



REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA
PROVINCIA DI UDINE
COMUNE DI VENZONE



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



LAVORI DI RESILIENZA, VALORIZZAZIONE ED EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DEL COMUNE DI VENZONE CUP I44H21000020001 – LOTTO 2

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

COMMITTENTE
Comune di Venzone
Piazza Municipio, 1
33010 – Venzone (UD)

PROGETTISTA
dott. ing. Cristiano Roselli della Rovere

TITOLO
RELAZIONE TECNICO STRUTTURALE

DATA	INC	REV	
22/12/2022	RA810	0	
REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO
0	22/12/2022	Prima emissione	M. Ganzini

SOMMARIO

PREMESSA.....	5
1 Introduzione.....	5
2 Inquadramento generale.....	5
2.1 Lotto 1.....	5
2.2 Lotto 2.....	5
2.3 Lotto 3.....	6
3 Inquadramento urbanistico.....	6
RELAZIONE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE.....	7
1 INTRODUZIONE.....	7
2 STATO DI FATTO.....	8
2.1 Analisi storico-critica.....	8
2.2 Stato di fatto e descrizione della struttura.....	8
2.3 Rilievo geometrico-strutturale, caratterizzazione meccanica dei materiali e criticità dell'apparato strutturale esistente.....	9
2.3.1 Rilievo della geometria e dei dettagli costruttivi.....	9
2.3.2 Prove sui materiali - acciaio.....	10
2.3.3 Quadro fessurativo e stato di conservazione.....	11
2.4 Livello di conoscenza e fattore di confidenza.....	11
2.5 Caratterizzazione del materiale esistente.....	12
2.5.1 Resistenze di riferimento.....	12
2.5.2 Acciaio esistente.....	12
2.6 Risultato della Vulnerabilità.....	13
3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	14
4 STATO DI PROGETTO.....	15
4.1 Descrizione dell'intervento.....	15
4.2 Classificazione dell'intervento.....	15
4.3 Parametri generali.....	15
4.4 Vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento.....	15
5 NUOVI MATERIALI.....	16
5.1.1 Acciaio strutturale.....	16
5.1.2 Viteria.....	16
6 ANALISI DEI CARICHI.....	17
6.1 Pesi specifici.....	17
6.2 Carichi permanenti.....	17
6.3 Sovraccarichi.....	17
6.4 Carico da neve.....	18
6.5 Carico Vento.....	19
6.6 Azione sismica.....	21
6.7 Combinazione di carico.....	22
6.7.1 Coefficienti di combinazione.....	22
6.7.2 Coefficienti parziali per le azioni e per l'effetto delle azioni.....	22

7	ANALISI DELLA STATO DI PROGETTO	23
7.1	Telaio fotovoltaico.....	23
7.1.1	Telaio 50x70x3mm in S355	23
7.1.2	Telaio 50x50x3mm in S235	27
7.2	Struttura esistente.....	32
7.2.1	Carico agente.....	32
7.2.2	Copertura Corpo 8 – Campo 1.1.....	32
7.2.3	Copertura Corpo 8 – Campo 1.3.....	37
7.2.4	Copertura Corpo 8 – Campo 1.3.....	39
7.3	Conclusioni	41

PREMESSA

1 Introduzione

L'Amministrazione Comunale di Venzone (UD), con determinazione n. 631 del 22.11.2022, ha affidato allo Studio di Ingegneria Roselli e Associati, c.f. e p.iva 02630650303, avente sede legale a Udine, in via Manin n. 9, tel. 0432/292036, l'incarico di progettazione, ai sensi del D. Lgs. 50/2016, relativo ai:

“Lavori di resilienza, valorizzazione ed efficientamento energetico del Comune di Venzone”.

Tali lavori, il cui progetto è descritto nella presente relazione, si inseriscono all'interno del bilancio di Previsione Finanziario per il 2021/2023, e sono suddivisi in tre lotti:

- Lotto 1, “Parco urbano e illuminazione mura”;
- Lotto 2, “Ampliamento impianto fotovoltaico scuole”;
- Lotto 3, “Illuminazione monumentale piazza Municipio e porte”.

Il presente documento è redatto in conformità a quanto prescritto dal D.P.R 5 ottobre 2010 n. 207 - Regolamento di esecuzione ed attuazione del Decreto Legislativo 12 aprile 2006, n. 163 recante “Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE”. Tale regolamento, fino all'entrata in vigore dello specifico decreto inerente ai contenuti della progettazione nei tre livelli previsti dal nuovo Codice degli Appalti, il D. Lgs. 50/2016, definisce i documenti componenti il progetto definitivo ed il progetto esecutivo.

2 Inquadramento generale

Complessivamente i lavori riguardano l'area del centro storico, per gli interventi inerenti le antiche mura e la piazza del Municipio, e l'area del plesso scolastico adiacente al centro storico, per gli interventi inerenti l'impianto fotovoltaico, come indicato nell'ortofoto di figura 1



Figura 1: Ortofoto con indicazione dell'area oggetto d'intervento.

2.1 Lotto 1

Lavori da realizzare nella camminata sul barbacane delle mura, tra porta San Giovanni e l'ingresso Nord di Venzone.

2.2 Lotto 2

Lavori da realizzare nel plesso scolastico di Venzone, tra piazzale delle scuole e via Piobesi.

2.3 Lotto 3

Lavori da realizzare in Piazza Municipio, porta San Giovanni di via San Giovanni, Porta San Genesio di via dei Fossati, Porta di via Roma e Chiesa San Giovanni.

3 Inquadramento urbanistico

Gli interventi inerenti i lotti 1 e 3 si collocano nel Comune di Venzone in "Zona A", centro storico primario.

Gli interventi inerenti il lotto 2 si collocano nel Comune di Venzone in zona classificata come "Servizi e attrezzature collettive".

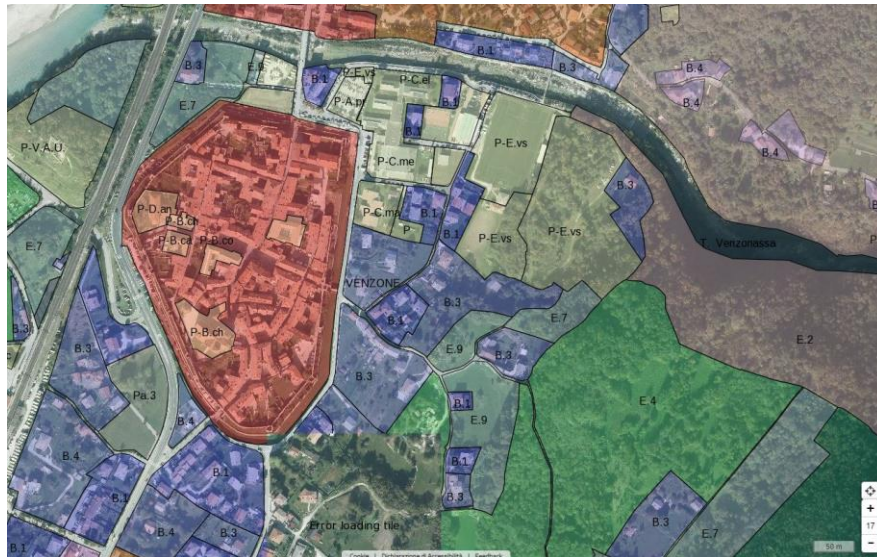
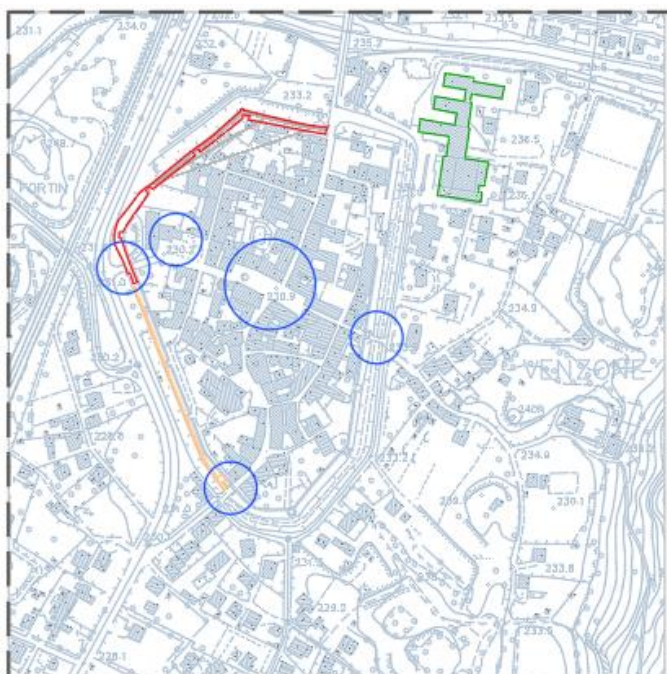



Figura 2: Zonizzazione PRGC.



LEGENDA:

ZONA "A" DI INTERESSE STORICO

 Zona "A.1" CENTRO STORICO PRIMARIO

 AREA oggetto d'intervento (Mure esterne)

 AREA oggetto d'intervento (Illuminazione monumentale)

 AREA oggetto d'intervento (Impianto Fotovoltaico)

Figura 3: Stralcio CTR.

RELAZIONE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE

1 INTRODUZIONE

Il progetto prevede l'installazione di 2 nuovi impianti fotovoltaici sulla copertura delle Scuole Medie ed Elementari di Venzone.

L'impianto 1 è costituito da 3 campi su tre distinte falde della copertura, mentre l'impianto 2 da due campi.

Di seguito si individuano la posizione degli impianti.

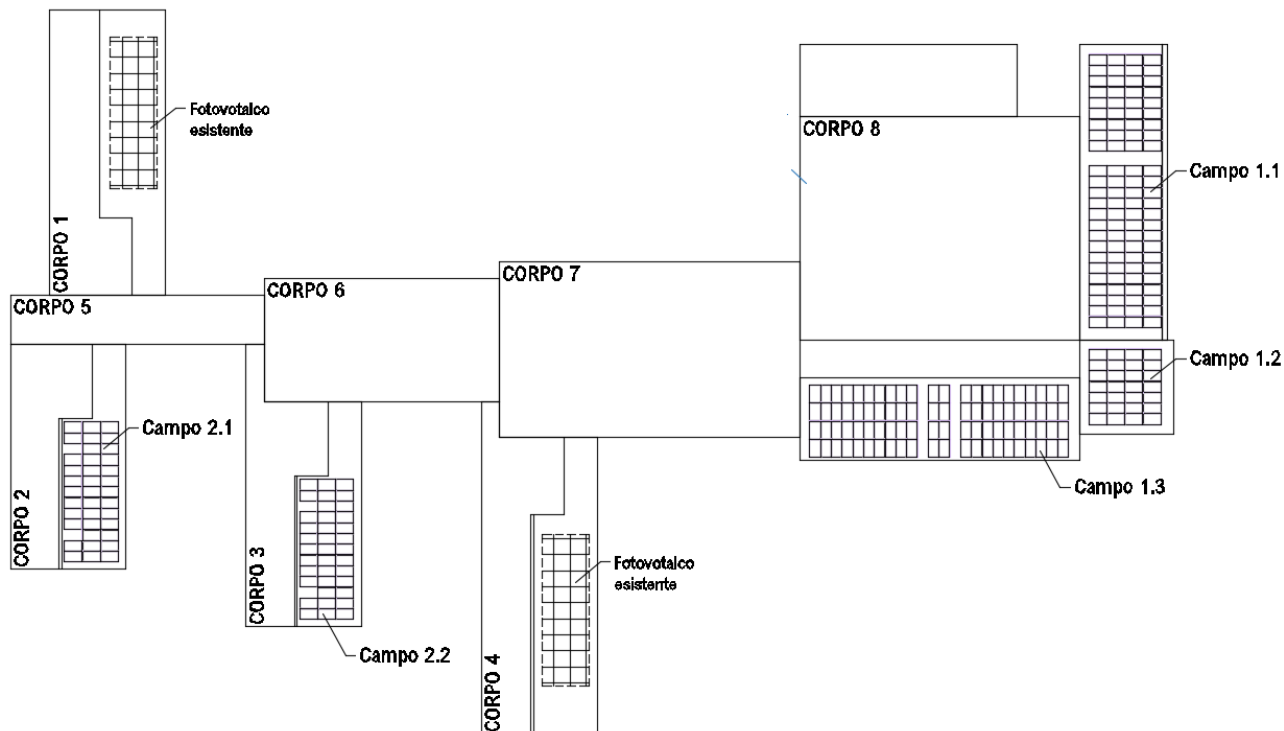


Figura 4: Planimetria del plesso scolastico con individuazione dei vari Corpi e degli impianti fotovoltaici nuovi ed esistenti.

2 STATO DI FATTO

2.1 Analisi storico-critica

Ai fini di una corretta individuazione del sistema strutturale esistente e del suo stato di sollecitazione è stato importante ricostruire il processo di realizzazione e le successive variazioni subite nel tempo dall'edificio, nonché gli eventi che lo hanno interessato. Attraverso una ricerca archivistica è stato possibile raccogliere una documentazione sufficiente sulla storia edificatoria del manufatto, per ricostruire ed interpretare le diverse fasi edilizie.

Sulla base della ricerca archivistica eseguita a seguito dallo studio della Vulnerabilità dell'edificio eseguita nel 2019 dallo Studio TecnoCad Progetti Sas, il progetto dell'intero plesso scolastico è stato realizzato in seguito a vari depositi strutturali:

- Strutture in cemento armato (fondazioni in c.a.): deposito n.1884 del 23/04/1981;
- Strutture in cemento armato (piano seminterrato): deposito n.3276 del 10/07/1981;
- Strutture in carpenteria metallica: deposito n.419 del 09/02/1982.

2.2 Stato di fatto e descrizione della struttura

Il complesso scolastico di Venzone è composto da 8 corpi di fabbrica; si sviluppa su una superficie di circa 3400 m².

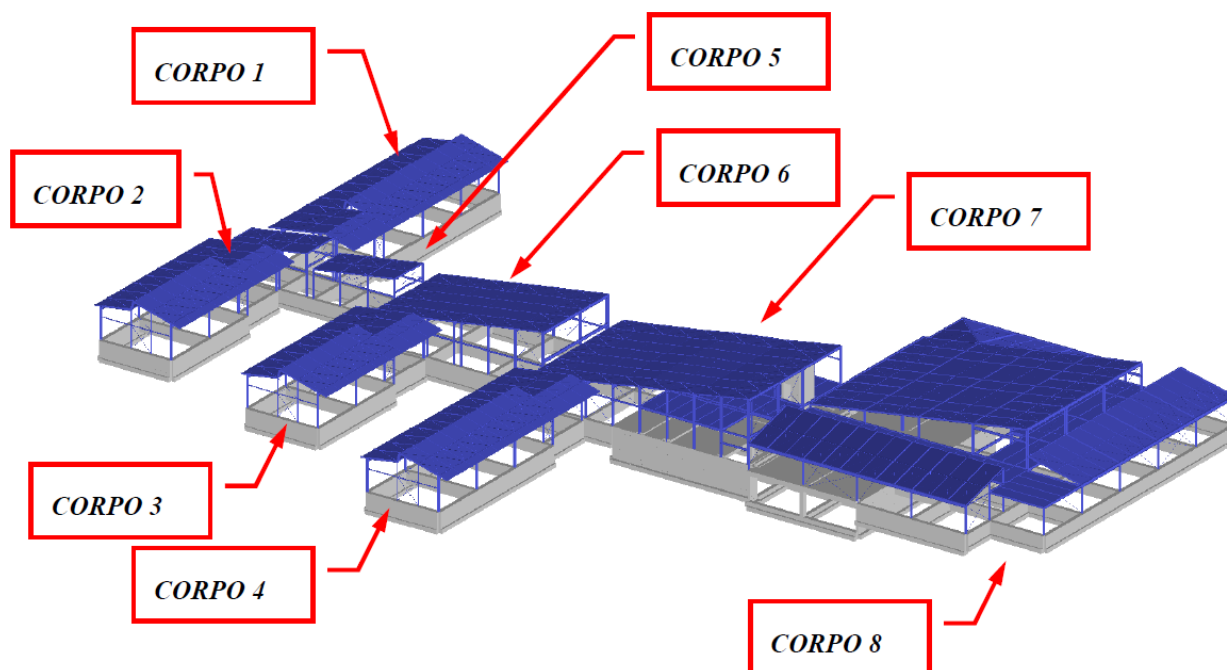


Figura 5: Immagine dalla Vulnerabilità sismica: Volumetrico del plesso scolastico.

PARTE SEMINTERRATA

Il piano seminterrato è realizzato con struttura portante in cemento armato e occupa una superficie pari a 850m². Ai locali si accede attraverso il vano scala/ascensore e due rampe esterne carrabili.

Le murature perimetrali contro terra sono in c.a. dello spessore di 25 cm e presentano nervature sporgenti all'interno dei locali. Le dimensioni in pianta totali sono 34,0x24,5m, mentre l'altezza di interpiano (solaio-pavimento finito) è di 3,0m.

I solai del piano terra facenti parte parzialmente del corpo 7 e del corpo 8, sono realizzati in laterocemento con travetti tipo Celersap disposti con interasse di 50cm ed altezza totale di 30+4cm; la cappa superiore di 4cm non presenta rete elettrosaldata di ripartizione.

PARTE IN ELEVAZIONE

Le strutture in elevazione sono realizzate interamente in acciaio con profili di varie dimensioni principalmente HEB e IPE. Le strutture risultano controventate sia con controventi di falda che in elevazione.

Nel particolare:

- CORPI da 1 a 4: le strutture sono realizzate su unico piano con copertura a doppia falda.
- CORPO 5: fabbricato di collegamento tra corpo 6 e corpi aule 1-2 con superficie di 128 m² è costituito da due strutture distinte con copertura ad unica falda.
- CORPO 6: presenta una superficie pari a 225m² con struttura ad unico piano e copertura a falda unica;
- CORPO 7: si sviluppa su una pianta pressoché rettangolare con una porzione realizzata su due piani. La copertura è costituita da un'unica falda. La struttura contiene anche il vano ascensore.
- CORPO 8: ha uno sviluppo molto più complesso includendo zone ad un solo piano e zona con piano intermedio. La struttura in acciaio in elevazione risulta interamente collegate fra le varie porzioni e presente una copertura abbastanza articolata con falde piane e falde inclinate con varie direzioni.

La copertura dell'intera scuola è realizzata con lamiera grecata appoggiata alle travi in acciaio con passo 220/240cm. Al di sopra è presente uno strato di isolamento sulla quale è stata sistemata la guaina bituminosa per l'impermeabilizzazione.

2.3 Rilievo geometrico-strutturale, caratterizzazione meccanica dei materiali e criticità dell'apparato strutturale esistente

Il rilievo dei dettagli costruttivi e la caratterizzazione dei materiali sono stati eseguiti dalla società L.G.T. Laboratorio Geotecnico S.r.l. su incarico dello Studio TecnoCad Progetti Sas in data luglio 2018.

Le indagini in situ sono state eseguite compiendo indagini distruttive (carotaggi, prelievo di barre, prelievo di porzioni metalliche) e indagini non distruttive (prove di carico e, prove Leeb). Nel controllo del raggiungimento delle percentuali di elementi indagati si è tenuto conto delle situazioni ripetitive, che hanno consentito di estendere ad una più alta percentuale i controlli effettuati su alcuni elementi strutturali facenti parte di una serie con evidenti caratteristiche di ripetibilità, per uguale geometria e ruolo nello schema strutturale.

2.3.1 Rilievo della geometria e dei dettagli costruttivi

Per quanto riguarda la geometria, per conseguire un livello esaustivo, il paragrafo §C8.5.2 della Circolare prescrive quali sono le caratteristiche di approfondimento per i vari materiali strutturali.

Il livello esaustivo della struttura metallica è stato raggiunto sulla base dei disegni strutturali di deposito e su indagini a campione della struttura che hanno rilevato la congruità dei disegni con la realtà.

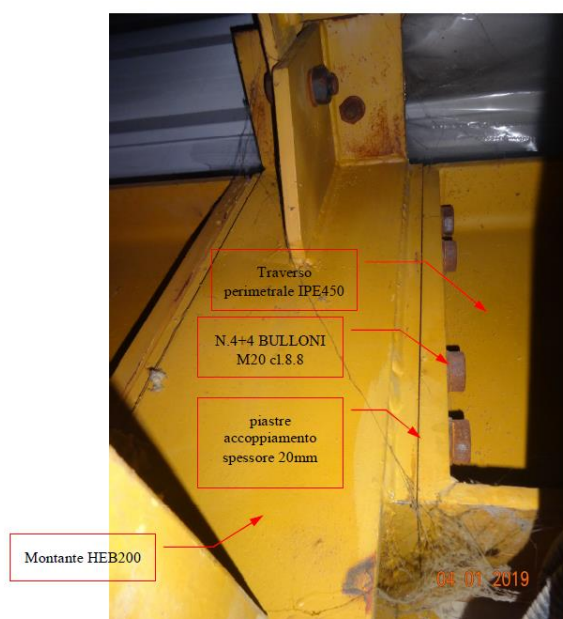


Figura 6: Immagine dalla Vulnerabilità sismica: particolare con in evidenza nodo di copertura trave perimetrale-montante in carpenteria metallica.

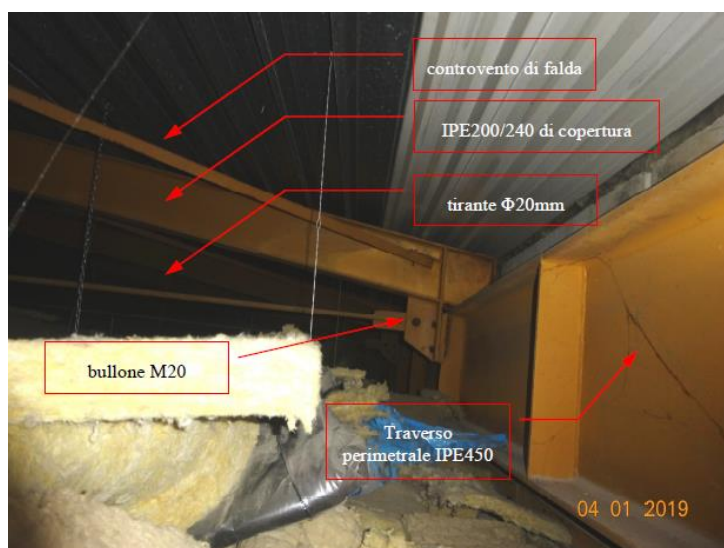


Figura 7: Immagine dalla Vulnerabilità sismica: vista trave perimetrale IPE450 e porzione capriata di copertura.

2.3.2 Prove sui materiali - acciaio

Per quanto riguarda le prove, per conseguire un *livello esaustivo*, il paragrafo §C8.5.3 della Circolare prescrive quali sono le caratteristiche di approfondimento per i vari materiali strutturali.

Il livello esaustivo della struttura metallica è stato raggiunto sulla base di un numero totale di prove che confermassero i valori riportati nel progetto originale e nel certificato di collaudo.

Per tale motivo sono state eseguite:

- 3 prove di trazioni su porzioni di acciaio laminati;
- 17 prove di durezza Leeb.

Di seguito si riportano le immagini della relazione di indagine.

Prove su acciai laminati									
Riferimento: Norme Tecniche per le Costruzioni DM 17/01/2018 cap. 11.3.4.2									
Prova di trazione (UNI EN ISO 6892): Macchina di prova METROCOM da 600kN - Classe 1, tarata su 4 scale: 6/60kN - 12/120kN - 30/300kN - 60/600kN									
Verbale Accettazione N.	A - Identificazione e riferimenti al prelievo			B - Dimensioni		C - Prova di trazione			
	Sigla Tipo e caratteristiche	Verbale N. del		Spessore a (mm)	Larghezza b (mm)	Data di prova	Carichi unitari Snerz. Rettura f _y f _t (N/mm ²) (N/mm ²)		Allungam. A (%)
9215	1 / TR / 04	-	-	5,20	30,30	25/07/19	270	392	26,0
9215	1 / TR / 05	-	-	7,10	29,60	25/07/19	272	360	29,0
9215	0 / TR / 06	-	-	5,20	29,50	25/07/19	273	393	19,0

Figura 8: Immagine della Relazione sulle indagini: valori della prova di trazione.

Prove su acciai - Determinazione della durezza Leeb di prodotti in acciaio					
Prove semi-distruttive -ASTM A956 "Standard Test Method for Leeb Hardness Testing of Steel Products"					
Strumento di prova : Durometro portatile ARROWELD modello ARW-DPIT					
Data esecuzione prove 16/07/19					
Prova n.	Stazione di misura	Struttura oggetto del rilievo	Dimensione acciaio testato (mm)	Superficie acciaio	Resistenza a trazione media tre letture (MPa)
1	0 / TR / 07	Montante	8,0	liscia	404
2	0 / TR / 08	Profilato	7,0	liscia	475
3	0 / TR / 09	Pilastrino pannello	5,7	liscia	389
4	0 / TR / 10	Montante	10,0	liscia	403
5	0 / TR / 11	Profilato	10,0	liscia	373
6	0 / TR / 12	Pilastrino pannello	6,0	liscia	415
7	0 / TR / 13	Montante	10,0	liscia	421
8	0 / TR / 14	Profilato	11,0	liscia	415
9	0 / TR / 15	Trave	11,0	liscia	362
10	0 / TR / 16	Profilato	11,0	liscia	392
11	0 / TR / 17	Profilato	11,0	liscia	412
12	0 / TR / 18	Montante	10,0	liscia	402
13	0 / TR / 19	Trave	13,5	liscia	414
14	0 / TR / 20	Trave controsoffitto	11,0	liscia	376
15	0 / TR / 21	Profilo U	8,0	liscia	315
16	0 / TR / 22	Trave	18,0	liscia	436
17	0 / TR / 23	Trave	11,0	liscia	407

Data di emissione	30/07/19	Lo Sperimentatore: A. Nadalin	Il Direttore del Laboratorio: Ing. Giovanni Pozzetto
Azienda certificata ISO 9001:2008 n° 30861	pag. 5/5		ALIQ ASSOCIAZIONE LABORATORI DI INGEGNERIA E GEOTECNICA
PS75-01/7028 Rev. 0			

Figura 9: Immagine della Relazione sulle indagini: valori della prova di durezza.

2.3.3 Quadro fessurativo e stato di conservazione

Il rilievo dell'edificio non ha evidenziato la presenza di fessure negli elementi strutturali di c.a. o deformazioni sulle strutture in acciaio tali da evidenziare dei problemi di dissesti/cedimenti fondazionali.

2.4 Livello di conoscenza e fattore di confidenza

In base all'indagine documentale, alle risponderne rilevate nei sopralluoghi ed ai risultati delle prove di laboratorio ed *in situ*, negli interventi oggetto di tale relazione si è stabilito che il livello di conoscenza applicabile corrisponde al livello LC3 "conoscenza accurata" dell'opera.

Infatti avendo a disposizione gli elaborati strutturali originali dell'epoca e i certificati di prova dei materiali si è potuto caratterizzare le proprietà dei materiali in maniera dettagliata; nelle verifiche che seguiranno si procederà quindi applicando un fattore di confidenza pari a:

$$FC = 1,00$$

2.5 Caratterizzazione del materiale esistente

2.5.1 Resistenze di riferimento

Nel caso delle strutture in c.a. o acciaio i parametri dei materiali vengono assunti uguali sia in condizione sismiche che non sismiche in accordo al § C8.7.2. della *Circolare*. Le resistenze di calcolo dei materiali assunto i seguenti valori:

- nel caso di meccanismi/elementi duttili la resistenza di calcolo è ottenuta dai valori medi delle prove divisa per il fattore di confidenza assunto:

$$f_d = f_m / (FC)$$

- nel caso di meccanismi/elementi fragili la resistenza di calcolo è ottenuta dai valori medi delle prove divisa per il coefficiente del materiale e il fattore di confidenza assunto:

$$f_d = f_m / (\gamma_M FC)$$

I valori adottati nelle analisi e nelle verifiche sono riassunti nelle tabelle sottostanti. Nelle verifiche locali sono stati assunti i valori dei materiali desunti dalle prove associate.

2.5.2 Acciaio esistente

Sulla base dei dati delle prove e dei valori indicati nel progetto iniziale si assume i valori di resistenza dell'acciaio esistente sono assimilabile ai valori dell'acciaio S235.

2.6 Risultato della Vulnerabilità

Di seguito si riportano i valori relativi all'analisi di vulnerabilità sismica eseguita dal dott. ingegnere Paolo Urban dello studio TecnoCad Progetti Sas.

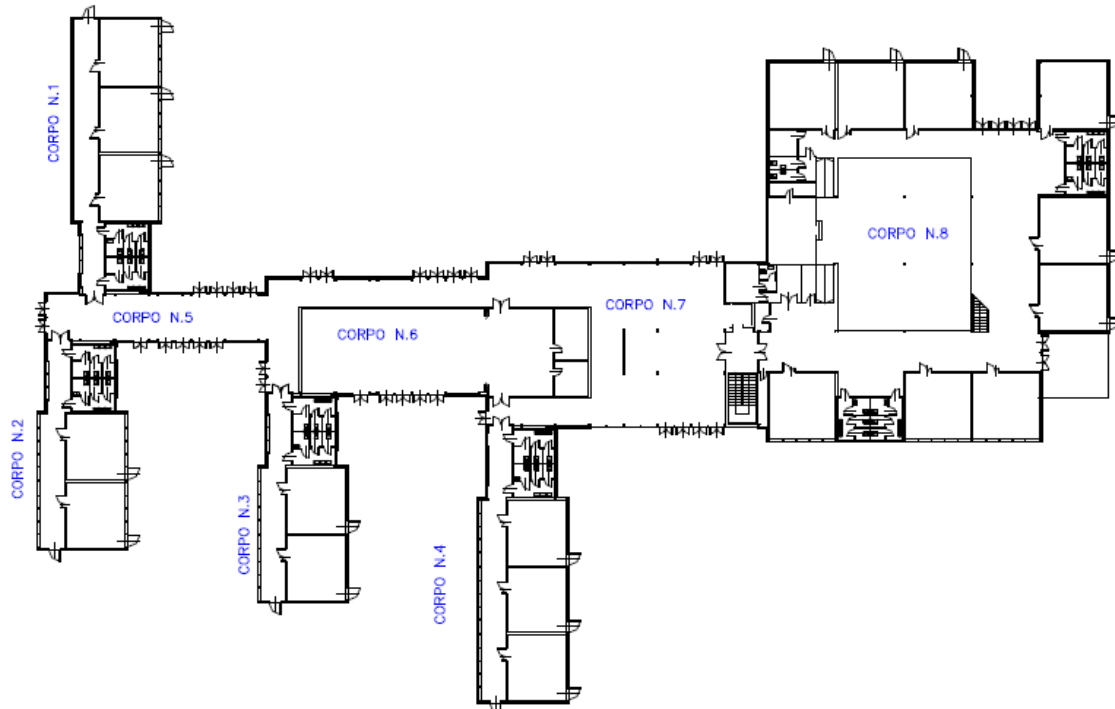


Figura 10: Immagine della Relazione di Vulnerabilità Sismica: Planimetria del plesso scolastico.

Si riportano i valori del coefficiente ζ_E valutati come previsto dal D.M. 17/10/2018 per ogni corpo di fabbrica.

- CORPO 1-2-3-4:
 $\zeta_E = 1,226g / 1,226g = 1,00.$
- CORPO 6:
 $\zeta_E = 0,981g / 1,226g = 0,80.$
- CORPO 7:
 $\zeta_E = 0,821g / 1,226g = 0,67.$
- CORPO 8:
 $\zeta_E = 0,797g / 1,226g = 0,65.$
- STRUTTURE IN C.A.:
 $\zeta_E = 1,226g / 1,226g = 1,00.$

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le opere in progetto sono state progettate in conformità con le seguenti leggi e Normative:

- D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380 - Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia
- L. 5 Novembre 1971 n. 1086 – “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”;
- D.M. 17.01.2018 – Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” (e relativi riferimenti tecnici);
- Circolare 21.01.2019 n.7 – Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni “di cui al D.M. 17.01.2018”;
- EN 1992-1-1:2005 – “Progettazione delle strutture in calcestruzzo, Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”;
- EN 1998-1:2005 – “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica, Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici”;
- EN 1997-1:2005 – “Progettazione geotecnica, Parte 1: Regole generali”;
- CNR-DT 207/2008 – Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni;
- CNR-DT 206-R1/2018 – Istruzioni per la progettazione, l’esecuzione ed il controllo delle strutture in legno;

4 STATO DI PROGETTO

4.1 Descrizione dell'intervento

L'intervento prevede l'installazione sulle coperture esistenti di 5 campi di pannelli fotovoltaici:

- Campo 1.1 è realizzato sulla falda rivolta a Sud del Corpo 8;
- Campo 1.2 è realizzato sulla copertura piana a Sud del Corpo 8;
- Campo 1.3 è realizzato sulla falda rivolta a Ovest del Corpo 8;
- Campo 2.1 è realizzato sulla falda rivolta a Sud del Corpo 2;
- Campo 2.2 è realizzato sulla falda rivolta a Sud del Corpo 3.

Il fotovoltaico viene agganciato ai binari in alluminio fissati ai nuovi telai in acciaio S235 realizzati con profili tubolari 50x50x3mm. In corrispondenza del Campo 1.1 viene utilizzato un profilo 50x70x3mm in acciaio S355.

I telai in acciaio vengono montati sulle coperture e rimangono sospesi rispetto al manto di copertura, gravando il proprio peso direttamente sulle travi in acciaio grazie a delle barre filettate M14 fissate alle ali delle travi a T della copertura.

Sulla base dei dati forniti dalla Vulnerabilità sismica il Corpo 8 del Plesso scolastico non risulta adeguato $\zeta_E < 1.00$ (0.65). In accordo a quanto indicato al paragrafo §8.4.3 delle NTC 2018 alla lettera c), l'intervento di realizzazione del fotovoltaico non richiede l'adeguamento sismico dell'edificio in quanto l'incremento di carico (calcolato al paragrafo § 6.6 della presente relazione) risulta inferiore al 10% del carico complessivo.

4.2 Classificazione dell'intervento

I lavori si classificano come "Intervento locale" così come definito al paragrafo §8.4.1 delle NTC 2018 e al rispettivo paragrafo della Circolare 2019.

Ai sensi delle indicazioni riportate all'art.3 del D.R.REG. 0176/2011, la scuola rientra tra gli edifici che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso.

4.3 Parametri generali

provincia	Udine
comune	Venzone - 33010
località	Racchiuso
indirizzo	Via Piovesi e Piazzale Scuole
latitudine	46.33551
longitudine	13.17177
quota altimetrica	250
categoria topografica	T1
categoria di sottosuolo	B

4.4 Vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento

tipo di costruzione	Costruzione con livelli di prestazione ordinarie
vita nominale (VN)	50
classe d'uso	III
coefficiente d'uso	1,5
periodo di riferimento $V_R = V_N C_U =$	75

5 NUOVI MATERIALI

5.1.1 Acciaio strutturale

Acciaio per strutture

peso di volume				ρ_k	7800	kg/m^3
caratteristiche meccaniche				N/mm^2		
acciaio	f_{yk}	f_{tk}	f_{yd}	E_s	G_s	
S235	235	360	224	210000	80769	
S275	275	430	262	210000	80769	
S355	355	530	338	210000	80769	

5.1.2 Viteria

Viteria

caratteristiche meccaniche				N/mm^2	
classe	f_{yk}	f_{tk}	f_{yd}	E_s	
6.8	480	600	384	210000	
8.8	649	800	519	210001	
10.9	900	1000	720	210001	

6 ANALISI DEI CARICHI

6.1 Pesì specifici

Nei §3.1.2 e 3.1.3 delle *NTC 2018* si afferma che per la determinazione del peso proprio degli elementi strutturali e non strutturali, si possono utilizzare i pesi dell'unità di volume dei materiali costituenti. In particolare, per i materiali strutturali, si sono adottati i seguenti pesi specifici.

Pesi materiali strutturali			
normativa di riferimento		NTC18, §3.1.2	
calcestruzzo ordinario	γ_c	24,0	kN/m ³
calcestruzzo armato	γ_{ca}	25,0	kN/m ³
calcestruzzo leggero	γ_{cl}	16,0	kN/m ³
malta di cemento	γ_{mc}	21,0	kN/m ³
acciaio	γ_a	78,5	kN/m ³
laterizio	γ_{lat}	18,0	kN/m ³
legno	γ_{le}	6,0	kN/m ³
acqua	γ_{ac}	10,0	kN/m ³

6.2 Carichi permanenti

Carichi permanenti di progetto

COPERTURA ESISTENTE

permanente strutturale

copertura in acciaio	0.50	kN/m ²
g_1	0.50	kN/m ²

permanente non strutturale

controsoffitto isolato	0.25	kN/m ²
lamiera grecata sp. 0.1cm	0.13	kN/m ²
isolante sp. 10cm	0.14	kN/m ²
fotovoltaico	0.15	kN/m ²
g_2	0.42	kN/m ²

6.3 Sovraccarichi

I sovraccarichi comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera. I valori nominali e/o caratteristici dei carichi verticali uniformemente distribuiti q_k utilizzati sono riportati nella seguente tabella, che costituisce un estratto di quella riportata al §3.1.4 delle *NTC 2018*. Tali valori sono comprensivi degli effetti dinamici ordinari, purché non vi sia rischio di risonanza delle strutture.

Carico variabile

	q_k kN/m ²	Q_k kN/m	H_k kN
<i>categoria H - coperture accessibili</i>	0.50	1.20	1.00

6.4 Carico da neve

Il carico dovuto alla neve viene valutato secondo le indicazioni contenute nelle NTC 2018 e nella Circolare alle NTC.

Nella seguente tabella sono riportati i carichi dovuti al carico da neve legato alla zona di interesse e i carichi dovuti ad eventuali accumuli.

Carico neve

riferimento normativo		NTC18, §3.4 - Circolare 2019	
provincia		Udine	
zona di carico della neve		Zona I - Alpina	
classe di esposizione		Normale	
tipo di copertura		A doppia falda	
quota altimetrica	a_s	250	>200m
valore di riferimento per carico di neve al suolo	q_{sk}	1.55	kN/m ²
peso di volume della neve	γ_s	2.00	kN/m ³
angolo di inclinazione della copertura	α	14	°
coefficiente di esposizione	C_E	1.00	
coefficiente termico	C_t	1.00	
coefficiente di forma	μ_i	0.80	
carico per unità di superficie	$q_s = q_{sk} \mu_i C_E C_t$	1.24	kN/m ²

In corrispondenza del campo fotovoltaico 1.1 vi presenza di accumulo dovuto alla presenza di una copertura di altezza maggiore lungo il lato Nord della falda.

Accumulo neve in corrispondenza di strutture vicine - copertura bassa

riferimento normativo		NTC18, §3.4 - Circolare 2019	
larghezza copertura alta	b_1	30	m
angolo di inclinazione della copertura alta	α	0	°
larghezza copertura bassa	b_2	9	m
dislivello tra lina copertura alta e colmo copertura bassa	h	3.1	m
lunghezza zona d'accumulo	l_s	6.2	m
coefficiente di forma copertura piana	μ_i	0.80	
coefficiente di forma dovuto a scivolamento	μ_s	0.00	
coefficiente di forma dovuto a vento	μ_w	3.99	
coefficiente di forma complessivo	$\mu_2 = \mu_w + \mu_s$	3.99	
carico per unità di superficie minimo	q_1	1.24	kN/m ²
carico per unità di superficie minimo	q_2	6.20	kN/m ²
carico per unità di superficie medio	q_m	3.72	kN/m ²

In corrispondenza del campo fotovoltaico 1.1 vi presenza di accumulo dovuto alla presenza di una copertura di altezza maggiore lungo il lato Nord della falda.

Accumulo neve in corrispondenza di strutture vicine - copertura bassa

riferimento normativo		NTC18, §3.4 - Circolare 2019	
larghezza copertura alta	b_1	30	m
angolo di inclinazione della copertura alta	α	0	°
larghezza copertura bassa	b_2	7.2	m
dislivello tra lina copertura alta e colmo copertura bassa	h	1.9	m
lunghezza zona d'accumulo	l_s	5	m
coefficiente di forma copertura piana	μ_i	0.80	
coefficiente di forma dovuto a scivolamento	μ_s	0.00	
coefficiente di forma dovuto a vento	μ_w	2.45	
coefficiente di forma complessivo	$\mu_2 = \mu_w + \mu_s$	2.45	
carico per unità di superficie minimo	q_1	1.24	kN/m ²

carico per unità di superficie minimo	q_2	3.80	kN/m ²
carico per unità di superficie medio	q_m	2.52	kN/m ²

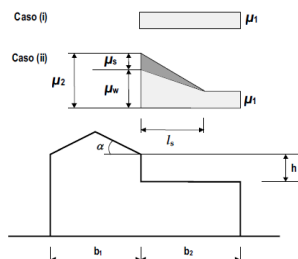


Figura 11: Figura C.3.4.5 della Circolare 2019 – coefficiente di forma per il carico neve per coperture adiacenti a costruzioni più alte

6.5 Carico Vento

Si considerano i parametri che portano alla determinazione del valore maggiore di pressione.

Determinazione carico da vento

Normativa

riferimento normativo

NTC 2018 §3.3 e Circolare 2019

CNR DT 207.2008

Dati sito

regione

Friuli Venezia Giulia (GO, PN, UD)

zona

1

area

Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D

classe di rugosità

C

categoria di esposizione

III

altitudine slm

a_s

250

m slm

velocità riferimento al livello del mare

$v_{b,0}$

25

m/s

altezza di riferimento

a_0

1000

m slm

coefficiente di quota

k_s

0.01

coefficiente di altitudine

c_a

1

velocità base di riferimento

v_b

25.0

m/s

tempo di ritorno

T_R

50

anni

coefficiente di ritorno

c_r

1.0

velocità di riferimento

v_r

25.0

m/s

Caratteristiche della costruzione

tipo di costruzione

fabbricato

altezza delle pareti

h_p

4.50

m

altezza massima del colmo

h_c

6.00

m

lunghezza maggiore in pianta

L_1

15.00

m

larghezza minore in pianta

L_2

10.00

m

tipo di copertura

singola/doppia falda

inclinazione falda

α

15

°

grado di bloccaggio

φ

1.00

chiusura laterale

no

Parametri generali del vento

densità aria

ρ

1.25

kg/m³

pressione cinetica di riferimento

$q_r = \frac{1}{2} \rho v_b^2$

0.39

kN/m²

parametri sito	k_r	0.20	
	z_0	0.10	m
	z_{min}	5.00	m
coefficiente di topografia	C_t	1.00	
coefficiente di esposizione	$C_e(z_{min})$	1.71	
coefficiente esposizione	$C_e(h_c)$	1.79	
coefficiente dinamico	C_d	1.00	
coefficiente d'attrito	C_f	0.02	scabra

Determinazione delle pressioni

pressione cinetica di picco	$q_p = \frac{1}{2} \rho v_b^2 C_e(z_{min})$	0.67	kN/m ²
	$q_p = \frac{1}{2} \rho v_b^2 C_e(h_c)$	0.70	kN/m ²
pressione del vento	$p = q_r C_e C_p C_d$		kN/m ²

Vento in copertura

paragrafo di riferimento normativo

CNR - G.2.3.2; G.2.3.3; G.2.3.4

VENTO PARALLELO ALLA FALDA

	depressione		pressione	
	$C_{pe}(-)$	$p(-)$ kN/m ²	$C_{pe}(+)$	$p(+)$ kN/m ²
falda sopravvento ($\alpha > 0$)	-0.60	-0.42	0.20	0.14
falda sottovento ($\alpha < 0$)	-0.60	-0.42	0.00	0.00
falda laterali	-0.80	-0.56		

VENTO ORTOGONALE ALLA FALDA

larghezza fascia ortogonale falda

l_{fz} 5.00 m

	depressione		pressione	
	$C_{pe}(-)$	$p(-)$ kN/m ²	$C_{pe}(+)$	$p(+)$ kN/m ²
fascia sottovento $C_{pe,A}$	-0.90	-0.63	0.00	0.00
restanti zone $C_{pe,B}$	-0.50	-0.35	0.00	0.00

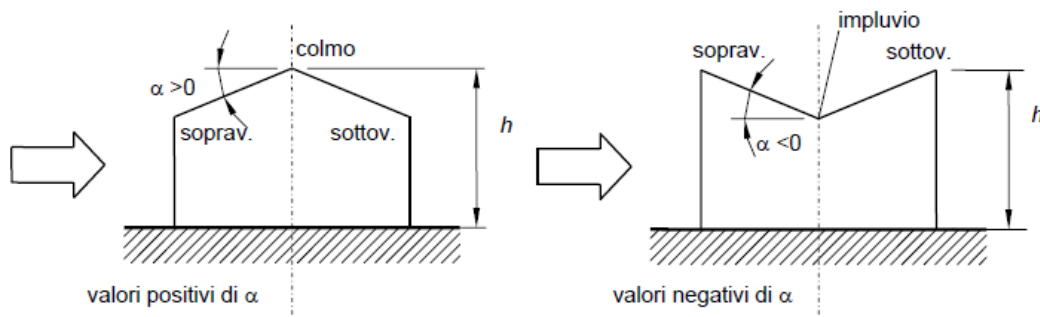


Figura 12: Figura C.3.3.11 della Circolare 2019 – Schema di riferimento per copertura a falda doppia

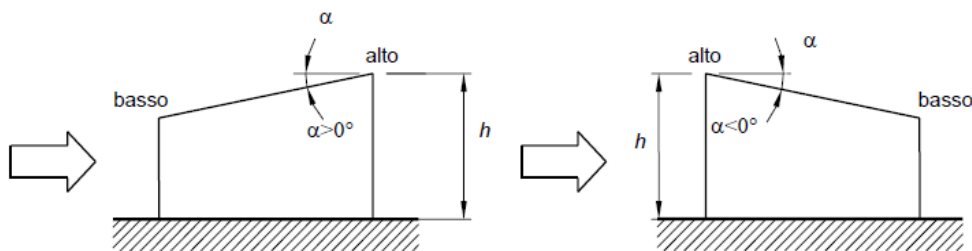


Figura 13: Figura C.3.3.7 della Circolare 2019 – Schema di riferimento per copertura a semplice falda

6.6 Azione sismica

Si riportano i parametri per la determinazione delle azioni sismiche.

Azione sismica

stato limite considerato		SLO	SLD	SLV	SLC	
probabilità di superamento		81%	63%	10%	5%	
tempo di ritorno	T_r	45	75	712	1462	[anni]
acc. max oriz. su suolo rigido	a_g	0.085	0.112	0.305	0.406	[g]
coefficiente di amplificazione dinamica	F_o	2.460	2.430	2.400	2.400	
periodo inizio tratto velocità cost.	T_c^*	0.260	0.270	0.340	0.360	[s]
parametri locali	S_s	1.200	1.200	1.107	1.010	
	C_c	1.440	1.429	1.365	1.349	
periodi notevoli	T_B	0.125	0.129	0.155	0.162	[s]
	T_C	0.374	0.386	0.464	0.486	[s]
	T_D	1.940	2.048	2.820	3.224	[s]
coefficiente di amplificazione stratigrafica	S_T	1.000	1.000	1.000	1.000	
accelerazione massima attesa	$a_{MAX} = S_s S_T a_g$	0.102	0.134	0.338	0.410	[g]

Nel progetto in esame, l'incremento di carico in copertura non decreta un incremento significativo dell'azione sismica per cui non si ritiene necessaria una verifica sismica dell'intera struttura.

Di seguito si riporta la valutazione, in maniera semplificata e a favore di sicurezza in quanto non si considera il contributo della struttura verticale e dei tamponamenti in c.a., dei carichi della copertura prima e dopo l'installazione del fotovoltaico in cui si evidenzia che l'incremento irrilevante del carico non comporta un incremento significativo e tale da riconsiderare la resistenza sismica delle costruzioni esistenti.

Pertanto si procede alla sola verifica statica degli elementi oggetti della variazione di carico.

CARICO SISMICO DELLA SOLA COPERTUTA: CORPI 2 e 3

superficie totale	A_{TOT}	279.1	m ²
superficie con fotovoltaico	A_{FOTO}	74.2	m ²

SDF	superficiale [kN/m ²]	carico sismico [kN]	
struttura	0.50	139.54	
permanente portato	0.52	145.12	
TOTALE		284.67	

PRO	superficiale [kN/m ²]	carico sismico [kN]	
struttura	0.50	139.54	
permanente portato	0.52	106.54	
permanente portato + fotovoltaico	0.67	49.71	
TOTALE		295.80	

INCREMENTO	$\Delta=(P_{PRO}-P_{SDF})/P_{PRO}$	3.76%
-------------------	------------------------------------	--------------

CARICO SISMICO DELLA SOLA COPERTUTA: CORPO 8

superficie totale	A_{TOT}	1448.0	m ²
superficie con fotovoltaico	A_{FOTO}	429.0	m ²

SDF	superficiale [kN/m ²]	carico sismico [kN]	
struttura	0.50	724.00	
permanente portato	0.52	752.96	
TOTALE		1476.96	

PRO	superficiale [kN/m ²]	carico sismico [kN]	
struttura	0.50	724.00	
permanente portato	0.52	529.88	
permanente portato + fotovoltaico	0.67	287.43	
TOTALE		1541.31	

INCREMENTO	$\Delta=(P_{PRO}-P_{SDF})/P_{PRO}$	4.18%
-------------------	------------------------------------	--------------

6.7 Combinazione di carico

In generale, sono state utilizzate le combinazioni di carico riportate nel seguito (NTC 2018, §2.5.3):

Combinazione fondamentale: $\gamma_{G1}G1 + \gamma_{G2}G2 + \gamma_P P + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\psi_{02}Q_{k2} + \dots$

Combinazione rara (caratteristica): $G1 + G2 + P + Q_{k1} + \psi_{02}Q_{k2} + \dots$

Combinazione frequente: $G1 + G2 + P + \psi_{11}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$

Combinazione quasi permanente: $G1 + G2 + P + \psi_{12}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$

Combinazione sismica: $E + G1 + G2 + P + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$

Combinazione eccezionale: $Ad + G1 + G2 + P + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$

6.7.1 Coefficienti di combinazione

Combinazioni

Categoria / Azioni variabili	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
<i>categoria H</i>	0.00	0.00	0.00
<i>vento</i>	0.60	0.20	0.00
<i>neve (<1000m)</i>	0.50	0.20	0.00

6.7.2 Coefficienti parziali per le azioni e per l'effetto delle azioni

Coefficienti parziali delle combinazioni

carico		coefficiente	EQU	A1	A2
permanenti G1	favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	sfavorevole		1.1	1.3	1.0
permanenti G2	favorevole	γ_{G2}	0.8	0.8	0.8
	sfavorevole		1.5	1.5	1.3
variabili Q	favorevole	γ_Q	0.0	0.0	0.0

7 ANALISI DELLA STATO DI PROGETTO

L'analisi strutturale del nuovo impianto fotovoltaico comprende la verifica del telaio di appoggio alla struttura esistente e la verifica della struttura esistente stessa. La verifica viene eseguita sulla base della normativa tecnica in vigore D.M. 2018.

7.1 Telaio fotovoltaico

Come indicato nella descrizione del progetto vengono utilizzati due diversi profili per la realizzazione dei telai. Il profilo 50x70x3mm in acciaio S355 viene utilizzato sul campo 1.1 la cui falda è soggetta ad accumulo. Sulle restanti falde viene utilizzato un profilo 50x50x3mm in acciaio S235.

Si riportano le verifiche.

7.1.1 Telaio 50x70x3mm in S355

La verifica del telaio viene eseguita con l'ausilio del programma agli elementi finiti Sismicad 12.19.

La struttura risulta realizzata da elementi beam, con le caratteristiche geometriche e meccaniche del profilo utilizzato, incastrate tra loro e appoggiate agli incroci.

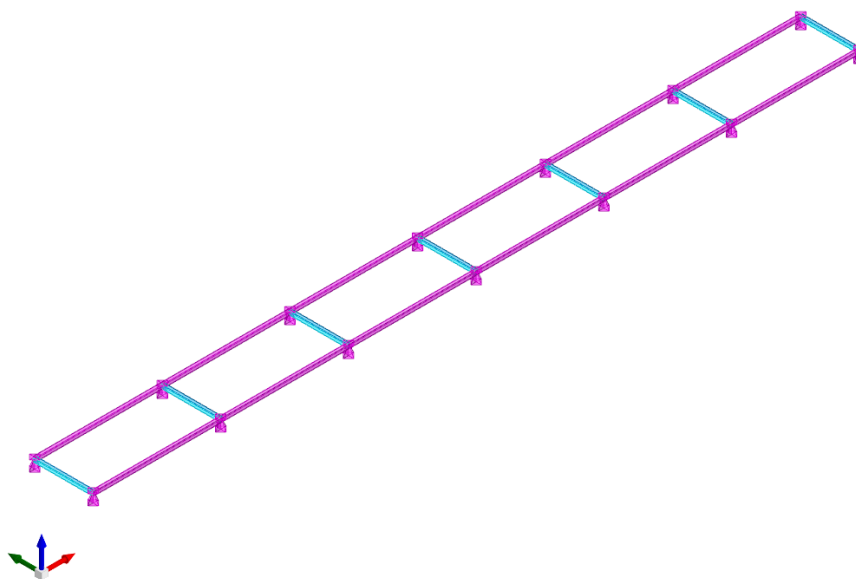


Figura 14: Modello tridimensionale del telaio

Carico sul telaio reggi fotovoltaico 50x70x3mm

interasse di incidenza	i	0.9	m
angolo di inclinazione falda	α	4.0	°

carico	superficiale	lin. Orto	lin. Paral.
	kN/m ²	kN/m	kN/m
struttura	0.078	0.067	0.005
permanente portato	0.15	0.129	0.009
neve	3.72	3.191	0.223
vento aspirazione	-0.63	-0.540	
vento pressione	0.14	0.120	

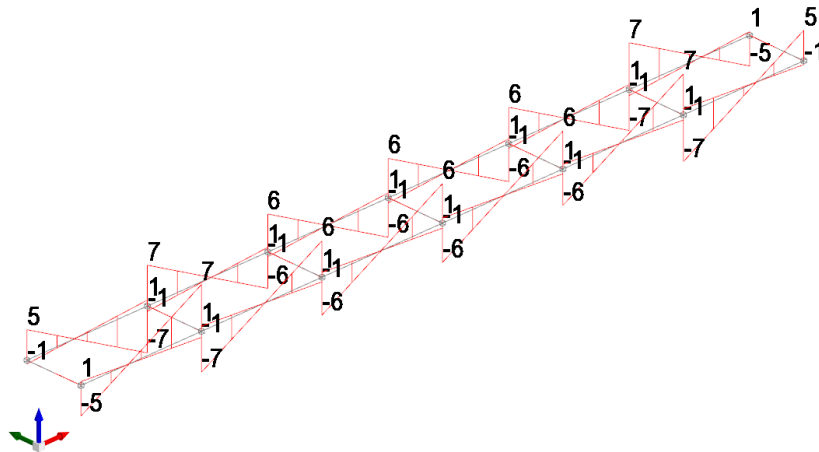


Figura 15: Involuppo allo SLU del Taglio [kN]

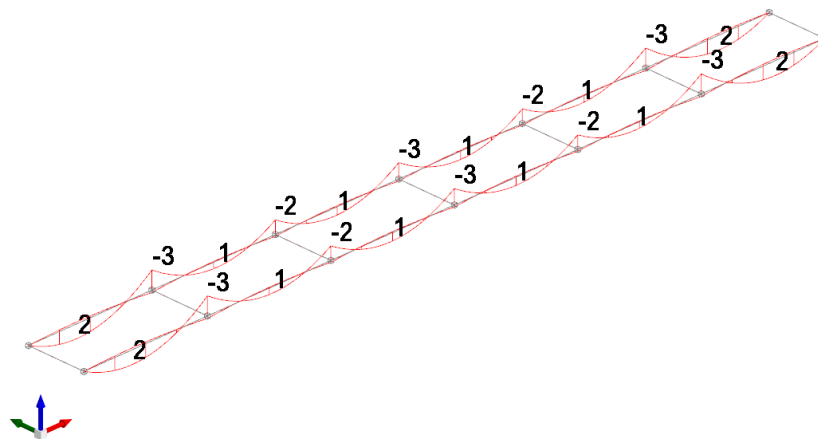


Figura 16: Involuppo allo SLU del Momento [kNm]

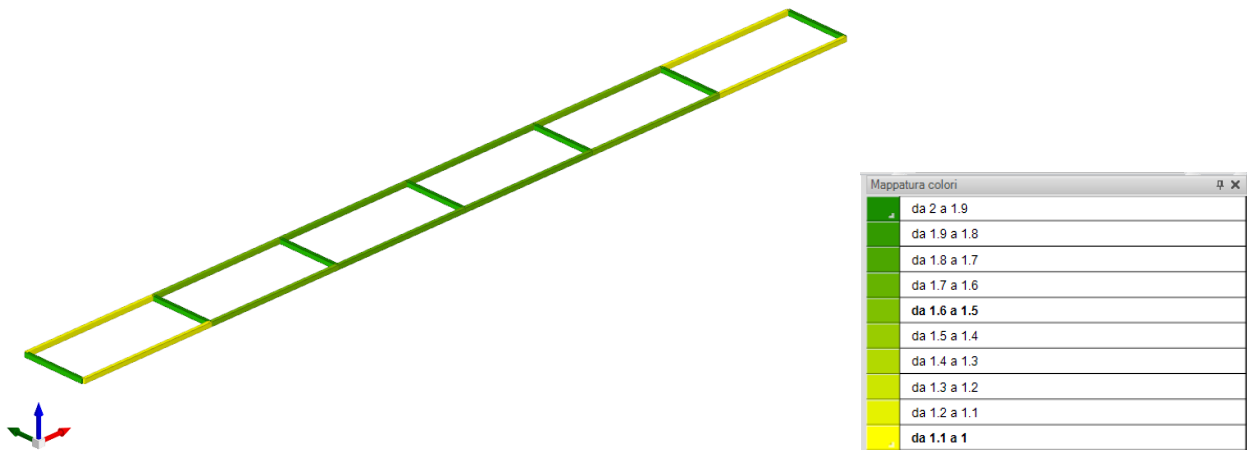


Figura 17: Stato di verifica: SODDISFATTE

Di seguito si riporta la verifica dell'elemento maggiormente sollecitato.

Caratteristiche del materiale

Acciaio: S355, $f_{yk} = 355000$

Caratteristiche geometriche

Lunghezza: 2.4

Nodo iniziale: 10 Nodo finale: 9

Cerniera iniziale: No Cerniera finale: No

Sovreresistenza: 0% Sisma Z: No

Caratteristiche della sezione

Sezione	Rotazione	Area	Jx	Jy	ix	iy	Wx	Wy	Wplx	Wply
EN10219 70x50x3	0	0.000661	0.0000004405	0.000000261	0.0258	0.0199	0.00001259	0.00001044	0.0000154	0.00001221

Verifiche di resistenza

Verifica a taglio X §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
0	SLU 12	0.008	-0.417	53.747	0.000275	Considerata	1	Si

Verifica a taglio Y §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
0	SLU 50	0.1	7.494	75.245	0.000385	Considerata	1	Si

Verifica a flessione semplice X §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	px	py	Verifica
2	SLU 45	0.163	1	-0.84642	5.20527	1	0	0	Si

Verifica a flessione semplice Y §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	px	py	Verifica
2.4	SLU 12	0.03	1	0.12219	4.12734	1	0	0	Si

Verifica a flessione deviata §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. My,Rd da VEd	α	β	px	py	Verifica
0	SLU 50	0.645	1	3.1375	5.2053	0.1737	4.1273	1	1			0	0	Si

Verifiche ad instabilità

Caratteristiche iniziali

Membratura principale per controllo snellezza; Calcolo di snellezze ed N critici condotti secondo gli assi principali;

Curva X: c; Curva Y: c; Svergolamento: Carico all'estradosso; Curva svergolamento: d;

Dati per instabilità attorno a x

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βx/m	Vincolo a entrambi estremi	λx/m	λVer
1	Si		0				
			1-2		1	Si	93
2	Si	2.4					Si, (<200)

Dati per instabilità attorno a y

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βy/n	k,LT	kw,LT	Vincolo a entrambi estremi	λy/n	λVer
1	Si		0						
			1-2		1		1	Si	120.8
2	Si	2.4							Si, (<200)

Verifica a svergolamento §4.2.4.1.3.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	χ,LT	λ adim. LT	L,LT	M,critico	Verifica
0	SLU 4	0.081	1	Si	-0.39809	4.89094	0.94	0.278	2.4	70.5148	Si

Verifica di stabilità per pressoflessione §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	χ,x	χ,y	kxx	kxy	kyy	χ,LT	Verifica	
1.2	SLU 50	0.663	1	0	234.592	3.13752	5.46553	0.17368	4.33371	0.426	0.29	0.646	0.308	1	0.513	0.94	Si

Verifica di stabilità a taglio anima X §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica	
1.2		0.044	0.003	48.82	Si

Verifica di stabilità a taglio anima Y §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica	
1.2		0.064	0.003	48.82	Si

Verifiche a deformabilità

Mensola X: No; Mensola Y: No.

Frecce lungo X

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
1.28	SLE RA 12	0.00044	2.4	5413.6	200	Totale	Si
1.28	SLE RA 13	0.00044	2.4	5413.6	200	Totale	Si
1.28	SLE RA 10	0.00044	2.4	5413.6	200	Totale	Si
1.28	SLE RA 11	0.00044	2.4	5413.6	200	Totale	Si
1.36	SLE RA 1	0	2.4	10000	200	Totale	Si
1.28	SLE RA 12	0.00044	2.4	5413.6	300	Variabile	Si
1.28	SLE RA 13	0.00044	2.4	5413.6	300	Variabile	Si
1.28	SLE RA 10	0.00044	2.4	5413.6	300	Variabile	Si
1.28	SLE RA 11	0.00044	2.4	5413.6	300	Variabile	Si
1.36	SLE RA 2	0	2.4	10000	300	Variabile	Si

Frecce lungo Y

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
1.36	SLE RA 11	-0.00813	2.4	295.2	200	Totale	Si
1.36	SLE RA 10	-0.00796	2.4	301.5	200	Totale	Si
1.36	SLE RA 13	-0.00736	2.4	325.9	200	Totale	Si
1.36	SLE RA 12	-0.00719	2.4	333.6	200	Totale	Si
1.36	SLE RA 6	-0.00448	2.4	536	200	Totale	Si
1.36	SLE RA 11	-0.0077	2.4	311.7	300	Variabile	Si
1.36	SLE RA 10	-0.00753	2.4	318.7	300	Variabile	Si
1.36	SLE RA 13	-0.00693	2.4	346.1	300	Variabile	Si
1.36	SLE RA 12	-0.00676	2.4	354.8	300	Variabile	Si
1.36	SLE RA 6	-0.00405	2.4	592.9	300	Variabile	Si

7.1.1.1 Verifica barre filettate

Si riporta la verifica della barra filettata che fa da sostegno al telaio del fotovoltaico. La barra M16 è posizionata agli incroci dei profili e viene fissata all'ala della IPE della struttura principale.

Di seguito si riportano le azioni del modello.

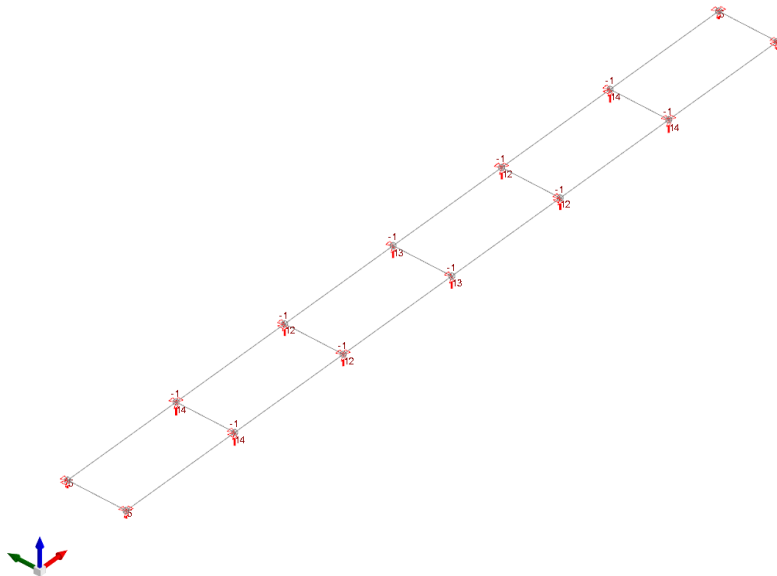


Figura 18: Involuppo allo SLU del reazioni ai nodi [kN;kNm]

Reazione vincolare	
> Nodo	10
Contesto	SLU 50
Fx	-0.02
Fy	-0.82
Fz	14.07
Mx	0
My	0
Mz	0

Figura 19: Reazioni vincolari maggiori [kN;kNm]

Si considera la barra incernierata alla base e incastrata all'estremità.

Barra filettata M16

Profilo	Tondo Ø16mm		
lunghezza del profilo	L	0.17	m
lunghezza libera d'inflexione	L _e	0.17	m

Caratteristiche geometriche e inerziali

d	A	I	W _E	W _P	W _T	g
mm	mm ²	mm ⁴	mm ³	mm ³	mm ⁴	kg/m
14.0	154	1886	269	457	539	1.21

Materiale

acciaio	f _{yk}	f _{tk}	E	G	γ _{m0,1}	γ _{m2}
	MPa	MPa	MPa	MPa		
8.8	640	800	210000	80769	1.05	2.05

Sollecitazioni

combinazione	N _{Ed}	V _{Ed,x}	V _{Ed,y}	M _{Ed,x}	M _{Ed,y}	T _{Ed}
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm

SLU50	-14.1	0.8	0.1		
-------	-------	-----	-----	--	--

Verifiche di resistenza

combinazione	SLU50
--------------	-------

VERIFICA DI RESISTENZA TENSIONALE

NTC 2018 - §4.2.4.1.2

tensioni normali	$\sigma_{z,Ed} = N_{Ed}/A + M_{Ed,x}/W_{el,x} + M_{Ed,y}/W_{el,y} $	608.9	N/mm ²
tensioni tangenziali	$\tau_{Ed} = V_{Ed,x}/A_{vx} + V_{Ed,y}/A_{vy} + T_{Ed}/W_t $	5.3	N/mm ²
tensione ideale	$\sigma_{id,Ed} = (\sigma_{z,Ed}^2 + 3\tau_{Ed}^2)^{1/2}$	608.9	N/mm ²
VERIFICA	$\sigma_{id,Ed} / (f_{yk}/\gamma_{M0}) \leq 1$	0.999	SODDISFATTA

7.1.2 Telaio 50x50x3mm in S235

La verifica del telaio viene eseguita con l'ausilio del programma agli elementi finiti Sismicad 12.19.

La struttura risulta realizzata da elementi beam, con le caratteristiche geometriche e meccaniche del profilo utilizzato, incastrate tra loro e appoggiate agli incroci.

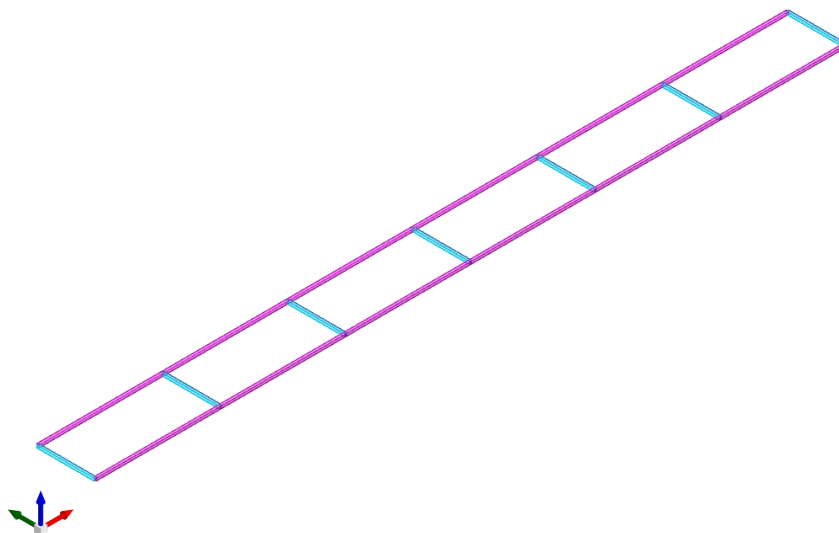


Figura 20: Modello tridimensionale del telaio

Carico sul telaio reggi fotovoltaico 50x50x3mm

interasse di incidenza	i	0.9	m
angolo di inclinazione falda	α	14.0	°

carico	superficiale kN/m ²	lin. Orto kN/m	lin. Paral. kN/m
struttura	0.078	0.065	0.016
permanente portato	0.15	0.125	0.031
neve	1.24	1.035	0.258
vento aspirazione	-0.63	-0.542	
vento pressione	0.14	0.120	

Caratteristiche geometriche

Lunghezza: 2.4
Nodo iniziale: 10 Nodo finale: 9
Cerniera iniziale: No Cerniera finale: No
Sovreresistenza: 0% Sisma Z: No

Caratteristiche della sezione

Sezione	Rotazione	Area	Jx	Jy	ix	iy	Wx	Wy	Wplx	Wply
EN10219 50x50x3	0	0.000541	0.0000001947	0.0000001947	0.019	0.019	0.00000779	0.00000779	0.00000939	0.00000939

Verifiche di resistenza

Verifica a taglio X §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
0	SLU 12	0.014	-0.493	34.942	0.00027	Considerata	1	Si

Verifica a taglio Y §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
0	SLU 50	0.08	2.788	34.942	0.00027	Considerata	1	Si

Verifica a flessione semplice X §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	px	py	Verifica
0	SLU 4	0.192	1	-0.40399	2.10104	1	0	0	Si

Verifica a flessione semplice Y §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	px	py	Verifica
2.4	SLU 26	0.069	1	0.14456	2.10104	1	0	0	Si

Verifica a flessione deviata §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. My,Rd da VEd	α	β	px	py	Verifica
0	SLU 50	0.654	1	1.1679	2.101	0.2052	2.101	1	1			0	0	Si

Verifiche ad instabilità

Caratteristiche iniziali

Membratura principale per controllo snellezza; Calcolo di snellezze ed N critici condotti secondo gli assi principali;
Curva X: c; Curva Y: c; Svergolamento: Carico all'estradosso; Curva svergolamento: d;

Dati per instabilità attorno a x

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βx/m	Vincolo a entrambi estremi	λx/m	λVer
1	Si	0					
2	Si	2.4	1-2		1	126.5	Si, (<200)

Dati per instabilità attorno a y

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βy/n	k _{LT}	kw,LT	Vincolo a entrambi estremi	λy/n	λVer
1	Si	0							
2	Si	2.4	1-2	1	1	1	Si	126.5	Si, (<200)

Verifica a svergolamento §4.2.4.1.3.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	χ _{LT}	λ adim. LT	L,LT	M,critico	Verifica
0	SLU 4	0.195	1	Si	-0.40399	2.0749	0.988	0.216	2.4	47.36633	Si

Verifica di stabilità per pressoflessione §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	χ _x	χ _y	k _{xx}	k _{xy}	k _{yx}	k _{yy}	χ _{LT}	Verifica
1.2	SLU 50	0.613	1	0	127.093	1.16785	2.20609	0.20522	2.20609	0.37	0.37	0.646	0.308	1	0.513	0.988	Si

Verifica di stabilità a taglio anima X §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	0.044	0.003	60	Si

Verifica di stabilità a taglio anima Y §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	0.044	0.003	60	Si

Verifiche a deformabilità

Mensola X: No; Mensola Y: No.

Freccie lungo X

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
1.28	SLE RA 12	0.0007	2.4	3432.5	200	Totale	Si
1.28	SLE RA 13	0.0007	2.4	3432.5	200	Totale	Si
1.28	SLE RA 10	0.0007	2.4	3432.5	200	Totale	Si
1.28	SLE RA 11	0.0007	2.4	3432.5	200	Totale	Si
1.28	SLE RA 8	0.00035	2.4	6864.9	200	Totale	Si
1.28	SLE RA 12	0.0007	2.4	3432.5	300	Variabile	Si
1.28	SLE RA 13	0.0007	2.4	3432.5	300	Variabile	Si
1.28	SLE RA 10	0.0007	2.4	3432.5	300	Variabile	Si
1.28	SLE RA 11	0.0007	2.4	3432.5	300	Variabile	Si
1.28	SLE RA 8	0.00035	2.4	6864.9	300	Variabile	Si

Freccie lungo Y

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
1.36	SLE RA 11	-0.00683	2.4	351.1	200	Totale	Si
1.36	SLE RA 10	-0.00645	2.4	372	200	Totale	Si
1.36	SLE RA 13	-0.00511	2.4	469.6	200	Totale	Si
1.36	SLE RA 12	-0.00473	2.4	507.7	200	Totale	Si
1.36	SLE RA 6	-0.00432	2.4	555.1	200	Totale	Si
1.36	SLE RA 11	-0.00592	2.4	405.6	300	Variabile	Si
1.36	SLE RA 10	-0.00553	2.4	433.7	300	Variabile	Si
1.36	SLE RA 13	-0.00419	2.4	572.4	300	Variabile	Si
1.36	SLE RA 12	-0.00381	2.4	629.9	300	Variabile	Si
1.36	SLE RA 6	-0.00341	2.4	704.7	300	Variabile	Si

7.1.2.1 Verifica barre filettate

Si riporta la verifica della barra filettata che fa da sostegno al telaio del fotovoltaico. La barra M16 è posizionata agli incroci dei profili e viene fissata all'ala della IPE della struttura principale.

Di seguito si riportano le azioni del modello.

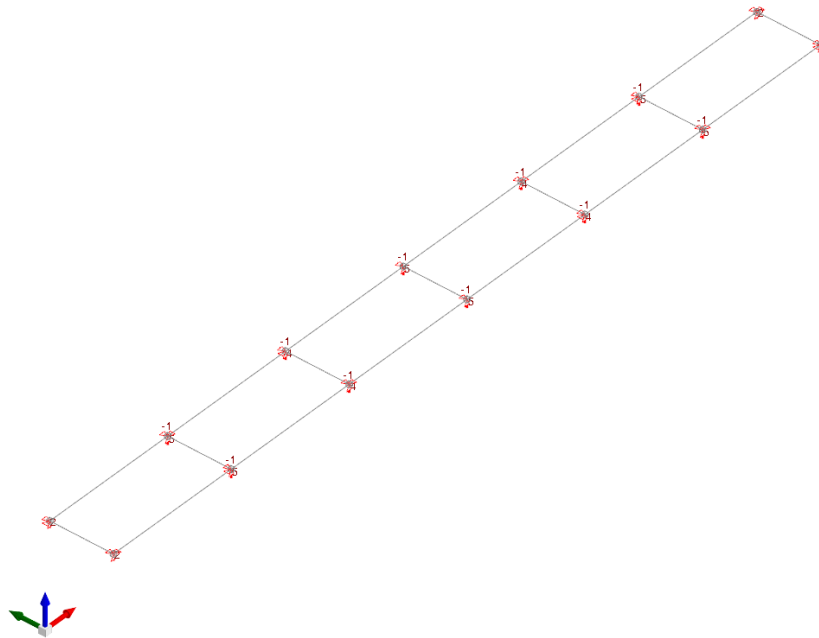


Figura 24: Involuppo allo SLU del reazioni ai nodi [kN;kNm]

Reazione vincolare	
> Nodo	10
Contesto	SLU 50
Fx	-0.03
Fy	-0.96
Fz	5.25
Mx	0
My	0
Mz	0

Figura 25: Reazioni vincolari maggiori [kN;kNm]

Si considera la barra incernierata alla base e incastrata all'estremità.

Barra filettata M16

Profilo		Tondo Ø16mm	
lunghezza del profilo	L	0.17	m
lunghezza libera d'inflessione	L _e	0.17	m

Caratteristiche geometriche e inerziali

d	A	I	W _E	W _P	W _T	g
mm	mm ²	mm ⁴	mm ³	mm ³	mm ⁴	kg/m
14.0	154	1886	269	457	539	1.21

Materiale

acciaio	f _{yk}	f _{tk}	E	G	γ _{m0,1}	γ _{m2}
	MPa	MPa	MPa	MPa		
8.8	640	800	210000	80769	1.05	2.05

Sollecitazioni

combinazione	N_{Ed} kN	$V_{Ed,x}$ kN	$V_{Ed,y}$ kN	$M_{Ed,x}$ kNm	$M_{Ed,y}$ kNm	T_{Ed} kNm
SLU50	-5.3		1.0	0.2		

Verifiche di resistenza

combinazione		SLU50	
<u>VERIFICA DI RESISTENZA TENSIONALE</u>		NTC 2018 - §4.2.4.1.2	
tensioni normali	$\sigma_{z,Ed} = N_{Ed}/A + M_{Ed,x}/W_{el,x} + M_{Ed,y}/W_{el,y} $	604.3	N/mm ²
tensioni tangenziali	$\tau_{Ed} = V_{Ed,x}/A_{vx} + V_{Ed,y}/A_{vy} + T_{Ed}/W_t $	6.2	N/mm ²
tensione ideale	$\sigma_{id,Ed} = (\sigma_{z,Ed}^2 + 3\tau_{Ed}^2)^{1/2}$	604.4	N/mm ²
VERIFICA	$\sigma_{id,Ed} / (f_{yk}/\gamma_{M0}) \leq 1$	0.992	SODDISFATTA

7.2 Struttura esistente

Il fotovoltaico viene installato su più falde della copertura del complesso scolastico.

La struttura in elevazione e della copertura risulta realizzata in acciaio con caratteristiche simili tra i vari corpi:

- travi di copertura IPE con interasse 2.40m;
- pilastri HEB con interasse principale 7.20m;

Come già indicato in precedenza, l'incremento di carico in copertura risulta inferiore al 10% del peso totale della struttura. Si riporta la verifica degli elementi di copertura direttamente interessati dal sovraccarico.

7.2.1 Carico agente

Carico sui puntoni esistenti

interasse di incidenza	i	2.4	m
angolo di inclinazione falda	α	15.0	°

carico	superficiale	lin. Orto	lin. Paral.
	kN/m ²	kN/m	kN/m
struttura portata	0.08	0.181	0.049
permanente portato	0.27	0.626	0.168
permanente portato con fotovoltaico	0.42	0.974	0.261
neve	1.24	2.875	0.770
neve accumulo 1.1	3.72	8.624	2.311
vento aspirazione Y	-0.63	-1.460	
vento aspirazione X	-0.42	-0.974	
vento pressione X	0.14	0.325	

7.2.2 Copertura Corpo 8 – Campo 1.1

La porzione di copertura è realizzata con:

- puntoni profilo IPE220;
- colmo profilo IPE240;
- banchina profilo IPE400.

La falda risulta addossata ad una porzione di fabbricato con maggior altezza, pertanto oltre ai carichi normali è soggetta a neve di accumulo.

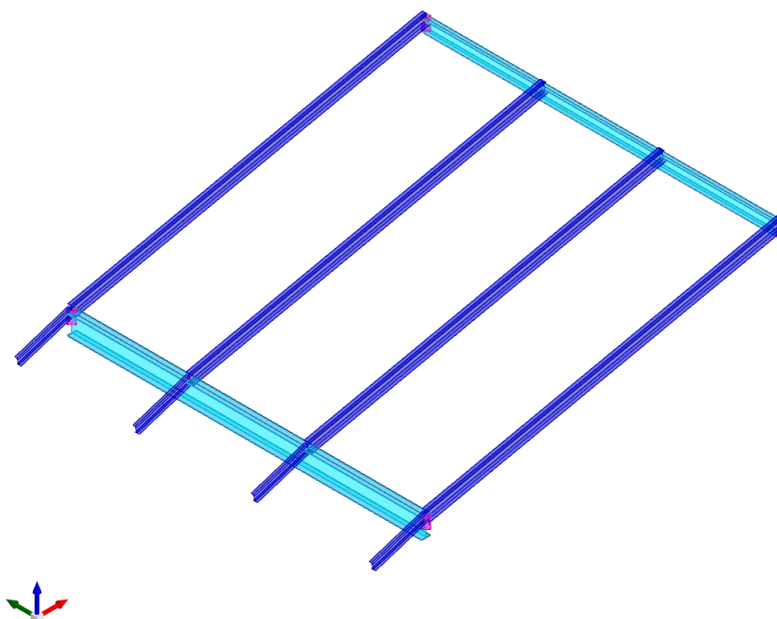


Figura 26: Modello tridimensionale del telaio

7.2.2.1 Verifica della struttura ante-intervento

La verifica della copertura esistente viene eseguita prima di installare il fotovoltaico.

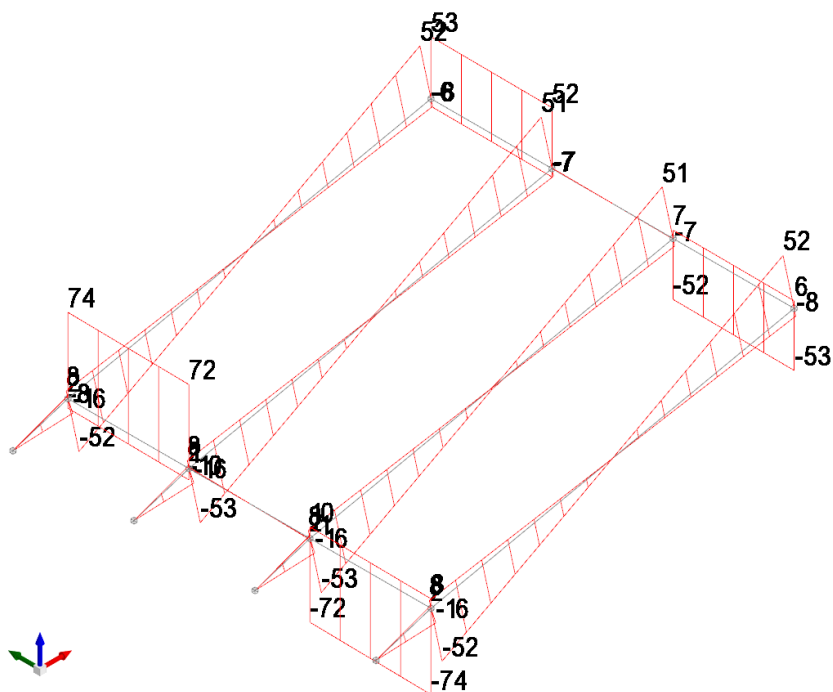


Figura 27: Involucro allo SLU del Taglio [kN]

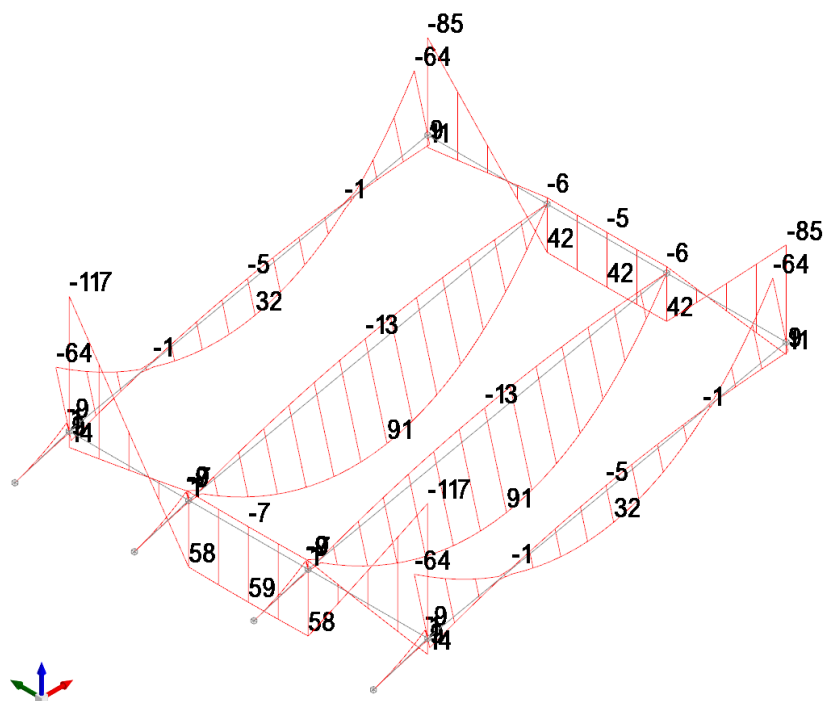


Figura 28: Involucro allo SLU del Momento [kNm]

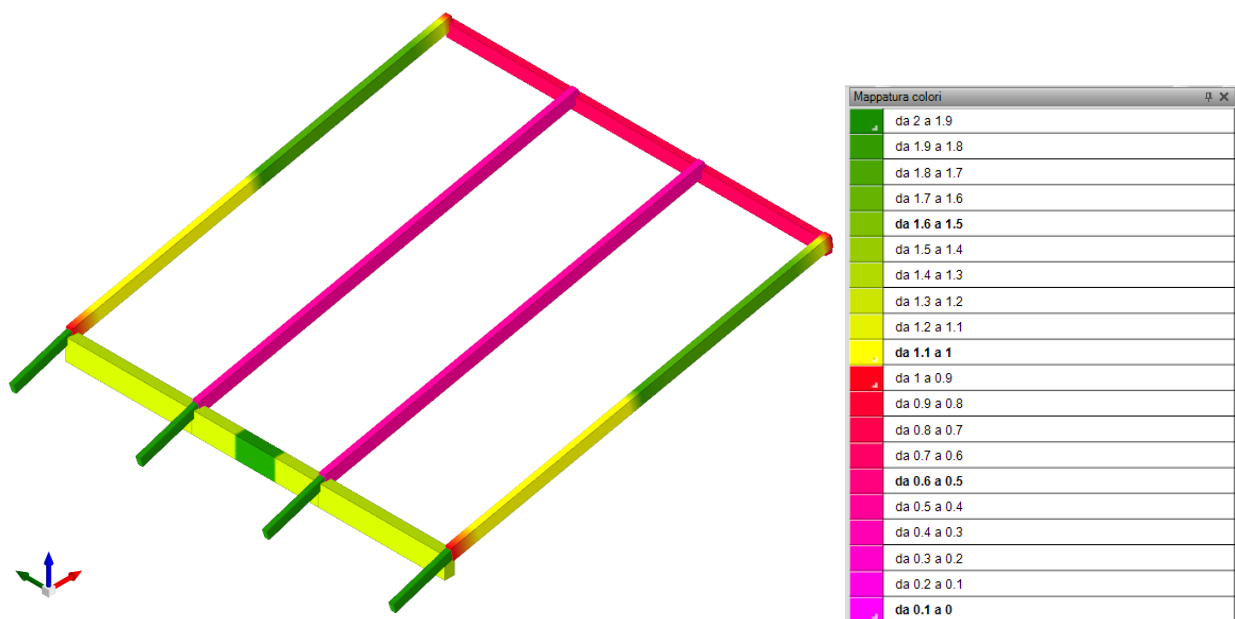


Figura 29: Stato di verifica: NON SODDISFATTE

Come si evince dalla figura precedente, alcune elementi di copertura non sono verificati. La causa principale della non verifica è l'azione dell'accumulo.

Di seguito si riportano le verifiche della trave più critica:

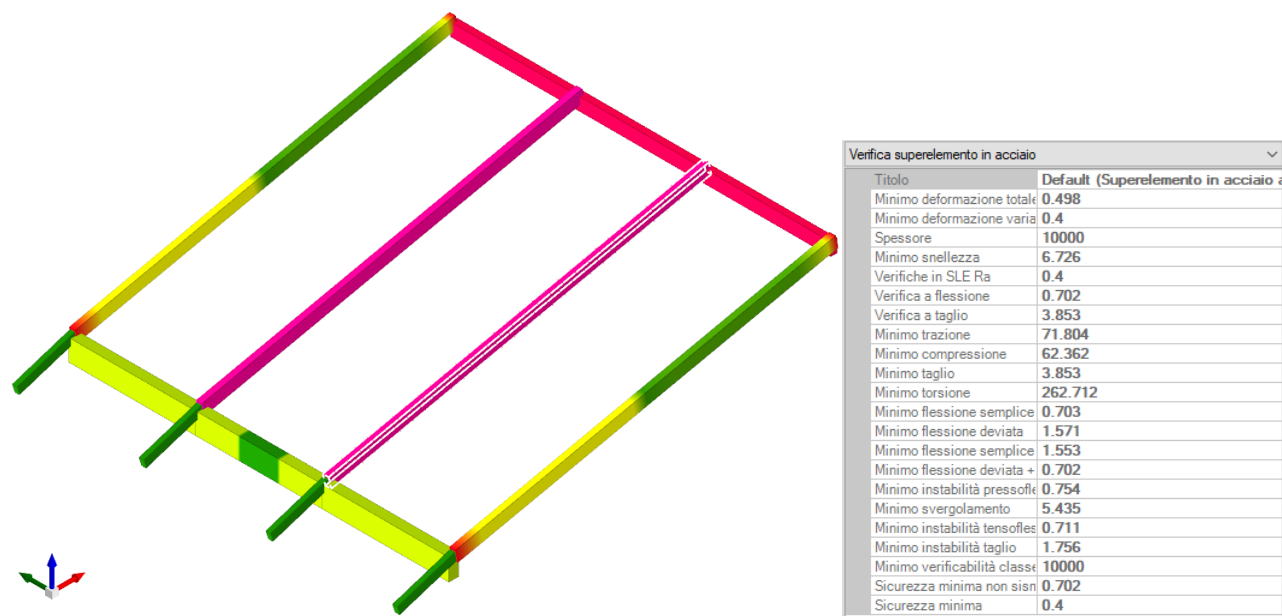


Figura 30: Tabella riassuntiva delle verifiche del puntone evidenziato

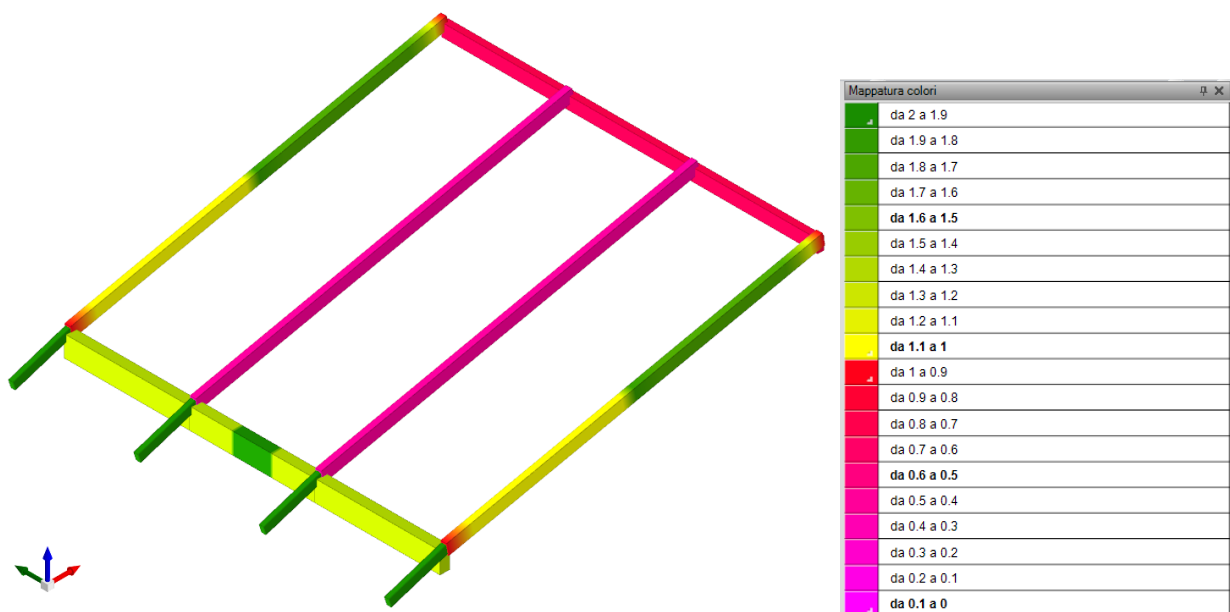


Figura 33: Stato di verifica: NON SODDISFATTE

Come si evince dalla figura precedente, alcune elementi di copertura non sono verificati. La causa principale della non verifica è l'azione dell'accumulo.

Di seguito si riportano le verifiche della trave più critica:

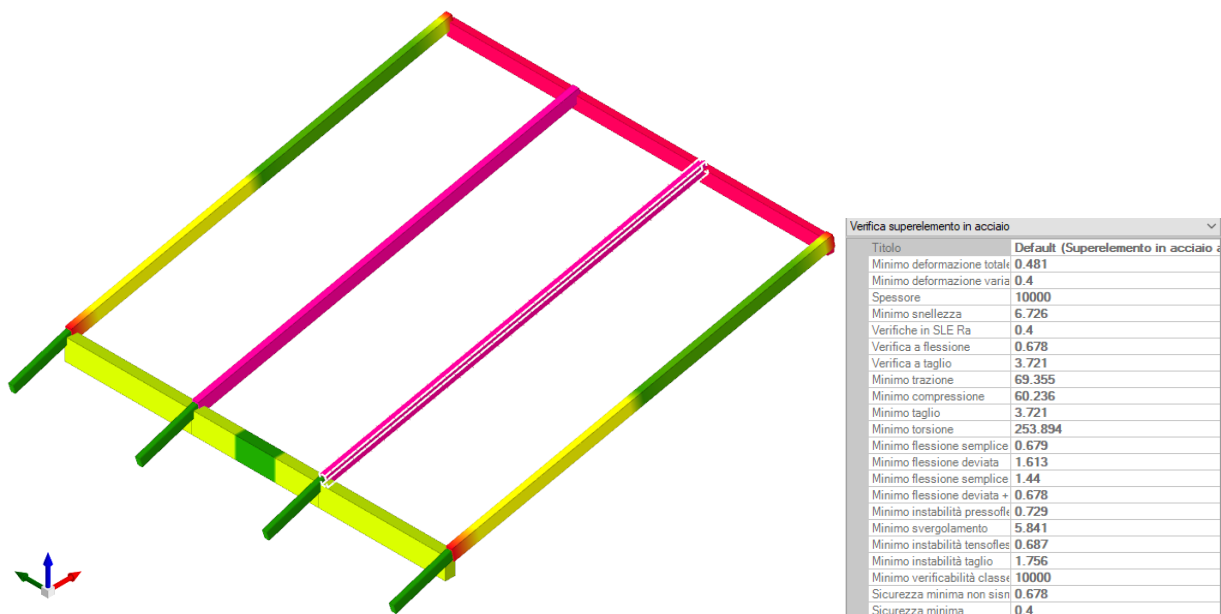


Figura 34: Tabella riassuntiva delle verifiche del puntone evidenziato

Come si evince dai risultati la condizione di carico dovuta all'aggiunta del fotovoltaico non comporta un peggioramento significativo del comportamento della struttura.

La verifica della copertura da carico normale di neve risulta soddisfatta in accordo alla normativa del tempo.

Pertanto il carico influente che comporta la non verifica degli elementi è il carico neve di accumulo.

Il carico neve di accumulo imposto da normativa è pari a 3.72kN/m² corrispondente ad un'altezza della neve sulla copertura pari a 186cm.

Dall'analisi della struttura il carico ammissibile di accumulo è pari a 1.40kN/m² corrispondente ad un'altezza della neve sulla copertura pari a 70cm.

7.2.3 Copertura Corpo 8 – Campo 1.3

La porzione di copertura è realizzata con:

- puntoni profilo IPE220;
- colmo profilo IPE240;
- banchina profilo IPE450.

La falda risulta soggetta ai carichi permanenti, carico del fotovoltaico, neve e vento.

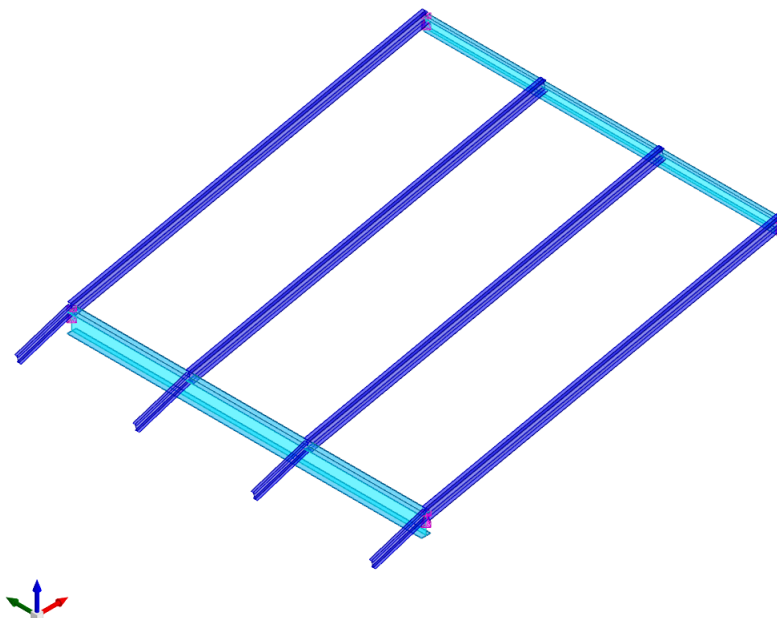


Figura 35: Modello tridimensionale del telaio

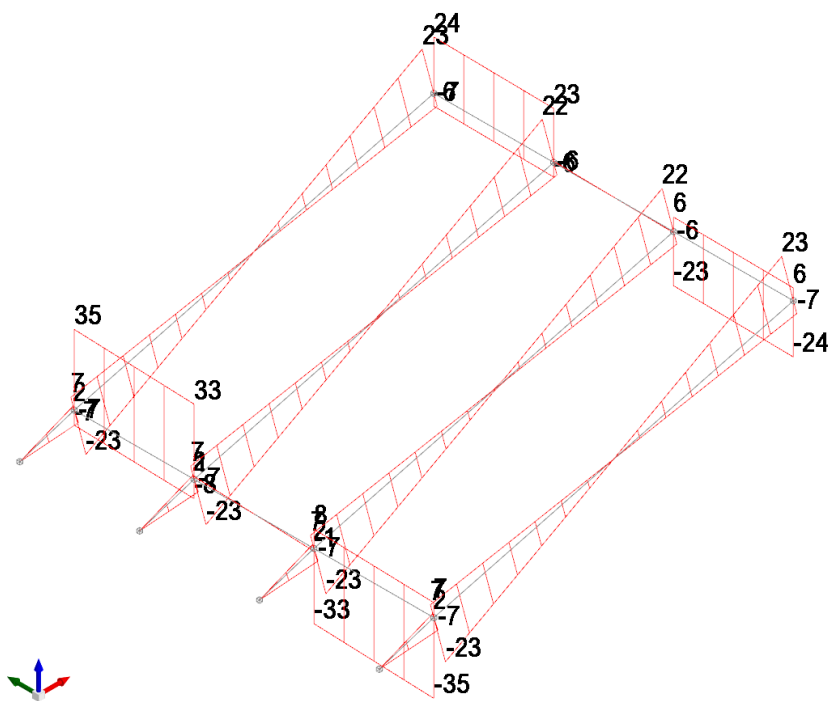


Figura 36: Inviluppo allo SLU del Taglio [kN]

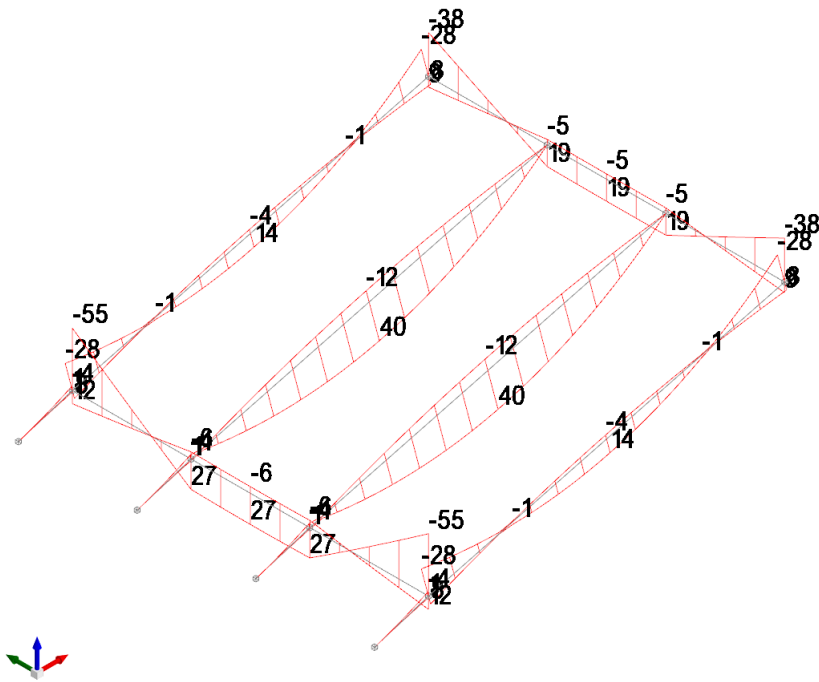


Figura 37: Involuppo allo SLU del Momento [kNm]

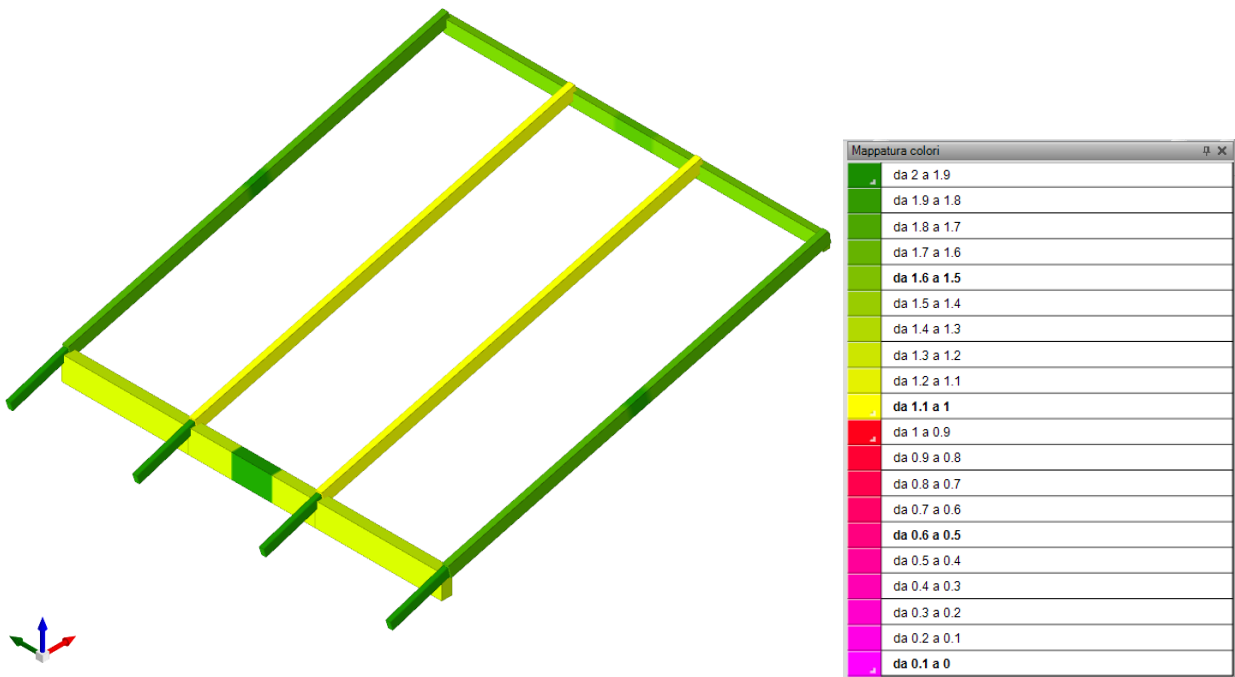


Figura 38: Stato di verifica: SODDISFATTE

7.2.4 Copertura Corpo 8 – Campo 1.3

La porzione di copertura è realizzata con:

- puntoni profilo IPE240 sulla falda Nord e IPE200 su falda SUD;
- colmo profilo IPE240;
- banchina profilo IPE450.

La falda risulta soggetta ai carichi permanenti, carico del fotovoltaico, neve e vento.

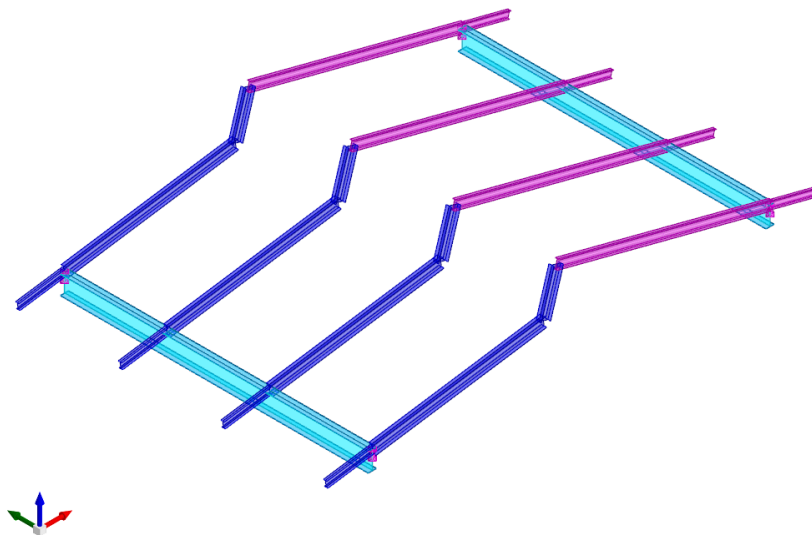


Figura 39: Modello tridimensionale del telaio

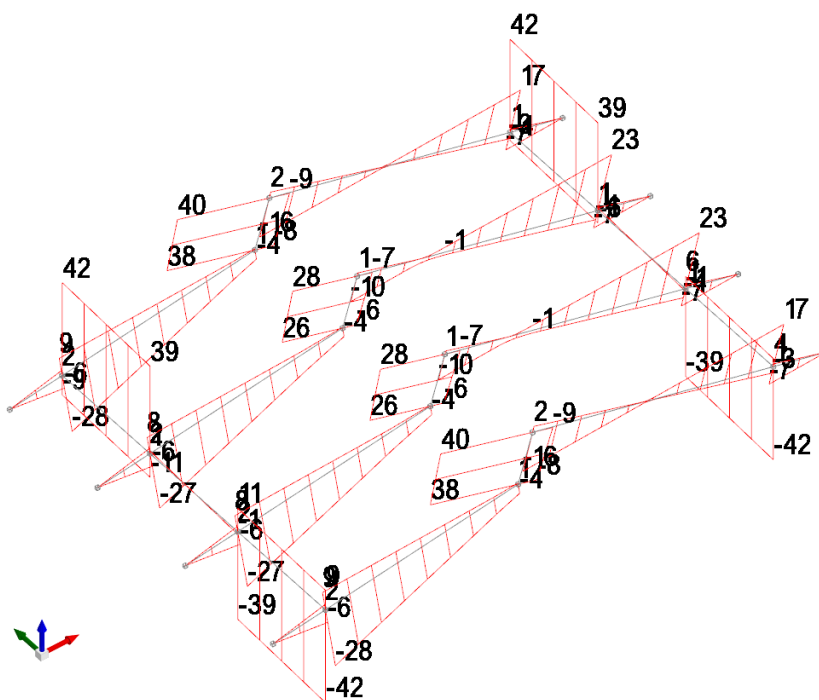


Figura 40: Inviluppo allo SLU del Taglio [kN]

7.3 Conclusioni

Sulla base delle valutazioni eseguite, riportati nei precedenti paragrafi, l'installazione dell'impianto fotovoltaico non comporta variazioni significative sul comportamento della struttura, sia per quanto riguarda i carichi verticali che quelli orizzontali derivanti dal sisma, rispetto alla situazione esistente.

Risulta utile evidenziare che sulla base dei dati forniti dalla Vulnerabilità sismica il Corpo 8 del Plesso scolastico **non risulta adeguato $\zeta_E < 1.00$ (0.65)**. In accordo a quanto indicato al paragrafo §8.4.3 delle NTC 2018 alla lettera c), l'intervento di realizzazione del fotovoltaico non richiede l'adeguamento sismico dell'edificio in quanto l'incremento di carico (calcolato al paragrafo § 6.6 della presente relazione) risulta inferiore al 10% del carico complessivo. Si evidenzia la necessità di aggiornare la valutazione di vulnerabilità sismica al fine delle necessarie e conseguenti determinazioni sui tempi di intervento.

Sempre nello specifico del Corpo 8, a causa della conformazione della copertura a doppio livello, che può causare fenomeni di accumulo neve, come si evince dai risultati riportati nel capitolo 7.2, la condizione di carico dovuta all'aggiunta del fotovoltaico non comporta un peggioramento significativo del comportamento della struttura. La verifica della copertura con carico normale di neve risulta soddisfatta, anche in presenza dell'impianto fotovoltaico. Non risulta invece verificata la condizione di sovraccarico da accumulo prevista dalla normativa attuale, e questo sia in presenza dell'impianto fotovoltaico che senza. Si evidenzia che tale sovraccarico non era previsto dalla normativa dell'epoca.

Il carico neve da accumulo imposto da normativa attuale è pari a 3.72kN/m² corrispondente ad un'altezza della neve sulla copertura pari a 186 cm.

Dall'analisi della struttura il carico ammissibile di accumulo, comprensiva dell'impianto fotovoltaico è pari a 1.40kN/m² corrispondente ad un'altezza della neve sulla copertura pari a 70cm.

Trattandosi di eventi di carattere eccezionale e prevedibile, indipendentemente dalla presenza o meno dell'impianto fotovoltaico, si consiglia di predisporre specifiche procedure operative in caso di eventi eccezionali come sopra descritti, che prevedano la rimozione della neve dalla falda del corpo 8 soggetta ad accumulo, per la quota eventualmente eccedente i 70 cm, o la dichiarazione di temporanea inagibilità del fabbricato, fino a rimozione della neve in eccesso. Di questo è stata data evidenza nel piano di manutenzione dell'opera.

Udine, 22 dicembre 2022

il progettista strutturale
dott. ing. Cristiano Roselli della Rovere