

COMMITTENTE:

**COMUNE DI ASCOLI PICENO (AP)**



OGGETTO:

**VERIFICA DI VULNERABILITA' SISMICA DEL PATRIMONIO EDILIZIO  
SCOLASTICO DEL COMUNE DI ASCOLI PICENO - LOTTO 2  
"Scuola Primaria Don Bosco, via Kennedy"**



PROGETTAZIONE



**Studio Tecnico  
Associato**

RESPONSABILE DI COMMESSA

Ing. Claudia Marconi

RESPONSABILE TECNICO

Ing. Francesco Cappanera

ASSOCIATI ALLA PROGETTAZIONE:

Ing. Stefano Leoni

Ing. Marco Principi

Ing. Marco Lorenzini

COLLABORATORI:

Ing. Sara Galante

Ing. Claudia Davoli

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Arch. Ugo Galanti

elaborato	<b>VERIFICA DI VULNERABILITA' SISMICA</b>				
fase    sito    tipo    n. tavola	<b>Fase 2:</b> <b>RELAZIONI SULLA MODELLAZIONE STRUTTURALE, SULLA VULNERABILITA' STATICA, SULL'IDENTIFICAZIONE INTERVENTI URGENTI E SULLE VERIFICHE DELLE VULNERABILITA'</b>				
scala	---	COMMESSA N° 429		cod. 429-V-BO-R-08-A	
<i>Organizzazione certificata RINA secondo norma UNI EN ISO 9001:2008 Cert. n. 9740/03/S</i>		DATA	OPR.	CONTR.	APPR.
		emiss. A	02/08/2020	SG	MP
		1° rev. B			
		2° rev. C			
		3° rev. D			
Proprieta' riservata, a termine di legge, a "ALL INGENGERIA" con divieto di riproduzione e di utilizzazione anche solo parziale senza l'autorizzazione dell'autore.					

# INDICE

1)	<b>RELAZIONE DI SINTESI DELLA FASE CONOSCITIVA.....</b>	<b>1</b>
	Premessa .....	1
	Descrizione dello stato attuale e materiale reperito.....	1
	Relazione sulle valutazioni delle caratteristiche dei materiali e sul livello di conoscenza raggiunto .....	13
	Relazione sulle fondazioni e caratterizzazione sismica del sottosuolo.....	18
	Stato di conservazione .....	20
2)	<b>VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA .....</b>	<b>21</b>
	Motivo alla base della valutazione della sicurezza del fabbricato.....	21
	Stato Limite nei confronti del quale viene eseguita la valutazione della sicurezza.....	21
3)	<b>VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>22</b>
	Vita Nominale ( $V_N$ ) .....	22
	Classe d'Uso ( $C_U$ ) .....	22
	Periodo di Riferimento ( $V_R$ ) .....	22
4)	<b>AZIONI SULLE COSTRUZIONI.....</b>	<b>22</b>
	Combinazione delle Azioni.....	22
	Analisi dei carichi .....	24
	Determinazione dell'Azione Sismica .....	28
	Determinazione dell'Azione della Neve .....	33
5)	<b>RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE .....</b>	<b>35</b>
6)	<b>METODI DI ANALISI E CRITERI DI AMMISSIBILITÀ .....</b>	<b>56</b>
	Analisi di regolarità.....	57
	Caratterizzazione Modale della Struttura .....	59
	Analisi Dinamica Lineare con Spettro Elastico .....	63
7)	<b>VERIFICHE DI VULNERABILITÀ.....</b>	<b>64</b>
	Valutazione della idoneità statica degli orizzontamenti .....	64
	Valutazione della idoneità statica finalizzata all'analisi sismica:.....	64
	Verifiche di vulnerabilità sismica .....	65
	Verifiche di vulnerabilità degli elementi non strutturali e degli impianti.....	65
8)	<b>IDENTIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI URGENTI.....</b>	<b>66</b>
9)	<b>DETERMINAZIONE DELL'INDICATORE DI RISCHIO (<math>I_R</math>).....</b>	<b>66</b>
	Indicatore di Rischio sismico .....	66
10)	<b>VALUTAZIONE CRITICA DELL'INDICATORE DI RISCHIO (<math>I_R</math>) .....</b>	<b>68</b>
11)	<b>RIFERIMENTI PER LA STESURA DELLA RELAZIONE TECNICA.....</b>	<b>70</b>



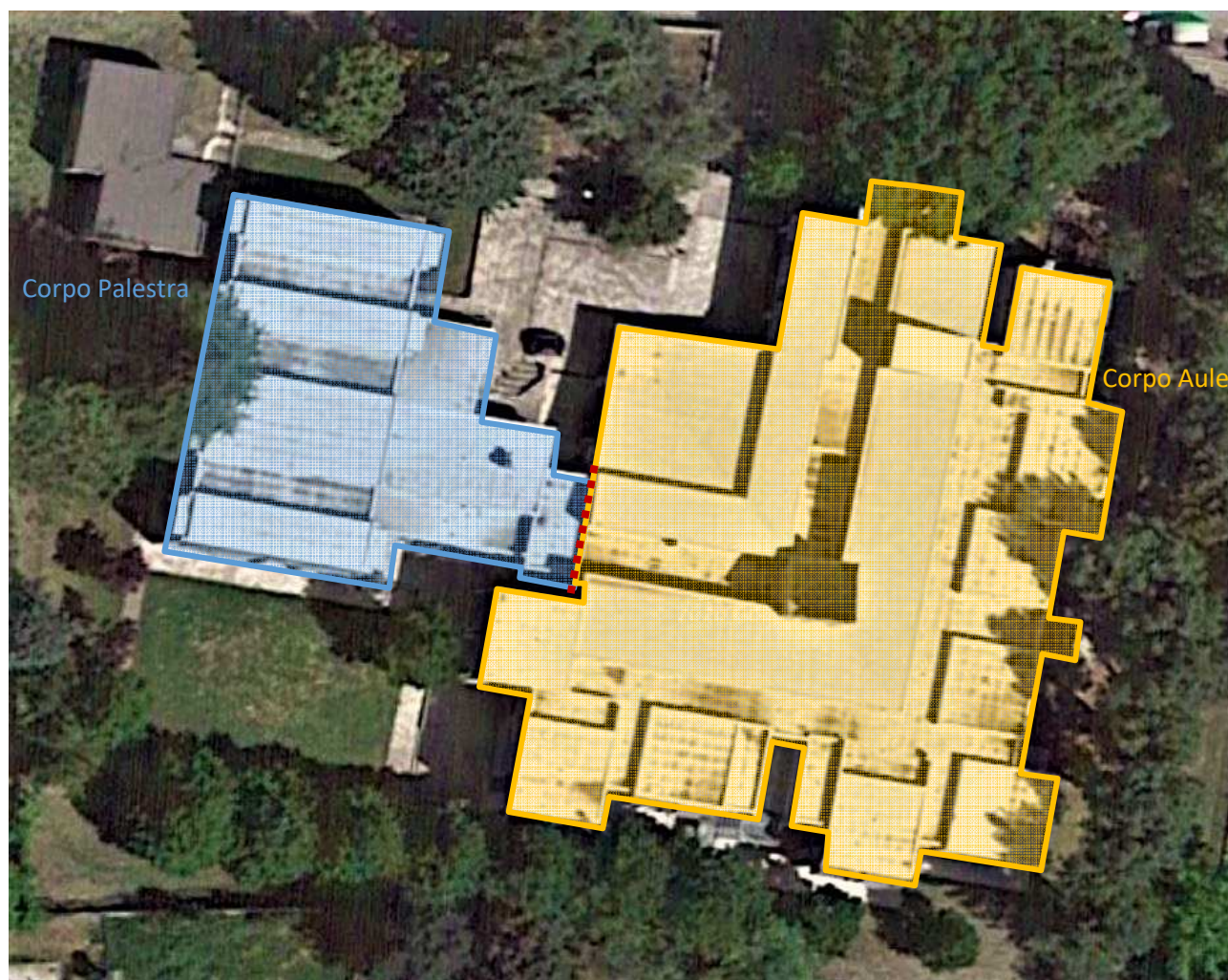
## 1) RELAZIONE DI SINTESI DELLA FASE CONOSCITIVA

### Premessa

La presente Relazione tecnico-descrittiva illustra lo stato attuale e le risultanze delle verifiche di vulnerabilità sismica della Scuola primaria “Don Bosco” sita in via Kennedy snc, nel comune di Ascoli Piceno (AP); a partire dallo studio dello stato attuale dell’edificio (anche in riferimento alle proprietà dei materiali esistenti), perviene alla valutazione sismica del fabbricato, mettendo in luce le carenze emerse a seguito delle risultanze numeriche e delle indagini in situ.

### Descrizione dello stato attuale e materiale reperito

La scuola primaria “Don Bosco” sita in Ascoli Piceno (AP) è costituita da due corpi di fabbrica separati da un giunto a sella, entrambi con struttura portante in c.a., distinto al catasto al Foglio 103, particella 202; la realizzazione del fabbricato risale al periodo 1975-1978, quando ancora il Comune di Ascoli Piceno non era stato dichiarato sismico.



*Schema della suddivisione in Corpi del complesso scolastico con indicato con tratteggio rosso il giunto*

La collocazione geografica nella Carta D'Italia è la Tav. I.G.M "Ascoli Piceno Est", Foglio 133, IV° quadrante, Sud-Est, mentre nella Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 l'area ricade nel Foglio n. 326 (Ascoli Piceno) sez. n. 32610.

La scuola è costituita da due corpi di fabbrica (Palestra e Aule) facenti parte di un unico progetto e costruiti contestualmente, separati unicamente da un giunto a sella. La planimetria dell'intero complesso scolastico ha una conformazione irregolare, iscrivibile in un rettangolo di circa 64x46 m

Il Corpo Palestra, planimetricamente di forma riconducibile ad un rettangolo con un'appendice ad "L" ad Est di collegamento al Corpo Aule, si erige per una sola elevazione fuori terra. Vi si accede dal piano terra del Corpo Aule o esternamente dal giardino del complesso scolastico. L'altezza interna al finito varia a seconda degli ambienti: dai 2.47 m e 3.00 m del corridoio distributivo e della dispensa, ai 4.21 m degli spogliatoi e della cucina, ai 6.00 m e 7.16 m della palestra vera e propria. Tale variazione in altezza è data dalla diversa collocazione in elevazione delle rispettive coperture, mentre il calpestio è tutto disposto alla stessa quota. La struttura portante è in telai in c.a. con pilastri, setti e travi, inframezzati da tamponamenti in calcestruzzo debolmente armato. Nonostante si abbia una sola elevazione fuori terra, dagli elaborati di progetto e costruttivi emerge la presenza di due ordini di travi, dato che anche il piano terra è costituito da solai in laterocemento. I pilastri/setti hanno dimensione costante in elevazione: le sezioni dei pilastri sono da 60x20 cm o da 50x20 cm (o 20x50 cm) mentre i setti associati sono da 20x260 cm, interrotti puntualmente e a varie quote da aperture. In particolare, sui lati lunghi del locale palestra le aperture sono incorniciate da solette e pareti in c.a. a sbalzo dai setti o dai tamponamenti. Le travi di copertura del locale palestra sono incernierate sui pilastri/setti, mentre in generale, in tutto il corpo, si presentano con diverse sezioni, calate, estradossate, parzialmente estradossate o disposte su più ordini per la gestione dei diversi livelli delle coperture e dell'illuminazione degli ambienti dall'alto.

I solai in laterocemento, nel dettaglio sono delle tipologie:

- per il calpestio, in laterocemento con caldana sopra alle pignatte di spessori 24+4 cm nel locale palestra, 20+4 cm in tutti gli altri ambienti ad eccezione di alcune aree in cui da progetto originario erano previsti servizi igienici, dove ci sono solai da 16+4 cm per avere uno spessore maggiore per il passaggio a terra degli impianti;
- per le coperture, in laterocemento con caldana sopra alle pignatte di spessore 16+4 cm nei locali palestra, spogliatoi e cucina, e 20+4 cm sopra all'attuale corridoio distributivo ed alla dispensa.

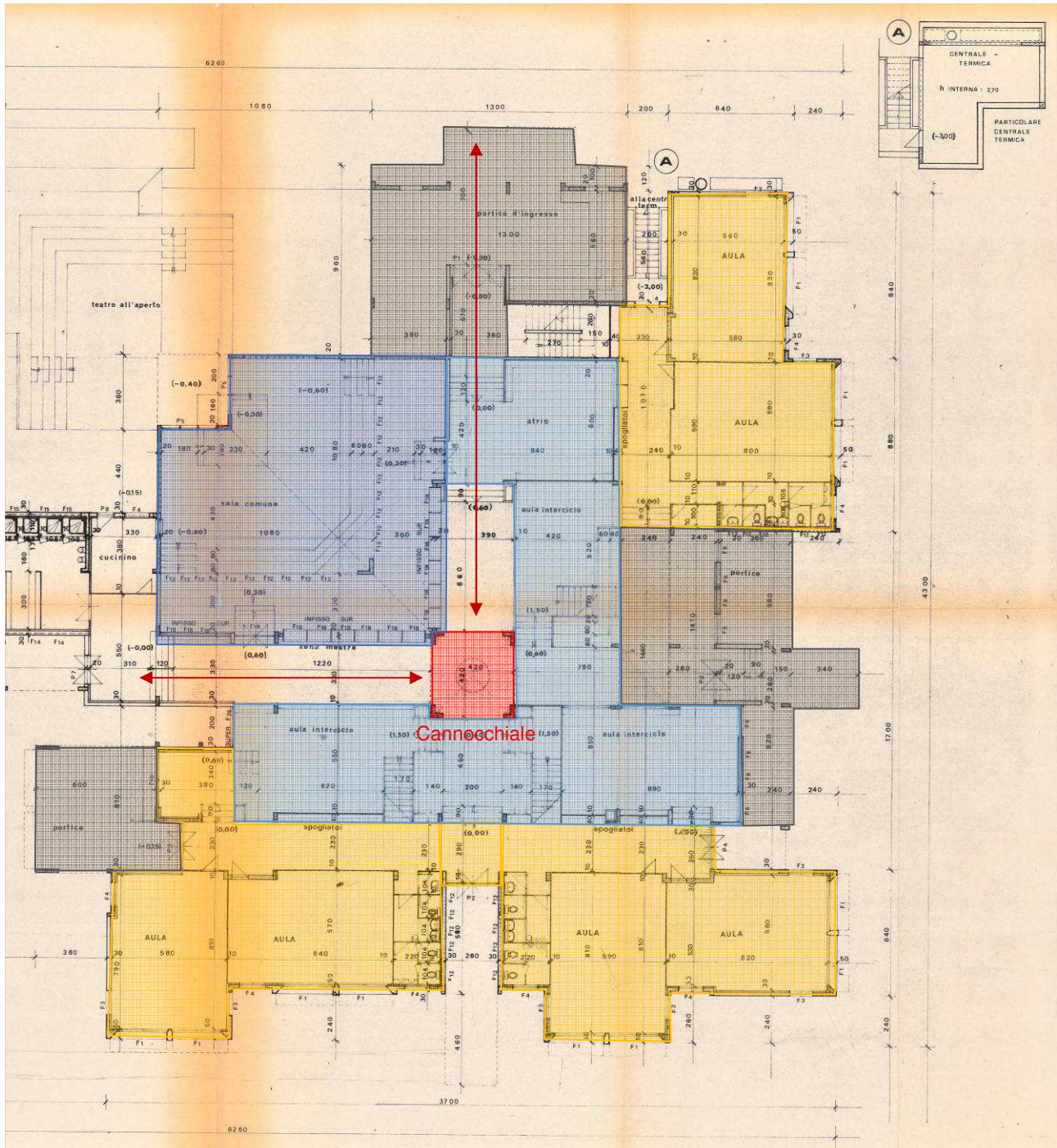


Le coperture, su quote differenti, sono tutte piane con ultimo strato di finitura costituito da impermeabilizzazione. Le strutture, mentre esternamente si presentano tutte a vista, internamente sono occultate da una fodera di elementi in laterizio di spessore circa 10 cm, come rilevato con le indagini e dal confronto fra il rilievo strutturale e architettonico.

Il Corpo Aule, planimetricamente di forma irregolare, si collega ad Ovest con il Corpo Palestra, ha una complessità ed irregolarità anche in elevazione, pertanto presenta aree ad un'unica elevazione affiancate ad altre a due elevazioni e numerosi dislivelli interni. Le altezze interne pertanto sono estremamente variabili, e la differenziazione in questo caso dipende sia da una diversa quota dei livelli di calpestio sia da coperture dei diversi ambienti articolate su altezze differenti. Utile riferimento per la comprensione dei dislivelli interni e dunque del posizionamento delle strutture, conservatisi sostanzialmente uguali dall'epoca di costruzione, è la descrizione dell'organismo architettonico originario. Naturalmente la distribuzione interna e le destinazioni d'uso attuali dei singoli ambienti si sono adattate nel tempo alle effettive esigenze dell'edificio e della popolazione scolastica, e pertanto non ricalcano in toto quanto previsto nel progetto, come invece le strutture.

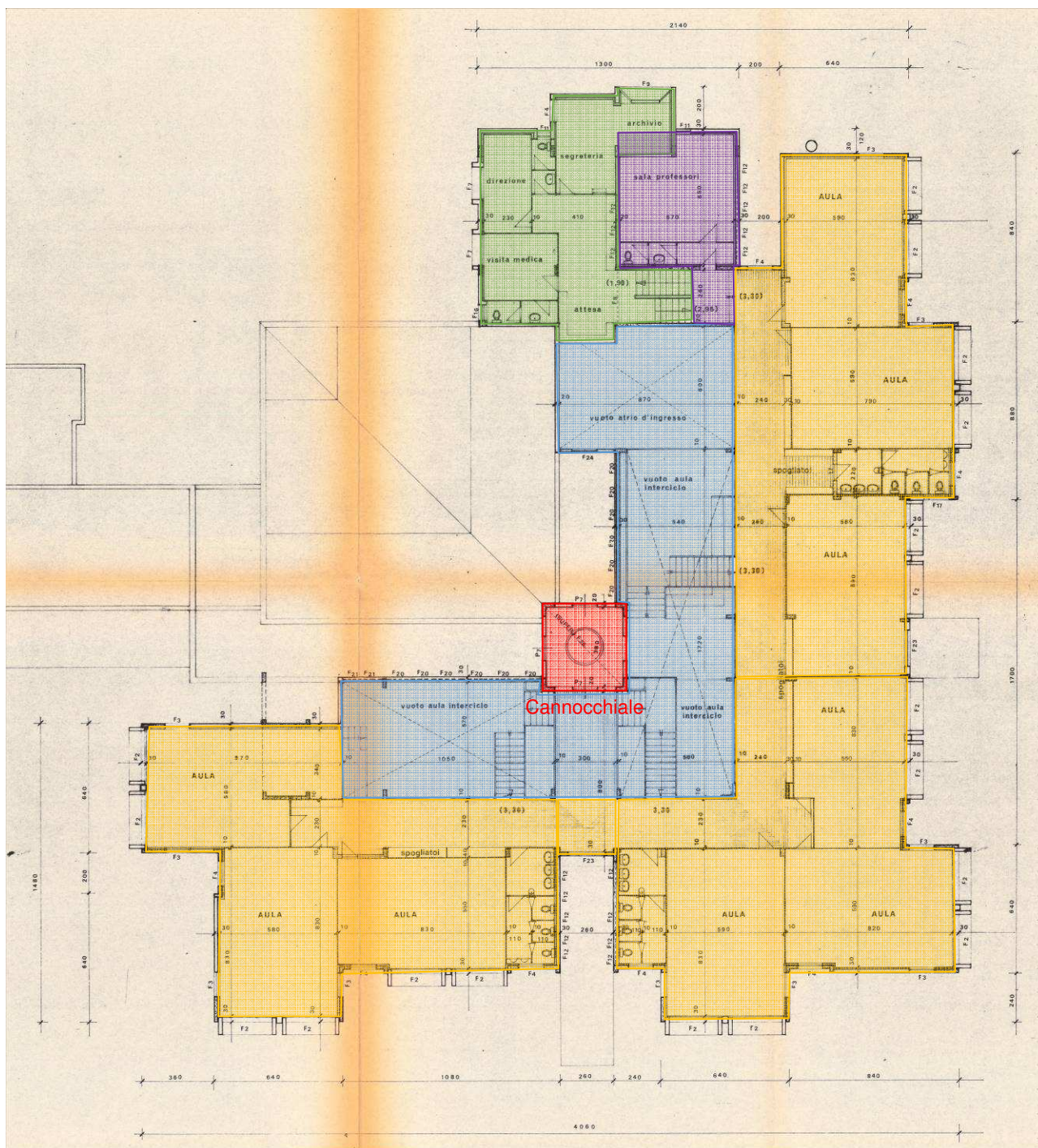
L'edificio scolastico è impostato su tre nuclei di cinque aule ciascuno, disposti a ventaglio (Nord-Est, Sud-Est e Sud-Ovest), nuclei che al loro interno, come blocchi modulari, attraverso le aule interciclo ed i percorsi attrezzati (ora quasi tutti spazi comuni), racchiudono la sala comune o aula magna, rappresentante il punto focale dell'intera scuola. Ogni nucleo aule si articola su tre livelli: alla quota 0.00 m si hanno due aule, al piano primo a quota 3.30 m si trovano tre aule, tutte e cinque le aule sono in diretto contatto con le aule interciclo (ora aule o spazi comuni), situate ad una quota intermedia di 1.50 m o piano rialzato. Ogni nucleo aule è fornito dei propri servizi igienici a ciascun piano e da gruppi indipendenti di scale, entrambi ancora presenti, e da una zona porticata di accesso (questo elemento è rimasto inalterato solo in corrispondenza dell'ingresso principale a Nord, gli altri due portici sono stati tamponati rispettivamente per ricavare un secondo ingresso/uscita ed un locale ad Est ed un'aula in più ad Ovest). Il sistema di distribuzione dell'intera scuola è articolato su due assi ortogonali confluenti in un fulcro illuminato dall'alto da un ampio lucernaio, denominato "cannocchiale", che si contrappone alla sala comune gradonata, le cui funzioni assembleari sono assolte anche all'esterno da un anfiteatro posto tra l'aula magna e la palestra. Unica eccezione del sistema si ha in prossimità dell'atrio di ingresso a Nord, in cui una scala conduce ai servizi amministrativi e relativi servizi igienici (all'epoca direzione e sala professori, oggi laboratori e magazzini) disposti su due quote, una di mezzanino ad 1.90 m con una zona di attesa ed affaccio

sull'atrio ed una a 3.00 m. Nell'estremità Nord-Est, al di sotto di un'aula, e dunque quasi interamente interrata, è collocata la centrale termica del complesso scolastico. La doppia elevazione, riassumendo, pertanto è presente solo in corrispondenza dei nuclei aule, dei loro servizi igienici e spazi distributivi ed in prossimità dell'atrio di ingresso a Nord. In tutte le altre aree si hanno uniche elevazioni che raggiungono quote di copertura differenziate con altezze interne talvolta anche molto elevate.



*Progetto architettonico originario con indicate le destinazioni d'uso evidenziate con colori (piani terra e rialzato)*





*Progetto architettonico originario con indicate le destinazioni d'uso evidenziate con colori (piano primo)*

Il fabbricato presenta una tipologia strutturale a telai in c.a. con pilastri, setti e travi. Dagli elaborati di progetto e costruttivi, come per il Corpo Palestra, emerge la presenza di solai in laterocemento al piano terra e rialzato, con delle campate inclinate a raccordare i dislivelli. I pilastri, a parte locali eccezioni visibili comunque nei disegni di rilievo, conservano le proprie dimensioni in elevazione.

I setti associati sono interrotti puntualmente e a varie quote da aperture. Le aperture al piano primo sono incorniciate da solette e pareti in c.a. a sbalzo dalle travi perimetrali.



Le travi sono di varie dimensioni e tipologie: sono presenti travi a spessore con dimensione di base anche molto ampia (130÷150 cm), travi calate e travi estradossate o parzialmente estradossate. La gestione dei dislivelli in generale è affidata a travi molto alte estradossate su un lato e calate sull'altro o dal raddoppio su più ordini di travi o cordoli.

I solai in laterocemento, nel dettaglio sono delle tipologie:

- per il calpestio del piano terra, in laterocemento con caldana sopra alle pignatte di spessori 20+4 cm in quasi tutti gli ambienti tranne che nella sala comune o aula magna e dove sono presenti i servizi igienici, in cui sono stati realizzati solai da 16+4 cm per avere uno spessore maggiore per il passaggio a terra degli impianti;
- per le coperture e per il calpestio del piano primo, in laterocemento con caldana sopra alle pignatte di spessore 20+4 cm, ovunque tranne che nella sala comune;
- in laterocemento con caldana sopra alle pignatte di spessore 24+4 cm nei locali della sala comune o aula magna, sia per il calpestio che per la copertura.

Le coperture, su quote differenti, sono inclinate sopra la sala comune ed il suo corridoio e sopra gli spazi comuni distributivi. Sono leggermente inclinate sopra ai nuclei aule ed in piano in tutti gli altri casi. Presentano ultimo strato di finitura con impermeabilizzazione.

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dimensionali e strutturali dei corpi del complesso scolastico in esame:

<b>Corpo PALESTRA</b>		
<b>Sistema costruttivo: struttura a telaio in c.a.</b>		
SOLAI	Area (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
Piano TERRA	473	3.309
<b>TOTALE</b>	<b>473</b>	<b>3.309</b>

<b>Corpo AULE</b>		
<b>Sistema costruttivo: struttura a telaio in c.a.</b>		
SOLAI	Area (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
Piano INTERRATO	55	237
Piano TERRA e RIALZATI	1.361	5.968
Piano PRIMO	702	2.339
<b>TOTALE</b>	<b>2.118</b>	<b>8.544</b>

*N.B. Il volume è ricavato aggiungendo 1 m all'altezza di piano per tenere in conto l'approfondimento delle fondazioni; inoltre, è stata considerata un'altezza pari alla media tra l'altezza massima e minima delle coperture quando inclinate.*

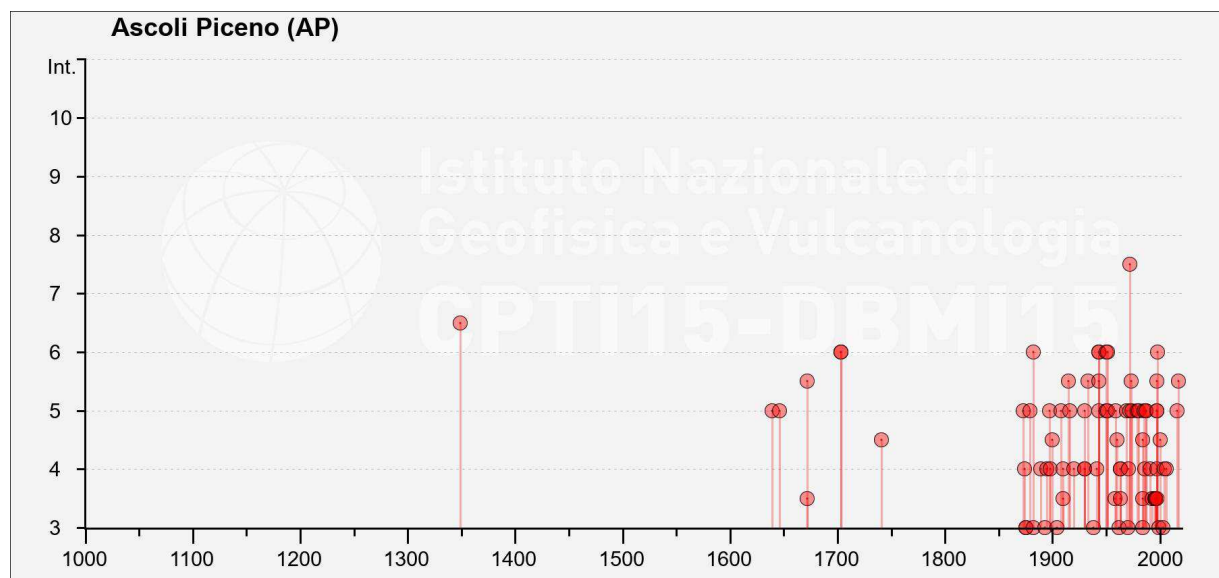
Per quanto riguarda la storia sismica, nella zona di Ascoli Piceno (AP), stando al sito di riferimento <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/> si sono registrati i seguenti eventi sismici:

Int.	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
6-7	1349 09 09	Appennino laziale-abruzzese	17	9	6.27
5	1639 10 07	Monti della Laga	39	9-10	6.21
5	1646 04 28 07	Monti della Laga	10	9	5.9
3-4	1672 04 14 15 45	Riminese	92	8	5.59
5-6	1672 06 08 17 30	Monti della Laga	10	7-8	5.33
6	1703 01 14 18	Valnerina	197	11	6.92
6	1703 02 02 11 05	Aquilano	69	10	6.67
2-3	1727 12 14 19 45	Valle del Metauro	32	7	5.24
4-5	1741 04 24 09 20	Fabrianese	135	9	6.17
NF	1795 06 19 23 30	Maceratese	17	6	4.7
5	1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	196	8	5.85
4	1874 02 24 06 52	Aquilano	26	6-7	5.12
3	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8	5.74
3	1875 12 06	Gargano	97	8	5.86
5	1879 02 23 18 30	Valnerina	15	8	5.59
3	1882 05 26 04 15	Cascia	16	5	4.45
6	1882 08 16	Costa ascolana	13	7	5.15
F	1887 05 26	Jesi	19	5	4.44
4	1889 11 28 19 10	Monti Sibillini	10	4-5	4.19
3	1893 08 02 00 59	Valnerina	84	5-6	4.55
4	1895 08 09 17 38 20.00	Adriatico centrale	103	6	5.11
5	1897 09 21	Marche settentrionali	44	7	5.4
4	1898 06 27 23 38	Reatino	186	8	5.5
4-5	1900 08 10 04 28 13.00	Teramano	15	5	4.28
F	1903 11 02 21 52	Valnerina	33	6	4.81
3	1904 09 02 11 21	Maceratese	59	5-6	4.63
NF	1905 08 18 04 07	Tavoliere delle Puglie	41	5	4.61
NF	1905 08 25 20 41	Valle Peligna	29	6	5.15
5	1908 03 17 03 59	Marche meridionali	54	5-6	4.61
NF	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
3-4	1910 12 22 12 34	Monti della Laga	19	5	4.3
4	1910 12 26 16 30	Monti della Laga	50	5-6	4.56
SF	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63
5-6	1915 01 13 06 52 43.00	Marsica	1041	11	7.08
5	1916 07 04 05 06	Monti Sibillini	18	6-7	4.82
4	1920 02 10 23 57	Monti Sibillini	18	5	4.3
NC	1922 06 08 07 47	Valle del Chienti	47	6	4.73
F	1924 01 02 08 55 13.00	Senigallia	76	7-8	5.48
4	1930 04 07 17 17 18.00	Monti Sibillini	28	5-6	4.5
4	1930 07 23 00 08	Irpinia	547	10	6.67
5	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5.83

5-6	1933 09 26 03 33 29.00	Maiella	325	9	5.9
3	1938 08 12 02 28 33.00	Appennino laziale-abruzzese	55	5-6	4.56
4	1941 12 19	Monti Sibillini	30	7	5.02
6	1943 01 16	Monti Sibillini	22	6-7	5.04
5	1943 01 29	Monti Sibillini	50	6-7	4.94
5-6	1943 03 25	Marche meridionali	15	6	4.85
6	1943 10 03 08 28 29.00	Ascolano	170	8	5.67
5	1950 09 03 22 41 20.00	Ascolano	5	5-6	4.4
6	1950 09 05 04 08	Gran Sasso	386	8	5.69
5	1951 08 08 19 56	Gran Sasso	94	7	5.25
6	1951 09 01	Monti Sibillini	80	7	5.25
2-3	1957 03 12 16 20	Valnerina	62	5	4.16
3-4	1958 06 24 06 07	Aquilano	222	7	5.04
5	1959 01 01 23 58 14.00	Teramano	46	5	4.33
4-5	1960 03 16 01 52 48.00	Monti della Laga	81	5	4.44
NF	1962 01 23 17 31	Costa pesarese	49	5	4.35
3	1962 08 30 12 10	Valnerina	35	7	5.02
4	1963 01 25 05 27	Monti Sibillini	30	5	4.31
3-4	1963 05 19 22 45	Valnerina	12	6	4.74
4	1963 07 21 11 09	Monti della Laga	11	7	4.71
5	1969 09 26 23 40 39.00	Teramano	97	5	4.39
3	1970 09 07 14 02 21.00	Appennino umbro-marchigiano	56	5	4.35
2-3	1971 02 12 04 54 56.00	Valle del Chiascio	47	7	4.89
4	1971 10 04 16 43 32.60	Valnerina	43	5-6	4.51
5	1972 02 04 02 42 18.56	Costa anconetana	75		4.57
7-8	1972 11 26 16 03	Marche meridionali	73	8	5.48
5-6	1973 04 20 22 18	Ascolano	2	5-6	4.4
5	1974 12 02 01 55 15.00	Valnerina	27	7-8	4.58
5	1979 09 19 21 35 37.00	Valnerina	694	8-9	5.83
5	1980 02 28 21 04 40.00	Valnerina	146	6	4.97
NF	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5.04
4-5	1984 04 29 05 02 59.00	Umbria settentrionale	709	7	5.62
3	1984 05 07 17 50	Monti della Meta	911	8	5.86
3-4	1984 05 11 10 41 49.27	Monti della Meta	342	7	5.47
5	1985 05 01 16 57 35.00	Ascolano	51	5	4.09
4	1986 10 13 05 10 00.31	Monti Sibillini	322	5-6	4.46
5	1987 07 03 10 21 57.64	Costa Marchigiana	359	7	5.06
5	1987 09 04 16 42 49.60	Costa Marchigiana	75	6	4.66
NF	1990 05 05 07 21 29.61	Potentino	1375		5.77
4	1991 11 12 21 45 55.05	Ascolano	19	5-6	3.54
NF	1992 10 24 18 44 48.60	Monti della Laga	32	5	4.08
3-4	1993 06 05 19 16 17.02	Valle del Topino	326	6	4.72
3-4	1995 12 30 15 22 08.73	Fermano	106	5	4.19
3-4	1996 01 01 12 21 41.54	Maceratese	91	5-6	4.2
NF	1996 01 22 18 37 44.36	Fermano	76	5	3.96
3-4	1996 07 09 10 23 07.21	Costa abruzzese-marchigiana	45		4.2
3-4	1996 10 20 19 06 55.57	Appennino laziale-abruzzese	100	5	4.36



5	1997 09 26 00 33 12.88	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
5-6	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
4	1997 10 03 08 55 22.07	Appennino umbro-marchigiano	490		5.22
5	1997 10 14 15 23 10.64	Valnerina	786		5.62
3-4	1997 11 09 19 07 33.27	Valnerina	180		4.87
6	1998 03 21 16 45 09.21	Appennino umbro-marchigiano	141		5
3	1999 10 10 15 35 51.91	Alto Reatino	79	4-5	4.21
4-5	2000 10 24 07 52 23.70	Monti Sibillini	65	5	4.11
3	2003 05 25 17 15 13.95	Ascolano	88	4-5	3.81
4	2004 12 09 02 44 25.29	Teramano	213	5	4.09
NF	2005 04 12 00 31 51.61	Maceratese	131	4	3.74
NF	2005 12 15 13 28 39.59	Val Nerina	350	5	4.14
4	2006 04 10 19 03 36.67	Maceratese	211	5	4.06
NF	2006 10 21 07 04 10.01	Anconetano	287	5	4.21
5	2016 08 24 01 36 32.00	Monti della Laga	221	10	6.18
5-6	2017 01 18 10 14 09.90	Aquilano	280		5.7



*Eventi sismici registrati nella zona di Ascoli Piceno*

Il Comune di Ascoli Piceno (AP) è stato classificato sismico per la prima volta nel 10/02/1983 e collocato in Categoria II (S=9). Ne consegue che il progetto non è stato condotto secondo criteri e normative antisismiche.

La documentazione propedeutica alla redazione della verifica di vulnerabilità, di fondamentale importanza per l'ottimale espletamento dell'incarico, è stata ricercata presso gli archivi della Amministrazione Comunale di Ascoli Piceno e gli archivi del Provveditorato; la ricerca svolta ha consentito di ricostruire l'evoluzione storica dei fabbricati oggetto di verifica sismica.

L'attuale scuola primaria "Don Bosco" era all'epoca denominata "Scuola elementare nel Capoluogo del Quartiere (Borgo) Luciani", pertanto i documenti si riferiscono a tale appellativo.

In merito alla sua realizzazione, sono stati rinvenuti negli archivi del Comune:

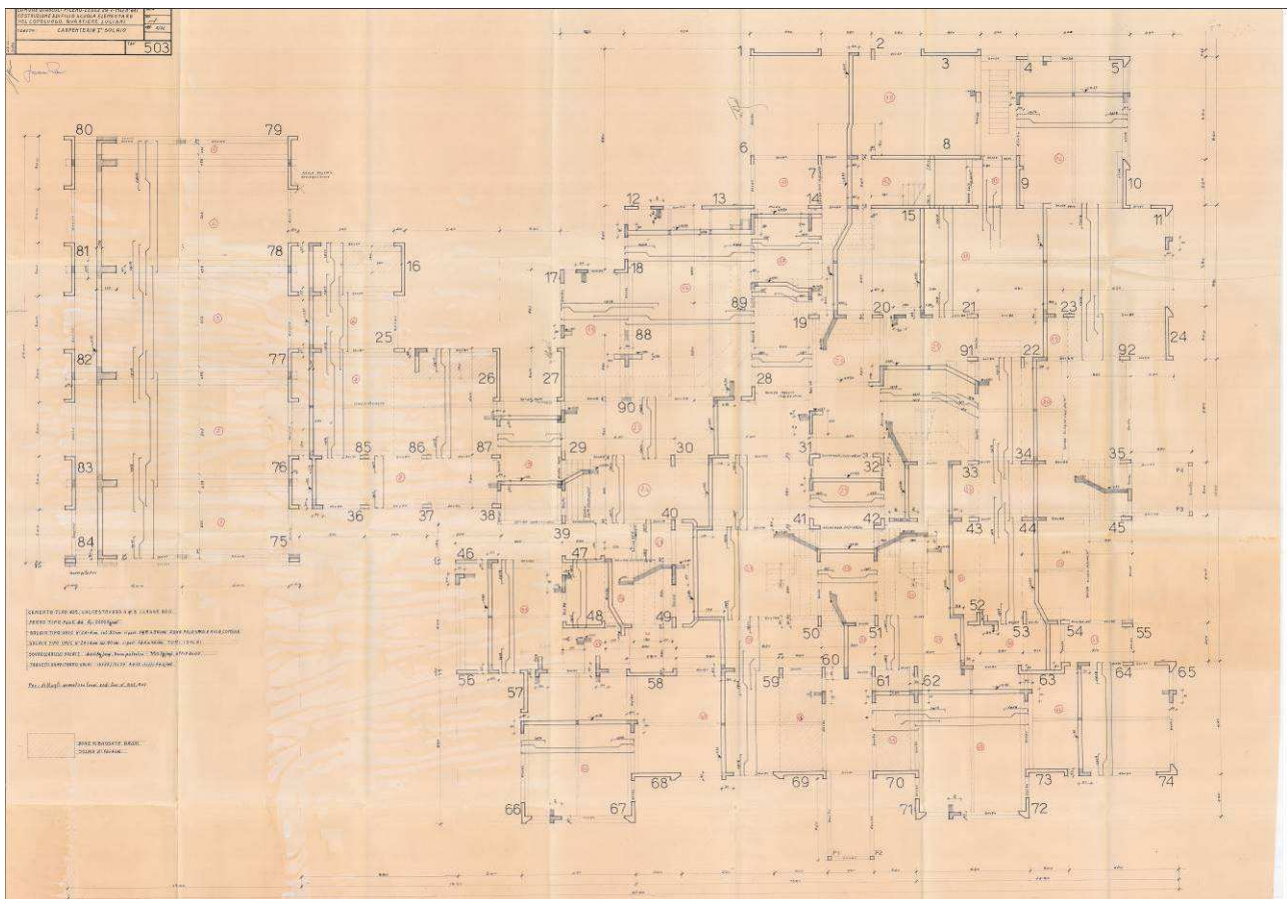
- Progetto originario della scuola, redatto nell'ottobre del 1971 ed aggiornato nel marzo del 1972, a firma degli Architetti Progettisti Dott. Arch. Vittore Martelli e Dott. Arch. Giovanni Zani. Il progettista delle strutture in c.a. è stato l'Ing. Andreini Remo.

In particolare, sono state reperite:

- Tav.1: Planimetria;
  - Tav.2: Pianta piano terra;
  - Tav.3: Pianta piano primo;
  - Tav.4: Pianta copertura;
  - Tav.5: Prospetti e sezioni;
  - Tav.6: Abitazione custode;
  - Tav.7: Particolare nucleo aule;
  - Tav.8: Sezione di dettaglio aule;
  - Tav.9: Sezione di dettaglio percorso attrezzato e aula comune;
  - Tav.10: Particolare recinzione;
  - Tav.11: Abaco infissi;
  - Tav.12: Pianta fondazioni.
- Esecutivi strutturali dell'Impresa Cappelli Geom. Emidio di Ascoli Piceno, controfirmati dal Direttore Lavori Arch. Giovanni Zani, allegati alla contabilità dei lavori eseguiti tra il 1975 ed il 1978, comprendenti i seguenti elaborati grafici:
    - Tav. 501: Pianta fondazioni su pali spiccato pilastri;
    - Tav. 503: Carpenteria 1° solaio;
    - Tav. 504: Tabella pilastri;
    - Tav. 506: Fondazione zona centrale termica e dettagli armature;
    - Tav. 508: Carpenteria 2° solaio e copertura palestra;
    - Tav. 509: Dettagli armature pareti – Travi copertura palestra e servizi – Scale in c.a.;
    - Tav. 511: Abitazione custode: Fondazioni – Solai – Dettagli armature
    - Tav. 512: Carpenteria solaio copertura.
  - Esecutivi della Direzione Lavori, controfirmati dal Direttore Lavori Arch. Giovanni Zani, allegati alla contabilità dei lavori, comprendenti i seguenti elaborati grafici:

- Tav. 1: Pianta piano terra;
- Tav. 2: Pianta piano primo;
- Tav. 3: Pianta coperture;
- Tavola per la contabilità dell'impianto di scarico.
- Contabilità dei lavori:
  - Registro di contabilità;
  - Computi metrici del ferro per le opere in cemento armato: 3 fascicoli;
  - Libretti delle misure: 5 fascicoli.
- Relazioni specialistiche: relazione illustrativa di progetto, relazione geologica di progetto a firma del Geol. Vittorio Marucci e relazione della prova di carico sui pali.
- Altro materiale tecnico-amministrativo utile, sia di progetto che relativo all'esecuzione dei lavori, in aggiunta a quanto sopra elencato, come: programma di gara, stima delle aree da espropriare, stima generale, variante al PRG e relativa adozione per l'area del nuovo complesso scolastico, computo metrico estimativo dei lavori e degli arredi, elenco prezzi e analisi dei prezzi, capitolato speciale d'appalto dei lavori e degli arredi, relazione sulle condizioni dell'impianto di riscaldamento, relazioni di perizia di variante 1 e 2 con relativi computi metrici estimativi, documenti di revisione dei prezzi e deliberazioni di approvazione del Comune, verbale di consegna dei lavori, verbali di sospensione e ripresa dei lavori, stati di avanzamento lavori assieme ad atti contrattuali e contabili dell'Amministrazione nei confronti della Direzione Lavori e dell'Impresa, documenti contabili e contratti relativi alla realizzazione dell'impianto di riscaldamento.
- Documenti di collaudo:
  - Verbale di collaudo delle opere in cemento armato a firma del Collaudatore Statico Dott. Ing. Nazzareno Morganti (settembre 1977);
  - Dichiarazione del Direttore Lavori che certifica la regolarità e l'esecuzione a regola d'arte da parte dell'Impresa dei lavori di riparazione e ripristino ordinati dalla Commissione Collaudatrice a seguito della visita di collaudo (gennaio 1979);
  - Relazione, verbale di visita e certificato di collaudo a firma della Commissione Collaudatrice formata dai tecnici Dott. Sidney Domenici e Dott. Ing. Arch. Vitaliano Jacobucci (febbraio 1979);
  - Delibera di approvazione del certificato di collaudo (giugno 1979).





*Esempio di tavola n.503: Carpenteria 1° solaio*

Sono stati inoltre trasmessi dall'Amministrazione:

- Documenti in formato .dwg contenenti gli elaborati di progetto di alcuni interventi avvenuti in tempi più recenti (primi anni 2000) di natura impiantistica, architettonica o comunque legata ad elementi accessori dell'edificio scolastico, nel dettaglio:
  - Progetto Esecutivo dei “Lavori di ampliamento ed adeguamento alle normative igienico sanitarie della cucina scolastica di Via Kennedy”, a firma del Per. Ind. Domenico Tosti e del Geom. Roberto Lazzarini, con cui è stata modificata la distribuzione interna di alcuni locali (spogliatoi, docce, bagni e cucina) nello spazio di collegamento tra la palestra e le aule e la dotazione impiantistica (impianto termico, elettrico, idrico e gas);
  - Progetto Esecutivo dei lavori di demolizione e ricostruzione dei muri di recinzione con soprastanti pannelli in grigliato, sui lati Est e Sud del lotto del complesso scolastico;
- Documenti in formato .pdf contenenti studi per il “Supporto al RUP per la predisposizione dei C.I.R. per gli edifici scolastici di competenza del Comune di Ascoli Piceno, inseriti nell'elenco di cui all'Ordinanza del Commissario Straordinario

n. 56 del 10/05/2018” a firma dello Studio di Progettazione Dott. Ing. Valeriano Testardi di febbraio 2019, e nello specifico:

- Elaborato n. R.DB\_01 – Relazione Tecnico-Illustrativa;
- Elaborato n. S.DB\_01 – Calcolo superfici Scuola Don Bosco;
- Certificato n° 11140/01/18 – Relazione tecnica delle indagini ed accertamenti e Proprietà dei materiali, a firma dell'Istituto Sperimentale Materiali e Strutture LABORTEC Ingest s.r.l., contenente report su indagini e determinazione della resistenza a compressione di 3 carote di calcestruzzo e della resistenza a trazione di 1 barra di acciaio (dicembre 2018).

Inoltre, l'Ufficio Tecnico del Comune ha messo a disposizione le planimetrie del rilievo architettonico aggiornato allo stato attuale in formato .dwg dell'edificio oggetto di verifica tecnica, acquisite in sede di Progetto Esecutivo dei “Lavori di adeguamento degli edifici scolastici – Scuola di Via Kennedy – Completamento sostituzione di parte degli infissi”, a firma dell'Ing. Rosanna Gabrielli e del Geom. Eugenio Maria Laviano, eseguiti nel 2020.

Negli archivi del Provveditorato è stato invece reperito il seguente materiale:

- Delibera n.888/1972 della Commissione provinciale per l'edilizia scolastica di Ascoli Piceno (Genio Civile) per l'approvazione del progetto esecutivo e di esecuzione dei lavori di costruzione della scuola elementare.

#### Relazione sulle valutazioni delle caratteristiche dei materiali e sul livello di conoscenza raggiunto

Contestualmente alla verifica di vulnerabilità è stata pianificata una campagna di indagini diagnostiche sul fabbricato, che ha portato al conseguimento del **Livello di Conoscenza LC2**. Le prove di competenza di un Laboratorio Ufficiale Autorizzato dal Ministero Infrastrutture e Trasporti ai sensi della L. 1086/71 e del D.P.R. 380/2001, sono state commissionate dallo studio tecnico “ALL ingegneria” alla ditta 4 EMME Service S.p.a., sede di Porto San Elpidio (FM).

La documentazione necessaria ad acquisire un sufficiente grado di conoscenza del manufatto e propedeutica alla redazione della verifica di vulnerabilità è stata ricercata presso diversi Enti; ciò ha consentito il reperimento del progetto originario e degli esecutivi dell'impresa costruttrice del fabbricato, con particolare riferimento alle carpenterie di piano e ad alcuni dettagli costruttivi, oltre agli elaborati contabili di progetto e di cantiere. Inoltre, è stato fornito il Certificato n° 11140/01/18 – Relazione tecnica delle indagini ed accertamenti e Proprietà dei materiali, a firma dell'Istituto Sperimentale Materiali e

Strutture LABORTEC Ingest s.r.l., contenente report su indagini e determinazione della resistenza a compressione di 3 carote di calcestruzzo (2 pilastri ed 1 trave) e della resistenza a trazione di 1 barra di acciaio (da pilastro) effettuate nel dicembre 2018.

Pertanto il livello di conoscenza LC2 può essere conseguito attraverso un rilievo completo ex-novo del fabbricato, con limitate indagini in situ per la verifica dei dettagli costruttivi avendo a disposizione gli elaborati progettuali originari, e limitate prove in situ per la definizione delle proprietà dei materiali.

Sulla base di quanto detto, sono state svolte le seguenti prove:

- **n. 2 prelievi di carote di calcestruzzo** per la caratterizzazione meccanica del materiale (di cui 1 su pilastro ed 1 su setto);
- **n. 1 prelievo e prova di trazione su campione di acciaio** per la caratterizzazione meccanica dell'acciaio;
- **n. 5 rilievi diretti con scassi** su elementi in c.a. per verificare tipologia, diametro e posizione dei ferri di armatura e dimensioni degli elementi stessi (di cui 2 su pilastri, 2 su travi ed 1 su setto);
- **n. 1 rilievo diretto con scasso** delle armature all'intradosso del 1° solaio per verificarne la tipologia;
- **n. 2 indagini videoendoscopiche** non passanti sul solaio di copertura per il rilievo stratigrafico;
- **n. 1 indagine videoendoscopica** passante sul solaio di piano primo;
- **n. 20 indagini pacometriche** per l'individuazione del passo dei ferri su 20 elementi primari, di cui 8 su travi, 10 su pilastri, 1 su parete in c.a. di tamponamento ed 1 su setto in c.a..
- **n. 20 prese termografiche**, per verificare le orditure dei solai, la presenza di travi e cordoli a spessore rompitratta e tamponature interne ad occultamento delle strutture in c.a.

Per la caratterizzazione meccanica del calcestruzzo, delle barre di armatura e per il rilievo dei dettagli costruttivi, è stata adottata una numerosità delle indagini ridotta ai sensi di quanto riportato nelle note esplicative alle tabelle C8.5.V della Circolare del 21/01/2019, per effetto delle situazioni ripetitive riscontrate e della omogeneità del dato per campagna di indagine. In questo modo si possono estendere ad una più ampia percentuale i controlli effettuati su alcuni elementi strutturali facenti parte di una serie con evidenti caratteristiche di ripetibilità, per geometria e ruolo uguali nello schema strutturale. Inoltre, aver reperito report e caratterizzazione meccanica su 3 carote ed 1 barra, effettuate in precedenza da



laboratorio certificato, ha permesso di modificare la numerosità per il prelievo di carote e barre come sopra elencato, diminuendo di conseguenza con i prelievi anche i relativi ripristini.

Dalle prove di compressione effettuate sulle carote, si sono ottenuti i seguenti valori:

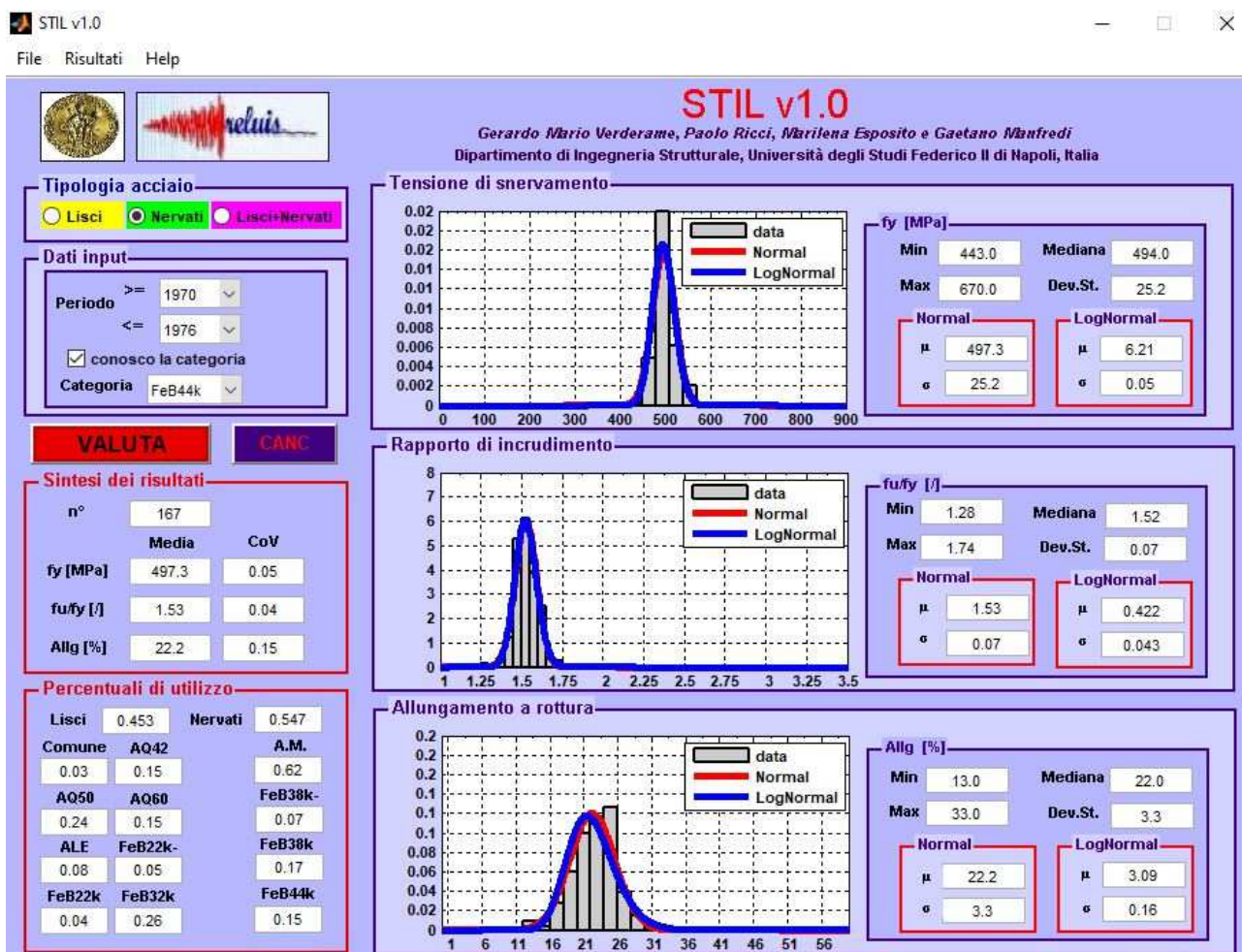
RIF.	$f_{car}$ [Mpa]	H[mm]	$\phi$ [mm]	C h/d	C dia	C a	C d	Rcar[Mpa]
C1	20.40	94.00	94.00	0.800	1.002	1.000	1.1	21.68
C2	18.50	94.00	94.00	0.800	1.002	1.000	1.2	21.45
C1-2018	15.00	84.00	84.00	0.800	1.006	1.000	1.2	17.46
C2-2018	11.51	84.00	84.00	0.800	1.006	1.000	1.2	13.40
C3-2018	12.49	84.00	84.00	0.800	1.006	1.000	1.2	14.54

Il valore determinato nella prova,  $f_{car}$ , viene moltiplicato per i coefficienti correttivi  $C_{h/d}$ ,  $C_{dia}$ ,  $C_a$ ,  $C_d$ , che tengono rispettivamente conto:

- del rapporto H/d;
- del diametro della carota;
- dell'eventuale presenza di armature incluse nella carota;
- del disturbo arrecato alla carota nelle operazioni di estrazione.

Ne risulta una resistenza cubica media in sito di 17,71 N/mm<sup>2</sup>, con una deviazione standard di 3,82 N/mm<sup>2</sup> ed un coefficiente di variazione pari a 21,59%.

Per la caratterizzazione delle proprietà meccaniche delle barre di armatura sono state prelevate barre di armatura sottoposte a prova di trazione; i risultati delle prove distruttive sono stati validati dalla consultazione del database STIL della RELUIS (*“Le caratteristiche meccaniche degli acciai impiegati nelle strutture in c.a. realizzate dal 1950 al 1980”* - G.M.Verderame, P.Ricci, M.Esposito, F.C.Sansiviero – atti convegno AICAP memorie 63) utilizzando come dati di input il periodo di edificazione della struttura e la tipologia dell'acciaio rilevato in sito. Dalle prove di trazione è stato ottenuto il valore di tensione di snervamento pari a 473,00 MPa.



Distribuzione acciaio

Sulla base di quanto indicato nella Circolare n.7 del 21/01/2019 al C8.5.4.2. si può concludere che, essendo state effettuate limitate verifiche in situ per la verifica dei dettagli costruttivi e limitate prove in situ per la definizione delle proprietà dei materiali, si è raggiunto il **livello di conoscenza LC2**, avendo a disposizione gli elaborati progettuali originali.

Per le resistenze ed i moduli elastici quindi, si assumeranno i valori medi ricavati divisi per il Fattore di Confidenza pari a 1,2.

CALCESTRUZZO (indagini in situ):

$R_{cm}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{cm}$ N/mm <sup>2</sup>	F.C.	$f_{cd}$ N/mm <sup>2</sup>
17,71	14,70	1,20	12,25

ACCIAIO(indagini in situ):

$f_y$ N/mm <sup>2</sup>	F.C.	$f_{yd}$ N/mm <sup>2</sup>
473,00	1,20	394,17

Nel fabbricato è stata effettuata 1 endoscopia passante su solaio (sul calpestio del piano primo del Corpo Aule) per la definizione della stratigrafia, 2 endoscopie non passanti sui solai di copertura (1 sul Corpo Palestra ed 1 sul Corpo Aule) per confermare le tipologie degli elaborati reperiti, scansioni con la termocamera per ricavare l'interasse dei travetti e confermare le orditure dei solai, oltre ad uno scasso diretto all'intradosso di un solaio di copertura per la definizione dell'armatura dei travetti, oltre che la tipologia (precompressi) e le dimensioni degli stessi.

In particolare i solai indagati con endoscopie sono risultati tutti di tipologia strutturale e orditura fedele al progetto ed ai disegni esecutivi reperiti. Il solaio di calpestio presenta un pacchetto di finitura di 9 cm suddivisi tra 1 cm di intonaco all'intradosso e 8 cm di sottofondo, massetto e pavimento in piastrelle.

Le altre tipologie strutturali sono state ricavate dalle tavole esecutive dell'Impresa reperite, stante la significatività rispondenza delle strutture in opera con quanto riportato in esse e nel progetto originario.

Dal momento che allo stato attuale non sono presenti significativi segni di degrado strutturale o quadri fessurativi sugli orizzontamenti, non si è ritenuto necessario procedere con prove specifiche sulla stabilità dei solai. Tuttavia, il degrado ed il quadro fessurativo relativo alla presenza di infiltrazioni e zone di umidità, se non correttamente attenzionato, potrebbe comportare nel lungo periodo un degrado strutturale più o meno rilevante (sfondellamento degli intonaci, dei solai, marcescenza di solai e di elementi strutturali).

Viste le risultanze delle indagini eseguite, si può affermare che il fabbricato non è affetto da macrocarenze rilevanti dipendenti dalle caratteristiche meccaniche dei materiali.

## Relazione sulle fondazioni e caratterizzazione sismica del sottosuolo

Per l'identificazione della categoria di sottosuolo si è fatto riferimento alla "Relazione Geologica" redatta dalla Dott.ssa Geol. Valeria Mari, relativamente alla "verifica di vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio scolastico del comune di Ascoli Piceno-Lotto 2"-Scuola primaria "Don Bosco", su incarico dell'Amministrazione Comunale di Ascoli Piceno.

La definizione dell'azione sismica di progetto è stata accertata mediante specifiche indagini sismiche:

- n°1 indagine sismica tramite stendimento sismico tipo MASW;
- n°1 misura di sismica passiva tipo HVSR.

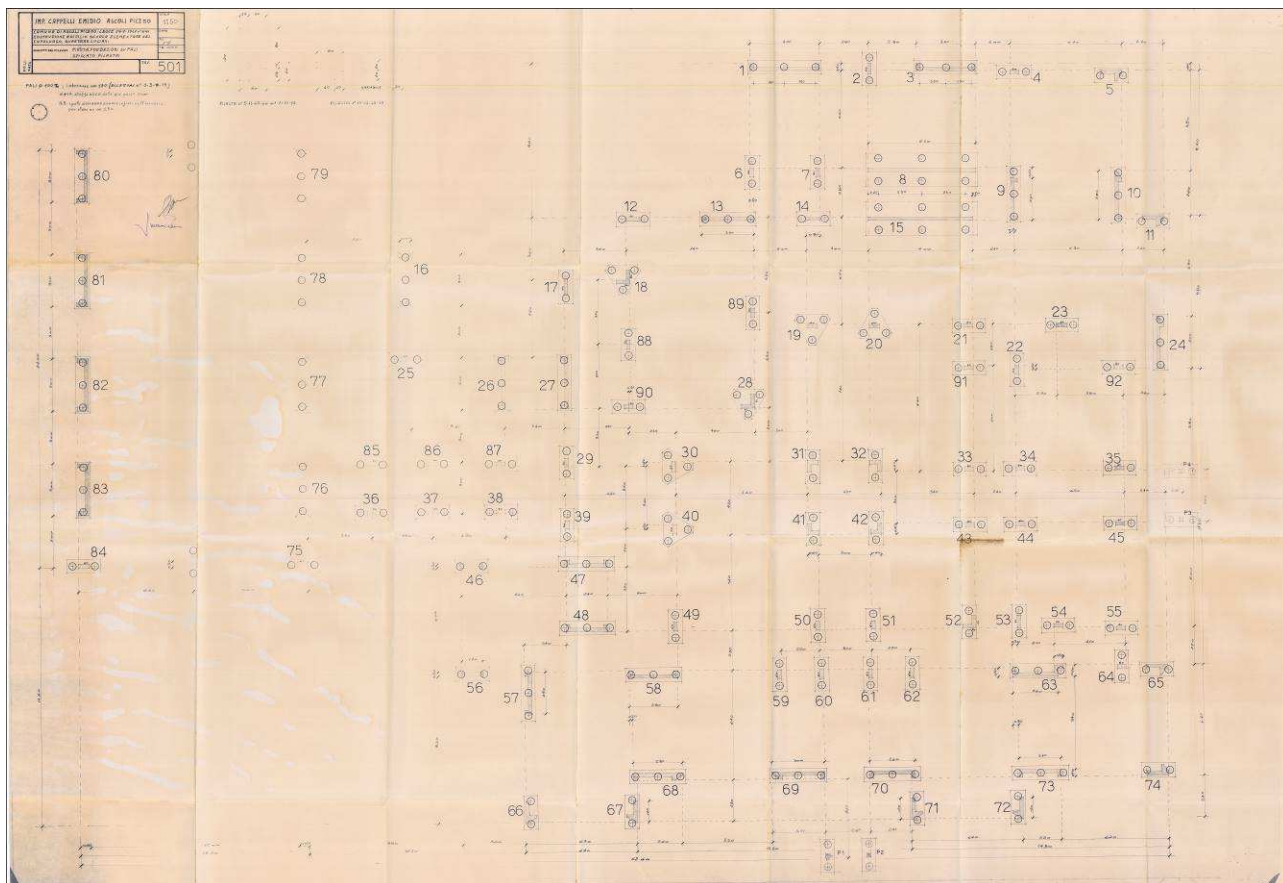
Dalla relazione geologica si evince che il sottosuolo è di categoria **"tipo B"** "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 e 800 m/s."

La categoria topografica risulta essere **"T1"** "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $\leq 15^\circ$ ."

Le fondazioni, come emerso dal progetto originario, dalla contabilità, dal certificato di collaudo reperiti e dal rilievo in situ, sono di tipo profondo, realizzate mediante plinti in c.a. di altezza variabile tra gli 80 e i 90 cm non collegati da cordoli (anche se originariamente previsti in progetto), su pali trivellati in c.a. di diametro 42 cm.

La differenza tra il progetto (plinti collegati da cordoli su pali) e la reale esecuzione (plinti isolati su pali) è valutata idonea in sede di certificato di collaudo dalla Commissione Collaudatrice e giustificata dall'accertamento in fase costruttiva della presenza di terreni alluvionali di ghiaia e sabbia e di un basamento di arenaria. I plinti rettangolari sono organizzati su due o tre pali allineati e si orientano secondo la direzione di maggiore sviluppo dei pilastri/setti in elevazione. In alcuni casi i plinti sono stati realizzati in forma pressoché triangolare con spigoli smussati e tre pali non allineati sottostanti.

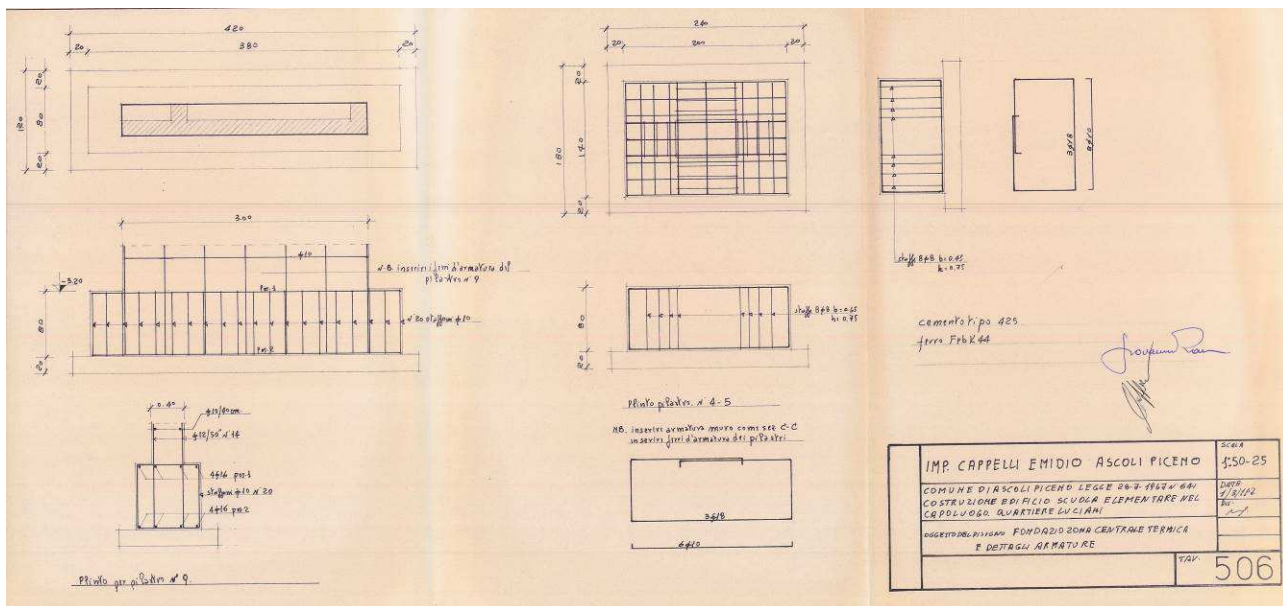




*Planimetria delle fondazioni da contabilità*

Nel solo caso della centrale termica le fondazioni sono di tipo continuo.

Di seguito alcuni particolari delle fondazioni della centrale termica desunti dalle tavole di Progetto Esecutivo dell'impresa allegata alla contabilità:



*Particolari plinti di fondazione*

Per quanto riguarda lo stato attuale di conservazione di alcuni plinti si è potuto rilevare direttamente la parziale esposizione e dunque ossidazione di alcune barre di armatura, dovuta al degrado delle zone corticali degli elementi con distacco del copriferro. Il fenomeno riscontrato non determina uno stato di conservazione critico, tale da richiedere un intervento immediato. Sorge unicamente l'esigenza di effettuare operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria, oltre alla formulazione di un piano delle manutenzioni che fornisca delle tempistiche cadenzate per i monitoraggi delle varie parti.

Da quanto rilevato ed a seguito delle indagini e dei rilievi eseguiti in situ sulle strutture in elevazione, non sono state riscontrate lesioni significative imputabili a cedimenti fondali in atto o pregressi. Pertanto, le fondazioni attuali possono essere considerate adeguate ai carichi esistenti e non si eseguono ulteriori approfondimenti circa le fondazioni esistenti.

#### Stato di conservazione

Dai rilievi eseguiti sul fabbricato e dai risultati della campagna di indagini in sito non sono emerse particolari criticità o dissesti e lo stato di conservazione in generale può definirsi buono. Non è stato, infatti, riscontrato un quadro fessurativo significativo e, come già anticipato ai paragrafi precedenti, non si individuano segni di cedimenti fondativi in atto.

Da un'analisi visiva si riscontrano, in maniera localizzata, i segni dell'esposizione all'azione degli agenti atmosferici, riconoscibili in alcuni ristagni di umidità e di alcuni elementi in c.a.. Risultano in atto espulsioni di copriferro o deterioramento del calcestruzzo in punti circoscritti e limitati ma diffusi su tutto il complesso (plinti, travi e pilastri), talvolta sanati in parte con il trattamento delle armature ma senza completare l'intervento con il ripristino del calcestruzzo. I marciapiedi e le sistemazioni esterne attorno al complesso scolastico si presentano localmente distaccati o danneggiati. Pertanto, l'esigenza non è quella di un intervento immediato, quanto piuttosto l'effettuazione di operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria, oltre alla formulazione di un piano delle manutenzioni che fornisca delle tempistiche cadenzate per i monitoraggi delle varie parti strutturali e non.

Si segnala infine la presenza di tamponature esterne "a cassetta" con un'intercapedine di spessore variabile lungo l'estensione lineare del tamponamento: la cortina interna, in laterizio, appare verosimilmente scollegata e non opportunamente confinata per altezze anche elevate (ad esempio nei locali della palestra: 4.20 m, 6.00 m o 7.15 m) con una snellezza e quindi anche una lunghezza libera di inflessione fuori dal piano rilevante.

## **2) VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA**

### Motivo alla base della valutazione della sicurezza del fabbricato

La verifica di vulnerabilità è stata condotta al fine di valutare il grado di sicurezza del fabbricato che ospita la scuola primaria “Don Bosco” sito in Via Kennedy snc, nel comune di Ascoli Piceno (AP) nei confronti dell'azione sismica prevista dalla normativa. L'edificio conta due corpi di fabbrica separati da un giunto a sella con struttura intelaiata in cemento armato e solai in latero-cemento.

### Stato Limite nei confronti del quale viene eseguita la valutazione della sicurezza

La valutazione della vulnerabilità è stata condotta nei confronti sia degli Stati Limite di Esercizio che degli Stati Limite Ultimi.

In riferimento agli Stati limite Ultimi, come indicato al §8.3 del D.M.17/01/2018 la valutazione della sicurezza degli elementi strutturali è stata condotta nei confronti dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

Per quanto riguarda gli Stati Limite di Esercizio, si fornisce l'indicatore nei confronti dello Stato Limite di Operatività (SLO) valutando la deformata del fabbricato e verificando che il valore dello spostamento di interpiano sia inferiore ai limiti dettati dalla normativa vigente (§7.3.6.1 del D.M.17/01/2018).

### 3) VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

Vita Nominale ( $V_N$ )

$V_N = 50$  anni

Classe d'Uso ( $C_U$ )

Classe d'Uso = III

$\Rightarrow C_U = 1.50$

Periodo di Riferimento ( $V_R$ )

$V_R = 50 \times 1.50 = 75$  anni

### 4) AZIONI SULLE COSTRUZIONI

Elenco delle azioni considerate nella valutazione della vulnerabilità

- Peso proprio strutturale assegnato con il peso specifico del materiale;
- Carichi permanenti e accidentali dei solai applicati con pressioni su elementi di tipo “*shell*” e “*frame*” dove necessario;
- Carichi permanenti e accidentali delle scale applicati come carico lineare su elementi di tipo “*frame*” e “*shell*” dove necessario;
- Carichi delle tamponature esterne assegnati come carico lineare su elementi di tipo “*frame*”;
- Carico di aggetti applicato come carico lineare su elementi di tipo “*frame*”.

Variabilità spaziale del moto

Non è stata presa in considerazione nessuna variazione spaziale del moto sismico in quanto lo sviluppo longitudinale dei diversi corpi di fabbrica non è per questo significativo.

Combinazione delle Azioni

Sono stati utilizzati i seguenti coefficienti per la combinazione delle azioni:

Combinazione dei carichi verticali per la verifica sismica (combinazioni di analisi “Statico\_DM” e “GRAV” corrispondenti alla combinazione sismica del D.M.17/01/2018):

- |   |               |                   |
|---|---------------|-------------------|
| - Coeff. parziale di sicurezza carichi permanenti $G_1$         | $\Rightarrow$ | $\gamma_{G1} = 1$ |
| - Coeff. parziale di sicurezza carichi permanenti portati $G_2$ | $\Rightarrow$ | $\gamma_{G2} = 1$ |
| - Carichi accidentali solaio di piano (Cat.C <sub>1</sub> )     | $\Rightarrow$ | $\psi_{2j} = 0.6$ |
| - Carichi accidentali solaio su scale comuni (Cat.C)            | $\Rightarrow$ | $\psi_{2j} = 0.6$ |
| - Carichi accidentali copertura (Cat.H)                         | $\Rightarrow$ | $\psi_2 = 0.0$    |
| - Carichi accidentali neve (quota $\leq 1000$ m s.l.m.)         | $\Rightarrow$ | $\psi_{2j} = 0.0$ |

$$E + \gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$$



Combinazione dei carichi verticali per la verifica statica (combinazione di analisi “SLU-1”) utilizzata, secondo quanto previsto al paragrafo 8.5.5 del D.M.17/01/2018: si assume un valore unitario per i coefficienti  $\gamma_G$ , come indicato nel DGR Regione Marche n. 1168 del 26 luglio 2010.

- Coeff. parziale di sicurezza carichi permanenti  $G_1 \Rightarrow \gamma_{G1} = 1.0$
  - Coeff. parziale di sicurezza carichi permanenti portati  $G_2 \Rightarrow \gamma_{G2} = 1.0$
  - Coeff. parziale di sicurezza carichi accidentali  $Q \Rightarrow \gamma_Q = 1.5$
  - Carichi accidentali solaio di piano (Cat.C<sub>1</sub>)  $\Rightarrow \psi_{0j} = 0.7$
  - Carichi accidentali solaio su scale comuni (Cat.C)  $\Rightarrow \psi_{0j} = 0.7$
  - Carichi accidentali copertura (Cat.H)  $\Rightarrow \psi_{0j} = 0.0$
  - Carichi accidentali neve (quota  $\leq 1000$  m s.l.m.)  $\Rightarrow \psi_{0j} = 0.5$
- $$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\psi_{02}Q_{k2} + \gamma_{Q3}\psi_{03}Q_{k3} + \dots$$

Combinazione dei carichi verticali per la verifica statica (combinazione di analisi “SLU-2”) utilizzata, secondo quanto previsto al paragrafo 8.5.5 del D.M.17/01/2018, nel caso di non soddisfacimento della verifica con la precedente combinazione:

- Coeff. parziale di sicurezza carichi permanenti  $G_1 \Rightarrow \gamma_{G1} = 1.0$
  - Coeff. parziale di sicurezza carichi permanenti portati  $G_2 \Rightarrow \gamma_{G2} = 1.0$
  - Coeff. parziale di sicurezza carichi accidentali  $Q \Rightarrow \gamma_Q = 1.0$
  - Carichi accidentali solaio di piano (Cat.C<sub>1</sub>)  $\Rightarrow \psi_{0j} = 0.7$
  - Carichi accidentali solaio su scale comuni (Cat.C)  $\Rightarrow \psi_{0j} = 0.7$
  - Carichi accidentali copertura (Cat.H)  $\Rightarrow \psi_{0j} = 0.0$
  - Carichi accidentali neve (quota  $\leq 1000$  m s.l.m.)  $\Rightarrow \psi_{0j} = 0.5$
- $$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\psi_{02}Q_{k2} + \gamma_{Q3}\psi_{03}Q_{k3} + \dots$$

### Analisi dei carichi

Sulla base dei dati in possesso relativi alla progettazione e alla storia dei fabbricati, nonché dalla analisi tipologica delle strutture e del loro comportamento di insieme, è stata effettuata la seguente analisi dei carichi:

- Corpo Palestra

#### **Solai di copertura**

<b>SOLAIO IN LATERO-CEMENTO H=16+4 cm (copertura palestra, spogliatoi e servizi)</b>		
Solaio 16+4 cm, $i_{tr}= 50$ cm	240	kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale permanente <math>G_{k1}</math></b>	<b>240</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
Massetto pendenze ed impermeabilizzazione ( $s_{medio}=10$ cm, $\gamma=2000$ kg/m <sup>3</sup> )	200	kg/m <sup>2</sup>
Intonaco intradosso	30	kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale permanente <math>G_{k2}</math></b>	<b>230</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Totale accidentale (Cat. neve) <math>Q_{k1}</math></b>	<b>v. §C6.5</b>	
<b>SOLAIO IN LATERO-CEMENTO H=20+4 cm (copertura corridoio e dispensa)</b>		
Solaio 20+4 cm, $i_{tr}= 50$ cm	275	kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale permanente <math>G_{k1}</math></b>	<b>275</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
Massetto pendenze ed impermeabilizzazione ( $s_{medio}=10$ cm, $\gamma=2000$ kg/m <sup>3</sup> )	200	kg/m <sup>2</sup>
Intonaco intradosso	30	kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale permanente <math>G_{k2}</math></b>	<b>230</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Totale accidentale (Cat. neve) <math>Q_{k1}</math></b>	<b>v. §C6.5</b>	
<b>TAMPONAMENTO ESTERNO</b>		
Tamponamento a cassetta: mattone forato lato-interno, intercapedine e calcestruzzo debolmente armato all'esterno (decurtazione del 25% per presenza di bucatore)	600	kg/m <sup>2</sup>
<b>AGGETTI APERTURE sp.=20 cm (pareti e solette in c.a.)</b>		
Pareti in c.a., sp.=20 cm	1150	kg/ml
Solette in c.a., sp.=20 cm	950	kg/ml
<b>Totale permanente <math>G_{k1}</math></b>	<b>2100</b>	<b>kg/ml</b>
<b>Totale accidentale (Cat. neve) <math>Q_{k1}</math></b>	<b>92</b>	<b>kg/ml</b>

- Corpo Aule

### Solai di calpestio e copertura

<b>SOLAIO IN LATERO-CEMENTO H=20+4 cm (calpestio piano terra – no aula magna)</b>		
Solaio 20+4 cm, $i_{tr}= 40$ cm	315	kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale permanente <math>G_{k1}</math></b>	<b>315</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
Sottofondo, massetto e pavimento (s=8cm, $\gamma=2000$ kg/m <sup>3</sup> )	160	kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale permanente <math>G_{k2}</math></b>	<b>160</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Totale accidentale (Cat. C1) <math>Q_{k1}</math></b>	<b>300</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
<b>SOLAIO IN LATERO-CEMENTO H=24+4 cm (calpestio piano terra aula magna)</b>		
Solaio 24+4 cm, $i_{tr}= 50$ cm	310	kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale permanente <math>G_{k1}</math></b>	<b>310</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
Sottofondo, massetto e pavimento (s=8cm, $\gamma=2000$ kg/m <sup>3</sup> )	160	kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale permanente <math>G_{k2}</math></b>	<b>160</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Totale accidentale (Cat. C1) <math>Q_{k1}</math></b>	<b>300</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
<b>SOLAIO IN LATERO-CEMENTO H=16+4 cm (calpestio piano terra – aree ribassate)</b>		
Solaio 16+4 cm, $i_{tr}= 50$ cm	240	kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale permanente <math>G_{k1}</math></b>	<b>240</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
Sottofondo, massetto e pavimento (s=8cm, $\gamma=2000$ kg/m <sup>3</sup> )	160	kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale permanente <math>G_{k2}</math></b>	<b>160</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Totale accidentale (Cat. C1) <math>Q_{k1}</math></b>	<b>300</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
<b>SOLAIO IN LATERO-CEMENTO H=20+4 cm (calpestio piano primo)</b>		
Solaio 20+4 cm, $i_{tr}= 50$ cm	275	kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale permanente <math>G_{k1}</math></b>	<b>275</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
Sottofondo, massetto e pavimento (s=8cm, $\gamma=2000$ kg/m <sup>3</sup> )	160	kg/m <sup>2</sup>
Intonaco intradosso	30	kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale permanente <math>G_{k2}</math></b>	<b>190</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Totale accidentale (Cat. C1) <math>Q_{k1}</math></b>	<b>300</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
<b>SOLAIO IN LATERO-CEMENTO H=16+4 cm (calpestio piano primo – aree ribassate)</b>		
Solaio 16+4 cm, $i_{tr}= 50$ cm	240	kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale permanente <math>G_{k1}</math></b>	<b>240</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
Sottofondo, massetto e pavimento (s=8cm, $\gamma=2000$ kg/m <sup>3</sup> )	160	kg/m <sup>2</sup>
Intonaco intradosso	30	kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale permanente <math>G_{k2}</math></b>	<b>190</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Totale accidentale (Cat. C1) <math>Q_{k1}</math></b>	<b>300</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>

<b>SOLAIO IN LATERO-CEMENTO H=20+4 cm (coperture – no aula magna)</b>		
Solaio 20+4 cm, $i_{tr}= 40$ cm	315	kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale permanente <math>G_{k1}</math></b>	<b>315</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
Massetto pendenze ( $s_{medio}=15$ cm, $\gamma=2000$ kg/m <sup>3</sup> )	300	kg/m <sup>2</sup>
Impermeabilizzazione	10	kg/m <sup>2</sup>
Intonaco intradosso	30	kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale permanente <math>G_{k2}</math></b>	<b>340</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Totale accidentale (Cat. neve) <math>Q_{k1}</math></b>	<b>v. §C6.5</b>	
<b>SOLAIO IN LATERO-CEMENTO H=24+4 cm (copertura aula magna)</b>		
Solaio 24+4 cm, $i_{tr}= 50$ cm	310	kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale permanente <math>G_{k1}</math></b>	<b>310</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
Massetto pendenze ( $s_{medio}=10$ cm, $\gamma=2000$ kg/m <sup>3</sup> )	200	kg/m <sup>2</sup>
Impermeabilizzazione	10	kg/m <sup>2</sup>
Intonaco intradosso	30	kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale permanente <math>G_{k2}</math></b>	<b>240</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Totale accidentale (Cat. neve) <math>Q_{k1}</math></b>	<b>v. §C6.5</b>	
<b>TAMPONAMENTI ESTERNI</b>		
Tamponamento a cassetta: mattone forato lato-interno, intercapedine e calcestruzzo debolmente armato all'esterno	<b>1056</b>	<b>kg/ml</b>
Tamponamento a cassetta: mattone forato lato-interno, intercapedine e calcestruzzo debolmente armato all'esterno (decurtazione del 20% per presenza di bucatore)	<b>855</b>	<b>kg/ml</b>
Tamponamento a cassetta: mattone forato lato-interno, intercapedine e calcestruzzo debolmente armato all'esterno (decurtazione del 25% per presenza di bucatore)	<b>780</b>	<b>kg/ml</b>
Tamponamento in calcestruzzo armato senza bucatore (pareti del cannocchiale al di sopra dei livelli delle altre coperture)	<b>1000</b>	<b>kg/ml</b>
<b>AGGETTI APERTURE sp.=20 cm (pareti e solette in c.a.)</b>		
Pareti in c.a., sp.=20 cm	240	kg/ml
Solette in c.a., sp.=20 cm	287	kg/ml
<b>Totale permanente <math>G_{k1}</math></b>	<b>527</b>	<b>kg/ml</b>

<b>TRAMEZZI INTERNI</b>		
Secondo quanto indicato al §3.1.3, il peso proprio degli elementi divisorii interni può essere ragguagliato ad un carico uniformemente ripartito sui solai	<b>80</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
<b>(quando direttamente gravante sulle travi il carico è pari a 110 kg/m<sup>2</sup>)</b>		
<b>PARETI INTERNE IN C.A. sp.=20 cm</b>		
Pareti in calcestruzzo armato con aperture incorniciate da pareti e solette di c.a., sp.=20 cm (attorno aula magna, quota piano terra)	<b>475</b>	<b>kg/ml</b>
Pareti in calcestruzzo armato senza aperture sp.=20 cm (attorno aula magna, quota piano primo)	<b>1065</b>	<b>kg/ml</b>
<b>SCALA (su soletta di c.a.)</b>		
Soletta di c.a. (sp.=15 cm)	375	kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale permanente G<sub>k1</sub></b>	<b>375</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
Gradino (γ=2000 kg/m <sup>3</sup> )	170	kg/m <sup>2</sup>
Pavimento in gomma o linoleum	20	kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale permanente G<sub>k2</sub></b>	<b>190</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Totale accidentale (Cat. C) Q<sub>k1</sub></b>	<b>400</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
<b>PARAPETTI IN C.A. sp.=20 cm</b>		
Parapetti in c.a. sp.=20 cm	<b>300</b>	<b>kg/ml</b>



### Determinazione dell'Azione Sismica

La determinazione dell'Azione sismica è stata eseguita utilizzando il file Excel Spettri-NTCver.1.0.3.xls del C.S.LL.PP. Di seguito si riportano i dati utilizzati.



*Vista aerea con individuazione del complesso oggetto di verifica*

Ai fini della definizione dell'azione sismica, dalla relazione geologica è stata assunta la seguente categoria di sottosuolo e condizione topografica:

**Categoria di sottosuolo B:** *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 e 800 m/s.”*

**Condizione topografica T1:** *Superficie topografica pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $\leq 15^\circ$ .*

Come indicato nella relazione geologica realizzata a firma della Dott.ssa Geol. Valeria Mari, il complesso scolastico sorge su un'area che non ricade all'interno di perimetrazioni a rischio frana e rischio esondazioni. Pertanto il sito può essere ritenuto stabile dal punto di vista sia geomorfologico che idrogeologico.

## FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate
 

LONGITUDINE  
13.59533

LATITUDINE  
42.85262

☐ Ricerca per comune
 

REGIONE  
Marche

PROVINCIA  
Ascoli Piceno

COMUNE  
Ascoli Piceno

Elaborazioni grafiche  
 Grafici spettri di risposta  
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche  
 Tabella parametri

Reticolo di riferimento
 

Controllo sul reticolo  
☐ Sito esterno al reticolo  
☐ Interpolazione su 3 nodi  
☒ Interpolazione corretta

Interpolazione  
 superficie rigata

Nodi del reticolo intorno al sito

INTRO
 **FASE 1**
 FASE 2
 FASE 3

## FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$ 

50

info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$ 

1.5

info

Valori di progetto
 

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$ 

75

info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$ 

info

Stati limite di esercizio - SLE
 

SLO -  $P_{VR} = 81\%$ 

45

SLD -  $P_{VR} = 63\%$ 

75

Stati limite ultimi - SLU
 

SLV -  $P_{VR} = 10\%$ 

712

SLC -  $P_{VR} = 5\%$ 

1462

Elaborazioni  
 Grafici parametri azione  
 Grafici spettri di risposta  
 Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO
 

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

---■--- Strategia scelta

INTRO
 FASE 1
 **FASE 2**
 FASE 3

## FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato **SLC** info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo **B** info

Categoria topografica **T1** info

$S_S = 1.133$

$C_C = 1.350$  info

$h/H = 1.000$

$S_T = 1.000$  info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

☒ Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento  $\xi$  (%) **5**

$\eta = 1.000$  info

☐ Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore  $q$  **1.5**

Regol. in altezza **no** info

Compon. verticale

Spettro di progetto

Fattore  $q$  **1.5**

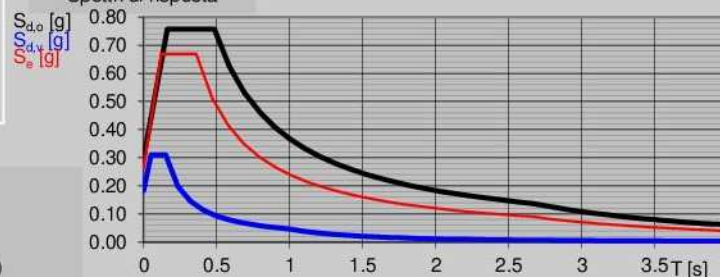
$\eta = 0.667$  info

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta

Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



— Spettro di progetto - componente orizzontale  
— Spettro di progetto - componente verticale  
— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

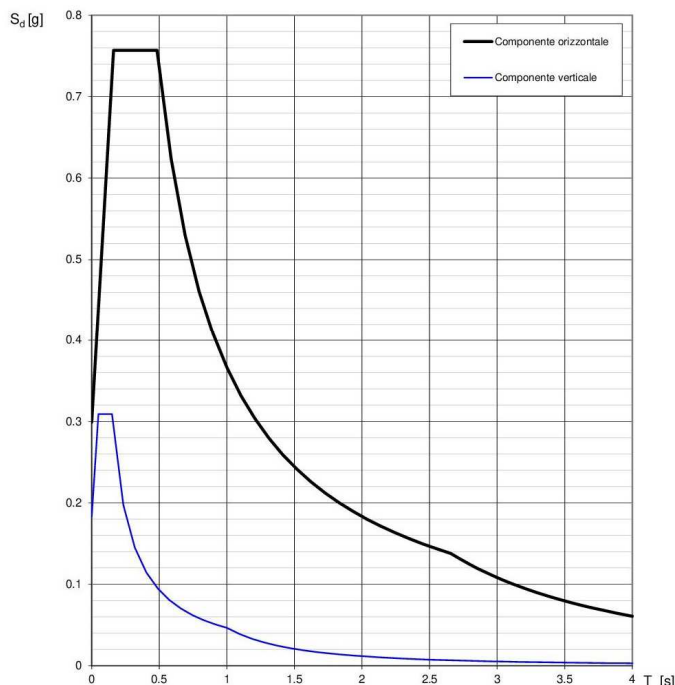
INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: **SLC**



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: **SLC**

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLC
$a_g$	0.264 g
$F_0$	2.530
$T_C$	0.359 s
$S_S$	1.133
$C_C$	1.350
$S_T$	1.000
$q$	1.000

Parametri dipendenti

$S$	1.133
$\eta$	1.000
$T_B$	0.161 s
$T_C$	0.484 s
$T_D$	2.656 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0.55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4 \cdot 0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + 1 \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

T [s]	$S_e$ [g]
0.000	0.299
0.161	0.757
0.484	0.757
0.588	0.624
0.691	0.530
0.794	0.461
0.898	0.408
1.001	0.366
1.105	0.332
1.208	0.303
1.312	0.279
1.415	0.259
1.519	0.241
1.622	0.226
1.725	0.212
1.829	0.200
1.932	0.190
2.036	0.180
2.139	0.171
2.243	0.163
2.346	0.156
2.450	0.150
2.553	0.144
2.656	0.138
2.720	0.132
2.784	0.126
2.848	0.120
2.912	0.115
2.976	0.110
3.040	0.105
3.104	0.101
3.168	0.097
3.232	0.093
3.296	0.090
3.360	0.086
3.424	0.083
3.488	0.080
3.552	0.077
3.616	0.074
3.680	0.072
3.744	0.069
3.808	0.067
3.872	0.065
3.936	0.063
4.000	0.061



## FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato **SLV** info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo **B** info

Categoria topografica **T1** info

$S_s = 1.194$

$C_c = 1.357$  info

$h/H = 1.000$

$S_T = 1.000$  info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

☒ Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento  $\xi$  (%) **5**

$\eta = 1.000$  info

☐ Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore  $q_k = 4.55$

Regol. in altezza **10** info

Compon. verticale

Spettro di progetto

Fattore  $q = 1.5$

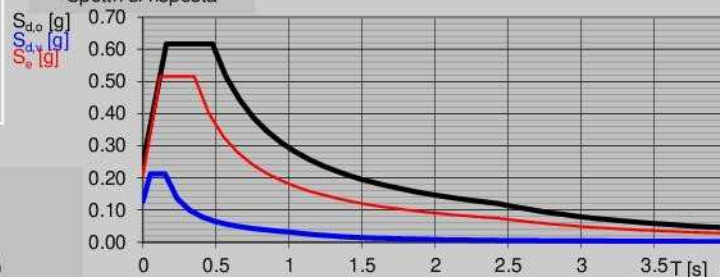
$\eta = 0.667$  info

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta

Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



— Spettro di progetto - componente orizzontale  
— Spettro di progetto - componente verticale  
— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

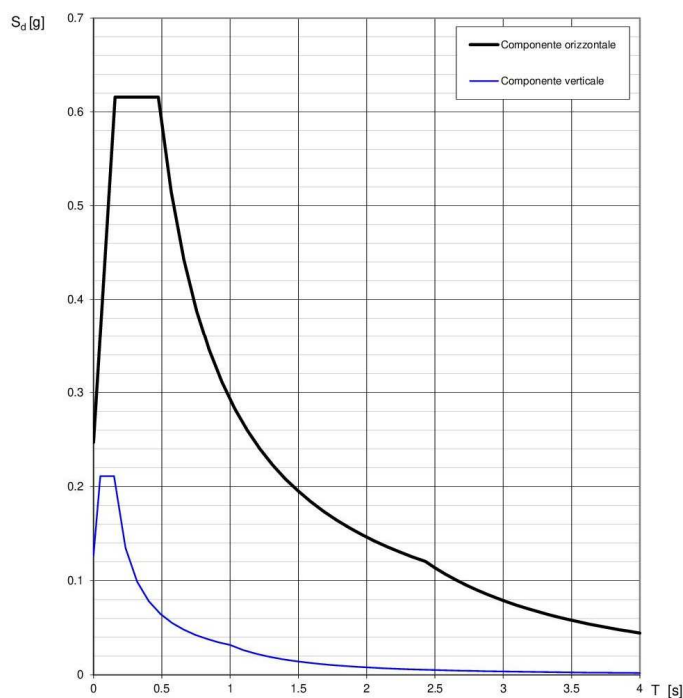
INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: **SLV**



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: **SLV**

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.207 g
$F_a$	2.492
$T_C$	0.350 s
$S_s$	1.194
$C_c$	1.357
$S_T$	1.000
$q$	1.000

Parametri dipendenti

$S$	1.194
$\eta$	1.000
$T_B$	0.158 s
$T_C$	0.475 s
$T_D$	2.428 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s, S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0.55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

$T$ [s]	$S_e$ [g]
0.000	0.247
0.158	0.616
0.475	0.616
0.568	0.515
0.661	0.443
0.754	0.388
0.847	0.345
0.940	0.311
1.033	0.283
1.126	0.260
1.219	0.240
1.312	0.223
1.405	0.208
1.498	0.195
1.591	0.184
1.684	0.174
1.777	0.165
1.870	0.157
1.963	0.149
2.056	0.142
2.149	0.136
2.242	0.131
2.335	0.125
2.428	0.121
2.503	0.113
2.578	0.107
2.653	0.101
2.727	0.096
2.802	0.091
2.877	0.086
2.952	0.082
3.027	0.078
3.102	0.074
3.177	0.070
3.251	0.067
3.326	0.064
3.401	0.061
3.476	0.059
3.551	0.056
3.626	0.054
3.701	0.052
3.775	0.050
3.850	0.048
3.925	0.046
4.000	0.044

## FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

### Stato Limite

Stato Limite considerato **SLO** info

### Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo **B** info

Categoria topografica **T1** info

$S_S = 1.200$

$C_C = 1.408$  info

$h/H = 1.000$

$S_T = 1.000$  info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

### Compon. orizzontale

☒ Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento  $\xi$  (%) **5**

$\eta = 1.000$  info

☐ Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore  $q$  **1.5**

Regol. in altezza **no** info

### Compon. verticale

Spettro di progetto

Fattore  $q$  **1.5**

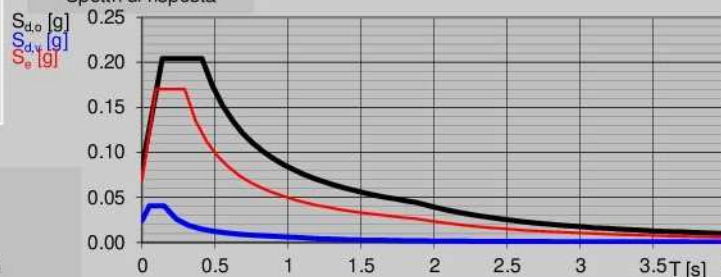
$\eta = 0.667$  info

### Elaborazioni

Grafici spettri di risposta

Parametri e punti spettri di risposta

### Spettri di risposta



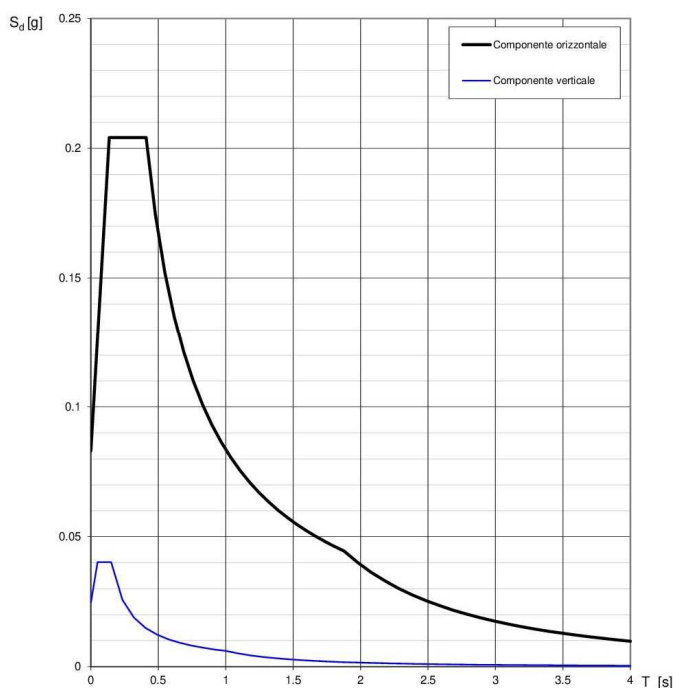
INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: **SLO**



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: **SLO**

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLO
$a_g$	0.069 g
$F_a$	2.457
$T_C$	0.291 s
$S_S$	1.200
$C_C$	1.408
$S_T$	1.000
$q$	1.000

### Parametri dipendenti

$S$	1.200
$\eta$	1.000
$T_B$	0.136 s
$T_C$	0.409 s
$T_D$	1.877 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0.55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4 \cdot 0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

T [s]	Se [g]
0.000	0.083
0.136	0.204
0.409	0.204
0.479	0.174
0.549	0.152
0.619	0.135
0.689	0.121
0.759	0.110
0.829	0.101
0.899	0.093
0.968	0.086
1.038	0.080
1.108	0.075
1.178	0.071
1.248	0.067
1.318	0.063
1.388	0.060
1.458	0.057
1.528	0.055
1.597	0.052
1.667	0.050
1.737	0.048
1.807	0.046
1.877	0.045
1.978	0.040
2.079	0.036
2.180	0.033
2.281	0.030
2.382	0.028
2.484	0.025
2.585	0.023
2.686	0.022
2.787	0.020
2.888	0.019
2.989	0.018
3.090	0.016
3.191	0.015
3.292	0.014
3.393	0.014
3.495	0.013
3.596	0.012
3.697	0.011
3.798	0.011
3.899	0.010
4.000	0.010



## Valori dei parametri $a_g$ , $F_0$ , $T_c^*$ per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
30	0.058	2.479	0.279
50	0.073	2.451	0.294
72	0.085	2.449	0.308
101	0.098	2.453	0.317
140	0.112	2.440	0.324
201	0.130	2.441	0.333
475	0.179	2.468	0.347
975	0.231	2.510	0.353
2475	0.314	2.556	0.365

Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento

STATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	45	0.069	2.457	0.291
SLD	75	0.086	2.449	0.309
SLV	712	0.207	2.492	0.350
SLC	1462	0.264	2.530	0.359

Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascun stato limite

### Determinazione dell'Azione della Neve

Zona II Provincia di Ascoli Piceno

$a_s = 137$  m s.l.m. < 200 m s.l.m

$q_{sk} = 100$  kg/m<sup>2</sup>

Coefficiente Termico  $C_t = 1$

Coefficiente di Esposizione  $C_E = 1$  (topografia "normale")

Coefficiente di Forma  $\mu_1$  ( $\alpha=0^\circ$ ) = 0.80

$q_s = 0.80 \times 1 \times 1 \times 100 = 80$  kg/m<sup>2</sup>

### Corpo Palestra

Copertura (situazione di accumulo sulle coperture piane di corridoio e dispensa)

$\mu_1 = 0.80$

$\mu_2 = 2.65$

$q_s = 210$  kg/m<sup>2</sup>

Copertura (situazione di accumulo sulle coperture piane dei locali spogliatoi e servizi)

$\mu_1 = 0.80$

$\mu_2 = 4.00$

$q_s = 240$  kg/m<sup>2</sup>

### Corpo Aule

Coperture (situazioni di accumulo sulle coperture piane a quote 3.30 m – 4.85 m – 6.15 m)

$$\mu_1 = 0.80$$

$$\mu_2 = 1.80$$

$$q_s = 92 \text{ kg/m}^2$$

## 5) RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE

La struttura in esame è stata modellata con il programma di calcolo agli elementi finiti SAP2000. Per le strutture in c.a. è stato adottato uno schema a telaio tridimensionale che modella con aste, elementi tipo “frame”, i pilastri e le travi, mentre setti e solette sono stati modellati con elementi bidimensionali a guscio, elementi tipo “shell”. Il fabbricato presenta un elevato numero di setti di c.a. di spessore  $s=20\text{cm}$  planimetricamente assimilabili ad una “C”, le cui estremità hanno dimensioni ridotte; per non trascurare il contributo in termini di rigidezza che tali “ali” offrono nella direzione ortogonale a quella longitudinale del setto, è stata effettuata un’equivalenza in termini di area che ha consentito la determinazione di uno spessore equivalente pari a circa 23-25cm.

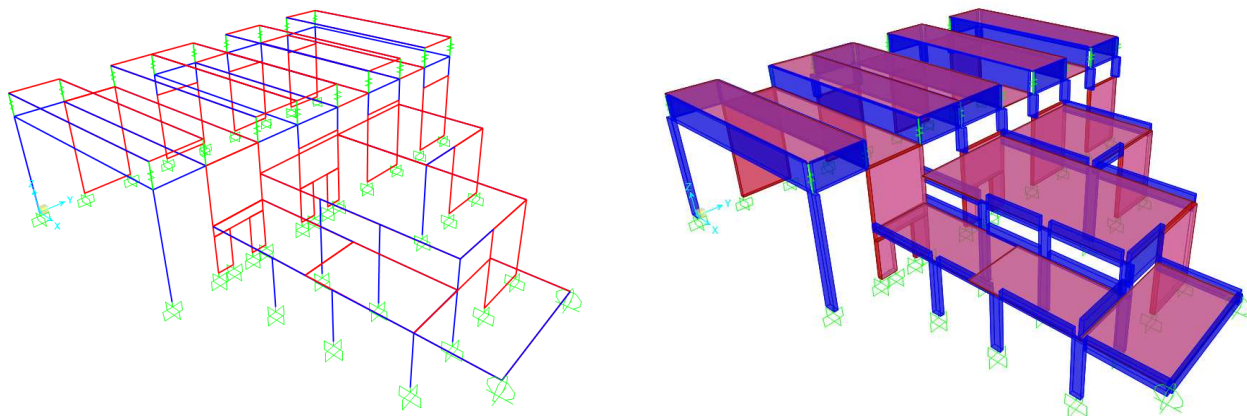
Tutti gli elementi sono fra loro collegati tramite i nodi, che simulano il vincolo di continuità. Le rigidezze degli elementi deformabili sono calcolate tenendo conto sia del contributo flessionale che di quello tagliante. Nel modello sono state impiegate rigidezze “fessurate” per tutti gli elementi in c.a., dimezzando il modulo elastico tangente del calcestruzzo; inoltre, per rendere il comportamento a telaio più prossimo a quello della struttura reale e quindi conseguire una modellazione più corretta vengono introdotti dei tratti rigidi (offsets) alle intersezioni fisiche tra le estremità degli elementi.

La struttura, avente una distribuzione complessa ed irregolare sia in pianta che in altezza, presenta solai sfalsati a tutte le elevazioni che generalmente sono tra loro collegati mediante travi ad altezza elevata ( $H$  maggiori di 80cm); per tenere in conto di ciò, sono stati introdotti dei “link” rigidi in direzione assiale (verticale). Gli orizzontamenti di piano, nel caso del Corpo Aule, modellati con “shell” tipo none adottate per assegnare i carichi permanenti ed accidentali agli elementi, sono stati simulati con dei vincoli interni tipo “diaphragm” che impediscono ai punti appartenenti al diaframma di subire spostamenti relativi. Nel caso del Corpo Palestra, invece, gli orizzontamenti di piano sono stati modellati con “shell” con spessore assegnato di 4 cm.

Le fondazioni sono state schematizzate con dei vincoli tipo incastro vista la rigidezza degli elementi fondativi (plinti su pali).

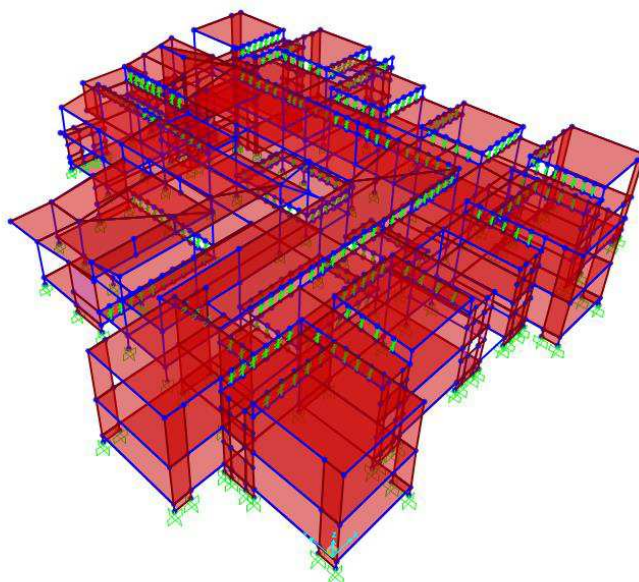
Di seguito si riporta una vista tridimensionale sia estrusa che unifilare di ciascun modello di calcolo adottato.

## Corpo Palestra

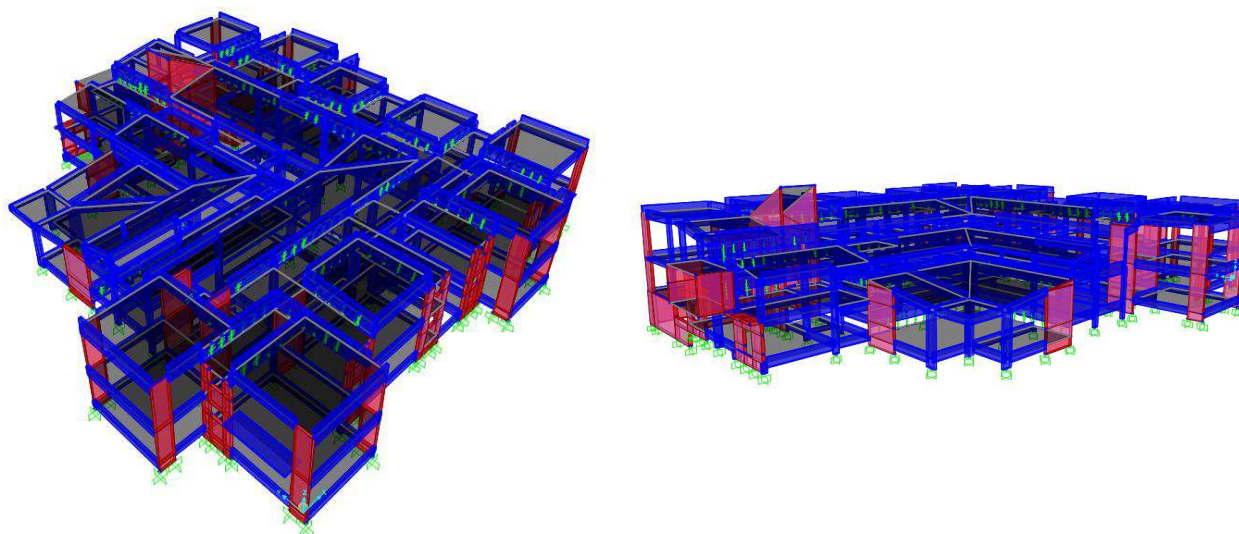


*Visualizzazione tridimensionale estrusa ed unifilare del Corpo Palestra*

## Corpo Aule



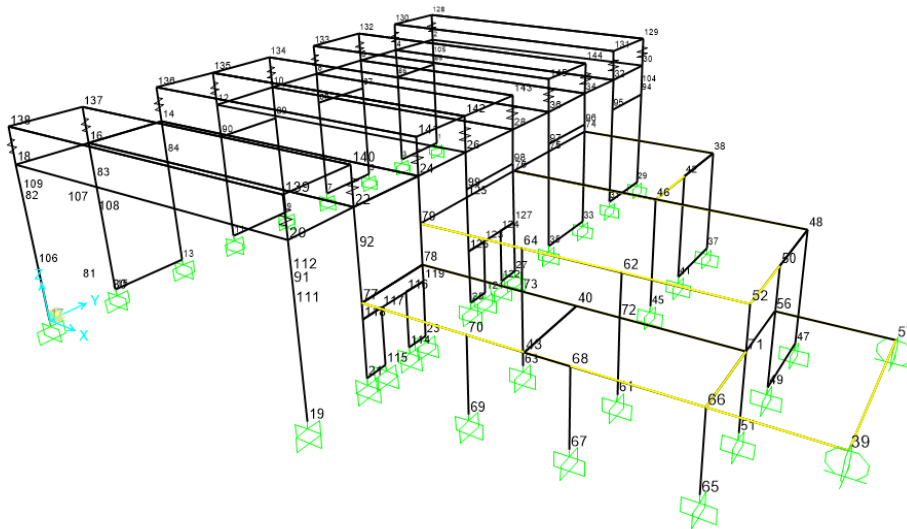
*Visualizzazione unifilare del Corpo Aule*



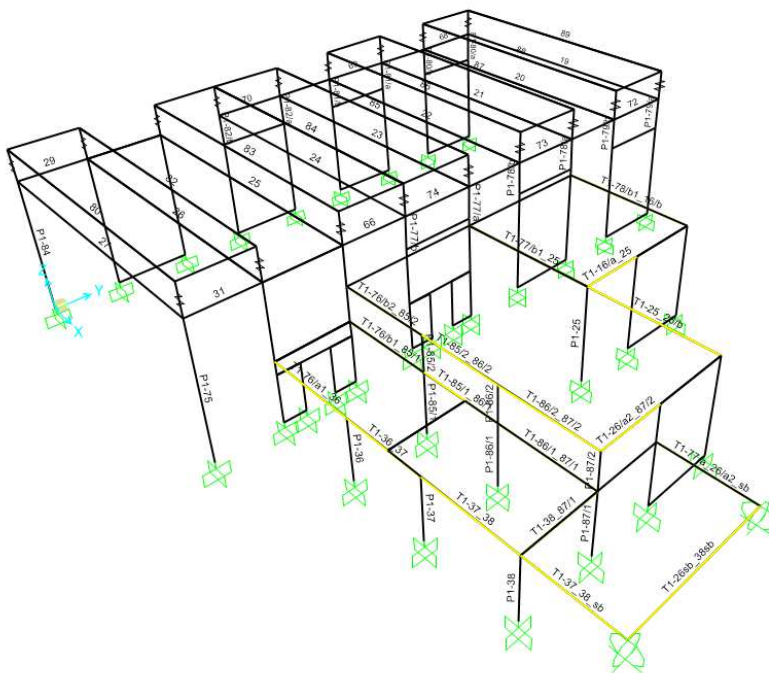
*Visualizzazioni tridimensionali estruse del Corpo Aule*

A seguire alcune immagini in cui viene riportata la nomenclatura degli elementi che compongono ciascun modello di calcolo.

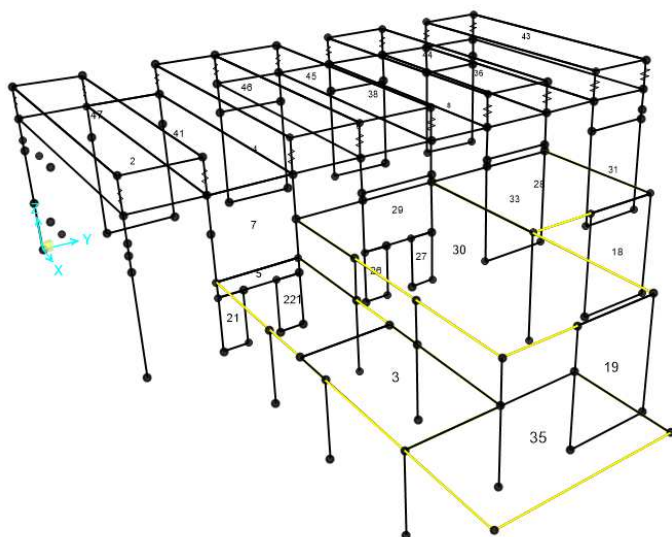
### Corpo Palestra



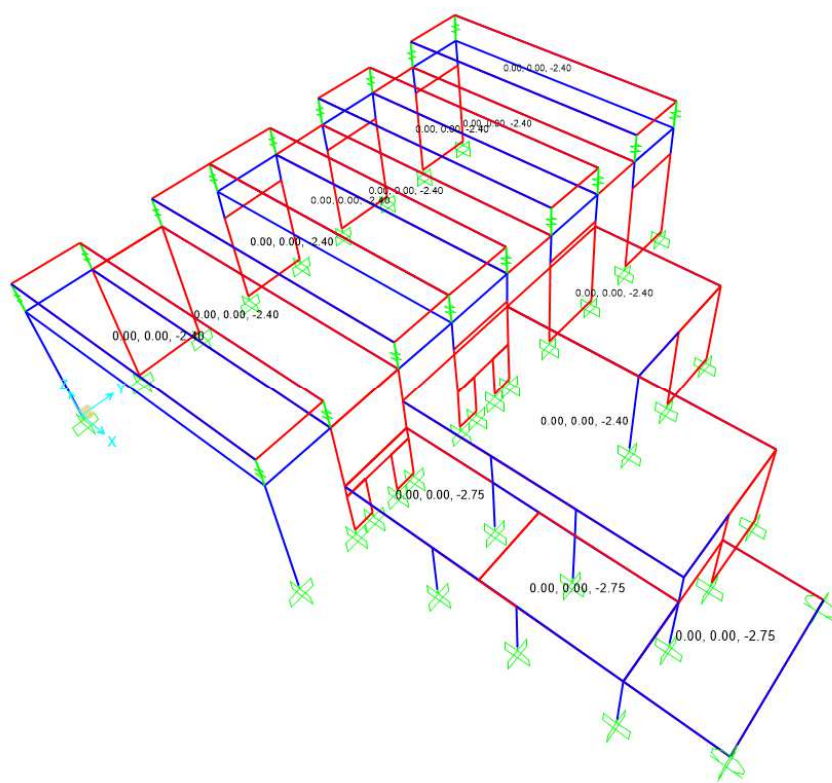
*Numerazione elementi nodi*



*Numerazione elementi aste di elevazione*

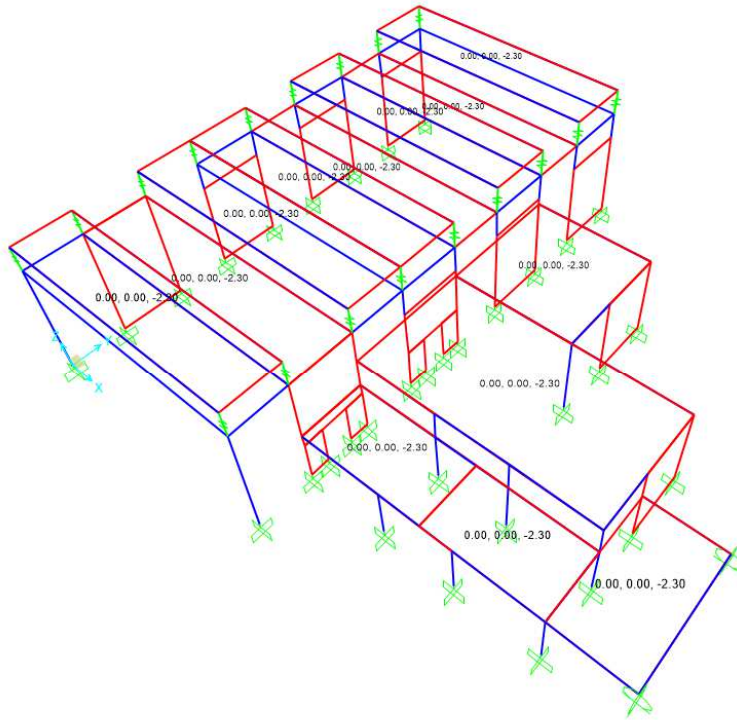


*Numerazione elementi shell*

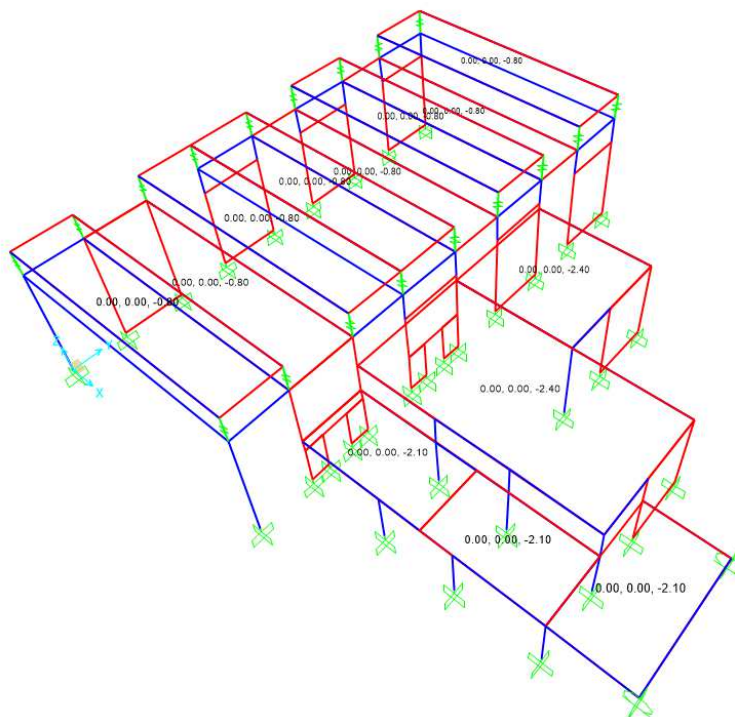


*Visualizzazione grafica del carico distribuito di tipo  $G_{k1}$*

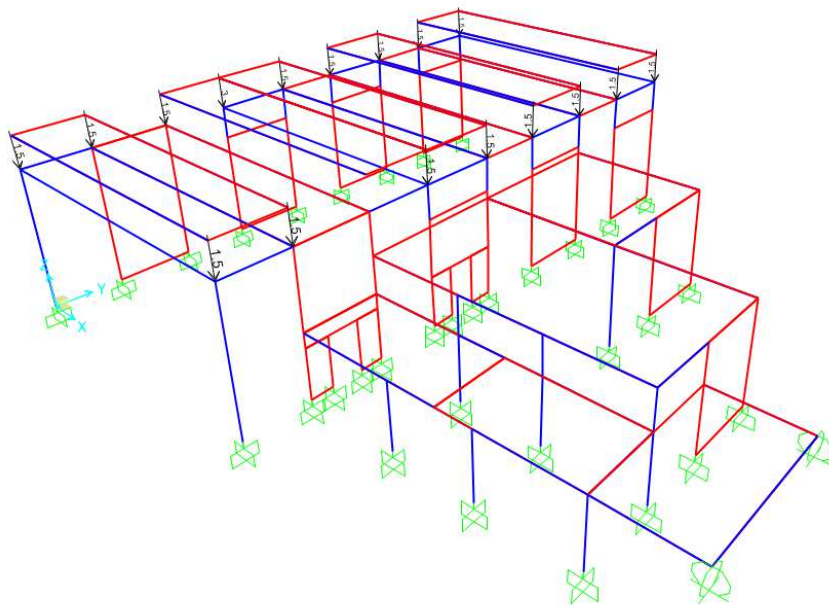




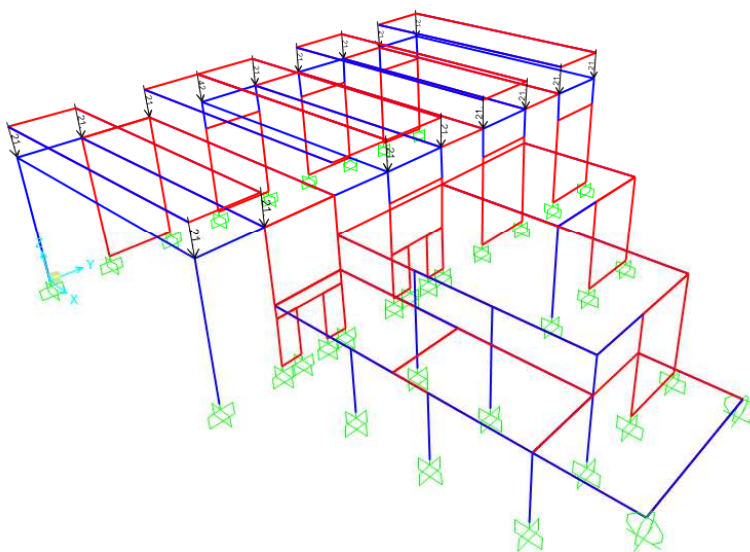
*Visualizzazione grafica del carico distribuito di tipo  $G_{k2}$*



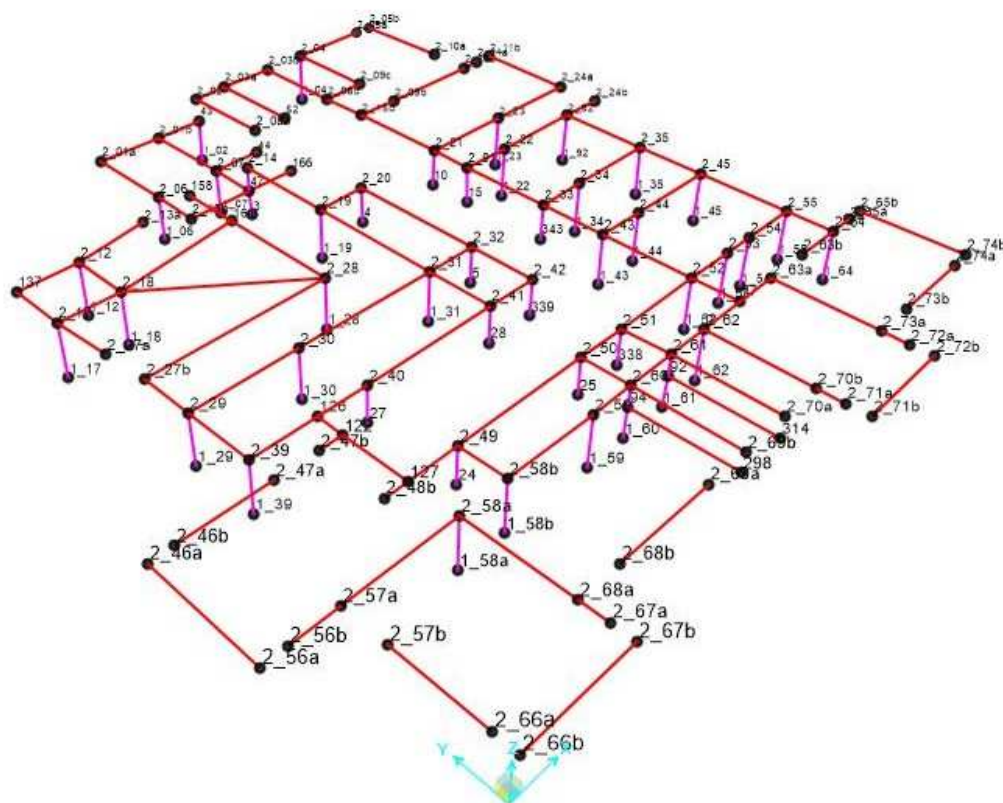
*Visualizzazione grafica del carico accidentale cat. Neve*



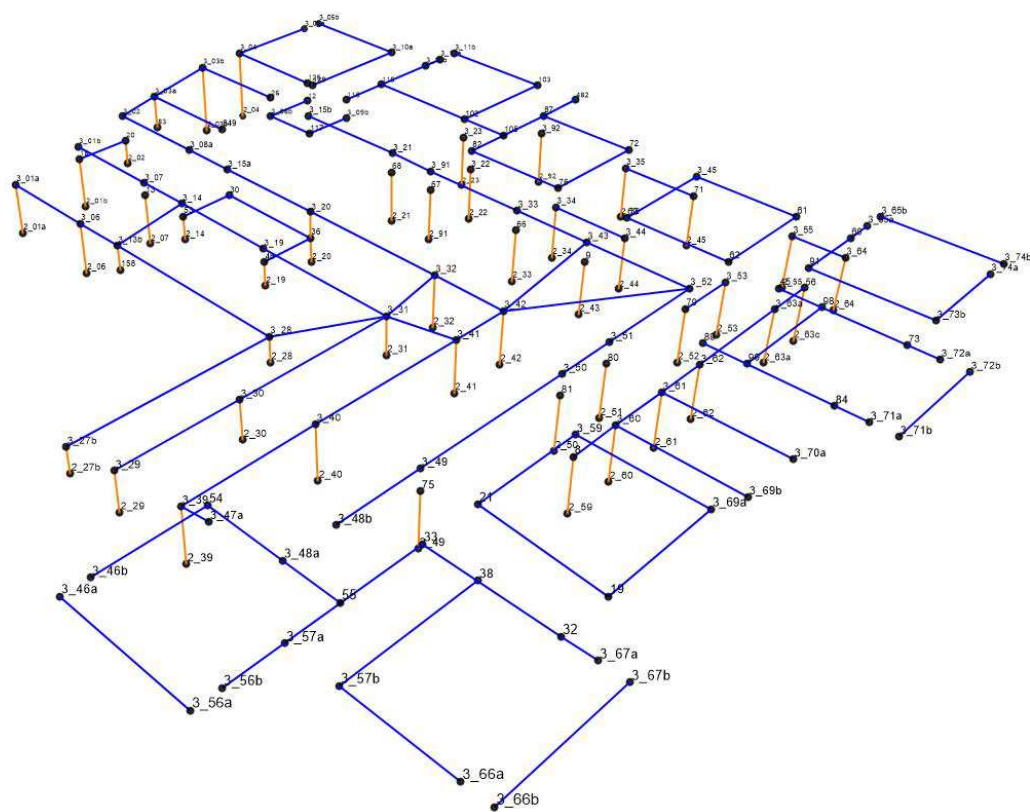
*Visualizzazione grafica del carico accidentale cat. Neve sugli aggetti*



*Visualizzazione grafica dei carichi concentrati*

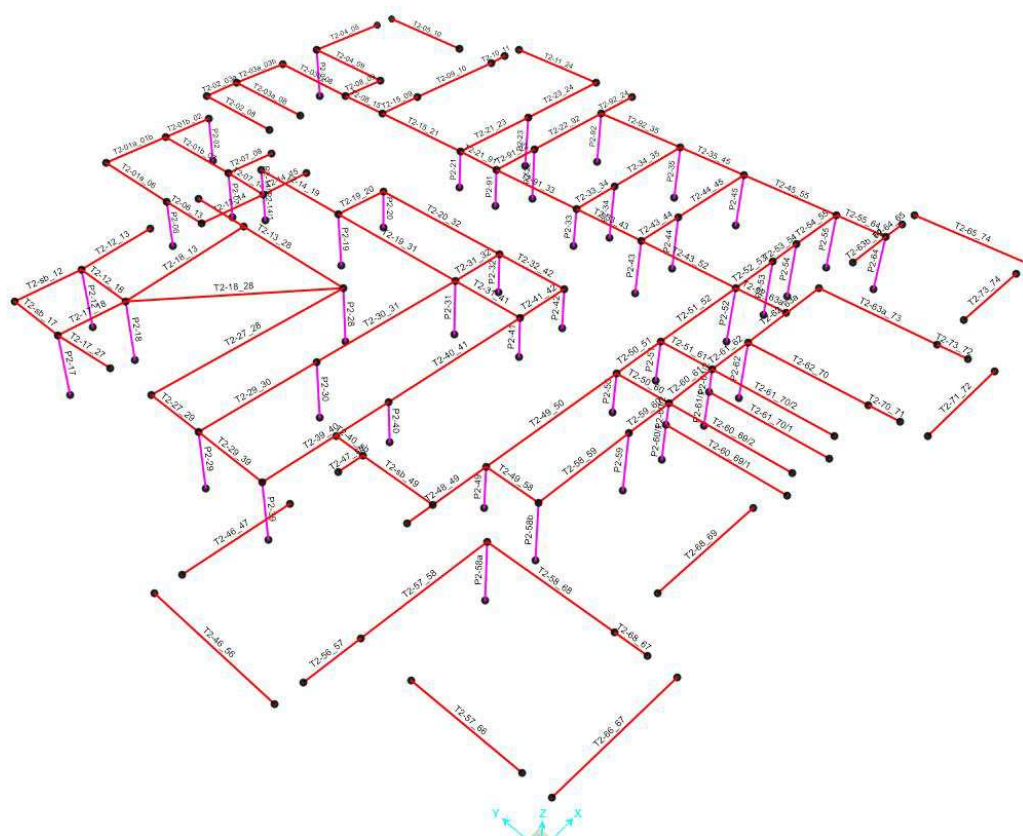


Numerazione elementi nodi seconda elevazione

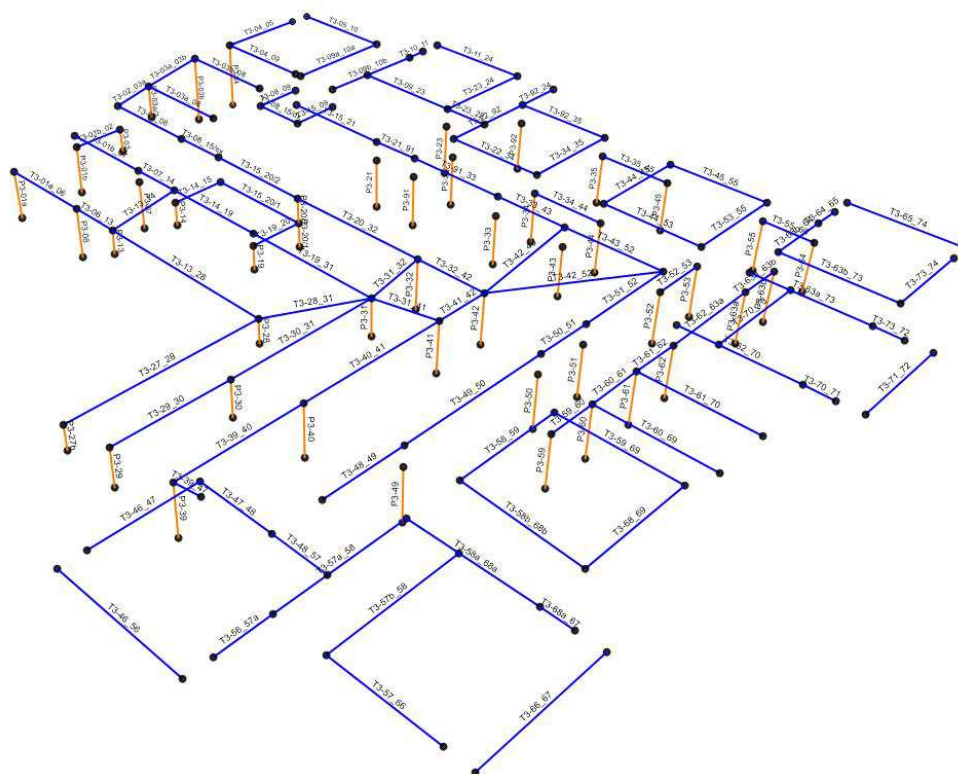


Numerazione elementi nodi terza elevazione

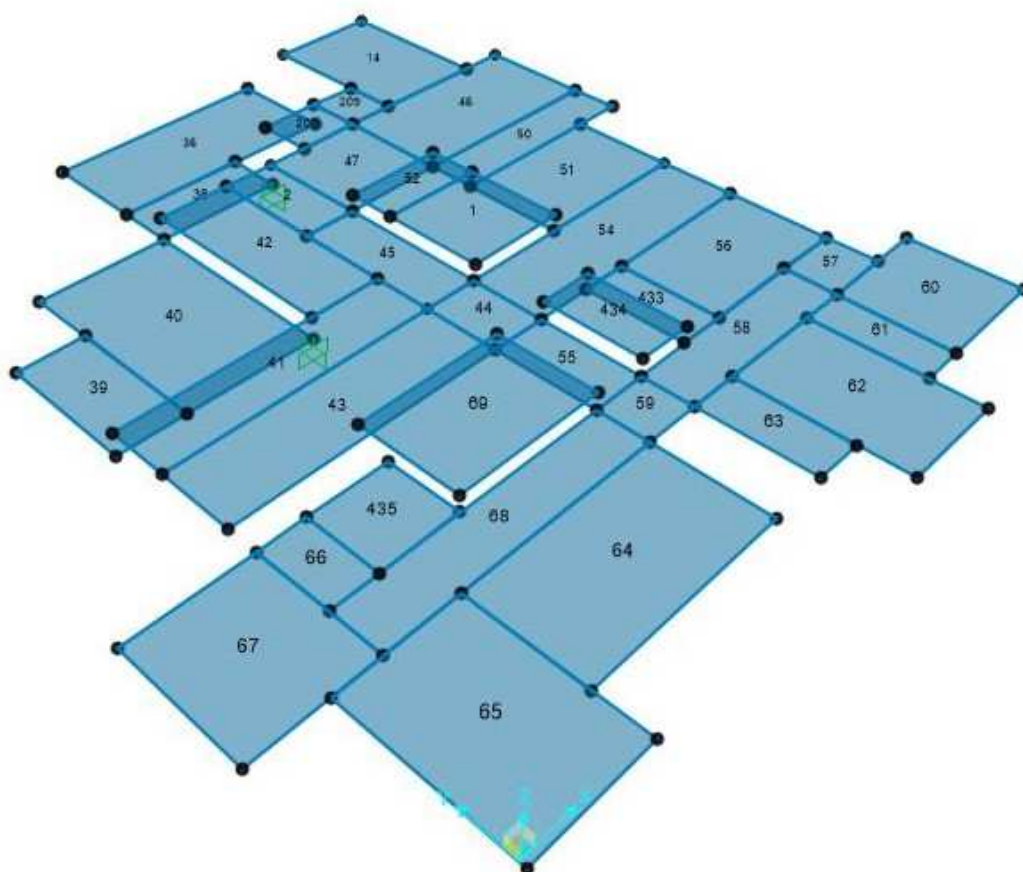




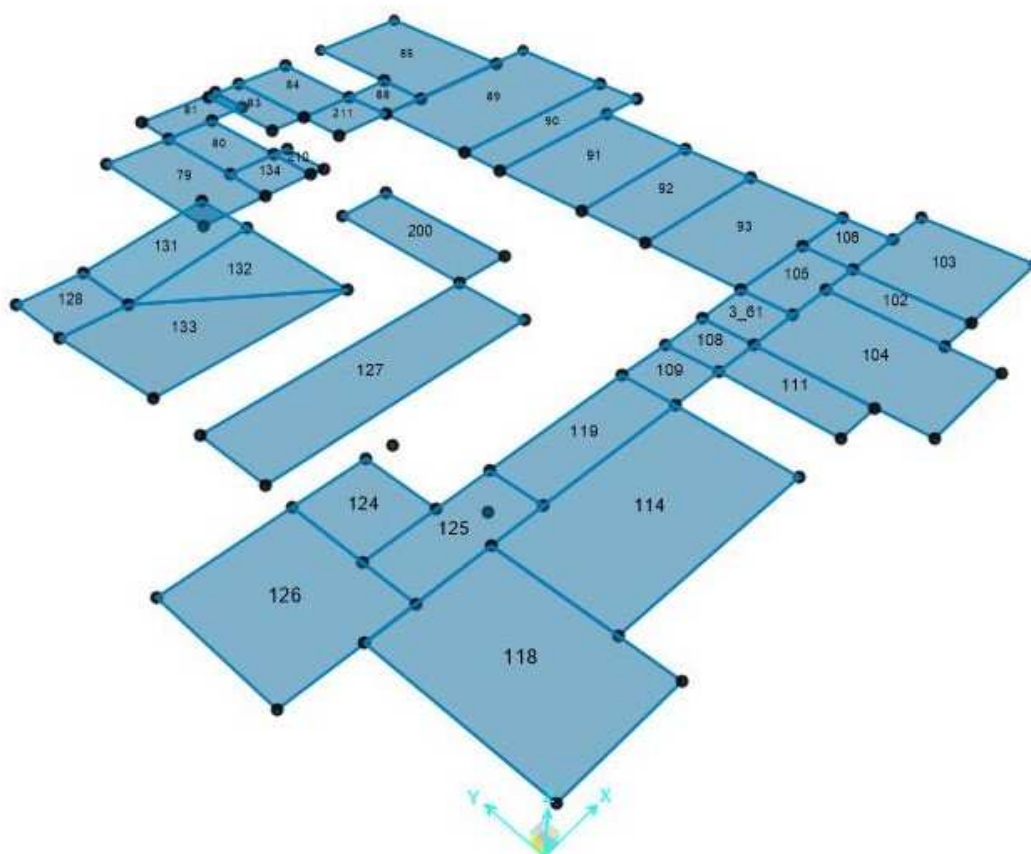
*Numerazione elementi aste seconda elevazione*



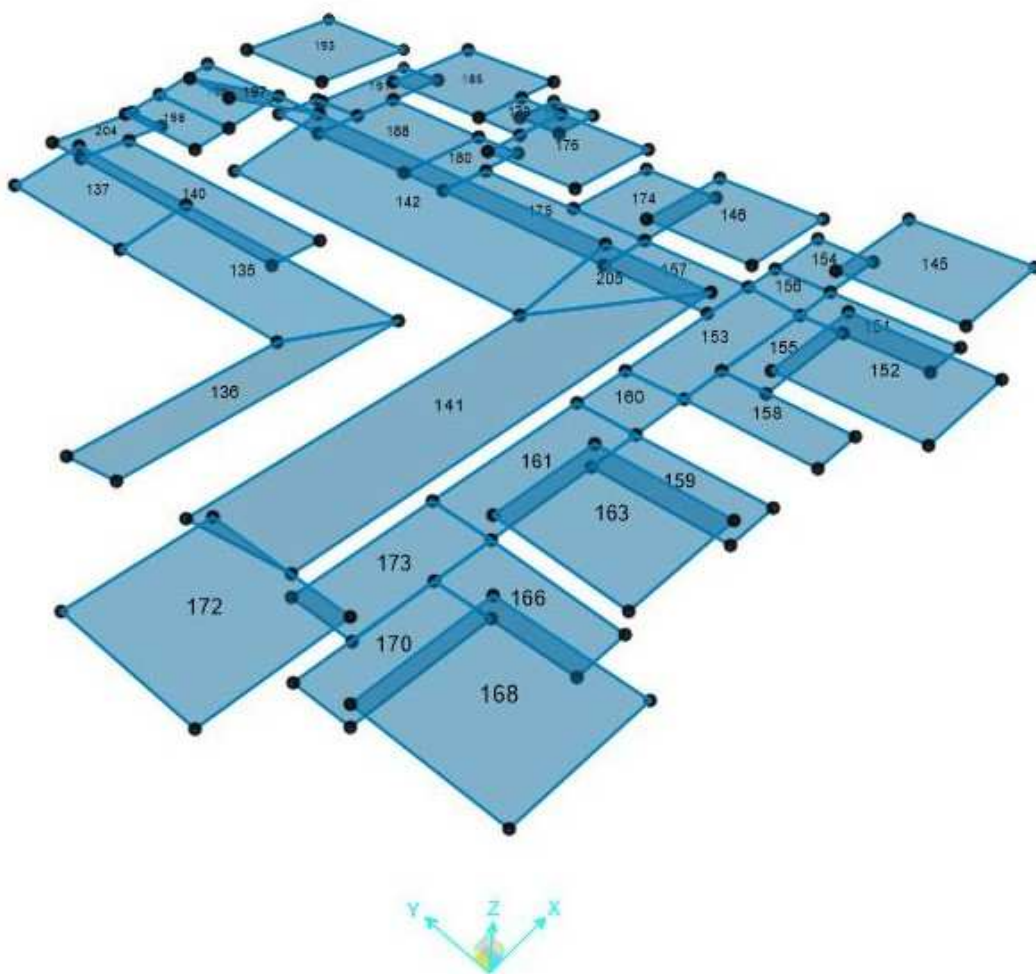
*Numerazione elementi aste terza elevazione*



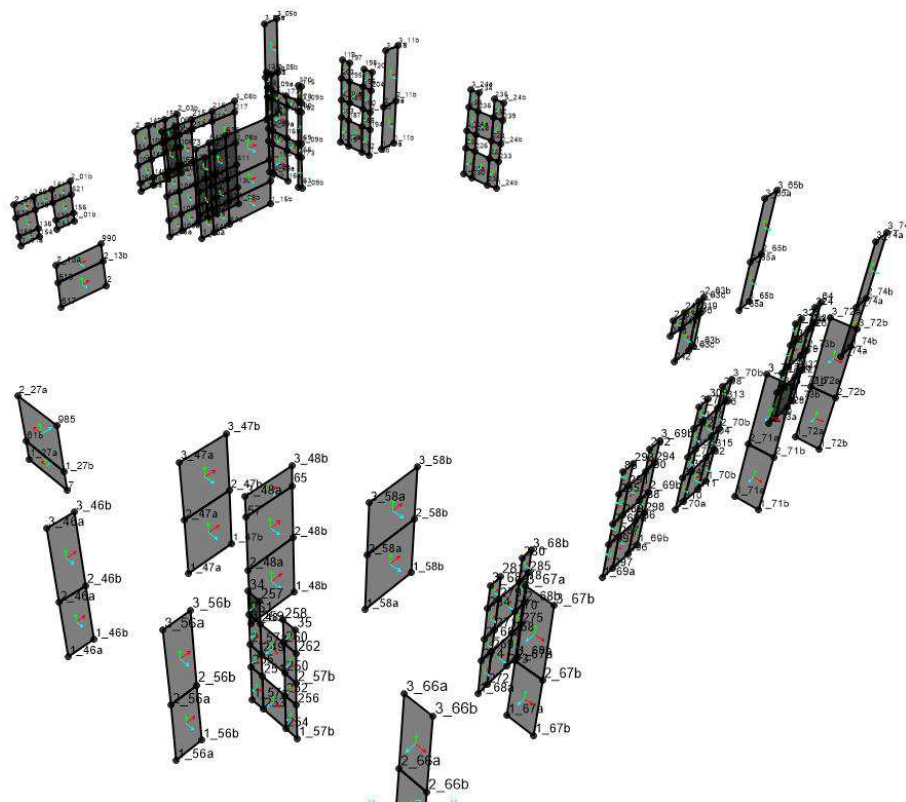
*Numerazione elementi shell "none" per assegnazione dei carichi alle aste di elevazione – prima elevazione*



*Numerazione elementi shell "none" per assegnazione dei carichi alle aste di elevazione – seconda elevazione*

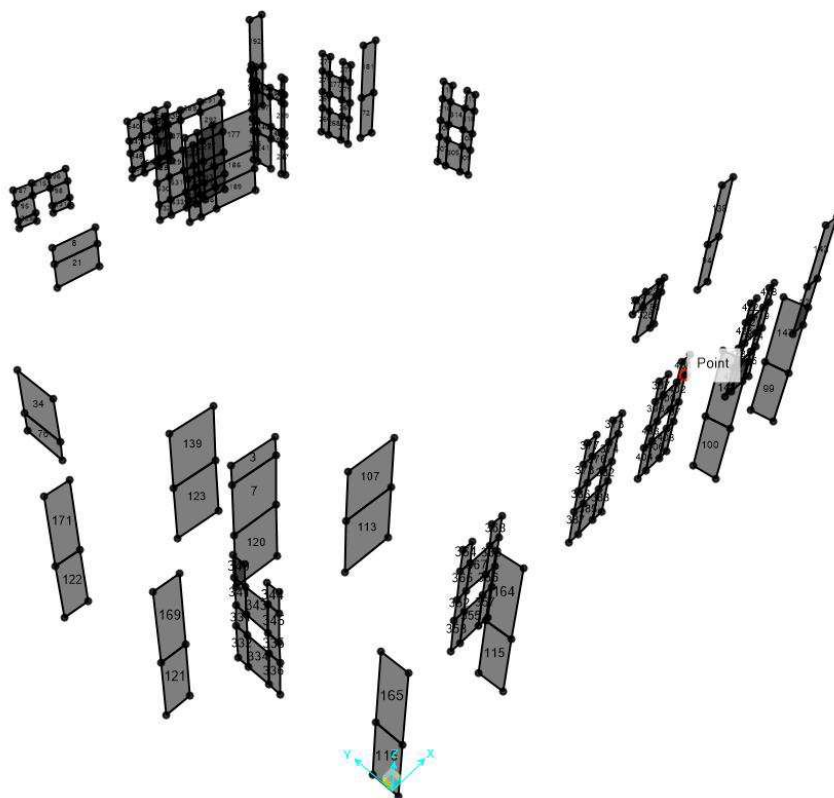


*Numerazione elementi shell "none" per assegnazione dei carichi alle aste di elevazione – terza elevazione*

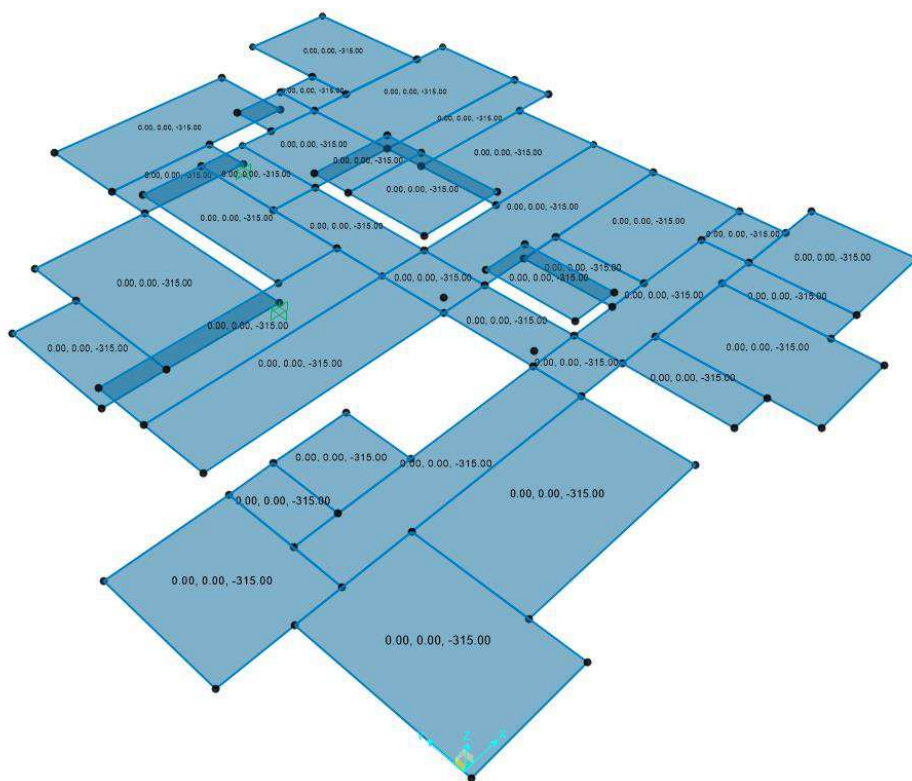


*Numerazione elementi nodi delle shell setti*

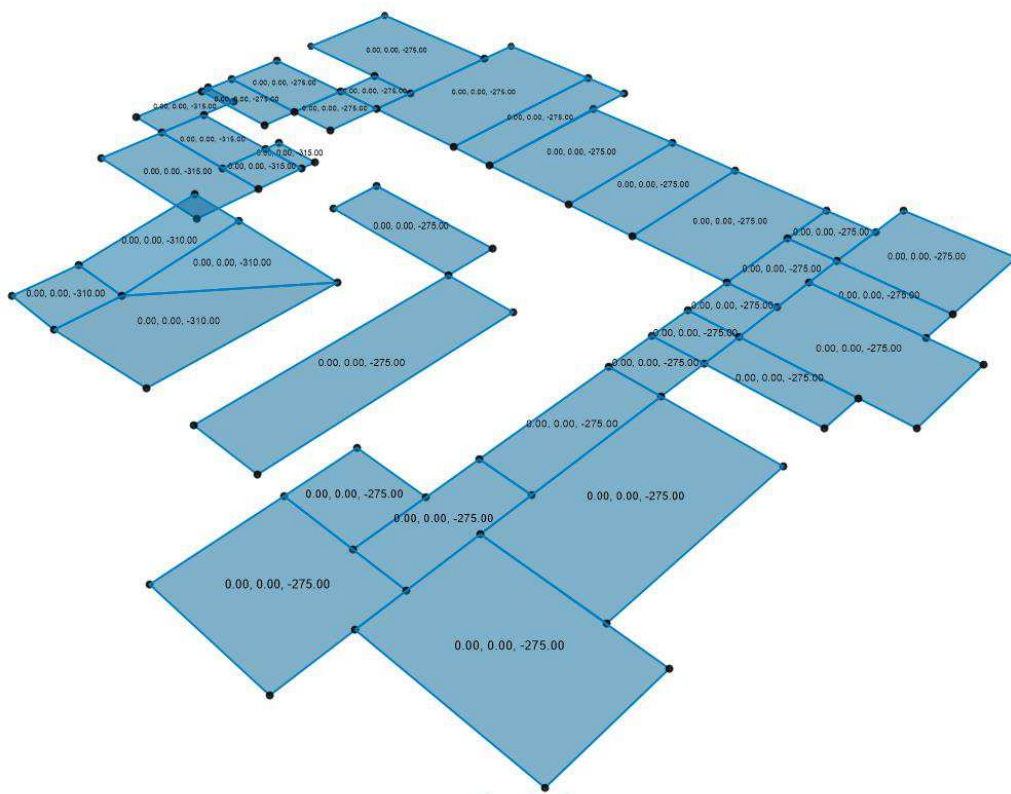




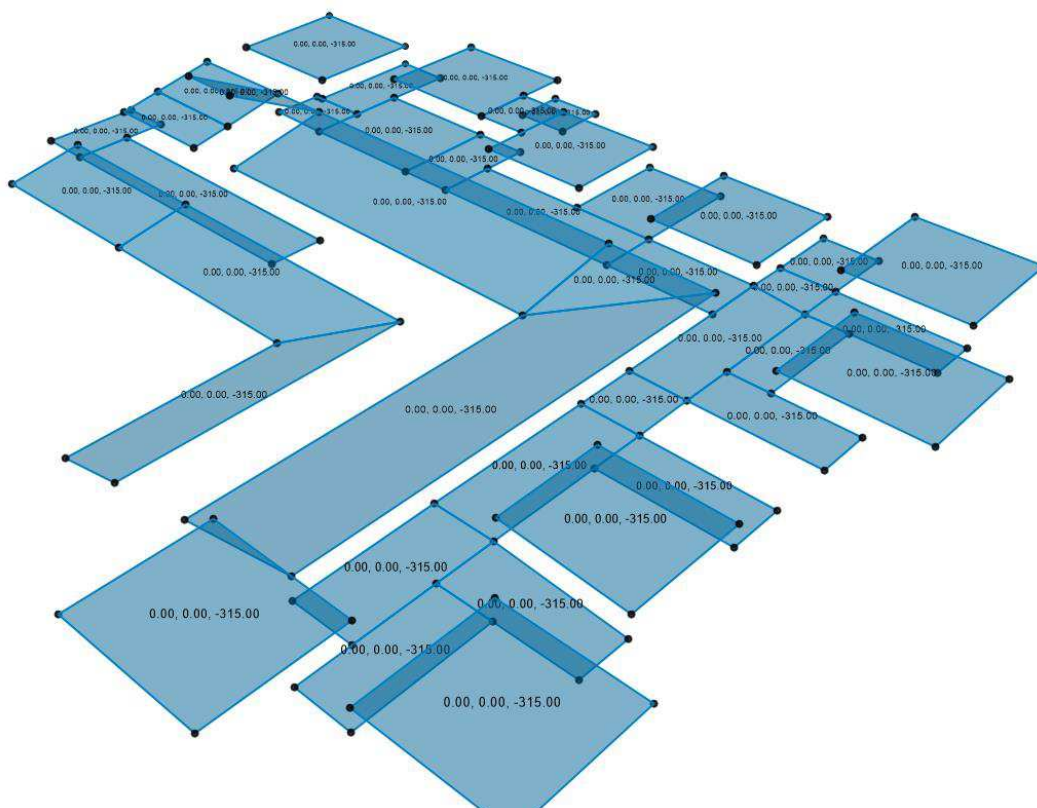
*Numerazione elementi shell setti*



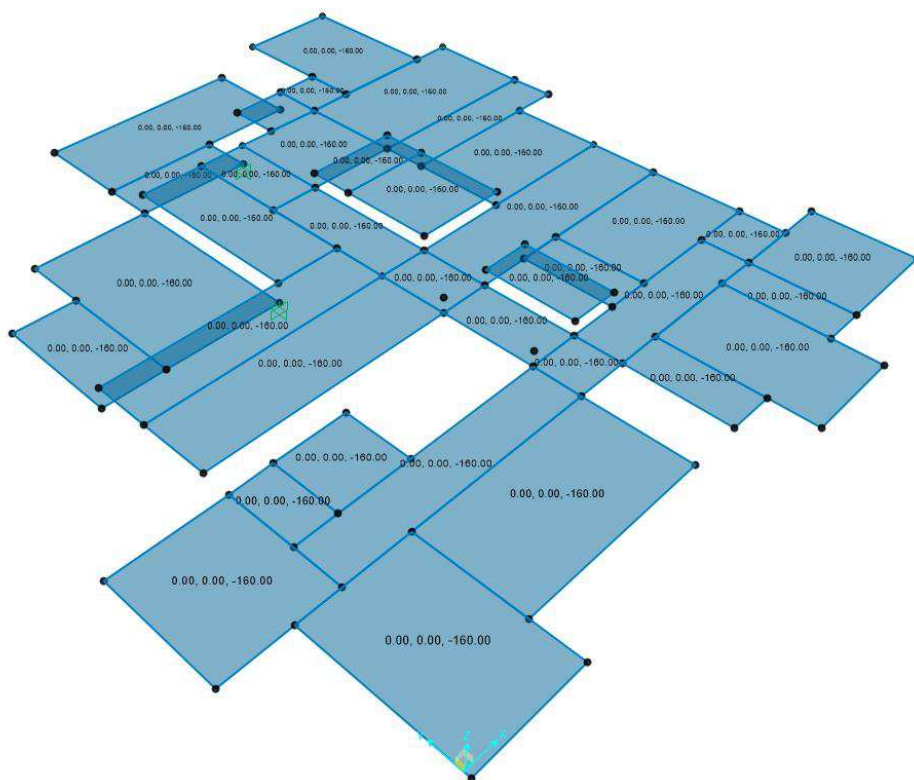
*Visualizzazione grafica del carico distribuito di tipo  $G_{k1}$  – prima elevazione*



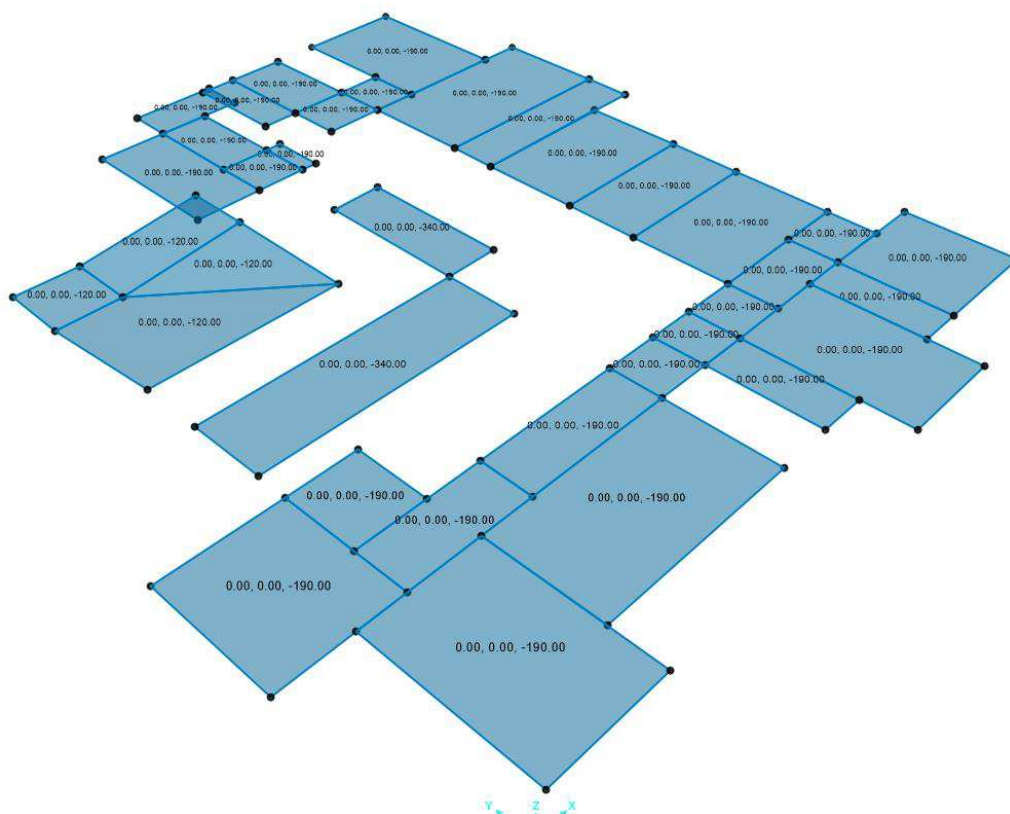
*Visualizzazione grafica del carico distribuito di tipo  $G_{k1}$  – seconda elevazione*



*Visualizzazione grafica del carico distribuito di tipo  $G_{k1}$  – terza elevazione*

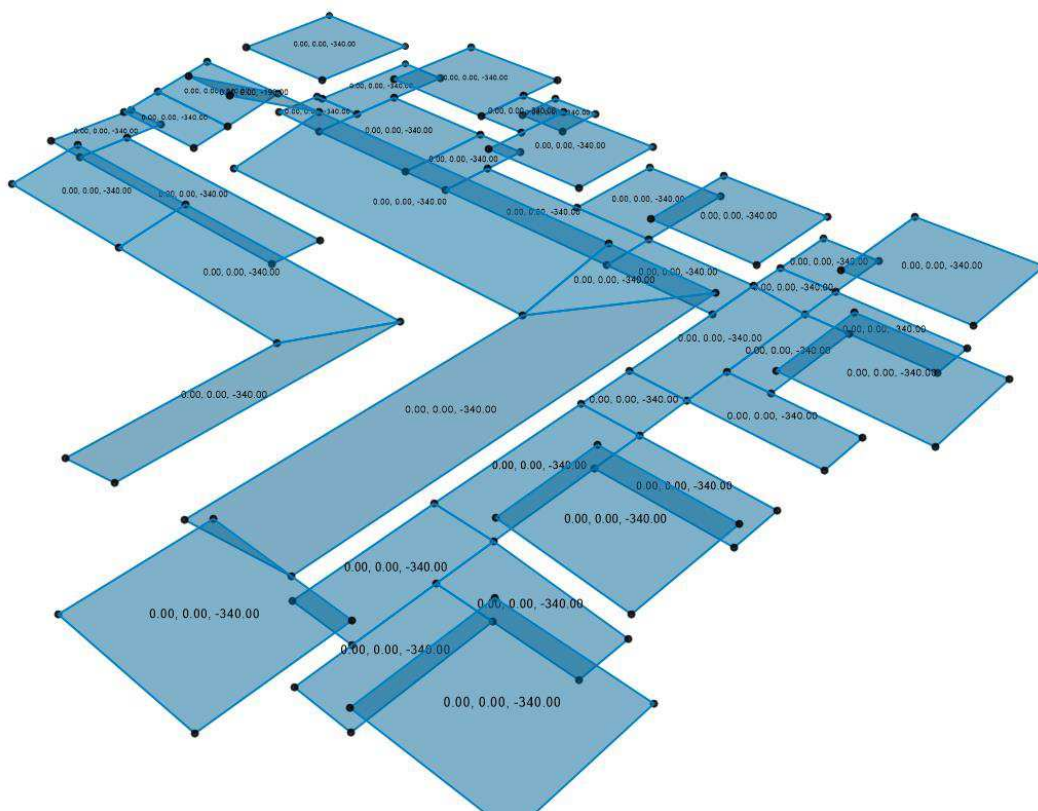


*Visualizzazione grafica del carico distribuito di tipo  $G_{k2}$  – prima elevazione*

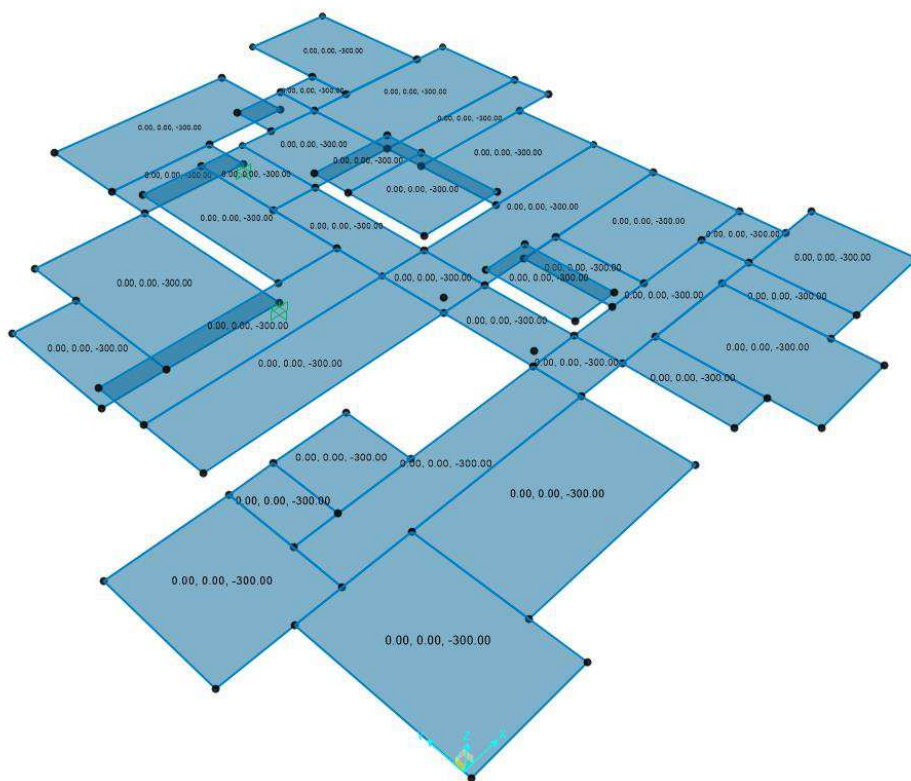


*Visualizzazione grafica del carico distribuito di tipo  $G_{k2}$  – seconda elevazione*

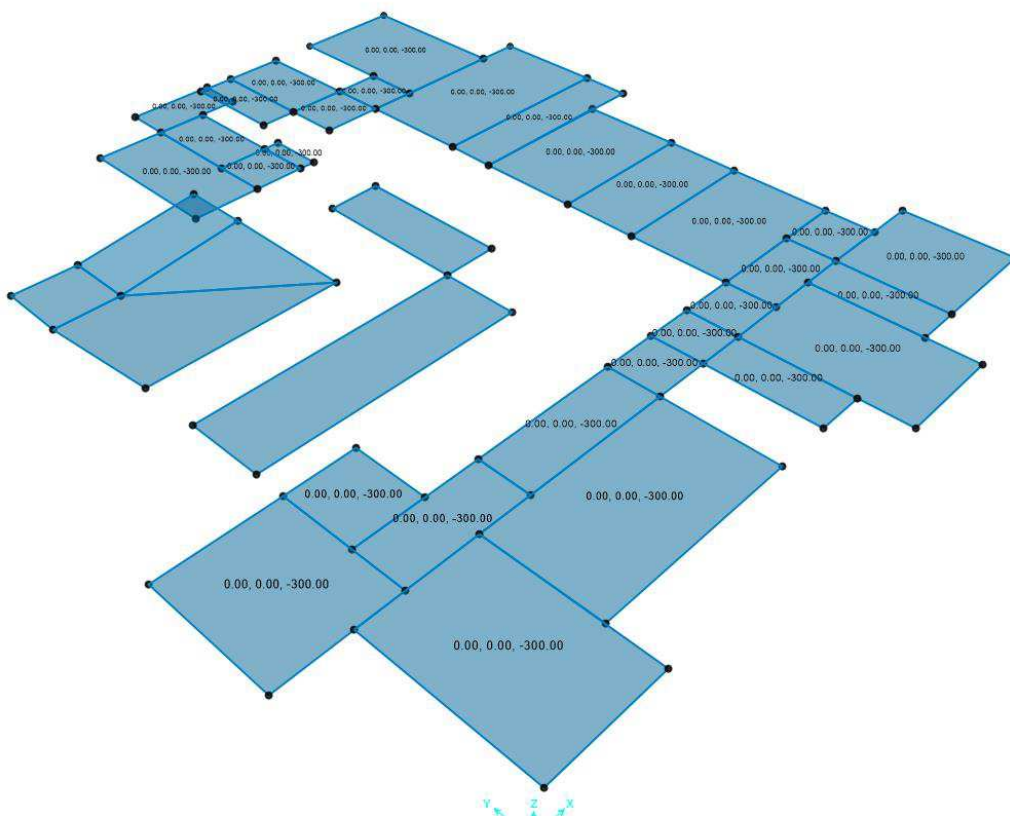




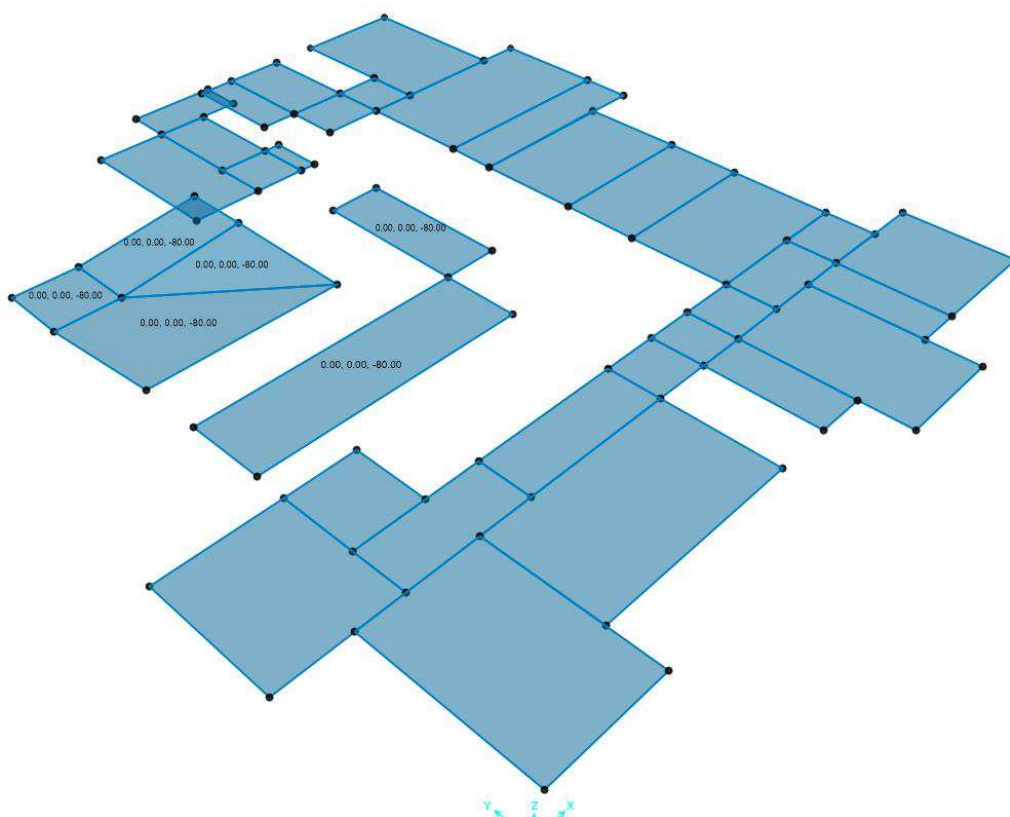
*Visualizzazione grafica del carico distribuito di tipo  $G_{k2}$  – terza elevazione*



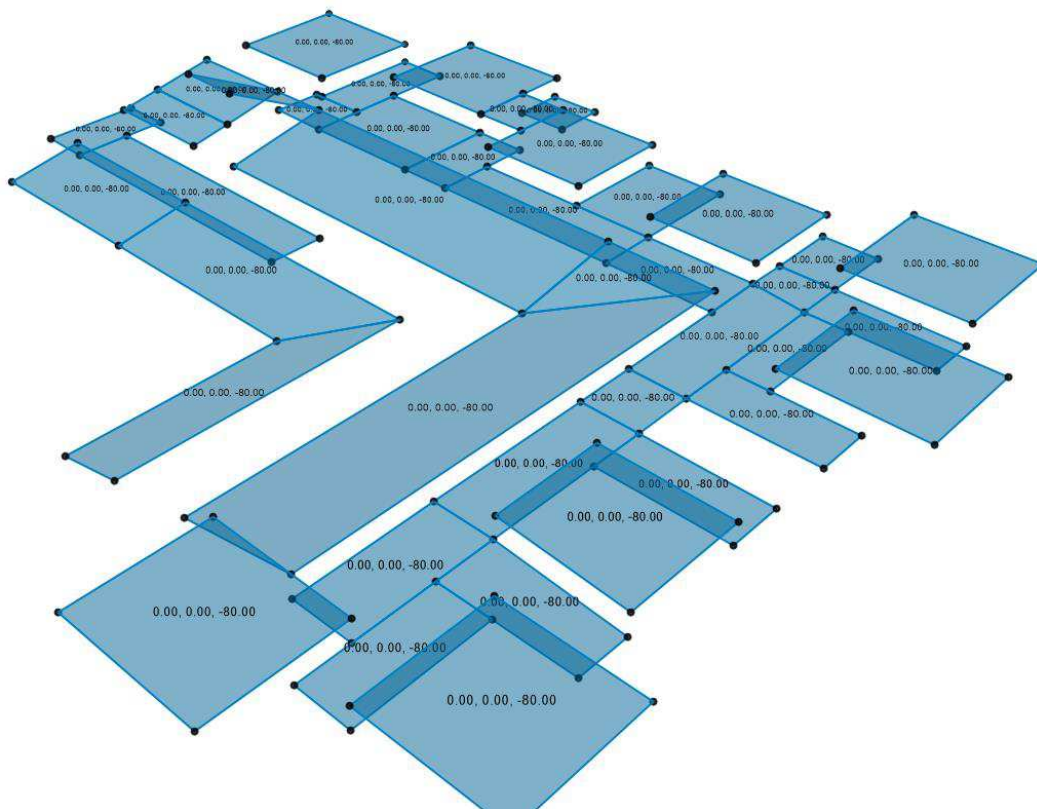
*Visualizzazione grafica del carico accidentale cat. C – prima elevazione*



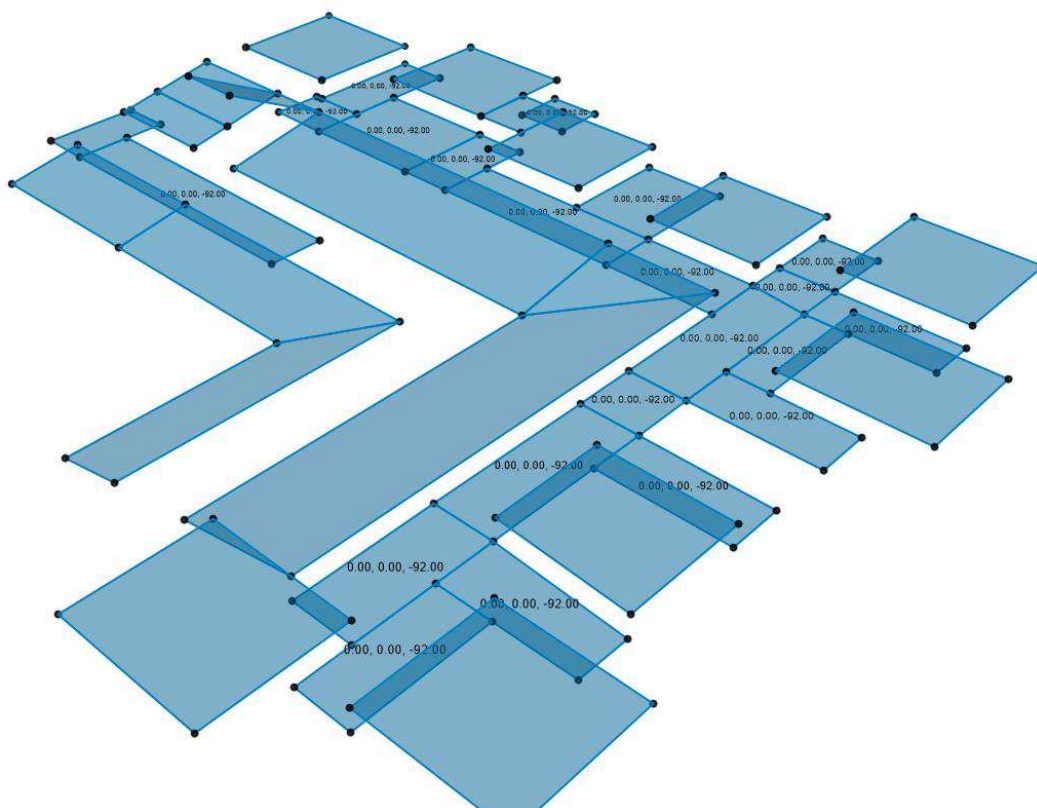
*Visualizzazione grafica del carico accidentale cat. C – seconda elevazione*



*Visualizzazione grafica del carico accidentale cat. Neve – seconda elevazione*

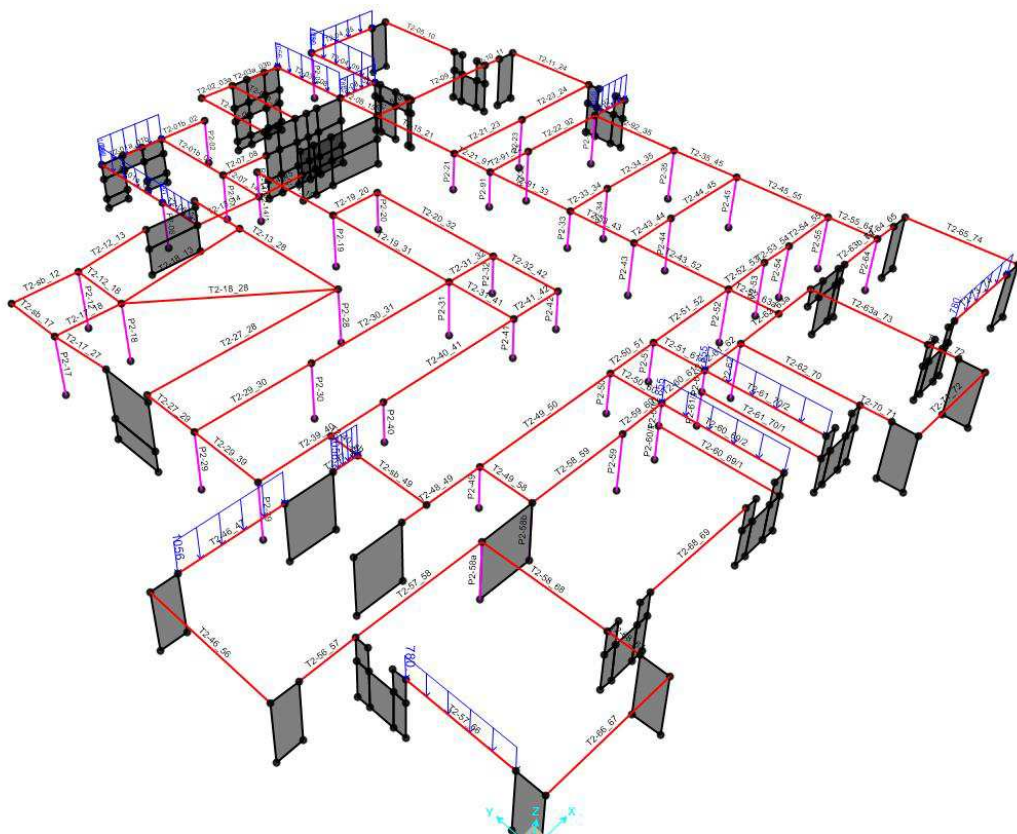


*Visualizzazione grafica del carico accidentale cat. Neve – terza elevazione*

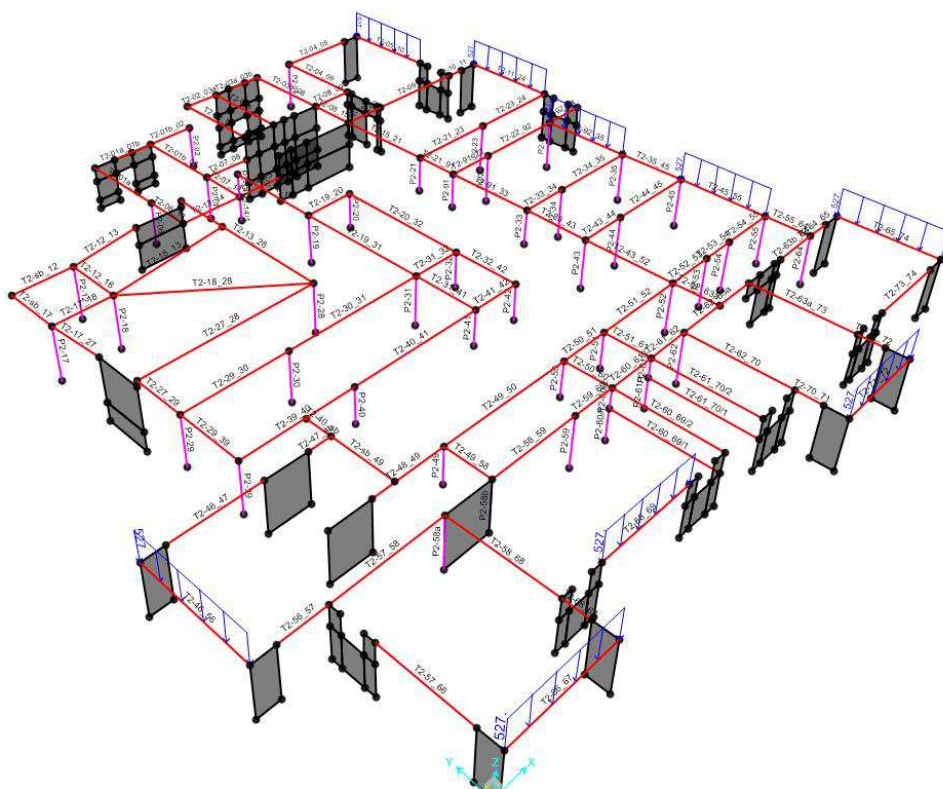


*Visualizzazione grafica del carico accidentale cat. Accumulo Neve – terza elevazione*

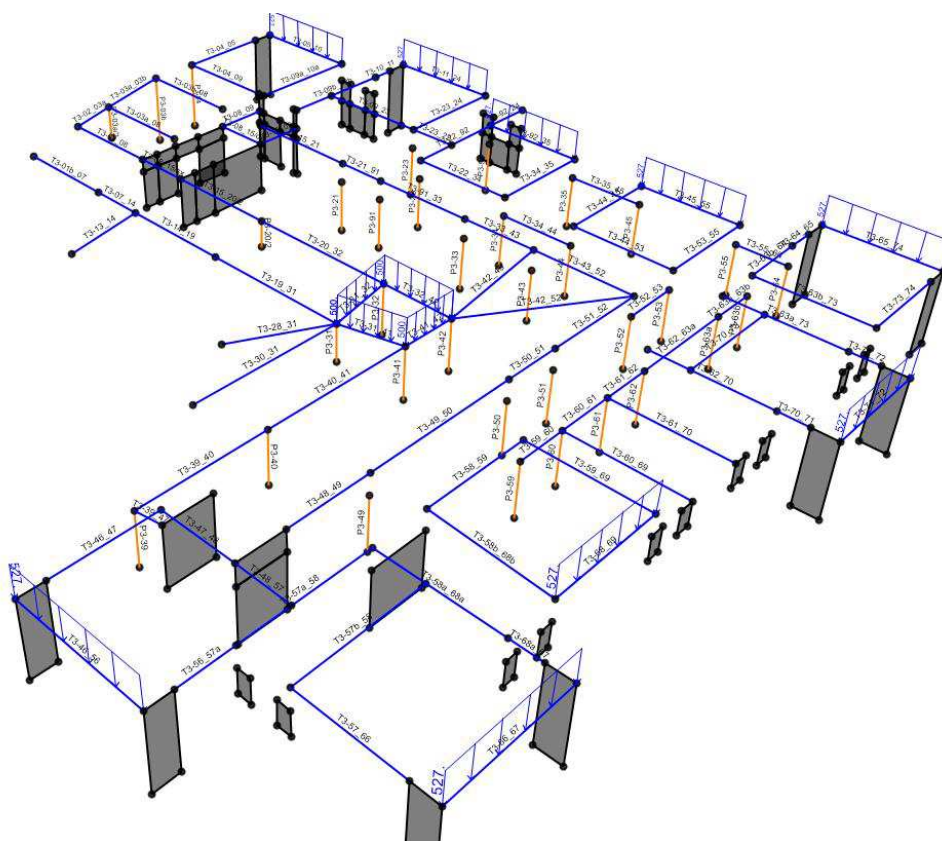




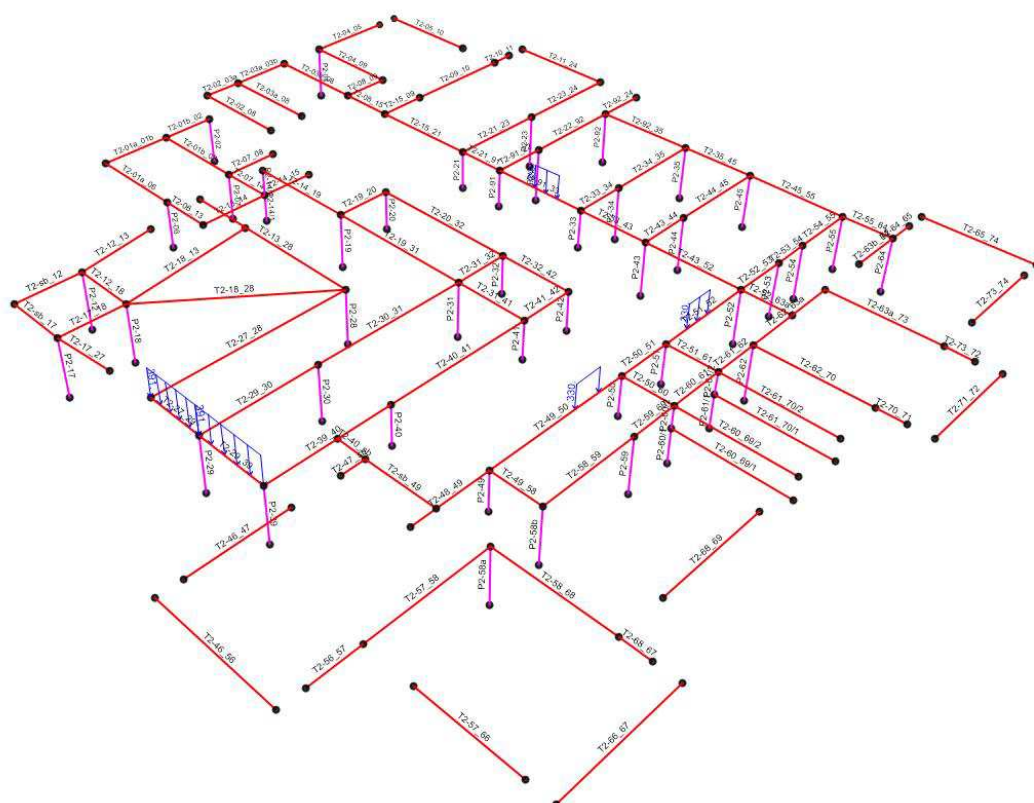
Visualizzazione grafica del carico distribuito della tamponatura esterna sulle frame – seconda elevazione



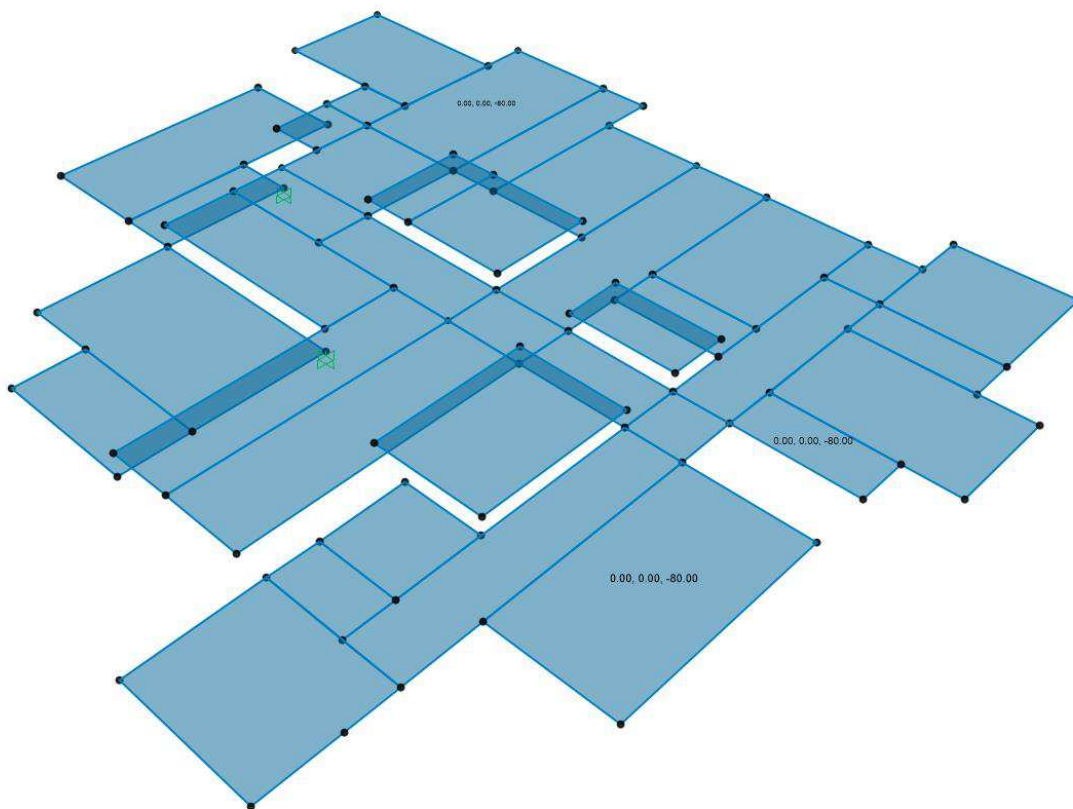
Visualizzazione grafica del carico distribuito degli aggetti sulle frame – seconda elevazione



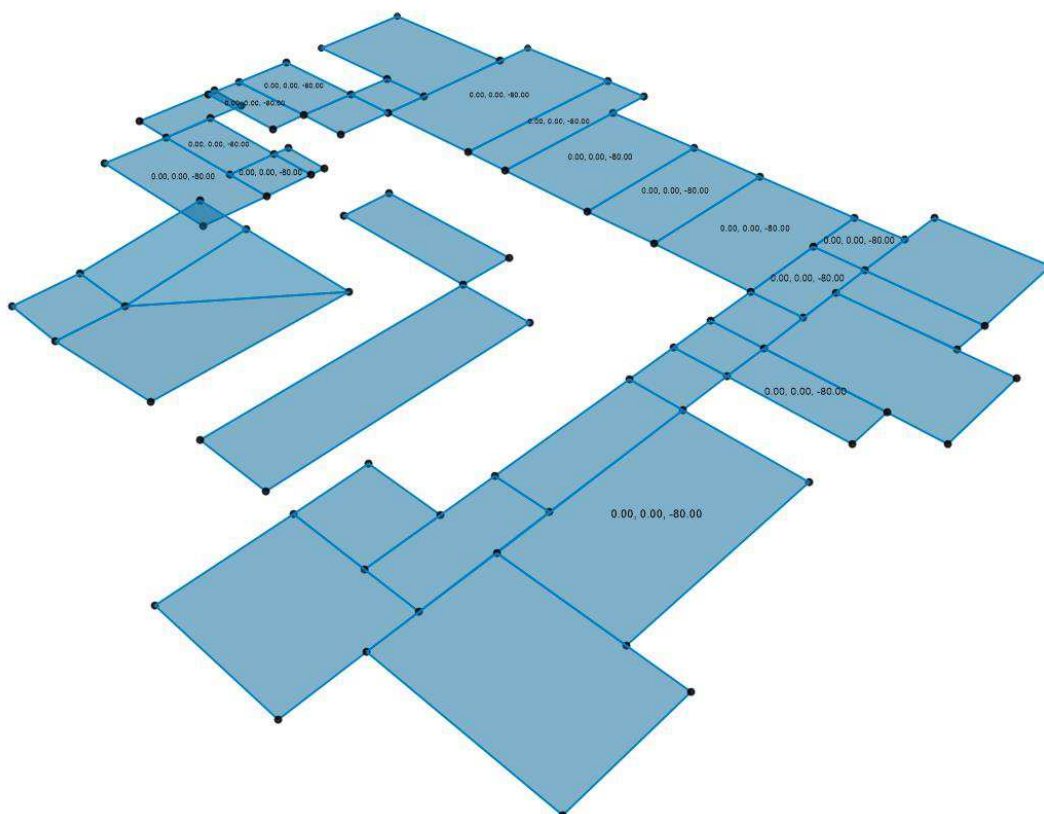
Visualizzazione grafica del carico distribuito degli aggetti e pareti cannocchiale sulle frame – terza elevazione



Visualizzazione grafica del carico distribuito di altri carichi distribuiti tipo  $G_{k2}$  sulle frame – seconda elevazione

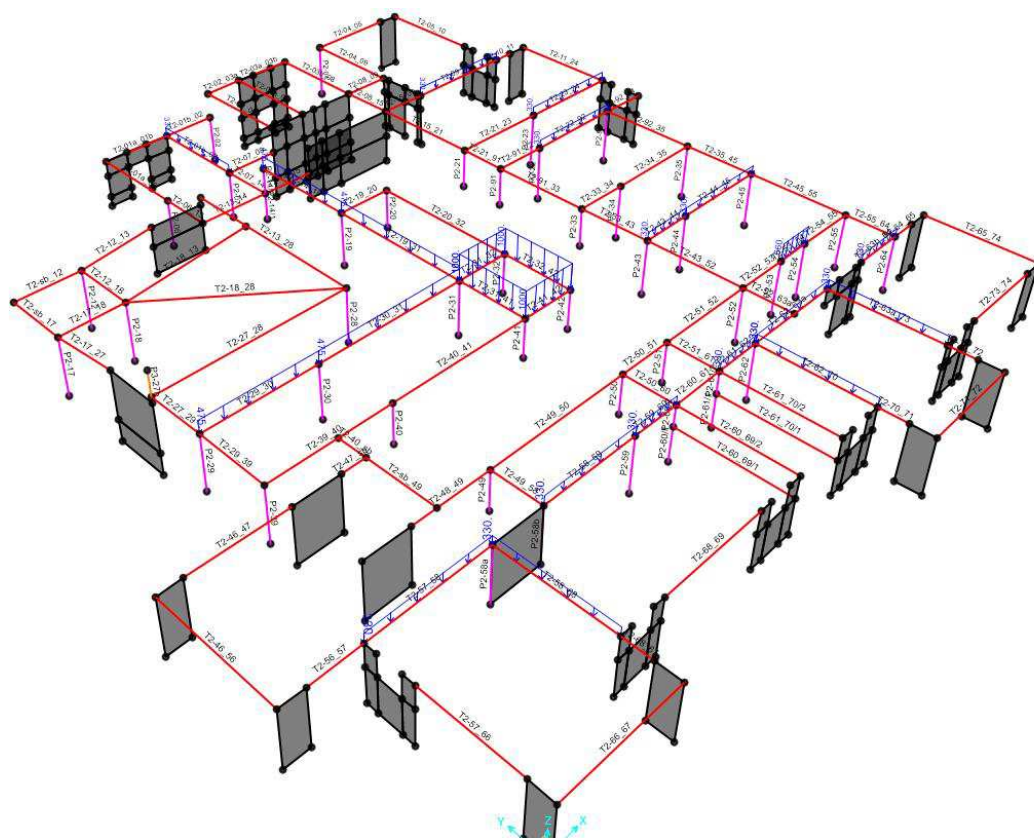


*Visualizzazione grafica del carico distribuito dei tamponamenti interni sulle shell "none" di tipo  $G_{k2}$  – prima elevazione*



*Visualizzazione grafica del carico distribuito dei tamponamenti interni sulle shell "none" di tipo  $G_{k2}$  – seconda elevazione*





### Accettabilità dei risultati

Il programma di calcolo utilizzato è idoneo a riprodurre nel modello matematico il comportamento delle strutture e gli elementi finiti disponibili e utilizzati sono rappresentativi della realtà costruttiva. Le funzioni di controllo disponibili, innanzitutto quelle grafiche, consentono di verificare la riproduzione della realtà costruttiva ed accertare la corrispondenza del modello con la geometria strutturale e con le condizioni di carico ipotizzate. Si evidenzia che il modello viene generato direttamente dal rilievo strutturale riproducendone così fedelmente le proporzioni geometriche. In ogni caso sono stati effettuati alcuni controlli dimensionali con gli strumenti software a disposizione dell'utente. Tutte le proprietà di rilevanza strutturale (materiali, sezioni, carichi, sconnessioni, etc.) sono state controllate attraverso le funzioni di indagine specificatamente previste. Sono state sfruttate le funzioni di autodiagnostica presenti nel software che hanno accertato che non sussistono difetti formali di impostazione. E' stato accertato che le risultanti delle azioni verticali sono in equilibrio con i carichi applicati. Sono state controllate le azioni taglianti di piano ed accertata la loro congruenza con quella ricavabile da semplici ed agevoli elaborazioni. Le sollecitazioni prodotte da alcune combinazioni di carico di prova hanno prodotto valori prossimi a quelli ricavabili adottando consolidate formulazioni ricavate dalla Scienza delle Costruzioni. Anche le deformazioni risultano prossime ai valori attesi. Sono infine state valutate le deformate ricavate dall'analisi statica lineare e dinamica modale allo scopo di scongiurare errori grossolani nella modellazione che compromettessero l'attendibilità di qualsiasi analisi più evoluta (quale appunto l'analisi statica non lineare comunemente indicata col nome "pushover").



## 6) METODI DI ANALISI E CRITERI DI AMMISSIBILITÀ

I metodi di analisi adottati sono i seguenti:

- analisi statiche non sismiche;
- analisi modale;
- analisi dinamica lineare con spettro elastico;
- analisi dinamica lineare con fattore di comportamento  $q$ .

In particolare:

- analisi statiche non sismiche: le analisi sismiche sono state precedute da analisi statiche per valutare l'eventuale vulnerabilità sotto condizioni statiche. L'obiettivo è stato quello di controllare che tutti gli elementi strutturali soddisfino le verifiche di resistenza sia nella situazione di carico preliminare all'attivazione delle forze sismiche orizzontali sia allo SLU;
- analisi modale: è stata applicata per verificare la correttezza del modello geometrico (controllo delle deformate modali e delle masse eccitate) in modo da scongiurare la presenza di errori nella schematizzazione in grado di compromettere qualsiasi analisi più approfondita;
- analisi dinamica lineare con spettro elastico: tale analisi è stata applicata per valutare la deformabilità del fabbricato secondo lo stato limite di operatività (SLO);
- analisi dinamica lineare con fattore di comportamento  $q$ : tale analisi è stata applicata per valutare il comportamento delle strutture sottoposte al sisma.

## Analisi di regolarità

- Corpo Palestra

Per stabilire se il fabbricato in esame è regolare ai sensi del D.M. 17/01/2018 al §7.2.1, si farà riferimento alle verifiche riassunte nella tabella di seguito.

	<b>REGOLARITA' IN PIANTA</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1	Configurazione in pianta compatta ed approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali, in relazione alla distribuzione delle masse e delle rigidezze.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Rapporto tra i lati di un rettangolo in cui l'edificio risulta inscritto $\leq 4$ .	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Solai infinitamente rigidi nel proprio piano e sufficientemente resistenti.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<b>REGOLARITA' IN ALTEZZA</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
4	Tutti gli elementi resistenti dell'edificio (telai o pareti) si estendono per tutta l'altezza dell'edificio.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Le variazioni di massa da un orizzontamento all'altro sono inferiori al 25%. Passando da un orizzontamento a quello superiore la rigidezza non si riduce più del 30% e non aumenta più del 10%.	NON APPLICABILE	
6	Eventuali restringimenti della sezione orizzontale dell'edificio rispettano i seguenti limiti: ad ogni orizzontamento il rientro è minore del 30% della dimensione del primo orizzontamento e del 20% della dimensione dell'orizzontamento sottostante.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

### N.B.

“**SI**” soddisfa il requisito di regolarità

“**NO**” non soddisfa il requisito di regolarità

Alla luce dei risultati appena esposti, si può affermare che, per il fabbricato in esame, la **VERIFICA DI REGOLARITA' NON È SODDISFATTA.**

- Corpo Aule

Per stabilire se il fabbricato in esame è regolare ai sensi del D.M. 17/01/2018 al §7.2.1, si farà riferimento alle verifiche riassunte nella tabella di seguito.

	<b>REGOLARITA' IN PIANTA</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1	Configurazione in pianta compatta ed approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali, in relazione alla distribuzione delle masse e delle rigidezze.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Rapporto tra i lati di un rettangolo in cui l'edificio risulta inscritto $\leq 4$ .	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Solai infinitamente rigidi nel proprio piano e sufficientemente resistenti.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<b>REGOLARITA' IN ALTEZZA</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
4	Tutti gli elementi resistenti dell'edificio (telai o pareti) si estendono per tutta l'altezza dell'edificio.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Le variazioni di massa da un orizzontamento all'altro sono inferiori al 25%. Passando da un orizzontamento a quello superiore la rigidezza non si riduce più del 30% e non aumenta più del 10%.	NON APPLICABILE	
6	Eventuali restringimenti della sezione orizzontale dell'edificio rispettano i seguenti limiti: ad ogni orizzontamento il rientro è minore del 30% della dimensione del primo orizzontamento e del 20% della dimensione dell'orizzontamento sottostante.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

N.B.

“**SI**” soddisfa il requisito di regolarità

“**NO**” non soddisfa il requisito di regolarità

Alla luce dei risultati appena esposti, si può affermare che, per il fabbricato in esame, la **VERIFICA DI REGOLARITA' NON È SODDISFATTA.**

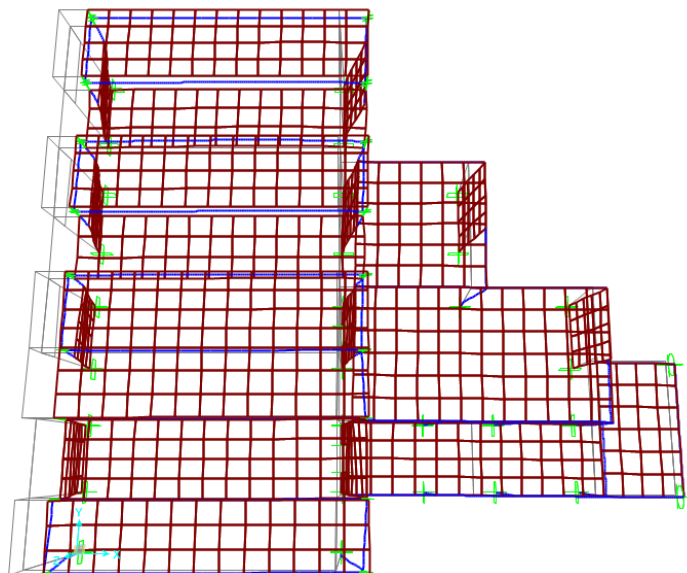
## Caratterizzazione Modale della Struttura

Di seguito si riporta il risultato dell'analisi modale in termini di periodi di vibrazione e masse partecipanti ad ogni singolo modo, con riferimento ai primi due modi di vibrare della struttura in termini di massa partecipante per il fabbricato oggetto di verifica.

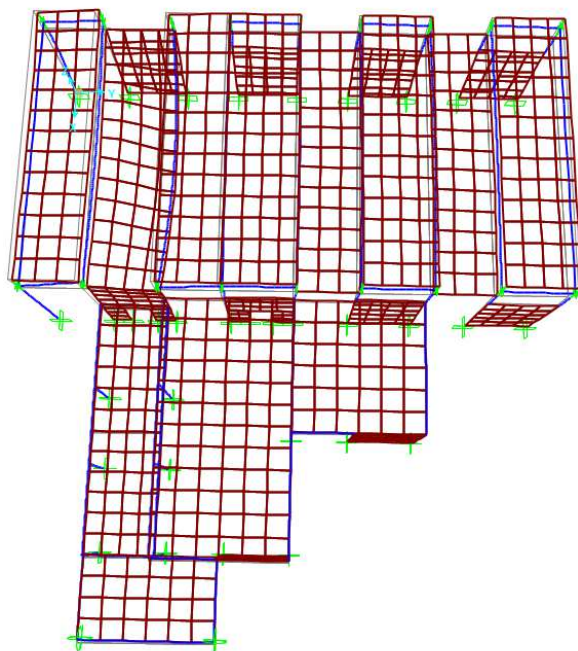
### Corpo Palestra

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0.529078	0.85168	0.000001712	0.85168	0.000001712	0.00261	0.00261
MODAL	Mode	2	0.282969	0.00044	0.00094	0.85212	0.00094	0.48821	0.49082
MODAL	Mode	3	0.196316	0.02913	0.00694	0.88125	0.00788	0.01105	0.50187
MODAL	Mode	4	0.184362	0.000003316	0.000009486	0.88125	0.00789	8.973E-07	0.50187
MODAL	Mode	5	0.171909	0.00261	0.2746	0.88386	0.28249	0.02006	0.52193
MODAL	Mode	6	0.162592	0.01818	0.02175	0.90204	0.30424	0.01276	0.53469
MODAL	Mode	7	0.152979	0.00761	0.10558	0.90964	0.40982	0.00043	0.53512
MODAL	Mode	8	0.14769	0.00819	0.00249	0.91784	0.41231	0.00553	0.54065
MODAL	Mode	9	0.140123	0.00054	0.00006699	0.91837	0.41237	0.00967	0.55031
MODAL	Mode	10	0.136587	0.00006886	0.13403	0.91844	0.54641	0.01433	0.56464
MODAL	Mode	11	0.132816	0.00037	0.07514	0.91881	0.62155	0.00019	0.56483
MODAL	Mode	12	0.127014	0.000032	0.00233	0.91884	0.62388	0.00718	0.57201
MODAL	Mode	13	0.126278	0.0028	0.00148	0.92165	0.62535	0.05122	0.62323
MODAL	Mode	14	0.123772	0.00773	0.02941	0.92938	0.65477	0.00136	0.62459
MODAL	Mode	15	0.114986	0.00085	0.00177	0.93023	0.65654	0.0004	0.62499
MODAL	Mode	16	0.113869	5.309E-07	0.00053	0.93023	0.65707	0.00091	0.6259
MODAL	Mode	17	0.112063	0.00142	0.00951	0.93165	0.66658	0.0221	0.648
MODAL	Mode	18	0.107	0.00007832	0.08521	0.93173	0.75179	0.18159	0.82959
MODAL	Mode	19	0.104689	0.00003515	0.01874	0.93177	0.77053	0.00452	0.83411
MODAL	Mode	20	0.097	0.00908	0.00019	0.94085	0.77072	0.00525	0.83936
MODAL	Mode	21	0.095034	0.00036	0.00964	0.94122	0.78036	0.01145	0.85081
MODAL	Mode	22	0.09291	0.00086	0.00097	0.94208	0.78133	0.00013	0.85094
MODAL	Mode	23	0.089118	0.00132	0.00043	0.9434	0.78176	0.00352	0.85446
MODAL	Mode	24	0.086562	0.00119	0.00077	0.94459	0.78253	0.00672	0.86118
MODAL	Mode	25	0.08449	0.00554	0.00046	0.95013	0.78299	0.0056	0.86678
MODAL	Mode	26	0.080802	0.00001722	4.515E-07	0.95015	0.78299	4.428E-08	0.86678
MODAL	Mode	27	0.079808	0.00006261	0.00305	0.95021	0.78604	0.00519	0.87196
MODAL	Mode	28	0.078218	0.00137	0.00039	0.95158	0.78644	0.00084	0.87281
MODAL	Mode	29	0.072795	0.00003018	0.0201	0.95161	0.80654	0.00358	0.87639
MODAL	Mode	30	0.070604	0.00001943	0.00753	0.95163	0.81406	0.0025	0.87889
MODAL	Mode	31	0.069716	0.00201	0.00142	0.95364	0.81548	0.00015	0.87904
MODAL	Mode	32	0.066877	0.00005951	0.00086	0.9537	0.81634	0.00056	0.8796
MODAL	Mode	33	0.065799	0.000005236	0.000007101	0.95371	0.81635	0.000007445	0.8796
MODAL	Mode	34	0.063612	0.00243	0.01508	0.95614	0.83142	0.00778	0.88738
MODAL	Mode	35	0.062753	0.00011	0.00509	0.95624	0.83652	0.0000124	0.88739

MODAL	Mode	36	0.062453	0.00019	0.00278	0.95643	0.83929	0.00065	0.88804
MODAL	Mode	37	0.061767	0.00001698	0.00446	0.95644	0.84375	0.00431	0.89236
MODAL	Mode	38	0.056386	0.00289	0.00519	0.95933	0.84894	0.00099	0.89334
MODAL	Mode	39	0.055317	0.000006082	0.00009506	0.95934	0.84904	2.576E-07	0.89334
MODAL	Mode	40	0.054361	0.00129	0.0084	0.96063	0.85744	0.00143	0.89477



MODO 1 Fondamentale in X -T=0.529s

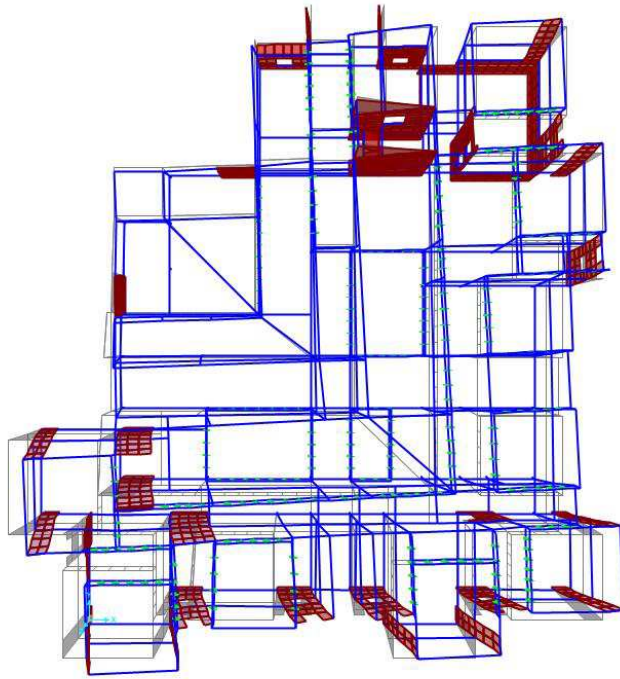


MODO 5 Fondamentale in Y -T=0.172s

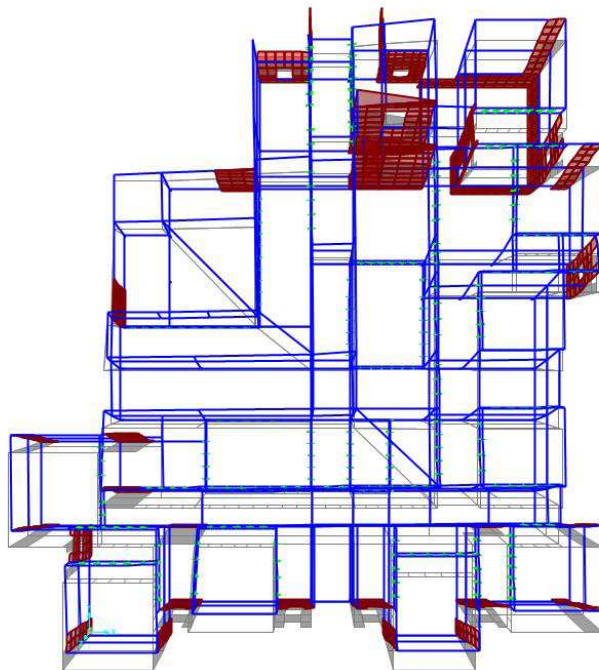


## Corpo Aule

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0.337146	0.00323	0.60954	0.00323	0.60954	0.01075	0.01075
MODAL	Mode	2	0.248318	0.27705	0.01116	0.28028	0.62071	0.3139	0.32465
MODAL	Mode	3	0.169844	0.13995	0.00002163	0.42022	0.62073	0.11014	0.4348
MODAL	Mode	4	0.166463	0.178	0.00077	0.59822	0.6215	0.14975	0.58454
MODAL	Mode	5	0.122597	0.000008449	0.00003662	0.59823	0.62154	0.00011	0.58465
MODAL	Mode	6	0.118817	0.01489	0.00148	0.61312	0.62302	0.01678	0.60143
MODAL	Mode	7	0.105766	0.00046	0.00336	0.61358	0.62638	0.00006942	0.6015
MODAL	Mode	8	0.105253	0.00006041	0.07125	0.61364	0.69763	0.00008954	0.60159
MODAL	Mode	9	0.101384	0.00015	0.01247	0.61379	0.7101	0.00002798	0.60162
MODAL	Mode	10	0.101151	0.00018	0.02055	0.61397	0.73065	0.00001052	0.60163
MODAL	Mode	11	0.095902	0.00053	0.00123	0.61449	0.73188	0.00118	0.60281
MODAL	Mode	12	0.092037	0.00167	0.00763	0.61616	0.7395	0.00058	0.60338
MODAL	Mode	13	0.084604	0.00013	0.00006875	0.61629	0.73957	9.685E-07	0.60339
MODAL	Mode	14	0.082647	0.00035	0.00006283	0.61664	0.73964	0.0000746	0.60346
MODAL	Mode	15	0.081563	0.00232	0.00001633	0.61896	0.73965	0.00471	0.60817
MODAL	Mode	16	0.080649	0.000006822	2.493E-08	0.61897	0.73965	0.000004428	0.60818
MODAL	Mode	17	0.080504	0.00385	0.00008447	0.62283	0.73974	0.00607	0.61424
MODAL	Mode	18	0.078889	0.00001061	0.000003489	0.62284	0.73974	0.00263	0.61688
MODAL	Mode	19	0.077681	0.00007287	0.0000109	0.62291	0.73975	0.00069	0.61757
MODAL	Mode	20	0.077654	0.00013	1.709E-07	0.62303	0.73975	0.00005008	0.61762
MODAL	Mode	21	0.077477	0.000003705	0.000005884	0.62304	0.73976	0.000004099	0.61763
MODAL	Mode	22	0.076192	0.00238	0.00003934	0.62542	0.7398	0.00148	0.6191
MODAL	Mode	23	0.07506	0.00047	0.00004191	0.62589	0.73984	0.00057	0.61968
MODAL	Mode	24	0.074881	0.00052	0.00142	0.6264	0.74126	0.00023	0.61991
MODAL	Mode	25	0.074718	0.00045	0.00234	0.62686	0.7436	0.00004232	0.61995
MODAL	Mode	26	0.073681	0.00042	0.00294	0.62728	0.74653	0.00084	0.62079
MODAL	Mode	27	0.072337	0.0086	0.00017	0.63589	0.74671	0.01443	0.63522
MODAL	Mode	28	0.072221	0.00017	0.00002564	0.63606	0.74673	0.00035	0.63557
MODAL	Mode	29	0.071428	0.00917	0.0000531	0.64523	0.74679	0.01146	0.64703
MODAL	Mode	30	0.06965	0.01253	0.00002053	0.65776	0.74681	0.02297	0.67001
MODAL	Mode	31	0.069291	0.01672	0.00025	0.67448	0.74705	0.01419	0.68419
MODAL	Mode	32	0.06883	0.00065	3.364E-07	0.67513	0.74705	0.00096	0.68515
MODAL	Mode	33	0.065016	0.0005	2.166E-08	0.67563	0.74705	0.00013	0.68528
MODAL	Mode	34	0.064758	0.00519	0.00025	0.68082	0.7473	0.00209	0.68737
MODAL	Mode	35	0.063307	0.00023	0.00011	0.68105	0.74741	0.00278	0.69015



MODO 1 Fondamentale in X - $T=0.248s$



MODO 2 Fondamentale in Y - $T=0.337s$

### Analisi Dinamica Lineare con Spettro Elastico

Questo metodo di analisi è stato utilizzato per le verifiche in deformabilità allo stato limite di operatività SLO.

### Analisi Dinamica Lineare con fattore di comportamento q

Il metodo di analisi utilizzato è l'analisi dinamica lineare con spettro di risposta elastico ridotto del fattore di comportamento q, eseguito applicando simultaneamente le due componenti orizzontali principali, tra loro ortogonali, combinate secondo le espressioni:

$$1.00 EX + 0.30 EY$$

$$0.30 EX + 1.00 EY$$

Secondo quanto previsto al C8.7.2.2.2 della Circolare n.7 del 21/01/2019 ed al 7.3.3.1 del D.M. 17/01/2018, le verifiche vengono condotte in termini di resistenza, valutando la domanda sugli elementi strutturali sia per meccanismi "duttili" che per meccanismi "fragili", riducendo lo spettro di risposta elastico con fattore di comportamento  $q=1,5$ . Per ogni elemento primario e per entrambi i meccanismi di collasso, vengono determinati i rapporti D/C in cui D indica la domanda fornita dall'analisi della struttura soggetta alle combinazioni di carico, mentre C indica la capacità dell'elemento.

## **7) VERIFICHE DI VULNERABILITÀ**

### Valutazione della idoneità statica degli orizzontamenti

La struttura presenta, sulla base dei rilievi effettuati e della documentazione reperita, tipologie di orizzontamento tutte in latero-cemento con travetti precompressi prefabbricati e soletta gettata in opera: la caldana è sempre da 4 cm di spessore, l'altezza delle pignatte (Blocchi tipo UNIC) varia dai 16, ai 20, ai 24 cm, l'interasse dei travetti è di 40 o 50 cm. I travetti ad interasse 50 cm hanno armatura composta da tre trefoli da  $\Phi 2.25$  mm e larghezza di base 12 cm, come rilevato con uno scasso diretto all'intradosso di un solaio, per la descrizione del quale si rimanda ad apposito allegato della relazione specialistica.

Nel corso dei rilievi sul fabbricato, i solai indagati con endoscopie e scasso hanno tutti confermato le caratteristiche presenti nelle tavole reperite del Progetto Esecutivo dell'Impresa costruttrice. Pertanto, le tipologie strutturali sono state ricavate da tali elaborati, stante la significatività rispondenza delle strutture in opera.

Dal momento che non è possibile determinare la precompressione dei travetti allo stato attuale, che non sono presenti significativi segni di degrado strutturale o quadri fessurativi attivi sugli orizzontamenti, e che è stato reperito il Verbale di Collaudo Statico del 1977 a firma dell'Ing. Morganti, all'interno del quale viene confermata la rispondenza delle dimensioni con quelle previste dai disegni e viene dettagliatamente descritta una prova di carico eseguita su solaio con esito favorevole, senza lesioni o frecce eccessive, non si è ritenuto necessario procedere con prove specifiche sulla stabilità dei solai e si reputano i solai idonei dal punto di vista statico.

Tuttavia, si segnala che il degrado contenuto relativo alla presenza di infiltrazioni e zone di umidità, se non correttamente attenzionato in opportune periodiche manutenzioni ordinarie, potrebbe comportare nel lungo periodo un degrado strutturale certamente più rilevante (distacco degli intonaci, sfondellamento dei solai, marcescenza di componenti stratigrafiche degli elementi costruttivi, etc.).

### Valutazione della idoneità statica finalizzata all'analisi sismica:

Le analisi sismiche sono state precedute da analisi statiche lineari per valutare l'eventuale vulnerabilità sotto condizioni statiche.

Per la combinazione statica finalizzata all'analisi sismica (GRAV), oltre alle combinazioni statiche fondamentali (SLU-1 e SLU-2) nessun elemento raggiunge il collasso.

### Verifiche di vulnerabilità sismica

Per il fabbricato oggetto di verifica, è stata condotta un'analisi dinamica lineare, dopo aver valutato l'idoneità statica del fabbricato.

Per la determinazione dell'indicatore di rischio si rimanda al capitolo 8, mentre per una sua valutazione critica si confronti il capitolo 9.

### Verifiche di vulnerabilità degli elementi non strutturali e degli impianti

Non si segnalano componenti impiantistiche da sottoporre a verifica per la tipologia di impianti presenti e per le loro interazioni con gli elementi strutturali e non strutturali.

Di seguito si riporta la verifica della cortina interna della tamponatura del locale palestra, ossia la *fodera* in mattoni forati di spessore pari a 8 cm (al grezzo) posta sul lato interno della tamponatura. Come si può notare da quanto riportato, la verifica sotto azioni fuori dal piano risulta non soddisfatta, essendo l'indicatore inferiore all'unità.

L=	3.5	m	
S=	0.08	m	
h=	6	m	
J=	0.0001493	m4	
A=	0.28	m2	
peso=	800	kg/mc	
E=	500	MPa	
Ta=	1.267	sec	
Stima T1=	0.53	sec	
Z=	3	m	
H=	7.5	m	
ag/g=	0.207		
S=	1.194		
a	0.3		
b	1.2		
ap	4		
Wa=	1344	kg	
qa=	2		
fm=	7.5	kg/cmq	
Fa=	201.60	kg	
Sa=	0.30		
PGA CAPACITA' =	0.212	g	<b>NO</b>
PGA DOMANDA =	0.247	g	

Indicatore in PGA=	0.858	
Indicatore inTr =	0.830	



## 8) IDENTIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI URGENTI

Non sono da segnalarsi interventi urgenti da eseguirsi sulla struttura. Tutte le combinazioni statiche di ingresso al sisma risultano verificate.

## 9) DETERMINAZIONE DELL'INDICATORE DI RISCHIO ( $I_R$ )

### Indicatore di Rischio sismico

Si riportano di seguito le tabelle riepilogative degli indicatori di rischio ottenuti per ciascun corpo del complesso scolastico oggetto di verifica.

### Corpo Palestra

#### MOLTIPLICATORI ALLO SLV

$I_R$ ELEMENTI - SLV			
duttili		fragili	
PGA	Tr	PGA	Tr
0.515	0.547	0.499	0.471

$I_R$ NODI - SLV	
PGA	Tr
0.198	0.199

#### MOLTIPLICATORE ALLO SLO

$I_R$ - SLO	
PGA	Tr
1.083	1.078

**MOLTIPLICATORI ALLO SLV**

<b>I<sub>R</sub> ELEMENTI - SLV</b>			
<b>duttili</b>		<b>fragili</b>	
<b>PGA</b>	<b>Tr</b>	<b>PGA</b>	<b>Tr</b>
0.084	0.089	0.056	0.067

<b>I<sub>R</sub> NODI - SLV</b>	
<b>PGA</b>	<b>Tr</b>
0.279	0.271

**MOLTIPLICATORE ALLO SLO**

<b>I<sub>R</sub> - SLO</b>	
<b>PGA</b>	<b>Tr</b>
1.586	1.565

## 10) VALUTAZIONE CRITICA DELL'INDICATORE DI RISCHIO (I<sub>R</sub>)

### Corpo Palestra

Il Corpo Palestra della scuola Don Bosco presenta una struttura portante in c.a. con setti orientati prevalentemente secondo la direzione trasversale per la palestra vera e propria, mentre si caratterizza per una struttura a telaio con pilastri disposti secondo la direzione longitudinale per i corpi spogliatoi e servizi.

Planimetricamente la struttura si presenta non regolare e connessa in modo scorrevole al corpo principale mediante un giunto a sella, che tuttavia, per effetto delle finiture realizzate, non consente lo spostamento perfettamente libero tra i due corpi (tale sigillatura del giunto è tuttavia di consistenza non tale da consentire l'accoppiamento dei due corpi che sono quindi da valutarsi separatamente in termini di comportamento dinamico). Sulla base di quanto indicato al §7.2.1 del D.M. 17/01/2018, si valuta come necessario ripristinare il giunto (di almeno 20 mm) al fine di evitare eventuale martellamento reciproco tra i due corpi di fabbrica.

Gli orizzontamenti adiacenti, a copertura degli spogliatoi, servizi e corridoio, presentano sfalsamenti altimetrici tali da dar luogo alla formazione di pilastri dalla ridotta estensione, ai quali sono associati gli indicatori di rischio più bassi in riferimento ai meccanismi di collasso fragili (**0.471 in termini di T<sub>r</sub> allo SLV**). A riprova di quanto detto, il collasso a taglio avviene proprio in corrispondenza di quei pilastri centrali che si elevano oltre la copertura del corridoio fino all'ultimo livello degli spogliatoi.

Per la verifica in resistenza secondo sollecitazioni flettenti, il collasso dei pilastri della zona corridoio raggiunto per superamento della propria capacità portante alla base, comporta un indicatore di rischio per meccanismi duttili pari a **0.515 in termini di PGA allo SLV**.

La struttura non presenta collassi per la combinazione statica finalizzata all'analisi sismica, e non presenta vulnerabilità di tipo statico, in quanto risultano soddisfatte tutte le verifiche condotte secondo le combinazioni valutate allo SLU.

Anche nei nodi non interamente confinati si raggiungono le tensioni sulle armature che ne causano la crisi a trazione o compressione; l'indicatore ottenuto è pari a **0.198 in termini di PGA allo SLV**. In particolare, il primo collasso registrato in un nodo risulta quello a copertura degli spogliatoi, che per effetto di una ridotta forza assiale agente, raggiunge la sua capacità portante per sollecitazioni sismiche abbastanza ridotte.

Inoltre, dalla analisi sismica condotta, i setti della palestra risultano sovra-resistenti rispetto ai telai del corpo spogliatoi raggiungendo il collasso per sollecitazioni sismiche maggiori rispetto ai pilastri. In aggiunta, essi conferiscono una significativa rigidità al fabbricato secondo la direzione trasversale, ossia quella di sviluppo dei setti stessi: tale aspetto risulta confermato, oltre che dalla verifica allo SLO (in deformabilità), anche dall'analisi modale, da cui emerge che il modo principale in direzione trasversale si caratterizza per un periodo proprio decisamente inferiore a quello della direzione longitudinale.

Inoltre, a seguito delle indagini non distruttive eseguite nella palestra, ed in particolare dalle prove termografiche, è stata individuata una cortina di mattoni forati sul lato interno della palestra, non adeguatamente connessa ai tamponamenti in c.a. ed ai setti stessi. Pertanto, come anche riportato al § *Verifiche di vulnerabilità degli elementi non strutturali e degli impianti*, dove è stata condotta la verifica numerica risultata con esito negativo, si consiglia la messa in sicurezza della tamponatura muraria nei confronti del ribaltamento mediante la realizzazione di una baraccatura leggera o comunque attraverso un qualsiasi intervento finalizzato a prevenire la formazione di un meccanismo locale.

### Corpo Aule

Dalle analisi statiche e sismiche condotte e dalle risultanze delle prove e delle indagini sui materiali in situ, emerge che il complesso presenta una vulnerabilità sismica elevata sia per collassi fragili che per collassi duttili, mentre risulta adeguato secondo sollecitazioni statiche. Nel seguito si propone una analisi critica dei risultati ottenuti.

Occorre sottolineare, per meglio comprendere i risultati ottenuti dall'analisi, che la costruzione dell'edificio risulta antecedente all'anno di prima classificazione sismica del Comune di Ascoli Piceno; pertanto la progettazione è per soli carichi verticali e la concezione strutturale è carente dal punto di vista sismico: la presenza di travi generalmente alte e quindi molto più rigide rispetto ai pilastri di sezione media 20x60cm, è in contrasto con i moderni criteri di progettazione antisismica "trave debole-pilastro forte".

Il Corpo Aule della scuola Don Bosco presenta una struttura portante in c.a. complessa ed articolata, sia in pianta che in elevazione.

Planimetricamente la struttura, inscritta all'interno di un quadrato di lato pari a circa 45 m, presenta setti di c.a. di varia dimensione, uniformemente diffusi su tutto il perimetro esterno a meno della zona nord-est; qui vi è una concentrazione di setti data dalla presenza del vano scale realizzato con gradini a sbalzo da setti di c.a. lunghi circa 6m e

della centrale termica che, avendo una piano seminterrato, è delimitata da pareti di c.a. spesse 30 cm. Questa porzione di fabbricato a maggiore concentrazione di setti comporta una significativa componente rotazionale del modo principale in direzione X; il modo in direzione Y risulta invece prevalentemente traslazionale, mobilitando infatti una massa superiore al 60% in quella direzione.

Dal punto di vista altimetrico la struttura presenta sfalsamenti di quota a tutte le elevazioni, causa della maggiore vulnerabilità che caratterizza il fabbricato. I diffusi dislivelli tra orizzontamenti contigui danno luogo alla formazione di pilastri tozzi, ai quali sono associati gli indicatori di rischio più bassi, sia per meccanismi di collasso fragili che duttili (**0.056 in termini di PGA allo SLV** per meccanismi fragili e **0.084 in termini di PGA allo SLV** per meccanismi duttili). La struttura non presenta collassi per la combinazione statica sismica, e non presenta vulnerabilità di tipo statico, in quanto soddisfa tutte le verifiche statiche per le combinazioni valutate allo SLV.

Anche nei nodi non interamente confinati si raggiungono le tensioni sulle armature che ne causano la crisi a trazione; l'indicatore ottenuto è pari a 0.271 in termini di Tr allo SLV.

Dal momento che l'intero complesso scolastico (Corpo Palestra + Corpo Aule) ricade in classe d'uso III, è stata eseguita anche la verifica secondo lo Stato Limite di Operatività in conformità a quanto indicato al C7.3.6. della Circolare n.7 del 21/01/2019: gli spostamenti di interpiano risultano inferiori ai limiti di spostamento imposti dalla norma per lo SLO, pertanto la verifica nei confronti di questo stato limite risulta soddisfatta. Tale risultanza è legata non solo alla presenza di un numero elevato di setti di c.a., ma anche all'elevata rigidità che i tamponamenti esterni, realizzati in c.a. debolmente armato, offrono alla struttura.

## **11) RIFERIMENTI PER LA STESURA DELLA RELAZIONE TECNICA**

- D.M. Infrastrutture 17/01/2018 "Norme tecniche per le costruzioni";
- Circolare Ministeriale n°7 del 21 gennaio 2019;
- D.P.C.M. 21 ottobre 2003.