



CITTÀ di CANNETO sull'OGLIO

UFFICIO TECNICO

Regione Lombardia



Finanziato dall'Unione Europea NextGenerationEU

DGR CASA e HOUSING SOCIALE - D.d.u.o. 22 ottobre 2021 - n. 14210 - Fondo complementare al Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza: programma "Sicuro, verde e sociale: riqualificazione dell'edilizia residenziale pubblica" (art.1, co. 2, lett. c, punto 13 del DL 59/2021 convertito con modificazioni nella L.101/2021)



Committente:

COMUNE DI CANNETO S/OGLIO
Ufficio Tecnico-Settore Lavori Pubblici
Piazza Matteotti n.1

Progetto :

RIQUALIFICAZIONE EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA
LAVORI DI DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DEL COMPLESSO ERP
DENOMINATO "CASE ROSSE" in via G. MARCONI
CUP n° H29J21010610001

VARIANTE N.1
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

Responsabile Unico del Procedimento:

Geom.
Daniele Somenzi

Elaborato:

RELAZIONE ILLUSTRATIVA
E DI CALCOLO

Scala:

Data:
OTTOBRE 2022

Progettista:



ARCHITETTO
CRISTIANO GUERNIERI
Via Principe. Amedeo n° 23 - 46100 MANTOVA
C.F.:GRNCST67P25E897S P.I.: 01757390206

Collaboratori:



Allegato:

G.0

SOMMARIO

1.	Premessa.....	3
2.	Inquadramento territoriale e geotecnico.....	5
2.1.	Premessa.....	5
2.2.	Inquadramento geologico.....	5
2.3.	Piano delle indagini geotecniche.....	8
2.3.1.	Sondaggi meccanici	8
2.3.2.	Prova penetrometrica	9
2.3.3.	Prova geofisica	9
2.4.	Sismicità locale dell'area	10
2.5.	Liquefazione dei terreni	11
2.6.	Caratterizzazione geotecnica del terreno.....	11
3.	Normativa tecnica di riferimento.....	14
4.	Descrizione dell'edificio e modellazione.....	15
4.1.	Unità strutturali	15
4.2.	Fondazioni	16
4.3.	Murature in laterizio	17
4.4.	Murature in c.a.....	19
4.5.	Travi e cordoli in c.a.	20
4.6.	Solai in latero cemento	21
4.7.	Balconi e solette in c.a. a sbalzo	22
4.8.	Scale a ginocchio con soletta in c.a.	23
4.9.	Quote e livelli impiegati nella modellazione geometrica dell'edificio.....	24
4.9.1.	Livelli	24
4.9.2.	Falde.....	25
4.9.3.	Tronchi.....	25
5.	Carichi applicati al modello di calcolo.....	27
5.1.	Condizioni elementari di carico	27
5.2.	Carichi statici superficiali	27
5.3.	Carichi statici concentrati e lineari.....	28
5.4.	Masse valutate automaticamente dal software di calcolo	29
5.5.	Azione del vento	29
5.6.	Azione della neve	29
5.7.	Carico sismico	31
5.7.1.	Azione sismica di sito	31
5.7.2.	Risposta sismica locale e coeff. di amplificazione stratigrafica S_s	32
5.7.3.	Fattori di comportamento q	33
5.7.4.	Spettri di risposta sismica	34
5.8.	Combinazioni di carico	36
5.9.	Materiali	39
5.9.1.	Materiali c.a.	39
5.9.2.	Materiali muratura	39
5.9.3.	Armature.....	40
5.9.4.	Acciai.....	40
5.9.5.	Rete in Fibra	41
5.9.6.	Intonaco Rete in Fibra	41
5.10.	Criteri di modellazione	41
5.10.1.	Descrizione del software	41
5.10.2.	Parametri, dati e setup del software di analisi	44
5.10.3.	Modellazione svolta	50
5.11.	Metodi di analisi	55
6.	Criteri di verifica adottati per azioni sismiche e statiche.....	61

6.1.	Verifiche in presenza di azioni sismiche.	61
6.2.	Verifiche in presenza di azioni statiche.	63
6.3.	Indici di vulnerabilità o sicurezza strutturale.....	63
6.4.	Elenco delle verifiche condotte in condizioni sismiche e statiche.	65
7.	Sintesi dei risultati delle analisi svolte	66
7.1.	Analisi dinamica lineare.....	66
7.1.1.	Risposta modale.....	66
7.1.2.	Spostamenti di interpiano estremi.....	68
7.1.3.	Verifica effetti del secondo ordine	72
7.1.4.	Equilibrio tra forze applicate e reazioni	74
7.1.5.	Spostamenti nodali estremi.....	77
7.1.6.	Verifiche ed indici di resistenza dei maschi murari	79
7.1.7.	Esito delle verifiche e conclusioni	84
8.	Attendibilità delle analisi svolte.....	86
8.1.	Corrispondenza tra masse/carichi applicati e reazioni.....	86
8.2.	Calcolo della accelerazione sismica con metodo semplificato	88

1. Premessa

L'intervento in oggetto rientra tra gli obiettivi dell'amministrazione comunale impegnata nella valorizzazione e miglioramento del patrimonio esistente, attraverso un articolato piano di rigenerazione urbana che riguarda l'intero ambito di paese.

Programma di riqualificazione comunale trae origine dai seguenti interventi già finanziati:

- riconversione del cosiddetto terzo padiglione delle vecchie scuole elementari per la famiglia e doposcuola;
- ampliamento e riqualificazione del vicino palazzetto dello sport e delle aree ad esso connesse.

A completamento di tale programma di rigenerazione urbana ed inclusione sociale, appare strategica la promozione di un intervento di riqualificazione funzionale e strutturale del complesso di edilizia residenziale pubblica, attraverso un intervento denominato "Riqualificazione con demolizione e ricostruzione del complesso edilizio E.R.P. denominato «Case Rosse»" in via G. Marconi.

La demolizione riguarderà i fabbricati che costituiscono il complesso ERP delle "Case Rosse", in totale n. 2 corpi di fabbrica suddivisi ciascuno in n. 4 trilocali per complessivi n.8 appartamenti.

L'intervento di Ricostruzione comporterà l'edificazione di due nuovi corpi di fabbrica serviti da un unico corpo scala per n. totale di n.10 appartamenti per la maggior parte dei quali ascrivibili alla tipologia dei bilocali.



Vista aerea dell'area di intervento.



pag. 4

rinnovato centro sportivo, sostenendo le famiglie e l'integrazione attraverso una nuova sede per il doposcuola e per un centro di sostegno per le famiglie presso l'ex terzo padiglione della scuola primaria. Il nuovo complesso residenziale delle "Case Rosse" mira in particolare alla creazione di alloggi funzionali ad accogliere persone con disabilità o anziani ricavando alloggi più piccoli, privi di barriere architettoniche, socialmente adatti all'accoglienza di una fetta sempre più vasta di domanda che al momento il patrimonio ERP presente sul territorio comunale non riesce a soddisfare.

Il ripensamento tipologico delle unità abitative e la redistribuzione degli spazi esterni si accompagna ad un adeguamento ai parametri dettati dalla normativa antisismica e da un efficienza energetica massima, dovendo lo stesso ascrivere agli edifici NZEB, cioè a basso impatto.

I nuovi edifici presentano una planimetria di forma rettangolare di dimensioni pari a circa 19.1 x 9.4 m, per una altezza in gronda media di circa 6.9 m.

L'edificio è approssimativamente orientato secondo la direttrice geografica Est-Ovest e si sviluppa in altezza in complessivi 2 livelli: piano terra e piano primo.

2. Inquadramento territoriale e geotecnico

2.1. Premessa

Preliminarmente alla fase progettuale si è predisposto il rilievo piano altimetrico dell'area e specifiche indagini geotecniche, a completamento dei già numerosi dati presenti nel circondario dell'area di intervento.

Il rilievo dell'area ha evidenziato la presenza di un andamento altimetrico di tipo pianeggiante, caratterizzato da un'area di sedime dell'edificio attuale posto ad una quota di circa +60÷80 cm rispetto alla quota stradale di via G. Marconi. Le aree più a nord del lotto, in direzione della vicina Strada Provinciale 43 (via Mantova), i livelli altimetrici sono invece più elevati con quote altimetriche simili al piano attuale di riferimento dell'edificio.

La nuova costruzione sarà quindi mantenuta all'attuale quota, in quanto sono garantiti i minimi dislivelli, previsti dal regolamento comunale, rispetto alla strada di accesso.

Per quanto attiene invece i risultati delle indagini geotecniche, l'argomento sarà diffusamente trattato nei successivi paragrafi.

2.2. Inquadramento geologico.

Il P.G.T. comunale inquadra l'area come segue:

- vincoli idraulici (PAI): i terreni del nuovo intervento si trovano all'esterno della Fascia Fluviale "C" del PAI relativa ad eventi di tipo catastrofico;
- il piano di gestione del rischio alluvioni (PGRA) pone l'area all'esterno delle aree con rischio

alluvione basso, quindi in area non soggetta a tale rischio;

- la mappa di fattibilità geologica pone l'area in classe 2 (fattibilità con modeste limitazioni) per la presenza di una falda acquifera superficiale vulnerabile, in quanto non protetta da terreni impermeabili;

- la mappa di pericolosità sismica individua la presenza di uno scenario tipo "zona Z4a" tipica di zone di fondovalle con depositi alluvionali e/o fluvio/glaciali granulari e/o coesivi;

- l'analisi di 2° livello per le zone Z4a, affrontata in ambito del PGT evidenzia la presenza di fattori di amplificazione locale sopra soglia, per periodi inferiori a 0.5 sec. In particolare risulta che, per il periodo compreso tra 0,1 – 0,5 secondi, il valore di F_a pari a 1,9 è appena superiore al valore di soglia pari a 1,8; considerata però la ridotta variabilità del valore di F_a (+0,1), come definito dalla DGR sopra citata, anche in questo caso la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa.

Dal punto di vista geologico e morfologico il territorio in esame appartiene all'area padana centrale, posta a confine tra la placca tettonica europea e la microplacca Adria che, collocata in corrispondenza della pianura padana e del mare Adriatico, rappresenta un promontorio della placca africana. Le due placche, a partire dal Cretaceo Superiore, entrarono in collisione formando le catene alpina ed appenninica. Il loro progressivo moto di avvicinamento Nord-Sud ha determinato, attraverso fenomeni di subduzione e sovrascorrimento, complesse strutture tettoniche sepolte delle Alpi Meridionali e dell'Appennino Settentrionale che proseguono sotto la pianura ricoperte da sedimenti marini e alluvionali, pliocenici e quaternari. Questi sedimenti hanno colmato l'intero bacino padano con spessori molto variabili da diverse migliaia di metri a poco più di 100 metri. Le strutture sepolte più avanzate delle Alpi Meridionali (Fronte Ripalta-Bordolano Sud-vergente) e quelle dell'Appennino Settentrionale (Fronte Caviaga-Soresina Nord-vergente) si affrontano nel bacino padano. Le strutture del fronte appenninico sepolto nell'area della Pianura Padana centrale sono costituite da sistemi di pieghe e faglie inverse ancora attive, responsabili degli eventi sismici del passato e di quelli recenti del 2012.

Il territorio di Canneto si trova a NE dell'anticlinale di Piadena che, nonostante vergenza e direzione appenninica, risulta separata dal retrostante arco appenninico. In questo disturbo tettonico è stata riconosciuta una faglia inversa indicata come nuova struttura sismogenetica riportata nel DISS 3.3.0 (sorgente ITCS 112) a cui è attribuita una magnitudo $M_w = 6,1$ e profondità focali comprese tra 2,5 e 6,0 Km.

L'area del nuovo intervento si trova sul terrazzo fluvioglaciale di pertinenza gardesana, tra le profonde incisioni dell'Oglio ad Ovest e del Chiese ad Est, caratterizzate da numerosi ed evidenti meandri. La piana fluvioglaciale è costituita a Nord da depositi ghiaioso-sabbiosi per passare verso Sud a depositi sabbiosi e sabbioso limosi, frequenti nel territorio di Canneto.

La mappa della litologia di superficie indica infatti la presenza di terreni superficiali di natura sabbiosa, da media a fine.

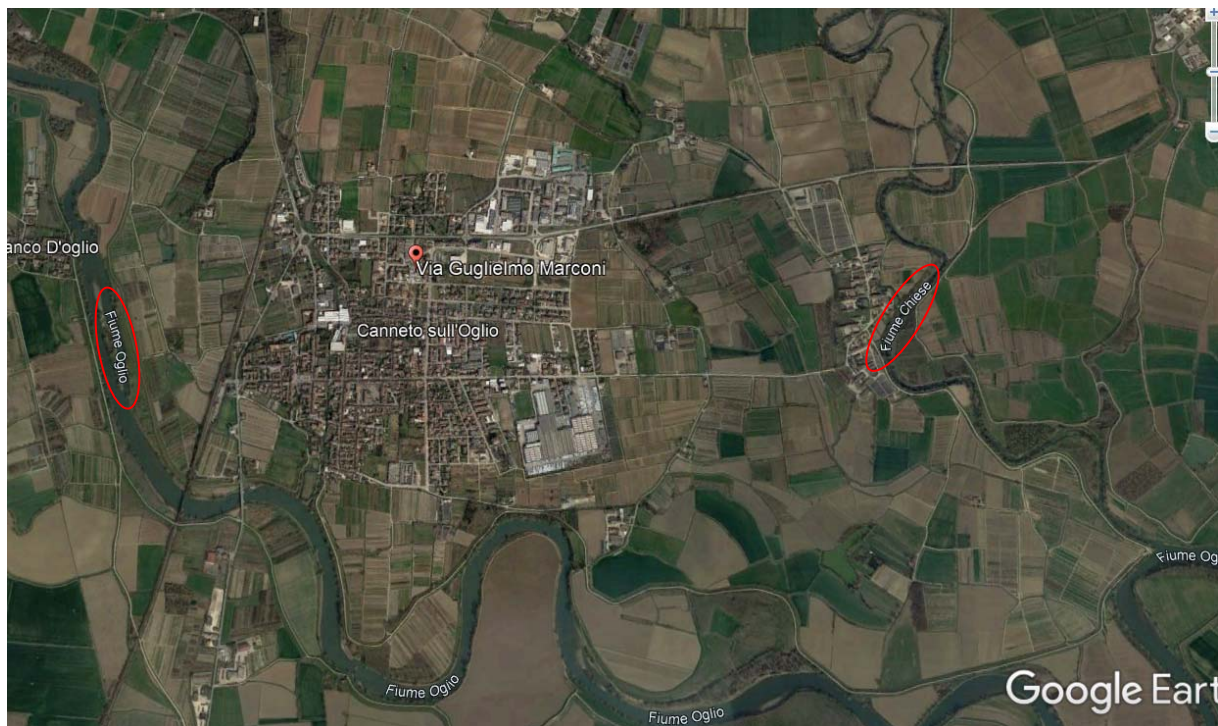
Dal punto di vista idrogeologico, nella zona di Canneto sono presenti due Gruppi Acquiferi.

Il Gruppo Acquifero A, con età compresa tra 450.000 anni e il presente, è formata dai depositi dell'Olocene, del Pleistocene Superiore e parte del Pleistocene Medio, con uno spessore di 150 – 200 metri.

Il Gruppo Acquifero B, con età compresa tra 450.000 e 650.000 anni dal presente, è formato da una parte dei depositi Pleistocene Medio. Il suo livello basale si trova localmente ad una profondità di circa 500-600 metri dal piano campagna.

I due Gruppi Acquiferi, generalmente ben separati, presentano, fino ad almeno 90 metri di profondità, livelli di bassa permeabilità che individuano localmente vari orizzonti acquiferi spesso tra di loro interconnessi.

Nella zona centrale del territorio comunale l'andamento delle isopiezometriche delinea un evidente spartiacque in quanto l'acquifero superficiale è influenzato dall'azione di richiamo di entrambi i due principali corsi d'acqua, il Chiese e l'Oglio. L'area di intervento si trova in una posizione intermedia tra i due fiumi in corrispondenza dello spartiacque sotterraneo; pertanto le linee di flusso sono orientate da N verso Sud.



La falda superficiale è generalmente libera con soggiacenza compresa tra 3-4 e 5-6 metri. La vulnerabilità idrogeologica dell'acquifero superficiale nella zona dell'intervento edilizio, data la presenza dei depositi superficiali sabbiosi molto permeabili, risulta di grado alto.

2.3. Piano delle indagini geotecniche

Oltre alle indagini specifiche realizzate sul posto nell'agosto 2022 (n. 4 sondaggi meccanici perimetrali all'area di edificazione, n. 1 prova penetrometrica e una prova sismica con tromografo), sono state prese in considerazione anche altre indagini svolte nel circondario e che hanno fornito la base per la redazione dei documenti allegati al PGT: prove penetrometriche, prove sismiche MASW e prove sismiche con Tromografo (HVSr).

Si riportano nel seguito i dati relativi alle indagini svolte direttamente nell'area, mentre per quelle pregresse nel circondario si rimanda alla relazione geotecnica redatta dal Geol. Dott. Giorgio La Marca.

2.3.1. Sondaggi meccanici

Nell'area sono stati eseguiti 4 sondaggi meccanici nell'intorno del perimetro di intervento ed hanno evidenziato quanto segue.



Dislocazione dei sondaggi

Sondaggio S1

- Da m 0,00 a m 0,50: terreno di riporto costituito da limo argilloso sabbioso rossastro includente alcuni frammenti di laterizi e blocchi di calcestruzzo
- Da m 0,70 a m 1,70 sabbia fine limosa e limo sabbioso
- Da m 1,70 a m. 2,20 limo calcareo molto compatto da rossastro a nocciola
- Da m 2,20 a m 3,00 sabbia fine debolmente limosa da nocciola a grigia

Sondaggio S2

- Da m 0,00 a m 0,70 terreno di riporto con ghiaia, ciottoli e rottami
- Da m 0,70 a m 1,40 sabbia fine limosa e limo sabbioso
- Da m 1,40 a m 3,40 sabbia fine debolmente limosa

Sondaggio S3

- Da m 0,00 a m 0,70 terreno di riporto includente ghiaia e ciottoli

- Da m 0,70 a m 1,70 sabbia fine limosa e limo sabbioso
- Da m 1,70 a m. 2,20 limo calcareo molto compatto nocciola
- Da m 2,20 a m 2,90 sabbia fine debolmente limosa

Sondaggio S4

- Da m 0,00 a m 1,10 terreno di riporto misto a terreno vegetale costituito da limo sabbioso rossastro privo di trovanti di rilievo
- Da m 1,10 a m 2,90 sabbia fine debolmente limosa grigia con intercalazione di un livello di 5 cm di limo calcareo alla profondità di 1,70 m dal p. c.

I terreni fino a 2,90 - 3,40 metri di profondità sono asciutti.

Mentre i sondaggi S1, S2 e S3, hanno mostrato esiti omogenei, il sondaggio S4 mostra invece una stratigrafia meno variegata e con uno strato superficiale di riporto, con maggiore spessore: 1.1 m dal p.c. a fronte di uno spessore di 0.7 m negli altri sondaggi.

2.3.2. Prova penetrometrica

È stata svolta una sola prova penetrometrica statica posizionata nei pressi del sondaggio S1.

PROVA CPT /2022

Strato (m)	Litologia	qcm (Kg/cmq)	Dr (%)	φ_m° angolo di attrito c_{um} coesione non drenata
0,00 – 0,60	Terreno di riporto	-	-	--
0,60 – 1,60	Sabbia limosa	66	85	$\varphi_m = 32^\circ$
1,60 – 8,40	Sabbia	170	95	$\varphi_m = 36^\circ$
8,40 – 9,00	Limo argilloso	20		$c_{um} = 0,86$
9,00 – 10,00	Sabbia limosa	78	50	$\varphi_m = 32^\circ$

dove: qcm = valore medio della resistenza alla punta

Dr = densità relativa

φ_m° = valore medio dell'angolo di attrito

cum = valore medio della coesione non drenata

Il livello dell'acqua sotterranea è stato misurato, nel foro della prova penetrometrica, alla profondità di 3,80 metri circa dal piano campagna attuale.

2.3.3. Prova geofisica

È stata svolta una sola prova con Tromografo, uno strumento in grado di misurare i microtremori naturali del terreno (sismica passiva) captando le onde sonore riflesse dai singoli strati del terreno presente nel sottosuolo. Queste letture permettono di estrapolare la stratigrafia del sottosuolo e di valuta, per ciascuna di queste, la velocità di propagazione

delle onde sonore riflesse.

- Modello geofisico

Strato (m)	Spessore H (m)	Vs (m/s)
0,00 – 1,60	1,60	143
1,60 – 31,60	30,00	229
31,60 – 76,60	45,00	348
Inf.	Inf.	487

Dall'analisi dei dati si ricava la velocità media V_{s30} , riferita ai primi 30 m misurati a partire dal piano di appoggio delle fondazioni.

$$V_{s30} = 222 \text{ m/s}$$

Frequenza di risonanza dei terreni = 0.91 Hz

Sottosuolo di **Categoria C**: *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

2.4. Sismicità locale dell'area

Come indicato in precedenza, l'indagine strumentale sulla sismicità locale ha mostrato la presenza di una velocità media $V_{s30} = 222 \text{ m/s}$. Pertanto l'analisi di 1° livello, descritta dalle NTC 2018 di cui al D.M. 17/01/2018, evidenzia una sismicità locale caratterizzata da un terreno di categoria C, a cui si associa un fattore di amplificazione stratigrafica $S_s = 1.50$.

L'analisi di 2° livello, sulla base anche delle indicazioni contenute nel PGT comunale, mostra che, in ambito dello scenario di pericolosità sismica locale Z4a, per periodi compresi tra 0.1÷0.5 sec, il fattore di amplificazione locale calcolato è di poco superiore al valore soglia comunale ($F_a = 1.9 > F_{a,lim} = 1.8$), mentre per periodi 0.5÷1.5 sec il fattore calcolato è inferiore al valore soglia. Considerando la tolleranza di attendibilità della procedura di calcolo semplificata, che considera una tolleranza di ± 0.1 , il valore calcolato risulta compatibile col valore limite, pertanto si conferma l'esito dell'analisi di 1° livello.

Come dato di completamento, la frequenza propria del terreno è risultata prossima a 0.9 Hz, corrispondente ad un periodo proprio di 1.11 sec.

2.5. Liquefazione dei terreni

Il par. 7.11.3.4.2 delle NTC, individua le condizioni per l'esclusione della verifica, che può essere quindi omessa quando si manifesti almeno una delle circostanze elencate riguardanti l'evento sismico e le caratteristiche geotecniche dei terreni:

1. accelerazioni massime al piano campagna in condizioni free-field minori di 0,1 g;
2. profondità media stagionale della falda superiore ai 15 metri dal piano campagna (per piano campagna sub orizzontale e strutture con fondazioni superficiali);
3. sabbie pulite caratterizzate da $(N1)_{60} > 30$ oppure $q_{C1N} > 180$, essendo $(N1)_{60}$ e q_{C1N} rispettivamente il valore del numero di colpi da SPT e della resistenza di punta di CPT, normalizzati e corretti;
4. distribuzione granulometrica esterna a determinate fasce critiche.

In presenza di un rischio liquefazione non trascurabile, si renderebbe necessario prevedere e progettare opere speciali di fondazione per mitigare tale rischio, come il consolidamento del terreno e/o il trasferimento del carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione, quindi in profondità.

Il rischio liquefazione è stato valutato con il Metodo Semplificato di Robertson e Wride (1998) appositamente elaborato per le prove penetrometriche statiche:

$$FSL = CRR / CSR \times MSF$$

dove: FSL = fattore di sicurezza alla liquefazione;

CRR = resistenza al taglio del terreno ad una data profondità;

CSR = sforzo di taglio indotto dal terremoto alla stessa profondità;

MSF= fattore di scala della Magnitudo calcolato in funzione della Magnitudo del sito.

I risultati ottenuti hanno sempre evidenziato valori di $FSL > 1$, quindi una assenza del rischio.

2.6. Caratterizzazione geotecnica del terreno

Sono stati inizialmente ricavati i dati dei parametri del terreno rispetto alle prove pregresse e a quelle di nuova realizzazione, in modo da giungere poi ad una più chiara interpretazione dei parametri del terreno da impiegare nel dimensionamento delle fondazioni.

PROVA CPT 4 da PRG

Strato [m]	cu m [kg/cmq]	$\varphi^{\circ}m$ [°]	COV [-]	cu k (kg/cmq)	$\varphi^{\circ}k$ [°]	Vd (M1)		Vd (M2)	
						cud	$\varphi^{\circ}d$	cud	$\varphi^{\circ}d$
0.00 – 1.60	-	26	0.12	-	21	-	21	-	17
1.60 – 8.20	-	34	0.13	-	26	-	26	-	22
8.20 – 10.00	0.8	-	0.12	0.64	-	0.64	-	0.46	-

dove: cu m = valore medio V_m della coesione non drenata;

$\varphi^{\circ}m$ = valore medio V_m dell'angolo di attrito;

COV = coefficiente di variabilità;

cu k = valore caratteristico V_k della coesione non drenata;

$\varphi^{\circ}k$ = valore caratteristico V_k dell'angolo di attrito;

cu d = valore di progetto V_d della coesione non drenata;

$\varphi^{\circ}d$ = valore di progetto V_d dell'angolo di attrito

PROVA CPT 1 da PGT

Strato [m]	cu m [kg/cm ²]	φ°m [°]	COV [-]	cu k (kg/cm ²)	φ°k [°]	Vd (M1)		Vd (M2)	
						cud	φ°d	cud	φ°d
0.00 – 1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.00 – 9.80	-	34	0.13	-	26	-	26	-	22
9.80 – 10.60	-	31	0.12	-	25	-	25	-	20
10.60 – 12.80	0.9	-	0.11	0.7	-	0.7	-	0.5	-
12.80 – 14.40	-	33	0.12	-	26	-	26	-	21

PROVA CPT 1 da Nuova Scuola Primaria

Strato [m]	cu m [kg/cm ²]	φ°m [°]	COV [-]	cu k (kg/cm ²)	φ°k [°]	Vd (M1)		Vd (M2)	
						cud	φ°d	cud	φ°d
0.00 – 1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.00 – 9.80	-	34	0.13	-	26	-	26	-	22
9.80 – 11.20	0.8	-	0.12	0.6	-	9.5	-	0.4	-
11.20 – 14.20	-	33	0.10	-	23	-	23	-	19

PROVA CPT 3 da Ampliamento Scuola Elementare

Strato [m]	cu m [kg/cm ²]	φ°m [°]	COV [-]	cu k (kg/cm ²)	φ°k [°]	Vd (M1)		Vd (M2)	
						cud	φ°d	cud	φ°d
0.00 – 1.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.40 – 8.40	-	35	0.14	-	27	-	27	-	22
8.40 – 9.00	1.00	-	0.16	0.74	-	0.74	-	0.53	-
9.00 – 9.80	-	30	0.12	-	24	-	24	-	20
9.80 – 11.60	0.60	-	0.11	0.5	-	0.5	-	0.4	-
11.60 – 14.20	-	27	0.10	-	23	-	23	-	19

PROVA CPT / 2022

Strato [m]	cu m [kg/cm ²]	φ°m [°]	COV [-]	cu k (kg/cm ²)	φ°k [°]	Vd (M1)		Vd (M2)	
						cud	φ°d	cud	φ°d
0.00 – 0.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.60 – 1.60	-	32	0.05	-	29	-	29	-	24
1.60 – 8.40	-	36	0.06	-	32	-	32	-	27
8.40 – 9.00	0.88	-	0.06	0.79	-	0.79	-	0.56	-
9.00 – 10.00	-	32	0.05	-	29	-	29	-	24

Nel dimensionamento del sistema fondale sono stati adottati i seguenti parametri:

Terreno	Liv.s.	Liv.i.	Sp.	Liqf	Eel,s	Eel,i	Eed,s	Eed,i
Sabbia limosa1	-60	-160	100	No	110	110	200	200
Sabbia limosa2	-160	-840	680	No	280	280	500	500
Limo argilloso	-840	-900	60	No	35	35	60	60
Sabbia limosa1	-900	-1200	300	No	110	110	0	0

Descrizione	C	Cu	Ø	δ	Ades.	K0	γ n	γ s	E	Poisson
Ghiaia	0	0	38	25	1	0.38	0.001950	0.002150	900	0.3
Sabbia limosa1	0	0	26	18	0	0.56	0.002000	0.002100	110	0.3
Sabbia limosa2	0	0	30	20	0	0.50	0.002000	0.002100	280	0.3
Limo argilloso	0.25	0.75	23	14	0.5	0.61	0.00185	0.00195	35	0.3

dove: **Terreno:** terreno mediamente uniforme presente nello strato.

Liv.s.: quota livello superiore dello strato. [cm]

Liv.i.: quota livello inferiore dello strato. [cm]

Sp.: spessore dello strato. [cm]

Liqf: indica se considerare lo strato come liquefacibile nelle combinazioni sismiche. Con 'Da verifica' viene considerato quanto risulta dalla verifica condotta a fine calcolo solutore.

Eel,s: modulo elastico al livello superiore dello strato per calcolo cedimenti istantanei; 0 per non calcolarli. [daN/cm²]

Eel,i: modulo elastico al livello inferiore dello strato per calcolo cedimenti istantanei; 0 per non calcolarli. [daN/cm²]

Eed,s: modulo edometrico al livello superiore per calcolo cedimenti complessivi; 0 per non calcolarli. [daN/cm²]

Eed,i: modulo edometrico al livello inferiore per calcolo cedimenti complessivi; 0 per non calcolarli. [daN/cm²]

C: coesione del terreno. [daN/cm²]

Cu: coesione non drenata (Cu) del terreno. [daN/cm²]

Ø: angolo di attrito interno del terreno. [deg]

δ: angolo di attrito all'interfaccia terreno-cl. [deg]

Ades: coeff. di adesione della coesione all'interfaccia terreno-cl. Il valore è adimensionale.

K0: coefficiente di spinta a riposo del terreno. Il valore è adimensionale.

γ n: peso specifico naturale del terreno in sito, assegnato alle zone non immerse. [daN/cm³]

γ s: peso specifico saturo del terreno in sito, assegnato alle zone immerse. [daN/cm³]

E: modulo elastico longitudinale del terreno. [daN/cm²]

Poisson: coefficiente di Poisson del terreno. Il valore è adimensionale.

3. Normativa tecnica di riferimento

Le analisi strutturali sono state svolte con riferimento alle seguenti normative tecniche:

**NTC 2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-2008
(testo aggiornato dalle successive NTC 2018)**

Sicurezza (cap.2), Azioni sulle costruzioni (cap.3), Costruzioni in calcestruzzo (par.4.1), Costruzioni in legno (par.4.4), Costruzioni in muratura (par.4.5), Progettazione geotecnica (cap.6), Progettazione per azioni sismiche (cap.7), Costruzioni esistenti (cap.8), Riferimenti tecnici (cap.12), EC3.

NTC 2018 - Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-2018

Sicurezza (cap.2), Azioni sulle costruzioni (cap.3), Costruzioni in calcestruzzo (par.4.1), Costruzioni in legno (par.4.4), Costruzioni in muratura (par.4.5), Progettazione geotecnica (cap.6), Progettazione per azioni sismiche (cap.7), Costruzioni esistenti (cap.8), Riferimenti tecnici (cap.12), EC3.

Circolare Ministeriale del 02-02-2009, n. 617.

Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008.

Circolare Ministeriale del 21-01-2019, n. 7.

Istruzioni per l'applicazione del "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17/01/2018.

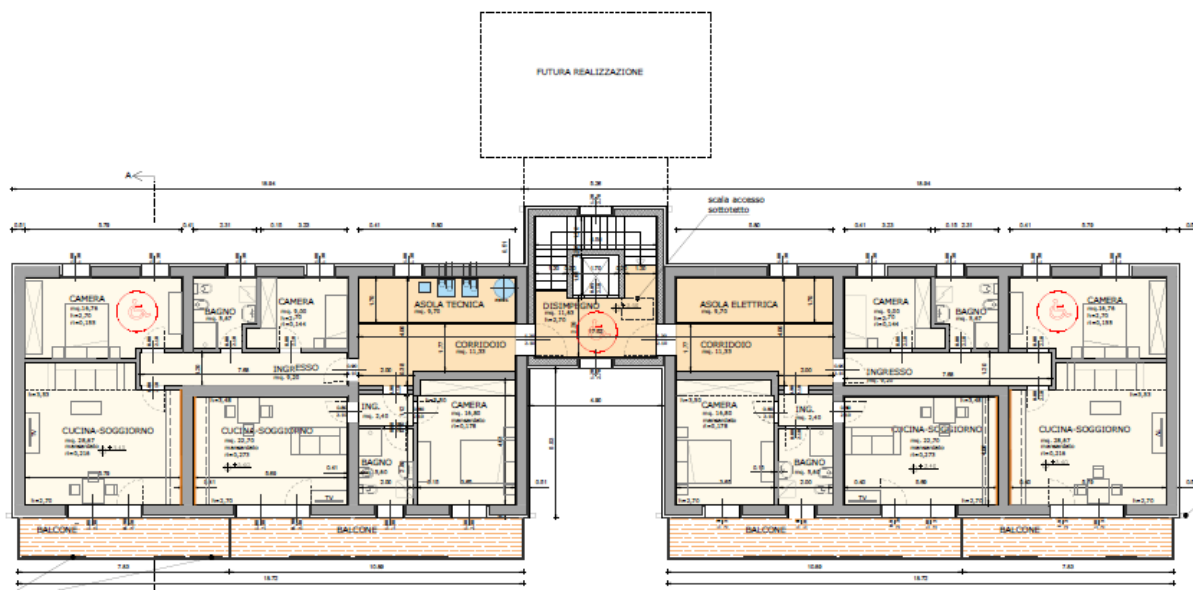
CNR-DT 215/2018 (verifica muri con intonaco armato - FRM)

Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati a matrice inorganica

4. Descrizione dell'edificio e modellazione

4.1. Unità strutturali

La planimetria dell'edificio configura l'immobile come composto da due corpi abitativi simmetrici, con due piani fuori terra, copertura ad un unico spiovente e planimetria di forma rettangolare con dimensione pari a circa 18.90 x 9.40 m. I due corpi sono separati dal vano scala ad uso comune di forma compatta pari a circa 5.25 x 6.00 m, copertura piana ed altezza poco inferiore ai precedenti.



Pianta del Piano primo.

La configurazione planimetrica ed altimetrica, suggerisce immediatamente la presenza di n. 3 unità strutturali, due identiche e speculari corrispondenti ai due blocchi residenziali laterali ed un terzo corrispondente al vano scala centrale.

Le unità abitative ed il vano scala sono stati analizzati attraverso modelli di calcolo separati, nei quali non sono state modellate le fondazioni. Questa scelta è stata dettata da valutazioni svolte in merito alla reale storia di carico dell'edificio. Infatti, nell'edificio reale, la costruzione viene realizzata gradualmente ed il terreno caricato poco alla volta. Eventuali cedimenti differenziali, almeno per la parte elastica e parte di quella viscosa, si esplicano gradualmente e su strutture ancora duttili, in quanto il materiale non ha ancora raggiunto le massime resistenze e rigidità. Le tensioni dovute a questo stato di deformazione differenziale si esplicano e vengono assorbite dall'edificio nelle prime fasi di vita, determinando così una limitata e parziale influenza dei cedimenti indotti dai carichi permanenti strutturali, rispetto ai carichi applicati all'edificio in tempi successivi: carichi permanenti e accidentali. Considerato che i carichi strutturali costituiscono, negli edifici a struttura tradizionale, il 70-75% del carico complessivo, si è quindi ritenuto più realistico dimensionare le strutture fuori terra delle due unità strutturali individuate (residenza e vano

scala), considerando le murature come direttamente vincolate al piede e quindi non in appoggio su fondazioni, non considerando quindi i cedimenti del terreno.

Note sulla modellazione svolta.

L'analisi dell'edificio è stata condotta attraverso tre diversi modelli analitici tridimensionali agli E.F.:

- 1) modello del blocco residenziale di sinistra (identico e speculare a quello di destra)*
- 2) modello del corpo scala*
- 3) modello d'insieme per il dimensionamento delle fondazioni, in cui sono state rappresentate le opere contro terra (travi rovesce e solette) e tutte le opere in elevazione previste (i due corpi residenziali ed il corpo scala), al fine di ricreare l'effettiva situazione di carico a tempo indefinito, sull'intero sviluppo planimetrico dell'edificio. Questo stesso modello di analisi è stato adottato per verificare la dimensione dei giunti sismici.*

4.2. Fondazioni

Le fondazioni sono composte da un reticolo di travi rovesce con ciabatta di spessore 25 cm e parete di altezza 65 cm. L'appoggio a terra varia da un minimo di 80 cm ad un massimo di 120 cm mentre la parete in elevazione presenta uno spessore di 40 cm.

La zona del vano scala, a causa dei limitati spazi disponibili e degli elevati pesi propri, è caratterizzata da una platea di fondazione realizzata all'interno dello spazio compreso tra le fondazioni dei due blocchi residenziali e con spessore 20 cm. La platea è irrigidita da nervature impostate in corrispondenza degli spigoli del vano ascensore e presenti in entrambe le direzioni principali. Le nervature sono risultate necessarie per stabilizzare e diffondere al meglio a terra le azioni scaricate dal pesante vano corsa.

Note sulla modellazione svolta.

Le travi sono state modellate con elementi tipo "beam", svincolati a flessione agli appoggi di estremità, in modo da ridurre la rigidità flessionale e quindi il contributo nell'ambito del comportamento e della rigidità d'insieme.

La platea del vano scala è stata modellata con elementi bidimensionali tipo "plate-shell" quindi con elementi a guscio con comportamento a piastra e quindi dotati di rigidità nel piano e fuori piano, definita in base allo spessore della platea (20 cm).

La modellazione dell'oggetto in elementi finiti è stata condotta adottando una mesh triangolare con dimensione base ≤ 50 cm.

Sia le travi che la platea sono stati modellati come elementi su suolo elastico secondo la teoria di Winkler, adottando i seguenti parametri:

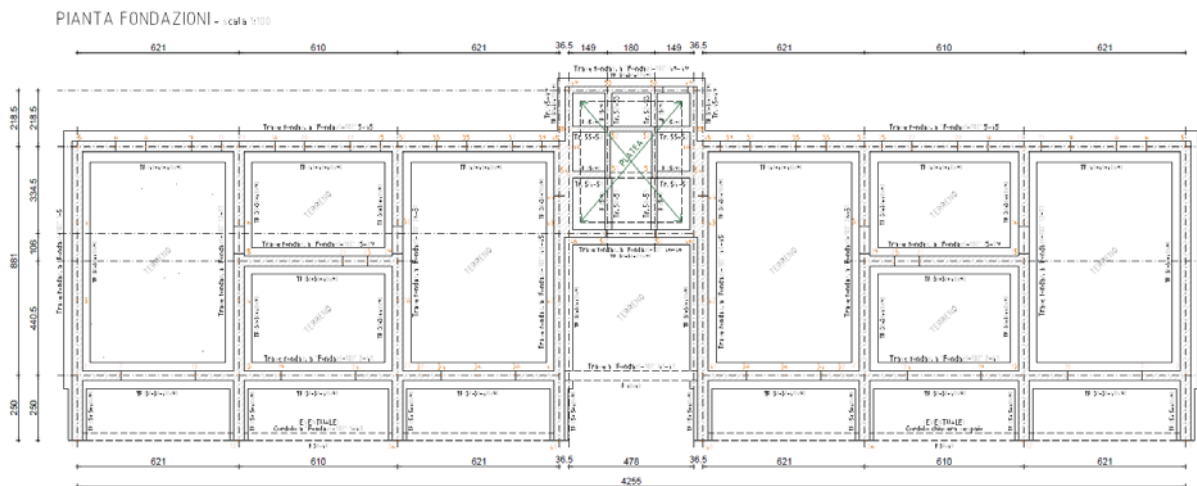
$k_w = 1.00 \text{ daN/cm}^3$ per le travi rovesce isolate

$k_w = 0.40 \text{ daN/cm}^3$ per la platea di fondazione e le travi rovesce ad essa collegate.

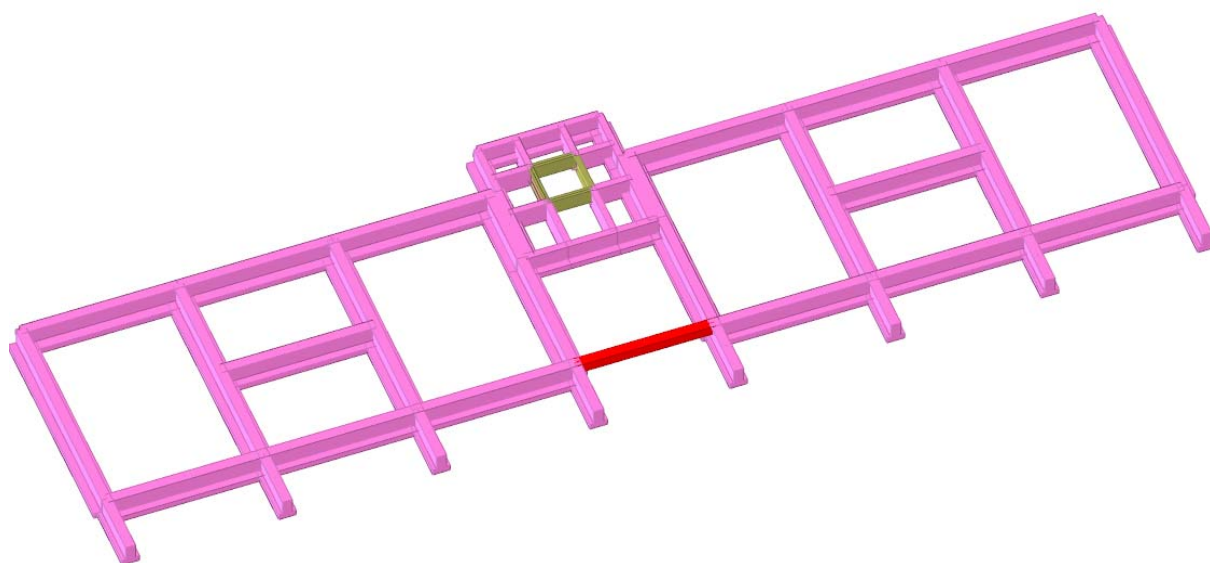
I valori adottati sono in linea con i cedimenti teorici medi indicati nella relazione

geotecnica allegata al progetto ed anche col metodo di calcolo impostato nelle preferenze di analisi (Vesic).

Le strutture di fondazione sono state dimensionate con materiale C25/30, seppur realizzate con calcestruzzo C25/30 per la ciabatta di base e calcestruzzo C28/35 con additivo impermeabilizzante per la parte in elevazione.



Pianta fondazioni di progetto.



Pianta 3D del reticolo di fondazione.

4.3. Murature in laterizio

Le murature portanti dei blocchi residenziali sono composte da blocchi portanti in laterizio alveolare rettificati di spessore 38 cm, con incastro nei corsi verticali e caratterizzati da elevati valori del carico di rottura del blocco pari a $f_{bk} = 12 \text{ N/mm}^2$ (resistenza caratteristica del blocco in direzione verticale) a fronte di valori ordinari di resistenza generalmente variabili tra $7\text{-}8.5 \text{ N/mm}^2$. Questa maggiore resistenza è dovuta ad un disegno tradizionale delle cartelle interne di laterizio (a fori rettangolari) e ad una massa specifica leggermente superiore rispetto ai blocchi portanti più isolanti.

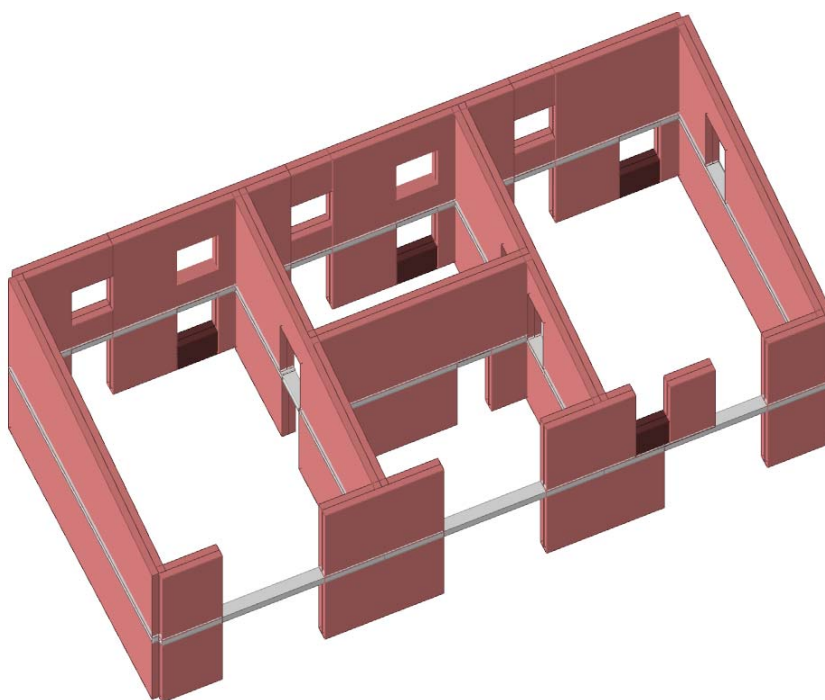
Il blocco adottato come riferimento nel dimensionamento strutturale è tipo “Porotherm BIO PLAN 38-25/19,9 P” serie portante con incastri verticali della ditta “Wienerberger SpA Unipersonaler”.

Al fine di sfruttare al meglio le caratteristiche prestazionali del blocco e migliorare l’isolamento termico della parete, si è adottata una malta con classe di resistenza M10 a “prestazione garantita” posata a “strati sottili” (spessore letto di malta < 3 mm, con un minimo di 0.5 mm).

La classe di esecuzione della muratura è la classe 2, che prevede controlli ispettivi da parte del personale dell’impresa esecutrice (capo cantiere) e da parte di personale esterno all’impresa esecutrice (direttore lavori).

Note sulla modellazione svolta.

La modellazione dei maschi murari e delle travi di collegamento in muratura, è effettuata con elementi tipo plate-shell, quindi con elementi a guscio con comportamento a piastra e quindi dotati di rigidità nel piano e fuori piano. La modellazione della parte strutturale in elementi finiti è stata condotta adottando una mesh triangolare con dimensione base ≤ 50 cm.



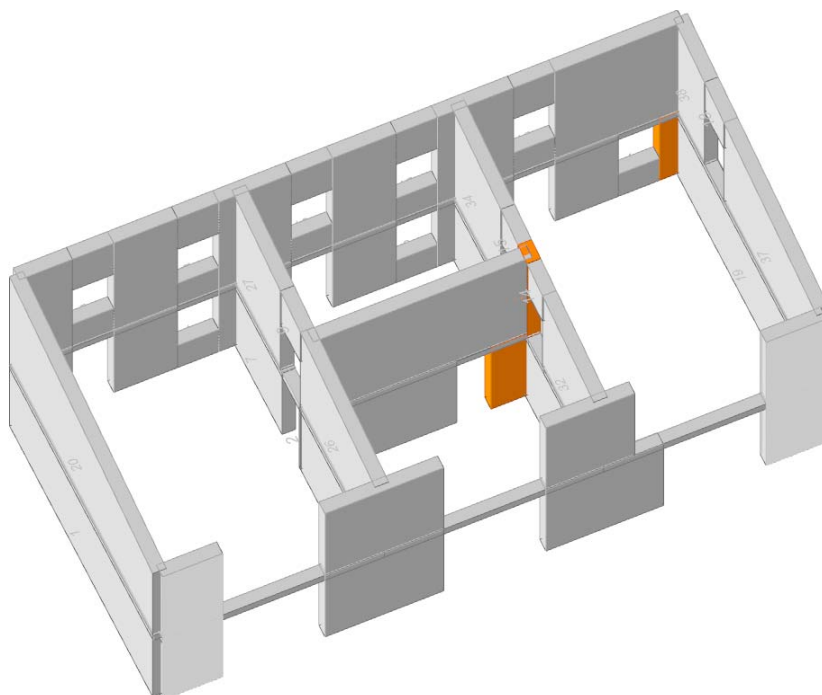
Elementi murari considerati fessurati mediante il modulo elastico ridotto del 50%.

A favore di sicurezza nei confronti della vulnerabilità globale, alcune travi di collegamento di dimensioni ridotte, sono state trascurate ed non inserite nel modello geometrico di calcolo, accettandone implicitamente il danneggiamento.

Per i davanzali delle finestre posizionati al piano terra è stato invece considerato un materiale con modulo elastico ridotto del 50%, rispetto al materiale della parete ordinaria, in modo da considerarne la comparsa di micro fessurazioni in condizioni sismiche. Implicitamente si accetta quindi la presenza di lievi lesioni in questi

elementi, notoriamente costituenti le parti più deboli degli edifici in muratura. Considerata la loro dimensione ed incidenza, in termini di massa e rigidezza globale, si è scelto di mantenerli nella modellazione, seppur soggetti a lieve fessurazione, mediante la modellazione con un modulo elastico ridotto.

Alcune murature, a causa delle limitate dimensioni geometriche, sono state considerate secondarie e quindi non direttamente coinvolte nella resistenza e rigidezza sismica dell'edificio.



Elementi murari considerati secondari.

4.4. Murature in c.a

Le murature portanti del blocco scale sono in calcestruzzo armato con spessore 25 cm per le pareti perimetrali del corpo scala e 20 cm quelle del vano corsa ascensore. In entrambi i casi è stato previsto un calcestruzzo in classe C25/30.

Le pareti sono state armate prevedendo nella parte inferiore, la realizzazione di zone dissipative, mediante l'infittimento delle armature e delle legature trasversali. In particolare si è prevista una armatura diffusa di 1Ø14 vert./ 15 cm ed 1Ø8 orizz. /10 cm nella zona inferiore dissipativa ed armature di 1Ø10 vert. / 20 cm ed iØ10 orizz. / 20 cm nella parte superiore non dissipativa.

Note sulla modellazione svolta.

La modellazione delle pareti in c.a. è effettuata con elementi tipo plate-shell, quindi con elementi a guscio con comportamento a piastra e quindi dotati di rigidezza nel piano e fuori piano.

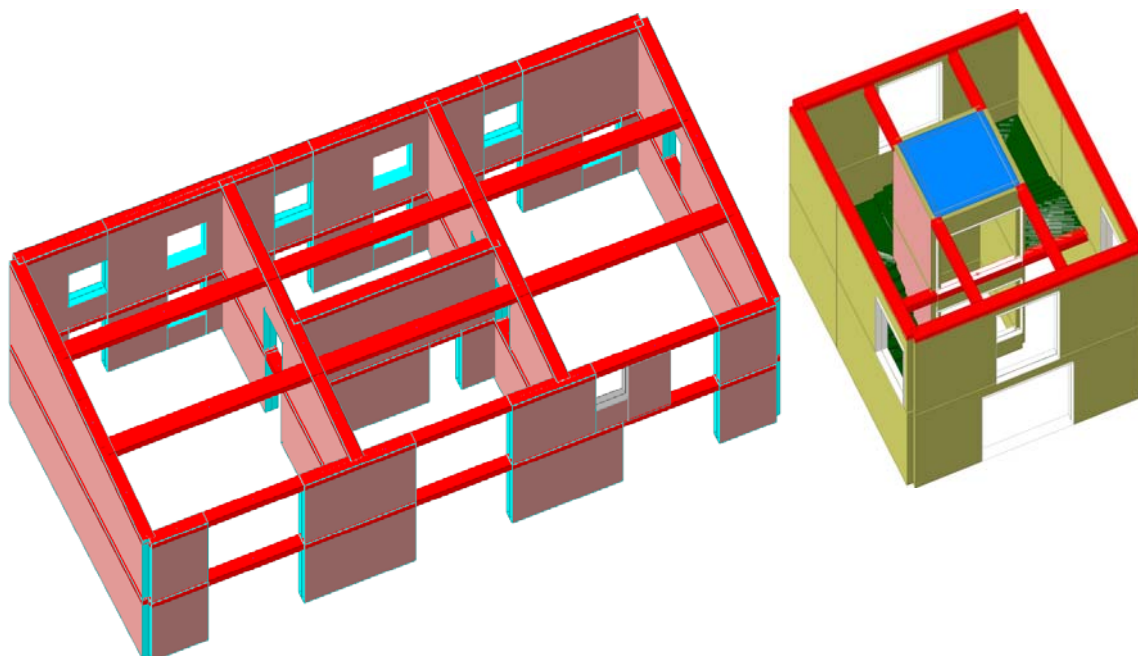
Tutte le murature in c.a. sono state considerate sismo resistenti.

4.5. Travi e cordoli in c.a.

Le travi e cordoli in c.a. presenti al primo e secondo solaio delle diverse unità strutturali, sono state considerate in calcestruzzo C25/30 ed armate con i minimi di normativa (4Ø16 con St.Ø8/25 cm), nel caso di semplici cordoli in appoggio sulle murature portanti oppure, per le travi, armate in base alle sollecitazioni presenti ed i minimi di norma previsti sia per le zone dissipative in prossimità degli appoggi che per le zone di campata. Le travi e cordoli sono stati considerati svincolati alle estremità, trascurando quindi qualsiasi effetto d'incastro fornito dalle murature portanti. In copertura, la disposizione delle travi, segue quanto indicato nel successivo paragrafo, in merito alla disposizione dei solai.

Note sulla modellazione svolta.

Le travi sono state modellate con elementi tipo "beam", generalmente svincolati a flessione agli appoggi o alle estremità, in modo da ridurre la rigidità flessionale e quindi il contributo nell'ambito del comportamento e della rigidità d'insieme. Nel caso invece di travi disposte in continuità su appoggi intermedi, è stata considerata la continuità flessionale con riduzione del picco teorico della flessione mediante raccordo parabolico a partire dai valori della flessione presenti a filo appoggio. Contemporaneamente il momento in campata è assunto pari al massimo valore fornito dal calcolo teorico della trave e la condizione di incastro perfetto aumentata del fattore 1.5 (in questo secondo caso, per una trave incastrata agli appoggi ed una sola campata, il valore in mezzera di $1/24 qL^2$ sarà aumentato a $1/16 qL^2$).



Schema distributivo delle travi del primo e del secondo solaio del blocco residenziale e blocco scala.

4.6. Solai in latero cemento

I solai in latero cemento, sia nel piano intermedio che in quello di copertura, sono stati considerati di spessore 20+5 cm, con struttura a travetti di interasse 50 cm.

Al primo solaio, la disposizione in continuità sui muri interni, permette, seppur con tassi di armatura medio-alti, di soddisfare i requisiti di portata e deformazione. È evidente che questa disposizione, parallela al fronte principale dell'edificio, introduce una situazione che richiede una particolare precauzione per quanto attiene l'attacco del balcone esterno. Inoltre, questa disposizione determina l'assenza di carichi in corrispondenza delle pareti di facciata principali, con conseguenti problematiche in termini di portata delle murature stesse.

Col solaio di copertura si è cercato di ovviare alla assenza di carico applicato alle facciate principali, introducendo una diversa ed articolata disposizione dei solai stessi. Questo ha comportato l'introduzione di travi intermedie non presenti al piano inferiore. Travi che sono state realizzate in continuità, al fine di mitigare le elevate sollecitazioni presenti nelle campate esterne. La campata centrale della trave è stata realizzata con sezione di altezza inferiore (20 cm), al fine di non interrompere completamente la continuità del solaio intercettato, ma captarne comunque parte della massa al fine di controbilanciare flessionalmente l'intera trave. In questo caso, l'attacco della soletta di copertura del balcone posto sul fronte dell'edificio, risulta più agevole rispetto al solio sottostante, in quanto, il solaio presenta una orditura coerente con lo sbalzo e pertanto consente la posa in continuità delle armature della soletta all'interno dei travetti del solaio.

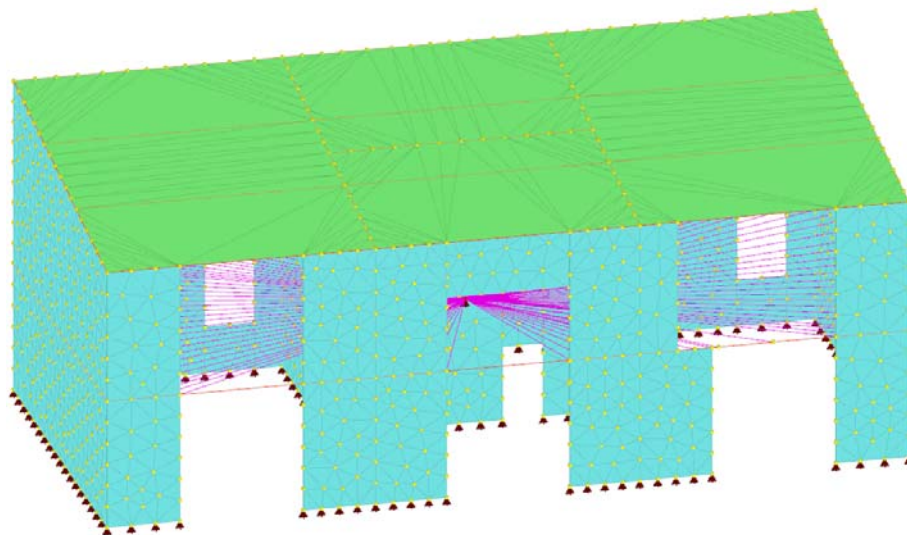
Note sulla modellazione svolta.

I solai in latero cemento sono stati modellati attraverso la definizione e l'inserimento nel modello di calcolo, di un carico superficiale. Definita l'entità delle azioni associate al carico superficiale, l'orditura e la tipologia del solaio, il software effettua la ripartizione delle masse ed azioni in base al criterio "a trave continua", caricando quindi solo le effettive strutture portanti: murature e travi di appoggio diretto. Non è stata applicata, nemmeno parzialmente, l'opzione di ripartizione per "aree di influenza" in modo da riprodurre la corretta migrazione dei carichi nelle strutture portanti verticali. Al carico è stata associata la tipologia del solaio presente ai diversi piani, in modo che il calcolo e la ripartizione del peso proprio venissero svolte in automatico dal software.

I solai, per la presenza di una cappa collaborante armata e di nervature ravvicinate, sono stati modellati con comportamento rigido (rigidezza "infinita" nel proprio piano). Il software non consente, per problemi di convergenza della modellazione analitica, di considerare come rigidi i carichi disposti secondo falde inclinate, permettendo l'applicazione di soli comportamenti membranali con rigidezza "finita". In questo caso (copertura del blocco abitativo), al carico superficiale non è stato associato un

comportamento “rigido”, bensì “membranale”, equivalente ad una “piastra” in calcestruzzo di spessore pari alla cappa collaborante del solaio: quindi 5 cm.

Con l'introduzione di un comportamento membranale al solaio, nel modello di calcolo sono inseriti elementi finiti di forma triangolare tipo “shell”, dotati di peso nullo fuori piano ed in grado di legare i diversi nodi di piano posti a contatto col carico superficiale inserito. Nel caso di comportamento rigido, sono invece introdotti legami cinematici che vincolano reciprocamente gli spostamenti relativi dei punti di piano.



Legami rigidi al solaio del piano intermedio e comportamento membranale con rigidezza “finita” nei piani inclinati.

4.7. Balconi e solette in c.a. a sbalzo

La balconata e la soletta in c.a. di copertura della stessa, è stata inserita all'interno del modello come semplice carico, senza introdurre rigidezze all'elemento rappresentato, al fine di non determinare distorsioni nella modellazione delle travi di bordo in cui le solette si innestano. Si tratta di una scelta cautelativa, in quanto, all'interno del modello di analisi, viene completamente trascurata la resistenza membranale e flessionale delle solette stesse. In copertura, la stabilità della soletta a sbalzo è garantita mediante la collaborazione col solaio di copertura stesso, all'interno dei cui travetti sono prolungate le armature flettenti della soletta a sbalzo.

Al solaio intermedio invece è stato necessario introdurre elementi e risorse integrative, in grado di bilanciare le flessioni, il taglio e la torsione indotte dal balcone. In particolare si sono considerate le seguenti risorse:

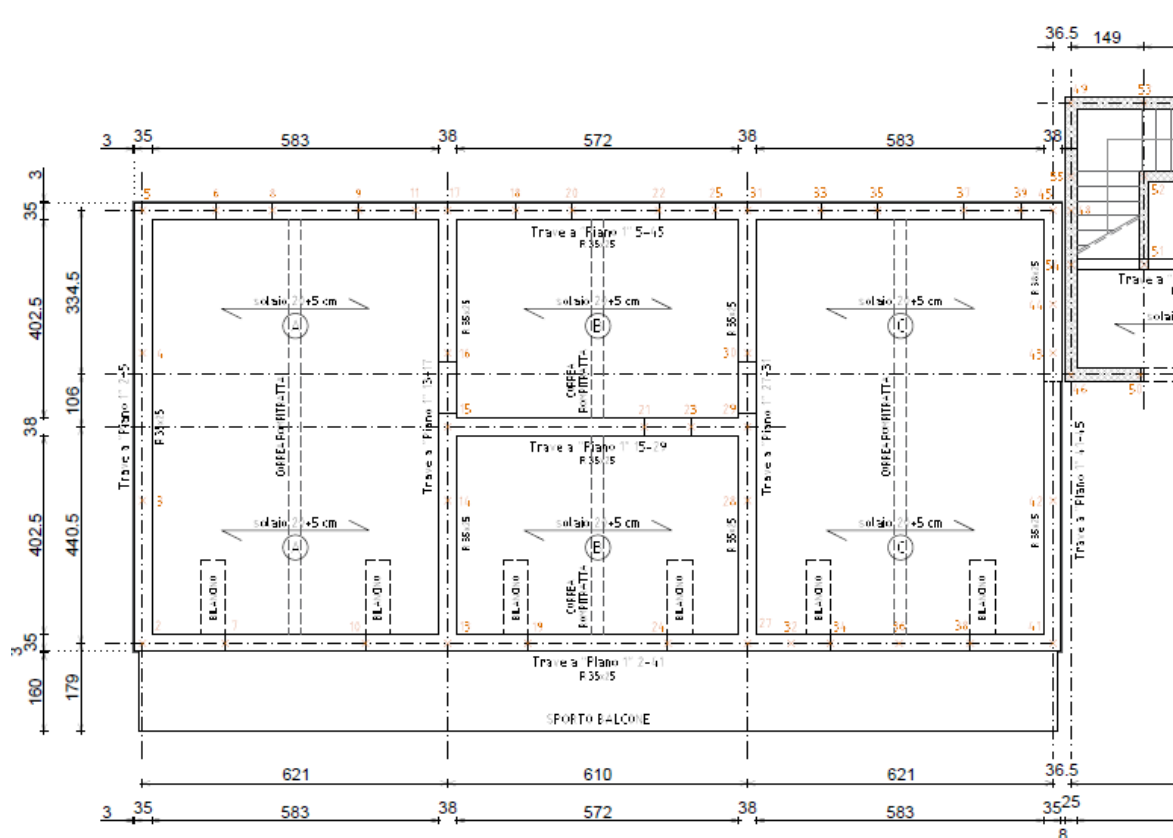
- le armature dei cordoli presenti nelle pareti trasversali alla facciata ed ancorate alla trave/cordolo di facciata in cui si innesta il balcone;
- si è considerata la risorsa resistente a torsione dei tratti di trave presenti nella trave/cordolo di facciata;
- si sono attivati “bilancini” all'interno del solaio, al fine di contenere e mitigare la torsione in corrispondenza degli appoggi murari;

- si è considerata la resistenza flessionale fornita all'appoggio dalle murature del piano superiore.

La verifica è inserita nel fascicolo dei calcoli allegato al progetto.

Note sulla modellazione svolta.

Gli elementi a sbalzo e i balconi sono stati modellati introducendo nel modello semplici carichi superficiali privi di comportamento membranale.



Stralcio planimetria del Primo Solaio.

4.8. Scale a ginocchio con soletta in c.a.

La scala ad uno comune presenta una struttura a ginocchio con solette di spessore 12 cm per le rampe e 15 cm nei pianerottoli intermedi, al fine di consentire la sovrapposizione delle armature senza ridurre l'altezza utile di calcolo della soletta stessa.

Le rampe sono sostenute, in partenza dalla nervatura di irrigidimento presente in fondazione ed all'arrivo da una trave di piano che definisce il bordo del solaio in affaccio verso il vano ascensore. Nei pianerottoli intermedi e nelle alzate ad essi adiacenti, sono stati inseriti spezzoni di barre, inghisate direttamente nelle murature d'ambito in c.a., con funzione di spinotti portanti a taglio. Il loro numero e posizione è tale da fornire adeguate risorse di portata nel rispetto dei vincoli assunti nello schema di calcolo adottato.

La scala, nell'ambito della modellazione antisismica, è stata considerata un elemento secondario, pertanto svincolato a flessione alle estremità, nel rispetto inoltre delle effettive condizioni di vincolo fornite dagli spinotti metallici.

Note sulla modellazione svolta.

Il calcolo strutturale della scala è stato svolto impiegando un software di calcolo esterno al software generale di modellazione agli elementi finiti, al fine di riprodurre più fedelmente le effettive geometrie e schemi strutturali. Le rampe sono state considerate come solette e pertanto, non armate a taglio e a flessione secondo le regole e i minimi previsti per le strutture a trave. Questa scelta ha permesso, trattandosi inoltre di elemento secondario, di contenere l'armatura richiesta, specialmente al taglio, in quanto, per le solette non sono previste zone critiche ed armature di duttilità.

4.9 Quote e livelli impiegati nella modellazione geometrica dell'edificio

Nel seguito vengono definiti i livelli e le relative quote altimetriche, impiegate nella rappresentazione del modello di calcolo. Successivamente vengono definite le falde (piani inclinati) ed i tronchi, individuati tra due livelli ed impiegati per definire pareti e maschi murari.

4.9.1. Livelli

Descrizione breve: nome sintetico assegnato al livello.

Descrizione: nome assegnato al livello.

Quota: quota superiore espressa nel sistema di riferimento assoluto. [cm]

Spessore: spessore del livello. [cm]

CORPO RESIDENZIALE

Descrizione breve	Descrizione	Quota	Spessore
L1	Fondazione	-10	0
L2	Piano 1 -25	270	0
L3	Piano 1	295	0
L4	Gronda 1 -25	579	0
L5	Gronda1	605	0

L0 – Riferimento (0): quota di estradosso della pavimentazione del piano terra

L1 – Fondazione (-10): quota di estradosso delle fondazioni a T rovescio, coincidente con la quota di imposta delle murature del piano terra

L2 – Piano 1-25 (270): quota di estradosso delle murature del piano terra, coincidente con la quota di appoggio del primo solaio

L3 – Piano 1 (295): quota di estradosso del primo solaio di spessore 25 cm

L4 – Gronda 1-25 (579): quota minima, in corrispondenza del fronte principale, dell'estradosso delle murature del piano primo, coincidente con la quota di appoggio del secondo solaio di copertura

L5 – Gronda 1 (605): quota di estradosso del solaio di copertura (spessore 25 cm) in corrispondenza del fronte principale

Il livello di definizione delle murature del piano primo e le relative altezze, sono state individuate mediante la definizione di falda (falda 1 e falda 1-25), impostata a livello "gronda 1" con prefissata pendenza: circa 8.5° per la copertura e 5° per lo sporto a sbalzo.

CORPO SCALA

Descrizione breve	Descrizione	Quota	Spessore
L1	Fondaz(-75)	-75	0
L2	Fondaz(-10)	-10	0
L3	Piano 1 -25	270	0
L4	Piano 1	295	0
L5	Gronda 1 -25	579	0
L6	Gronda1	605	0

L0 – Riferimento (0): quota di estradosso della pavimentazione del piano terra

L1 – Fondazione (-75): quota di estradosso della soletta di base delle fondazioni a T rovescio, al di sopra della quale viene posato il vespaio in ciottolo

L1 – Fondazione (-10): quota di estradosso delle fondazioni a T rovescio, coincidente con la quota di imposta delle murature del piano terra

L2 – Piano 1-25 (270):	quota di estradosso delle murature del piano terra, coincidente con la quota di appoggio del primo solaio
L3 – Piano 1 (295):	quota di estradosso del primo solaio di spessore 25 cm
L4 – Gronda 1-25 (579):	quota minima, in corrispondenza del fronte principale, dell'estradosso delle murature del piano primo, coincidente con la quota di appoggio del secondo solaio di copertura
L5 – Gronda 1 (605):	quota di estradosso del solaio di copertura (spessore 25 cm) in corrispondenza del fronte principale

4.9.2. Falde

Descrizione breve: nome sintetico assegnato alla falda.

Descrizione: nome assegnato alla falda.

Sp.: spessore del piano della falda. [cm]

Primo punto: primo punto di definizione del piano dell'estradosso della falda.

X: coordinata X. [cm]

Y: coordinata Y. [cm]

Quota: quota, esprimibile come livello, falda, piano orizzontale alla Z specificata. [cm]

Secondo punto: secondo punto di definizione del piano dell'estradosso della falda.

X: coordinata X. [cm]

Y: coordinata Y. [cm]

Quota: quota, esprimibile come livello, falda, piano orizzontale alla Z specificata. [cm]

Terzo punto: terzo punto di definizione del piano dell'estradosso della falda.

X: coordinata X. [cm]

Y: coordinata Y. [cm]

Quota: quota, esprimibile come livello, falda, piano orizzontale alla Z specificata. [cm]

CORPO RESIDENZIALE

Descrizione breve	Descrizione	Sp.	Primo punto			Secondo punto			Terzo punto		
			X	Y	Quota	X	Y	Quota	X	Y	Quota
F1	Falda 1	0	19	0	Gronda1	1871	0	Gronda1	19	881	735.1
F2	Falda 1 -25	0	19	0	Gronda 1 -25	1871	0	Gronda 1 -25	19	881	710.4
F3	Falda 2	0	19	-250	627.3	1871	0	Gronda1	19	0	Gronda1

F1 - Falda 1: falda principale di copertura del blocco residenziale, impostata a partire dal livello Gronda 1, quindi ad estradosso solaio

F2 - Falda 1-25: falda principale di copertura del blocco residenziale, impostata a partire dal livello Gronda 1-25, quindi ad intradosso solaio

F3 - Falda 2: falda secondaria che definisce l'andamento della soletta inclinata di copertura della balconata sul fronte

CORPO SCALE: nessuna falda definita

4.9.3. Tronchi

Descrizione breve: nome sintetico assegnato al tronco.

Descrizione: nome assegnato al tronco.

Quota 1: riferimento della prima quota di definizione del tronco, esprimibile come livello, falda, piano orizzontale alla Z specificata. [cm]

Quota 2: riferimento della seconda quota di definizione del tronco, esprimibile come livello, falda, piano orizzontale alla Z specificata. [cm]

CORPO RESIDENZIALE

Descrizione breve	Descrizione	Quota 1	Quota 2
T1	Fondazione - Piano 1	Fondazione	Piano 1
T2	Piano 1 - Falda 1	Piano 1	Falda 1
T3	Piano 1 - Falda 2	Piano 1	Falda 2
T4	Piano 1 - Falda 1 -25	Piano 1	Falda 1 -25

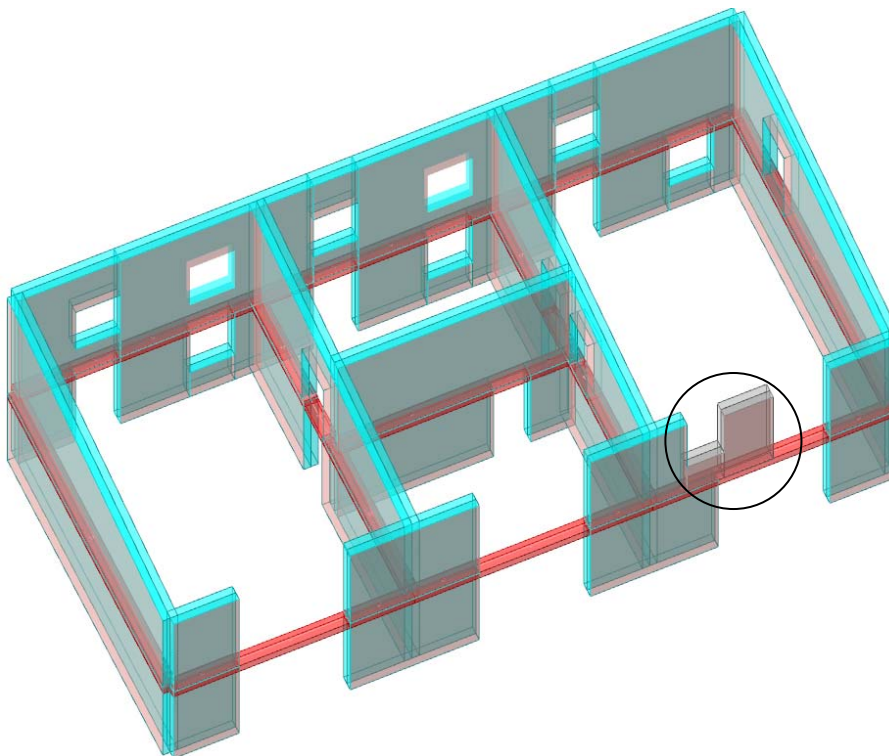
I tronchi sono impiegati per definire, in altezza, lo sviluppo degli elementi portanti verticali, come murature, setti e pilastri.

T1: Fondazione - Piano 1: tronco di definizione delle murature in laterizio del piano terra, dal livello fondazione al livello Piano 1

T2: Piano 1 – Falda 1: tronco di definizione delle murature in laterizio del piano primo, dal livello Piano 1 al livello Falda 1

T3: Piano 1 – Falda 2: tronco di definizione non utilizzato che definisce il tronco compreso tra il piano primo e la soletta inclinata di copertura della balconata

T4: Piano 1 – Falda 1-25: tronco di definizione delle murature in laterizio del piano primo, sino ad intradosso del solaio di copertura. Il tronco è stato impiegato per rappresentare il maschio murario secondario e portato in falso dalla trave di bordo del 1° solaio



Elementi con appoggio "in falso" individuati col tronco T4.

CORPO SCALE

Descrizione breve	Descrizione	Quota 1	Quota 2
T1	Fondaz(-10) - Piano 1	Fondaz(-10)	Piano 1
T2	Piano 1 - Gronda1	Piano 1	Gronda1
T3	Fondaz(-75) - Fondaz(-10)	Fondaz(-75)	Fondaz(-10)

I tronchi sono impiegati per definire, in altezza, lo sviluppo degli elementi portanti verticali, come murature, setti e pilastri.

- T1: Fondaz.(-10) - Piano 1: tronco di definizione delle murature in laterizio del piano terra, dal livello fondazione al livello Piano 1
- T2: Piano 1 – Gronda 1: tronco di definizione delle murature in laterizio del piano primo, dal livello Piano 1 al livello Gronda 1 (solaio di copertura piano)
- T3: Fondaz.(-75) – Fondaz.(-10): tronco di definizione delle pareti in c.a. del vano corsa, impostate a partire dalla platea di fondazione, sino al livello Fondaz.(-10), a cui sono impostate tutte le altre murature.

5. Carichi applicati al modello di calcolo

Il modello di analisi è stato caricato cercando di riprodurre, al meglio, la reale distribuzione di carico presente nell'edificio.

I carichi introdotti per l'analisi dello stato di progetto, sono stati leggermente modificati rispetto allo stato di fatto, per tenere in conto delle attività strutturali ed edili, previste.

5.1. Condizioni elementari di carico

Descrizione: nome assegnato alla condizione elementare.

Nome breve: nome breve assegnato alla condizione elementare.

Durata: descrive la durata della condizione (necessario per strutture in legno).

Psi0: coefficiente moltiplicatore ψ_0 . Il valore è adimensionale.

Psi1: coefficiente moltiplicatore ψ_1 . Il valore è adimensionale.

Psi2: coefficiente moltiplicatore ψ_2 . Il valore è adimensionale.

Var.segno: descrive se la condizione elementare ha la possibilità di variare di segno.

Descrizione	Nome breve	Durata	Psi0	Psi1	Psi2	Var.segno
Pesi strutturali	Pesi	Permanente				
Permanenti portati	Port.	Permanente				
Variabile A	Variabile A	Media	0.7	0.5	0.3	
Neve	Neve	Media	0.5	0.2	0	
ΔT	ΔT	Media	0.6	0.5	0	No
Sisma X SLV	SLV X					
Sisma Y SLV	SLV Y					
Sisma Z SLV	SLV Z					
Ecc. Y per sisma X SLV	EySx SLV					
Ecc. X per sisma Y SLV	ExSy SLV					
Sisma X SLD	X SLD					
Sisma Y SLD	Y SLD					
Sisma Z SLD	Z SLD					
Ecc. Y per sisma X SLD	EySx SLD					
Ecc. X per sisma Y SLD	ExSy SLD					
Terreno sisma X SLV	Tr sLV X					
Terreno sisma Y SLV	Tr sLV Y					
Terreno sisma Z SLV	Tr sLV Z					
Terreno sisma X SLD	Tr x SLD					
Terreno sisma Y SLD	Tr y SLD					
Terreno sisma Z SLD	Tr z SLD					
Rig Ux	Rig Ux					
Rig Uy	Rig Uy					
Rig Rz	Rig Rz					

5.2. Carichi statici superficiali

Nome: nome identificativo della definizione di carico.

Valori: valori associati alle condizioni di carico.

Condizione: condizione di carico a cui sono associati i valori.

Descrizione: nome assegnato alla condizione elementare.

Valore: modulo del carico superficiale applicato alla superficie. [daN/cm²]

Applicazione: modalità con cui il carico è applicato alla superficie.

Nome	Valori		
	Condizione	Valore	Applicazione
	Descrizione		
Resid.	Pesi strutturali	0	Verticale
	Permanenti portati	0.0250	Verticale
	Variabile A	0.0200	Verticale
Cop.	Neve	0	Verticale
	Pesi strutturali	0	Verticale
	Permanenti portati	0.0125	Verticale
Res.balcone	Variabile A	0	Verticale
	Neve	0.0100	Verticale
	Pesi strutturali	0.0375	Verticale
	Permanenti portati	0.0150	Verticale
	Variabile A	0.0400	Verticale

Nome	Valori		
	Condizione	Valore	Applicazione
	Descrizione		
	Neve	0	Verticale
Cop.balcone	Pesi strutturali	0.0375	Verticale
	Permanenti portati	0.0080	Verticale
	Variabile A	0	Verticale
	Neve	0.0120	Verticale

I carichi permanenti strutturali dei solai sono applicati in automatico dal software di analisi, in base alla tipologia di solaio associata al carico. In particolare, per il solaio in latero-cemento di spessore 20+5 cm ed interasse 50 cm, si è considerato un carico permanente strutturale di 340 daN/m².

Per quanto riguarda invece i carichi permanenti, si sono svolte le seguenti considerazioni:

carico "Resid."

intonaco inferiore	10 daN/mq
pavimento	140 daN/mq
tramezzature	100 daN/mq

carico "Resid. balcone"

intonaco inferiore	15 daN/mq
pavimento	135 daN/mq
tramezzature	0 daN/mq

carico "Cop."

Ondulina metallica	10 daN/mq
coibente	40 daN/mq
guaina impermeabile	5 daN/mq

(opzione carichi considerati)

<i>manto di copertura</i>	<i>80 daN/mq</i>	<i>(coppi tradizionali)</i>
<i>coibente acustico</i>	<i>40 daN/mq</i>	
<i>guaina impermeabile</i>	<i>5 daN/mq</i>	

carico "Cop. balconi"

ghiaio lavato 5 cm	75 daN/mq	(1500 daN/mc)
guaina impermeabile	5 daN/mq	

5.3. Carichi statici concentrati e lineari

Al modello di analisi è stato applicato un solo carico lineare. Questo è stato impiegato per caricare la campata centrale delle travi 3-42 e 4-43, allo scopo di simulare il carico trasmesso dal solaio intercettato e disposto trasversalmente. Il carico considerato è stato opportunamente ridotto per considerare una situazione cautelativa nei confronti della travata e nei confronti del solaio stesso, anche in forza delle notevoli differenze presenti tra le rispettive leggi di calcolo.

Nome: nome identificativo della definizione di carico.

Valori: valori associati alle condizioni di carico.

Condizione: condizione di carico a cui sono associati i valori.

Descrizione: nome assegnato alla condizione elementare.

Fx i.: valore iniziale della forza, per unità di lunghezza, agente in direzione X. [daN/cm]

Fx f.: valore finale della forza, per unità di lunghezza, agente in direzione X. [daN/cm]

Fy i.: valore iniziale della forza, per unità di lunghezza, agente in direzione Y. [daN/cm]

Fy f.: valore finale della forza, per unità di lunghezza, agente in direzione Y. [daN/cm]

Fz i.: valore iniziale della forza, per unità di lunghezza, agente in direzione Z. [daN/cm]

Fz f.: valore finale della forza, per unità di lunghezza, agente in direzione Z. [daN/cm]

Mx i.: valore iniziale della coppia, per unità di lunghezza, agente attorno l'asse X. [daN]

Mx f.: valore finale della coppia, per unità di lunghezza, agente attorno l'asse X. [daN]

My i.: valore iniziale della coppia, per unità di lunghezza, agente attorno l'asse Y. [daN]

My f.: valore finale della coppia, per unità di lunghezza, agente attorno l'asse Y. [daN]

Mz i.: valore iniziale della coppia, per unità di lunghezza, agente attorno l'asse Z. [daN]

Mz f.: valore finale della coppia, per unità di lunghezza, agente attorno l'asse Z. [daN]

Nome	Valori												
	Condizione	Fx i.	Fx f.	Fy i.	Fy f.	Fz i.	Fz f.	Mx i.	Mx f.	My i.	My f.	Mz i.	Mz f.
	Descrizione												
1	Pesi strutturali	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0
	Permanenti portati	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Variabile A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Neve	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.4. Masse valutate automaticamente dal software di calcolo

I pesi propri dei materiali, rappresentati geometricamente all'interno del software di calcolo strutturale, vengono valutati in automatico dalla procedura di calcolo ed inseriti, all'interno delle combinazioni di calcolo, come pesi strutturali. Il calcolo è svolto semplicemente moltiplicando, il volume dell'oggetto rappresentato, per la relativa massa specifica, introdotta come dato di input, nella definizione dei materiali strutturali. Quindi sono state definite, a priori, le seguenti masse strutturali, i cui valori sono stati desunti dalle normative di riferimento, dalla letteratura tecnica o dalla prassi di calcolo strutturale:

- peso della muratura in blocchi alveolari	1200	daN/mc
- peso della finitura ad intonaco su murature	60	daN/mq
- peso del calcestruzzo ordinario	2500	daN/mc
- peso del calcestruzzo alleggerito con EPS	300	daN/mc
- peso del legno in genere	400-450	daN/mc
- peso dell'acciaio in genere	7850	daN/mc

5.5 Azione del vento

Zona	Zona 1 : Lombardia	
Rugosità	B (aree urbane non di classe A, suburbane, industriali e boschive)	
Categoria esposizione	IV	
Vb	2500	[cm/s]
Tr	50	[anni]
Ct	1	
qb	0.00391	[daN/cm ²]

Il carico del vento è stato trascurato nella modellazione svolta, in quanto molto meno rilevante dell'azione sismica.

5.6 Azione della neve

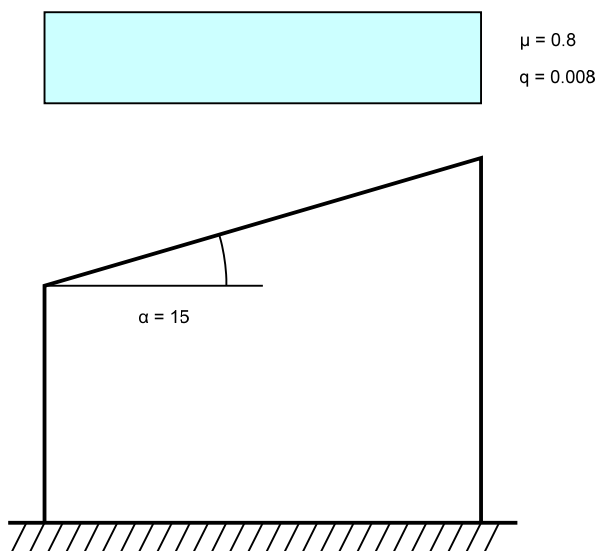
Zona	Zona II
Classe topografica	Normale (Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi)
Ce	1
Ct	1
Tr	50 [anni]
qsk	0.01 [daN/cm ²]

L'attuale normativa prevede carichi neve $q = q_{sk} \times \mu \times C_e \times C_t = 100 \mu$ daN/mq.

Il coeff. di forma μ (assunto pari a 0.80), dipende dalla pendenza e sagoma delle coperture, porta ai valori sotto riportati e dai quali si è desunto il carico uniforme di 80 daN/mq.

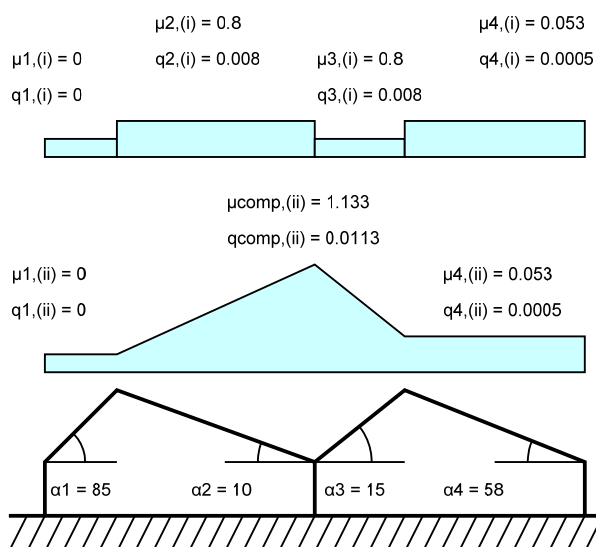
Copertura a due falde D.M. 17-01-18 §3.4.3.2

α	15	[deg]
μ	0.8	
q	0.008	[daN/cm ²]



Copertura a due falde (o più) § C3.4.3.3 Circolare 7 21-01-19

α_1	85	[deg]
α_2	10	[deg]
α_3	15	[deg]
α_4	58	[deg]
$\mu_{1,(i)}$	0	
$\mu_{2,(i)}$	0.8	
$\mu_{3,(i)}$	0.8	
$\mu_{4,(i)}$	0.053	
$\mu_{1,(ii)}$	0	
$\mu_{comp,(ii)}$	1.133	
$\mu_{4,(ii)}$	0.053	
$q_{1,(i)}$	0	[daN/cm ²]
$q_{2,(i)}$	0.008	[daN/cm ²]
$q_{3,(i)}$	0.008	[daN/cm ²]
$q_{4,(i)}$	0.0005	[daN/cm ²]
$q_{1,(ii)}$	0	[daN/cm ²]
$q_{comp,(ii)}$	0.0113	[daN/cm ²]
$q_{4,(ii)}$	0.0005	[daN/cm ²]



5.7. Carico sismico

5.7.1. Azione sismica di sito

Secondo quanto previsto nel par. 3.2 e nell'Allegato A delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008, richiamate dalle NTC 2018, la pericolosità sismica del sito in esame è definita a partire dai dati riportati sul sito dell'INGV.

La pericolosità sismica definita dall'INGV fornisce i valori di accelerazione orizzontale massima a_g ed i parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, con riferimento ad un terreno con comportamento orizzontale rigido. I valori vengono forniti in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi ricoprono l'intero territorio nazionale e con distanza massima reciproca di circa 10 km, e per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno T_r ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi precisati dalla norma, per tener conto delle amplificazioni prodotte dalle locali condizioni stratigrafiche del sottosuolo e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

Le azioni di progetto si ricavano, su terreno di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei seguenti parametri:

a_g : accelerazione orizzontale massima del terreno;

F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* : periodo d'inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuna delle probabilità di superamento previste in 50 anni, vengono forniti i valori dei tre parametri suddetti.

Le forme dello spettro di accelerazione previste dalle norme sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. Pertanto, per poter definire lo spettro dell'azione sismica, occorre fissare:

1. la vita di riferimento V_r della costruzione;
2. le probabilità di superamento P_v , nell'ambito della vita di riferimento, associate a ciascuno degli stati limite considerati.

Per l'edificio in oggetto, è stata considerata una vita nominale **$V_n = 50$ anni** (opere ordinarie) ed una **classe d'uso II** (costruzioni con affollamenti normali), a cui corrisponde un coefficiente d'uso $C_U = 1.0$, e quindi una vita di riferimento:

$$V_r = C_U \times V_n = 1.0 \times 50 \text{ anni} = 50 \text{ anni.}$$

La norma prende in considerazione le seguenti verifiche sismiche, per le quali sono prefissati i valori delle probabilità di superamento P_v , mentre gli altri parametri, caratterizzanti la forma spettrale, sono definiti in funzione di V_r .

Stai limite di esercizio

	Pv (%)	Tr (anni)	a_g/g	Fo	Tc* (sec)
SLO	81	(30<) $0.6 \cdot V_r = 45$	0.0328	2.547	0.213
SLD	63	$V_r = 75$	0.0393	2.566	0.250

Stai limite ultimi

	Pv (%)	Tr (anni)	a_g/g	Fo	Tc* (sec)
SLV	10	$9.50 \cdot V_r = 712$	0.0866	2.590	0.303
SLC	5	$19.50 \cdot V_r = 1462$ (<2475)	0.1108	2.593	0.303

I suddetti valori di accelerazione (a_g/g) sono moltiplicati per il coefficiente di amplificazione topografica $S_t = 1.0$ (categoria topografica T1 associata a un terreno morfologicamente pianeggiante) e per il coefficiente di amplificazione stratigrafica per sisma orizzontale S_s , che considera la risposta sismica locale di cui si tratta nel paragrafo successivo (per terreno rigido di categoria A: $S_s=1$).

Si assume inoltre che il moto del terreno possa avvenire, non contemporaneamente, in due direzioni orizzontali ortogonali ed individuate con le due direzioni principali dell'edificio.

Il modello di riferimento per la descrizione del moto sismico del suolo è lo spettro di risposta elastico, così come sopra definito.

Nell'ambito di **analisi di tipo lineare**, in cui si assume un comportamento dissipativo "a priori" della struttura, l'azione sismica di progetto è ricavabile dallo spettro di risposta elastico attraverso un coefficiente denominato fattore di comportamento (q), che mette in conto la capacità dissipativa della struttura, riducendo l'intensità del carico sismico applicato.

Nell'ambito invece di **analisi non lineari**, la capacità dissipativa della struttura viene considerata nella procedura di analisi e non assunta a priori, l'azione sismica di progetto quindi coincidente con lo spettro di risposta elastico.

L'edificio è considerato non regolare sia in pianta che in altezza, a causa della asimmetria della struttura rispetto alla direttrice est-ovest e della disomogeneità in altezza delle strutture portanti.

5.7.2. Risposta sismica locale e coeff. di amplificazione stratigrafica S_s

La sismicità locale è stata verificata mediante specifiche indagini geologiche e sismiche, di cui si è detto ai par. 2.3, 2.4 e 2.5.

L'analisi di 1° livello, svolta con indagine diretta tipo HVSR con "Tromino", combinata coi numerosi dati disponibili in zona, hanno permesso di identificare, dal punto di vista sismico, la presenza di un terreno caratterizzato da $V_{S,30} = 222$ m/s, quindi in categoria C: *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s"*.

L'area di intervento, essendo classificata in zona con scenario sismico "Z4a", per la quale si attendono effetti di amplificazione litologica, richiede un ulteriore approfondimento della sismicità locale mediante analisi di "2° livello della sismicità locale". Questa ha portato a definire fattori di amplificazione sismica locale in linea o inferiori, rispetto ai fattori limite definiti per il territorio comunale e per un terreno tipo C, confermando quindi l'esito del 1° livello.

Quindi l'edificio dovrà essere analizzato con un terreno in **categoria sismica C**, caratterizzato da $S_s = 1.5$.

5.7.3. Fattori di comportamento q

Il fattore di comportamento q può essere determinato in due diversi modi:

- adottando i parametri massimi forniti dalla normativa (talvolta, per edifici di conformazione geometrica particolare, tali valori possono risultare eccessivi e quindi portare ad una analisi poco conservativa);
- determinato partendo dai risultati forniti dalle "analisi statiche non lineari" (push over) condotte sul modello di calcolo agli elementi finiti ed adottando la seguente procedura di analisi.

Dall'analisi delle curve di capacità prodotte per ogni combinazione di carico, è possibile ottenere un valore di stima, per ogni curva, della duttilità strutturale, intesa come rapporto fra lo spostamento ultimo (X_u) del sistema equivalente ad un grado di libertà e lo spostamento dello stesso al limite di snervamento (X_y):

$$\mu = \frac{X_u}{X_y}$$

Il fattore di comportamento, inteso invece come rapporto fra la forza massima raggiunta nella curva di spostamento e la forza massima che caratterizza il sistema equivalente ad un grado di libertà, si esprime come:

$$q = \frac{F_{\max}}{F_y} = \sqrt{2 \cdot \mu - 1}$$

Il calcolo porge i risultati riportati nelle seguenti tabelle, ove:

d_m^*	spostamento ultimo del sistema ad un grado di libertà (SDOF), pari alla capacità;
F_y^*	è la forza al limite di snervamento del sistema ad un grado di libertà (SDOF);
k^*	rigidezza del sistema ad un grado di libertà (SDOF);
d_y^*	spostamento a cui corrisponde lo snervamento del sistema ad un grado di libertà (SDOF);
μ	duttilità misurata sul legame bilatero del sistema elasto-plastico equivalente, come rapporto tra lo spostamento ultimo (fine del tratto orizzontale) e lo spostamento al limite elastico (inizio del tratto orizzontale);
q	fattore di comportamento

Considerata la tipologia dell'edificio è stata adottata la prima procedura di calcolo, partendo quindi dai dati di normativa.

Il par. 7.8.1.3 delle NTC 2018, per edificio in muratura ordinaria regolare in altezza e regolare in pianta, definisce quanto segue:

Pertanto, trattandosi di un edificio in blocchi artificiali con foratura > 15%, il fattore di comportamento è dato da:

$$q_{lim} = q_0 \times K_R$$

$$q_0 = 1.75 \times \alpha_u / \alpha_1 = \quad (\text{per edificio regolare in elevazione ed in pianta})$$

$$\alpha_u / \alpha_1 = 1.7$$

K_R = fattore riduttivo per edificio non regolare in elevazione con valore pari a 1.0 se regolare in elevazione e valore di 0.8 se non regolare.

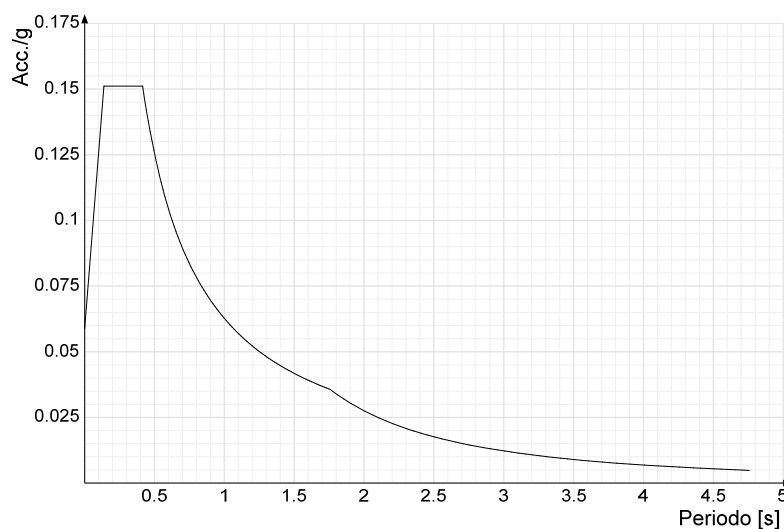
In caso di edificio non regolare in pianta il fattore α_u / α_1 dovrà essere ridotto mediandone il valore con $\alpha_u / \alpha_1 = 1.0$: $\alpha_u / \alpha_1 = (\alpha_u / \alpha_1 + 1.0) / 2$

$$q_{lim} = 1.75 \times 1.7 \times 1.0 = \mathbf{2.98}$$

Il medesimo parametro è stato adottato anche per l'analisi del corpo scala, in quanto associato ad un fattore leggermente superiore: $q_{lim} = 3.0 \times 1.2 \times 1.0 \times 0.88(K_w) = 3.17$.

5.7.4. Spettri di risposta sismica

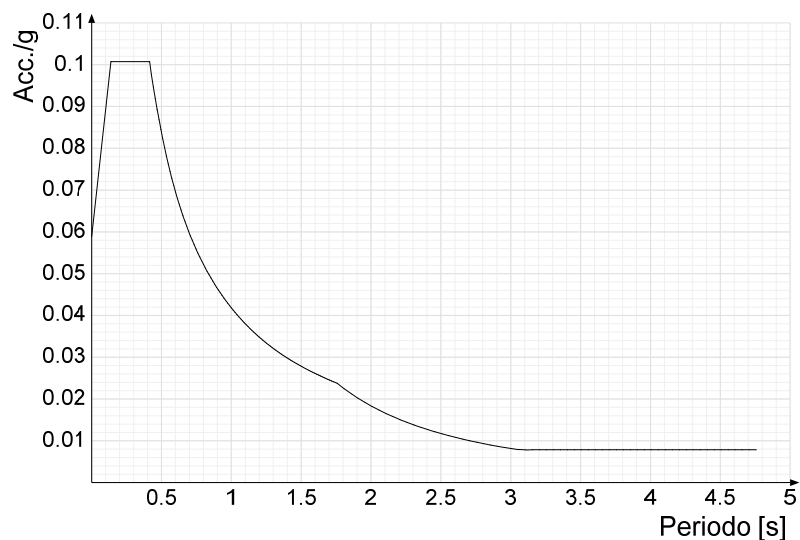
Spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali SLD § 3.2.3.2.1 [3.2.2]



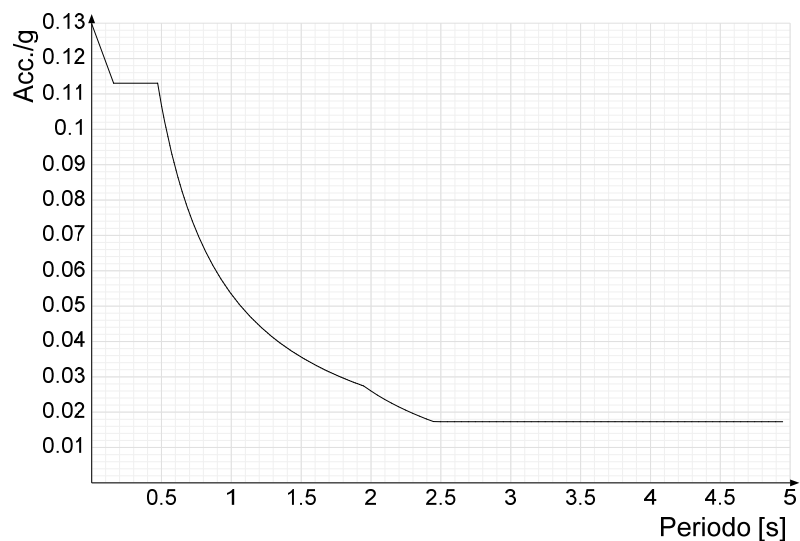
Spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali SLV § 3.2.3.2.1 [3.2.2]



Spettro di risposta di progetto della componente SLD § 3.2.3.5

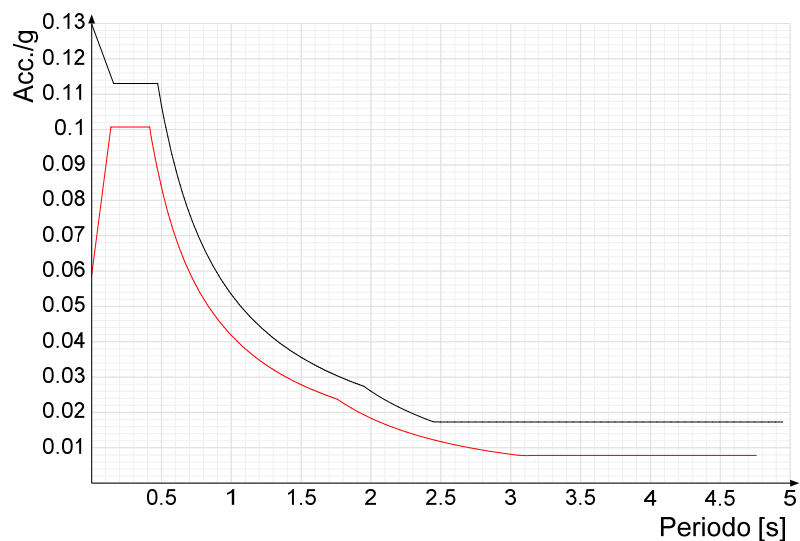


Spettro di risposta di progetto della componente SLV § 3.2.3.5



Confronti spettri SLV-SLD

Confronto tra lo Spettro di risposta di progetto della componente SLD (di colore rosso) e Spettro di risposta di progetto della componente SLV (di colore nero).



5.8. Combinazioni di carico

Nome: E' il nome esteso che contraddistingue la condizione elementare di carico.

Nome breve: E' il nome compatto della condizione elementare di carico, che viene utilizzato altrove nella relazione.

Pesi: Pesi strutturali

Port.: Permanenti portati

Var. C1: Var. C1

Neve: Neve

ΔT : ΔT

X SLO: Sisma X SLO

Y SLO: Sisma Y SLO

Z SLO: Sisma Z SLO

EY SLO: Eccentricità Y per sisma X SLO

EX SLO: Eccentricità X per sisma Y SLO

Tr x SLO: Terreno sisma X SLO

Tr y SLO: Terreno sisma Y SLO

Tr z SLO: Terreno sisma Z SLO

X SLD: Sisma X SLD

Y SLD: Sisma Y SLD

Z SLD: Sisma Z SLD

EY SLD: Eccentricità Y per sisma X SLD

EX SLD: Eccentricità X per sisma Y SLD

Tr x SLD: Terreno sisma X SLD

Tr y SLD: Terreno sisma Y SLD

Tr z SLD: Terreno sisma Z SLD

X SLV: Sisma X SLV

Y SLV: Sisma Y SLV

Z SLV: Sisma Z SLV

EY SLV: Eccentricità Y per sisma X SLV

EX SLV: Eccentricità X per sisma Y SLV

Tr x SLV: Terreno sisma X SLV

Tr y SLV: Terreno sisma Y SLV

Tr z SLV: Terreno sisma Z SLV

R Ux: Rig. Ux

R Uy: Rig. Uy

R Rz: Rig. Rz

Tutte le combinazioni di carico vengono raggruppate per famiglia di appartenenza. Le celle di una riga contengono i coefficienti moltiplicatori della i-esima combinazione, dove il valore della prima cella è da intendersi come moltiplicatore associato alla prima condizione elementare, la seconda cella si riferisce alla seconda condizione elementare e così via.

Famiglia SLU

Il nome compatto della famiglia è SLU.

Nome	Nome breve	Pesi	Port.	Var. C1	Neve	ΔT
1	SLU 1	1	0.8	0	0	0
2	SLU 2	1	0.8	0	1.5	0
3	SLU 3	1	0.8	1.05	1.5	0
4	SLU 4	1	0.8	1.5	0	0
5	SLU 5	1	0.8	1.5	0.75	0
6	SLU 6	1	1.5	0	0	0
7	SLU 7	1	1.5	0	1.5	0
8	SLU 8	1	1.5	1.05	1.5	0
9	SLU 9	1	1.5	1.5	0	0
10	SLU 10	1	1.5	1.5	0.75	0
11	SLU 11	1.3	0.8	0	0	0
12	SLU 12	1.3	0.8	0	1.5	0
13	SLU 13	1.3	0.8	1.05	1.5	0
14	SLU 14	1.3	0.8	1.5	0	0
15	SLU 15	1.3	0.8	1.5	0.75	0
16	SLU 16	1.3	1.5	0	0	0
17	SLU 17	1.3	1.5	0	1.5	0
18	SLU 18	1.3	1.5	1.05	1.5	0
19	SLU 19	1.3	1.5	1.5	0	0
20	SLU 20	1.3	1.5	1.5	0.75	0

Famiglia SLE rara

Il nome compatto della famiglia è SLE RA.

Nome	Nome breve	Pesi	Port.	Var. C1	Neve	ΔT
1	SLE RA 1	1	1	0	0	0
2	SLE RA 2	1	1	0	1	0
3	SLE RA 3	1	1	0.7	1	0
4	SLE RA 4	1	1	1	0	0
5	SLE RA 5	1	1	1	0.5	0

Famiglia SLE frequente

Il nome compatto della famiglia è SLE FR.

Nome	Nome breve	Pesi	Port.	Var. C1	Neve	ΔT
1	SLE FR 1	1	1	0	0	0
2	SLE FR 2	1	1	0	0.2	0
3	SLE FR 3	1	1	0.6	0.2	0
4	SLE FR 4	1	1	0.7	0	0

Famiglia SLE quasi permanente

Il nome compatto della famiglia è SLE QP.

Nome	Nome breve	Pesi	Port.	Var. C1	Neve	ΔT
1	SLE QP 1	1	1	0	0	0
2	SLE QP 2	1	1	0.6	0	0

Famiglia SLD

Il nome compatto della famiglia è SLD.

Poiché il numero di condizioni elementari previste per le combinazioni di questa famiglia è cospicuo, la tabella verrà spezzata in più parti.

Nome	Nome breve	Pesi	Port.	Var. C1	Neve	ΔT	X SLD	Y SLD
1	SLD 1	1	1	0.6	0	0	-1	-0.3
2	SLD 2	1	1	0.6	0	0	-1	-0.3
3	SLD 3	1	1	0.6	0	0	-1	0.3
4	SLD 4	1	1	0.6	0	0	-1	0.3
5	SLD 5	1	1	0.6	0	0	-0.3	-1
6	SLD 6	1	1	0.6	0	0	-0.3	-1
7	SLD 7	1	1	0.6	0	0	-0.3	1
8	SLD 8	1	1	0.6	0	0	-0.3	1
9	SLD 9	1	1	0.6	0	0	0.3	-1
10	SLD 10	1	1	0.6	0	0	0.3	-1
11	SLD 11	1	1	0.6	0	0	0.3	1
12	SLD 12	1	1	0.6	0	0	0.3	1
13	SLD 13	1	1	0.6	0	0	1	-0.3
14	SLD 14	1	1	0.6	0	0	1	-0.3
15	SLD 15	1	1	0.6	0	0	1	0.3
16	SLD 16	1	1	0.6	0	0	1	0.3

Nome	Nome breve	Z SLD	EY SLD	EX SLD	Tr x SLD	Tr y SLD	Tr z SLD
1	SLD 1	0	-1	0.3	-1	-0.3	0
2	SLD 2	0	1	-0.3	-1	-0.3	0
3	SLD 3	0	-1	0.3	-1	0.3	0
4	SLD 4	0	1	-0.3	-1	0.3	0
5	SLD 5	0	-0.3	1	-0.3	-1	0
6	SLD 6	0	0.3	-1	-0.3	-1	0
7	SLD 7	0	-0.3	1	-0.3	1	0
8	SLD 8	0	0.3	-1	-0.3	1	0
9	SLD 9	0	-0.3	1	0.3	-1	0
10	SLD 10	0	0.3	-1	0.3	-1	0
11	SLD 11	0	-0.3	1	0.3	1	0
12	SLD 12	0	0.3	-1	0.3	1	0
13	SLD 13	0	-1	0.3	1	-0.3	0
14	SLD 14	0	1	-0.3	1	-0.3	0
15	SLD 15	0	-1	0.3	1	0.3	0
16	SLD 16	0	1	-0.3	1	0.3	0

Famiglia SLV

Il nome compatto della famiglia è SLV.

Poiché il numero di condizioni elementari previste per le combinazioni di questa famiglia è cospicuo, la tabella verrà spezzata in più parti.

Nome	Nome breve	Pesi	Port.	Var. C1	Neve	ΔT	X SLV	Y SLV
1	SLV 1	1	1	0.6	0	0	-1	-0.3

Nome	Nome breve	Pesi	Port.	Var. C1	Neve	ΔT	X SLV	Y SLV
2	SLV 2	1	1	0.6	0	0	-1	-0.3
3	SLV 3	1	1	0.6	0	0	-1	0.3
4	SLV 4	1	1	0.6	0	0	-1	0.3
5	SLV 5	1	1	0.6	0	0	-0.3	-1
6	SLV 6	1	1	0.6	0	0	-0.3	-1
7	SLV 7	1	1	0.6	0	0	-0.3	1
8	SLV 8	1	1	0.6	0	0	-0.3	1
9	SLV 9	1	1	0.6	0	0	0.3	-1
10	SLV 10	1	1	0.6	0	0	0.3	-1
11	SLV 11	1	1	0.6	0	0	0.3	1
12	SLV 12	1	1	0.6	0	0	0.3	1
13	SLV 13	1	1	0.6	0	0	1	-0.3
14	SLV 14	1	1	0.6	0	0	1	-0.3
15	SLV 15	1	1	0.6	0	0	1	0.3
16	SLV 16	1	1	0.6	0	0	1	0.3

Nome	Nome breve	Z SLV	EY SLV	EX SLV	Tr x SLV	Tr y SLV	Tr z SLV
1	SLV 1	0	-1	0.3	-1	-0.3	0
2	SLV 2	0	1	-0.3	-1	-0.3	0
3	SLV 3	0	-1	0.3	-1	0.3	0
4	SLV 4	0	1	-0.3	-1	0.3	0
5	SLV 5	0	-0.3	1	-0.3	-1	0
6	SLV 6	0	0.3	-1	-0.3	-1	0
7	SLV 7	0	-0.3	1	-0.3	1	0
8	SLV 8	0	0.3	-1	-0.3	1	0
9	SLV 9	0	-0.3	1	0.3	-1	0
10	SLV 10	0	0.3	-1	0.3	-1	0
11	SLV 11	0	-0.3	1	0.3	1	0
12	SLV 12	0	0.3	-1	0.3	1	0
13	SLV 13	0	-1	0.3	1	-0.3	0
14	SLV 14	0	1	-0.3	1	-0.3	0
15	SLV 15	0	-1	0.3	1	0.3	0
16	SLV 16	0	1	-0.3	1	0.3	0

Famiglia SLV fondazioni

Il nome compatto della famiglia è SLV FO.

Poiché il numero di condizioni elementari previste per le combinazioni di questa famiglia è cospicuo, la tabella verrà spezzata in più parti.

Nome	Nome breve	Pesi	Port.	Variabile A	Neve	ΔT	SLV X	SLV Y
1	SLV FO 1	1	1	0.3	0	0	-1.1	-0.33
2	SLV FO 2	1	1	0.3	0	0	-1.1	-0.33
3	SLV FO 3	1	1	0.3	0	0	-1.1	0.33
4	SLV FO 4	1	1	0.3	0	0	-1.1	0.33
5	SLV FO 5	1	1	0.3	0	0	-0.33	-1.1
6	SLV FO 6	1	1	0.3	0	0	-0.33	-1.1
7	SLV FO 7	1	1	0.3	0	0	-0.33	1.1
8	SLV FO 8	1	1	0.3	0	0	-0.33	1.1
9	SLV FO 9	1	1	0.3	0	0	0.33	-1.1
10	SLV FO 10	1	1	0.3	0	0	0.33	-1.1
11	SLV FO 11	1	1	0.3	0	0	0.33	1.1
12	SLV FO 12	1	1	0.3	0	0	0.33	1.1
13	SLV FO 13	1	1	0.3	0	0	1.1	-0.33
14	SLV FO 14	1	1	0.3	0	0	1.1	-0.33
15	SLV FO 15	1	1	0.3	0	0	1.1	0.33
16	SLV FO 16	1	1	0.3	0	0	1.1	0.33

Nome	Nome breve	SLV Z	EySx SLV	ExSy SLV	Tr sLV X	Tr sLV Y	Tr sLV Z
1	SLV FO 1	0	-1.1	0.33	-1.1	-0.33	0
2	SLV FO 2	0	1.1	-0.33	-1.1	-0.33	0
3	SLV FO 3	0	-1.1	0.33	-1.1	0.33	0
4	SLV FO 4	0	1.1	-0.33	-1.1	0.33	0
5	SLV FO 5	0	-0.33	1.1	-0.33	-1.1	0
6	SLV FO 6	0	0.33	-1.1	-0.33	-1.1	0
7	SLV FO 7	0	-0.33	1.1	-0.33	1.1	0
8	SLV FO 8	0	0.33	-1.1	-0.33	1.1	0
9	SLV FO 9	0	-0.33	1.1	0.33	-1.1	0
10	SLV FO 10	0	0.33	-1.1	0.33	-1.1	0
11	SLV FO 11	0	-0.33	1.1	0.33	1.1	0
12	SLV FO 12	0	0.33	-1.1	0.33	1.1	0
13	SLV FO 13	0	-1.1	0.33	1.1	-0.33	0
14	SLV FO 14	0	1.1	-0.33	1.1	-0.33	0
15	SLV FO 15	0	-1.1	0.33	1.1	0.33	0
16	SLV FO 16	0	1.1	-0.33	1.1	0.33	0

Famiglia Calcolo rigidità torsionale/flessionale di piano

Il nome compatto della famiglia è CRTFP.

Nome	Nome breve	R Ux	R Uy	R Rz
Rig. Ux+	CRTFP Ux+	1	0	0
Rig. Ux-	CRTFP Ux-	-1	0	0
Rig. Uy+	CRTFP Uy+	0	1	0
Rig. Uy-	CRTFP Uy-	0	-1	0
Rig. Rz+	CRTFP Rz+	0	0	1
Rig. Rz-	CRTFP Rz-	0	0	-1

5.9. Materiali**5.9.1. Materiali c.a.****Descrizione:** descrizione o nome assegnato all'elemento.**Rck:** resistenza caratteristica cubica; valore medio nel caso di edificio esistente. [daN/cm²]**E:** modulo di elasticità longitudinale del materiale per edifici o materiali nuovi. [daN/cm²]**G:** modulo di elasticità tangenziale del materiale, viene impiegato nella modellazione di aste e di elementi guscio a comportamento ortotropo. [daN/cm²]**v:** coefficiente di Poisson. Il valore è adimensionale.**γ:** peso specifico del materiale. [daN/cm³]**α:** coefficiente longitudinale di dilatazione termica. [°C⁻¹]

Descrizione	Rck	E	G	v	γ	α
C25/30	300	314472	142941	0.1	0.0025	0.00001

C25/30: utilizzato per la modellazione di tutte le opere in c.a.: fondazioni, travi e cordoli, solai e pareti in c.a.;

C30/37: non inserito nella modellazione e nelle verifiche, ma previsto per la realizzazione delle pareti in elevazione delle strutture di fondazione, con additivo idrorepellente.

Parametri di calcolo e resistenza del calcestruzzo C25/30:

classe di resistenza	Rck 300
resistenza di progetto	$f_c = 300 \times 0.83 \times 0.85 / 1.50 = 141.1 \text{ daN/cm}^2$
tensione limite per verifica in esercizio	
combinazione RARA	$f_{c,RARA} = 0.60 \times 300 \times 0.83 = 149.4 \text{ daN/cm}^2$
combinazione Q.P.	$f_{c,QP} = 0.45 \times 300 \times 0.83 = 112.1 \text{ daN/cm}^2$

5.9.2. Materiali muratura**Descrizione:** descrizione o nome assegnato all'elemento.**Livello di conoscenza:** indica se il materiale è nuovo o esistente, e in tal caso il livello di conoscenza**E:** modulo di elasticità longitudinale del materiale per edifici o materiali nuovi. [daN/cm²]**G:** modulo di elasticità tangenziale del materiale, viene impiegato nella modellazione di aste e di elementi guscio a comportamento ortotropo. [daN/cm²]**v:** coefficiente di Poisson. Il valore è adimensionale.**γ:** peso specifico del materiale. [daN/cm³]**α:** coefficiente longitudinale di dilatazione termica. [°C⁻¹]

Descrizione	E	G	Poisson	γ	α
Muratura blocchi alveolari M10 giunti sottili	41000	16400	0.25	0.0012	0.000006
Muratura blocchi alveolari M10 giunti sottili 50%E	29000	11600	0.25	0.0012	0.000006

La "Muratura blocchi alveolari M10 giunti sottili 50%E" è stata impiegata per modellare le travi di collegamento soggette a prima fessurazione, e mantenute all'interno del modello di calcolo.

PARAMETRI RESISTENZA MURATURA**Descrizione:** descrizione o nome assegnato all'elemento.**Tipo blocchi:** tipo di blocchi (D.M. 14-01-08 11.10.1, 11.10.V, VI).**Cat.blocchi:** categoria blocchi (D.M. 14-01-08 4.5.6.1).**fbk:** resistenza caratteristica a compressione dell'elemento dichiarata dal produttore (D.M. 14-01-08 11.10.1.1.1). [daN/cm²]**fbk_h:** resistenza caratteristica a compressione dell'elemento in direzione orizzontale nel piano del muro. Dato da richiedere al produttore (D.M. 14-01-08 11.10.1.1.1). [daN/cm²]**Tipo malta:** tipo di malta (D.M. 14-01-08 11.10.2).**Res.compr.malta:** resistenza media a compressione della malta (D.M. 14-01-08 11.10.2.1). [daN/cm²]**GammaM:** coefficiente parziale di sicurezza sulla resistenza a compressione della muratura (D.M. 14-01-08 4.5.6.1, 4.5.II). Il valore è adimensionale.

Descrizione	Tipo blocchi	Cat. blocchi	fbk	fbk_	Tipo malta	Res.compr. malta	GammaM
Muratura blocchi alveolari M10 giunti sottili	Laterizio	I	120	24	Prest. Garantita Strati sottili	100	2.5
Muratura blocchi alveolari M10 giunti sottili 50%E	Laterizio	I	120	24	Prest. Garantita Strati sottili	100	2.5

Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

Livello di conoscenza: indica se il materiale è nuovo o esistente, e in tal caso il livello di conoscenza secondo Circ.617 02/02/09 §C8A. Informazione impiegata solo in analisi D.M. 14-01-08 (N.T.C.) e D.M. 17-01-18 (N.T.C.).

Cl.esec.: classe di esecuzione (D.M. 14-01-08 4.5.6.1).

fk: resistenza caratteristica a compressione della muratura (D.M. 14-01-08 4.5.6.1, 11.10.3.1). [daN/cm²]

fvk0: resistenza caratteristica a taglio della muratura in assenza di tensioni normali (D.M. 14-01-08 4.5.6.1, 11.10.3.2). [daN/cm²]

fhk: resistenza caratteristica della muratura a compressione in direzione orizzontale (nel piano della parete) D.M. 14-01-08. [daN/cm²]

fkt: resistenza caratteristica a trazione (D.M. 14-01-08). [daN/cm²]

Descrizione	Livello conoscenza	Cl.esec.	fk	fvk0	fhk	fkt
Muratura blocchi alveolari M10 giunti sottili	Nuovo	2	58.6	3	10	0
Muratura blocchi alveolari M10 giunti sottili 50%E	Nuovo	2	58.6	3	10	0

5.9.3. Armature

Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

f_{yk}: resistenza caratteristica di snervamento per trazione. [daN/cm²]

f_{uk}: resistenza caratteristica di rottura per trazione. [daN/cm²]

σ_{amm}: tensione ammissibile. [daN/cm²]

Tipo: tipo di barra.

E: modulo di elasticità longitudinale del materiale per edifici o materiali nuovi. [daN/cm²]

γ: peso specifico del materiale. [daN/cm³]

ν: coefficiente di Poisson. Il valore è adimensionale.

α: coefficiente longitudinale di dilatazione termica. [°C⁻¹]

Livello di conoscenza: indica se il materiale è nuovo o esistente, e in tal caso il livello di conoscenza secondo D.M. 17-01-18.

Descrizione	f _{yk}	f _{uk}	σ _{amm}	Tipo	E	γ	ν	α	Livello di conoscenza
B450C	4500	5400	2550	Aderenza migliorata	2060000	0.00785	0.3	0.000012	Nuovo

B450C: materiale impiegato per modellare le armature per c.a.

5.9.4. Acciai

Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

E: modulo di elasticità longitudinale del materiale per edifici o materiali nuovi. [daN/cm²]

G: modulo di elasticità tangenziale del materiale, viene impiegato nella modellazione di aste e di elementi guscio a comportamento ortotropo. [daN/cm²]

ν: coefficiente di Poisson. Il valore è adimensionale.

γ: peso specifico del materiale. [daN/cm³]

α: coefficiente longitudinale di dilatazione termica. [°C⁻¹]

Livello di conoscenza: indica se il materiale è nuovo o esistente, e in tal caso il livello di conoscenza secondo D.M. 17-01-18.

Descrizione	E	G	ν	γ	α	Livello di conoscenza
S275	2100000	807692	0.3	0.00785	0.000012	Nuovo

Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

Tipo: descrizione per norma.

f_y(s≤40 mm): resistenza di snervamento f_y per spessori ≤40 mm. [daN/cm²]

f_y(s>40 mm): resistenza di snervamento f_y per spessori >40 mm. [daN/cm²]

f_u(s≤40 mm): resistenza di rottura per trazione f_u per spessori ≤40 mm. [daN/cm²]

f_u(s>40 mm): resistenza di rottura per trazione f_u per spessori >40 mm. [daN/cm²]

Descrizione	Tipo	f _y (s≤40 mm)	f _y (s>40 mm)	f _u (s≤40 mm)	f _u (s>40 mm)
S275	S275	2750	2550	4300	4100

S275: materiale impiegato per modellare i nuovi elementi in carpenteria metallica;

5.9.5. Rete in Fibra

Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

Produttore: produttore.

Passo verticale: distanza tra i fili di rete verticali. [cm]

Fu verticale: carico di rottura a trazione verticale per unità di lunghezza. [daN/cm]

Passo orizzontale: distanza tra i fili di rete orizzontali. [cm]

Fu orizzontale: carico di rottura a trazione orizzontale per unità di lunghezza. [daN/cm]

E: modulo di elasticità longitudinale del materiale per edifici o materiali nuovi. [daN/cm²]

εU: dilatazione a rottura. Il valore è adimensionale.

Area di calcolo verticale: area di calcolo di un filo di rete verticale [(Fu verticale*passo verticale)/(E*εU)]. [cm²]

Area di calcolo orizzontale: area di calcolo di un filo di rete orizzontale [(Fu orizzontale*passo orizzontale)/(E*εU)]. [cm²]

Tipo: natura della fibra.

tfv: spessore equivalente verticale. [cm]

tfo: spessore equivalente orizzontale. [cm]

Descrizione	Produttore	Passo vert.	Fu vert.	Passo oriz.	Fu oriz.	E	εU	Area calcolo vert.	Area calcolo oriz.	Tipo	tfv	tfo
Rinforzo ARV100	kerakoll	1.5	49	1.8	60	1.1E6	1.5E-2	0.0046	0.0068	Fibra di vetro	0.003072	0.003762

5.9.6. Intonaco Rete in Fibra

Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

E: modulo di elasticità longitudinale del materiale per edifici o materiali nuovi. [daN/cm²]

γ: peso specifico del materiale. [daN/cm³]

Fc: resistenza a compressione. [daN/cm²]

Ft: resistenza a trazione. [daN/cm²]

Produttore: produttore.

Descrizione	E	γ	Fc	Ft	Produttore
GeoCalce	92300	0.00161	150	50	Kerakoll

5.10 Criteri di modellazione

5.10.1. Descrizione del software

Specifiche tecniche

Denominazione del software: Sismicad 12.18

Produttore del software: Concrete srl, via della Pieve, 15, 35121 PADOVA – Italy

Descrizione del programma Sismicad

Si tratta di un programma di calcolo strutturale che nella versione più estesa è dedicato al progetto e verifica degli elementi in cemento armato, acciaio, muratura e legno di opere civili. Sismicad è un programma per il calcolo strutturale con modellazione agli elementi finiti (FEM), dotato di un proprio solutore tridimensionale.

Il software consente il progetto di edifici, in zona sismica e non, oppure la verifica di edifici esistenti, con modellazione tridimensionale agli elementi finiti. Viene creato un modello tridimensionale della struttura, composto da elementi monodimensionali e bidimensionali e

con fondazioni eventualmente modellabili su suolo elastico alla Winkler od elastoplastico, oppure su palificate.

Per analizzare una struttura Sismicad prevede sostanzialmente il seguente iter:

- a) definizione della struttura, anche usando disegni architettonici;
- b) modellazione automatica agli elementi finiti dell'intera struttura;
- c) progettazione o verifica interattiva di ciascun elemento strutturale;
- d) produzione di relazioni, disegni esecutivi, piante di carpenteria, prospetti, computi.

Sismicad si avvale di un solutore tridimensionale agli elementi finiti di tipo SAP. Il solutore interno consente, oltre ad analisi lineari, anche lo studio di fenomeni di non linearità geometrica (metodo P-delta) e di aste non reagenti alla trazione o alla compressione, di fondazioni sia superficiali che profonde in suolo elastoplastico, elementi bidimensionali parzialmente o non reagenti alla trazione. Il solutore gestisce inoltre fenomeni di non linearità meccanica attraverso una modellazione ad inelasticità diffusa impiegata nelle analisi inelastiche.

Il programma è diviso in tre moduli:

- un pre-processore che consente l'introduzione della geometria, dei carichi e genera il file dati di input al solutore;
- il solutore agli elementi finiti;
- un post processore che, a soluzione avvenuta, consente l'elaborazione dei dati e lo svolgimento delle verifiche, producendo i grafici ed i tabulati di calcolo.

Schematizzazione strutturale e criteri di calcolo generali delle sollecitazioni

Il programma schematizza la struttura attraverso l'introduzione nell'ordine di fondazioni, poste anche a quote diverse, platee, platee nervate, plinti e travi di fondazione poggianti tutte su suolo elastico alla Winkler, di elementi verticali, pilastri e pareti in c.a. anche con fori, di orizzontamenti costituiti da solai orizzontali e inclinati (falde), e relative travi di piano e di falda; è ammessa anche l'introduzione di elementi prismatici in c.a. di interpiano con possibilità di collegamento in inclinato a solai posti a quote diverse.

I nodi strutturali possono essere connessi solo a travi, pilastri e pareti, simulando così impalcati infinitamente deformabili nel piano, oppure a elementi lastra di spessore dichiarato dall'utente simulando in tal modo impalcati a rigidità finita. I nodi appartenenti agli impalcati orizzontali possono essere connessi rigidamente ad uno o più nodi principali giacenti nel piano dell'impalcato; generalmente un nodo principale coincide con il baricentro delle masse. Tale opzione, oltre a ridurre significativamente i tempi di elaborazione, elimina le approssimazioni numeriche connesse all'utilizzo di elementi lastra quando si richiede l'analisi a impalcati infinitamente rigidi.

Per quanto concerne i carichi, in fase di immissione dati, vengono definite, in numero a scelta dell'utente, condizioni di carico elementari le quali, in aggiunta alle azioni sismiche e

variazioni termiche, vengono combinate attraverso coefficienti moltiplicativi per fornire le combinazioni richieste per le verifiche successive.

L'effetto di disassamento delle forze orizzontali, indotto ad esempio dai torcenti di piano per costruzioni in zona sismica, viene simulato attraverso l'introduzione di eccentricità planari aggiuntive le quali costituiscono ulteriori condizioni elementari di carico da cumulare e combinare con le altre condizioni di carico elementare.

Tipologicamente sono ammessi sulle travi e sulle pareti carichi uniformemente distribuiti e carichi trapezoidali; lungo le aste e nei nodi di incrocio delle membrature sono anche definibili componenti di forze e coppie concentrate comunque dirette nello spazio. Sono previste distribuzioni di temperatura, di intensità a scelta dell'utente, agenti anche su singole porzioni di struttura.

Il calcolo delle sollecitazioni negli elementi strutturali gestiti dal software, si basa sulle seguenti ipotesi e modalità:

- travi e pilastri deformabili a sforzo normale, flessione deviata, taglio deviato e momento torcente. Sono previsti coefficienti riduttivi dei momenti di inerzia a scelta dell'utente per considerare la riduzione della rigidezza flessionale e torsionale per effetto della fessurazione del conglomerato cementizio. E' previsto un moltiplicatore della rigidezza assiale dei pilastri per considerare, se pure in modo approssimato, l'accorciamento dei pilastri per sforzo normale durante la costruzione;
- le travi di fondazione su suolo alla Winkler, ove presenti, sono risolte in forma chiusa tramite uno specifico elemento finito;
- le pareti in c.a. sono analizzate schematizzandole come elementi lastra-piastra discretizzati con passo massimo assegnato in fase di immissione dati;
- le pareti in muratura possono essere schematizzate con elementi lastra-piastra con spessore flessionale ridotto rispetto allo spessore membranale, oppure mediante elementi asta diversamente organizzati per ricreare un modello equivalente a telaio;
- i plinti su suolo alla Winkler sono modellati con la introduzione di molle verticali elastoplastiche. La traslazione orizzontale può essere bloccata o gestita da molle orizzontali di modulo di reazione proporzionale al verticale;
- i pali sono modellati suddividendo l'asta in più aste immerse in terreni di stratigrafia definita dall'utente. Nei nodi di divisione tra le aste vengono inserite molle assialsimmetriche elastoplastiche precaricate dalla spinta a riposo che hanno come pressione limite minima la spinta attiva e come pressione limite massima la spinta passiva modificabile attraverso opportuni coefficienti;
- i plinti su pali sono modellati attraverso aste di rigidezza elevata che collegano un punto della struttura in elevazione con le aste che simulano la presenza dei pali;
- le piastre sono discretizzate in un numero finito di elementi lastra-piastra con passo massimo assegnato in fase di immissione dati; nel caso di platee di fondazione i nodi

sono collegati al suolo da molle aventi rigidezze alla traslazione verticale e, se richiesta, anche orizzontale;

- la deformabilità nel proprio piano di piani dichiarati non infinitamente rigidi e di falde (piani inclinati) può essere controllata attraverso la introduzione di elementi membranali nelle zone di solaio;
- i disassamenti tra elementi asta sono gestiti automaticamente dal programma attraverso la introduzione di collegamenti rigidi locali;
- alle estremità di elementi asta è possibile inserire svincolamenti tradizionali così come cerniere parziali (che trasmettono una quota di ciò che trasmetterebbero in condizioni di collegamento rigido) o cerniere plastiche;
- alle estremità di elementi bidimensionali è possibile inserire svincolamenti con cerniere parziali del momento flettente avente come asse il bordo dell'elemento;
- il calcolo degli effetti del sisma è condotto, a scelta dell'utente, con analisi statica lineare, con analisi dinamica modale o con analisi statica non lineare, in accordo alle varie normative adottate. Le masse, nel caso di impalcati dichiarati rigidi sono concentrate nei nodi principali di piano altrimenti vengono considerate diffuse nei nodi giacenti sull'impalcato stesso. Nel caso di analisi sismica vengono anche controllati gli spostamenti di interpiano.

5.10.2. Parametri, dati e setup del software di analisi

5.10.2.1. Sezioni

Sezioni in c.a. rettangolari C.A.



Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

Area Tx FEM: area di taglio in direzione X per l'analisi FEM. [cm²]

Area Ty FEM: area di taglio in direzione Y per l'analisi FEM. [cm²]

JxFEM: momento di inerzia attorno all'asse X per l'analisi FEM. [cm⁴]

JyFEM: momento di inerzia attorno all'asse Y per l'analisi FEM. [cm⁴]

JtFEM: momento d'inerzia torsionale corretto con il fattore di forma per l'analisi FEM. [cm⁴]

H: altezza della sezione. [cm]

B: larghezza della sezione. [cm]

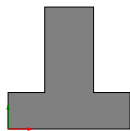
c.s.: copriferro superiore della sezione. [cm]

c.i.: copriferro inferiore della sezione. [cm]

c.l.: copriferro laterale della sezione. [cm]

Descrizione	Area Tx FEM	Area Ty FEM	JxFEM	JyFEM	JtFEM	H	B	c.s.	c.i.	c.l.
R 35x25_c3.0	729.17	729.17	45572.92	89322.92	100260.42	25	35	3	3	3
R 50x25_c3.0	1041.67	1041.67	65104.17	260416.67	178385.42	25	50	3	3	3
R 50x20	833.33	833.33	33333.33	208333.33	99733.33	20	50	3	3	3
R 25x20_c3.5	416.67	416.67	16666.67	26041.67	33066.67	20	25	3.5	3.5	3.5
R 20x25_c3	416.67	416.67	26041.67	16666.67	33066.67	25	20	3	3	3
R 40x40_c3.5	1333.33	1333.33	213333.33	213333.33	315733.33	40	40	3.5	3.5	3.5
R 25x90_c3.5	1875	1875	1518750	117187.5	386718.75	90	25	3.5	3.5	3.5

Sezioni in c.a. a T rovescio C.A.



Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

Area Tx FEM: area di taglio in direzione X per l'analisi FEM. [cm²]

Area Ty FEM: area di taglio in direzione Y per l'analisi FEM. [cm²]

JxFEM: momento di inerzia attorno all'asse X per l'analisi FEM. [cm⁴]

JyFEM: momento di inerzia attorno all'asse Y per l'analisi FEM. [cm⁴]

JtFEM: momento d'inerzia torsionale corretto con il fattore di forma per l'analisi FEM. [cm⁴]

H: altezza della sezione. [cm]

B anima: spessore dell'anima della sezione. [cm]

H ala: spessore dell'ala della sezione. [cm]

B ala sx.: larghezza dell'ala sinistra della sezione. [cm]

B ala dx.: larghezza dell'ala destra della sezione. [cm]

c.s.: copriferro superiore della sezione. [cm]

c.i.: copriferro inferiore della sezione. [cm]

c.l.: copriferro laterale della sezione. [cm]

Descrizione	Area Tx FEM	Area Ty FEM	JxFEM	JyFEM	JtFEM	H	B anima	H ala	B ala sx.	B ala dx.	c.s.	c.i.	c.l.
TR (30+30+40)x90	2083.33	3000	3.63E6	2430000	2.79E6	90	40	25	30	30	3.5	3.5	3.5
TR (15+15+40)x90	1458.33	3000	3.12E6	1061250	2.14E6	90	40	25	15	15	3.5	3.5	3.5
TR (30+30+70)x90	2708.33	5250	5.61E6	6435000	7.68E6	90	70	25	30	30	3.5	3.5	3.5
TR (30+30+27)x90	1812.5	2025	2.70E6	1.48E6	1.43E6	90	27	25	30	30	3.5	3.5	3.5
TR (40+40+40)x90	2500	3000	3.89E6	3.95E6	3.14E6	90	40	25	40	40	3.5	3.5	3.5

Caratteristiche inerziali sezioni C.A.

Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

Xg: ascissa del baricentro definita rispetto al sistema geometrico in cui sono definiti i vertici del poligono. [cm]

Yg: ordinata del baricentro definita rispetto al sistema geometrico in cui sono definiti i vertici del poligono. [cm]

Area: area inerziale nel sistema geometrico centrato nel baricentro. [cm²]

Jx: momento d'inerzia attorno all'asse orizzontale baricentrico di definizione della sezione. [cm⁴]

Jy: momento d'inerzia attorno all'asse verticale baricentrico di definizione della sezione. [cm⁴]

Jxy: momento centrifugo rispetto al sistema di riferimento baricentrico di definizione della sezione. [cm⁴]

Jm: momento d'inerzia attorno all'asse baricentrico principale M. [cm⁴]

Jn: momento d'inerzia attorno all'asse baricentrico principale N. [cm⁴]

Alfa: angolo tra gli assi del sistema di riferimento geometrico di definizione e quelli del sistema di riferimento principale. [deg]

Area Tx FEM: area di taglio in direzione X per l'analisi FEM. [cm²]

Area Ty FEM: area di taglio in direzione Y per l'analisi FEM. [cm²]

JxFEM: momento di inerzia attorno all'asse X per l'analisi FEM. [cm⁴]

JyFEM: momento di inerzia attorno all'asse Y per l'analisi FEM. [cm⁴]

JtFEM: momento d'inerzia torsionale corretto con il fattore di forma per l'analisi FEM. [cm⁴]

Descrizione	Xg	Yg	Area	Jx	Jy	Jxy	Jm	Jn	Alfa	Area Tx FEM	Area Ty FEM	JxFEM	JyFEM	JtFEM
R 35x25_c3.0	17.5	12.5	875	4.6E4	8.9E4	0	4.6E4	8.9E4	0	729.17	729.17	45572.92	89322.92	1.00E05
R 50x25_c3.0	25	12.5	1250	6.5E4	2.6E5	0	6.5E4	2.6E5	0	1041.67	1041.67	65104.17	2.60E05	1.78E05
R 50x20	25	10	1000	3.3E4	2.1E5	0	3.3E4	2.1E5	0	833.33	833.33	33333.33	2.08E05	99733.33
R 25x20_c3.5	12.5	10	500	1.7E4	2.6E4	0	1.7E4	2.6E4	0	416.67	416.67	16666.67	26041.67	33066.67
R 20x25_c3	10	12.5	500	2.6E4	1.7E4	0	2.6E4	1.7E4	0	416.67	416.67	26041.67	16666.67	33066.67
TR (30+30+40)x90	50	35.4	5100	3.6E6	2.4E6	0	3.6E6	2.4E6	0	2083.33	3000	3.63E06	2430000	2.79E06
TR (15+15+40)x90	35	39.4	4350	3.1E6	1.1E6	0	3.1E6	1.1E6	0	1458.33	3000	3.12E06	1061250	2.14E06
TR (30+30+70)x90	65	38.8	7800	5.6E6	6.4E6	0	5.6E6	6.4E6	0	2708.33	5250	5.61E06	6435000	7.68E06
TR (30+30+27)x90	43.5	32.6	3930	2.7E6	1.5E6	0	2.7E6	1.5E6	0	1812.5	2025	2.70E06	1.48E06	1.43E06
TR (40+40+40)x90	60	33.4	5600	3.9E6	3.9E6	0	3.9E6	3.9E6	0	2500	3000	3.89E06	3.95E06	3.14E06
R 40x40_c3.5	20	20	1600	2.1E5	2.1E5	0	2.1E5	2.1E5	0	1333.33	1333.33	2.13E05	2.13E05	3.16E05
R 25x90_c3.5	12.5	45	2250	1.5E6	1.2E5	0	1.5E6	1.2E5	0	1875	1875	1518750	117187.5	3.87E05

Solai a nervatura

Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

Int.: interasse tra le nervature. [cm]

B anima: larghezza anima. [cm]

H: altezza totale. [cm]

H cappa: altezza cappa. [cm]

c.s.: copriferro superiore. [cm]

c.i.: copriferro inferiore. [cm]

c.i.a.: copriferro inferiore ferri aggiuntivi. [cm]

N. tondi: numero tondi di confezionamento.

Diam. tondi: diametro tondi di confezionamento. [mm]

Passo rete: passo rete cappa. [cm]

Diam. rete: diametro rete cappa. [mm]

Peso proprio: peso proprio per unità di superficie. [daN/cm²]

Yg: ordinata del baricentro definita rispetto al sistema geometrico in cui sono definiti i vertici del poligono. [cm]

Area: area inerziale nel sistema geometrico centrato nel baricentro. [cm²]

Jx: momento d'inerzia attorno all'asse orizzontale baricentrico di definizione della sezione. [cm⁴]

Descrizione	Int.	B anima	H	H cappa	c.s.	c.i.	c.i.a.	N. tondi	Diam. tondi	Passo rete	Diam. rete	Peso proprio	Yg	Area	Jx
Ner 12x(20+5)/50	50	12	25	5	1.5	1.5	1.5	2	6	15	6	0.034	16.4	490	2.8E4

5.10.2.2. Preferenze

Preferenze di normativa

Normativa	D.M. 17-01-18 (N.T.C.)
Tipo di costruzione	2 - Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari
Vn	50
Classe d'uso	II
Vr	50
Tipo di analisi	Lineare dinamica
Considera sisma Z	Solo se $A_g \geq 0.15$ g, conformemente a §3.2.3.1
Località	Mantova, Canneto Sull'oglio; Latitudine ED50 45,1558° (45° 9' 21"); Longitudine ED50 10,3842° (10° 23' 3"); Altitudine s.l.m. 35,47 m.
Categoria del suolo	C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti
Categoria topografica	T1 - Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
Ss orizzontale SLD	1.5
Tb orizzontale SLD	0.138 [s]
Tc orizzontale SLD	0.415 [s]
Td orizzontale SLD	1.757 [s]
Ss orizzontale SLV	1.5
Tb orizzontale SLV	0.157 [s]
Tc orizzontale SLV	0.472 [s]
Td orizzontale SLV	1.946 [s]
St	1
PVr SLD (%)	63
Tr SLD	50
Ag/g SLD	0.0393
Fo SLD	2.566
Tc* SLD	0.25 [s]
PVr SLV (%)	10
Tr SLV	475
Ag/g SLV	0.0866
Fo SLV	2.59
Tc* SLV	0.303 [s]
Smorzamento viscoso (%)	5
Classe di duttilità	CD"B"
Rotazione del sisma	0 [deg]
Quota dello '0' sismico	-10 [cm]
Regolarità in pianta	Si
Regolarità in elevazione	Si
Edificio muratura	Si
Tipologia muratura	Costruzioni di muratura ordinaria $q_0 = 1.75 \cdot a_u / \alpha_1$
a_u / α_1 muratura	$a_u / \alpha_1 = 1.7$
Edificio esistente	No
Altezza costruzione	745.1 [cm]
T1,x	0.09709 [s]
T1,y	0.07208 [s]
λ SLD,x	0.85
λ SLD,y	0.85
λ SLV,x	0.85
λ SLV,y	0.85
Limite spostamenti interpiano SLD	0.002
Fattore di comportamento per sisma SLD X	1.5
Fattore di comportamento per sisma SLD Y	1.5
Fattore di comportamento per sisma SLV X	2.98
Fattore di comportamento per sisma SLV Y	2.98
Coeff. di sicur. per carico limite (fondaz. superficiali)	2.3
Coeff. di sicur. per scorrimento (fondaz. superficiali)	1.1
Coeff. di sicur. per ribaltamento (plinti superficiali)	1.15

Verifiche C.A.

Normativa	D.M. 17-01-18 (N.T.C.)	
γ_s (fattore di sicurezza parziale per l'acciaio)	1.15	
γ_c (fattore di sicurezza parziale per il calcestruzzo)	1.5	
Limite σ_c/f_{ck} in combinazione rara	0.6	
Limite σ_c/f_{ck} in combinazione quasi permanente	0.45	
Limite σ_s/f_{yk} in combinazione rara	0.8	
Coefficiente di riduzione della τ per cattiva aderenza	0.7	
Dimensione limite fessure w_1 §4.1.2.2.4	0.02	[cm]
Dimensione limite fessure w_2 §4.1.2.2.4	0.03	[cm]
Dimensione limite fessure w_3 §4.1.2.2.4	0.04	[cm]
Fattori parziali di sicurezza unitari per meccanismi duttili di strutture esistenti con fattore q	Si	
Copriferro secondo EC2	Si	
acc elementi nuovi nelle combinazioni sismiche	0.85	
acc elementi esistenti	0.85	

Eccentricità accidentali

Quota: Livello o falda a cui si riferisce l'eccentricità.

Eccentricità X: Eccentricità X per sisma Y attribuita alla quota. [cm]

Eccentricità Y: Eccentricità Y per sisma X attribuita alla quota. [cm]

Quota	Eccentricità X	Eccentricità Y
Fondazione	0	0
Piano 1 -25	0	0
Piano 1	92.6	44.05
Gronda 1 -25	0	0
Gronda1	0	0
Falda 1	0	0
Falda 1 -25	0	0
Falda 2	0	0

Preferenze FEM

Dimensione massima ottimale mesh pareti (default)	50	[cm]
Dimensione massima ottimale mesh piastre (default)	50	[cm]
Dimensione massima ottimale suddivisioni archi finestre/porte (default)	50	[cm]
Tipo di mesh dei gusci (default)	Solo triangoli	
Tipo di mesh imposta ai gusci	Specifico dell'elemento	
Metodo P-Delta	non utilizzato	
Analisi buckling	non utilizzata	
Rapporto spessore flessionale/membranale gusci muratura verticali	0.2	
Spessori membranale e flessionale pareti XLAM da sole tavole verticali	No	
Moltiplicatore rigidezza connettori pannelli pareti legno a diaframma	1	
Tolleranza di parallelismo	4.99	[deg]
Tolleranza di unicità punti	10	[cm]
Tolleranza generazione nodi di aste	1	[cm]
Tolleranza di parallelismo in suddivisione aste	4.99	[deg]
Tolleranza generazione nodi di gusci	4	[cm]
Tolleranza eccentricità carichi concentrati	100	[cm]
Considera deformabilità a taglio negli elementi guscio	No	
Modello elastico pareti in muratura	Gusci	
Concentra masse pareti nei vertici	Si	
Segno risultati analisi spettrale	Analisi statica	
Metodo di risoluzione della matrice	Intel MKL PARDISO	
Scrivi commenti nel file di input	No	
Scrivi file di output in formato testo	No	
Solidi colle e corpi ruvidi (default)	Solidi reali	
Moltiplicatore rigidezza molla torsionale applicata ad aste di fondazione	1	
Modello trave su suolo alla Winkler nel caso di modellazione lineare	Equilibrio elastico	
Numero di modi di vibrare da ricercare	20	
Algoritmo di analisi modale	Proiezione nel sottospazio totale	
Algoritmo di combinazione modale	CQC	

Moltiplicatori inerziali

Tipologia: tipo di entità a cui si riferiscono i moltiplicatori inerziali.

J2: moltiplicatore inerziale di J2. Il valore è adimensionale.

J3: moltiplicatore inerziale di J3. Il valore è adimensionale.

Jt: moltiplicatore inerziale di Jt. Il valore è adimensionale.

A: moltiplicatore dell'area della sezione. Il valore è adimensionale.

A2: moltiplicatore dell'area a taglio in direzione 2. Il valore è adimensionale.

A3: moltiplicatore dell'area a taglio in direzione 3. Il valore è adimensionale.

Conci rigidi: fattore di riduzione dei tronchi rigidi. Il valore è adimensionale.

Tipologia	J2	J3	Jt	A	A2	A3	Conci rigidi
Trave C.A.	1	1	0.01	1	1	1	0.5

Tipologia	J2	J3	Jt	A	A2	A3	Conci rigidi
Pilastro C.A.	1	1	0.01	1	1	1	0.5
Trave di fondazione	1	1	0.01	1	1	1	0.5
Palo	1	1	0.01	1	1	1	0
Trave in legno	1	1	1	1	1	1	1
Colonna in legno	1	1	1	1	1	1	1
Trave in acciaio	1	1	1	1	1	1	1
Colonna in acciaio	1	1	1	1	1	1	1
Trave di reticolare in acciaio	1	1	1	1	1	1	1
Maschio in muratura	0	1	0	1	1	1	1
Trave di accoppiamento in muratura	0	1	0	1	1	1	1
Trave di scala C.A. nervata	1	1	1	1	1	1	0.5
Trave tralicciata	1	1	0.01	1	1	1	0.5

Preferenze di analisi carichi superficiali

Detrazione peso proprio solai nelle zone di sovrapposizione	applicata	
Metodo di ripartizione	a trave continua	
Percentuale carico calcolato a trave continua	100	
Esegui smoothing diagrammi di carico	applicata	
Tolleranza smoothing altezza trapezi	0.001	[daN/cm]
Tolleranza smoothing altezza media trapezi	0.001	[daN/cm]

Preferenze del suolo

Fondazioni non modellate e struttura bloccata alla base	si (ad esclusione del modello di calcolo predisposto per il dimensionamento del sistema fondale)	
Fondazioni bloccate orizzontalmente	si	
Considera peso sismico delle fondazioni	no	
Fondazioni superficiali e profonde su suolo elastoplastico	no	
Coefficiente di sottofondo verticale per fondazioni superficiali (default)	1.0 e 0.4 [daN/cm ²] rispettivamente per travi e solette	
Rapporto di coefficiente sottofondo orizzontale/verticale	0.5	
Pressione verticale limite sul terreno per abbassamento (default)	10	[daN/cm ²]
Pressione verticale limite sul terreno per innalzamento (default)	0.001	[daN/cm ²]
Metodo di calcolo della K verticale	Vesic	
Metodo di calcolo della portanza e della pressione limite	Vesic	
Terreno laterale di riporto da piano posa fondazioni (default)	Ghiaia	
Pressione per verifica schiacciamento fondazioni superficiali	6	[daN/cm ²]
Calcola cedimenti fondazioni superficiali	no	
Spessore massimo strato	100	[cm]
Profondità massima	3000	[cm]
Cedimento assoluto ammissibile	5	[cm]
Cedimento differenziale ammissibile	5	[cm]
Cedimento relativo ammissibile	5	[cm]
Rapporto di inflessione F/L ammissibile	0.003333	
Rotazione rigida ammissibile	0.191	[deg]
Rotazione assoluta ammissibile	0.191	[deg]
Distorsione positiva ammissibile	0.191	[deg]
Distorsione negativa ammissibile	0.095	[deg]
Considera fondazioni compensate	no	
Coefficiente di riduzione della a Max attesa	0.3	
Condizione per la valutazione della spinta su pareti	Lungo termine	
Considera l'azione sismica del terreno anche su pareti sotto lo zero sismico	no	
Cedimento assoluto ammissibile	5	[cm]
Cedimento medio ammissibile	5	[cm]
Cedimento differenziale ammissibile	5	[cm]
Rotazione rigida ammissibile	0.191	[deg]
Trascura la coesione efficace in verifica allo scorrimento	si	
Considera inclinazione spinta del terreno contro pareti	no	
Esegui verifica a liquefazione	no	
Metodo di verifica liquefazione	Seed-Idriss (1982)	
Coeff. di sicurezza minimo a liquefazione	1.3	
Magnitudo scaling factor per liquefazione	1	

Preferenze progetto muratura

Forza minima aggancio al piano (default)	0	[daN/cm]
Denominatore per momento ortogonale (default)	8	
Minima resistenza trazione travi (default)	30000	[daN]
Angolo cuneo verifica ribaltamento (default)	30	[deg]
Considera d = 0.8 * h nei maschi senza fibre compresse	No	
Verifica pressoflessione deviata	No	
Considera effetto piastra in presenza di irrigidimenti	Si	
N = 0 per verifica fessuraz. diag. elementi esistenti in NTC 2018	Si	
Resistenza a pressoflessione FRCM	Secondo CNR-DT 215	
Considera rinforzi FRP/FRCM anche per combinazioni non sismiche	No	

Sondaggi del sito

Vengono elencati in modo sintetico tutti i sondaggi risultanti dalle verticali di indagine condotte in sito, con l'indicazione dei terreni incontrati, degli spessori e dell'eventuale falda acquifera.

Quota della sommità del sondaggio (P.C.) nel sistema globale scelto: -60

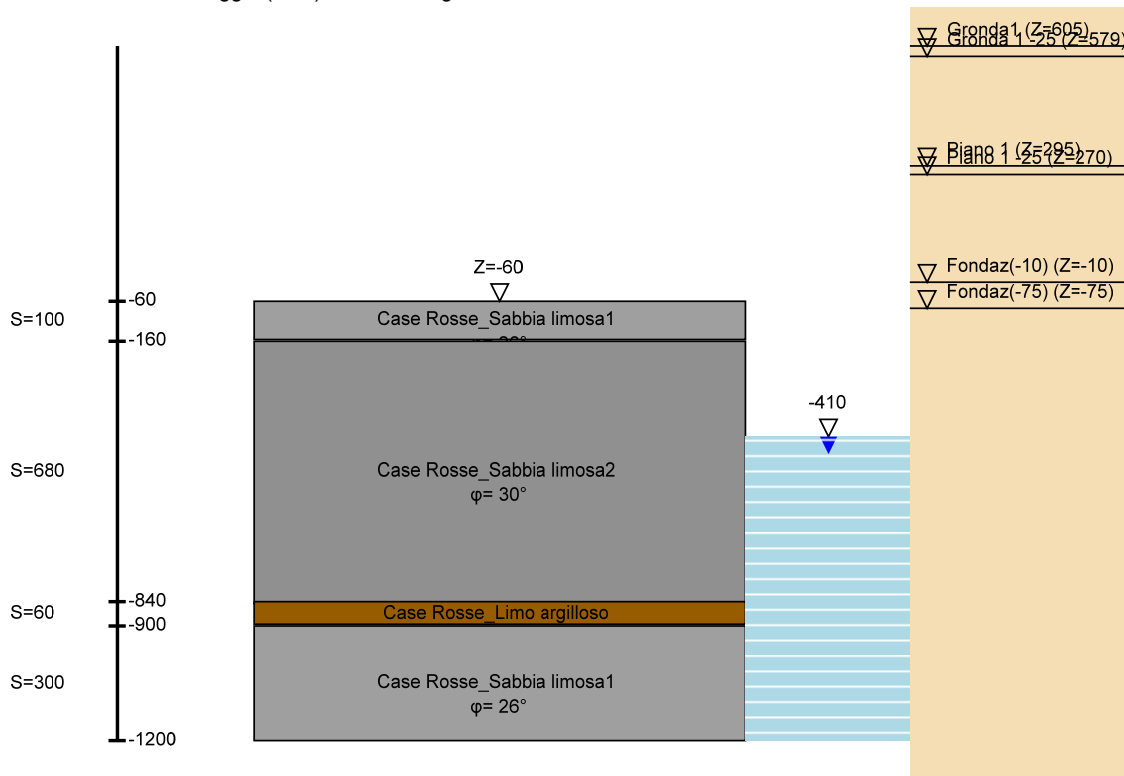


Immagine Sondaggio [valori espressi in cm]

Stratigrafie

Terreno: terreno mediamente uniforme presente nello strato.

Sp.: spessore dello strato. [cm]

Liqf: indica se considerare lo strato come liquefacibile nelle combinazioni sismiche. Con 'Da verifica' viene considerato quanto risulta dalla verifica condotta a fine calcolo solutore.

Kor,i: coefficiente K orizzontale al livello inferiore dello strato per modellazione palo. [daN/cm³]

Kor,s: coefficiente K orizzontale al livello superiore dello strato per modellazione palo. [daN/cm³]

Kve,i: coefficiente K verticale al livello inferiore dello strato per modellazione palo. [daN/cm³]

Kve,s: coefficiente K verticale al livello superiore dello strato per modellazione palo. [daN/cm³]

Eel,s: modulo elastico al livello superiore dello strato per calcolo cedimenti istantanei; 0 per non calcolarli. [daN/cm²]

Eel,i: modulo elastico al livello inferiore dello strato per calcolo cedimenti istantanei; 0 per non calcolarli. [daN/cm²]

Eed,s: modulo edometrico al livello superiore per calcolo cedimenti complessivi; 0 per non calcolarli. [daN/cm²]

Eed,i: modulo edometrico al livello inferiore per calcolo cedimenti complessivi; 0 per non calcolarli. [daN/cm²]

CC,s: coefficiente di compressione vergine CC al livello superiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 0 per non calcolarli. Il valore è adimensionale.

CC,i: coefficiente di compressione vergine CC al livello inferiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 0 per non calcolarli. Il valore è adimensionale.

CR,s: coefficiente di ricomprensione CR al livello superiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 0 per non calcolarli. Il valore è adimensionale.

CR,i: coefficiente di ricomprensione CR al livello inferiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 0 per non calcolarli. Il valore è adimensionale.

E0,s: indice dei vuoti E0 al livello superiore per calcolo cedimenti di consolidazione. Il valore è adimensionale.

E0,i: indice dei vuoti E0 al livello inferiore per calcolo cedimenti di consolidazione. Il valore è adimensionale.

OCR,s: indice di sovraconsolidazione OCR al livello superiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 1 per terreno NC. Il valore è adimensionale.

OCR,i: indice di sovraconsolidazione OCR al livello inferiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 1 per terreno NC. Il valore è adimensionale.

Terreno	Sp.	Liqf	Kor,i	Kor,s	Kve,i	Kve,s	Eel,s	Eel,i	Eed,s	Eed,i	CC,s	CC,i	CR,s	CR,i	E0,s	E0,i	OCR,s	OCR,i
Sabbia limosa1	100	No	-	-	-	-	110	110	200	200	0	0	0	0	0	0	1	1
Sabbia limosa2	680	No	-	-	-	-	280	280	500	500	0	0	0	0	0	0	1	1
Limo argilloso	60	No	-	-	-	-	35	35	60	60	0	0	0	0	0	0	1	1

Terreno	Sp.	Liqf	Kor,i	Kor,s	Kve,i	Kve,s	Eel,s	Eel,i	Eed,s	Eed,i	CC,s	CC,i	CR,s	CR,i	E0,s	E0,i	OCR,s	OCR,i
Sabbia limosa1	300	No	-	-	-	-	110	110	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

5.10.3. Modellazione svolta

Il modello geometrico dell'edificio è stato rappresentato, all'interno del software, nel rispetto della geometria, come risultante dal progetto architettonico.

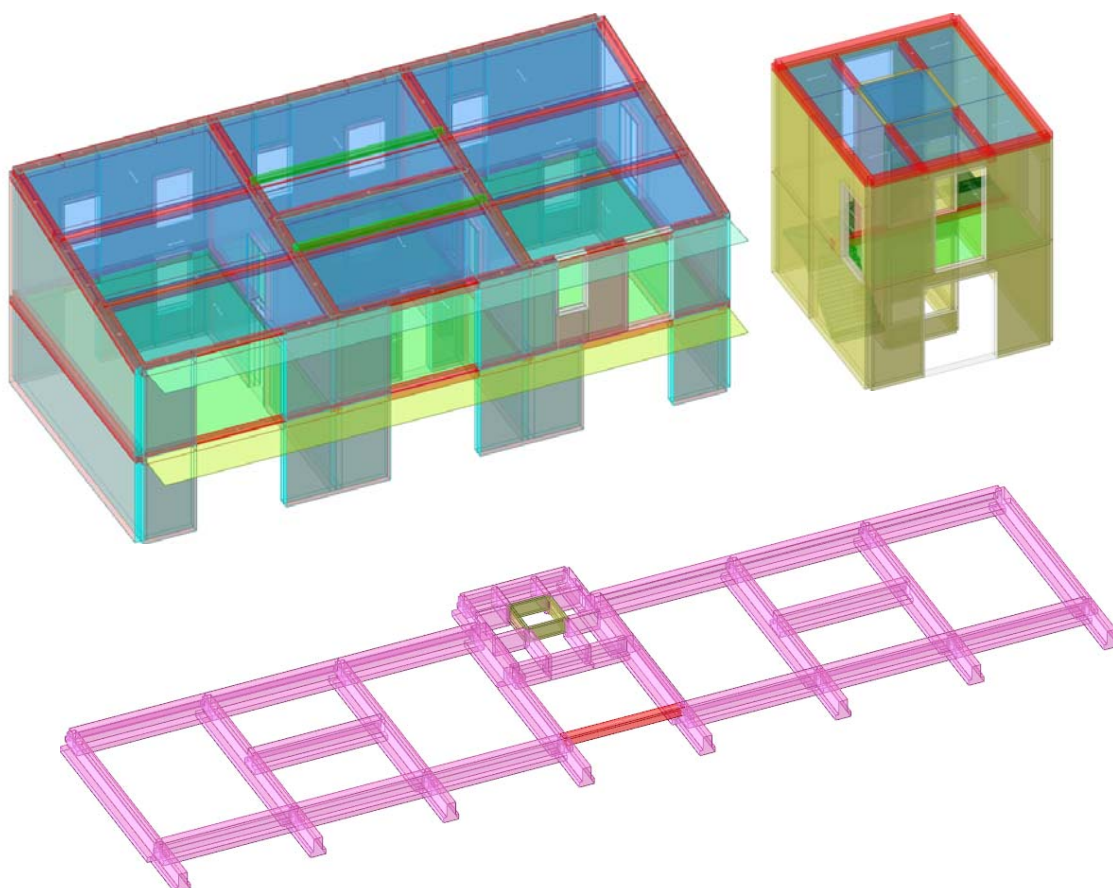
- Alle murature portanti in laterizio ed in c.a., e a quelle di tamponamento, è stato attribuito un comportamento strutturale come da specifiche dei materiali precedentemente indicate e spessori variabili come da scelte progettuali.

Nella modellazione, tutte le pareti sono state considerate reagenti nei confronti dei carichi sismici, ad eccezione di quelle di seguito specificate, a causa della loro eccessiva limitata estensione o particolare posizione:

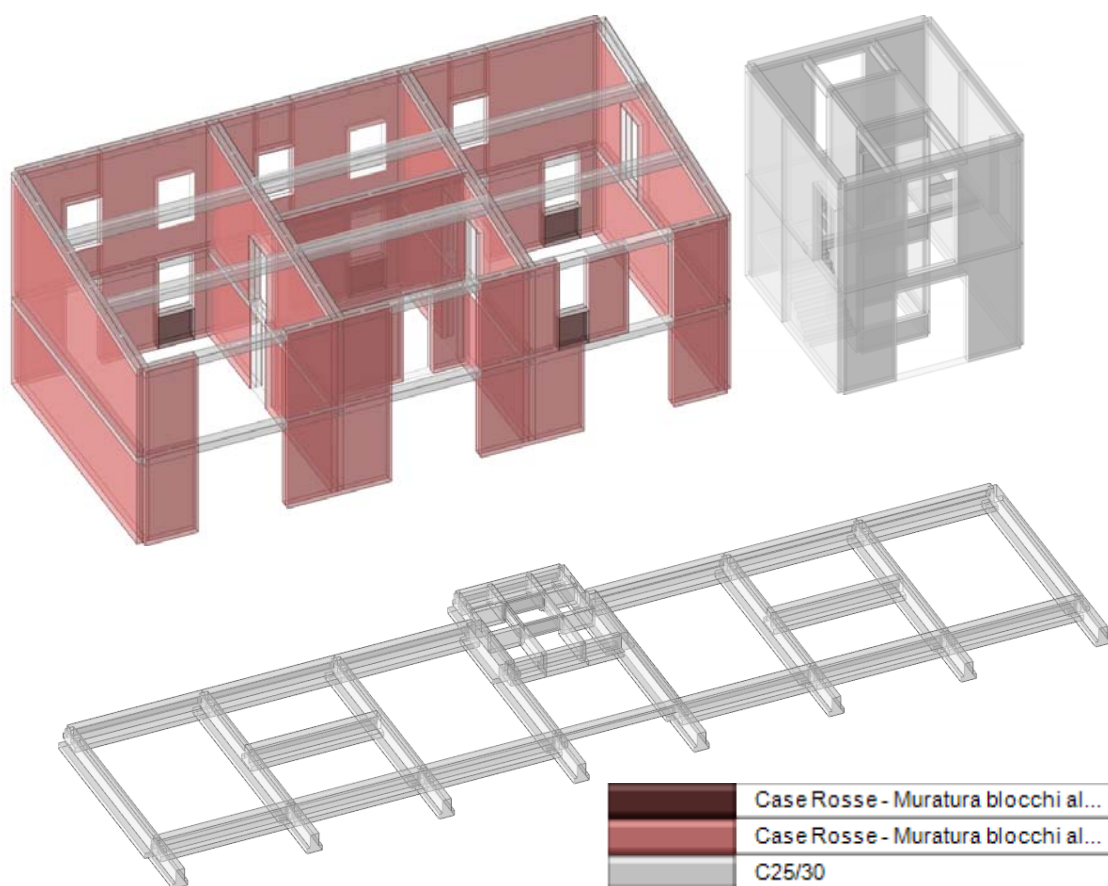
- spalle di limitate dimensioni interposte a porte e finestre o in posizione d'angolo
- elementi murari in appoggio su travi, come le murature di tamponamento dell'appartamento del piano primo.
- Le travi murarie di collegamento dei maschi murari, sono state mantenute nella modellazione della struttura muraria, in quanto saranno dotate di architravi (travi in c.a.) in grado di sostenere il materiale soprastante, anche se lesionato. Si tratta quindi di elementi in grado di irrigidire la struttura muraria, anche in presenza di un avanzato danneggiamento strutturale. Sono state tolte dal modello solo gli elementi di dimensioni eccessivamente contenute (altezza < 50 cm), mentre altri, come indicato nella precedente descrizione del modello, sono stati modellati come materiale fessurato (50%E).
- Le travi e cordoli in c.a. sono stati rappresentati riproducendo le caratteristiche geometriche e meccaniche degli stessi elementi. Le armature di rinforzo sono state dimensionate nel rispetto dei minimi di normativa e delle sollecitazioni fornite dal modello di analisi.
- Nell'edificio non sono presenti pilastri in c.a.
- I solai sono stati modellati introducendo un comportamento rigido in quanto adeguatamente armati e collegati alle murature. Ai solai di copertura in falda, nel rispetto dei limiti operativi del software, è stato invece attribuito un comportamento membranale definito in base allo spessore della soletta collaborante del solaio stesso.
- Il terreno di fondazione è stato considerato rigido nella modellazione dei singoli edifici (abitativo e corpo scale), mentre per il dimensionamento unitario e generale delle fondazioni, il terreno è stato considerato deformabile secondo la teoria elastica di Winkler, per i seguenti motivi:
 - la parte fuori terra assorbe gran parte delle deformazioni differenziali delle fondazioni quando i propri materiali costitutivi sono ancora in fase di maturazione e quindi maggiormente in grado di assecondare tali eventuali assestamenti;

- la struttura di fondazione viene caricata gradualmente nel corso della costruzione, pertanto i cedimenti si sviluppano in gran parte nell'arco della costruzione dell'edificio e non si applicano quindi repentinamente sulla struttura fuori terra, come invece viene simulato nell'ambito della modellazione tridimensionale agli elementi;
- le fondazioni invece, essendo la prima opera ad essere costruita, risulta quella maggiormente esposta alla storia di carico associata alla costruzione dell'edificio ed alla sua vita successiva. Per questo motivo la struttura di appoggio a terra deve possedere adeguate caratteristiche di rigidità per poter assorbire e diffondere eventuali cedimenti del terreno. In questo senso, l'impiego di un modello elastico lineare per il terreno, consente di cogliere le distorsioni e le sollecitazioni indotte dall'interazione della parte fuori terra ed entro terra.

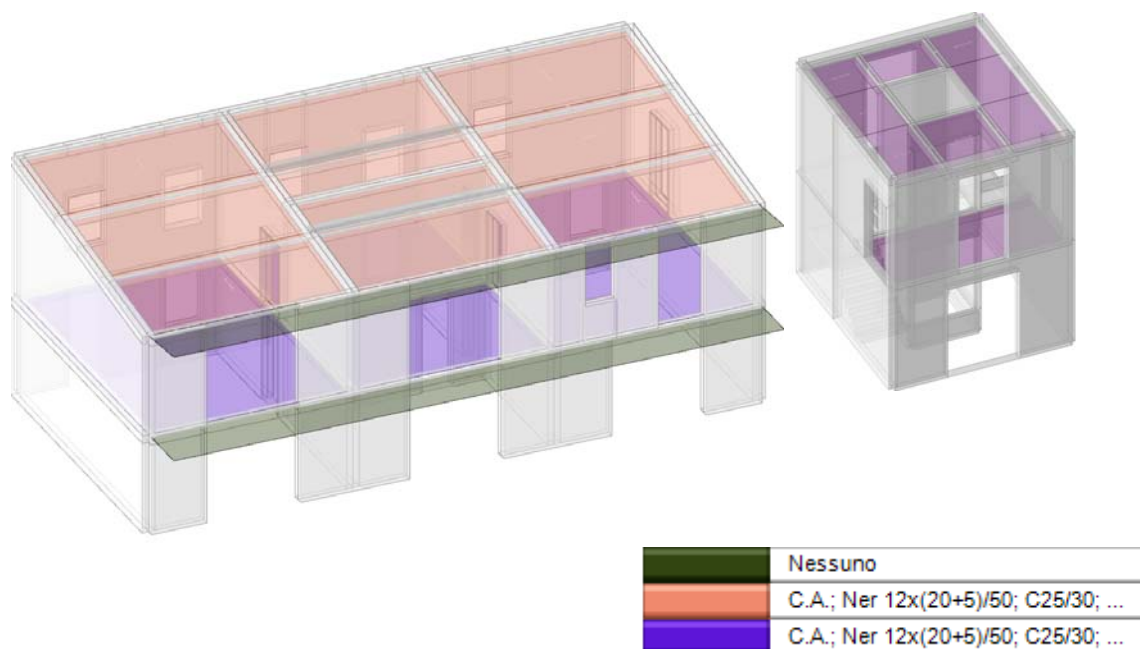
Le immagini seguenti riportano rappresentazioni del modello geometrico introdotto per la formazione del modello di calcolo.



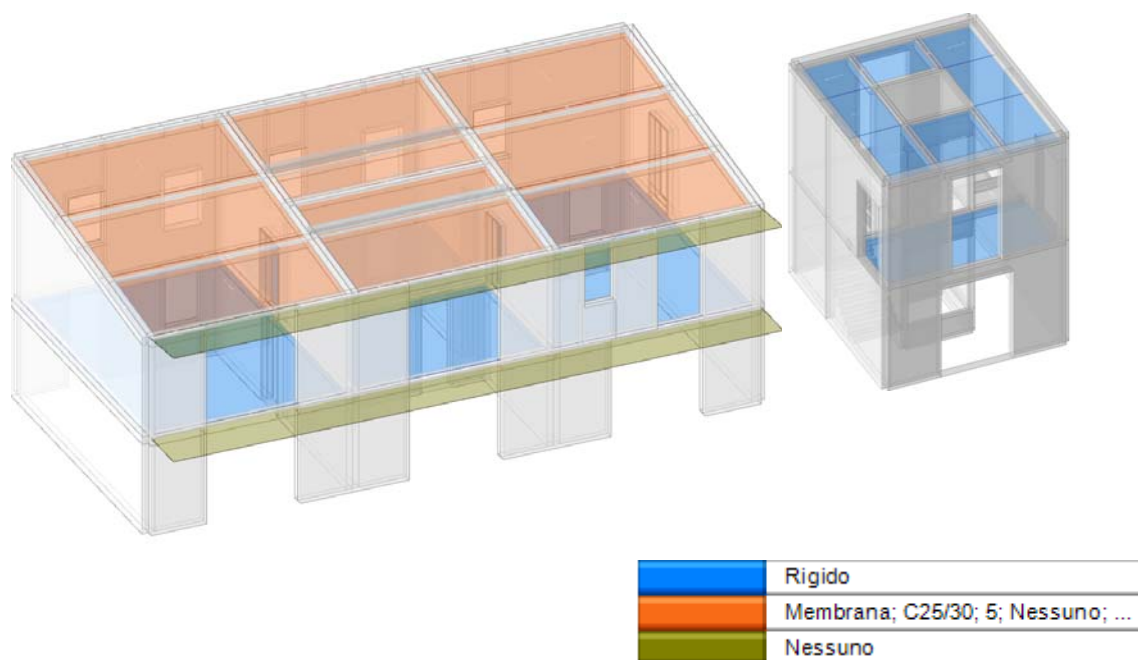
Vista del modello geometrico di calcolo.



Vista dei materiali del modello geometrico di calcolo.



Solai associati ai carichi applicati al modello geometrico di calcolo.



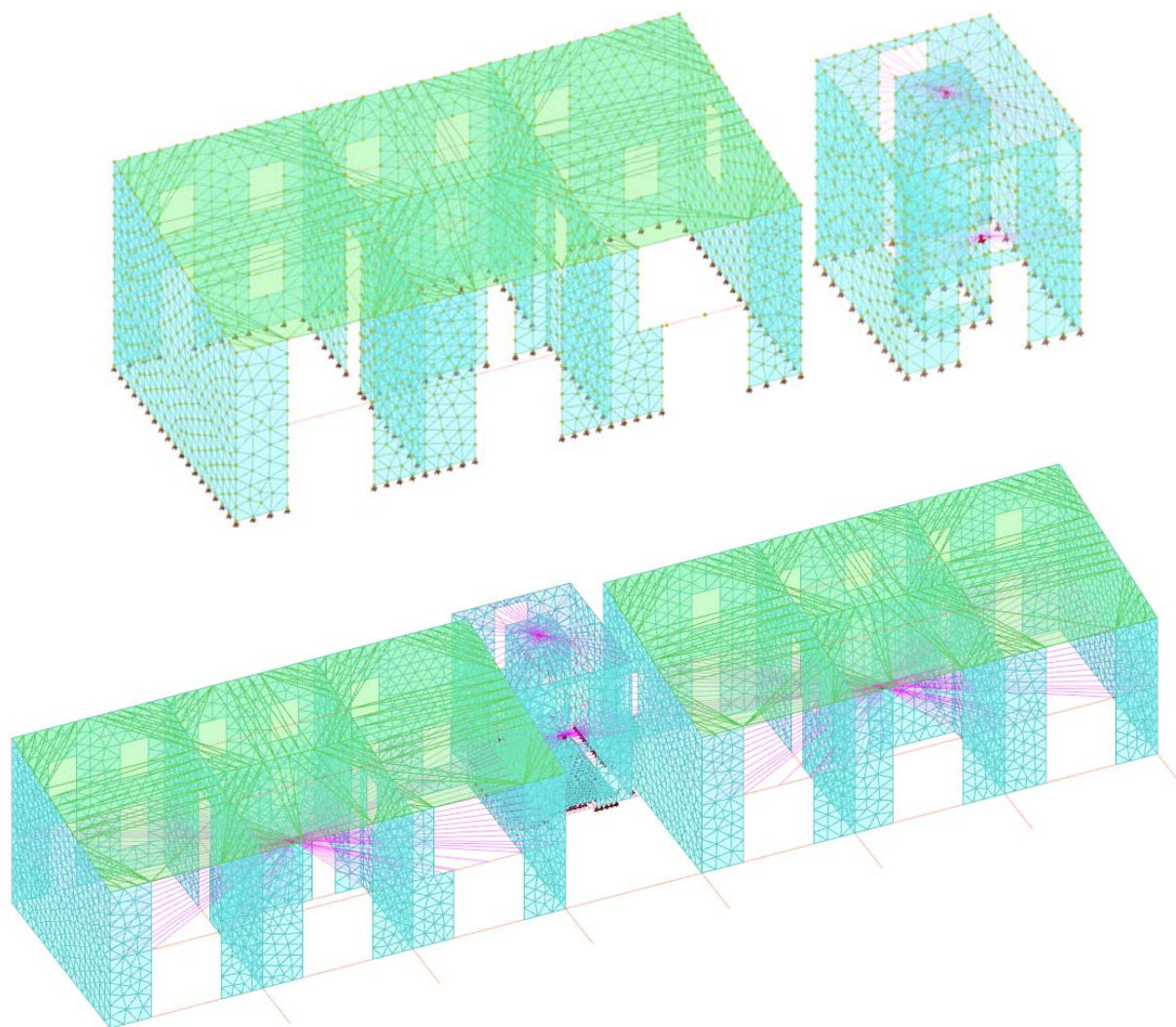
Comportamenti membranali associati ai carichi di solaio..

Dalla geometria inserita è stato poi estrapolato, in automatico, il modello di calcolo per l'analisi strutturale agli elementi finiti. Il modello di calcolo è stato realizzato rappresentando i diversi elementi strutturali come di seguito descritto:

- le pareti (in laterizio e c.a.) sono state rappresentate mediante un sistema di gusci (elemento lastra-piastra) discretizzando la superficie muraria in elementi di forma quadrilatera o triangolare, nel rispetto della dimensione geometrica massima impostata nelle preferenze di modellazione;
- le travi, i cordoli ed i pilastri in genere, sono stati rappresentati mediante elementi asta dotati, eventualmente, di svincoli alle estremità definiti sulla base delle specifiche introdotte in fase di modellazione geometrica;
- le travi realizzate al di sopra di murature vengono diffusamente collegate ai nodi dei gusci di parete e non vengono verificate come travi, ma considerate come semplici cordoli. I nodi di definizione di travi e cordoli vengono comunque collegati ai nodi di definizione degli elementi ad essi collegati, quali travi, pilastri, pareti e solai;
- i solai privi di comportamento membranale (come i balconi e coperture a sbalzo), non generano elementi all'interno del modello di calcolo, ma solamente masse, associate ai diversi nodi strutturali e dipendenti dal criterio di ripartizione prescelto (trave continua, area di influenza o misto);
- i solai con comportamento membranale, generano invece elementi piani, all'interno del modello di calcolo, composti da piastre triangolari, di dato spessore e diversamente orientate, per collegare reciprocamente i diversi nodi strutturali collegati al solaio stesso, in modo da introdurre una adeguata rigidità di piano (dipendente dall'input svolto), vincolando quindi, reciprocamente, gli spostamenti dei nodi collegati;

- i solai con comportamento rigido generano legami cinematici che vincolano, in maniera rigida, gli spostamenti relativi dei diversi nodi strutturali collegati al solaio;
- nei modelli in cui le fondazioni non sono state modellate, nei nodi a terra delle strutture in elevazione (pilastri, maschi murari, scale, travi inclinate) vengono inseriti vincoli rigidi per simulare una condizione di incastro perfetto al piede (struttura bloccata al piede);
- nei modelli in cui le fondazioni sono invece state modellate, nei nodi a terra delle strutture in elevazione (pilastri, maschi murari, scale, travi inclinate) vengono inserite aste su suolo elastico in presenza di travi di fondazione, oppure vincoli cedevoli alla Winkler in caso di piastre di fondazione.

Sulla base delle indicazioni sopra indicate è stato creato, in automatico dal software di calcolo, il seguente modello di analisi agli elementi finiti. Si riporta anche il modello completo creato per la verifica delle strutture di fondazione, che comprende anche la modellazione dei corpi residenziali e del corpo scale.



Modelli di calcolo agli elementi finiti per il dimensionamento del corpo residenziale, corpo scale e delle fondazioni.

5.11. Metodi di analisi

L'edificio è stato analizzato mediante una modellazione tridimensionale unitaria all'interno di un software strutturale.

La risoluzione del modello è stata svolta adottando le seguenti tipologie di analisi:

- 1) analisi dinamica lineare
- 2) analisi statica non lineare o push-over (*analisi non svolta*)
- 3) analisi dei meccanismi di collasso (*analisi non svolta*).

L'analisi dinamica lineare, e in particolar modo l'analisi statica non lineare, derivando dalla risoluzione, attraverso software di calcolo, del modello tridimensionale dell'edificio, forniscono risultati attendibili scontando l'ipotesi che l'edificio presenti un adeguato comportamento scatolare. In assenza di tali condizioni, non potendosi attivare un comportamento d'insieme, la vulnerabilità dell'edificio sarà comandata, inevitabilmente, dai meccanismi di collasso di singole pareti e gruppi di pareti (meccanismi locali).

Nella fattispecie, la tipologia strutturale è caratterizzata da un buon comportamento scatolare, per la presenza di ammorsamenti in angolate e martelli murari e di solai di adeguata rigidità membranale e collegati alle murature portanti. Per questo motivo, l'analisi dell'edificio è stata condotta adottando una analisi lineare di tipo globale (analisi dinamica lineare), tralasciando l'analisi dei meccanismi di collasso, poco rilevanti per la tipologia di edificio e tralasciando inoltre anche l'analisi non lineare, in quanto trattasi di una procedura di analisi di livello superiore considerata eccessiva per il tipo di edificazione.

• L'analisi **dinamica lineare** consiste:

- nella determinazione dei modi di vibrare della costruzione (analisi modale),
- nel calcolo degli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto, per ciascuno dei modi di vibrare individuati,
- nella combinazione di questi effetti.

Devono essere considerati tutti i modi con massa partecipante significativa. È opportuno a tal riguardo considerare tutti i modi con massa partecipante superiore al 5% e comunque un numero di modi la cui massa partecipante totale sia superiore all'85%.

Per la combinazione degli effetti relativi ai singoli modi deve essere utilizzata una combinazione quadratica completa degli effetti relativi a ciascun modo, quale quella indicata nell'espressione:

$$E = (\sum_j \sum_i x_{ij} \times E_i \times E_j)^{1/2}$$

con: E_j valore dell'effetto relativo al modo j ;

p_{ij} coefficiente di correlazione tra il modo i e il modo j .

L'analisi lineare può essere utilizzata per calcolare gli effetti delle azioni sismiche sia nel caso di sistemi dissipativi sia nel caso di sistemi non dissipativi.

Quando si utilizza l'analisi lineare per sistemi non dissipativi, come avviene per gli stati limite di esercizio, gli effetti delle azioni sismiche sono calcolati riferendosi allo spettro di progetto ottenuto assumendo un fattore di comportamento q unitario (NTC 2018 par. 7.3). La esistenza delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole presentate nella Norma, non essendo necessario soddisfare i requisiti di duttilità fissati nel par. 7 (NTC 2018).

Quando si utilizza l'analisi lineare per sistemi dissipativi, come avviene per gli stati limite ultimi, gli effetti delle azioni sismiche sono calcolati riferendosi allo spettro di progetto ottenuto assumendo un fattore di comportamento q maggiore dell'unità (NTC 2018 par. 3.2.3.5). La resistenza delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole presentate nella Norma, essendo necessario soddisfare anche i requisiti di duttilità fissati nel par. 7 (NTC 2018).

Il valore del fattore di comportamento q da utilizzare per ciascuna direzione della azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità di materiale.

L'analisi, fornisce le verifiche strutturali e gli indici di resistenza, per ciascun elemento strutturale appartenente alla struttura e per ciascuna delle combinazioni di carico considerate.

- L'analisi **statica non lineare** (non svolta) consiste nell'applicare alla struttura i carichi gravitazionali e, per la direzione considerata dell'azione sismica, un sistema di forze orizzontali, distribuite ad ogni livello della costruzione proporzionalmente alle forze d'inerzia, ed aventi risultante (taglio alla base) F_b .

Tali forze sono scalate in modo da far crescere monotonamente, sia in direzione positiva che negativa e fino al raggiungimento delle condizioni di collasso locale o globale, lo spostamento orizzontale dc di un punto di controllo coincidente con il centro di massa dell'ultimo livello della costruzione (sono esclusi eventuali torrini). Il diagramma $F_b \times dc$ rappresenta la curva di capacità della struttura.

L'analisi incrementale viene interrotta al raggiungimento di un decadimento del 20% del taglio alla base F_b .

Questo tipo di analisi può essere utilizzato soltanto se ricorrono le condizioni di applicabilità nel seguito precisate per le distribuzioni principali (Gruppo 1); in tal caso esso si utilizza per gli scopi e nei casi seguenti:

- valutare i rapporti di sovra resistenza α_u/α_1 impiegati nelle analisi lineari;
- verificare l'effettiva distribuzione della domanda inelastica negli edifici progettati con il fattore di comportamento q ;
- come metodo di progetto per gli edifici di nuova costruzione sostitutivo dei metodi di analisi lineari;

- come metodo per la valutazione della capacità o vulnerabilità sismica, di edifici esistenti.

Si devono considerare almeno due distribuzioni di forze d'inerzia, ricadenti l'una nelle distribuzioni principali (Gruppo 1) e l'altra nelle distribuzioni secondarie (Gruppo 2) appresso illustrate.

Gruppo 1 - Distribuzioni principali:

- a) se il modo di vibrare fondamentale nella direzione considerata ha una partecipazione di massa non inferiore al 75% si applica una delle due distribuzioni seguenti:
 - distribuzione proporzionale alle forze statiche di cui al § 7.3.3.2, utilizzando come seconda distribuzione la a) del Gruppo 2,
 - distribuzione corrispondente a un andamento di accelerazioni proporzionale alla forma del modo fondamentale di vibrare nella direzione considerata;
- b) in tutti i casi può essere utilizzata la distribuzione corrispondente all'andamento delle forze di piano agenti su ciascun orizzontamento calcolate in un'analisi dinamica lineare, includendo nella direzione considerata un numero di modi con partecipazione di massa complessiva non inferiore allo 85%. L'utilizzo di questa distribuzione è obbligatorio se il periodo fondamentale della struttura è superiore a $1,3 T_C$.

Gruppo 2 - Distribuzioni secondarie:

- a) distribuzione di forze, desunta da un andamento uniforme di accelerazioni lungo l'altezza della costruzione;
- b) distribuzione adattiva, che cambia al crescere dello spostamento del punto di controllo in funzione della plasticizzazione della struttura;
- c) distribuzione multimodale, considerando almeno sei modi significativi.

L'analisi richiede che al sistema strutturale reale (curva di capacità) venga associato un sistema strutturale equivalente ad un grado di libertà con curva di capacità bilineare. Sul sistema equivalente vengono svolte le valutazioni relative al rapporto tra capacità e domanda, in termini di spostamento richiesto dal sisma di progetto.

L'analisi fornisce un unico indice di resistenza, rappresentativo del comportamento strutturale dell'intero edificio, per ciascuna delle combinazioni di carico considerate. Individuato lo spostamento di domanda, associato al sisma di progetto elastico e la relativa distribuzione delle azioni sui diversi elementi strutturali, è possibile procedere alla verifica di questi ultimi.

Il metodo di analisi è anche utilizzato per definire i fattori di comportamento q , da inserire nelle analisi lineari ed attraverso i quali si considera, riducendo l'azione sismica applicata, il reale comportamento dissipativo e duttile insito nella deformazione strutturale.

• L'analisi dei **meccanismi di collasso** (*non svolta*) viene svolta attraverso l'analisi di parti del fabbricato aventi le caratteristiche di macro elementi, ovvero singole pareti o aggregati di pareti collegate e coinvolte in meccanismi di collasso unitari come previsto al § 5.3.3 della DPCM dello 09/02/2011. Lo studio di dettaglio si avvale degli strumenti analitici propri della valutazione di singoli macro elementi attraverso l'analisi cinematica lineare.

Ciascuna struttura muraria viene considerata composta da conci rigidi non resistenti a trazione, fra i quali si suppone l'assenza di scorrimenti reciproci. Per alcuni macro elementi, si effettua il confronto tra le accelerazioni allo stato limite nello stato di fatto e nello stato di progetto, intendendo quest'ultimo come la condizione in cui vengano introdotte, attraverso interventi di miglioramento, le forze di aggancio minime necessarie per garantire la positiva verifica allo stato limite di salvaguardia della vita.

L'analisi è condotta nei confronti delle pareti giudicate più sfavorite e rappresentative del livello di sicurezza attinto dal fabbricato nello stato di fatto.

L'analisi cinematica lineare è svolta, conformemente a quanto indicato nei paragrafi C8.7.1.2 e seguenti della Circolare 7/2019.

L'applicazione dell'analisi cinematica lineare richiede l'individuazione dei meccanismi di probabile collasso dell'unità strutturale sottoposta a verifica. I meccanismi locali ritenuti significativi per la costruzione, nel caso in esame, sono stati individuati sulla base del giudizio qualitativo di vulnerabilità, basato su analisi osservazionale dell'edificio e sulle caratteristiche morfologiche e meccaniche delle pareti, nonché dello stato fessurativo, descritti nella documentazione di rilievo del danno.

Per ogni meccanismo locale preso in esame, il metodo si articola nei seguenti passi:

- trasformazione di una parte della costruzione in un sistema labile (catena cinematica), attraverso l'individuazione di corpi rigidi, definiti da piani di frattura ipotizzabili per la scarsa resistenza a trazione della muratura, in grado di ruotare o scorrere tra loro: nella fattispecie la parete è stata considerata come un unico blocco rigido, dalla cerniera di rotazione sino alla sua sommità;
- valutazione del moltiplicatore dei carichi orizzontali (sismici) α_0 che comporta l'attivazione del meccanismo;
- calcolo dell'accelerazione di attivazione del meccanismo a_0^* ;
- verifiche di sicurezza mediante il confronto dell'accelerazione di attivazione del meccanismo con l'accelerazione del sisma di progetto (SLV);
- valutazione del livello di sicurezza.

Il calcolo del moltiplicatore di attivazione del meccanismo si effettua mediante il Principio dei Lavori Virtuali. Per l'applicazione di tale metodo si considerano le seguenti forze:

- i pesi propri dei blocchi;
- i carichi verticali portati dagli stessi (pesi propri e sovraccarichi di solai, travi, etc.);
- un sistema di forze orizzontali proporzionali ai carichi verticali portati (carichi sismici);

- eventuali forze esterne (carichi spingenti di archi e volte, dispositivi di vincolo quali catene metalliche, etc.).

Tale metodo, basato sul Principio dei Lavori Virtuali, non consente di tenere in conto forze attrattive e coesive, essendo queste dissipative e in contrasto con le ipotesi base del metodo, pertanto si assume implicitamente che la resistenza al sisma del meccanismo considerato, sia dovuta fondamentalmente alla forma stessa della catena cinematica. Tale assunzione, nel caso in cui l'attrito e la coesione fossero di entità rilevante, risulta, comunque, a favore di sicurezza. Si tiene conto della limitata resistenza a compressione della muratura, considerando le cerniere adeguatamente arretrate rispetto allo spigolo della sezione.

Il moltiplicatore α_0 si ottiene uguagliando il lavoro eseguito dalle forze esterne ed interne applicate al sistema in corrispondenza dell'atto di moto virtuale definito assegnando una rotazione virtuale θ_k al generico blocco k, in funzione della quale è possibile determinare gli spostamenti delle diverse forze applicate nella rispettiva direzione:

$$\alpha_0 \cdot \left(\sum_{i=1}^n P_i \cdot \delta_{x,i} + \sum_{j=n+1}^{n+m} P_j \cdot \delta_{x,j} \right) - \sum_{i=1}^n P_i \cdot \delta_{y,i} - \sum_{h=1}^o F_h \cdot \delta_h = L_{fi}$$

dove:

- n è il numero di tutte le forze peso applicate ai diversi blocchi della catena cinematica;
- m è il numero di forze peso non direttamente gravanti sui blocchi, le cui masse, per effetto dell'azione sismica, generano forze orizzontali sugli elementi della catena cinematica, in quanto non efficacemente trasmesse ad altre parti dell'edificio;
- o è il numero di forze esterne, non applicate a masse, applicate ai diversi blocchi;
- P_i è la generica forza peso applicata;
- P_j è la generica forza peso, non direttamente applicata sui blocchi, la cui massa per effetto dell'azione sismica, genera una forza orizzontale sugli elementi della catena cinematica, in quanto non efficacemente trasmessa ad altre parti dell'edificio;
- $\delta_{x,i}$ è lo spostamento virtuale orizzontale del punto di applicazione dell'i-esimo peso P_i ;
- $\delta_{x,j}$ è lo spostamento virtuale orizzontale del punto di applicazione del j-esimo peso P_j ;
- $\delta_{y,i}$ è lo spostamento virtuale verticale del punto di applicazione del i-esimo peso P_i ;
- F_h è la generica forza esterna applicata ad un blocco;
- δ_h è lo spostamento virtuale del punto dove è applicata la h-esima forza esterna;
- L_{fi} è il lavoro di eventuali forze interne.

Il passaggio dal moltiplicatore α_0 alla accelerazione a_0^* , si effettua tramite le seguenti formule, fornite dalla Circolare n.617 del 2009 e da applicare nell'ordine in cui sono riportate:

$$M^* = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n+m} P_i \cdot \delta_{x,i} \right)^2}{g \cdot \sum_{i=1}^{n+m} P_i \cdot \delta_{x,i}^2} \quad e^* = \frac{g \cdot M^*}{\sum_{i=1}^{n+m} P_i} \quad a_0^* = \frac{\alpha_0 \cdot \sum_{i=1}^{n+m} P_i}{M^* \cdot FC} = \frac{\alpha_0 \cdot g}{e^* \cdot FC}$$

dove:

- g è l'accelerazione di gravità;

- e^* è la frazione di massa partecipante della struttura;
 FC è il fattore di confidenza dipendente dal livello di conoscenza raggiunto LC1-2-3;
 $n+m$ è il numero delle forze peso P_i applicate, le cui masse, per effetto dell'azione sismica, generano forze orizzontali sugli elementi della catena cinematica;
 $\delta x_{,i}$ è lo spostam. virtuale orizzontale del punto di applicazione dell' i -esimo peso P_i ;
 M^* è la massa partecipante al cinematismo.

Per gli edifici esistenti sono richieste le verifiche sismiche allo stato limite ultimo (SLU) e, in particolare, quelle relative alla salvaguardia della vita (SLV). La norma distingue i meccanismi di collasso di pareti sostanzialmente appoggiate a terra, da quelli che avvengono in quota. Per i primi va svolta solamente la prima delle due verifiche riportate di seguito, mentre per i secondi dovranno essere soddisfatte entrambe le verifiche.

Per i meccanismi di collasso che avvengono a terra, la condizione da rispettare è la seguente:

$$a_0^* \geq \frac{a_g \cdot (p_{v_R}) \cdot S}{q}$$

dove:

- a_0^* è l'accelerazione di attivazione del meccanismo;
 a_g è l'accelerazione orizzontale massima del terreno relativa allo SLV;
 S è un coefficiente relativo alla topografia e alla stratigrafia del sito in esame, definito dalle NTC 2008;
 q è il fattore di comportamento.

Nel caso di meccanismi di collasso in quota, deve essere rispettata anche la condizione:

$$a_0^* \geq \frac{S_e(T_1) \cdot \psi(Z) \cdot \gamma}{q}$$

dove:

- T_1 è il primo periodo di vibrazione dell'intera struttura, che può essere valutato con la formula semplificata proposta dalle Norme Tecniche delle Costruzioni $T_1 = 0,05 H^{3/4}$, con H altezza dell'edificio in metri;
 $S_e(T_1)$ è lo spettro elastico orizzontale in accelerazione, definito secondo le NTC, calcolato per il periodo T_1 ;
 Z è l'altezza in metri, rispetto alla fondazione dell'edificio, della cerniera di rotazione considerata per il meccanismo;
 $\psi(Z)$ è il primo modo di vibrazione dell'edificio nella direzione considerata, normalizzato ad 1 in sommità all'edificio; in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto pari a Z/H , dove H è l'altezza della struttura rispetto alla fondazione;
 γ è il coefficiente di partecipazione modale e può essere assunto pari a 1,0 per palazzi.

I meccanismi di collasso saranno analizzati in una specifica relazione.

6. Criteri di verifica adottati per azioni sismiche e statiche

I calcoli vengono sviluppati secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

Gli stati limite corrispondono alle condizioni di sollecitazione entro le quali l'edificio deve possedere i seguenti requisiti:

- sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi (**SLU**): capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone, ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;
- sicurezza nei confronti degli stati limite di esercizio (**SLE**): capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- robustezza nei confronti di **azioni eccezionali**: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti, quali incendio, esplosioni o urti.

6.1. Verifiche in presenza di azioni sismiche.

Nei confronti delle azioni sismiche, sono definiti i seguenti stati limite di esercizio (SLE):

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

Mentre, gli stati limite ultimi (SLU) per azioni sismiche sono:

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

Le combinazioni di carico sismiche, in accordo con la normativa in uso, sono state

definite considerando anche la presenza dei carichi statici nella combinazione “quasi permanente”.

Conformemente alla tipologia ed alla classe d'uso del fabbricato, le verifiche sono state condotte con riferimento agli **SLD** (accelerazione di aggancio $a_g/g = 0.0471$) ed **SLV** (accelerazione di aggancio $a_g/g = 0.1096$) al fine verificarne il grado di sicurezza, in termini di fattore di accelerazione $\zeta_E = \mathbf{fa}$, definito come il rapporto tra l'accelerazione sismica sopportabile dalla struttura e l'accelerazione sismica massima di progetto, entrambe riferite allo stesso stato limite (si veda anche il successivo par. 7.3).

Gli spettri di risposta, elastici e di progetto, adottati per le verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLD) ed agli Stati Limite Ultimi (SLV), sono stati riportati in precedenza.

Per i criteri di modellazione adottati, per la creazione del modello di calcolo, si rimanda ai paragrafi precedenti.

Nell'ambito del modello di calcolo tridimensionale, gli elementi “sismo resistenti” sono stati individuati nelle murature portanti presenti nell'edificio, sia in laterizio che in c.a. Il contributo di altri elementi portanti, come le scale, è stato trascurato, rendendo tali elementi secondari e svincolandoli a flessione agli appoggi.

Le strutture portanti “sismo resistenti”, sono state verificate nei confronti delle condizioni sismiche in esercizio (SLO ed SLD), mediante il controllo degli spostamenti, e nei confronti delle condizioni sismiche agli stati limite ultimi (SLV e SLC), mediante il controllo delle sollecitazioni.

Le murature in laterizio sono state inoltre verificate a flessione fuori piano. Le verifiche a ribaltamento fuori piano (cinematismi di collasso) sono state invece omesse, in quanto come anticipato, la struttura è dotata di orizzontamenti in grado di ancorare adeguatamente le pareti di facciata.

Le verifiche in esercizio agli **SLD** (ed eventualmente SLO), sono state svolte in termini di capacità di deformazione dell'edificio, verificando che, le deformazioni interpiano fossero inferiori a 0.00133h (SLO) e a 0.0020h (SLD), avendo classificato l'edificio, nel suo insieme, come avente “struttura portante in muratura ordinaria” (par. 7.3.3.3 delle NTC 2018).

Le verifiche agli stati limite ultimi allo **SLV**, sono state svolte in termini di resistenza dei singoli elementi strutturali sismo resistenti. Le verifiche delle murature portanti vengono svolte nei confronti delle azioni nel piano (presso flessione e taglio) e fuori piano (flessione e ribaltamento fuori piano). Nei tabulati di calcolo delle murature sono esplicitate le verifiche per ciascun maschio murario e nelle diverse combinazioni di carico.

Le travi murarie di collegamento dei maschi murari (architravi e davanzali di porte e finestre), per la loro limitata dimensione geometrica, risultano spesso non verificate. Gli architravi di sostegno, costituiti da travi in c.a. armate inferiormente a flessione, presentano risorse resistenti in grado di garantire la stabilità del materiale murario soprastante, anche in

presenza di lesioni importanti. Per questo motivo, gli architravi di limitata altezza (< 50 cm circa) sono stati tolti dal modello, mentre quelli di altezza superiore sono stati mantenuti nella modellazione ma, se non verificati, modellati con materiale dotato di modulo elastico ridotto (E_{res}), al fine di simularne il danneggiamento, ridurre la rigidezza e quindi indurre un incremento di deformazioni interpiano e l'incremento delle sollecitazioni nei maschi murari adiacenti architrave. Nell'ambito invece delle "analisi statiche non lineari" (push over), la presenza di lesioni negli architravi e, più in generale, nelle murature, viene introdotta automaticamente dal software, affidando moduli elastici ridotti alle estremità dei maschi murari e delle travi di collegamento, che hanno evidenziato sollecitazioni superiori alle resistenze.

Gli elementi costituenti i solai (travi e cordoli in c.a. e travi in ferro e legno) non sono stati verificati in condizioni sismiche, in quanto, già sottoposti a verifica per le azioni statiche. Tali azioni statiche infatti, per gli elementi non direttamente coinvolti nella resistenza sismica d'insieme dell'edificio, risultano generalmente più gravose delle azioni sismiche.

6.2. Verifiche in presenza di azioni statiche.

Gli elementi portanti in muratura, c.a. e ferro, sono stati sottoposti a verifiche in condizioni statiche, anche al di fuori del modello di analisi, in modo da definirne le sollecitazioni massime, eventualmente a prescindere dalla eventuale collaborazione con altri elementi strutturali presenti nel modello di calcolo tridimensionale. Tipico, in generale, è il caso delle travi delle coperture a falde in cui le sollecitazioni possono risultare mitigate dal comportamento membranale della copertura stessa, oppure degli architravi e travi che, per la collaborazione con la muratura portata, nell'ambito del modello di calcolo agli elementi finiti, determinano la sottostima delle reali sollecitazioni in esse presenti.

Gli elementi murari sismo resistenti (maschi), sono stati invece verificati sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, come previsto dalla normativa di riferimento.

Per il dettaglio delle verifiche si rimanda agli allegati tabulati di calcolo.

6.3. Indici di vulnerabilità o sicurezza strutturale.

Valutate le sollecitazioni e le risorse di resistenza dei singoli elementi strutturali, è possibile definirne il grado di **vulnerabilità o sicurezza strutturale**, sia in termini statici che sismici.

La **vulnerabilità statica** viene definita mediante l'indice di resistenza IR, individuato dal rapporto tra il parametro di resistenza strutturale (R_d) dell'elemento e la corrispondente sollecitazione di pertinenza (E_d): $IR = R_d / E_d$

La **vulnerabilità sismica**, è invece espressa in termini di Fattore di Sicurezza Sismica ($f_{a,SL}$) [§ 2.4 DPCM 09/02/2011], indicato nel capitolo 8.3 delle NTC 2018 col termine ζ_E , definito come il rapporto tra l'accelerazione al suolo (a_{SL}) che porta l'elemento strutturale

al raggiungimento dello Stato Limite (Stato Limite SL = SLD o SLV) e l'accelerazione al suolo ($a_{g,SL}$) del sisma associato al periodo di ritorno di riferimento per il medesimo Stato Limite e che si utilizza nel progetto di una nuova costruzione, entrambe riferite ad un suolo rigido (suolo di categoria A): $f_{a,SL} = \zeta_E = a_{SL} / a_{g,SL}$

L'accelerazione al suolo a_{SL} dell'elemento viene determinata semplicemente andando a ridurre l'azione sismica applicata, sino al raggiungimento dell'uguaglianza tra le sollecitazioni/carichi applicati e le resistenze strutturali dell'elemento stesso.

La vulnerabilità sismica può essere parimenti espressa anche in termini di Indice di Sicurezza Sismica ($I_{S,SL}$) [§ 2.4 DPCM 09/02/2011], come il rapporto tra il periodo di ritorno T_{SL} dell'azione sismica che porta l'elemento strutturale al raggiungimento del generico Stato Limite (SL = SLD o SLV) ed il corrispondente periodo di ritorno di riferimento $T_{R,SL}$ per lo stato limite considerato:

$$I_{S,SL} = T_{SL} / T_{R,SL}$$

Mentre, per la vulnerabilità statica è sempre richiesto che la resistenza strutturale sia superiore alla corrispondente sollecitazione ($IR \geq 100\%$), nel caso di interventi su edifici esistenti, per la vulnerabilità sismica ($f_{a,SL}$) si possono presentare diverse situazioni che, considerata l'eccezionalità dell'azione sismica, possono essere valutate come accettabili o non accettabili, in quanto associate a diversi livelli di sicurezza. Pertanto è possibile esprimere un giudizio di accettabilità del rischio sismico, associato al livello di sicurezza fornito dalle verifiche strutturali.

Un tale giudizio di accettabilità del rischio sismico per edifici esistenti, può essere definito sulla base della seguente tabella:

Valori dipendenti dal sito (suolo D), dalla classe d'uso ($C_u=3$) e dallo stato limite considerato (SLV)				
$f_{S,SL}$ fattore di accelerazione in termini percentuali	T_{SL} tempo di ritorno per cui è raggiunto lo SL	V_{Nres} Vita nominale residua	P_a Probabilità annua di superamento del sisma per cui è raggiunto lo SL	Giudizio sintetico
$f_{S,SL} < 30\%$	$T_{SL} < 37$	< 3	$> 2,70\%$	<i>molto carente</i>
$30\% \leq f_{S,SL} < 60\%$	$37 \leq T_{SL} < 189$	$3 \leq V_{Nres} < 13$	$2,70\% \leq P_a < 0,53\%$	<i>carente</i>
$60\% \leq f_{S,SL} < 80\%$	$189 \leq T_{SL} < 394$	$13 \leq V_{Nres} < 28$	$0,53\% \leq P_a < 0,25\%$	<i>accettabile</i>
$80\% \leq f_{S,SL} < 100\%$	$394 \leq T_{SL} < 712$	$28 \leq V_{Nres} < 50$	$0,25\% \leq P_a < 0,14\%$	<i>auspicabile</i>
$f_{S,SL} = 100\%$	$= 712$	$= 50$	$= 0,14\%$	<i>adeguato/nuovo</i>

6.4. Elenco delle verifiche condotte in condizioni sismiche e statiche.

Nel seguito vengono elencate nel dettaglio, le diverse tipologie di verifica a cui sono stati sottoposti gli elementi strutturali dell'edificio.

- **Analisi lineare dinamica (analisi modale)**: analisi strutturale di tipo lineare che permette di valutare la ridistribuzione delle sollecitazioni sui diversi elementi strutturali e di valutare, per ciascuno di questi, le specifiche condizioni di sicurezza strutturale.

Con questa analisi sono state svolte le seguenti verifiche:

- **in condizioni sismiche SLV/SLC:**

- elementi murari**

- presso flessione nel piano murario
 - taglio agente nel piano murario
 - presso flessione fuori piano (inflessione fuori piano con vincolo al piede ed in sommità)

- pareti in c.a.**

- presso flessione e taglio

- solai e travi**

- soggette a verifica solo se più gravose delle verifiche statiche

- **in condizione sismica SLO/SLD**

- verifica globale di deformazione (non obbligatoria per edifici esistenti)

- **in condizioni statiche SLU/SLE:**

- elementi murari**

- presso flessione fuori piano
 - taglio fuori piano

- pareti in c.a.**

- presso flessione e taglio (SLU)
 - verifica delle tensioni di esercizio (SLE)

- solai e travi**

- verifica a flessione e taglio.

In allegato alla presente sono riportate le verifiche estese per ciascun elemento strutturale.

7. Sintesi dei risultati delle analisi svolte

7.1. Analisi dinamica lineare

L'analisi dinamica lineare fornisce molteplici risultati, che devono essere spesso considerati nel loro insieme ed analizzati secondo prospettive trasversali alle singole verifiche.

Nel seguito verranno esposti i seguenti risultati:

- risposta modale del modello di analisi
- controllo degli spostamenti interpiano
- controllo della rilevanza degli effetti del secondo ordine
- equilibrio tra forze applicate e reazioni
- spostamenti nodali estremi
- indici di sicurezza e di resistenza, per le diverse verifiche condotte sui maschi murari.

7.1.1. Risposta modale

Modo: identificativo del modo di vibrare.

Periodo: periodo. [s]

Massa X: massa partecipante in direzione globale X. Il valore è adimensionale.

Massa Y: massa partecipante in direzione globale Y. Il valore è adimensionale.

Massa Z: massa partecipante in direzione globale Z. Il valore è adimensionale.

Massa rot X: massa rotazionale partecipante attorno la direzione globale X. Il valore è adimensionale.

Massa rot Y: massa rotazionale partecipante attorno la direzione globale Y. Il valore è adimensionale.

Massa rot Z: massa rotazionale partecipante attorno la direzione globale Z. Il valore è adimensionale.

Corpo abitativo

Totale masse partecipanti:

Traslazione X: 0.998538

Traslazione Y: 0.999969

Traslazione Z: 0

Rotazione X: 0.999776

Rotazione Y: 0.999534

Rotazione Z: 0.99924

Modo	Periodo	Massa X	Massa Y	Massa Z	Massa rot X	Massa rot Y	Massa rot Z
1	0.097092646	0.868439418	0.00102922	0	0.001120297	0.935856914	0.065557967
2	0.072452503	0.000002412	0.163505032	0	0.171665669	0.000004508	0.121864201
3	0.072077626	0.000073925	0.676633025	0	0.805641145	0.000095988	0.440197057
4	0.067140153	0.000004206	0.000037876	0	0.000238312	0.000004321	0.000102608
5	0.063141421	0.00000043	0.000166768	0	0.000059622	0.000000391	0.000182419
6	0.058044077	0.048223272	0.011691191	0	0.011992176	0.042701532	0.244559852
7	0.050415689	0.000003252	0.000018553	0	0.00000085	0.000002858	0.000011098
8	0.042318095	0.00000075	0.000129458	0	0.000000755	0.000000109	0.000050222
9	0.041415254	0.000000003	0.000123975	0	0.000000157	0.000000021	0.00011757
10	0.035154267	0.079589842	0.003066593	0	0.000132714	0.00604062	0.001878288
11	0.031469737	0.001876565	0.1069093	0	0.002608709	0.000183166	0.072583511
12	0.02624538	0.000036378	0.031000434	0	0.003325366	0.000236322	0.039932005
13	0.023798261	0.000076078	0.004887511	0	0.00118985	0.000000355	0.00595033
14	0.023167874	0.000180659	0.000640114	0	0.000069505	0.013063198	0.005959984
15	0.021166155	0.000009512	0.000085392	0	0.000291566	0.000006548	0.000001422
16	0.018155708	0.000006728	0.000000752	0	0.000000001	0.001087236	0.000253844
17	0.016853241	0.000000024	0.000029782	0	0.000004102	0.000027389	0.000023755
18	0.015537547	0.000013492	0.000001601	0	0.000001989	0.000215383	0.000008478
19	0.015254566	0.000000497	0.000010214	0	0.00140309	0.000005853	0.000004704
20	0.014209775	0.000000064	0.000002373	0	0.000030453	0.000001745	0.000001063

La risposta modale evidenzia una massa partecipante complessiva superiore al 99% > 85%, minimo richiesto per lo svolgimento dell'analisi lineari.

I modi principali e secondari sono i seguenti:

Direzione sisma	Modo n.	Periodo [s]	Massa [%]	Tipo di modo
X	1	0.09709	86.84	principale
x	10	0.03515	7.96	secondario
x	6	0.05804	4.82	secondario
Y	3	0.07208	67.66	principale
y	2	0.07245	16.35	secondario

L'edificio è risultato molto rigido sia in direzione X (parallela alla facciata principale) che in direzione trasversale Y, con periodi principali e secondari $T < T_B = 0.157$ s. l'elevata rigidità in entrambe le direzioni principali dell'edificio, evidenzia un comportamento omogeneo e regolare dello stesso.

Corpo scala

Totale masse partecipanti:

Traslazione X: 0.999867

Traslazione Y: 0.999825

Traslazione Z: 0

Rotazione X: 0.999999

Rotazione Y: 0.999999

Rotazione Z: 0.999857

Modo	Periodo	Massa X	Massa Y	Massa Z	Massa rot X	Massa rot Y	Massa rot Z
1	0.040687259	0.817140560	0.000000179	0	0.000008561	0.937956718	0.092758642
2	0.026553779	0.009148911	0.125669514	0	0.112678243	0.002251838	0.147355218
3	0.0247385	0.000537826	0.684489091	0	0.87594304	0.001168881	0.570160028
4	0.023125146	0.017979251	0.001429576	0	0.000135507	0.002032814	0.000631337
5	0.01942079	0.017210684	0.004348126	0	0.003178676	0.042521657	0.008392541
6	0.018432786	0.000473784	0.005059411	0	0.000084298	0.001997189	0.009193745
7	0.017817168	0.008830190	0.003290293	0	0.00024823	0.000940196	0.00000679
8	0.014306473	0.008303327	0.000027907	0	0.000014628	0.000007628	0.001588797
9	0.011993994	0.091078755	0.000743643	0	0.00015515	0.009174296	0.008017269
10	0.010317239	0.019135879	0.000130210	0	0.000001973	0.000852155	0.001157792
11	0.009632783	0.001855621	0.155481196	0	0.005315717	0.000095923	0.147041296
12	0.008821946	0.000129081	0.000327732	0	0.000006236	0.000251877	0.00079064
13	0.008331801	0.004088378	0.012471626	0	0.00131271	0.000364592	0.005350374
14	0.00805573	0.002214952	0.002411180	0	0.000014122	0.000140544	0.004396849
15	0.007204407	0.000190869	0.000048817	0	0.00009704	0.000114497	0.000008455
16	0.006644173	0.000282223	0.000512817	0	0.000546936	0.000070951	0.000587808
17	0.006297132	0.000108893	0.000006022	0	0.000039882	0.000007542	0.000002729
18	0.005348773	0.000210426	0.000030094	0	0.000012907	0.000021935	0.000001347
19	0.004989193	0.000000149	0.000974376	0	0.000149767	0.000000384	0.00078759
20	0.004590034	0.000130066	0.001933074	0	0.000004172	0.000000506	0.000979656
21	0.004493318	0.000054030	0.000000121	0	0.00000328	0.000001138	0.000016902
22	0.004195649	0.000015315	0.000011334	0	0.000000005	0.000001424	0.000026879
23	0.004091792	0.000000776	0.000000200	0	0.000000548	0.000000032	0.000000001
24	0.004031632	0.000006317	0.000007771	0	0.000035354	0.000000208	0.000002712
25	0.003994605	0.000410208	0.00000006	0	0.000000091	0.000001103	0.000072105
26	0.003959507	0.000128122	0.000085728	0	0.00000012	0.000000782	0.000202689
27	0.003892357	0.000001651	0.000001049	0	0.000001478	0.000001868	0.000000636
28	0.002258873	0.000013832	0.000000014	0	0.000000001	0.000004907	0.000002861
29	0.002072913	0.000000042	0.000014449	0	0.000002105	0.000000198	0.000013938
30	0.001870099	0.000008104	0	0	0.000000001	0.00001333	0.000002355
31	0.001823015	0.000000001	0.000000129	0	0.000000002	0.000000089	0.000000154
32	0.001685129	0.000000293	0.00000007	0	0.000000024	0.000000463	0.000000298
33	0.001509842	0.000008763	0.000001284	0	0.000000017	0	0.000006429
34	0.001483377	0.000012509	0.000009671	0	0.000000036	0.000000039	0.000002368
35	0.001465142	0.000116852	0.000000013	0	0.000000001	0.000001105	0.00002681
36	0.001426333	0.000000183	0.000012904	0	0.000000154	0.000000004	0.00001018

Modo	Periodo	Massa X	Massa Y	Massa Z	Massa rot X	Massa rot Y	Massa rot Z
37	0.00135105	0.000000504	0.000006115	0	0.000000086	0.000000002	0.000006183
38	0.001316968	0.000002491	0.000063619	0	0.000000283	0.000000048	0.000054154
39	0.001289429	0.000000031	0.000157371	0	0.000004237	0	0.000139753
40	0.001224181	0.000000034	0.000067748	0	0.000001832	0.000000003	0.000052785
41	0.000969528	0.000000001	0.000000003	0	0.000000018	0.000000003	0.000000002
42	0.000965793	0.000000001	0.000000002	0	0.000000011	0.000000005	0.000000002
43	0.000784327	0	0	0	0	0	0
44	0.000692338	0	0	0	0	0	0
45	0.000654782	0	0	0	0	0	0
46	0.000611775	0	0	0	0	0	0
47	0.000598014	0	0	0	0	0	0
48	0.000569773	0	0	0	0	0	0
49	0.000546848	0	0	0	0	0	0
50	0.000539103	0.000036949	0.000000069	0	0.000000254	0.000000054	0.000007459

La risposta modale evidenzia una massa partecipante complessiva superiore al 99% > 85%, minimo richiesto per lo svolgimento dell'analisi lineari.

I modi principali e secondari sono i seguenti:

Direzione sisma	Modo n.	Periodo [s]	Massa [%]	Tipo di modo
X	1	0.04069	81.71	principale
x	27	0.01199	9.11	secondario
Y	3	0.02474	68.45	principale
y	11	0.00963	15.55	secondario
y	2	0.02655	12.57	secondario

L'edificio è risultato molto rigido sia in direzione X (parallela alla facciata principale) che in direzione trasversale Y, con periodi principali e secondari $T < T_B = 0.157$ s. L'elevata rigidità in entrambe le direzioni principali dell'edificio, evidenzia un comportamento omogeneo e regolare dello stesso. Rispetto al corpo residenziale si evidenzia la presenza di periodi propri inferiori e quindi di una maggiore rigidità.

7.1.2. Spostamenti di interpiano estremi

Si riportano gli spostamenti estremi per ogni interpiano, riferiti ad ognuna delle combinazioni di carico considerate nell'analisi agli SLD.

Per spostamenti estremi si intendono i primi 5 spostamenti massimi tra tutti gli interpiani che condividono la stessa quota iniziale e la stessa quota finale.

Da norma, il limite per lo spostamento relativo d'interpiano ($d_{E,SLD}/h$) è:

$$d_{E,SLD}/h = \delta'_{SLD} = 0.002 h \quad (h = \text{altezza interpiano}).$$

Gli spostamenti d_E sono calcolati moltiplicando gli spostamenti elastici d_{E0} forniti dal modello lineare, il fattore di duttilità in spostamento μ_d , secondo D.M. 17-01-18 §7.3.3.3:

$$d_z = \pm \mu_d \cdot d_{zs}$$

Dove :

$$\mu_d = q \quad \text{se } T_1 \geq T_c$$

$$\mu_d = 1 + (q - 1) \cdot \frac{T_c}{T_1} \quad \text{se } T_1 < T_c$$

In ogni caso $\mu_d \leq 5q - 4$.

Per T1 si sono adottati i valori del periodo associato ai modi principali del par. 8.1.1.

Nodo inferiore: nodo inferiore.

I.: numero dell'elemento nell'insieme che lo contiene.

Pos.: coordinate del nodo.

X: coordinata X. [cm]

Y: coordinata Y. [cm]

Z: coordinata Z. [cm]

Nodo superiore: nodo superiore.

I.: numero dell'elemento nell'insieme che lo contiene.

Pos.: coordinate del nodo.

Z: coordinata Z. [cm]

Spost. rel.: spostamento relativo. Il valore è adimensionale.

Comb.: combinazione.

N.b.: nome breve o compatto della combinazione di carico.

Spostamento inferiore: spostamento in pianta del nodo inferiore.

X: coordinata X. [cm]

Y: coordinata Y. [cm]

Spostamento superiore: spostamento in pianta del nodo superiore.

X: coordinata X. [cm]

Y: coordinata Y. [cm]

S.V.: si intende non verificato qualora lo spostamento relativo sia superiore al valore limite espresso nelle preferenze di analisi.

Per spostamenti estremi si intendono i primi 5 spostamenti massimi tra tutti gli interpiani che condividono la stessa quota iniziale e la stessa quota finale.

Corpo abitativo

Limite = 0,002; spostamenti calcolati applicando il fattore di comportamento SLD $q = 1,5$ secondo D.M. 17-01-18 §7.3.6.1

Nodo inferiore				Nodo superiore		Spost. rel.	Comb.	Spostamento inf.		Spostamento sup.		S.V.
I.	Pos.			I.	Pos.			X	Y	X	Y	
	X	Y	Z		Z		N.b.					
816	1871	0	295	1675	605	0.000083	SLD 1	-0.021	-0.006	-0.045	-0.016	si
813	1702	0	295	1672	605	0.000079	SLD 1	-0.021	-0.006	-0.045	-0.012	si
793	472	0	295	1656	605	0.000077	SLD 1	-0.021	-0.001	-0.045	0.002	si
806	1249	0	295	1669	605	0.000077	SLD 1	-0.021	-0.004	-0.044	-0.011	si
797	639	0	295	1660	605	0.000077	SLD 1	-0.021	-0.001	-0.045	-0.003	si
816	1871	0	295	1675	605	0.000084	SLD 2	-0.021	-0.007	-0.045	-0.017	si
813	1702	0	295	1672	605	0.000080	SLD 2	-0.021	-0.006	-0.045	-0.012	si
793	472	0	295	1656	605	0.000078	SLD 2	-0.021	0	-0.045	0.002	si
806	1249	0	295	1669	605	0.000077	SLD 2	-0.021	-0.004	-0.044	-0.011	si
797	639	0	295	1660	605	0.000077	SLD 2	-0.021	-0.001	-0.045	-0.003	si
816	1871	0	295	1675	605	0.000080	SLD 3	-0.021	0	-0.046	-0.005	si
813	1702	0	295	1672	605	0.000079	SLD 3	-0.021	0	-0.046	0	si
802	1088	0	295	1665	605	0.000078	SLD 3	-0.021	0.002	-0.045	0.007	si
806	1249	0	295	1669	605	0.000076	SLD 3	-0.021	0.002	-0.045	0.002	si
793	472	0	295	1656	605	0.000073	SLD 3	-0.021	0.004	-0.043	0.012	si
816	1871	0	295	1675	605	0.000081	SLD 4	-0.022	-0.001	-0.046	-0.006	si
813	1702	0	295	1672	605	0.000079	SLD 4	-0.022	0	-0.046	0	si
802	1088	0	295	1665	605	0.000078	SLD 4	-0.022	0.002	-0.046	0.007	si
806	1249	0	295	1669	605	0.000076	SLD 4	-0.022	0.001	-0.045	0.002	si
3	19	0	-10	789	295	0.000075	SLD 4	0	0	-0.022	0.007	si
801	803	0	295	1664	605	0.000051	SLD 5	-0.005	-0.009	-0.016	-0.021	si
806	1249	0	295	1669	605	0.000050	SLD 5	-0.005	-0.01	-0.012	-0.024	si
797	639	0	295	1660	605	0.000049	SLD 5	-0.005	-0.009	-0.016	-0.019	si
816	1871	0	295	1675	605	0.000046	SLD 5	-0.005	-0.011	-0.012	-0.023	si
802	1088	0	295	1665	605	0.000046	SLD 5	-0.005	-0.009	-0.012	-0.022	si

Nodo inferiore				Nodo superiore		Spost. rel.	Comb.	Spostamento inf.		Spostamento sup.		S.V.
I.	Pos.			I.	Pos.			X	Y	X	Y	
	X	Y	Z		Z		N.b.					
801	803	0	295	1664	605	0.000051	SLD 6	-0.006	-0.009	-0.016	-0.021	si
806	1249	0	295	1669	605	0.000050	SLD 6	-0.006	-0.01	-0.012	-0.024	si
797	639	0	295	1660	605	0.000049	SLD 6	-0.006	-0.008	-0.017	-0.019	si
816	1871	0	295	1675	605	0.000047	SLD 6	-0.006	-0.012	-0.013	-0.025	si
802	1088	0	295	1665	605	0.000046	SLD 6	-0.006	-0.009	-0.012	-0.022	si
802	1088	0	295	1665	605	0.000048	SLD 7	-0.007	0.008	-0.016	0.021	si
813	1702	0	295	1672	605	0.000043	SLD 7	-0.007	0.009	-0.016	0.018	si
806	1249	0	295	1669	605	0.000042	SLD 7	-0.007	0.008	-0.015	0.018	si
801	803	0	295	1664	605	0.000038	SLD 7	-0.007	0.008	-0.01	0.02	si
28	1871	0	-10	816	295	0.000037	SLD 7	0	0	-0.007	0.009	si
802	1088	0	295	1665	605	0.000049	SLD 8	-0.008	0.008	-0.016	0.021	si
813	1702	0	295	1672	605	0.000043	SLD 8	-0.008	0.008	-0.017	0.017	si
806	1249	0	295	1669	605	0.000042	SLD 8	-0.008	0.008	-0.016	0.018	si
3	19	0	-10	789	295	0.000039	SLD 8	0	0	-0.008	0.009	si
6	187.2	0	-10	792	295	0.000038	SLD 8	0	0	-0.008	0.009	si
802	1088	0	295	1665	605	0.000050	SLD 9	0.007	-0.009	0.015	-0.023	si
806	1249	0	295	1669	605	0.000050	SLD 9	0.007	-0.009	0.015	-0.023	si
801	803	0	295	1664	605	0.000041	SLD 9	0.007	-0.01	0.011	-0.022	si
797	639	0	295	1660	605	0.000041	SLD 9	0.007	-0.01	0.01	-0.022	si
3	19	0	-10	789	295	0.000041	SLD 9	0	0	0.007	-0.01	si
802	1088	0	295	1665	605	0.000050	SLD 10	0.007	-0.01	0.014	-0.023	si
806	1249	0	295	1669	605	0.000049	SLD 10	0.007	-0.01	0.014	-0.023	si
801	803	0	295	1664	605	0.000041	SLD 10	0.007	-0.009	0.01	-0.022	si
797	639	0	295	1660	605	0.000041	SLD 10	0.007	-0.009	0.009	-0.022	si
863	1249	440.5	295	1831	670.1	0.000039	SLD 10	0.006	-0.01	0.012	-0.023	si
801	803	0	295	1664	605	0.000049	SLD 11	0.005	0.007	0.016	0.019	si
792	187	0	295	1655	605	0.000042	SLD 11	0.005	0.006	0.017	0.012	si
797	639	0	295	1660	605	0.000042	SLD 11	0.005	0.007	0.016	0.015	si
793	472	0	295	1656	605	0.000041	SLD 11	0.005	0.007	0.016	0.014	si
802	1088	0	295	1665	605	0.000041	SLD 11	0.005	0.008	0.011	0.02	si
801	803	0	295	1664	605	0.000049	SLD 12	0.005	0.008	0.015	0.019	si
792	187	0	295	1655	605	0.000042	SLD 12	0.005	0.007	0.016	0.013	si
797	639	0	295	1660	605	0.000042	SLD 12	0.005	0.007	0.015	0.015	si
793	472	0	295	1656	605	0.000041	SLD 12	0.005	0.007	0.015	0.014	si
802	1088	0	295	1665	605	0.000041	SLD 12	0.005	0.008	0.01	0.02	si
789	19	0	295	1652	605	0.000076	SLD 13	0.021	-0.008	0.043	-0.017	si
802	1088	0	295	1665	605	0.000075	SLD 13	0.021	-0.003	0.044	-0.009	si
806	1249	0	295	1669	605	0.000075	SLD 13	0.021	-0.003	0.044	-0.006	si
3	19	0	-10	789	295	0.000074	SLD 13	0	0	0.021	-0.008	si
6	187.2	0	-10	792	295	0.000074	SLD 13	0	0	0.021	-0.007	si
789	19	0	295	1652	605	0.000075	SLD 14	0.021	-0.007	0.042	-0.016	si
802	1088	0	295	1665	605	0.000075	SLD 14	0.021	-0.004	0.043	-0.009	si
806	1249	0	295	1669	605	0.000075	SLD 14	0.021	-0.003	0.044	-0.007	si
816	1871	0	295	1675	605	0.000073	SLD 14	0.021	-0.001	0.043	0	si
3	19	0	-10	789	295	0.000073	SLD 14	0	0	0.021	-0.007	si
789	19	0	295	1652	605	0.000081	SLD 15	0.021	-0.003	0.045	-0.009	si
792	187	0	295	1655	605	0.000078	SLD 15	0.021	-0.002	0.045	-0.004	si
801	803	0	295	1664	605	0.000077	SLD 15	0.021	0.001	0.045	0.003	si
797	639	0	295	1660	605	0.000076	SLD 15	0.021	0	0.044	-0.002	si
793	472	0	295	1656	605	0.000076	SLD 15	0.021	-0.001	0.044	-0.004	si
789	19	0	295	1652	605	0.000080	SLD 16	0.02	-0.002	0.045	-0.008	si
792	187	0	295	1655	605	0.000078	SLD 16	0.02	-0.002	0.045	-0.003	si
801	803	0	295	1664	605	0.000077	SLD 16	0.02	0.001	0.044	0.003	si
797	639	0	295	1660	605	0.000076	SLD 16	0.02	0	0.044	-0.001	si
793	472	0	295	1656	605	0.000076	SLD 16	0.02	-0.001	0.044	-0.003	si

Gli spostamenti estremi sopra indicati sono quasi tutti collocati nel piano primo, in corrispondenza del fronte anteriore, in cui sono presenti le maggiori aperture e finestre, con valori massimi in direzione X (SLD 2), parallelamente alla facciata stessa e pari a:

- in queste murature, l'altezza della parete è compresa tra i livelli "Piano 1 +295" e "Gronda 1 +605", pertanto lo spostamento relativo diviene:

$$\delta' = 0.000084 \text{ h}$$

$$d_E = \delta' \times h = 0.000084 \times (605-295) = 0.026 \text{ cm}$$

Corpo scale

Limite = 0,002; spostamenti calcolati applicando il fattore di comportamento SLD $q = 1,5$ secondo D.M. 17-01-18 §7.3.6.1

Nodo inferiore				Nodo superiore		Spost. rel.	Comb.	Spostamento inferiore		Spostamento superiore		S.V.
I.	Pos.			I.	Pos.			X	Y	X	Y	
	X	Y	Z		Z		N.b.					
375	2388.5	547.5	295	694	605	0.000012	SLD 1	-0.003	0	-0.006	-0.002	si
362	1907.5	547.5	295	683	605	0.000010	SLD 1	-0.003	0	-0.006	0	si
34	2388.5	547.5	-10	375	295	0.000009	SLD 1	0	0	-0.003	0	si
27	1907.5	547.5	-10	362	295	0.000009	SLD 1	0	0	-0.003	0	si
49	2238	770	-10	391	295	0.000009	SLD 1	0	0	-0.003	0	si
375	2388.5	547.5	295	694	605	0.000013	SLD 2	-0.003	0	-0.006	-0.002	si
362	1907.5	547.5	295	683	605	0.000011	SLD 2	-0.003	0	-0.006	0	si
34	2388.5	547.5	-10	375	295	0.000010	SLD 2	0	0	-0.003	0	si
27	1907.5	547.5	-10	362	295	0.000010	SLD 2	0	0	-0.003	0	si
49	2238	770	-10	391	295	0.000009	SLD 2	0	0	-0.003	0	si
375	2388.5	547.5	295	694	605	0.000010	SLD 3	-0.003	0	-0.006	-0.001	si
362	1907.5	547.5	295	683	605	0.000010	SLD 3	-0.003	0	-0.006	0.001	si
34	2388.5	547.5	-10	375	295	0.000009	SLD 3	0	0	-0.003	0	si
27	1907.5	547.5	-10	362	295	0.000009	SLD 3	0	0	-0.003	0	si
49	2238	770	-10	391	295	0.000009	SLD 3	0	0	-0.003	0	si
375	2388.5	547.5	295	694	605	0.000012	SLD 4	-0.003	0	-0.006	-0.001	si
362	1907.5	547.5	295	683	605	0.000011	SLD 4	-0.003	0	-0.006	0.001	si
27	1907.5	547.5	-10	362	295	0.000010	SLD 4	0	0	-0.003	0	si
34	2388.5	547.5	-10	375	295	0.000010	SLD 4	0	0	-0.003	0	si
45	2058	770	-10	387	295	0.000010	SLD 4	0	0	-0.003	0	si
375	2388.5	547.5	295	694	605	0.000007	SLD 5	-0.001	-0.001	-0.002	-0.003	si
391	2238	770	295	708	605	0.000007	SLD 5	-0.001	-0.001	-0.001	-0.003	si
387	2058	770	295	704	605	0.000006	SLD 5	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	si
362	1907.5	547.5	295	683	605	0.000006	SLD 5	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	si
59	2388.5	881	-10	723	605	0.000005	SLD 5	0	0	-0.001	-0.003	si
375	2388.5	547.5	295	694	605	0.000008	SLD 6	-0.001	-0.001	-0.002	-0.003	si
391	2238	770	295	708	605	0.000007	SLD 6	-0.001	-0.001	-0.002	-0.003	si
387	2058	770	295	704	605	0.000006	SLD 6	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	si
362	1907.5	547.5	295	683	605	0.000006	SLD 6	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	si
59	2388.5	881	-10	723	605	0.000005	SLD 6	0	0	-0.002	-0.003	si
49	2238	770	-10	391	295	0.000004	SLD 7	0	0	-0.001	0.001	si
45	2058	770	-10	387	295	0.000003	SLD 7	0	0	-0.001	0.001	si
34	2388.5	547.5	-10	375	295	0.000003	SLD 7	0	0	-0.001	0.001	si
27	1907.5	547.5	-10	362	295	0.000003	SLD 7	0	0	-0.001	0.001	si
73	1907.5	1100.5	-10	739	605	0.000003	SLD 7	0	0	-0.001	0.001	si
362	1907.5	547.5	295	683	605	0.000004	SLD 8	-0.001	0.001	-0.002	0.002	si
45	2058	770	-10	387	295	0.000004	SLD 8	0	0	-0.001	0.001	si
27	1907.5	547.5	-10	362	295	0.000004	SLD 8	0	0	-0.001	0.001	si
49	2238	770	-10	391	295	0.000004	SLD 8	0	0	-0.001	0.001	si
34	2388.5	547.5	-10	375	295	0.000003	SLD 8	0	0	-0.001	0.001	si
362	1907.5	547.5	295	683	605	0.000008	SLD 9	0.001	-0.001	0.002	-0.003	si
387	2058	770	295	704	605	0.000006	SLD 9	0.001	-0.001	0.002	-0.003	si
375	2388.5	547.5	295	694	605	0.000005	SLD 9	0.001	-0.001	0.002	-0.002	si
391	2238	770	295	708	605	0.000005	SLD 9	0.001	-0.001	0.002	-0.002	si
58	1907.5	881	-10	722	605	0.000005	SLD 9	0	0	0.002	-0.003	si
362	1907.5	547.5	295	683	605	0.000007	SLD 10	0.001	-0.001	0.002	-0.003	si
387	2058	770	295	704	605	0.000006	SLD 10	0.001	-0.001	0.002	-0.002	si
391	2238	770	295	708	605	0.000005	SLD 10	0.001	-0.001	0.002	-0.002	si
375	2388.5	547.5	295	694	605	0.000005	SLD 10	0.001	-0.001	0.002	-0.002	si
73	1907.5	1100.5	-10	739	605	0.000005	SLD 10	0	0	0.002	-0.003	si
375	2388.5	547.5	295	694	605	0.000006	SLD 11	0.001	0.001	0.003	0.002	si
34	2388.5	547.5	-10	375	295	0.000005	SLD 11	0	0	0.001	0.001	si
27	1907.5	547.5	-10	362	295	0.000005	SLD 11	0	0	0.001	0.001	si
362	1907.5	547.5	295	683	605	0.000004	SLD 11	0.001	0.001	0.003	0.001	si
59	2388.5	881	-10	723	605	0.000004	SLD 11	0	0	0.002	0.002	si
375	2388.5	547.5	295	694	605	0.000005	SLD 12	0.001	0.001	0.002	0.002	si
27	1907.5	547.5	-10	362	295	0.000005	SLD 12	0	0	0.001	0.001	si
34	2388.5	547.5	-10	375	295	0.000004	SLD 12	0	0	0.001	0.001	si
45	2058	770	-10	387	295	0.000004	SLD 12	0	0	0.001	0.001	si

Nodo inferiore				Nodo superiore		Spost. rel.	Comb.	Spostamento inferiore		Spostamento superiore		S.V.
I.	Pos.			I.	Pos.		N.b.	X	Y	X	Y	
	X	Y	Z		Z							
49	2238	770	-10	391	295	0.000004	SLD 12	0	0	0.001	0.001	si
362	1907.5	547.5	295	683	605	0.000013	SLD 13	0.003	0	0.007	-0.002	si
375	2388.5	547.5	295	694	605	0.000011	SLD 13	0.003	0	0.007	0	si
49	2238	770	-10	391	295	0.000011	SLD 13	0	0	0.003	0	si
45	2058	770	-10	387	295	0.000011	SLD 13	0	0	0.003	0	si
34	2388.5	547.5	-10	375	295	0.000011	SLD 13	0	0	0.003	0	si
362	1907.5	547.5	295	683	605	0.000012	SLD 14	0.003	0	0.006	-0.002	si
49	2238	770	-10	391	295	0.000011	SLD 14	0	0	0.003	0	si
45	2058	770	-10	387	295	0.000011	SLD 14	0	0	0.003	0	si
34	2388.5	547.5	-10	375	295	0.000011	SLD 14	0	0	0.003	0	si
27	1907.5	547.5	-10	362	295	0.000011	SLD 14	0	0	0.003	0	si
362	1907.5	547.5	295	683	605	0.000012	SLD 15	0.003	0	0.007	-0.001	si
375	2388.5	547.5	295	694	605	0.000012	SLD 15	0.003	0	0.007	0.001	si
34	2388.5	547.5	-10	375	295	0.000011	SLD 15	0	0	0.003	0	si
27	1907.5	547.5	-10	362	295	0.000011	SLD 15	0	0	0.003	0	si
45	2058	770	-10	387	295	0.000011	SLD 15	0	0	0.003	0	si
362	1907.5	547.5	295	683	605	0.000011	SLD 16	0.003	0	0.007	-0.001	si
375	2388.5	547.5	295	694	605	0.000011	SLD 16	0.003	0	0.007	0.001	si
27	1907.5	547.5	-10	362	295	0.000011	SLD 16	0	0	0.003	0	si
34	2388.5	547.5	-10	375	295	0.000011	SLD 16	0	0	0.003	0	si
45	2058	770	-10	387	295	0.000011	SLD 16	0	0	0.003	0	si

Gli spostamenti estremi sopra indicati sono distribuiti in tutti i livelli dell'edificio, con valori equiparabili del parametro δ'/h . Il valore maggiore è stato rilevato a livello del piano primo:

- l'altezza h è compresa tra i livelli "Piano 1 +265" e "Gronda 1 +605", pertanto lo spostamento relativo diviene:

$$\delta' = 0.000013 h$$

$$d_E = \delta' \times h = 0.000013 \times (605 - (265)) = 0.00442 \text{ cm}$$

7.1.3. Verifica effetti del secondo ordine

Quota inf.: quota inferiore espressa come livello, falda o piano orizzontale alla Z specificata. [cm]

Quota sup.: quota superiore esprimibile come livello, falda, piano orizzontale alla Z specificata. [cm]

Comb.: combinazione.

N.b.: nome breve o compatto della combinazione di carico.

Carico verticale: carico verticale. [daN]

Spostamento: spostamento medio di interpiano. [cm]

Forza orizzontale totale: forza orizzontale totale. [daN]

Altezza del piano: altezza del piano. [cm]

Theta: coefficiente Theta formula (7.3.3) § 7.3.1 NTC 2018. Il valore è adimensionale.

Corpo abitativo

Quota inf.	Quota sup.	Comb.	Carico verticale	Spostamento	Forza orizzontale totale	Altezza del piano	Theta
N.b.							
L1	L3	SLV 1	383177	0.185	47189	305	0.005
L1	L3	SLV 2	383177	0.186	47189	305	0.005
L1	L3	SLV 3	383168	0.194	47805	305	0.005
L1	L3	SLV 4	383168	0.194	47805	305	0.005
L1	L3	SLV 5	383307	0.105	46867	305	0.003
L1	L3	SLV 6	383307	0.105	46867	305	0.003
L1	L3	SLV 7	383278	0.118	47487	305	0.003
L1	L3	SLV 8	383278	0.118	47487	305	0.003
L1	L3	SLV 9	383410	0.119	47487	305	0.003
L1	L3	SLV 10	383410	0.118	47487	305	0.003
L1	L3	SLV 11	383380	0.103	46867	305	0.003
L1	L3	SLV 12	383380	0.103	46867	305	0.003
L1	L3	SLV 13	383519	0.193	47805	305	0.005
L1	L3	SLV 14	383519	0.193	47805	305	0.005

Quota inf.	Quota sup.	Comb.	Carico verticale	Spostamento	Forza orizzontale totale	Altezza del piano	Theta
		N.b.					
L1	L3	SLV 15	383510	0.185	47189	305	0.005
L1	L3	SLV 16	383510	0.185	47189	305	0.005
L3	L5	SLV 1	134668	0.224	27935	310	0.003
L3	L5	SLV 2	134668	0.225	27935	310	0.004
L3	L5	SLV 3	134704	0.215	27933	310	0.003
L3	L5	SLV 4	134704	0.217	27933	310	0.003
L3	L5	SLV 5	134558	0.136	29142	310	0.002
L3	L5	SLV 6	134558	0.137	29142	310	0.002
L3	L5	SLV 7	134680	0.12	29141	310	0.002
L3	L5	SLV 8	134680	0.121	29141	310	0.002
L3	L5	SLV 9	134501	0.122	29141	310	0.002
L3	L5	SLV 10	134501	0.121	29141	310	0.002
L3	L5	SLV 11	134622	0.135	29142	310	0.002
L3	L5	SLV 12	134622	0.134	29142	310	0.002
L3	L5	SLV 13	134476	0.216	27933	310	0.003
L3	L5	SLV 14	134476	0.215	27933	310	0.003
L3	L5	SLV 15	134513	0.224	27935	310	0.003
L3	L5	SLV 16	134513	0.223	27935	310	0.003

La verifica prescritta nel par. 7.3.1 delle NTC 2018, con la formula [7.3.3], è verificata in tutti i livelli, con massimo valore $\theta = 0.005 < 0.10$.

Corpo scale

Quota inf.	Quota sup.	Comb.	Carico verticale	Spostamento	Forza orizz. totale	Altezza del piano	Theta
		N.b.					
L1	L2	SLV 1	10485	0	178	65	0
L1	L2	SLV 2	10485	0	179	65	0
L1	L2	SLV 3	10483	0	174	65	0
L1	L2	SLV 4	10483	0	175	65	0
L1	L2	SLV 5	10498	0	190	65	0
L1	L2	SLV 6	10499	0	191	65	0
L1	L2	SLV 7	10491	0	180	65	0
L1	L2	SLV 8	10491	0	182	65	0
L1	L2	SLV 9	10508	0	203	65	0
L1	L2	SLV 10	10508	0	205	65	0
L1	L2	SLV 11	10501	0	195	65	0
L1	L2	SLV 12	10501	0	197	65	0
L1	L2	SLV 13	10516	0	222	65	0
L1	L2	SLV 14	10517	0	225	65	0
L1	L2	SLV 15	10514	0	220	65	0
L1	L2	SLV 16	10515	0	223	65	0
L2	L4	SLV 1	64006	0.039	10145	305	0.001
L2	L4	SLV 2	64006	0.041	10145	305	0.001
L2	L4	SLV 3	63661	0.039	9795	305	0.001
L2	L4	SLV 4	63661	0.041	9795	305	0.001
L2	L4	SLV 5	64339	0.015	9729	305	0
L2	L4	SLV 6	64339	0.016	9729	305	0
L2	L4	SLV 7	63191	0.015	9364	305	0
L2	L4	SLV 8	63191	0.016	9364	305	0
L2	L4	SLV 9	64281	0.017	9364	305	0
L2	L4	SLV 10	64281	0.015	9364	305	0
L2	L4	SLV 11	63132	0.016	9729	305	0
L2	L4	SLV 12	63132	0.015	9729	305	0
L2	L4	SLV 13	63811	0.041	9795	305	0.001
L2	L4	SLV 14	63811	0.039	9795	305	0.001
L2	L4	SLV 15	63466	0.041	10145	305	0.001
L2	L4	SLV 16	63466	0.039	10145	305	0.001
L4	L6	SLV 1	15238	0.037	5754	310	0
L4	L6	SLV 2	15238	0.039	5754	310	0
L4	L6	SLV 3	15227	0.034	5780	310	0
L4	L6	SLV 4	15227	0.037	5780	310	0
L4	L6	SLV 5	15301	0.021	6093	310	0
L4	L6	SLV 6	15301	0.023	6093	310	0
L4	L6	SLV 7	15265	0.017	6118	310	0

Quota inf.	Quota sup.	Comb.	Carico verticale	Spostamento	Forza orizz. totale	Altezza del piano	Theta
		N.b.					
L4	L6	SLV 8	15265	0.018	6118	310	0
L4	L6	SLV 9	15345	0.019	6118	310	0
L4	L6	SLV 10	15345	0.018	6118	310	0
L4	L6	SLV 11	15308	0.022	6093	310	0
L4	L6	SLV 12	15308	0.021	6093	310	0
L4	L6	SLV 13	15382	0.037	5780	310	0
L4	L6	SLV 14	15382	0.035	5780	310	0
L4	L6	SLV 15	15372	0.039	5754	310	0
L4	L6	SLV 16	15372	0.037	5754	310	0
L2	L6	SLV 1	15238	0.06	5754	615	0
L2	L6	SLV 2	15238	0.061	5754	615	0
L2	L6	SLV 3	15227	0.06	5780	615	0
L2	L6	SLV 4	15227	0.06	5780	615	0
L2	L6	SLV 5	15301	0.033	6093	615	0
L2	L6	SLV 6	15301	0.033	6093	615	0
L2	L6	SLV 7	15265	0.031	6118	615	0
L2	L6	SLV 8	15265	0.031	6118	615	0
L2	L6	SLV 9	15345	0.032	6118	615	0
L2	L6	SLV 10	15345	0.032	6118	615	0
L2	L6	SLV 11	15308	0.032	6093	615	0
L2	L6	SLV 12	15308	0.032	6093	615	0
L2	L6	SLV 13	15382	0.06	5780	615	0
L2	L6	SLV 14	15382	0.06	5780	615	0
L2	L6	SLV 15	15372	0.061	5754	615	0
L2	L6	SLV 16	15372	0.061	5754	615	0

La verifica prescritta nel par. 7.3.1 delle NTC 2018, con la formula [7.3.3], è verificata in tutti i livelli, con massimo valore $\theta = 0.001 < 0.10$.

7.1.4. Equilibrio tra forze applicate e reazioni

Contributo: Nome attribuito al sistema risultante.

Fx: Componente X di forza del sistema risultante. [daN]

Fy: Componente Y di forza del sistema risultante. [daN]

Fz: Componente Z di forza del sistema risultante. [daN]

Mx: Componente di momento attorno l'asse X del sistema risultante. [daN*cm]

My: Componente di momento attorno l'asse Y del sistema risultante. [daN*cm]

Mz: Componente di momento attorno l'asse Z del sistema risultante. [daN*cm]

Corpo abitativo

Bilancio in condizione di carico: Pesì strutturali

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	-0.013	0.001	-368360.309	-163275086	346250826	6
Reazioni	0.013	-0.001	368360.309	163275086	-346250826	-6
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Permanenti portati

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	-96757.012	-39880853	92485986	0
Reazioni	0	0	96757.012	39880853	-92485986	0
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Variabile A

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	-45050.41	-14327551	42603650	0
Reazioni	0	0	45050.41	14327551	-42603650	0
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Neve

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	-20263.834	-7265154	19149323	0

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Reazioni	0	0	20263.834	7265154	-19149323	0
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Sisma X SLV

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	43707.86	0	0	0	23062543	-19495032
Reazioni	-43707.86	0	0	0	-23062543	19495032
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Sisma Y SLV

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	44683.862	0	-23577532	0	42123255
Reazioni	0	-44683.862	0	23577532	0	-42123255
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Eccentricità Y per sisma X SLV

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	0	0	0	-729884
Reazioni	0	0	0	0	0	729884
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Eccentricità X per sisma Y SLV

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	0	0	0	1568591
Reazioni	0	0	0	0	0	-1568591
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Sisma X SLD

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	32295.396	0	0	0	17040733	-14404726
Reazioni	-32295.396	0	0	0	-17040733	14404726
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Sisma Y SLD

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	29526.076	0	-15579495	0	27834086
Reazioni	0	-29526.076	0	15579495	0	-27834086
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Eccentricità Y per sisma X SLD

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	0	0	0	-539305
Reazioni	0	0	0	0	0	539305
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Eccentricità X per sisma Y SLD

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	0	0	0	1036489
Reazioni	0	0	0	0	0	-1036489
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Rig Ux

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	1	0	0	0	295	-425
Reazioni	-1	0	0	0	-295	425
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Rig Uy

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	1	0	-295	0	950
Reazioni	0	-1	0	295	0	-950
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Rig Rz

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	0	0	0	1
Reazioni	0	0	0	0	0	-1
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Corpo scale**Bilancio in condizione di carico: Pesì strutturali**

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	-107465.084	-90901507	230567065	0
Reazioni	0	0	107465.084	90901507	-230567065	0
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Permanenti portati

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	-8163.941	-6554287	17535973	0
Reazioni	0	0	8163.941	6554287	-17535973	0
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Variabile A

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	-6961.084	-5974240	14939265	0
Reazioni	0	0	6961.084	5974240	-14939265	0
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Neve

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	-2659.93	-2191782	5713530	0
Reazioni	0	0	2659.93	2191782	-5713530	0
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Sisma X SLV

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	9918.885	0	0	0	4672707	-8326730
Reazioni	-9918.885	0	0	0	-4672707	8326730
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Sisma Y SLV

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	10053.33	0	-4736043	0	21613441
Reazioni	0	-10053.33	0	4736043	0	-21613441
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Eccentricità Y per sisma X SLV

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	0	0	0	-171607
Reazioni	0	0	0	0	0	171607
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Eccentricità X per sisma Y SLV

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	0	0	0	175444
Reazioni	0	0	0	0	0	-175444
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Sisma X SLD

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	5628.499	0	0	0	2651540	-4725026
Reazioni	-5628.499	0	0	0	-2651540	4725026
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Sisma Y SLD

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
------------	----	----	----	----	----	----

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	5247.022	0	-2471830	0	11280461
Reazioni	0	-5247.022	0	2471830	0	-11280461
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Eccentricità Y per sisma X SLD

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	0	0	0	-97379
Reazioni	0	0	0	0	0	97379
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Eccentricità X per sisma Y SLD

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	0	0	0	91567
Reazioni	0	0	0	0	0	-91567
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Rig Ux

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	1	0	0	0	605	-840
Reazioni	-1	0	0	0	-605	840
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Rig Uy

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	1	0	-605	0	2149
Reazioni	0	-1	0	605	0	-2149
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Rig Rz

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	0	0	0	1
Reazioni	0	0	0	0	0	-1
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

7.1.5. Spostamenti nodali estremi

Nodo: nodo interessato dallo spostamento.

Ind.: indice del nodo.

Cont.: condizione o combinazione di carico a cui si riferisce lo spostamento.

N.br.: nome breve della condizione o combinazione di carico.

Spostamento: spostamento traslazionale del nodo.

ux: componente X dello spostamento del nodo. [cm]

uy: componente Y dello spostamento del nodo. [cm]

uz: componente Z dello spostamento del nodo. [cm]

Rotazione: spostamento rotazionale del nodo.

rx: componente X della rotazione del nodo. [deg]

ry: componente Y della rotazione del nodo. [deg]

rz: componente Z della rotazione del nodo. [deg]

Corpo abitativo**Spostamenti nodali con componente Ux minima**

Vengono mostrati i soli 5 nodi più sollecitati.

Nodo	Cont.	Spostamento			Rotazione		
Ind.	N.br.	ux	uy	uz	rx	ry	rz
1518	SLU 18	-0.09771	-0.00392	-0.03581	-0.0012	0.004	-0.0045
1625	SLU 18	-0.09754	-0.00298	-0.03485	0.0016	-0.0022	-0.0116
1689	SLU 18	-0.09684	-0.00347	-0.03805	0.0013	0.0056	0.017
1418	SLU 18	-0.09431	-0.00422	-0.03363	-0.0005	-0.0124	0.0035
1534	SLU 18	-0.09247	-0.00291	-0.03596	0.0015	-0.0146	0.0112

Spostamenti nodali con componente Ux massima

Vengono mostrati i soli 5 nodi più sollecitati.

Nodo	Cont.	Spostamento			Rotazione		
Ind.	N.br.	ux	uy	uz	rx	ry	rz
1572	SLU 17	0.09288	-0.00167	-0.03227	0.001	0.0113	-0.0086

Nodo	Cont.	Spostamento			Rotazione		
Ind.	N.br.	ux	uy	uz	rx	ry	rz
1750	SLU 17	0.09152	-0.00183	-0.03376	0.0013	-0.0243	0.0028
1588	SLU 17	0.09109	-0.00146	-0.03074	0.0013	0.0068	0.0139
1574	SLU 17	0.0863	-0.00275	-0.03203	-0.0008	-0.0038	0.0018
1471	SLU 17	0.08042	-0.00288	-0.02991	-0.0004	0.0116	-0.0081

Spostamenti nodali con componente Uy minima

Vengono mostrati i soli 5 nodi più sollecitati.

Nodo	Cont.	Spostamento			Rotazione		
Ind.	N.br.	ux	uy	uz	rx	ry	rz
496	SLV 6	-0.00124	-0.02901	-0.00356	0.0046	-0.001	-0.0116
1709	SLV 6	-0.00622	-0.02775	-0.01509	-0.0001	-0.0003	0.0002
1613	SLV 6	-0.00595	-0.02772	-0.0147	0.0003	-0.0002	0
1795	SLV 6	-0.00648	-0.02756	-0.01542	-0.0003	-0.0003	0.0002
1766	SLV 6	-0.00641	-0.02747	-0.01538	-0.0001	-0.0004	-0.0005

Spostamenti nodali con componente Uy massima

Vengono mostrati i soli 5 nodi più sollecitati.

Nodo	Cont.	Spostamento			Rotazione		
Ind.	N.br.	ux	uy	uz	rx	ry	rz
496	SLV 11	0.00161	0.03045	-0.00741	-0.0048	0.0006	0.0118
368	SLV 7	0.00018	0.02866	-0.00148	-0.0208	0.0002	0.0047
367	SLV 11	0.00092	0.02775	-0.00416	-0.0139	-0.0005	0.01
619	SLV 11	0.00234	0.02384	-0.01015	-0.0107	0.0007	0.0074
1606	SLV 8	-0.00951	0.02382	-0.02066	0.0009	0	0.0007

Spostamenti nodali con componente Uz minima

Vengono mostrati i soli 5 nodi più sollecitati.

Nodo	Cont.	Spostamento			Rotazione		
Ind.	N.br.	ux	uy	uz	rx	ry	rz
812	SLU 20	-0.0004	-0.00121	-0.10177	-0.0013	-0.0051	0
1671	SLU 18	-0.00065	-0.00198	-0.04716	0.0024	0.0303	0.0043
1672	SLU 18	-0.00234	-0.00153	-0.04478	0.0019	-0.0297	-0.0041
1656	SLU 18	-0.00088	-0.00205	-0.04363	0.0027	-0.02	-0.003
1665	SLU 18	-0.00145	-0.00253	-0.04358	-0.0022	-0.0192	-0.0028

Spostamenti nodali con componente Uz massima

Vengono mostrati i soli 5 nodi più sollecitati.

Nodo	Cont.	Spostamento			Rotazione		
Ind.	N.br.	ux	uy	uz	rx	ry	rz
1398	SLV X	0.03315	0.00424	0.01073	-0.0005	0.0038	0.0007
1529	SLV X	0.03664	0.00469	0.01065	-0.0005	0.0036	0.0008
1271	SLV X	0.02963	0.00377	0.01063	-0.0006	0.0039	0.0006
1143	SLV X	0.02611	0.00327	0.0104	-0.0006	0.0037	0.0004
1672	SLV X	0.03986	0.00512	0.01038	-0.0005	0.0019	0.0009

Gli spostamenti massimi, sia in X che in Y, sono associati a nodi posizionati a quote altimetriche intermedie dei maschi murari ed in corrispondenza di aperture. Pertanto risentono della deformabilità fuori piano della parete che, nella modellazione risulta accentuata per l'introduzione di un coeff. inerziale 0.001 applicato alla rigidezza J2 ed introdotto allo scopo di trascurare la rigidezza fuori piano delle murature e cogliere così le reali sollecitazioni agenti nel piano delle stesse.

Corpo scale**Spostamenti nodali con componente Ux minima**

Vengono mostrati i soli 5 nodi più sollecitati.

Nodo	Cont.	Spostamento			Rotazione		
Ind.	N.br.	ux	uy	uz	rx	ry	rz
676	SLV FO 2	-0.00885	-0.00116	-0.00207	0.0001	0.0013	-0.0004
677	SLV FO 2	-0.00883	-0.00149	-0.00319	0.0001	0.0012	-0.0004
690	SLV FO 2	-0.00846	-0.00181	-0.00383	0.0001	0.0001	-0.0004
683	SLV FO 2	-0.00846	0.00008	-0.00314	0.0001	-0.0007	-0.0004
684	SLV FO 2	-0.00846	-0.00023	-0.00252	0.0002	-0.0007	-0.0004

Spostamenti nodali con componente Ux massima

Vengono mostrati i soli 5 nodi più sollecitati.

Nodo	Cont.	Spostamento			Rotazione		
------	-------	-------------	--	--	-----------	--	--

Ind.	N.br.	ux	uy	uz	rx	ry	rz
295	SLU 20	0.00984	-0.00576	-0.18375	0.0601	-0.0126	0.0034
677	SLV FO 15	0.00942	0.00047	-0.00183	0	-0.0013	0.0004
676	SLV FO 15	0.00939	0.00013	-0.00299	0	-0.0012	0.0004
684	SLV FO 15	0.00901	-0.00088	-0.00217	-0.0002	0.0007	0.0004
686	SLV FO 15	0.00901	-0.00026	-0.00355	-0.0001	0.0005	0.0004

Spostamenti nodali con componente Uy minima

Vengono mostrati i soli 5 nodi più sollecitati.

Nodo	Cont.	Spostamento			Rotazione		
Ind.	N.br.	ux	uy	uz	rx	ry	rz
296	SLU 20	0.00497	-0.00969	-0.21854	0.0166	-0.1049	0.0034
425	SLU 20	0.00035	-0.00762	-0.00214	-0.0002	0.0002	-0.0002
343	SLU 20	0.00029	-0.00751	-0.0022	0.0009	0.0004	0.0001
426	SLU 20	0.00034	-0.00728	-0.00231	-0.0012	0.0001	0.0014
455	SLU 20	0.00042	-0.00727	-0.00224	-0.0007	0.0001	0.0005

Spostamenti nodali con componente Uy massima

Vengono mostrati i soli 5 nodi più sollecitati.

Nodo	Cont.	Spostamento			Rotazione		
Ind.	N.br.	ux	uy	uz	rx	ry	rz
181	SLU 19	0.00288	0.01305	-0.21462	0.0168	0.1165	0.0036
177	SLU 19	0.00685	0.00876	-0.05631	0.0289	0.0085	0.0036
180	SLU 19	0.00307	0.00757	-0.03796	0.0259	0.0768	0.0036
179	SLU 19	0.00307	0.00757	-0.03796	0.0259	0.0768	0.0036
182	SLU 19	-0.00038	0.0067	-0.00101	0.0036	0	0.0029

Spostamenti nodali con componente Uz minima

Vengono mostrati i soli 5 nodi più sollecitati.

Nodo	Cont.	Spostamento			Rotazione		
Ind.	N.br.	ux	uy	uz	rx	ry	rz
296	SLU 20	0.00497	-0.00969	-0.21854	0.0166	-0.1049	0.0034
181	SLU 20	0.00288	0.01305	-0.21463	0.0168	0.1165	0.0036
295	SLU 20	0.00984	-0.00576	-0.18375	0.0601	-0.0126	0.0034
398	SLU 20	0.00044	0.00049	-0.1732	-0.0983	-0.0076	0
297	SLU 20	0.0048	-0.00518	-0.07331	0.0797	-0.0955	0.0034

Spostamenti nodali con componente Uz massima

Vengono mostrati i soli 5 nodi più sollecitati.

Nodo	Cont.	Spostamento			Rotazione		
Ind.	N.br.	ux	uy	uz	rx	ry	rz
547	SLV X	0.00553	0.0003	0.00145	-0.0001	0.0008	0.0002
501	SLV X	0.00487	0.00019	0.00143	-0.0001	0.0007	0.0001
588	SLV X	0.00618	0.00039	0.00142	-0.0001	0.0008	0.0002
453	SLV X	0.00422	0.0001	0.00135	-0.0001	0.0007	0.0001
633	SLV X	0.00685	0.00041	0.00135	0	0.0008	0.0003

7.1.6. Verifiche ed indici di resistenza dei maschi murariAccelerazioni e tempi di ritorno di riferimentoSLV accelerazione di aggancio $PGA_{SLV,rif} = 0.1299$ (ag/g_{SLV} x S_s x S_t)Tempo di ritorno $Tr_{SLV,rif} = 475$ anniSLD accelerazione di aggancio $PGA_{SLD,rif} = 0.0589$ (ag/g_{SLD} x S_s x S_t)Tempo di ritorno $Tr_{SLD,rif} = 50$ anniEsposizione delle verifiche

Le verifiche vengono espresse in forma grafica, in quanto di immediata ed intuitiva lettura.

Le verifiche statiche in SLU, sono espresse in termini di Indice di Resistenza (IR), come rapporto tra la resistenza dell'elemento strutturale e la sollecitazione a cui è soggetto:

$$IR_{SLU} = R_d / E_d \quad \text{formula 2.2.1 delle NTC 2018.}$$

Le verifiche sismiche in SLV, sono espresse in termini di Fattore di sicurezza sismica ($f_{a,SLV} = \zeta_E$), come rapporto tra l'accelerazione sismica a cui l'elemento strutturale è in grado di resistere e l'accelerazione di progetto di riferimento in condizione SLV:

$$f_{a,SLV} = \zeta_E = a_{SLV} / a_{g,SLV}.$$

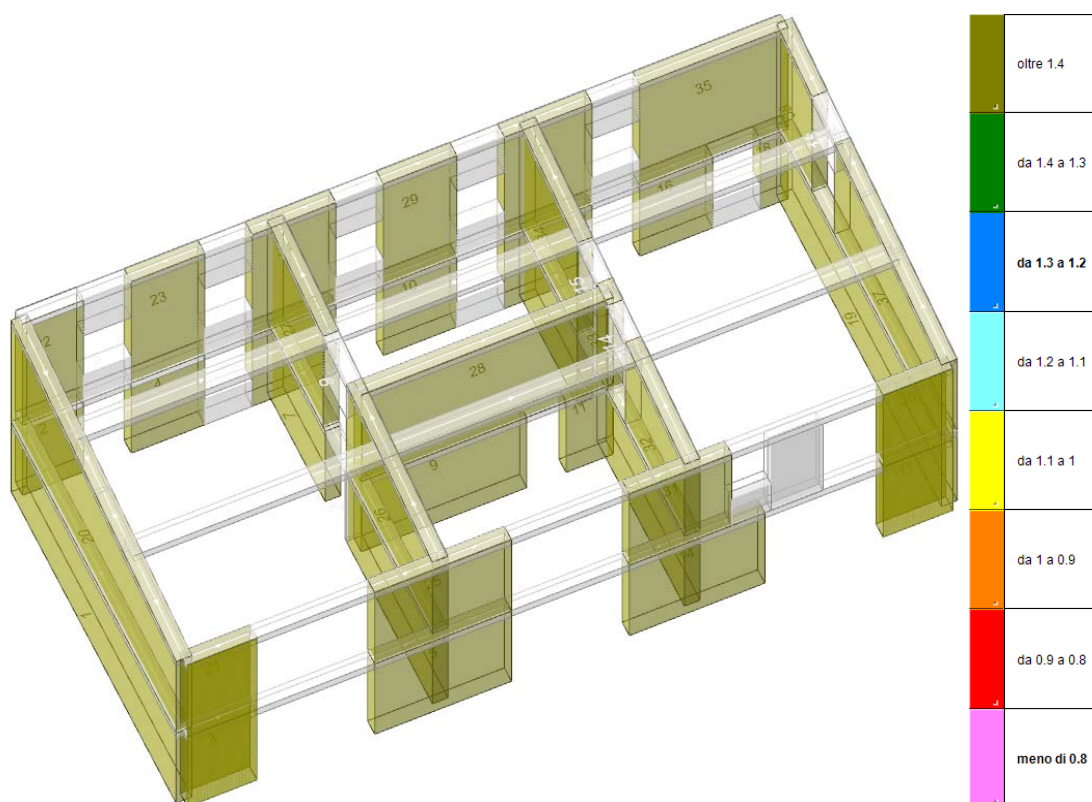
Dettaglio delle verifiche

Le verifiche a presso flessione dei maschi murari per azioni non sismiche sono state svolte secondo la formula [4.5.4] del par. 4.5.6.2 delle NTC 2018.

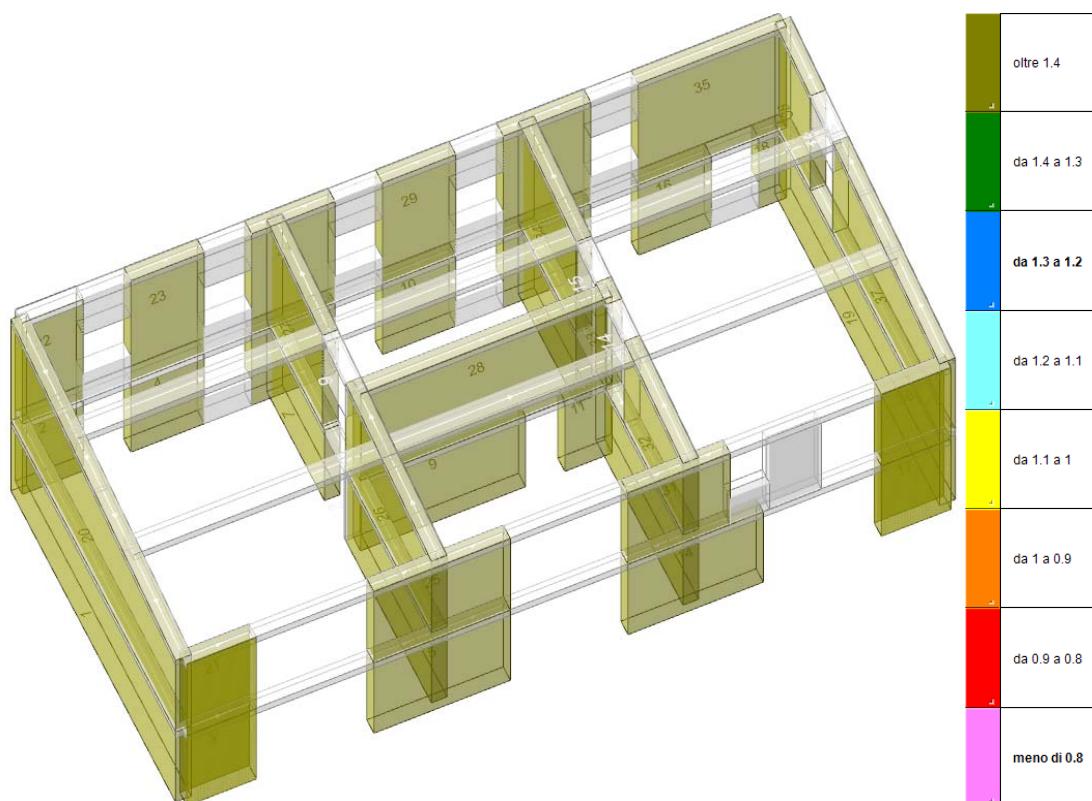
Le verifiche a taglio in maschi murari sono svolte valutando la resistenza a scorrimento secondo la formula [11.10.4] del par. 11.10.3.3 delle NTC 2018.

Le travi di connessione in muratura sono verificate a taglio secondo le indicazioni del par. 7.8.2.2.4 delle NTC 2018 e secondo il par. C8.7.1.3.1 della circolare 7/2019.

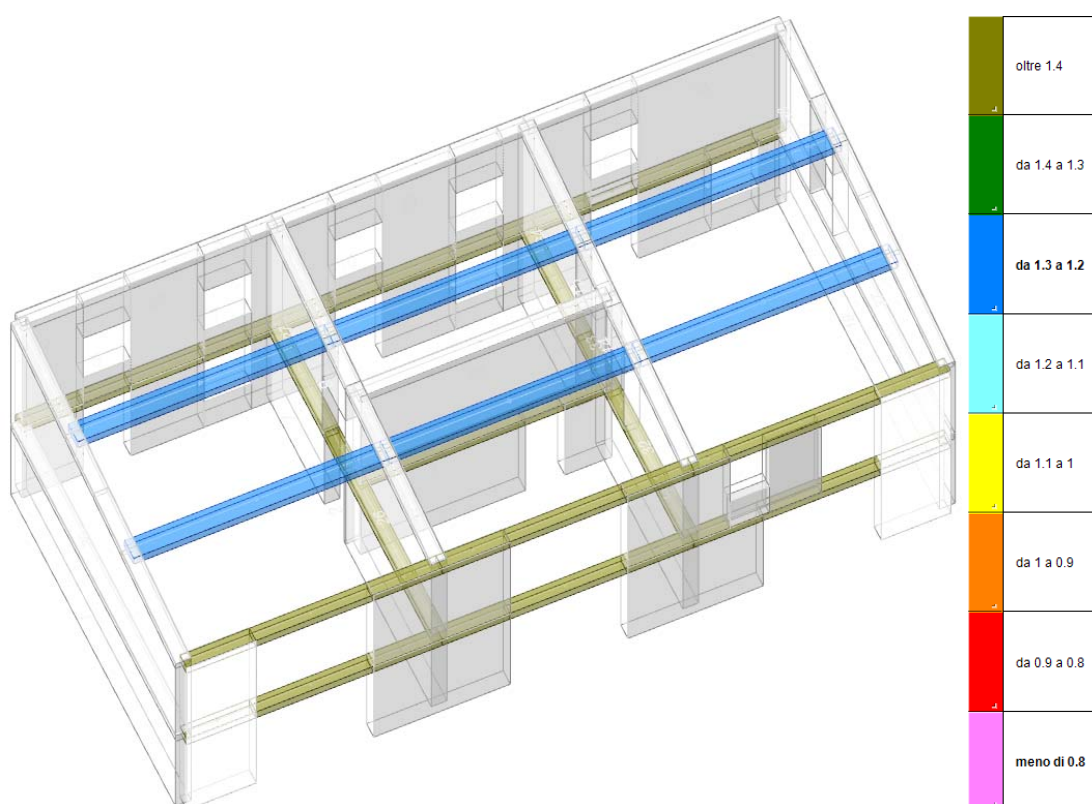
Per il dettaglio delle verifiche si rimanda agli allegati tabulati di calcolo.



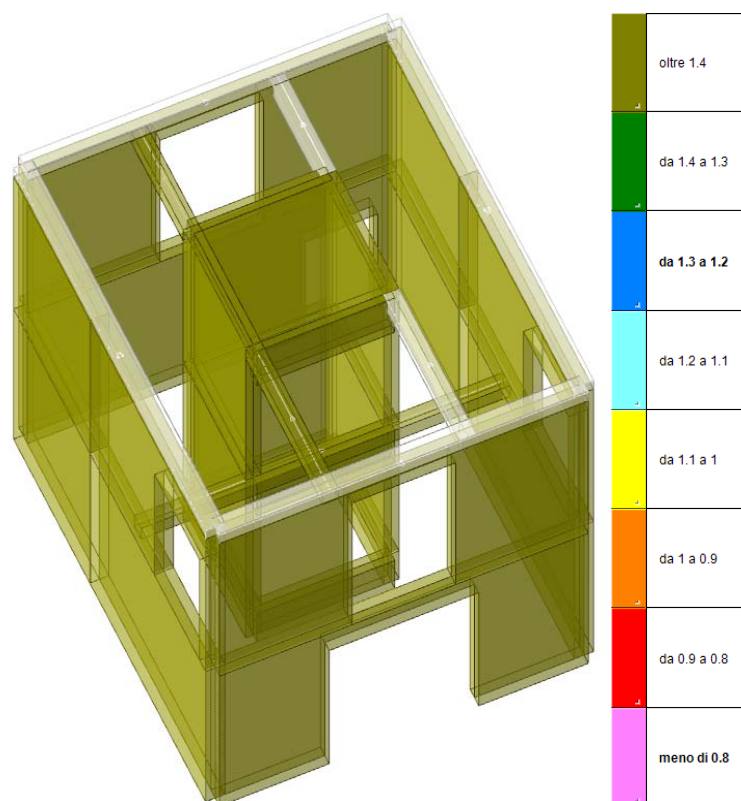
MURATURE IN LATERIZIO: indici di resistenza IR per verifiche statiche a "Presso-flessione" in SLU.



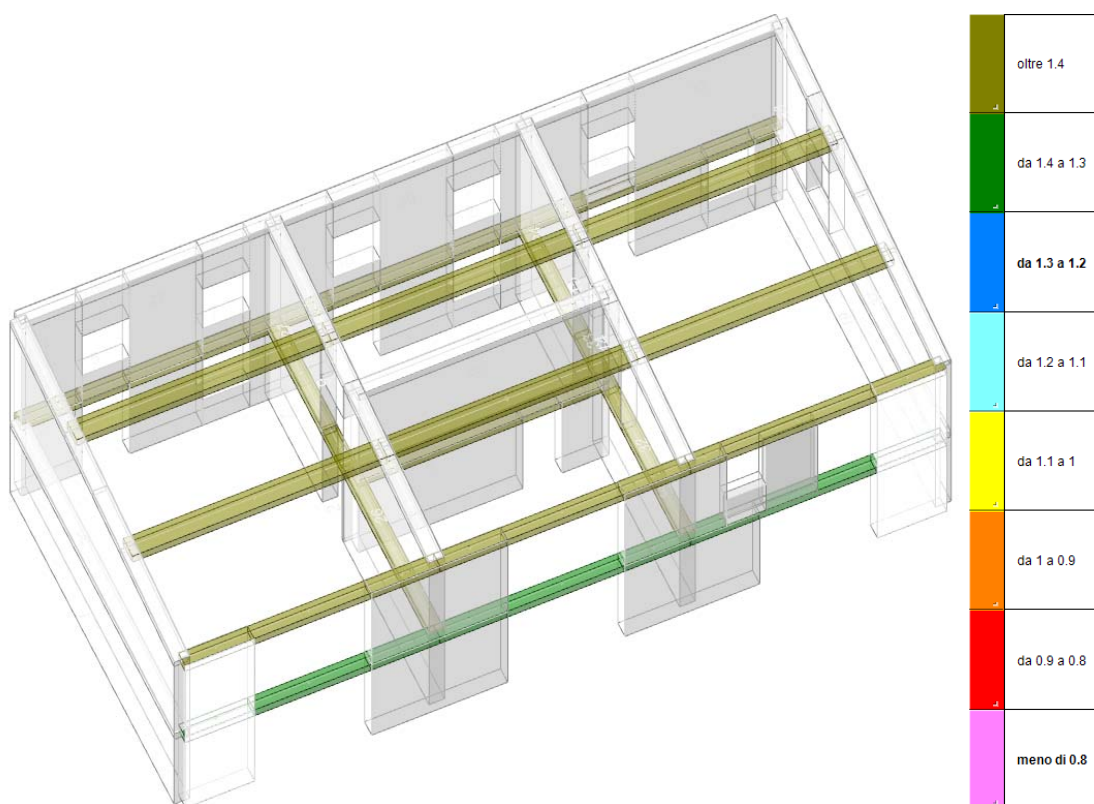
MURATURE IN LATERIZIO: indici di resistenza IR per verifiche statiche a "Taglio" in SLU.



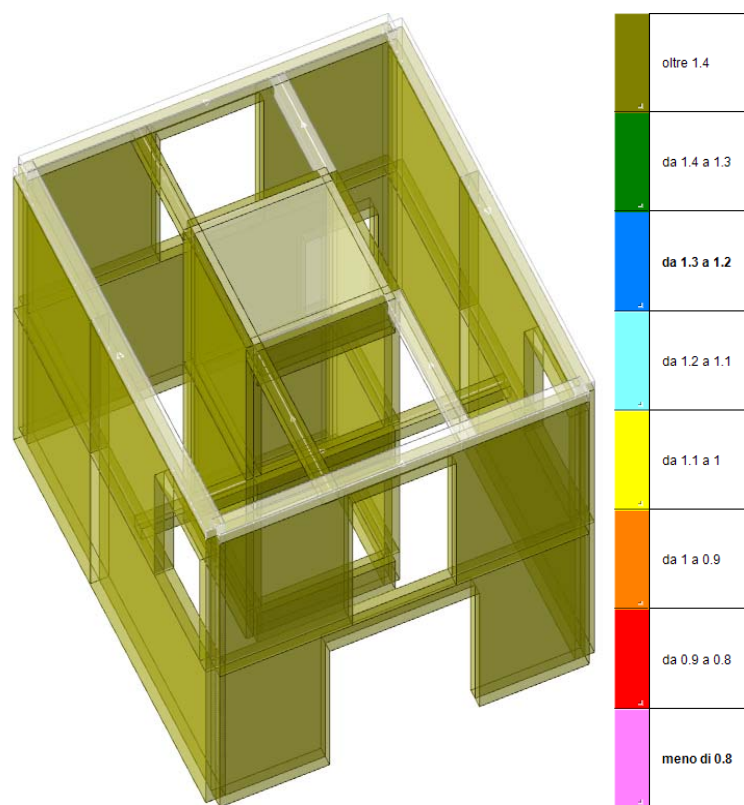
ELEMENTI IN C.A.: indici di resistenza IR per verifiche statiche a "Presso-flessione" in SLU.



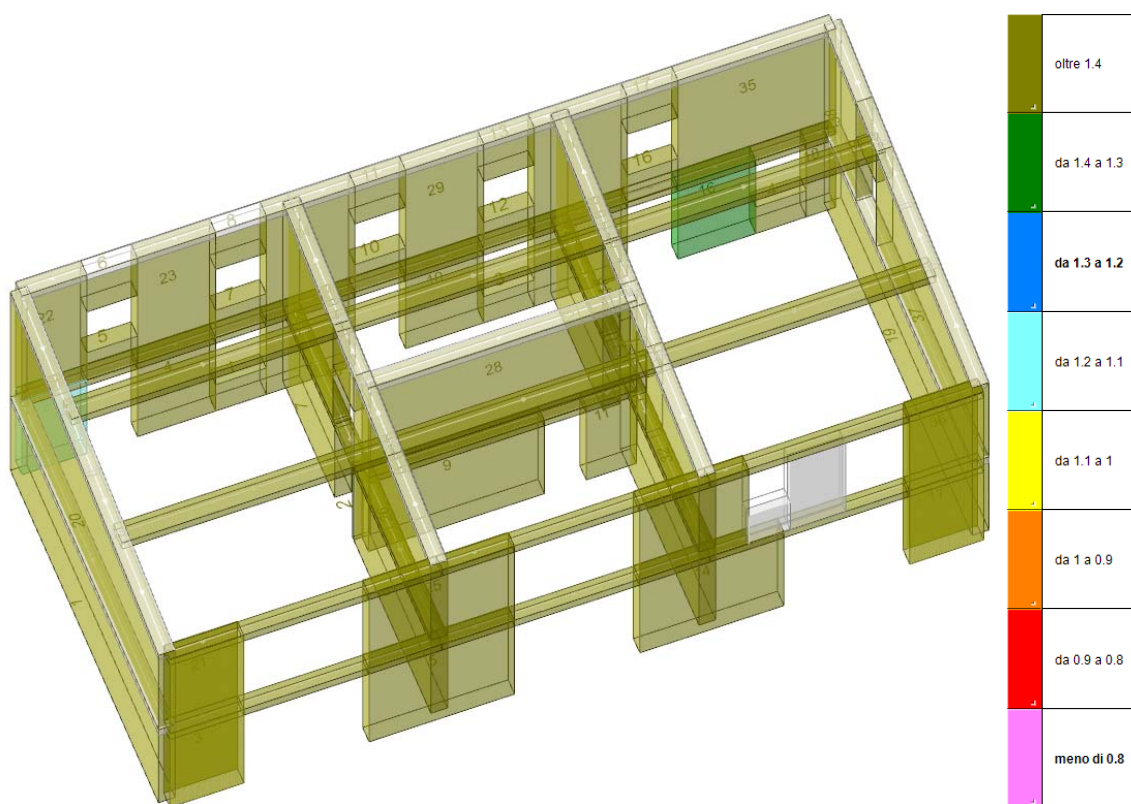
ELEMENTI IN C.A.: indici di resistenza IR per verifiche statiche a "Presso-flessione" in SLU.



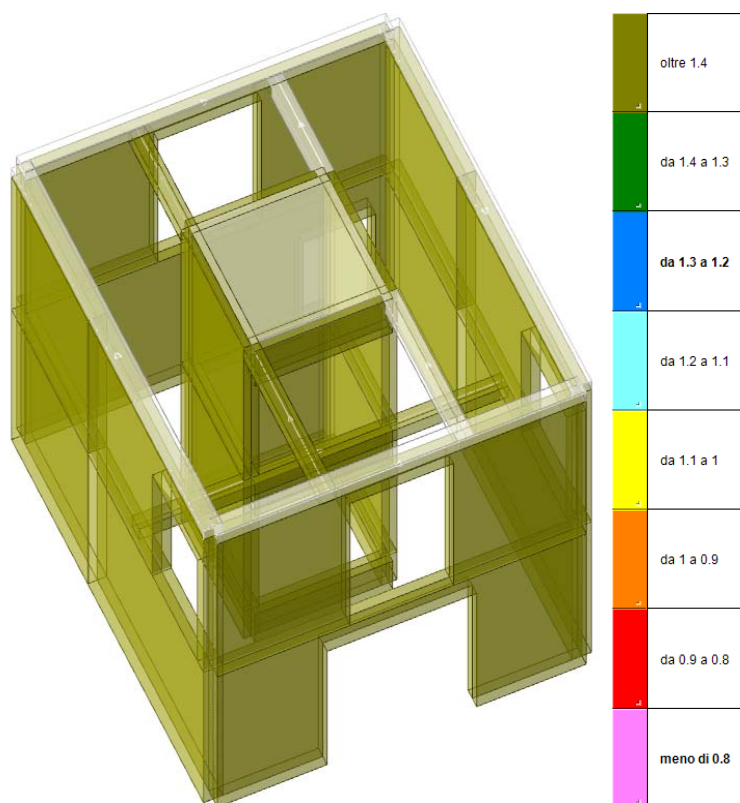
ELEMENTI IN C.A.: indici di resistenza IR per verifiche statiche a "Taglio" in SLU.



ELEMENTI IN C.A.: indici di resistenza IR per verifiche statiche a "Taglio" in SLU.



ELEMENTI IN MURATURA A C.A.: Fattore di sicurezza sismico $f_{b,PGA}$ per verifiche sismiche a "Presso-flessione nel piano", "Taglio nel piano" e "Presso-flessione fuori piano" in SLV.



ELEMENTI IN MURATURA A C.A.: Fattore di sicurezza sismico $f_{a,PGA}$ per verifiche sismiche a "Presso-flessione nel piano", "Taglio nel piano" e "Presso-flessione fuori piano" in SLV.

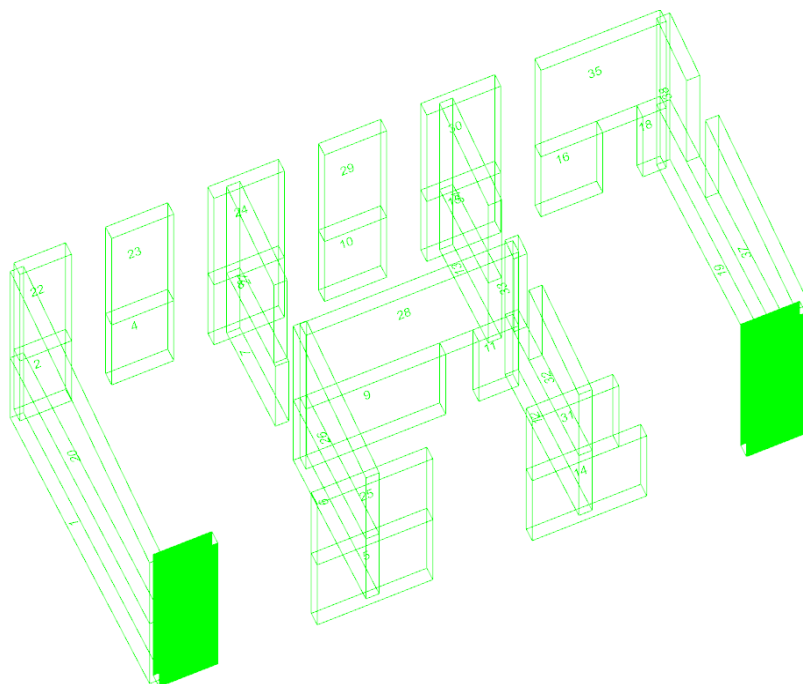
7.1.7. Esito delle verifiche e conclusioni

Le **verifiche statiche** hanno evidenziato quanto segue:

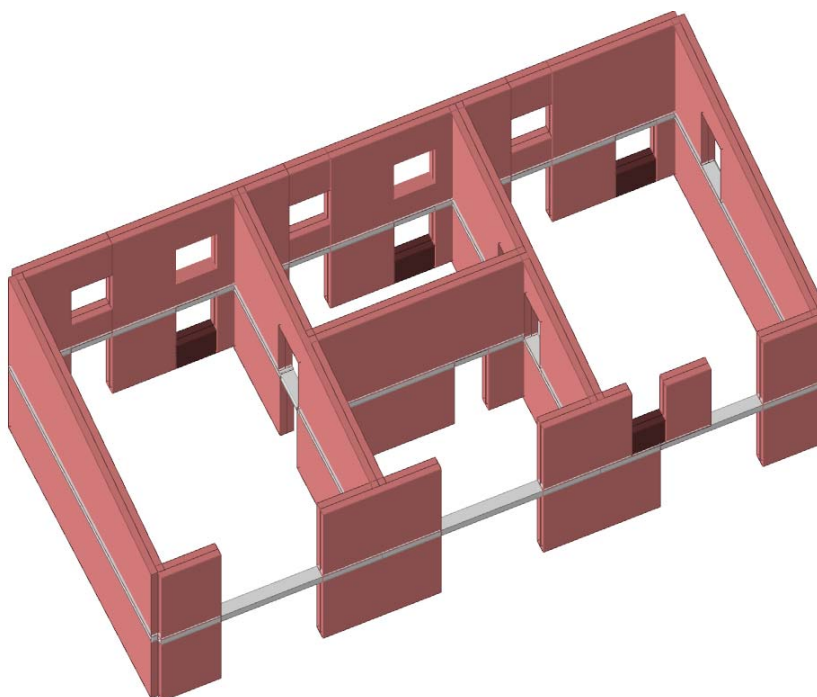
- a) gli elementi murari sono risultati tutti verificati in combinazioni statiche, con adeguati ed ampi margini di sicurezza;
- b) gli elementi in c.a. (travi, cordoli, solette e solai) sono stati tutti armati e verificati nel rispetto delle sollecitazioni e deformazioni limite di normativa.

Le **verifiche sismiche** hanno invece evidenziato quanto segue:

- a) i maschi murari posti ai lati del fronte principale, sono stati rinforzati con intonaco armato, al fine di garantire il soddisfacimento delle verifiche sismiche. Gli altri elementi non hanno richiesto alcun intervento di rinforzo;
- b) le murature dei davanzali delle finestre poste sul retro dell'edificio, sono state modellate con materiale dotato di modulo elastico ridotto, al fine di considerarne la parziale fessurazione in combinazioni sismiche. Questo ha permesso di introdurre una ridistribuzione delle sollecitazioni con sovraccarico del resto della struttura portante (rispetto alla soluzione con materiale tutto omogeneo) e di verificare queste travi di collegamento pur accettandone una prima fessurazione;
- c) gli elementi in c.a. (travi, cordoli, solette e solai) sono stati tutti armati e verificati nel rispetto delle sollecitazioni e deformazioni limite di normativa.



Maschi murari rinforzati con intonaco armato.



Elementi murari considerati fessurati mediante il modulo elastico ridotto del 50%.

8. Attendibilità delle analisi svolte

Ai sensi del cap. 10.2.1 delle NTC 2018, è necessario verificare l'attendibilità delle analisi numeriche svolte con l'ausilio di codici di calcolo. Questa verificata è stata svolta attraverso le seguenti analisi:

1. controllo della corrispondenza tra le masse ed i carichi applicati e le reazioni fornite dal software di calcolo;
2. calcolo della accelerazione sismica con metodo semplificato;

Si riporta il controllo effettuato sul modello di calcolo del corpo abitativo.

8.1. Corrispondenza tra masse/carichi applicati e reazioni

Il software di analisi svolge due diversi controlli. In prima analisi il controllo tra le "entità disegnate" e le "forze applicate" al modello di analisi ed in seconda battuta il controllo della corrispondenza tra le "forze applicate" e le "reazioni" fornite dal modello di calcolo.

Questo controllo è svolto mediante due procedure interne, presenti nel software, che lo scrivente ha verificato diverse volte, in occasione di modellazioni di minore dimensione e complessità.

La prima fase di controllo, relativa alla verifica della corrispondenza tra le masse delle entità disegnate e quelle modellate, vengono fornite segnalazioni specifiche ("sbilanci di carico"), in presenza di elementi geometrici o carichi che, inseriti nel modello geometrico, non generano una equivalente massa nel modello di calcolo agli elementi finiti:

- nei modelli di calcolo impiegati non sono evidenziati "sbilanci di carico";

La seconda fase di controllo, relativa al bilancio tra le forze applicate al modello di calcolo e le reazioni fornite in output dall'analisi, non ha evidenziato errori. Si riporta nuovamente, di seguito, il report fornito dal software, in merito a questo secondo controllo, riferito al corpo abitativo:

Contributo: Nome attribuito al sistema risultante.

Fx: Componente X di forza del sistema risultante. [daN]

Fy: Componente Y di forza del sistema risultante. [daN]

Fz: Componente Z di forza del sistema risultante. [daN]

Mx: Componente di momento attorno l'asse X del sistema risultante. [daN*cm]

My: Componente di momento attorno l'asse Y del sistema risultante. [daN*cm]

Mz: Componente di momento attorno l'asse Z del sistema risultante. [daN*cm]

Corpo abitativo

Bilancio in condizione di carico: Pesì strutturali

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	-0.013	0.001	-368360.309	-163275086	346250826	6
Reazioni	0.013	-0.001	368360.309	163275086	-346250826	-6
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Permanenti portati

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	-96757.012	-39880853	92485986	0
Reazioni	0	0	96757.012	39880853	-92485986	0

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Variabile A

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	-45050.41	-14327551	42603650	0
Reazioni	0	0	45050.41	14327551	-42603650	0
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Neve

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	-20263.834	-7265154	19149323	0
Reazioni	0	0	20263.834	7265154	-19149323	0
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Sisma X SLV

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	43707.86	0	0	0	23062543	-19495032
Reazioni	-43707.86	0	0	0	-23062543	19495032
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Sisma Y SLV

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	44683.862	0	-23577532	0	42123255
Reazioni	0	-44683.862	0	23577532	0	-42123255
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Eccentricità Y per sisma X SLV

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	0	0	0	-729884
Reazioni	0	0	0	0	0	729884
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Eccentricità X per sisma Y SLV

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	0	0	0	1568591
Reazioni	0	0	0	0	0	-1568591
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Sisma X SLD

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	32295.396	0	0	0	17040733	-14404726
Reazioni	-32295.396	0	0	0	-17040733	14404726
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Sisma Y SLD

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	29526.076	0	-15579495	0	27834086
Reazioni	0	-29526.076	0	15579495	0	-27834086
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Eccentricità Y per sisma X SLD

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	0	0	0	-539305
Reazioni	0	0	0	0	0	539305
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Eccentricità X per sisma Y SLD

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	0	0	0	1036489
Reazioni	0	0	0	0	0	-1036489
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Rig Ux

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	1	0	0	0	295	-425
Reazioni	-1	0	0	0	-295	425
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Rig Uy

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	1	0	-295	0	950
Reazioni	0	-1	0	295	0	-950
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

Bilancio in condizione di carico: Rig Rz

Contributo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Forze applicate	0	0	0	0	0	1
Reazioni	0	0	0	0	0	-1
P-Delta	0	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0	0

8.2. Calcolo della accelerazione sismica con metodo semplificato

L'analisi modale ha evidenziato periodi propri e masse partecipanti concentrate in pochi modi di vibrare e collocati nel primo tratto dell'accelerogramma, caratterizzato da una elevata variabilità dell'accelerazione sismica, anche a fronte di lievi modifiche del periodo proprio.

Corpo abitativo

Direzione sisma	Modo n.	Periodo [s]	Massa [%]	Tipo di modo
X	1	0.09709	86.84	principale
x	10	0.03515	7.96	secondario
x	6	0.05804	4.82	secondario
Y	3	0.07208	67.66	principale
y	2	0.07245	16.35	secondario

In direzione X, il periodo principale è associato al modo 1, con periodo di 0.09709 s, al quale corrisponde una accelerazione di progetto di 0.119 g in SLV.

Pertanto, considerando il peso dell'edificio di seguito calcolato (dati desunti dal par. 10.1) e l'accelerazione sismica fornita dal medesimo par. 10.1, è possibile calcolare la seguente accelerazione sismica media, da confrontare con quella associata al modo 1 sopra indicata (0.12 g):

peso edificio: $P = 368360 + 96757 + 0.3 \times 45050 = 478632 \text{ daN}$

carico sismico: $E_x = 43707 \text{ daN}$

massa partecipante nel modo 1: 86.84%

carico sismico da modo 1: $E_{x1} = 478632 \times 86.84\% \times 0.119 = 49460 \text{ daN}$

valore non molto diverso da quello calcolato dal software pari a 43707 daN.