



Regione Emilia Romagna  
Comune di Forlì  
Provincia di Forlì

## IMPIANTO FOTOVOLTAICO "CA' BELLETTI"

Progetto Definitivo

Progetto delle opere di rete per la connessione alla rete AT di e-distribuzione in regime di Cessione Totale per l'impianto di produzione da fonte di Solare per una potenza in immissione richiesta di 19.200,00 KW, sito in via SANSOVINI SNC, nel Comune di FORLÌ (FC)

COMMITTENTE

PRIMO BAGIONI

SVILUPPO PROGETTO



## RICHIESTA DI BENESTARE DOCUMENTAZIONE DA ALLEGARE A ITER AUTORIZZATIVO

CODICE RINTRACCIABILITA': 418972551

Revisione	Data	Descrizione	Preparato	Verificato	Approvato
0	18/02/2025	Emissione per Progettazione Definitiva	PLANET	GRASSO	VITALI

Progettista  
Ing. Matteo Zanatta



Scala

-

COMMESSA

EMESSO PER

TITOLO

APPROVAZIONE

COSTRUZIONE

AS BUILT

INFORMAZIONE

RELAZIONE DI CALCOLO DELLE CARPENTERIE  
METALLICHE - SEZIONATORE

FILE

CAP-04\_04-RT - Rel. calcolo carp. metalliche

FOGLIO

DI

FORMATO

1 / 28

A4

Documento No.

CAP-04\_04-RT

## INDICE

1	PREMESSA	
2	CARATTERISTICHE DELLA STRUTTURA	4
3	NORMATIVA	
4	MATERIALI	
5	NATURA DEL TERRENO	8
6	METODOLOGIA DI CALCOLO	9
7	DEFINIZIONE DEI CARICHI	12
7.1	Pesi propri	12
7.2	Peso del ghiaccio	12
7.3	Azione del vento	12
7.4	Carico durante il montaggio	12
7.5	Azione sismica	
7.6	Condizione di carico da corto circuito	14
8	CARICHI AGENTI E DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI DELLA SOLLECITAZIONE	15
8.1	Azione del vento	15
8.2	Corto circuito	
8.3	Azione sismica	
8.4	Combinazione di carico agli stati limite ultimi SLU	19
8.5	Combinazione di carico sismica	19
8.6	Combinazione di carico da corto circuito	19
9	VERIFICA DEL SOSTEGNO	20
9.1	Verifica di resistenza della carpenteria	20
9.2	Verifica degli spostamenti laterali	25
9.3	Verifica degli spostamenti verticali	25
9.4	Verifica dei tirafondi	27
10	CONCLUSIONI	

## 1 PREMESSA

Lo scopo del presente documento è la verifica strutturale della carpenteria di sostegno della seguente apparecchiatura elettromeccanica:

- n. 1 SEZIONATORE.

che sarà utilizzata presso la C.P. DI CAPOCOLLE DI BERTINORO (FC).

La verifica della struttura è condotta con il metodo semiprobabilistico agli stati limite, in ottemperanza alle norme vigenti, in due ipotesi di carico, normale ed eccezionale.

Le unità di misura impiegate nella presente relazione sono:

forza daN

massa kg

lunghezza m (per alcune lunghezze cm, mm)

Il sistema di riferimento cartesiano  $Oxy$  considerato è tale che la direzione delle ascisse  $xx$  è parallela all'asse della sbarra.

## 2 CARATTERISTICHE DELLA STRUTTURA

La carpenteria di supporto del sezionatore di linea 132kV, è costituita da da due tubi verticali metallici in acciaio S355JR, del diametro esterno di 219,1mm con spessore delle pareti pari a 5mm, collocati a distanza di 3400mm l'uno dall'altro. Ogni tubo della lunghezza di 2500mm, è saldato alla base ad un piatto quadrato di dimensioni 480x480mm sp. 25 mm in cui sono presenti n. 4 fori Ø24mm disposti a maglia quadrata con interasse di 400mm, per l'installazione di tirafondi ad uncino Ø20mm in acciaio B450C.

Le due colonne sono collegate in sommità ad un telaio metallico costituito da due correnti HEB100 di lunghezza pari a 4800mm ancorate mediante bulloni a due correnti profilati UPN100 di lunghezza pari a 1643 questi ancorati in mezzeria alle due colonne.

Il collegamento tra colonna e correnti UPN e tra colonna e tubo è inoltre rinforzato dalla presenza di nervature di forma triangolare di dimensioni sp.10m delle dimensioni indicate nel disegno costruttivo. La massa complessiva della carpenteria è pari a 630 kg, compresa la zincatura valutata al 3%. Tutta la carpenteria è in acciaio S355JR.

Per quanto riguarda l'apparecchiatura installata sulla fondazione, di seguito si riportano le caratteristiche essenziali, fornite dal produttore.

### SEZIONATORE

<b>Sostegno</b>	
Peso [daN]	630,00
Altezza [m]	2,65
Baricentro [m]	1,325
Diametro [m]	0,219
h vento [m]	1,325
Sup. esposta al vento [m <sup>2</sup> ]	0,581
H sez trasverso [m]	0,1
Lunghezza trasverso HE	4,8
Lunghezza trasverso UPN	1,843
<b>Apparecchiatura</b>	
Peso [daN]	2145
Altezza [m]	1,85
Baricentro [m]	0,925
Sezione [m]	0,15
H vento (m)	3,575
Diametro testa [m]	0,15
altezza attacco	4,5
Sup. esposta al vento [m <sup>2</sup> ]	0,278
Altezza applicazione tiro [m]	4,500
Altezza applicazione montaggio [m]	2,650
<b>Collegamento elettrico</b>	
Lunghezza campata [m]	rigido 6,5+6,5

diametro conduttore [m]	0,040
altezza	4,50
peso [daN/m]	0,735

### 3 NORMATIVA

Nell'eseguire le verifiche che costituiscono l'opera di cui alla presente relazione, si è fatto riferimento alla seguente normativa tecnica:

- [1] D. M. 17/01/2018  
*"Testo Unico Norme tecniche per le costruzioni"*.
- [2] D. M. 14/01/2008  
*"Nuove Norme tecniche per le costruzioni"*.
- [3] Ordinanza 3274 20 Marzo 2003  
*"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"*.
- [4] Legge 5 Novembre 1971 n°1086  
*"Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale precompresso ed a struttura metallica"*.
- [5] D.M. 11 marzo 1988  
*"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"*.
- [6] Circolare 24 settembre 1988, n°30483  
*"Norme tecniche per terreni e fondazioni: istruzioni applicative"*.
- [7] Circolare Ministero Infrastrutture e Trasporti 2 febbraio 2009, n.617  
*"Applicazione Norme Tecniche per le Costruzioni"*.
- [8] CEI EN 61936-1 (2011-07)  
*"Impianti elettrici con tensioni superiori a 1kV in corrente alternata"*.
- [9] CEI 11-4 (1998)  
*"Esecuzione delle linee elettriche aeree esterne"*.
- [10] CEI 11-26 (1998)  
*"Correnti di corto circuito. Calcolo degli effetti . Parte prima: definizioni e metodi di calcolo"*.
- [11] UNI ENV 1993-1-1 Eurocodice 3.  
*"Progettazione delle strutture di acciaio. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici"*
- [12] UNI ENV 1992-1-1 Eurocodice 2.  
*"Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici"*

## 4 MATERIALI

Caratteristiche dei materiali utilizzati nella costruzione.

### Calcestruzzo per fondazioni e struttura

Rck 30: $f_{ck} = 24,9 \text{ MPa}$	Resistenza cilindrica caratteristica del cls a 28 giorni
$\alpha_{cc} = 0,85$	Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata
$\gamma_c = 1,5$	Coeff. parziale di sicurezza relativo al cls
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 14,11 \text{ MPa}$	Resistenza cilindrica di calcolo
$E_c = 31447 \text{ MPa}$	Modulo elastico
$\gamma_{cls} = 2400 \text{ daN/m}^3$	Peso specifico

### Acciaio per armature e tirafondi

B 450 C	$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$	Resistenza caratteristica a snervamento
	$\gamma_s = 1,15$	Coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
	$f_{yd} = 11,8 \text{ MPa}$	Resistenza di calcolo
	$E_s = 206000 \text{ N/mm}^2$	Modulo elastico

### Acciaio per carpenteria metallica tipo S 355 JR

S 355 JR:	$f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$	Resistenza caratteristica a snervamento
	$f_{tk} = 510 \text{ N/mm}^2$	Resistenza caratteristica di rottura
	$\gamma_s = 1,05$	Coeff. Parziale resist.
	$E_s = 206000 \text{ N/mm}^2$	Modulo elastico
	$\rho = 7850 \text{ daN/m}^3$	Densità

### Bulloneria classe 6.8

Classe 6.8	$f_t = 600 \text{ N/mm}^2$	Resistenza caratteristica a rottura
	$f_y = 510 \text{ N/mm}^2$	Resistenza caratteristica di snervamento

## 5 NATURA DEL TERRENO

Per l'analisi del terreno di fondazione sono stati presi in considerazione i risultati delle indagini eseguite e riportati nel Rapporto di prova geotecnico elaborato dal Dott. Geol. Massimo Castellaro.

L'indagine geognostica ha permesso quindi di definire la stratigrafia e le caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione.

Si rimanda all'elaborato relativo all'indagine geologica per i valori dei parametri,

Le indagini hanno potuto classificare il suolo anche dal punto di vista sismico. La categoria di appartenenza è risultata essere la "C": "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s".

Le verifiche delle strutture saranno eseguite in base alle vigenti normative e tenendo presente tutte le indicazioni fornite nella Relazione geologica.

## 6 METODOLOGIA DI CALCOLO

Le attività di verifica strutturale della carpenteria e della fondazione vengono condotte seguendo le indicazioni del D.M. 17 gennaio 2018, in particolare per quanto concerne:

- il criterio dello stato limite ultimo;
- le azioni sismiche;
- la metodologia dell'analisi statica equivalente;
- i criteri di combinazione con le concomitanti azioni non sismiche.

In ottemperanza alle norme vigenti, si devono considerare due ipotesi di carico, normale ed eccezionale. In ciascuno di questi casi devono essere analizzate diverse combinazioni, la più sfavorevole delle quali fornisce i parametri della sollecitazione sulla struttura di sostegno e sulla fondazione per determinare la resistenza meccanica delle strutture.

Data la variabilità delle caratteristiche dinamiche delle apparecchiature, per ogni coppia "apparecchiatura/carpenteria" vengono normalmente considerati casi differenti, ai quali corrispondono sets di caratteristiche ponderali e geometriche dell'apparecchiatura, a parità di carpenteria.

### **1. Determinazione delle combinazioni di carico e dei parametri della sollecitazione agenti alla base del sostegno**

Nell'ipotesi di carico normale, le azioni di carico agenti sono le seguenti:

- Peso proprio;
- Tiro;
- Carichi durante il montaggio (secondo CEI, si deve tener conto di un carico durante il montaggio almeno pari a 1,0kN nel punto più critico della struttura di supporto)
- Spinta del vento;
- Peso del ghiaccio;

Nell'ipotesi di carico eccezionale, il peso proprio e il tiro agiscono simultaneamente e si devono considerare insieme al maggiore dei seguenti carichi occasionali:

- Carichi derivanti dalle manovre;
- Condizione di carico da corto circuito (secondo CEI 11-26, si considera una corrente di corto circuito trifase pari a 31,5 kA).
- Perdita del tiro esercitato dal conduttore.
- Azione sismica.

Tali azioni, in accordo a quanto previsto dal paragrafo 2.5.3 del D.M. 17 gennaio 2018, sono state combinate tra loro come riportato nella Tabella 6.1, in cui i coefficienti di combinazione sono stati ottenuti definendo le azioni permanenti, eccezionali e quelle variabili e, tra queste ultime, distinguendo le dominanti dalle secondarie.

L'azione sismica e i carichi da corto circuito sono azioni eccezionali e per tale motivo non si considerano agenti simultaneamente.

Il carico durante il montaggio non si considera agente simultaneamente alle azioni eccezionali di corto circuito.

Ogni combinazione considerata (SLU, SLE, Sismica, Corto circuito) fornisce i parametri della sollecitazione agenti sulla struttura in elevazione.

**Tabella 6.1: Coefficienti combinazione delle azioni.**

	Combinazione di carico	G1	G2	Qk,i	Qk,i	Qk,i	Qk,i	Qk,i	E	E	A
		Peso proprio	Tiri conduttori	Montaggio X	Montaggio Y	Vento X	Vento y	Ghiaccio	Sisma X	Sisma Y	Corto circuito
NORMALE	SLU_1	1,3	1,5	1,5	0	1,5	0,9	0,75	0	0	0
	SLU_2	1,3	1,5	0	1,5	1,5	0,9	0,75	0	0	0
	SLU_3	1,3	1,5	1,5	0	0,9	1,5	0,75	0	0	0
	SLU_4	1,3	1,5	0	1,5	0,9	1,5	0,75	0	0	0
	SLU_5	1,3	1,5	1,5	0	0,9	0,9	1,5	0	0	0
	SLU_6	1,3	1,5	0	1,5	0,9	0,9	1,5	0	0	0
NORMALE	SLE freq_1	1	1	1,5	0	0,2	0	0	0	0	0
	SLE freq_2	1	1	1,5	1,5	0	0,2	0	0	0	0
	SLE freq_3	1	1	1,5	1,5	0	0	0,2	0	0	0
	SLE freq_4	1	1	0	1,5	0,2	0	0	0	0	0
	SLE freq_5	1	1	0	1,5	0	0,2	0	0	0	0
	SLE freq_6	1	1	0	1,5	0	0	0,2	0	0	0
Sismica	Sismica_1	1	1	1,5	0	0	0	0	1	0,3	0
	Sismica_2	1	1	1,5	0	0	0	0	0,3	1	0
	Sismica_3	1	1	0	1,5	0	0	0	1	0,3	0
	Sismica_4	1	1	0	1,5	0	0	0	0,3	1	0
ECCEZ.	Eccezionale CC	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Coefficienti di combinazione delle azioni											

## 2. Verifica della carpenteria del sostegno

Per ogni tipo di combinazione studiata (SLU, SLE, Sismica, Corto circuito, Perdita di carico), si è considerata la combinazione più sfavorevole che fornisce i parametri della sollecitazione alla base della struttura di sostegno impiegati per le verifiche di tipo strutturale del sostegno secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

## 3. Verifica della fondazione

Per ogni combinazioni di carico considerata per la verifica del sostegno si svolgono le verifiche della fondazione, di tipo geotecnico e strutturale, agli stati limite ultimi secondo le NTC.

Per il calcolo delle sollecitazioni si sono adottate le ipotesi di materiali linearmente elastici. Le analisi sono svolte nelle ipotesi di piccoli spostamenti e piccole deformazioni impiegando i criteri della Scienza e della Tecnica delle Costruzioni.

Per ogni combinazione di carico considerata per la verifica del sostegno si svolgono le verifiche della fondazione, di tipo geotecnico e strutturale, agli stati limite ultimi secondo le NTC 2018.

Per il calcolo delle sollecitazioni della fondazione si sono adottate le ipotesi di materiali linearmente elastici. Le analisi sono svolte nelle ipotesi di piccoli spostamenti e piccole deformazioni impiegando i criteri della Scienza e della Tecnica delle Costruzioni.

Per il calcolo della fondazione si è svolta la modellazione ad elementi finiti mediante l'ausilio del programma di calcolo Mastersap Top, prodotto dalla AMV Software Company<sup>1</sup>.

Le fasi del calcolo sono le seguenti:

- Creazione del modello: la realizzazione del modello ad elementi finiti e la definizione dei carichi sono state effettuate con il modulo "Modellazione e analisi" del programma Mastersap. La struttura di fondazione è stata modellata mediante l'impiego degli elementi strutturali "Gusci e piastre", avendo cura di selezionare l'opzione "Platea" per gli elementi costituenti la piastra, posta a profondità 0,70m, che consente di assegnare la costante di sottofondo al terreno, considerato come un letto di molle di rigidezza definita (costante di Winkler per terreni non coesivi). La costante di sottofondo assegnata è pari a  $8\text{kg/cm}^3$ . I batoli in c.a. cui sono ancorati i sostegni delle apparecchiature sono stati schematizzati mediante elementi strutturali "Travi e pilastri" a cui sono stati assegnati idonei materiale e sezione. Si è scelto di modellare anche tali elementi per maggiore precisione nell'applicazione dei carichi. Le azioni ricavate dal documento di verifica della carpenteria di supporto sono state applicate ai nodi coincidenti con la posizione delle apparecchiature elettromeccaniche.
- Analisi ad elementi finiti: L'analisi statica è eseguita dal modulo "Modellazione e analisi" del programma Mastersap. In tale fase, il programma genera automaticamente i file di input e output.
- Estrazione dei risultati: Per gli elementi "Gusci e piastre", in output il programma consente di visualizzare le pressioni sul suolo, le sollecitazioni e lo stato tensionale degli elementi bidimensionali. Nella fase di post processing, sono stati considerati, in particolare, i valori del momento flettente rispetto ai due assi della fondazione, per il progetto e la verifica strutturale della piastra.

---

<sup>1</sup> Il programma Mastersap utilizza il solutore Life, incluso nel programma ad elementi finiti, ed implementato nel 2003. Si allega al presente documento l'attestato di affidabilità del programma rilasciato da AMV Software Company al momento dell'acquisto.

## 7 DEFINIZIONE DEI CARICHI

### 7.1 Pesi propri

Il peso proprio di sostegni ed apparecchiature è stato tratto dai documenti forniti dal committente e da dati tecnici del produttore dell'apparecchiatura.

### 7.2 Peso del ghiaccio

Nelle regioni dove si possono verificare formazioni di ghiaccio si deve tenere conto del relativo carico sui conduttori flessibili, sulle sbarre e sui conduttori rigidi (CEI EN 61936-1). Si assume densità del ghiaccio pari a  $900\text{kg/m}^3$  e spessore manicotto di ghiaccio di 10 mm.

### 7.3 Azione del vento

La pressione del vento  $p$  si ottiene dall'espressione:  $p = q_{\text{ref}} \cdot c_e \cdot c_p \cdot A_v$

con:  $c_e$  = coeff. di esposizione

$c_p$  = coeff. di forma pari a: 0,7 se riferito a superfici cilindriche

1 se riferito a superfici piane

Tabella 7.1: Determinazione pressione del vento.

Comune		Saluzzo (CN)	$a_s=365$	m s.l.m.	
ZONA	Descrizione		$v_{b,0}$ (m/s)	$a_0$ (m)	$k_a$ (1/s)
2	Emilia Romagna		25	750	0,45

Rugosità	C	
Cat. Espos.	III	
$v_r$	25,02	m/s
$q_r$	391,20	N/m <sup>2</sup>
$k_r$	0,20	
$z_0$	0,10	m
$z_{\text{min}}$	5	m
$c_t$	1	
$z$	5,2	m
$c_e$	1,87	
$c_p$	0,7	
$c_d$	1	
$p$	391	N/m <sup>2</sup>

pressione vento riferita a superficie cilindrica

### 7.4 Carico durante il montaggio

Il carico durante il montaggio almeno pari a 1,0kN nel punto più critico della struttura di supporto.

## 7.5 Azione sismica

Nel nuovo D.M. 17 gennaio 2018 “Nuove norme tecniche per le costruzioni” i parametri per il calcolo dell’azione sismica sulle strutture non vengono dati in base alla zona, ma in base alle coordinate geografiche del sito. In base alla posizione dell’area nel reticolo geografico di riferimento, le norme restituiscono i valori di  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima del terreno),  $F_0$  (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e  $T^*c$  (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale).

Tali parametri dipendono anche dalla vita di riferimento  $V_R$  della struttura e dalla probabilità di superamento nella vita di riferimento  $P_{VR}$  associate a ciascuno degli stati limite considerati.

Nel caso in esame, i valori dei parametri sono i seguenti:

Classe d’uso	IV
Vita nominale $V_n$	100 anni
Coefficiente d’uso $C_u$	2
Periodo di riferimento per l’azione sismica	200 anni

### Vita nominale, classi d’uso e periodo di riferimento delle opere strutturali permanenti in progetto

	TR	$a_g/g$	$F_0$	$T^*c$	CC	Ss	$P_{ga} (a_g \cdot S)$ ( $m/s^2$ )
SLO	120	0.0470	2.4960	0.31	1.55	1.50	0.692
SLD	201	0.0560	2.5730	0.33	1.51	1.50	0.824
SLV	1898	0.1211	2.6480	0.41	1.41	1.50	1.782
SLE	1898	0.1211	2.6480	0.41	1.41	1.50	1.782
SLC	2475	0.1323	2.6430	0.42	1.39	1.49	1.934

### Parametri di pericolosità sismica delle opere strutturali permanenti in progetto

Il D.M. 17 gennaio 2018 prevede inoltre che, ai fini del calcolo dell’azione sismica di progetto, i terreni in corrispondenza del piano di imposta delle fondazioni vengano classificati in una delle 7 categorie - A, B, C, D, E, S1, S2 - di sottosuolo di riferimento definite nelle Tabelle 3.2.II e 3.2.III del Paragrafo 3.2.2.

L’indagine sismica ha consentito di determinare una velocità media delle onde di taglio “s” nei primi 30 m di sottosuolo di 284 m/s, cui corrisponde una categoria di suolo di tipo C:

*“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s”.*

Per ciò che concerne le condizioni topografiche dei luoghi interessati dagli interventi, che presentano una configurazione superficiale semplice, è possibile adottare la suddivisione, riportata in Tabella 3.2.IV dello stesso decreto, che prevede 4 distinte categorie topografiche - T1, T2, T3, T4; nel caso in esame

il terreno rientra nella classe T1: "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ".

#### **7.6 Condizione di carico da corto circuito**

La condizione di corto circuito è considerata eccezionale. I valori di corto circuito per l'apparecchiatura sono stati determinati secondo normativa vigente.

Il corto circuito non viene considerato contestualmente al sisma, anche se potrebbe essere causato da quest'ultimo. Trattasi, in questa interpretazione, di due eventi eccezionali la cui probabilità combinata di accadimento può essere considerata scarsa.

## 8 CARICHI AGENTI E DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI DELLA SOLLECITAZIONE

Di seguito sono riportati i carichi sopra descritti che sono stati applicati al modello di calcolo ad elementi finiti della struttura di sostegno dell'apparecchiatura.

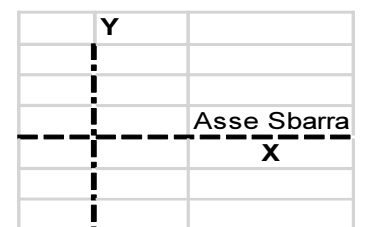
Nel modello di calcolo, i carichi sono applicati come forze concentrate nei punti coincidenti con il baricentro degli elementi. Per maggiori dettagli si rimanda alle seguenti tabelle.

### 8.1 Azione del vento

Si riporta la determinazione della forza vento applicata al modello di calcolo, spirante in direzione x e y.

La forza vento sull'apparecchiatura viene calcolata come forza applicata al baricentro dell'apparecchiatura e riportata alla sommità del sostegno insieme al suo momento di trasporto. La forza vento sulla struttura di sostegno viene considerata anch'essa come applicata al baricentro dell'elemento.

#### SEZIONATORE



Carichi derivanti da azione del vento															
pressione vento su sup. cilindriche			51,08	daN/m <sup>2</sup>											
pressione vento su sup. piane			72,97	daN/m <sup>2</sup>											
<b>Forza vento xx</b>															
Superficie esposta al vento	app.	yy	0,83	m <sup>2</sup> /m	Superficie yy_vento in dir XX	apparecch.									
	traverso	yy	0,48	m <sup>2</sup> /m	Superficie yy_vento in dir XX	singolo traverso									
	colonna	yy	0,56	m <sup>2</sup> /m	Superficie yy_vento in dir XX	singola colonna									
Fvx, app		/2	21,26	daN	<table border="1"> <tr> <td>zG,app=</td> <td>3,58</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>zG,trav=</td> <td>2,60</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>zG,col=</td> <td>1,28</td> <td>m</td> </tr> </table>		zG,app=	3,58	m	zG,trav=	2,60	m	zG,col=	1,28	m
zG,app=	3,58	m													
zG,trav=	2,60	m													
zG,col=	1,28	m													
Fvx, trav		1	35,03	daN											
Fvx, col		1	28,54	daN											
My,trasporto		1	19,67	daN m											
<b>Forza vento yy</b>															
Superficie esposta al vento	app.	xx	0,83	m <sup>2</sup> /m	Superficie xx_vento in dir YY	apparecch.									
	traverso	xx	0,1843	m <sup>2</sup> /m	Superficie xx_vento in dir YY	singolo traverso									
	colonna	xx	0,56	m <sup>2</sup> /m	Superficie xx_vento in dir YY	singola colonna									
	conduttore	xx	0,04	m <sup>2</sup> /m											
Fvy, app		1	21,26	daN	<table border="1"> <tr> <td>zG,app=</td> <td>3,58</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>zG,trav=</td> <td>2,60</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>zG,col=</td> <td>1,28</td> <td>m</td> </tr> </table>		zG,app=	3,58	m	zG,trav=	2,60	m	zG,col=	1,28	m
zG,app=	3,58	m													
zG,trav=	2,60	m													
zG,col=	1,28	m													
Fvy, trav		1	13,45	daN											
Fvy, col		1	28,54	daN											
Fvy, cond rigido		1	13,08	daN											
Mx,trasporto	vento su app. e cond.	1	31,76	daN m											
Peso conduttore rigido			-4,70	daN	p lineae sb. alluminio d=0,04m [daNm]	0,735									
Peso manicotto di ghiaccio 10mm			-9,04	daN	p lineare manicotto 10mm [daN/m]	1,412									
Area esposta al vento conduttore rigido			0,04	m <sup>2</sup> /m	densità ghiaccio 900 kg/m <sup>3</sup>										
Lunghezza conduttore binato DX			6,4	m											
Lunghezza conduttore binato SX			6,4	m											

Tali carichi sono stati combinati secondo quanto riportato al capitolo 6 e in tabella 6.1, al fine di determinare i parametri della sollecitazione con cui eseguire le verifiche previste, sia allo stato limite ultimo sia di esercizio, di cui si riporta un estratto. Si precisa che il carico di montaggio è stato applicato ai nodi in cui l'apparecchiatura viene ancorata alla struttura di sostegno. Per le caratteristiche dell'impianto, il valore del tiro è nullo.

	Combinazione di carico	G1	G2	Qk,i	Qk,i	Qk,i	Qk,i	Qk,i
		Peso proprio	Tiri conduttori	Montaggio X	Montaggio Y	Vento X	Vento y	Ghiaccio
NORMALE	SLU_1	1,3	1,5	1,5	0	1,5	0,9	0,75
	SLU_2	1,3	1,5	0	1,5	1,5	0,9	0,75
	SLU_3	1,3	1,5	1,5	0	0,9	1,5	0,75
	SLU_4	1,3	1,5	0	1,5	0,9	1,5	0,75
	SLU_5	1,3	1,5	1,5	0	0,9	0,9	1,5
	SLU_6	1,3	1,5	0	1,5	0,9	0,9	1,5
NORMALE	SLE freq_1	1	1	1,5	0	0,2	0	0
	SLE freq_2	1	1	1,5	1,5	0	0,2	0
	SLE freq_3	1	1	1,5	1,5	0	0	0,2
	SLE freq_4	1	1	0	1,5	0,2	0	0
	SLE freq_5	1	1	0	1,5	0	0,2	0
	SLE freq_6	1	1	0	1,5	0	0	0,2

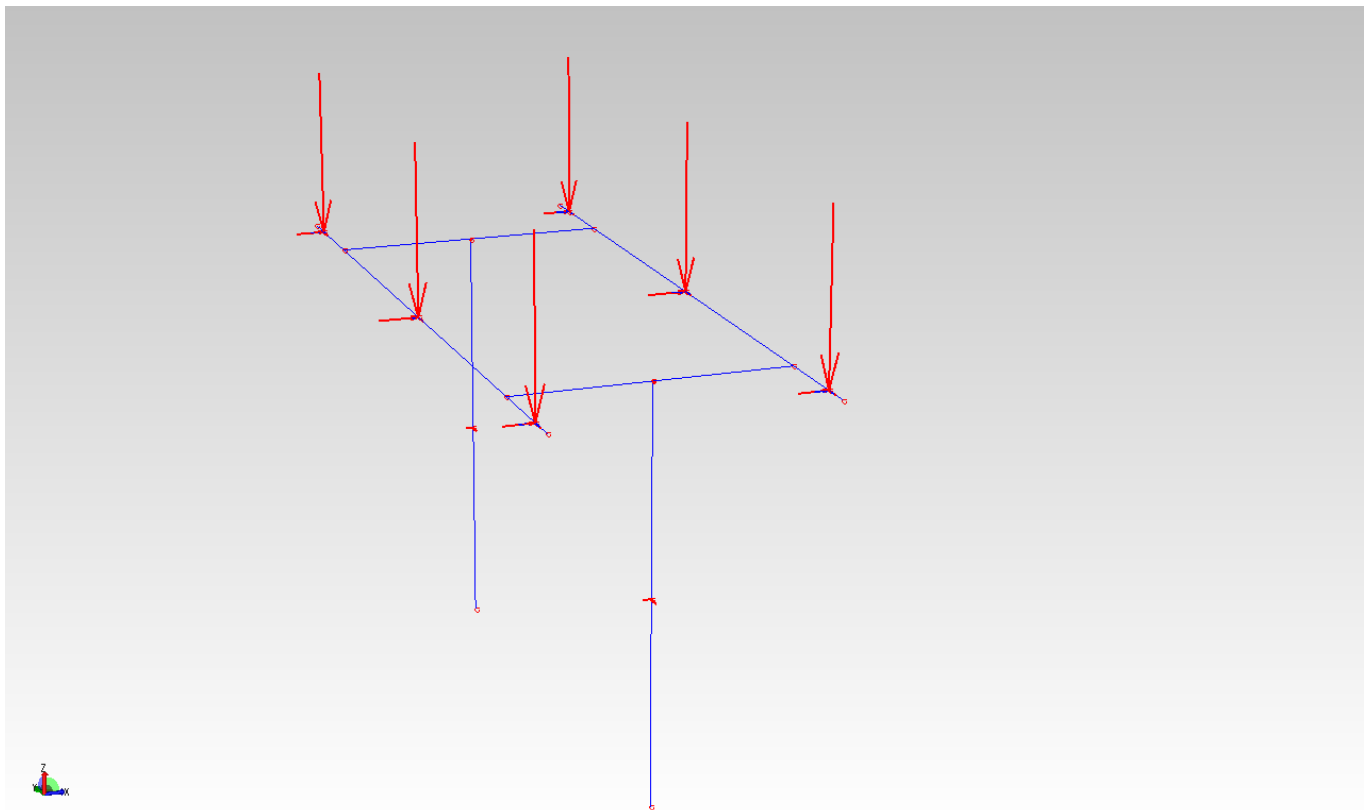
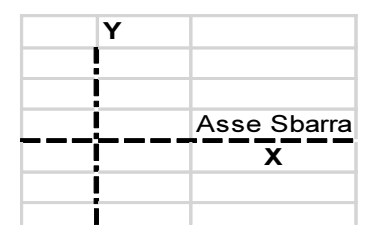


Fig. 8.1. Vista del modello ad elementi finiti con applicazione dei carichi in SLU 3.

## 8.2 Corto circuito

Il carico da corto circuito è stato applicato nella direzione yy in corrispondenza della sommità delle colonne, con verso opposto. La forza vale 282 daN. Sullo stesso punto è stato applicato un momento di trasporto calcolato come il valore della forza da corto circuito per l'altezza dell'apparecchiatura, in quanto il carico da corto circuito si assume applicato in sommità dell'apparecchiatura. Il valore applicato è pari a  $M=280 \text{ daN} \times 1,85 \text{ m}=521,70 \text{ daN m}$ .



## SEZIONATORE

Corto circuito			
valore del corto circuito	YY	282,00	daN applicato all'apparecchiatura
My,trasporto		521,70	daN m applicato al traverso su cui grava l'apparecchiatura

Tali carichi sono stati combinati secondo quanto riportato al capitolo 6 e in tabella 6.1, al fine di determinare i parametri della sollecitazione con cui eseguire le verifiche previste, di cui si riporta un estratto. Per le caratteristiche dell'impianto, il valore del tiro è nullo.

		G1	G2	Qk,i	Qk,i	Qk,i	Qk,i	Qk,i	A
	Combinazione di carico	Peso proprio	Tiri conduttori	Montaggio X	Montaggio Y	Vento X	Vento y	Ghiaccio	Corto circuito
ECCEZ.	Eccezionale CC	1	1	0	0	0	0	0	1

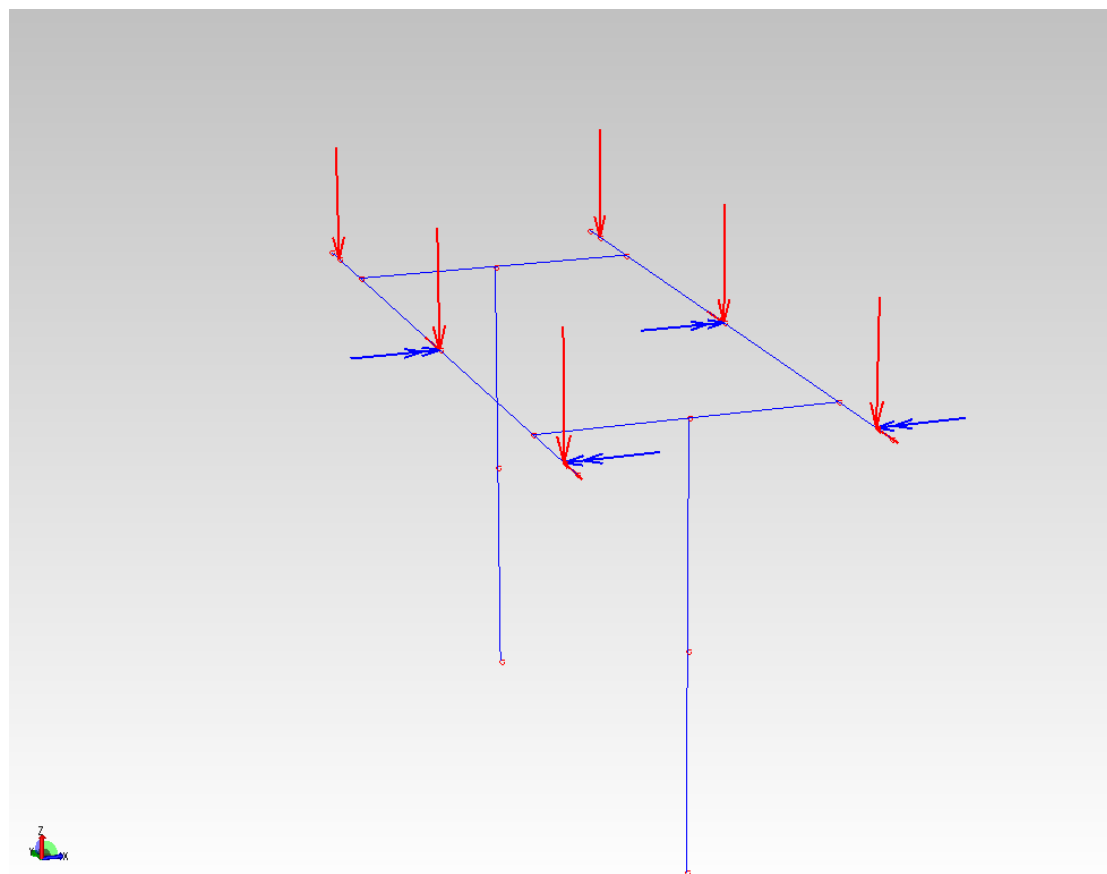


Fig. 8.2. Vista del modello ad elementi finiti con applicazione dei carichi in Corto circuito.

### 8.3 Azione sismica

L'azione sismica si ripartisce sul sistema sostegno+apparecchiatura secondo la relazione:

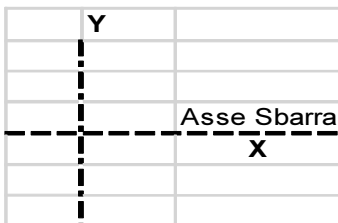
$$F_i = F_h \cdot z_i \cdot W_i / (\sum_j \cdot z_j \cdot W_j)$$

I carichi così ottenuti e applicati al modello sono riportati di seguito.

Con riferimento alla tabella 7.3, e alle caratteristiche del sistema si ha:

## SEZIONATORE TCBT-21+TD-21-B (Coelme)

Carichi derivanti da azione sismica			
Forza orizzontale	Fh	832,50	daN
Apparecchiatura	Wapp	2145,00	daN
	z app	3,58	m
Sostegno	Wtrav+col	630,00	daN
	z trav+col	1,33	m
	$\Sigma_j z_j W_j$	8503,13	daN m
Ripartizione azione sismica su elementi principali			
	Apparecchiatura	750,77	daN
	sostegno	81,73	daN
M trasporto	$750,77 * 1,85 / 2 =$	694,47	daN m



Anche in questo caso ai nodi del traverso (n. 6) su cui grava l'apparecchiatura, è stato applicato un momento  $M = (750,77 * 1,85 / 2) / 6 = 115,75$  daN m, calcolato come la forza sismica sull'apparecchiatura applicata al baricentro della stessa. Per le caratteristiche dell'impianto, il valore del tiro è nullo.

Tali carichi sono stati combinati secondo quanto riportato al capitolo 6 e in tabella 6.1, al fine di determinare i parametri della sollecitazione con cui eseguire le verifiche previste.

	Combinazione di carico	G1	G2	Qk,i	Qk,i	Qk,i	Qk,i	Qk,i	E	E	A
		Peso proprio	Tiri conduttori	Montaggio X	Montaggio Y	Vento X	Vento y	Ghiaccio	Sisma X	Sisma Y	Corto circuito
Sismica	Sismica_1	1	1	1,5	0	0	0	0	1	0,3	0
	Sismica_2	1	1	1,5	0	0	0	0	0,3	1	0
	Sismica_3	1	1	0	1,5	0	0	0	1	0,3	0
	Sismica_4	1	1	0	1,5	0	0	0	0,3	1	0

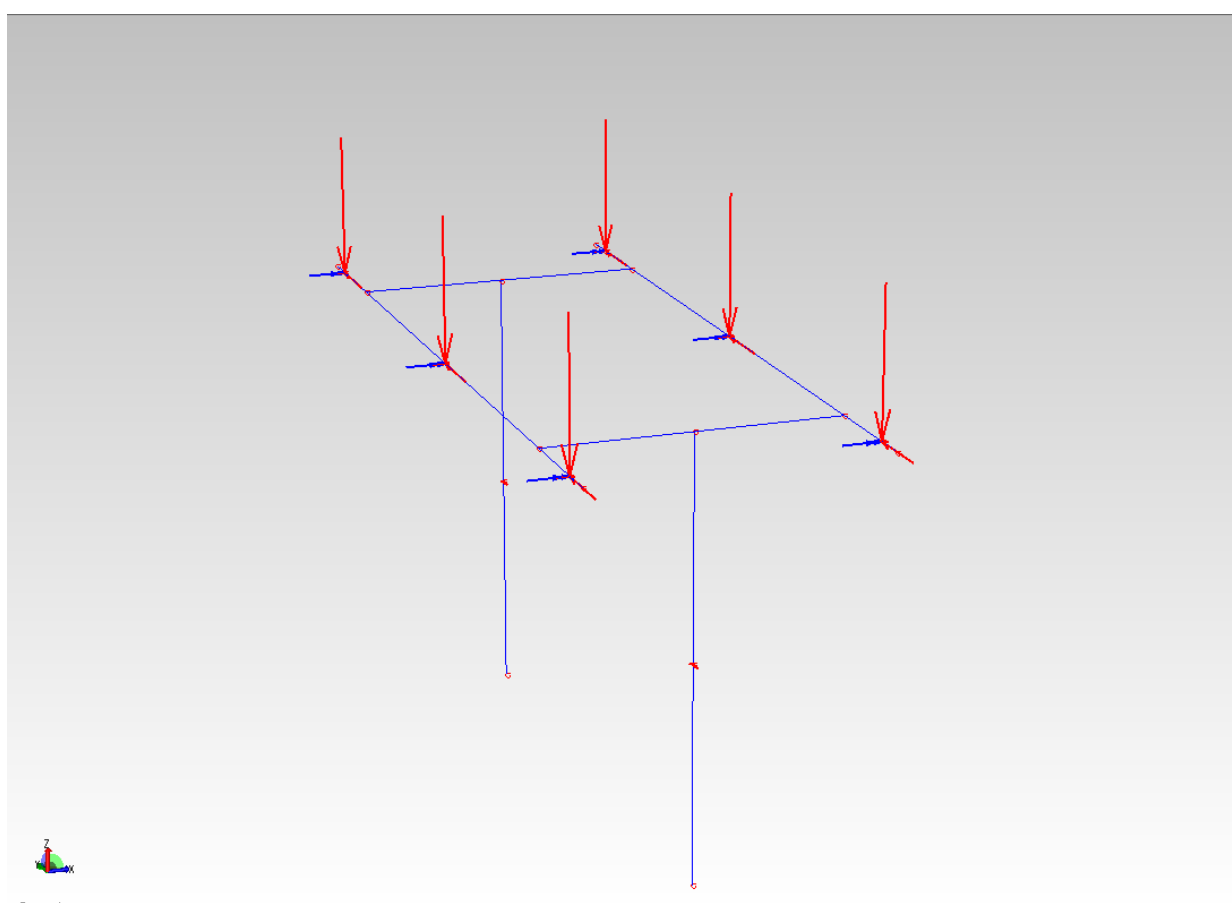


Fig. 8.3. Vista del modello ad elementi finiti con applicazione dei carichi in Sismica 4.

#### 8.4 Combinazione di carico agli stati limite ultimi SLU

Parametri della sollecitazione alla base della singola colonna- SLU							
	SLU_1	SLU_2	SLU_3	SLU_4	SLU_5	SLU_6	
Azione assiale	19420	19410	19750	19740	19450	19440	N
Taglio in X	4160	1910	3400	1150	3400	1150	N
Taglio in Y	1310	3560	2180	4430	1310	3560	N
Momento flettente rispetto asse X	3110	9050	5180	11120	3110	9050	N m
Momento flettente rispetto asse y	12230	6270	9720	3760	9720	3760	N m

#### 8.5 Combinazione di carico sismica

Parametri della sollecitazione alla base della singola colonna- SISMICA					
	Sismica_1	Sismica_2	Sismica_3	Sismica_4	
Azione assiale	15650	17070	15640	17050	N
Taglio in X	6410	3500	4160	1250	N
Taglio in Y	1250	4160	3500	6410	N
Momento flettente rispetto asse X	3140	10450	9080	16390	N m
Momento flettente rispetto asse y	19920	10150	13960	4190	N m

#### 8.6 Combinazione di carico da corto circuito

Parametri della sollecitazione alla base della singola colonna- CORTO CIRCUITO		
	CC1	
Azione assiale	14340	N
Taglio in X	0	N
Taglio in Y	1430	N
Momento flettente rispetto asse X	3740	N m
Momento flettente rispetto asse y	0	N m

## 9 VERIFICA DEL SOSTEGNO

Il sostegno è stato oggetto di verifica di resistenza delle membrature e verifica degli spostamenti laterali e verticali, quest'ultima svolta sulla combinazione di carico per gli stati limite d'esercizio.

Le verifiche di resistenza delle membrature svolte riguardano i parametri della sollecitazione derivanti dalle più gravose tra le combinazioni di carico Sismica, SLU, Corto circuito.

Si è svolta inoltre la verifica dei tirafondi.

**Tabella 9.1: Caratteristiche del sostegno di supporto apparecchiatura.**

Caratteristiche sostegno		
Ø	219,1	mm
sp	5,0	mm
J <sub>x</sub>	1928,0	cm <sup>4</sup>
W <sub>el</sub>	176,0	cm <sup>3</sup>
W <sub>pl</sub>	229236	mm <sup>3</sup>
A	33,6	cm <sup>2</sup>
Classe	2	
A <sub>v</sub>	2141	mm <sup>2</sup>
V <sub>Rd</sub>	417913	N
M <sub>pl,Rd</sub>	77504	N m

### 9.1 Verifica di resistenza della carpenteria

Per le verifiche di resistenza si considerano i valori dei parametri delle sollecitazioni maggiori ottenuti dalle combinazioni di carico più sfavorevoli (Tab. 9.2). Sono state svolte:

- verifica della sezione del sostegno
- verifica della giunzione saldata tra tubo e piastra di base

**Tabella 9.2: Parametri della sollecitazione alla base del sostegno nelle combinazioni di carico più sfavorevoli.**

	SLU_1	SLU_4	CC1	Sismica_1	Sismica_2	Sismica_4	
Azione assiale	19420	19740	14340	15650	17070	17050	N
Taglio in X	4160	1150	0	6410	3500	1250	N
Taglio in Y	1310	4430	1430	1250	4160	6410	N
Momento flettente rispetto asse X	3110	11120	3740	3140	10450	16390	N m
Momento flettente rispetto asse y	12230	3760	0	19920	10150	4190	N m
VE,d, tot (N)	4361	4577	1430	6531	5437	6531	N

ME,d, tot (N m)	12619	11738	3740	20166	14568	16917	N m
-----------------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-----

▪ **Verifica della sezione del sostegno**

Per la verifica taglio deve essere soddisfatta la seguente condizione:  $V_{ed} / V_{c,Rd} \leq 1$

dove la resistenza di calcolo a taglio  $V_{c,Rd}$  vale:  $V_{c,Rd} = A_v \cdot f_{yk} / (1,05 \cdot \sqrt{3})$

Per la sezione circolare cava appartenente alla classe 2, poiché il taglio di calcolo  $V_{Ed}$  risulta sempre inferiore al 50% della resistenza di calcolo a taglio  $V_{c,Rd}$ , la resistenza a flessione della sezione può essere calcolata senza applicare alcun coefficiente di riduzione.

La verifica a flessione deve soddisfare la condizione:  $M_{Ed} / M_{pl,Rd} \leq 1$

Av	2141	mm <sup>2</sup>					NTC 2018
Vrd	417913	N					
	<b>SLU_1</b>	<b>SLU_4</b>	<b>CC1</b>	<b>Sismica_1</b>	<b>Sismica_2</b>	<b>Sismica_4</b>	
$V_{E,d,tot} / V_{Rd}$	0,010	0,011	0,003	0,016	0,013	0,016	
$M_{Ed,tot} / M_{pl,Rd}$	0,163	0,151	0,048	0,260	0,188	0,218	
<b>VERIFICA &lt;1</b>	<i>Verificato</i>	<i>Verificato</i>	<i>Verificato</i>	<i>Verificato</i>	<i>Verificato</i>	<i>Verificato</i>	
<b>VERIFICA &lt;1</b>	<i>Verificato</i>	<i>Verificato</i>	<i>Verificato</i>	<i>Verificato</i>	<i>Verificato</i>	<i>Verificato</i>	

▪ **Verifica della giunzione saldata tra tubo e piastra**

Si verifica la giunzione saldata tra tubo e piastra, realizzata mediante una saldatura a cordone d'angolo 5x5mm continua su tutta la circonferenza esterna del tubo.

Caratteristiche cordone d'angolo		
b	5	mm
h	5	mm
u	3,54	mm
area	2433,6	mm <sup>2</sup>
J	15300000	mm <sup>4</sup>
W <sub>el</sub>	135519	mm <sup>3</sup>
f <sub>tk</sub>	510,00	N/mm <sup>2</sup>
γ <sub>M2</sub>	1,25	

SOLLECITAZIONI	SLU_1	SLU_4	CC1	Sismica_1	Sismica_2	Sismica_4	
Med	12619231	11738484	3740000	20165961	14567944	16917098	N mm
NEd	19420	19740	14340	15650	17070	17050	N
VEd	4361	4577	1430	6531	5437	6531	N

	SLU_1	SLU_4	CC1	Sismica_1	Sismica_2	Sismica_4	
b	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
$t/\sqrt{2} + T_{perp}^2$	1,79	1,88	0,59	2,68	2,23	2,68	N/mm <sup>2</sup>
s <sub>perp</sub>	85,14	78,51	21,71	142,37	100,48	117,83	N/mm <sup>2</sup>
Valore di controllo	85,17	78,54	21,75	142,40	100,52	117,86	
ftk/(bgM2)	453,33	453,33	453,33	453,33	453,33	453,33	N/mm <sup>2</sup>
	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	

### ▪ Verifica del traverso HEB 100

Per la verifica taglio deve essere soddisfatta la seguente condizione:  $V_{ed} / V_{c,Rd} \leq 1$

dove la resistenza di calcolo a taglio  $V_{c,Rd}$  vale:  $V_{c,Rd} = A_v \cdot f_{yk} / (1,05 \cdot \sqrt{3})$

Poiché il taglio di calcolo  $V_{Ed}$  risulta sempre inferiore al 50% della resistenza di calcolo a taglio  $V_{c,Rd}$ , la resistenza a flessione della sezione può essere calcolata senza applicare alcun coefficiente di riduzione.

La verifica a flessione deve soddisfare la condizione:  $M_{Ed} / M_{pl,Rd} \leq 1$

Per la sezione in esame HEB 100 si ha:

	HEB100	
Jy	449,5	cm <sup>4</sup>
W <sub>el</sub>	89,9	cm <sup>3</sup>
W <sub>pl</sub>	104200	mm <sup>3</sup>
A	26,0	cm <sup>2</sup>
Classe	1,0	
A <sub>v</sub>	904,00	mm <sup>2</sup>
VR <sub>d</sub>	176460	N
M <sub>plRd</sub>	35230	N m



I massimi valori dei parametri della sollecitazione sono stati ricavati dal modello di calcolo ad elementi finiti e sono i seguenti:

N max =	2130	N
V max =	5620	N
M <sub>z</sub> max =	5390	Nm

Le verifiche a taglio e flessione sono soddisfatte, confermate dal controllo in termini tensionali.

VE,d,tot/VR <sub>d</sub>	0,03
MEd,tot/M <sub>plRd</sub>	0,15

VERIFICA V <1	<i>Verificato</i>
VERIFICA M <1	<i>Verificato</i>

Verifica tensionale			
$\delta$	52,55	N/mm <sup>2</sup>	Tensione di calcolo data delle reazioni assiali
t	2,16	N/mm <sup>2</sup>	Tensione di calcolo data dalle reazioni a taglio
$\delta_{\text{von Mises}}$	52,68	N/mm <sup>2</sup>	Tensione di Von Mises
f <sub>cfr</sub>	388,80	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a rottura
<i>Verificato</i>			

### ▪ Verifica del traverso 2 UPN 100

Per la verifica taglio deve essere soddisfatta la seguente condizione:  $V_{ed} / V_{c,Rd} \leq 1$

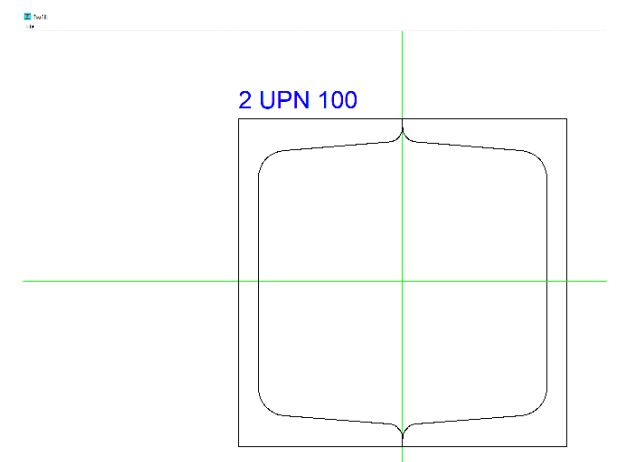
dove la resistenza di calcolo a taglio  $V_{c,Rd}$  vale:  $V_{c,Rd} = A_v \cdot f_{yk} / (1,05 \cdot \sqrt{3})$

Poiché il taglio di calcolo  $V_{Ed}$  risulta sempre inferiore al 50% della resistenza di calcolo a taglio  $V_{c,Rd}$ , la resistenza a flessione della sezione può essere calcolata senza applicare alcun coefficiente di riduzione.

La verifica a flessione deve soddisfare la condizione:  $M_{Ed} / M_{pl,Rd} \leq 1$

Per la sezione in esame 2 UPN 100 si ha:

	2 UPN 100		
W <sub>el</sub>	82,4	cm <sup>3</sup>	
W <sub>pl</sub>	98000	mm <sup>3</sup>	
A	27,0	cm <sup>2</sup>	
Classe	1,0		
VR <sub>d</sub>	243300	N	Resistenza di progetto a taglio
M <sub>plRd</sub>	33130	N m	Resistenza di progetto a flessione retta



I massimi valori dei parametri della sollecitazione sono stati ricavati dal modello di calcolo ad elementi finiti e sono i seguenti:

N max =	2500	N
V max =	9420	N
Mz max =	8830	Nm

Le verifiche a taglio e flessione sono soddisfatte, confermate dal controllo in termini tensionali.

VE <sub>d,tot</sub> /VR <sub>d</sub>	0,04
ME <sub>d,tot</sub> /M <sub>plRd</sub>	0,27
VERIFICA V <1	<i>Verificato</i>
VERIFICA M <1	<i>Verificato</i>

Verifica tensionale

$\bar{\sigma}$	91,03	N/mm <sup>2</sup>	Tensione di calcolo data delle reazioni assiali
t	3,49	N/mm <sup>2</sup>	Tensione di calcolo data dalle reazioni a taglio
$\bar{\sigma}_{\text{von Mises}}$	91,23	N/mm <sup>2</sup>	Tensione di Von Mises
f <sub>cfr</sub>	388,80	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a rottura
	<i>Verificato</i>		

## 9.2 Verifica degli spostamenti laterali

Si è svolto il controllo dello spostamento laterale nella sezione superiore d'estremità della colonna. Il modello ad elementi finiti ha fornito il massimo valore dello spostamento orizzontale ai nodi interessati per la combinazione frequente. Tale valore è stato diviso per la lunghezza della colonna ed è stato confrontato con il valore di controllo 1/150 ("edifici monopiano senza carroponte").

		<b>s</b>	
<b>nodo 4</b>	<b>SLE freq 1</b>	0,004	m
	<b>SLE freq 2</b>	0,0035	m
	<b>SLE freq 3</b>	0,0035	m
	<b>SLE freq 4</b>	0,0035	m
	<b>SLE freq 5</b>	0,0039	m
	<b>SLE freq 6</b>	0,0035	m
	<b>MASSIMO SPOSTAMENTO SOMMITA' COLONNA</b>		
s=	0,004	m	
L=	2,65	m	
<b>Verifica spostamenti laterali</b>			
$\delta$	0,0015	Spostamento relativo	
limite	0,0067	Valore di controllo 1/150	
	Verificato		

La verifica SLE per lo spostamento laterale risulta soddisfatta.

## 9.3 Verifica degli spostamenti verticali

Si è svolto il controllo dello spostamento verticale per gli elementi orizzontali (traversi) del sostegno, posizionati al di sopra degli elementi tubolari. Il modello ad elementi finiti ha fornito il massimo valore dello spostamento per la combinazione frequente ai nodi interessati. Tale valore è stato diviso per la distanza dei nodi identificati come appoggi ed è stato confrontato con il valore di controllo 1/200 ("coperture in generale"). La verifica SLE per lo spostamento verticale risulta soddisfatta.

		<b>s</b>		
<u>HEB 100</u>	<i>nodo 10</i>	<b>SLE freq 1</b>	0,005	m
		<b>SLE freq 2</b>	0,004	m
		<b>SLE freq 3</b>	0,004	m
		<b>SLE freq 4</b>	0,003	m
		<b>SLE freq 5</b>	0,003	m
		<b>SLE freq 6</b>	0,003	m
		<b>MASSIMO SPOSTAMENTO VERTICALE</b>		
s=	0,005	m		
L=	3,4	m		
<b>Verifica spostamenti verticali</b>				
$\delta$	0,0015	Spostamento relativo		
limite	0,0050	Valore di controllo 1/200		
	Verificato			

		s		
<u>2 UPN100</u>	<i>nodo 6</i>	<b>SLE freq 1</b>	0,004	m
		<b>SLE freq 2</b>	0,004	m
		<b>SLE freq 3</b>	0,004	m
		<b>SLE freq 4</b>	0,002	m
		<b>SLE freq 5</b>	0,002	
		<b>SLE freq 6</b>	0,002	m

**MASSIMO SPOSTAMENTO VERTICALE**

s= 0,004 m

L= 0,92 m

**Verifica spostamenti verticali**

$\delta$	0,0043	Spostamento relativo
limite	0,0050	Valore di controllo 1/200
	Verificato	



## 10 CONCLUSIONI

Sugli esiti delle analisi effettuate, per le condizioni di carico statico e per la condizione di carico sismica effettuata secondo le NTC 2008, risulta che per tutte le combinazioni di carico applicate:

- le verifiche di tipo strutturale sulla struttura di sostegno risultano verificate;
- la verifica dei tirafondi risulta verificata.

Il progettista