



Engineering & Construction



GRE CODE

GRE.EEC.C.25.IT.W.09317.13.001.00

PAGE

1 di/of 27

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

INTEGRALE RICOSTRUZIONE DELL' IMPIANTO EOLICO "GANGI", UBICATO NEL COMUNE DI GANGI (PA)

PROGETTO DEFINITIVO

Calcolo pre-dimensionamento strutture delle apparecchiature elettriche

File: GRE.EEC.C.25.IT.W.09317.13.001.00 - Calcolo pre-dimensionamento strutture delle apparecchiature elettriche

| | | | | | |
|------|------------|-----------------|---------------|-----------|--------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 00 | 02/08/2022 | Prima emissione | A . Filiberti | G. Alfano | P. Polinelli |
| REV. | DATE | DESCRIPTION | PREPARED | VERIFIED | APPROVED |

GRE VALIDATION

| | | |
|---------------|-------------|--------------|
| Name (GRE) | G. Papa | L. Iacofano |
| COLLABORATORS | VERIFIED BY | VALIDATED BY |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------|---------|------|--------|---------|-----|-------|---|---|--------|-------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|
| PROJECT / PLANT Gangi | GRE CODE | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | GROUP | FUNCION | TYPE | ISSUER | COUNTRY | TEC | PLANT | | | SYSTEM | PROGRESSIVE | REVISION | | | | | | | |
| | GRE | EEC | C | 2 | 5 | I | T | W | 0 | 9 | 3 | 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

| | | | |
|----------------|---------------|-------------------|---------------------|
| CLASSIFICATION | PUBLIC | UTILIZATION SCOPE | BASIC DESIGN |
|----------------|---------------|-------------------|---------------------|

This document is property of Enel Green Power Italia s.r.l. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power Italia s.r.l.

INDEX

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUZIONE | 3 |
| 1.1. DESCRIZIONE DEL PROPONENTE | 3 |
| 1.2. CONTENUTI DELLA RELAZIONE | 3 |
| 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE | 3 |
| 3. NORMATIVA E FONTI DI RIFERIMENTO CONSULTATE | 5 |
| 4. DESCRIZIONE DELLE OPERE | 5 |
| 5. MATERIALI | 7 |
| 5.1. ACCIAIO | 7 |
| 6. CARICHI GENERALI | 7 |
| 6.1. Carichi permanenti (G1 + G2) | 7 |
| 6.2. Sovraccarichi (Q) | 7 |
| 6.2.1. AZIONE DEL vento | 7 |
| 6.2.2. AZIONE SISMICA | 8 |
| 7. SOFTWARE UTILIZZATO PER L'ANALISI | 10 |
| 8. PRE-DIMENSIONAMENTO | 10 |
| 8.1. SOSTEGNI, TA, TV, SCARICATORE, SCARICATORE + TA | 10 |
| 8.1.1. DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE | 10 |
| 8.1.2. Carichi | 11 |
| 8.1.3. Verifiche | 13 |
| 8.1.4. Verifiche di funzionalita' impianti | 14 |
| 8.2. SEZIONATORE | 14 |
| 8.2.1. descrizione delle strutture | 14 |
| 8.2.2. Carichi | 15 |
| 8.2.3. Verifiche | 18 |
| 8.2.4. Verifiche di funzionalita' impianti | 21 |
| 8.3. INTERRUTTORE | 21 |
| 8.3.1. descrizione delle strutture | 21 |
| 8.3.2. Carichi | 22 |
| 8.3.3. Verifiche strutturali | 25 |
| 8.3.4. Verifiche di funzionalita' impianti | 26 |
| 9. CONCLUSIONI | 27 |

1. INTRODUZIONE

Stantec S.p.A., in qualità di Consulente Tecnico, è stata incaricata da Enel Green Power Italia Srl ("EGP Italia") di redigere il progetto definitivo per il potenziamento dell'esistente impianto eolico ubicato nel Comune di Gangi (PA), costituito da 32 turbine eoliche (WTG), di potenza 0,85 MW ciascuna, per un totale di 27,2 MW installati.

L'energia prodotta dagli aerogeneratori dell'impianto viene convogliata tramite cavidotto interrato MT, alla Sottostazione di trasformazione MT/AT ubicata in adiacenza della Stazione E-distribuzione "Monte Zimmara", collegata alla linea 150 kV "Petralia - Nicosia".

La soluzione di connessione che verrà adottata per il nuovo impianto in progetto ricalcherà l'esistente, prevedendo dunque una connessione in AT alla Stazione elettrica di AT Monte Zimmara, riadeguando l'infrastruttura esistente alla nuova taglia dell'impianto.

L'intervento in progetto prevede l'integrale ricostruzione dell'impianto, tramite l'installazione di nuove turbine eoliche, in linea con gli standard più alti presenti sul mercato, che consente di ridurre il numero di macchine da 32 a 7, diminuendo in questo modo l'impatto visivo, in particolare il cosiddetto "effetto selva". Inoltre, la maggior efficienza dei nuovi aerogeneratori comporta un aumento considerevole dell'energia specifica prodotta, riducendo in maniera proporzionale la quantità di CO2 equivalente.

1.1. DESCRIZIONE DEL PROPONENTE

Enel Green Power Italia Srl., in qualità di soggetto proponente del progetto, è una società del Gruppo Enel che si occupa dello sviluppo e della gestione delle attività di generazione di energia da fonti rinnovabili facente capo a Enel Green Power Spa.

Il Gruppo Enel, tramite la controllata Enel Green Power Spa, è presente in 28 Paesi nei 5 continenti con una capacità gestita di oltre 46 GW e più di 1200 impianti.

In Italia, il parco di generazione di Enel Green Power è rappresentato dalle seguenti tecnologie rinnovabili: idroelettrico, eolico, fotovoltaico, geotermia. Attualmente nel Paese conta una capacità gestita complessiva di oltre 14 GW.

1.2. CONTENUTI DELLA RELAZIONE

La presente relazione ha l'obiettivo di illustrare il pre-dimensionamento delle strutture delle apparecchiature elettriche presenti nella Sottostazione di trasformazione MT/AT.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il sito si trova nella provincia di Palermo ed interessa il territorio del comune di Gangi.

L'area è identificata dalle seguenti coordinate geografiche:

- Latitudine: 37°45'45.92"N
- Longitudine: 14°14'22.77"E

L'impianto in progetto ricade all'interno dei seguenti fogli catastali:

- Comune di Gangi: n° 51, n° 55, n° 63, n° 64

L'area di progetto ricade all'interno del foglio I.G.M. in scala 1:25.000 codificato 260-II-NO, denominato "Gangi".

Di seguito è riportato l'inquadramento territoriale dell'area di progetto e la posizione degli aerogeneratori su ortofoto.

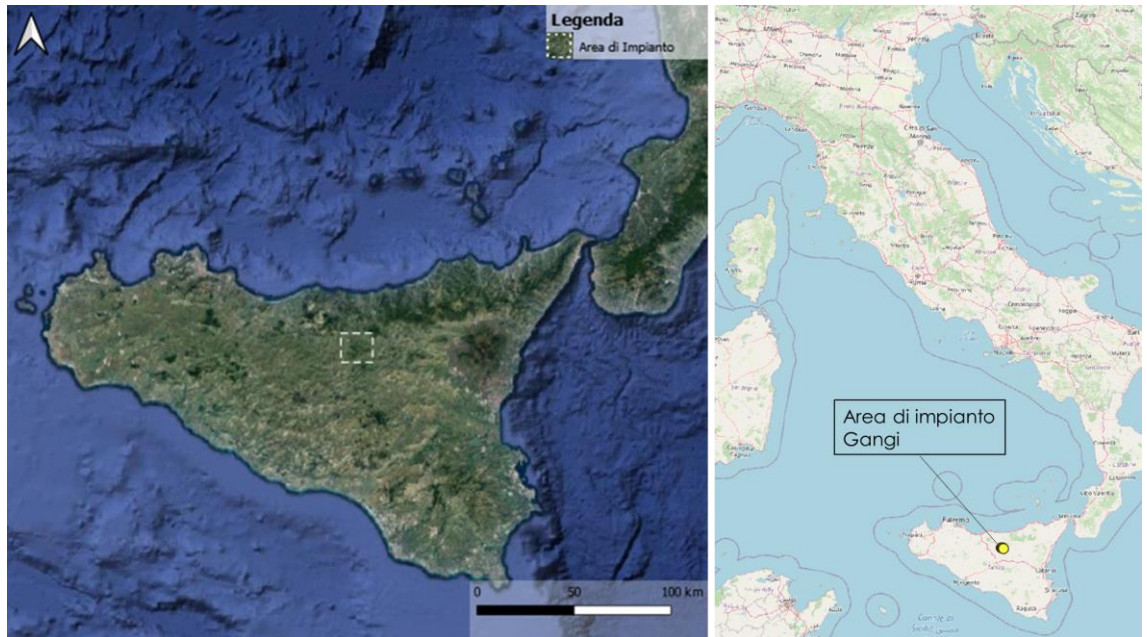


Figura 2-1: Inquadramento generale dell'area di progetto



Figura 2-2: Configurazione proposta su ortofoto

Si riporta invece in formato tabellare un dettaglio sulla localizzazione delle WTG di nuova costruzione, in coordinate WGS84 UTM fuso 33 N:

Tabella 1: Coordinate aerogeneratori

| ID | Comune | Est [m] | Nord [m] | Altitudine [m s.l.m.] |
|------------|--------|-----------|------------|-----------------------|
| G01 | Gangi | 433594,19 | 4179907,20 | 1199 |
| G02 | Gangi | 434083,00 | 4179721,00 | 1234 |
| G03 | Gangi | 434593,00 | 4179671,00 | 1279 |
| G04 | Gangi | 435122,00 | 4179478,00 | 1302 |
| G05 | Gangi | 435621,29 | 4179298,27 | 1300 |
| G06 | Gangi | 436466,97 | 4179171,98 | 1248 |
| G07 | Gangi | 436058,00 | 4178560,00 | 1301 |

3. **NORMATIVA E FONTI DI RIFERIMENTO CONSULTATE**

1. Di seguito sono elencati i principali riferimenti Normativi a cui si farà riferimento nella presente relazione.
2. D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»"
3. Circolare n.7 Reg. Atti Int. CONSUP del 21.01.2019 "Istruzioni per l'applicazione dello "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018
4. CNR-DT 207/2008: "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni"
5. UNI EN 1990. Criteri generali di progettazione strutturale.
6. UNI EN 1991-1-1 Parte 1-1: Azioni in generale - Pesi per unità di volume, pesi propri e sovrac-carichi per gli edifici
7. UNI EN 1991-1-3 Parte 1-3: Azioni in generale - Carichi da neve
8. UNI EN 1991-1-4 Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento
9. UNI EN 1991-1-6 Parte 1-6: Azioni in generale - Azioni durante la costruzione
10. UNI EN 1997-1 Parte 1: Progettazione geotecnica. Regole generali
11. UNI EN 1997-2 Parte 2: Progettazione geotecnica. Indagini e prove nel sottosuolo
12. UNI EN 1998-1 Parte 1: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
13. UNI EN 1992-1-1 Parte 1-1: Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Regole generali e regole per gli edifici

4. **DESCRIZIONE DELLE OPERE**

Le opere in progetto sono costituite dalle strutture per le apparecchiature elettromeccaniche presenti nella Sottostazione di trasformazione MT/AT. Le apparecchiature elettromeccaniche oggetto di pre-dimensionamento sono le seguenti:

- Sostegni;
- Scaricatore;
- TA;
- Interruttore;
- TV;

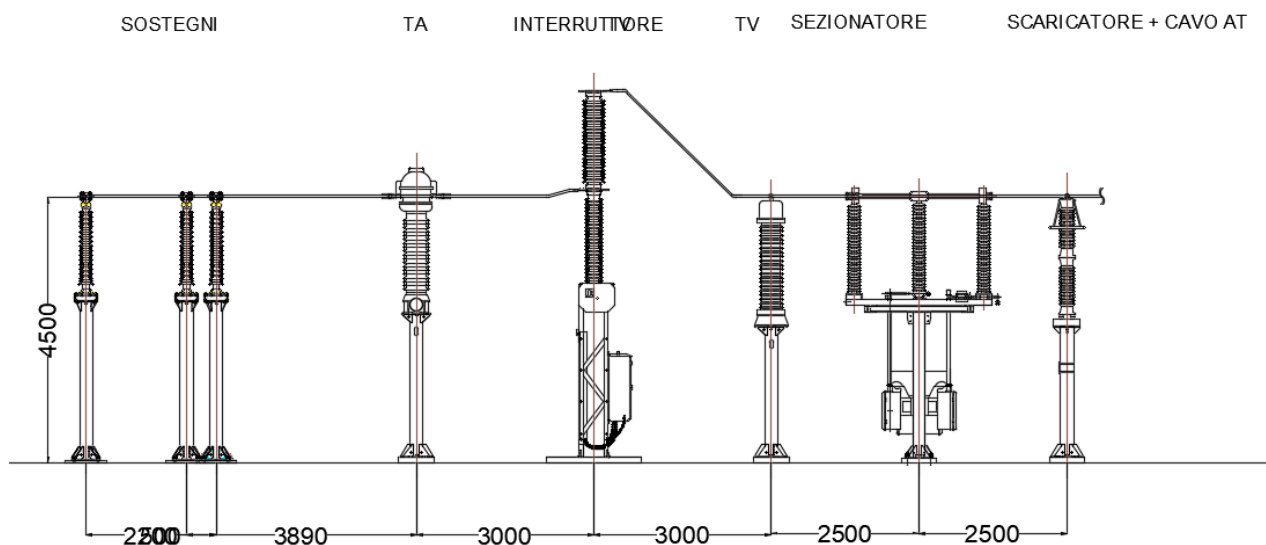


Figura 2-5: Sezione elettromeccanica B-B

5. MATERIALI

5.1. ACCIAIO

L'acciaio impiegato per le strutture deve essere di tipo S235 e presentare le seguenti caratteristiche:

| | | |
|------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| f_y | 235 MPa | Resistenza a snervamento |
| f_u | 360 MPa | Resistenza ultima a rottura |
| E | 210000 MPa | Modulo elastico |
| ν | 0.3 | Coefficiente di Poisson |
| $G = E/2(1+\nu)$ | 80769 MPa | Modulo di elasticità tangenziale |
| α | $12 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$ | Costante di dilatazione |
| γ | 7580 kg/mc | Densità di massa |

6. CARICHI GENERALI

6.1. CARICHI PERMANENTI (G1 + G2)

I carichi permanenti si dividono in strutturali e non strutturali e comprendono il peso proprio degli elementi e i carichi aggiuntivi dei componenti delle apparecchiature elettromeccaniche installate sulla struttura.

6.2. SOVRACCARICHI (Q)

6.2.1. AZIONE DEL VENTO

L'azione del vento viene calcolata sulla base di quanto riportato nelle norme *D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»* e *CNR-DT 207/2008: "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni"*.

Nota la posizione geografica e l'altezza sul livello del mare del sito dove sorge la costruzione

si procede alla determinazione della pressione di picco del vento, comune per tutte le strutture successivamente analizzate.

DM 2018 - Capitolo 3.3 Azione del vento

| ZONA | 4_Sicilia e provincia di Reggio Calabria | |
|-----------------------------------|---|---|
| a_s | <i>m</i> | 965 quota sul livello del mare (in m) del sito ove sorge la costruzione |
| a_0 | <i>m</i> | 500 quota s.l.m. di riferimento |
| $v_{b,0}$ | <i>m/s</i> | 28 velocità di riferimento del vento |
| k_s | | 0.36 |
| c_a | | 1.3348 coefficiente d'altitudine |
| v_b | $c_a \cdot v_{b,0}$ | 37.3744 velocità di riferimento del vento per $T_R = 50$ anni |
| T_R | <i>anni</i> | 50 periodo di ritorno di progetto dell'azione del vento |
| α_R | $0.75 \cdot [1 - 0.2 \cdot \ln(-\ln(1 - 1/T_R))]^{0.5}$ | 1.00 coefficiente legato al periodo di ritorno di progetto |
| v_f | $\alpha_R \cdot v_b$ | 37.37 velocità di riferimento del vento associata al tempo di ritorno di progetto |
| ρ | <i>kg/m³</i> | 1.25 densità dell'aria |
| q_p | $\frac{1}{2} \rho \cdot v_f^2$ | 0.87 pressione cinetica di picco |
| CLASSE DI RUGOSITÀ DEL TERRENO | | D Aree prive di ostacoli |
| CATEGORIA DI ESPOSIZIONE DEL SITO | | II |
| k_r | | 0.19 fattore di terreno |
| z_0 | <i>m</i> | 0.05 altezza di rugosità |
| z_{min} | <i>m</i> | 4 altezza minima |
| c_t | | 1 coefficiente di topografia |
| $c_{e,min}(z)$ | $c_e(z_{min})$ | 1.801 coefficiente di esposizione per $z < z_{min}$ |

6.2.2. AZIONE SISMICA

L'azione sismica è stimata determinando gli spettri in accelerazione di progetto, il sito di progetto è determinato tramite le coordinate geografiche:

Est: 432777.397 [m]
 Nord: 4180557.928 [m]

Le opere sono da considerarsi di tipo "ordinario", la vita nominale V_N è assunta pari a 50 anni. L'opera è ritenuta di classe d'uso IV, corrisponderà quindi un coefficiente $C_U = 2$. La vita di riferimento è pari a:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 2 = 100 \text{ anni}$$

Da cui ne deriveranno i periodi di ritorno determinati nella seguente figura.

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_n info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_u info

Valori di progetto

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

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

Stati limite di esercizio - SLE

- SLO - $P_{VR} = 81\%$
- SLD - $P_{VR} = 63\%$

Stati limite ultimi - SLU

- SLV - $P_{VR} = 10\%$
- SLC - $P_{VR} = 5\%$

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

INTRO FASE 1 **FASE 2** FASE 3

Per il sito di progetto si ottengono i seguenti parametri sismici:

| SLATO LIMITE | T_R [anni] | a_g [g] | F_o [-] | T_c^* [s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|-------------|
| SLO | 60 | 0.059 | 2.398 | 0.282 |
| SLD | 101 | 0.074 | 2.384 | 0.295 |
| SLV | 949 | 0.176 | 2.498 | 0.335 |
| SLC | 1950 | 0.222 | 2.547 | 0.343 |

Dalla relazioni geologica e geotecnica è stato rilevato che la Categoria di Sottosuolo che interessa il sito di progetto è la **B** mentre la Categoria Topografica è **T2**.

Si riportano di seguito le espressioni ed i parametri caratterizzanti lo spettro di risposta orizzontale allo SLV:

Espressioni dei parametri dipendenti

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

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

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

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

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

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

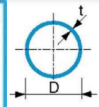
$$0 \leq T < T_b \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_b} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_b} \right) \right]$$

$$T_b \leq T < T_c \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_c \leq T < T_b \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_c}{T} \right)$$

$$T_b \leq T \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_c \cdot T_b}{T} \right)$$

| Diametro esterno | Spessore | Massa a ml | Area della sezione | Momento d'inerzia | Raggio d'inerzia | Modulo di resistenza elastico | Modulo di resistenza plastico | Momento d'inerzia di torsione | Costante di torsione | Superficie esterna a ml | Lunghezza per ton |
|------------------|----------|------------|--------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------|
| D | t | M | A | I | i | W _{el} | W _{pl} | I _t | C _t | m ² /m | m/t |
| mm | mm | kg/m | cm ² | cm ⁴ | cm | cm ³ | cm ³ | cm ⁴ | cm ³ | | |
| 219.1 | 4.0 | 21.2 | 27.0 | 1564 | 7.61 | 143 | 185 | 3128 | 286 | 0.688 | 47.1 |



8.1.2. CARICHI

Carichi permanenti strutturali e non strutturali

I carichi permanenti permanenti strutturali vengono calcolati in automatico dal software a seconda dell'elemento fornito in input. Per gli elementi in acciaio è stato assunto un peso specifico pari a 78.50 kN/m³.

I maggiori carichi permanenti non strutturali a cui risultano essere soggette le strutture si assumono cautelativamente pari a 800 kg.

Azione del vento

L'azione del vento a cui sono soggette le strutture viene valutata come distribuita per unità di lunghezza sugli elementi in esame e si calcola facendo riferimento a quanto riportato dalla norma CNR-DT 207/2008: "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni" per elementi snelli di forma circolare. Si allega il calcolo del coefficiente di forza per l'elemento e l'azione del vento agente.

CALCOLO DELL'AZIONE DEL VENTO SU ELEMENTI SNELLI

Elemento a sezione circolare

| | | | | |
|---------------------|-------------------------------|-------------------|----------|---|
| V _r | α _R V _b | m/s | 37.37 | velocità di riferimento del vento associata al tempo di ritorno di progetto |
| q _p | | kN/m ² | 0.87 | pressione cinetica di picco |
| z | | m | 4.5 | quota sul suolo |
| k _r | | | 0.19 | fattore di terreno |
| z ₀ | | m | 0.05 | altezza di rugosità |
| z _{min} | | m | 4 | altezza minima |
| c _t | | | 1 | coefficiente di topografia |
| c _m | | | 0.855 | coefficiente di profilo medio del vento |
| v _m | | m/s | 31.95 | velocità media del vento |
| ν | | m ² /s | 0.000015 | viscosità cinematica dell'aria |
| l | | m | 0.21 | dimensione di riferimento associata al coefficiente di forza |
| b | | m | 0.21 | diametro della sezione |
| Re | Re = l*v _m /ν | | 447352.6 | numero di Reynolds |
| k | | mm | 0.2 | scabrezza della superficie |
| k/b | | | 0.000952 | |
| c _{fx} (A) | | | 0.339221 | coefficiente di forza curva A |
| c _{fx} (B) | | | 0.777088 | coefficiente di forza curva B |
| f _x | | kN/m | 0.142 | forza del vento per unità di lunghezza |

Come riportato nella norma consultata si considera la forza agente nella direzione del flusso X quantificata mediante il coefficiente di forza c_{fx0}, mentre i coefficienti di forza trasversale c_{fy0} e di momento torcente c_{mz0} sono nulli a rigore.

Azione sismica

Considerata la tipologia strutturale adottata si è scelto di progettare la struttura in come non dissipativa. Per il tipo di struttura si adotta un fattore di comportamento q = 1 e, potendosi assumere K_R = 1 si ha:

$$q = K_R \cdot q_0 = 1 \cdot 1 = 1$$

Per una stima approssimativa del periodo di vibrazione fondamentale si fa riferimento alla formula riportata nel paragrafo C7.3.2 della Circolare n.7 Reg. Atti Int. CONSUP del 21.01.2019 "Istruzioni per l'applicazione dello "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le

costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018, assumendo $C_1 = 0.050$ e $H = 4.5$ m.

$$T_1 = C_1 * H^{3/4} = 0.050 * 3.09 = 0.155 \text{ s}$$

Si considera lo Stato Limite di Operatività, la determinazione dello spettro SLO viene eseguita con riferimento al periodo di ritorno di 60 anni. Con i parametri precedentemente impostati si ottiene un valore di $S_d = 0.204$ g. Considerando un peso sismico pari alla somma dei carichi permanenti, si ottiene una forzante sismica pari a:

$$F = 0.204 * 9.806 * 895 = 1.8 \text{ kN}$$

Si considera lo Stato Limite di Vita, la determinazione dello spettro SLV viene eseguita con riferimento al periodo di ritorno di 975 anni. Con i parametri precedentemente impostati si ottiene un valore di $S_d = 0.633$ g. Considerando un peso sismico pari alla somma dei carichi permanenti, si ottiene una forzante sismica pari a:

$$F = 0.633 * 9.806 * 895 = 5.6 \text{ kN}$$

A favore di sicurezza si assume tale forza agente sulla sommità dell'elemento.

Riepilogo

Nella sottostante tabella 2 si riportano i carichi agenti sulla struttura.

Tabella 2: Riepilogo carichi

| ID Carico | Valore |
|-------------|------------|
| G1 (stima) | 0.95 kN |
| G2 | 8 kN |
| Q_vento | 0.142 kN/m |
| Q_sisma_SLO | 1.8 kN |
| Q_sisma_SLV | 5.6 kN |

Combinazioni di carico

Vengono introdotte le seguenti combinazioni di calcolo con gli opportuni coefficienti previsti da Normativa di cui si riporta sintesi in tabella 3:

Combinazione fondamentale SLU:

$$\gamma_{G1} * G_1 + \gamma_{G2} * G_2 + \gamma_P * P + \gamma_{Q1} * Q_{k1} + \gamma_{Q2} * \psi_{02} * Q_{k2} + \gamma_{Q3} * \psi_{03} * Q_{k3}$$

Combinazione sismica:

$$G_1 + G_2 + P + E + \psi_{21} * Q_{k1} + \psi_{22} * Q_{k2} + \dots$$

Combinazione rara SLE:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} * Q_{k2} + \psi_{03} * Q_{k3}$$

Tabella 3: Combinazioni di carico

Casi di carico

Cat.

| | |
|----|---------------------------------|
| G1 | pesi permanenti strutturali |
| G2 | pesi permanenti non strutturali |
| W | carichi da vento |
| E | sisma |

| COMBO | TYPE | | G1 | G2 | W | E |
|-------|--------------------------|-----|----|------|------|------|
| SLU | Strength/Stress | Add | | 1.30 | 1.50 | 1.50 |
| SLV | Strength/Stress(Elastic) | Add | | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| SLEr | Serviceability | Add | | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

8.1.3. VERIFICHE

Si riportano i risultati delle verifiche di resistenza e di deformabilità condotte sull'elemento strutturale, tutti i coefficienti di sicurezza risultano inferiori all'unità, le verifiche sono quindi soddisfatte.

1. Design Information

Design Code Eurocode3:05
 Unit System kN, m
 Member No 1
 Material S235 (No:1)
 (Fy = 235000, Es = 210000000)
 Section Name CHS-CF 219.1X4 (No:1)
 (Rolled : CHS-CF 219.1X4).
 Member Length : 4.50000



2. Member Forces

Axial Force Fxx = -8.9363 (LCB: 2, POS:I)
 Bending Moments My = 0.00000, Mz = -25.200
 End Moments Myi = 0.00000, Mj = 0.00000 (for Lb)
 Myi = 0.00000, Mj = 0.00000 (for Ly)
 Mzi = -25.200, Mzj = 0.00000 (for Lz)
 Shear Forces Fyy = -5.6000 (LCB: 2, POS:1/2)
 Fzz = 0.00000 (LCB: 3, POS:1/2)

| Outer Dia. 0.21910 | | Wall Thick. 0.00400 | |
|--------------------|---------|---------------------|---------|
| Area | 0.00270 | Asz | 0.00135 |
| Oyb | 0.01157 | Ozb | 0.01157 |
| Iy | 0.00002 | Iz | 0.00002 |
| Ybar | 0.10955 | Zbar | 0.10955 |
| Wely | 0.00014 | Welz | 0.00014 |
| ry | 0.07506 | rz | 0.07506 |

3. Design Parameters

Unbraced Lengths Ly = 4.50000, Lz = 4.50000, Lb = 4.50000
 Effective Length Factors Ky = 1.00, Kz = 1.00
 Equivalent Uniform Moment Factors CmY = 0.85, CmZ = 0.85, CmLT = 1.00

4. Checking Result

Slenderness Ratio
 $KL/r = 59.2 < 200.0$ (Memb:1, LCB: 2)..... OK

Axial Resistance
 $N_{Ed}/MIN[N_{c,Rd}, N_{b,Rd}] = 8.936/635.205 = 0.014 < 1.000$ OK

Bending Resistance
 $M_{Edy}/M_{Rdy} = 0.0000/43.4969 = 0.000 < 1.000$ OK
 $M_{Edz}/M_{Rdz} = 25.2000/43.4969 = 0.579 < 1.000$ OK

Combined Resistance
 $R_{MNRd} = MAX[M_{Edy}/M_{ny,Rd}, M_{Edz}/M_{nz,Rd}]$
 $R_{b,N} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \Gamma_{M0})$, $R_{b,M} = M_{Edy}/M_{y,Rd} + M_{Edz}/M_{z,Rd}$
 $R_{c,LT1} = N_{Ed}/(X_{ly} \cdot A \cdot f_y / \Gamma_{M1})$
 $R_{b,LT1} = (k_{yy} \cdot M_{Edy}) / (X_{l,LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \Gamma_{M1}) + (k_{yz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \Gamma_{M1})$
 $R_{c,LT2} = N_{Ed}/(X_{lz} \cdot A \cdot f_y / \Gamma_{M1})$
 $R_{b,LT2} = (k_{zy} \cdot M_{Edy}) / (X_{l,LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \Gamma_{M1}) + (k_{zz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \Gamma_{M1})$
 $R_{max} = MAX[R_{MNRd}, (R_{b,N} + R_{b,M}), MAX(R_{c,LT1} + R_{b,LT1}, R_{c,LT2} + R_{b,LT2})] = 0.593 < 1.000$.. OK

Torsion Strength
 $T_{Ed}/T_{Rd} = 0.0000/38.7361 = 0.000 < 1.000$ OK

Shear Resistance
 $V_{Edy}/V_{y,Rd} = 0.024 < 1.000$ OK
 $V_{Edz}/V_{z,Rd} = 0.000 < 1.000$ OK

5. Deflection Checking Results

$U/300.0 = 0.0150 > 0.0022$ (Memb:1, LCB: 3, Dir-Y)..... OK

8.1.4. VERIFICHE DI FUNZIONALITA' IMPIANTI

Secondo quanto indicato al paragrafo delle *D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»"* occorre verificare che gli spostamenti strutturali prodotti allo SLO per la classe d'uso considerata non siano tali da produrre interruzioni d'uso degli impianti.

Allo SLO lo spostamento massimo a cui è soggetto l'elemento strutturale è pari a 1.67 cm tale quindi da non compromettere il funzionamento dello stesso.

8.2. SEZIONATORE

8.2.1. DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE

Per le strutture sostenenti il sezionatore si adotta il seguente schema strutturale; tre colonne poste ad interasse di 1.7 m costituite da un profilo in acciaio di forma circolare cavo formato a freddo. Si assume diametro pari a 219.1 mm, spessore 4 mm ed altezza pari a 3 m. I componenti del sezionatore vengono fissati a due profili HEB100 di lunghezza pari a 4.5 m a loro volta collegati alle colonne tramite profili UPN100 di lunghezza totale 2 m ciascuna.

La configurazione strutturale è riportata nell'immagine sottostante (figura 2.6). Si precisa che gli elementi di colore verde e viola (sezionatori) sono stati inseriti solamente come rappresentazione delle apparecchiature elettromeccaniche installate e non sono oggetto di verifica strutturale. L'altezza totale raggiunta dalle componenti elettromeccaniche è pari a 4.5 m.

La struttura si suppone vincolata alla fondazione tramite vincolo di incastro.

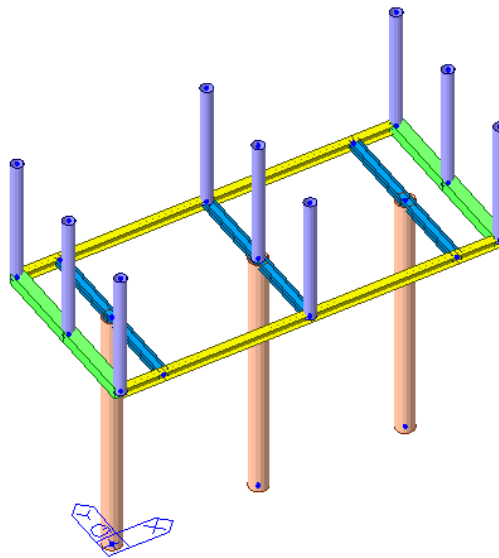
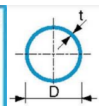


Figura 2-6: Modello sezionatore

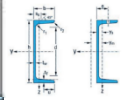
Colonne:

| Diametro esterno | Spessore | Massa a ml | Area della sezione | Momento d'inerzia | Raggio d'inerzia | Modulo di resistenza elastico | Modulo di resistenza plastico | Momento d'inerzia di torsione | Costante di torsione | Superficie esterna a ml | Lunghezza per ton |
|------------------|----------|------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------|
| D mm | t mm | M kg/m | A cm ² | I cm ⁴ | i cm | W _{el} cm ³ | W _{pl} cm ³ | I _t cm ⁴ | C _t cm ³ | m ² /m | m/t |
| 219.1 | 4.0 | 21.2 | 27.0 | 1564 | 7.61 | 143 | 185 | 3128 | 286 | 0.688 | 47.1 |



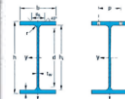
Travi principali:

| Designazione nominale | Massa G kg/m | Dimensioni | | | | | | Area A cm ² | Dimensioni di costruzione | | | | Superficie da verniciare | | |
|-----------------------|--------------------|------------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------------|---------------------------|---------|------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------|
| | | h mm | b mm | t _w mm | t _f mm | r ₁ mm | r ₂ mm | | d mm | Ø mm | e _{min} mm | e _{max} mm | A _L m ² /m | A _G m ² /t | |
| UPN 100 | 10,6 | 100 | 50 | 6 | 8,5 | 8,5 | 4,5 | 13,5 | 64 | - | - | - | - | 0,372 | 35,10 |



Travi secondarie:

| Designazione nominale | Massa G kg/m | Dimensioni | | | | | | Area A cm ² | Dimensioni di costruzione | | | | | Superficie da verniciare | |
|-----------------------|--------------------|------------|---------|----------------------|----------------------|---------|---------|------------------------------|---------------------------|---------|------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| | | h mm | b mm | t _w mm | t _f mm | r mm | A mm | | d mm | Ø mm | P _{min} mm | P _{max} mm | A _L m ² /m | A _G m ² /t | |
| HE 100 B | 20,4 | 100 | 100 | 6,0 | 10,0 | 12 | 26,04 | 80 | 56 | M10 | 56 | 58 | 0,567 | 27,76 | |



8.2.2. CARICHI

Carichi permanenti strutturali e non strutturali

I carichi permanenti permanenti strutturali vengono calcolati in automatico dal software a seconda dell'elemento fornito in input. Per gli elementi in acciaio è stato assunto un peso specifico pari a 78.50 kN/m³.

I carichi permanenti non strutturali a cui risultano essere soggette le strutture si assumono pari a 100 kg per ciascun sezionatore, con un totale di 900 kg.

Azione del vento

L'azione del vento a cui sono soggette le strutture viene valutata come distribuita per unità di lunghezza sugli elementi in esame e si calcola facendo riferimento a quanto riportato dalla norma CNR-DT 207/2008: "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni" per elementi snelli di forma circolare. Si allega il calcolo del coefficiente di forza per l'elemento e l'azione del vento agente.

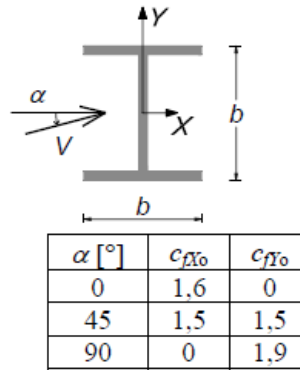
CALCOLO DELL'AZIONE DEL VENTO SU ELEMENTI SNELLI

Elemento a sezione circolare

| | | | | |
|--------------|--------------------------|-------------------|----------|---|
| v_r | $\alpha_R v_b$ | m/s | 37.37 | velocità di riferimento del vento associata al tempo di ritorno di progetto |
| q_p | | kN/m ² | 0.87 | pressione cinetica di picco |
| z | | m | 4.5 | quota sul suolo |
| k_r | | | 0.19 | fattore di terreno |
| z_0 | | m | 0.05 | altezza di rugosità |
| z_{min} | | m | 4 | altezza minima |
| c_t | | | 1 | coefficiente di topografia |
| c_m | | | 0.855 | coefficiente di profilo medio del vento |
| v_m | | m/s | 31.95 | velocità media del vento |
| ν | | m ² /s | 0.000015 | viscosità cinematica dell'aria |
| l | | m | 0.21 | dimensione di riferimento associata al coefficiente di forza |
| b | | m | 0.21 | diametro della sezione |
| Re | $Re = l \cdot v_m / \nu$ | | 447352.6 | numero di Reynolds |
| k | | mm | 0.2 | scabrezza della superficie |
| k/b | | | 0.000952 | |
| $c_{fx} (A)$ | | | 0.339221 | coefficiente di forza curva A |
| $c_{fx} (B)$ | | | 0.777088 | coefficiente di forza curva B |
| f_x | | kN/m | 0.142 | forza del vento per unità di lunghezza |

Come riportato nella norma consultata si considera la forza agente nella direzione del flusso X quantificata mediante il coefficiente di forza c_{fx} , mentre i coefficienti di forza trasversale c_{fy} e di momento torcente c_{mz0} sono nulli a rigore.

Per i profili di carpenteria metallica la norma *CNR-DT 207/2008: "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni"* riporta i valori dei coefficienti di forza per i profili più comuni. L'angolo di azione della forza vento si assume orizzontale, parallelo alla direzione X mostrata in figura sottostante.



Lungo tali elementi agisce una forza per unità di lunghezza pari a:

$$f_x = c_{fx0} \cdot l \cdot q_p(z) = 1.6 \cdot 0.1 \cdot 0.87 = 0.14 \text{ kN/m}$$

Come indicato dalla norma l è la dimensione di riferimento, per elementi in carpenteria metallica viene assunta pari all'altezza del profilo, nel caso in esame $l = 100 \text{ mm}$.

Per maggiore chiarezza si riporta immagine dell'azione del vento agente sulla struttura:

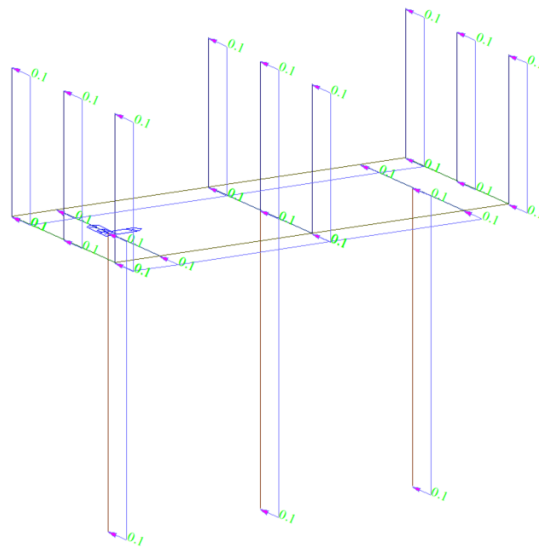


Figura 2-7: Modello sezionatore: azione del vento

Azione sismica

Considerata la tipologia strutturale adottata si è scelto di progettare la struttura in come non dissipativa. Per il tipo di struttura si adotta un fattore di comportamento $q = 1$ e, potendosi assumere $K_R = 1$ si ha:

$$q = K_R \cdot q_0 = 1 \cdot 1 = 1$$

Per una stima approssimativa del periodo di vibrazione fondamentale si fa riferimento alla formula riportata nel paragrafo C7.3.2 della Circolare n.7 Reg. Atti Int. CONSUP del 21.01.2019 "Istruzioni per l'applicazione dello "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018, assumendo $C1 = 0.050$ e $H = 4.5 \text{ m}$.

$$T1 = C_1 * H^{3/4} = 0.050 * 3.09 = 0.155 \text{ s}$$

Si considera lo Stato Limite di Operatività, la determinazione dello spettro SLO viene eseguita con riferimento al periodo di ritorno di 60 anni. Con i parametri precedentemente impostati si ottiene un valore di $S_d = 0.204 \text{ g}$. Considerando un peso sismico pari alla somma dei carichi permanenti, si ottiene una forzante sismica pari a:

$$F = 0.204 * 9.806 * 995 = 2 \text{ kN}$$

Si considera lo Stato Limite di Vita, la determinazione dello spettro SLV viene eseguita con riferimento al periodo di ritorno di 975 anni. Con i parametri precedentemente impostati si ottiene un valore di $S_d = 0.633 \text{ g}$. Considerando un peso sismico pari alla somma dei carichi permanenti, si ottiene una forzante sismica pari a:

$$F = 0.633 * 9.806 * 995 = 6.2 \text{ kN}$$

Si assume la forza sismica agente come ripartita in sommità delle colonne, ad altezza 3 m (piano delle travi).

Riepilogo

Nella sottostante tabella 4 si riportano i carichi agenti sulla struttura.

Tabella 4: Riepilogo carichi

| ID Carico | Valore |
|--------------------|------------|
| G1_colonna (stima) | 0.95 kN |
| G1_HEB (stima) | 1.02 kN |
| G1_UPN (stima) | 0.43 kN |
| G1_Totale | 2.4 kN |
| G2 | 9 kN |
| Q_vento_colonne | 0.142 kN/m |
| Q_vento_HEB | 0.14 kN/m |
| Q_sisma_SLO | 2 kN |
| Q_sisma_SLV | 6.2 kN |

Combinazioni di carico

Vengono introdotte le seguenti combinazioni di calcolo con gli opportuni coefficienti previsti da Normativa di cui si riporta sintesi in tabella 5

Combinazione fondamentale SLU:

$$\gamma_{G1} * G1 + \gamma_{G2} * G2 + \gamma_P * P + \gamma_{Q1} * Q_{k1} + \gamma_{Q2} * \psi_{02} * Q_{k2} + \gamma_{Q3} * \psi_{03} * Q_{k3}$$

Combinazione sismica:

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

Combinazione rara SLE:

$$G1 + G2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} * Q_{k2} + \psi_{03} * Q_{k3}$$

Tabella 5: Combinazioni di carico

| Casi di carico | |
|----------------|---------------------------------|
| Cat. | |
| G1 | pesi permanenti strutturali |
| G2 | pesi permanenti non strutturali |
| W | carichi da vento |
| E | sisma |

| COMBO | TYPE | | G1 | G2 | W | E |
|-------|--------------------------|-----|----|------|------|------|
| SLU | Strength/Stress | Add | | 1.30 | 1.50 | 1.50 |
| SLV | Strength/Stress(Elastic) | Add | | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| SLEr | Serviceability | Add | | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

8.2.3. VERIFICHE

Si riportano i risultati delle verifiche di resistenza e di deformabilità condotte sull'elemento strutturale, tutti i coefficienti di sicurezza risultano inferiori all'unità, le verifiche sono quindi soddisfatte.

Colonne:

1. Design Information

Design Code Eurocode3:05
 Unit System kN, m
 Member No 5
 Material S235 (No:1)
 (Fy = 235000, Es = 210000000)
 Section Name CHS-CF 219.1X4 (No:1)
 (Rolled : CHS-CF 219.1X4).
 Member Length : 3.00000



2. Member Forces

Axial Force Fxx = -8.4623 (LCB: 1, POS:J)
 Bending Moments My = -0.0018, Mz = 6.40323
 End Moments Myi = 0.00870, Mj = -0.0018 (for Lb)
 Myi = 0.00870, Mj = -0.0018 (for Ly)
 Mzi = 0.74936, Mzj = 6.40323 (for Lz)
 Shear Forces Fyy = -2.2041 (LCB: 1, POS:J)
 Fzz = 0.00341 (LCB: 1, POS:1/2)

| Outer Dia. 0.21910 | | Wall Thick: 0.00400 | |
|--------------------|---------|---------------------|---------|
| Area | 0.00270 | Asz | 0.00135 |
| Cy0 | 0.01197 | Cz0 | 0.01197 |
| Iyy | 0.00002 | Izz | 0.00002 |
| Yc0r | 0.10665 | Zc0r | 0.10665 |
| Wely | 0.00014 | WElz | 0.00014 |
| ry | 0.07505 | rz | 0.07505 |

3. Design Parameters

Unbraced Lengths Ly = 3.00000, Lz = 3.00000, Lb = 3.00000
 Effective Length Factors Ky = 1.00, Kz = 1.00
 Equivalent Uniform Moment Factors CmY = 0.85, CmZ = 0.85, CmLT = 1.00

4. Checking Result

Slenderness Ratio
 $KL/r = 39.4 < 200.0$ (Memb:5, LCB: 1) O.K

Axial Resistance
 $N_{Ed}/MIN[N_{c,Rd}, N_{b,Rd}] = 8.462/635.205 = 0.013 < 1.000$ O.K

Bending Resistance
 $M_{Edy}/M_{Rdy} = 0.0018/43.4969 = 0.000 < 1.000$ O.K
 $M_{Edz}/M_{Rdz} = 6.4032/43.4969 = 0.147 < 1.000$ O.K

Combined Resistance
 $R_{MNRd} = MAX[M_{Edy}/M_{Ny,Rd}, M_{Edz}/M_{Nz,Rd}]$
 $R_{BiM} = (M_{Edy}/M_{Ny,Rd})^{\alpha} + (M_{Edz}/M_{Nz,Rd})^{\beta}$
 $R_{byN} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \gamma_{M0})$, $R_{byM} = M_{Edy}/M_{y,Rd} + M_{Edz}/M_{z,Rd}$
 $R_{cLT1} = N_{Ed}/(X_{iy} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$
 $R_{bLT1} = (k_{yy} \cdot M_{Edy}) / (X_{iLT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (k_{yz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$
 $R_{cLT2} = N_{Ed}/(X_{iz} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$
 $R_{bLT2} = (k_{zy} \cdot M_{Edy}) / (X_{iLT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (k_{zz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$
 $R_{max} = MAX[R_{MNRd}, R_{BiM}, (R_{byN} + R_{byM}), MAX[R_{cLT1} + R_{bLT1}, R_{cLT2} + R_{bLT2}]] = 0.161 < 1.000$.. O.K

Torsion Strength
 $T_{Ed}/T_{Rd} = 0.0126/38.7361 = 0.000 < 1.000$ O.K

Shear Resistance
 $V_{Edy}/V_{y,Rd} = 0.009 < 1.000$ O.K
 $V_{Edz}/V_{z,Rd} = 0.000 < 1.000$ O.K

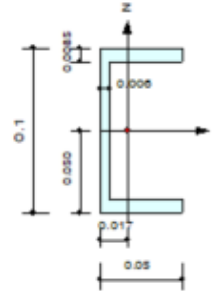
5. Deflection Checking Results

$L/300.0 = 0.0100 > 0.0040$ (Memb:5, LCB: 3, Dir:Y) O.K

Travi principali:

1. Design Information

Design Code Eurocode3:05
 Unit System kN, m
 Member No 21
 Material S235 (No:1)
 (Fy = 235000, Es = 210000000)
 Section Name UPN100 (No:6)
 (Rolled : UPN100).
 Member Length : 0.50000



2. Member Forces

Axial Force Fxx = 0.78135 (LCB: 1, POS:J)
 Bending Moments My = -4.0717, Mz = 0.00541
 End Moments Myi = -1.9884, Myj = -4.0717 (for Ly)
 Myi = -1.9884, Myj = -4.0717 (for Ly)
 Mzi = -0.0061, Mzj = 0.00541 (for Lz)
 Shear Forces Fyy = -0.0230 (LCB: 1, POS:1/2)
 Fzz = 4.20032 (LCB: 1, POS:J)

| | | | |
|--------------|---------|--------------|---------|
| Depth | 0.10000 | Web Thick | 0.00850 |
| Top Fl Width | 0.05000 | Top Fl Thick | 0.00850 |
| Bot.F Width | 0.05000 | Bot.F Thick | 0.00850 |
| Area | 0.00135 | Asz | 0.00080 |
| Iyb | 0.00410 | Izb | 0.00055 |
| Iy | 0.00000 | Izz | 0.00000 |
| Iybar | 0.01887 | Izbar | 0.05000 |
| Iyzy | 0.00004 | Iyzyr | 0.00001 |
| Iyzyr | 0.03910 | Iyzyz | 0.01470 |

3. Design Parameters

Unbraced Lengths Ly = 1.00000, Lz = 1.00000, Lb = 1.00000
 Effective Length Factors Ky = 1.00, Kz = 1.00
 Equivalent Uniform Moment Factors CmY = 1.00, CmZ = 1.00, CmLT = 1.00

4. Checking Result

Slenderness Ratio
 KL/r = 68.0 < 200.0 (Memb:6, LCB: 2)..... O.K
 Axial Resistance
 N_Ed/NL_Rd = 0.781/317.250 = 0.002 < 1.000 O.K
 Bending Resistance
 M_Edy/M_Rdy = 4.0717/11.5150 = 0.354 < 1.000 O.K
 M_Edz/M_Rdz = 0.00541/4.21446 = 0.001 < 1.000 O.K
 Combined Resistance
 R.MNRd = MAX[M_Edy/Mny_Rd, M_Edz/Mnz_Rd]
 R.BiM = (M_Edy/Mny_Rd)^Alpha + (M_Edz/Mnz_Rd)^Beta
 R.byN = N_Ed/(A*fy/Gamma_M0), R.byM = M_Edy/My_Rd + M_Edz/Mz_Rd
 Rmax = MAX[R.MNRd, R.BiM, (R.byN+R.byM)] = 0.357 < 1.000 O.K
 Shear Resistance
 V_Edy/Vy_Rd = 0.000 < 1.000 O.K
 V_Edz/Vz_Rd = 0.050 < 1.000 O.K

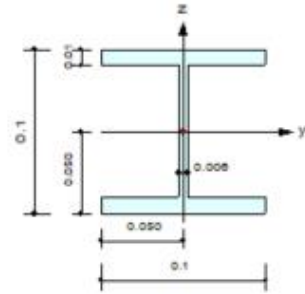
5. Deflection Checking Results

L/250.0 = 0.0040 > 0.0004 (Memb:6, LCB: 3, POS: 0.6m, Dir-Z)..... O.K

Travi secondarie:

1. Design Information

Design Code Eurocode3:05
 Unit System kN, m
 Member No 15
 Material S235 (No:1)
 (Fy = 235000, Es = 210000000)
 Section Name HEB100 (No:3)
 (Rolled : HEB100).
 Member Length : 0.50000



2. Member Forces

Axial Force Fxx = -0.1627 (LCB: 1, POS:I)
 Bending Moments My = -1.6022, Mz = 0.10258
 End Moments Myi = -1.6022, Myj = 0.10429 (for Lb)
 Myi = -1.6022, Myj = 0.10429 (for Ly)
 Mzi = 0.10258, Mzj = -0.1626 (for Lz)
 Shear Forces Fyy = 0.58283 (LCB: 1, POS:I)
 Fzz = -3.4780 (LCB: 1, POS:I)

| | | | |
|-------------|---------|-------------|---------|
| Depth | 0.10000 | Web Thick | 0.00800 |
| Top F Width | 0.10000 | Top F Thick | 0.01000 |
| Bot.F Width | 0.10000 | Bot.F Thick | 0.01000 |
| Area | 0.00260 | Asz | 0.00060 |
| Cyb | 0.00830 | Czb | 0.00125 |
| Iyy | 0.00000 | Izz | 0.00000 |
| Ybar | 0.05000 | Zbar | 0.05000 |
| Wely | 0.00009 | Welz | 0.00003 |
| Iy | 0.04180 | Iz | 0.02830 |

3. Design Parameters

Unbraced Lengths Ly = 0.50000, Lz = 0.50000, Lb = 0.50000
 Effective Length Factors Ky = 1.00, Kz = 1.00
 Equivalent Uniform Moment Factors CmY = 1.00, CmZ = 1.00, CmLT = 1.00

4. Checking Result

Slenderness Ratio
 $KL/r = 67.2 < 200.0$ (Memb:13, LCB: 2)..... O.K

Axial Resistance
 $N_{Ed}/MN[Nc_{Rd}, Nb_{Rd}] = 0.163/611.000 = 0.000 < 1.000$ O.K

Bending Resistance
 $M_{Edy}/M_{Rdy} = 1.6022/24.4870 = 0.065 < 1.000$ O.K
 $M_{Edz}/M_{Rdz} = 0.1026/11.9192 = 0.009 < 1.000$ O.K

Combined Resistance
 $R_{MNRd} = \text{MAX}[M_{Edy}/M_{Ny_{Rd}}, M_{Edz}/M_{Nz_{Rd}}]$
 $R_{BiM} = (M_{Edy}/M_{Ny_{Rd}})^{\alpha} + (M_{Edz}/M_{Nz_{Rd}})^{\beta}$
 $R_{byN} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \gamma_{M0}), R_{byM} = M_{Edy}/M_{y_{Rd}} + M_{Edz}/M_{z_{Rd}}$
 $R_{cLT1} = N_{Ed}/(X_{iy} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$
 $R_{bLT1} = (k_{yy} \cdot M_{Edy}) / (X_{iLT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (k_{yz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$
 $R_{cLT2} = N_{Ed}/(X_{iz} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$
 $R_{bLT2} = (K_{zy} \cdot M_{Edy}) / (X_{iLT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (K_{zz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$
 $R_{max} = \text{MAX}[R_{MNRd}, R_{BiM}, (R_{byN} + R_{byM}), \text{MAX}(R_{cLT1} + R_{bLT1}, R_{cLT2} + R_{bLT2})] = 0.074 < 1.000$.. O.K

Shear Resistance
 $V_{Edy}/V_{y_{Rd}} = 0.002 < 1.000$ O.K
 $V_{Edz}/V_{z_{Rd}} = 0.028 < 1.000$ O.K

5. Deflection Checking Results

$L/250.0 = 0.0068 > 0.0003$ (Memb:14, LCB: 3, POS: 0.8m, Dir-Z)..... O.K

8.2.4. VERIFICHE DI FUNZIONALITA' IMPIANTI

Secondo quanto indicato al paragrafo delle *D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»* occorre verificare che gli spostamenti strutturali prodotti allo SLO per la classe d'uso considerata non siano tali da produrre interruzioni d'uso degli impianti.

Allo SLO lo spostamento massimo a cui è soggetto il sezionatore è pari a 0.55 cm tale quindi da non pregiudicare il funzionamento dello stesso.

8.3. INTERRUTTORE

8.3.1. DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE

Per le strutture sostenenti l'interruttore si adotta il seguente schema strutturale; tre colonne poste a distanza di 2.2 m costituite da un profilo UPN220 e altezza pari a 2.5 m. I componenti dell'interruttore vengono fissati a un profilo HEB120 di lunghezza pari a 5 m.

La configurazione strutturale è riportata nell'immagine sottostante (figura 2.8). Si precisa che gli elementi di colore arancio (rappresentanti gli interruttori ed i loro componenti) sono stati inseriti solamente come rappresentazione delle apparecchiature elettromeccaniche installate e non sono oggetto di verifica strutturale.

La struttura si suppone vincolata alla fondazione tramite vincolo di incastro.

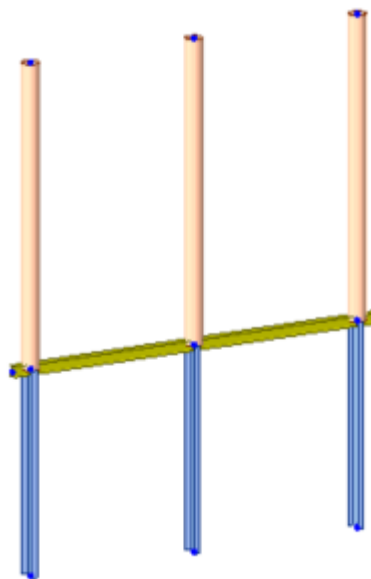
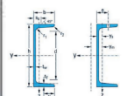


Figura 2-8: Modello interruttore

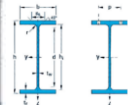
Colonne:

| Designazione nominale | Massa | Dimensioni | | | | | | Area | Dimensioni di costruzione | | | | Superficie da verniciare | |
|-----------------------|-----------|------------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|-----|------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | G kg/m | h mm | b mm | t _w mm | t _f mm | r ₁ mm | r ₂ mm | A cm ² | d mm | Ø | e _{min} mm | e _{max} mm | A _L m ² /m | A _G m ² /t |
| UPN 220 | 29,4 | 220 | 80 | 9 | 12,5 | 12,5 | 6,5 | 37,4 | 167 | M16 | 40 | 51 | 0,718 | 24,46 |



Trave principale:

| Designazione nominale | Massa G kg/m | Dimensioni | | | | | Area A cm ² | Dimensioni di costruzione | | | | | Superficie da verniciare | |
|-----------------------|--------------------|------------|---------|----------------------|----------------------|---------|------------------------------|---------------------------|---------|---------|------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | | h mm | b mm | t _w mm | t _f mm | r mm | | h _i mm | d mm | Ø mm | P _{min} mm | P _{max} mm | A _L m ² /m | A _G m ² /t |
| HE 120 B | 26,7 | 120 | 120 | 6,5 | 11,0 | 12 | 34,01 | 98 | 74 | M12 | 60 | 68 | 0,686 | 25,71 |



8.3.2. CARICHI

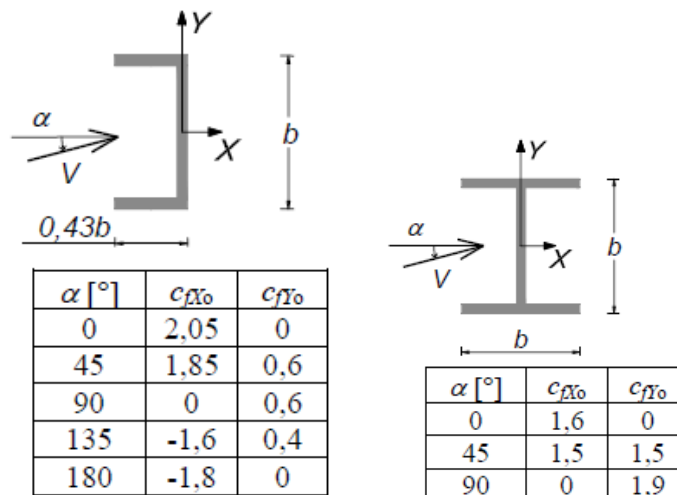
Carichi permanenti strutturali e non strutturali

I carichi permanenti strutturali vengono calcolati in automatico dal software a seconda dell'elemento fornito in input. Per gli elementi in acciaio è stato assunto un peso specifico pari a 78.50 kN/m³.

I carichi permanenti non strutturali a cui risultano essere soggette le strutture si assumono pari a 500 kg per ciascun interruttore e 300 kg per i relativi componenti. Si avrà un totale 800 kg per ciascun interruttore di con un totale di 2400 kg sulla struttura.

Azione del vento

Per i profili di carpenteria metallica la norma *CNR-DT 207/2008: "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni"* riporta i valori dei coefficienti di forza per i profili più comuni. Si riportano i valori per i profili UPN ed HEB. Si suppone la forza vento agente parallelamente alla direzione X, quindi con un angolo pari a 0°.



Profili UPN220:

Lungo tali elementi agisce una forza per unità di lunghezza pari a:

$$f_x = c_{fx0} \cdot l \cdot q_p(z) = 2.05 \cdot 0.22 \cdot 0.87 = 0.392 \text{ kN/m}$$

Come indicato dalla norma l è la dimensione di riferimento, per elementi in carpenteria metallica viene assunta pari all'altezza del profilo, nel caso in esame $l = 220 \text{ mm}$.

Profilo HEB120:

Lungo tale elemento agisce una forza per unità di lunghezza pari a:

$$f_x = c_{fx0} \cdot l \cdot q_p(z) = 1.6 \cdot 0.12 \cdot 0.87 = 0.167 \text{ kN/m}$$

Come indicato dalla norma l è la dimensione di riferimento, per elementi in carpenteria metallica viene assunta pari all'altezza del profilo, nel caso in esame $l = 120 \text{ mm}$.

Per la simulazione dell'azione del vento agente sugli elementi circolari assunti come rappresentazione delle apparecchiature elettromeccaniche sono state assunte le medesime caratteristiche dei profili circolari rappresentanti le colonne nei calcoli del sezionatore. Si rimanda al paragrafo 7.2.2 per i dettagli. Il valore dell'azione agente è pari a 0.142 kN/m.

Si riporta rappresentazione dell'azione del vento agente sulla struttura:

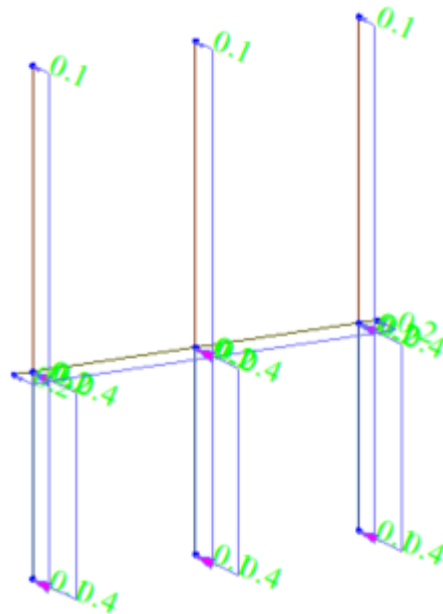


Figura 2-9: Modello interruttore: azione del vento

Azione sismica

Considerata la tipologia strutturale adottata si è scelto di progettare la struttura in come non dissipativa. Per il tipo di struttura si adotta un fattore di comportamento $q = 1$ e, potendosi assumere $K_R = 1$ si ha:

$$q = K_R \cdot q_0 = 1 \cdot 1 = 1$$

Per una stima approssimativa del periodo di vibrazione fondamentale si fa riferimento alla formula riportata nel paragrafo C7.3.2 della Circolare n.7 Reg. Atti Int. CONSUP del 21.01.2019 "Istruzioni per l'applicazione dello "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018, assumendo $C_1 = 0.050$ e $H = 6.2$ m.

$$T_1 = C_1 \cdot H^{3/4} = 0.050 \cdot 3.93 = 0.196 \text{ s}$$

Si considera lo Stato Limite di Operatività, la determinazione dello spettro SLO viene eseguita con riferimento al periodo di ritorno di 60 anni. Con i parametri precedentemente impostati si ottiene un valore di $S_d = 0.204$ g. Considerando un peso sismico pari alla somma dei carichi permanenti, si ottiene una forzante sismica pari a:

$$F = 0.204 \cdot 9.806 \cdot 2608 = 5.2 \text{ kN}$$

Si considera lo Stato Limite di Vita, la determinazione dello spettro SLV viene eseguita con riferimento al periodo di ritorno di 975 anni. Con i parametri precedentemente impostati si ottiene un valore di $S_d = 0.633$ g. Considerando un peso sismico pari alla somma dei carichi permanenti, si ottiene una forzante sismica pari a:

$$F = 0.633 \cdot 9.806 \cdot 2608 = 16.2 \text{ kN}$$

Si assume la forza sismica agente come ripartita in sommità delle colonne.

Riepilogo

Nella sottostante tabella 6 si riportano i carichi agenti sulla struttura.

Tabella 6: Riepilogo carichi

| ID Carico | Valore |
|----------------|------------|
| G1_HEB (stima) | 1.34 kN |
| G1_UPN (stima) | 0.74 kN |
| G1_Totale | 2.08 kN |
| G2 | 24 kN |
| Q_vento_UPN | 0.392 kN/m |
| Q_vento_HEB | 0.167 kN/m |
| Q_sisma_SLO | 5.2 kN |
| Q_sisma_SLV | 16.2 kN |

Combinazioni di carico

Vengono introdotte le seguenti combinazioni di calcolo con gli opportuni coefficienti previsti da Normativa di cui si riporta sintesi in tabella 7.

Combinazione fondamentale SLU:

$$Y_{G1} * G1 + Y_{G2} * G2 + Y_P * P + Y_{Q1} * Q_{k1} + Y_{Q2} * \psi_{02} * Q_{k2} + Y_{Q3} * \psi_{03} * Q_{k3}$$

Combinazione sismica:

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

Combinazione rara SLE:

$$G1 + G2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} * Q_{k2} + \psi_{03} * Q_{k3}$$

Tabella 7: Combinazioni di carico

Casi di carico

Cat.

| | |
|----|---------------------------------|
| G1 | pesi permanenti strutturali |
| G2 | pesi permanenti non strutturali |
| W | carichi da vento |
| E | sisma |

| COMBO | TYPE | | G1 | G2 | W | E |
|-------|--------------------------|-----|----|------|------|------|
| SLU | Strength/Stress | Add | | 1.30 | 1.50 | 1.50 |
| SLV | Strength/Stress(Elastic) | Add | | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| SLEr | Serviceability | Add | | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

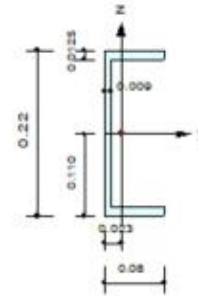
8.3.3. VERIFICHE STRUTTURALI

Si riportano i risultati delle verifiche di resistenza e di deformabilità condotte sull'elemento strutturale, tutti i coefficienti di sicurezza risultano inferiori all'unità, le verifiche sono quindi soddisfatte.

Colonne:

1. Design Information

| | |
|---------------|---|
| Design Code | Eurocode3:05 |
| Unit System | kN, m |
| Member No | 10 |
| Material | S235 (No:1) ($F_y = 235000$, $E_s = 210000000$) |
| Section Name | UPN220 (No:6) (Rolled : UPN220). |
| Member Length | : 2.50000 |



2. Member Forces

| | |
|-----------------|--|
| Axial Force | $F_{xx} = -14.823$ (LCB: 1, POS:I) |
| Bending Moments | $M_y = -7.3907$, $M_z = 0.00000$ |
| End Moments | $M_{yi} = -7.3907$, $M_{yj} = -1.4567$ (for Lb) $M_{yi} = -7.3907$, $M_{yj} = -1.4567$ (for Ly) $M_{zi} = 0.00000$, $M_{zj} = 0.00000$ (for Lz) |
| Shear Forces | $F_{yy} = 0.00000$ (LCB: 3, POS:1/2) $F_{zz} = -3.3748$ (LCB: 1, POS:I) |

| | | | |
|--------------|---------|--------------|---------|
| Depth | 0.22000 | Web Thick | 0.00900 |
| Top Fl Width | 0.08000 | Top Fl Thick | 0.01250 |
| Bot.Fl Width | 0.08000 | Bot.Fl Thick | 0.01250 |
| Area | 0.00374 | Asz | 0.00198 |
| Iyb | 0.01628 | Izb | 0.00100 |
| Iy | 0.00003 | Iz | 0.00000 |
| Ybar | 0.02341 | Zbar | 0.11000 |
| Wely | 0.00025 | Welyz | 0.00003 |
| ry | 0.08480 | rz | 0.02300 |

3. Design Parameters

| | |
|-----------------------------------|--|
| Unbraced Lengths | $L_y = 2.50000$, $L_z = 2.50000$, $L_b = 2.50000$ |
| Effective Length Factors | $K_y = 1.00$, $K_z = 1.00$ |
| Equivalent Uniform Moment Factors | $C_{my} = 0.85$, $C_{mz} = 0.85$, $C_{mLT} = 1.00$ |

4. Checking Result

Slenderness Ratio

$KL/r = 108.7 < 200.0$ (Memb:10, LCB: 1)..... O.K

Axial Resistance

$N_{Ed}/MN[N_{c,Rd}, N_{b,Rd}] = 14.823/878.900 = 0.017 < 1.000$ O.K

Bending Resistance

$M_{Edy}/M_{Rdy} = 7.3907/68.6200 = 0.108 < 1.000$ O.K

$M_{Edz}/M_{Rdz} = 0.0000/16.8906 = 0.000 < 1.000$ O.K

Combined Resistance

$R_{MNRd} = \text{MAX}[M_{Edy}/M_{Ny,Rd}, M_{Edz}/M_{Nz,Rd}]$

$R_{b,N} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M0})$, $R_{b,M} = M_{Edy}/M_{y,Rd} + M_{Edz}/M_{z,Rd}$

$R_{c,LT1} = N_{Ed}/(X_{iy} \cdot A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$

$R_{b,LT1} = (k_{yy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i,LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1}) + (k_{yz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$

$R_{c,LT2} = N_{Ed}/(X_{iz} \cdot A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$

$R_{b,LT2} = (K_{zy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i,LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1}) + (K_{zz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$

$R_{max} = \text{MAX}[R_{MNRd}, (R_{b,N} + R_{b,M}), \text{MAX}(R_{c,LT1} + R_{b,LT1}, R_{c,LT2} + R_{b,LT2})] = 0.125 < 1.000$.. O.K

Shear Resistance

$V_{Edy}/V_{y,Rd} = 0.000 < 1.000$ O.K

$V_{Edz}/V_{z,Rd} = 0.012 < 1.000$ O.K

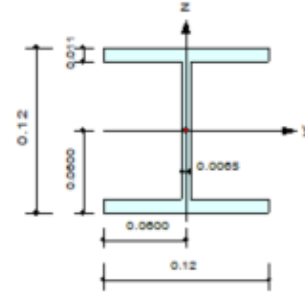
5. Deflection Checking Results

$L/300.0 = 0.0083 > 0.0019$ (Memb:10, LCB: 3, Dir-Y)..... O.K

Travi principali:

1. Design Information

| | |
|---------------|---|
| Design Code | Eurocode3:05 |
| Unit System | kN, m |
| Member No | 8 |
| Material | S235 (No:1) ($F_y = 235000$, $E_s = 210000000$) |
| Section Name | HEB120 (No:3) (Rolled : HEB120). |
| Member Length | : 2.20000 |



2. Member Forces

| | |
|-----------------|--|
| Axial Force | $F_{xx} = -0.0104$ (LCB: 2, POS:I) |
| Bending Moments | $M_y = -0.1421$, $M_z = 0.65696$ |
| End Moments | $M_{yi} = -0.1421$, $M_{yj} = -0.0255$ (for L_y) $M_{zi} = 0.65696$, $M_{zj} = -0.0052$ (for L_z) |
| Shear Forces | $F_{yy} = 0.30096$ (LCB: 2, POS:1/2) $F_{zz} = -0.4432$ (LCB: 1, POS:I) |

| | | | |
|------------------|---------|------------------|---------|
| Depth | 0.12000 | Web Thick | 0.00650 |
| Top F Width | 0.12000 | Top F Thick | 0.01100 |
| Bot.F Width | 0.12000 | Bot.F Thick | 0.01100 |
| Area | 0.00340 | A _{sz} | 0.00078 |
| I _{yy} | 0.01227 | I _{zz} | 0.00180 |
| I _{xy} | 0.00001 | I _{yz} | 0.00000 |
| Y _{bar} | 0.06000 | Z _{bar} | 0.06000 |
| W _{ely} | 0.00014 | W _{eiz} | 0.00005 |
| r _y | 0.05040 | r _z | 0.03080 |

3. Design Parameters

| | |
|-----------------------------------|--|
| Unbraced Lengths | $L_y = 2.20000$, $L_z = 2.20000$, $L_b = 2.20000$ |
| Effective Length Factors | $K_y = 1.00$, $K_z = 1.00$ |
| Equivalent Uniform Moment Factors | $C_{my} = 1.00$, $C_{mz} = 1.00$, $C_{mLT} = 1.00$ |

4. Checking Result

| | |
|---------------------|--|
| Slenderness Ratio | $KL/r = 71.9 < 200.0$ (Memb:8, LCB: 2)..... O.K |
| Axial Resistance | $N_{Ed}/\text{MIN}[N_{c,Rd}, N_{b,Rd}] = 0.010/799.000 = 0.000 < 1.000$ O.K |
| Bending Resistance | $M_{Edy}/M_{Rdy} = 0.1421/38.8220 = 0.004 < 1.000$ O.K $M_{Edz}/M_{Rdz} = 0.6570/18.8553 = 0.035 < 1.000$ O.K |
| Combined Resistance | $R_{MNRd} = \text{MAX}[M_{Edy}/M_{ny,Rd}, M_{Edz}/M_{nz,Rd}]$ $R_{BiM} = (M_{Edy}/M_{ny,Rd})^\alpha + (M_{Edz}/M_{nz,Rd})^\beta$ $R_{byN} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \gamma_{M0})$, $R_{byM} = M_{Edy}/M_{y,Rd} + M_{Edz}/M_{z,Rd}$ $R_{cLT1} = N_{Ed}/(X_{iy} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$ $R_{bLT1} = (k_{yy} \cdot M_{Edy}) / (X_{iLT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (k_{yz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$ $R_{cLT2} = N_{Ed}/(X_{iz} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$ $R_{bLT2} = (K_{zy} \cdot M_{Edy}) / (X_{iLT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (K_{zz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$ $R_{max} = \text{MAX}[R_{MNRd}, R_{BiM}, (R_{byN} + R_{byM}), \text{MAX}(R_{cLT1} + R_{bLT1}, R_{cLT2} + R_{bLT2})] = 0.039 < 1.000$.. O.K |
| Shear Resistance | $V_{Edy}/V_{y,Rd} = 0.001 < 1.000$ O.K $V_{Edz}/V_{z,Rd} = 0.003 < 1.000$ O.K |

5. Deflection Checking Results

| |
|---|
| $U/250.0 = 0.0088 > 0.0000$ (Memb:8, LCB: 3, POS: 1.2m, Dir-Z)..... O.K |
|---|

8.3.4. VERIFICHE DI FUNZIONALITA' IMPIANTI

Secondo quanto indicano al paragrafo delle D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»" occorre verificare che gli spostamenti strutturali prodotti allo SLO per la classe d'uso considerata non siano tali da produrre interruzioni d'uso degli impianti.

Allo SLO lo spostamento massimo a cui è soggetto l'elemento strutturale è pari a 0.69 cm tale quindi da non pregiudicare il funzionamento dello stesso.

9. CONCLUSIONI

Il presente elaborato ha avuto lo scopo di fornire il calcolo di pre-dimensionamento delle strutture delle apparecchiature elettriche presenti nella sottostazione MT/AT fornendo un'indicazione delle tipologie di profili di carpenteria metallica idonee allo scopo. Tali indicazioni saranno oggetto di futura revisione in fase esecutiva quando saranno note con maggiore dettaglio le tipologie di apparecchiature installate.