

IMPIANTO AGRIVOLTAICO
SITO NEI COMUNI DI BRINDISI E CELLINO SAN MARCO
IN PROVINCIA DI BRINDISI

Valutazione di Impatto Ambientale

(artt. 23-24-25 del D.Lgs. 152/2006)

Commissione Tecnica PNRR-PNIEC

(art. 17 del D.L. 77/2021, convertito in L. 108/2021)

Prot. CIAE: DPE-0007123-P-10/08/2020

Idea progettuale, modello insediativo e coordinamento generale: **AG Advisory S.r.l.**

Paesaggio e supervisione generale: **CRETA S.r.l.**

Elaborazioni grafiche: **Eclettico Design**

Assistenza legale: **Studio Legale Sticchi Damiani**

Progettisti:

Progetto agricolo: **NETAFIM Italia S.r.l.**

Dott. Alberto Vezio Puggioni

Dott. Roberto Foglietta

Progetto azienda agricola: **Eclettico Design**

Ing. Roberto Cereda

Progetto impianto fotovoltaico: **Silver Ridge Power Italia S.r.l.**

Ing. Stefano Felice

Arch. Salvatore Pozzuto

Progetto strutture impianto fotovoltaico: **Ing. Nicola A. di Renzo**

Progetto opere di connessione: **Ing. Fabio Calcarella**

Contributi specialistici:

Acustica: **Dott. Gabriele Totaro**

Agronomia: **Dott. Agr. Barnaba Marinosci**

Agronomia: **Dott. Agr. Giuseppe Palladino**

Archeologia: **Dott.ssa Caterina Polito**

Archeologia: **Dott.ssa Michela Ruge**

Asseverazione PEF: **Omnia Fiduciaria S.r.l.**

Fauna: **Dott. Giacomo Marzano**

Geologia: **Geol. Pietro Pepe**

Idraulica: **Ing. Luigi Fanelli**

Piano Economico Finanziario: **Dott. Marco Marincola**

Vegetazione e microclima: **Dott. Leonardo Beccarisi**

Cartella **VIA_2/**

Sottocartella **P_AGRIVOLTAICO/**

Identificatore:
PAGRVLREL04

**Relazione strutture - Calcolo
preliminare strutture metalliche**

Descrizione **Relazione sulle strutture dell'impianto fotovoltaico - Relazione di calcolo preliminare strutture metalliche**

Nome del file:
PAGRVLREL04.pdf

Tipologia
Relazione

Scala
-

Autori elaborato: Ing. Nicola Di Renzo

Rev.	Data	Descrizione
00	01/02/22	Prima emissione
01		
02		

Spazio riservato agli Enti:

Sommario

PREMESSA	3
1. RIFERIMENTI NORMATIVI	3
2. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	4
3. INFORMAZIONI SULL'ELABORAZIONE	4
4. GIUDIZIO MOTIVATO SULL'ATTENDIBILITÀ DEI RISULTATI	5
5. DICHIARAZIONE DEL PROGETTISTA SULLA IDONEITÀ DEL PROGRAMMA	5
6. ILLUSTRAZIONE TECNICA DELL'INTERVENTO	5
7. VERIFICA E VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA	6
7.1. CLASSE DI ESECUZIONE DELLA STRUTTURA	6
7.2. VITA NOMINALE	7
7.3. CLASSE D'USO.....	7
7.4. PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA	7
8. AZIONI SULLE COSTRUZIONI	7
8.1. PESI PROPRI E CARICHI PERMANENTE NON STRUTTURALI	7
8.2. CARICHI VARIABILI	7
9. AZIONE SISMICA	8
9.1. STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO.....	8
9.2. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	8
9.3. DEFINIZIONE DELLO SPETTRO DI RISPOSTA ORIZZONTALE.....	9
9.4. DEFINIZIONE DELLO SPETTRO DI RISPOSTA VERTICALE	9
10. AZIONE DEL VENTO	9
11. AZIONE DELLA NEVE	10
12. COMBINAZIONE DELLE AZIONI	11
13. MATERIALI UTILIZZATI E RESISTENZE DI CALCOLO	12
14. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E METODOLOGIE DI CALCOLO	12
15. ANALISI STRUTTURALE	12
15.1. CAPACITÀ RESISTENTE DELLE SEZIONI.....	12
15.2. ANALISI GLOBALE E METODOLOGIA ADOTTATA.....	12
16. VERIFICHE	13
16.1. STATO LIMITE ULTIMO	13
16.2. STATO LIMITE ESERCIZIO.....	14
16.3. STATO LIMITE DI DANNO	14
17. ANALISI STRUTTURALE	15
17.1. NUMERAZIONE NODI	15
17.2. NUMERAZIONE ELEMENTI	16
18. MODELLAZIONE	16
18.1. INTESTAZIONI E DATI CARATTERISTICI DELLA STRUTTURA	16
18.2. PARAMETRI NORMATIVA.....	16
18.3. PARAMETRI SISMICI.....	16
18.4. DATI SPETTRO	16
18.1. MATERIALI.....	17
18.2. SEZIONI STRUTTURALI.....	17
18.3. CARICHI PER ELEMENTI TRAVE, TRAVE DI FONDAZIONE E RETICOLARE.....	17
18.4. GRUPPI DELLA STRUTTURA	17
18.5. NODI	18
18.6. ELEMENTO FINITO TRAVE – CARATTERISTICHE GEOMETRICHE.....	19
18.7. COMBINAZIONI DI CARICO.....	21

19.	SPOSTAMENTI MASSIMI DELLA STRUTTURA ALLO S.L.E. (COMBINAZIONE RARA).....	22
20.	VERIFICA SINTETICA ELEMENTI STRUTTURALI	22
20.1.	INDICI DI RESISTENZA.....	22
	CONCLUSIONI	23

PREMESSA

La presente relazione di calcolo preliminare è allegata al progetto per la **REALIZZAZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA DELLA POTENZA DI 16.63 MWP E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA, SITI IN AGRO DEI COMUNI DI CELLINO SAN MARCO (BR) E BRINDISI.**

Il progetto prevede la realizzazione di una serie di vele indipendenti per il supporto dei pannelli fotovoltaici. Ciascuna vela è composta da n.6 telai con luce interasse tra i montanti di circa 3.10 m e passo interasse pari a circa 3.10 m. I telai saranno opportunamente controventati e infissi nel terreno di fondazione per una profondità minima di 3.00 m, in modo da assicurare una adeguata resistenza allo sfilamento.

L'organizzazione delle strutture è regolare consentendo la immediata individuazione degli elementi resistenti alle azioni verticali e alle azioni orizzontali indotte dal sisma e dal vento.

Il calcolo è stato effettuato in accordo con quanto previsto nelle *“Nuove Norme Tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17/01/2018 – G.U. n. 8 del 20 febbraio 2018, suppl. ord. n. 42.*

L'analisi del comportamento statico e sismico delle opere sarà condotta secondo il metodo semi-probabilistico agli stati limite eseguendo una *analisi statica lineare*. Maggiori dettagli in merito saranno forniti nei paragrafi seguenti. Saranno inoltre esposte le motivazioni delle scelte progettuali adottate per le strutture, nonché gli elementi occorrenti per una corretta lettura e interpretazione della documentazione tecnica che costituisce il progetto esecutivo. Sarà quindi illustrato il modello di calcolo che è stato realizzato per la progettazione dell'opera e le analisi che su di essa sono state svolte per i carichi verticali e per le azioni sismiche, combinate successivamente secondo le indicazioni normative.

Gli aspetti principali oggetto della presente relazione comprendono anche:

- l'entità e le modalità di applicazione delle azioni sismiche, in accordo con le indicazioni di norma;
- il tipo di analisi effettuate;
- i principali risultati ottenuti, in termini di spostamenti complessivi nelle due direzioni principali;
- le pressioni massime sul suolo di fondazione;
- gli spostamenti relativi di piano allo stato limite di danno;
- il calcolo delle armature per gli elementi strutturali portanti.

Il calcolo degli spostamenti, delle sollecitazioni e le relative verifiche di resistenza è stato eseguito valutando l'intera struttura spaziale per tramite di un modello matematico analizzato secondo il metodo degli elementi finiti (FEM); la modellazione della struttura è realizzata tramite elementi Beam (travi e pilastri) e Shell (platee, pareti, solette). Il calcolo si basa sul solutore agli elementi finiti SAP. La scelta di tale codice è motivata dall'elevata affidabilità dimostrata e dall'ampia documentazione a disposizione, dalla quale risulta la sostanziale uniformità dei risultati ottenuti su strutture standard con i risultati internazionalmente accettati ed utilizzati come riferimento. Il software di calcolo utilizzato è il MASTERSAP TOP della AMV S.r.l. di Ronchi dei Legionari (GO), lic. N. 31309-31310. Tutti i risultati del calcolo sono forniti, oltre che in formato numerico, anche in formato grafico permettendo così di evidenziare agevolmente eventuali incongruenze. Il software consente la stampa di tutti i dati di input, dei dati del modello strutturale utilizzato, dei risultati del calcolo e delle verifiche dei diagrammi delle sollecitazioni e delle deformate.

1. RIFERIMENTI NORMATIVI

- Legge n. 1086 del 05/11/1971

Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.

- Legge n. 64 del 02/02/1974

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- D.M. LL.PP. del 11/03/1988
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. Infrastrutture e Trasporti 14.9.2005 N.159
Norme tecniche per le costruzioni
- Legge n. 1086 del 05/11/1971
Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Istruzioni C.N.R. n. 10024/84
Analisi di strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo.
- Eurocode 3 – part. 1
Design of steel structures
- D.M. LL. PP. 14/01/2008
Nuove Norme Tecniche per le costruzioni – G.U. n. 29 del 04 febbraio 2008, suppl. ord. n. 30
- D.M. LL. PP. 17/01/2018
Nuove Norme Tecniche per le costruzioni – G.U. n. 8 del 20 febbraio 2018, suppl. ord.n 42

2. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- C. CESTELLI GUIDI (1991) – “Geotecnica e Tecnica delle Fondazioni”, Vol. 1 e Vol. 2 – Hoepli.
- J. E. BOWLES (1988) “Fondazioni – Progetto e Analisi”, Mc GRAW-HILL.
- ZIENKIEWICZ O.C. (1977) – The Finite Element Method. McGraw-Hill.
- BALDACCI, R (1983) – Scienza delle costruzioni. UTET, Torino.
- COMO M., LANNI G. (1979) – Elementi di costruzioni antisismiche. E.S.A.C., Roma.
- CIRILLO (2009) – Acciaio, Calcoli strutturali, Progettazione e prassi del costruire, Eurocodice 3 e Norme Tecniche per le costruzioni
- BERNUZZI, MAZZOLANI (2007) – Edifici in acciaio, Materiale, calcolo e progetto secondo l'Eurocodice EN-1993-1-1

3. INFORMAZIONI SULL'ELABORAZIONE

Il software di calcolo utilizzato è il **MASTERSAP TOP della AMV S.r.l.** di Ronchi dei Legionari (GO), **lic. N. 31309-31310**. Tutti i risultati del calcolo sono forniti, oltre che in formato numerico, anche in formato grafico permettendo così di evidenziare agevolmente eventuali incongruenze.

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico. La documentazione, fornita dal produttore e distributore del software, contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, corredati dei file di input necessari a riprodurre l'elaborazione. L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti.

Il metodo sopraindicato si basa sulla schematizzazione della struttura in elementi connessi solo in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi. I nodi sono definiti dalle tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale. Le incognite del problema (nell'ambito del metodo degli spostamenti) sono le componenti di spostamento dei nodi riferite al sistema di riferimento globale (traslazioni secondo X, Y, Z, rotazioni attorno X, Y, Z).

La soluzione del problema si ottiene con un sistema di equazioni algebriche lineari i cui termini noti sono costituiti dai carichi agenti sulla struttura opportunamente concentrati ai nodi:

$$K \times u = F \quad \text{dove} \quad \begin{aligned} K &= \text{matrice di rigidezza} \\ u &= \text{vettore spostamenti nodali} \\ F &= \text{vettore forze nodali} \end{aligned}$$

Dagli spostamenti ottenuti con la risoluzione del sistema vengono quindi dedotte le sollecitazioni e/o le tensioni di ogni elemento, riferite generalmente ad una terna locale all'elemento stesso. Il sistema di riferimento utilizzato è costituito da una terna cartesiana destrorsa XYZ. Si assume l'asse Z verticale ed orientato verso l'alto. Il software consente la stampa di tutti i dati di input, dei dati del modello strutturale utilizzato, dei risultati del calcolo e delle verifiche dei diagrammi delle sollecitazioni e delle deformate.

4. GIUDIZIO MOTIVATO SULL'ATTENDIBILITÀ DEI RISULTATI

L'attendibilità dei risultati è stata accuratamente controllata mediante verifica diretta tra i risultati ottenuti e quelli attesi su singoli elementi strutturali. In particolare si è proceduto al controllo a campione dei carichi agenti sui singoli elementi strutturali confrontando i valori riportati dal programma con quanto atteso dal calcolo manuale effettuato dal sottoscritto. In maniera analoga si è proceduto al controllo delle caratteristiche della sollecitazione indotte dai carichi applicati effettuando il calcolo manuale su elementi a campione e confrontando i valori ottenuti dal programma di calcolo con i valori stimati mediante calcolo manuale semplificato. Dall'analisi visiva delle deformate nonché delle caratteristiche delle sollecitazioni si è accertata la bontà del modello di calcolo adottato controllando l'eventuale presenza di spostamenti o rotazioni anomali. Tale operazione infatti consente di controllare la presenza di eventuali nodi labili o comportamenti difformi da quanto ipotizzato in fase di modellazione e atteso in fase di analisi.

5. DICHIARAZIONE DEL PROGETTISTA SULLA IDONEITÀ DEL PROGRAMMA

Per quanto detto in precedenza si *ritiene che l'elaborazione sia corretta e completa*. I risultati delle stesse sono stati sottoposti a controlli che ne **comprovano l'attendibilità**. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali e adottati, anche in fase di primo proporzionamento della struttura. Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

6. ILLUSTRAZIONE TECNICA DELL'INTERVENTO

L'ossatura portante dell'opera sarà costituita da n.6 telai in acciaio a singola campata di luce pari a 3.10 m posti a interasse di 3.10 m. I telai saranno controventati con elementi diagonali tesi, disposti come visibile negli elaborati grafici allegati al progetto. Non è prevista alcun sistema di fondazione per cui i telai saranno ancorati al terreno mediante infissione della colonna con profondità almeno pari a 2.50 m. Tale modalità di infissione sarà certificato mediante una apposita prova da effettuare in sito al fine di valutare la forza di sfilamento dell'elemento infisso. Saranno realizzate in officina e assemblate in opera n.6+6=12 colonne costituite da profili presso-piegati a freddo tipo $U70 \times 140 \times 70 \times 3.0 \text{ mm}$ infissi nel terreno alla base e collegati mediante bulloni alle travi in elevazione. Dette travi, in numero pari a 6, saranno realizzate con profili presso-piegati a freddo tipo $U 60 \times 120 \times 60 \times 3.0 \text{ mm}$. Gli elementi secondari che collegano i telai trasversali e che sostengono i pannelli fotovoltaici saranno costituiti da profili *omega* $100 \times 50 \times 30 \times 3.0 \text{ mm}$ presso-piegati a freddo. Infine, gli elementi diagonali di controvento saranno realizzati con profili $L70 \times 7 \text{ mm}$ mentre i puntoni sotto trave saranno realizzati con profili $L50 \times 5 \text{ mm}$.

Le strutture metalliche saranno realizzate in acciaio da carpenteria S235 con le caratteristiche previste nelle *NTC 2018*.

7. VERIFICA E VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Per la valutazione della sicurezza delle costruzioni si adottano i criteri del metodo semi-probabilistico agli stati limite basato sull'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza. Tale metodo, definito di primo livello, è applicabile per opere di ordinaria importanza. La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimo di resistenza si effettua con il *metodo dei coefficienti parziali* di sicurezza espresso formalmente dall'equazione seguente:

$$R_d \geq E_d$$

Avendo indicato con R_d la generica resistenza di progetto valutata sulle resistenze di progetto dei materiali, e con E_d la generica sollecitazione di progetto ottenuta dalle combinazioni di norma.

7.1. Classe di esecuzione della struttura

La classe di esecuzione dell'opera è stata determinata in accordo al punto B "Linee guida per la determinazione delle classi di esecuzione" della UNI EN 1090-2 *Execution of steel structures and aluminium structures*". In particolare la procedura di classificazione è suddivisa in tre fasi:

A. Determinazione della **CLASSE DI IMPORTANZA** espressa intermini di conseguenze prevedibili sia umane che economiche o ambientali, di un guasto o di un cedimento di un componente (**tab. B1 - EN 1990**):

CONSEQUENCES CLASS	DESCRIPTION	EXAMPLES OF BUILDING AND CIVIL ENGINEERING WORK
CC3	High consequence for loss of human life, or economic, social or environmental consequences very great	Grandstands, public buildings where consequences of failure are high (e.g. a concert hall)
CC2	Medium consequence for loss of human life, economic, social or environmental consequences considerable	Residential and office buildings, public buildings where consequences of failure are medium (e.g. an office building)
CC1	Low consequence for loss of human life, and economic, social or environmental consequences small or negligible	Agricultural buildings where people do not normally enter (e.g. storage buildings), greenhouses

B. Determinazione **CATEGORIA DI SERVIZIO** e **CATEGORIA DI PRODUZIONE** (**prosp. B.1 e B.2 EN1090-2**):

CATEGORIA DI SERVIZIO (SC)	DEFINITE IN BASE ALLE SOLLECITAZIONI PREVISTE (DINAMICHE/STATICHE)
SC1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Strutture e componenti per azioni quasi statiche (Esempio: edifici) ▪ Strutture e componenti per connessioni progettate per resistenze da azioni sismiche in regioni a bassa intensità sismica e DCL ▪ Strutture e componenti progettati per azioni a fatica da gru (Classe S0)
SC2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Strutture e componenti progettati per azioni a fatica in accordo con EN 1993 (Esempio: ponti ferroviari e stradali, gru (da S1 a S9), strutture suscettibili a vibrazioni determinate dall'azione del vento, gru oppure macchine con funzione rotazionale) ▪ Strutture e componenti le cui connessioni sono progettate per azioni sismiche in regioni con medio ed alto rischio sismico e in DCM e DCH

Legenda:

DCL: Comportamento strutturale poco dissipativo (EN 1998 – Prospetto 6.1)

DCM: Comportamento strutturale mediamente dissipativo (EN 1998 – Prospetto 6.1)

DCH: Comportamento strutturale altamente dissipativo (EN 1998 – Prospetto 6.1)

CATEGORIA PRODUZIONE (PC)	DEFINITE IN BASE ALLE TECNOLOGIE PRODUTTIVE
PC1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Componenti non saldati e realizzati con qualunque grado di acciaio ▪ Componenti saldati realizzati con acciaio di grado inferiore a S355
PC2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Componenti realizzati con acciaio di grado S355 e superiore ▪ Componenti essenziali per l'integrità strutturale che vengono assemblati tramite saldatura sulla costruzione in situ ▪ Componenti con formatura a caldo oppure che abbiano ricevuto un trattamento termico durante la produzione ▪ Componenti di tralicci CHS che richiedono tagli e profilature

C. Determinazione della CLASSE DI ESECUZIONE dell'opera (**prosp. B.3 EN 1090-2**).

Tabella di determinazione della classe di esecuzione							
Classi di conseguenza		CC1		CC2		CC3	
Categorie di servizio		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Categorie di produzione	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC3
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC4

La classe di esecuzione EXC4 deve essere scelta in caso di strutture con estreme conseguenze determinate al cedimento della struttura, in base a disposizioni legislative.

7.2. Vita Nominale

La vita nominale dell'opera è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purchè soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. In accordo alla tabella 2.4.I – “Vita nominale V_N per diversi tipi di opere” delle NTC, si assume una vita nominale maggiore uguale a **50 anni** in quanto il fabbricato oggetto di analisi rientra tra le *costruzioni con livelli di prestazioni ordinari*.

7.3. Classe d'uso

La classe d'uso è riferita alle conseguenze di una interruzione di operatività o dell'eventuale collasso in presenza di azioni sismiche. L'edificio può essere classificato di **Classe I** ricadendo tra le *costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli [...]*.

7.4. Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche agenti sulla costruzione sono valutate in relazione al periodo di riferimento V_R moltiplicando la vita utile della costruzione per il coefficiente d'uso C_U . Nel caso in esame risulterà:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Per edifici di classe I il coefficiente d'uso si assume pari a 0.70 pertanto risulterà:

$$V_R = 50 \times 0.7 = \mathbf{35 \text{ anni}}$$

8. AZIONI SULLE COSTRUZIONI

In accordo al § 3.1.1 delle NTC 2018 si descrivono e definiscono nel seguito i carichi caratteristici agenti sulle costruzioni. I carichi sono considerati applicati staticamente non essendo presenti condizioni che possano indurre a pensare alla necessità di considerare effetti dinamici.

8.1. Pesi propri e carichi permanente non strutturali

Per la determinazione dei pesi propri strutturali si sono assunti i valori per unità di volume riportati nella tab. 3.1.1 delle NTC 2018. In particolare si assume:

Acciaio 78.5 kN/m³

P.p. pannelli fotovoltaici 0.20 kN/m²

Sono stati considerati carichi permanenti non strutturali quelli non rimovibili durante il normale esercizio della struttura.

8.2. Carichi variabili

I carichi variabili comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera e si assumono uniformemente distribuiti. Si adottano i valori della tab. 3.1.II – *Valori dei sovraccarichi d'esercizio per le diverse categorie d'uso delle costruzioni* delle NTC 2018.

9. AZIONE SISMICA

L'azione sismica, in base alla quale è stato controllato il rispetto delle verifiche per gli stati limite considerati, è stata definita a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione.

In particolare la pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g , in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, in relazione a una determinata probabilità di superamento definita per ogni stato limite per il periodo di riferimento V_R .

9.1. Stati limite e relative probabilità di superamento

In accordo con il §7.1 – *Requisiti nei confronti degli stati limite* delle NTC 2008, in relazione alla tipologia di costruzione e alle prestazioni richieste per questa nel suo complesso, non essendo previste espresse indicazioni in merito, il rispetto dei vari stati limite si considera conseguito:

- I. nei confronti degli stati limite di esercizio, rispettando le verifiche relative al solo STATO LIMITE DI DANNO (SLD), cui corrisponde una probabilità di superamento nel periodo di riferimento pari al 63%
- II. nei confronti degli stati limite ultimi, rispettando le indicazioni costruttive e progettuali riportate nelle norme e le verifiche relative al solo STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV), cui corrisponde una probabilità di superamento nel periodo di riferimento pari al 10%.

In particolare, per le verifiche si assume che ciascuna struttura abbia un comportamento **NON DISSIPATIVO**, adottando come spettro di progetto lo spettro elastico (non introducendo alcun fattore di struttura).

Le strutture oggetto di analisi sono individuabili, sul territorio nazionale, mediante le coordinate seguenti:

Cellino san Marco	LAT. 40°479030 N	LON. 17.886594 E
Brindisi	LAT. 40°495464 N	LON. 17.876761 E

In relazione agli stati limite considerati e alla posizione dell'opera, con riferimento alle *tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica - Allegato B* nelle NTC 2008, si riportano i valori di analisi:

	TR	ag/g	FO	TC*	CC	Ss	Pga (ag/g*S)
SLO	21	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
SLD	35	0.016	2.33	0.18	1.55	1.20	0.019
SLV	332	0.043	2.49	0.43	1.30	1.20	0.052
SLC	682	0.053	2.57	0.49	1.27	1.20	0.064

9.2. Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche

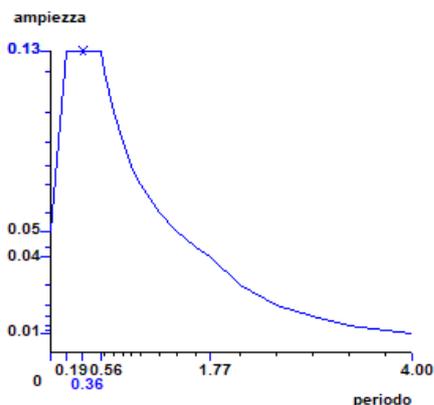
In attesa di una puntuale relazione geologica, l'effetto della risposta sismica locale è stato desunto da studi geologici tipici delle aree di intervento. Si è assunto un terreno **tipo B**, ovvero *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti [...]*.

Ai fini dell'analisi pertanto si sono utilizzati i coefficienti di amplificazione stratigrafica **Ss** e **Cc** così come definiti nella Tabella 3.2.IV – *Espressioni di Ss e Cc* delle NTC 2018.

Le strutture saranno realizzate su superficie pianeggiante e comunque con pendenza media inferiore a 15°, ovvero di categoria topografica **T1**, consentendo l'adozione di un coefficiente di amplificazione topografico **S_T** pari a **1.0**.

9.3. Definizione dello spettro di risposta orizzontale

L'azione sismica orizzontale è stata convenzionalmente suddivisa nelle due direzioni principali X e Y caratterizzate dallo stesso spettro di risposta.



La definizione delle forme spettrali è stata eseguita in riferimento al § 3.2.3.2.1 – *Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali delle NTC 2018* utilizzando le espressioni seguenti:

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \times S \times \eta \times F_0 \times [T/T_B + 1/(\eta \times F_0) \times (1-T/T_B)]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \times S \times \eta \times F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \times S \times \eta \times F_0 \times (T_C/T)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \times S \times \eta \times F_0 \times (T_C \times T_D/T^2)$$

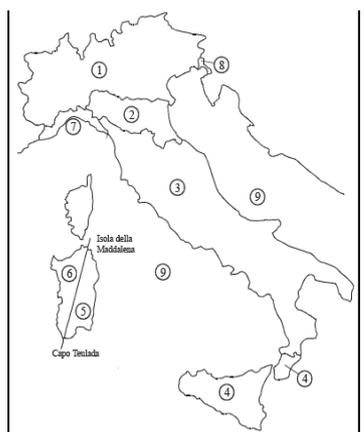
9.4. Definizione dello spettro di risposta verticale

In accordo con quanto previsto al § 7.2.2 – *Criteri generali di progettazione dei sistemi strutturali* delle NTC 2018, ai fini delle verifiche degli elementi strutturali si trascura la presenza della componente verticale dell'azione sismica non risultando verificata nessuna delle condizioni di seguito riportate:

1. Presenza di elementi pressoché orizzontali con luce superiore a 20.0 m,
2. Presenza di elementi precompressi (con l'esclusione di solai di luce inferiore a 8.0 m),
3. Presenza di elementi a mensola di luce superiore a 4.0 m,
4. Presenza di struttura di tipo spingente,
5. Presenza di pilastri in falso,
6. Edifici con piani sospesi,
7. Costruzioni con isolamento.

10. AZIONE DEL VENTO

Regione	Puglia
Altitudine	70 m slm
Zona	3
a_0	500 m
V_{b0}	27 m/s
C_r	1.00
Classe di rugosità	D
K_c	0.37
V_b	27.0 m/s
V_r	27.0 m/s



a) Mare e relativa fascia costiera; b) Lago (con larghezza max pari a 1km e relativa fascia costiera); c) Aree prive di ostacoli

Il vento esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando in generale effetti dinamici.

Per le costruzioni usuali tali azioni possono essere convenzionalmente ricondotte alle azioni statiche equivalenti come definito al § 3.3.3 delle NTC 2018.

La velocità di riferimento del vento è espressa con il suo valore caratteristico a 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II, per un periodo di ritorno di 50 anni.

Le strutture analizzate si trovano nella regione **Puglia**, appartenente alla **ZONA 3** a una altitudine di circa **75 m s.l.m.** in un'area **priva di ostacoli** classificabile con **classe di rugosità D**.

I parametri per la determinazione della velocità di riferimento al suolo sono sintetizzati accanto.

La pressione del vento, secondo il § 3.3.4 – *Pressione del vento* delle NTC 2018 si valuta come:

$$p = q_r \times c_e \times c_p \times c_d$$

dove:

- q_r Pressione cinetica di riferimento (§ 3.3.6 delle NTC 2018);
- c_e Coefficiente di esposizione (§ 3.3.7 delle NTC 2018);
- c_p Coefficiente aerodinamico funzione della tipologia e della geometria della costruzione;
- c_d Coefficiente dinamico per tener conto della non contemporaneità delle massime pressioni locali e delle amplificazioni dovute alle vibrazioni strutturali.

I precedenti coefficienti sono stati determinati in relazione alle caratteristiche della costruzione e del sito sul quale la stessa sarà realizzata. I valori ottenuti sono sintetizzati nel prospetto seguente:

q_r	456.3 N/m²	Pressione cinetica di riferimento
C_e	1.80	Coefficiente di esposizione
	II	Categoria di esposizione
C_d	1.00	Coefficiente dinamico
δ	1.25	Densità convenzionale dell'aria
K_r	0.19	
z_0	0.05 m	
z_{min}	4.00 m	
C_t	1.00	Coefficiente topografico

La pressione del vento ottenuta è pertanto pari a: **$p = 822 \text{ N/m}^2$**

In virtù della geometria della costruzione e nello specifico dell'inclinazione delle falde di copertura, il coefficiente aerodinamico si assume **cautelativamente** pari a -0.4, ovvero in copertura si ha una depressione pari a - **329 N/m²**. Si trascura l'effetto dell'azione tangenziale del vento.

11. AZIONE DELLA NEVE

Il carico provocato dalla neve sulla copertura è stato valutato in accordo al § 3.4.1 – *Carico neve sulle coperture* delle NTC 2018 mediante la relazione seguente:

$$q_s = \mu_i \times q_{sk} \times C_E \times C_t$$

dove:

- μ_i Coefficiente di forma della copertura valutato secondo il § 3.4.3 delle NTC 2018;
- q_{sk} Valore caratteristico del carico neve al suolo secondo il § 3.4.2 delle NTC 2018;
- C_E Coefficiente di esposizione valutato secondo il § 3.4.4 delle NTC 2018;
- C_t Coefficiente termico valutato secondo il § 3.4.5 delle NTC 2018.

Le strutture si trovano in provincia di **BRINDISI**, appartenente alla **ZONA III** a una altitudine di **75 m s.l.m.** in una area **normalmente battuta dai venti, privo di parapetto esterno** con configurazione assimilabile a una copertura **a singola falda**.

I coefficienti di cui in precedenza sono riassunti nel prospetto seguente:

Provincia	Brindisi
Altitudine	75 m slm
Topografia	Normale
Parapetto	Assente
<hr/>	
ZONA	III
<hr/>	
q_{sk}	0.6 kN/m²
C_E	1.00
C_T	1.00
i	0.80

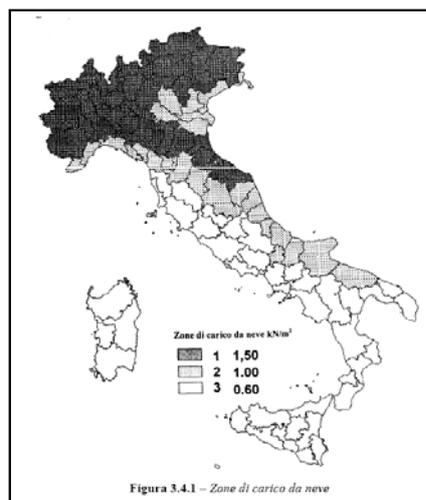


Figura 3.4.1 – Zone di carico da neve

In virtù della tipologia di copertura da realizzare adottando un coefficiente di forma pari a 0.8, il carico agente in copertura provocato dalla neve sarà:

$$q_s = 0.48 \text{ kN/m}^2$$

12. COMBINAZIONE DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite sono state considerate le combinazioni delle azioni come definite al § 2.5.3 – *Combinazione delle azioni* delle NTC 2018 adottando i coefficienti parziali di sicurezza γ_{Gi} e γ_{Qi} forniti dalla normativa nella tabella 2.6.I e i coefficienti di combinazione Ψ definiti nella tabella 2.5.I.

Nel seguito si riportano le espressioni delle combinazioni riportate dalla normativa:

Combinazione fondamentale impiegata allo S.L.U.

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \psi_{02} \cdot \gamma_{Q2} \cdot Q_{k2} + \dots + \psi_{0i} \cdot \gamma_{Gi} \cdot Q_{ki} + \dots$$

I coefficienti γ_{G1} , γ_{G2} e γ_Q sono stati assunti in accordo con quanto previsto nella tabella 2.6.I – *Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche allo S.L.U.* delle NTC 2018.

Combinazione rara allo S.L.E. irreversibile

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \dots + \psi_{0i} \cdot Q_{ki} + \dots$$

Combinazione frequente allo S.L.E. reversibile

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots + \psi_{2i} \cdot Q_{ki} + \dots$$

Combinazione quasi permanente allo S.L.E. effetti lunga durata

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots + \psi_{2i} \cdot Q_{ki} + \dots$$

In presenza di sisma, nelle verifiche agli SLU e SLE, la combinazione di carico da considerare è:

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$$

Valutando l'azione sismica E tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$$

13. MATERIALI UTILIZZATI E RESISTENZE DI CALCOLO

Le strutture oggetto di analisi saranno realizzate con acciai di uso generale laminati a caldo e pressopiegati sagomati a freddo. Le caratteristiche meccaniche degli stessi saranno conformi con quanto previsto al § 4.2.1 – *Materiali* delle NTC 2018. Nello specifico, tutte le strutture saranno realizzate in acciaio da carpenteria S235 le cui caratteristiche meccaniche e deformative sono riportate al § 11.4.3.1 delle NTC 2018:

S235	t < 40mm	f_{yk}	235 N/mm²	f_{tk}	360 N/mm²
-------------	--------------------	-----------------------	-----------------------------	-----------------------	-----------------------------

I procedimenti di saldatura e i materiali di apporto saranno conformi ai requisiti di cui al § 11.3.4.5 – *Processi di saldatura* delle NTC 2018. I materiali di apporto avranno caratteristiche meccaniche migliori delle corrispondenti caratteristiche delle parti collegate. I bulloni utilizzati nelle unioni bullonate saranno di **classe 8.8** e conformi con quanto previsto al § 11.3.4.6 – *Bulloni e Chiodi* delle NTC 2018.

14. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E METODOLOGIE DI CALCOLO

La caratterizzazione geotecnica del sito di fondazione è stata effettuata sulla scorta dei risultati riportati nella relazione geologica tipo consultata. Ai fini della determinazione delle sollecitazioni agenti sulle strutture di fondazione, sono state definite due combinazioni di carico statiche geotecniche denominate A1 e A2 in accordo con quanto previsto al § 6.2.4.1.1 – *Azioni* delle NTC 2018. Inoltre è stata condotta la verifica sismica così come prevista al § 7.11.1 – *Requisiti nei confronti degli stati limite* delle NTC 2018 ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e impiegando i parametri geotecnici e le resistenze di progetto così come definite al capitolo 6 delle NTC 2018. È evidente che in tale ipotesi le combinazioni sismiche A1 e A2 coincidono avendo assunti unitari i coefficienti di amplificazione dei carichi e conseguentemente la condizione più gravosa sarà data dall'adozione dei coefficienti parziali sui materiali M2. I parametri di resistenza del terreno sono stati determinati in maniera analitica con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, adottando i coefficienti parziali sui materiali definiti al § 6.2.4.1.2 – *Resistenze* delle NTC 2018.

15. ANALISI STRUTTURALE

Il metodo di analisi adottato è coerente con le ipotesi di progetto. L'analisi è stata basata su modelli strutturali appropriati a seconda dello stato limite considerato riproducendo il comportamento globale della struttura e quello locale delle sezioni adottate, degli elementi strutturali e dei collegamenti. Le sezioni in acciaio utilizzate sono state classificate secondo quanto previsto al § 4.2.3.1 – *Classificazione delle sezioni* delle NTC 2018 cercando di utilizzare, quando possibile, sezioni compatte di classe 1 e/o 2. Quando tale condizione non è stata rispettata, ovvero nel caso di sezioni di classe 4 si è valutato l'effetto dei fenomeni di instabilità locale adottando il metodo della sezione efficace.

15.1. Capacità resistente delle sezioni

La capacità resistente delle sezioni è stata valutata in accordo al § 4.2.3.2 – *Capacità resistente delle sezioni* delle NTC 2018 utilizzando il *Metodo elastico* (E), ovvero assumendo un comportamento elastico lineare del materiale fino allo snervamento per le sezioni di classe 4 (arcarecci), e il *Metodo plastico* (P) assumendo la completa plasticizzazione delle sezioni per le sezioni compatte (Pilastri e travi).

15.2. Analisi globale e metodologia adottata

L'analisi globale della struttura è stata condotta con il metodo elastico assumendo per il materiale un legame tensio-deformativo di tipo elastico lineare indefinito. L'effetto delle deformazioni sull'entità delle sollecitazioni è stato ritenuto trascurabile pertanto l'analisi è stata condotta con una teoria del I ordine imponendo l'equilibrio sulla configurazione iniziale indeformata della struttura.

In virtù delle caratteristiche geometriche della struttura progettata, essendo questa regolare in altezza, si è optato per l'esecuzione di una **Analisi Statica Lineare**. In accordo con il § 7.3.3.2 – *Analisi lineare statica* delle NTC 2018, è possibile eseguire tale tipologia di analisi in quanto l'altezza della costruzione non supera i 40.0 m ed essendo il periodo T_1 inferiore a $2.5 T_C$ o T_D . Il periodo T_1 è stato valutato per la costruzione nelle due direzioni pari a:

Periodo proprio T_1 in direzione X	0.213 s	Periodo proprio T_1 in direzione Y	0.055 s
$2.5 T_C = 2.5 \times 0.560 =$	1.400 s	$T_D =$	1.772 s

L'analisi è stata condotta valutando l'entità delle forze statiche equivalenti dall'ordinata dello spettro di progetto (spettro elastico) corrispondente al periodo T_1 e distribuendo le stesse sulla struttura seguendo la forma del primo modo di vibrazione. La forza applicata a ciascuna massa risulta:

$$F_i = \left(S_d(T_1) \cdot W \cdot \frac{\lambda}{g} \right) \cdot \frac{z_i \cdot w_i}{\sum_j z_j \cdot w_j}$$

Con il significato dei vari termini riportato al § 7.3.3.2 delle NTC 2018. Il calcolo degli effetti dell'azione sismica è stato eseguito con riferimento alla struttura spaziale, tenendo cioè conto degli elementi interagenti fra loro secondo l'effettiva realizzazione escludendo i tamponamenti. Non ci sono approssimazioni su tetti inclinati, piani sfalsati o scale, solette, pareti irrigidenti e nuclei. Si è tenuto conto delle deformabilità assiali, taglianti e flessionali degli elementi monodimensionali; pareti, setti, solette sono stati correttamente schematizzati tramite elementi finiti a tre/quattro nodi con comportamento sia a piastra che a lastra. Sono stati considerati sei gradi di libertà per nodo; in ogni nodo della struttura sono state applicate le forze sismiche derivanti dalle masse circostanti. Le sollecitazioni derivanti da tali forze sono state poi combinate con quelle derivanti dagli altri carichi come prima specificato.

La risposta sismica della struttura è stata valutata separatamente per le due direzioni principali X e Y.

Gli effetti sulla struttura in termini di sollecitazioni, deformazioni e spostamenti sono stati combinati successivamente secondo quanto previsto al § 7.3.5 – *Risposta alle diverse componenti dell'azione sismica ed alla variabilità spaziale del moto* delle NTC 2018. Secondo l'espressione seguente:

$$1.00 E_X + 0.3 E_Y + 0.3 E_Z$$

Ruotando i coefficienti moltiplicativi si è individuata la condizione che fornisce gli effetti più gravosi per la struttura. La componente verticale è stata sempre trascurata come indicato in precedenza. Nel caso specifico, data la regolarità in pianta della struttura e in considerazione delle condizioni di simmetria è possibile ridurre il numero di combinazioni sismiche considerando esclusivamente le seguenti:

$$1.00 E_X + 0.30 E_Y \qquad 0.30 E_X + 1.00 E_Y$$

16. VERIFICHE

16.1. Stato limite ultimo

Le resistenze di calcolo delle membrature sono state valutate in accordo con quanto previsto al § 4.2.4 – *Verifiche* delle NTC 2018 adottando i coefficienti di sicurezza definiti nella tabella 4.2.VII.

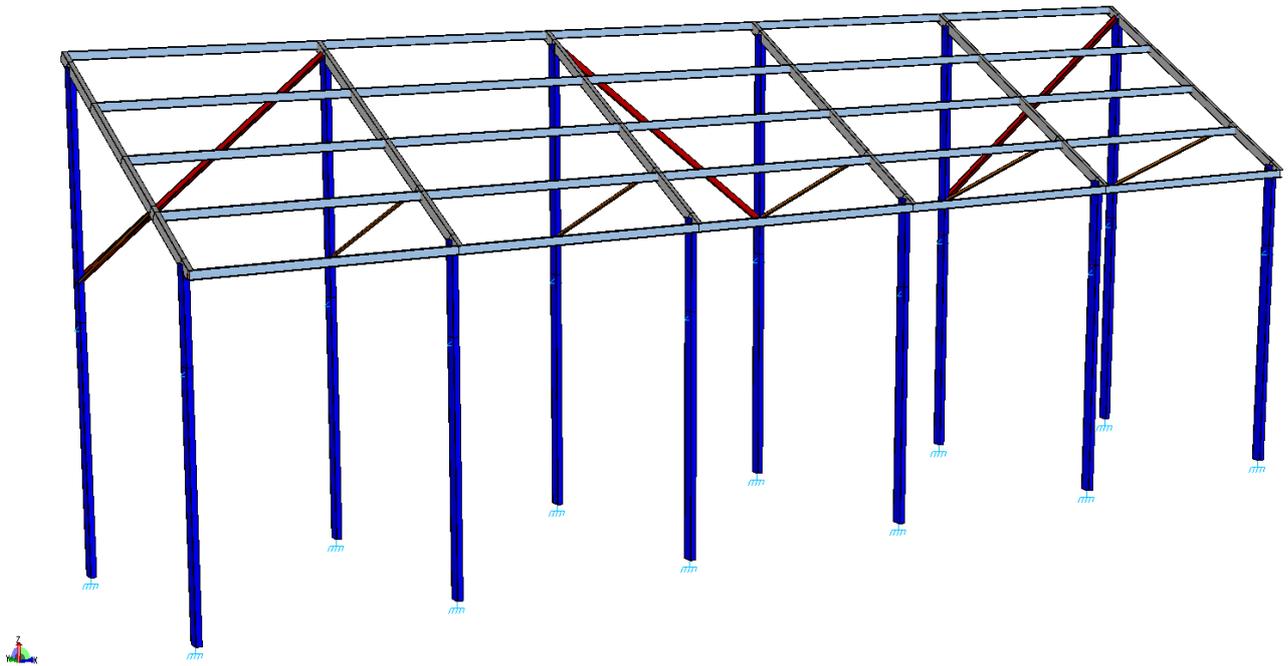
Nel calcolo del momento flettente resistente sono stati considerati gli effetti dello sforzo assiale e del taglio riducendo le resistenze.

Gli effetti dell'instabilità sono stati considerati in accordo con il § 4.2.4.1.3 – *Stabilità delle membrature* delle NTC 2018.

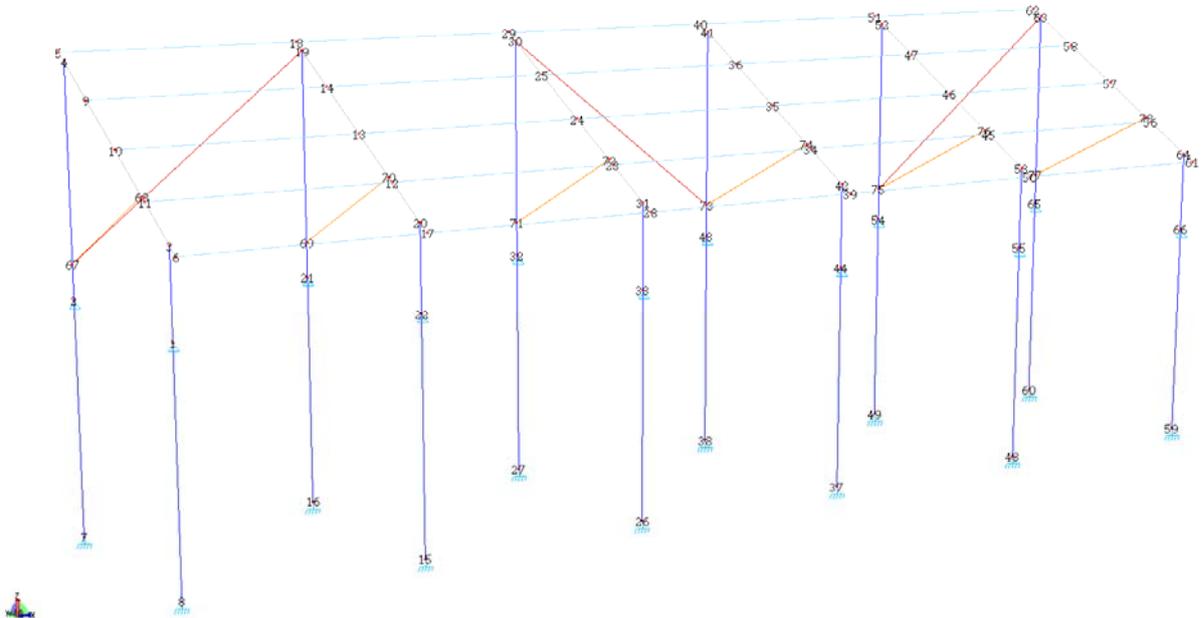
La snellezza delle membrature è stata limitata al valore 200 per le membrature principali e 250 per le membrature secondarie.

17. ANALISI STRUTTURALE

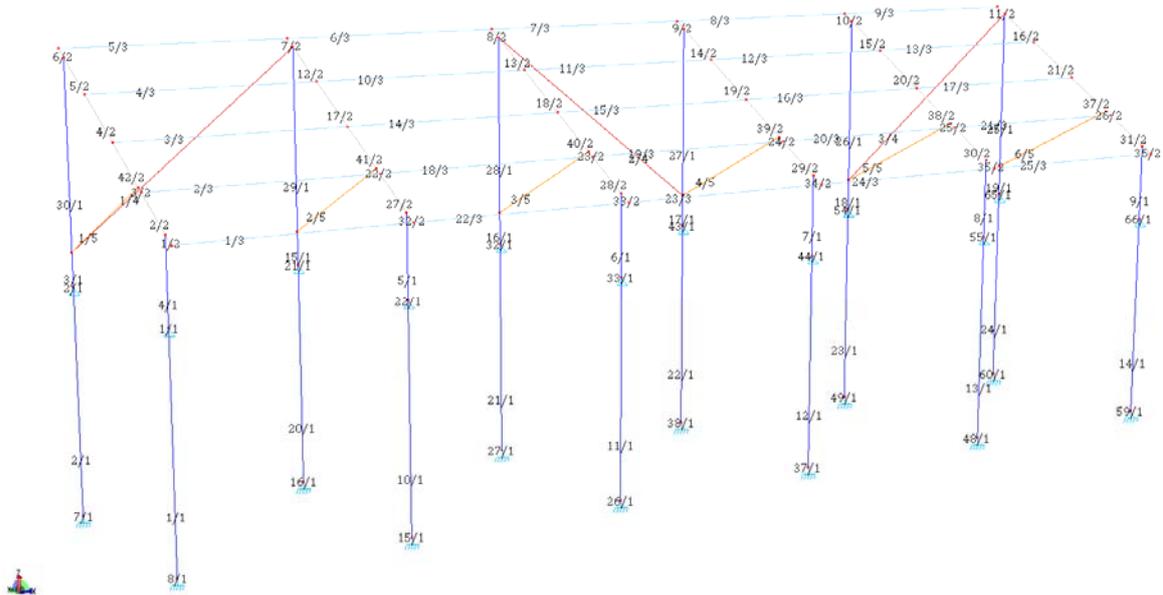
Il modello adottato riproduce fedelmente la geometria delle strutture. Il modello è tridimensionale ed è composto di elementi monodimensionali che schematizzano le travi, i montanti e gli elementi diagonali. Nel modello di calcolo adottato l'intera struttura è ipotizzata come avente comportamento elastico lineare.



17.1. Numerazione nodi



17.2. Numerazione elementi



18. MODELLAZIONE

18.1. Intestazioni e dati caratteristici della struttura

Nome dell'archivio di lavoro	Calcolo
Intestazione del lavoro	Calcolo struttura metallica
Tipo di struttura	Nello Spazio
Tipo di analisi	Statica sismica equivalente
Tipo di soluzione	Lineare
Unita' di misura delle forze	kg
Unita' di misura delle lunghezze	cm
Normativa	NTC-2018

18.2. Parametri normativa

Vita nominale costruzione	50 anni
Classe d'uso costruzione	I
Vita di riferimento	35 anni
Luogo	Cellino San Marco - 72020, Puglia, Italia
Longitudine (WGS84)	17.8865
Latitudine (WGS84)	40.479
Categoria del suolo	B
Coefficiente topografico	1

18.3. Parametri sismici

	TR	ag/g	FO	TC*	CC	Ss	Pga (ag/g*S)
SLO	21	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
SLD	35	0.016	2.33	0.18	1.55	1.20	0.019
SLV	332	0.043	2.49	0.43	1.30	1.20	0.052
SLC	682	0.053	2.57	0.49	1.27	1.20	0.064

18.4. Dati spettro

Eccentricita' accidentale	0%
Periodo proprio T1 in direzione X	0.213
Periodo proprio T1 in direzione Y	0.055
λ	1
Coefficiente di smorzamento	5%
Sd (T1) in direzione X	0.128 g
Sd (T1) in direzione Y	0.074 g
Coeff.globale accelerazione sismica direz.X	0.128
Coeff.globale accelerazione sismica direz.Y	0.074

18.1. Materiali

Codice	Descrizione	Mod. elast.	Coef. Poisson	Peso unit.	Dil. term.	Aliq. inerz.	Rigid. taglio	Rigid. fless.
1	Acciaio	+2.10e+06	0.300	0.00785	+1.20e-05	1.000	+1.00e+00	+1.00e+00

18.2. Sezioni strutturali

SEZIONI A PROFILO SEMPLICE

Codice	Codice sezione	Asse Y capovolto
4	L 70X 7	
5	L 50X 5	

PROFILI A FREDDO

Codice	Codice famiglia	Codice profilo	Asse Y capovolto
1	U	140x 70x 3.0	Si
2	U	120x 60x 3.0	No
3	OMEGA	100x 50x30x 3.0	No

18.3. Carichi per elementi trave, trave di fondazione e reticolare

Carico distribuito con riferimento globale X

Descrizione	Cod.	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Val. iniz.	Dist. iniz. nodo I	Val. finale	Dist.fin. nodo I	Aliq.inerz.	Aliq.inerz. SLD
Vento direzione X	5	Condizione 2	Variabile: Vento	0.008220	0.000	0.008220	0.000	0.0000	0.0000

Carico distribuito con riferimento globale Y

Descrizione	Cod.	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Val. iniz.	Dist. iniz. nodo I	Val. finale	Dist.fin. nodo I	Aliq.inerz.	Aliq.inerz. SLD
Vento direzione Y	6	Condizione 2	Variabile: Vento	0.008220	0.000	0.008220	0.000	0.0000	0.0000

Carico distribuito con riferimento globale Z

Descrizione	Cod.	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Val. iniz.	Dist. iniz. nodo I	Val. finale	Dist.fin. nodo I	Aliq.inerz.	Aliq.inerz. SLD
Neve Zona III - 70 m	2	Condizione 1	Variabile: Neve	-0.004800	0.000	-0.004800	0.000	0.0000	0.0000

Carico distribuito con riferimento locale y

Descrizione	Cod.	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Val. iniz.	Dist. iniz. nodo I	Val. finale	Dist.fin. nodo I	Aliq.inerz.	Aliq.inerz. SLD
Copertura sopravvento	3	Condizione 2	Variabile: Vento	-0.003290	0.000	-0.003290	0.000	0.0000	0.0000
Copertura sottovento	4	Condizione 2	Variabile: Vento	-0.003290	0.000	-0.003290	0.000	0.0000	0.0000

Carico distribuito con riferimento globale Z, agente sulla lunghezza reale

Descrizione	Cod.	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Val. iniz.	Dist. iniz. nodo I	Val. finale	Dist.fin. nodo I	Aliq.inerz.	Aliq.inerz. SLD
Peso proprio pannelli fotovoltaici	1	Condizione peso proprio	Permanente: Peso Proprio	-0.001500	0.000	-0.001500	0.000	1.0000	1.0000

18.4. Gruppi della struttura

ELEMENTO FINITO: TRAVE

Numero gruppo	Descrizione gruppo
1	Colonne
2	Trave
3	Arcarecci
4	Controventi
5	Puntone

ELEMENTO FINITO: VINCOLO

Numero gruppo	Descrizione gruppo
1	Vincoli

18.5. Nodi

Nodo	Coord. X	Coord. Y	Coord. Z	Temper.	uX	uY	uZ	rX	rY	rZ
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0
2	0.000	310.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0
3	0.000	0.000	110.000	0.000	0	0	0	0	0	0
4	0.000	310.000	290.000	0.000	0	0	0	0	0	0
5	0.000	327.296	300.043	0.000	0	0	0	0	0	0
6	0.000	-17.296	99.957	0.000	0	0	0	0	0	0
7	0.000	310.000	-300.000	0.000	0	0	0	0	0	0
8	0.000	0.000	-300.000	0.000	0	0	0	0	0	0
9	0.000	241.148	250.021	0.000	0	0	0	0	0	0
10	0.000	155.000	200.000	0.000	0	0	0	0	0	0
11	0.000	68.852	149.979	0.000	0	0	0	0	0	0
12	310.000	68.852	149.979	0.000	0	0	0	0	0	0
13	310.000	155.000	200.000	0.000	0	0	0	0	0	0
14	310.000	241.148	250.021	0.000	0	0	0	0	0	0
15	310.000	0.000	-300.000	0.000	0	0	0	0	0	0
16	310.000	310.000	-300.000	0.000	0	0	0	0	0	0
17	310.000	-17.296	99.957	0.000	0	0	0	0	0	0
18	310.000	327.296	300.043	0.000	0	0	0	0	0	0
19	310.000	310.000	290.000	0.000	0	0	0	0	0	0
20	310.000	0.000	110.000	0.000	0	0	0	0	0	0
21	310.000	310.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0
22	310.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0
23	620.000	68.852	149.979	0.000	0	0	0	0	0	0
24	620.000	155.000	200.000	0.000	0	0	0	0	0	0
25	620.000	241.148	250.021	0.000	0	0	0	0	0	0
26	620.000	0.000	-300.000	0.000	0	0	0	0	0	0
27	620.000	310.000	-300.000	0.000	0	0	0	0	0	0
28	620.000	-17.296	99.957	0.000	0	0	0	0	0	0
29	620.000	327.296	300.043	0.000	0	0	0	0	0	0
30	620.000	310.000	290.000	0.000	0	0	0	0	0	0
31	620.000	0.000	110.000	0.000	0	0	0	0	0	0
32	620.000	310.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0
33	620.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0
34	930.000	68.852	149.979	0.000	0	0	0	0	0	0
35	930.000	155.000	200.000	0.000	0	0	0	0	0	0
36	930.000	241.148	250.021	0.000	0	0	0	0	0	0
37	930.000	0.000	-300.000	0.000	0	0	0	0	0	0
38	930.000	310.000	-300.000	0.000	0	0	0	0	0	0
39	930.000	-17.296	99.957	0.000	0	0	0	0	0	0
40	930.000	327.296	300.043	0.000	0	0	0	0	0	0
41	930.000	310.000	290.000	0.000	0	0	0	0	0	0
42	930.000	0.000	110.000	0.000	0	0	0	0	0	0
43	930.000	310.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0
44	930.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0
45	1240.000	68.852	149.979	0.000	0	0	0	0	0	0
46	1240.000	155.000	200.000	0.000	0	0	0	0	0	0
47	1240.000	241.148	250.021	0.000	0	0	0	0	0	0
48	1240.000	0.000	-300.000	0.000	0	0	0	0	0	0
49	1240.000	310.000	-300.000	0.000	0	0	0	0	0	0
50	1240.000	-17.296	99.957	0.000	0	0	0	0	0	0
51	1240.000	327.296	300.043	0.000	0	0	0	0	0	0
52	1240.000	310.000	290.000	0.000	0	0	0	0	0	0
53	1240.000	0.000	110.000	0.000	0	0	0	0	0	0
54	1240.000	310.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0
55	1240.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0
56	1550.000	68.852	149.979	0.000	0	0	0	0	0	0
57	1550.000	155.000	200.000	0.000	0	0	0	0	0	0
58	1550.000	241.148	250.021	0.000	0	0	0	0	0	0
59	1550.000	0.000	-300.000	0.000	0	0	0	0	0	0
60	1550.000	310.000	-300.000	0.000	0	0	0	0	0	0
61	1550.000	-17.296	99.957	0.000	0	0	0	0	0	0
62	1550.000	327.296	300.043	0.000	0	0	0	0	0	0
63	1550.000	310.000	290.000	0.000	0	0	0	0	0	0

Nodo	Coord. X	Coord. Y	Coord. Z	Temper.	uX	uY	uZ	rX	rY	rZ
64	1550.000	0.000	110.000	0.000	0	0	0	0	0	0
65	1550.000	310.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0
66	1550.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0
67	0.000	310.000	45.000	0.000	0	0	0	0	0	0
68	0.000	77.831	155.192	0.000	0	0	0	0	0	0
69	310.000	310.000	45.000	0.000	0	0	0	0	0	0
70	310.000	77.831	155.192	0.000	0	0	0	0	0	0
71	620.000	310.000	45.000	0.000	0	0	0	0	0	0
72	620.000	77.831	155.192	0.000	0	0	0	0	0	0
73	930.000	310.000	45.000	0.000	0	0	0	0	0	0
74	930.000	77.831	155.192	0.000	0	0	0	0	0	0
75	1240.000	310.000	45.000	0.000	0	0	0	0	0	0
76	1240.000	77.831	155.192	0.000	0	0	0	0	0	0
77	1550.000	310.000	45.000	0.000	0	0	0	0	0	0
78	1550.000	77.831	155.192	0.000	0	0	0	0	0	0

Legenda: descrizione della simbologia adottata per i gradi di liberta'

Simbolo	Descrizione del Grado di Libertà'
0	libero
1	bloccato
MASTER	Master di una o piu' relazioni

18.6. Elemento finito trave – caratteristiche geometriche

GRUPPO NUMERO: 1 - DESCRIZIONE: COLONNE

Offset strutturali/Conci rigidi

Asta	Nodi			Connessioni		Mat.	Sez.
	I	J	K	Nodo I	Nodo J		
1	8	1	0	Rigida	Rigida	1	1
2	7	2	0	Rigida	Rigida	1	1
3	2	67	0	Rigida	Rigida	1	1
4	1	3	0	Rigida	Rigida	1	1
5	22	20	0	Rigida	Rigida	1	1
6	33	31	0	Rigida	Rigida	1	1
7	44	42	0	Rigida	Rigida	1	1
8	55	53	0	Rigida	Rigida	1	1
9	66	64	0	Rigida	Rigida	1	1
10	15	22	0	Rigida	Rigida	1	1
11	26	33	0	Rigida	Rigida	1	1
12	37	44	0	Rigida	Rigida	1	1
13	48	55	0	Rigida	Rigida	1	1
14	59	66	0	Rigida	Rigida	1	1
15	21	69	0	Rigida	Rigida	1	1
16	32	71	0	Rigida	Rigida	1	1
17	43	73	0	Rigida	Rigida	1	1
18	54	75	0	Rigida	Rigida	1	1
19	65	77	0	Rigida	Rigida	1	1
20	16	21	0	Rigida	Rigida	1	1
21	27	32	0	Rigida	Rigida	1	1
22	38	43	0	Rigida	Rigida	1	1
23	49	54	0	Rigida	Rigida	1	1
24	60	65	0	Rigida	Rigida	1	1
25	77	63	0	Rigida	Rigida	1	1
26	75	52	0	Rigida	Rigida	1	1
27	73	41	0	Rigida	Rigida	1	1
28	71	30	0	Rigida	Rigida	1	1
29	69	19	0	Rigida	Rigida	1	1
30	67	4	0	Rigida	Rigida	1	1

GRUPPO NUMERO: 2 - DESCRIZIONE: TRAVE

Offset strutturali/Conci rigidi

Asta	Nodi			Connessioni		Mat.	Sez.
	I	J	K	Nodo I	Nodo J		
1	6	3	0	Rigida	Rigida	1	2
2	3	11	0	Rigida	Rigida	1	2
3	11	68	0	Rigida	Rigida	1	2

Offset strutturali/Conci rigidi

Asta	Nodi			Connessioni		Mat.	Sez.
	I	J	K	Nodo I	Nodo J		
4	10	9	0	Rigida	Rigida	1	2
5	9	4	0	Rigida	Rigida	1	2
6	4	5	0	Rigida	Rigida	1	2
7	19	18	0	Rigida	Rigida	1	2
8	30	29	0	Rigida	Rigida	1	2
9	41	40	0	Rigida	Rigida	1	2
10	52	51	0	Rigida	Rigida	1	2
11	63	62	0	Rigida	Rigida	1	2
12	14	19	0	Rigida	Rigida	1	2
13	25	30	0	Rigida	Rigida	1	2
14	36	41	0	Rigida	Rigida	1	2
15	47	52	0	Rigida	Rigida	1	2
16	58	63	0	Rigida	Rigida	1	2
17	13	14	0	Rigida	Rigida	1	2
18	24	25	0	Rigida	Rigida	1	2
19	35	36	0	Rigida	Rigida	1	2
20	46	47	0	Rigida	Rigida	1	2
21	57	58	0	Rigida	Rigida	1	2
22	12	70	0	Rigida	Rigida	1	2
23	23	72	0	Rigida	Rigida	1	2
24	34	74	0	Rigida	Rigida	1	2
25	45	76	0	Rigida	Rigida	1	2
26	56	78	0	Rigida	Rigida	1	2
27	20	12	0	Rigida	Rigida	1	2
28	31	23	0	Rigida	Rigida	1	2
29	42	34	0	Rigida	Rigida	1	2
30	53	45	0	Rigida	Rigida	1	2
31	64	56	0	Rigida	Rigida	1	2
32	17	20	0	Rigida	Rigida	1	2
33	28	31	0	Rigida	Rigida	1	2
34	39	42	0	Rigida	Rigida	1	2
35	50	53	0	Rigida	Rigida	1	2
36	61	64	0	Rigida	Rigida	1	2
37	78	57	0	Rigida	Rigida	1	2
38	76	46	0	Rigida	Rigida	1	2
39	74	35	0	Rigida	Rigida	1	2
40	72	24	0	Rigida	Rigida	1	2
41	70	13	0	Rigida	Rigida	1	2
42	68	10	0	Rigida	Rigida	1	2

GRUPPO NUMERO: 3 - DESCRIZIONE: ARCARECCI

Offset strutturali/Conci rigidi

Asta	Nodi			Connessioni		Mat.	Sez.
	I	J	K	Nodo I	Nodo J		
1	6	17	0	Rigida	Rigida	1	3
2	11	12	0	Rigida	Rigida	1	3
3	10	13	0	Rigida	Rigida	1	3
4	9	14	0	Rigida	Rigida	1	3
5	5	18	0	Rigida	Rigida	1	3
6	18	29	0	Rigida	Rigida	1	3
7	29	40	0	Rigida	Rigida	1	3
8	40	51	0	Rigida	Rigida	1	3
9	51	62	0	Rigida	Rigida	1	3
10	14	25	0	Rigida	Rigida	1	3
11	25	36	0	Rigida	Rigida	1	3
12	36	47	0	Rigida	Rigida	1	3
13	47	58	0	Rigida	Rigida	1	3
14	13	24	0	Rigida	Rigida	1	3
15	24	35	0	Rigida	Rigida	1	3
16	35	46	0	Rigida	Rigida	1	3
17	46	57	0	Rigida	Rigida	1	3
18	12	23	0	Rigida	Rigida	1	3
19	23	34	0	Rigida	Rigida	1	3

Asta	Nodi		K	Connessioni		Mat.	Sez.	Offset strutturali/Conci rigidi
	I	J		Nodo I	Nodo J			
20	34	45	0	Rigida	Rigida	1	3	
21	45	56	0	Rigida	Rigida	1	3	
22	17	28	0	Rigida	Rigida	1	3	
23	28	39	0	Rigida	Rigida	1	3	
24	39	50	0	Rigida	Rigida	1	3	
25	50	61	0	Rigida	Rigida	1	3	

GRUPPO NUMERO: 4 - DESCRIZIONE: CONTROVENTI

Asta	Nodi		K	Connessioni		Mat.	Sez.	Offset strutturali/Conci rigidi
	I	J		Nodo I	Nodo J			
1	67	19	0	(1)	(1)	1	4	
2	73	30	0	(1)	(1)	1	4	
3	75	63	0	(1)	(1)	1	4	

Legenda delle connessioni

Nota	Descrizione
1	Fx=Rigida Fy=Rigida Fz=Rigida Mx=Rigida My=Svinc. Mz=Svinc.

GRUPPO NUMERO: 5 - DESCRIZIONE: PUNTONE

Asta	Nodi		K	Connessioni		Mat.	Sez.	Offset strutturali/Conci rigidi
	I	J		Nodo I	Nodo J			
1	67	68	0	(1)	(1)	1	5	
2	69	70	0	(1)	(1)	1	5	
3	71	72	0	(1)	(1)	1	5	
4	73	74	0	(1)	(1)	1	5	
5	75	76	0	(1)	(1)	1	5	
6	77	78	0	(1)	(1)	1	5	

Legenda delle connessioni

Nota	Descrizione
1	Fx=Rigida Fy=Rigida Fz=Rigida Mx=Rigida My=Svinc. Mz=Svinc.

18.7. Combinazioni di carico

**NORMATIVA: NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2018 ITALIA
COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
1	Statica (GEO A1)	Azione sismica: Sisma assente Torsione: Assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Variabile: Neve	Condizione 1	1.500
			Variabile: Vento	Condizione 2	0.900
2	Statica (GEO A2)	Azione sismica: Sisma assente Torsione: Antioraria	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 1	1.300
			Variabile: Vento	Condizione 2	0.800
3	Sisma 100%+X 30%+Y	Azione sismica: +EX+03EY Torsione: Assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 1	0.000
			Variabile: Vento	Condizione 2	0.000
4	Sisma 30%+X 100%+Y	Azione sismica: +03EX+EY Torsione: Assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 1	0.000
			Variabile: Vento	Condizione 2	0.000

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE D'ESERCIZIO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
5	Rara	Tipologia: Rara	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 1	1.000
			Variabile: Vento	Condizione 2	0.600
6	Frequente	Tipologia: Frequente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 1	0.200
			Variabile: Vento	Condizione 2	0.000
7	Quasi permanente	Tipologia: Quasi permanente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 1	0.000
			Variabile: Vento	Condizione 2	0.000

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI DANNO

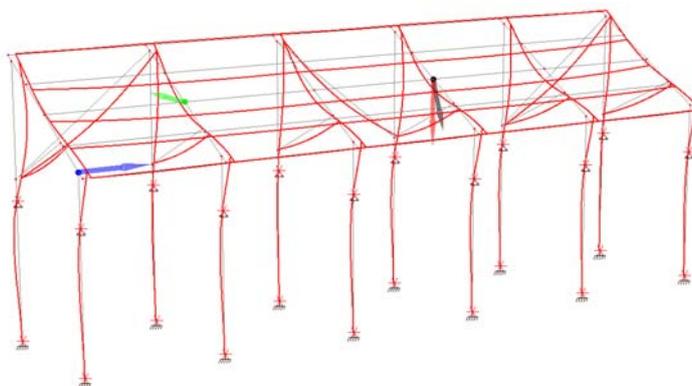
Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
8	Sisma 100%+X 30%+Y	Azione sismica: +EX+03EY Torsione: Assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 1	0.000
			Variabile: Vento	Condizione 2	0.000
9	Sisma 30%+X 100%+Y	Azione sismica: +03EX+EY Torsione: Assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 1	0.000
			Variabile: Vento	Condizione 2	0.000

19. SPOSTAMENTI MASSIMI DELLA STRUTTURA allo S.L.E. (Combinazione RARA)

La verifica viene condotta secondo il § 4.2.4.2 – *Verifiche agli stati limite di esercizio* delle N.T.C. 2018, controllando che lo spostamento verticale massimo nella combinazione di carico caratteristica (rara) sia inferiore a 1/200 della luce massima, come per le *Coperture in generale* e che lo spostamento laterale massimo sia pari a 1/150 dell'altezza massima, come per gli *Edifici industriali monopiano senza carroponete*.

MASSIME DEFORMAZIONI NODALI

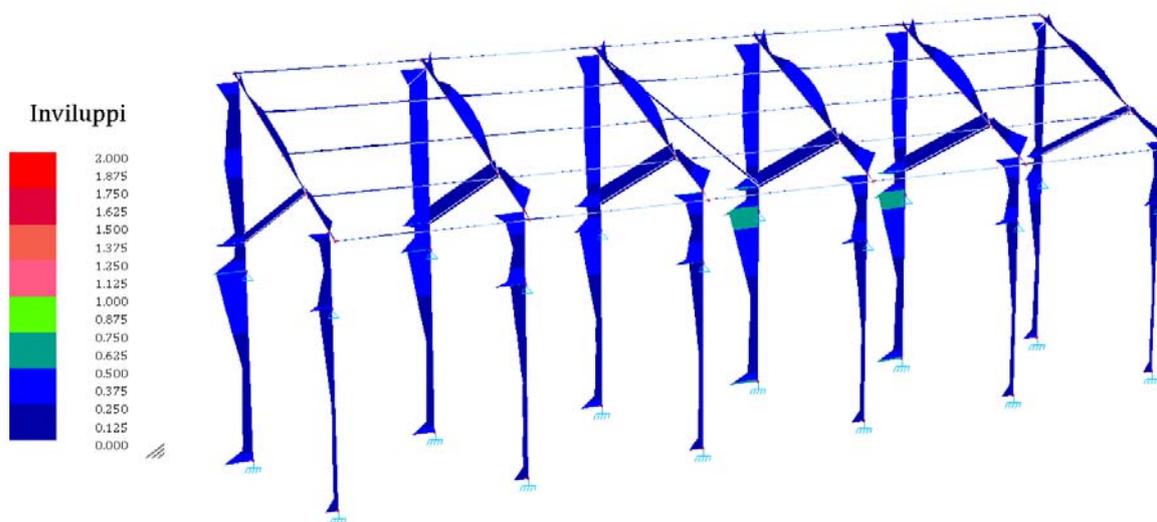
	Trasl.X	Trasl.Y	Trasl.Z	Rotaz.X	Rotaz.Y	Rotaz.Z	DLMax
Deform. nodali	+1.69e-01	+1.24e-01	-3.15e-01	+2.85e-03	+3.20e-03	-2.56e-03	+3.73e-01
Nodo	3	13	35	30	73	73	35



Il massimo spostamento verticale è pari a 0.315 cm nel nodo 35, inferiore al limite normativo di $310/200=1.55$ cm. Il massimo spostamento laterale massimo è pari a 0.169 cm nel nodo 3, inferiore al limite normativo di $290/150=1.93$ cm. **Le verifiche risultano conseguentemente soddisfatte.**

20. VERIFICA SINTETICA ELEMENTI STRUTTURALI

20.1. Indici di resistenza



CONCLUSIONI

Il calcolo preliminare e le verifiche eseguite per l'intera struttura, utilizzando il metodo semi-probabilistico agli stati limite, non ha presentato problemi di alcun tipo.

Si è constatato che le sollecitazioni sui singoli elementi portanti risultano compatibili con i valori di resistenza delle singole sezioni analizzate.

In nessun caso le sollecitazioni ottenute dall'analisi strutturale superano quelle resistenti. Non si rilevano inoltre potenziali situazioni di crisi locali. Gli spostamenti massimi subiti dalla struttura, valutate allo stato limite di esercizio, sono compatibili con i limiti normativi.

Alla luce di quanto sopra esposto si ritiene che le verifiche eseguite sono in tutti i casi soddisfatte con un buon margine di sicurezza.