

REGIONE PUGLIA
Provincia di Foggia
COMUNE DI ASCOLI SATRIANO

OGGETTO

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO
AGRO - FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI
ASCOLI SATRIANO IN LOCALITÀ FLAMIA

COMMITTENTE

**LIGHTSOURCE RENEWABLE
ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L.**

Via Giacomo Leopardi, 7 Milano (MI)
C.F./P.IVA: 11015540963

PROGETTAZIONE

Codice Commessa PHEEDRA: 20_10_PV_ASC



PHEEDRA S.r.l. Via Lago di Nemi, 90
74121 - Taranto
Tel. 099.7722302 - Fax 099.9870285
e-mail: info@pheedra.it
web: www.pheedra.it



SOUTHERNERGY S.r.l. Via del Commercio, 66
72017 - Ostuni (BR)
Tel. 0831.331594
e-mail: info@southenergy.it
web: www.southenergy.it

Dott. Ing. Angelo Micolucci

Dott. Ing. Ilario Morciano

| | | | | | |
|------|-------------|-----------------|---------|------------|-----------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 1 | Giugno 2021 | PRIMA EMISSIONE | CD | AM | VS |
| REV. | DATA | ATTIVITA' | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |

OGGETTO DELL'ELABORATO

RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE

| FORMATO | SCALA | CODICE DOCUMENTO | | | | | NOME FILE | FOGLI |
|---------|-------|------------------|-------|-----------|-------|------|--------------------|-------|
| | | SOC. | DISC. | TIPO DOC. | PROG. | REV. | | |
| A1 | | ASC | CIV | REL | 025 | 01 | ASC-CIV-REL-025_01 | |

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

SOMMARIO

| | |
|---|----|
| 1. PREMESSA | 2 |
| 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 2 |
| 3. L'IMPIANTO FOTOVOLTAICO IN PROGETTO | 3 |
| 3.1. UBICAZIONE DELLE OPERE | 4 |
| 4. QUADRO RIASSUNTIVO IMPIANTO | 4 |
| 4.1. SPECIFICHE TECNICHE DEI PANNELLI FOTOVOLTAICI | 5 |
| 4.1. SPECIFICHE TECNICHE DELLE CABINE ELETTRICHE | 6 |
| 4.2. SPECIFICHE TECNICHE DEL MAGAZZINO | 8 |
| 5. VERIFICA STRUTTURALE DEI MOVER MONOASSIALI | 9 |
| 6. VERIFICA STRUTTURALE DELLE CABINE ELETTRICHE E DEL MAGAZZINO | 11 |
| 6.1. ANALISI DEI CARICHI | 14 |
| 6.2. 6 - VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA | 15 |
| 6.2.1. 6Verifiche di regolarità | 15 |
| 6.2.2. Classe di duttilità..... | 16 |
| 6.2.3. Spettri di Progetto per S.L.U. e S.L.D. | 17 |
| 6.2.4. Metodo di Analisi | 19 |
| 6.2.5. Valutazione degli spostamenti..... | 19 |
| 6.2.6. Combinazione delle componenti dell'azione sismica | 19 |
| 6.2.7. Eccentricità accidentali | 20 |
| 6.3. AZIONI SULLA STRUTTURA | 20 |
| 6.3.1. Stato Limite di Salvaguardia della Vita..... | 21 |
| 6.3.2. Stato Limite di Danno | 22 |
| 6.3.3. Stati Limite di Esercizio | 23 |
| 6.3.4. Azione del Vento | 24 |
| 6.3.5. Azione della Neve | 27 |
| 6.3.6. Sintesi delle funzionalità generali | 30 |
| 6.3.7. Sistemi di Riferimento..... | 30 |
| 6.3.8. Modello di Calcolo | 33 |
| 6.4. PROGETTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI | 34 |
| 6.4.1. Verifiche di Resistenza | 35 |
| 7. RECINZIONE E CANCELLI D'ACCESSO | 40 |

| | | |
|--|--|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATTRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|--|---|

1. PREMESSA

La presente relazione espone gli aspetti tecnici-strutturali relativi alla progettazione di un Impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile, e la conseguente immissione dell'energia prodotta, attraverso la dedicata rete di connessione, sino alla Rete di Trasmissione Nazionale. Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto fotovoltaico composto da circa 31,035 MW da installare in agro del Comune di Ascoli Satriano (FG), in località Flamia con opere di connessione ricadenti nello stesso comune.

L'impianto è suddiviso in due aree una ad Est denominata "Ascoli 1" ed una ad Ovest denominata "Ascoli 2", rispetto alla Stazione Elettrica Terna denominata "Valle"; le aree si trovano a distanza di circa 5 km fra di loro.

L'impianto fotovoltaico sarà collegato, mediante un cavidotto in media tensione interrato, all'ampliamento della Stazione Elettrica di Terna SpA denominata "Valle", previo innalzamento della tensione a 150 kV mediante Sottostazione da realizzarsi e oggetto del presente progetto. La sottostazione elettrica sarà realizzata nelle immediate vicinanze dell'impianto, sarà condivisa con altri produttori, e conetterà l'impianto in oggetto in modalità antenna a 150 kV su uno stallo predisposto della SE, così come da preventivo di connessione di Terna SpA codice pratica n. 201800329 del 02/11/2018.

Lo stallo nella SSE sarà connesso, tramite un cavidotto interrato in alta tensione allo stallo AT della SE Valle.

Nella presente relazione si riportano i calcoli preliminari delle strutturali e richiami normativi sia per le opere di sostegno di tipo mover monoassiali e si delle cabine inverter/trafo.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La Normativa tecnica, italiana e comunitaria a cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- Legge n.1086 del 05/11/1971: "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, 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."
- Ministero delle Infrastrutture – D.M. 14/01/2008: "Nuove norme tecniche per le costruzioni"
- Circolare Ministeriale n° 617 del 02/02/2009: "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008"
- Ministero delle Infrastrutture – D.M. 17/01/2018: "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»"
- Nota CSLP n° 3187 del 21 marzo 2018
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Servizio Tecnico Centrale (Luglio 2011): "Linee guida per sistemi costruttivi a pannelli portanti basati sull'impiego di blocchi cassero e calcestruzzo debolmente armato gettato in opera"
- CNR 10025/98: "Istruzioni per il progetto, l'esecuzione ed il controllo delle strutture prefabbricate in calcestruzzo."

| | | |
|---|--|----------------|
| PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 – Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 – Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it – web: www.pheedra.it | RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE | Pagina 2 di 40 |
|---|--|----------------|

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

- CNR 10025/84: "Istruzioni per il progetto, l'esecuzione ed il controllo delle strutture prefabbricate in conglomerato cementizio e per le strutture costruite con sistemi industrializzati."
- Certificati di prova relativi alla caratterizzazione sperimentale del sistema costruttivo impiegato.
- Eurocodice 2 (Costruzioni in calcestruzzo)
- Eurocodice 3 (Costruzioni in acciaio)

3. L'IMPIANTO FOTOVOLTAICO IN PROGETTO

Il progetto prevede l'installazione di n. 53.508 pannelli fotovoltaici di potenza nominale unitaria pari a 580 W, per una capacità complessiva di circa 31,035 MW..

I pannelli fotovoltaici saranno installati su strutture di sostegno di tipo mover monoassiali. La configurazione d'impianto prevede strutture del tipo a singola fila di pannelli, con sostegno di tipo a pali infissi, così come si evince dagli elaborati grafici di progetto. Per tale progetto si sono prese in considerazione strutture tracker tipo Axone 4.0 (o similari) che garantiscono un range di rotazione est/ovest di +/- 55°, oltre ad una copertura ottimale dell'area d'intervento grazie alla loro modularità.

Lo sfruttamento dell'energia del sole è una fonte naturalmente priva di emissioni: la conversione in elettricità avviene infatti senza alcun rilascio di sostanze nell'atmosfera.

I pannelli fotovoltaici presi in considerazione per il progetto sono di tipo ad alta efficienza, bifacciali permettendo l'utilizzo anche dell'energia solare riflessa dalla parte posteriore del modulo, che nei pannelli standard non viene utilizzata. Questo permette di sfruttare al massimo l'irraggiamento del sole, massimizzando così anche la potenza in uscita. Il modello preso in considerazione per tale progetto è il TR Bifaccial da 580 Wp della Jinko Solar (o similare).

Il generatore presenta una potenza nominale pari a circa 35,035 MWp, intesa come somma delle potenze di targa o nominali di ciascun modulo misurata in condizioni standard (STC: Standard Test Condition), le quali prevedono un irraggiamento pari a 1000 W/m² con distribuzione dello spettro solare di riferimento di AM=1,5 e temperatura delle celle di 25°C, secondo norme CEI EN 904/1-2-3. Il generatore fotovoltaico risulta composto da 53.508 moduli fotovoltaici di tipo ad alta efficienza bifacciali. I moduli verranno collegati in stringhe collegate agli inverter previsti in base ad una logica di frazionamento della potenza totale su più componenti.

Gli inverter previsti sono in numero di 11 e saranno in grado di gestire ogni ingresso con un distinto inseguitore MPP. Ogni stringa sarà realizzata collegando in serie 26 moduli in modo da ottenere la tensione e la corrente ottimale all'ingresso di ciascuno degli inverter previsti.

Il generatore fotovoltaico sarà suddiviso su **128** quadri di parallelo, secondo gli schemi riportati negli elaborati grafici allegati; le stringhe di ciascun sottocampo saranno attestate in numero di 12/14 su un proprio quadro di parallelo (per il sezionamento delle stringhe, la protezione da sovratensione e da correnti di ricircolo) prevedendo l'impiego di idonei scaricatori, tra ciascuna polarità e la terra. Tutte le connessioni esterne, realizzate con connettori unipolari per la sezione c.c., dovranno presentare un grado di protezione non inferiore a IP65.

| | | |
|---|--|----------------|
| PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 – Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 – Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it – web: www.pheedra.it | RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE | Pagina 3 di 40 |
|---|--|----------------|

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

L'inverter prende come tensione di riferimento quella della rete elettrica alla quale è collegato: pertanto non è in grado di erogare energia sulla rete qualora in questa non vi sia tensione.

I convertitori statici saranno posizionati al coperto all'interno di cabine elettriche, mentre i quadri di parallelo saranno fissati all'esterno alle strutture di sostegno.

3.1. UBICAZIONE DELLE OPERE

L'area d'impianto è servita dalla viabilità esistente costituita da strade statali, provinciali, comunali e da strade interpoderali e sterrate.

L'area oggetto dell'intervento è un terreno agricolo sito in agro di Ascoli Satriano di circa 45 ha censito nel N.C.T. come segue:

- foglio di mappa n. 95 particelle nn. 269, 253, 106, 107, 65, 66, 49, 50.
- foglio di mappa n. 97 particelle nn. 162, 163, 164, 165, 166, 171, 172, 203, 205, 207.

Il tracciato del cavidotto (interno ed esterno) attraversa il territorio dell'agro di Ascoli Satriano interessando le strade provinciali n. 89 e 97 e aree censite dal N.C.T. come segue:

- foglio di mappa n. 94 particelle n. 116, 120
- foglio di mappa n. 95 particelle n. 88
- foglio di mappa n. 97 particelle n. 19, 20, 191, 193, 194, 203, 204, 214, 263.

La sottostazione di trasformazione sarà realizzata nelle immediate vicinanze dell'area impianto all'interno della particella n. 191 del foglio n. 97 del NCT del Comune di Ascoli Satriano.

4. QUADRO RIASSUNTIVO IMPIANTO

Numero totale moduli: **53.508**

Numero totale di quadri di parallelo: **128**

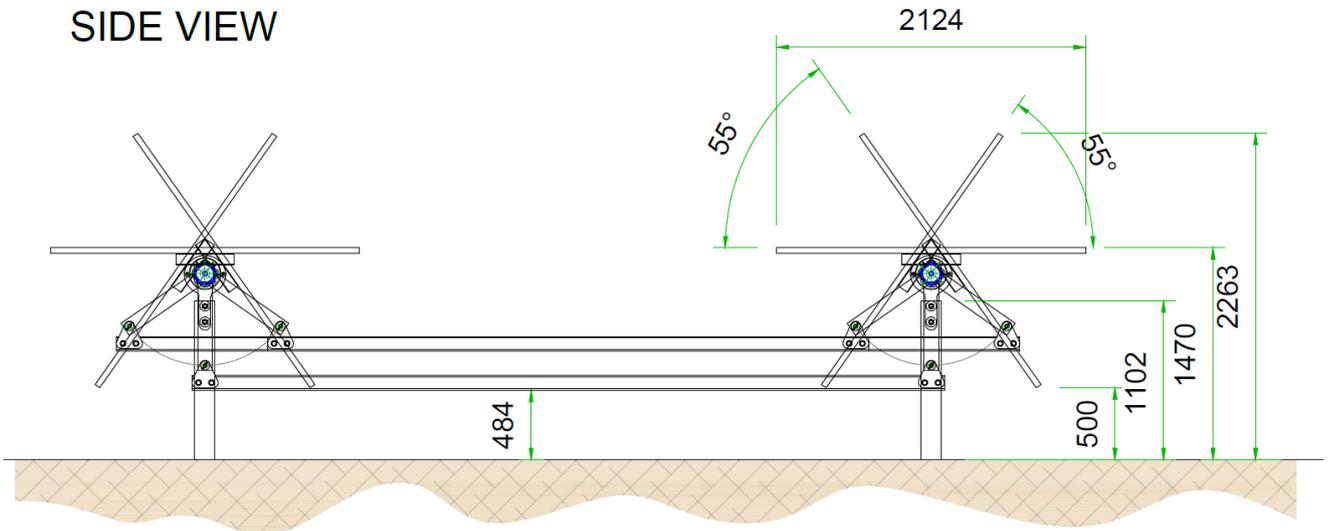
Dati caratteristici di stringa

- Numero stringhe con moduli da 580 W: **2058**
- Numero totale di moduli in serie: **26**
- Potenza di picco [kWp]: **15,08**
- Tensione nominale [V]: **1146,86**
- Tensione a circuito aperto [V]: **1386,06**
- Corrente nominale [A]: **13,15**
- Corrente di corto circuito [A]: **13,83**

| | | |
|---|--|----------------|
| PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 – Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 – Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it – web: www.pheedra.it | RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE | Pagina 4 di 40 |
|---|--|----------------|

4.1. SPECIFICHE TECNICHE DEI PANNELLI FOTOVOLTAICI

SIDE VIEW



Optimized Structural Design

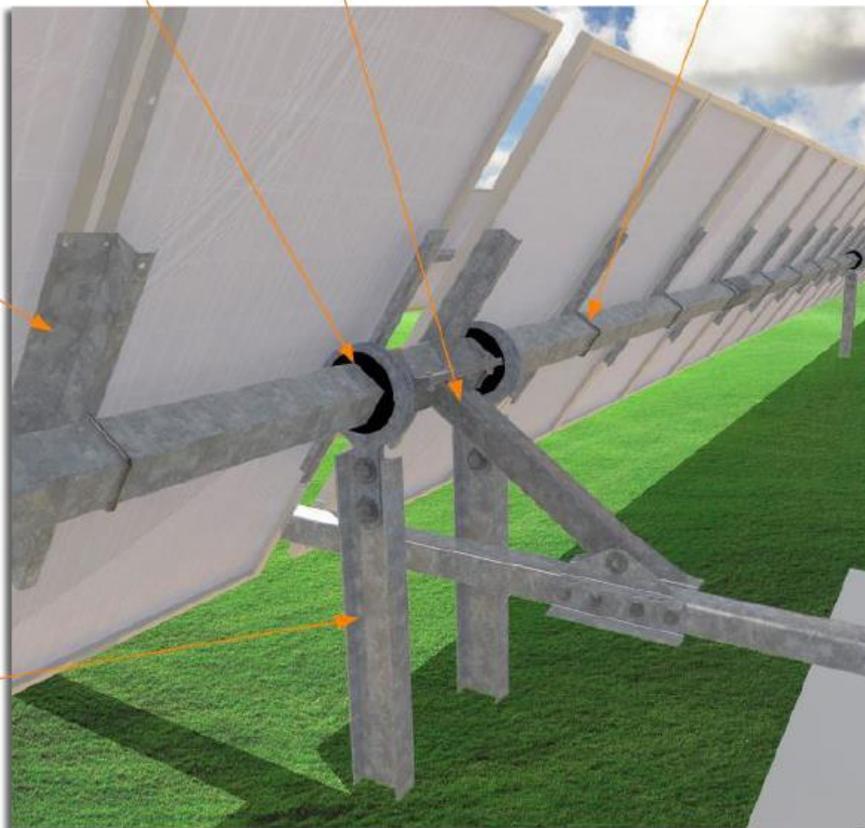
Rotating Post Heads
 Quickly installed with polymeric bearing for ultra-long life and generous construction tolerance.

Bolted Drive Arm Connections
 Eliminates the need for field welding and special inspections, and speeds installation.

U-Bolts
 Securely attaches panel rails to torue tube.

Panel Rails
 HDG steel or Magnelis, apt for direct module attachment and grounding.

Vertical Foundation Posts
 Structural HDG foundations ideal for vibropiling with superior resistance.



| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

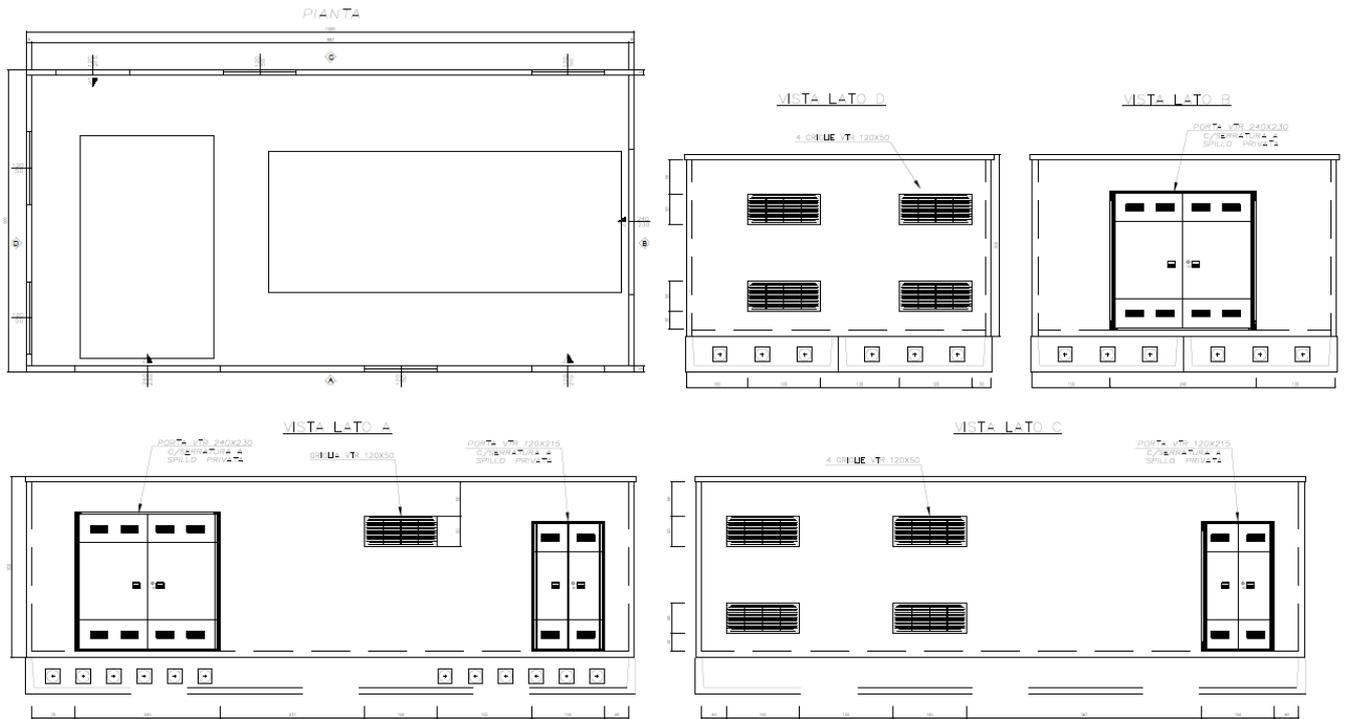
| STRUCTURAL & MECHANICAL SPECIFICATIONS | |
|---|---|
| Tracker Type | Horizontal Single-Axis with Central Driveline Architecture |
| Rotational Range | +/-55° |
| Drive Type | Gear Drive Ram Screw |
| Motor Type | Industrial AC/DC motor, up to 2.2kW (20Tn), Configurable 3-phase wireless connection and PV-Powered with battery backup |
| Motors per MWp | Actuator 2 - 3 (depending on system design) |
| Ground Cover Ratio (GCR) | 30% - 50% (configurable, depending on system design) |
| Modules Supported | Virtually all commercially available modules (adaptable for thin film) |
| Grade Tolerances | N-S: 2.2% (8% optional) E-W: 8% |
| Module Configuration | Single-module in portrait (other configurations optional) Direct mount |
| Module Attachment | to panel rail (configurable for clips) |
| Structural Materials | Hot-dipped Galvanized Steel per ASTM A123 or ISO 1461 Tailored to site |
| Allowable Wind Load | specific conditions up to 150mph 240kph Self-grounded via serrated |
| Grounding System | fixation hardware |
| Wind Protection | Viscous damper (if required) |
| 'Storm Alarm' Detection System for Sustained High Winds | Yes (time to move from +/-55o to stow, no more than 2 minutes) |
| Wind Speed Sensors | 3-cup vane anemometer |
| Solar Tracking Method | Astronomical algorithm with GPS input |
| Controller Electronics | Features Siemens PLC and VFD (single-or 3-phase), and other first-tier components. GPS time synchronization. One controller per inverter block. |
| SCADA Interface | MODBUS TCP |
| Nighttime Stow | Yes (configurable) |
| Backtracking | Yes |
| In-field Fabrication Required | No |
| On-site Training and Commissioning | Yes, included in tracker supply |
| Standard Warranties | Structure: 10 years Electromechanical components: 3 years |
| Certifications | USA: UL508 ASCE 7-10, UL3703 includes UL2703 Europe: CE, IEC TS62727 |
| Structural Adaptation to Local Codes & Requirements | Verified by third-party structural engineer |

4.1. SPECIFICHE TECNICHE DELLE CABINE ELETTRICHE

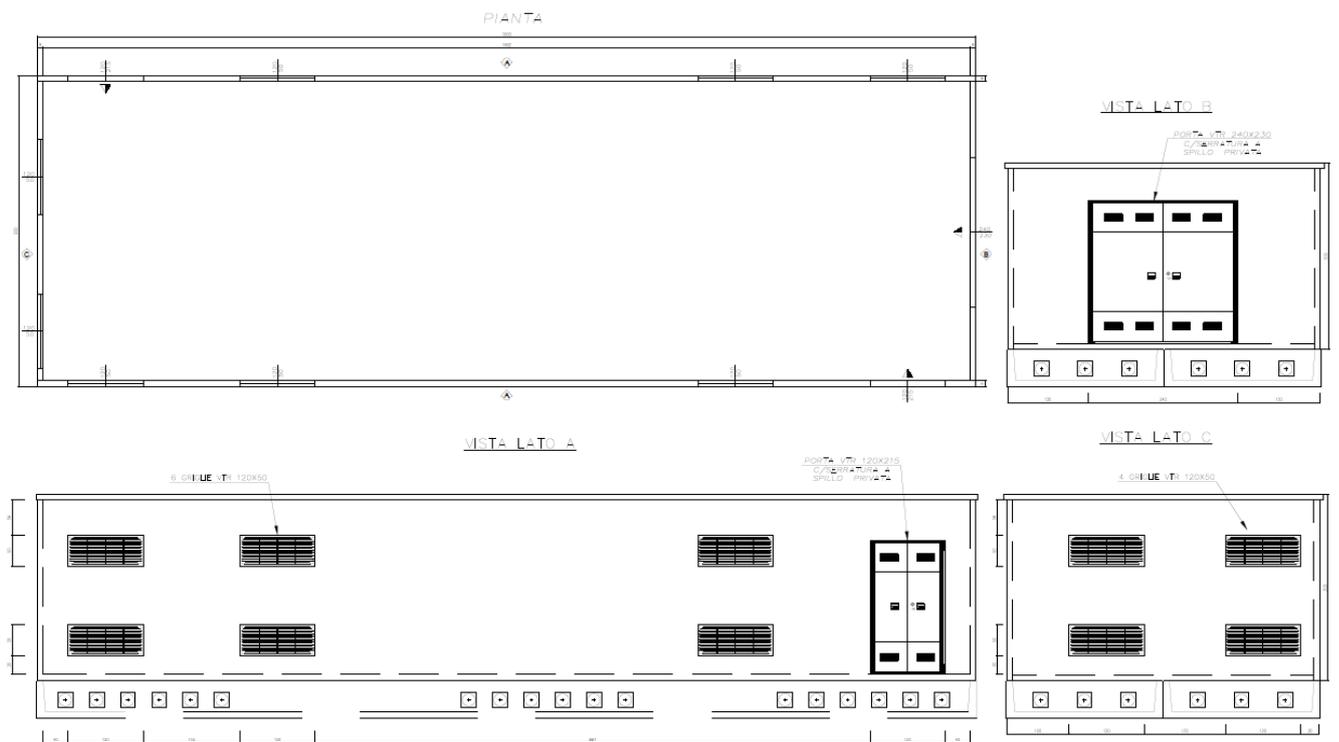
Per la realizzazione delle cabine di sono utilizzate due tipologie, i cui dettagli costruttivi sono riortati negli elaborati "ASC-CIV-TAV-023_Cabine elettriche piante e prospetti".

Tali elementi saranno realizzati, con moduli prefabbricati certificati per le parti in elevazioni e posizionati su degli elementi monolitici a C in c.a. prefabbricati e certificati anch'essi, atti per il cablaggio dei cavi. La struttura così realizzata sarà collocata su una platea in c.a. realizzata in opera.

I modelli predisposti hanno dimensioni totali in pianta di 10x5 m e 15x5 m, entrambi con altezza di 3m.



Pianta e Prospetti – Tipologico 1 (10x5 m)

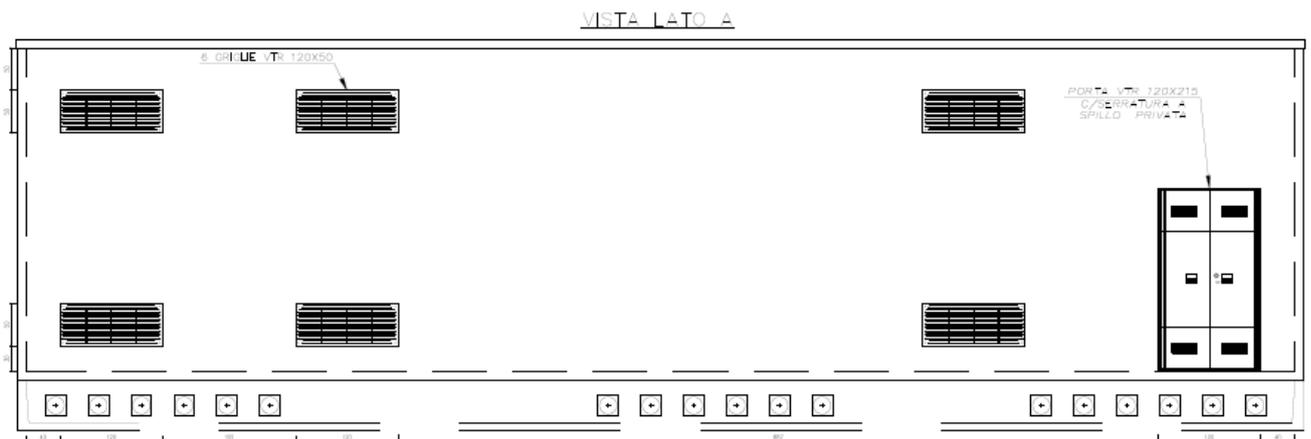
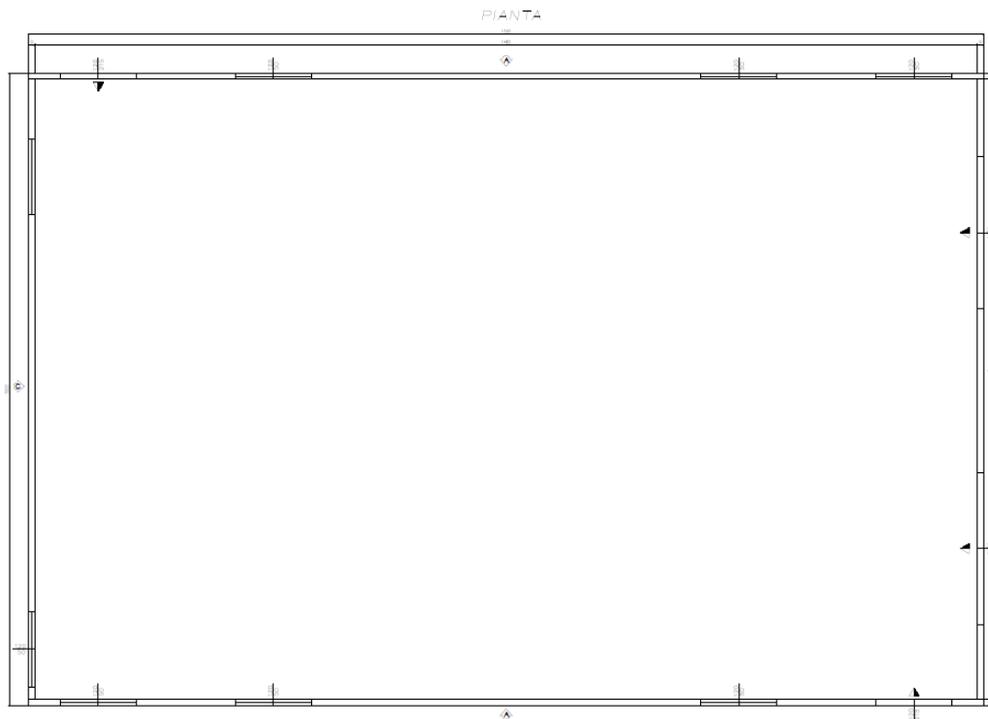


Pianta e Prospetti – Tipologico 2 (15x5m)

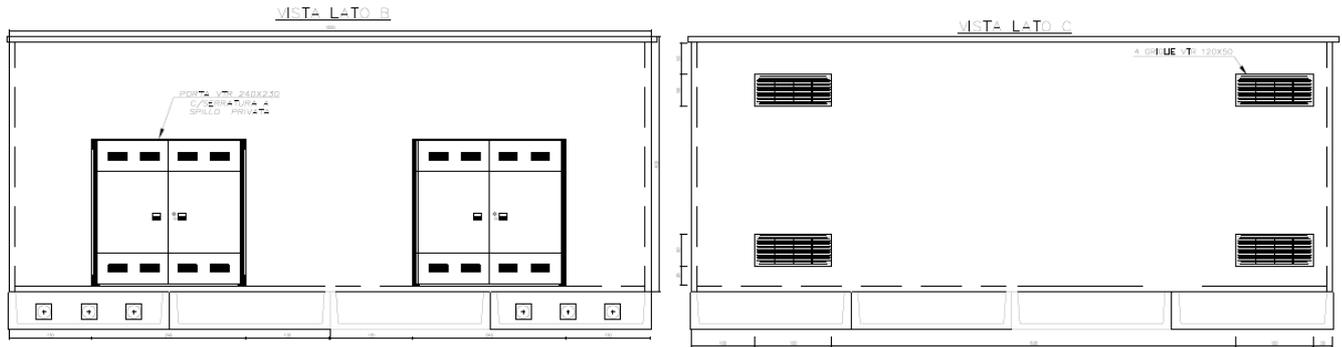
4.2. SPECIFICHE TECNICHE DEL MAGAZZINO

L'intero progetto prevede la realizzazione di una struttura d uso deposito/magazzino. Tale struttura i cui particolari costruttivi sono riportati "ASC-CIV-TAV-023_Cabine elettriche piante e prospetti" ed ha dimensioni in pianta pari a 15x10 m e altezza 4 m.

La struttura portante in elevazione sar  realizzata con un telaio di acciaio, mentre la struttura di fondazione sar  realizzata su platea in c.a.



| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|



5. VERIFICA STRUTTURALE DEI MOVER MONOASSIALI

La legge n.55 del 2019, introduce l'articolo 94-bis all'interno del DPR 380/2001, come "disciplina degli interventi strutturali in zone sismiche". Con particolare riferimento agli elementi della struttura fotovoltaica, ovvero i mover monoassiali, questi possono essere considerati, per loro natura, "privi di rilevanza" previsti dalla lettera C del comma 1 del succitato articolo, inoltre, a tale definizione si arriva per quanto indicato al comma 2 dell'art.94-bis del DPR 380/2001, il quale rimanda l'individuazione degli interventi di minore rilevanza o privi di rilevanza alle disposizioni adottate dalle regioni.

La Regione Puglia con L.R. n.34 del 23/07/2019, conferma il regime disciplinare definito dalla Delibera di Giunta regionale n. 1309 del 03.06.2010 inerente alle "Disposizioni organizzative in materia di semplificazione amministrativa in merito alle procedure di deposito delle calcolazioni relative a progetti riguardanti le "opere minori" e chiarimenti interpretativi".

La Delibera della Giunta Regionale – Regione Puglia – n. 1309 del 03/06/2010 del Registro delle Deliberazioni (D.G.R.) semplifica l'iter amministrativo in materia di prevenzione antisismica per le cosiddette "opere minori", come indicate negli elenchi A1 e A2 allegati alla citata D.G.R.. In particolare, secondo la D.G.R., si tratta di opere che "per le loro caratteristiche tecniche, per dimensioni e/o funzione, non comportano pericolo per la pubblica incolumità, ovvero che interessano la pubblica incolumità in modo non rilevante" e, pertanto, soggiacciono al regime semplificato previsto nella citata D.G.R., dovendosi soltanto depositare al competente comune i documenti ivi elencati (tra cui l'asseverazione del progettista circa la non rilevanza per la pubblica incolumità ai fini sismici delle opere).

La verifica sismica è stata, quindi, effettuata sulla base della legislazione su riportata, accertando che le opere esaminate rientrassero nella categoria delle "Opere minori" individuate nel Documento Tecnico allegato alla suddetta D.G.R.:

| | | |
|---|--|----------------|
| PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 – Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 – Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it – web: www.pheedra.it | RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE | Pagina 9 di 40 |
|---|--|----------------|

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

- A1 – OPERE MINORI – Interventi di nuova costruzione e manufatti privi di rilevanza per la pubblica incolumità ai fini sismici:
 - 3. Manufatti strutturalmente autonomi, adibiti a servizi, ricovero animali e simili
 - 3.2 Locali per impianti tecnologici ad un solo piano con superficie ≤ 20 mq e altezza ≤ 3 m.
 - 4. Altre opere o manufatti
 - 4.7 Pannelli solari e fotovoltaici su strutture di sostegno (quali pali, portali) di altezza ≤ 3 m dal livello del terreno.

In merito alle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica, di cui agli artt. 65 e 67 del DPR 380/2001, si evidenzia inoltre che, la Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici del 14 Febbraio 1974 n.11951 contempla la possibilità che tali opere non rientrino tra quelle disciplinate dalle NTC in materia sismica. L'impianto fotovoltaico è da considerarsi infatti un impianto industriale e la circolare specifica che:

..... "Non sono quindi soggette alle disposizioni della stessa le opere di ingegneria meccanica, elettrotecnica, chimica, mineraria, navale ed aeronautica per le parti che si riferiscono alle macchine ed organi di macchine, congegni, strumenti, apparecchi e meccanismi di qualsiasi genere e quanto altro non attiene alle costruzioni edilizie in c.a. normale e precompresso ed a struttura metallica.".....

e ancora

...."Si devono altresì assimilare alle macchine propriamente dette le parti metalliche accessorie e complementari al loro funzionamento (quali ad esempio scalette, ballatoi e ponti di servizio, organi di collegamento fra macchinari) ed in genere le strutture che servono per sostenere e formare, con apparecchiature e tubazioni, l'insieme dell'impianto industriale"...

pertanto potrebbero essere assimilate alle macchine, tutte quelle strutture che servono a sostenere le apparecchiature, ovvero i pannelli fotovoltaici, facenti parte dell'impianto fotovoltaico.

In conclusione, per le sole strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici, relativamente al deposito dei calcoli strutturali, si può far riferimento alle suddette interpretazioni delle norme vigenti. In particolare:

- nel primo caso, la DGR n.1309/2010 definisce le strutture di sostegno come "opere minori" (punto 4 della lettera A.1) i pannelli fotovoltaici su strutture di sostegno che abbiano altezza inferiore ai 3 metri. Pertanto, ai sensi dell'arti. 94bis del DPR 380/2001 sono da ritenersi privi di rilevanza sismica.
- nel secondo caso, essendo le strutture dei pannelli fotovoltaici, di natura metallica, a sostegno delle apparecchiature e non attenendosi alle costruzioni edilizie, sono assimilabili a impianti industriali interessati dalla Circolare Min.L.P. n. 11951/1974 e pertanto, non rientrano tra le opere disciplinate dalle NTC in materia sismica.

| | | |
|---|--|-----------------|
| PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 – Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 – Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it – web: www.pheedra.it | RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE | Pagina 10 di 40 |
|---|--|-----------------|

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

Per quanto su detto, le strutture dei pannelli fotovoltaici sono da considerarsi privi di rilevanza sismica e pertanto non soggetti a "deposito dei calcoli" ai sensi dell'art. 65 del DPR 380/2001. Per quanto riguarda invece il dimensionamento strutturale degli stessi, con particolare riguardo ai carichi indotti da neve, vento e sisma, si fa riferimento ai calcoli strutturali, redatti ai sensi degli Eurocodici, forniti dal produttore delle strutture e allegati alla presente relazione.

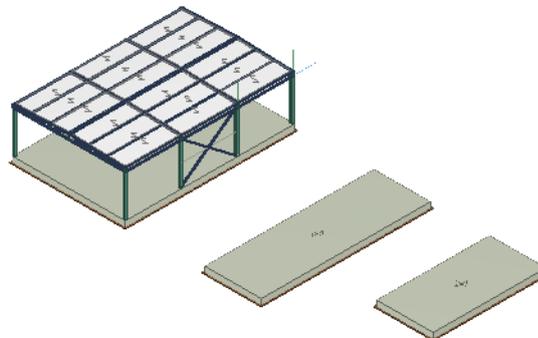
6. VERIFICA STRUTTURALE DELLE CABINE ELETTRICHE E DEL MAGAZZINO

Come esposto nei paragrafi precedente, gli elementi strutturali in elevazione delle cabine saranno del tipo prefabbricato e certificati dall'azienda produttrice, pertanto la presente relazione espone gli aspetti strutturali degli elementi da realizzare in opera. Nello specifico saranno trattate nel seguito le platee di fondazioni delle cabine elettriche e la struttura del magazzino/deposito, così come descritte nei paragrafi precedenti.

Vengono riportate di seguito due viste assometriche contrapposte, allo scopo di consentire una migliore comprensione della struttura oggetto della presente relazione:

Vista Anteriore

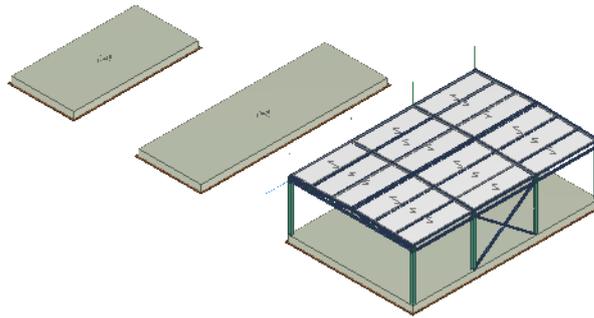
La direzione di visualizzazione (bisettrice del cono ottico), relativamente al sistema di riferimento globale 0,X,Y, Z, ha versore (1;1;-1)



| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

Vista Posteriore

La direzione di visualizzazione (bisettrice del cono ottico), relativamente al sistema di riferimento globale 0,X,Y, Z, ha versore (-1;-1;-1)



Tutti i materiali strutturali impiegati devono essere muniti di marcatura "CE", ed essere conformi alle prescrizioni del "REGOLAMENTO (UE) N. 305/2011 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 9 marzo 2011", in merito ai prodotti da costruzione.

Per la realizzazione dell'opera in oggetto saranno impiegati i seguenti materiali:

MATERIALI CALCESTRUZZO ARMATO

Caratteristiche calcestruzzo armato

| N _d | γ _k | α _{T,i} | E | G | C _{Erid} | S _t z | R _{ck} | R _{cm} | %R _{ck} | γ _c | f _{cd} | f _{ctd} | f _{cfm} | N | n A c |
|------------------------------------|---------------------|------------------|----------------------|----------------------|-------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------|-------------|
| | [N/m ³] | [1/°C] | [N/mm ²] | [N/mm ²] | [%] | | [N/mm ²] | [N/mm ²] | | | [N/mm ²] | [N/mm ²] | [N/mm ²] | | |
| Cls C25/30 B450C - (C25/30) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 002 | 25,00 0 | 0,0000 10 | 31.447 | 13.10 3 | 60 | P | 30,00 | - | 0,8 5 | 1,5 0 | 14,11 | 1,19 | 3,07 | 1 5 | 00 3 |

LEGENDA:

| | |
|----------------------------|--|
| N_d | Numero identificativo del materiale, nella relativa tabella dei materiali. |
| γ_k | Peso specifico. |
| α_{T,i} | Coefficiente di dilatazione termica. |
| E | Modulo elastico normale. |
| G | Modulo elastico tangenziale. |
| C_{Erid} | Coefficiente di riduzione del Modulo elastico normale per Analisi Sismica [E _{sisma} = E · C _{Erid}]. |
| S_t z | Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo). |
| R_{ck} | Resistenza caratteristica cubica. |
| R_{cm} | Resistenza media cubica. |
| %R_{ck} | Percentuale di riduzione della R _{ck} . |
| γ_c | Coefficiente parziale di sicurezza del materiale. |
| f_{cd} | Resistenza di calcolo a compressione. |
| f_{ctd} | Resistenza di calcolo a trazione. |
| f_{cfm} | Resistenza media a trazione per flessione. |
| n | Identificativo, nella relativa tabella materiali, dell'acciaio utilizzato: [-] = parametro NON significativo per il materiale. |
| Ac | |

MATERIALI ACCIAIO

Caratteristiche acciaio

| N _d | γ _k | α _{T,i} | E | G | S _t z | f _{yk,1} / f _{yk,2} | f _{tk,1} / f _{tk,2} | f _{yd,1} / f _{yd,2} | f _{td} | γ _s | γ _{M1} | γ _{M2} | γ _{M3,S} LV | γ _{M3,S} LE | N C nt | γ _{M7} Cnt |
|----------------------|---------------------|------------------|----------------------|----------------------|---------------------|--|--|--|--------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|--------------|------------------------|
| | [N/m ³] | [1/°C] | [N/mm ²] | [N/mm ²] | | [N/m m ²] | [N/m m ²] | [N/mm ²] | [N/m m ²] | | | | | | | |
| S235 - (S235) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 00 | 78,50 0 | 0,0000 12 | 210,0 00 | 80,76 9 | P | 235 ,00 | 360 | 223,8 1 | - | 1, 05 | 1, 05 | 1, 25 | - | - | - | - |

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

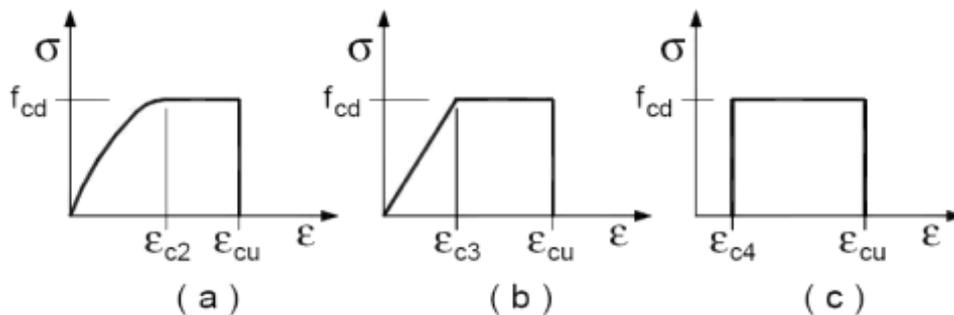
| N i d | γ_k | $\alpha_{T,i}$ | E | G | S t z | Caratteristiche acciaio | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------------|----------------|-------------|------------|-------------|-------------------------|---------------------|---------------------|----------|------------|---------------|---------------|--------------------|--------------------|---------------|--------------|-----|
| | | | | | | $f_{yk,1}/f_{yk,2}$ | $f_{tk,1}/f_{tk,2}$ | $f_{yd,1}/f_{yd,2}$ | f_{td} | γ_s | γ_{M1} | γ_{M2} | $\gamma_{M3,S LV}$ | $\gamma_{M3,S LE}$ | γ_{M7} | N C nt | Cnt |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Acciaio B450C - (B450C) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 0 3 | 78.50 0 | 0,0000 10 | 210.0 00 | 80.76 9 | P | 450 ,00 | - | 391,3 0 | - | 1, 15 | - | - | - | - | - | - | - |

LEGENDA:

- N_{i,d}** Numero identificativo del materiale, nella relativa tabella dei materiali.
- γ_k** Peso specifico.
- $\alpha_{T,i}$** Coefficiente di dilatazione termica.
- E** Modulo elastico normale.
- G** Modulo elastico tangenziale.
- Stz** Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo).
- $f_{tk,1}$** Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con $t \leq 40$ mm).
- $f_{tk,2}$** Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con $40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm).
- f_{td}** Resistenza di calcolo a Rottura (Bulloni).
- γ_s** Coefficiente parziale di sicurezza allo SLV del materiale.
- γ_{M1}** Coefficiente parziale di sicurezza per instabilità.
- γ_{M2}** Coefficiente parziale di sicurezza per sezioni tese indebolite.
- $\gamma_{M3,SLV}$** Coefficiente parziale di sicurezza per scorrimento allo SLV (Bulloni).
- v**
- $\gamma_{M3,SLE}$** Coefficiente parziale di sicurezza per scorrimento allo SLE (Bulloni).
- E**
- γ_{M7}** Coefficiente parziale di sicurezza precarico di bulloni ad alta resistenza (Bulloni - NCnt = con serraggio NON controllato; Cnt = con serraggio controllato). [-] = parametro NON significativo per il materiale.
- $f_{yk,1}$** Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili con $t \leq 40$ mm).
- $f_{yk,2}$** Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili con $40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm).
- $f_{yd,1}$** Resistenza di calcolo (per profili con $t \leq 40$ mm).
- $f_{yd,2}$** Resistenza di calcolo (per profili con $40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm).
- NOT** [-] = Parametro non significativo per il materiale.
- E**

Tutti i materiali impiegati dovranno essere comunque verificati con opportune prove di laboratorio secondo le prescrizioni della vigente Normativa.

I diagrammi costitutivi degli elementi in calcestruzzo sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al §4.1.2.1.2.1 del D.M. 2018; in particolare per le verifiche effettuate a pressoflessione retta e pressoflessione deviata è adottato il modello (a) riportato nella seguente figura.



Diagrammi di calcolo tensione/deformazione del calcestruzzo.

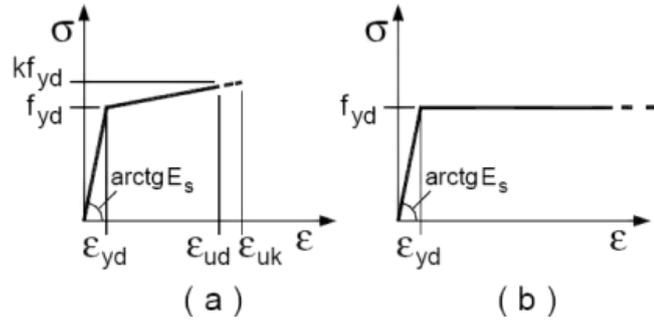
I valori di deformazione assunti sono:

$$\epsilon_{c2} = 0,0020;$$

$$\epsilon_{cu2} = 0,0035.$$

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

I diagrammi costitutivi dell'acciaio sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al §4.1.2.1.2.2 del D.M. 2018; in particolare è adottato il modello elastico perfettamente plastico tipo (b) rappresentato nella figura sulla destra.



La resistenza di calcolo è data da f_{yk}/γ_s .

Il coefficiente di sicurezza γ_s si assume pari a 1,15.

6.1. ANALISI DEI CARICHI

Un'accurata valutazione dei carichi è un requisito imprescindibile di una corretta progettazione, in particolare per le costruzioni realizzate in zona sismica. Essa, infatti, è fondamentale ai fini della determinazione delle forze sismiche, in quanto incide sulla valutazione delle masse e dei periodi propri della struttura dai quali dipendono i valori delle accelerazioni (ordinate degli spettri di progetto).

La valutazione dei carichi e dei sovraccarichi è stata effettuata in accordo con le disposizioni del punto 3.1 del **D.M. 2018**. In particolare, è stato fatto utile riferimento alle Tabelle 3.1.I e 3.1.II del D.M. 2018, per i pesi propri dei materiali e per la quantificazione e classificazione dei sovraccarichi, rispettivamente.

La valutazione dei carichi permanenti è effettuata sulle dimensioni definitive.

| | | |
|--|--|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATTRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|--|---|

ANALISI CARICHI

| N _d | T. C. | Descrizione del Carico | Tipologie di Carico | Peso Proprio | | Permanente NON Strutturale | | Sovraccarico Accidentale | | Carico N _e [N/m ²] |
|----------------|-------|------------------------|------------------------|--|-------|---|-----------|---|-----------|--|
| | | | | Descrizione | PP | Descrizione | PNS | Descrizione | SA | |
| 001 | S | Platea | Autorimessa <= 30kN | *vedi le relative tabelle dei carichi | - | Sottofondo e pavimento di tipo industriale in calcestruzzo | 2.0 00 | Rimesse, aree per traffico, parcheggio e sosta di veicoli leggeri (peso a pieno carico fino a 30 kN) (Cat. F – Tab. 3.1.II - DM 17.01.2018) | 2.5 00 | 0 |
| 002 | S | LamieraGrecata | Abitazioni | Grecata | 1.000 | | 0 | Manutenzione | 500 | 945 |

LEGENDA:

N_d Numero identificativo dell'analisi di carico.

T. C. Identificativo del tipo di carico: [S] = Superficiale - [L] = Lineare - [C] = Concentrato.

PP, Valori, rispettivamente, del Peso Proprio, del Sovraccarico Permanente NON strutturale, del Sovraccarico Accidentale. Secondo il tipo di carico

PNS, SA indicato nella colonna "T.C." ("S" - "L" - "C"), i valori riportati nelle colonne "PP", "PNS" e "SA", sono espressi in [N/m²] per carichi Superficiali, [N/m] per carichi Lineari, [N] per carichi Concentrati.

6.2.6 - VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

L'azione sismica è stata valutata in conformità alle indicazioni riportate al §3.2 del D.M. 2018. particolare il procedimento per la definizione degli spettri di progetto per i vari Stati Limite per cui sono state effettuate le verifiche è stato il seguente:

definizione della Vita Nominale e della Classe d'Uso della struttura, il cui uso combinato ha portato alla definizione del Periodo di Riferimento dell'azione sismica;

individuazione, tramite latitudine e longitudine, dei parametri sismici di base a_g , F_0 e T_c^* per tutti e quattro gli Stati Limite previsti (SLO, SLD, SLV e SLC); l'individuazione è stata effettuata interpolando tra i 4 punti più vicini al punto di riferimento dell'edificio;

determinazione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica;

calcolo del periodo T_c corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello Spettro.

6.2.1. 6Verifiche di regolarità

Sia per la scelta del metodo di calcolo, sia per la valutazione del fattore di comportamento adottato, deve essere effettuato il controllo della regolarità della struttura. tabella seguente riepiloga, per la struttura in esame, le condizioni di regolarità in pianta ed in altezza soddisfatte.

| 1) REGOLARITÀ DELLA STRUTTURA IN PIANTA | |
|---|----|
| La distribuzione di masse e rigidezze è approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali e la forma in pianta è compatta, ossia il contorno di ogni orizzontamento è convesso; il requisito può ritenersi soddisfatto, anche in presenza di rientranze in pianta, quando esse non influenzano significativamente la rigidezza nel piano dell'orizzontamento e, per ogni rientranza, l'area compresa tra il perimetro dell'orizzontamento e la linea convessa circoscritta all'orizzontamento non supera il 5% dell'area dell'orizzontamento | SI |
| Il rapporto tra i lati di un rettangolo in cui la costruzione risulta inscritta è inferiore a 4 | SI |
| Ciascun orizzontamento ha una rigidezza nel proprio piano tanto maggiore della corrispondente rigidezza degli elementi strutturali verticali da potersi assumere che la sua deformazione in pianta influenzi in modo trascurabile la distribuzione delle azioni sismiche tra questi ultimi e ha resistenza sufficiente a garantire | SI |

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

| | |
|-----------------------------------|--|
| l'efficacia di tale distribuzione | |
|-----------------------------------|--|

| 2) REGOLARITÀ DELLA STRUTTURA IN ALTEZZA | |
|---|----|
| Tutti i sistemi resistenti alle azioni orizzontali si estendono per tutta l'altezza della costruzione o, se sono presenti parti aventi differenti altezze, fino alla sommità della rispettiva parte dell'edificio | SI |
| Massa e rigidità rimangono costanti o variano gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base alla sommità della costruzione (le variazioni di massa da un orizzontamento all'altro non superano il 25 %, la rigidità non si riduce da un orizzontamento a quello sovrastante più del 30% e non aumenta più del 10%); ai fini della rigidità si possono considerare regolari in altezza strutture dotate di pareti o nuclei in c.a. o pareti e nuclei in muratura di sezione costante sull'altezza o di telai controventati in acciaio, ai quali sia affidato almeno il 50% dell'azione sismica alla base | SI |
| Il rapporto tra la capacità e la domanda allo SLV non è significativamente diverso, in termini di resistenza, per orizzontamenti successivi (tale rapporto, calcolato per un generico orizzontamento, non deve differire più del 30% dall'analogo rapporto calcolato per l'orizzontamento adiacente); può fare eccezione l'ultimo orizzontamento di strutture intelaiate di almeno tre orizzontamenti | SI |
| Eventuali restringimenti della sezione orizzontale della costruzione avvengano con continuità da un orizzontamento al successivo; oppure avvengano in modo che il rientro di un orizzontamento non superi il 10% della dimensione corrispondente all'orizzontamento immediatamente sottostante, né il 30% della dimensione corrispondente al primo orizzontamento. Fa eccezione l'ultimo orizzontamento di costruzioni di almeno quattro orizzontamenti, per il quale non sono previste limitazioni di restringimento | SI |

La rigidità è calcolata come rapporto fra il taglio complessivamente agente al piano e δ , spostamento relativo di piano (il taglio di piano è la sommatoria delle azioni orizzontali agenti al di sopra del piano considerato).

La struttura è pertanto:

| in pianta | in altezza |
|-----------------|-----------------|
| REGOLARE | REGOLARE |

6.2.2. Classe di duttilità

La classe di duttilità è rappresentativa della capacità dell'edificio di dissipare energia in campo anelastico per azioni cicliche ripetute. deformazioni anelastiche devono essere distribuite nel maggior numero di elementi duttili, in particolare le travi, salvaguardando in tal modo i pilastri e soprattutto i nodi travi pilastro che sono gli elementi più fragili. D.M. 2018 definisce due tipi di comportamento strutturale:

- comportamento strutturale non-dissipativo;
- comportamento strutturale dissipativo.

Per strutture con comportamento strutturale dissipativo si distinguono due livelli di Capacità Dissipativa o Classi di Duttilità (CD).

- CD "A" (Alta);
- CD "B" (Media).

La differenza tra le due classi risiede nell'entità delle plasticizzazioni cui ci si riconduce in fase di progettazione; per ambedue le classi, onde assicurare alla struttura un comportamento dissipativo e duttile evitando rotture fragili e la formazione di meccanismi instabili imprevisti, si fa ricorso ai procedimenti tipici della gerarchia delle resistenze.

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

La struttura in esame è stata progettata in classe di duttilità **nessuna "NON Dissipativa"**. Nella valutazione della domanda per strutture a comportamento **NON Dissipativo** tutte le membrature e i collegamenti rimangono in campo sostanzialmente elastico. La domanda derivante dall'azione sismica e dalle altre azioni è calcolata, in funzione dello stato limite cui ci si riferisce, ma indipendentemente dalla tipologia strutturale e senza tener conto delle non linearità del materiale, attraverso un modello elastico.

6.2.3. Spettri di Progetto per S.L.U. e S.L.D.

L'edificio è stato progettato per una **Vita Nominale** pari a **50** e per **Classe d'Uso** pari a **2**.

In base alle indagini geognostiche effettuate si è classificato il **suolo** di fondazione di **categoria C**, cui corrispondono i seguenti valori per i parametri necessari alla costruzione degli spettri di risposta orizzontale e verticale:

| Parametri di pericolosità sismica | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Stato Limite | a_g/g | F_0 | T_c^* | C_c | T_B | T_c | T_D | S_s |
| | | | [s] | | [s] | [s] | [s] | |
| SLO | 0.0476 | 2.449 | 0.290 | 1.58 | 0.153 | 0.458 | 1.790 | 1.50 |
| SLD | 0.0606 | 2.558 | 0.320 | 1.53 | 0.163 | 0.489 | 1.842 | 1.50 |
| SLV | 0.1915 | 2.462 | 0.409 | 1.41 | 0.192 | 0.577 | 2.366 | 1.42 |
| SLC | 0.2684 | 2.394 | 0.420 | 1.40 | 0.196 | 0.587 | 2.673 | 1.31 |

Per la definizione degli spettri di risposta, oltre all'accelerazione (a_g) al suolo (dipendente dalla classificazione sismica del Comune) occorre determinare il Fattore di Comportamento (q).

Il Fattore di comportamento q è un fattore riduttivo delle forze elastiche introdotto per tenere conto delle capacità dissipative della struttura che dipende dal sistema costruttivo adottato, dalla Classe di Duttilità e dalla regolarità in altezza.

Si è inoltre assunto il **Coefficiente di Amplificazione Topografica** (S_T) pari a **1.00**.

Per la struttura in esame sono stati utilizzati i seguenti valori:

Stato Limite di Danno

Fattore di Comportamento (q_x) per sisma orizzontale in direzione X: **1.00**;
 Fattore di Comportamento (q_y) per sisma orizzontale in direzione Y: **1.00**;
 Fattore di Comportamento (q_z) per sisma verticale: **1.00** (se richiesto).

Stato Limite di salvaguardia della Vita

Fattore di Comportamento (q_x) per sisma orizzontale in direzione X: **1.500** ;
 Fattore di Comportamento (q_y) per sisma orizzontale in direzione Y: **1.500** ;
 Fattore di Comportamento (q_z) per sisma verticale: **1.00** (se richiesto).

Di seguito si esplicita il calcolo del fattore di comportamento per il sisma orizzontale:

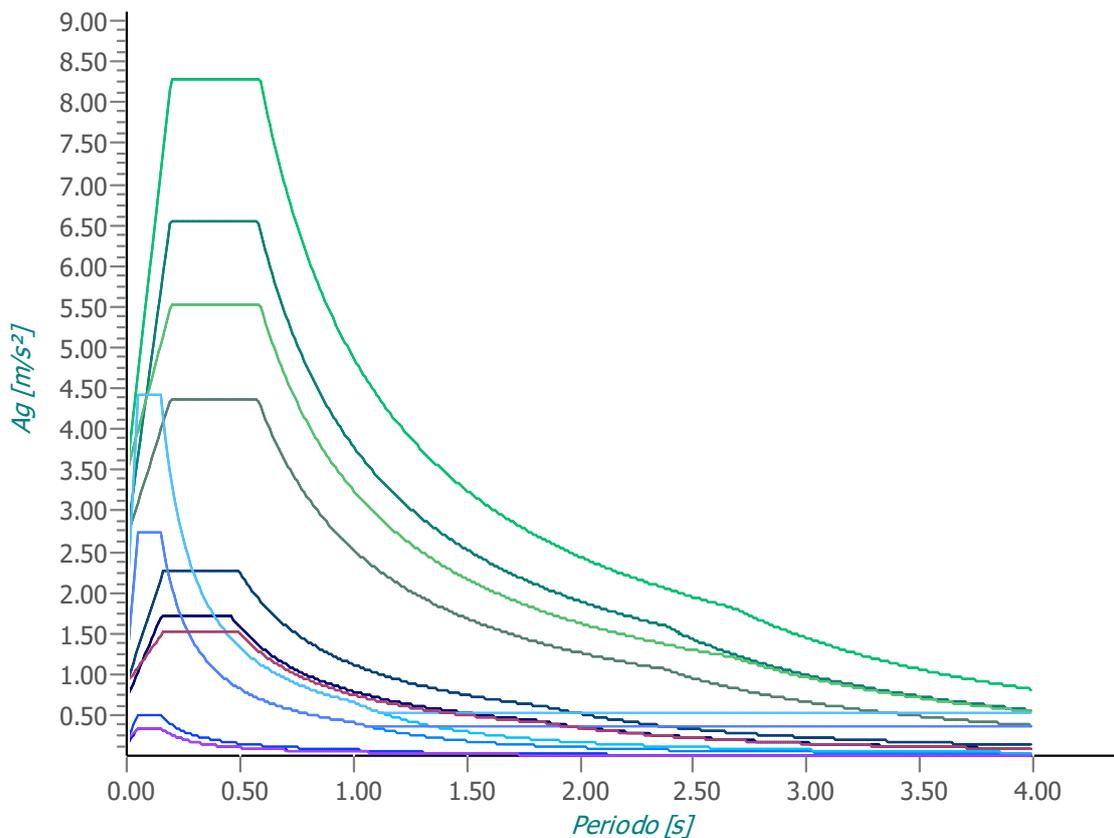
| | Dir. X | Dir. Y |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|
| Tipologia (§7.5.2.2 D.M. 2018) | A telaio | A telaio |
| Tipologia strutturale | - | - |
| α_0/α_1 | 1 | 1 |
| q_e | 4.000 | 4.000 |
| k_R | - | - |

Per strutture a comportamento strutturale non dissipativo si adotta un fattore di comportamento q_{ND} , ridotto rispetto al valore minimo relativo alla CD"B" (Tab. 7.3.II), secondo la relazione (7.3.2) del §7.3.1 del D.M. 2018:

$$1 \leq q_{ND} = (2/3) \cdot q_{0,CD"B"} \leq 1,5$$

Gli spettri utilizzati sono riportati nella successiva figura.

Grafico degli Spettri di Risposta



| | | |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| — Spettro Elastico SLO X | — Spettro Elastico SLO Y | — Spettro Elastico SLO Z |
| — Spettro Elastico SLD X | — Spettro Elastico SLD Y | — Spettro Elastico SLD Z |
| — Spettro Elastico SLV X | — Spettro Elastico SLV Y | — Spettro Elastico SLV Z |
| — Spettro Elastico SLC X | — Spettro Elastico SLC Y | — Spettro Elastico SLC Z |
| — Spettro Progetto SLV X | — Spettro Progetto SLV Y | — Spettro Progetto SLV Z |
| — Spettro Progetto SLC X | — Spettro Progetto SLC Y | — Spettro Progetto SLC Z |
| — Spettro Verifiche SLD X | — Spettro Verifiche SLD Y | — Spettro Verifiche SLD Z |

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

6.2.4. Metodo di Analisi

Gli effetti del sisma sono stati valutati convenzionalmente mediante analisi statica della struttura soggetta a:

- un sistema di forze orizzontali parallele alle direzioni ipotizzate per il sisma, distribuite (sia planimetricamente che altimetricamente) in modo da simulare gli effetti dinamici del sisma.
- un sistema di forze verticali, distribuite sulla struttura proporzionalmente alle masse presenti.

Le sollecitazioni derivanti da tali azioni sono state composte poi con quelle derivanti da carichi verticali, orizzontali non sismici secondo le varie combinazioni di carico probabilistiche. Il calcolo è stato effettuato mediante un programma agli elementi finiti le cui caratteristiche verranno descritte nel seguito.

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 taglianti e flessionali degli elementi monodimensionali; muri, pareti, setti, solette sono stati correttamente schematizzati tramite elementi finiti a tre/quattro nodi con comportamento a guscio (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.

6.2.5. Valutazione degli spostamenti

Gli spostamenti d_E della struttura sotto l'azione sismica di progetto allo SLV sono stati ottenuti moltiplicando per il fattore μ_d i valori d_{Ee} ottenuti dall'analisi lineare, dinamica o statica, secondo l'espressione seguente:

$$d_E = \pm \mu_d \cdot d_{Ee}$$

dove

$$\begin{aligned} \mu_d &= q && \text{se } T_1 \geq T_C; \\ \mu_d &= 1 + (q-1) \cdot T_C / T_1 && \text{se } T_1 < T_C. \end{aligned}$$

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

6.2.6. Combinazione delle componenti dell'azione sismica

Le azioni orizzontali dovute al sisma sulla struttura vengono convenzionalmente determinate come agenti separatamente in due direzioni tra loro ortogonali prefissate. In generale, però, le componenti orizzontali del sisma devono essere considerate come agenti simultaneamente. A tale scopo, la combinazione delle componenti orizzontali dell'azione sismica è stata tenuta in conto come segue:

| | | |
|---|--|-----------------|
| PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 – Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 – Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it – web: www.pheedra.it | RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE | Pagina 19 di 40 |
|---|--|-----------------|

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

- gli effetti delle azioni dovuti alla combinazione delle componenti orizzontali dell'azione sismica sono stati valutati mediante le seguenti combinazioni:

$$E_{EdX} \pm 0,30E_{EdY}$$

$$E_{EdY} \pm 0,30E_{EdX}$$

dove:

E_{EdX} rappresenta gli effetti dell'azione dovuti all'applicazione dell'azione sismica lungo l'asse orizzontale X scelto della struttura;

E_{EdY} rappresenta gli effetti dell'azione dovuti all'applicazione dell'azione sismica lungo l'asse orizzontale Y scelto della struttura.

L'azione sismica verticale deve essere considerata in presenza di: elementi pressoché orizzontali con luce superiore a 20 m, elementi pressoché orizzontali precompressi, elementi a sbalzo pressoché orizzontali con luce maggiore di 5 m, travi che sostengono colonne, strutture isolate.

La combinazione della componente verticale del sisma, qualora portata in conto, con quelle orizzontali è stata tenuta in conto come segue:

- gli effetti delle azioni dovuti alla combinazione delle componenti orizzontali e verticali del sisma sono stati valutati mediante le seguenti combinazioni:

$$E_{EdX} \pm 0,30E_{EdY} \pm 0,30E_{EdZ}$$

$$E_{EdY} \pm 0,30E_{EdX} \pm 0,30E_{EdZ}$$

$$E_{EdZ} \pm 0,30E_{EdX} \pm 0,30E_{EdY}$$

dove:

E_{EdX} e E_{EdY} sono gli effetti dell'azione sismica nelle direzioni orizzontali prima definite;

E_{EdZ} rappresenta gli effetti dell'azione dovuti all'applicazione della componente verticale dell'azione sismica di progetto.

6.2.7. Eccentricità accidentali

Per valutare le eccentricità accidentali, previste in aggiunta all'eccentricità effettiva sono state considerate condizioni di carico aggiuntive ottenute applicando l'azione sismica nelle posizioni del centro di massa di ogni piano ottenute traslando gli stessi, in ogni direzione considerata, di una distanza pari a +/- 5% della dimensione massima del piano in direzione perpendicolare all'azione sismica. Si noti che la distanza precedente, nel caso di distribuzione degli elementi non strutturali fortemente irregolare in pianta, viene raddoppiata ai sensi del § 7.2.3 del D.M. 2018.

6.3. AZIONI SULLA STRUTTURA

I calcoli e le verifiche sono condotti con il metodo semiprobabilistico degli stati limite secondo le indicazioni del D.M. 2018. I carichi agenti sui solai, derivanti dall'analisi dei carichi, vengono ripartiti dal programma di calcolo in modo automatico sulle membrature (travi, pilastri, pareti, solette, platee, ecc.).

| | | |
|---|--|-----------------|
| PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 – Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 – Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it – web: www.pheedra.it | RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE | Pagina 20 di 40 |
|---|--|-----------------|

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

I carichi dovuti ai tamponamenti, sia sulle travi di fondazione che su quelle di piano, sono schematizzati come carichi lineari agenti esclusivamente sulle aste.

Su tutti gli elementi strutturali è inoltre possibile applicare direttamente ulteriori azioni concentrate e/o distribuite (variabili con legge lineare ed agenti lungo tutta l'asta o su tratti limitati di essa).

Le azioni introdotte direttamente sono combinate con le altre (carichi permanenti, accidentali e sisma) mediante le combinazioni di carico di seguito descritte; da esse si ottengono i valori probabilistici da impiegare successivamente nelle verifiche.

6.3.1. Stato Limite di Salvaguardia della Vita

Le azioni sulla costruzione sono state cumulate in modo da determinare condizioni di carico tali da risultare più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche, tenendo conto della probabilità ridotta di intervento simultaneo di tutte le azioni con i rispettivi valori più sfavorevoli, come consentito dalle norme vigenti.

Per gli stati limite ultimi sono state adottate le combinazioni del tipo:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{K1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{K2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{K3} + \dots \quad (1)$$

dove:

- G₁ rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo);
- G₂ rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
- P rappresenta l'azione di pretensione e/o precompressione;
- Q azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:
 - di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
 - di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura;
- Q_{ki} rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile;
- γ_{gr}, γ_{qr}, γ_p coefficienti parziali come definiti nella Tab. 2.6.I del D.M. 2018;
- ψ_{0i} sono i coefficienti di combinazione per tenere conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i rispettivi valori caratteristici.

Le **34 combinazioni** risultanti sono state costruite a partire dalle sollecitazioni caratteristiche calcolate per ogni condizione di carico elementare: ciascuna condizione di carico accidentale, a rotazione, è stata considerata sollecitazione di base (Q_{k1} nella formula precedente).

In zona sismica, oltre alle sollecitazioni derivanti dalle generiche condizioni di carico statiche, devono essere considerate anche le sollecitazioni derivanti dal sisma. L'azione sismica è stata combinata con le altre azioni secondo la seguente relazione:

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

dove:

- E rappresenta l'azione sismica per lo stato limite in esame;
 G_1 rappresenta peso proprio di tutti gli elementi strutturali;
 G_2 rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
 P rappresenta l'azione di pretensione e/o precompressione;
 ψ_{2i} coefficiente di combinazione delle azioni variabili Q_i ;
 Q_{ki} valore caratteristico dell'azione variabile Q_i .

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_K + \sum_i (\psi_{2i} \cdot Q_{ki}).$$

I valori dei coefficienti ψ_{2i} sono riportati nella seguente tabella:

| Categoria/Azione | ψ_{2i} |
|---|-------------|
| Categoria A - Ambienti ad uso residenziale | 0,3 |
| Categoria B - Uffici | 0,3 |
| Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento | 0,6 |
| Categoria D - Ambienti ad uso commerciale | 0,6 |
| Categoria E - Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale | 0,8 |
| Categoria F - Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN) | 0,6 |
| Categoria G - Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN) | 0,3 |
| Categoria H - Coperture | 0,0 |
| Categoria I - Coperture praticabili | * |
| Categoria K - Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...) | * |
| Vento | 0,0 |
| Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.) | 0,0 |
| Neve (a quota > 1000 m s.l.m.) | 0,2 |
| Variazioni termiche | 0,0 |
| * "Da valutarsi caso per caso" | |

Le verifiche strutturali e geotecniche delle fondazioni, sono state effettuate con l'**Approccio 2** come definito al §2.6.1 del D.M. 2018, attraverso la combinazione **A1+M1+R3**. Le azioni sono state amplificate tramite i coefficienti della colonna A1 definiti nella Tab. 6.2.I del D.M. 2018.

I valori di resistenza del terreno sono stati ridotti tramite i coefficienti della colonna M1 definiti nella Tab. 6.2.II del D.M. 2018.

I valori calcolati delle resistenze totali dell'elemento strutturale sono stati divisi per i coefficienti R3 della Tab. 6.4.I del D.M. 2018 per le fondazioni superficiali.

Si è quindi provveduto a progettare le armature di ogni elemento strutturale per ciascuno dei valori ottenuti secondo le modalità precedentemente illustrate.

6.3.2. Stato Limite di Danno

L'azione sismica, ottenuta dallo spettro di progetto per lo Stato Limite di Danno, è stata combinata con le altre azioni mediante una relazione del tutto analoga alla precedente:

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki};$$

dove:

| | | |
|---|--|-----------------|
| PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 - Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 - Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it | RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE | Pagina 22 di 40 |
|---|--|-----------------|

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

- E rappresenta l'azione sismica per lo stato limite in esame;
 G₁ rappresenta peso proprio di tutti gli elementi strutturali;
 G₂ rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
 P rappresenta l'azione di pretensione e/o precompressione;
 ψ_{2i} coefficiente di combinazione delle azioni variabili Q_i;
 Q_{ki} valore caratteristico dell'azione variabile Q_i.

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_K + \sum_i (\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$$

I valori dei coefficienti ψ_{2i} sono riportati nella tabella di cui allo SLV.

6.3.3. Stati Limite di Esercizio

Allo Stato Limite di Esercizio le sollecitazioni con cui sono state semiprogettate le aste in c.a. sono state ricavate applicando le formule riportate nel D.M. 2018 al §2.5.3. Per le verifiche agli stati limite di esercizio, a seconda dei casi, si fa riferimento alle seguenti combinazioni di carico:

| rara | frequente | quasi permanente |
|---|---|--|
| $\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$ | $\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$ | $\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$ |

dove:

- G_{kj}: valore caratteristico della j-esima azione permanente;
 P_{kh}: valore caratteristico della h-esima deformazione impressa;
 Q_{ki}: valore caratteristico dell'azione variabile di base di ogni combinazione;
 Q_{ki}: valore caratteristico della i-esima azione variabile;
 ψ_{0i}: coefficiente atto a definire i valori delle azioni ammissibili di durata breve ma ancora significativi nei riguardi della possibile concomitanza con altre azioni variabili;
 ψ_{1i}: coefficiente atto a definire i valori delle azioni ammissibili ai frattili di ordine 0,95 delle distribuzioni dei valori istantanei;
 ψ_{2i}: coefficiente atto a definire i valori quasi permanenti delle azioni ammissibili ai valori medi delle distribuzioni dei valori istantanei.

Ai coefficienti ψ_{0i}, ψ_{1i}, ψ_{2i} sono attribuiti i seguenti valori:

| 1) Azione | ψ _{0i} | ψ _{1i} | ψ _{2i} |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| Categoria A – Ambienti ad uso residenziale | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| Categoria B – Uffici | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| Categoria C – Ambienti suscettibili di affollamento | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| Categoria D – Ambienti ad uso commerciale | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| Categoria E – Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale | 1,0 | 0,9 | 0,8 |
| Categoria F – Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN) | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| Categoria G – Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN) | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| Categoria H – Coperture | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Vento | 0,6 | 0,2 | 0,0 |
| Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.) | 0,5 | 0,2 | 0,0 |
| Neve (a quota > 1000 m s.l.m.) | 0,7 | 0,5 | 0,2 |
| Variazioni termiche | 0,6 | 0,5 | 0,0 |

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

In maniera analoga a quanto illustrato nel caso dello SLU le combinazioni risultanti sono state costruite a partire dalle sollecitazioni caratteristiche calcolate per ogni condizione di carico; a turno ogni condizione di carico accidentale è stata considerata sollecitazione di base [Q_{k1} nella formula (1)], con ciò dando origine a tanti valori combinati. Per ognuna delle combinazioni ottenute, in funzione dell'elemento (trave, pilastro, etc...) sono state effettuate le verifiche allo SLE (tensioni, deformazioni e fessurazione).

6.3.4. Azione del Vento

L'applicazione dell'azione del vento sulla struttura si articola in due fasi:

1. calcolo della pressione Normale e Tangenziale lungo l'altezza dell'edificio;
2. trasformazione delle pressioni in forze (lineari/concentrate) sugli elementi (strutturali/non strutturali) dell'edificio.

Calcolo pressione normale e tangenziale

- **Pressione Normale**

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d \quad (\text{relazione 3.3.4 - D.M. 2018});$$

dove

- q_r : la pressione cinetica di riferimento data dall'espressione:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_r^2 \quad (\text{relazione 3.3.6 - D.M. 2018});$$

con:

ρ : densità dell'aria (assunta pari a 1,25 kg/m³);

v_r : velocità di riferimento del vento (in m/s), data da (Eq. 3.3.2 - D.M. 2018):

$$v_r = v_b \cdot c_r, \text{ con:}$$

c_r : coefficiente dato dalla seguente relazione:

$$c_r = 0,75 \cdot \sqrt{1 - 0,2 \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]} \quad (\text{relazione 3.3.3 - D.M. 2018});$$

v_b : velocità di riferimento del vento associata ad un periodo di ritorno di 50 anni, data da: $v_b = v_{b,0} \cdot c_a$

dove:

c_a è il coefficiente di altitudine fornito dalla relazione:

$$c_a = 1 \quad \text{per } a_s \leq a_0.$$

$$c_a = 1 + k_s (a_s/a_0 - 1) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m.}$$

$v_{b,0}$, a_0 , k_s : parametri forniti dalla Tab. 3.3.I del §3.3.2 D.M. 2018;

a_s : altitudine sul livello del mare (m.s.l.m) del sito ove sorge la costruzione;

T_R : periodo di ritorno espresso in anni [10 anni; 500 anni].

- c_e : coefficiente di esposizione, che per altezza sul suolo (z) non maggiori di 200 m è dato dalla formula:

$$c_e(z) = k_z^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) \cdot [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

(relazione 3.3.7 - D.M. 2018);

| | | |
|---|--|-----------------|
| PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 - Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 - Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it | RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE | Pagina 24 di 40 |
|---|--|-----------------|

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

dove:

k_r, z_0, z_{min} : parametri forniti dalla Tab. 3.3.II del par. 3.3.7 D.M. 2018 (*funzione della categoria di esposizione del sito e della classe di rugosità del terreno*);

c_t : coefficiente di topografia (assunto pari ad 1).

- c_p : coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento (cfr. § 3.3.8 - D.M. 2018).
- c_d : coefficiente dinamico (assunto pari ad 1; par. 3.3.9 - D.M. 2018).

• **Pressione Tangenziale**

L'azione tangente per unità di superficie parallela alla direzione del vento è data dall'espressione

$$p_f = q_r \cdot c_e \cdot c_f \quad (\text{relazione 3.3.5 - D.M. 2018});$$

dove

- q_r, c_e : definiti in precedenza;
- c_f : coefficiente d'attrito, funzione della scabrezza della superficie sulla quale il vento esercita l'azione tangente funzione (valori presi dalla Tab. C3.3.I della Circolare 2018).

Per il caso in esame:

VENTO - CALCOLO PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO

Vento - calcolo pressione cinetica di riferimento

| α | DIR | a_s | Zona a | $V_{b,0}$ | a_0 | k_s | V_b | T_R | α_R | q_b |
|----------|----------------|-------|-----------|-----------|-------|-------|-------|--------|------------|---------------------|
| [°] | | [m] | | [m/s] | [m] | | [m/s] | [anni] | | [N/m ²] |
| 0,00 | +X; -X; +Y; -Y | 13 | 3 | 27 | 500 | 0,370 | 27,00 | 50 | 1,00 | 456 |

LEGENDA:

| | |
|---------------------|--|
| α | Angolo di inclinazione del vento rispetto all'asse x |
| DIR | Direzioni locali di calcolo del vento |
| a_s | Altitudine sul livello del mare (m.s.l.m) del sito ove sorge la costruzione; |
| Zona | Zona di riferimento per il calcolo del vento; |
| $V_{b,0}, a_0, k_s$ | Parametri per la definizione della velocità base di riferimento |
| V_b | Velocità di riferimento del vento associata ad un periodo di ritorno di 50 anni; |
| T_R | Periodo di ritorno; |
| α_R | Coefficiente per il calcolo della pressione cinetica di riferimento; |
| q_b | Pressione cinetica di riferimento. |

VENTO - CALCOLO COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE

Vento - calcolo coefficiente di esposizione

| Z | d_{ct} | CIRg | Cat exp | k_r | Z_G | Z_{min} | C_t | C_e |
|------|----------|------|---------|-------|-------|-----------|-------|-------------|
| [m] | [km] | | | | [m] | [m] | | |
| 0,00 | sulla | D | II | 0,19 | 0,05 | 4,00 | 1,00 | 1,80 |

| | | |
|--|--|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATTRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|--|---|

Vento - calcolo coefficiente di esposizione

| Z | d _{ct} | CIRg | Cat exp | k _r | Z _G | Z _{min} | C _t | C _e |
|------|--------------------------|------|---------|----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|
| [m] | [km] | | | | [m] | [m] | | |
| 3,80 | costa, entro 10 Km | | | | | | | 1,80 |

LEGENDA:

| | |
|--|---|
| Z | Altezza dell'edificio a cui viene calcolata la pressione del vento; |
| d_{ct} | Distanza dalla costa; |
| CIRg | Classe di rugosità del terreno (A, B, C, D); |
| Cat exp | Categoria di esposizione del sito (I, II, III, IV, V); |
| k_r, Z₀, Z_{min} | Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione; |
| C_t | Coefficiente di topografia; |
| C_e | Coefficiente di esposizione; |

VENTO - CALCOLO PRESSIONE DEL VENTO

Vento - calcolo pressione del vento

| Z | q _b | C _e | C _p | C _d | p | Scz | C _f | p _f |
|------|---------------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|-----|----------------|---------------------|
| [m] | [N/m ²] | | | | [N/m ²] | | | [N/m ²] |
| 0,00 | 456 | 1,80 | 1,00 | 1,00 | 820 | - | - | - |
| 3,80 | | 1,80 | | | 820 | | | - |

LEGENDA:

| | |
|----------------------|--|
| Z | Altezza dell'edificio a cui viene calcolata la pressione del vento; |
| q_b | Pressione cinetica di riferimento. |
| C_e | Coefficiente di esposizione; |
| C_p | Coefficiente di forma/aerodinamico. (*) Valorizzato al momento del calcolo della pressione agente sul singolo elemento strutturale ed è funzione della posizione dello stesso (sopravento/sottovento); |
| C_d | Coefficiente dinamico; |
| p | Pressione normale (senza il contributo di C _p); |
| Scz | Scabrezza della superficie (liscia, scabra, molto scabra); |
| C_f | Coefficiente d'attrito; |
| p_f | Pressione tangenziale (senza il contributo di C _p). |

Applicazione delle forze sulla struttura

Per ogni superficie esposta all'azione del vento si individua la posizione del baricentro e in corrispondenza di esso, dal diagramma delle pressioni dell'edificio, si ricava la pressione per unità di superficie.

Per gli elementi **strutturali** la pressione è trasformata in:

- forze lineari per i beam (*pilastrini e travi*);
- forze nodali per le shell (*pareti, muri e solette*).

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

Per gli elementi **non strutturali** (*tamponature, solai e balconi*) la forza totale (pressione nel baricentro x superficie) viene divisa per il perimetro in modo da ottenere una forza per unità di lunghezza che viene applicata sugli elementi strutturali confinanti.

6.3.5. Azione della Neve

Il carico da neve è stato calcolato seguendo le prescrizioni del §3.4 del D.M. 2018 e le integrazioni della Circolare 2019 n. 7. Il carico da neve, calcolato come di seguito riportato, è stato combinato con le altre azioni variabili definite al §2.5.3, ed utilizzando i coefficienti di combinazione della Tabella 2.5.I del D.M. 2018. Il carico da neve superficiale da applicare sulle coperture è stato stimato utilizzando la relazione [cfr. §3.4.1 D.M. 2018]:

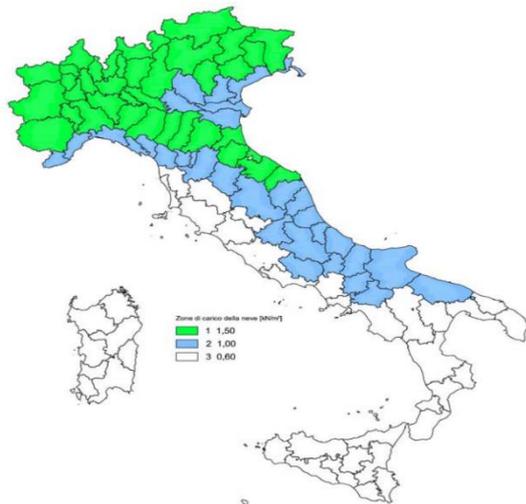
$$q_s = q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_e \cdot C_t$$

dove:

- q_{sk} è il valore di riferimento del carico della neve al suolo, in $[kN/m^2]$. Tale valore è calcolato in base alla posizione ed all'altitudine (a_s) secondo quanto indicato alla seguente tabella;

Valori di riferimento del carico della neve al suolo, q_{sk} (cfr. §3.4.2 D.M. 2018)

| Zona | $a_s \leq 200$ m | $a_s > 200$ m |
|------------------|-----------------------------------|---|
| I – Alpina | $q_{sk} = 1,50$ kN/m ² | $q_{sk} = 1,39 [1+(a_s/728)^2]$ kN/m ² |
| I – Mediterranea | $q_{sk} = 1,50$ kN/m ² | $q_{sk} = 1,35 [1+(a_s/602)^2]$ kN/m ² |
| II | $q_{sk} = 1,00$ kN/m ² | $q_{sk} = 0,85 [1+(a_s/481)^2]$ kN/m ² |
| III | $q_{sk} = 0,60$ kN/m ² | $q_{sk} = 0,51 [1+(a_s/481)^2]$ kN/m ² |



Mappa delle zone di carico della neve
[cfr. Fig. 3.4.1 D.M. 2018].

Zone di carico della neve

I - Alpina: Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbano-Cusio-Ossola, Vercelli, Vicenza

I - Mediterranea: Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Monza Brianza, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese

II: Arezzo, Ascoli Piceno, Avellino, Bari, Barletta-Andria-Trani, Benevento, Campobasso, Chieti, Fermo, Ferrara, Firenze, Foggia, Frosinone, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, L'Aquila, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rieti, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona

III: Agrigento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta,

| | |
|--|---|
| | Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotona, Enna, Grosseto, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastra, Olbia-Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo |
|--|---|

- μ_i è il coefficiente di forma della copertura, funzione dell'inclinazione della falda (α) e della sua morfologia (vedi tabelle seguenti);

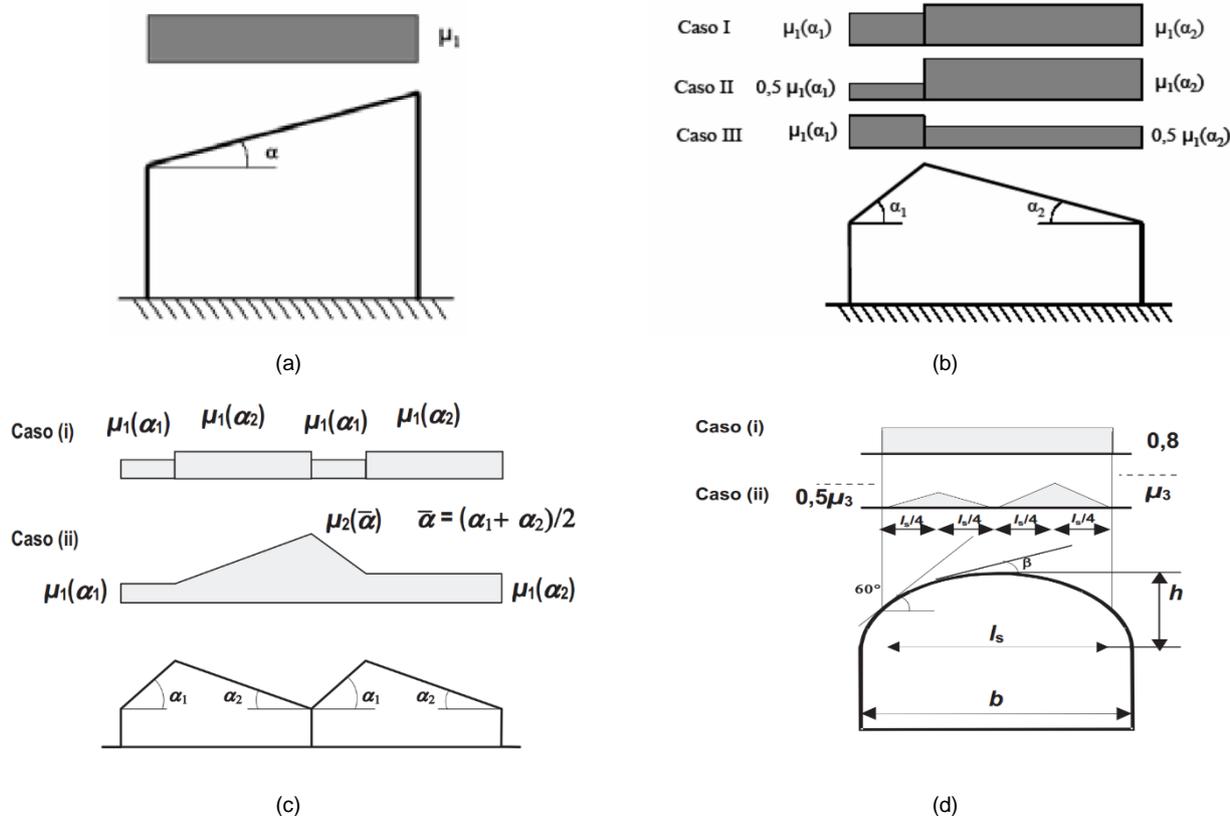
Valori dei coefficienti di forma per falde piane (cfr. Tab. 3.4.II D.M. 2018 e Tab. C3.4.I Circolare 2019 n. 7)

| Coefficiente di forma | $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ | $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ | $\alpha \geq 60^\circ$ |
|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| μ_1 | 0,8 | $0,8 \cdot (60 - \alpha) / 30$ | 0,0 |
| μ_2 | $0,8 + 0,8 \cdot \alpha / 30$ | 1,6 | - |

Valori dei coefficienti di forma per coperture cilindriche (cfr. §C3.4.3.3.1 Circolare 2019 n. 7)

| Angolo di tangenza delle coperture cilindriche, β | Coefficiente di forma, μ_3 |
|---|-----------------------------------|
| per $\beta > 60^\circ$ | $\mu_3 = 0$ |
| per $\beta \leq 60^\circ$ | $\mu_3 = 0,2 + 10 h / b \leq 2,0$ |

I coefficienti di forma definiti nelle tabelle precedenti sono stati utilizzati per la scelta delle combinazioni di carico da neve indicate nelle seguenti figure.



Coefficienti di forma e relative combinazioni di carico per la neve: (a) coperture ad una falda [cfr. 3.4.5.2 D.M. 2018],

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

(b) coperture a due falde [cfr. 3.4.5.3 D.M. 2018], (c) coperture a più falde [cfr. C3.4.3.3 Circolare 2019 n. 7], (d) coperture cilindriche [cfr. C3.4.3.3.1 Circolare 2019 n. 7].

- C_E è il coefficiente di esposizione, funzione della topografia del sito (si veda la seguente tabella);

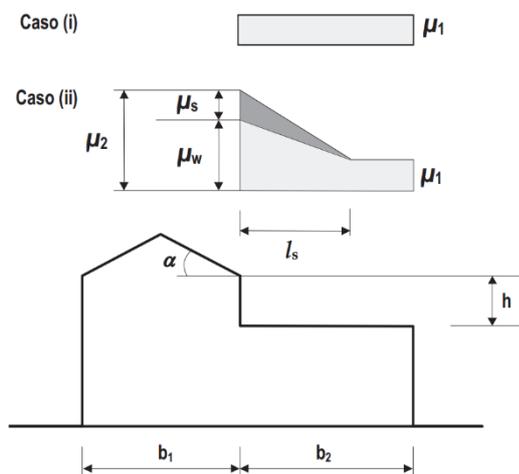
Valori di C_E per diverse classi di esposizione (cfr. Tab. 3.4.I D.M. 2018)

| Topografia | Descrizione | C_E |
|-------------------|--|-------|
| Battuta dai venti | Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti | 0,9 |
| Normale | Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi | 1,0 |
| Riparata | Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti | 1,1 |

- C_t è il coefficiente termico, cautelativamente posto pari ad 1 (cfr. §3.4.4 D.M. 2018).

Coperture adiacenti ed effetti locali

Nel caso di coperture adiacenti, si è proceduto alla stima di un carico da neve aggiuntivo dovuto a fenomeni di accumulo (cfr. §3.4.3.3.3 Circolare 2019 n. 7).



Coefficienti di forma per coperture adiacenti

$$\mu_1 = 0.8$$

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$$

$$\mu_s = 0 \text{ per } \alpha \leq 15^\circ$$

$$\mu_s = 0,5 \mu_{sup} \text{ per } \alpha > 15^\circ$$

dove:

μ_{sup} è il coefficiente valutato sulla copertura superiore

$$\mu_w = (b_1 + b_2) / 2 h \leq \gamma h / q_{sk}$$

$$\gamma = 2 \text{ kN/m}^3 \text{ è il peso specifico della neve } s = 2 h$$

Inoltre, deve risultare comunque:

$$0,8 \leq \mu_w \leq 4,0$$

$$m \leq l_s \leq 15 \text{ m}$$

Ulteriori carichi aggiuntivi dovuti a neve sono stati considerati nelle seguenti casistiche:

- accumuli in corrispondenza di sporgenze (cfr. §C3.4.3.3.4 Circolare 2019 n. 7);
- accumuli di neve aggettante dai bordi sporgenti delle coperture (cfr. §C3.4.3.3.5 Circolare 2019 n. 7);
- accumuli in corrispondenza di barriere paraneve o altri ostacoli (cfr. §C3.4.3.3.6 Circolare 2019 n. 7).

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

6.3.6. Sintesi delle funzionalità generali

Il pacchetto consente di modellare la struttura, di effettuare il dimensionamento e le verifiche di tutti gli elementi strutturali e di generare gli elaborati grafici esecutivi.

È una procedura integrata dotata di tutte le funzionalità necessarie per consentire il calcolo completo di una struttura mediante il metodo degli elementi finiti (FEM); la modellazione della struttura è realizzata tramite elementi Beam (travi e pilastri) e Shell (platee, pareti, solette, setti, travi-parete).

L'input della struttura avviene per oggetti (travi, pilastri, solai, solette, pareti, etc.) in un ambiente grafico integrato; il modello di calcolo agli elementi finiti, che può essere visualizzato in qualsiasi momento in una apposita finestra, viene generato dinamicamente dal software.

Apposite funzioni consentono la creazione e la manutenzione di archivi Sezioni, Materiali e Carichi; tali archivi sono generali, nel senso che sono creati una tantum e sono pronti per ogni calcolo, potendoli comunque integrare/modificare in ogni momento.

L'utente non può modificare il codice ma soltanto eseguire delle scelte come:

- definire i vincoli di estremità per ciascuna asta (vincoli interni) e gli eventuali vincoli nei nodi (vincoli esterni);
- modificare i parametri necessari alla definizione dell'azione sismica;
- definire condizioni di carico;
- definire gli impalcati come rigidi o meno.

Il programma è dotato di un manuale tecnico ed operativo. L'assistenza è effettuata direttamente dalla casa produttrice, mediante linea telefonica o e-mail.

Il calcolo si basa sul solutore agli elementi finiti **MICROSAP** prodotto dalla società **TESYS srl**. 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.

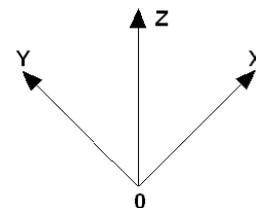
Tutti i risultati del calcolo sono forniti, oltre che in formato numerico, anche in formato grafico permettendo così di evidenziare agevolmente eventuali incongruenze.

Il programma 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.

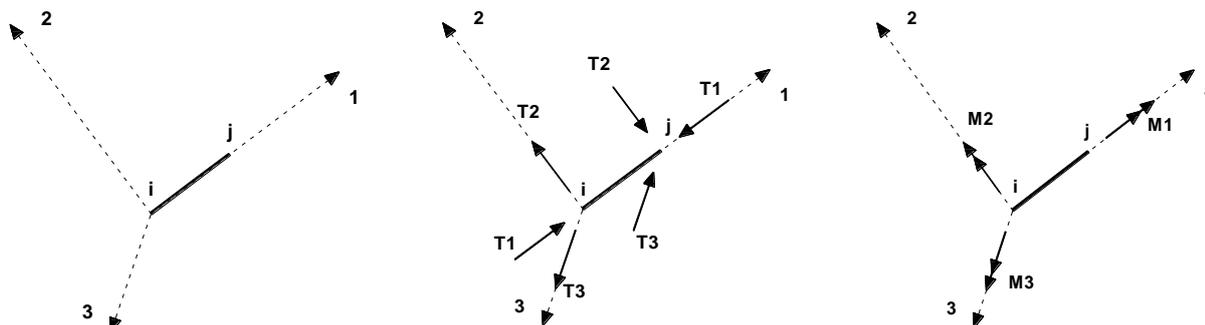
6.3.7. Sistemi di Riferimento

1) Riferimento globale

Il sistema di riferimento globale, rispetto al quale va riferita l'intera struttura, è costituito da una terna di assi cartesiani sinistrorsa O, X, Y, Z (X, Y, e Z sono disposti e orientati rispettivamente secondo il pollice, l'indice ed il medio della mano destra, una volta posizionati questi ultimi a 90° tra loro).



2) Riferimento locale per travi



L'elemento Trave è un classico elemento strutturale in grado di ricevere Carichi distribuiti e Carichi Nodali applicati ai due nodi di estremità; per effetto di tali carichi nascono, negli estremi, sollecitazioni di taglio, sforzo normale, momenti flettenti e torcenti.

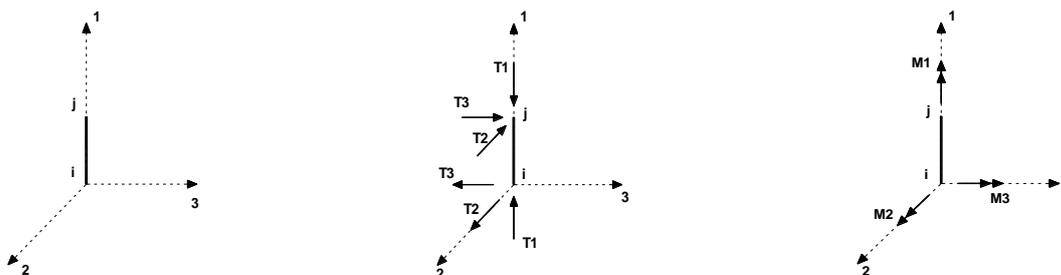
Definiti i e j (nodi iniziale e finale della Trave) viene individuato un sistema di assi cartesiani 1-2-3 locale all'elemento, con origine nel Nodo i così composto:

- asse 1 orientato dal nodo i al nodo j;
- assi 2 e 3 appartenenti alla sezione dell'elemento e coincidenti con gli assi principali d'inerzia della sezione stessa.

Le sollecitazioni verranno fornite in riferimento a tale sistema di riferimento:

1. Sollecitazione di Trazione o Compressione T_1 (agente nella direzione i-j);
2. Sollecitazioni taglianti T_2 e T_3 , agenti nei due piani 1-2 e 1-3, rispettivamente secondo l'asse 2 e l'asse 3;
3. Sollecitazioni che inducono flessione nei piani 1-3 e 1-2 (M_2 e M_3);
4. Sollecitazione torcente M_1 .

3) Riferimento locale per pilastri



Definiti i e j come i due nodi iniziale e finale del pilastro, viene individuato un sistema di assi cartesiani 1-2-3 locale all'elemento, con origine nel Nodo i così composto:

- asse 1 orientato dal nodo i al nodo j;
- asse 2 perpendicolare all' asse 1, parallelo e discorde all'asse globale Y;
- asse 3 che completa la terna destrorsa, parallelo e concorde all'asse globale X.

Tale sistema di riferimento è valido per Pilastri con angolo di rotazione pari a '0' gradi; una rotazione del pilastro nel piano XY ha l'effetto di ruotare anche tale sistema (ad es. una rotazione di '90' gradi porterebbe

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

l'asse 2 a essere parallelo e concorde all'asse X, mentre l'asse 3 sarebbe parallelo e concorde all'asse globale Y). La rotazione non ha alcun effetto sull'asse 1 che coinciderà sempre e comunque con l'asse globale Z.

Per quanto riguarda le sollecitazioni si ha:

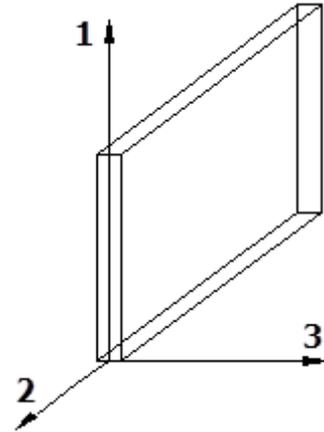
- una forza di trazione o compressione T_1 , agente lungo l'asse locale 1;
- due forze taglianti T_2 e T_3 agenti lungo i due assi locali 2 e 3;
- due vettori momento (flettente) M_2 e M_3 agenti lungo i due assi locali 2 e 3;
- un vettore momento (torcente) M_1 agente lungo l'asse locale nel piano 1.

4) Riferimento locale per pareti

Una parete è costituita da una sequenza di setti; ciascun setto è caratterizzato da un sistema di riferimento locale 1-2-3 così individuato:

- asse 1, coincidente con l'asse globale Z;
- asse 2, parallelo e discorde alla linea d'asse della traccia del setto in pianta;
- asse 3, ortogonale al piano della parete, che completa la terna levogira.

Su ciascun setto l'utente ha la possibilità di applicare uno o più carichi uniformemente distribuiti comunque orientati nello spazio; le componenti di tali carichi possono essere fornite, a discrezione dell'utente, rispetto al riferimento globale X,Y,Z oppure rispetto al riferimento locale 1,2,3 appena definito.



Si rende necessario, a questo punto, meglio precisare le modalità con cui EdiLus restituisce i risultati di calcolo.

Nel modello di calcolo agli elementi finiti ciascun setto è discretizzato in una serie di elementi tipo "shell" interconnessi; il solutore agli elementi finiti integrato nel programma EdiLus, definisce un riferimento locale per ciascun elemento shell e restituisce i valori delle tensioni esclusivamente rispetto a tali riferimenti.

Il software EdiLus provvede ad omogeneizzare tutti i valori riferendoli alla terna 1-2-3. Tale operazione consente, in fase di input, di ridurre al minimo gli errori dovuti alla complessità d'immissione dei dati stessi ed allo stesso tempo di restituire all'utente dei risultati facilmente interpretabili.

Tutti i dati cioè, sia in fase di input che in fase di output, sono organizzati secondo un criterio razionale vicino al modo di operare del tecnico e svincolato dal procedimento seguito dall'elaboratore elettronico.

In tal modo ad esempio, il significato dei valori delle tensioni può essere compreso con immediatezza non solo dal progettista che ha operato con il programma ma anche da un tecnico terzo non coinvolto nell'elaborazione; entrambi, così, potranno controllare con facilità dal tabulato di calcolo, la congruità dei valori riportati.

Un'ultima notazione deve essere riservata alla modalità con cui il programma fornisce le armature delle pareti, con riferimento alla faccia anteriore e posteriore.

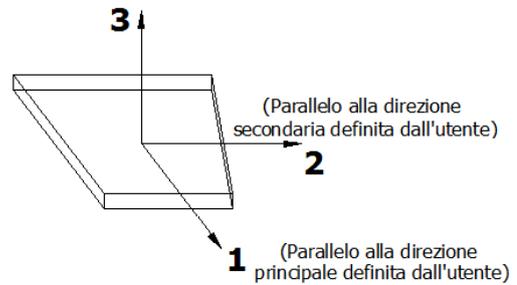
| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

La faccia anteriore è quella di normale uscente concorde all'asse 3 come prima definito o, identicamente, quella posta alla destra dell'osservatore che percorresse il bordo superiore della parete concordemente al verso di tracciamento.

5) Riferimento locale per solette e platee

Ciascuna soletta e platea è caratterizzata da un sistema di riferimento locale 1,2,3 così definito:

- asse 1, coincidente con la direzione principale di armatura;
- asse 2, coincidente con la direzione secondaria di armatura;
- asse 3, ortogonale al piano della parete, che completa la terna levogira.

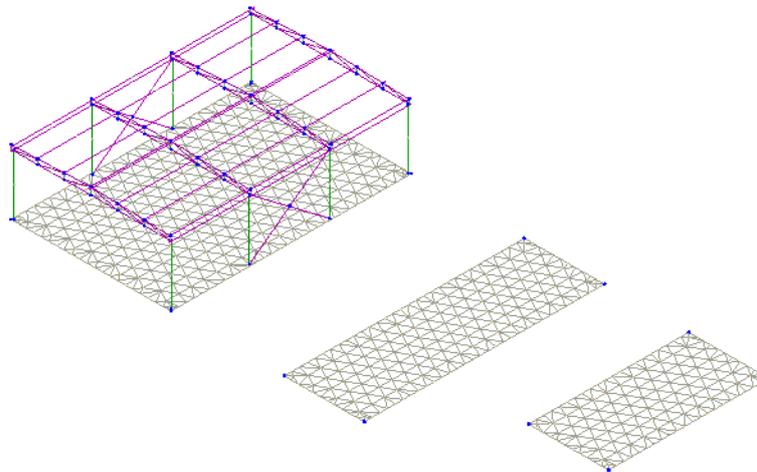


6.3.8. Modello di Calcolo

Il modello della struttura viene creato automaticamente dal codice di calcolo, individuando i vari elementi strutturali e fornendo le loro caratteristiche geometriche e meccaniche.

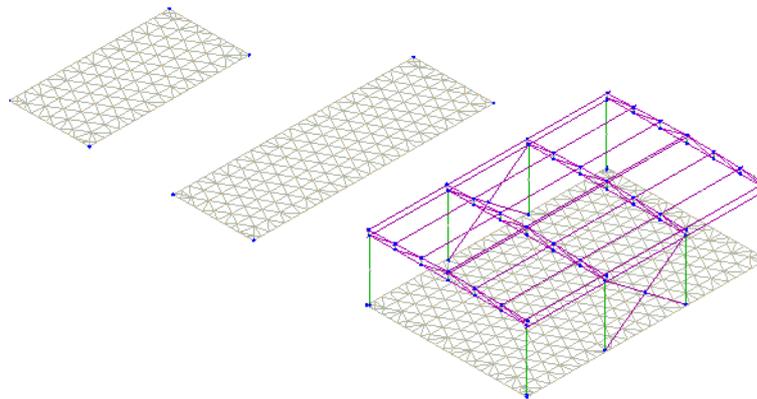
Qui di seguito è fornita una rappresentazione grafica dettagliata della discretizzazione operata con evidenziazione dei nodi e degli elementi.

Vista Anteriore



| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

Vista Posteriore



Le aste in **c.a.**, in **acciaio**, sia travi che pilastri, sono schematizzate con un tratto flessibile centrale e da due tratti (braccetti) rigidi alle estremità. I nodi vengono posizionati sull'asse verticale dei pilastri, in corrispondenza dell'estradosso della trave più alta che in esso si collega. Tramite i braccetti i tratti flessibili sono quindi collegati ad esso. In questa maniera il nodo risulta perfettamente aderente alla realtà poiché vengono presi in conto tutti gli eventuali disassamenti degli elementi con gli effetti che si possono determinare, quali momenti flettenti/torcenti aggiuntivi.

Le sollecitazioni vengono determinate solo per il tratto flessibile. Sui tratti rigidi, infatti, essendo (teoricamente) nulle le deformazioni, le sollecitazioni risultano indeterminate.

Questa schematizzazione dei nodi viene automaticamente realizzata dal programma anche quando il nodo sia determinato dall'incontro di più travi senza il pilastro, o all'attacco di travi/pilastri con elementi shell.

La modellazione del materiale degli elementi in c.a., acciaio e legno segue la classica teoria dell'elasticità lineare; per cui il materiale è caratterizzato oltre che dal peso specifico, da un modulo elastico (E) e un modulo tagliante (G).

La possibile fessurazione degli elementi in c.a. è stata tenuta in conto nel modello considerando un opportuno decremento del modulo di elasticità e del modulo di taglio, nei limiti di quanto previsto dalla normativa vigente per ciascuno stato limite.

Gli eventuali elementi di **fondazione** (travi, platee, plinti, plinti su pali e pali) sono modellati assumendo un comportamento elastico-lineare sia a trazione che a compressione.

6.4. PROGETTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

La verifica degli elementi allo SLU avviene col seguente procedimento:

- si costruiscono le combinazioni non sismiche in base al D.M. 2018, ottenendo un insieme di sollecitazioni;
- si combinano tali sollecitazioni con quelle dovute all'azione del sisma secondo quanto indicato nel §2.5.3, relazione (2.5.5) del D.M. 2018;

| | | |
|---|--|-----------------|
| PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 – Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 – Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it – web: www.pheedra.it | RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE | Pagina 34 di 40 |
|---|--|-----------------|

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

- per sollecitazioni semplici (flessione retta, taglio, etc.) si individuano i valori minimo e massimo con cui progettare o verificare l'elemento considerato; per sollecitazioni composte (pressoflessione retta/deviata) vengono eseguite le verifiche per tutte le possibili combinazioni e solo a seguito di ciò si individua quella che ha originato il minimo coefficiente di sicurezza.

6.4.1. Verifiche di Resistenza

1) Elementi in C.A.

Illustriamo, in dettaglio, il procedimento seguito in presenza di pressoflessione deviata (pilastri e trave di sezione generica):

- per tutte le terne M_x , M_y , N , individuate secondo la modalità precedentemente illustrata, si calcola il coefficiente di sicurezza in base alla formula 4.1.19 del D.M. 2018, effettuando due verifiche a pressoflessione retta con la seguente formula:

$$\left(\frac{M_{Ex}}{M_{Rx}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{Ey}}{M_{Ry}} \right)^\alpha \leq 1$$

dove:

M_{Ex} , M_{Ey} sono i valori di calcolo delle due componenti di flessione retta dell'azione attorno agli assi di flessione X ed Y del sistema di riferimento locale;

M_{Rx} , M_{Ry} sono i valori di calcolo dei momenti resistenti di pressoflessione retta corrispondenti allo sforzo assiale N_{Ed} valutati separatamente attorno agli assi di flessione.

L'esponente α può dedursi in funzione della geometria della sezione, della percentuale meccanica dell'armatura e della sollecitazione di sforzo normale agente.

- se per almeno una di queste terne la relazione 4.1.19 non è rispettata, si incrementa l'armatura variando il diametro delle barre utilizzate e/o il numero delle stesse in maniera iterativa fino a quando la suddetta relazione è rispettata per tutte le terne considerate.

Sempre quanto concerne il progetto degli elementi in c.a. illustriamo in dettaglio il procedimento seguito per le travi verificate/semiprogettate a pressoflessione retta:

- per tutte le coppie M_x , N , individuate secondo la modalità precedentemente illustrata, si calcola il coefficiente di sicurezza in base all'armatura adottata;
- se per almeno una di queste coppie esso è inferiore all'unità, si incrementa l'armatura variando il diametro delle barre utilizzate e/o il numero delle stesse in maniera iterativa fino a quando il coefficiente di sicurezza risulta maggiore o al più uguale all'unità per tutte le coppie considerate.

Per le strutture, o parti di strutture, progettate con comportamento strutturale **non dissipativo**, come il caso in esame, la capacità delle membrature soggette a flessione o pressoflessione è stato calcolato, a livello di sezione, al raggiungimento della curvatura di prima plasticizzazione $\phi_{y,d}$ di cui al § 4.1.2.3.4.2 del DM 2018.

Una volta semiprogettate le armature allo SLU, si procede alla verifica delle sezioni allo Stato Limite di Esercizio con le sollecitazioni derivanti dalle combinazioni rare, frequenti e quasi permanenti; se necessario, le armature vengono integrate per far rientrare le tensioni entro i massimi valori previsti. si procede alle verifiche

| | | |
|---|--|-----------------|
| PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 – Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 – Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it – web: www.pheedra.it | RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE | Pagina 35 di 40 |
|---|--|-----------------|

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

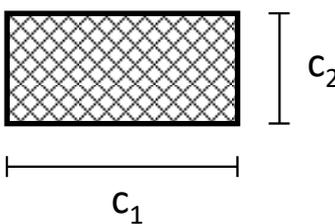
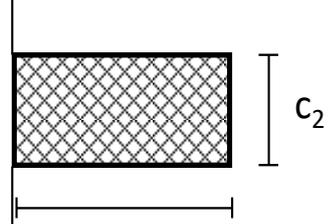
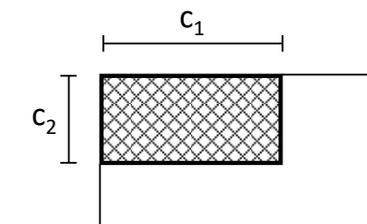
alla deformazione, quando richiesto, ed alla fessurazione che, come è noto, sono tese ad assicurare la durabilità dell'opera nel tempo.

2) Verifica di punzonamento dei nodi

I nodi in c.a. sono stati verificati a punzonamento ai sensi dei §§ 6.4 e 9.4.3 dell'Eurocodice 2 (UNI EN 1992-1-1:2015). La verifica è stata eseguita nel modo illustrato nel seguito.

STEP 1: verifica dell'idoneità geometrica

In primo luogo è stato verificato che l'elemento punzonante e quello punzonato siano dimensionati correttamente. Per effettuare questo controllo viene individuato un perimetro di verifica (detto u_0) pari al perimetro utile dell'elemento punzonante (es. perimetro del pilastro) in funzione della posizione (interna, di bordo o d'angolo). Nella figura che segue vengono illustrati alcuni casi tipici.

| interno | di bordo | d'angolo |
|---|---|---|
| $u_0 = 2 (c_1 + c_2)$ | $u_0 = c_2 + 3d \leq c_2 + 2 c_1$ | $u_0 = 3d \leq c_1 + c_2$ |
|  |  |  |

Si noti che, nella tabella precedente, d rappresenta l'altezza utile dell'elemento punzonato, pari alla media delle altezze utili nelle due direzioni armate (d_y e d_z):

$$d = \frac{d_y + d_z}{2};$$

dove:

- $d_y = h - c - \frac{\Phi_y}{2}$ è l'altezza utile lungo y ;
- $d_z = h - c - \frac{\Phi_z}{2}$ è l'altezza utile lungo z ;
- c è il copriferro, ovvero il ricoprimento delle armature;
- Φ_y e Φ_z sono i diametri delle barre delle armature longitudinali della soletta nelle direzioni principale e secondaria. La verifica lungo il perimetro caricato consiste nel controllare che (eq. (6.53) UNI EN 1992-1-1:2015):

$$v_{Ed,0} = \beta \cdot v_{Ed} / (u_0 \cdot d) \leq v_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd};$$

dove:

- β è un coefficiente che dipende dall'eccentricità (rapporto tra momento flettente e sforzo normale) del carico applicato all'elemento punzonante. In via semplificata, questo fattore può essere stimato in relazione alla

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

posizione in pianta del pilastro (si veda la seguente Fig. 6.21N della UNI EN 1992-1-1:2015 e la relativa tabella);

- V_{Ed} è lo sforzo di punzonamento di progetto allo SLU;
- $v = 0,6 (1 - f_{ck}/250)$.

| posizione elemento punzonante | β |
|-------------------------------|---------|
| interna | 1,15 |
| di bordo | 1,4 |
| d'angolo | 1,5 |

STEP 2: Verifica lungo il perimetro critico in assenza di armature

La verifica di punzonamento si esegue normalmente in corrispondenza del perimetro critico (indicato con u_1) lungo il quale si assume che possa verificarsi, allo stato limite ultimo, la rottura a punzonamento. Il perimetro critico di pilastri in elevazione, ai sensi della UNI EN 1992-1-1:2015, è ad una distanza $2d$ dal perimetro convesso dell'elemento punzonante, eventualmente escludendo i limiti della soletta (per pilastri di bordo e d'angolo, cfr. Figg. 6.13 e 6.15 UNI EN 1992-1-1:2015):

| pilastro Interno | pilastro di Bordo | pilastro d'Angolo |
|---|---|---------------------------------|
| $u_1 = 2 \cdot (c_1 + c_2) + 4 \cdot \pi \cdot d$ | $u_1 = c_2 + 2 \cdot c_1 + 2 \cdot \pi \cdot d$ | $u_1 = c_1 + c_2 + \pi \cdot d$ |

Nel caso di elementi di fondazione, invece, il perimetro critico è da individuarsi in modo iterativo tra tutti quelli con il minore coefficiente di sicurezza, fino ad una distanza di $2d$ dal pilastro. Similmente a quanto avviene per gli elementi non armati a taglio con una specifica armatura trasversale (si pensi ai solai), è possibile assumere una resistenza intrinseca dell'elemento punzonato anche in assenza di armature (trattandosi di un meccanismo a taglio):

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_1 d} \leq v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \geq (v_{\min} + k_1 \sigma_{cp})$$

dove:

- $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$;
- $k = \min \left[1 + \sqrt{\frac{200}{d [mm]}}; 2 \right]$;
- $\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \cdot \rho_{lz}} \leq 0,02$;
- $\rho_{ly} = \frac{A_{sly}}{(c_1 + 6d)d}$ e $\rho_{lz} = \frac{A_{slz}}{(c_2 + 6d)d}$ sono le armature longitudinali nelle due direzioni che attraversano la dimensione colonna (c_1 o c_2) maggiorata di $3d$ su ciascun lato;
- $k_1 = 0,1$
- $\sigma_{cp} = \frac{\sigma_{cy} + \sigma_{cz}}{2}$ è la tensione normale media nelle direzioni y e z del piano della soletta (per esempio dovute alla precompressione);

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

$$\begin{aligned}
 - \quad \sigma_{cy} &= \frac{N_{Ed,y}}{A_{cy}} \quad \sigma_{cz} = \frac{N_{Ed,z}}{A_{cz}} ; \\
 - \quad v_{\min} &= 0,035k^{3/2} f_{ck}^{1/2} [MPa].
 \end{aligned}$$

STEP 3: Progetto delle armature a punzonamento

Qualora non sia possibile, con il solo contributo del calcestruzzo, assorbire la totalità dello sforzo punzonante, vengono disposte delle armature a punzonamento di area totale, lungo il perimetro critico, pari ad A_{sw} . Siccome non è nota a priori la reale posizione della superficie critica di rottura a punzonamento, la norma prevede di "replicare" queste armature in modo concentrico rispettando i limiti dimensionali indicati nel prosieguo. Vengono, quindi, disposte un certo numero di "file", tutte di area totale A_{sw} e concentriche al pilastro e via via più distanti da questo. L'armatura totale a punzonamento di una fila (A_{sw}) deve essere scelta in modo tale che sia soddisfatta la seguente verifica:

$$V_{Ed,1} \leq V_{Rd,cs} = 0,75 \cdot V_{Rd,c} + 1,5 \cdot (d/s_r) A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \sin \alpha / (u_1 \cdot d);$$

dove:

- s_r è l'interasse radiale dell'armatura a punzonamento (ovvero la distanza tra due file di armature concentriche);
- $f_{ywd,ef}$ è la tensione di snervamento di progetto efficace delle armature a punzonamento:

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d \leq f_{ywd};$$

- α è l'angolo di inclinazione dell'armatura a punzonamento con l'orizzontale.

È possibile scegliere tra due possibili tipologie di armature a punzonamento:

- 1) *cuciture verticali* (pioli o perni tipo "stud"): in questo caso, trattandosi di armature verticali, sarà possibile assumere $\alpha = 90^\circ$;
- 2) *ferrì piegati*: in questo caso, la piegatura potrà avvenire con un angolo α compreso tra 30° e 45° e si potrà assumere, nel caso di un'unica fila di armature:

$$(d/s_r) = 0,67.$$

STEP 4: Dettagli esecutivi

La disposizione delle armature a punzonamento deve essere fatta seguendo i dettagli esecutivi indicati nel § 9.4.3 della UNI EN 1992-1-1:2015. In primo luogo occorrerà calcolare il perimetro u_{out} oltre il quale non sono più richieste armature. Quest'ultimo è pari a:

$$u_{out,ef} = \beta \cdot V_{Ed} / (V_{Rd,c} \cdot d).$$

I dettagli esecutivi possono essere così riassunti (cfr. Fig. 9.10 UNI EN 1992-1-1:2015):

- 1) *per cuciture verticali*: la prima fila deve partire ad una distanza compresa tra 0,3 e 0,5 d dalla faccia del pilastro; le file devono essere distanziate tra loro di una quantità \leq di 0,75 d; l'ultima fila deve essere disposta

| | | |
|---|--|-----------------|
| PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 - Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 - Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it | RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE | Pagina 38 di 40 |
|---|--|-----------------|

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

ad una distanza \leq di 1,5 d dal perimetro u_{out} ;

- 2) *per ferri piegati*: la prima fila deve partire ad una distanza minore di 0,5 d dalla faccia del pilastro; le barre possono essere disposte in pianta ad una distanza dalle facce del pilastro minore o uguale a 0,25 d; le file devono essere distanziate tra loro di una quantità minore o uguale a 0,75 d; l'ultima fila deve essere disposta ad una distanza minore o uguale a 1,5 d dal perimetro u_{out} .

Infine, l'area minima della singola armatura a punzonamento deve risultare:

$$A_{sw,1} \geq A_{sw,min} = \frac{0,08 \sqrt{f_{ck}} / f_{yk}}{(1,5 \sin \alpha + \cos \alpha) (s_r s_t)} ;$$

dove s_t è la distanza tangenziale massima tra le armature lungo una stessa fila, pari ad almeno 1,5 d per file interne al perimetro u_1 e 2 d per file esterne al perimetro u_1 .

3) Elementi in Acciaio

Per quanto concerne la verifica degli elementi in **acciaio**, le verifiche effettuate per ogni elemento dipendono dalla funzione dell'elemento nella struttura. Ad esempio, elementi con prevalente comportamento assiale (controventi o appartenenti a travature reticolari) sono verificate a trazione e/o compressione; elementi con funzioni portanti nei confronti dei carichi verticali sono verificati a Pressoflessione retta e Taglio; elementi con funzioni resistenti nei confronti di azioni orizzontali sono verificati a pressoflessione deviata e taglio oppure a sforzo normale se hanno la funzione di controventi.

Le verifiche allo SLU sono effettuate sempre controllando il soddisfacimento della relazione:

$$R_d \geq S_d$$

dove R_d è la resistenza calcolata come rapporto tra R_k (resistenza caratteristica del materiale) e γ (coefficiente di sicurezza), mentre S_d è la generica sollecitazione di progetto calcolata considerando tutte le Combinazioni di Carico per lo Stato Limite esaminato.

La resistenza viene determinata, in funzione della Classe di appartenenza della Sezione metallica, col metodo Elastico o Plastico (vedi §4.2.3.2 del D.M. 2018).

Viene portato in conto l'indebolimento causato dall'eventuale presenza di fori.

Le verifiche effettuate sono quelle previste al §4.2.4.1.2 D.M. 2018 ed in particolare:

- Verifiche di Trazione
- Verifiche di Compressione
- Verifiche di Flessione Monoassiale
- Verifiche di Taglio (considerando l'influenza della Torsione) assiale e biassiale.
- Verifiche per contemporanea presenza di Flessione e Taglio
- Verifiche per PressoFlessione retta e biassiale

4) Verifiche di Instabilità

Per tutti gli elementi strutturali sono state condotte verifiche di stabilità delle membrature secondo le indicazioni del §4.2.4.1.3 del D.M. 2018; in particolare sono state effettuate le seguenti verifiche:

- Verifiche di stabilità per compressione semplice, con controllo della snellezza.
- Verifiche di stabilità per elementi inflessi.
- Verifiche di stabilità per elementi inflessi e compressi.

| | | |
|---|--|-----------------|
| PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 - Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 - Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it | RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE | Pagina 39 di 40 |
|---|--|-----------------|

| | | |
|--|---|---|
| Committente LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 2 S.R.L. | PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI ASCOLI SATRIANO IN LOCALITA' FLAMIA | Nome del file: ASC-CIV-REL-025_01 |
|--|---|---|

Le verifiche sono effettuate considerando la possibilità di instabilizzazione flessotorsionale.

5) Verifiche di Deformabilità

Sono state condotte le verifiche definite al §4.2.4.2 del D.M. 2018 e in particolare si citano:

- Verifiche agli spostamenti verticali per i singoli elementi (§4.2.4.2.1 D.M. 2018).
- Verifiche agli spostamenti laterali per i singoli elementi (§4.2.4.2.2 D.M. 2018).
- Verifiche agli spostamenti per il piano e per l'edificio (§4.2.4.2.2 D.M. 2018).

7. RECINZIONE E CANCELLI D'ACCESSO

La recinzione sarà realizzata con rete metallica, fissata a pali infissi nel terreno. La rete sarà alta 2,00 m dal suolo,

Lungo la recinzione saranno installati 7 cancelli di dimensioni 5,00 x 2,00 m realizzati in profili di acciaio zincata a caldo.

a) recinzione perimetrale in rete metallica a maglia larga

La recinzione perimetrale sarà realizzata a circa 2 m dal perimetro catastale, e realizzata in rete metallica a maglia larga. Le strutture di sostegno saranno realizzate tramite pali infissi al suolo, in modo da non alterare l'assetto geomorfologico dell'area. L'altezza della rete sarà di circa 2,00 m dal piano campagna. Lungo il perimetro saranno posizionati i sistemi di video sorveglianza e di illuminazione.



Figura 4.1 – recinzione – tipologico

b) accesso all'area

L'accesso alle aree sarà garantito da varchi carrabili e pedonabile, realizzati da cancelli di tipo a battente, in acciaio zincato a caldo e rete metallica, come da particolari costruttivi.

| | | |
|---|--|-----------------|
| PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 – Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 – Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it – web: www.pheedra.it | RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE | Pagina 40 di 40 |
|---|--|-----------------|

STRUCTURAL ANALYSIS OF SOLAR ARRAY
GEOGRAPHIC SITUATION: Ascoli Satriano

AXONE DUO 120 modules Single-Axis Tracker



Document No.: **PVH-STRUCTURAL_ANALYSIS-PROJECT4-AxDUO120**

Rev.: 00 Date: 17th JuL 2020



| VER | DATE | MODIFIED SECTION | DESCRIPTION | PREPARED | REVIEWED | APPROVED |
|-----|------------|------------------|-------------|-----------------|------------|-------------------|
| 00 | 17/07/2020 | All document | Issued | Ginés M. Franco | Iván Leiva | Eduardo Chillarón |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

TABLE OF CONTENTS

Contents

- 1. OBJECT6**
- 1. GEOGRAPHIC SITUATION8**
- 2. SCOPE.....9**
- 3. ASSUMPTIONS.....10**
- 4. REFERENCES11**
 - 4.1 APPLICABLE STANDARDS..... 11
 - 4.2 COMPUTATIONAL ANALYSIS 11
- 5. UNITS12**
- 6. AXIS SYSTEM13**
- 7. DEFINITION OF THE STRUCTURE.....14**
 - 7.1 STRUCTURE OF A ROW 15
 - 7.2 SUMMARY OF MAIN ELEMENTS 15
- 8. FINITE MODEL DESCRIPTION18**
 - 8.1 GENERAL..... 18
 - 8.2 ELEMENTS..... 18
 - 8.3 BOUNDARY CONDITIONS 21
 - 8.4 MATERIALS 22
- 9. STRENGTH REQUIREMENTS23**
- 10. LOAD CASES.....24**
 - 10.1 WIND LOAD 24
 - 10.1.1 WIND TUNNEL TEST 27**
 - 10.2 SEISMIC LOADS 35
 - 10.3 SNOW LOAD 35
 - 10.4 LOAD CASES..... 35
- 11. STATIC ANALYSIS RESULTS36**
 - 11.1 ZONE 1 37
 - 11.1.1 Central Rotation Beam 37
 - 11.1.2 Lateral Rotation Beam..... 38



| | |
|-------------------------------------|----|
| 11.1.3 Central Post | 39 |
| 11.1.4 Lateral Post..... | 40 |
| 11.2 ZONE 2 ROW WITH MOTOR | 41 |
| 11.2.1 Central Rotation Beam | 41 |
| 11.2.2 Lateral Rotation Beam 1..... | 42 |
| 11.2.3 Lateral Rotation Beam 2..... | 43 |
| 11.2.4 Central Post | 44 |
| 11.2.5 Lateral Post..... | 45 |
| 11.2.6 Drive arm | 46 |
| 11.3 ZONE 2 ROW WITHOUT MOTOR..... | 47 |
| 11.3.1 Central Rotation Beam | 47 |
| 11.3.2 Lateral Rotation Beam 1..... | 48 |
| 11.3.3 Central Post | 49 |
| 11.3.4 Lateral Post..... | 50 |
| 11.3.5 Drive arm | 51 |
| 11.4 ZONE 3 ROW WITH MOTOR..... | 52 |
| 11.4.1 Central Rotation Beam | 52 |
| 11.4.2 Lateral Rotation Beam 1..... | 53 |
| 11.4.3 Lateral Rotation Beam 2..... | 54 |
| 11.4.4 Central Post | 55 |
| 11.4.5 Lateral Post..... | 56 |
| 11.4.6 Drive arm | 57 |
| 11.5 ZONE 3 ROW WITHOUT MOTOR..... | 58 |
| 11.5.1 Central Rotation Beam | 58 |
| 11.5.2 Lateral Rotation Beam 1..... | 59 |
| 11.5.3 Central Post | 60 |
| 11.5.4 Lateral Post..... | 61 |



| | |
|---|-----------|
| 11.5.5 Drive arm | 62 |
| 12. PANEL RAIL PROFILES CALCULATION | 63 |
| 12.1 PANEL RAIL Ω 80X1.5 MM FOR ROWS STOWED AT -30° | 63 |
| 12.2 PANEL RAIL Ω 80X1.2 MM FOR ROWS STOWED AT -5° | 65 |
| 13. MOTOR RESULTS | 67 |
| 14. AEROLASTIC INSTABILITIES CHECK..... | 69 |
| 15. CONCLUSIONS | 71 |

1. OBJECT

The object of this document is to justify that the solar array complies with the strength requirements specified in this report, which are based in the norms, see reference section (4.1), under the specifications defined in the following chapters.

The solar array layout consists of multiple rows, which were separated into 3 different zones according to their location and configuration. Zone 1 corresponds to the first row of the array, where the trackers are more exposed to wind loads. Trackers on this zone have a more robust structure than trackers on more interior rows. Zone 2 and 3 correspond to the more interior rows of the array.

Starting from the second row, two rows are paired together, so they can be move by a single motor. Zone 2 corresponds to the second and third row of the array, and they slightly more robust than the trackers from Zone 3. Zone 3 corresponds to the trackers located in the interior of the array starting from the fourth row. Of the coupled rows on zones 2 and 3, the row closest to the exterior will be the one where the motor is placed on its central post. Rotation movement on the other row is transmitted by a lever system like the one shown in **Figure 2**.

The trackers proposed for the array have 60 solar panels per row in a portrait configuration, 30 in one side and 30 in the other, reaching a total length of around 60 m in all the zones. Each solar panel has approximate dimensions of 2000 x 1000 mm, and they are mounted on a beam, supported by posts with an approximate height of 1220 mm. Rows where the engine is located have 9 posts, and rows that do not have the engine will have 10 posts. Central posts, where the engine is placed, have bigger section since they need to be more robust than other posts.

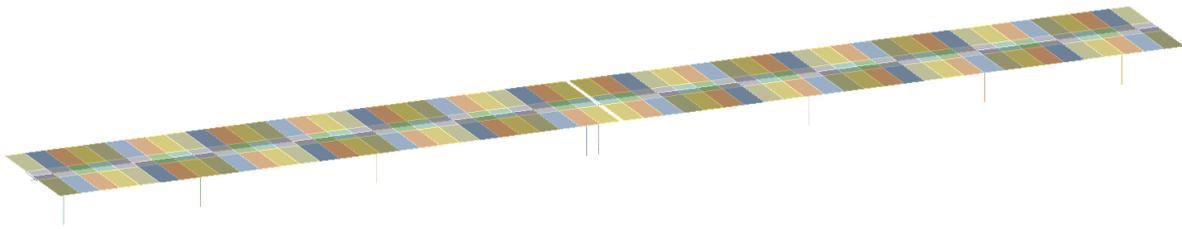


Figure 1. *Indicative Drawing of a row*

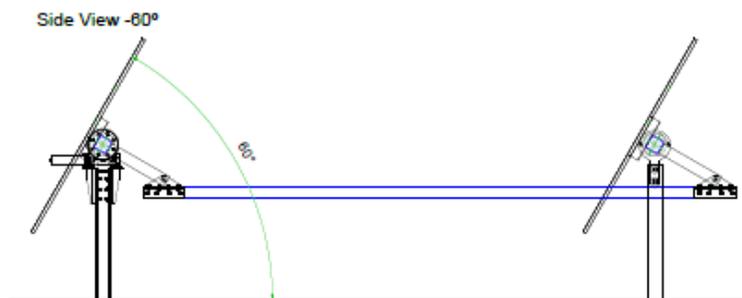


Figure 2. *Lateral View of One Row in working position*

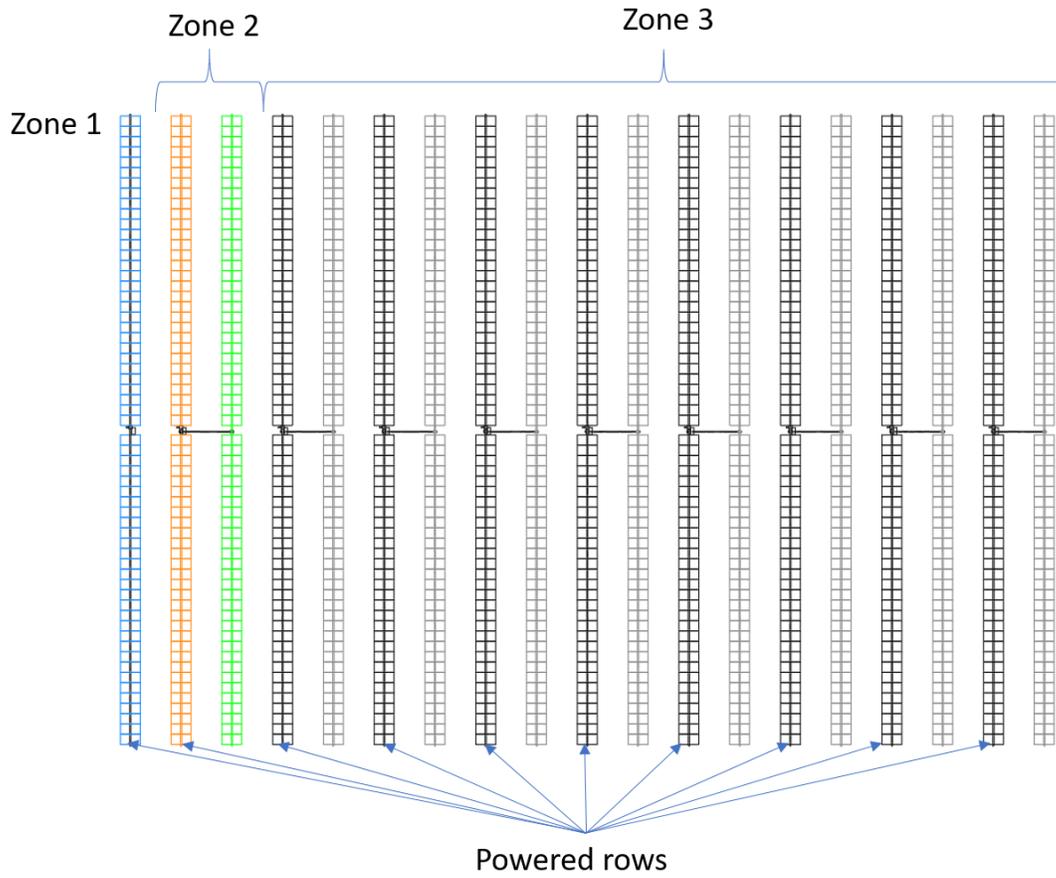


Figure 3. *Layout example*

1. GEOGRAPHIC SITUATION

The Single-axis trackers, object of this document, will be located close to Ascoli Satriano, Italy.



Figure 4. *Situation of the Solar Array*

2. SCOPE

The scope of this report is that the multiple solar arrays analysed, comply with the specified strength requirements based in norms, section (4.1), under the next specifications:

- The wind load considered in this analysis corresponds to a wind velocity equal to **20 m/s (43.2 km/h)** in working position and **28 m/s (100.8 km/h)** in stow one. Speed of working position corresponds to 3 sec gust measure and the speed for the stow position is measured as a 10-minute average wind at 10m high. The basic wind considered has been found on reference [II], and coefficients used have been determined from wind tunnel experiments that can be found on reference [II].
- According with reference [III], snow loads have been considered in the analyses.
- According with reference [IV], earthquake has been considered in the zone.
- Wind, snow, seismic and weight loads have been increased using the corresponded factor obtained from reference [I].
- The strength justification of the structure is based on Linear-elastic static finite element analysis to validate structure.

3. ASSUMPTIONS

In order to carry out the analysis of the structure and its components, the following assumptions have been deemed:

- Three different models have been developed corresponding to each one of the zones. Different loads have then been applied to these models at different angles and conditions according to the standards found on section 4.1.
- The forces and reactions obtained from the models have been used to calculate the joint members between rows.
- A stow position of -30° have been used for the trackers on Zone 1 and -5° for the interior zones 2 and 3.
- **10% of damping** has been used for the analysis

4. REFERENCES

4.1 Applicable Standards

The solar array shall be designed following the norms and expected base set of requirements established by:

- [I] EN 1993-1: Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings
- [II] 1991 1-4 2010: Eurocode 1 – Actions on structures, Part 1-4: General actions, Wind actions
- [III] EN 1991 1-3 2009: Eurocode 1 – Actions on structures, Part 1-3: General actions, Snow Loads
- [IV] EN 1998-3: Eurocode 8 – Design of Structures for Earthquake Resistance.
- [V] EN 1993-1-3: Design of Steel structures – Part 1-3: General rules -Supplementary rules for cold-formed members and sheeting
- [VI] PVH_AxoneDuo_DAMPING_FACTOR_ANALYSIS
- [VII] CPP13360_PVHardwareAxone_REP_SOL_R02
- [VIII] HE8 MB076ZT101-PL0350

4.2 Computational Analysis

ConSteel 13

Ansys V19

Abaqus/CAE 2017



5. UNITS

All parameters are expressed as SI basic units and those derived from SI basic units:

Fundamentals:

| | | |
|---------------|------------|-------|
| Length | Millimetre | [mm] |
| Time | Second | [sec] |
| Force | Newton | [N] |

Derivatives:

| | | |
|--------------------------------|---------------------------|------------------------|
| Mass | Ton | [Ton] |
| Pressure | Mega Pascal | [MPa] |
| Density | --- | [Ton/mm ³] |
| Acceleration of gravity | $g = 9810 \text{ mm/s}^2$ | |
| Stress | MPa = N/mm ² | |

The use of these units is consistent with Newton's Law $F = m \times a$

6. AXIS SYSTEM

The following coordinate systems are used throughout this document (all geometric, FEM and results are stated in terms consistent with them).

The global axis system is defined as follows:

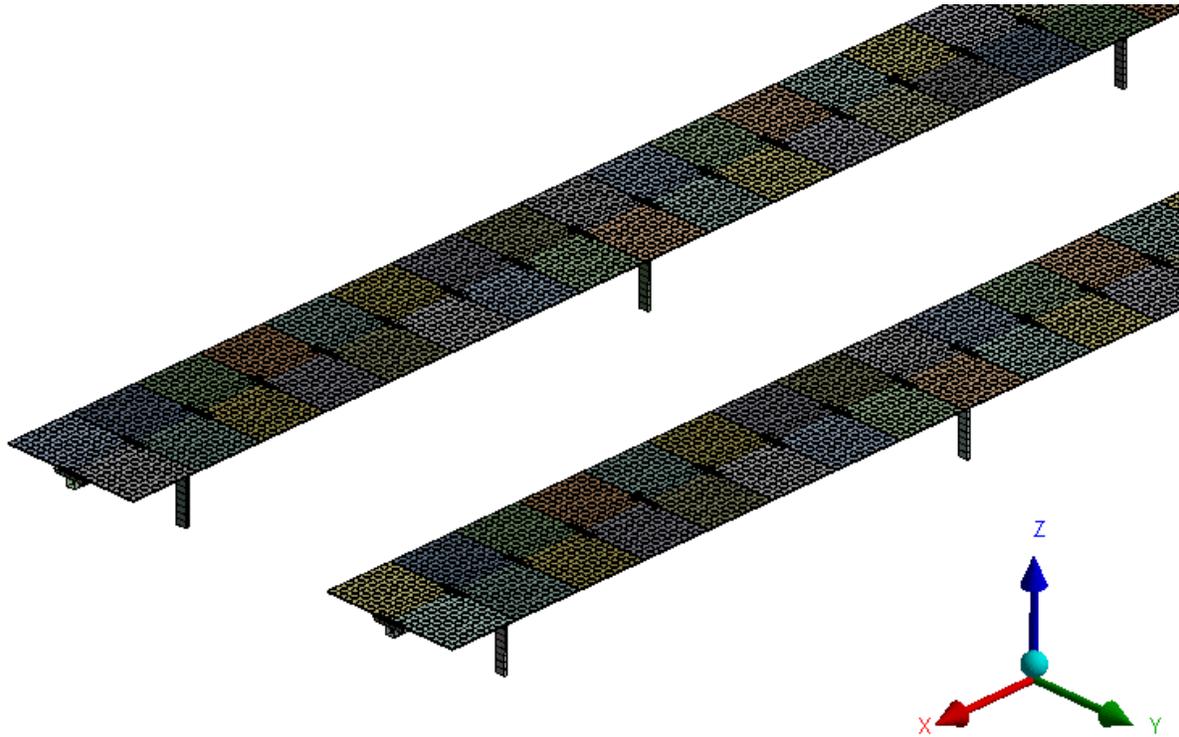


Figure 5. *Solar Array. Global Axis*

7. DEFINITION OF THE STRUCTURE

The next configuration has been used for external and interior rows:

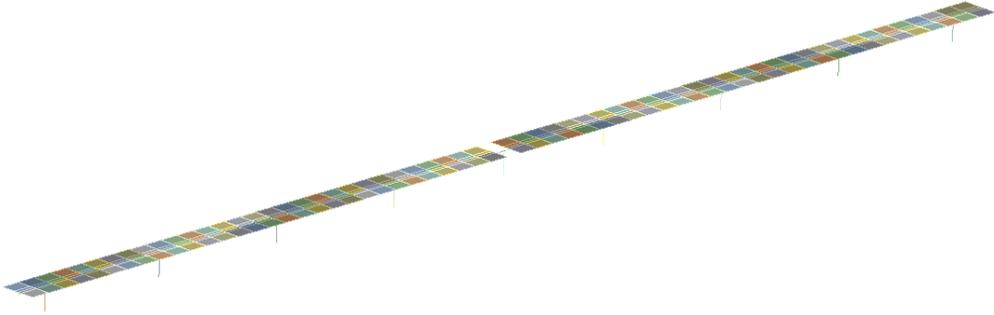


Figure 6. *Structure of the Axone Duo in Zone 1*

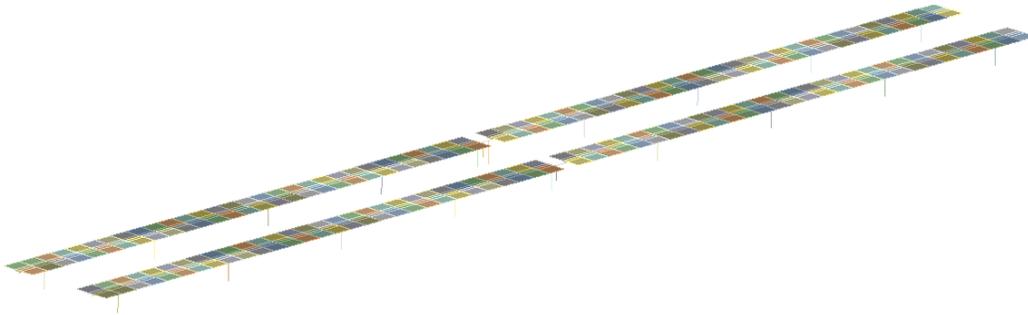


Figure 7. *Structure of the Axone Duo in Zone 2 and 3*

In all zones, the solar panels are established in a two-portrait orientation, as shown in the following figure:

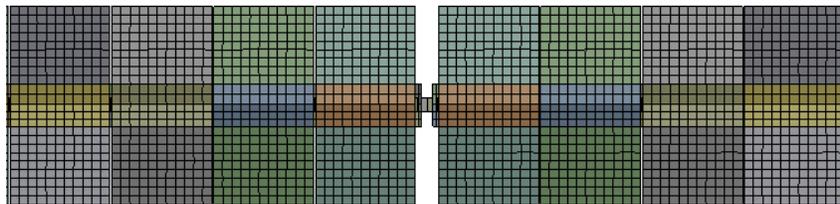


Figure 8. *One Panel in a portrait configuration per Columns (2000mmx1000mm)*

7.1 Structure of a Row

Studied zones, lengths, gaps between posts and number of posts are presented in the following table. Central posts have different section than the rest, since they need to be more robust to withstand torsional forces from the motor and tracker.

| Zone Location | Total Length (mm) | Gap Between Posts (mm) | Number of Posts |
|---|-------------------|--|-----------------|
| I, and Rows with motors of other zones | 61000 | Cantilever 1570 - 7500 - 7500 – 7500 – 6900 – 6350 – 7500 – 7500 – 7100 Cantilever 1580 | 9 |
| Rows without motors of zones II and III | 61000 | Cantilever 1570 - 7450 - 7450 – 7450 – 6200 – 650 - 6700 – 7450 - 7450 – 7050 Cantilever 1580 | 10 |

Table 1. *Structure of a Row depending on the Zone*

7.2 Summary of Main Elements

In general, each structure of 1 axis solar array is composed by the following components: Posts, Rotation Beam, Panel Rail (Ω profile), Motor and Solar Modules.

In the next table, a summary of the main elements of the structure is done as well as the material.

| ELEMENT | SECTION | MATERIAL | AMOUNT |
|-----------------------|--------------------|-----------------|--------|
| Central Post | HEA 140 | S275 | 1 |
| Lateral Posts | IPE 140 | S275 | 8 |
| Central Rotation Beam | 140x140x3 | S355 | 2 |
| Lateral Rotation Beam | 140x140x2,5 | S355 | 4 |
| Panel Rail | Ω 80x1.5 mm | Magnelis 350 GD | 62 |

Table 2. *Summary of Principal Elements Zone I*

| ELEMENT | SECTION | MATERIAL | AMOUNT |
|-----------------------|----------------|-----------------|--------|
| Central Posts | HEA 140 | S355 | 1 |
| Lateral Posts | CP 170x50x20x3 | S275 | 8 |
| Central Rotation Beam | 120x120x7 | S355 | 2 |
| Lateral Rotation Beam | 120x120x3 | S355 | 2 |
| Lateral Rotation Beam | 120x120x2,5 | S355 | 2 |
| Lateral Rotation Beam | 120x120x2,5 | S355 | 2 |
| Drive Arm | 100x100x6 | S275 | 1 |
| Panel Rail | Ω 80x1.5 mm | Magnelis 350 GD | 62 |

Table 3. *Summary of Principal Elements Zone II (Rows with Motor)*

| ELEMENT | SECTION | MATERIAL | AMOUNT |
|-----------------------|----------------|-----------------|--------|
| Central Posts | IPE 140 | S275 | 2 |
| Lateral Posts | CP 140x50x20x3 | S355 | 8 |
| Central Rotation Beam | 120x120x3 | S355 | 2 |
| Lateral Rotation Beam | 120x120x2,5 | S355 | 4 |
| Lateral Rotation Beam | 120x120x2,5 | S355 | 2 |
| Drive Arm | 100x100x6 | S275 | 1 |
| Panel Rail | Ω 80x1.2 mm | Magnelis 350 GD | 62 |

Table 4. *Summary of Principal Elements Zone II (Rows without Motor)*

| ELEMENT | SECTION | MATERIAL | AMOUNT |
|-----------------------|----------------|-----------------|--------|
| Central Posts | HEA 140 | S275 | 1 |
| Lateral Posts | CP 140x50x20x3 | S355 | 8 |
| Central Rotation Beam | 120x120x4 | S355 | 2 |
| Lateral Rotation Beam | 120x120x3 | S355 | 2 |
| Lateral Rotation Beam | 120x120x2,5 | S355 | 2 |
| Lateral Rotation Beam | 120x120x2,5 | S355 | 2 |
| Drive Arm | 100x100x6 | S275 | 1 |
| Panel Rail | Ω 80x1.2 mm | Magnelis 350 GD | 62 |

Table 5. *Summary of Principal Elements Zone III (Rows with Motor)*

| ELEMENT | SECTION | MATERIAL | AMOUNT |
|-----------------------|----------------|-----------------|--------|
| Central Posts | IPE 140 | S275 | 2 |
| Lateral Posts | CP 140x50x20x3 | S355 | 8 |
| Central Rotation Beam | 120x120x3 | S355 | 2 |
| Lateral Rotation Beam | 120x120x2,5 | S355 | 4 |
| Lateral Rotation Beam | 120x120x2,5 | S355 | 2 |
| Drive Arm | 100x100x6 | S275 | 1 |
| Panel Rail | Ω 80x1.2 mm | Magnelis 350 GD | 62 |

Table 6. *Summary of Principal Elements Zone III (Rows without Motor)*

8. FINITE MODEL DESCRIPTION

8.1 General

As mentioned above, depending on the studied Zone, two different models have been carried out.

To simulate the AXONE Single-Axis Tracker, only one row has been modelled for each zone to simplify the analysis, and the corresponding boundary conditions have been applied on it. Therefore, each row has been analysed isolated with their properties and loads.

The finite element model consists of mid-surfaces.

Nominal dimensions are considered.

Ansys V19 has been used to generate the finite element model.

Mesh is mainly based on “**Beam elements**” except the solar modules, which are defined with “**Shell elements**” using quadrilaterals.

In case of bolted joints, “**Joints**” elements are used to simulate the bolt and to join locally the different parts.

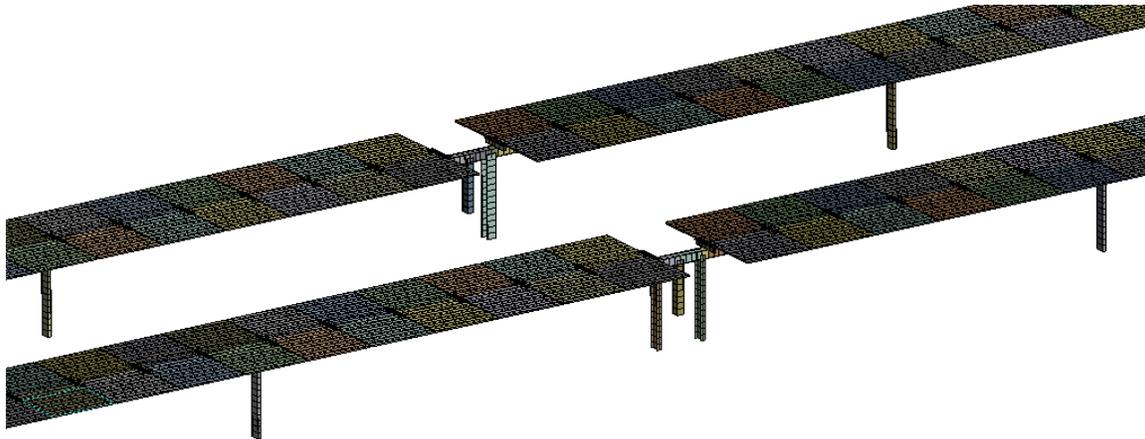


Figure 9. *Solar Array Finite Model Zone II*

8.2 Elements

The following types of elements have been used in the finite element model:

- **Shell element:** has both bending and membrane capabilities. Both in-plane and normal loads are permitted. The element has six degrees of freedom at each node: translations in the nodal x, y, and z directions and rotations about the nodal x, y, and z-axes. As mentioned above, two different components were modelled with Shell. On the one hand, the solar panels have an average size of mesh of 83 mm.

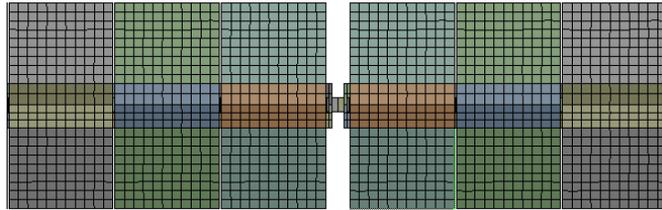


Figure 10. *Shell Elements at Solar Module*

- Beam element:** is a uniaxial element with tension-compression, torsion, and bending capabilities. The element has six degrees of freedom at two nodes: translations in the nodal x, y, and z directions and rotations about the nodal x, y, and z axes. This element includes stress stiffening; large deflection capabilities and simplifications due to its symmetry and standard pipe geometry are included. Depending on the element represented, different profiles has been utilized.

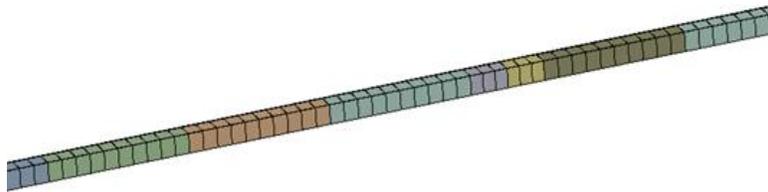


Figure 11. *Beam Elements at Horizontal Rotation Beam*

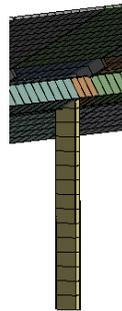


Figure 12. *Lateral Post Beams*

- Connector element:** is suitable for analysing bolted joints. This element adds an additional equation to the solution which constraint the degrees of freedom between two points corresponding to each joint.

These include translations in the x, y, and z directions and rotations about the x, y, and z directions. Depending on the joint different restrictions will be carried out.

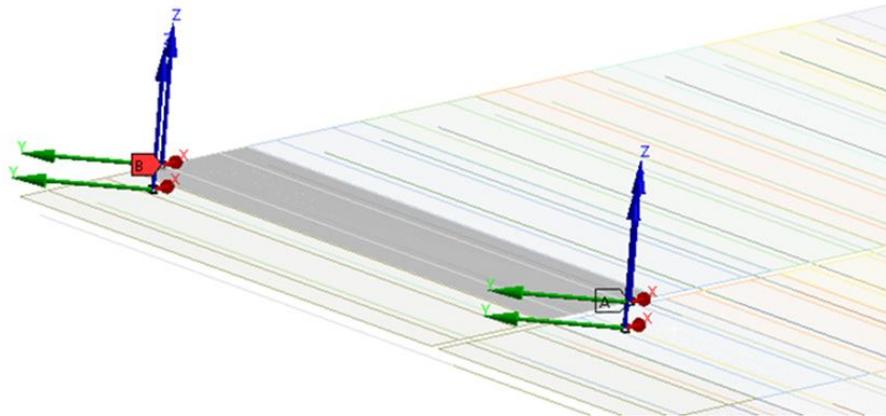


Figure 13. *Connector Elements*

In blue circles, it is shown the bolts which joint the solar module with the panel rail. It just constraints the translations x, y and z.

In red circles, are presented the bolts which joint the panel rail with the rotation beam. It constraints the translations and rotations in x, y and z.

- Rotation joint:** to simulate the bearing joint between the rotation beam and the posts a special connector which only allow the rotation in the X global axis has been defined (Blue circles)

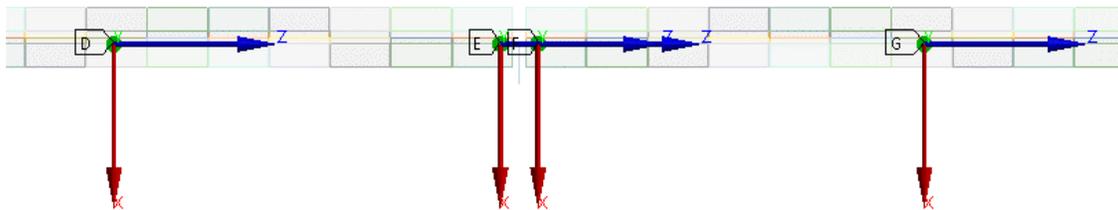


Figure 14. *Bearing joint*

8.3 Boundary Conditions

- The lower nodes of every post constraint the translations and the rotations in all directions.

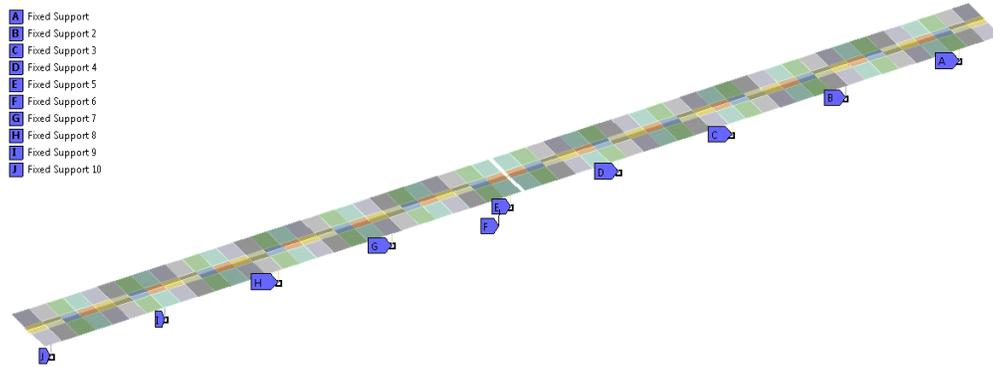


Figure 15. *Posts Boundary Conditions*

The joint between the central post and the rotation beam has been modelled with all their degrees of freedom fixed in order to simulate the blockage of the motor.

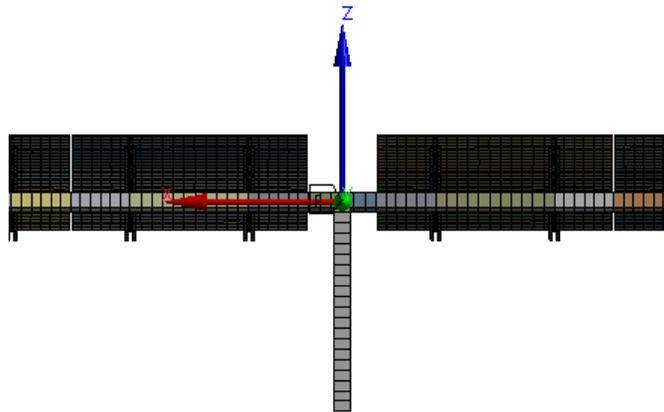


Figure 16. *Blockage of the motor*



For zones II and III, where two rows paired, the joint between the pusher rods connecting the rows have been modelled with only the translation on the Y axis fixed.

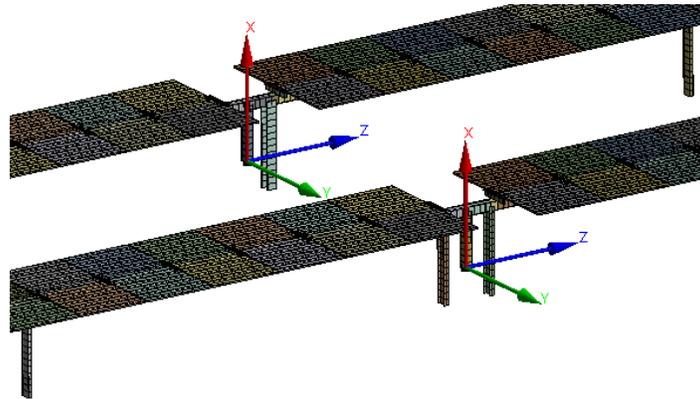


Figure 17. *Link between pair of rows from Zone II*

8.4 Materials

The solar array structure is made of S275 and S355 steel; the next tables show physical and mechanical properties.

| MATERIAL (en 1993-1-1:2005) | ELASTIC MODULUS (MPa) | POISSON RATION | DENSITY (Kg/m ³) |
|--------------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------------------|
| S275 | 210000 | 0.3 | 7850 |
| S355 | | | |

Table 7. *Material Physical Properties*

| MATERIAL (EN 1993-1-1:2005) | THICKNESS [mm] | MECHANICAL PROPERTIES | |
|--------------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------------|
| | | YIELD STRESS [MPa] | ULTIMATE STRENGTH [MPa] |
| S275 | T≤16 | 275 | 410 |
| | 16<T≤40 | 265 | |
| S355 | T≤16 | 355 | 470 |
| | 16<T≤40 | 345 | |

Table 8. *Material Mechanical Properties*

The material properties are considered to be linear elastic for the global model.



9. STRENGTH REQUIREMENTS

A safety coefficient has been applied to the yield stress of each material. This value is shown in the following table related to equation:

$$\sigma_{final} = \frac{\sigma_y}{SC}$$

Strength requirements are function to design criteria used. The next table shows the safety coefficient values for each material.

| MATERIAL | YIELD STRESS (MPa) | SAFETY COEFFICIENT ϕ (-) | ALLOWABLE STRESS (MPa) |
|-----------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------|
| S275JR | 275 | 1.05 | 261.9 |
| S355JR | 355 | 1.05 | 338.0 |
| Magnelis 350 GD | 350 | 1.05 | 333.3 |

Table 9. *Allowable Stress Value*

10. LOAD CASES

10.1 Wind Load

According to the location of the plant, the design wind loads are the following:

Basic Wind Speed: $V_{b,0} = 28 \text{ m/s}$, considered that the structure is located in the Zone 3 (figure D.1 reference [II]). This value has been measured as a 10-minute average wind.



Figure 18. *Basic value of velocity in the localization*

$$V_b = C_{dir} \times C_{seas} \times V_{b,0}$$

Where:

C_{dir} is the wind directionality factor to be considered as 1

C_{seas} is the seasonal factor which was also considered as 1

For normal operations, the trackers are design for a maximum wind speed of 20 m/s (72 Km/h) measure as 3 sec gust.

Therefore:

| | Stow Position | Working Position |
|------------------------------|---------------|------------------|
| $V_{b,0}$ (m/s, 10 min mean) | 28.00 | 13.33 |
| Cdir | 1.00 | 1.00 |
| Cseas | 1.00 | 1.00 |
| V_b (m/s, 10 min mean) | 28.00 | 13.33 |

Table 10. *Wind Speed*

The dynamic pressure is defined by the following equations:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$

And

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

$\delta=1.25 \text{ kg/m}^3$ is the air density

$C_e(z)$ is the exposure factor.

Exposure factor has been obtained from the following figure.

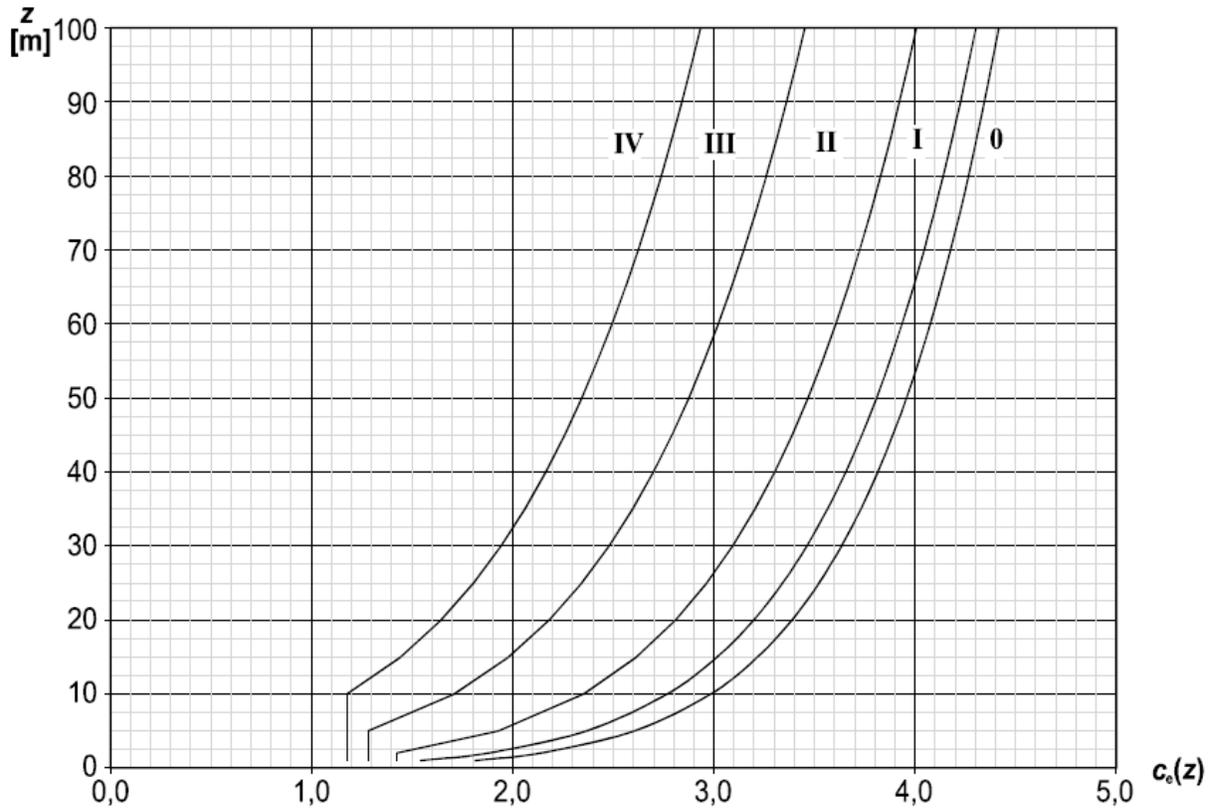


Figure 19. *Exposure factor*

| | Stow Position | Working Position |
|----|---------------|------------------|
| Ce | 1.60 | 1.60 |
| qb | 490 | 111.11 |
| qp | 784 | 178 |

Table 11. *Dynamic pressures*

10.1.1 WIND TUNNEL TEST

PVH for the study of its trackers has made a tunnel wind test with CPP, where several design loads have been examined by weighting the pressure taps on the modules by the appropriate area to produce peak normal force.

The load cases studied are listed below.

- $GC_{M-HalfTrackers}$: Peak half tracker (torque tube); for the design of the torque tube, drive system and associated components.
- GC_{N-Post} : Peak normal force on the post tributary area; for design of the post an associated components.
- $GC_{M-Module}$: Peak moment on a module about the torque tube; for the design of the module clamps/purlins attaching modules to the torque tube.
- $GM_{M-Cantilever}$: Peak moment on row-end cantilever; for design of the cantilever.

Uplift and downforce cases are provided for all load effects.

The load distribution on the trackers is represented in the next figure:

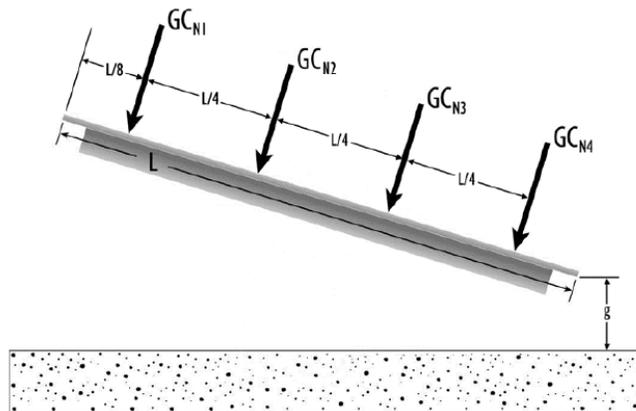


Figure 20. *Load distribution schematic*

The result obtained have been simplified into zones of similar value or steps along a gradient. The zone map for the results presented in the next figures:

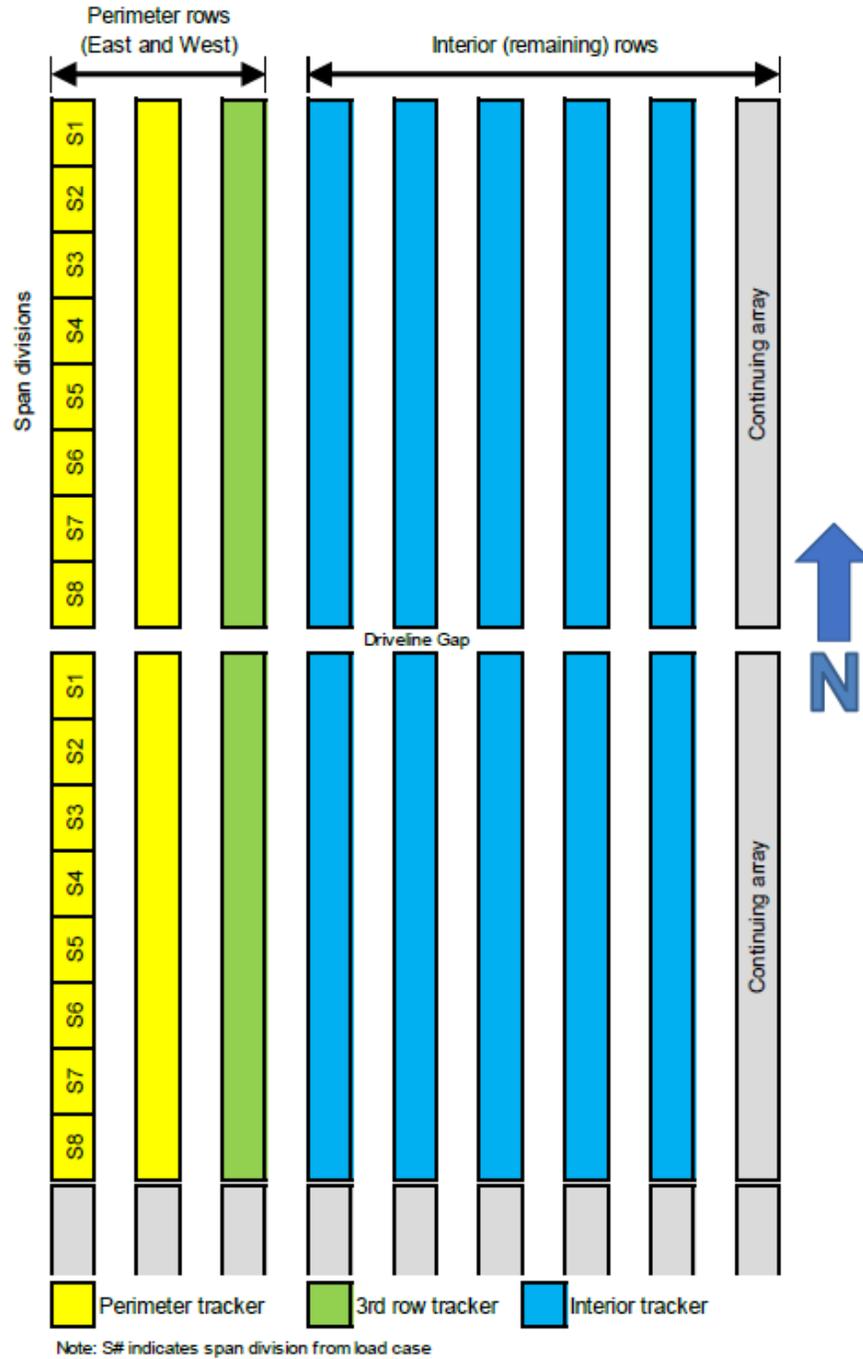


Figure 21. *Load distribution schematic*

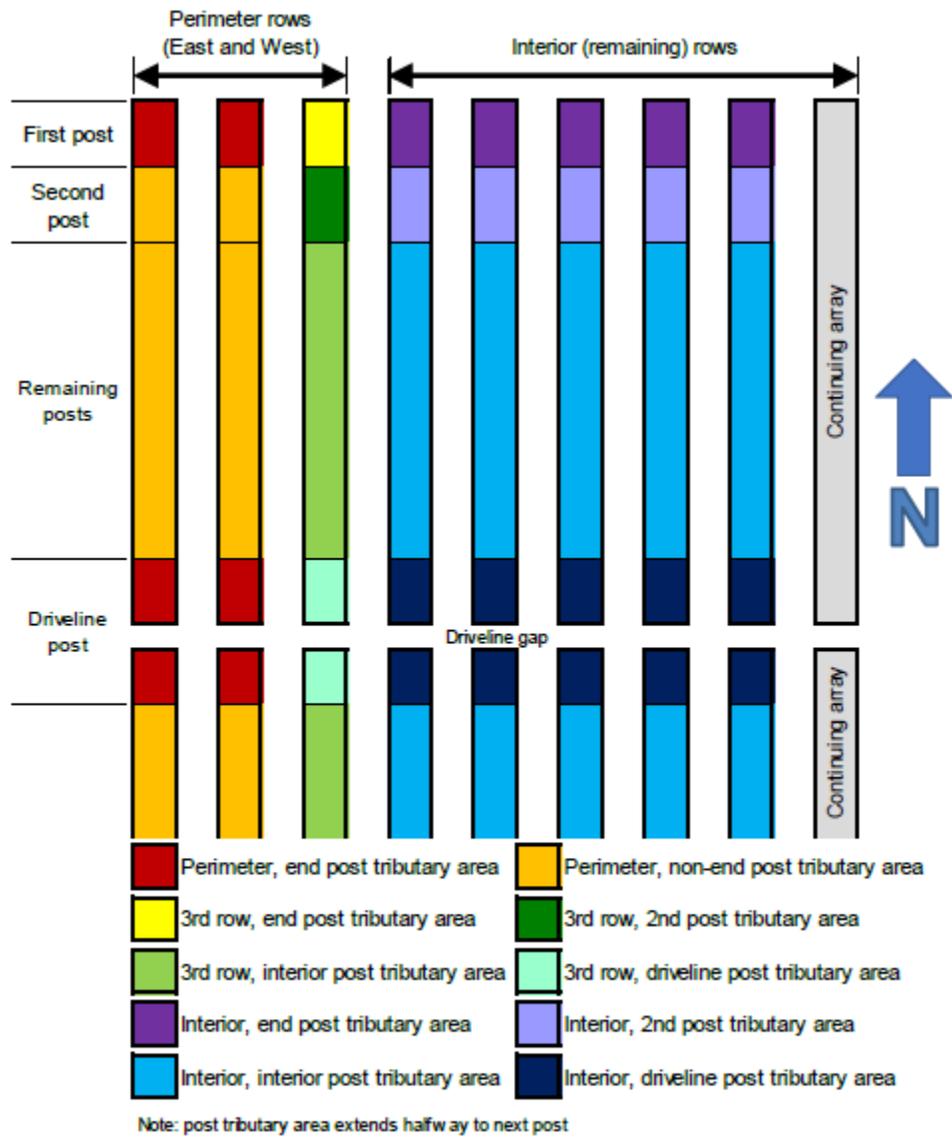


Figure 22. Load distribution schematic

The following tables show the coefficients obtained from wind tunnel test for the most critical case which is on stow position. Additionally, the twist angles are added on the tables, since an iterative analysis has been performed. For the iterative analysis, the twist produced by the wind forces on the rotation beam is taken into account.

10.1.1.1 Coefficients to analyze the rotation beam

| Row 1 | SPAN 1 | SPAN 2 | SPAN 3 | SPAN 4 | SPAN 5 | SPAN 6 | SPAN 7 | SPAN 8 |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Angle Analysis (°) | -31.04 | -32.26 | -33.29 | -34.13 | -34.78 | -35.24 | -35.50 | -35.58 |
| GCN1 | 0.34 | 0.39 | 0.40 | 0.41 | 0.41 | 0.45 | 0.45 | 0.51 |
| GCN2 | 0.57 | 0.62 | 0.62 | 0.64 | 0.64 | 0.71 | 0.69 | 0.69 |
| GCN3 | 0.96 | 0.83 | 0.84 | 0.86 | 0.84 | 0.92 | 0.90 | 0.91 |
| GCN4 | 1.29 | 1.00 | 1.01 | 1.04 | 1.00 | 1.11 | 1.06 | 1.07 |
| DAF | 1.16 | 1.16 | 1.17 | 1.17 | 1.18 | 1.18 | 1.18 | 1.18 |

Table 12. Coefficients to analyze the rotation beam of Row 1

| Row 2 | SPAN 1 | SPAN 2 | SPAN 3 | SPAN 4 | SPAN 5 | SPAN 6 | SPAN 7 | SPAN 8 |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Angle Analysis (°) | -7.11 | -10.06 | -12.84 | -15.60 | -17.93 | -19.58 | -20.53 | -20.82 |
| GCN1 | 0.11 | 0.13 | 0.13 | 0.11 | 0.25 | 0.23 | 0.21 | 0.28 |
| GCN2 | 0.28 | 0.41 | 0.43 | 0.40 | 0.50 | 0.46 | 0.50 | 0.50 |
| GCN3 | 0.51 | 0.80 | 0.77 | 0.81 | 0.74 | 0.72 | 0.88 | 0.87 |
| GCN4 | 0.71 | 1.03 | 1.05 | 1.13 | 0.96 | 1.31 | 1.19 | 1.19 |
| DAF | 1.14 | 1.14 | 1.13 | 1.12 | 1.12 | 1.11 | 1.11 | 1.12 |

Table 13. Coefficients to analyze the rotation beam of Row 2

| Row 3 | SPAN 1 | SPAN 2 | SPAN 3 | SPAN 4 | SPAN 5 | SPAN 6 | SPAN 7 | SPAN 8 |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Angle Analysis (°) | -5.93 | -7.23 | -8.46 | -9.69 | -10.75 | -11.51 | -11.95 | -12.09 |
| GCN1 | 0.07 | 0.07 | 0.09 | 0.10 | 0.09 | 0.10 | 0.10 | 0.09 |
| GCN2 | 0.14 | 0.19 | 0.24 | 0.28 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 |
| GCN3 | 0.16 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.27 | 0.29 | 0.22 | 0.22 |
| GCN4 | 0.37 | 0.53 | 0.64 | 0.73 | 0.69 | 0.66 | 0.56 | 0.56 |
| DAF | 1.15 | 1.15 | 1.16 | 1.17 | 1.121 | 1.124 | 1.126 | 1.16 |

Table 14. Coefficients to analyze the rotation beam of Row 3

| Row 4 | SPAN 1 | SPAN 2 | SPAN 3 | SPAN 4 | SPAN 5 | SPAN 6 | SPAN 7 | SPAN 8 |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Angle Analysis (°) | -5.76 | -6.82 | -7.81 | -8.81 | -9.67 | -10.28 | -10.64 | -10.75 |
| GCN1 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.08 | 0.08 |
| GCN2 | 0.12 | 0.16 | 0.20 | 0.23 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 |
| GCN3 | 0.13 | 0.18 | 0.21 | 0.24 | 0.23 | 0.23 | 0.17 | 0.17 |
| GCN4 | 0.30 | 0.45 | 0.52 | 0.59 | 0.57 | 0.56 | 0.47 | 0.47 |
| DAF | 1.15 | 1.15 | 1.16 | 1.16 | 1.16 | 1.16 | 1.16 | 1.16 |

Table 15. Coefficients to analyze the rotation beam of Row 4

| Row 5 | SPAN 1 | SPAN 2 | SPAN 3 | SPAN 4 | SPAN 5 | SPAN 6 | SPAN 7 | SPAN 8 |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Angle Analysis (°) | -5.76 | -6.82 | -7.81 | -8.81 | -9.67 | -10.28 | -10.64 | -10.75 |
| GCN1 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.08 | 0.08 |
| GCN2 | 0.12 | 0.16 | 0.20 | 0.23 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 |
| GCN3 | 0.13 | 0.18 | 0.21 | 0.24 | 0.23 | 0.23 | 0.17 | 0.17 |
| GCN4 | 0.30 | 0.45 | 0.52 | 0.59 | 0.57 | 0.56 | 0.47 | 0.47 |
| DAF | 1.15 | 1.15 | 1.16 | 1.16 | 1.16 | 1.16 | 1.16 | 1.16 |

Table 16. Coefficients to analyze the rotation beam of Row 5

10.1.1.2 Coefficients to analyze the piles

| Row 1 | Central Post | Post 1 | Post 2 | Post 3 | Post 4 |
|---------------------------|--------------|--------|--------|--------|--------|
| Angle Analysis (°) | -30.87 | -35.53 | -35.13 | -34.12 | -32.53 |
| GCN1 | 0.62 | 0.55 | 0.55 | 0.54 | 0.52 |
| GCN2 | 0.96 | 0.82 | 0.82 | 0.81 | 0.78 |
| GCN3 | 1.33 | 1.06 | 1.05 | 1.04 | 1.02 |
| GCN4 | 1.54 | 1.22 | 1.21 | 1.20 | 1.19 |
| DAF | 1.15 | 1.32 | 1.32 | 1.31 | 1.30 |

Table 17. Coefficients to analyze the piles of Row 1

| Row 2 | Central Post | Post 1 | Post 2 | Post 3 | Post 4 |
|---------------------------|--------------|--------|--------|--------|--------|
| Angle Analysis (°) | -6.74 | -20.66 | -19.19 | -15.56 | -10.76 |
| GCN1 | 0.15 | 0.40 | 0.38 | 0.32 | 0.25 |
| GCN2 | 0.42 | 0.77 | 0.75 | 0.68 | 0.58 |
| GCN3 | 0.47 | 0.99 | 0.98 | 0.95 | 0.92 |
| GCN4 | 0.79 | 1.21 | 1.22 | 1.21 | 1.21 |
| DAF | 1.50 | 1.28 | 1.29 | 1.32 | 1.37 |

Table 18. Coefficients to analyze the piles of Row 2

| Row 3 | Central Post | Post 1 | Post 2 | Post 3 | Post 4 |
|---------------------------|--------------|--------|--------|--------|--------|
| Angle Analysis (°) | -5.77 | -12.01 | -11.33 | -9.67 | -7.54 |
| GCN1 | 0.09 | 0.14 | 0.14 | 0.13 | 0.11 |
| GCN2 | 0.21 | 0.31 | 0.31 | 0.30 | 0.24 |
| GCN3 | 0.20 | 0.37 | 0.36 | 0.33 | 0.26 |
| GCN4 | 0.47 | 0.76 | 0.77 | 0.76 | 0.60 |
| DAF | 1.55 | 1.40 | 1.41 | 1.44 | 1.59 |

Table 19. Coefficients to analyze the piles of Row 3

| Row 4 | Central Post | Post 1 | Post 2 | Post 3 | Post 4 |
|---------------------------|--------------|--------|--------|--------|--------|
| Angle Analysis (°) | -5.63 | -10.69 | -10.13 | -8.80 | -7.07 |
| GCN1 | 0.09 | 0.12 | 0.12 | 0.11 | 0.10 |
| GCN2 | 0.24 | 0.27 | 0.27 | 0.25 | 0.23 |
| GCN3 | 0.16 | 0.33 | 0.32 | 0.27 | 0.21 |
| GCN4 | 0.44 | 0.69 | 0.70 | 0.62 | 0.52 |
| DAF | 1.79 | 1.46 | 1.47 | 1.58 | 1.75 |

Table 20. Coefficients to analyze the piles of Row 4

| Row 5 | Central Post | Post 1 | Post 2 | Post 3 | Post 4 |
|---------------------------|--------------|--------|--------|--------|--------|
| Angle Analysis (°) | -5.63 | -10.69 | -10.13 | -8.80 | -7.07 |
| GCN1 | 0.09 | 0.12 | 0.12 | 0.11 | 0.10 |
| GCN2 | 0.24 | 0.27 | 0.27 | 0.25 | 0.23 |
| GCN3 | 0.16 | 0.33 | 0.32 | 0.27 | 0.21 |
| GCN4 | 0.44 | 0.69 | 0.70 | 0.62 | 0.52 |
| DAF | 1.79 | 1.46 | 1.47 | 1.58 | 1.75 |

Table 21. Coefficients to analyze the piles of Row 5



10.1.1.3 Coefficients to analyze the panel rail

| | Row 1 | Row 2 | Row 3 | Row 4 | Row 5 |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Angle Analysis (°) | -30.87 | -20.66 | -12.01 | -10.69 | -10.69 |
| GCN1 | 0.55 | 0.34 | 0.09 | 0.08 | 0.08 |
| GCN2 | 0.93 | 0.72 | 0.28 | 0.24 | 0.24 |
| GCN3 | 1.34 | 1.00 | 0.35 | 0.31 | 0.31 |
| GCN4 | 1.55 | 1.25 | 0.96 | 0.88 | 0.88 |

Table 22. Coefficients to analyze the Panel Rails



10.2 Seismic Loads

Seismic loads are considered according to [IV]. The seismic loads are negligible compared with wind and snow loads.

10.3 Snow Load

Snow loads are considered in the analysis according to section 3.5 of reference [III].

The snow load is considered as $q_n = \mu \cdot S_k$

Where

- $\mu = 0.8$ is the shape coefficient (critical snow angle is 0°)
- $S_k = 1 \text{ KN/m}^2$ according to Table E.2 of the reference.

10.4 Load Cases

Following the specifications in reference [I], the load combinations are also function to design criteria used in this reference:

Load combinations following are described below.

| CASE | LIMIT STATE | WEIGHT | WIND PRES | WIND SUCT | SNOW |
|------|-------------|--------|-----------|-----------|------|
| 1 | ULS | 1.35 | 1.5 | 0.0 | 0.75 |
| 2 | ULS | 0.9 | 0.0 | 1.5 | 0.0 |
| 3 | ULS | 1.35 | 0.75 | 0.0 | 1.5 |
| 4 | SLS | 1.0 | 1.0 | 0.0 | 0.5 |
| 5 | SLS | 0.9 | 0.0 | 1.0 | 0.0 |
| 6 | SLS | 1.0 | 0.6 | 0.0 | 1.0 |

Table 23. Coefficients of each load case

These coefficients have been considered for multiple inclination angles of the tracker.

11. STATIC ANALYSIS RESULTS

Results plots for the static critical load cases are presented to prove the integrity of the structure.

Maximum nodal stresses of the structural and several main components can be seen below.
Summary Results

The following table shows the stress values of each component. These values have been obtained from the study made using critical load cases.

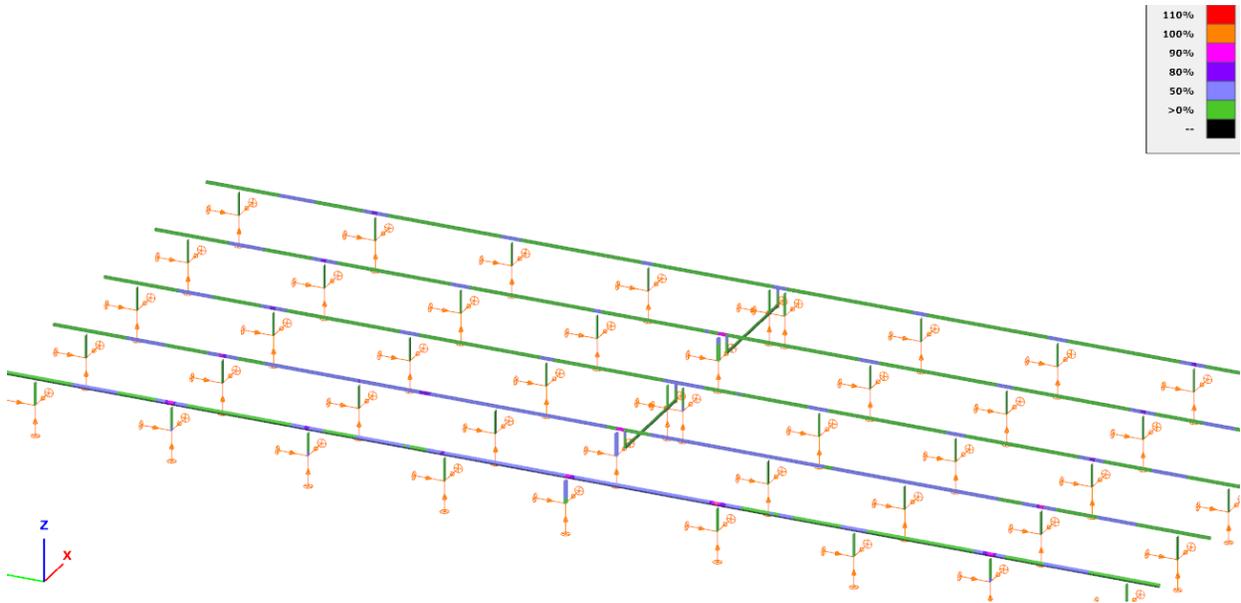


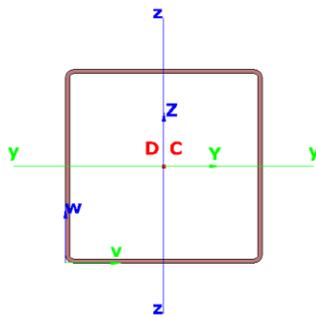
Figure 23. *Overall Results for Central Rows*

11.1 Zone 1

The most critical cases of zone 1 are given in the following figures and tables.

11.1.1 Central Rotation Beam

| | | | | | | | |
|----------------------------|--------|----------------|---------------------|----------------|---------|--------------------|------|
| Dominant load combination: | | | | Case 1 Press | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | 0.0kN | V _y | -2.4kN | T _t | 11.7kNm | α _{cr,op} | 6.77 |
| M _y | 9.7kNm | V _z | 12.4kN | T _w | 0.0kNm | | |
| M _z | 1.5kNm | B | 0.0kNm ² | T | 11.7kNm | | |



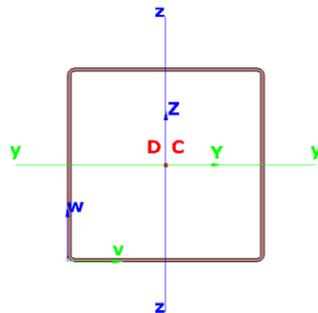
Section parameters

Name: R140x3
 Section class 4
 A = 1 619mm²
 A_{sY} = 690mm²
 A_{sZ} = 690mm²
 I_y = 5 023 309mm⁴
 I_z = 5 023 309mm⁴
 W_{1el.Y} = 71 762mm³
 W_{1el.Z} = 71 762mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 355 EN 10025-2 | f _{y1} | 355.0 N/mm ² | f _{y2} | 335.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 74.02 | | | | |
| Dominant case | General elastic cross-section resistance | | | | |
| Dominant formula | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 74.02% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Bending about the major axis | 4.45% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Bending about the minor axis | 43.08% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Major axis shear | 1.57% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Minor axis shear | 8.29% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Torsion | 52.79% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Conservative interaction resistance | 46.77% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |

11.1.2 Lateral Rotation Beam

| | | | | | | | |
|----------------------------|--------|----------------|---------------------|----------------|---------|--------------------|------|
| Dominant load combination: | | | | Case 1 Press | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | 0.0kN | V _y | 2.4kN | T _t | -8.1kNm | α _{cr,op} | 7.19 |
| M _y | 9.9kNm | V _z | -10.4kN | T _w | 0.0kNm | | |
| M _z | 2.8kNm | B | 0.0kNm ² | T | -8.1kNm | | |



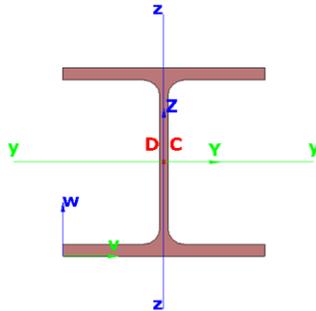
Section parameters

Name: R140x2.5
 Section class 4
 A = 1 357mm²
 A_{sY} = 576mm²
 A_{sZ} = 576mm²
 I_y = 4 249 217mm⁴
 I_z = 4 249 217mm⁴
 W_{1el.Y} = 60 703mm³
 W_{1el.Z} = 60 703mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 355 EN 10025-2 | f _{y1} | 355.0 N/mm ² | f _{y2} | 335.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 80.32 | | | | |
| Dominant case | General elastic cross-section resistance | | | | |
| Dominant formula | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 80.32% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Bending about the major axis | 10.40% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Bending about the minor axis | 56.27% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Major axis shear | 1.94% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Minor axis shear | 8.35% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Torsion | 43.47% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Conservative interaction resistance | 64.79% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |
| Web buckling resistance | 6.68% | EN 1993-1-5: Section 5 (only with non-rigid end post, see Figure 5.1 c)) | | | |

11.1.3 Central Post

| | | | | | | | |
|----------------------------|----------|----------------|----------------------|----------------|--------|--------------------|-------|
| Dominant load combination: | | | | Case 1 Press | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | -28.4kN | V _y | 0.0kN | T _t | 0.0kNm | α _{cr,op} | 49.20 |
| M _y | -20.8kNm | V _z | -11.4kN | T _w | 0.0kNm | | |
| M _z | -3.7kNm | B | -0.0kNm ² | T | 0.0kNm | | |



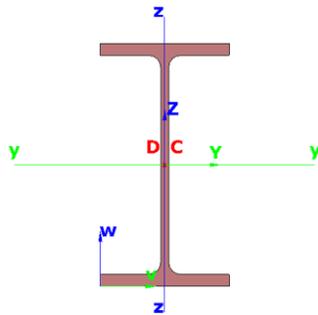
Section parameters

Name: HEA 140
 Section class 1
 A = 3 142mm²
 A_{sY} = 2 145mm²
 A_{sZ} = 704mm²
 I_y = 10 331 023mm⁴
 I_z = 3 893 295mm⁴
 W_{1el.Y} = 155 354mm³
 W_{1el.Z} = 55 618mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 275 EN 10025-2 | f _{y1} | 275.0 N/mm ² | f _{y2} | 255.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 62.90 | | | | |
| Dominant case | Global stability resistance | | | | |
| Dominant formula | 6.3.4 (2)-(3), (4)b - (6.63, 6.64, 6.66) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 76.01% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Compression | 3.29% | 6.2.4 (1)-(2) - (6.9-6.11) formula | | | |
| - Bending about the major axis | 43.55% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Bending about the minor axis | 16.05% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Minor axis shear | 7.09% | 6.2.6 (1)-(3) - (6.17, 6.18) formula | | | |
| - Torsion | 1.76% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Plastic interaction resistance | | | | | |
| - | 52.31% | | | | |
| Conservative interaction resistance | 63.17% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |
| Global stability resistance | 62.90% | 6.3.4 (2)-(3), (4)b - (6.63, 6.64, 6.66) formula | | | |

11.1.4 Lateral Post

| | | | | | | | |
|----------------------------|---------|----------------|---------------------|----------------|--------|--------------------|------|
| Dominant load combination: | | | | Case 1 Press | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | -30.0kN | V _y | 0.0kN | T _t | 0.0kNm | α _{cr,op} | 5.65 |
| M _y | 15.1kNm | V _z | -12.1kN | T _w | 0.0kNm | | |
| M _z | 0.0kNm | B | 0.0kNm ² | T | 0.0kNm | | |



Section parameters

Name: IPE 140
 Section class 1
 A = 1 643mm²
 A_{sY} = 910mm²
 A_{sZ} = 634mm²
 I_y = 5 412 177mm⁴
 I_z = 449 189mm⁴
 W_{1el.Y} = 77 317mm³
 W_{1el.Z} = 12 307mm³

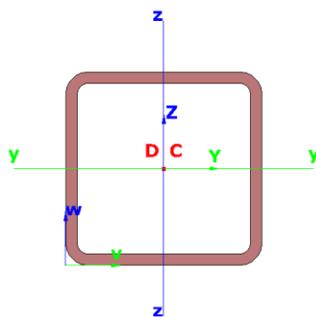
| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 275 EN 10025-2 | f _{y1} | 275.0 N/mm ² | f _{y2} | 255.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 72.59 | | | | |
| Dominant case | Global stability resistance | | | | |
| Dominant formula | 6.3.4 (2)-(3), (4)b - (6.63, 6.64, 6.66) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 77.93% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Compression | 6.65% | 6.2.4 (1)-(2) - (6.9-6.11) formula | | | |
| - Bending about the major axis | 62.28% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Minor axis shear | 9.96% | 6.2.6 (1)-(3) - (6.17, 6.18) formula | | | |
| Plastic interaction resistance | | | | | |
| - | 62.28% | | | | |
| Conservative interaction resistance | 68.93% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |
| Global stability resistance | 72.59% | 6.3.4 (2)-(3), (4)b - (6.63, 6.64, 6.66) formula | | | |

11.2 Zone 2 Row with motor

The most critical cases of zone 2 are given in the following figures and tables.

11.2.1 Central Rotation Beam

| | | | | | | | |
|----------------------------|--------|----------------|---------------------|----------------|---------|--------------------|---|
| Dominant load combination: | | | | Case 1 Press | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | 0.1kN | V _y | 18.0kN | T _t | 30.5kNm | α _{cr,op} | - |
| M _y | 5.3kNm | V _z | 8.7kN | T _w | 0.0kNm | | |
| M _z | 3.1kNm | B | 0.0kNm ² | T | 30.5kNm | | |



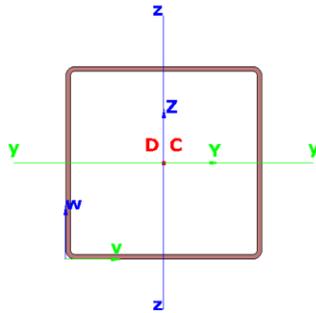
Section parameters

Name: R120x7
 Section class 1
 A = 3 032mm²
 A_{sY} = 1 347mm²
 A_{sZ} = 1 347mm²
 I_y = 6 304 812mm⁴
 I_z = 6 304 812mm⁴
 W_{1el.Y} = 105 080mm³
 W_{1el.Z} = 105 080mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 355 EN 10025-2 | f _{y1} | 355.0 N/mm ² | f _{y2} | 335.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 94.31 | | | | |
| Dominant case | Pure resistances | | | | |
| Dominant formula | 6.2.6 (1)-(3) - (6.17, 6.18) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | | | Applied part of standard | | |
| General elastic design | 103.04% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Bending about the major axis | 11.94% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Bending about the minor axis | 6.84% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Major axis shear | 5.56% | 6.2.6 (1)-(3) - (6.17, 6.18) formula | | | |
| - Minor axis shear | 2.68% | 6.2.6 (1)-(3) - (6.17, 6.18) formula | | | |
| - Torsion | 94.31% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Plastic interaction resistance | | | | | |
| - | 14.61% | | | | |
| Conservative interaction resistance | 18.79% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |

11.2.2 Lateral Rotation Beam 1

| | | | | | | | |
|----------------------------|---------|----------------|---------------------|----------------|---------|--------------------|------|
| Dominant load combination: | | | | Case 1 Press | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | 0.0kN | V _y | -0.7kN | T _t | 14.9kNm | α _{cr,op} | 8.24 |
| M _y | -0.1kNm | V _z | 4.1kN | T _w | 0.0kNm | | |
| M _z | 1.9kNm | B | 0.0kNm ² | T | 14.9kNm | | |



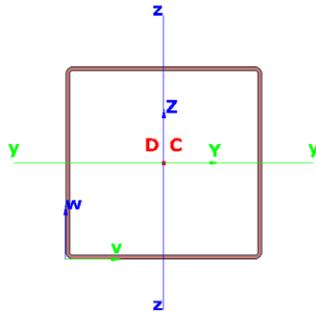
Section parameters

Name: R120x3
 Section class 4
 A = 1 379mm²
 A_{sY} = 590mm²
 A_{sZ} = 590mm²
 I_y = 3 116 082mm⁴
 I_z = 3 116 082mm⁴
 W_{1el.Y} = 51 935mm³
 W_{1el.Z} = 51 935mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 355 EN 10025-2 | f _{y1} | 355.0 N/mm ² | f _{y2} | 335.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 96.86 | | | | |
| Dominant case | General elastic cross-section resistance | | | | |
| Dominant formula | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 96.86% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Bending about the major axis | 0.17% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Bending about the minor axis | 10.67% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Major axis shear | 0.54% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Minor axis shear | 3.26% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Torsion | 93.06% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Conservative interaction resistance | 10.80% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |

11.2.3 Lateral Rotation Beam 2

| | | | | | | | |
|----------------------------|---------|----------------|---------------------|----------------|----------|--------------------|------|
| Dominant load combination: | | | | Case 1 Press | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | 0.0kN | V _y | 0.3kN | T _t | -10.4kNm | α _{cr,op} | 8.58 |
| M _y | -3.9kNm | V _z | -0.2kN | T _w | 0.0kNm | | |
| M _z | 0.4kNm | B | 0.0kNm ² | T | -10.4kNm | | |



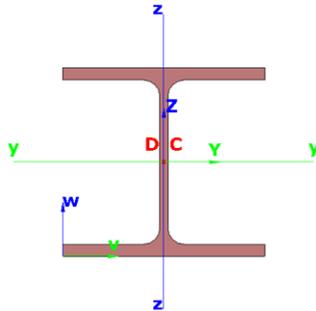
Section parameters

Name: R120x2.5
 Section class 4
 A = 1 157mm²
 AsY = 493mm²
 AsZ = 493mm²
 I_y = 2 642 738mm⁴
 I_z = 2 642 738mm⁴
 W_{1el.Y} = 44 046mm³
 W_{1el.Z} = 44 046mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 355 EN 10025-2 | f _{y1} | 355.0 N/mm ² | f _{y2} | 335.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 82.85 | | | | |
| Dominant case | General elastic cross-section resistance | | | | |
| Dominant formula | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 82.85% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Bending about the major axis | 1.62% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Bending about the minor axis | 28.54% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Major axis shear | 0.23% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Minor axis shear | 0.14% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Torsion | 76.99% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Conservative interaction resistance | 29.95% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |

11.2.4 Central Post

| | | | | | | | |
|----------------------------|----------|----------------|----------------------|----------------|---------|--------------------|-------|
| Dominant load combination: | | | | Case 1 Press | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | -23.1kN | V _y | -0.0kN | T _t | 0.0kNm | α _{cr,op} | 13.51 |
| M _y | -49.6kNm | V _z | 8.7kN | T _w | -0.1kNm | | |
| M _z | -3.3kNm | B | -0.1kNm ² | T | -0.1kNm | | |



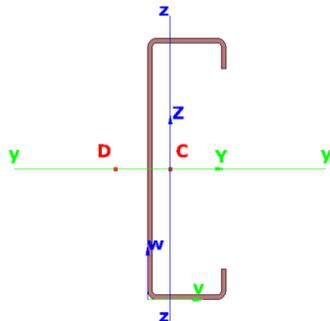
Section parameters

Name: HEA 140*
 Section class 1
 A = 3 142mm²
 A_{sY} = 2 145mm²
 A_{sZ} = 704mm²
 I_y = 10 331 023mm⁴
 I_z = 3 893 295mm⁴
 W_{1el.Y} = 155 354mm³
 W_{1el.Z} = 55 618mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 355 EN 10025-2 | f _{y1} | 355.0 N/mm ² | f _{y2} | 335.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 93.89 | | | | |
| Dominant case | Global stability resistance | | | | |
| Dominant formula | 6.3.4 (2)-(3), (4)b - (6.63, 6.64, 6.66) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 109.11% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Compression | 2.07% | 6.2.4 (1)-(2) - (6.9-6.11) formula | | | |
| - Bending about the major axis | 80.61% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Bending about the minor axis | 11.10% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Minor axis shear | 4.20% | 6.2.6 (1)-(3) - (6.17, 6.18) formula | | | |
| - Torsion | 4.16% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Plastic interaction resistance | | | | | |
| - | 86.35% | | | | |
| Conservative interaction resistance | 96.58% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |
| Global stability resistance | 93.89% | 6.3.4 (2)-(3), (4)b - (6.63, 6.64, 6.66) formula | | | |

11.2.5 Lateral Post

| | | | | | | | |
|----------------------------|---------|----------------|----------------------|----------------|---------|--------------------|------|
| Dominant load combination: | | | | Case 1 Press | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | -26.4kN | V _y | 0.0kN | T _t | 0.0kNm | α _{cr,op} | 4.55 |
| M _y | 7.8kNm | V _z | -6.3kN | T _w | -0.2kNm | | |
| M _z | 0.0kNm | B | -0.1kNm ² | T | -0.2kNm | | |



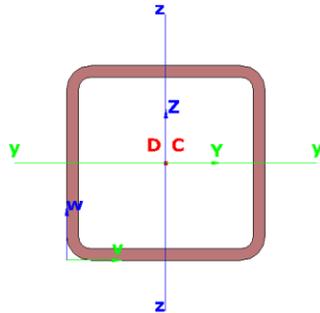
Section parameters

Name: CP170x50x20x3
 Section class 4
 A = 869mm²
 A_{sY} = 164mm²
 A_{sZ} = 426mm²
 I_y = 3 567 836mm⁴
 I_z = 279 271mm⁴
 W_{1el.Y} = 41 975mm³
 W_{1el.Z} = 7 856mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 355 EN 10025-2 | f _{y1} | 355.0 N/mm ² | f _{y2} | 335.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 87.98 | | | | |
| Dominant case | General elastic cross-section resistance | | | | |
| Dominant formula | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 87.98% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Compression | 8.55% | 6.2.4 (1)-(2) - (6.9-6.11) formula | | | |
| - Bending about the major axis | 52.48% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Minor axis shear | 7.22% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Torsion | 75.24% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Conservative interaction resistance | 58.57% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |
| Global stability resistance | 70.83% | 6.3.4 (2)-(3), (4)b - (6.63, 6.64, 6.66) formula | | | |

11.2.6 Drive arm

| | | | | | | | |
|----------------------------|---------|----------------|---------------------|----------------|--------|--------------------|---|
| Dominant load combination: | | | | Case 1 Press | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | 0.5kN | V _y | 0.1kN | T _t | 0.6kNm | α _{cr,op} | - |
| M _y | 15.3kNm | V _z | 18.9kN | T _w | 0.0kNm | | |
| M _z | -0.3kNm | B | 0.0kNm ² | T | 0.6kNm | | |



Section parameters

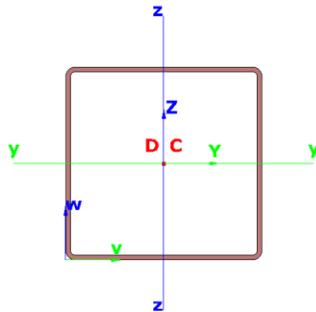
Name: R100x6
 Section class 1
 A = 2 155mm²
 A_{sY} = 959mm²
 A_{sZ} = 959mm²
 I_y = 3 095 652mm⁴
 I_z = 3 095 652mm⁴
 W_{1el.Y} = 61 913mm³
 W_{1el.Z} = 61 913mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 275 EN 10025-2 | f _{y1} | 275.0 N/mm ² | f _{y2} | 255.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 74.48 | | | | |
| Dominant case | | | | | |
| Dominant formula | 6.2.9.1 - (6.31, 6.41) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 91.78% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Bending about the major axis | 74.43% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Bending about the minor axis | 1.22% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Minor axis shear | 10.58% | 6.2.6 (1)-(3) - (6.17, 6.18) formula | | | |
| - Torsion | 3.97% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Plastic interaction resistance | | | | | |
| - | 74.48% | | | | |
| Conservative interaction resistance | 75.73% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |

11.3 Zone 2 Row without motor

11.3.1 Central Rotation Beam

| | | | | | | | |
|----------------------------|---------|----------------|---------------------|----------------|--------|--------------------|---|
| Dominant load combination: | | | | Case 1 Press | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | 0.0kN | V _y | 9.8kN | T _t | 7.8kNm | α _{cr,op} | - |
| M _y | 4.2kNm | V _z | -2.0kN | T _w | 0.0kNm | | |
| M _z | -2.9kNm | B | 0.0kNm ² | T | 7.8kNm | | |



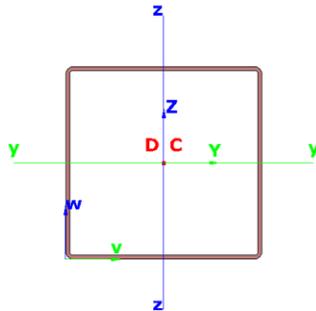
Section parameters

Name: R120x3
 Section class 4
 A = 1 379mm²
 A_{sY} = 590mm²
 A_{sZ} = 590mm²
 I_y = 3 116 082mm⁴
 I_z = 3 116 082mm⁴
 W_{1el.Y} = 51 935mm³
 W_{1el.Z} = 51 935mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 355 EN 10025-2 | f _{y1} | 355.0 N/mm ² | f _{y2} | 335.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 66.91 | | | | |
| Dominant case | General elastic cross-section resistance | | | | |
| Dominant formula | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 66.91% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Bending about the major axis | 23.02% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Bending about the minor axis | 15.96% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Major axis shear | 7.73% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Minor axis shear | 1.57% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Torsion | 48.96% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Conservative interaction resistance | 37.83% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |

11.3.2 Lateral Rotation Beam 1

| | | | | | | | |
|----------------------------|--------|----------------|---------------------|----------------|--------|--------------------|------|
| Dominant load combination: | | | | Case 2 Snow | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | 0.0kN | V _y | 0.7kN | T _t | 2.1kNm | α _{cr,op} | 5.51 |
| M _y | 9.0kNm | V _z | -9.2kN | T _w | 0.0kNm | | |
| M _z | 0.7kNm | B | 0.0kNm ² | T | 2.1kNm | | |



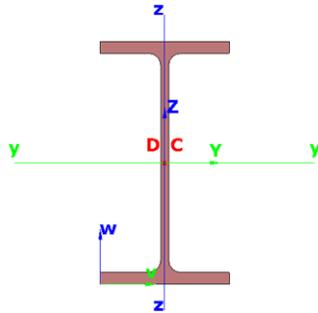
Section parameters

Name: R120x2.5
 Section class 4
 A = 1 157mm²
 AsY = 493mm²
 AsZ = 493mm²
 I_y = 2 642 738mm⁴
 I_z = 2 642 738mm⁴
 W_{1el.Y} = 44 046mm³
 W_{1el.Z} = 44 046mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 355 EN 10025-2 | f _{y1} | 355.0 N/mm ² | f _{y2} | 335.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 71.49 | | | | |
| Dominant case | General elastic cross-section resistance | | | | |
| Dominant formula | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 71.49% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Bending about the major axis | 3.27% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Bending about the minor axis | 65.54% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Major axis shear | 0.67% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Minor axis shear | 8.61% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Torsion | 15.79% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Conservative interaction resistance | 68.33% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |

11.3.3 Central Post

| | | | | | | | |
|----------------------------|---------|----------------|---------------------|----------------|--------|--------------------|-------|
| Dominant load combination: | | | | Case 1 Press | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | -17.9kN | V _y | 0.0kN | T _t | 0.0kNm | α _{cr,op} | 10.70 |
| M _y | 5.4kNm | V _z | -4.3kN | T _w | 0.0kNm | | |
| M _z | 0.0kNm | B | 0.0kNm ² | T | 0.0kNm | | |



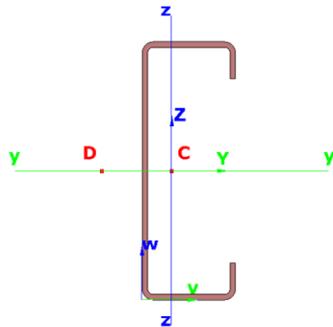
Section parameters

| | | |
|--------------------|-----|--------------------------|
| Name: | IPE | 140 |
| Section class | | 1 |
| A | = | 1 643mm ² |
| As _Y | = | 910mm ² |
| As _Z | = | 634mm ² |
| I _y | = | 5 412 177mm ⁴ |
| I _z | = | 449 189mm ⁴ |
| W _{1el.Y} | = | 77 317mm ³ |
| W _{1el.Z} | = | 12 307mm ³ |

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 275 EN 10025-2 | f _{y1} | 275.0 N/mm ² | f _{y2} | 255.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 29.01 | | | | |
| Dominant case | Global stability resistance | | | | |
| Dominant formula | 6.3.4 (2)-(3), (4)b - (6.63, 6.64, 6.66) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 29.50% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Compression | 3.97% | 6.2.4 (1)-(2) - (6.9-6.11) formula | | | |
| - Bending about the major axis | 22.31% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Minor axis shear | 3.57% | 6.2.6 (1)-(3) - (6.17, 6.18) formula | | | |
| Plastic interaction resistance | | | | | |
| - | 22.31% | | | | |
| Conservative interaction resistance | 26.28% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |
| Global stability resistance | 29.01% | 6.3.4 (2)-(3), (4)b - (6.63, 6.64, 6.66) formula | | | |

11.3.4 Lateral Post

| | | | | | | | |
|----------------------------|---------|----------------|----------------------|----------------|---------|--------------------|------|
| Dominant load combination: | | | | Case 1 Press | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | -18.6kN | V _y | 0.0kN | T _t | 0.0kNm | α _{cr,op} | 6.37 |
| M _y | 2.6kNm | V _z | -2.1kN | T _w | -0.1kNm | | |
| M _z | 0.0kNm | B | -0.0kNm ² | T | -0.1kNm | | |



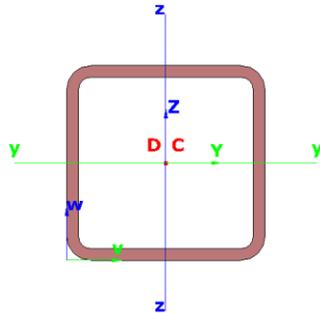
Section parameters

Name: CP140x50x20x3
 Section class 4
 A = 779mm²
 A_{sY} = 181mm²
 A_{sZ} = 336mm²
 I_y = 2 239 089mm⁴
 I_z = 262 367mm⁴
 W_{1el.Y} = 31 987mm³
 W_{1el.Z} = 7 704mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 355 EN 10025-2 | f _{y1} | 355.0 N/mm ² | f _{y2} | 335.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 40.45 | | | | |
| Dominant case | General elastic cross-section resistance | | | | |
| Dominant formula | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 40.45% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Compression | 6.71% | 6.2.4 (1)-(2) - (6.9-6.11) formula | | | |
| - Bending about the major axis | 22.75% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Minor axis shear | 2.87% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Torsion | 32.54% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Conservative interaction resistance | 28.82% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |
| Global stability resistance | 37.95% | 6.3.4 (2)-(3), (4)b - (6.63, 6.64, 6.66) formula | | | |

11.3.5 Drive arm

| | | | | | | | |
|----------------------------|----------|----------------|---------------------|----------------|---------|--------------------|---|
| Dominant load combination: | | | | Case 1 Press | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | 0.5kN | V _y | -0.0kN | T _t | -0.2kNm | α _{cr,op} | - |
| M _y | -15.2kNm | V _z | -18.9kN | T _w | 0.0kNm | | |
| M _z | 0.2kNm | B | 0.0kNm ² | T | -0.2kNm | | |



Section parameters

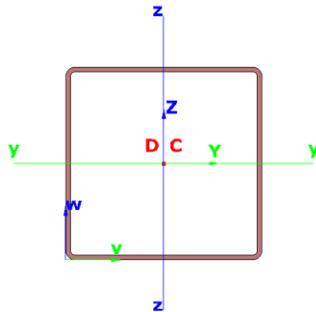
Name: R100x6
 Section class 1
 A = 2 155mm²
 A_{sY} = 959mm²
 A_{sZ} = 959mm²
 I_y = 3 095 652mm⁴
 I_z = 3 095 652mm⁴
 W_{1el.Y} = 61 913mm³
 W_{1el.Z} = 61 913mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 275 EN 10025-2 | f _{y1} | 275.0 N/mm ² | f _{y2} | 255.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 74.13 | | | | |
| Dominant case | | | | | |
| Dominant formula | 6.2.9.1 - (6.31, 6.41) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 91.01% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Bending about the major axis | 74.09% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Bending about the minor axis | 1.12% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Minor axis shear | 10.53% | 6.2.6 (1)-(3) - (6.17, 6.18) formula | | | |
| - Torsion | 1.44% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Plastic interaction resistance | | | | | |
| - | 74.13% | | | | |
| Conservative interaction resistance | 75.29% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |

11.4 Zone 3 Row with motor

11.4.1 Central Rotation Beam

| | | | | | | | |
|----------------------------|---------|----------------|---------------------|----------------|--------|--------------------|------|
| Dominant load combination: | | | | Case 2 Snow | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | 0.0kN | V _y | 0.7kN | T _t | 2.6kNm | α _{cr,op} | 5.76 |
| M _y | 11.1kNm | V _z | -10.3kN | T _w | 0.0kNm | | |
| M _z | 0.7kNm | B | 0.0kNm ² | T | 2.6kNm | | |



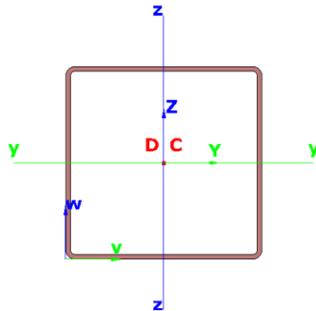
Section parameters

Name: R120x3
 Section class 4
 A = 1 379mm²
 AsY = 590mm²
 AsZ = 590mm²
 I_y = 3 116 082mm⁴
 I_z = 3 116 082mm⁴
 W_{1el.Y} = 51 935mm³
 W_{1el.Z} = 51 935mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 355 EN 10025-2 | f _{y1} | 355.0 N/mm ² | f _{y2} | 335.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 69.03 | | | | |
| Dominant case | General elastic cross-section resistance | | | | |
| Dominant formula | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 69.03% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Bending about the major axis | 2.52% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Bending about the minor axis | 63.59% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Major axis shear | 0.52% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Minor axis shear | 8.04% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Torsion | 16.29% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Conservative interaction resistance | 65.68% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |

11.4.2 Lateral Rotation Beam 1

| | | | | | | | |
|----------------------------|---------|----------------|---------------------|----------------|--------|--------------------|------|
| Dominant load combination: | | | | Case 2 Snow | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | 0.0kN | V _y | 0.7kN | T _t | 2.6kNm | α _{cr,op} | 5.76 |
| M _y | 11.1kNm | V _z | -10.3kN | T _w | 0.0kNm | | |
| M _z | 0.7kNm | B | 0.0kNm ² | T | 2.6kNm | | |



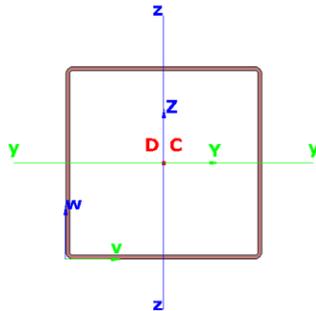
Section parameters

Name: R120x3
 Section class 4
 A = 1 379mm²
 A_{sY} = 590mm²
 A_{sZ} = 590mm²
 I_y = 3 116 082mm⁴
 I_z = 3 116 082mm⁴
 W_{1el.Y} = 51 935mm³
 W_{1el.Z} = 51 935mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 355 EN 10025-2 | f _{y1} | 355.0 N/mm ² | f _{y2} | 335.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 69.03 | | | | |
| Dominant case | General elastic cross-section resistance | | | | |
| Dominant formula | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 69.03% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Bending about the major axis | 2.52% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Bending about the minor axis | 63.59% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Major axis shear | 0.52% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Minor axis shear | 8.04% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Torsion | 16.29% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Conservative interaction resistance | 65.68% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |

11.4.3 Lateral Rotation Beam 2

| | | | | | | | |
|----------------------------|--------|----------------|---------------------|----------------|--------|--------------------|------|
| Dominant load combination: | | | | Case 2 Snow | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | 0.0kN | V _y | 0.8kN | T _t | 1.8kNm | α _{cr,op} | 5.76 |
| M _y | 8.7kNm | V _z | -8.9kN | T _w | 0.0kNm | | |
| M _z | 0.8kNm | B | 0.0kNm ² | T | 1.8kNm | | |



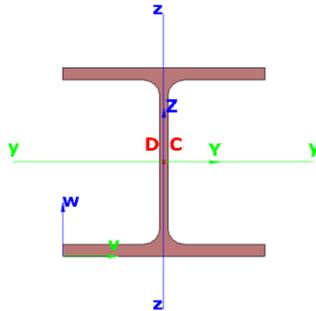
Section parameters

Name: R120x2.5
 Section class 4
 A = 1 157mm²
 A_{sY} = 493mm²
 A_{sZ} = 493mm²
 I_y = 2 642 738mm⁴
 I_z = 2 642 738mm⁴
 W_{1el.Y} = 44 046mm³
 W_{1el.Z} = 44 046mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 355 EN 10025-2 | f _{y1} | 355.0 N/mm ² | f _{y2} | 335.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 68.83 | | | | |
| Dominant case | General elastic cross-section resistance | | | | |
| Dominant formula | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 68.83% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Bending about the major axis | 3.46% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Bending about the minor axis | 63.46% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Major axis shear | 0.72% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Minor axis shear | 8.37% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Torsion | 13.01% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Conservative interaction resistance | 66.42% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |

11.4.4 Central Post

| | | | | | | | |
|----------------------------|----------|----------------|----------------------|----------------|--------|--------------------|---|
| Dominant load combination: | | | | Case 1 Press | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | -18.0kN | V _y | -0.1kN | T _t | 0.0kNm | α _{cr,op} | - |
| M _y | -17.5kNm | V _z | -11.6kN | T _w | 0.0kNm | | |
| M _z | -2.6kNm | B | -0.0kNm ² | T | 0.1kNm | | |



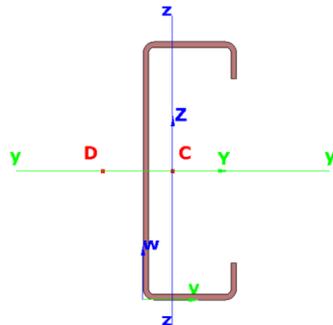
Section parameters

Name: HEA 140
 Section class 1
 A = 3 142mm²
 A_{sY} = 2 145mm²
 A_{sZ} = 704mm²
 I_y = 10 331 023mm⁴
 I_z = 3 893 295mm⁴
 W_{1el.Y} = 155 354mm³
 W_{1el.Z} = 55 618mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 275 EN 10025-2 | f _{y1} | 275.0 N/mm ² | f _{y2} | 255.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 42.58 | | | | |
| Dominant case | | | | | |
| Dominant formula | 6.2.9.1 - (6.31, 6.41) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 59.25% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Compression | 2.08% | 6.2.4 (1)-(2) - (6.9-6.11) formula | | | |
| - Bending about the major axis | 36.66% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Bending about the minor axis | 11.01% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Minor axis shear | 7.20% | 6.2.6 (1)-(3) - (6.17, 6.18) formula | | | |
| - Torsion | 2.67% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Plastic interaction resistance | | | | | |
| - | 42.58% | | | | |
| Conservative interaction resistance | 50.18% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |

11.4.5 Lateral Post

| | | | | | | | |
|----------------------------|---------|----------------|----------------------|----------------|---------|--------------------|------|
| Dominant load combination: | | | | Case 1 Press | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | -18.6kN | V _y | 0.0kN | T _t | 0.0kNm | α _{cr,op} | 6.17 |
| M _y | 3.5kNm | V _z | -2.8kN | T _w | -0.1kNm | | |
| M _z | 0.0kNm | B | -0.1kNm ² | T | -0.1kNm | | |



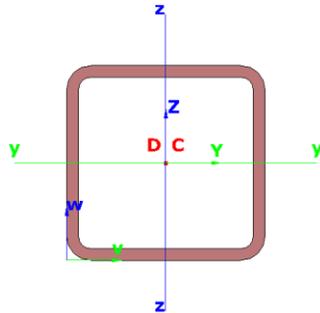
Section parameters

Name: CP140x50x20x3
 Section class 4
 A = 779mm²
 A_{sY} = 181mm²
 A_{sZ} = 336mm²
 I_y = 2 239 089mm⁴
 I_z = 262 367mm⁴
 W_{1el.Y} = 31 987mm³
 W_{1el.Z} = 7 704mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 355 EN 10025-2 | f _{y1} | 355.0 N/mm ² | f _{y2} | 335.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 52.73 | | | | |
| Dominant case | General elastic cross-section resistance | | | | |
| Dominant formula | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 52.73% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Compression | 6.70% | 6.2.4 (1)-(2) - (6.9-6.11) formula | | | |
| - Bending about the major axis | 30.74% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Minor axis shear | 3.87% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Torsion | 44.37% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Conservative interaction resistance | 36.57% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |
| Global stability resistance | 45.74% | 6.3.4 (2)-(3), (4)b - (6.63, 6.64, 6.66) formula | | | |

11.4.6 Drive arm

| | | | | | | | |
|----------------------------|---------|----------------|---------------------|----------------|--------|--------------------|---|
| Dominant load combination: | | | | Case 1 Press | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | 0.5kN | V _y | 0.1kN | T _t | 0.5kNm | α _{cr,op} | - |
| M _y | 12.4kNm | V _z | 15.4kN | T _w | 0.0kNm | | |
| M _z | -0.3kNm | B | 0.0kNm ² | T | 0.5kNm | | |



Section parameters

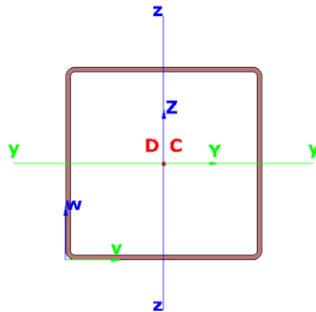
Name: R100x6
 Section class 1
 A = 2 155mm²
 A_{sY} = 959mm²
 A_{sZ} = 959mm²
 I_y = 3 095 652mm⁴
 I_z = 3 095 652mm⁴
 W_{1el.Y} = 61 913mm³
 W_{1el.Z} = 61 913mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 275 EN 10025-2 | f _{y1} | 275.0 N/mm ² | f _{y2} | 255.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 60.54 | | | | |
| Dominant case | | | | | |
| Dominant formula | 6.2.9.1 - (6.31, 6.41) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 74.82% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Bending about the major axis | 60.48% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Bending about the minor axis | 1.22% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Minor axis shear | 8.60% | 6.2.6 (1)-(3) - (6.17, 6.18) formula | | | |
| - Torsion | 3.67% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Plastic interaction resistance | | | | | |
| - | 60.54% | | | | |
| Conservative interaction resistance | 61.78% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |

11.5 Zone 3 Row without motor

11.5.1 Central Rotation Beam

| | | | | | | | |
|----------------------------|---------|----------------|---------------------|----------------|--------|--------------------|---|
| Dominant load combination: | | | | Case 1 Press | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | 0.0kN | V _y | 8.1kN | T _t | 6.4kNm | α _{cr,op} | - |
| M _y | 4.2kNm | V _z | -2.1kN | T _w | 0.0kNm | | |
| M _z | -2.4kNm | B | 0.0kNm ² | T | 6.4kNm | | |



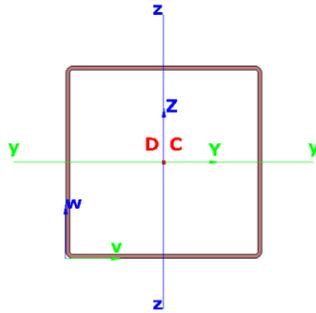
Section parameters

Name: R120x3
 Section class 4
 A = 1 379mm²
 A_{sY} = 590mm²
 A_{sZ} = 590mm²
 I_y = 3 116 082mm⁴
 I_z = 3 116 082mm⁴
 W_{1el.Y} = 51 935mm³
 W_{1el.Z} = 51 935mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 355 EN 10025-2 | f _{y1} | 355.0 N/mm ² | f _{y2} | 335.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 56.87 | | | | |
| Dominant case | General elastic cross-section resistance | | | | |
| Dominant formula | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 56.87% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Bending about the major axis | 22.53% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Bending about the minor axis | 12.76% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Major axis shear | 6.37% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Minor axis shear | 1.66% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Torsion | 39.96% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Conservative interaction resistance | 34.27% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |

11.5.2 Lateral Rotation Beam 1

| | | | | | | | |
|----------------------------|--------|----------------|---------------------|----------------|--------|--------------------|------|
| Dominant load combination: | | | | Case 2 Snow | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | 0.0kN | V _y | 0.7kN | T _t | 1.8kNm | α _{cr,op} | 5.50 |
| M _y | 9.0kNm | V _z | -9.1kN | T _w | 0.0kNm | | |
| M _z | 0.7kNm | B | 0.0kNm ² | T | 1.8kNm | | |



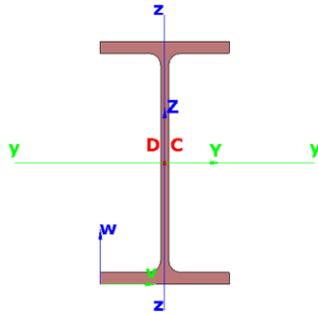
Section parameters

Name: R120x2.5
 Section class 4
 A = 1 157mm²
 A_{sY} = 493mm²
 A_{sZ} = 493mm²
 I_y = 2 642 738mm⁴
 I_z = 2 642 738mm⁴
 W_{1el.Y} = 44 046mm³
 W_{1el.Z} = 44 046mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 355 EN 10025-2 | f _{y1} | 355.0 N/mm ² | f _{y2} | 335.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 70.28 | | | | |
| Dominant case | General elastic cross-section resistance | | | | |
| Dominant formula | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 70.28% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Bending about the major axis | 3.31% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Bending about the minor axis | 65.04% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Major axis shear | 0.68% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Minor axis shear | 8.55% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Torsion | 13.06% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Conservative interaction resistance | 67.87% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |

11.5.3 Central Post

| | | | | | | | |
|----------------------------|---------|----------------|---------------------|----------------|--------|--------------------|-------|
| Dominant load combination: | | | | Case 1 Press | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | -18.4kN | V _y | 0.0kN | T _t | 0.0kNm | α _{cr,op} | 10.50 |
| M _y | 4.9kNm | V _z | -3.9kN | T _w | 0.0kNm | | |
| M _z | 0.0kNm | B | 0.0kNm ² | T | 0.0kNm | | |



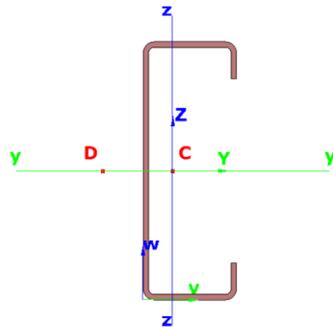
Section parameters

Name: IPE 140
 Section class 1
 A = 1 643mm²
 A_{sY} = 910mm²
 A_{sZ} = 634mm²
 I_y = 5 412 177mm⁴
 I_z = 449 189mm⁴
 W_{1el.Y} = 77 317mm³
 W_{1el.Z} = 12 307mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 275 EN 10025-2 | f _{y1} | 275.0 N/mm ² | f _{y2} | 255.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 27.27 | | | | |
| Dominant case | Global stability resistance | | | | |
| Dominant formula | 6.3.4 (2)-(3), (4)b - (6.63, 6.64, 6.66) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 27.20% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Compression | 4.07% | 6.2.4 (1)-(2) - (6.9-6.11) formula | | | |
| - Bending about the major axis | 20.21% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Minor axis shear | 3.23% | 6.2.6 (1)-(3) - (6.17, 6.18) formula | | | |
| Plastic interaction resistance | | | | | |
| - | 20.21% | | | | |
| Conservative interaction resistance | 24.28% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |
| Global stability resistance | 27.27% | 6.3.4 (2)-(3), (4)b - (6.63, 6.64, 6.66) formula | | | |

11.5.4 Lateral Post

| | | | | | | | |
|----------------------------|---------|----------------|----------------------|----------------|---------|--------------------|------|
| Dominant load combination: | | | | Case 1 Press | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | -18.2kN | V _y | 0.0kN | T _t | 0.0kNm | α _{cr,op} | 6.50 |
| M _y | 2.2kNm | V _z | -1.8kN | T _w | -0.1kNm | | |
| M _z | 0.0kNm | B | -0.0kNm ² | T | -0.1kNm | | |



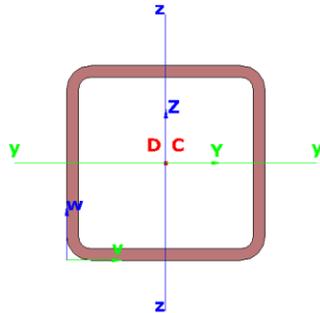
Section parameters

Name: CP140x50x20x3
 Section class 4
 A = 779mm²
 A_{sY} = 181mm²
 A_{sZ} = 336mm²
 I_y = 2 239 089mm⁴
 I_z = 262 367mm⁴
 W_{1el.Y} = 31 987mm³
 W_{1el.Z} = 7 704mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--|--------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 355 EN 10025-2 | f _{y1} | 355.0 N/mm ² | f _{y2} | 335.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 35.43 | | | | |
| Dominant case | General elastic cross-section resistance | | | | |
| Dominant formula | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | | | Applied part of standard | | |
| General elastic design | 35.43% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Compression | 6.58% | 6.2.4 (1)-(2) - (6.9-6.11) formula | | | |
| - Bending about the major axis | 19.41% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Minor axis shear | 2.44% | 6.2.6 (4) - (6.19) formula | | | |
| - Torsion | 28.10% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Conservative interaction resistance | 25.45% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |
| Global stability resistance | 34.58% | 6.3.4 (2)-(3), (4)b - (6.63, 6.64, 6.66) formula | | | |

11.5.5 Drive arm

| | | | | | | | |
|----------------------------|----------|----------------|---------------------|----------------|---------|--------------------|---|
| Dominant load combination: | | | | Case 1 Press | | | |
| Internal forces | | | | | | | |
| N | 0.5kN | V _y | -0.0kN | T _t | -0.2kNm | α _{cr,op} | - |
| M _y | -12.4kNm | V _z | -15.4kN | T _w | 0.0kNm | | |
| M _z | 0.2kNm | B | 0.0kNm ² | T | -0.2kNm | | |



Section parameters

Name: R100x6
 Section class 1
 A = 2 155mm²
 A_{sY} = 959mm²
 A_{sZ} = 959mm²
 I_y = 3 095 652mm⁴
 I_z = 3 095 652mm⁴
 W_{1el.Y} = 61 913mm³
 W_{1el.Z} = 61 913mm³

| | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Material grade | S 275 EN 10025-2 | f _{y1} | 275.0 N/mm ² | f _{y2} | 255.0 N/mm ² |
| Design Code | EN 1993-1-1 - Recommended Values | | | | |
| Summary of design results | | | | | |
| Dominant utilization | 60.62 | | | | |
| Dominant case | | | | | |
| Dominant formula | 6.2.9.1 - (6.31, 6.41) formula | | | | |
| Detailed design results | | | | | |
| Utilization | Applied part of standard | | | | |
| General elastic design | 74.54% | 6.2.1 (4)-(5) - (6.1) formula | | | |
| Pure resistances | | | | | |
| - Bending about the major axis | 60.58% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Bending about the minor axis | 1.07% | 6.2.5 (1)-(3) - (6.12-6.15) formula | | | |
| - Minor axis shear | 8.61% | 6.2.6 (1)-(3) - (6.17, 6.18) formula | | | |
| - Torsion | 1.20% | 6.2.7 (1)-(5) - (6.23, 6.24) formula | | | |
| Plastic interaction resistance | | | | | |
| - | 60.62% | | | | |
| Conservative interaction resistance | 61.73% | 6.2.1(7) - (6.2) formula | | | |

12. PANEL RAIL PROFILES CALCULATION

The cold formed manufactured profiles have to be checked by mean of a special analysis in order to check possible local buckling and to take into account residual stresses and imperfections generated during the manufacturing process. In this chapter this analysis and results are shown.

These are the steps followed to perform the analysis:

- 1- Buckling analysis: in this step a linear buckling analysis with the real conditions is carried out.
- 2- Nonlinear geometrical analysis: in this step a non-linear analysis is done applying an initial imperfection in the same direction than the first buckle mode.

The value of this imperfection is defined by the standards, for this analysis a conservative value of $L/100$ have been used.

12.1 Panel rail $\Omega 80 \times 1.5$ mm for rows stowed at -30°

- 1- Buckling analysis:

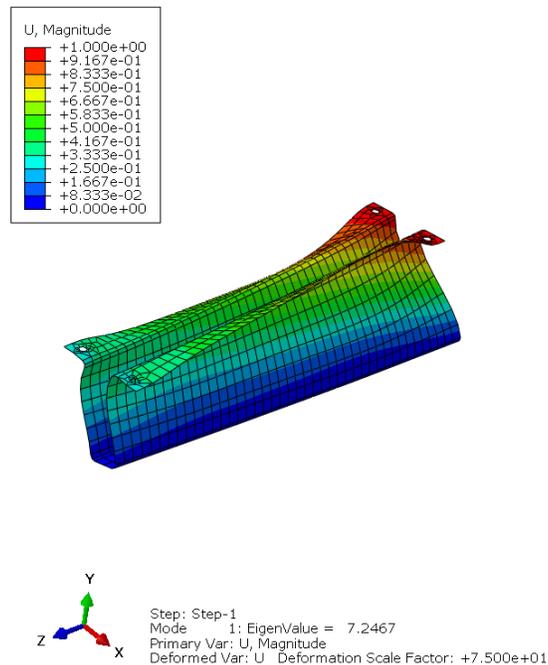


Figure 243. *Panel rail 1rts Buckle Mode*

- 2- Non- linear geometrical analysis: the forces and boundary conditions are the same than for the previous analysis.

The initial deformation applied is $(422)/100 = 4.22$ mm in the direction of the first buckle mode shown previously.

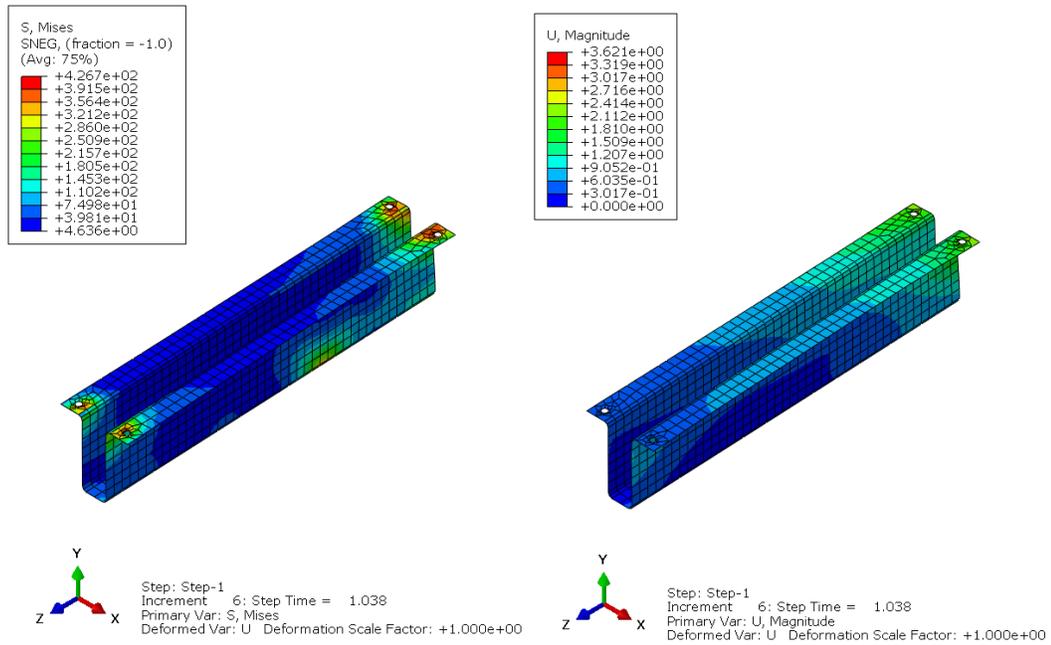


Figure 254. Panel rail Displacement and Stress results

In the next graphic is shown the evolution of the rotation of the panel rail with the load. The analysis has been loaded with more than 100% of the load in order to achieve the failure.

As it is shown, at 100% of the load, the behaviour is linear, yield starts at 139% and the member collapses at 185%

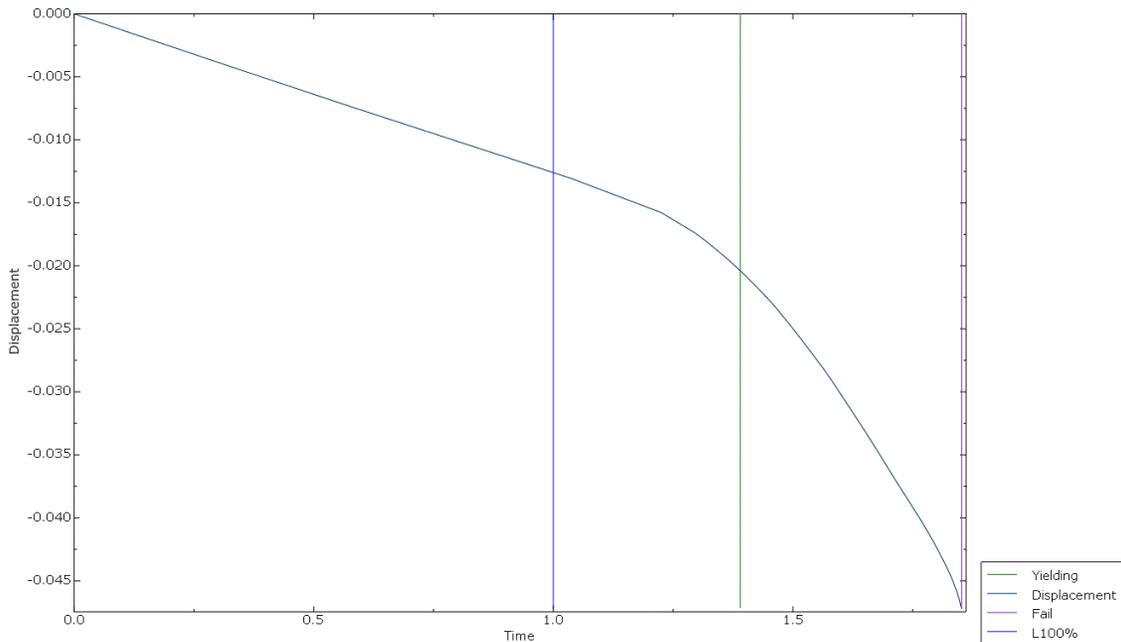


Figure 265. Analysis of Panel rail 80x1.5



12.2 Panel rail $\Omega 80 \times 1.2$ mm for rows stowed at -5°

3- Buckling analysis:

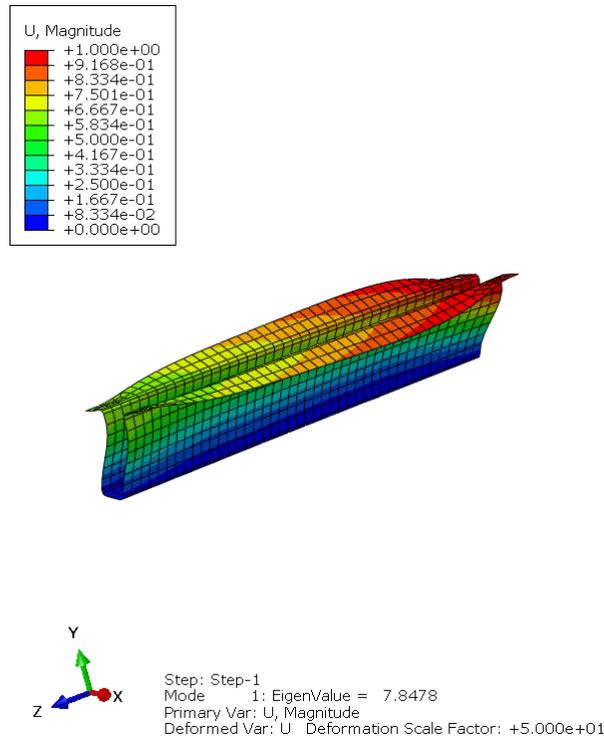


Figure 273. *Panel rail 1rts Buckle Mode*

- 4- Non- linear geometrical analysis: the forces and boundary conditions are the same than for the previous analysis.

The initial deformation applied is $(422)/100 = 4.22$ mm in the direction of the first buckle mode shown previously.

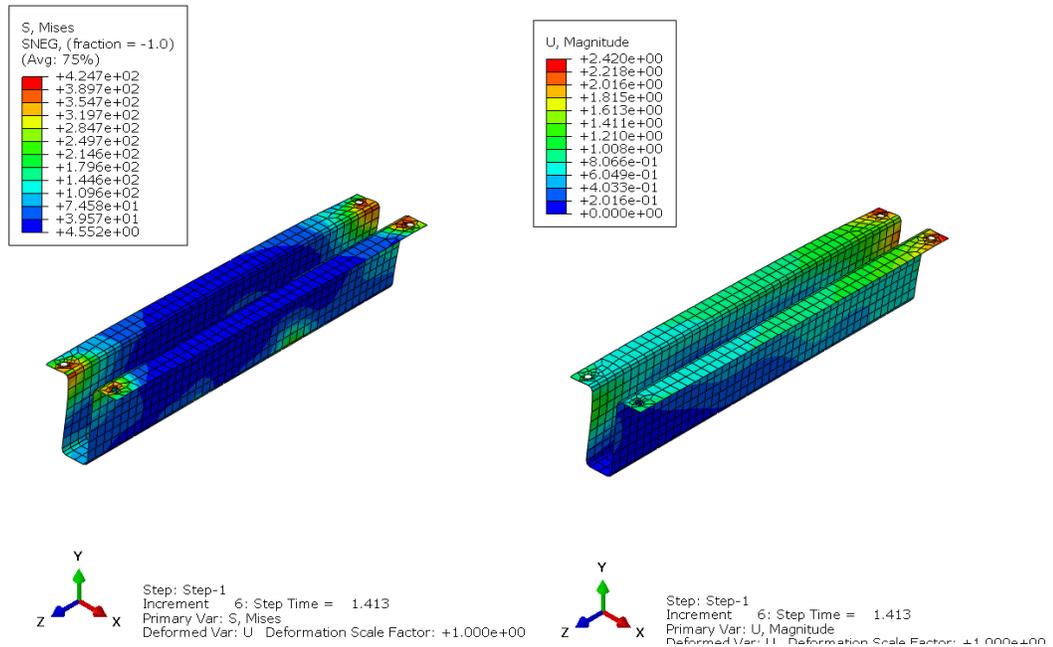


Figure 284. Panel rail Displacement and Stress results

In the next graphic is shown the evolution of the rotation of the panel rail with the load. The analysis has been loaded with more than 100% of the load in order to achieve the failure.

As it is shown, at 100% of the load, the behaviour is linear, yield starts at 153% and the member collapses at 228%

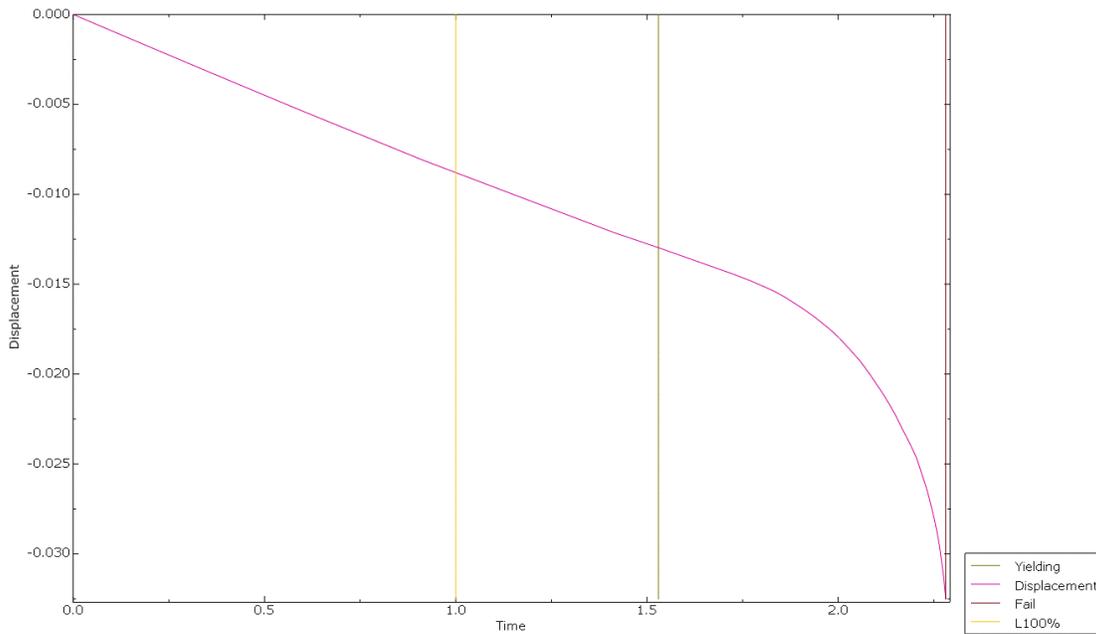


Figure 295. Analysis of Panel rail 80x1.2



These are the loads obtained in the critical load cases for the motor:

- Stow Position

| ROW | Static Torque (Nm) |
|----------|--------------------|
| External | 15028 |
| Internal | 17554 |

Table 24. *Motor Loads in Stow Position*

All the design loads are lower the allowable ones, so can be concluded that the motor complies all the requirements defined for this structure.

14. AEROLASTIC INSTABILITIES CHECK

In order to check possibly aeroelastic instabilities in the tracker, a full aeroelastic wind tunnel test have been performed.

This test is done with until 12 rows, each of them has the same properties scaled than a real row (natural frequency, stiffness, mass, damping...), so the real deformation under the wind loads can be observed. Apart of that, due to the round table used in the test, several wind yaw directions can be analysed.

The main target of this test is to obtain the optimal stow angle for each row, with the intention to avoid a possible flutter effect.

In the following picture is exposed an array section for the test inside tunnel.



Figure 318. Wind tunnel model (array section)



According to the table below, it can be concluded that the optimal angles are:

- Zone 1: positioned at -30° (against the wind direction)
- Interior rows: positioned at -5° (against the wind direction)

At these angles, the flutter effect appeared at greater wind speed.

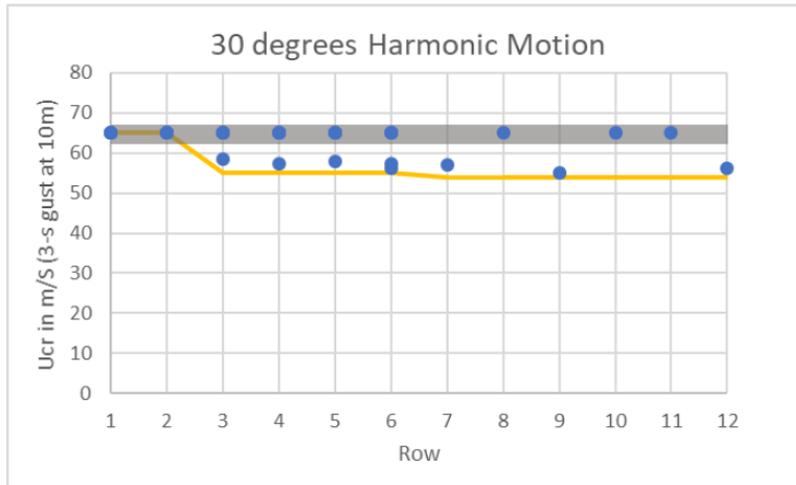


Figure 16: U_{cr} of all rows at 10m height, 3-second gust, for 30° harmonic motion for all rows at damping=15%. Nominal initial tilt is -30° for first row, -5° (slightly nose down) for all other rows.

Figure 329. W3-sec U_{cr} at 10 m for 30° harmonic motion for all rows at damping = 15%

For further information, see reference [VII].

15. CONCLUSIONS

The AXONE DUO solar array analysed in this report, **complies with the specified strength requirements** based in norms, section (4.1), under the next specifications:

- The wind load considered in this analysis corresponds to a wind velocity equal to **20 m/s (43.2 km/h)** in working position and **28 m/s (100.8 km/h)** in stow one. Speed of working position corresponds to 3 sec gust measure and the speed for the stow position is measured as a 10-minute average wind at 10m high. The basic wind considered has been found on reference [II], and coefficients used have been determined from wind tunnel experiments that can be found on reference [II].
- According with reference [III], snow loads have been considered in the analyses.
- Wind, snow and weight loads have been increased using the corresponded factor obtained from reference [I].
- The strength justification of the structure is based on Linear-elastic static finite element analysis to validate structure.