

# *Comune di Castelfidardo (AN)*



## **Verifica della vulnerabilità sismica della Scuola Materna “Fornaci”, sita in via XXV Aprile, Castelfidardo**

**- Relazione di calcolo -**

**DM 17/01/2018**



**Gea Soc. Coop. –Prevenzione Rischio Sismico –**

*via Chiusa 6/A – Osimo (AN)*

*Ing. Alessandro Bianchi (393 8918482) - (responsabile della verifica)*

*Gruppo di Lavoro: Ing. Silvia Tassi*

*Ing. Chiara Pesaresi*

**Committente:**

**Comune di Castelfidardo**

Ordine degli Ingegneri della provincia di  
ANCONA  
Dott. Ing. Alessandro BIANCHI  
A 2099  
Ingegneria civile, ambientale,  
industriale e dell'informazione

**Data:**  
**GIUGNO 2018**

**Aggiornamenti:**

**Elaborato:**



## INDICE

Premessa .....	3
Capitolo 1 – Documentazione esistente.....	5
Capitolo 2 – Conoscenza del manufatto .....	5
Capitolo 3 – Indagini in situ.....	11
3.1 – Indagini geologico geotecniche e sulle fondazioni .....	11
3.2 – Indagini sulla struttura.....	11
3.2.2 – Indagini eseguite .....	13
3.2.4 – Indagini eseguite a campione mediante apparecchiatura magnetometrica.....	14
3.2.5 – Acquisizione del livello di conoscenza, del fattore di confidenza FC.....	16
Capitolo 4 – Elaborazione dei risultati.....	18
Capitolo 6 – Modellazione .....	20
Capitolo 7 – Caratterizzazione del materiale.....	27
Capitolo 8 – Valutazione della sicurezza .....	28
Capitolo 9 – Vita Nominale, Classe D’Uso e Periodo di Riferimento .....	28
Capitolo 10 – Azioni sulla costruzione .....	29
10.1 – Combinazione delle azioni .....	29
10.2 – Analisi dei carichi.....	30
10.3 – Determinazione dell’azione sismica .....	31
10.4 – Determinazione del carico da neve.....	32
11 – Analisi di regolarità .....	32
12 – Valutazione dell’idoneità statica finalizzata all’analisi sismica .....	34
13 – Idoneità statica dei solai .....	36
14 – Analisi modale .....	42
15 – Analisi sismica nodale con spettro di progetto .....	44
15.1 – Analisi sismica nodale meccanismi fragili .....	44
15.2 – Analisi sismica nodale meccanismi duttili.....	46
16 – Controllo degli spostamenti di interpiano allo SLD ed allo SLV .....	47
17 – Verifica sotto le combinazioni statiche $I_{ST\_SLU}$ e $I_{ST\_RESTR}$ .....	55
17.1 Determinazione dell’ $I_{ST\_SLU}$ .....	55
17.2 Determinazione dell’ $I_{ST\_RESTR}$ .....	57
18 – Verifica dei nodi .....	58
18.1 - Corpo originario.....	58

## Premessa

La seguente relazione descrive i criteri di calcolo e di verifica per la valutazione della vulnerabilità sismica della Scuola Materna “Fornaci”, sita in via XXV Aprile, in località Fornaci, nel comune di Castelfidardo (AN).

Essa è stata redatta seguendo le indicazioni contenute nel **“Manuale per la Stesura della Relazione Tecnica per la Valutazione della Vulnerabilità Sismica di edifici esistenti” (versione 2.0.2)**, pubblicato dalla Regione Marche, con particolare riferimento ai capitoli afferenti ai calcoli strutturali eseguiti per la determinazione dell'indice di vulnerabilità sismica del complesso strutturale allo stato attuale.

L'edificio è stato progettato e realizzato a partire dal 1975. L'edificio è ad un'unica elevazione, tranne per una parte nella quale è stato ricavato un locale seminterrato con locale refettorio, cucine e locali sgombero. L'edificio è disposto su piani sfalsati in modo scalettato.

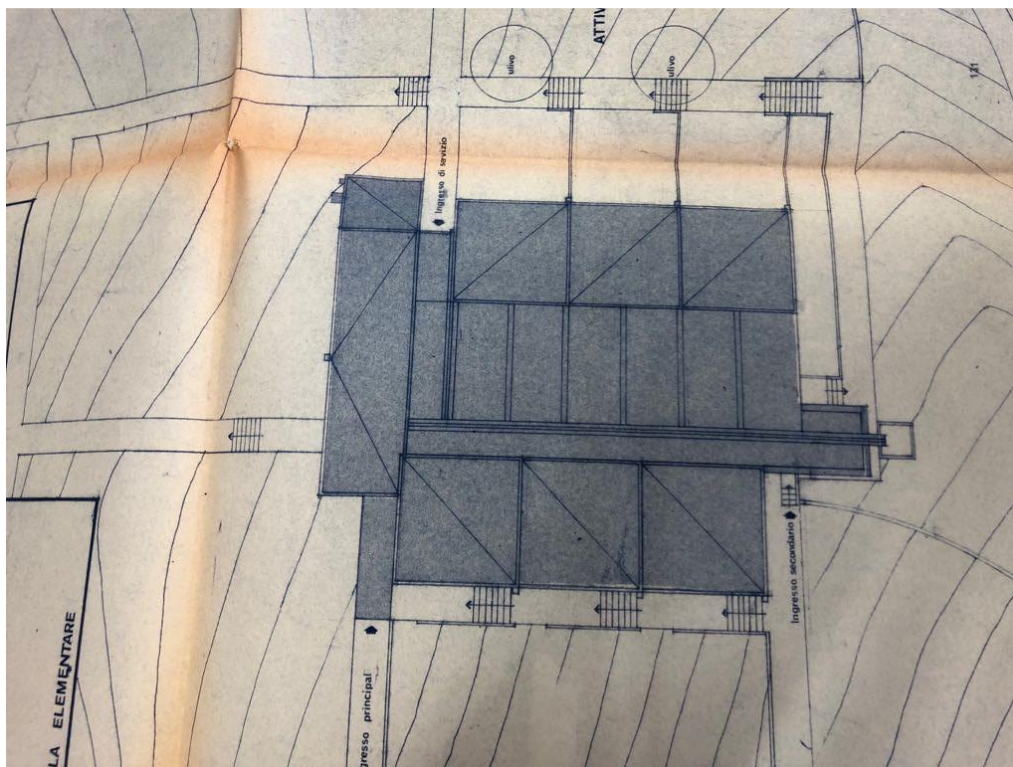


Figura 1 - Corpo di fabbrica dell'edificio ospitante la scuola oggetto di studio

Le tre scale esterne, nel fronte principale dell'edificio, non sono state realizzate, mentre è stata sostituita la copertura della passerella centrale in pendenza con una il plexiglass leggera che facesse entrare luce.



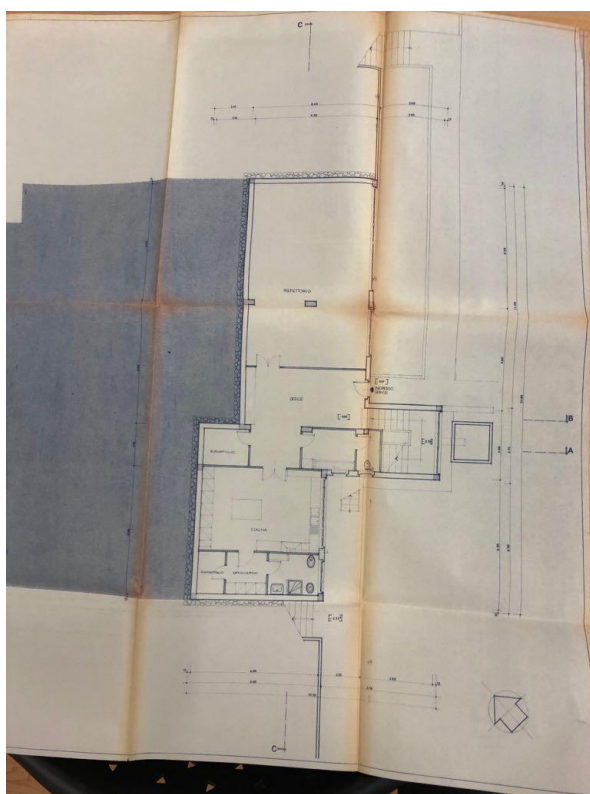


Figura 2 - Pianta piano interrato

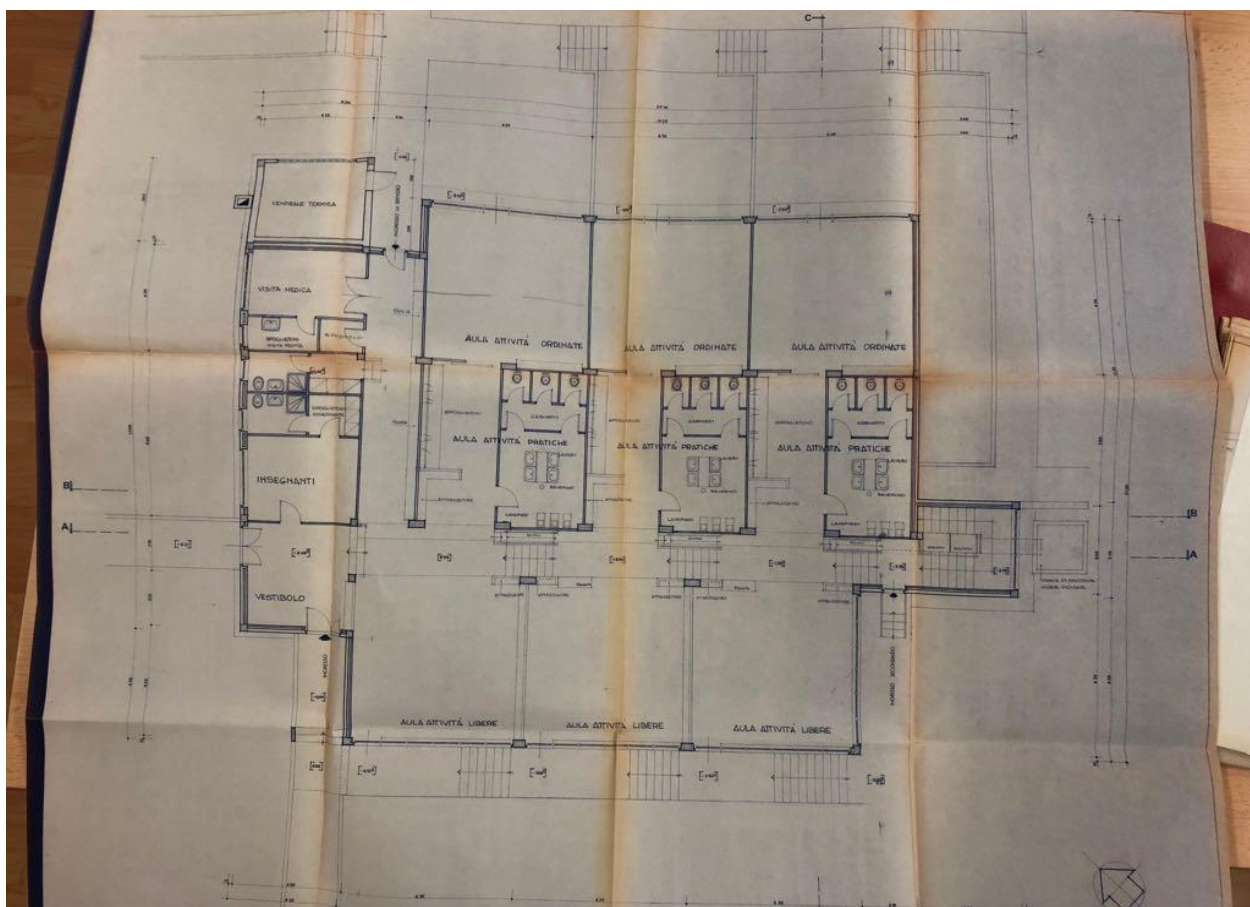


Figura 3 - Planimetria piano terra

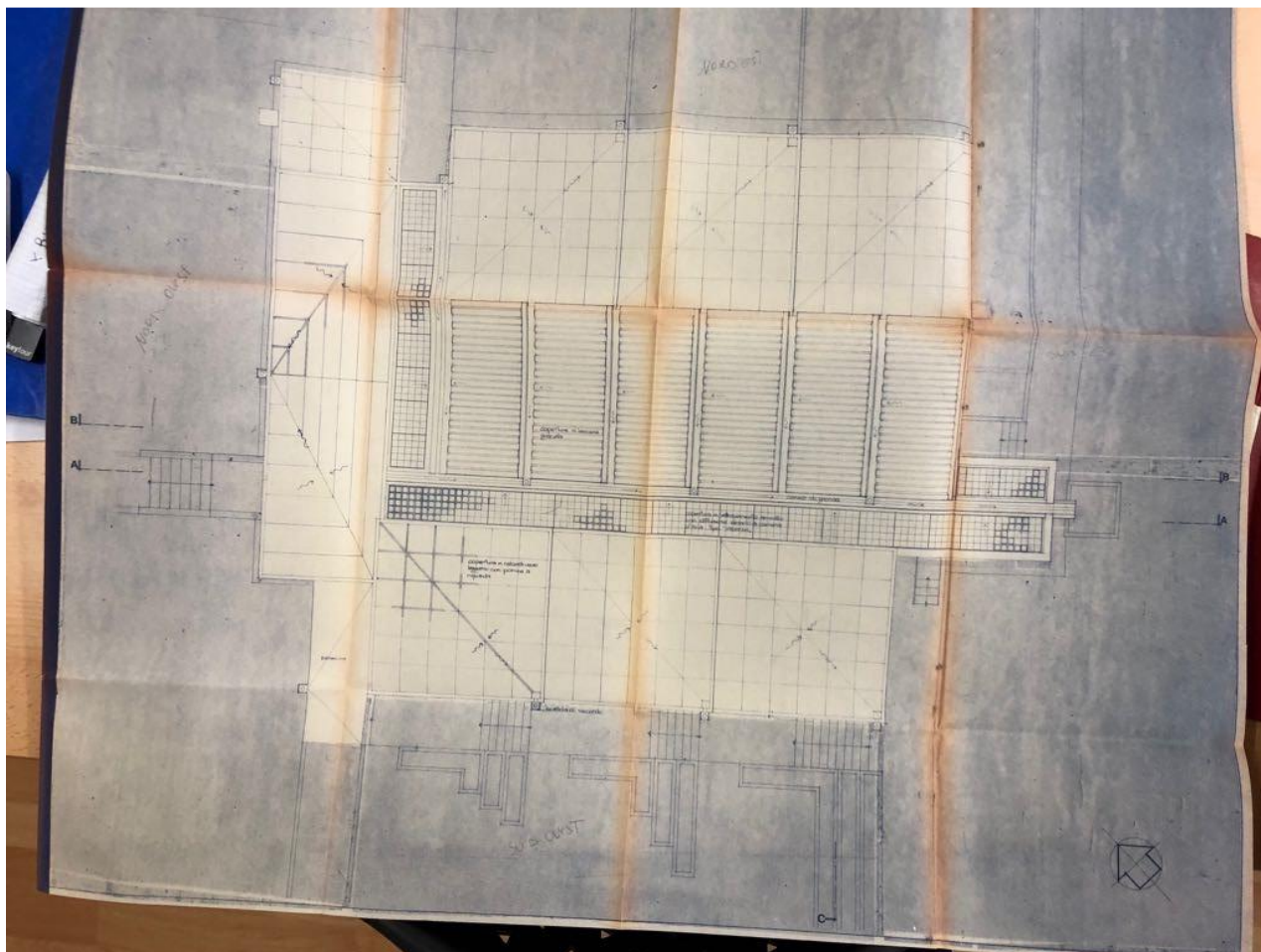


Figura 4 - Pianta coperture

## Capitolo 1 – Documentazione esistente

La Committenza ha messo a disposizione la documentazione in loro possesso, tra cui gli elaborati grafici e la relazione di calcolo del progetto esecutivo originario, risalente al 1975, a firma del Dott. ing. Rodolfo Antonucci di Ancona. Tale documentazione riporta i timbri dell'autorizzazione emessa dall'Ufficio del genio Civile di Ancona, ai sensi della Legge 5-11-71 n. 1086 (progetto n. 547/75 del 26-06-1975).

## Capitolo 2 – Conoscenza del manufatto

L'edificio oggetto di studio di vulnerabilità è situato in via XXV Aprile, in località Fornaci, nel comune di Castelfidardo (AN).

L'edificio in pianta sembra avere una forma geometrica abbastanza regolare, cosa che non si può dire per lo sviluppo verticale, essendo disposta in livelli differenti.

Dal punto di vista geometrico, l'intero fabbricato ha uno sviluppo in pianta di 520 mq circa al piano terra e di circa 160 mq al piano seminterrato, **per uno sviluppo volumetrico complessivo di circa 2.300 mc.**



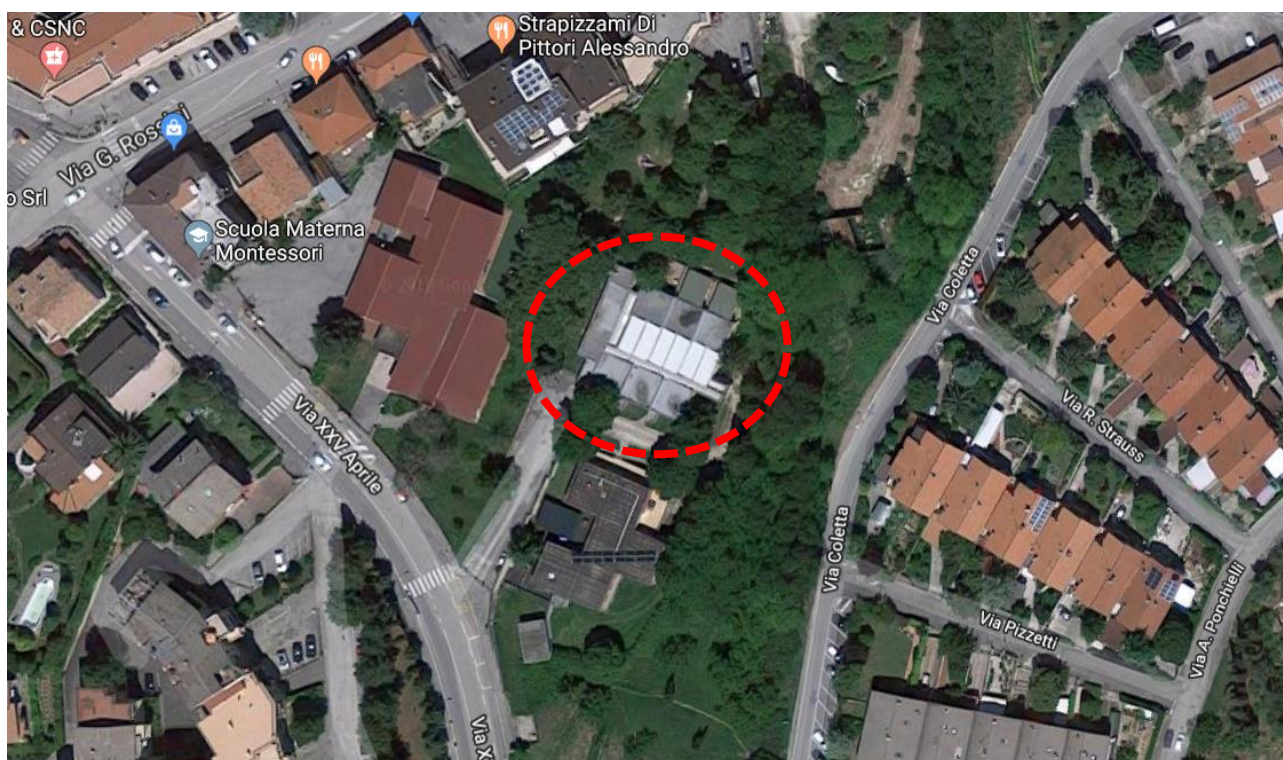


Figura 5 - Vista aerea con evidenziata la Scuola oggetto di valutazione di vulnerabilità

Il piano terra si sviluppa su quattro livelli posti a quote differenti, come mostrano le immagini riportate di seguito:

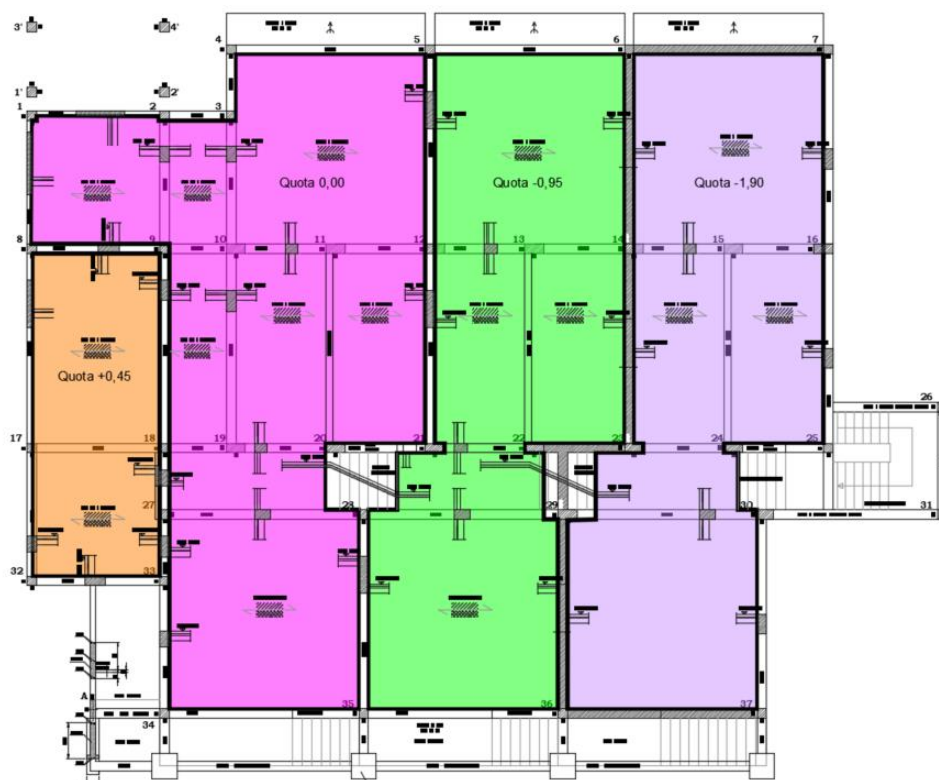


Figura 6 - Pianta piano terra (progetto strutturale – 1975) con evidenziati i diversi livelli di quote

In corrispondenza della porzione evidenziata a quota -1,90, come visibile dalla figura 7, esiste un locale seminterrato dove è stata collocata la mensa degli alunni; di fatto questa è l'unica zona dell'edificio progettato che possiede due elevazioni abitabili.

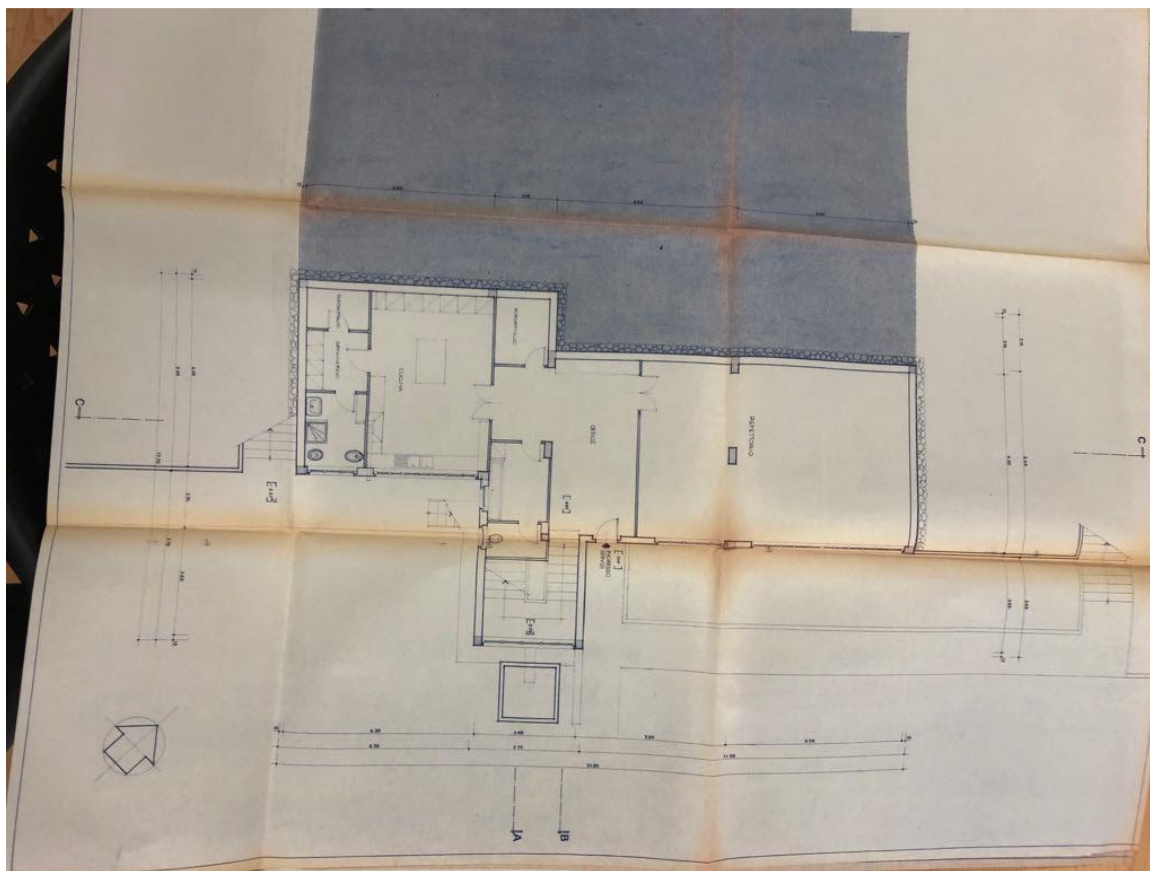


Figura 7 - Pianta piano seminterrato (progetto architettonico – 1975)

Dell'edificio realizzato negli anni '70, come scritto nel Capitolo 1, si ha a disposizione il progetto autorizzato dall'ufficio del Genio Civile di Ancona. È stato possibile, quindi, consultare i disegni esecutivi strutturali e la "Relazione di calcolo delle strutture", utili per la riproduzione grafica dell'edificio, la definizione dei materiali, delle armature, dei carichi e, in generale, per la modellazione strutturale nel software di calcolo.

La struttura è costituita da travi e pilastri in c.a.; i solai di piano e di copertura sono in latero cemento dello spessore di 18 cm e soletta in c.a. di 4 cm.

I tamponamenti esterni, disposti all'interno della maglia dei pilastri, sono del tipo a cassetta, formati da una fodera esterna di mattoni pieni (1 testa) e una fodera interna di mattoni forati posti di costa da 8 cm.

Le scale interne, che collegano le varie quote del solaio di calpestio del piano terra, non sono presenti nel progetto, quindi in fase di calcolo sono state schematizzate con una soletta da 20 cm, di cui si è applicato il carico alle travi.

Le fondazioni, sono costituite da plinti collegati da cordoli in cemento armato.





Figura 8 – Foto prospetto esterno



Figura 9 – Foto prospetto esterno

Di seguito il particolare in sommità del nodo nel pilastro 30: nel progetto originario era prevista la creazione di un vincolo a sella che in effetti è stato effettivamente realizzato.

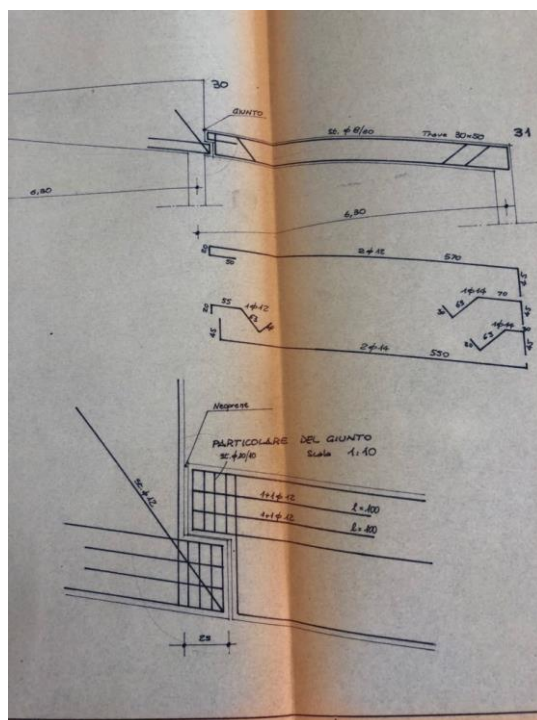




Figura 10 – Foto particolari strutturali sella

Dal particolare del nodo trave-pilastro si nota che i getti dei due elementi strutturali sono separati da uno strato di guaina bituminosa ed è visibile la barra di armatura del pilastro che si interrompe alla sommità dello stesso.



Figura 11 – Foto particolari strutturali sella

Tale elemento di collegamento ha richiamato, nel recente passato, l'attenzione del personale scolastico e comunale per il fatto che si sono create delle lesioni verticali lungo tutto il pilastro, visibili sia dall'interno che dall'esterno.

E' ovvio che tale quadro fessurativo è dovuto alla natura del vincolo strutturale che di fatto si può configurare come un giunto scorrevole, per cui non si può parlare di dissesto strutturale quanto piuttosto di assestamento dovuto alla natura mobile del vincolo stesso.

Le ragioni per cui il progettista originario abbia creato questa sorta di vincolo non sono ben chiare, anche perché non sono state motivate nelle relazioni di calcolo.

In tutti i modi, per la modellazione è stato considerato il nodo come se fosse unito, anticipando quindi quelle che saranno delle scelte già indirizzate al progetto di consolidamento che prevederanno, salvo approfondimenti o ricerche più puntuali, l'eliminazione del giunto.

Di seguito delle immagini che rappresentano le lesioni oggi visibili sul giunto in questione:

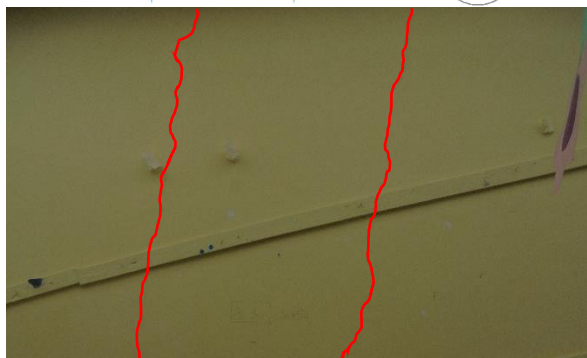


Figura 12 – Lesione sella interna PIL30



Figura 13 – Lesione sella esterna PIL30

In fase di indagine pacometrica del fabbricato sono stati riscontrati pilastri mancanti di staffatura alla base del pilastro, per un tratto abbastanza significativo (50/60 cm).

Di seguito l'identificazione di tali elementi in planimetria

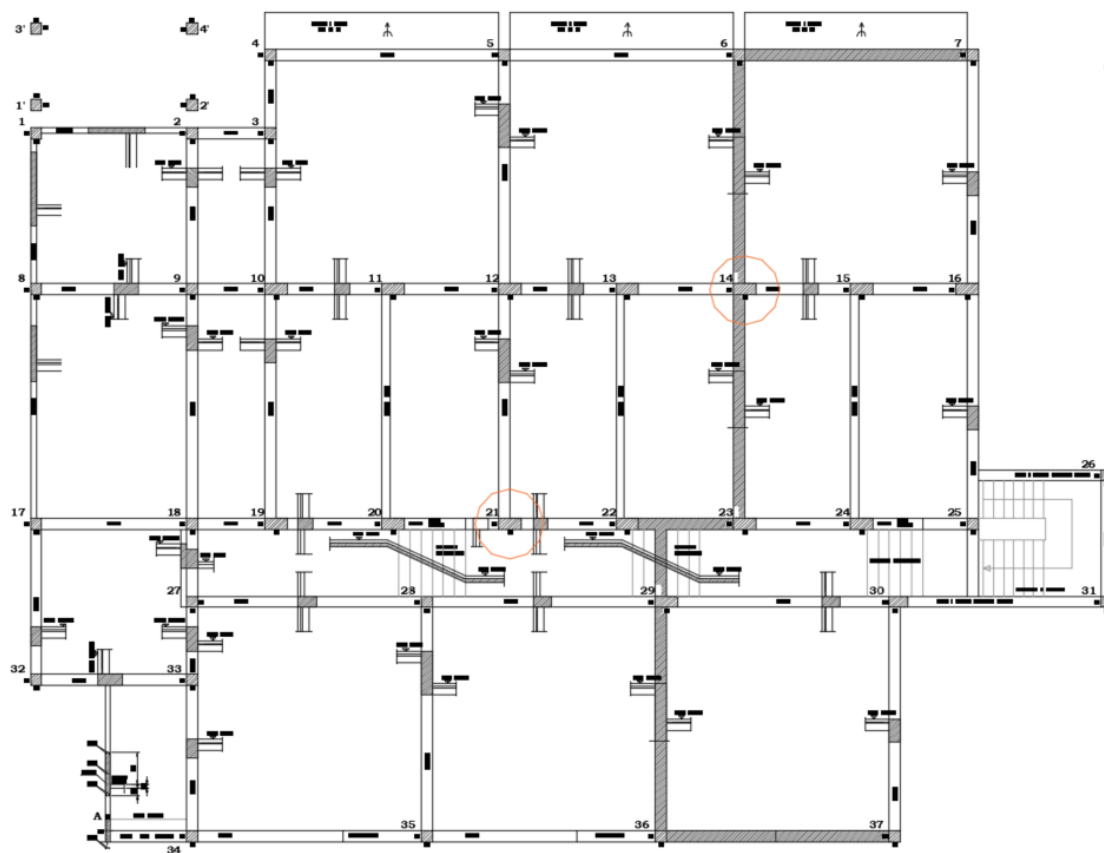


Figura 14 – Identificazione pilastri mancanti di staffatura



Tale carenza è molto significativa perché rappresenta una vulnerabilità localizzata che innesci meccanismi di collasso di tipo fragile, che riducono in maniera repentina la resistenza degli elementi strutturali.

E' consigliabile quindi per il pilastro 14 e il pilastro 21, procedere il prima possibile con un intervento di adeguamento della resistenza a taglio mediante implementazione di armatura o tessuti che sopperiscano alla mancanza di staffatura.

## Capitolo 3 – Indagini in situ

### 3.1 – Indagini geologico geotecniche e sulle fondazioni

Ai fini di una corretta comprensione dell'interazione fra il terreno e la struttura in condizioni sismiche, si è provveduto all'approfondimento dello studio riguardante le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e sismiche del sottosuolo.

Secondo il capitolo 8.3 delle NTC 2018 sussistono condizioni che consentono di poter trascurare le specifiche verifiche del sistema di fondazione in fase sismica; a tal proposito giova ricordare che, come precedentemente descritto, l'unico quadro fessurativo presente nell'edificio è dovuto alla presenza del giunto a sella che di fatto è configurabile come vincolo scorrevole e che quindi per sua natura, muovendosi anche a causa di contenute vibrazioni, tende a "segnare" la linea di soluzione di continuità.

Le indagini per la caratterizzazione geofisica del terreno e per la determinazione dei parametri geotecnici fondamentali, è stata eseguita dalla ditta GeCo srl dei geologi Marco Gaggiotti ed Angelo Curatolo, aventi grande esperienza nel settore.

I dettagli delle indagini sono riportate nello specifico allegato; qui preme solamente richiamare i risultati di sintesi, utili alla esecuzione della verifica sismica:

- Categoria di Terreno: "C"
- Coefficiente topografico: T1
- Frequenza di risonanza del terreno: NON RICAVABILE

### 3.2 – Indagini sulla struttura

Le indagini diagnostiche sugli elementi strutturali e sui particolari costruttivi, più dettagliatamente riportate nella relazione redatta dal laboratorio certificato SidLab s.r.l. con sede ad Osimo in via Montefanese, vengono di seguito elencate distinguendole fra i diversi corpi di fabbrica costituenti la scuola primaria.

Edificio originario in C.A.:

- n°6 carote su pilastri e carbonatazione;
- n°1 prelievo di armatura;
- n°1 endoscopia su muro esterno;

- n°3 dettagli costruttivo barre d'armatura e rilievo con analisi pacometrica;
- n°2 dettagli costruttivi giunti;
- n°1 endoscopia su solaio.

Infine, a campione, sono state eseguite direttamente da Geacoop, mediante apparecchiatura magnetometrica tipo PROFOMETER 5 della PROCEQ, delle indagini su alcuni pilastri e sono state catturate delle immagini con la termocamera, di cui si riportano alcuni esempi.

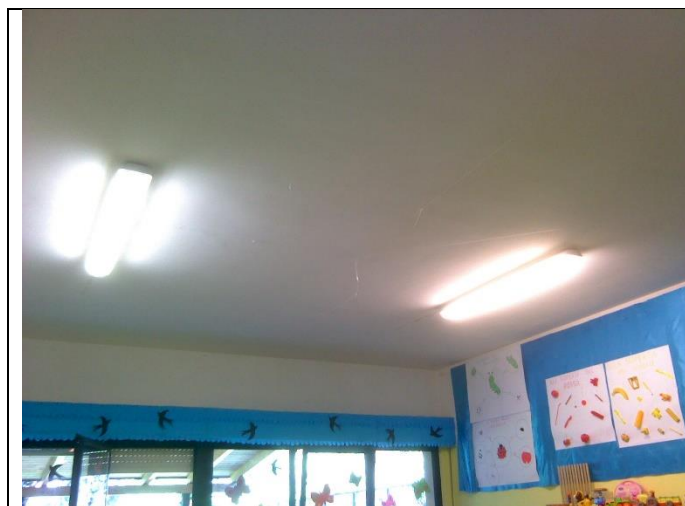


Figura 15



Figura 16 – Visibile l'orditura dei solai

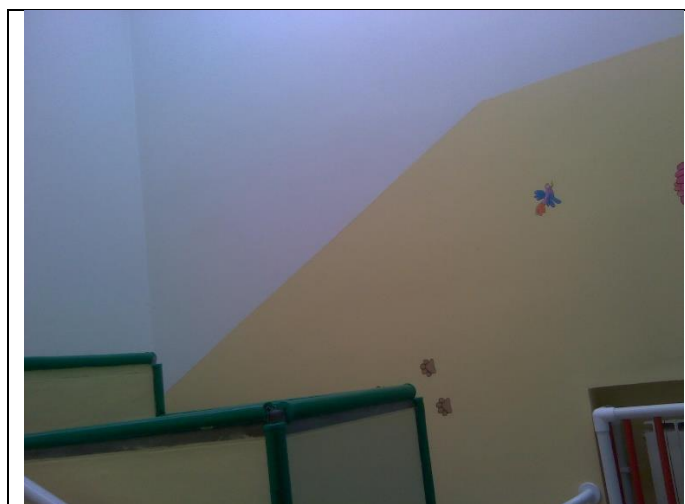


Figura 17



Figura 18 - Visione della tamponatura esterna





Figura 19



Figura 20 – Visione trave a ginocchio scala



Figura 21



Figura 22 – Visione pilastri e travi perimetrali

Infine, la stratigrafia dei solaio al piano primo dimostra che esso è in latero cemento, con travetti in c.a..

### 3.2.2 - Indagini eseguite

Sono stati prelevati n°6 provini di calcestruzzo e n°1 barre di armatura, i cui risultati vengono elaborati nel Capitoli 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3 relativi alla caratterizzazione meccanica dei materiali.

Sulle carote di calcestruzzo è stata indagata inoltre la profondità di carbonatazione.

SIGLA PROVINO	STRUTTURE INTERESSATE DAL PRELIEVO	PROFONDITÀ DI CARBONATAZIONE (mm)
C2	P. TERRA PILASTRO 5	~31
C3	P. TERRA PILASTRO 9	~20
C6	P. TERRA PILASTRO 17	~11
C7	SEMINTERRATO PILASTRO 29	~36
C8	SEMINTERRATO PILASTRO 16	0

Figura 23 - Profondità di carbonatazione misurata nel provini del corpo originale

La profondità di carbonatazione è in media pari a 19,6 mm, la quale non supera lo spessore del copriferro, non interessando così le barre d'armatura.

Le armature rilevate corrispondono a quelle delle tavole degli esecutivi strutturali.

Difficoltà con il progetto strutturale sta solamente nel pilastro 30, che risulta da progetto 30 cm x 30cm, mentre nella realtà è da 30cm x 50cm.

La stratigrafia eseguita nel solaio al piano interrato ha evidenziato la presenza di un solaio in latero-cemento da 16+5, differente dalla relazione di calcolo originale che mostrava un solaio da 18+4cm, praticamente analogo in termini di portanza e peso.

Stratigrafia Rif.	Pavimento (cm)	Massetto (cm)	Soletta (cm)	Pignatta (cm)	Intonaco Intradosso solaio (cm)
S1	0,3 (Linoleum)	8	5	16	3

Figura 24 - Stratigrafia solaio

L'endoscopia effettuata nel muro esterno del piano interrato ha mostrato che la parete è differente rispetto al progetto originario che prevedeva una tamponatura a cassetta con mattoni pieni, intercapedine e 8 cm di mattoni forati. La prova ha mostrato uno strato di mattoni pieni con lana di roccia, intercapedine d'aria e forato interno.

RIF.	H (cm)	L (cm)	S (cm)	DESCRIZIONE
E1	136	32	32	Foro <u>passante</u> . A partire dalla superficie indicata dalla punta della freccia nella tav. 1, sono presenti: intonaco 2 cm; mattone pieno 13 cm; lana di roccia 4 cm; intercapedine d'aria 2cm; laterizio forato 8 cm; intonaco 3 cm

Figura 25 - Stratigrafia tamponature

### 3.2.4 - Indagini eseguite a campione mediante apparecchiatura magnetometrica

A campione, sono state infine eseguite delle indagini direttamente da Geacoop su n°17 pilastri appartenenti al corpo originale, mediante apparecchiatura magnetometrica tipo PROFOMETER 5 della PROCEQ.

In tale maniera è stato quindi possibile approfondire il Livello di Conoscenza degli edifici, valutando la corrispondenza o meno con gli esecutivi strutturali originali e la presenza di alcune anomalie.

Di seguito le tabelle riepilogative per la valutazione del passo delle staffe per gli elementi verticali:





<b>n.pilastro</b>	<b>9</b>	<b>n.pilastro</b>	<b>18</b>	<b>n.pilastro</b>	<b>27</b>	<b>n.pilastro</b>	<b>10</b>
	20		22		25		24
	21		23		24		25
	22		17		21		22
	26		25		21		21
	24		24		21		22
	17				22		2
	18				22		20
<b>MEDIA</b>	<b>21.14286</b>	<b>MEDIA</b>	<b>22.2</b>	<b>MEDIA</b>	<b>22.28571</b>	<b>MEDIA</b>	<b>19.42857</b>
<b>n.pilastro</b>	<b>30</b>	<b>n.pilastro</b>	<b>34</b>	<b>n.pilastro</b>	<b>12</b>	<b>n.pilastro</b>	<b>14</b>
	18		28		21		17
	17		11		18		20
	18		20		21		19
			20		19		30
			20		3		20
			20		8		13
			18		21		60
			15				
<b>MEDIA</b>	<b>17.66667</b>	<b>MEDIA</b>	<b>19</b>	<b>MEDIA</b>	<b>15.85714</b>	<b>MEDIA</b>	<b>25.57143</b>
<b>n.pilastro</b>	<b>15</b>	<b>n.pilastro</b>	<b>26</b>	<b>n.pilastro</b>	<b>31</b>	<b>n.pilastro</b>	<b>24 int</b>
	23		22		24		22
	22		26		27		28
	17		19		24		23
	21		25		25		26
	23		27		23		24
	26		22		28		24
			28				
<b>MEDIA</b>	<b>22</b>	<b>MEDIA</b>	<b>24.14286</b>	<b>MEDIA</b>	<b>25.16667</b>	<b>MEDIA</b>	<b>24.5</b>
<b>n.pilastro</b>	<b>19</b>	<b>n.pilastro</b>	<b>21</b>	<b>n.pilastro</b>	<b>29</b>	<b>n.pilastro</b>	<b>15 int</b>
	28		22		21		20
	20		19		21		19
	20		24		19		20
	20		22		20		24
	24		59		19		24
	28				19		39
<b>MEDIA</b>	<b>23.33333</b>	<b>MEDIA</b>	<b>29.2</b>	<b>MEDIA</b>	<b>19.83333</b>	<b>MEDIA</b>	<b>24.33333</b>
<b>n.pilastro</b>	<b>16 int</b>						
	22						
	24						
	22						
	26						
	21						
	24						
<b>MEDIA</b>	<b>23.16667</b>						

La media del passo delle staffe è pari a 23 cm, superiore a quella di progetto (15 cm).

### 3.2.5 – Acquisizione del livello di conoscenza, del fattore di confidenza FC

Sulla base della documentazione a disposizione e delle prove effettuate si definisce il livello di conoscenza acquisito (LC) a cui corrisponde un fattore di confidenza (FC) da applicare alle proprietà dei materiali.

Tabella C8A.1 – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti valori dei fattori di confidenza per edifici in muratura

Livello di Conoscenza	Geometria	Dettagli costruttivi	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Rilievo muratura, volte, solai, scale. Individuazione carichi gravanti su ogni elemento di parete Individuazione tipologia fondazioni. Rilievo eventuale quadro fessurativo e deformativo.	verifiche in situ limitate	Indagini in situ limitate Resistenza: valore minimo di Tabella C8B.1 Modulo elastico: valore medio intervallo di Tabella C8B.1	Tutti	1.35
LC2		verifiche in situ estese ed esaustive	Indagini in situ estese Resistenza: valore medio intervallo di Tabella C8B.1 Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8B.1		1.20
LC3			Indagini in situ esaustive -caso a) (disponibili 3 o più valori sperimentali di resistenza) Resistenza: media dei risultati delle prove Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8B.1 -caso b) (disponibili 2 valori sperimentali di resistenza) Resistenza: se valore medio sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8B.1, valore medio dell'intervallo di Tabella C8B.1; se valore medio sperimentale maggiore di estremo superiore intervallo, quest'ultimo; se valore medio sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore medio sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a). -caso c) (disponibile 1 valore sperimentale di resistenza) Resistenza: se valore sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8B.1, oppure superiore, valore medio dell'intervallo; se valore sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a).		1.00

Figura 26 - - Tab. C8A.1.2 Livelli di conoscenza per edifici in muratura

Tabella C8A.1.2 – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e limitate verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e limitate prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2		Disegni costruttivi incompleti con limitate verifiche in situ oppure estese verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con limitate prove in-situ oppure estese prove in-situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi con limitate verifiche in situ oppure esauritive verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in situ oppure esauritive prove in-situ	Tutti	1.00

Figura 27 - Tab. C8A.1.2 Livelli di conoscenza per edifici in c.a.

L'identificazione del Livello di Conoscenza dipende dall'approfondimento conoscitivo della struttura raggiunto dal punto di vista della geometria, dei dettagli costruttivi e delle proprietà dei materiali. I parametri di riferimento contenuti nella Circolare del 2 febbraio 2009 sono tuttavia delle linee guida e hanno pertanto valore indicativo.

Tutto ciò significa che la scelta del Livello di Conoscenza e del relativo Fattore di Confidenza è responsabilità del progettista stesso.

Per quanto riguarda l'edificio, si hanno a disposizione i disegni di carpenteria originali.

La geometria delle carpenterie è stata verificata e in parte aggiornata da un rilievo completo.

I dettagli costruttivi (disposizione dei ferri d'armatura), raffigurati negli esecutivi strutturali originali, sono stati verificati, confermandone l'attendibilità a seguito di numerose (e quindi esauritive) indagini mediante apparecchiatura magnetometrica e alcuni saggi diretti.

Sono stati infine caratterizzati i materiali, mediante prove di schiacciamento per le carote di calcestruzzo e prove a trazione fino a rottura per le barre d'acciaio.

È stata inoltre rilevata la profondità di carbonatazione del calcestruzzo sulle stesse carote poi soggette a schiacciamento.

Quindi, per i corpi in c.a., considerando il numero degli elementi indagati e l'omogeneità dei valori ottenuti, si ritiene di aver raggiunto un Livello di Conoscenza LC2.

Livello di Conoscenza EDIFICI IN C.A.	Fattore di Confidenza
LC2	FC=1,20



## Capitolo 4 – Elaborazione dei risultati

In questo capitolo vengono riportati i risultati dell'elaborazione dei dati derivanti dalle indagini eseguite sui materiali del corpo originario e dell'ampliamento.

Di seguito le piante delle prove eseguite:

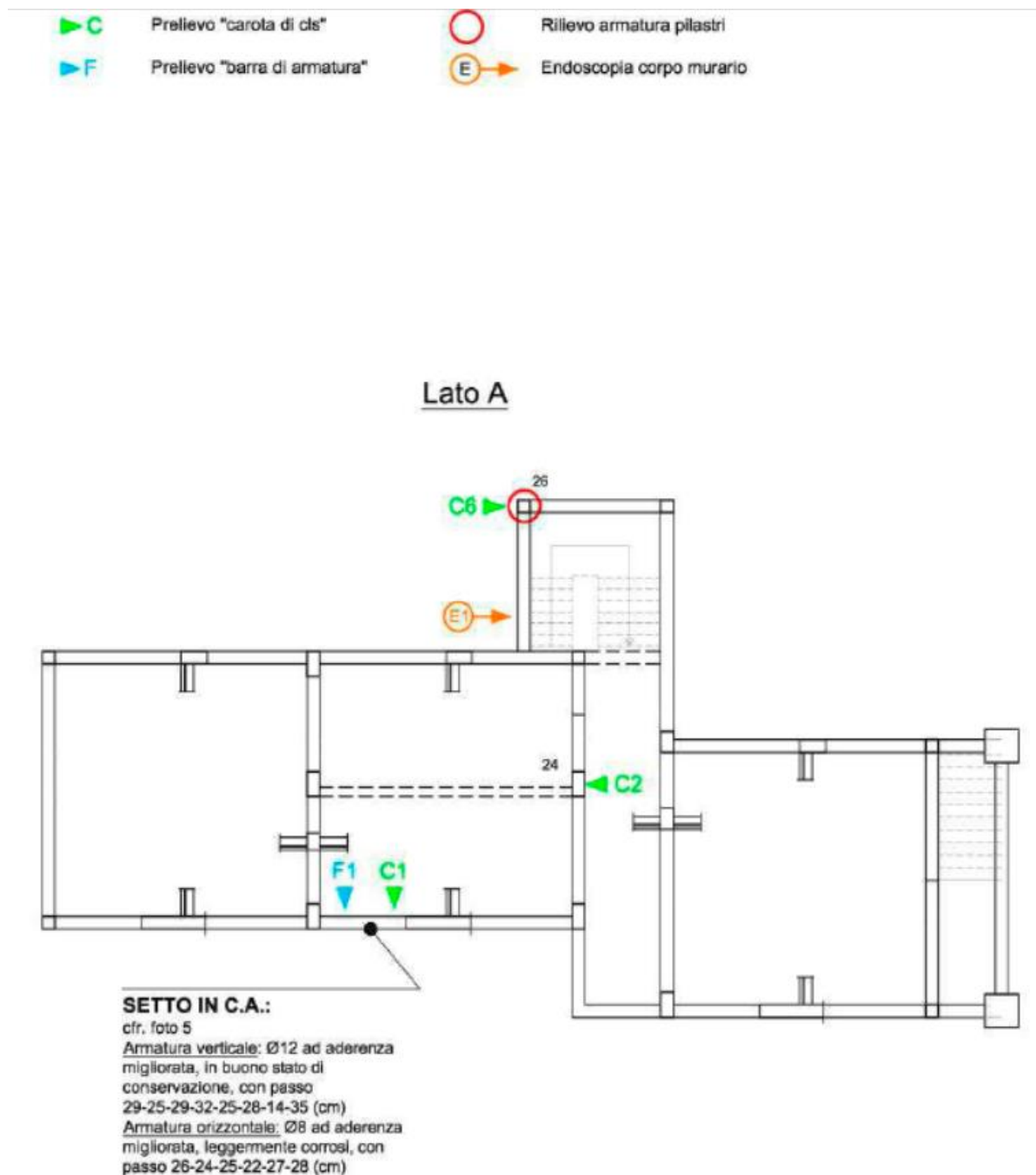


Figura 28 - Piano Seminterrato – Ubicazione schematica delle indagini e prove eseguite



Prelievo "carota di c/c"



Rilevo armatura pilastri



Stratigrafia solaio di calpestio del piano

### Lato A

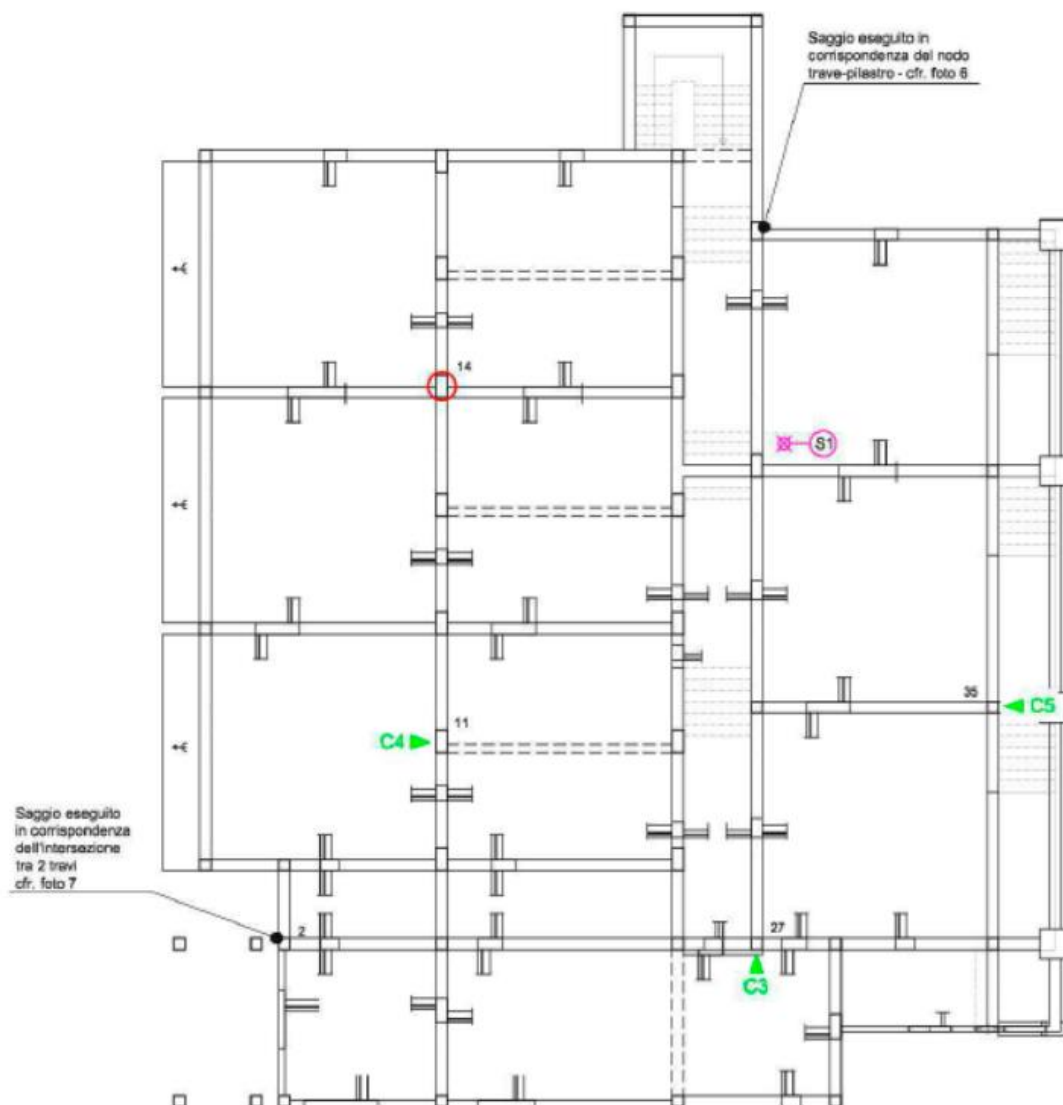


Figura 29 - Piano Terra – Ubicazione schematica delle indagini e prove eseguite

Le indagini diagnostiche di caratterizzazione dei materiali eseguite dal laboratorio SidLab s.r.l. sono le seguenti:

- n° 6 prove di compressione su carote di calcestruzzo e carbonatazione su pilastri;
- n° 1 prova di trazione e piegamento di barre di armatura prelevate in corrispondenza di un setto al piano interrato.

ESITI DELLA PROVA SUI CAMPIONI LAVORATI										
Sigla accettazione	Dimensioni			Area compressa (mm <sup>2</sup> )	Massa volumica (Kg/m <sup>3</sup> )	Carico rottura (KN)	Resistenza unitaria (N/mm <sup>2</sup> )	Modalità rottura	Rettifica	Data Prova
	Ø (mm)	H (mm)	Ø/H							
2069/18-1	104,31	103,36	1,0092	8545,31	2180	108,0	12,6	R	Re	7-mag-18
2069/18-2	104,30	98,45	1,0595	8544,22	2240	127,1	14,9	R	Re	7-mag-18
2069/18-3	104,32	103,37	1,0092	8547,50	2080	107,6	12,6	R	Re	7-mag-18
2069/18-4	104,31	103,30	1,0098	8545,31	2010	90,6	10,6	R	Re	7-mag-18
2069/18-5	104,32	103,31	1,0097	8546,40	2150	185,3	21,7	R	Re	7-mag-18
2069/18-6	104,37	103,34	1,0100	8555,96	2230	263,6	30,8	R	Re	7-mag-18

**Sigla accettazione:** sigla interna del Laboratorio  
**Sigla sul campione:** sigla all'atto della consegna al Laboratorio  
**Modalità rottura:** R = regolare Ai = anomala (per il valore di "i" cfr. fig. 4 della UNI EN 12390-3:2009)  
**NOTA:** n.d. = dato non dichiarato; n.r. = dato non rilevato

**Rettifica:** Rc = cappaggio con miscela sabbia-solfuri; Rm = molatura con mola ad acqua; Tg = taglio con sega ad acqua; No = provino non rettificato perché conforme alla norma  
**Armatura provino:** (x): distanza dal centro; (z), (w): distanza misurata dall'estremità corrispondente alla superficie esterna del campione  
**NOTA:** A - posizione al ricevimento; B - posizione dopo la lavorazione

Figura 30 - Estratto parziale del rapporto di prova a schiacciamento delle carote di CALCESTRUZZO

ESITI DELLE PROVE										
Sigla accettazione	Trazione							Piegamento		Data Prova
	Dimensioni		Carichi totali		Carichi unitari		ft/fy	Allung. A <sub>5</sub> %	Diam. mandrino (mm)	Esito
	Ø <sub>eff</sub> (mm)		Snervamento (N)	Rottura (N)	f <sub>y</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )				
2069/18-1	12,36		27100	35000	225,82	291,65	1,29	28,9	--	NR

**Sigla accettazione:** sigla interna del Laboratorio  
**Sigla sul campione:** sigla all'atto della consegna al Laboratorio  
**Ø<sub>nom</sub>:** diametro nominale provino; **Ø<sub>eff</sub>:** diametro della barra equipesante

**f<sub>y</sub>:** se lo snervamento non è chiaramente individuabile, si sostituisce f<sub>y</sub> con f<sub>y(0,2)</sub>  
**Esito:** C = cricche rilevate; SC = senza cricche; NR = piegamento non richiesto  
**NOTA:** n.d. = dato non dichiarato; n.r. = dato non rilevato

Figura 31 - Estratto del rapporto di prova a trazione e piegamento dell'ACCIAIO

## Capitolo 6 – Modellazione

Il seguente capitolo descrive i principi fondamentali che sono stati utilizzati per la modellazione del fabbricato.

Come detto in premessa, il fabbricato è costituito da un unico corpo di fabbrica disposto su livelli differenti, che solamente per una piccola porzione è su due piani. La struttura è interamente composta da travi e pilastri in calcestruzzo armato, tranne che sui tre lati interrati del seminterrato dove sono presenti setti portanti.

La ricostruzione della geometria del modello strutturale con il quale sono state condotte le analisi numeriche è frutto di un confronto tra le carpenterie originarie ed i rilievi effettuati in sito; l'intricata situazione dovuta alla presenza di piani sfalsati, ha reso il rilievo piuttosto complicato.

Alla fine della percorso di conoscenza, il fabbricato è stato rappresentato nel modo visualizzabile nelle seguenti immagini, dove si colgono in particolare la presenza e la disposizione dei setti in cemento armato.



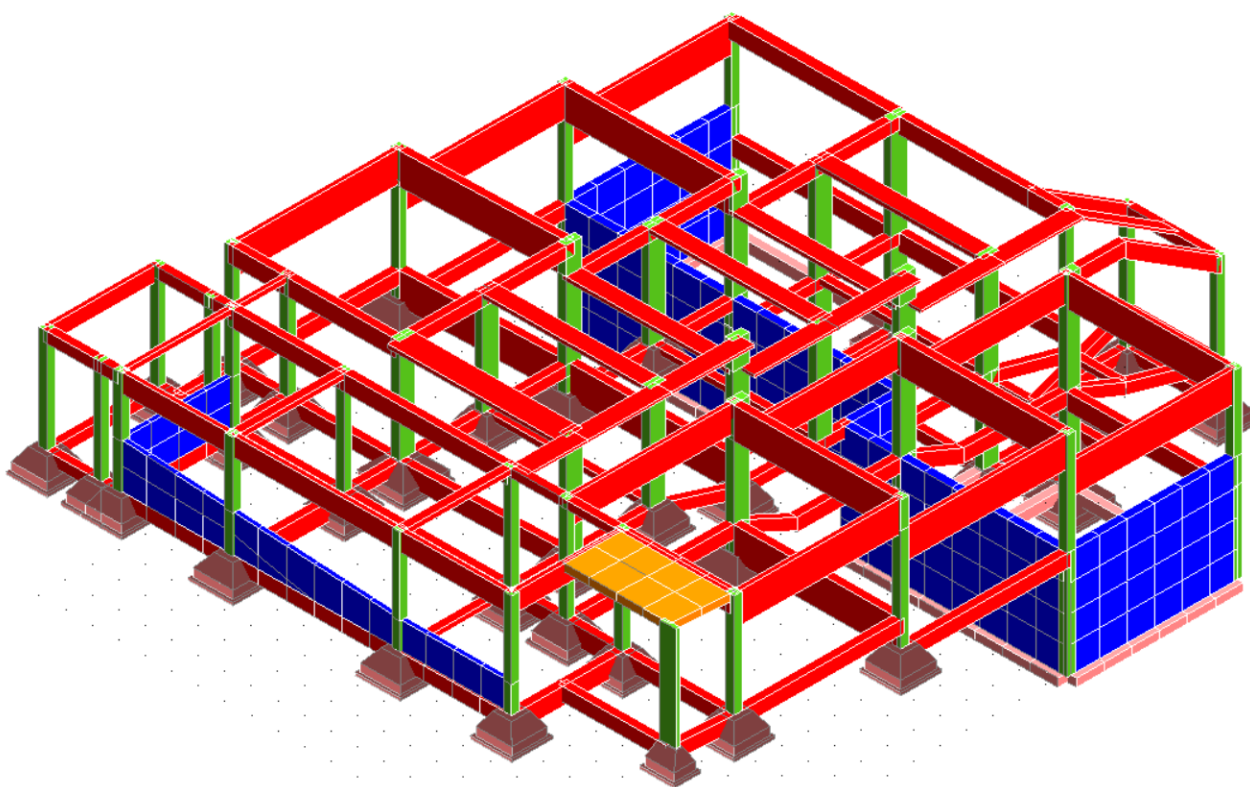


Figura 32 - Rappresentazione modello

La presenza dei setti nel piano interrato crea notoriamente dei problemi di modellazione non indifferenti, tali per cui è necessario procedere ad una serie di scelte di modello opportunamente tarate in ragione del tipo di analisi da condurre.

In particolare:

- 1) il modello non sarà studiato con l'analisi non lineare di tipo pushover. I setti in cemento armato non possono essere modellati come elementi non lineari nel caso di analisi pushover, quindi si è ritenuto opportuno non eseguirla;
- 2) nel modello con cui verrà condotta l'analisi statica ai carichi gravitazionali e in quello dove è stata eseguita l'analisi dinamica nodale, essi saranno considerati ai fini della risposta sismica del complesso edificio;
- 3) L'analisi dinamica effettuata è di tipo nodale, in quanto a causa della presenza di piani sfalsati, unitamente a porzioni di solaio prive di solai in latero cemento (si pensi al "taglio" generato dalla presenza della copertura in materiale plexiglass), non si riescono ad identificare dei veri e propri impalcati rigidi.

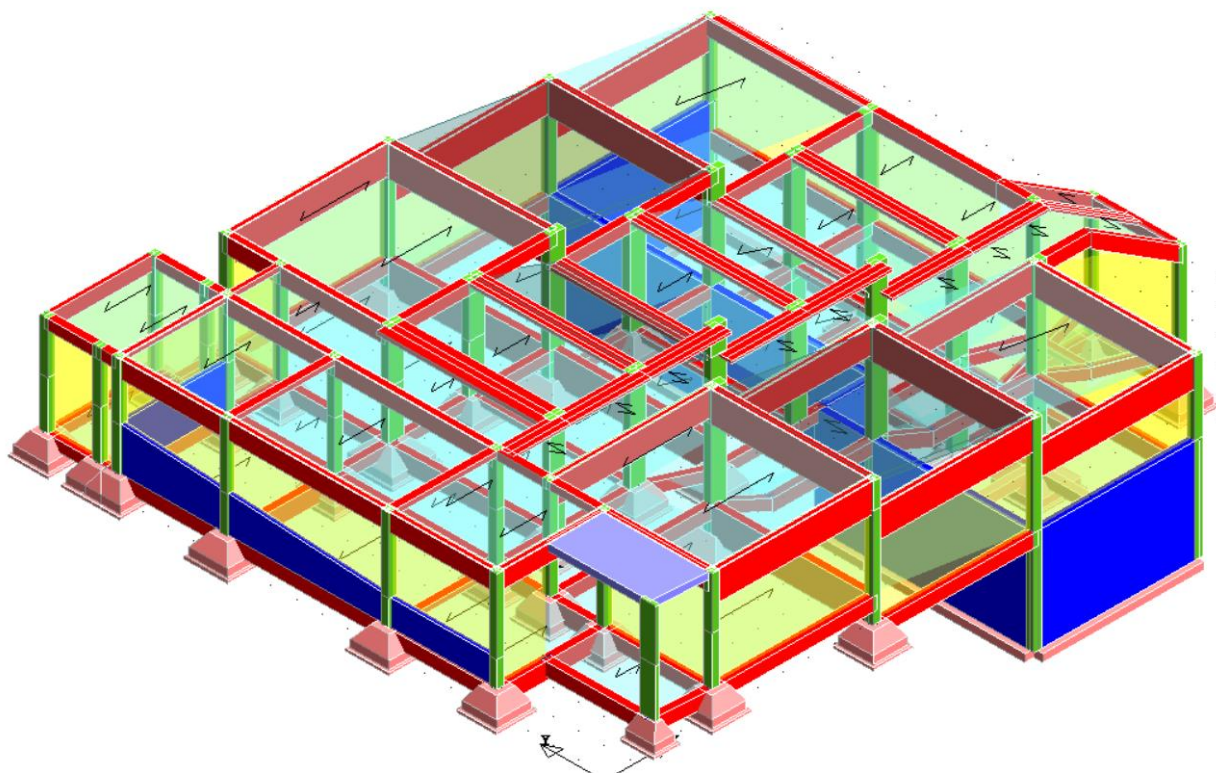


Figura 33 - modello per analisi non lineare

Nel modello sono state inserite le armature solamente negli elementi principali (pilastri e travi calate direttamente caricate dai solai), mentre le travi a spessore vengono sì modellate, ma la loro risposta in termini di contributo alla resistenza sismica viene trascurata.

Questa scelta di modellazione deriva dalla consapevolezza, sostenuta dalle evidenze dei danni da terremoto, che le travi a spessore giocano un ruolo principalmente nelle verifiche ai carichi gravitazionali, mentre in fase sismica influenzano principalmente il comportamento del diaframma (rendendolo più o meno flessibile nel proprio piano) e la rigidezza di piano (nei confronti della rigidezza dei pilastri).

I cordoli a spessore vengono modellati, ma col solo scopo di distribuire i carichi gravitazionali in modo più consono alla realtà.

L'architettura strutturale dell'edificio è tale da far ritenere assolutamente congrua l'ipotesi che il fabbricato sia una classica struttura a Travi Forti e Pilastri Debole (TF-PD), per cui è corretto controllare il comportamento delle travi finché queste rispondano correttamente alle funzioni di sostegno dei carichi gravitazionali, tuttavia in fase sismica è il pilastro che gioca un ruolo primario di notevole importanza.

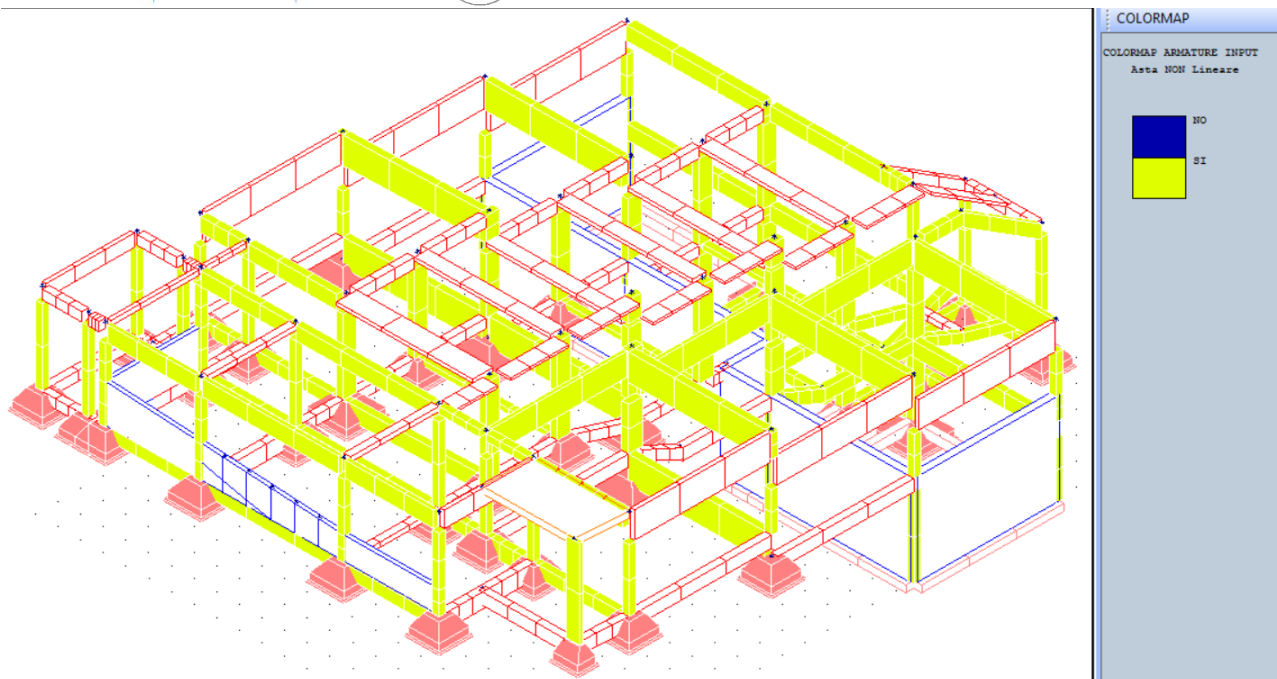


Figura 34 - Modello, evidenziazione degli elementi strutturali a comportamento NON LINEARE (in giallo)

Nella figura soprastante sono rappresentati gli elementi strutturali dove è stata modellata la cerniera plastica; di questi elementi si cercherà di capire se il bilanciamento tra armatura flessionale ed armatura a taglio è tale per cui il meccanismo di danno è duttile o è fragile, cioè se il problema principale è dovuto ad una carenza di staffatura oppure di armatura longitudinale.

Come è possibile constatare, nei cordoli di fondazione che non giocano un ruolo sismico, l'armatura non è stata nemmeno implementata, escludendo di fatto tali elementi dalla risposta non lineare del sistema.

Nel modellare le armature a taglio (staffe), si è tenuto conto del contributo dei ferri piegati; questi giocano un ruolo fondamentale nelle verifiche ai carichi gravitazionali perché proprio per queste sollecitazioni sono stati pensati, mentre sismicamente forniscono un loro contributo solo se il taglio per effetto del sisma non inverte la sua posizione.

In quel caso i piegati non “lavorano” e saranno esclusi (con attività di controllo post analisi) dalle verifiche.

Si specifica in questo paragrafo che il corpo della centrale termica è stato considerato unito al corpo principale; benchè questa piccola struttura costituisca di fatto un ampliamento addossato alla struttura principale fino a toccarla, la scelta di tenerlo separato, a meno di adeguare il giunto, appare del tutto inutile, per il fatto che la sua rigidità è davvero limitata rispetto a quella del corpo originario. In effetti la sua unione col corpo principale non porta scompensi di sorta ed il comportamento generale non ne risulta compromesso, né tantomeno infastidito.

In tutti i modi ci si riserva di decidere quali opere eseguire sulla centrale termica, in occasione di un futuro progetto di miglioramento/adequamento sismico.



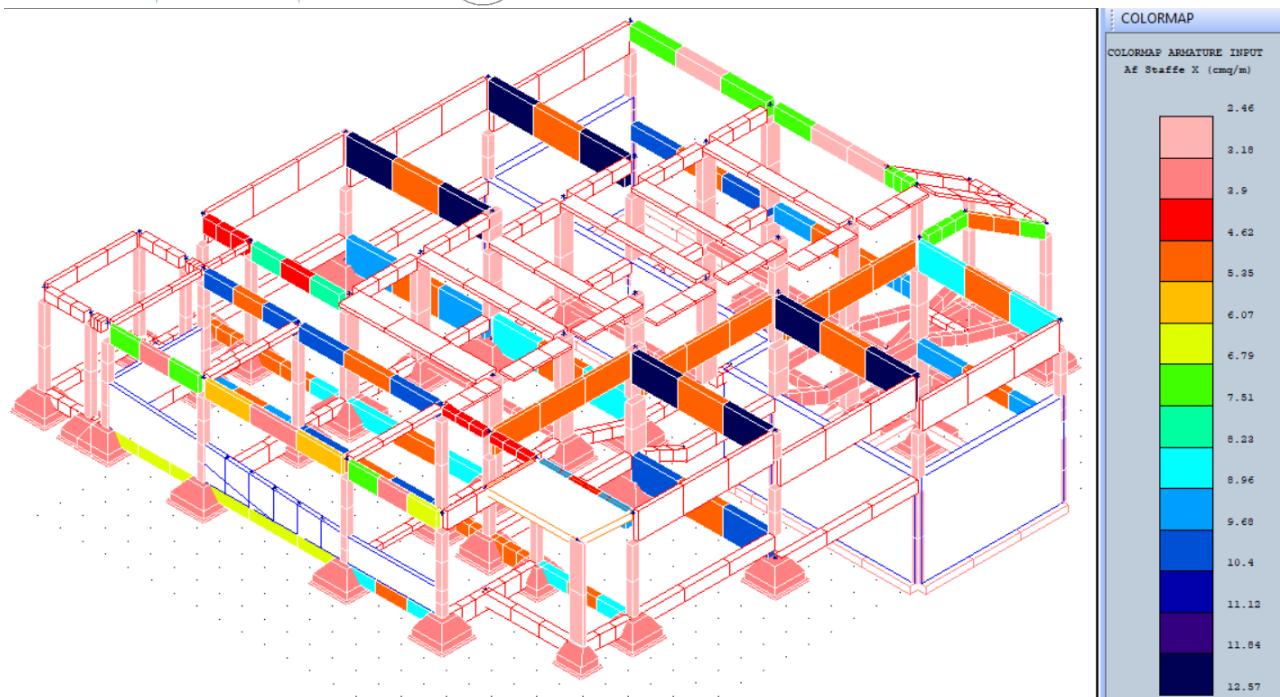


Figura 35 - Modello lineare, rappresentazione degli elementi armati

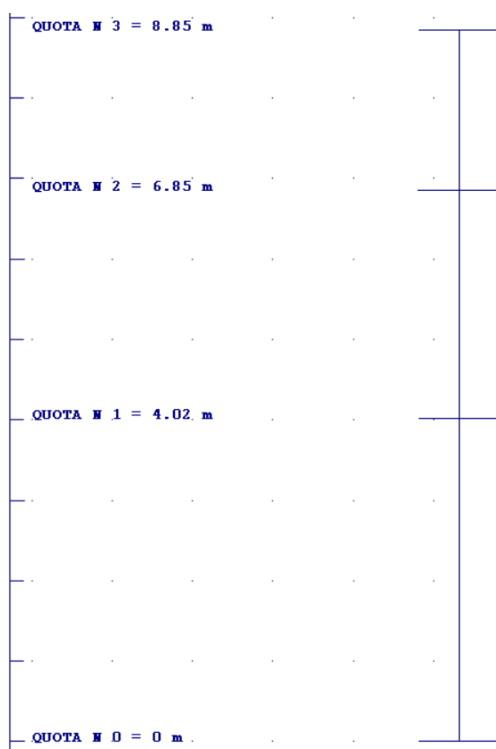


Figura 36 – Quote di modello

La presenza di piani sfalsati ha richiesto la modellazione di diverse quote e un successivo adeguamento dei livelli con la funzione quote nodi. Ognuna delle quote risulta interpiano, che poi ha permesso di eseguire la sola analisi dinamica NODALE. La struttura, mancando infatti di piani rigidi, non poteva essere analizzata con l'analisi dinamica lineare di tipo modale.

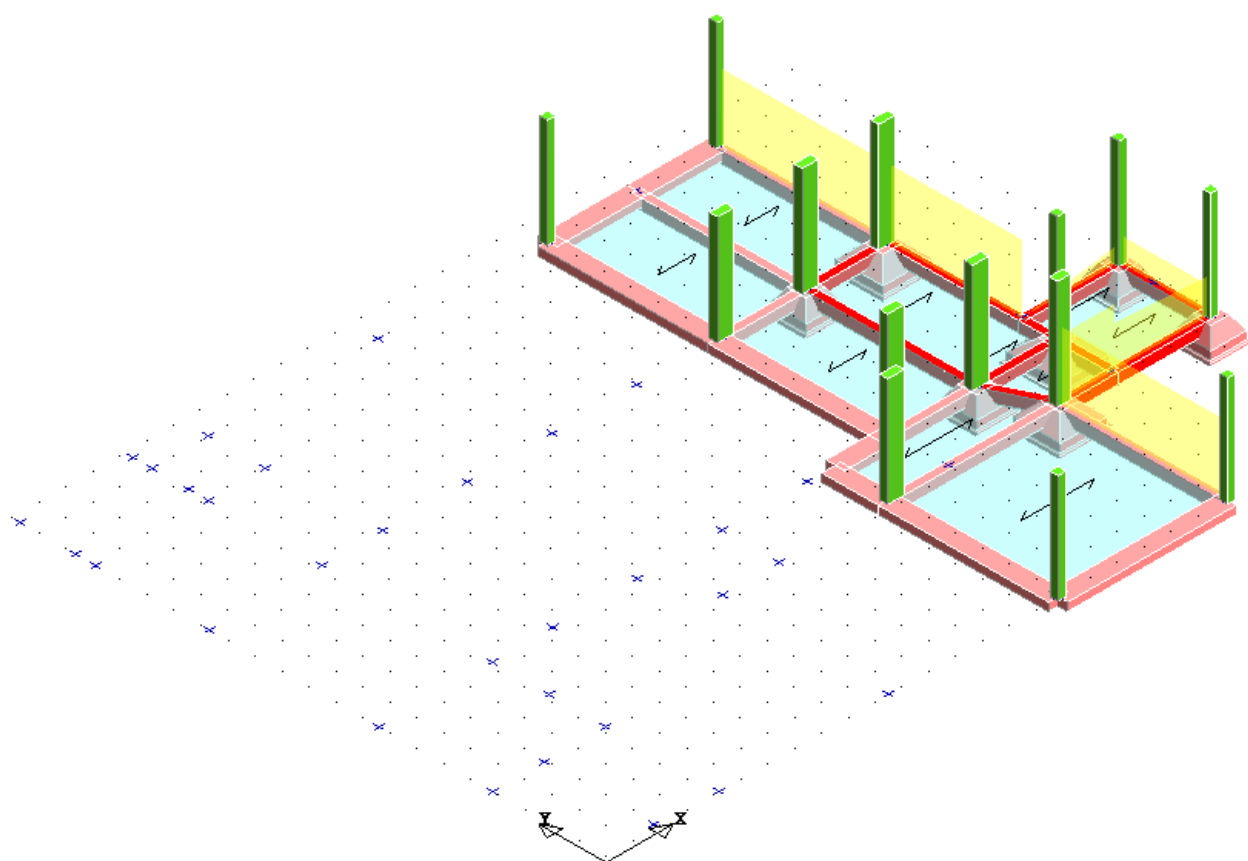


Figura 37 - Quota 0

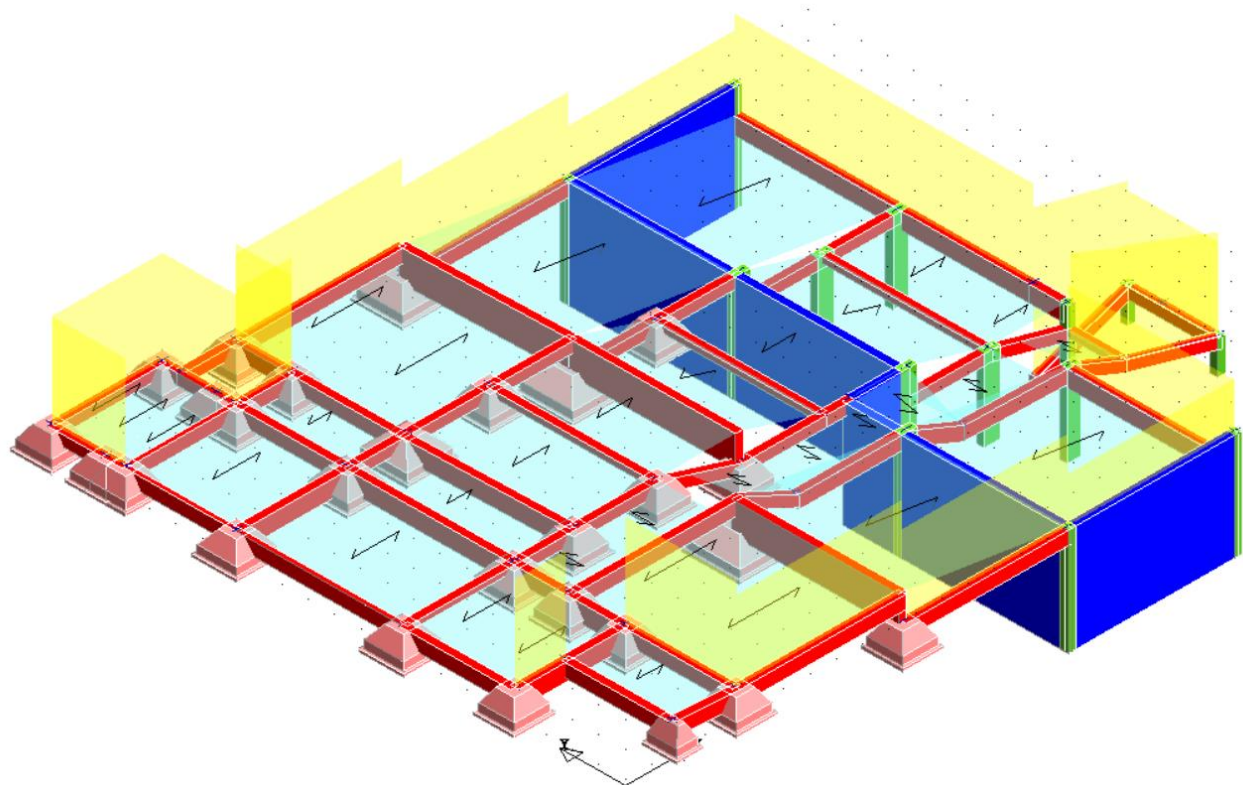


Figura 38 - Quota 1

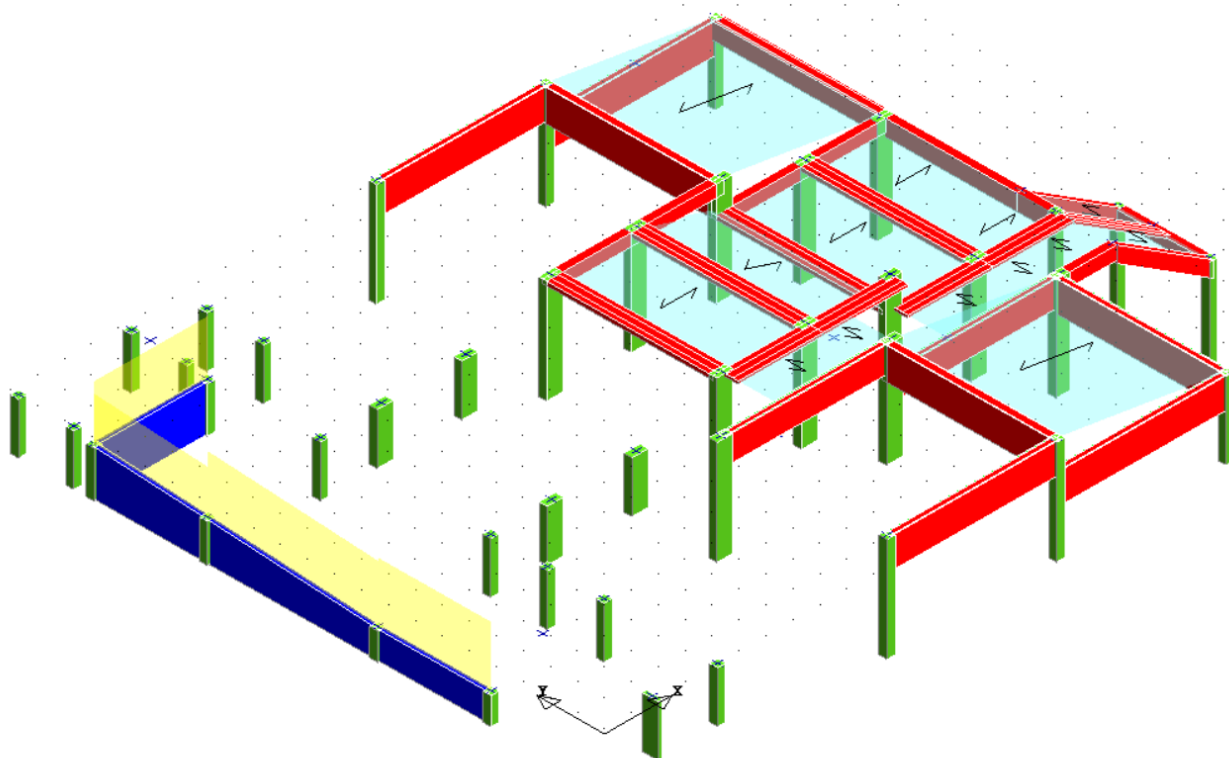


Figura 39 - Quota 2

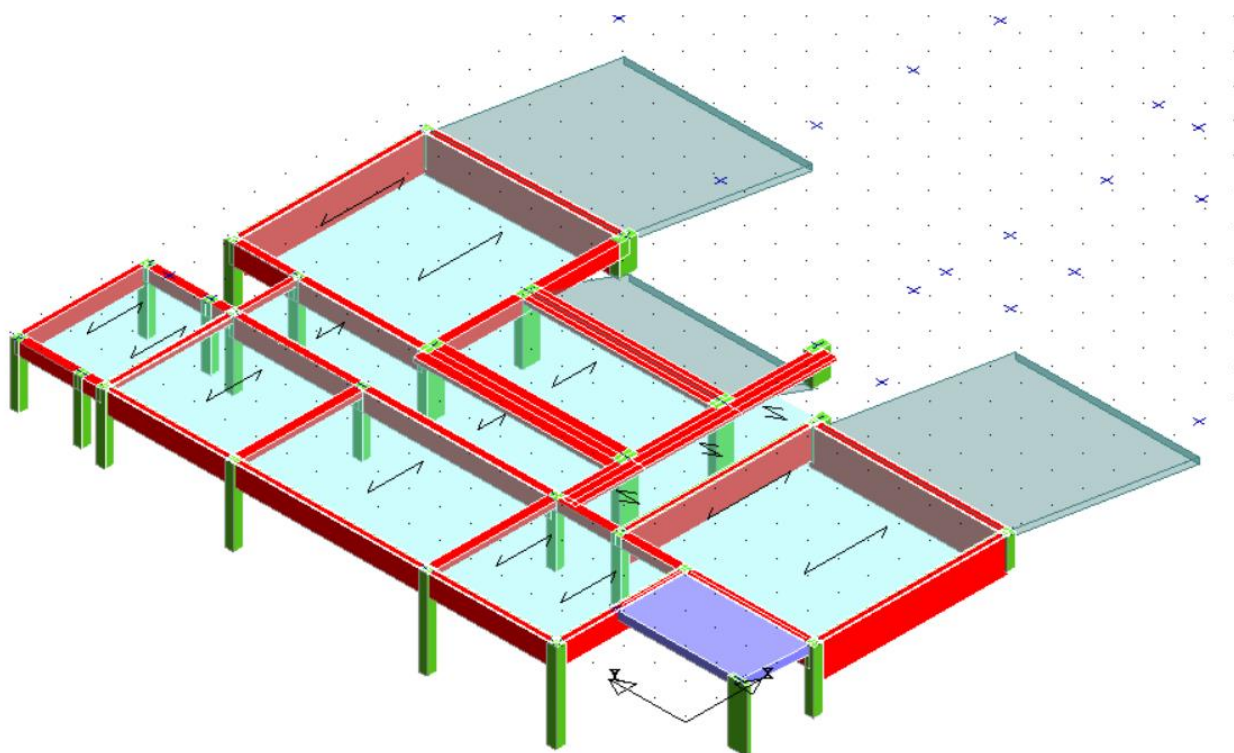


Figura 40 - Quota 3



Si rappresentano nelle figure seguenti le assegnazioni numeriche dei fili fissi che possono aiutare nella lettura degli output di calcolo.

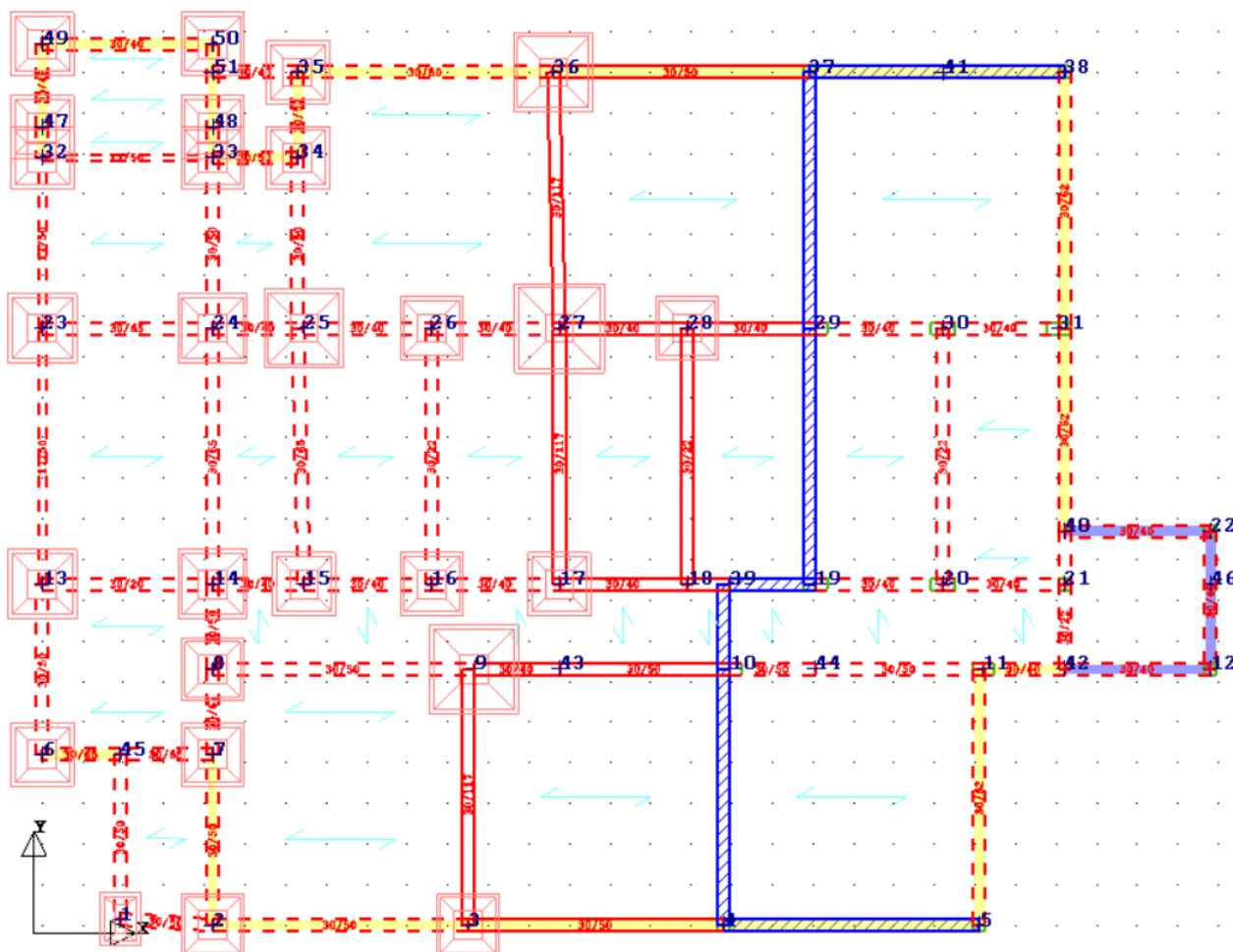


Figura 41 - Fili fissi

## Capitolo 7 – Caratterizzazione del materiale

La caratterizzazione dei materiali è stata effettuata a seguito di una campagna sperimentale iniziata nel mese di maggio 2018, che ha permesso di arrivare a definire la resistenza dei calcestruzzi del corpo originale e dell'ampliamento.

Il livello di conoscenza adottato è LC2, per cui si assume un Fattore di Confidenza  $FC=1,20$ .

L'assegnazione dei valori di calcolo è avvenuta dopo l'elaborazione dei dati provenienti dal laboratorio, dati che sono stati sottoposti anche ad un test di rigetto secondo il criterio di Chauvenet modificato in funzione del fatto che il numero di campionamenti è piuttosto ridotto.

In particolare dei 6 valori delle resistenze delle carote prelevate nel corpo originario, solo 4 sono stati utilizzati perché due (i più alti) sono risultati anomali e quindi sono stati scartati.

Per il corpo originario, i valori di resistenza meccanica utilizzati nelle analisi sono i seguenti:

CALCESTRUZZO TRAVI e PILASTRI Resistenza cilindrica a compressione	$f_{cm} = 11,70 \text{ N/mm}^2$
ACCIAIO Resistenza a snervamento	$f_{ym} = 271 \text{ N/mm}^2$

Per l'acciaio è stato eseguito un solo prelievo che, però, ha dato risultati molto scarsi.

In fase di progetto si suggerisce di eseguire ulteriore prove, per incrementare la campagna di indagine sia sui calcestruzzi che sulle barre metalliche.

Il valore sopra riportato per la  $f_{ym}$  è il frutto del risultato dalla prova sulle armature metalliche moltiplicato per 1,2, coefficiente che scaturisce dal livello di conoscenza del fabbricato. Tale strategia è stata adottata per utilizzare la resistenza dell'acciaio senza fattori di riduzione, visto che il valore del test di laboratorio (225 MPa) rappresenta di fatto un valore davvero scadente, rispetto ai valori che generalmente vengono campionati in sito.

## Capitolo 8 – Valutazione della sicurezza

La valutazione della vulnerabilità sismica dell'edificio viene eseguita in ottemperanza agli obblighi normativi sanciti dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 2003 che prescrive l'esecuzione delle verifiche tecniche per edifici di classe III e IV progettati con una normativa antecedente al Decreto Ministeriale 1984.

Lo stato limite nei confronti del quale viene eseguita la verifica è quello dello SLV (Salvaguardia della Vita), per il quale si richiede che il fabbricato abbia caratteristiche di resistenza e deformabilità tali per cui, se sottoposto all'azione sismica afferente lo stato limite indagato, esso, pur danneggiandosi, rimanga sufficientemente lontano da situazioni di collasso ed abbia ancora delle residue resistenze alle azioni orizzontali.

Nei confronti dei carichi verticali deve essere garantita la portanza almeno nei confronti dei carichi di esercizio.

Pur non essendo un obbligo normativo, si valuterà la verifica anche per lo Stato Limite di Danno, il cui esito può presentare un giudizio di previsione del danno agli elementi non strutturali quali tamponamenti e divisori.

## Capitolo 9 – Vita Nominale, Classe D'Uso e Periodo di Riferimento

La definizione dell'input sismico di progetto passa per la scelta di alcuni parametri di ingresso quali vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento; per il caso in questione si ha:

- $V_N = 50$  anni;
- $C_U = 1,5$  (classe III);
- $V_R = 75$  anni.

## Capitolo 10 – Azioni sulla costruzione

Le azioni che vengono considerate ai fini della valutazione della vulnerabilità sismica del fabbricato sono le seguenti:

- Pesì propri;
- Pesì permanenti;
- Incidenza dei divisori interni;
- Carico delle tamponature esterne;
- Carichi Variabili per ambienti di tipo affollato di cui alla cat. C (Cat. C1\_Scuole);
- Azione della neve.

Ai fini della determinazione dell'azione sismica non è necessario considerare l'effetto della variabilità spaziale del moto.

### 10.1 – Combinazione delle azioni

Le combinazioni di carico sismiche che sono utilizzate ai fini della valutazione della vulnerabilità sono quelle previste dal DM 2018 in relazione all'analisi eseguite.

Tenendo conto delle eccentricità di legge si eseguiranno 32 combinazioni di carico lineari quando si esegue l'analisi dinamica lineare.

Per quanto riguarda le azioni statiche, si fa riferimento, per la valutazione della vulnerabilità sismica, ad una combinazione di carico in cui i pesi propri strutturali e non strutturali sono presi con il loro valore nominale, mentre i carichi variabili vengono ridotti dai coefficienti di combinazione sismica (combinazione statica di base SLU); **attraverso questa procedura si riesce a verificare che gli elementi strutturali abbiano le risorse di resistenza minime previste per “sopportare” l'aliquota di carico statico che secondo normativa è presente in fase sismica.**

Infine viene eseguita una verifica ai carichi statici, per determinare l'indice di sicurezza nei confronti della combinazione SLU nuove costruzioni, ed anche una verifica ai carichi statici che, come previsto dalla Nuova Normativa Tecnica del 2018, possa portare ad eventuali restrizioni d'uso.

Nello specifico gli indici di sicurezza nei confronti delle ultime due combinazioni statiche si chiameranno:

- $I_{ST\_SLU}$
- $I_{ST\_RESTR.}$

Il primo indice di sicurezza ( $I_{ST\_SLU}$ ) non comporta, in caso di inadeguamento, particolari conseguenze se non quelle di valutare l'opportunità di eseguire eventuali interventi di consolidamento ai carichi gravitazionali che possano consentire l'adeguamento STATICO, non quello sismico.

Pur se è vero che è accettabile per una struttura esistente non essere ADEGUATA STATICAMENTE, l'eventuale deficit non può comunque superare una certa soglia di tolleranza, stabilità dal secondo indice ( $I_{ST\_RESTR.}$ ), che se non soddisfatto può dar adito a particolari restrizioni d'uso del fabbricato.



## 10.2 – Analisi dei carichi

<i>Solaio di piano 16+5</i>			
<b>Peso proprio</b>	Solaio in latero cemento 16+5	<b>260</b>	<b>kg/mq</b>
<b>Carico permanente</b>	Pavimentazione	100	
	Incidenza tramezzi	120	
	<b>Totale car. permanente</b>	<b>220</b>	<b>kg/mq</b>
<b>Carico accidentale</b>	Destinazione: scuole (Cat. C1)	<b>300</b>	<b>kg/mq</b>

<i>Solaio copertura 16+5</i>			
<b>Peso proprio</b>	Solaio in latero cemento 16+5	<b>260</b>	<b>kg/mq</b>
<b>Carico permanente</b>	Massetto pendenze	195	kg/mq
	Impermeabilizzante	5	
	<b>Totale car. permanente</b>	<b>200</b>	<b>kg/mq</b>
<b>Carico accidentale</b>	Neve (q<1000m s.l.m.)	<b>120</b>	<b>kg/mq</b>
	Manutenzione (Cat. H1)	50	kg/mq

<i>Solaio copertura trasparente</i>			
<b>Peso proprio</b>	Struttura portante	<b>50</b>	<b>kg/mq</b>
<b>Carico permanente</b>	Manto di copertura	<b>100</b>	<b>kg/mq</b>
<b>Carico accidentale</b>	Neve (q<1000m s.l.m.)	<b>120</b>	<b>kg/mq</b>
	Manutenzione (Cat. H1)	50	kg/mq

<i>Solaio copertura pensilina di entrata</i>			
<b>Peso proprio</b>	Soletta in cemento armato sp. 28 cm	<b>700</b>	<b>kg/mq</b>
<b>Carico permanente</b>	Impermeabilizzazione	<b>20</b>	<b>kg/mq</b>
<b>Carico accidentale</b>	Neve (q<1000m s.l.m.)	<b>120</b>	<b>kg/mq</b>
	Manutenzione (Cat. H1)	50	kg/mq

<i>Solaio calpestio corridoio</i>			
<b>Peso proprio</b>	Soletta in cemento armato sp. 20 cm	<b>500</b>	<b>kg/mq</b>
<b>Carico permanente</b>	Pavimentazione	100	
	Incidenza tramezzi	120	
	<b>Totale car. permanente</b>	<b>220</b>	<b>kg/mq</b>
<b>Carico accidentale</b>	Destinazione: ambienti affollati (Cat. C2)	<b>400</b>	<b>kg/mq</b>

Tamponature esterne			
<b>Peso proprio</b>	Muratura a cassetta	<b>226</b>	<b>kg/mq</b>
<b>Carico permanente</b>		<b>54</b>	

### 10.3 - Determinazione dell'azione sismica

Attraverso una procedura implementata all'interno del software di calcolo, di cui è stata più volte controllata l'affidabilità, è possibile ricostruire gli spettri di progetto ed i relativi parametri di pericolosità sismica per la zona in esame.

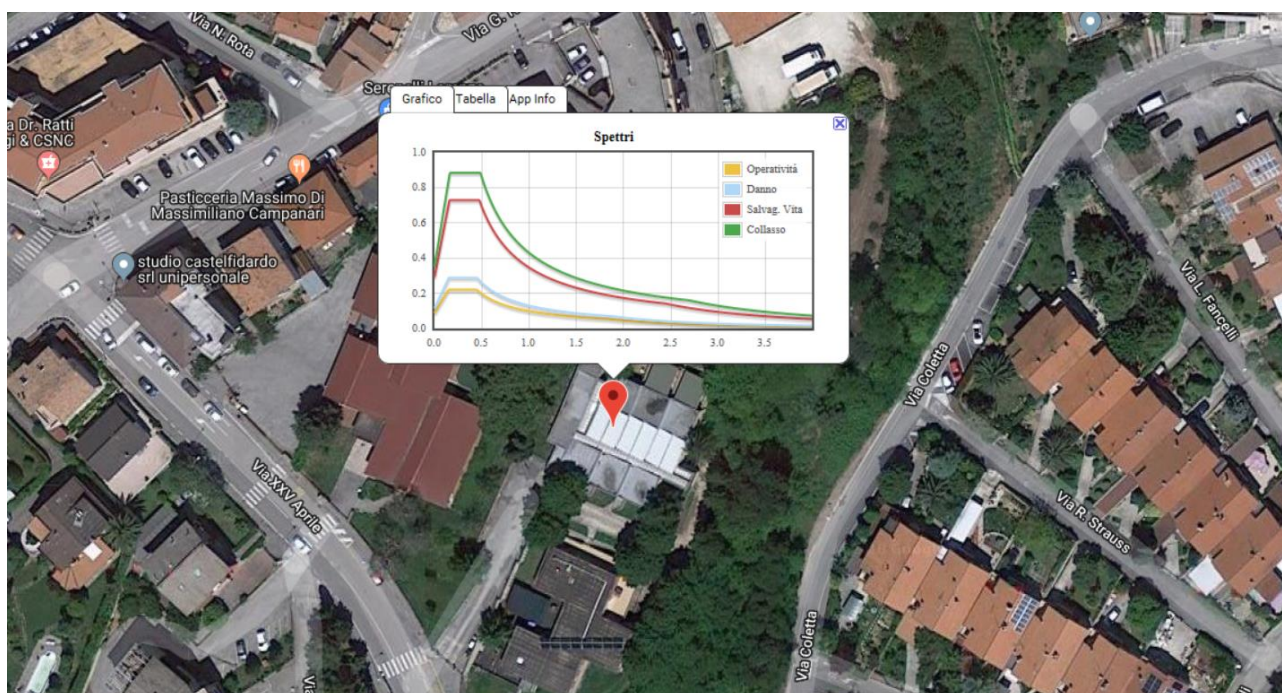


Figura 42 - Localizzazione edifici e determinazione degli spettri

PARAMETRI SISMICI	
Vita Nominale	>=50 Anni
Classe d'Uso	III
Caratteristiche Sito	
Longitud. Est	13.55759
Latitud. Nord	43.4706
Categ. Suolo	C
Coeff. Topogr	1

Figura 43 - Parametri sismici

STATI LIMITE SISMICI	
Attivo	SI
Pvr	0.1
Tr	712
-----	
Ag/g	0.21
Fo	2.499164
T*c	0.3062738
Fv	1.549646
-----	
TB	0.1584024
TC	0.4752071
TD	2.443856
Ss	1.38366
Spost.Rel	0.025 h

Figura 44 -Parametri SLV

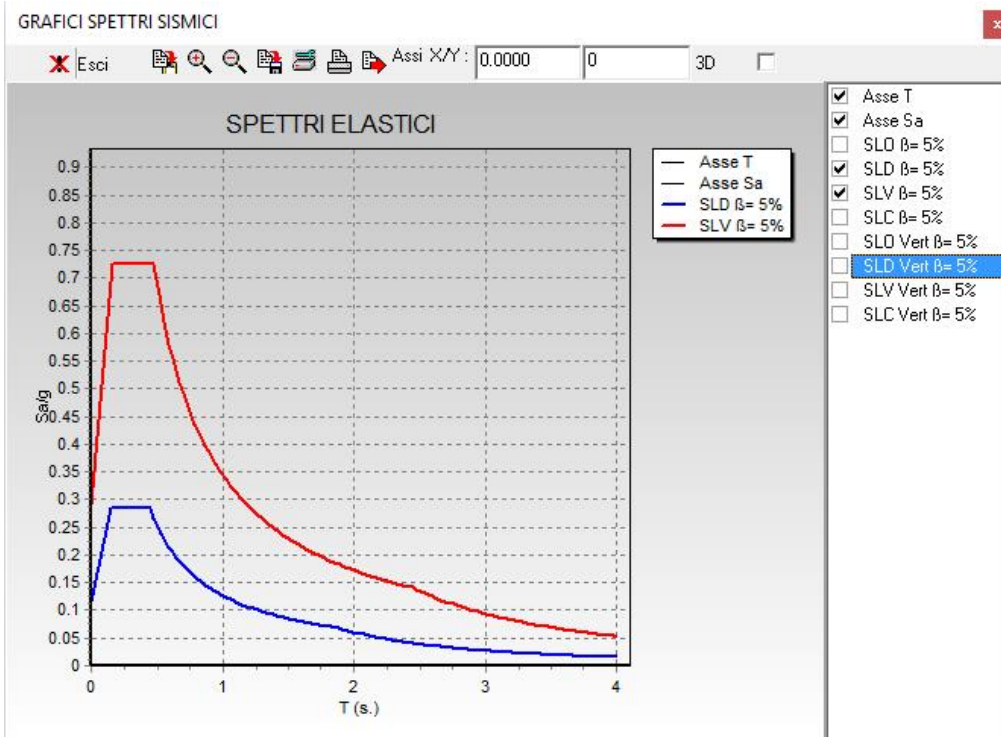


Figura 45 - Spettro elastico SLV

## 10.4 – Determinazione del carico da neve

Il valore caratteristico della neve al suolo viene determinato in funzione dell'altezza s.l.m. del comune di Castelferretti, che risulta essere 18 m s.l.m.

Poiché CASTELFIDARDO è collocata in Zona I – Mediterranea, si ottiene:

$$q_{sk} = 150 \text{ kg/m}^2$$

Presi unitari il coefficiente termico e di esposizione, il coefficiente di forma è pari a 0,8 sia per la copertura dell'edificio in muratura, sia per le coperture degli ampliamenti in c.a. in quanto l'inclinazione  $0 \leq \alpha \leq 30^\circ$ , per cui il carico di neve definitivo è pari a  $0,8 \times 150 = 120 \text{ Kg/m}^2$ .

## 11 – Analisi di regolarità

### Regolarità in pianta

- a) *la configurazione in pianta è compatta e approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali, in relazione alla distribuzione di masse e rigidezze?*

**NO**, in quanto la distribuzione in pianta degli elementi strutturali non è simmetrica rispetto la direzione X. Inoltre, in base a quanto indicato dall'Eurocodice, una struttura può essere considerata regolare se, al massimo, il baricentro di rigidezza dista da quello delle masse di una quantità pari al 5% della direzione considerata. Dunque:  $DX_{\max} = 29,10 \times 0,05 \approx 1,455 \text{ m}$   $DY_{\max} = 21,305 \times 0,05 \approx 1,065 \text{ m}$ . Eseguendo la differenza delle coordinate dei baricentri di tutti i livelli, riportati in tabella, si osserva come questa regola non sia rispettata, sia in direzione X, sia in Y, nella totalità dei livelli.

## BARICENTRI MASSE E RIGIDEZZE

IDENTIFICATORE		BARICENTRI MASSE E RIGIDEZZE						RIGIDEZZE FLESSIONALI E TORSIONALI						
PIANO N.ro	QUOTA (m)	PESO (t)	XG (m)	YG (m)	XR (m)	YR (m)	DX (m)	DY (m)	Spinta (m)	Bpinta (m)	Rig.Flex (t/m)	Rig.FlexY (t/m)	RigTors. (t*m)	r / ls
1	3.466	293.04	20.20	10.50	17.35	159.02	-1.2833	-1.2200	21.00	1.0000	462110	553339	290321	0.669
2	6.899	81.74	17.90	11.14	0.963	3.866	-1.2833	-1.2200	21.00	1.0000	462110	553339	290321	0.669
3	8.899	294.73	7.67	11.16	4.17	3.866	-1.2833	-1.2200	21.70	1.0000	333471	116816	498702	0.366

- b) *il rapporto tra i lati di un rettangolo in cui la costruzione risulta inscritta è inferiore a 4?*  
**SI**, la pianta del rettangolo in cui l'edificio è inscrivibile è di dimensioni 29,10m x 21,305m. Il rapporto tra i lati, dunque, è pari a  $29,10/21,305 = 1,36 < 4$ .
- c) *nessuna dimensione di eventuali rientri o sporgenze supera il 25 % della dimensione totale della costruzione nella corrispondente direzione?*  
**NO**, vi sono rientri o sporgenze.
- d) *gli orizzontamenti possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano rispetto agli elementi verticali e sufficientemente resistenti?*  
**NO**, non tutti i solai possono esseri considerati rigidi. Quelli in latero-cemento hanno una rigidezza tale da essere considerati rigidi, mentre la copertura del corridoi trasparente no.

L'edificio si può considerare **NON REGOLARE IN PIANTA.**

### Regolarità in altezza

- e) *tutti i sistemi resistenti verticali (quali telai e pareti) si estendono per tutta l'altezza della costruzione?*  
**NO**, in quanto l'edificio si sviluppa su livelli differenti.
- f) *massa e rigidezza rimangono costanti o variano gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base alla sommità della costruzione (le variazioni di massa da un orizzontamento all'altro non superano il 25 %, la rigidezza non si riduce da un orizzontamento a quello sovrastante più del 30% e non aumenta più del 10%)? (Ai fini della rigidezza si possono considerare regolari in altezza strutture dotate di pareti o nuclei in c.a. o pareti e nuclei in muratura di sezione costante sull'altezza o di telai controventati in acciaio, ai quali sia affidato almeno il 50% dell'azione sismica alla base).*  
**NO**, difatti il corpo dell'edificio si sviluppa su piani differenti e a livelli differenti; ciò permette di affermare che nei vari livelli la massa e la rigidezza subiscono notevoli variazioni.
- g) **NON APPLICABILE**
- h) *eventuali restringimenti della sezione orizzontale della costruzione avvengono in modo graduale da un orizzontamento al successivo, rispettando i seguenti limiti: ad ogni orizzontamento il rientro non supera il 30% della dimensione corrispondente al primo orizzontamento, né il 20% della dimensione corrispondente all'orizzontamento*



*immediatamente sottostante. Fa eccezione l'ultimo orizzontamento di costruzioni di almeno quattro piani per il quale non sono previste limitazioni di restringimento.*

**NO**, difatti vi è un restringimento importante della sezione orizzontale della costruzione dal momento che il corpo non ha un andamento regolare e si sviluppa su piani differenti.

L'edificio si può considerare **NON REGOLARE IN ALTEZZA.**

## 12 – Valutazione dell'idoneità statica finalizzata all'analisi sismica

Preliminarmente all'analisi sismica è buona norma controllare le condizioni di sicurezza della struttura durante il suo servizio; per far ciò si sottopone la struttura ad un'analisi di tipo statico con combinazione di carico che prevede i pesi propri e i carichi permanenti nel loro valore nominale e i carichi accidentali moltiplicati per il valore  $\psi_{2j}$  (tab. 2.5.I delle NTC 2008).

1. PESO PROPRIO	1.0
2. SOVRACCARICO PERMAN.	1.0
3. Var.Amb.affol.	.6
4. Var.Coperture	0.0

Figura 46 - Combinazione di carico utilizzata per l'analisi statica finalizzata all'analisi sismica

Sotto questa combinazione si controlla che gli elementi strutturali soddisfino le sollecitazioni di taglio indotte dai carichi gravitazionali e si valuta se il regime di tensione a cui sono sottoposti i pilastri supera o meno il limite della normativa imposto dalla verifica agli SLE, afferente la combinazione quasi permanente, coincidente tra l'altro con quella sopra tabellata.

Il controllo dei meccanismi di taglio è fondamentale, perché l'eventuale insorgenza di essi sotto questa combinazione di carico, segnalerebbe delle carenze ai carichi statici che potrebbero indicare delle fragilità da dover sanare in modo urgente.

Meno importanti sono invece eventuali deficit di armatura a flessione, che infatti in questa specifica verifica non vengono analizzati; d'altronde è la stessa normativa che chiede di curare con maggior attenzione i meccanismi fragili il cui insorgere, anche in pochi elementi, può far superare stati limite significativi, mentre generalmente i meccanismi flessionali per generare una situazione limite devono essere diffusi in modo piuttosto generalizzato nella struttura.

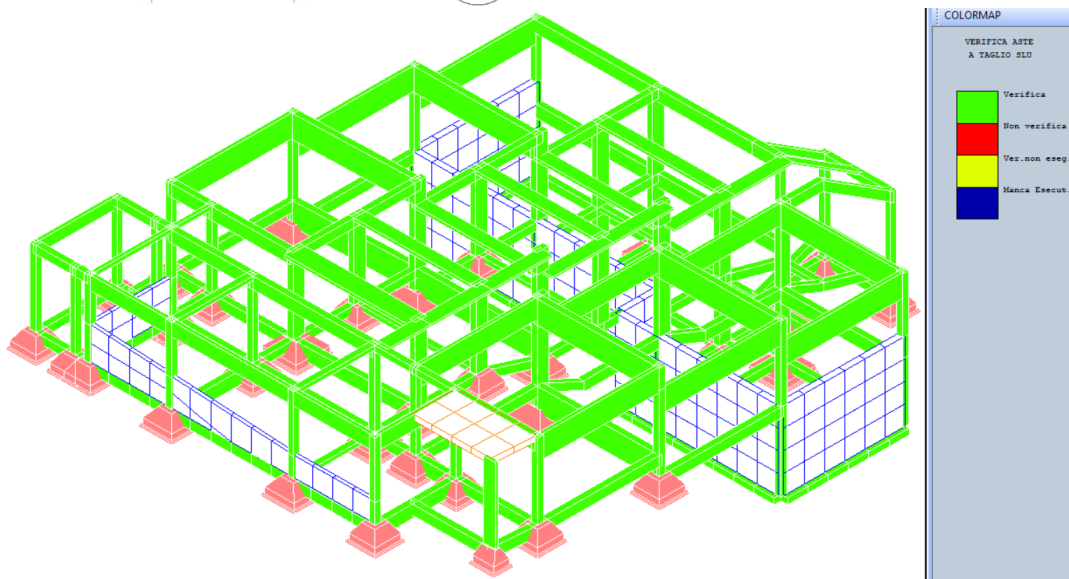


Figura 47 - Verifica a TAGLIO Statica di Base

Come si può notare nella figura soprastante, tutti gli elementi strutturali principali verificano; la struttura possiede dunque sufficienti risorse di resistenza, sotto i carichi d'esercizio.

Nella figura seguente è invece riportata la verifica allo SLE in cui si evidenziano in rosso gli elementi il cui stato tensionale supera il limite imposto dalle NTC2018 per le nuove costruzioni.

Essendo appunto questo un controllo obbligatorio per i soli nuovi edifici, non possiamo considerare il mancato soddisfacimento delle verifiche come una condizione per cui occorre prendere provvedimenti particolari, tuttavia dobbiamo coglierne i "messaggi", in modo da tenerne conto per pesare le verifiche sismiche successive.

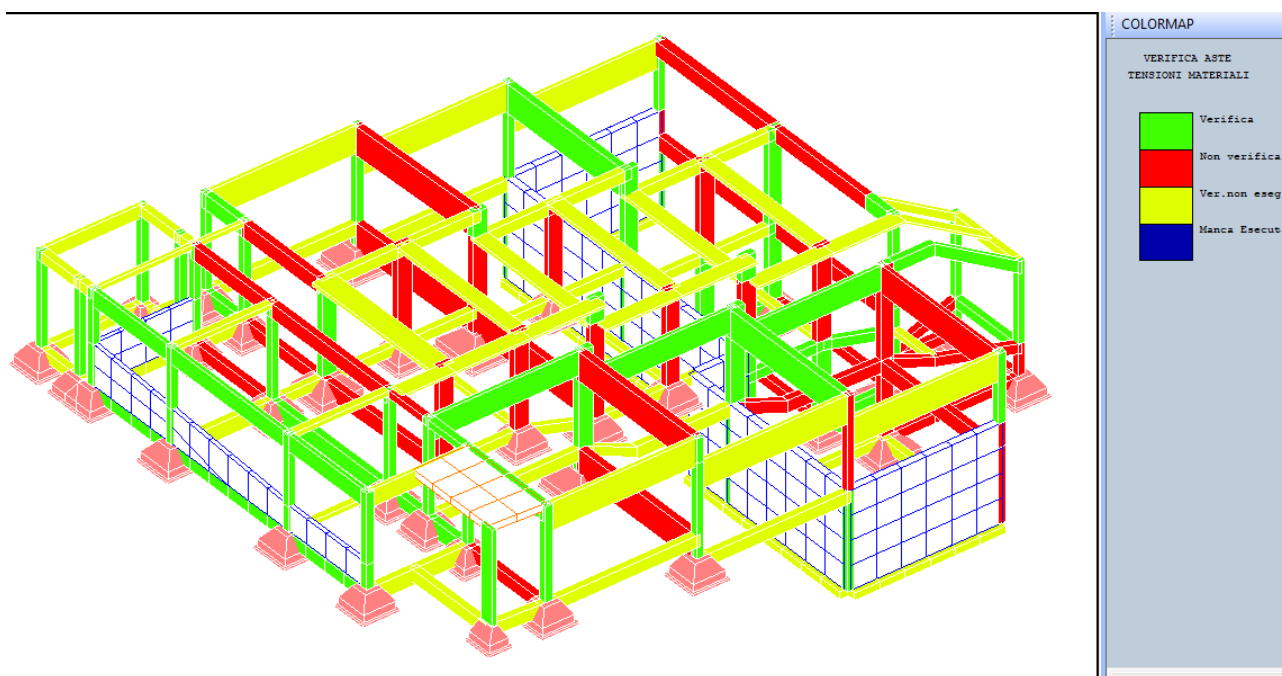


Figura 48 - Verifica Sigma allo SLE

Concentrandoci principalmente sui pilastri (elementi sismicamente più significativi), si osserva che molti degli elementi verticali non verificano; occorre ricordare che il senso della presente verifica è

quello di controllare che sotto la combinazione di carico prevista, lo stato tensionale di cls ed armatura, non superi una certa soglia. Se questa soglia viene superata, la conseguenza è quella di avere un elemento che per effetto di uno stato tensionale di partenza dovuto alle sollecitazioni statiche, possa avere un comportamento poco duttile in fase sismica.

In sostanza, sintetizzando gli esiti delle due verifiche statiche appena proposte, gli elementi evidenziati in rosso **hanno sufficienti capacità resistenti nelle condizioni d'esercizio**, ma sono caratterizzati da uno stato di tensione che ne penalizza le capacità in fase sismica.

Quanto pesa questo limite lo si potrà apprezzare nelle analisi sismiche eseguite più avanti.

## 13 – Idoneità statica dei solai

Allo stato attuale i solai non mostrano segni di degrado o quadri fessurativi.

È stata dapprima eseguita la verifica statica dei solai combinando i carichi definiti nel Paragrafo 4.2.3 secondo la combinazione statica allo SLU per le nuove costruzioni (STEP 1°):

$$q = \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Qualora questa non risulti soddisfatta, la verifica viene rieseguita utilizzando la stessa combinazione, ma riducendo i coefficienti dei carichi variabili fino a che il solaio non verifica (STEP 2°):

La verifica a flessione viene effettuata nella mezzera dei travetti, dove il momento sollecitante viene calcolato considerando uno schema statico intermedio fra una trave semplicemente appoggiata e una trave doppiamente incastrata, quindi:

$$M_{Ed} = \frac{qL^2}{10}$$

Dove “L”, luce del solaio massima, viene presa nei casi peggiori per le differenti tipologie di solaio.

Il momento resistente viene calcolato avvalendosi del programma V.C.A. S.L.U. vers. 7.7 sviluppato dal Prof. Piero Gelfi, inserendo le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo e dell'acciaio definite al riguardante le analisi sui materiali.

### 5.3.6.1 – Verifica solai di Luce 6,00 m 16+5 – piano terra

Armatura: 2Φ12

STEP 1° - combinazione ST\_SLU nuove costruzioni

<b>COEFFICIENTI SLU</b>	
<b>CARICHI PERMANENTI</b>	1.1
<b>CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI</b>	1.1
<b>CARICHI VARIABILI</b>	1.5

## SOLAIO PIANO TERRA L=6,00 m

Q (kN/m <sup>2</sup> )	9,01	L (m)	6,00
i (m)	0,33	M <sub>ed</sub> (kNm)	10,69
q (kN/m)	2,97		

Verifica C.A. S.L.U. - File: soalio 18+4

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO : SOLAIO 18+4

N° figure elementari 2 Zoom N° strati barre 1 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	33	5
2	8	16

N°	As [cm²]	d [cm]
1	2.26	19

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

Sollecitazioni  
 S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 10.69 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 kNm

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

Tipo rottura  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione  
☒ Retta ☐ Deviato

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

☐ Precompresso

Materiali

Fornaci

ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 196.4 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200.000 N/mm² f<sub>cd</sub> 6.63 ‰  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
 ε<sub>syd</sub> 0.982 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 5.773  
 σ<sub>s,adm</sub> 0 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.3879  
 τ<sub>c1</sub> 1.374

M<sub>xRd</sub> 7.97 kNm  
 σ<sub>c</sub> -6.63 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 196.4 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 23.07 ‰  
 d 19 cm  
 x 2.503 x/d 0.1317  
 δ 0.7

SOLAIO 18+4

M [kNm]

N [kN]

M-NRd

M-NEd

Sollecitazioni

N	N [kN]	M [kNm]
1	0	10.69

Aggiunge

Valori

Iniziali punti

$$M_{Ed} = 10,69 \text{ kNm} > M_{Rd} = 7,97 \text{ kNm}$$

La verifica NON è soddisfatta.



STEP 2° - combinazione ST\_SLU nuove costruzioni con diminuzione coefficienti carichi variabili

<b>COEFFICIENTI SLU</b>	
<b>CARICHI PERMANENTI</b>	1.1
<b>CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI</b>	1.1
<b>CARICHI VARIABILI</b>	0.7

<b>SOLAIO PIANO TERRA L=6,00 m</b>			
Q (kN/m <sup>2</sup> )	6,61	L (m)	6,00
i (m)	0,33	M <sub>ed</sub> (kNm)	7,84
q (kN/m)	2,18		

Verifica C.A. S.L.U. - File: soalio 18+4

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo:** SOLAIO 18+4

N° figure elementari: 2 Zoom N° strati barre: 1 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	33	5
2	8	16

N°	As [cm²]	d [cm]
1	2.26	19

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

N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 7.84 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

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

**Tipo rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
Fornaci Fornaci

ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 196.4 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
E<sub>s</sub> 200,000 N/mm² f<sub>cd</sub> 6.63 ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8 ?  
ε<sub>syd</sub> 0.982 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 5.773 ‰  
σ<sub>s,adm</sub> 0 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.3879 ‰  
τ<sub>c1</sub> 1.374 ‰

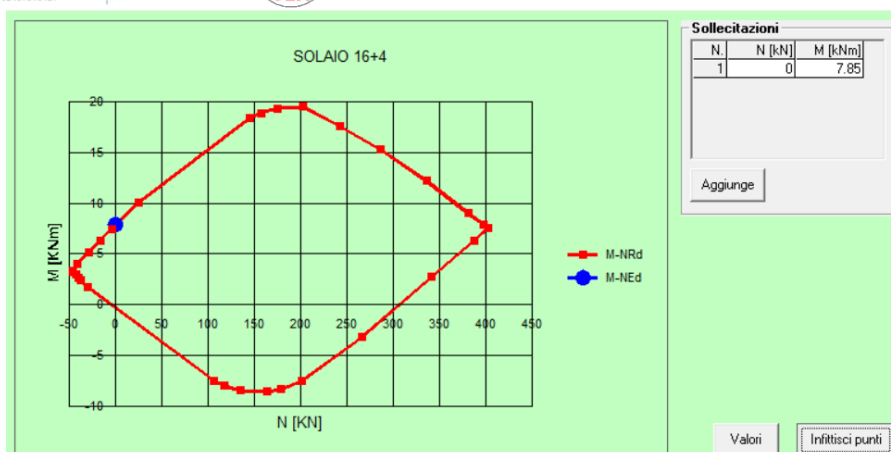
M<sub>xRd</sub> 7.97 kN m  
σ<sub>c</sub> -6.63 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 196.4 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub> 23.07 ‰  
d 19 cm  
x 2.503 x/d 0.1317  
δ 0.7

**Tipo Sezione**  
Rettan.re Trapezi  
a T Circolare  
Rettangoli Coord.

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

**Tipo flessione**  
Retta Deviata

N° rett. 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
Precompresso



$$M_{Ed} = 7,84 \text{ kNm} < M_{Rd} = 7,97 \text{ kNm}$$

La verifica è soddisfatta.

$$\text{In sostanza } \text{IST\_SLU} = 0,7 / 1,5 = 0,466$$

Il solaio del piano terra deve dunque essere soggetto a restrizioni d'uso, almeno nelle specchiature con luce di solaio superiore a 3,50 mt; in particolare in queste zone il sovraccarico variabile non può superare il valore di  $300 \times 0,7 / 1,5 = 140 \text{ Kg/m}^2$ .

### 5.3.6.2 - Verifica solai di Luce 6,00 m 16+5- copertura

Armatura: 1Φ10 + 1Φ12

STEP 1° - combinazione ST\_SLU nuove costruzioni

<b>COEFFICIENTI SLU</b>	
<b>CARICHI PERMANENTI</b>	1.1
<b>CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI</b>	1.1
<b>CARICHI VARIABILI</b>	1.5

<b>SOLAIO COPERTURA L=6,00 m</b>			
Q (kN/m <sup>2</sup> )	7,61	L (m)	6,00
i (m)	0,33	M <sub>ed</sub> (kNm)	9,04
q (kN/m)	2,51		

Verifica C.A. S.L.U. - File: soalio 18+4

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo :** SOLAIO 16+5 copertura

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	33	5
2	8	16

N°	As [cm²]	d [cm]
1	1.13	19
2	0.79	19

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

N<sub>Ed</sub>  kN  
M<sub>xEd</sub>  kNm  
M<sub>yEd</sub>  kNm

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

**Tipo rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

Fornaci		Fornaci	
ε <sub>su</sub>	<input type="text" value="67.5"/> ‰	ε <sub>c2</sub>	<input type="text" value="2"/> ‰
f <sub>yd</sub>	<input type="text" value="196.4"/> N/mm²	ε <sub>cu</sub>	<input type="text" value="3.5"/> ‰
E <sub>s</sub>	<input type="text" value="200,000"/> N/mm²	f <sub>cd</sub>	<input type="text" value="6.63"/> N/mm²
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub>	<input type="text" value="15"/>	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub>	<input type="text" value="0.8"/> ?
ε <sub>syd</sub>	<input type="text" value="0.982"/> ‰	σ <sub>c,adm</sub>	<input type="text" value="5.773"/> N/mm²
σ <sub>s,adm</sub>	<input type="text" value="0"/> N/mm²	τ <sub>co</sub>	<input type="text" value="0.3879"/>
		τ <sub>c1</sub>	<input type="text" value="1.374"/>

M<sub>xRd</sub>  kN m

σ<sub>c</sub>  N/mm²  
σ<sub>s</sub>  N/mm²  
ε<sub>c</sub>  ‰  
ε<sub>s</sub>  ‰  
d  cm  
x  x/d   
δ

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

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

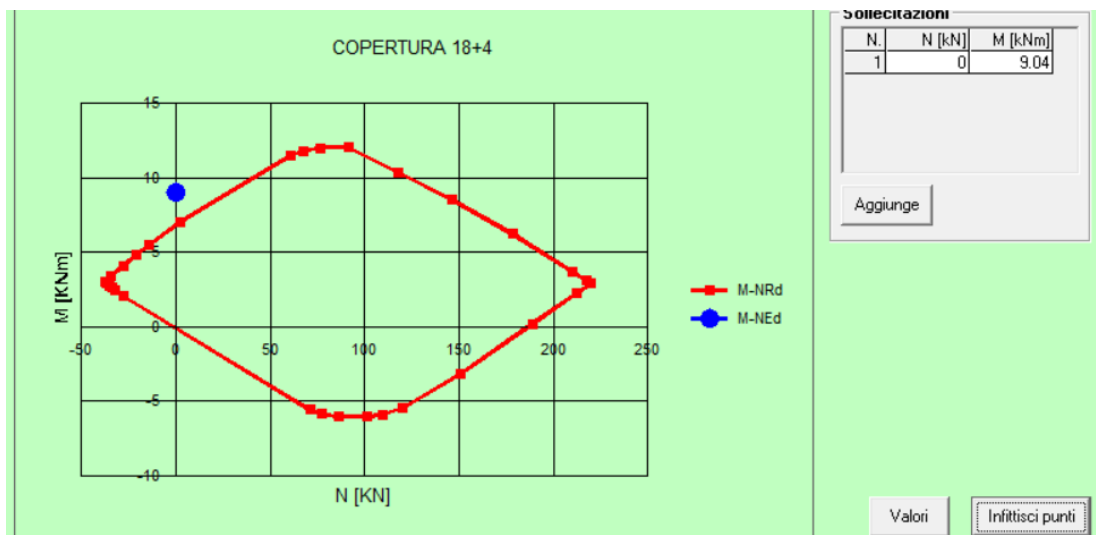
**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub>  cm Col. modello

☐ Precompresso



$$M_{Ed} = 9,04 \text{ kNm} > M_{Rd} = 6,83 \text{ kNm}$$

La verifica NON è soddisfatta.

## STEP 2° - combinazione ST\_SLU nuove costruzioni con diminuzione coefficienti carichi variabili

<b>COEFFICIENTI SLU</b>	
<b>CARICHI PERMANENTI</b>	1.1
<b>CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI</b>	1.1
<b>CARICHI VARIABILI</b>	0.4

<b>SOLAIO COPERTURA L=6,00 m</b>			
Q (kN/m <sup>2</sup> )	5,74	L (m)	6,00
i (m)	0,33	M <sub>ed</sub> (kNm)	6,80
q (kN/m)	1,89		

Verifica C.A. S.L.U. - File: copertura 18+4

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo:** COPERTURA 16+5

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	33	5	1	0.79	19
2	8	16	2	1.13	19

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

N<sub>Ed</sub>  kN  
M<sub>xEd</sub>  kNm  
M<sub>yEd</sub>  kNm

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

**Tipo rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Deviata

**Materiali**

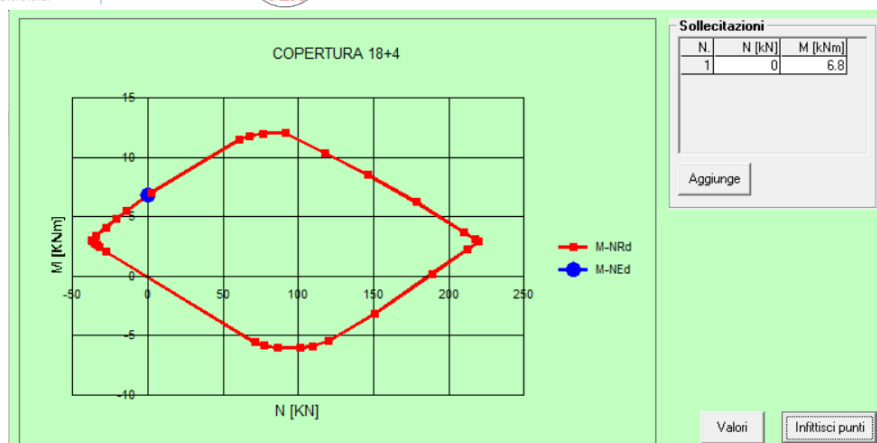
Fornaci		Fornaci	
ε <sub>su</sub>	67.5 ‰	ε <sub>c2</sub>	2 ‰
f <sub>yd</sub>	196.4 N/mm²	ε <sub>cu</sub>	3.5 ‰
E <sub>s</sub>	200.000 N/mm²	f <sub>cd</sub>	6.63
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub>	15	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub>	0.8
ε <sub>syd</sub>	0.982 ‰	σ <sub>c,adm</sub>	5.773
σ <sub>s,adm</sub>	0 N/mm²	τ <sub>co</sub>	0.3879
		τ <sub>c1</sub>	1.374

M<sub>xRd</sub>  kNm

σ<sub>c</sub>  N/mm²  
σ<sub>s</sub>  N/mm²  
ε<sub>c</sub>  ‰  
ε<sub>s</sub>  ‰  
d  cm  
x  x/d   
δ

N° rett.   
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub>  cm Col. modello  
☐ Precompresso





$$M_{Ed} = 6,80 \text{ kNm} < M_{Rd} = 6,83 \text{ kNm}$$

La verifica è soddisfatta.

$$\text{In sostanza } IST\_SLU = 0,4 / 1,5 = 0,266$$

Per vedere se il solaio di copertura necessita di restrizioni per azioni controllate dall'uomo, si deve verificare il travetto in una combinazione in cui non c'è neve, ma ci sono solo i 50 Kg/m<sup>2</sup> previsti per la manutenzione.

SOLAIO COPERTURA L=6,00 m			
Q (kN/m <sup>2</sup> )	5,81	L (m)	6,00
i (m)	0,33	M <sub>ed</sub> (kNm)	6,87
q (kN/m)	1,91		

$$M_{Ed} = 6,80 \text{ kNm} < M_{Rd} = 6,87 \text{ kNm}$$

La verifica NON è soddisfatta.

Pur se la verifica non matematicamente soddisfatta, il deficit talmente contenuto che non si ritiene necessario applicare restrizioni d'uso al solaio di copertura.

## 14 - Analisi modale

Di seguito si riportano i parametri di risposta modale e le forme modali della struttura che coinvolgono una quantità significativa di massa nelle due direzioni principali dell'edificio, considerando la rigidità fessurata al 50% sui pilastri ed all'80% sulle travi, rappresentativa di una situazione coerente con gli Stati Limite di Salvaguardia della Vita (comportamento sotto sisma violento).

L'analisi è quella di tipo nodale applicando i vettori di Ritz.

FREQUENZE E MASSE ECCITATE																
										Eccitat Totale	SISMA N.ro 1 Massa 806.86 950.56	Perc. .84	SISMA N.ro 2 Massa 826.16 950.56	Perc. .86	SISMA N.ro 3 Massa	Perc.
Modo N.ro	Pulsazione (rad/sec)	Periodo (sec)	Smorz Mod(%)	Sd/g SLO	Sd/g SLD	Sd/g SLV X	Sd/g SLV Y	Sd/g SLV Z	Sd/g SLC	Massa Mod Ecc. (t)	Perc.	Massa Mod Ecc. (t)	Perc.	Massa Mod Ecc. (t)	Perc.	
1	13.068	0.48082	5.0	0.202	0.265	0.478	0.478			0.00	0.00	31.09	0.03			
2	13.068	0.48082	5.0	0.202	0.265	0.478	0.478			0.06	0.00	0.00	0.00			

FREQUENZE E MASSE ECCITATE																		
									Eccitat Totale	SISMA N.ro 1 Massa 806.86 950.56		Perc. .84	SISMA N.ro 2 Massa 826.16 950.56		Perc. .86	SISMA N.ro 3 Massa		Perc.
Modo N.ro	Pulsazione (rad/sec)	Periodo (sec)	Smorz Mod(%)	Sd/g SLO	Sd/g SLD	Sd/g SLV X	Sd/g SLV Y	Sd/g SLV Z	Sd/g SLC	Massa Mod Ecc. (t)	Perc.	Massa Mod Ecc. (t)	Perc.	Massa Mod Ecc. (t)	Perc.			
3	15.730	0.39944	5.0	0.217	0.284	0.484	0.484			0.00	0.00	280.89	0.30					
4	15.730	0.39944	5.0	0.217	0.284	0.484	0.484			0.63	0.00	0.00	0.00					
5	16.765	0.37477	5.0	0.217	0.284	0.484	0.484			0.36	0.00	0.00	0.00					
6	16.765	0.37477	5.0	0.217	0.284	0.484	0.484			0.00	0.00	14.73	0.02					
7	17.972	0.34961	5.0	0.217	0.284	0.484	0.484			59.48	0.06	0.00	0.00					
8	17.972	0.34961	5.0	0.217	0.284	0.484	0.484			0.00	0.00	1.50	0.00					
9	18.986	0.33093	5.0	0.217	0.284	0.484	0.484			0.01	0.00	0.00	0.00					
10	18.986	0.33093	5.0	0.217	0.284	0.484	0.484			0.00	0.00	0.14	0.00					
11	25.576	0.24566	5.0	0.217	0.284	0.484	0.484			89.69	0.09	0.00	0.00					
12	25.635	0.24510	5.0	0.217	0.284	0.484	0.484			0.00	0.00	3.02	0.00					
13	26.669	0.23560	5.0	0.217	0.284	0.484	0.484			0.00	0.00	0.54	0.00					
14	27.625	0.22744	5.0	0.217	0.284	0.484	0.484			109.94	0.12	0.00	0.00					
15	29.271	0.21465	5.0	0.217	0.284	0.484	0.484			0.00	0.00	37.27	0.04					
16	30.934	0.20312	5.0	0.217	0.284	0.484	0.484			1.48	0.00	0.00	0.00					
17	31.961	0.19659	5.0	0.217	0.284	0.484	0.484			0.00	0.00	9.27	0.01					
18	35.272	0.17814	5.0	0.217	0.284	0.484	0.484			32.33	0.03	0.00	0.00					
19	38.138	0.16475	5.0	0.217	0.284	0.484	0.484			53.50	0.06	0.00	0.00					
20	38.897	0.16153	5.0	0.217	0.284	0.484	0.484			0.00	0.00	40.01	0.04					
21	42.500	0.14784	5.0	0.215	0.282	0.471	0.471			0.00	0.00	0.53	0.00					
22	50.023	0.12561	5.0	0.196	0.257	0.444	0.444			62.58	0.07	0.00	0.00					
23	60.100	0.10455	5.0	0.177	0.233	0.418	0.418			56.11	0.06	0.00	0.00					
24	60.878	0.10321	5.0	0.176	0.231	0.417	0.417			0.00	0.00	14.57	0.02					
25	92.552	0.06789	5.0	0.145	0.191	0.374	0.374			81.73	0.09	0.00	0.00					
26	113.506	0.05536	5.0	0.134	0.177	0.358	0.358			0.00	0.00	42.20	0.04					
27	267.495	0.02349	5.0	0.106	0.141	0.319	0.319			258.97	0.27	0.00	0.00					
28	269.655	0.02330	5.0	0.106	0.141	0.319	0.319			0.00	0.00	350.39	0.37					

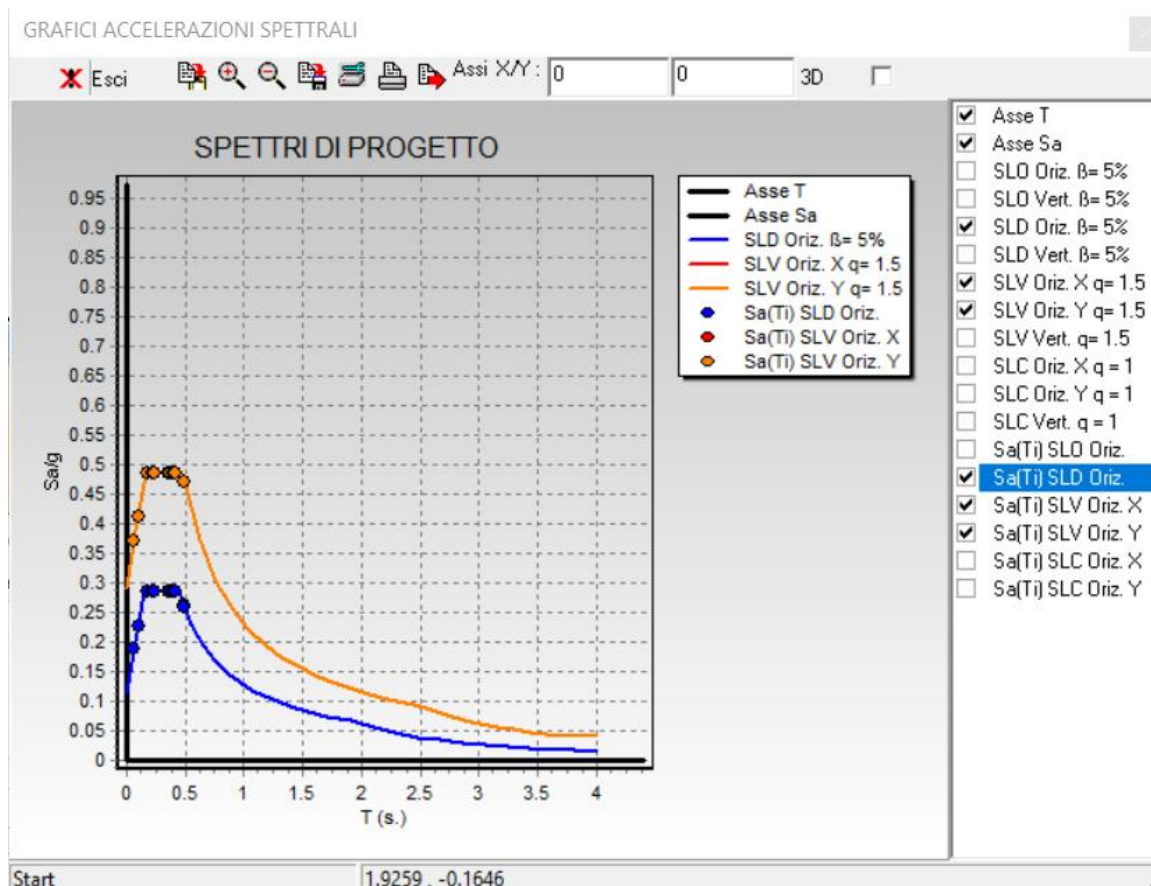


Figura 49 - Accelerazioni spettrali

Come era lecito aspettarsi, i risultati dell'analisi modale mostrano due aspetti significativi:

- 1) La struttura è molto rigida ed il suo periodo di vibrazione è molto basso;

- 2) L'edificio, anche in condizioni fessurate, subisce accelerazioni sismiche compatibili con le massime accelerazioni spettrali attese al sito.

## 15 - Analisi sismica nodale con spettro di progetto

Per le motivazioni descritte nei capitoli precedenti si è ritenuto opportuno fare un'analisi dinamica nodale, prima per meccanismi fragili, poi per quelli duttili

### 15.1 - Analisi sismica nodale meccanismi fragili

La colormap seguente rappresenta l'esito della verifica a taglio in una analisi dinamica nodale con spettro di progetto affetto da fattore di struttura  $q = 1,5$

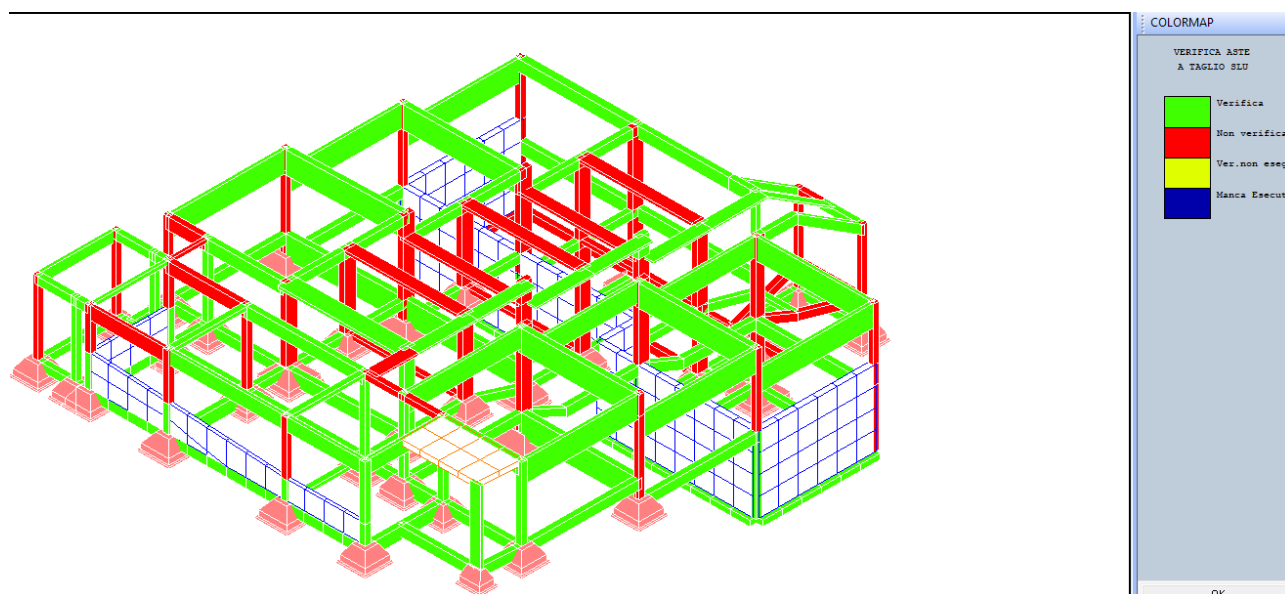


Figura 50 - Verifica a taglio  $T_r = 721$  anni, stato attuale

Molti pilastri non risultano verificati; per determinare il livello di sicurezza, occorre abbassare il periodo di ritorno associato allo SLV fino a che non risultano verificati tutti gli elementi o comunque gli elementi ritenuti significativi.

Abbassando il periodo di ritorno al valore di  $T_r = 30$  anni, ancora alcuni elementi continuano a non verificare a taglio; osservando le due figure seguenti si osserva come i pilastri che ancora non verificano si trovino prevalentemente nella zona centrale del fabbricato, e l'impegno a taglio delle staffe in alcuni casi è ancora molto alto, lontano dal verificare.

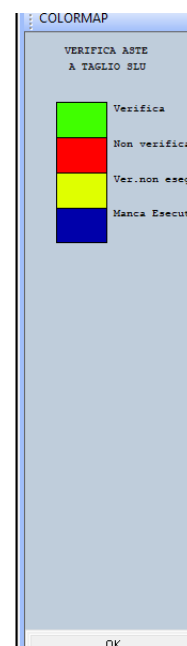
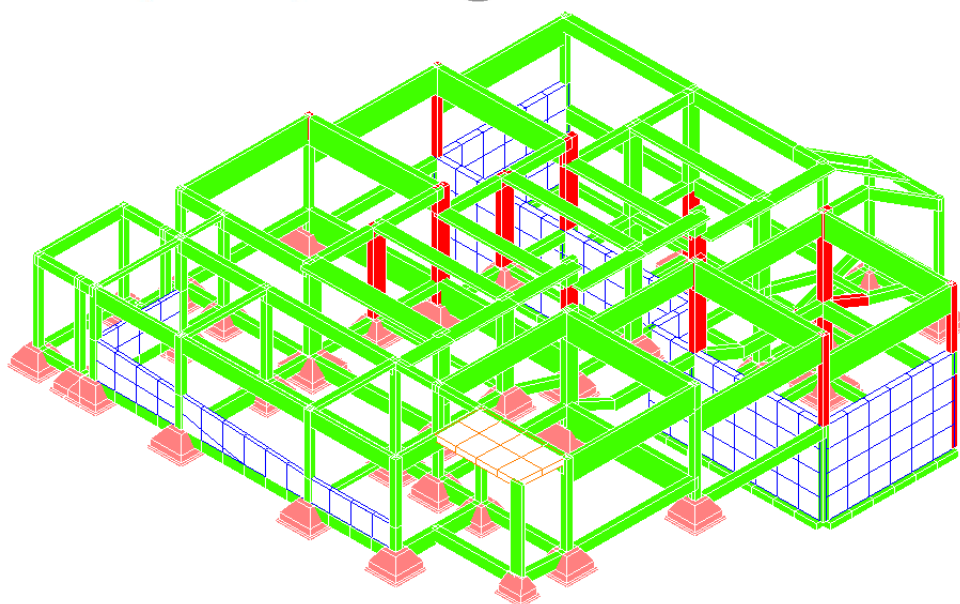


Figura 51 - Verifica a taglio  $T_r = 30$  anni

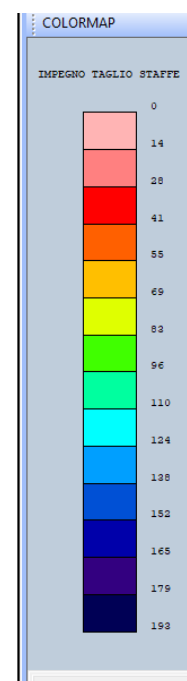
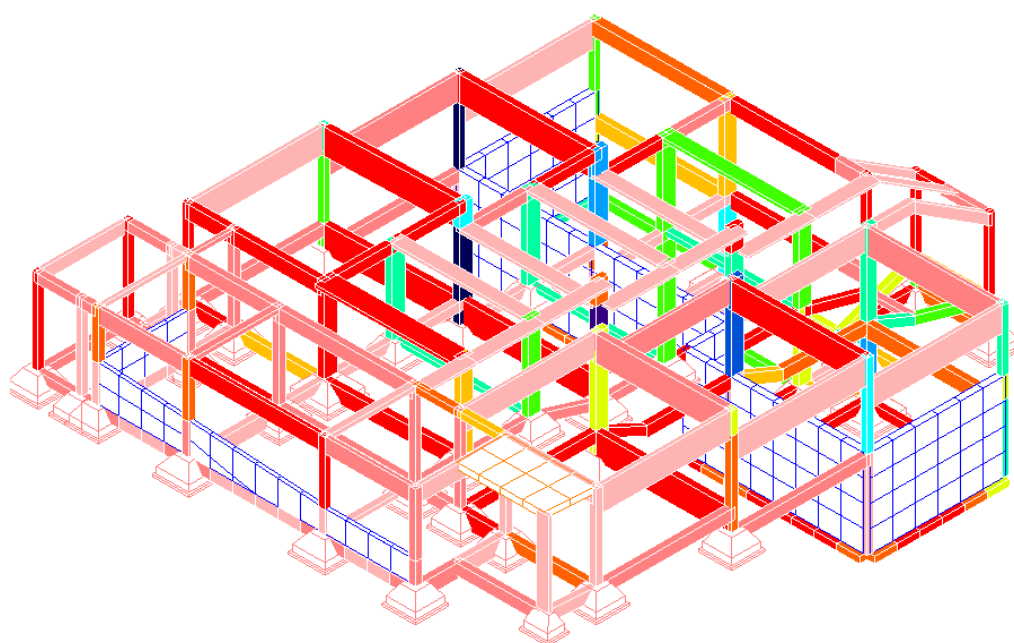


Figura 52 - Verifica a taglio  $T_r = 30$  impegno staffe a taglio

Se l'edificio verificasse anche per una azione sismica coerente con un  $T_r$  pari a 30 anni, la sua classe di rischio, per usare una accezione alla sisma Bonus, sarebbe comunque una "E"; poiché ciò non accada è utile capire se la classe di rischio è ancora inferiore.

Per far questo basta condurre l'analisi sismica appena lanciata, modificando il sisma di ingresso in modo che esso abbia una accelerazione pari a 0,021, alla quale corrisponde un periodo di ritorno pari a  $T_r = 7$ , corrispondente al limite superiore della classe di rischio "F".



Se ancora gli elementi strutturali non dovessero verificare, la classe di rischio sarebbe proprio la “F”.

Le verifiche a taglio, con il livello di accelerazione abbassato fino ad  $a_g = 0,021$  risultano molto migliorate, tuttavia ancora non pienamente soddisfatte; il limitato numero di elementi che non verificano fanno propendere comunque per l'**attribuzione della classe di Rischio “E”**, tuttavia **occorre essere cosciente che si tratta di un “E” basso, cioè prossimo ad una classe “F”**.

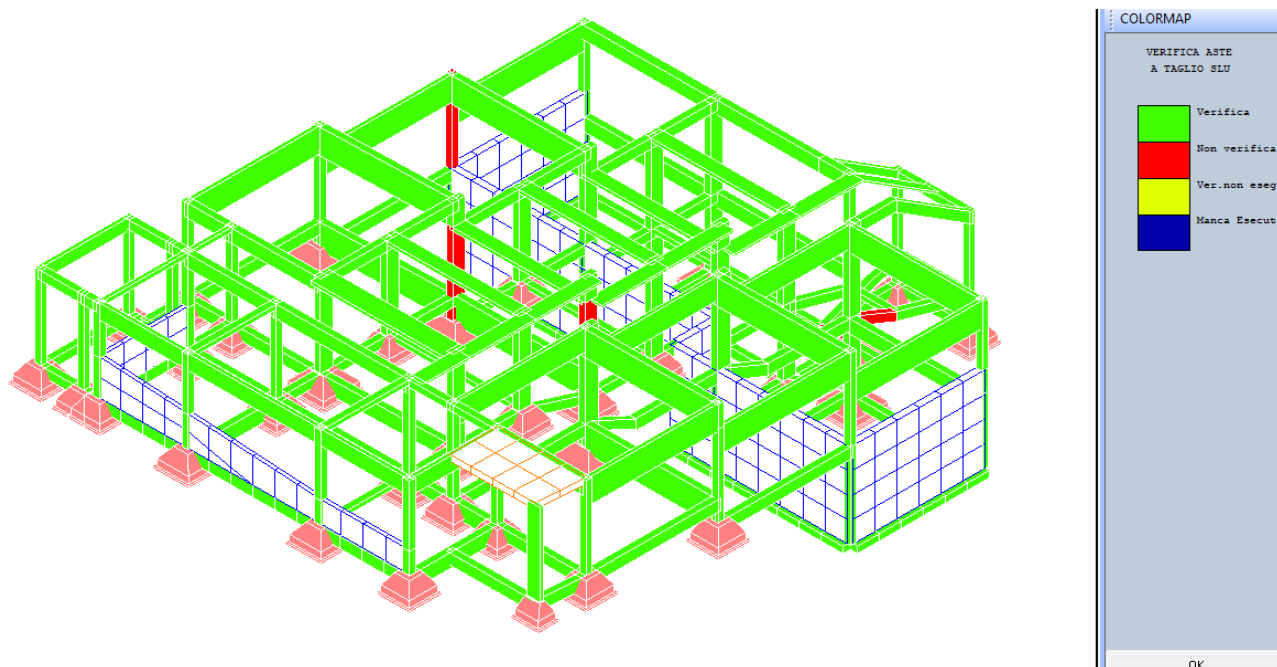


Figura 53 - Verifiche a taglio  $a_g = 0,021$



## 15.2 – Analisi sismica nodale meccanismi duttili

La colormap seguente rappresenta l'esito della verifica a taglio in una analisi dinamica nodale con spettro di progetto affetto da fattore di struttura  $q = 2,2$  (dato da considerazioni sulla irregolarità della struttura), e andando a porre i coefficienti parziali dei materiali pari a 1.

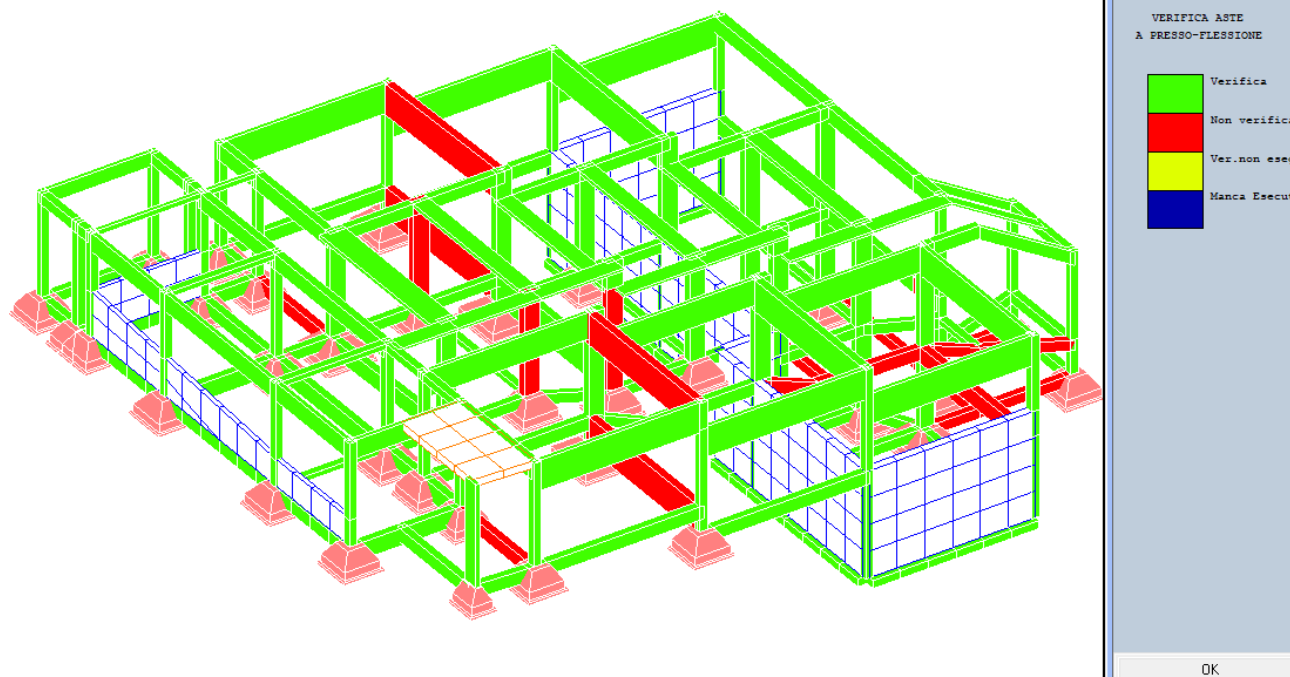


Figura 54 - Verifica a taglio  $T_r = 7$  anni

Il risultato è nella sostanza molto simile a quello del taglio, per cui si ritiene che la classe di rischio da attribuire sia sempre una “E” bassa, tendente alla “F”.

## 16 – Controllo degli spostamenti di interpiano allo SLD ed allo SLV

Il controllo della verifica dello Stato Limite di Danno, dà una misura dell'attitudine del fabbricato a sviluppare potenziali meccanismi di danno agli elementi non strutturali, il cui danneggiamento è fonte generalmente di inagibilità.

Tale limite viene controllato andando a misurare dal modello il livello del spostamento di interpiano; nel programma di calcolo è impostato un controllo tale per cui la verifica non risulta soddisfatta se lo spostamento è superiore al 0,3% dell'altezza di interpiano.

Tale controllo è più rigoroso di quello previsto per gli elementi non strutturali dalle NTC2018 che impone il rispetto del limite dei 2/3 del valore imposto per le costruzioni di classe II (0,5% di h) per le tamponature fragili, ma nei confronti dello SLO (Stato limite di operatività).

SPOSTAMENTI SISMICI RELATIVI													
IDENTIFICATIVO					INVILUPPO S.L.D.				INVILUPPO S.L.O.				Stringa di Controllo Verifica
Filo N.ro	Quota inf. (m)	Quota sup. (m)	Nodo inf. N.ro	Nodo sup. N.ro	Sis ma Nro	Com bin Nro	Spostam. Calcolo (mm)	Spostam. Limite (mm)	Sis ma Nro	Com bin Nro	Spostam. Calcolo (mm)	Spostam. Limite (mm)	
1	4.97	8.85	60	68	2	10	0.017	11.640					VERIFICATO
2	4.97	8.85	39	69	1	6	0.015	11.640					VERIFICATO
3	4.02	7.85	38	70	2	7	12.905	11.490					NON VERIFICATO
3	7.85	8.85	70	126	2	8	3.042	3.000					NON VERIFICATO
4	0.00	1.00	16	213	2	10	0.044	3.015					VERIFICATO
4	1.00	2.01	213	220	2	7	0.034	3.015					VERIFICATO
4	2.01	3.01	220	227	2	10	0.039	3.015					VERIFICATO
4	3.01	4.02	227	19	2	10	0.262	3.015					VERIFICATO
4	4.02	7.85	19	71	2	10	3.697	11.490					VERIFICATO
5	0.00	1.00	14	238	2	7	1.801	3.015					VERIFICATO
5	1.00	2.01	238	244	2	7	2.490	3.015					VERIFICATO
5	2.01	3.01	244	250	2	7	2.832	3.015					VERIFICATO



SPOSTAMENTI SISMICI RELATIVI													
IDENTIFICATIVO					INVILUPPO S.L.D.				INVILUPPO S.L.O.				Stringa di Controllo Verifica
Filo N.ro	Quota inf. (m)	Quota sup. (m)	Nodo inf. N.ro	Nodo sup. N.ro	Sis ma Nro	Com bin Nro	Spostam. Calcolo (mm)	Spostam. Limite (mm)	Sis ma Nro	Com bin Nro	Spostam. Calcolo (mm)	Spostam. Limite (mm)	
5	3.01	3.07	250	138	2	10	1.600	0.165					NON VERIFICATO
5	3.07	4.02	138	20	2	10	2.118	2.850					VERIFICATO
5	4.02	6.85	20	72	2	8	5.734	8.490					VERIFICATO
6	4.97	5.97	36	73	2	9	0.122	3.000					VERIFICATO
6	5.97	8.85	73	127	2	7	2.228	8.640					VERIFICATO
7	4.97	8.85	44	74	1	4	0.011	11.640					VERIFICATO
8	4.97	8.85	42	75	1	3	2.351	11.640					VERIFICATO
9	4.02	7.85	43	76	2	9	12.434	11.490					NON VERIFICATO
9	7.85	8.85	76	128	2	7	3.338	3.000					NON VERIFICATO
10	0.00	1.00	15	207	1	5	0.091	3.015					VERIFICATO
10	1.00	2.01	207	214	1	5	0.083	3.015					VERIFICATO
10	2.01	3.01	214	221	1	4	0.061	3.015					VERIFICATO
10	3.01	4.02	221	21	1	6	0.180	3.015					VERIFICATO
10	4.02	7.85	21	77	2	10	3.982	11.490					VERIFICATO
11	0.00	3.07	13	22	2	9	8.737	9.210					VERIFICATO
11	3.07	6.85	22	78	2	7	7.464	11.340					VERIFICATO
12	0.00	1.27	12	23	2	8	1.074	3.810					VERIFICATO
12	1.27	4.60	23	79	2	9	9.118	9.990					VERIFICATO
13	4.97	5.97	45	80	1	3	0.793	3.000					VERIFICATO
13	5.97	8.85	80	129	1	4	6.664	8.640					VERIFICATO
14	4.97	8.85	55	81	1	6	7.325	11.640					VERIFICATO
15	4.97	8.85	57	82	1	6	6.863	11.640					VERIFICATO
16	4.97	8.85	58	83	2	8	13.170	11.640					NON VERIFICATO
17	4.02	7.85	59	84	2	7	17.709	11.490					NON VERIFICATO
17	7.85	8.85	84	130	2	8	9.194	3.000					NON VERIFICATO
18	4.02	7.85	61	85	2	10	16.080	11.490					NON VERIFICATO
19	0.00	1.00	7	184	1	5	0.033	3.015					VERIFICATO
19	1.00	2.01	184	190	1	5	0.042	3.015					VERIFICATO
19	2.01	3.01	190	196	1	5	0.036	3.015					VERIFICATO
19	3.01	3.07	196	139	2	7	0.189	0.165					NON VERIFICATO
19	3.07	4.02	139	24	2	7	0.382	2.850					VERIFICATO
19	4.02	6.85	24	142	2	10	9.886	8.490					NON VERIFICATO
19	6.85	7.85	142	86	2	10	6.896	3.000					NON VERIFICATO
20	0.00	3.07	8	25	2	9	6.287	9.210					VERIFICATO
20	3.07	6.85	25	87	2	10	8.042	11.340					VERIFICATO
21	0.00	2.27	6	137	2	7	6.864	6.810					NON VERIFICATO
21	2.27	3.07	137	26	2	7	1.760	2.400					VERIFICATO
21	3.07	6.85	26	88	2	9	7.643	11.340					VERIFICATO
22	0.00	1.27	11	27	2	9	1.088	3.810					VERIFICATO
22	1.27	4.60	27	89	2	8	10.005	9.990					NON VERIFICATO
23	4.97	5.68	46	117	1	6	1.127	2.115					VERIFICATO
23	5.68	6.38	117	90	1	6	2.196	2.115					NON VERIFICATO
23	6.38	8.85	90	131	1	6	13.612	7.410					NON VERIFICATO
24	4.97	8.85	54	91	1	4	16.766	11.640					NON VERIFICATO
25	4.97	8.85	53	92	2	8	5.439	11.640					VERIFICATO
26	4.97	8.85	56	93	2	8	13.095	11.640					NON VERIFICATO
27	4.02	7.85	52	94	2	7	17.530	11.490					NON VERIFICATO
27	7.85	8.85	94	132	2	10	4.371	3.000					NON VERIFICATO
28	4.02	7.85	62	95	2	10	15.636	11.490					NON VERIFICATO
29	0.00	1.00	1	154	1	6	0.100	3.015					VERIFICATO
29	1.00	2.01	154	161	1	6	0.083	3.015					VERIFICATO
29	2.01	3.01	161	168	1	5	0.057	3.015					VERIFICATO
29	3.01	3.07	168	140	2	7	0.537	0.165					NON VERIFICATO
29	3.07	4.02	140	28	2	7	0.669	2.850					VERIFICATO
29	4.02	7.85	28	96	2	10	9.336	11.490					VERIFICATO
30	0.00	3.07	2	29	2	9	6.299	9.210					VERIFICATO
30	3.07	6.85	29	97	2	10	7.878	11.340					VERIFICATO
31	0.00	3.07	3	30	2	7	8.548	9.210					VERIFICATO
31	3.07	6.85	30	98	2	9	7.381	11.340					VERIFICATO
32	4.97	5.81	47	308	2	8	0.067	2.520					VERIFICATO
32	5.81	6.65	308	99	2	8	0.147	2.520					VERIFICATO
32	6.65	8.85	99	133	1	5	6.527	6.600					VERIFICATO
33	4.97	5.81	48	318	2	9	0.091	2.520					VERIFICATO
33	5.81	6.65	318	100	1	3	0.164	2.520					VERIFICATO
33	6.65	8.85	100	134	1	5	6.425	6.600					VERIFICATO
34	4.97	8.85	49	101	1	4	7.163	11.640					VERIFICATO
35	4.97	8.85	50	102	1	4	7.158	11.640					VERIFICATO
36	4.02	7.85	51	103	2	7	17.515	11.490					NON VERIFICATO
36	7.85	8.85	103	135	2	10	4.223	3.000					NON VERIFICATO
37	0.00	1.00	18	148	1	3	0.101	3.015					VERIFICATO
37	1.00	2.01	148	155	1	4	0.132	3.015					VERIFICATO
37	2.01	3.01	155	162	2	7	0.120	3.015					VERIFICATO
37	3.01	4.02	162	31	2	9	0.510	3.015					VERIFICATO



# SPOSTAMENTI SISMICI RELATIVI

IDENTIFICATIVO					INVILUPPO S.L.D.				INVILUPPO S.L.O.				Stringa di Controllo Verifica
Filo N.ro	Quota inf. (m)	Quota sup. (m)	Nodo inf. N.ro	Nodo sup. N.ro	Sis ma Nro	Com bin Nro	Spostam. Calcolo (mm)	Spostam. Limite (mm)	Sis ma Nro	Com bin Nro	Spostam. Calcolo (mm)	Spostam. Limite (mm)	
37	4.02	7.85	31	104	2	10	8.815	11.490					VERIFICATO
38	0.00	1.00	4	279	2	7	2.228	3.015					VERIFICATO
38	1.00	2.01	279	285	2	10	2.616	3.015					VERIFICATO
38	2.01	3.01	285	291	2	10	2.861	3.015					VERIFICATO
38	3.01	3.07	291	141	2	7	1.262	0.165					NON VERIFICATO
38	3.07	4.02	141	32	2	9	1.961	2.850					VERIFICATO
38	4.02	6.85	32	105	2	8	5.567	8.490					VERIFICATO
39	0.00	1.00	17	262	1	5	0.041	3.015					VERIFICATO
39	1.00	2.01	262	264	1	5	0.039	3.015					VERIFICATO
39	2.01	3.01	264	266	2	8	0.031	3.015					VERIFICATO
39	3.01	4.02	266	33	1	5	0.064	3.015					VERIFICATO
40	0.00	3.07	5	34	2	7	8.615	9.210					VERIFICATO
40	3.07	6.85	34	125	2	9	7.847	11.340					VERIFICATO
42	0.00	2.27	10	37	2	7	6.970	6.810					NON VERIFICATO
42	2.27	6.85	37	123	2	9	12.489	13.740					VERIFICATO
45	4.97	8.85	35	136	2	8	0.024	11.640					VERIFICATO
47	4.97	8.85	64	106	1	5	7.000	11.640					VERIFICATO
48	4.97	8.85	67	107	1	5	6.810	11.640					VERIFICATO
49	4.97	8.85	63	108	1	5	9.202	11.640					VERIFICATO
50	4.97	8.85	65	109	1	5	9.197	11.640					VERIFICATO
52	4.97	6.04	110	118	1	6	1.166	3.205					VERIFICATO
53	4.97	6.11	111	119	1	6	1.688	3.410					VERIFICATO
54	4.97	6.18	112	120	1	4	2.177	3.615					VERIFICATO
55	4.97	5.18	113	115	1	5	0.425	0.637					VERIFICATO
55	5.18	6.24	115	121	1	5	2.179	3.183					VERIFICATO
56	4.97	5.42	114	116	1	5	0.879	1.342					VERIFICATO
56	5.42	6.31	116	122	1	5	2.107	2.683					VERIFICATO
68	0.00	1.00	143	149	2	7	0.215	3.015					VERIFICATO
68	1.00	2.01	149	156	2	7	0.259	3.015					VERIFICATO
68	2.01	3.01	156	163	1	3	0.246	3.015					VERIFICATO
68	3.01	4.02	163	169	1	6	0.228	3.015					VERIFICATO
69	0.00	1.00	144	150	1	3	0.281	3.015					VERIFICATO
69	1.00	2.01	150	157	1	3	0.331	3.015					VERIFICATO
69	2.01	3.01	157	164	1	3	0.370	3.015					VERIFICATO
69	3.01	4.02	164	170	1	3	0.416	3.015					VERIFICATO
70	0.00	1.00	145	151	1	3	0.288	3.015					VERIFICATO
70	1.00	2.01	151	158	1	3	0.344	3.015					VERIFICATO
70	2.01	3.01	158	165	1	3	0.403	3.015					VERIFICATO
70	3.01	4.02	165	171	1	3	0.475	3.015					VERIFICATO
71	0.00	1.00	146	152	1	3	0.231	3.015					VERIFICATO
71	1.00	2.01	152	159	1	3	0.277	3.015					VERIFICATO
71	2.01	3.01	159	166	1	3	0.326	3.015					VERIFICATO
71	3.01	4.02	166	172	1	3	0.385	3.015					VERIFICATO
72	0.00	1.00	147	153	1	6	0.157	3.015					VERIFICATO
72	1.00	2.01	153	160	1	6	0.166	3.015					VERIFICATO
72	2.01	3.01	160	167	1	3	0.181	3.015					VERIFICATO
72	3.01	4.02	167	173	1	3	0.211	3.015					VERIFICATO
73	0.00	1.00	174	179	1	5	0.120	3.015					VERIFICATO
73	1.00	2.01	179	185	1	5	0.119	3.015					VERIFICATO
73	2.01	3.01	185	191	1	3	0.113	3.015					VERIFICATO
73	3.01	4.02	191	197	1	3	0.141	3.015					VERIFICATO
74	0.00	1.00	175	180	1	6	0.165	3.015					VERIFICATO
74	1.00	2.01	180	186	1	6	0.188	3.015					VERIFICATO
74	2.01	3.01	186	192	1	3	0.223	3.015					VERIFICATO
74	3.01	4.02	192	198	1	3	0.271	3.015					VERIFICATO
75	0.00	1.00	176	181	1	6	0.180	3.015					VERIFICATO
75	1.00	2.01	181	187	1	3	0.215	3.015					VERIFICATO
75	2.01	3.01	187	193	1	3	0.272	3.015					VERIFICATO
75	3.01	4.02	193	199	1	5	0.335	3.015					VERIFICATO
76	0.00	1.00	177	182	1	6	0.147	3.015					VERIFICATO
76	1.00	2.01	182	188	1	3	0.181	3.015					VERIFICATO
76	2.01	3.01	188	194	1	3	0.238	3.015					VERIFICATO
76	3.01	4.02	194	200	1	3	0.301	3.015					VERIFICATO
77	0.00	1.00	178	183	1	5	0.082	3.015					VERIFICATO
77	1.00	2.01	183	189	1	6	0.099	3.015					VERIFICATO
77	2.01	3.01	189	195	1	3	0.136	3.015					VERIFICATO
77	3.01	4.02	195	201	1	3	0.205	3.015					VERIFICATO
78	0.00	1.00	202	208	1	5	0.178	3.015					VERIFICATO
78	1.00	2.01	208	215	1	5	0.192	3.015					VERIFICATO
78	2.01	3.01	215	222	1	6	0.209	3.015					VERIFICATO
78	3.01	4.02	222	228	1	4	0.256	3.015					VERIFICATO
79	0.00	1.00	203	209	1	3	0.268	3.015					VERIFICATO
79	1.00	2.01	209	216	1	3	0.319	3.015					VERIFICATO





SPOSTAMENTI SISMICI RELATIVI													
IDENTIFICATIVO					INVILUPPO S.L.D.				INVILUPPO S.L.O.				Stringa di Controllo Verifica
Filo N.ro	Quota inf. (m)	Quota sup. (m)	Nodo inf. N.ro	Nodo sup. N.ro	Sis ma Nro	Com bin Nro	Spostam. Calcolo (mm)	Spostam. Limite (mm)	Sis ma Nro	Com bin Nro	Spostam. Calcolo (mm)	Spostam. Limite (mm)	
79	2.01	3.01	216	223	1	6	0.391	3.015					VERIFICATO
79	3.01	4.02	223	229	1	6	0.477	3.015					VERIFICATO
80	0.00	1.00	204	210	1	6	0.311	3.015					VERIFICATO
80	1.00	2.01	210	217	1	6	0.384	3.015					VERIFICATO
80	2.01	3.01	217	224	1	6	0.474	3.015					VERIFICATO
80	3.01	4.02	224	230	1	6	0.581	3.015					VERIFICATO
81	0.00	1.00	205	211	1	5	0.274	3.015					VERIFICATO
81	1.00	2.01	211	218	1	6	0.338	3.015					VERIFICATO
81	2.01	3.01	218	225	1	6	0.407	3.015					VERIFICATO
81	3.01	4.02	225	231	1	3	0.505	3.015					VERIFICATO
82	0.00	1.00	206	212	1	5	0.159	3.015					VERIFICATO
82	1.00	2.01	212	219	1	5	0.196	3.015					VERIFICATO
82	2.01	3.01	219	226	1	3	0.220	3.015					VERIFICATO
82	3.01	4.02	226	232	1	5	0.286	3.015					VERIFICATO
83	0.00	1.00	233	239	2	7	1.569	3.015					VERIFICATO
83	1.00	2.01	239	245	2	7	1.979	3.015					VERIFICATO
83	2.01	3.01	245	251	2	7	2.267	3.015					VERIFICATO
83	3.01	4.02	251	256	2	7	2.443	3.015					VERIFICATO
84	0.00	1.00	234	240	2	7	1.245	3.015					VERIFICATO
84	1.00	2.01	240	246	2	7	1.512	3.015					VERIFICATO
84	2.01	3.01	246	252	2	7	1.716	3.015					VERIFICATO
84	3.01	4.02	252	257	2	7	1.818	3.015					VERIFICATO
85	0.00	1.00	235	241	2	9	0.886	3.015					VERIFICATO
85	1.00	2.01	241	247	2	9	1.065	3.015					VERIFICATO
85	2.01	3.01	247	253	2	7	1.201	3.015					VERIFICATO
85	3.01	4.02	253	258	2	7	1.266	3.015					VERIFICATO
86	0.00	1.00	236	242	2	9	0.536	3.015					VERIFICATO
86	1.00	2.01	242	248	2	9	0.644	3.015					VERIFICATO
86	2.01	3.01	248	254	2	9	0.732	3.015					VERIFICATO
86	3.01	4.02	254	259	2	9	0.775	3.015					VERIFICATO
87	0.00	1.00	237	243	2	9	0.237	3.015					VERIFICATO
87	1.00	2.01	243	249	2	9	0.279	3.015					VERIFICATO
87	2.01	3.01	249	255	2	9	0.323	3.015					VERIFICATO
87	3.01	4.02	255	260	2	9	0.376	3.015					VERIFICATO
88	0.00	1.00	261	263	1	5	0.052	3.015					VERIFICATO
88	1.00	2.01	263	265	1	5	0.049	3.015					VERIFICATO
88	2.01	3.01	265	267	1	4	0.058	3.015					VERIFICATO
88	3.01	4.02	267	268	1	6	0.114	3.015					VERIFICATO
89	0.00	1.00	269	270	1	5	0.039	3.015					VERIFICATO
89	1.00	2.01	270	271	1	5	0.045	3.015					VERIFICATO
89	2.01	3.01	271	272	1	5	0.036	3.015					VERIFICATO
89	3.01	4.02	272	273	1	4	0.069	3.015					VERIFICATO
90	0.00	1.00	274	280	2	7	1.959	3.015					VERIFICATO
90	1.00	2.01	280	286	2	7	2.094	3.015					VERIFICATO
90	2.01	3.01	286	292	2	10	2.257	3.015					VERIFICATO
90	3.01	4.02	292	297	2	7	2.323	3.015					VERIFICATO
91	0.00	1.00	275	281	2	7	1.623	3.015					VERIFICATO
91	1.00	2.01	281	287	2	7	1.683	3.015					VERIFICATO
91	2.01	3.01	287	293	2	7	1.765	3.015					VERIFICATO
91	3.01	4.02	293	298	2	7	1.821	3.015					VERIFICATO
92	0.00	1.00	276	282	2	7	1.231	3.015					VERIFICATO
92	1.00	2.01	282	288	2	7	1.260	3.015					VERIFICATO
92	2.01	3.01	288	294	2	7	1.314	3.015					VERIFICATO
92	3.01	4.02	294	299	2	7	1.353	3.015					VERIFICATO
93	0.00	1.00	277	283	2	7	0.815	3.015					VERIFICATO
93	1.00	2.01	283	289	2	7	0.823	3.015					VERIFICATO
93	2.01	3.01	289	295	2	7	0.873	3.015					VERIFICATO
93	3.01	4.02	295	300	2	7	0.923	3.015					VERIFICATO
94	0.00	1.00	278	284	2	7	0.412	3.015					VERIFICATO
94	1.00	2.01	284	290	2	7	0.403	3.015					VERIFICATO
94	2.01	3.01	290	296	2	7	0.455	3.015					VERIFICATO
94	3.01	4.02	296	301	2	7	0.591	3.015					VERIFICATO
95	4.97	5.71	302	305	1	4	1.188	2.216					VERIFICATO
95	5.71	6.45	305	309	1	4	1.492	2.216					VERIFICATO
96	4.97	5.74	303	306	1	6	0.891	2.318					VERIFICATO
96	5.74	6.52	306	310	1	4	0.944	2.318					VERIFICATO
97	4.97	5.78	304	307	1	3	0.447	2.419					VERIFICATO
97	5.78	6.58	307	311	1	5	0.457	2.419					VERIFICATO
98	4.97	5.81	312	315	2	10	0.305	2.520					VERIFICATO
98	5.81	6.65	315	319	2	10	0.340	2.520					VERIFICATO
99	4.97	5.81	313	316	2	9	0.422	2.520					VERIFICATO
99	5.81	6.65	316	320	2	9	0.487	2.520					VERIFICATO
100	4.97	5.81	314	317	2	8	0.363	2.520					VERIFICATO

SPOSTAMENTI SISMICI RELATIVI													
IDENTIFICATIVO				INVILUPPO S.L.D.				INVILUPPO S.L.O.					
Filo N.ro	Quota inf. (m)	Quota sup. (m)	Nodo inf. N.ro	Nodo sup. N.ro	Sis ma Nro	Com bin Nro	Spostam. Calcolo (mm)	Spostam. Limite (mm)	Sis ma Nro	Com bin Nro	Spostam. Calcolo (mm)	Spostam. Limite (mm)	Stringa di Controllo Verifica
100	5.81	6.65	317	321	2	8	0.407	2.520					VERIFICATO
101	4.97	5.97	322	325	1	3	0.868	3.000					VERIFICATO
102	4.97	5.97	323	326	1	3	0.943	3.000					VERIFICATO
103	4.97	5.97	324	327	1	3	0.679	3.000					VERIFICATO

La verifica sostanzialmente risulta soddisfatta in molti punti, per cui l'edificio mostra buone capacità di rigidezza che comportano una deformabilità limitata delle strutture, il che significa una previsione di danno agli elementi non strutturali molto limitata in caso di sisma compatibile con lo SLD.

Tuttavia si identificano delle zone a maggior rischio di danneggiamento che sono quelle riportate nella seguente immagine; i divisori e gli elementi non strutturali collocati in queste zone potrebbero dunque essere soggette ad un maggior grado di fessurazione.

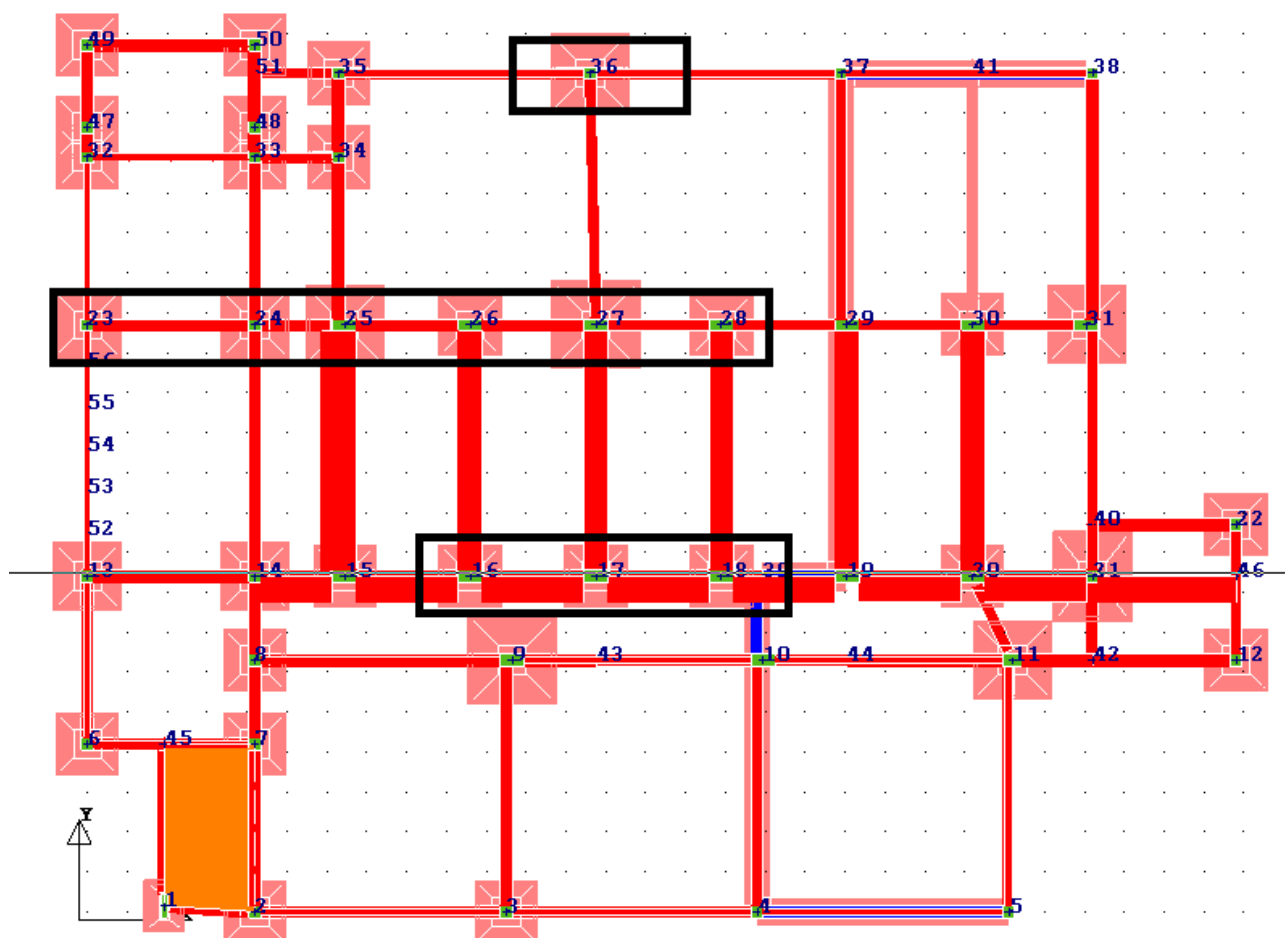


Figura 55 - telai a maggiore deformabilità

In caso di controllo dello spostamento di interpiano per un sisma afferente lo SLV, pur incrementando il limite di capacità allo 0,5% di  $h$ , la verifica non risulta soddisfatta in diversi casi, per cui ci si può attendere che in condizioni di sisma severo le parti non strutturali possano essersi danneggiate, avvalorando così l'ipotesi di studio del modello a telaio nudo.



SPOSTAMENTI SISMICI RELATIVI													
IDENTIFICATIVO					INVILUPPO S.L.V.				INVILUPPO S.L.O.				Stringa di Controllo Verifica
Filo N.ro	Quota inf. (m)	Quota sup. (m)	Nodo inf. N.ro	Nodo sup. N.ro	Sis ma Nro	Com bin Nro	Spostam. Calcolo (mm)	Spostam. Limite (mm)	Sis ma Nro	Com bin Nro	Spostam. Calcolo (mm)	Spostam. Limite (mm)	
1	4.97	8.85	60	68	2	10	0.040	19.400					VERIFICATO
2	4.97	8.85	39	69	2	10	0.033	19.400					VERIFICATO
3	4.02	7.85	38	70	2	7	34.234	19.150					NON VERIFICATO
3	7.85	8.85	70	126	2	8	8.112	5.000					NON VERIFICATO
4	0.00	1.00	16	213	2	10	0.090	5.025					VERIFICATO
4	1.00	2.01	213	220	2	7	0.078	5.025					VERIFICATO
4	2.01	3.01	220	227	2	10	0.092	5.025					VERIFICATO
4	3.01	4.02	227	19	2	10	0.484	5.025					VERIFICATO
4	4.02	7.85	19	71	2	10	9.089	19.150					VERIFICATO
5	0.00	1.00	14	238	2	7	4.419	5.025					VERIFICATO
5	1.00	2.01	238	244	2	7	6.318	5.025					NON VERIFICATO
5	2.01	3.01	244	250	2	7	7.167	5.025					NON VERIFICATO
5	3.01	3.07	250	138	2	10	3.414	0.275					NON VERIFICATO
5	3.07	4.02	138	20	2	10	5.021	4.750					NON VERIFICATO
5	4.02	6.85	20	72	2	8	13.731	14.150					VERIFICATO
6	4.97	5.97	36	73	2	9	0.238	5.000					VERIFICATO
6	5.97	8.85	73	127	2	7	5.556	14.400					VERIFICATO
7	4.97	8.85	44	74	1	4	0.028	19.400					VERIFICATO
8	4.97	8.85	42	75	1	3	5.950	19.400					VERIFICATO
9	4.02	7.85	43	76	2	9	33.543	19.150					NON VERIFICATO
9	7.85	8.85	76	128	2	7	8.574	5.000					NON VERIFICATO
10	0.00	1.00	15	207	1	5	0.196	5.025					VERIFICATO
10	1.00	2.01	207	214	1	5	0.204	5.025					VERIFICATO
10	2.01	3.01	214	221	1	4	0.146	5.025					VERIFICATO
10	3.01	4.02	221	21	1	6	0.426	5.025					VERIFICATO
10	4.02	7.85	21	77	2	10	9.593	19.150					VERIFICATO
11	0.00	3.07	13	22	2	9	21.329	15.350					NON VERIFICATO
11	3.07	6.85	22	78	2	7	18.539	18.900					VERIFICATO
12	0.00	1.27	12	23	2	8	2.467	6.350					VERIFICATO
12	1.27	4.60	23	79	2	9	23.218	16.650					NON VERIFICATO
13	4.97	5.97	45	80	1	3	1.993	5.000					VERIFICATO
13	5.97	8.85	80	129	1	4	16.838	14.400					NON VERIFICATO
14	4.97	8.85	55	81	1	6	18.567	19.400					VERIFICATO
15	4.97	8.85	57	82	1	6	17.370	19.400					VERIFICATO
16	4.97	8.85	58	83	2	8	32.606	19.400					NON VERIFICATO
17	4.02	7.85	59	84	2	7	44.723	19.150					NON VERIFICATO
17	7.85	8.85	84	130	2	8	20.235	5.000					NON VERIFICATO
18	4.02	7.85	61	85	2	10	39.819	19.150					NON VERIFICATO
19	0.00	1.00	7	184	1	5	0.081	5.025					VERIFICATO
19	1.00	2.01	184	190	1	5	0.090	5.025					VERIFICATO
19	2.01	3.01	190	196	1	5	0.086	5.025					VERIFICATO
19	3.01	3.07	196	139	2	7	0.409	0.275					NON VERIFICATO
19	3.07	4.02	139	24	2	7	0.781	4.750					VERIFICATO
19	4.02	6.85	24	142	2	10	23.937	14.150					NON VERIFICATO
19	6.85	7.85	142	86	2	10	14.073	5.000					NON VERIFICATO
20	0.00	3.07	8	25	2	9	15.478	15.350					NON VERIFICATO
20	3.07	6.85	25	87	2	10	20.288	18.900					NON VERIFICATO
21	0.00	2.27	6	137	2	7	17.529	11.350					NON VERIFICATO
21	2.27	3.07	137	26	2	7	4.022	4.000					NON VERIFICATO
21	3.07	6.85	26	88	2	9	19.471	18.900					NON VERIFICATO
22	0.00	1.27	11	27	2	9	2.486	6.350					VERIFICATO
22	1.27	4.60	27	89	2	8	25.338	16.650					NON VERIFICATO
23	4.97	5.68	46	117	1	6	2.862	3.525					VERIFICATO
23	5.68	6.38	117	90	1	6	5.575	3.525					NON VERIFICATO
23	6.38	8.85	90	131	1	6	34.622	12.350					NON VERIFICATO
24	4.97	8.85	54	91	1	4	42.754	19.400					NON VERIFICATO
25	4.97	8.85	53	92	2	8	13.415	19.400					VERIFICATO
26	4.97	8.85	56	93	2	8	32.604	19.400					NON VERIFICATO
27	4.02	7.85	52	94	2	7	44.371	19.150					NON VERIFICATO
27	7.85	8.85	94	132	2	10	10.746	5.000					NON VERIFICATO
28	4.02	7.85	62	95	2	10	38.814	19.150					NON VERIFICATO
29	0.00	1.00	1	154	1	6	0.215	5.025					VERIFICATO
29	1.00	2.01	154	161	1	6	0.200	5.025					VERIFICATO
29	2.01	3.01	161	168	1	5	0.128	5.025					VERIFICATO
29	3.01	3.07	168	140	2	7	1.331	0.275					NON VERIFICATO
29	3.07	4.02	140	28	2	7	1.685	4.750					VERIFICATO
29	4.02	7.85	28	96	2	10	22.926	19.150					NON VERIFICATO
30	0.00	3.07	2	29	2	9	15.505	15.350					NON VERIFICATO
30	3.07	6.85	29	97	2	10	19.969	18.900					NON VERIFICATO
31	0.00	3.07	3	30	2	7	21.340	15.350					NON VERIFICATO
31	3.07	6.85	30	98	2	9	18.732	18.900					VERIFICATO
32	4.97	5.81	47	308	2	8	0.125	4.200					VERIFICATO
32	5.81	6.65	308	99	2	8	0.352	4.200					VERIFICATO



SPOSTAMENTI SISMICI RELATIVI													
IDENTIFICATIVO					INVILUPPO S.L.V.				INVILUPPO S.L.O.				Stringa di Controllo Verifica
Filo N.ro	Quota inf. (m)	Quota sup. (m)	Nodo inf. N.ro	Nodo sup. N.ro	Sis ma Nro	Com bin Nro	Spostam. Calcolo (mm)	Spostam. Limite (mm)	Sis ma Nro	Com bin Nro	Spostam. Calcolo (mm)	Spostam. Limite (mm)	
32	6.65	8.85	99	133	1	5	16.528	11.000					NON VERIFICATO
33	4.97	5.81	48	318	2	9	0.225	4.200					VERIFICATO
33	5.81	6.65	318	100	1	3	0.385	4.200					VERIFICATO
33	6.65	8.85	100	134	1	5	16.271	11.000					NON VERIFICATO
34	4.97	8.85	49	101	1	4	18.237	19.400					VERIFICATO
35	4.97	8.85	50	102	1	4	17.610	19.400					VERIFICATO
36	4.02	7.85	51	103	2	7	44.466	19.150					NON VERIFICATO
36	7.85	8.85	103	135	2	10	10.536	5.000					NON VERIFICATO
37	0.00	1.00	18	148	1	4	0.192	5.025					VERIFICATO
37	1.00	2.01	148	155	1	4	0.215	5.025					VERIFICATO
37	2.01	3.01	155	162	2	9	0.228	5.025					VERIFICATO
37	3.01	4.02	162	31	2	9	1.046	5.025					VERIFICATO
37	4.02	7.85	31	104	2	10	21.951	19.150					NON VERIFICATO
38	0.00	1.00	4	279	2	7	5.237	5.025					NON VERIFICATO
38	1.00	2.01	279	285	2	10	6.617	5.025					NON VERIFICATO
38	2.01	3.01	285	291	2	10	7.154	5.025					NON VERIFICATO
38	3.01	3.07	291	141	2	7	2.915	0.275					NON VERIFICATO
38	3.07	4.02	141	32	2	9	4.785	4.750					NON VERIFICATO
38	4.02	6.85	32	105	2	8	14.184	14.150					NON VERIFICATO
39	0.00	1.00	17	262	1	5	0.085	5.025					VERIFICATO
39	1.00	2.01	262	264	1	5	0.089	5.025					VERIFICATO
39	2.01	3.01	264	266	1	4	0.071	5.025					VERIFICATO
39	3.01	4.02	266	33	1	5	0.104	5.025					VERIFICATO
40	0.00	3.07	5	34	2	7	21.535	15.350					NON VERIFICATO
40	3.07	6.85	34	125	2	9	19.916	18.900					NON VERIFICATO
42	0.00	2.27	10	37	2	7	17.613	11.350					NON VERIFICATO
42	2.27	6.85	37	123	2	9	29.987	22.900					NON VERIFICATO
45	4.97	8.85	35	136	2	8	0.057	19.400					VERIFICATO
47	4.97	8.85	64	106	1	5	17.748	19.400					VERIFICATO
48	4.97	8.85	67	107	1	5	17.299	19.400					VERIFICATO
49	4.97	8.85	63	108	1	5	23.485	19.400					NON VERIFICATO
50	4.97	8.85	65	109	1	5	23.479	19.400					NON VERIFICATO
52	4.97	6.04	110	118	1	6	2.938	5.342					VERIFICATO
53	4.97	6.11	111	119	1	6	4.269	5.683					VERIFICATO
54	4.97	6.18	112	120	1	4	5.514	6.025					VERIFICATO
55	4.97	5.18	113	115	1	5	1.078	1.061					NON VERIFICATO
55	5.18	6.24	115	121	1	5	5.521	5.306					NON VERIFICATO
56	4.97	5.42	114	116	1	5	2.229	2.236					VERIFICATO
56	5.42	6.31	116	122	1	5	5.343	4.472					NON VERIFICATO
68	0.00	1.00	143	149	2	7	0.470	5.025					VERIFICATO
68	1.00	2.01	149	156	2	7	0.554	5.025					VERIFICATO
68	2.01	3.01	156	163	1	3	0.547	5.025					VERIFICATO
68	3.01	4.02	163	169	1	6	0.551	5.025					VERIFICATO
69	0.00	1.00	144	150	1	3	0.660	5.025					VERIFICATO
69	1.00	2.01	150	157	1	3	0.778	5.025					VERIFICATO
69	2.01	3.01	157	164	1	3	0.889	5.025					VERIFICATO
69	3.01	4.02	164	170	1	3	1.028	5.025					VERIFICATO
70	0.00	1.00	145	151	1	3	0.702	5.025					VERIFICATO
70	1.00	2.01	151	158	1	3	0.839	5.025					VERIFICATO
70	2.01	3.01	158	165	1	3	0.990	5.025					VERIFICATO
70	3.01	4.02	165	171	1	3	1.179	5.025					VERIFICATO
71	0.00	1.00	146	152	1	3	0.580	5.025					VERIFICATO
71	1.00	2.01	152	159	1	3	0.690	5.025					VERIFICATO
71	2.01	3.01	159	166	1	3	0.808	5.025					VERIFICATO
71	3.01	4.02	166	172	1	3	0.954	5.025					VERIFICATO
72	0.00	1.00	147	153	1	6	0.381	5.025					VERIFICATO
72	1.00	2.01	153	160	1	6	0.418	5.025					VERIFICATO
72	2.01	3.01	160	167	1	3	0.447	5.025					VERIFICATO
72	3.01	4.02	167	173	1	3	0.509	5.025					VERIFICATO
73	0.00	1.00	174	179	1	5	0.269	5.025					VERIFICATO
73	1.00	2.01	179	185	1	5	0.283	5.025					VERIFICATO
73	2.01	3.01	185	191	1	3	0.272	5.025					VERIFICATO
73	3.01	4.02	191	197	1	3	0.314	5.025					VERIFICATO
74	0.00	1.00	175	180	1	6	0.394	5.025					VERIFICATO
74	1.00	2.01	180	186	1	6	0.462	5.025					VERIFICATO
74	2.01	3.01	186	192	1	3	0.545	5.025					VERIFICATO
74	3.01	4.02	192	198	1	3	0.653	5.025					VERIFICATO
75	0.00	1.00	176	181	1	6	0.441	5.025					VERIFICATO
75	1.00	2.01	181	187	1	3	0.535	5.025					VERIFICATO
75	2.01	3.01	187	193	1	3	0.662	5.025					VERIFICATO
75	3.01	4.02	193	199	1	5	0.809	5.025					VERIFICATO
76	0.00	1.00	177	182	1	6	0.360	5.025					VERIFICATO
76	1.00	2.01	182	188	1	3	0.449	5.025					VERIFICATO





SPOSTAMENTI SISMICI RELATIVI													
IDENTIFICATIVO					INVILUPPO S.L.V.				INVILUPPO S.L.O.				Stringa di Controllo Verifica
Filo N.ro	Quota inf. (m)	Quota sup. (m)	Nodo inf. N.ro	Nodo sup. N.ro	Sis ma Nro	Com bin Nro	Spostam. Calcolo (mm)	Spostam. Limite (mm)	Sis ma Nro	Com bin Nro	Spostam. Calcolo (mm)	Spostam. Limite (mm)	
76	2.01	3.01	188	194	1	3	0.574	5.025					VERIFICATO
76	3.01	4.02	194	200	1	3	0.716	5.025					VERIFICATO
77	0.00	1.00	178	183	1	5	0.201	5.025					VERIFICATO
77	1.00	2.01	183	189	1	6	0.244	5.025					VERIFICATO
77	2.01	3.01	189	195	1	3	0.325	5.025					VERIFICATO
77	3.01	4.02	195	201	1	3	0.462	5.025					VERIFICATO
78	0.00	1.00	202	208	1	5	0.432	5.025					VERIFICATO
78	1.00	2.01	208	215	1	5	0.486	5.025					VERIFICATO
78	2.01	3.01	215	222	1	6	0.519	5.025					VERIFICATO
78	3.01	4.02	222	228	1	4	0.620	5.025					VERIFICATO
79	0.00	1.00	203	209	1	3	0.675	5.025					VERIFICATO
79	1.00	2.01	209	216	1	3	0.813	5.025					VERIFICATO
79	2.01	3.01	216	223	1	6	0.988	5.025					VERIFICATO
79	3.01	4.02	223	229	1	6	1.199	5.025					VERIFICATO
80	0.00	1.00	204	210	1	6	0.790	5.025					VERIFICATO
80	1.00	2.01	210	217	1	6	0.976	5.025					VERIFICATO
80	2.01	3.01	217	224	1	6	1.204	5.025					VERIFICATO
80	3.01	4.02	224	230	1	6	1.477	5.025					VERIFICATO
81	0.00	1.00	205	211	1	5	0.692	5.025					VERIFICATO
81	1.00	2.01	211	218	1	6	0.852	5.025					VERIFICATO
81	2.01	3.01	218	225	1	6	1.038	5.025					VERIFICATO
81	3.01	4.02	225	231	1	3	1.274	5.025					VERIFICATO
82	0.00	1.00	206	212	1	5	0.401	5.025					VERIFICATO
82	1.00	2.01	212	219	1	5	0.487	5.025					VERIFICATO
82	2.01	3.01	219	226	1	3	0.562	5.025					VERIFICATO
82	3.01	4.02	226	232	1	5	0.678	5.025					VERIFICATO
83	0.00	1.00	233	239	2	7	3.896	5.025					VERIFICATO
83	1.00	2.01	239	245	2	7	4.979	5.025					VERIFICATO
83	2.01	3.01	245	251	2	7	5.692	5.025					NON VERIFICATO
83	3.01	4.02	251	256	2	7	6.069	5.025					NON VERIFICATO
84	0.00	1.00	234	240	2	7	3.108	5.025					VERIFICATO
84	1.00	2.01	240	246	2	7	3.784	5.025					VERIFICATO
84	2.01	3.01	246	252	2	7	4.288	5.025					VERIFICATO
84	3.01	4.02	252	257	2	7	4.526	5.025					VERIFICATO
85	0.00	1.00	235	241	2	9	2.212	5.025					VERIFICATO
85	1.00	2.01	241	247	2	9	2.658	5.025					VERIFICATO
85	2.01	3.01	247	253	2	7	2.989	5.025					VERIFICATO
85	3.01	4.02	253	258	2	7	3.140	5.025					VERIFICATO
86	0.00	1.00	236	242	2	9	1.335	5.025					VERIFICATO
86	1.00	2.01	242	248	2	9	1.603	5.025					VERIFICATO
86	2.01	3.01	248	254	2	9	1.807	5.025					VERIFICATO
86	3.01	4.02	254	259	2	9	1.897	5.025					VERIFICATO
87	0.00	1.00	237	243	2	9	0.580	5.025					VERIFICATO
87	1.00	2.01	243	249	2	9	0.690	5.025					VERIFICATO
87	2.01	3.01	249	255	2	9	0.784	5.025					VERIFICATO
87	3.01	4.02	255	260	2	9	0.859	5.025					VERIFICATO
88	0.00	1.00	261	263	1	5	0.102	5.025					VERIFICATO
88	1.00	2.01	263	265	1	5	0.111	5.025					VERIFICATO
88	2.01	3.01	265	267	1	4	0.144	5.025					VERIFICATO
88	3.01	4.02	267	268	1	6	0.260	5.025					VERIFICATO
89	0.00	1.00	269	270	1	5	0.089	5.025					VERIFICATO
89	1.00	2.01	270	271	1	5	0.098	5.025					VERIFICATO
89	2.01	3.01	271	272	1	5	0.089	5.025					VERIFICATO
89	3.01	4.02	272	273	1	4	0.123	5.025					VERIFICATO
90	0.00	1.00	274	280	2	7	4.791	5.025					VERIFICATO
90	1.00	2.01	280	286	2	7	5.317	5.025					NON VERIFICATO
90	2.01	3.01	286	292	2	10	5.739	5.025					NON VERIFICATO
90	3.01	4.02	292	297	2	7	5.908	5.025					NON VERIFICATO
91	0.00	1.00	275	281	2	7	4.028	5.025					VERIFICATO
91	1.00	2.01	281	287	2	7	4.233	5.025					VERIFICATO
91	2.01	3.01	287	293	2	7	4.478	5.025					VERIFICATO
91	3.01	4.02	293	298	2	7	4.618	5.025					VERIFICATO
92	0.00	1.00	276	282	2	7	3.057	5.025					VERIFICATO
92	1.00	2.01	282	288	2	7	3.147	5.025					VERIFICATO
92	2.01	3.01	288	294	2	7	3.295	5.025					VERIFICATO
92	3.01	4.02	294	299	2	7	3.394	5.025					VERIFICATO
93	0.00	1.00	277	283	2	7	2.005	5.025					VERIFICATO
93	1.00	2.01	283	289	2	7	2.031	5.025					VERIFICATO
93	2.01	3.01	289	295	2	7	2.149	5.025					VERIFICATO
93	3.01	4.02	295	300	2	7	2.257	5.025					VERIFICATO
94	0.00	1.00	278	284	2	7	0.964	5.025					VERIFICATO
94	1.00	2.01	284	290	2	7	0.961	5.025					VERIFICATO
94	2.01	3.01	290	296	2	7	1.074	5.025					VERIFICATO



SPOSTAMENTI SISMICI RELATIVI													
IDENTIFICATIVO					INVILUPPO S.L.V.				INVILUPPO S.L.O.				Stringa di Controllo Verifica
Filo N.ro	Quota inf. (m)	Quota sup. (m)	Nodo inf. N.ro	Nodo sup. N.ro	Sis ma N.ro	Com bin N.ro	Spostam. Calcolo (mm)	Spostam. Limite (mm)	Sis ma N.ro	Com bin N.ro	Spostam. Calcolo (mm)	Spostam. Limite (mm)	
94	3.01	4.02	296	301	2	7	1.348	5.025					VERIFICATO
95	4.97	5.71	302	305	1	4	3.019	3.694					VERIFICATO
95	5.71	6.45	305	309	1	4	3.791	3.694					NON VERIFICATO
96	4.97	5.74	303	306	1	6	2.271	3.863					VERIFICATO
96	5.74	6.52	306	310	1	4	2.404	3.862					VERIFICATO
97	4.97	5.78	304	307	1	3	1.132	4.031					VERIFICATO
97	5.78	6.58	307	311	1	5	1.162	4.031					VERIFICATO
98	4.97	5.81	312	315	2	10	0.732	4.200					VERIFICATO
98	5.81	6.65	315	319	2	10	0.824	4.200					VERIFICATO
99	4.97	5.81	313	316	2	9	1.041	4.200					VERIFICATO
99	5.81	6.65	316	320	2	9	1.203	4.200					VERIFICATO
100	4.97	5.81	314	317	2	8	0.900	4.200					VERIFICATO
100	5.81	6.65	317	321	2	8	0.995	4.200					VERIFICATO
101	4.97	5.97	322	325	1	3	2.169	5.000					VERIFICATO
102	4.97	5.97	323	326	1	3	2.352	5.000					VERIFICATO
103	4.97	5.97	324	327	1	3	1.685	5.000					VERIFICATO

## 17 – Verifica sotto le combinazioni statiche $I_{ST\_SLU}$ e $I_{ST\_RESTR}$

Le NTC 2018 richiedono la determinazione del livello di sicurezza nei confronti dei carichi gravitazionali, andando a quantificare l'Indice  $I_{ST\_SLU}$ , dato dal rapporto tra il valore massimo del sovraccarico variabile verticale supportabile dalla costruzione ed il valore del sovraccarico variabile che si utilizzerebbe per le nuove costruzioni.

Se le verifiche non fossero soddisfatte, la necessità di adottare provvedimenti restrittivi all'uso della costruzione e/o procedere con interventi di miglioramento/adeguamento statico, sarebbero comunque necessari se non risultino soddisfatte le verifiche relative alle azioni controllate dall'uomo, ossia prevalentemente ai carichi permanenti ed alle azioni di servizio.

Ciò significa che andrà calcolato un nuovo indice di sicurezza, detto  $I_{ST\_RESTR}$ , dato dal rapporto tra il valore massimo del sovraccarico variabile verticale sopportato dalla costruzione e quello causato dall'uomo (quindi sono da escludere neve e vento od altre azioni naturali).

In questo caso nella combinazione SLU, visto il livello di conoscenza raggiunto, possiamo utilizzare un coefficiente di combinazione  $\gamma_g$  pari ad 1,1, mentre per i sovraccarichi variabili il  $\gamma_q$  è pari ad 1,5 come per le nuove costruzioni.

### 17.1 Determinazione dell' $I_{ST\_SLU}$

La combinazione di partenza è la seguente.

	1
1. PESO PROPRIO	1.1
2. SOVRACCARICO PERMAN.	1.1
3. Var.Amb.affol.	1.5
4. Var.Neve $h \leq 1000$	1.5
5. Var.Coperture	1.5
6. COEFF. SIGMA PROFILI	1.0

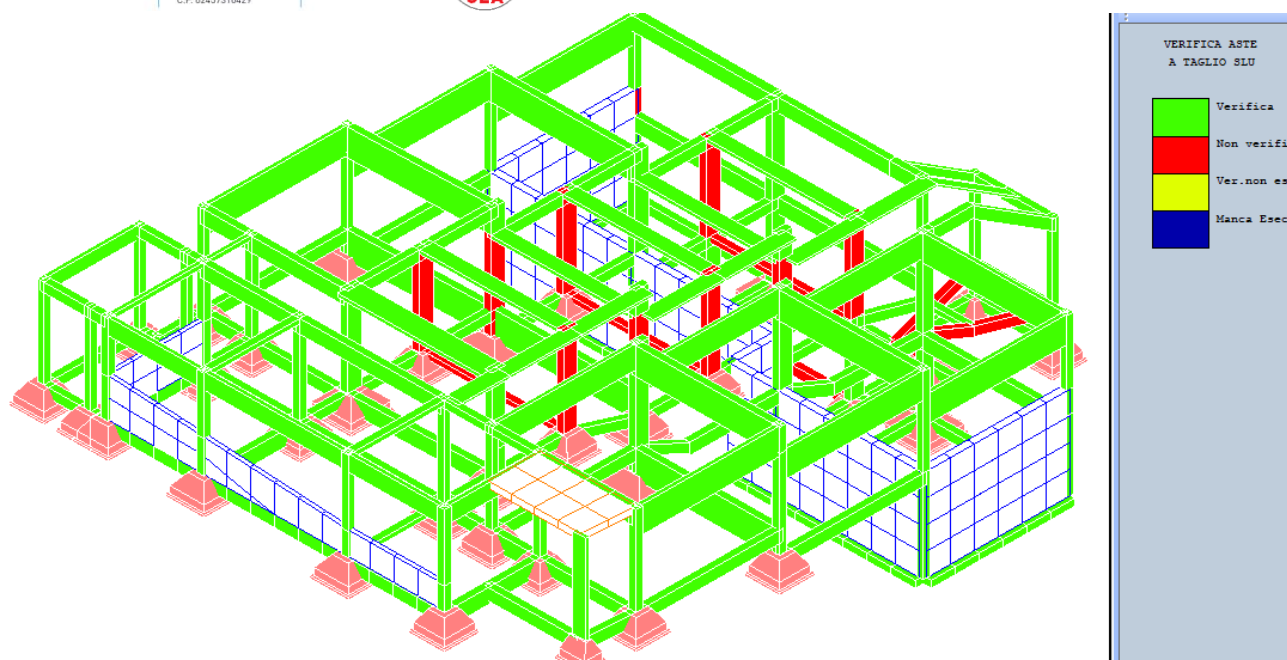


Figura 56 - Esito verifiche a taglio sotto la combinazione di calcolo

Dando maggior rilievo alle verifiche a taglio piuttosto che a quelle per flessione, la verifica risulta soddisfatta (a meno di un pilastro centrale), qualora il coefficiente applicato al sovraccarico accidentale assuma valore pari a 0,10.

STAMPA PROGETTO S.L.U. - PILASTRI																																	
VERIFICA A PRESSO-FLESSIONE												VERIFICA A TAGLIO E TORSIONE																					
File	Quota	T	C																														
Ini	Ini	r	Se	c																													
Fin	Final	a	Bas	n	Co	M	E	N	Ed	x	cf	cf	Area	cmq	Co	V	E	V	T	Sdu	V	R	V	R	Tr	R	Tr	Cl	Co	Co	Al	On	Staffe
Cg	N	Nc	t	Alt	c	mb	(t'	m)	(t'	m)	(t)	/d	100	100	b	h	mb	(t)	(t)	(t'	m)	(t)	(t)	(t'	m)	(t'	m)	Cl	Sta	cmq	Pas	Lun	Fi
26	4.97		4	1	1	0.3	3.8	-9.9		8	7	5.1	7.6	1	-2.9	0.2	0.0	2.8	6.1	1.5	0.0	18	101	0.0	23	172	6						
26	8.85		30	3	1	-0.2	-2.1	-8.9		3	4	5.1	7.6	1	-2.9	0.2	0.0	2.8	6.1	1.5	0.0	18	101	0.0	23	0	6						
2.6	0.00		60	5	1	-0.5	-6.1	-8.2		999	999	5.1	7.6	1	-2.9	0.2	0.0	2.8	6.1	1.5	0.0	18	101	0.0	23	172	6						

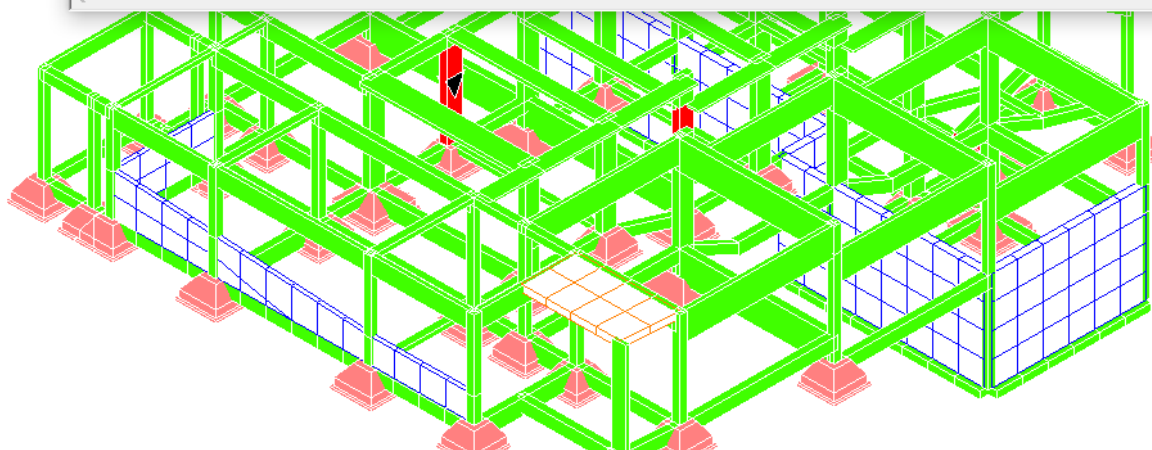


Figura 57 - Esito verifica con  $\gamma_q = 0,1$

Le ragioni di queste ridotte capacità a taglio sono dovute al fatto che i pilastri del settore centrale (quelli più critici evidenziati nella figura 56) sono sollecitate dalle travi di copertura di lunga luce (tra l'altro modellate in modo semplificato vista la loro strana forma geometrica), su cui appoggiano gli impalcati di copertura; è evidente che in questi casi dunque a pesare molto è il carico della neve.

Ma soprattutto il deficit è dovuto al fatto che la resistenza a taglio del pilastro (in questo caso da intendersi con base 60 cm ed altezza 30 cm, è molto bassa a causa di uno scarso quantitativo di staffe ed una bassa qualità delle armature.

In sostanza  $IST_{SLU} = 0,1 / 1,5 = 0,067$

## 17.2 Determinazione dell' $IST_{RESTR.}$

La combinazione di partenza è la seguente.

	1
1. PESO PROPRIO	1.1
2. SOVRACCARICO PERMAN.	1.1
3. Var.Amb.affol.	1.5
4. Var.Neve $h \leq 1000$	0.0
5. Var.Coperture	0.0
6. COEFF. SIGMA PROFILI	1.0

Dando maggior rilievo alle verifiche a taglio piuttosto che a quelle per flessione, la verifica risulta sostanzialmente soddisfatta mantenendo il valore del sovraccarico accidentale pari ad 1,5.

Quindi l'edificio ai sensi delle NTC2018, il fabbricato non necessita di adozione di provvedimenti restrittivi sulla destinazione d'uso attuale.

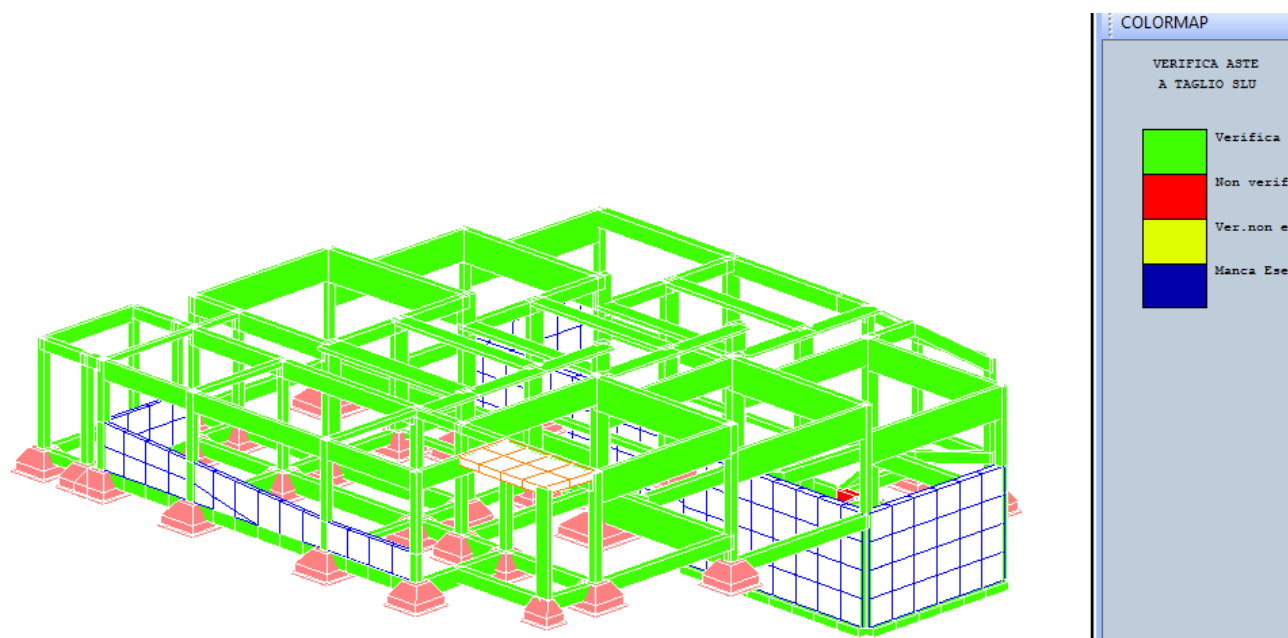


Figura 58 - Esito verifica per l'  $IST_{RESTR.}$



## 18 - Verifica dei nodi

### 18.1 - Corpo originario

Lanciano una analisi lineare con spettro di progetto affetto da fattore di struttura (o di comportamento) pari ad 1,5, accade che le verifiche appaiono sostanzialmente soddisfatte, ad eccezione di un solo caso che eventualmente sarà trattato in sede di progetto di consolidamento.

RISULTATI VERIFICHE NODI CLS x ESISTENTE																		
IDENTIFICATIVO					DIREZIONE 'X'							DIREZIONE 'Y'						
Filo N.ro	Quota (m)	Nod3d Nro	Nsup (t)	Coll Nodo	TaglSup (t)	TrazAf (t)	SgmCo	SgmTr	RcLim ----- kg/cmq	RtLim	DeltRt	TaglSup (t)	TrazAf (t)	SgmCo	SgmTr	RcLim ----- kg/cmq	RtLim	DeltRt
21	0.00	6	-17.2	NO	8.0	0.0	-22.6	5.1	-32.3	7.6		6.2	0.0	-21.4	3.8	-32.3	7.6	
22	0.00	11	1.0	NO	3.7	0.0	-23.8	4.7	-32.3	7.6								
12	0.00	12	-2.0	NO	1.3	4.2	-23.2	2.3	-32.3	7.6								
5	4.02	20	0.0	NO														
11	3.07	22	-15.9	NO	2.6	0.0	-10.9	1.4	-32.3	7.6		11.0	5.7	-11.6	1.4	-32.3	7.6	
12	1.27	23	0.6	NO	4.9	5.3	-8.3	4.1	-32.3	7.6		2.5	5.7	-11.0	3.9	-32.3	7.6	
19	4.02	24	0.0	NO														
21	3.07	26	-9.1	NO								2.2	0.0	-10.7	4.4	-32.3	7.6	
22	1.27	27	0.9	NO	6.4	4.5	-9.0	4.5	-32.3	7.6		0.1	5.7	-9.8	6.8	-32.3	7.6	
38	4.02	32	0.0	NO														
1	8.85	68	0.0	NO														
2	8.85	69	0.0	NO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
6	5.97	73	0.0	NO														
7	8.85	74	0.0	NO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
8	8.85	75	0.0	NO	0.0	3.8	-4.3	4.3	-32.3	7.6		0.0	0.5	-0.6	0.6	-32.3	7.6	
9	7.85	76	-9.3	SI								18.6	0.0	-15.5	8.0	-32.3	7.6	
10	7.85	77	0.0	NO	0.0	9.7	-5.4	5.4	-32.3	7.6		0.0	5.9	-3.3	3.3	-32.3	7.6	
11	6.85	78	0.0	NO	0.0	7.5	-5.0	5.0	-32.3	7.6		0.0	5.9	-3.9	3.9	-32.3	7.6	
13	5.97	80	0.0	NO														
23	6.38	90	0.0	NO														
32	6.65	99	0.0	NO														
33	6.65	100	0.0	NO														
9	8.85	128	0.0	NO	0.0	9.7	-5.4	5.4	-32.3	7.6		0.0	5.9	-3.3	3.3	-32.3	7.6	
21	2.27	137	-17.5	NO	1.1	2.9	-19.7	1.4	-32.3	7.6								

## 19 - Sintesi, conclusioni, previsione di intervento e restrizioni d'uso

La scuola Fornaci di Castelfidardo è un fabbricato costituito da un corpo in cemento armato, di massimo due elevazioni, comprendente anche un piccolo volume destinato a centrale termica che, pur essendo accostato fino a toccare, è allo stato attuale non provvisto di un vincolo vero e proprio, vincolo che viene comunque previsto nella seguente trattazione.

L'edificio è piuttosto articolato ed irregolare, per la presenza di piani sfalsati, fondazioni a quote differenti, presenza di pareti in cemento armato disposte in modo asimmetrico, esistenza di travi di grandi luce e geometria particolare.

Non esistono veri e propri impalcati rigidi, quanto piuttosto una serie diaframmi disallineati, disarticolati e sfalsati, ognuno dei quali presenta una certa rigidità di piano (ad eccezione del corridoio dove è presente una copertura a volta in plexigless), ma che impediscono la realizzazione di un piano rigido complessivo.

Allo stato attuale l'edificio non presenta quadri fessurativi riconducibili a dissesti fondali; l'unico punto in cui si evidenziano delle fenditure (recentemente sottoposte a monitoraggio) riguarda un giunto a sella tra due travi, previsto già all'epoca del progetto originario. Tale giunto, la cui realizzazione non è ben motivata, essendo di fatto caratterizzato da una sorta di vincolo scorrevole, è particolarmente sensibile alle vibrazioni od anche ai piccoli assestamenti, per cui si lesiona molto facilmente.

La stabilità generale del sistema terreno-fondazione appare dunque efficiente e per questo, non ricorrendo le condizioni previste dalla NTC 2018, non si affronteranno in questa fase particolari verifiche in fondazione.

I terreni di sedime non presentano caratteristiche geofisiche per le quali si attendono anomale amplificazioni dell'azione sismica, essendo la natura stratigrafica tale per cui non si identifica un picco di frequenza particolare, e comunque non esistono contrasti di impedenza tali da far ritenere necessaria l'esecuzione di una risposta sismica locale.

Dai risultati di test del laboratorio è emerso che il calcestruzzo del corpo originario presenta una bassa resistenza media a compressione (circa 11,7 MPa) e che anche l'acciaio ha proprietà meccaniche scadenti (225 MPa).

Per quello che riguarda i calcestruzzi occorre ricordare che il valore della resistenza media scaturisce dalla manipolazione statistica dei valori uscenti dalle prove, valori che sono stati sottoposti al criterio di rigetto secondo la teoria di Chauvenet, che ha comportato l'eliminazione dei due valori più alti, perché molto lontani dalla media.

Le scadenti caratteristiche meccaniche dell'acciaio, per certi versi sorprendenti, forse sono dovute allo sfortunato spezzone di prelievo che, per qualche motivo, presenta dei valori non consueti di resistenza.

**In queste situazioni, appare utile suggerire una integrazione delle prove di caratterizzazione meccanica del calcestruzzo e dell'acciaio, prevedendo ulteriori prelievi di carote (almeno 6) e di spezzoni di armatura (almeno 3).**

Dai sondaggi di rilievo si è constatato che la gabbia d'armatura presenta un passo delle staffe non congruente con le indicazioni del progetto originario, essendo questo mediamente superiore (23 cm, anziché 15 cm), mentre i copriferri sono molto contenuti.

La profondità di carbonatazione è abbastanza contenuta e generalmente inferiore ai 20mm ad eccezione che nel campione prelevato nel setto in cemento armato.

Questi elementi di dettaglio hanno pesato molto sull'esito delle verifiche sismiche, perché a fronte di un buon comportamento in termini di rigidità, in termini di resistenza la capacità a taglio è piuttosto limitata e tale da far classificare l'edificio in una classe di rischio "E", un "E" tra l'altro molto basso e prossimo al classe "F".

Si tenga tra l'altro presente che in un paio di pilastri si è constatata l'assenza di staffatura in un tratto posto alla base per circa 50/60 cm dal piede, anomalia che crea una vulnerabilità locale da sanare in tempi rapidi.

Il controllo della struttura nei confronti dei carichi d'esercizio, non giustificano condizioni di pericolosità tale da far ritenere superato lo stato limite per carichi gravitazionali, pertanto la scuola può mantenere attivo il suo servizio, tuttavia si rende necessario indicare la necessità di prevedere delle restrizioni di utilizzo in alcune specchiature di solaio, per le quali si dovrà controllare che il sovraccarico accidentale non superi i 140 Kg/m<sup>2</sup> (indicativamente il peso medio di due persone adulte per metro quadro).

Le specchiature di solaio soggette a restrizioni sono le seguenti:



Figura 59 - Aree soggette a restrizioni d'uso.

L'attuale normativa impone, nel caso si vogliano eseguire opere di consolidamento, di raggiungere una classe di rischio pari almeno alla "B"; tale obiettivo in via preliminare si prevede possa essere raggiunto eseguendo le seguenti opere:

- Intervento di consolidamento a pressoflessione e taglio dei elementi strutturali (principalmente i pilastri), con eliminazione della vulnerabilità riscontrata in alcuni elementi verticali privi di staffatura alla base;
- Consolidamento anti espulsione delle tamponature, principalmente di quelle collocate lungo il corridoio centrale nella zona già evidenziata nello specifico capitolo;
- Consolidamento del solaio soggetto a restrizioni, finalizzato almeno alla rimozione della restrizione stessa;
- Eliminazione del giunto a sella;
- Creazione di un vincolo efficace tra la struttura della centrale termica ed il corpo principale, oppure in alternativa, creazione di un giunto sismico idoneo.

La vulnerabilità sismica del fabbricato e la classe di rischio ad essa attribuita suggeriscono, coerentemente con le indicazioni contenute in apposite Circolari nazionali (DPCM 4/11/2010 e Circolare C.S.LL.PP 2009 che si consiglia vengano acquisite e comprese), la possibilità di mantenere la scuola in esercizio, ma di intervenire in tempi piuttosto rapidi (nell'ambito massimo del prossimo biennio), per eseguire opere di consolidamento sismico che possano appunto migliorare la classe di rischio portandola almeno a "B".



Nelle more della definizione degli interventi di consolidamento si suggerisce altresì di adottare le varie azioni di mitigazione del rischio sismico che sono indicate ad esempio nei siti di protezione civile, dove sono a disposizione manuali e video che possono aiutare nella gestione del periodo transitorio.