



Engineering & Construction



GRE CODE

GRE.EEC.C.25.IT.W.09458.13.001.01

PAGE

1 di/of 41

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

INTEGRALE RICOSTRUZIONE DELL' IMPIANTO EOLICO "CALTAVUTURO1", UBICATO NEL COMUNE DI CALTAVUTURO (PA)

PROGETTO DEFINITIVO

Calcolo pre-dimensionamento strutture delle apparecchiature elettriche

File: GRE.EEC.C.25.IT.W.09458.13.001.01 - Calcolo pre-dimensionamento strutture.docx

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
01	18/05/2023	Seconda emissione	A.Filiberti	G-Alfano	P.Polinelli
00	14/04/2023	Prima emissione	A.Filiberti	G-Alfano	P.Polinelli

GRE VALIDATION

Name (GRE)	Name (GRE)	Name (GRE)
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT Caltavuturo1	GRE CODE																		
	GROUP	FUNCION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT				SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION						
	GRE	EEC	C	2	5	I	T	W	0	9	4	5	8	1	3	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	4
3. NORMATIVA E FONTI DI RIFERIMENTO CONSULTATE	6
4. DESCRIZIONE DELLE OPERE	7
5. MATERIALI	9
5.1. ACCIAIO	9
6. CARICHI GENERALI	10
6.1. CARICHI PERMANENTI (G1 + G2)	10
6.2. AZIONE DEL VENTO	10
6.3. AZIONE SISMICA	10
7. SOFTWARE UTILIZZATO PER L'ANALISI	12
8. PRE-DIMENSIONAMENTO	13
8.1. TA, TV, SCARICATORE	13
8.1.1. DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE.....	13
8.1.2. CARICHI	13
8.1.3. VERIFICHE.....	16
8.1.4. VERIFICHE DI FUNZIONALITA' IMPIANTI	17
8.2. SEZIONATORE	18
8.2.1. DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE.....	18
8.2.2. CARICHI	20
8.2.3. VERIFICHE.....	24
8.2.4. VERIFICHE DI FUNZIONALITA' IMPIANTI	27
8.3. INTERRUTTORE.....	28
8.3.1. DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE.....	28
8.3.2. CARICHI	29
8.3.3. VERIFICHE STRUTTURALI	32
8.3.4. VERIFICHE DI FUNZIONALITA' IMPIANTI	34
9. VERIFICHE DETTAGLI COSTRUTTIVI TIPICI	35
10. CONCLUSIONI.....	41

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 Caltavuturo (PA), costituito da 20 turbine eoliche (WTG), di potenza 0,85 MW ciascuna, per un totale di 17 MW installati.

L'energia prodotta dagli aerogeneratori dell'impianto viene convogliata tramite cavidotto interrato MT, alla Sottostazione di trasformazione MT/AT "Contrada Colla centrale", ubicata in adiacenza alla Stazione E-Distribuzione "Caltavuturo" collegata alla linea 150 kV "Caracoli - Santa Caterina Villarmosa".

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 "Caltavuturo", 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 20 a 6, 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.

La presente progettazione definitiva è stata sviluppata sui dati geotecnici e topografici e dimensioni e pesi di apparecchiature elettromeccaniche esistenti sul mercato. All'atto della progettazione esecutiva e costruttiva l'Appaltatore dovrà provvedere all'integrazione/ulteriore definizione dei dati disponibili e all'adeguamento delle opere a tali integrazioni e alle forniture delle opere elettromeccaniche che intende proporre a EGP.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

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

L'area è identificata dalle seguenti coordinate geografiche:

- Latitudine: 37°48'34,35"N
- Longitudine: 13°56'32,94"E

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

- Comune di Caltavuturo: n° 23, n° 29, n° 30

L'area di progetto ricade all'interno del foglio I.G.M. in scala 1:25.000 codificato 259-II-NE, denominato "Caltavuturo".

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

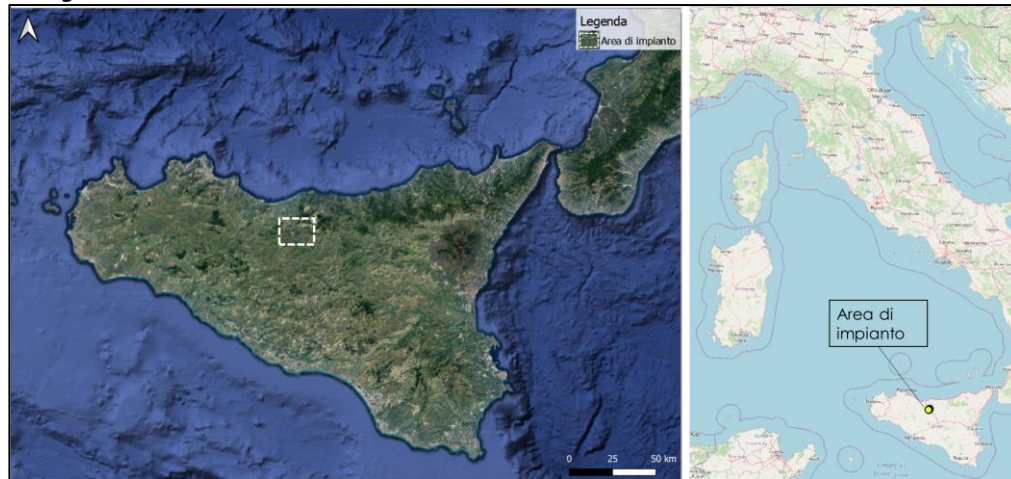


Figura 2-1: Inquadramento generale dell'area di progetto



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.]
CV1 01	Caltavuturo	406613,03	4185111,96	822
CV1 02	Caltavuturo	406363,04	4184651,96	799
CV1 03	Caltavuturo	406061,14	4183943,01	869
CV1 04	Caltavuturo	405770,85	4183483,46	909
CV1 05	Caltavuturo	405247,00	4183520,00	905
CV1 06	Caltavuturo	404755,00	4183658,00	868

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 - Pesì 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
14. UNI EN 1993-1-1 Parte 1-1: Progettazione delle strutture di acciaio. Regole generali e regole per gli edifici
15. UNI EN 1993-1-8 Parte 1-8: Progettazione delle strutture di acciaio. Progettazione dei collegamenti
16. CNR-DT 207 R1/2018: Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni.

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:

- Scaricatore;
- TA;
- Interruttore;
- TV;
- Sezionatore;

Si riporta la planimetria elettromeccanica e le relative sezioni estratte dall'elaborato "GRE.EEC.D.74.IT.W.09458.16.002.01 - PLANIMETRIA ELETTROMECCANICA SOTTOSTAZIONE MT/AT".

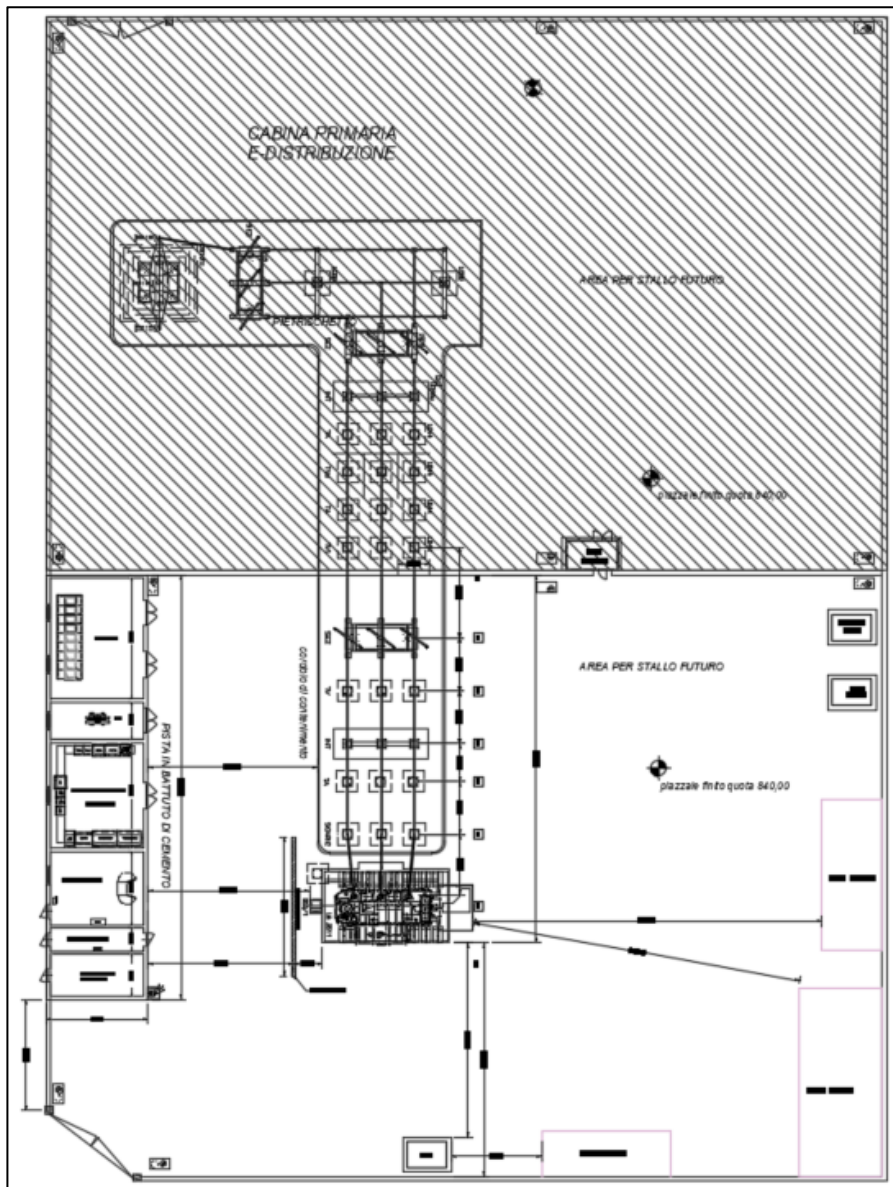


Figura 2-3: Planimetria elettromeccanica

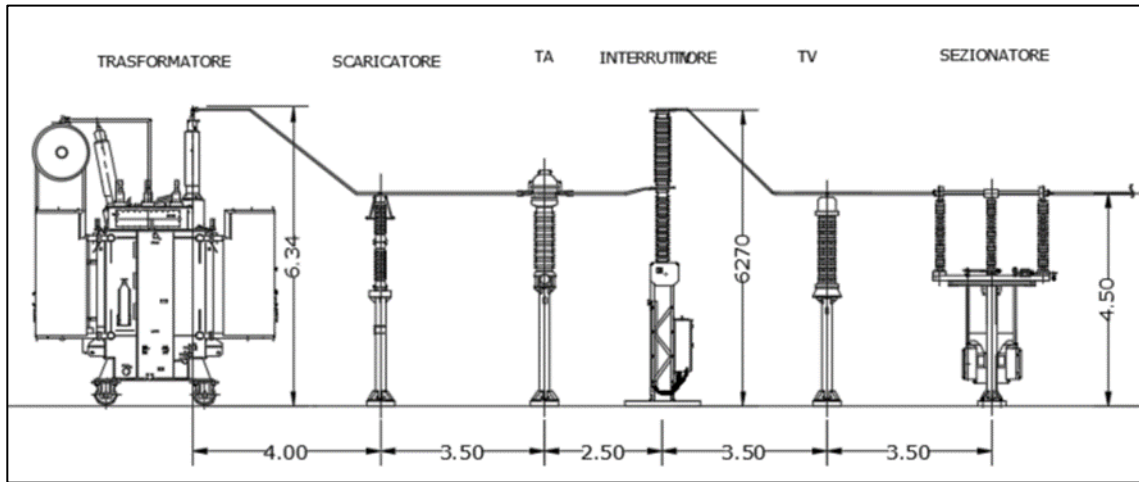


Figura 2-4: Sezione A-A

5. MATERIALI

5.1. ACCIAIO

L'acciaio impiegato per le strutture sarà di tipo S235, che presenta le seguenti caratteristiche meccaniche:

Tabella 2: Caratteristiche acciaio strutturale

f_y	275 MPa	Resistenza a snervamento
f_u	430 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. 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.

ZONA		4_Sicilia e provincia di Reggio Calabria
a_s	<i>m</i>	840 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		1.2448 coefficiente d'altitudine
v_b	$C_a \cdot v_{b,0}$	34.8544 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_r	$\alpha_R \cdot v_b$	34.85 velocità di riferimento del vento associata al tempo di ritorno di progetto
ρ	<i>kg/m³</i>	1.25 densità dell'aria
q_p	$\frac{1}{2} \rho \cdot v_r^2$	0.76 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 $z < z_{min}$

6.3. AZIONE SISMICA

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

- Latitudine: 37°48'34,35"N
- Longitudine: 13°56'32,94"E

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, a cui corrisponde un coefficiente $C_U = 2$. La vita di riferimento è quindi 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 - $P_{VR} = 81\%$ info
SLD - $P_{VR} = 63\%$ info

Stati limite ultimi - SLU { SLV - $P_{VR} = 10\%$ info
SLC - $P_{VR} = 5\%$ info

Elaborazioni

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

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO

- Strategie per costruzioni ordinarie
- ... Strategie 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_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	60	0.052	2.417	0.279
SLD	101	0.065	2.427	0.294
SLV	949	0.146	2.552	0.340
SLC	1950	0.183	2.587	0.348

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

$S = S_S \cdot S_T$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$\eta = \sqrt{10/(3+\xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q$ (NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)

$T_B = T_C/3$ (NTC-07 Eq. 3.2.8)

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

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

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

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

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

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

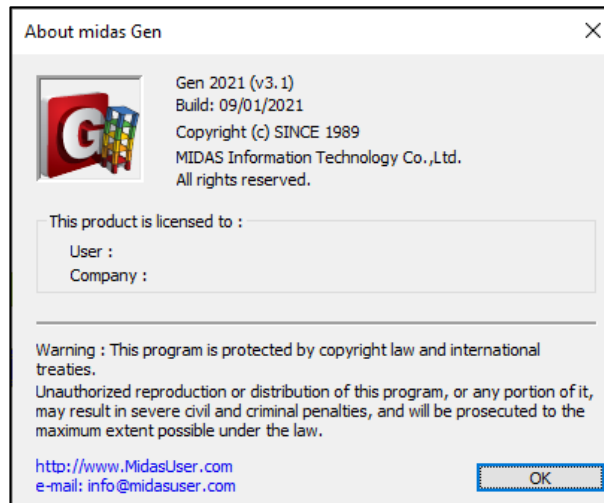
$T_D \leq T$ $S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$

Categoria di sottosuolo					B
Categoria topografica					T2
Coefficiente amplificazione stratigrafica				$S_S =$	1.2
Coefficiente di amplificazione topografica				$S_T =$	1.2
Coefficiente S		$S = S_S \cdot S_T$		S	1.4
Coefficiente C_C				$C_C =$	1.4
Coefficiente di smorzamento viscoso				$\zeta =$	5.00
T_C		$T_C = C_C \cdot T_C^*$		$T_C =$	0.464 [s]
T_B		$T_B = T_C/3$		$T_B =$	0.155 [s]
T_D		$T_D = 4.0 \cdot a_g/g + 1.6$		$T_D =$	2.184 [s]

7. SOFTWARE UTILIZZATO PER L'ANALISI

L'analisi e le verifiche strutturali sono state condotte con l'ausilio del software MIDAS Gen 2021 (v.3.1).

In base a quanto richiesto al par. 10.2 delle NTC2018 si dichiara che il software utilizzato per le analisi è MIDAS Gen 2021 (v.3.1) distribuito da HARPACEAS s.r.l. (www.harpaceas.it) e di estesa commercializzazione.



La documentazione fornita è costituita dal manuale d'uso che riporta le indicazioni relative ai comandi del programma, alle funzioni implementate, all'interpretazione dei dati di input e dei risultati.

Il distributore espone la relazione riguardante il solutore numerico e, più in generale, la procedura di analisi di MIDAS/Gen. Si fa presente che sul sito www.MidasUser.com è disponibile sia il manuale teorico del solutore, sia il documento comprendente i numerosi esempi di validazione. Essendo tali documenti (formati da centinaia di pagine) di pubblico dominio, si rimanda al sito del distributore per un'analisi più approfondita della documentazione.

Il motore di calcolo adottato da MIDAS/Gen è un programma ad elementi finiti che permette l'analisi statica e dinamica in ambito lineare e non lineare, con estensioni per il calcolo degli effetti del secondo ordine.

8. PRE-DIMENSIONAMENTO

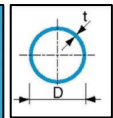
8.1. TA, TV, SCARICATORE

8.1.1. DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE

Per le sopracitate opere si prevede di utilizzare come struttura di sostegno una colonna costituita da un profilo sottile in acciaio di forma circolare cavo formato a freddo. Si assume diametro pari a 219.1 mm, spessore 4 mm ed altezza pari a 4.5 m, ovvero l'altezza totale del sostegno e dell'apparecchiatura. Il profilo è stato esteso oltre i 3 m, altezza raggiunta dal sostegno, proprio per simulare la presenza dell'apparecchiatura elettromeccanica installata.

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

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



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	$\alpha_R v_b$	m/s	34.85 velocità di riferimento del vento associata al tempo di ritorno di progetto
q_p		kN/m^2	0.76 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	29.80 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	$Re = l \cdot v_m / \nu$		417189.5 numero di Reynolds
k		mm	0.2 scabrezza della superficie
k/b			0.000952
$c_{fx} (A)$			0.374047 coefficiente di forza curva A
$c_{fx} (B)$			0.771041 coefficiente di forza curva B
f_x		kN/m	0.123 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.

Azione sismica

Considerata la tipologia strutturale adottata si è scelto di progettare la struttura 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.

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

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 $S_d = 0.18$ g. Considerando un peso sismico pari alla somma dei carichi permanenti, si ottiene una forzante sismica pari a:

$$F = 0.18 \cdot 9.806 \cdot 895 = 1.6 \text{ kN}$$

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 $S_d = 0.54$ g. Considerando un peso sismico pari alla somma dei carichi permanenti, si ottiene una forzante sismica pari a:

$$F = 0.54 \cdot 9.806 \cdot 895 = 4.7 \text{ kN}$$

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 3: Riepilogo carichi

ID Carico	Valore
G1 (stima)	0.95 kN
G2	8 kN
Q_vento	0.123 kN/m
Q_sisma_SLO	1.6 kN
Q_sisma_SLV	4.7 kN

Si precisa che i carichi relativi alle apparecchiature sono stati stimati sulla base di indicazioni disponibili per apparecchiature simili e dovranno essere revisionati una volta note le caratteristiche dell'apparecchiatura effettivamente oggetto di installazione.

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:

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

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 4: Combinazioni di carico

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

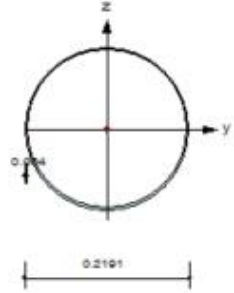
COMBO	TYPE		G1	G2	W	E
SLU	Strength/Stress	Add	1.30	1.50	1.50	
SISMA	Strength/Stress(Elast)	Add	1.00	1.00		1.00
SLEr	Serviceability	Add	1.00	1.00	1.00	

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) ($F_y = 235000$, $E_s = 210000000$)
Section Name	CHS-CF 219.1X4 (No:1) (Rolled : CHS-CF 219.1X4).
Member Length	: 4.50000



2. Member Forces

Axial Force	$F_{xx} = -8.9363$ (LCB: 2, POS:1)
Bending Moments	$M_y = 0.00000$, $M_z = -21.150$
End Moments	$M_{yi} = 0.00000$, $M_{yj} = 0.00000$ (for L_b) $M_{yi} = 0.00000$, $M_{yj} = 0.00000$ (for L_y) $M_{zi} = -21.150$, $M_{zj} = 0.00000$ (for L_z)
Shear Forces	$F_{yy} = -4.7000$ (LCB: 2, POS:1/2) $F_{zz} = 0.00000$ (LCB: 3, POS:1/2)

Outer Dia: 0.21910		Wall Thick: 0.00400	
Area	0.00270	Asz	0.00135
QyB	0.01157	QzB	0.01157
Iy	0.00002	Iz	0.00002
Ybar	0.10955	Zbar	0.10955
Wely	0.00014	Welz	0.00014
ry	0.07505	rz	0.07505

3. Design Parameters

Unbraced Lengths	$L_y = 4.50000$, $L_z = 4.50000$, $L_b = 4.50000$
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
 $KL/r = 59.2 < 200.0$ (Memb:1, LCB: 2)..... OK

Axial Resistance
 $N_{Ed}/\text{MIN}[N_{c,Rd}, N_{b,Rd}] = 8.936/604.957 = 0.015 < 1.000$ OK

Bending Resistance
 $M_{Edy}/M_{Rdy} = 0.0000/41.4257 = 0.000 < 1.000$ OK
 $M_{Edz}/M_{Rdz} = 21.1500/41.4257 = 0.511 < 1.000$ OK

Combined Resistance
 $R_{MNRd} = \text{MAX}[M_{Edy}/M_{ny,Rd}, M_{Edz}/M_{nz,Rd}]$
 $R_{byN} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M0})$, $R_{byM} = M_{Edy}/M_{y,Rd} + M_{Edz}/M_{z,Rd}$
 $R_{cLT1} = N_{Ed}/(X_{iy} \cdot A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$
 $R_{bLT1} = (k_{yy} \cdot M_{Edy}) / (X_{iLT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1}) + (k_{yz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$
 $R_{cLT2} = N_{Ed}/(X_{iz} \cdot A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$
 $R_{bLT2} = (k_{zy} \cdot M_{Edy}) / (X_{iLT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1}) + (k_{zz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$
 $R_{max} = \text{MAX}[R_{MNRd}, (R_{byN} + R_{byM}), \text{MAX}(R_{cLT1} + R_{bLT1}, R_{cLT2} + R_{bLT2})] = 0.525 < 1.000$.. OK

Torsion Strength
 $T_{Ed}/T_{Rd} = 0.0000/36.8915 = 0.000 < 1.000$ OK

Shear Resistance
 $V_{Edy}/V_{y,Rd} = 0.021 < 1.000$ OK
 $V_{Edz}/V_{z,Rd} = 0.000 < 1.000$ OK

5. Deflection Checking Results

$L/300.0 = 0.0150 > 0.0021$ (Memb:1, LCB: 3, Dir-Y)..... OK

8.1.4. VERIFICHE DI FUNZIONALITA' IMPIANTI

Secondo quanto indicato al paragrafo 7.3.6. 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 quadrata cavo formato a freddo, di lato pari a 120 mm e spessore pari a 4 mm.

I componenti del sezionatore vengono fissati a due profili HEA120 di lunghezza pari a 4.5 m a loro volta collegati alle colonne tramite profili HEA120 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.

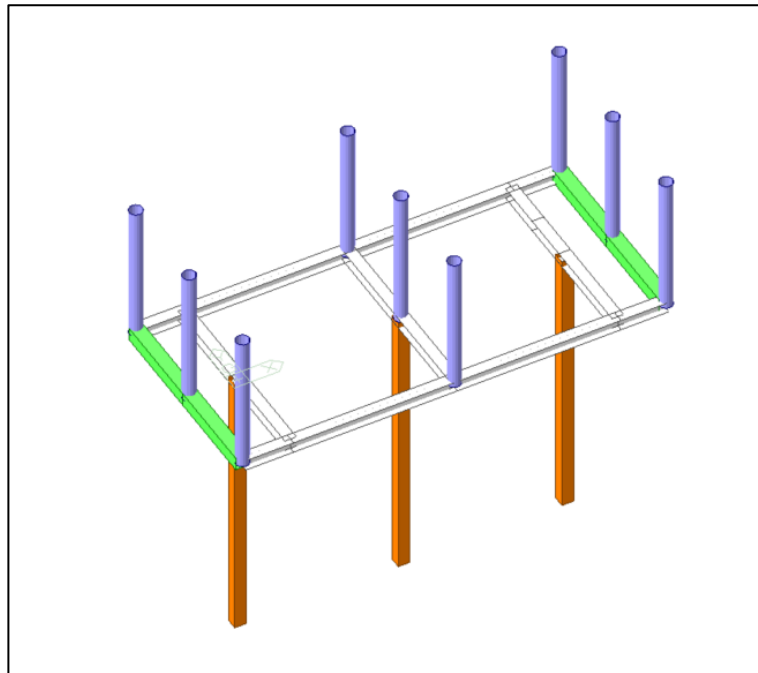


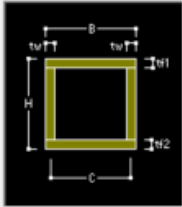
Figura 2-5: Modello sezionatore

Colonne:

DB/User |

Section ID Box

Name User DB

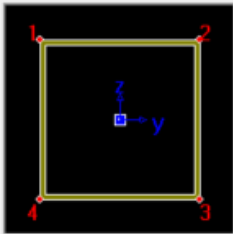


Sect. Name Built-Up Section

Get Data from Single Angle

DB Name

H	0.12	m
B	0.12	m
tw	0.004	m
tf1	0.004	m
C	0	m
tf2	0	m

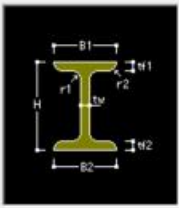


Travi principali e secondarie:

DB/User |

Section ID I-Section

Name User DB

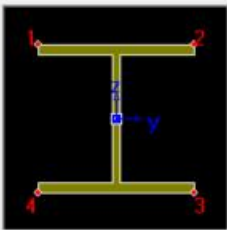


Sect. Name Built-Up Section

Get Data from Single Angle

DB Name

H	0.114	m
B1	0.12	m
tw	0.005	m
tf1	0.008	m
B2	0	m
tf2	0	m
r1	0.012	m
r2	0	m



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/m^3 .

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

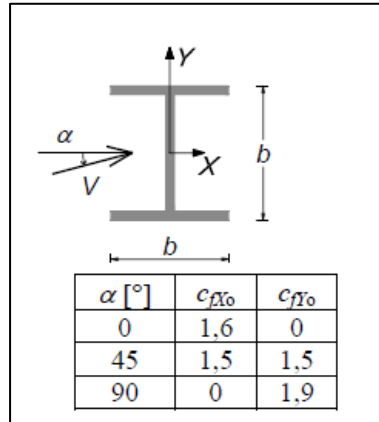
Elemento a sezione circolare

v_r	$\alpha_R v_b$	m/s	34.85 velocità di riferimento del vento associata al tempo di ritorno di progetto
q_p		kN/m^2	0.76 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	29.80 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	$Re = l \cdot v_m / \nu$		417189.5 numero di Reynolds
k		mm	0.2 scabrezza della superficie
k/b			0.000952
$c_{fx} (A)$			0.374047 coefficiente di forza curva A
$c_{fx} (B)$			0.771041 coefficiente di forza curva B
f_x		kN/m	0.123 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.

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.

Profili HEA120:



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

$$f_x = c_{fx0} * l * q_p(z) = 1.6 * 0.12 * 0.76 = 0.15 \text{ kN/m}$$

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 $l = 120 \text{ mm}$.

Profili quadrati cavi:

Per le sezioni a spigoli vivi, indipendentemente dal numero di Reynolds e dalla scabrezza della superficie, il coefficiente di forza nella direzione del vento è $c_{fx0} = 2.1$, mentre i coefficienti di forza trasversale c_{fy0} e di momento torcente c_{mz0} si assumono preliminarmente nulli.

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

$$f_x = c_{fx0} * l * q_p(z) = 2.1 * 0.12 * 0.76 = 0.2 \text{ kN/m}$$

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

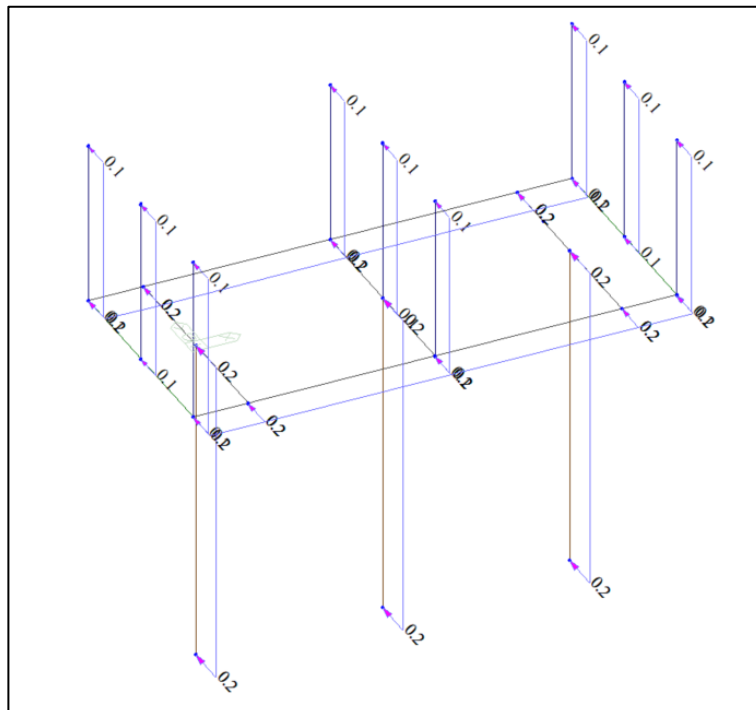


Figura 2-6: Modello sezionatore: azione del vento

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 $C_1 = 0.050$ e $H = 4.5$ m.

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

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 $S_d = 0.18$ g. Considerando un peso sismico pari alla somma dei carichi permanenti, si ottiene una forzante sismica pari a:

$$F = 0.18 \cdot 9.806 \cdot 2120 = 3.7 \text{ kN}$$

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 $S_d = 0.54$ g. Considerando un peso sismico pari alla somma dei carichi permanenti, si ottiene una forzante sismica pari a:

$$F = 0.54 \cdot 9.806 \cdot 2120 = 11.2 \text{ kN}$$

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_Totale	12.2 kN
G2	9 kN
Q_vento_colonne	0.20 kN/m
Q_vento_HEA120	0.15 kN/m
Q_sisma_SLO	3.7 kN
Q_sisma_SLV	11.2 kN

Si precisa che i carichi relativi alle apparecchiature sono stati stimati sulla base di indicazioni disponibili per apparecchiature simili e dovranno essere revisionati una volta note le caratteristiche dell'apparecchiatura effettivamente oggetto di installazione.

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:

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

Combinazione sismica:

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

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	
SISMA	Strength/Stress(Elast)	Add	1.00	1.00		1.00
SLEr	Serviceability	Add	1.00	1.00	1.00	

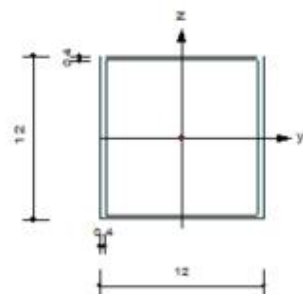
8.2.3. VERIFICHE

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, cm
Member No	5
Material	S235 (No:1) ($F_y = 23.5000$, $E_s = 21000.0$)
Section Name	RHS-CF 120X120X4 UNI7812 (No:2) (Rolled : RHS-CF 120X120X4 UNI7812).
Member Length	: 300.000



2. Member Forces

Axial Force	$F_{xx} = -8.9277$ (LCB: 1, POS:J)
Bending Moments	$M_y = -0.4378$, $M_z = 704.655$
End Moments	$M_{yi} = 0.91535$, $M_{yj} = -0.4378$ (for L_y) $M_{yi} = 0.91535$, $M_{yj} = -0.4378$ (for L_y) $M_{zi} = 74.0418$, $M_{zj} = 704.655$ (for L_z)
Shear Forces	$F_{yy} = -2.5520$ (LCB: 1, POS:J) $F_{zz} = 0.00451$ (LCB: 1, POS:1/2)

Depth	12.0000	Web Thick	0.40000
Rig Width	12.0000	Top F Thick	0.40000
Web Center	11.8000	Bot.F Thick	0.40000
Area	18.0100	Asz	9.50000
Cyb	50.4800	Ozb	50.4800
Iyy	397.300	Izz	397.300
Ybar	0.00000	Zbar	0.00000
Wely	55.2200	Welz	55.2200
ry	4.59700	rz	4.59700

3. Design Parameters

Unbraced Lengths	$L_y = 300.000$, $L_z = 300.000$, $L_b = 300.000$
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
 $KL/r = 63.9 < 200.0$ (Memb:5, LCB: 1) OK

Axial Resistance
 $N_{Ed}/MIN[N_{c,Rd}, N_{b,Rd}] = 8.928/403.081 = 0.022 < 1.000$ OK

Bending Resistance
 $M_{Edy}/M_{Rdy} = 0.44/1807.66 = 0.000 < 1.000$ OK
 $M_{Edz}/M_{Rdz} = 704.66/1807.66 = 0.390 < 1.000$ OK

Combined Resistance
 $R_{MNRd} = MAX[M_{Edy}/M_{ny,Rd}, M_{Edz}/M_{nz,Rd}]$
 $R_{BiM} = (M_{Edy}/M_{ny,Rd})^{\alpha} + (M_{Edz}/M_{nz,Rd})^{\beta}$
 $R_{byN} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \gamma_{M0})$, $R_{byM} = M_{Edy}/M_{y,Rd} + M_{Edz}/M_{z,Rd}$
 $R_{cLT1} = N_{Ed}/(X_{ly} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$
 $R_{bLT1} = (k_{yy} \cdot M_{Edy}) / (X_{lT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (k_{yz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$
 $R_{cLT2} = N_{Ed}/(X_{lz} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$
 $R_{bLT2} = (K_{zy} \cdot M_{Edy}) / (X_{lT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (K_{zz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$
 $R_{max} = MAX[R_{MNRd}, R_{BiM}, (R_{byN} + R_{byM}), MAX[R_{cLT1} + R_{bLT1}, R_{cLT2} + R_{bLT2}]] = 0.412 < 1.000$.. OK

Torsion Strength
 $T_{Ed}/T_{Rd} = 0.25/1297.45 = 0.000 < 1.000$ OK

Shear Resistance
 $V_{Edy}/V_{y,Rd} = 0.022 < 1.000$ OK
 $V_{Edz}/V_{z,Rd} = 0.000 < 1.000$ OK

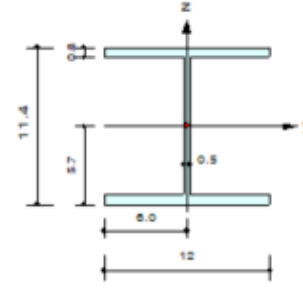
5. Deflection Checking Results

$L/150.0 = 2.0000 > 1.7024$ (Memb:5, LCB: 3, Dir-Y) OK

Travi principali:

1. Design Information

Design Code Eurocode3:05
 Unit System kN, cm
 Member No 10
 Material S235 (No:1)
 (Fy = 23.5000, Es = 21000.0)
 Section Name HEA120 (No:7)
 (Rolled : HEA120).
 Member Length : 100.000



2. Member Forces

Axial Force Fxx = 0.82463 (LCB: 1, POS:J)
 Bending Moments My = -442.08, Mz = -0.0004
 End Moments Myi = 1.59510, Myj = -442.08 (for Lb)
 Myi = 1.59510, Myj = -442.08 (for Ly)
 Mzi = -4.7491, Mzj = -0.0004 (for Lz)
 Shear Forces Fyy = -0.0475 (LCB: 1, POS:1/2)
 Fzz = 4.56336 (LCB: 1, POS:J)

Depth	11.4000	Web Thick	0.50000
Top F Width	12.0000	Top F Thick	0.80000
Bot.F Width	12.0000	Bot.F Thick	0.80000
Area	25.3000	Asz	5.70000
Cyb	113.785	Czb	18.0000
Iy	606.000	Iz	231.000
Ybar	6.00000	Zbar	5.70000
Wely	106.000	Wetz	38.8000
ry	4.89000	rz	3.02000

3. Design Parameters

Unbraced Lengths Ly = 100.000, Lz = 100.000, Lb = 100.000
 Effective Length Factors Ky = 1.00, Kz = 1.00
 Equivalent Uniform Moment Factors Cmy = 1.00, Crz = 1.00, CmLT = 1.00

4. Checking Result

Slenderness Ratio
 KL/r = 33.1 < 200.0 (Memb:6, LCB: 2)..... O.K

Axial Resistance
 N_Ed/Nt_Rd = 0.825/566.238 = 0.001 < 1.000 O.K

Bending Resistance
 M_Edy/Mt_Rdy = 442.08/2672.29 = 0.165 < 1.000 O.K
 M_Edz/Mt_Rdz = 0.00/1302.85 = 0.000 < 1.000 O.K

Combined Resistance
 R.MNRd = MAX[M_Edy/Mnt_Rd, M_Edz/Mnt_Rd]
 R.BiM = (M_Edy/Mnt_Rd)^Alpha + (M_Edz/Mnt_Rd)^Beta
 R.byN = N_Ed/(A*fy/Gamma_M0), R.byM = M_Edy/Mt_Rd + M_Edz/Mt_Rd
 Rmax = MAX[R.MNRd, R.BiM, (R.byN+R.byM)] = 0.167 < 1.000 O.K

Shear Resistance
 V_Edy/Vt_Rd = 0.000 < 1.000 O.K
 V_Edz/Vt_Rd = 0.042 < 1.000 O.K

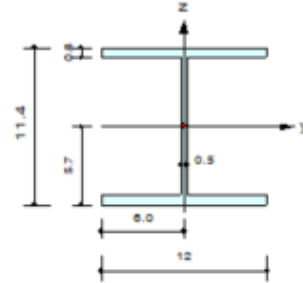
5. Deflection Checking Results

L/250.0 = 0.4000 > 0.0152 (Memb:10, LCB: 3, POS: 55.6cm, Dir-Z)..... O.K

Travi secondarie:

1. Design Information

Design Code Eurocode3:05
 Unit System kN, cm
 Member No 10
 Material S235 (No:1)
 ($F_y = 23.5000$, $E_s = 21000.0$)
 Section Name HEA 120 (No:7)
 (Rolled : HEA120).
 Member Length : 100.000



2. Member Forces

Axial Force $F_{xx} = 0.82463$ (LCB: 1, POS:J)
 Bending Moments $M_y = -442.08$, $M_z = -0.0004$
 End Moments $M_{yi} = 1.59510$, $M_{yj} = -442.08$ (for L_b)
 $M_{yi} = 1.59510$, $M_{yj} = -442.08$ (for L_y)
 $M_{zi} = -4.7491$, $M_{zj} = -0.0004$ (for L_z)
 Shear Forces $F_{yy} = -0.0475$ (LCB: 1, POS:1/2)
 $F_{zz} = 4.56336$ (LCB: 1, POS:J)

Depth	11.4000	Web Thick	0.50000
Top F Width	12.0000	Top F Thick	0.80000
Bot.F Width	12.0000	Bot.F Thick	0.80000
Area	25.3000	Asz	5.70000
Oy	113.705	Ozb	18.0000
Iy	606.000	Iz	231.000
Ybar	6.00000	Zbar	5.70000
Wely	105.000	Welz	38.5000
ry	4.89000	rz	3.02000

3. Design Parameters

Unbraced Lengths $L_y = 100.000$, $L_z = 100.000$, $L_b = 100.000$
 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
 $KL/r = 33.1 < 200.0$ (Memb:6, LCB: 2)..... OK
 Axial Resistance
 $N_{Ed}/N_{Rd} = 0.825/566.238 = 0.001 < 1.000$ OK
 Bending Resistance
 $M_{Edy}/M_{Rdy} = 442.08/2672.29 = 0.165 < 1.000$ OK
 $M_{Edz}/M_{Rdz} = 0.00/1302.85 = 0.000 < 1.000$ OK
 Combined Resistance
 $R.MNRd = \text{MAX}[M_{Edy}/M_{ny_Rd}, M_{Edz}/M_{nz_Rd}]$
 $R.BiM = (M_{Edy}/M_{ny_Rd})^{\text{Alpha}} + (M_{Edz}/M_{nz_Rd})^{\text{Beta}}$
 $R.byN = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M0})$, $R.byM = M_{Edy}/M_{y_Rd} + M_{Edz}/M_{z_Rd}$
 $R_{max} = \text{MAX}[R.MNRd, R.BiM, (R.byN + R.byM)] = 0.167 < 1.000$ OK
 Shear Resistance
 $V_{Edy}/V_{y_Rd} = 0.000 < 1.000$ OK
 $V_{Edz}/V_{z_Rd} = 0.042 < 1.000$ OK

5. Deflection Checking Results

$L/250.0 = 0.4000 > 0.0152$ (Memb:10, LCB: 3, POS: 55.6cm, Dir-Z)..... OK

8.2.4. VERIFICHE DI FUNZIONALITA' IMPIANTI

Secondo quanto indicato al paragrafo 7.3.6. 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 2.3 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 quadrato cavo, di lato pari a 120 mm e spessore 4 mm, di 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.

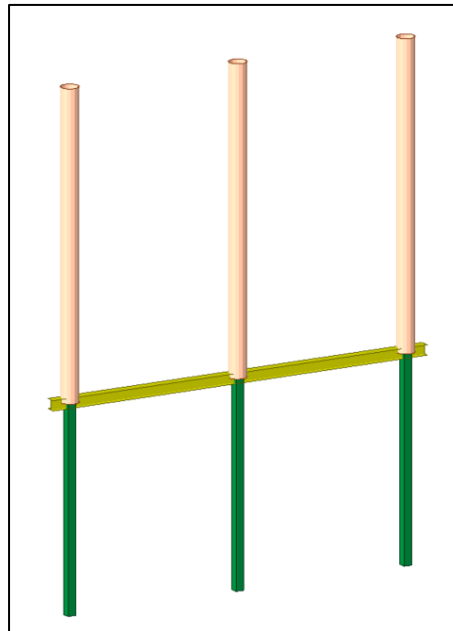


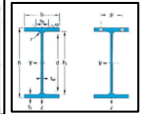
Figura 2-7: Modello interruttore

Colonne:

DB/User		
Section ID	2	Box
Name	RHS-CF 120X120X4 L	User <input type="radio"/> DB <input checked="" type="radio"/> UNI
Sect. Name	RHS-CF 120X120X4 UNI781	<input type="checkbox"/> Built-Up Section
Get Data from Single Angle		
DB Name	AISC10(US)	
Sect. Name		
H	0.12	m
B	0.12	m
tw	0.004	m
tf1	0.004	m
C	0	m
tf2	0	m

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 ₁ 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

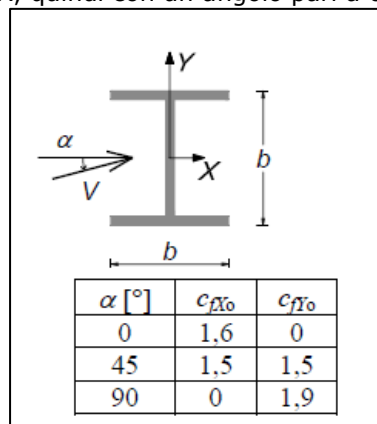
Carichi permanenti strutturali e non strutturali

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 HEB. Si suppone la forza vento agente parallelamente alla direzione X, quindi con un angolo pari a 0°.



Profilo HEB120:

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

$$f_x = c_{Fx0} * l * q_p(z) = 1.6 * 0.12 * 0.76 = 0.15 \text{ kN/m}$$

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 mm.

Profili quadrati cavi:

Per le sezioni a spigoli vivi, indipendentemente dal numero di Reynolds e dalla scabrezza della superficie, il coefficiente di forza nella direzione del vento è c_{Fx0} = 2.1, mentre i coefficienti di forza trasversale c_{Fy0} e di momento torcente c_{mz0} si assumono preliminarmente nulli.

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

$$f_x = c_{Fx0} * l * q_p(z) = 2.1 * 0.12 * 0.76 = 0.20 \text{ kN/m}$$

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 0.134 kN/m.

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

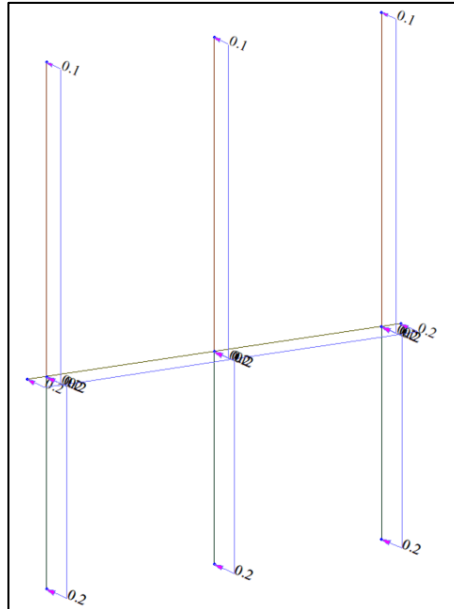


Figura 2-8: Modello interruttore: azione del vento

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 $S_d = 0.18$ g. Considerando un peso sismico pari alla somma dei carichi permanenti, si ottiene una forzante sismica pari a:

$$F = 0.18 \cdot 9.806 \cdot 2603 = 4.6 \text{ kN}$$

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 $S_d = 0.54$ g. Considerando un peso sismico pari alla somma dei carichi permanenti, si ottiene una forzante sismica pari a:

$$F = 0.54 \cdot 9.806 \cdot 2603 = 13.8 \text{ kN}$$

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_Totale	2.03 kN
G2_Totale	24 kN
Q_vento_colonne	0.20 kN/m
Q_vento_HEB	0.15kN/m
Q_sisma_SLO	4.6 kN
Q_sisma_SLV	13.8 kN

Si precisa che i carichi relativi alle apparecchiature sono stati stimati sulla base di indicazioni disponibili per apparecchiature simili e dovranno essere revisionati una volta note le caratteristiche dell'apparecchiatura effettivamente oggetto di installazione.

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:

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

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 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	
SISMA	Strength/Stress(Elast)	Add	1.00	1.00		1.00
SLEr	Serviceability	Add	1.00	1.00	1.00	

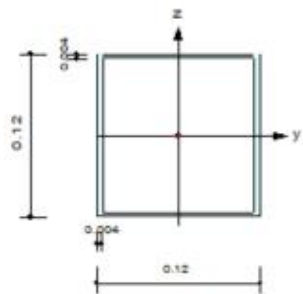
8.3.3. VERIFICHE STRUTTURALI

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	RHS-CF 120X120X4 UNI7812 (No:2) (Rolled : RHS-CF 120X120X4 UNI7812).
Member Length	: 2.50000



2. Member Forces

Axial Force	$F_{xx} = -9.7800$ (LCB: 2, POS:I)
Bending Moments	$M_y = 0.000000$, $M_z = -11.500$
End Moments	$M_{yi} = 0.000000$, $M_{yj} = 0.000000$ (for L_b) $M_{yi} = 0.000000$, $M_{yj} = 0.000000$ (for L_y) $M_{zi} = -11.500$, $M_{zj} = 0.000000$ (for L_z)
Shear Forces	$F_{yy} = -4.6000$ (LCB: 2, POS:1/2) $F_{zz} = 0.000000$ (LCB: 3, POS:1/2)

Depth	0.12000	Web Thick	0.00400
Flg Width	0.12000	Top F Thick	0.00400
Web Center	0.11600	Bot F Thick	0.00400
Area	0.00180	A _{sz}	0.00000
C _{yx}	0.00000	C _{sz}	0.00000
I _{yy}	0.00000	I _{zz}	0.00000
Y _{bar}	0.06000	Z _{bar}	0.06000
W _{ely}	0.00000	W _{elz}	0.00000
r _y	0.04597	r _z	0.04597

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
 $KL/r = 53.2 < 200.0$ (Memb:10, LCB: 2)..... O.K

Axial Resistance
 $N_{Ed}/MN[N_{c,Rd}, N_{b,Rd}] = 9.780/403.081 = 0.024 < 1.000$ O.K

Bending Resistance
 $M_{Edy}/M_{Rdy} = 0.0000/18.0766 = 0.000 < 1.000$ O.K
 $M_{Edz}/M_{Rdz} = 11.5000/18.0766 = 0.636 < 1.000$ O.K

Combined Resistance
 $R_{MNRd} = \text{MAX}[M_{Edy}/M_{ny,Rd}, M_{Edz}/M_{nz,Rd}]$
 $R_{byN} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M0})$, $R_{byM} = M_{Edy}/M_{y,Rd} + M_{Edz}/M_{z,Rd}$
 $R_{cLT1} = N_{Ed}/(X_{iy} \cdot A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$
 $R_{bLT1} = (k_{yy} \cdot M_{Edy}) / (X_{iLT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1}) + (k_{yz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$
 $R_{cLT2} = N_{Ed}/(X_{iz} \cdot A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$
 $R_{bLT2} = (K_{zy} \cdot M_{Edy}) / (X_{iLT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1}) + (K_{zz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$
 $R_{max} = \text{MAX}[R_{MNRd}, (R_{byN} + R_{byM}), \text{MAX}(R_{cLT1} + R_{bLT1}, R_{cLT2} + R_{bLT2})] = 0.660 < 1.000$.. O.K

Torsion Strength
 $T_{Ed}/T_{Rd} = 0.0000/12.9745 = 0.000 < 1.000$ O.K

Shear Resistance
 $V_{Edy}/V_{y,Rd} = 0.040 < 1.000$ O.K
 $V_{Edz}/V_{z,Rd} = 0.000 < 1.000$ O.K

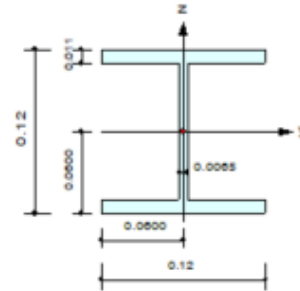
5. Deflection Checking Results

$L/150.0 = 0.0167 > 0.0100$ (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)
 (Fy = 235000, Es = 210000000)
 Section Name HEB120 (No:3)
 (Rolled : HEB120).
 Member Length : 2.20000



2. Member Forces

Axial Force Fxx = -0.0234 (LCB: 1, POS:1/2)
 Bending Moments My = 0.09328, Mz = -0.1394
 End Moments Myi = -0.1752, Myj = -0.0499 (for Lb)
 Myi = -0.1752, Myj = -0.0499 (for Ly)
 Mzi = -0.0425, Mzj = 0.06688 (for Lz)
 Shear Forces Fyy = -0.3253 (LCB: 1, POS:J)
 Fzz = -0.4313 (LCB: 1, POS:I)

Depth	0.12000	Web Thick	0.00850
Top F Width	0.12000	Top F Thick	0.01100
Bot.F Width	0.12000	Bot.F Thick	0.01100
Area	0.00340	Asz	0.00078
Oyb	0.01227	Ozb	0.00180
Iyy	0.00001	Izz	0.00000
Ybar	0.06000	Zbar	0.06000
Wely	0.00014	Wetx	0.00005
ry	0.05040	rz	0.03080

3. Design Parameters

Unbraoded Lengths Ly = 2.20000, Lz = 2.20000, Lb = 2.20000
 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
 $KL/r = 71.9 < 200.0$ (Memb:8, LCB: 1)..... O.K
 Axial Resistance
 $N_{Ed}/MIN[N_{c,Rd}, N_{b,Rd}] = 0.023/760.952 = 0.000 < 1.000$ O.K
 Bending Resistance
 $M_{Edy}/M_{Rdy} = 0.0933/36.9733 = 0.003 < 1.000$ O.K
 $M_{Edz}/M_{Rdz} = 0.1394/17.9574 = 0.008 < 1.000$ O.K
 Combined Resistance
 $R_{MNRd} = MAX[M_{Edy}/M_{ny,Rd}, M_{Edz}/M_{nz,Rd}]$
 $R_{BiM} = (M_{Edy}/M_{ny,Rd})^{Alpha} + (M_{Edz}/M_{nz,Rd})^{Beta}$
 $R_{byN} = N_{Ed}/(A*fy/Gamma_{M0}), R_{byM} = M_{Edy}/M_{y,Rd} + M_{Edz}/M_{z,Rd}$
 $R_{cLT1} = N_{Ed}/(X_{ly}*A*fy/Gamma_{M1})$
 $R_{bLT1} = (k_{yy}*M_{Edy})/(X_{lLT}*W_{ply}*fy/Gamma_{M1}) + (k_{yz}*M_{Edz})/(W_{plz}*fy/Gamma_{M1})$
 $R_{cLT2} = N_{Ed}/(X_{lz}*A*fy/Gamma_{M1})$
 $R_{bLT2} = (k_{zy}*M_{Edy})/(X_{lLT}*W_{ply}*fy/Gamma_{M1}) + (k_{zz}*M_{Edz})/(W_{plz}*fy/Gamma_{M1})$
 $R_{max} = MAX[R_{MNRd}, R_{BiM}, (R_{byN}+R_{byM}), MAX(R_{cLT1}+R_{bLT1}, R_{cLT2}+R_{bLT2})] = 0.010 < 1.000$.. 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

$L/250 = 0.0088 > 0.0000$ (Memb:8, LCB: 3, POS: 1.2m, Dir-Z)..... O.K

8.3.4. VERIFICHE DI FUNZIONALITA' IMPIANTI

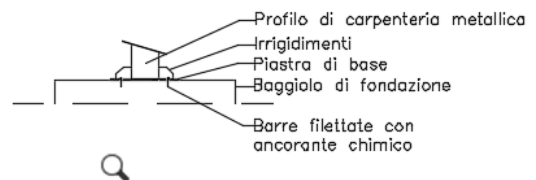
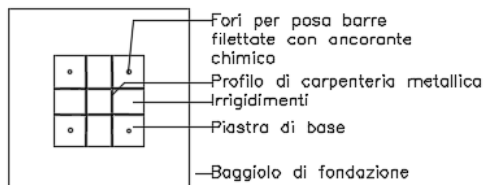
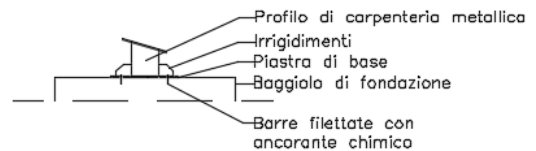
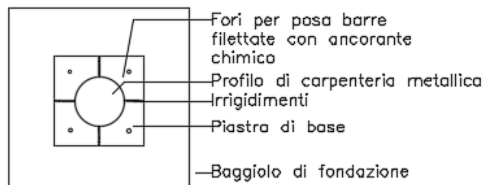
Secondo quanto indicato al paragrafo 7.3.6. delle *D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»* occorre verificare che gli spostamenti strutturali prodotti allo SLO per la classe d'uso considerata non siano tali da produrre interruzioni d'uso degli impianti.

Allo SLO lo spostamento massimo a cui è soggetto l'elemento strutturale è pari a 0.94 cm tale quindi da non pregiudicare il funzionamento dello stesso.

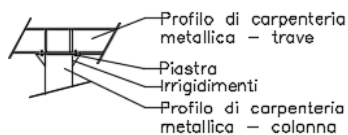
9. VERIFICHE DETTAGLI COSTRUTTIVI TIPICI

Nel presente capitolo sono riportate le verifiche dei dettagli costruttivi tipici per le strutture sopra studiate.

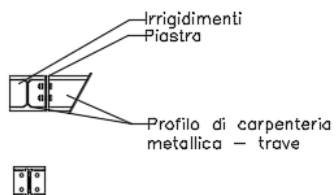
COLLEGAMENTO TRA COLONNE E FONDAZIONE



COLLEGAMENTO TRA TRAVE E COLONNA



COLLEGAMENTO TRA TRAVE E TRAVE



Verifica del collegamento colonna-fondazione

Si veda il documento Allegato 1.

Collegamento colonna-trave:

Si riporta di seguito la verifica del collegamento tra colonna e trave, considerando le massime forze di progetto agenti.

DESIGN CONNECTION WITH BOLTS					
Norm: [1] UNI EN 1993-1-8:2005 - [2] NTC-18					
PROPERTIES					
Steel					
Type of steel	S275				
Partial safety factor for resistance of members	γ_{M0}	=	1.05		
Partial safety factor for resistance of bolts	γ_{M1}	=	1.05		
Partial safety factor for resistance of bolts	γ_{M2}	=	1.25		
Partial safety factor for preload of high strenght bolts	γ_{M7}	=	1.05		
Elastic module	E	=	210000	N/mm ²	
Characteristic value of resitance	f_{yk}	=	275	N/mm ²	
Design value of resistance	f_{yd}	=	262	N/mm ²	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M0}$
Design value of instability	f_{yd}	=	262	N/mm ²	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M1}$
Tensile Strenght	f_u	=	430	N/mm ²	
plate thickness	t	=	8	mm	
BOLTS PROPERTIES					
Data					
Bolt class		=	8.8		
Yeld strenght	f_{yb}	=	640	N/mm ²	
Ultimate tensile strenght	f_{ub}	=	800	N/mm ²	
Bolt dimension	M	=	16	mm	
	S	=	24	mm	
Tensile stress area of the bolt	$A_{res.}$	=	157	mm ²	Net area
Total number of bolts	N	=	4		
Equivalent diameter	$\Phi_{equiv.}$	=	14.1	mm	
ACTION					
Data					
maximum tension force	N_t	=	0.0	kN	
Traction in 1 bolt due to bending moment around x axis	$F_{t,Mx}$	=	12.5	kN	
Traction in 1 bolt due to bending moment around y axis	$F_{t,My}$	=	0.0	kN	
Shear in y direction (total value. Not yet divided on bolts)	$F_{v,ed,y}$	=	1.2	kN	
Shear in x direction (total value. Not yet divided on bolts)	$F_{v,ed,x}$	=	0.0	kN	

DESIGN CONNECTION WITH BOLTS

Norm: [1] UNI EN 1993-1-8:2005 - [2] NTC-18

PLATE PROPERTIES

Steel

Type of steel		S275		
Partial safety factor for resistance of members	γ_{M0}	=	1.05	
Partial safety factor for resistance of bolts	γ_{M1}	=	1.05	
Partial safety factor for resistance of bolts	γ_{M2}	=	1.25	
Partial safety factor for preload of high strenght bolts	γ_{M7}	=	1.05	
Elastic module	E	=	210000	N/mm ²
Characteristic value of resistance	f_{yk}	=	275	N/mm ²
Design value of resistance	f_{yd}	=	262	N/mm ² $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M0}$
Design value of instability	f_{vd}	=	262	N/mm ² $f_{vd} = f_{yk}/\gamma_{M1}$
Tensile Strenght	f_u	=	430	N/mm ²
Thickness	t	=	8	mm
number of shear planes/resistant sections	n	=	1	

BOLTS PROPERTIES

Data

Bolt class		=	8.8	See table 3.1
Yeld strenght	f_{yb}	=	640	N/mm ²
Ultimate tensile strenght	f_{ub}	=	800	N/mm ²
Bolt dimension		M	16	mm
		S	24	mm
Tensile stress area of the bolt	$A_{res.}$	=	157	mm ² Net area
hole type			standard	
ACTION FORCES				
Tension force	$F_{t,ed}$	=	13	kN
Shear in y direction	$F_{v,ed,y}$	=	0.3	kN
Shear in z direction	$F_{v,ed,z}$	=	0.0	kN
Shear combination	$F_{v,ed}$	=	0.3	kN

DESIGN RESISTANCE FOR INDIVIDUAL FASTENERS SUBJECTED TO SHEAR AND/OR TENSION

Shear resistance per shear plane

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$$

α_v	=	0.60	
$F_{v,Rd}$	=	60.3	kN

Bearing resistance

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

e_1	=	30	mm	See figure 3.1
e_2	=	30	mm	See figure 3.1
p_1	=	180	mm	See figure 3.1
p_2	=	60	mm	See figure 3.1

Hole diameter for a bolt	d_0	=	18	mm
Disposition of bolts	α	=	End bolts	
coefficiente α per bulloni di bordo nella direz. del carico [asse y]	α_{e1}	=	0.56	
coefficiente α per bulloni interni nella direz. del carico [asse y]	α_{p1}	=	1.00	
coefficiente α per bulloni di bordo nella direz. del carico [asse z]	α_{e2}	=	0.56	
coefficiente α per bulloni interni nella direz. del carico [asse z]	α_{p2}	=	0.86	
	k	=	End bolts	
coefficiente k per bulloni di bordo nella direz. perpendic. al carico [asse y]	k_{e2}	=	2.50	
coefficiente k per bulloni interni nella direz. perpendic. al carico [asse y]	k_{p2}	=	2.50	
coefficiente k per bulloni di bordo nella direz. perpendic. al carico [asse z]	k_{e1}	=	2.50	
coefficiente k per bulloni interni nella direz. perpendic. al carico [asse z]	k_{p1}	=	2.50	
Thickness	t	=	8	mm
	$F_{b,Rd,y}$	=	61.2	kN
	$F_{b,Rd,z}$	=	61.2	kN
	α_y	=	0.556	
	k_y	=	2.50	
	α_z	=	0.556	
	k_z	=	2.50	

Tension resistance

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

Type		=	Other	
	k_2	=	0.90	
	$F_{t,Rd}$	=	90	kN

Punching shear resistance

$$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$$

The mean of the across points and across flats dimensions of the bolt head or the nut, whichever is smaller	d_m	=	20	mm
Thickness of the plate under the bolt or the nut	t_p	=	8	mm
	$B_{p,Rd}$	=	104	kN

CHECKS

Shear checks

$F_{v,ed} / F_{v,Rd} < 1$	0.00	<	1	CHECKED
$F_{v,ed,max} / F_{b,Rd} < 1$	0.00	<	1	CHECKED

Tension checks

$F_{t,ed} / F_{t,Rd} < 1$	0.14	<	1	CHECKED
$F_{t,ed} / B_{p,Rd} < 1$	0.12	<	1	CHECKED

Combined shear and tension

$$\frac{F_{v,ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

	0.10	<	1	CHECKED
--	------	---	---	---------

DESIGN CONNECTION WITH BOLTS

Norm: [1] UNI EN 1993-1-8:2005 - [2] NTC-18

MATERIAL

Steel properties

Type of steel		S275			
Partial safety factor for resistance of members	γ_{M0}	=	1.05		
Partial safety factor for resistance of bolts	γ_{M1}	=	1.05		
Partial safety factor for resistance of bolts	γ_{M2}	=	1.25		
Elastic module	E	=	210000	N/mm ²	
Characteristic value of resistance	f_{yk}	=	275	N/mm ²	
Design value of resistance	f_{yd}	=	262	N/mm ²	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M0}$
Design value of instability	f_{id}	=	262	N/mm ²	$f_{id} = f_{yk}/\gamma_{M1}$
Tensile Strength	f_u	=	430	N/mm ²	

GEOMETRY

General

Thickness of plate	t	=	8	mm
(eventual) added plate	t	=	0	mm
Bolt dimension	M		16	mm
Hole diameter for a bolt	d_0	=	17.0	mm

Bases and lengths

Lenght 1	L1	=	30	mm
Maximum base1	B1,max	=	77.0	mm
Base1	B1	=	77	mm
Lenght 2	L2	=	30	mm
Maximum base2	B2,max	=	77.0	mm
Base2	B2	=	60	mm
Lenght 3	L3	=	75	mm
Maximum base3	B3,max	=	167.0	mm
Base3	B3	=	0	mm
Lenght 4	L4	=	150	mm
Maximum base4	B4,max	=	317.0	mm
Base4	B4	=	0	mm

ACTION FORCES

Tension force	$F_{t,Ed}$	=	12.5	kN
---------------	------------	---	------	----

DISTRIBUTION FORCES AND BENDING RESISTANCE

Distributiou of forces - Bending moment

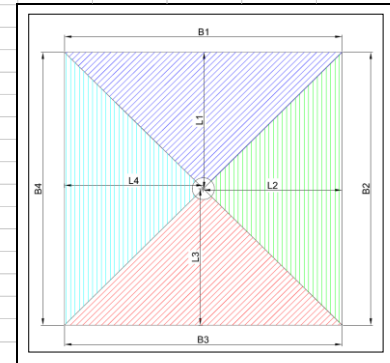
Force 1	F1	=	7.0	kN
Force 2	F2	=	5.5	kN
Force 3	F3	=	0.0	kN
Force 4	F4	=	0.0	kN
Moment m1	$m_{Ed,1}$	=	2737	Nmm/mm
Moment m2	$m_{Ed,2}$	=	2737	Nmm/mm
Moment m3	$m_{Ed,3}$	=	0	Nmm/mm
Moment m4	$m_{Ed,4}$	=	0	Nmm/mm

Bending resistance

Elastic resistance modulus	Wel.	=	10.7	mm ³
Plastic resistance modulus	Wpl.	=	16.0	mm ³
Resistent moment	m_{Rd}	=	4190	Nmm/mm

CHECKS

$m_{Ed,1}/m_{Rd} < 1$	0.65	<	1	CHECKED
$m_{Ed,2}/m_{Rd} < 1$	0.65	<	1	CHECKED
$m_{Ed,3}/m_{Rd} < 1$	0.00	<	1	CHECKED
$m_{Ed,4}/m_{Rd} < 1$	0.00	<	1	CHECKED



Collegamento trave-trave

Si riporta di seguito la verifica del collegamento tra trave e trave, considerando le massime forze di progetto agenti.

DESIGN CONNECTION WITH BOLTS					
Norm: [1] UNI EN 1993-1-8:2005 - [2] NTC-18					
PROPERTIES					
Steel					
Type of steel	S275				
Partial safety factor for resistance of members	γ_{M0}	=	1.05		
Partial safety factor for resistance of bolts	γ_{M1}	=	1.05		
Partial safety factor for resistance of bolts	γ_{M2}	=	1.25		
Partial safety factor for preload of high strenght bolts	γ_{M7}	=	1.05		
Elastic module	E	=	210000	N/mm ²	
Characteristic value of resitance	f_{yk}	=	275	N/mm ²	
Design value of resistance	f_{yd}	=	262	N/mm ²	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M0}$
Design value of instability	f_{yd}	=	262	N/mm ²	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M1}$
Tensile Strenght	f_u	=	430	N/mm ²	
plate thickness	t	=	10	mm	
BOLTS PROPERTIES					
Data					
Bolt class		=	8.8		
Yeld strenght	f_{yb}	=	640	N/mm ²	
Ultimate tensile strenght	f_{ub}	=	800	N/mm ²	
Bolt dimension	M	=	16	mm	
	S	=	24	mm	
Tensile stress area of the bolt	$A_{res.}$	=	157	mm ²	Net area
Total number of bolts	N	=	4		
Equivalent diameter	$\Phi_{equiv.}$	=	14.1	mm	
ACTION					
Data					
maximum tension force	N_t	=	2.0	kN	
Traction in 1 bolt due to bending moment around x axis	$F_{t,Mx}$	=	2.0	kN	
Traction in 1 bolt due to bending moment around y axis	$F_{t,My}$	=	0.0	kN	
Shear in y direction (total value. Not yet divided on bolts)	$F_{v,ed,y}$	=	4.5	kN	
Shear in x direction (total value. Not yet divided on bolts)	$F_{v,ed,x}$	=	0.0	kN	

DESIGN CONNECTION WITH BOLTS

Norm: [1] UNI EN 1993-1-8:2005 - [2] NTC-18

PLATE PROPERTIES

Steel

Type of steel		=	S275		
Partial safety factor for resistance of members	γ_{M0}	=	1.05		
Partial safety factor for resistance of bolts	γ_{M1}	=	1.05		
Partial safety factor for resistance of bolts	γ_{M2}	=	1.25		
Partial safety factor for preload of high strenght bolts	γ_{M7}	=	1.05		
Elastic module	E	=	210000	N/mm ²	
Characteristic value of resistance	f_{yk}	=	275	N/mm ²	
Design value of resistance	f_{yd}	=	262	N/mm ²	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M0}$
Design value of instability	f_{vd}	=	262	N/mm ²	$f_{vd} = f_{yk}/\gamma_{M1}$
Tensile Strenght	f_u	=	430	N/mm ²	
Thickness	t	=	10	mm	
number of shear planes/resistant sections	n	=	1		

BOLTS PROPERTIES

Data

Bolt class		=	8.8		See table 3.1
Yeld strenght	f_{yb}	=	640	N/mm ²	
Ultimate tensile strenght	f_{ub}	=	800	N/mm ²	
Bolt dimension		M	16	mm	
		S	24	mm	
Tensile stress area of the bolt	$A_{res.}$	=	157	mm ²	Net area
hole type		=	standard		

ACTION FORCES

Tension force	$F_{t,ed}$	=	3	kN	
Shear in y direction	$F_{v,ed,y}$	=	1.1	kN	
Shear in z direction	$F_{v,ed,z}$	=	0.0	kN	
Shear combination	$F_{v,ed}$	=	1.1	kN	

DESIGN RESISTANCE FOR INDIVIDUAL FASTENERS SUBJECTED TO SHEAR AND/OR TENSION

Shear resistance per shear plane

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$$

α_v	=	0.60		
$F_{v,Rd}$	=	60.3	kN	

Bearing resistance

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

e_1	=	30	mm	See figure 3.1
e_2	=	30	mm	See figure 3.1
p_1	=	60	mm	See figure 3.1
p_2	=	60	mm	See figure 3.1

Hole diameter for a bolt	d_0	=	18	mm
Disposition of bolts	α	=	End bolts	
coefficiente α per bulloni di bordo nella direz. del carico [asse y]	α_{e1}	=	0.56	
coefficiente α per bulloni interni nella direz. del carico [asse y]	α_{p1}	=	0.86	
coefficiente α per bulloni di bordo nella direz. del carico [asse z]	α_{e2}	=	0.56	
coefficiente α per bulloni interni nella direz. del carico [asse z]	α_{p2}	=	0.86	
	k	=	End bolts	
coefficiente k per bulloni di bordo nella direz. perpendic. al carico [asse y]	k_{e2}	=	2.50	
coefficiente k per bulloni interni nella direz. perpendic. al carico [asse y]	k_{p2}	=	2.50	
coefficiente k per bulloni di bordo nella direz. perpendic. al carico [asse z]	k_{e1}	=	2.50	
coefficiente k per bulloni interni nella direz. perpendic. al carico [asse z]	k_{p1}	=	2.50	
Thickness	t	=	10	mm
	$F_{b,Rd,y}$	=	76.4	kN
	$F_{b,Rd,z}$	=	76.4	kN
	α_y	=	0.556	
	k_y	=	2.50	
	α_z	=	0.556	
	k_z	=	2.50	

Tension resistance

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

Type		=	Other	
	k_2	=	0.90	
	$F_{t,Rd}$	=	90	kN

Punching shear resistance

$$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$$

The mean of the across points and across flats dimensions of the bolt head or the nut, whichever is smaller	d_m	=	20	mm
Thickness of the plate under the bolt or the nut	t_p	=	10	mm
	$B_{p,Rd}$	=	130	kN

CHECKS

Shear checks

$F_{v,ed} / F_{v,Rd} < 1$		0.02	<	1	CHECKED
$F_{v,ed,max} / F_{b,Rd} < 1$		0.01	<	1	CHECKED

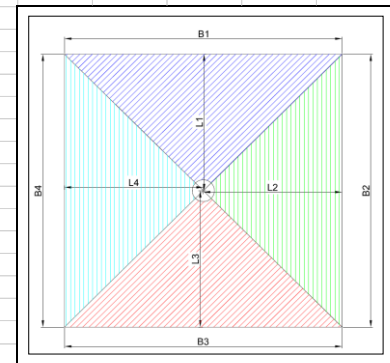
Tension checks

$F_{t,ed} / F_{t,Rd} < 1$		0.03	<	1	CHECKED
$F_{t,ed} / B_{p,Rd} < 1$		0.02	<	1	CHECKED

Combined shear and tension

$\frac{F_{v,ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$		0.04	<	1	CHECKED
--	--	------	---	---	---------

DESIGN CONNECTION WITH BOLTS					
Norm: [1] UNI EN 1993-1-8:2005 - [2] NTC-18					
MATERIAL					
Steel properties					
Type of steel		S275			
Partial safety factor for resistance of members	γ_{M0}	=	1.05		
Partial safety factor for resistance of bolts	γ_{M1}	=	1.05		
Partial safety factor for resistance of bolts	γ_{M2}	=	1.25		
Elastic module	E	=	210000	N/mm ²	
Characteristic value of resistance	f_{yk}	=	275	N/mm ²	
Design value of resistance	f_{yd}	=	262	N/mm ²	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M0}$
Design value of instability	f_{id}	=	262	N/mm ²	$f_{id} = f_{yk}/\gamma_{M1}$
Tensile Strength	f_u	=	430	N/mm ²	
GEOMETRY					
General					
Thickness of plate	t	=	10	mm	
(eventual) added plate	t	=	0	mm	
Bolt dimension		M	16	mm	
Hole diameter for a bolt	d_0	=	17.0	mm	
Bases and lengths					
Length 1	L1	=	30	mm	
Maximum base1	B1,max	=	77.0	mm	
Base1	B1	=	55	mm	
Length 2	L2	=	30	mm	
Maximum base2	B2,max	=	77.0	mm	
Base2	B2	=	45	mm	
Length 3	L3	=	75	mm	
Maximum base3	B3,max	=	167.0	mm	
Base3	B3	=	0	mm	
Length 4	L4	=	150	mm	
Maximum base4	B4,max	=	317.0	mm	
Base4	B4	=	0	mm	
ACTION FORCES					
Tension force	$F_{t,Ed}$	=	2.5	kN	
DISTRIBUTION FORCES AND BENDING RESISTANCE					
Distribution of forces - Bending moment					
Force 1	F1	=	1.4	kN	
Force 2	F2	=	1.1	kN	
Force 3	F3	=	0.0	kN	
Force 4	F4	=	0.0	kN	
Moment m1	$m_{Ed,1}$	=	750	Nmm/mm	
Moment m2	$m_{Ed,2}$	=	750	Nmm/mm	
Moment m3	$m_{Ed,3}$	=	0	Nmm/mm	
Moment m4	$m_{Ed,4}$	=	0	Nmm/mm	
Bending resistance					
Elastic resistance modulus	Wel.	=	16.7	mm ³	
Plastic resistance modulus	Wpl.	=	25.0	mm ³	
Resistent moment	m_{Rd}	=	4365	Nmm/mm	
CHECKS					
$m_{Ed,1}/m_{Rd} < 1$		0.17	<	1	CHECKED
$m_{Ed,2}/m_{Rd} < 1$		0.17	<	1	CHECKED
$m_{Ed,3}/m_{Rd} < 1$		0.00	<	1	CHECKED
$m_{Ed,4}/m_{Rd} < 1$		0.00	<	1	CHECKED



10. 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 dovranno essere oggetto di futura revisione in fase esecutiva, quando saranno fornite le esatte tipologie di apparecchiature installate con le relative azioni e corrispondenti punti di applicazione del carico.