



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

0	18/02/2025	Emissione per Progettazione Definitiva	PLANET	GRASSO	VITALI
Revisione	Data	Descrizione	Preparato	Verificato	Approvato
Progettista Ing. Matteo Zanatta 			Scala -	COMMESSA	
EMESSO PER	TITOLO		FILE	FOGLIO DI	FORMATO
<input checked="" type="checkbox"/> APPROVAZIONE	RELAZIONE DI CALCOLO DELLE CARPENTERIE METALLICHE - TA/TV		CAP-04_03-RT - Rel. calcolo carp. metalliche	1 / 22	A4
<input type="checkbox"/> COSTRUZIONE			Documento No. CAP-04_03-RT		
<input type="checkbox"/> AS BUILT					
<input type="checkbox"/> INFORMAZIONE					

INDICE

1	PREMESSA	
2	CARATTERISTICHE DELLA STRUTTURA	4
3	NORMATIVA	
4	MATERIALI	
5	NATURA DEL TERRENO	7
6	METODOLOGIA DI CALCOLO	8
7	DEFINIZIONE DEI CARICHI	10
7.1	Pesi propri	10
7.2	Neve	
7.3	Peso del ghiaccio	10
7.4	Azione del vento	10
7.5	Carico di manovra	11
7.6	Azione sismica	11
7.7	Condizione di carico da corto circuito	12
8	CARICHI AGENTI E DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI DELLA SOLLECITAZIONE	13
8.1	Combinazione di carico agli stati limite ultimi SLU	14
8.2	Combinazione di carico sismica	14
8.3	Combinazione di carico da corto circuito	15
8.4	Combinazione di carico agli stati limite di esercizio SLE	15
9	VERIFICA DEL SOSTEGNO	17
9.1	Verifica di resistenza della carpenteria	17
9.2	Verifica degli spostamenti laterali	20
9.3	Verifica dei tirafondi	21
10	CONCLUSIONI	

1 PREMESSA

Lo scopo del presente documento è la verifica strutturale della carpenteria di sostegno della seguente apparecchiature elettromeccaniche:

- n. 1 TRASFORMATORI DI CORRENTE AT
- n. 1 TRASFORMATORI DI TENSIONE AT

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.

Si precisa che, essendo sostanzialmente uguali i carichi che le due strutture devono sopportare, si effettua la verifica del sostegno relativo al TA che è leggermente meno robusto di quello per il TV, considerando valida la verifica anche per quest'ultimo, a favore di sicurezza.

2 CARATTERISTICHE DELLA STRUTTURA

La carpenteria di supporto del trasformatore di corrente AT, è costituita da un tubo metallico in S355JR, del diametro esterno di 219,1mm con spessore delle pareti pari a 5mm. Il tubo della lunghezza di 2600mm, è provvisto di due flange d’estremità dello spessore di 25mm cadauna, saldate d’angolo alle pareti del tubo. La piastra di base è quadrata di lato 480mm, mentre quella di testa alla quale si vincola l’apparecchiatura, ha una forma a croce greca di lato 700mm. Il collegamento tra piastre e tubo è inoltre rinforzato dalla presenza di quattro coppie di nervature di forma triangolare di dimensioni 180x200mm sp.10m. La massa complessiva della carpenteria è pari a 220,23 kg compresa la zincatura valutata al 3% del peso. Tutta la carpenteria è in acciaio S355JR.

Sulla piastra di base 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.

Per quanto riguarda le apparecchiature installate sulla fondazione, di seguito si riportano le caratteristiche essenziali, ricavate dai disegni tecnici forniti dal produttore (ABB Power Technologies SpA).

Trasformatore di corrente

TA 132KV	
Sostegno	
Peso [daN]	220,23
Peso colonne [daN]	0
Peso trasverso [daN]	0
Altezza [m]	2,73
Baricentro [m]	1,365
Diametro [m]	0,219
h vento [m]	1,365
Sup. esposta al vento [m^2]	0,598
Apparecchiatura	
Peso [daN]	240
Altezza [m]	2,2
Baricentro [m]=2/3 h apparecchiatura	1,40
Sezione [m]	0,38
H vento (m)	4,13
Diametro testa [m]	0,43
altezza attacco	1,874
Sup. esposta al vento [m^2]	0,836
Altezza applicazione tiro [m]	4,604
Altezza applicazione montaggio [m]	2,730
Collegamento elettrico	
Lunghezza campata [m]	7,4+6,3
diametro conduttore [m]	0,040
altezza	4,58
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	E	A
		Peso proprio	Tiri conduttori	Montaggio	Vento X	Vento y	Ghiaccio	Neve	Sisma X	Sisma Y	Sisma Z	Corto circuito
NORMALE	SLU_1	1,3	1,5	1,5	0,9	0,9	0,75	0,75	0	0	0	0
	SLU_2	1,3	1,5	1,5	1,5	0,9	0,75	0,75	0	0	0	0
	SLU_3	1,3	1,5	1,5	0,9	1,5	0,75	0,75	0	0	0	0
	SLU_4	1,3	1,5	1,5	0,9	0,9	1,5	1,5	0	0	0	0
	SLU_5	1,3	1,5	1,5	0,9	0,9	0,75	1,5	0	0	0	0
NORMALE	SLE freq_1	1	1	1,5	0,2	0	0	0	0	0	0	0
	SLE freq_2	1	1	1,5	0	0,2	0	0	0	0	0	0
	SLE freq_3	1	1	1,5	0	0	0,2	0,2	0	0	0	0
	SLE freq_4	1	1	1,5	0	0	0	0,2	0	0	0	0
Sismica	Sismica_1	1	1	1,5	0	0	0	0	1	0,3	0,3	0
	Sismica_2	1	1	1,5	0	0	0	0	0,3	1	0,3	0
	Sismica_3	1	1	1,5	0	0	0	0	0,3	0,3	1	0
ECCEZ.	Eccezionale CC	1	1	0	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.

7 DEFINIZIONE DEI CARICHI

7.1 Pesì 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 Neve

Il carico neve è dimensionato secondo NTC 2018.

ZONA: I Mediterranea

as: 23 m

qsk: 1,50 KN/mq

7.3 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 900kg/m³ e spessore manicotto di ghiaccio di 10 mm.

7.4 Azione del vento

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

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)	ka (1/s)
2	Emilia Romagna	25	750	0,45

Rugosità	C	
Cat. Espos.	III	
vr	25,02	m/s
qr	391,20	N/m^2
kr	0,20	
z0	0,10	m
zmin	5	m
ct	1	
z	5,2	m
ce	1,87	
cp	0,7	

cd	1	
p	391	N/m^2

pressione vento riferita a superficie cilindrica

7.5 Carico durante il montaggio

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

7.6 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 ag (accelerazione orizzontale massima del terreno), F0 (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 VR della struttura e dalla probabilità di superamento nella vita di riferimento PVR associate a ciascuno degli stati limite considerati.

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

Classe d’uso	IV
Vita nominale Vn	100 anni
Coefficiente d’uso Cu	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	ag/g	FO	TC*	CC	Ss	Pga (ag*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 $i \leq 15^\circ$ ".

7.7 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 indicati i carichi sopra descritti, riportati alla base del sostegno e pertanto agenti direttamente sulla fondazione. Tali valori sono stati forniti dal produttore dell'apparecchiatura in esame.

Tabella 8.1: Tabella input fondazioni: TG 145KV T35-36 – ABB

TABELLA INPUT FONDAZIONI TA 132KV											
PESI			TIRI CONDUTTORI			GHIACCIO			NEVE		
Fx	0	daN	Fx	0	daN	Fx	0	daN	Fx	0	daN
Fy	0	daN	Fy	0	daN	Fy	0	daN	Fy	0	daN
Fz	465	daN	Fz	0	daN	Fz	10	daN	Fz	0	daN
Mx	0	daN m	Mx	0	daN m	Mx	0	daN m	Mx	0	daN m
My	0	daN m	My	0	daN m	My	0	daN m	My	0	daN m
Mz	0	daN m	Mz	0	daN m	Mz	0	daN m	Mz	0	daN m
MANUTENZIONE X			MANUTENZIONE Y			VENTO X			VENTO Y		
Fx	100	daN	Fx	0	daN	Fx	75	daN	Fx	0	daN
Fy	0	daN	Fy	100	daN	Fy	0	daN	Fy	90	daN
Fz	100	daN	Fz	100	daN	Fz	0	daN	Fz	0	daN
Mx	0	daN m	Mx	273	daN m	Mx	0	daN m	Mx	290	daN m
My	273	daN m	My	0	daN m	My	224	daN m	My	0	daN m
Mz	0	daN m	Mz	0	daN m	Mz	0	daN m	Mz	0	daN m
SISMA X			SISMA Y			SISMA Z			CORTO CIRCUITO 1		
Fx	103	daN	Fx	0	daN	Fx	0	daN	Fx	0	daN
Fy	0	daN	Fy	103	daN	Fy	0	daN	Fy	352	daN
Fz	0	daN	Fz	0	daN	Fz	24	daN	Fz	0	daN
Mx	0	daN m	Mx	337	daN m	Mx	0	daN m	Mx	1621	daN m
My	337	daN m	My	0	daN m	My	0	daN m	My	0	daN m
Mz	0	daN m	Mz	0	daN m	Mz	0	daN m	Mz	0	daN m

Y

Asse Sbarra

X

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 seguito si riporta il calcolo dei parametri della sollecitazione alla base del sostegno ottenuti per ogni combinazione di carico, per l'apparecchiatura presa in esame.

8.1 Combinazione di carico agli stati limite ultimi SLU

	Pp PESI	Ghiaccio	manutenzione x	manutenzione y	Vento X	Vento Y	TIRO	
Azione assiale	4650	100	1000	1000	0	0	0	N
Taglio in X	0	0	1000	0	750,0	0	0	N
Taglio in Y	0	0	0	1000	0	900	0	N
Momento flettente rispetto asse X	0	0	0	2730	0	2900	0	N m
Momento flettente rispetto asse y	0	0	2730	0	2240	0	0	N m

Parametri della sollecitazione alla base del sostegno - SLU						
	SLU_1	SLU_2	SLU_3	SLU_4	SLU_5	
Azione assiale	9120	9120	9120	9195	9120	N
Taglio in X	2175	2625	2175	2175	2175	N
Taglio in Y	2310	2310	2850	2310	2310	N
Momento flettente rispetto asse X	6705	6705	8445	6705	6705	N m
Momento flettente rispetto asse y	6111	7455	6111	6111	6111	N m

8.2 Combinazione di carico sismica

Azioni esterne alla base del singolo sostegno – rif. Tabella input fondazioni.

	Pp PESI	manutenzione		manutenzione	TIRO	Sisma x	Sisma y	
		Ghiaccio	x	y				
Azione assiale	4650	100	1000	1000	0	0	0	N
Taglio in X	0	0	1000	0	0	1030	0	N
Taglio in Y	0	0	0	1000	0	0	1030	N
Momento flettente rispetto asse X	0	0	0	2730	0	0	3370	N m
Momento flettente rispetto asse y	0	0	2730	0	0	3370	0	N m

Parametri della sollecitazione alla base del sostegno			
	Sismica_1	Sismica_2	
Azione assiale	7650	7650	N
Taglio in X	2530	1809	N

Taglio in Y	1809	2530	N
Momento flettente rispetto asse X	5106	7465	N m
Momento flettente rispetto asse y	7465	5106	N m

8.3 Combinazione di carico da corto circuito

	Pp	manutenzione x	manutenzione y	Corto circuito	
Azione assiale	4650	1000	1000	0	N
Taglio in X	0	1000	0	0	N
Taglio in Y	0	0	1000	3520	N
Momento flettente rispetto asse X	0	0	2730	16210	N m
Momento flettente rispetto asse y	0	2730	0	0	N m

Parametri della sollecitazione alla base del sostegno

	CC1	
Azione assiale	4650	N
Taglio in X	0	N
Taglio in Y	3520	N
Momento flettente rispetto asse X	16210	N m
Momento flettente rispetto asse y	0	N m

8.4 Combinazione di carico agli stati limite di esercizio SLE

Per gli stati limite di esercizio, sono stati calcolati i parametri della sollecitazione alla sommità del supporto poiché in tale sezione, considerato lo schema statico di una colonna incastrata alla base, si manifestano gli spostamenti laterali maggiori.

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 supporto.

La forza vento sulla struttura di sostegno invece viene considerata come uniformemente distribuita su tutta la lunghezza del supporto.

Azione vento			
Diametro	apparecch.	0,380	m
Altezza	apparecch.	2,200	m
Area esposta al vento	apparecch.	0,836	m^2
	ZG,app=	1,400	
Diametro	sost	0,219	m

Altezza	sost	2,730	m
Area esposta al vento	sost	0,598	m^2
	Z _{G,sost} =	1,365	
Altezza applicazione tiro		4,930	m
Altezza applicazione montaggio		2,730	m

Pressione vento			
p _{sup cil}	52,53	daN/m^2	
F _{v, app}	43,9	daN	Forza vento concentrata
F _{v, sost}	11,5	daN/m	Forza vento distribuita lungo sostegno
	31	daN	Forza vento concentrata
F _{v, cond}	2,1	daN/m	Forza vento distribuita lungo conduttore
	14,4	daN	Taglio derivante da FV su conduttore di sbarra
F _{v, manicotto}	1,1	daN/m	Forza vento distribuita lungo manicotto ghiaccio
	7,2	daN	Taglio derivante da FV lungo manciotto ghiaccio conduttore
Montaggio	1000	N	Carico di montaggio

9 VERIFICA DEL SOSTEGNO

Il sostegno è stato oggetto di verifica di resistenza delle membrature e verifica degli spostamenti laterali.

La verifica degli spostamenti laterali è 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 _x	1928,0	cm ⁴
W _{el}	176,0	cm ³
W _{pl}	229236	mm ³
A	33,6	cm ²
Classe	2	
A _v	2141	mm ²
V _{Rd}	417913	N
M _{pl,Rd}	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.

Sollecitazioni di calcolo	Sismica_1	Sismica_2	CC1	SLU 2	SLU 3	
Azione assiale	7650	7650	4650	9120	9120	N
Taglio in X	2530	1809	0	2625	2175	N
Taglio in Y	1809	2530	3520	2310	2850	N

Momento flettente rispetto asse X	5106	7465	16210	6705	8445	N m
Momento flettente rispetto asse y	7465	5106	0	7455	6111	N m
VE,d, tot (N)	3110	3110	3520	3497	3585	N
ME,d, tot (N m)	9044	9044	16210	10027	10424	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: $M_{Ed}/M_{pl,Rd} \leq 1$

A_V	2141	mm ²
V_{rd}	417913	N

VERIFICA	Sismica_1	Sismica_2	CC1	SLU 2	SLU 3
$V_{E,d, tot}/V_{Rd}$	0,007	0,007	0,008	0,008	0,009
$M_{Ed,tot}/M_{plRd}$	0,117	0,117	0,209	0,129	0,134
<1	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
<1	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato

▪ **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 ²
J	15300000	mm ⁴
W _{el}	135519	mm ³
f _{tk}	510,00	N/mm ²
γ _{M2}	1,25	

	Sismica_1	Sismica_2	CC1	SLU 2	SLU 3	
Med	9044195	9044195	16210000	10026667	10424123	N mm
NEd	7650	7650	4650	9120	9120	N

VEd	3110	3110	3520	3497	3585	N
-----	------	------	------	------	------	---

	Sismica_1	Sismica_2	CC1	SLU 2	SLU 3	
β	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
$T//^2+T_{perp}^2$	1,28	1,28	1,45	1,44	1,47	N/mm²
σ_{perp}	63,59	63,59	117,70	70,24	73,17	N/mm²
Valore di controllo	63,62	63,62	117,72	70,27	73,20	
$f_{tk}/(\beta\gamma_{M2})$	453,33	453,33	453,33	453,33	453,33	N/mm²
	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	

Resistenza di calcolo saldatura

9.2 Verifica degli spostamenti laterali

Si è svolto il controllo dello spostamento laterale nella sezione superiore d'estremità del supporto.

Azione vento				
Diametro	apparecch.		0,380	m m m^2 m m m^2 m^2 m
Altezza	apparecch.		2,200	
Area esposta al vento	apparecch.		0,836	
	Z _{G,app} =		1,400	
Diametro	sost	colonna	0,219	
Altezza	sost	colonna	2,730	
Area esposta al vento	sost	trav.	0,000	
Area esposta al vento	sost	colonna	0,598	
	Z _{G,sost} =		1,365	
Altezza applicazione tiro			4,604	
Altezza applicazione montaggio			2,730	
Pressione vento				
p,sup cil		525	N/m^2	
F _{v, app}		439,1	N	Forza vento su apparecchiatura (forza concentrata) Momento di trasporto vento su apparecchiatura Forza distribuita su lunghezza del sostegno Forza concentrata Carico di montaggio
Mt,app		614,8	N m	
F _{v, sost}		115,1	N/m	
		314	N	
Montaggio		1000	N	

Calcolo spostamenti estremità superiore sostegno				
E J	4,E+12	N/mm2	coeff. di comb	
f1	0,7499	mm	0,2	spostamento dato da forza vento su apparecchiatura
f2	0,0006	mm	0,2	spostamento dato da momento di trasporto
f3	0,0001	mm	0,2	spostamento dato da vento distribuito su sostegno
f4	1,7076	mm	0,8	spostamento dato da carico di montaggio
f tot	1,516	mm		Spostamento assoluto

Verifica spostamenti laterali		
δ= f _{tot} /H	0,0006	Spostamento relativo
Limite=1/150	0,0067	Valore di controllo 1/150
	Verificato	

La verifica SLE per lo spostamento laterale risulta soddisfatta.

9.3 Verifica dei tirafondi

Si effettuano due tipi di verifica:

- Verifica a rottura sulla parte filetta del tirafondo, soggetta a forze assiali e di taglio;
- Verifica a sfilamento della parte annegata nel calcestruzzo della fondazione.

Dati tirafondo

n°	4		ACCIAIO	B450C	
dist x	400	mm	f _{yk}	450,00	N/mm ²
dist y	400	mm	f _{tk}	540,00	N/mm ²
Ø	20	mm	γ _{M2}	1,25	
Ltot	1096	mm	f _{yd}	360,00	N/mm ²
L	620	mm	f _{td}	432,00	N/mm ²
L1	70	mm			
r	100	mm			
a	100	mm			
A _s	314	mm ²			
A _{res}	220	mm2			

Reazioni su singolo tirafondo							
	Sismica_1	Sismica_2	CC1	SLU 2	SLU 3		
Ned/4	-1913	-1913	-1163	-2280	-2280	N	Reazione per azione assiale
VEd TOT/4	778	778	880	874	896	N	Reazione per taglio totale
Med-xx	6383	9331	20263	8381	10556	N	Reazione per momento flettente XX
Med-yy	9331	6383	0	9319	7639	N	Reazione per momento flettente YY
Ned TOT	13801	13801	19100	15420	15915	N	Reazione verticale totale su singolo tirafondo
Verifica a rottura (tensione Von Mises)							
	Sismica_1	CC1	CC1	SLU 2	SLU 3		
δ	62,73	62,73	86,82	70,09	72,34	N/mm2	Tensione di calcolo data delle reazioni assiali
t	3,53	3,53	4,00	3,97	4,07	N/mm2	Tensione di calcolo data dalle reazioni a taglio
δvon Mises	63,03	63,03	87,09	70,43	72,68	N/mm2	Tensione di Von Mises
fcfr	388,80	388,8	388,8	388,8	388,8	N/mm2	Resistenza a rottura
	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato		
Verifica a sfilamento							
Ned	1380	1380	1910	1542	1592	daN	Reazione per azione assiale
Nmax	12411	12411	12411	12411	12411	daN	resistenza max tirafondo
	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	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