sismica SLV – Stato di progetto

Di seguito si riportano le verifiche di resistenza degli elementi verticali sismo-resistenti in acciaio di nuova realizzazione, evidenziando il soddisfacimento delle verifiche di sicurezza per ciascuna tipologia di sezione tra quelle utilizzati (rappresentando per le aste con la medesima sezione quella con il più alto indice di sfruttamento).

RAPPRESENTAZIONE SOLLECITAZIONI

Si espongono di seguito le configurazioni deformate e le caratteristiche di sollecitazione risultanti dall'analisi dinamica lineare (sismica).



Rappresentazione degli elementi strutturali – in acciaio di nuova inserimento

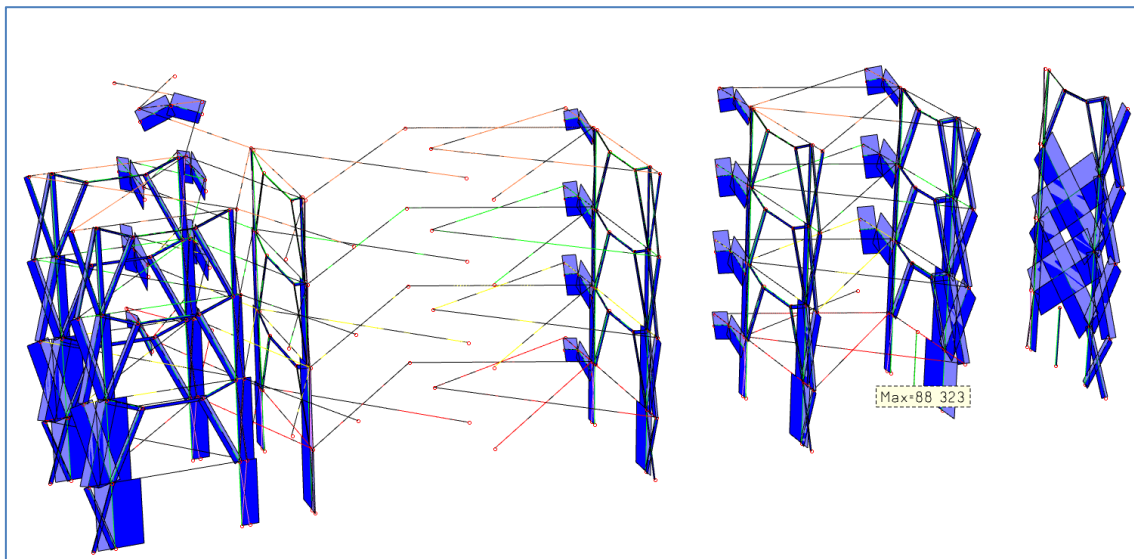


Diagramma sforzi normali Fx [daN] - Involuppo Dinamico SLV, q=1.5

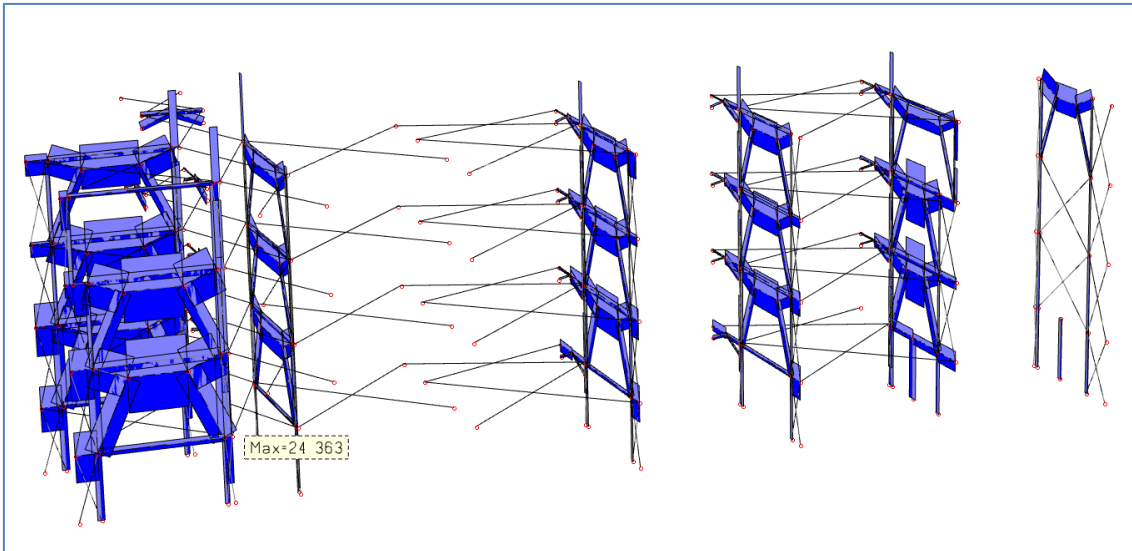


Diagramma sforzi di taglio F_y [daN] - Involuppo Dinamico SLV, $q=1.5$

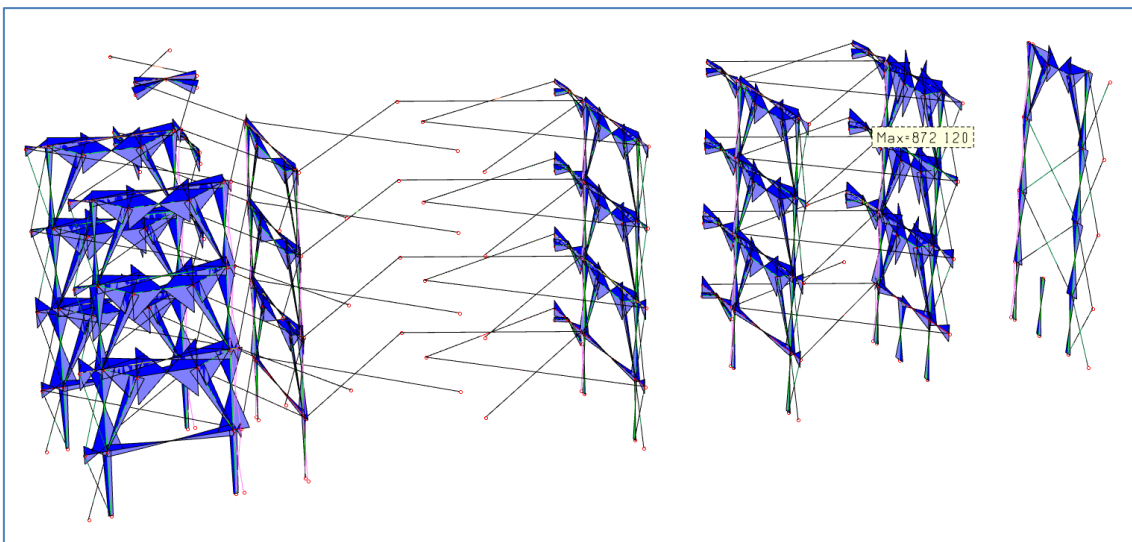


Diagramma momento flettente M_z [daN-cm] - Involuppo Dinamico SLV, $q=1.5$

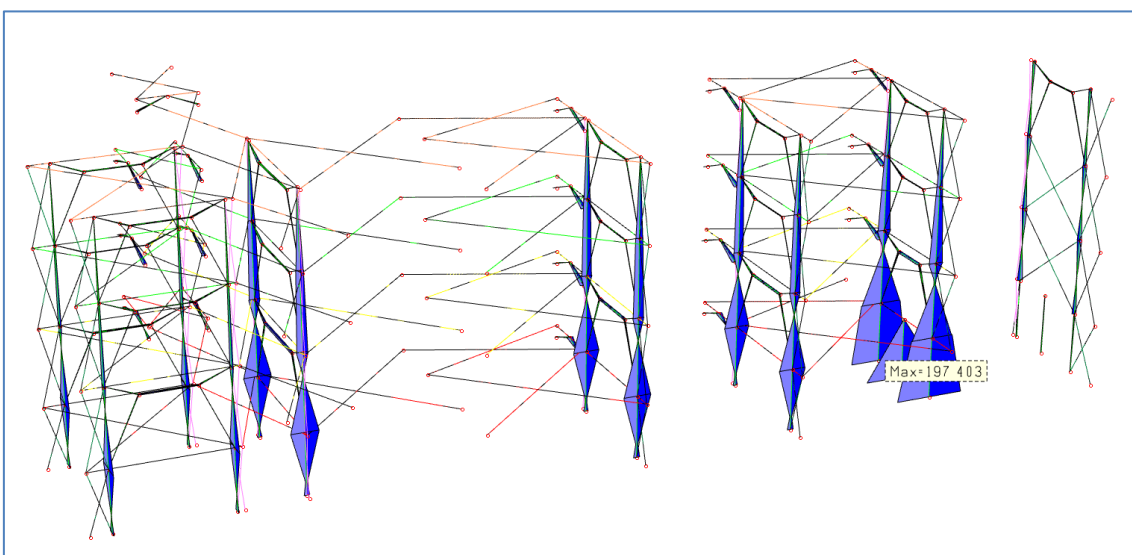


Diagramma momento flettente M_y [daN-cm] - Involuppo Dinamico SLV, $q=1.5$

VERIFICHE PILASTRI IN PROFILI HEB 200

Si riportano di seguito i diagrammi di sforzo normale e Momento flettente a cui sono soggetti i profili HEB 200 utilizzati per le nuove strutture metalliche:

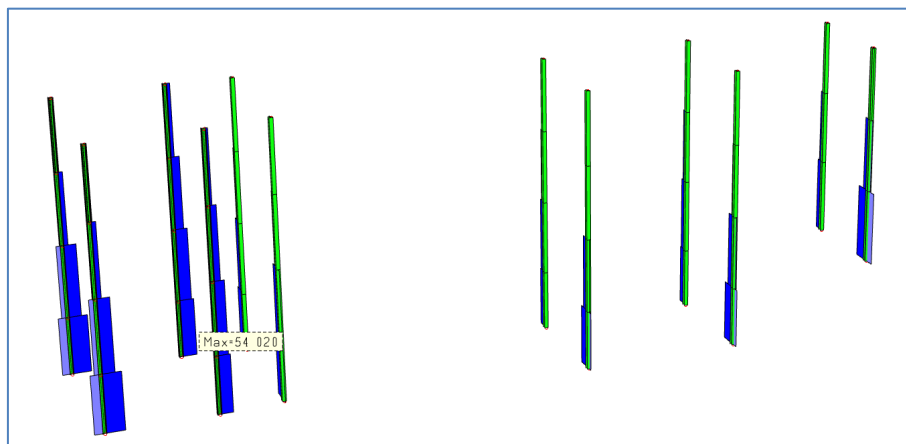


Diagramma sforzo normale F_x [daN]

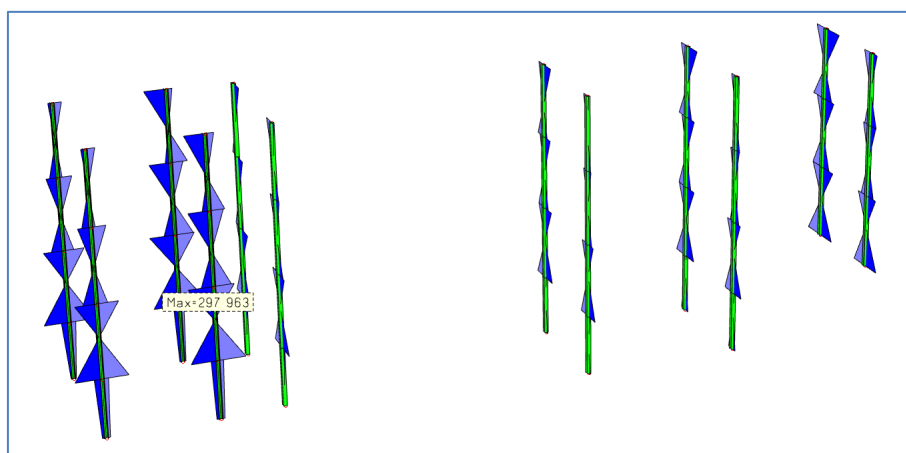


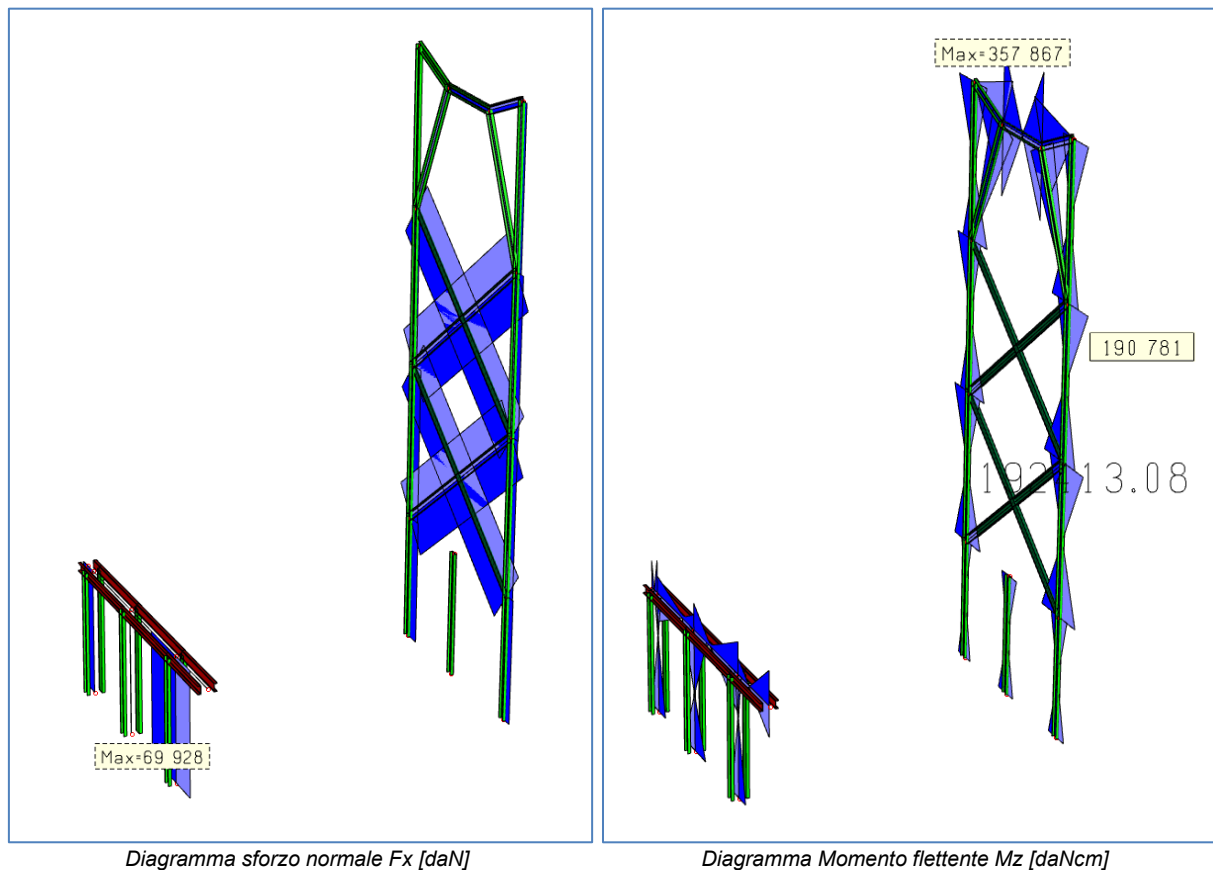
Diagramma Momento flettente M_z [daNcm]

e le relative verifiche di resistenza a pressoflessione e deformabilità eseguite con programma di calcolo, per le sollecitazioni più gravose e per l'elemento più sollecitato:

IPE - HE - HL = verifica di resistenza a pressoflessione retta			
(Azione nel piano dell'anima)			
$M_{Ed} \leq M_{N,Rd} \quad M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \frac{(1-n)}{(1-0,5a)} \quad n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \quad a = \frac{(A-2b t_f)}{A}$			
M _{Ed} = momento sollecitante di calcolo M _{N,Rd} = resistenza convenzionale di calcolo N _{Ed} = forza di compressione di calcolo N _{pl,Rd} = resistenza plastica della sezione lorda A = area lorda della sezione b = larghezza delle ali t _f = spessore delle ali			
Attenzione: non viene eseguita la verifica di stabilità			
INPUT			
Definizione dell'azione sollecitante	N [kN] =	540	M [kNm] = 30
Scelta del profilo	HE 200 B	N _{pl,Rd} [kN] = 2045	
Classe dell'acciaio	S275JO - S275JR - S275J2		
OUTPUT			
(VERIFICA Punto 4.2.4.1.2.7 NTC 2018)			
M _{Ed} =	30.00 [kNm]	M _{Ed} / M _{N,Rd} =	0.21
M _{N,Rd} =	140.06 [kNm]	Verifica soddisfatta	
Torna al Menu Principale			

VERIFICHE CONTROVENTI IN UPN

Si riportano di seguito i diagrammi di sforzo normale e Momento flettente a cui sono soggetti i profili UPN 200 utilizzati per le nuove strutture metalliche:



e le relative verifiche di resistenza a pressoflessione e deformabilità eseguite con programma di calcolo, per le sollecitazioni più gravose e per l'elemento più sollecitato:

Sezioni aperte = verifica di resistenza a trazione - compressione			
$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$	N_{Ed} = azione assiale di calcolo $N_{t,Rd} = N_{pl,Rd}$ (resistenza plastica della sezione lorda)	$N_{pl,Rd} = \frac{A f_{yk}}{\gamma_{M0}}$	A = sezione lorda f_{yk} = tensione caratteristica di snervamento γ_{M0} = coefficiente di sicurezza
INPUT			
Definizione dell'azione sollecitante	N = 70.00 [kN]		
Scelta del profilo	UPE 200		
Classe dell'acciaio	S275JO - S275JR - S275J2		
OUTPUT			
(VERIFICA Punto 4.2.4.1.2.1 e 4.2.4.1.2.2 NTC 2018)			
$N_{Ed} =$	70.00 [kN]	$N_{Ed} / N_{t,Rd} =$	0.09
$N_{t,Rd} =$	759.52 [kN]	Verifica soddisfatta	
Torna al Menu Principale			

i4.2) Progetto dei collegamenti in acciaio

Per il collegamento dei montanti d'acciaio sono state ricavate le massime sollecitazioni agenti sugli elementi componenti (bulloni, piastre, squadrette e cordoni di saldatura) considerando appropriati modelli di calcolo e quindi sono state effettuate le relative verifiche.

In particolare:

- Per i bulloni sono state effettuate verifiche a taglio e trazione sia per la singola sollecitazione che per presenza contemporanea di tali sollecitazioni.
- Per le piastre sono state effettuate verifiche a rifollamento, a flessione con la presenza eventuale di costole, a punzonamento e alle tensioni nel piano della piastra.
- Per le costole è stata effettuata la verifica controllando la tensione ideale massima calcolata considerando le tensioni parallele e ortogonali al piano della costola.
- Per i cordoni di saldatura è stata effettuata la verifica controllando la tensione ideale massima calcolata considerando le tensioni tangenziali parallele e ortogonali alla lunghezza del cordone e la tensioni normali ortogonale alla lunghezza.
- Per i tirafondi sono state effettuate verifiche a sfilamento per trazione.
- Per le piastre d'attacco con le fondazioni e gli elementi in c.a. è stata effettuata la verifica del calcestruzzo di base.

PROGETTO DEI COLLEGAMENTI IN ACCIAIO

Nodo di incastro fondazione-pilastro

Dall'analisi risulta che, secondo la combinazione più gravosa, alla base del pilastro si ha uno sforzo normale massimo pari a $N_{Ed}=73778\text{daN}$ ed un'azione di taglio pari a $V_{Ed}=534\text{daN}$. E' inoltre presente uno sforzo flettente massimo pari a $M_{Ed}=165632\text{daNcm}$ (nel piano xz) e $M_{Ed}=149437\text{daNcm}$ (nel piano yz).

Verifica geometrica sul posizionamento delle barre d'ancoraggio

Distanza dall'estremità

$$e_1 = e_2 = 50\text{mm} > 1.2 \cdot d_0 = 1.2 \cdot 18\text{mm} = 21.6\text{mm}$$

$$e_1 = e_2 = 50\text{mm} < 40\text{mm} + 4 \cdot t_{\min} = 88\text{mm}$$

Interassi

$$P_1 = 100\text{mm} > 2.2 \cdot d_0 = 2.2 \cdot 18\text{mm} = 39.6\text{mm}$$

$$P_2 = 150\text{mm} > 2.2 \cdot d_0 = 2.2 \cdot 18\text{mm} = 39.6\text{mm}$$

Verifica piastra di base

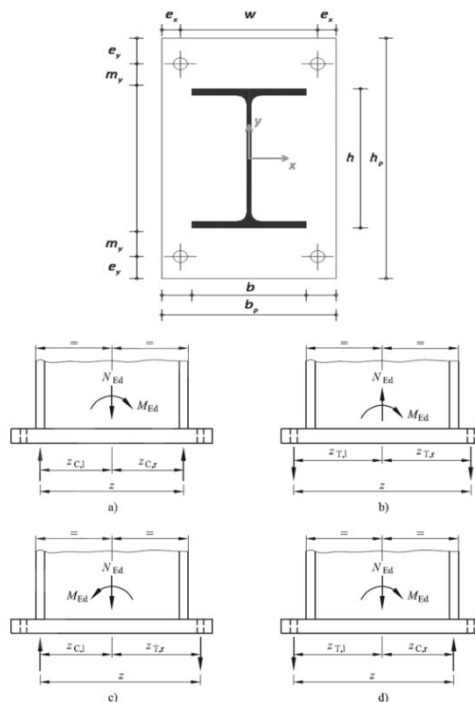
La piastra di base più sollecitata ha dimensioni 400x400x12mm e viene verificata utilizzando un programma di calcolo che ne calcola la resistenza in funzione delle azioni sollecitanti di sforzo Normale e Momento, considerando le caratteristiche geometriche e dei materiali utilizzati.

In questo calcolo la piastra viene schematizzata senza nervature e con un numero di tirafondi inferiori della piastra prevista da progetto, permettendo di ottenere un risultato a favore di sicurezza:

INPUT - Colonna	
Qualità acciaio profilo :	S 275
f_{yk} =	275 [Mpa]
f_{uk} =	430 [Mpa]
Scelta profilo :	HE 200 B
h =	200.00 [mm]
b =	200.00 [mm]
t_w =	9.00 [mm]
t_f =	15.00 [mm]
r =	18.00 [mm]

INPUT - Piastra di base	
Qualità acciaio piastra :	S 275
f_{yk} =	275 [Mpa]
f_{uk} =	430 [Mpa]
h_p =	400 [mm]
b_p =	400 [mm]
t_p =	17 [mm]
e_y =	50 [mm]
m_y =	50 [mm]
e_x =	50 [mm]
w =	300 [mm]

INPUT - Tirafondi	
Acciaio tirafondi :	8.8
f_{yb} =	640 [Mpa]
f_{ub} =	800 [Mpa]
Diametro tirafondi :	M18
d =	18.00 [mm]
d_0 =	20.00 [mm]
A_{res} =	198 [mm]
$t_{w,b}$ =	15.00 [mm]
$t_{w,w}$ =	3.00 [mm]



INPUT - Fondazione	
Classe Calcestruzzo :	C25/30
f_{ck} =	25 [Mpa]
t_m =	100 [mm]

INPUT - Azioni agenti	
$N_{j,Ed}$ =	-730.00 [kN]
$M_{j,Ed}$ =	16.00 [kNm]
e =	-0.02 [m]

INPUT - Struttura	
Tipologia telaio :	controventato (riduzione spostamenti orizzontali ≥80%)
L_c =	3.50 [m]

OUTPUT - Collegamento	
z =	185 [mm]
$z_{T,sx1}$ =	150 [mm]
$z_{T,dx}$ =	150 [mm]
$z_{C,sx}$ =	92.5 [mm]
$z_{C,dx}$ =	92.5 [mm]
μ =	1.76 [-]
$M_{j,Rd}$ =	19.47 [kNm]
k_T =	1.09 [mm]
k_C =	16.37 [mm]
e_k =	0.00 [mm]
S_{jini} =	33.46 [kNm]

$S_{j,min}$ =	lambda0<=0,5 [kNm]
---------------	--------------------

VERIFICA PIASTRA RIGIDA	OK
-------------------------	----

Verifica a taglio dei tirafondi

Si considera un'azione di taglio massima agente in prossimità dei collegamenti: $V_{Ed} = 1043 \text{ daN}$
ripartita sugli 8 tirafondi $\Phi 18$, classe 8.8 previsti, cioè $V_{Ed} = 130 \text{ daN}$

La verifica risulta soddisfatta in quanto l'azione di taglio sollecitante è inferiore alla resistenza di calcolo a taglio assunta pari a:

$$V_{Sd} = 130 \text{ daN} < V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{tb} \cdot A_{res}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 8000 \text{ daN/cm}^2 \cdot 2,54 \text{ cm}^2}{1,25} = 9753 \text{ daN}$$

Verifica a trazione e sfilamento dei tirafondi (piano YZ)

Si considera una forza di sfilamento dovuta al momento flettente:

$$N_{Sd} = M_{Ed}/i = 149437 \text{ daNcm}/35 \text{ cm} = 4269 \text{ daN}$$

che per ogni tirafondo risulta

$$N_t = N_{Sd}/2 = 4269/2 = 2134,5 \text{ daN} = 21,35 \text{ kN} < 23 \text{ kN}$$

Resistenza di progetto in caso di prestazione sismica categoria C2

Misura ancorante	M16	M20	M24
Trazione $N_{Rd,seis}$ HIT-V 8.8 [kN]	23,0	38,5	53,8
Taglio $V_{Rd,seis}$ HIT-V 8.8 [kN]	36,8	61,6	82,4

Risulta verificato per un tirafondo M18

Verifica a trazione e sfilamento dei tirafondi (piano XZ)

Si considera una forza di sfilamento dovuta al momento flettente:

$$N_{Sd} = M_{Ed}/i = 165632 \text{ daNcm}/35 \text{ cm} = 4732 \text{ daN}$$

che per ogni tirafondo risulta

$$N_t = N_{sd}/2 = 4732/4 = 1183 \text{ daN} = 11.8 \text{ kN} < 23 \text{ kN}$$

Resistenza di progetto in caso di prestazione sismica categoria C2

Misura ancorante	M16	M20	M24
Trazione $N_{Rd,seis}$ HIT-V 8.8	23,0	38,5	53,8
Taglio $V_{Rd,seis}$ HIT-V 8.8	36,8	61,6	82,4

Risulta verificato per un tirafondo M18

Verifica a rifollamento (§4.2.8.1.1)

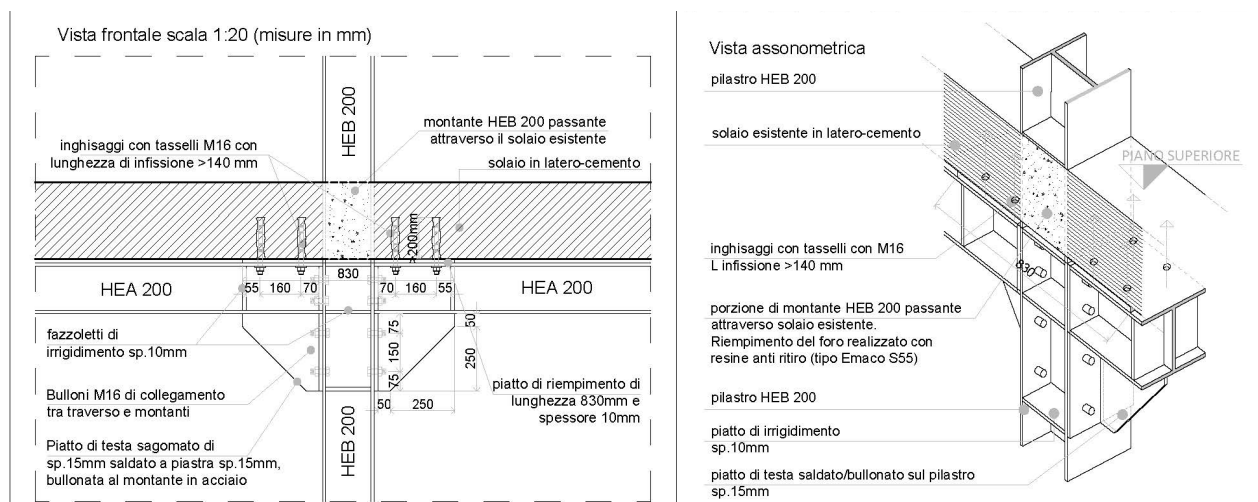
Ammettendo l'uniforme distribuzione delle pressioni di contatto tra tirafondi e piastra, la verifica a rifollamento risulta soddisfatta in quanto l'azione sollecitante è inferiore alla resistenza di calcolo a rifollamento (tirafondi M16):

$$V_{Ed} = 130 \text{ daN} < V_{b,Rd} = \frac{k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2.5 \cdot 0.46 \cdot 3600 \text{ daN/cm}^2 \cdot 1.8 \text{ cm} \cdot 1.2 \text{ cm}}{1.25} = 7154 \text{ daN}$$

Verifica del collegamento bullonato del nodo pilastro trave

Dall'analisi risulta che, secondo la combinazione più gravosa, in corrispondenza del nodo trave-pilastro (modellato come incastro) si ha uno sforzo normale massimo pari a $N_{Ed}=46263 \text{ daN}$, un'azione di taglio pari a $V_{Ed}=1186 \text{ daN}$ ed un momento flettente massimo pari a $M_{Ed}=84727 \text{ daNcm}$ (nel piano xz) e $M_{Ed}=254057 \text{ daNcm}$ (nel piano yz).

Si vuole verificare che il collegamento progettato, realizzato tramite una squadretta metallica di spessore 15mm posizionata ad angolo tra i profili HE, sia in grado di resistere agli sforzi di progetto.



In particolare, la piastra verrà saldata alle estremità delle travi e sarà bullonata in opera ai pilastri tramite 8 bulloni M16, disposti come in figura.

I bulloni dovranno perciò resistere, oltre agli sforzi dovuti dal contributo tagliante e normale, anche agli sforzi derivanti dal momento flettente. I vari sforzi vengono calcolati di seguito (vengono trascurati gli sforzi normali):

$$\frac{V}{8} = 150 \text{ daN}$$

$$\frac{M \cdot r_{max}}{\Sigma(r_i)^2} = \frac{254057 \text{ daNcm} \cdot 20.2 \text{ cm}}{(2 \cdot 20.2 \text{ cm} + 2 \cdot 4.5 \text{ cm} + 2 \cdot 16.8 \text{ cm} + 2 \cdot 9.4 \text{ cm})^2} = 495 \text{ daN}$$

$$\frac{M \cdot r_{min}}{\Sigma(r_i)^2} = \frac{254057 \text{ daNcm} \cdot 6.80 \text{ cm}}{(2 \cdot 20.2 \text{ cm} + 2 \cdot 4.5 \text{ cm} + 2 \cdot 16.8 \text{ cm} + 2 \cdot 9.4 \text{ cm})^2} = 167 \text{ daN}$$

Si vede dunque che il massimo sforzo tagliante vale 495daN.

La verifica risulta soddisfatta in quanto l'azione di taglio sollecitante è inferiore alla resistenza di calcolo a taglio del generico bullone M16, assunta pari a:

$$V_{Sd} = 495daN < V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{tb} \cdot A_{res}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 8000daN/cm^2 \cdot 2,01cm^2}{1,25} = 7718daN$$

E' inoltre verificata la resistenza a rifollamento (considerando lo spessore della piastra t=1.2cm):

$$V_{Ed} = 495daN < V_{b,Rd} = \frac{k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,46 \cdot 3600daN/cm^2 \cdot 1,6cm \cdot 1,2cm}{1,25} = 6104daN$$

Si verificano inoltre le distanze geometriche dai bordi della piastra:

Distanza dall'estremità

$$e_1 = 75mm > 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 16mm = 19,20mm$$

$$e_2 = 50mm > 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 16mm = 19,20mm$$

$$e_1 = 75mm < 40mm + 4 \cdot t_{min} = 88mm$$

$$e_1 = 50mm < 40mm + 4 \cdot t_{min} = 88mm$$

Interassi

$$P_1 = 150mm > 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 16mm = 35,2mm$$

$$P_2 = 90mm > 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 16mm = 35,2mm$$

VERIFICHE COLLEGAMENTI DEI TASSELLI

Si riportano di seguito i diagrammi delle sollecitazioni di involuppo statico e sismico agente sulla struttura ricavati dall'analisi dinamica lineare eseguita sul modello di calcolo strutturale oggetto di nuova costruzione.

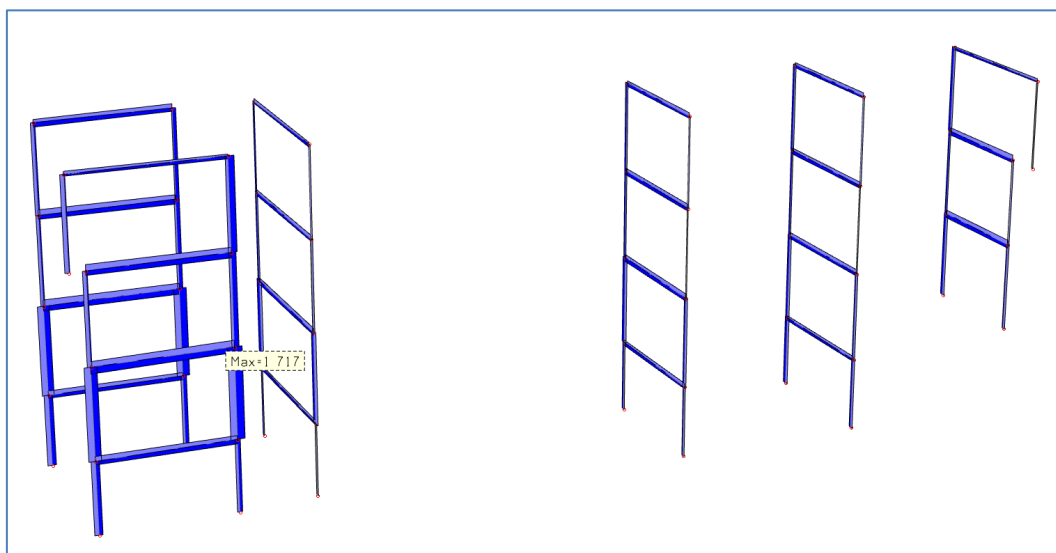


Diagramma sforzo di Taglio Fy [daN]

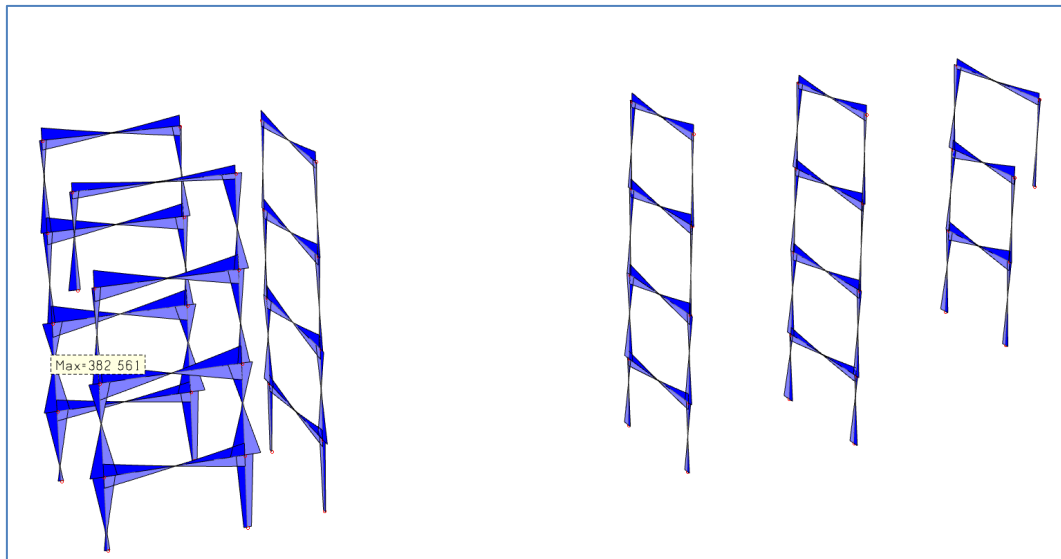


Diagramma Momento flettente Mz [daNcm]

Verifica a taglio

L'azione di taglio massima allo stato di progetto, agente su ciascuna barra di armatura di diametro $\phi 16$, risulta pari: $V_{Ed} = 1717kg/6 = 286kg = 2.86kN$

Si verifica il taglio dei connettori su pilastro di larghezza 30cm utilizzando un programma di calcolo che prende in considerazioni le resistenze del materiale, la dimensione dei tasselli e i dati geometrici:

DATI	
Dimensione del pilastro nella direzione del taglio sollecitante	b 300 mm
Base netta del pilastro nella direzione del taglio sollecitante	bct 0 mm
Classe di resistenza del calcestruzzo	C8/10
Distanza dello spinotto dal bordo della sezione nella direzione del taglio sollecitante	c 3500 mm
Diametro staffe pilastro	ds $\Phi 6$ [mm]
Numero di braccia delle staffe del pilastro nella direzione del taglio sollecitante	bs 2
Passo delle staffe nel pilastro	s 200 mm
Trascura la resistenza delle staffe	no
Numero di spinotti	ns 2
Diametro dello spinotto	db $\Phi 16$ [mm]
Spessore del cuscinetto in neoprene	e 5 mm
Tensione caratteristica di snervamento dello spinotto	f_{yk} 640 N/mm ²
Tensione precarico spinotto	σ_s 0 N/mm ²
Tipo spinotto	Barra filettata 8.8
Taglio sollecitante	V_{ed} 6.4 kN

SCHEMA DELLA CONNESSIONE

VERIFICA DELLA CONNESSIONE

VERIFICA CNR 10025/84 (Rasmussen)		V_{rd} del singolo spinotto 13.3 kN
		V_{rd} della connessione 26.6 kN
V_{ed} ≤ V_{rd}	6.4 kN ≤ 26.6 kN	verificato

Verifica a trazione

L'azione di trazione massima allo stato di progetto, agente su ciascuna barra di armatura di diametro $\phi 16$, risulta pari: $N_{Ed} = (382561 \text{ kg} \cdot \text{cm} / 20 \text{ cm}) / 3 = 6376 \text{ kg} = 6.37 \text{ kN}$

Dalla scheda tecnica della resina HIT-RE 500 V3, si ricava $N_{Rd} = 24 \text{ kN}$ di resistenza di pull out a trazione di ciascuna barra di ancoraggio.

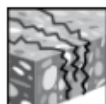
Resina Hilti HIT-RE 500 V3 con ferro di ripresa (come connessione post-installata)

Sistema di resina a iniezione	Vantaggi
 Hilti HIT-RE 500 V3 cartuccia da 330 ml (disponibile inoltre come cartuccia da 500 ml e 1400 ml) Miscelatore statico	- Tecnologia SAFEset: Punta cava Hilti per perforatori per rotopercolazione e strumento di irruvidimento per carotaggio a diamante - adatta per calcestruzzo da C 12/15 a C 50/60 - alta capacità di carico - adatta per calcestruzzo a secco e saturo d'acqua - per ferri di ripresa di diametro fino a 40 mm - non corrosivo per elementi dei ferri di ripresa - lungo tempo di lavorabilità a temperature elevate - adatta per profondità di ancoraggio fino a 3200 mm - tempo di esposizione al fuoco fino a 4h
 Ferro di ripresa	

Materiale di base



Calcestruzzo (non fessurato)



Calcestruzzo (fessurato)



Calcestruzzo asciutto



Calcestruzzo bagnato

Condizioni di carico



Statico / semi statico



Resistenza al fuoco

Condizioni di installazione



Rotopercolazione



Carotaggio a diamante

SAFEset

Tecnologia SAFEset di Hilti con punta cava per perforatori e strumento di irruvidimento

Altre informazioni



Benestare Tecnico Europeo



Conformità CE



Software di progettazione e PROFIS Rebar



Sottoposto a test della corrosione

Intervallo temperatura di esercizio

Intervallo di temperatura: da -40°C a $+80^{\circ}\text{C}$ (temperatura max. a lungo termine $+50^{\circ}\text{C}$ e temperatura max. a breve termine $+80^{\circ}\text{C}$).

Omologazioni / certificati

Descrizione	Autorità / Laboratorio	N° / data di pubblicazione
Benestare Tecnico Europeo	CSTB, Marne la Vallée	ETA-16/0142 / 2016-04-18

Resistenza di progetto

	ETA-16/0143, edizione 18/04/2016									Dati tecnici Hilti supplementari	
Dimensione ancorante	Ø10	Ø12	Ø14	Ø16	Ø20	Ø25	Ø28	Ø30	Ø32	Ø36	Ø40
Calcestruzzo non fessurato											
Trazione NRd BSt 500 S [kN]	26,4	38,7	47,1	47,1	74,6	102,5	149,4	166,3	174,9	168,2	191,6
Taglio VRd BSt 500 S [kN]	14,7	20,7	28,0	36,7	57,3	90,0	112,7	129,3	147,3	186,6	230,5
Calcestruzzo fessurato											
Trazione NRd BSt 500 S [kN]	16,0	26,3	33,5	33,5	53,2	73,0	106,5	118,5	124,7	-	-
Taglio VRd BSt 500 S [kN]	14,7	20,7	28,0	36,7	57,3	90,0	112,7	129,3	147,3	-	-

Carichi raccomandati

	ETA-16/0143, edizione 18/04/2016									Dati tecnici Hilti supplementari	
Dimensione ancorante	Ø10	Ø12	Ø14	Ø16	Ø20	Ø25	Ø28	Ø30	Ø32	Ø36	Ø40
Calcestruzzo non fessurato											
Trazione NRe BSt 500 S [kN]	18,8	27,6	33,6	33,6	53,3	73,2	106,7	115,7	125,0	120,1	136,9
Taglio VRec BSt 500 S [kN]	10,5	14,8	20,0	26,2	41,0	64,3	80,5	92,4	105,2	133,3	164,6
Calcestruzzo fessurato											
Trazione NRec BSt 500 S [kN]	11,4	18,8	24,0	24,0	38,0	52,2	76,1	84,7	89,1	-	-
Taglio VRec BSt 500 S [kN]	10,5	14,8	20,0	26,2	41,0	64,3	80,5	92,4	105,2	-	-

a) Con il coefficiente parziale di sicurezza generale per l'azione $\gamma = 1,4$. I coefficienti parziali di sicurezza per le azioni dipendono dal tipo di carico e sono desumibili da regolamenti nazionali.

k) Caratteristiche e affidabilità del codice di calcolo

AMV S.r.l.
Via San Lorenzo, 106
34077 Ronchi dei Legionari
(Gorizia) Italy

Ph. +39 0481.779.903 r.a.
Fax +39 0481.777.125
E-mail: info@amv.it
www.amv.it

Cap. Soc. € 10.920,00 i.v.
P.Iva: IT00382470318
C.F. e Iscriz. nel Reg. delle Imp. di GO
00382470318 - R.E.A. GO n° 048216



Attestato dell'affidabilità del codice di calcolo e delle procedure implementate nei prodotti software AMV In base al paragrafo 10.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14.01.2008 e successivi aggiornamenti).

In base a quanto richiesto al par. 10.2 del D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni) il produttore e distributore AMV s.r.l. espone la seguente relazione riguardante il solutore numerico e, più in generale, la procedura di analisi e dimensionamento MasterSap. Si fa presente che sul proprio sito (www.amv.it) è disponibile sia il manuale teorico del solutore sia il documento comprendente i numerosi esempi di validazione. Essendo tali documenti (formati da centinaia di pagine) di pubblico dominio, si ritiene sufficiente proporre una sintesi, sia pure adeguatamente esauriente, dell'argomento.

Il motore di calcolo adottato da MasterSap, denominato LIFE-Pack, è un programma ad elementi finiti che permette l'analisi statica e dinamica in ambito lineare e non lineare, con estensioni per il calcolo degli effetti del secondo ordine.

Il solutore lineare usato in analisi statica ed in analisi modale è basato su un classico algoritmo di fattorizzazione multifrontale per matrici sparse che utilizza la tecnica di condensazione supernodale ai fini di velocizzare le operazioni. Prima della fattorizzazione viene eseguito un riordino simmetrico delle righe e delle colonne del sistema lineare al fine di calcolare un percorso di eliminazione ottimale che massimizza la sparsità del fattore.

Il solutore modale è basato sulla formulazione inversa dell'algoritmo di Lanczos noto come *Thick Restarted Lanczos* ed è particolarmente adatto alla soluzione di problemi di grande e grandissima dimensione ovvero con molti gradi di libertà. L'algoritmo di Lanczos oltre ad essere supportato da una rigorosa teoria matematica, è estremamente efficiente e competitivo e non ha limiti superiori nella dimensione dei problemi, se non quelli delle risorse hardware della macchina utilizzata per il calcolo.

Per la soluzione modale di piccoli progetti, caratterizzati da un numero di gradi di libertà inferiore a 500, l'algoritmo di Lanczos non è ottimale e pertanto viene utilizzato il classico solutore modale per matrici dense simmetriche contenuto nella ben nota libreria LAPACK.

L'analisi con i contributi del secondo ordine viene realizzata aggiornando la matrice di rigidezza elastica del sistema con i contributi della matrice di rigidezza geometrica.

Un'estensione non lineare, che introduce elementi a comportamento multilineare, si avvale di un solutore incrementale che utilizza nella fase iterativa della soluzione il metodo del gradiente coniugato preconditionato.

Grande attenzione è stata riservata agli esempi di validazione del solutore. Gli esempi sono stati tratti dalla letteratura tecnica consolidata e i confronti sono stati realizzati con i risultati teorici e, in molti casi, con quelli prodotti, sugli esempi stessi, da prodotti internazionali di comparabile e riconosciuta validità. Il manuale di validazione è disponibile sul sito www.amv.it.

E' importante segnalare, forse ancora con maggior rilievo, che l'affidabilità del programma trova riscontro anche nei risultati delle prove di collaudo eseguite su sistemi progettati con MasterSap. I verbali di collaudo (per alcuni progetti di particolare importanza i risultati sono disponibili anche nella letteratura tecnica) documentano che i risultati delle prove, sia in campo statico che dinamico, sono corrispondenti con quelli dedotti dalle analisi numeriche, anche per merito della possibilità di dar luogo, con MasterSap, a raffinate modellazioni delle strutture.

In MasterSap sono presenti moltissime procedure di controllo e filtri di autodiagnostica. In fase di input, su ogni dato, viene eseguito un controllo di compatibilità. Un'ulteriore procedura di controllo può essere lanciata dall'utente in modo da individuare tutti gli errori gravi o gli eventuali difetti della modellazione. Analoghi controlli vengono eseguiti da MasterSap in fase di calcolo prima della preparazione dei dati per il solutore. I dati trasferiti al solutore sono facilmente consultabili attraverso la lettura del file di input in formato XML, leggibili in modo immediato dall'utente.

Apposite procedure di controllo sono predisposte per i programmi di dimensionamento per l'acciaio, legno, alluminio, muratura etc. Tali controlli riguardano l'esito della verifica: vengono segnalati, per via numerica e grafica (vedi esempio a fianco), i casi in contrasto con le comuni tecniche costruttive e gli errori di dimensionamento (che bloccano lo sviluppo delle fasi successive della progettazione, ad esempio il disegno esecutivo). Nei casi previsti dalla norma, ad esempio qualora contemplato dalle disposizioni sismiche in applicazione, vengono eseguiti i controlli sulla geometria strutturale, che vengono segnalati con la stessa modalità dei difetti di progettazione.

Ulteriori funzioni, a disposizione dell'utente, agevolano il controllo dei dati e dei risultati. E' possibile eseguire una funzione di ricerca su tutte le proprietà (geometriche, fisiche, di carico etc) del modello individuando gli elementi interessati.

Si possono rappresentare e interrogare graficamente, in ogni sezione desiderata, tutti i risultati dell'analisi e del dimensionamento strutturale. Nel caso sismico viene evidenziata la posizione del centro di massa e di rigidezza del sistema.

Per gli edifici è possibile, per ogni piano, a partire dalle fondazioni, conoscere la risultante delle azioni verticali orizzontali. Analoghi risultati sono disponibili per i vincoli esterni.

Le altre procedure di calcolo, oltre a MasterSap, seguono la medesima impostazione teorica e lo stesso procedimento di validazione.

Nei relativi manuali viene fornita una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, dei metodi e criteri usati per il dimensionamento strutturale e delle sezioni; vengono forniti esempi significativi che possono essere facilmente replicati, segnalando che si tratta spesso di procedure di calcolo e di verifica, che per loro natura, non denotano particolari complessità teoriche e concettuali.

AMV s.r.l.
Il legale rappresentante
Ing. Eugenio Aiello

Codice di calcolo adottato, solutore e affidabilità dei risultati

In base a quanto richiesto al par. 10.2 del D.M. 17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni) il produttore e distributore Studio Software AMV s.r.l. espone la seguente relazione riguardante il solutore numerico e, più in generale, la procedura di analisi e dimensionamento MasterSap. Si fa presente che sul proprio sito (www.amv.it) è disponibile sia il manuale teorico del solutore sia il documento comprendente i numerosi esempi di validazione. Essendo tali documenti (formati da centinaia di pagine) di pubblico dominio, si ritiene pertanto sufficiente proporre una sintesi, sia pure adeguatamente esauriente, dell'argomento. Il motore di calcolo adottato da MasterSap, denominato LiFE-Pack, è un programma ad elementi finiti che permette l'analisi statica e dinamica in ambito lineare e non lineare, con estensioni per il calcolo degli effetti del secondo ordine. Il solutore lineare usato in analisi statica ed in analisi modale è basato su un classico algoritmo di fattorizzazione multifrontale per matrici sparse che utilizza la tecnica di condensazione supernodale ai fini di velocizzare le operazioni. Prima della fattorizzazione viene eseguito un riordino simmetrico delle righe e delle colonne del sistema lineare al fine di calcolare un percorso di eliminazione ottimale che massimizza la sparsità del fattore.

Il solutore modale è basato sulla formulazione inversa dell'algoritmo di *Lanczos* noto come *Thick Restarted Lanczos* ed è particolarmente adatto alla soluzione di problemi di grande e grandissima dimensione ovvero con molti gradi di libertà. L'algoritmo di Lanczos oltre ad essere supportato da una rigorosa teoria matematica, è estremamente efficiente e competitivo e non ha limiti superiori nella dimensione dei problemi, se non quelli delle risorse hardware della macchina utilizzata per il calcolo. Per la soluzione modale di piccoli progetti, caratterizzati da un numero di gradi di libertà inferiore a 500, l'algoritmo di Lanczos non è ottimale e pertanto viene utilizzato il classico solutore modale per matrici dense simmetriche contenuto nella ben nota libreria *LAPACK*. L'analisi con i contributi del secondo ordine viene realizzata aggiornando la matrice di rigidezza elastica del sistema con i contributi della matrice di rigidezza geometrica.

Un'estensione non lineare, che introduce elementi a comportamento multilineare, si avvale di un solutore incrementale che utilizza nella fase iterativa della soluzione il metodo del gradiente coniugato preconditionato. Grande attenzione è stata riservata agli esempi di validazione del solutore. Gli esempi sono stati tratti dalla letteratura tecnica consolidata e i confronti sono stati realizzati con i risultati teorici e, in molti casi, con quelli prodotti, sugli esempi stessi, da prodotti internazionali di comparabile e riconosciuta validità.

Il manuale di validazione è disponibile sul sito www.amv.it.

In MasterSap sono presenti moltissime procedure di controllo e filtri di autodiagnostica. In fase di input, su ogni dato, viene eseguito un controllo di compatibilità. Un'ulteriore procedura di controllo può essere lanciata dall'utente in modo da individuare tutti gli errori gravi o gli eventuali difetti della modellazione. Analoghi controlli vengono eseguiti da MasterSap in fase di calcolo prima della preparazione dei dati per il solutore. I dati trasferiti al solutore sono facilmente consultabili attraverso la lettura del file di input in formato XML, leggibili in modo immediato dall'utente. Apposite procedure di controllo sono predisposte per i programmi di dimensionamento per il c.a., acciaio, legno, alluminio, muratura etc. Tali controlli riguardano l'esito della verifica: vengono segnalati, per via numerica e grafica (vedi esempio a fianco), i casi in contrasto con le comuni tecniche

costruttive e gli errori di dimensionamento (che bloccano lo sviluppo delle fasi successive della progettazione, ad esempio il disegno esecutivo). Nei casi previsti dalla norma, ad esempio qualora contemplato dalle disposizioni sismiche in applicazione, vengono eseguiti i controlli sulla geometria strutturale, che vengono segnalati con la stessa modalità dei difetti di progettazione. Ulteriori funzioni, a disposizione dell'utente, agevolano il controllo dei dati e dei risultati. E' possibile eseguire una funzione di ricerca su tutte le proprietà (geometriche, fisiche, di carico etc) del modello individuando gli elementi interessati. Si possono rappresentare e interrogare graficamente, in ogni sezione desiderata, tutti i risultati dell'analisi e del dimensionamento strutturale. Nel caso sismico viene evidenziata la posizione del centro di massa e di rigidezza del sistema. Per gli edifici è possibile, per ogni piano, a partire dalle fondazioni, conoscere la risultante delle azioni verticali orizzontali. Analoghi risultati sono disponibili per i vincoli esterni.

I) Verifiche Geotecniche delle Fondazioni

Secondo quanto indicato al §8.3 “Valutazione della sicurezza” di NTC2018, *“Qualora sia necessario effettuare la valutazione della sicurezza della costruzione, la verifica del sistema di fondazione è obbligatoria solo se sussistono condizioni che possano dare luogo a fenomeni di instabilità globale o se si verifica una delle seguenti condizioni:*

- nella costruzione siano presenti importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni o dissesti della stessa natura si siano prodotti nel passato;*
- siano possibili fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto: di condizioni morfologiche sfavorevoli, di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni, delle azioni sismiche di progetto;*
- siano possibili fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovuti alle azioni sismiche di progetto.*

Allo scopo di verificare la sussistenza delle predette condizioni, si farà riferimento alla documentazione disponibile e si potrà omettere di svolgere indagini specifiche solo qualora, a giudizio esplicitamente motivato del professionista incaricato, sul volume di terreno significativo e sulle fondazioni sussistano elementi di conoscenza sufficienti per effettuare le valutazioni precedenti.”

Nella struttura in esame, non si evidenziano fenomeni di instabilità globale o condizioni che possano dar luogo ai dissesti delle fondazioni citati, pertanto in virtù di quanto sopra esposto e in ottemperanza al Capitolo 8 delle NTC 2018 al paragrafo 8.3, si ritiene non necessario procedere alla verifica del sistema di fondazione.

In conformità con il punto 7.2.5 del DM2018 sui requisiti strutturali degli elementi di fondazione, le azioni trasmesse in fondazione derivano dall'analisi del comportamento dell'intera opera condotta esaminando la struttura in elevazione, alla quale sono applicate le azioni statiche e sismiche considerando un fattore di struttura q pari a 1.5 per ciascuna direzione dell'azione sismica.

In conformità con il punto 7.2.5 del DM2018 sui requisiti strutturali degli elementi di fondazione, le azioni trasmesse alle nuove fondazioni derivano dall'analisi del comportamento dell'intera opera condotta esaminando la struttura in elevazione ed in nuovi telai controventanti, alla quale sono applicate le azioni statiche e sismiche considerando un fattore di struttura q pari a 1.5 per ciascuna direzione dell'azione sismica.

I nuovi elementi di fondazione sono realizzati in maniera simile agli elementi esistenti, costituenti un reticolo di travi rovesce di larghezza di circa 1-1.5 ml per un'altezza di circa 80cm.

La verifica delle pressioni al suolo sotto le nervature viene eseguita come trave su suolo elastico alla Winkler considerando i valori restituiti dal software di calcolo, mentre la verifica al di sotto delle porzioni non nervate viene eseguita manualmente.

Pertanto, si riportano di seguito le verifiche della capacità portante del suolo e di resistenza degli elementi strutturali di fondazione svolte manualmente.

Capacità portante trave di fondazione

Per definire la capacità portante si valuta la portata limite dello strato di terreno su cui poggeranno le fondazioni dirette e si verifica che le pressioni di contatto che si generano risultino inferiori al limite ammissibile.

Nelle verifiche per gli stati limite ultimi di tipo geotecnico e strutturale è stato utilizzato l'APPROCCIO 2 ed è stata considerata la condizione $\Psi = 0$ e $c_u > 0$ (condizione non drenata) che risulta essere la più gravosa.

Per quanto riguarda la tipologia di verifiche geotecniche (GEO) con l'analisi geologica effettuata è stato ricavato il valore massimo della resistenza del terreno R_d relativo alle due tipologie di fondazioni esistenti (di larghezza di 100 e 180cm), che va rapportato al coefficiente parziale (R_3) di 1.8 per definire la resistenza di progetto all'azione dinamica, ed al coefficiente 2.3 per quella statica.

In questo modo si ottiene la capacità portante di progetto:

Fondazione di larghezza 100 cm

Prova penetrometrica	Intradosso fondazione	Larghezza fondazione	Resistenza statica caratteristica	Carico limite ultimo
	D	L	qcm	Qult
	(cm)	(cm)	(Mpa)	(Kpa)
CPTE1	250	100	4.07 – 5.33	628 - 785
CPTE2	250	100	1.35 – 2.48	279 - 425
CPTE3	250	100	0.26 – 1.16	133 - 253

Fondazione di larghezza 180 cm

Prova penetrometrica	Intradosso fondazione	Larghezza fondazione	Resistenza statica caratteristica	Carico limite ultimo
	D	L	qcm	Qult
	(cm)	(cm)	(Mpa)	(Kpa)
CPTE1	250	180	3.66 – 5.78	577 - 840
CPTE2	250	180	1.91 – 2.85	352 - 473
CPTE3	250	180	0.48 – 1.64	157 - 317

Dal modello globale risulta una tensione puntuale al suolo esercitata dalla struttura, di valore massimo di $E_d = 2,03 \text{ daN/cm}^2$.

La verifica delle pressioni di contatto sotto le travi di fondazione risulta soddisfatta sia in ambito statico che dinamico:

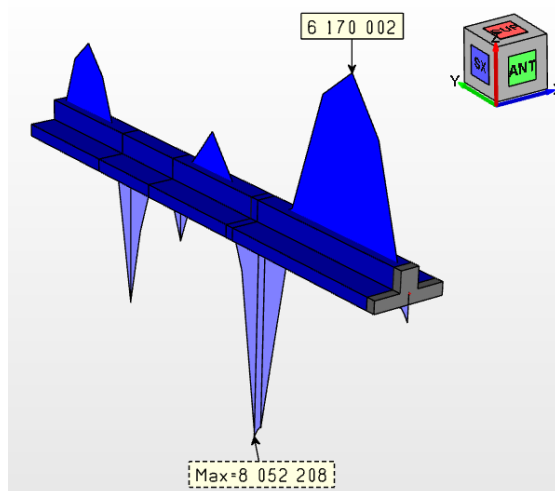
$$E_d = 2,03 \text{ daN/cm}^2 \leq R_d = 2,37 \text{ daN/cm}^2$$

cioè la pressione sollecitante di progetto agente sul terreno risulta minore della capacità portante di progetto del terreno.

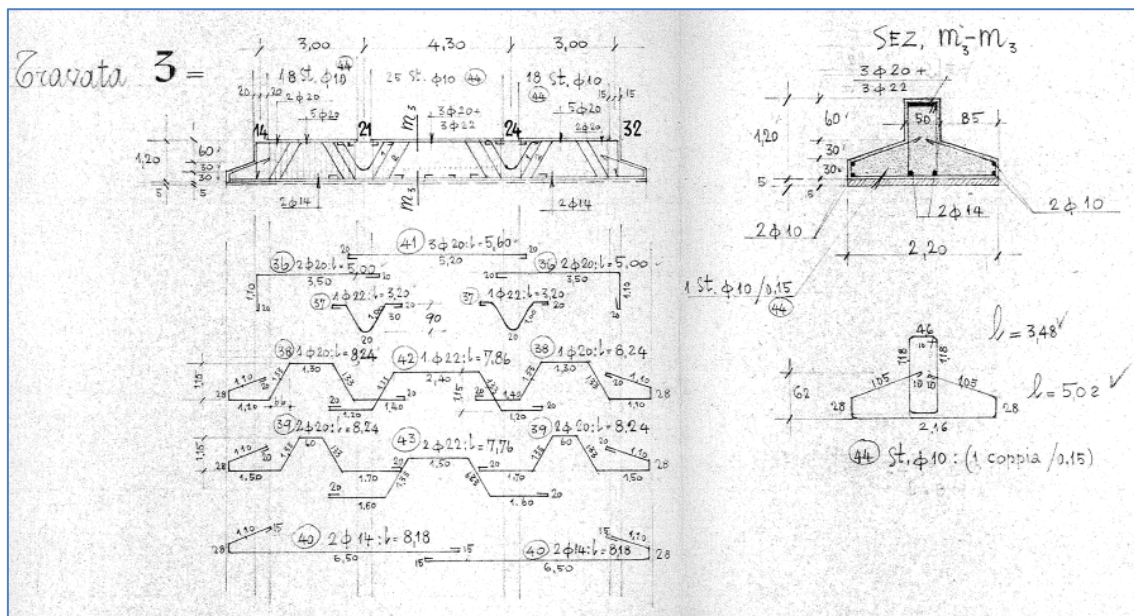
La verifica è stata condotta impostando una costante di Winkler pari a 3, come riportato nella relazione geologica.

Verifica statica travi di fondazione - Trave T270x120x45x70 maggiormente sollecitata (M_z max)

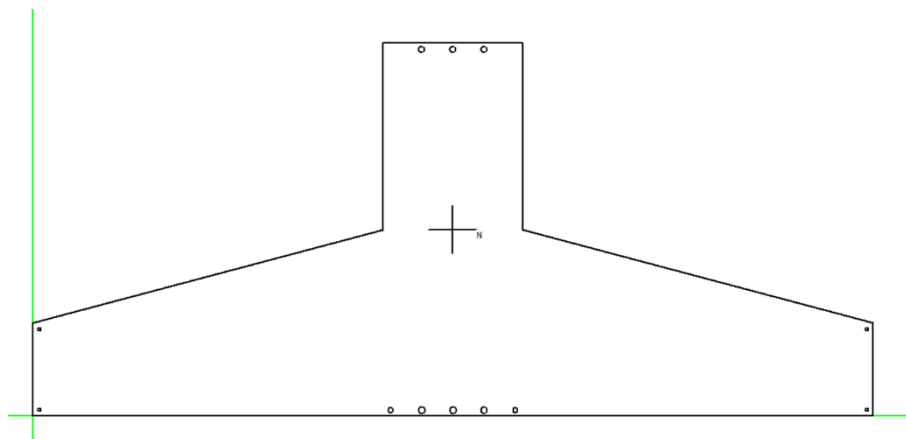
Si riportano gli sforzi agenti sulla trave maggiormente sollecitata. Il momento massimo positivo è pari a 805.2 kNm, mentre il momento massimo negativo è pari a 617.0 kN.



La trave, come da elaborati di progetto pervenuti, è armata con 3 ϕ 20 superiori, 2 ϕ 10+2 ϕ 14 inferiori e 2 ϕ 10 centrali. Sono inoltre presenti 3 ϕ 24 piegati in modo da assorbire il momento flettente dove necessario (inf. in corrispondenza dei pilastri, sup. in corrispondenza della mezzera delle travi), come mostrato nell'immagine, estratto degli elaborati di progetto originario:



E' stata schematizzata la sezione a T della trave con le armature ricavate dagli elaborati di progetto, a seconda che ci si trovi in corrispondenza del momento positivo o negativo. Sono stati impostati gli stessi materiali impostati in precedenza nella verifica statica dei travetti dei solai, con le caratteristiche meccaniche derivate dalle prove effettuate:



N° Vertici 8 **Zoom** **N° barre** 12 **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	270	0
3	270	50
4	157,5	50
5	157,5	120
6	112,5	120

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
8	3,14	125	118
9	3,14	145	118
10	3,8	135	2
11	3,8	145	2
12	3,8	125	2

Sollecitazioni S.L.U. **Metodo n**

N_{Ed} 0 kN
M_{Ed} 805,2 kNm
M_{yEd} 0

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali
ACCIAIO **CLS**
ε_{su} 67,5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 388,3 N/mm² ε_{cu} 3,5 ‰
E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 8,72
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 1
ε_{syd} 1,942 ‰ σ_{c,adm} 5
σ_{s,adm} 577 N/mm² τ_{co} 0,3467
τ_{c1} 1,286

M_{Rd} 811,5 kNm
σ_c -8,72 N/mm²
σ_s 388,3 N/mm²
ε_c 3,5 ‰
ε_s 33,46 ‰
d 118 cm
x 11,18 x/d 0,0947
δ 0,7

Metodo di calcolo
☒ S.L.U. + ☐ S.L.U. -
☐ Metodo n

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello
M-curvatura
☐ Precompresso

Il momento resistente positivo della trave in oggetto (armata con 2φ10+2φ14+3φ22 inferiori) è pari a 811.5 kNm, superiore a quello di progetto (805.2 kNm) e la verifica è quindi soddisfatta.

Titolo :

N° Vertici 8 **Zoom** **N° barre** 12 **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	270	0
3	270	50
4	157,5	50
5	157,5	120
6	112,5	120

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
8	3,14	120	118
9	3,14	140	118
10	3,8	135	118
11	3,8	145	118
12	3,8	125	118

Sollecitazioni S.L.U. **Metodo n**

N_{Ed} 0 kN
M_{Ed} -617 kNm
M_{yEd} 0

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato acciaio - Acciaio snervato

Materiali
ACCIAIO **CLS**
ε_{su} 67,5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 388,3 N/mm² ε_{cu} 3,5 ‰
E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 8,72
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 1
ε_{syd} 1,942 ‰ σ_{c,adm} 5
σ_{s,adm} 577 N/mm² τ_{co} 0,3467
τ_{c1} 1,286

M_{Rd} -955,9 kNm
σ_c -8,72 N/mm²
σ_s 388,3 N/mm²
ε_c 2,527 ‰
ε_s 67,5 ‰
d 118 cm
x 4,259 x/d 0,03609
δ 0,7

Metodo di calcolo
☒ S.L.U. + ☐ S.L.U. -
☐ Metodo n

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello
M-curvatura
☐ Precompresso

Analogamente, il momento resistente negativo della trave in oggetto (armata con 3φ20+3φ22

superiori) è pari a 955.9 kNm, superiore a quello di progetto (617.0 kNm) e la verifica è quindi soddisfatta.

Considerando lo stato conservativo attuale dell'opera nel suo insieme, si può escludere la presenza di dissesti delle fondazioni; pertanto, si ritiene di poter evitare specifiche ulteriori verifiche delle stesse secondo quanto indicato al §8.3 di NTC2018.

m) Categoria di intervento previsto e motivazione della scelta adottata

L'intervento oggetto di relazione rientra nella categoria "Intervento di Adeguamento Sismico" ai sensi del § 8.4 del D.M. 17/01/2018.

Nelle verifiche rispetto alle azioni sismiche il livello di sicurezza della costruzione è quantificato attraverso il rapporto tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione.

A livello di comportamento globale, viene svolta una analisi dinamica lineare (sismica) la quale garantisce che il comportamento complessivo del complesso edilizio comporti un indice di sicurezza ζ_E minimo superiore a 1.0 (poiché $\zeta_E = 1.0$ è il livello prestazionale minimo previsto dalle NTC18 a seguito di interventi di adeguamento per edifici in classe d'uso III a destinazione scolastica e edifici in classe d'uso IV), in ottemperanza a quanto riportato dal § 8.4.3. del DM 17.01.2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni).

n) Analisi storico-critica (§ 8.5.1 del D.M. 17-01-2018)

Si riportano di seguito le principali indicazioni fornite dalla normativa tecnica al §8.5.1 del D.M. 17-01-2018 e §C8.5.1 della Circolare n.7 Gennaio 2019.

Ai fini di una corretta individuazione del sistema strutturale e del suo stato di sollecitazione è importante ricostruire il processo di realizzazione e le successive modificazioni subite nel tempo dalla costruzione, nonché gli eventi che l'hanno interessata.

La conoscenza della storia di un fabbricato è elemento indispensabile, sia per la valutazione della sicurezza attuale, sia per la definizione degli interventi e la previsione della loro efficacia.

L'analisi storica deve essere finalizzata a comprendere le vicende costruttive, i dissesti, i fenomeni di degrado, i cimenti subiti dall'edificio e, particolarmente frequenti nelle costruzioni in muratura, le trasformazioni operate dall'uomo che possono aver prodotto cambiamenti nell'assetto statico originario. In tal senso l'indagine storica diventa indagine critica e fonte, per eccellenza, di documentazione e conoscenza finalizzate all'interpretazione del comportamento strutturale.

L'analisi inizia con il reperire tutti i documenti disponibili sulle origini del fabbricato quali, ad esempio, elaborati e relazioni progettuali della prima realizzazione della costruzione e di eventuali successivi interventi, elaborati e rilievi già prodotti, eventuali relazioni di collaudo e riguarda:

- _ l'epoca di costruzione;*
- _ le tecniche, le regole costruttive e, se esistenti, le norme tecniche dell'epoca di costruzione;*
- _ la forma originaria e le successive modifiche;*
- _ i traumi subiti e le alterazioni delle condizioni al contorno;*
- _ le deformazioni, i dissesti e i quadri fessurativi, con indicazioni, ove possibile, della loro evoluzione nel tempo;*
- _ gli interventi di consolidamento pregressi;*
- _ gli aspetti urbanistici e storici che hanno regolato lo sviluppo dell'aggregato edilizio di cui l'edificio è parte.*

Risulta, in generale, utile anche la conoscenza delle patologie o delle carenze costruttive evidenziate da edifici simili per tipologia ed epoca di costruzione.

In definitiva, questa fase deve permettere di interpretare la condizione attuale dell'edificio come risultato di una serie di vicende statiche e di trasformazioni che si sono sovrapposte nel tempo.

Il complesso scolastico in esame è stato realizzato in tempi diversi:

- Corpi A-B-C-D-E-L dal 1961 al 1965
- Corpo LC dal 1964
- Corpi C1 – LA dal 1965

con struttura portante in calcestruzzo armato che si eleva per quattro piani di cui tre fuori terra ed uno seminterrato. Si evidenzia che la struttura portante non è stata progettata per resistere ai carichi da sisma previsti dalle vigenti NTC18. Le informazioni inserite nell'analisi storico-critica sono state desunte dalla consultazione della seguente documentazione, relativa al progetto originario:

- Elaborati grafici strutturali parziali;
- Elaborati grafici architettonici: prospetti, sezioni e planimetrie;

Nel corso degli ultimi anni il complesso scolastico è stato oggetto di indagini di caratterizzazione del cls, dell'acciaio da CA, di prove a campione con rilievo visivo, microdemolizioni etc. In particolare, sono state eseguite due diverse campagne diagnostiche:

3) Eseguita da ComSigma Srl nelle date 9-10-11 Agosto 2021. In tali date sono state eseguite le seguenti indagini

- a) Nr. 78 indagini pacometriche con successiva micro-demolizione (PACi);
- b) Nr. 14 prelievi di campioni cilindrici Ø100 mm, comprensivo di prova a rottura per compressione monoassiale e verifica profondità di carbonatazione (CAi);
- c) Nr. 4 prelievi di barra d'armatura e successiva esecuzione di prova a trazione a rottura (BARi);
- d) Nr. 3 indagini videoendoscopiche per l'identificazione stratigrafica delle pareti (ENDi);
- e) Nr. 8 indagini videoendoscopiche per l'identificazione stratigrafica dei solai (STi);
- f) Nr. 15 indagini con apparecchiatura georadar (GPRi).
- g)

4) Eseguita da Classedil Srl nelle date 1-9 Settembre 2022. In tali date sono state eseguite le seguenti indagini:

- a) Nr. 21 indagini pacometriche con successiva micro-demolizione (PACi);
- b) Nr. 18 prelievi di campioni cilindrici Ø100 mm, comprensivo di prova a rottura per compressione monoassiale e verifica profondità di carbonatazione (CAi);
- c) Nr. 4 prelievi di barra d'armatura e successiva esecuzione di prova a trazione a rottura (BARi);
- d) Nr. 6 indagini videoendoscopiche per l'identificazione stratigrafica delle pareti (ENDi);

Consultando gli archivi dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) è stato possibile determinare che l'edificio in analisi, a partire dalla sua costruzione, ha subito gli effetti dei seguenti eventi sismici:

- Terremoto Appennino Settentrionale del 1972 di magnitudo 4.87;
- Terremoto Romagna del 1978 di magnitudo 4.61;
- Terremoto Piacentino del 1980 di magnitudo 4.57;
- Terremoto Parmense del 1983 di magnitudo 5.04;
- Terremoto Umbria Settentrionale del 1984 di magnitudo 5.62;
- Terremoto Ferrarese del 1986 di magnitudo 4.43;
- Terremoti Cesenate del 1993 di magnitudo 3.95 e 3.93;
- Terremoto Appennino Forlivese del 1999 di magnitudo 4.36;
- Terremoti Faentino del 2000 di magnitudo 4.08, 4.67 e 4.82;
- Terremoto Ferrarese del 2002 di magnitudo 4.21;
- Terremoti Appennino Forlivese del 2003 di magnitudo 4.66, 4.06, e 5.24;
- Terremoto Forlivese del 2003 di magnitudo 4.18.
- Terremoto Pianura Emiliana del 2012 di magnitudo 6.09.

La documentazione fornitaci dalla Committenza non riporta informazioni relative ad eventuali danni subiti dalla struttura come conseguenza degli eventi sismici sopra citati.

Si rimanda al punto b) "Descrizione generale della struttura" per la descrizione della struttura esistente nel suo insieme, delle eventuali interazioni con altre unità strutturali e delle modalità con cui di ciò si è tenuto conto, dei principali interventi realizzati nel tempo, nonché sintesi delle vulnerabilità riscontrate, derivanti dal rilievo strutturale.

o) Proprietà meccaniche dei materiali in relazione dei livelli di conoscenza

o.1) Relazione sul livello di conoscenza raggiunto e sui fattori di confidenza adottati

In conformità alla normativa vigente (§ 8.5.4 del D.M. 17-01-2018), sulla base degli approfondimenti effettuati nelle tre fasi conoscitive sopra riportate, vengono individuati i **livelli di conoscenza** (LC) dei diversi parametri coinvolti nel modello: geometria, dettagli costruttivi e materiali; possono così essere definiti i correlati fattori di confidenza, da utilizzare come ulteriori coefficienti parziali di sicurezza in modo tale da tenere conto delle carenze nella conoscenza dei parametri del modello.

Pertanto, nel caso di edifici esistenti si fa riferimento ai **fattori di confidenza** (FC) che variano a seconda del livello di conoscenza sulla struttura raggiunto, mediante le indagini in situ.

I fattori di confidenza hanno principalmente lo scopo di diminuire la resistenza dei materiali ottenuta dalle prove in situ e in alcuni casi di incrementare le sollecitazioni di verifica da applicare alla struttura.

Tramite i rilievi e sondaggi eseguiti si è raggiunto un livello di conoscenza LC3 (§ C8.5.4.2 Circ7) che “si intende raggiunto quando sia stata effettuata l’analisi storico-critica commisurata al livello considerato (con riferimento al § C8.5.1), la geometria della struttura sia nota in base ai disegni originali (effettuando un rilievo visivo a campione per verificare l’effettiva corrispondenza del costruito ai disegni) o a un rilievo, i dettagli costruttivi siano noti, o dai disegni costruttivi originali integrati da indagini limitate in situ sulle armature e sui collegamenti presenti negli elementi più importanti, o (con riferimento al § C8.5.2) a seguito di una indagine esaustiva in situ (i dati raccolti devono essere tali da consentire, nel caso si esegua un’analisi lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare), le caratteristiche meccaniche dei materiali siano note in base ai disegni costruttivi e ai certificati originali di prova, integrati da prove limitate in situ (se i valori ottenuti dalle prove in situ sono minori dei corrispondenti valori indicati nei certificati originali di prova, si eseguono prove esaustive in situ), o con prove esaustive in situ (con riferimento al § C8.5.3); il corrispondente fattore di confidenza è $FC=1$. La valutazione della sicurezza è eseguita mediante metodi di analisi lineare o non lineare, statici o dinamici; le informazioni raccolte sulle dimensioni degli elementi strutturali, insieme a quelle riguardanti i dettagli strutturali, devono consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo.”

Tabella C8.5.IV – Livelli di conoscenza in funzione dell’informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza, per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio

Livello di conoscenza	Geometrie (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC (*)
LC1		Progetto simulato in accordo alle norme dell’epoca e <i>indagini limitate</i> in situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell’epoca e <i>prove limitate</i> in situ	Analisi lineare statica o dinamica	1,35
LC2	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione; in alternativa rilievo completo ex-novo	Elaborati progettuali incompleti con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini estese</i> in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali, con <i>prove limitate</i> in situ; in alternativa da <i>prove estese</i> in situ	Tutti	1,20
LC3		Elaborati progettuali completi con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini esaustive</i> in situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto, con <i>prove estese</i> in situ; in alternativa da <i>prove esaustive</i> in situ	Tutti	1,00

(*) A meno delle ulteriori prescrizioni già fornite nel § C8.5.4.

In fase di modellazione del comportamento dei materiali vengono assunti, dove opportuno, i seguenti coefficienti di sicurezza parziali, che riducono le proprietà dei materiali:

- Calcestruzzo: $\gamma_c = 1,50$
- Acciaio: $\gamma_s = 1,15$

o.2) proprietà meccaniche dei materiali esistenti

I materiali vengono caratterizzati a partire dalle informazioni ricavate dall'analisi documentale, successivamente controllate in situ con verifiche visive ed indagini sperimentali basate su prove non distruttive o limitatamente distruttive. Il tipo di indagine ed i punti di esecuzione sono pianificati, in base al loro effettivo uso nelle verifiche e, nel caso di beni culturali e di edifici storici, viene tenuto in considerazione l'impatto in termini di conservazione del bene, limitando il più possibile gli interventi invasivi. Le resistenze meccaniche dei materiali vengono quindi valutate sulla base delle prove effettuate direttamente sulla struttura, prescindendo dalle classi discretizzate previste nelle norme per le nuove costruzioni.

Nella definizione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo e dell'acciaio si è considerata la media dei risultati ottenuti durante le due campagne di diagnostica.

Si procede quindi nel seguito al calcolo delle resistenze di progetto del calcestruzzo e dell'acciaio di armatura, come prescritto dalla normativa, essendo:

$$X_d = \frac{X_m}{\gamma_M} \cdot \frac{1}{FC}$$

dove γ_M è pari ad 1 per le verifiche flessionali, mentre per le verifiche a taglio si considera il valore fornito da normativa. Per quanto riguarda le informazioni acquisite sui materiali strutturali dalla relazione di calcolo delle strutture, si considerano i seguenti valori caratteristici delle resistenze di progetto del calcestruzzo e dell'acciaio di armatura:

- **Calcestruzzo:**

CORPO	TIPO PROVA	CODICE	PIANO	RESISTENZA (Mpa)	RESISTENZA CORRETTA
A	Carotaggio	CA 06	Terra	8.49	8.49
B	Carotaggio	CA 01	Seminterrato	6.34	6.34
B	Carotaggio	CA 09	Primo	9.75	9.75
A	Carotaggio	C1	Seminterrato	14.83	13.29
B	Carotaggio	C6	Terra	12.57	11.25
A	Carotaggio	C10	Primo	13.64	12.21
B	Carotaggio	C15	Secondo	11.7	10.46
TOT. PROVE		7	MEDIA	11.0	10.3

Rck	Fck	γ_C	FC	Fcd
10.3	8.72	1.5	1	5.8

- **Acciaio d'armatura per travi, pilastri e fondazioni:**

CORPO	TIPO PROVA	CODICE	PIANO	TENSIONE DI SNERVAMENTO (Mpa)	TENSIONE DI ROTTURA (Mpa)
B	Prelievo Acciaio	BAR 01	Terra	389	574
C	Prelievo Acciaio	BAR 02	Terra	385	564
D	Prelievo Acciaio	BAR 03	Seminterrato	388	561
LA	Prelievo Acciaio	BAR 04	Terra	367	550
C1	Prelievo Acciaio	B1	Terra	388	574
LC	Prelievo Acciaio	B2	Terra	390	586
A	Prelievo Acciaio	B3	Primo	398	600
L	Prelievo Acciaio	B4	Primo	401	607
TOT. PROVE		8	MEDIA	388.3	577.0

Faenza, giugno 2024

Ing. Marco Peroni
(documento firmato digitalmente)