



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 <input checked="" type="checkbox"/> APPROVAZIONE <input type="checkbox"/> COSTRUZIONE <input type="checkbox"/> AS BUILT <input type="checkbox"/> INFORMAZIONE		TITOLO RELAZIONE DI CALCOLO OPERE IN C.A. - SEZIONATORE		FILE CAP-06_04-RT - Rel. calcolo opere in c.a.	FOGLIO DI 1 / 29 FORMATO A4
		Documento No.		CAP-06_04-RT	

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	11
7.1	Pesi propri	11
7.2	Peso del ghiaccio	11
7.3	Azione del vento	11
7.4	Carico durante il montaggio	11
7.5	Azione sismica	
7.6	Condizione di carico da corto circuito	13
8	CARICHI AGENTI E DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI DELLA SOLLECITAZIONE	14
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	14
9	VERIFICA DELLA FONDAZIONE	15
9.1	Verifiche SLU di tipo geotecnico	17
9.1.1	Verifica a ribaltamento EQU	19
9.1.2	Collasso per carico limite fondazione-terreno GEO	21
9.1.3	Collasso per scorrimento sul piano di posa GEO	23
9.2	Verifiche SLU di tipo strutturale	24
9.2.1	Verifica strutturale della piastra	24
9.2.2	Verifica del batolo	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

Trattasi di fondazione costituita da una piastra in c.c.a. di spessore 30cm di dimensioni in pianta di 4,20x1,90 m; la profondità del piano di posa è di 0,70m.

Sulla fondazione sono impostati tre batoli in c.c.a. di dimensioni 0,80x0,60x0,50m, sporgenti dal piano campagna di 10cm. Uno di questi è posto in posizione centrale della fondazione, i due rimanenti si trovano alle estremità della fondazione, ad interasse di 2,20m da questo. Ai batoli di estremità è ancorato il sostegno dell'apparecchiatura, tramite tirafondi Ø20 ad uncino 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 (Coelme SpA).

SEZIONATORE

Sostegno	
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^2]	0,581
H sez trasverso [m]	0,1
Lunghezza trasverso HE	4,8
Lunghezza trasverso UPN	1,843
Apparecchiatura	
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^2]	0,278
Altezza applicazione tiro [m]	4,500
Altezza applicazione montaggio [m]	2,650
Collegamento elettrico	
Lunghezza campata [m]	rigido
diametro conduttore [m]	6,5+6,5
altezza	0,040
peso [daN/m]	4,50
	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 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 2010, prodotto dalla AMV Software Company¹.

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 8kg/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.

¹ 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 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 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.

7.3 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)		as=365	m s.l.m.	
ZONA	Descrizione	v b,0 (m/s)	a0 (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

7.4 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 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 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	S_s	$P_g(a_g \cdot S)$ (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 ricavati dai dati forniti dal produttore.

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

Si riportano di seguito i carichi agenti sulla fondazione, ottenuti dal modello di calcolo della carpenteria di sostegno, che sono impiegati per le verifiche riportate nel presente documento.

8.1 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

8.2 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

8.3 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 DELLA FONDAZIONE

Le verifiche allo stato limite ultimo condotte sulla struttura di fondazione in c.a. sono di due tipi, secondo la vigente normativa:

- SLU di tipo geotecnico
 - Ribaltamento della fondazione (EQU)
 - Collasso per raggiungimento del carico limite dell'insieme fondazione-terreno (GEO)
 - Scorrimento sul piano di posa (GEO)
- SLU di tipo Strutturale (STR):
 - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata, analogamente a quanto previsto nel § 6.8 delle NTC 2018, secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tab. 6.8.I per le resistenze globali.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate applicando la combinazione (A1+M1+R3) di coefficienti parziali prevista dall'Approccio 2, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I.

Nelle verifiche nei confronti di SLU di tipo strutturale (STR), il coefficiente γ_R non deve essere portato in conto.

La lettera A indica i coefficienti da applicare alle sollecitazioni, M i coefficienti da applicare ai parametri geotecnici del terreno e R i coefficienti da applicare per le resistenze globali.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_r	γ_γ	1,0	1,0

Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale
	(R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

Le verifiche agli stati limite ultimi di tipo strutturale sono svolte sugli elementi principali che costituiscono la fondazione: la piastra di base ed il batolo.

Per quanto riguarda la piastra di base, l'armatura longitudinale consiste inferiormente e superiormente in Ø12/25 cm. Le verifiche si svolgono sulla sezione di dimensione 100x30cm.

Il batolo viene verificato invece come una trave incastrata nella sezione di interfaccia tra il batolo stesso e la piastra di fondazione, su cui agiscono le sollecitazioni trasmesse dalla struttura fuori terra sovrastante. Si svolge la verifica a pressoflessione.

9.1 Verifiche SLU di tipo geotecnico

Sono state considerate le combinazioni di carico sismica, agli stati limite ultimi e di corto circuito.

Per ogni combinazione di carico ottenuta impiegando i coefficienti parziali riportati nella seguente tabella, sono stati calcolati i parametri della sollecitazione alla base di ogni sostegno. Quindi, tra quelle esaminate, si sono considerate le combinazioni di carico che trasmettono alla fondazione:

- 1. Massimo momento ribaltante attorno ad una asse trasversale a quello della linea $M_{x,MAX}$
- 2. Massimo momento ribaltante attorno ad una asse parallelo a quello della linea $M_{y,MAX}$
- 3. Minima azione verticale.

Tabella 9.1: Coefficienti parziali per le verifiche di tipo geotecnico.

			NTC 2018 - Tab. 6.2.I			NTC 2018 - Tab. 6.2.II				NTC 2018 - Tabb. 6.4.I, 6.8.I
VERIFICHE SLU - GEO	Appr	Comb	γ_{G1}	γ_{G2}	γ_{Q1}	$\gamma_{j' \tan}$	$\gamma_{c'}$	γ_{cu}	γ_g	γ_R
Collasso per carico limite (GEO)	2		(1)(1,3)	(0,8)(1,5)	(0)(1,5)	1	1	1	1	2,3
Scorrimento (GEO)	2		(1)(1,3)	(0,8)(1,5)	(0)(1,5)	1	1	1	1	1,1
Stabilità globale (EQU)	1	2	(0,9)(1,1)	(0,8)(1,5)	(0)(1,5)	1,25	1,25	1,4	1	1,1

Per calcolare le sollecitazioni alla base della fondazione, ai valori dei parametri della sollecitazione calcolati alla base del sostegno sono stati sommati i corrispettivi contributi dovuti allo sforzo di taglio e al peso della fondazione stessa.

A favore della sicurezza non è stato considerato il contributo del terreno sulla fondazione (spessore terreno=0).

Nel caso di verifica sismica il peso viene ridotto di una quantità pari al peso moltiplicato per l'accelerazione calcolata del terreno in direzione verticale.

Caratteristiche del TERRENO			
γ_t	1800	daN/m^3	Peso di volume terreno
γ'	-	daN/m^3	Peso di volume immerso
ϕ'	20	°	Angolo di attrito in gradi
ϕ'	0,349	rad	Angolo di attrito in radianti
c'	0	daN/m^2	Coefficiente di coesione
Caratteristiche del CLS			
Rck	250	daN/cm2	

γ_{cls}	2500	daN/m ³	Peso specifico cls
γ'_{cls}	1500	daN/m ³	Peso specifico cls immerso
Caratteristiche FONDAZIONE			
B_x	1,9	m	lato minore//x
B_y	4,2	m	lato maggiore//y
b	0,6	m	lato minore batolo
l	0,8	m	lato maggiore batolo
e_{bx}	0	m	eccentricità batolo y
e_{by}	0	m	eccentricità batolo x
D	0,5	m	altezza batolo
d	0,3	m	altezza piastra
$sp=H$	0,8	m	spessore totale fondazione
spf	0,1	m	spessore fondazione fuori terra
$sp\ t$	0,4	m	Spessore terreno
$P\ cls$	77850	N	Peso fondazione cls
$P\ terreno$	49704	N	Peso terreno su fondazione
$P\ tot\ fon$	-127554	N	Peso totale cls+terreno

Si riportano gli esiti delle verifiche svolte sulla fondazione.

9.1.1 Verifica a ribaltamento EQU

La verifica a ribaltamento è stata eseguita per le tre condizioni (1, 2, 3) per le combinazioni di carico Corto Circuito (CC), Sismica e SLU. La verifica risulta soddisfatta.

Si riportano gli esiti della verifica a ribaltamento svolta per la combinazione di carico da corto circuito per le tre condizioni (1, 2, 3) analizzate per le quali le azioni sulla fondazione sono coincidenti.

Nei confronti del ribaltamento la combinazione di carico simica è risultata più gravosa per la fondazione in esame

- Combinazione di carico sismica

Azioni esterne riportate alla base della singola colonna

	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

PdS alla base del sostegno - SISMICA

	Sismica_1	Sismica_2	Sismica_3	Sismica_4	
Azione assiale	28170	30726	28152	30690	N
Taglio in X	12820	7000	8320	2500	N
Taglio in Y	2500	8320	7000	12820	N
Momento flettente rispetto asse X	6280	20900	18160	32780	N m
Momento flettente rispetto asse y	39840	20300	27920	8380	N m

Parametri della sollecitazione alla base della fondazione

Condizione	Comb.	Mx (daN m)	Ty (daN)	My (daN m)	Tx (daN)	N (daN)	
1. Mx max	SISMICA 4	3278	1282	838	250	-3069	
2. My max	SISMICA 1	628	250	3984	1282	-2817	
3. N min	SISMICA 3	1816	832	2792	700	-2815	
1. Mx max	SISMICA 4	1026	0	200	0	-10842	Contributo alle sollecitazioni dato dalla fondazione
2. My max	SISMICA 1	200	0	1026	0	-10842	Contributo alle sollecitazioni dato dalla fondazione
3. N min	SISMICA 3	666	0	560	0	-12755	Contributo alle sollecitazioni dato dalla fondazione
Parametri della sollecitazione alla base della fondazione							
Condizione	Comb.	Mx (daN m)	Ty (daN)	My (daN m)	Tx (daN)	N (daN)	
1.	SISMICA 4	4304	1282	1038	250	-13911	
2.	SISMICA 1	828	250	5010	1282	-13659	
3.	SISMICA 3	2482	832	3352	700	-15571	

Verifica a ribaltamento

Condizione	1.	2.	3.		
Ed= M rib,xx	4304	828	2482	daN m	Momento di ribaltamento totale rispetto asse xx Momento stabilizzante derivante da carichi di compressione-asse xx Verifica
Rd= M stab xx / yR	26558	26076	29726	daN m	
Ed<Rd	Verificato	Verificato	Verificato		
m rib,xx	6,17	31,49	11,98		
Verifica stabilità	Verificato	Verificato	Verificato		
Ed= M rib,yy	1038	5010	3352	daN m	Momento di ribaltamento totale rispetto asse yy Momento stabilizzante derivante da carichi di compressione-asse yy Verifica
Rd= M stab yy / yR	12014	11796	13447	daN m	
Ed<Rd	Verificato	Verificato	Verificato		
m rib,yy	11,57	2,35	4,01		
Verifica stabilità	Verificato	Verificato	Verificato		

9.1.2 Collasso per carico limite fondazione-terreno GEO

Il carico limite per la fondazione è stato calcolato mediante la formula trinomia del carico limite:

$$Q_{lim} = N_q \gamma_1 D s_q i_q d_q b_q g_q + N_{cc} s_c i_c d_c b_c g_c + 0,5 N_{gg} B s_g i_g b_g g_g$$

per le tre condizioni (1, 2, 3) per le combinazioni di carico Corto Circuito (CC), Sismica e SLU. La verifica risulta soddisfatta.

Si riporta di seguito l'esito della verifica condotta nella combinazione di carico sismica risultata più gravosa per la fondazione in esame.

• Combinazione di carico sismica

PdS alla base della singola colonna					
	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	Nm
PdS alla base del sostegno - SISMICA					
	Sismica_1	Sismica_2	Sismica_3	Sismica_4	
Azione assiale	31300	34140	31280	34100	N
Taglio in X	12820	7000	8320	2500	N
Taglio in Y	2500	8320	7000	12820	N
Momento flettente rispetto asse X	6280	20900	18160	32780	N m
Momento flettente rispetto asse y	39840	20300	27920	8380	Nm

Condizione	Comb.	Mx (daN m)	Ty (daN)	My (daN m)	Tx (daN)	N (daN)
1. Mx max	SISMICA 4	3278	1282	838	250	-3410
2. My max	SISMICA 1	628	250	3984	1282	-3130
3. N min	SISMICA 3	1816	700	2792	832	-3128

1. Mx max	SISMICA 4	1026	0	200	0	-16582	Contributo alle sollecitazioni dato dalla fondazione
2. My max	SISMICA 1	200	0	1026	0	-16582	Contributo alle sollecitazioni dato dalla fondazione
3. N min	SISMICA 3	560	0	666	0	-16582	Contributo alle sollecitazioni dato dalla fondazione

Parametri della sollecitazione alla base della fondazione

Condizione	Comb.	Mx (daN m)	Ty (daN)	My (daN m)	Tx (daN)	N (daN)
1.	SISMICA 4	4304	1282	1038	250	-19992
2.	SISMICA 1	828	250	5010	1282	-19712
3.	SISMICA 3	2376	700	3458	832	-19710

APPROCCIO 2 A1+M1+R3				
Condizione	1.	2.	3.	
Bx=	1,90	1,90	1,90	m lato minore fondazione

Ly=	4,20	4,20	4,20	m	lato maggiore fondazione
ey=	0,22	0,04	0,12	m	eccentricità yy
ex=	0,05	0,25	0,18	m	eccentricità xx
L'y=	3,77	4,12	3,96	m	dimensione yy efficace della fondazione
B'x=	1,80	1,39	1,55	m	dimensione xx efficace della fondazione
H tot	1306	1306	1087	daN	Carico orizzontale base fondazione
V tot	19992	19712	19712	daN	Carico verticale totale base fondazione
mL	1,323	1,253	1,281		
mB	1,677	1,747	1,719		
θ	1,571	1,571	1,571	rad	angolo di applicazione di H rispetto alla direzione L'
m	1,677	1,747	1,719		
D	0,70	0,70	0,70	m	profondità piano di posa
Ed	19992	19712	19710	daN	Carico totale di compressione

$q_{lim}=N_q\gamma_1D s_q i_q d_q b_q + N_{cc} s_c i_c d_c b_c + 0,5 N_{\gamma}\gamma B s_{\gamma} i_{\gamma} b_{\gamma}$				
APPROCCIO 2 A1+M1+R3	1.	2.	3.	
φ	0,349	0,349	0,349	
γ	1800	1800	1800	
c'k	0	0	0	
Nq	9,6	9,6	9,6	fattori di capacità portante
Nc	19,32	19,32	19,32	
Nγ	9,44	9,44	9,44	
sq	1,222	1,158	1,182	fattori di forma
sc	1,237	1,168	1,194	
sγ	0,809	0,865	0,843	
iq	0,893	0,887	0,907	fattori di inclinazione del carico
ic	0,881	0,875	0,897	
iγ	0,835	0,828	0,857	
bq	1	1	1	fattori di inclinazione del piano di posa
bc	1	1	1	
bγ	1	1	1	
gq	1	1	1	fattori di inclinazione del piano campagna
gc	1	1	1	
gγ	1	1	1	
qlim	10788	9588	10321	daN/m2
QLIM	73044	54923	63298	daN
Ed	19992	19712	19710	daN
	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
rapporto Ed/Rd	0,27	0,36	0,31	

9.1.3 Collasso per scorrimento sul piano di posa GEO

La verifica a scorrimento è stata eseguita per le tre condizioni (1, 2, 3) per le combinazioni di carico Corto Circuito (CC), Sismica e SLU, prendendo in considerazione il carico verticale Qv e il carico orizzontale massimo.

Il carico verticale è stato poi moltiplicato per la tangente dell’angolo di attrito del terreno ottenendo così il carico limite orizzontale. Tale carico è stato poi diviso per il coefficiente $\gamma_r=1,1$ ottenendo così il carico orizzontale massimo resistente $Q_{h,Rd}$. Affinché la verifica sia soddisfatta, il carico resistente deve risultare superiore al carico agente.

La verifica risulta sempre soddisfatta.

Si riportano gli esiti della verifica a scorrimento sul piano di posa svolta per la combinazione di carico sismica risultata la più gravosa per la fondazione.

Verifica a scorrimento				
Approccio 2				
(A1+M1+R3)	1.	2.	3.	
Qh	1306	1306	1087	daN
Qv	19992	19712	19710	daN
φ	25	25	25	°
c	0	0	0	kg/m²
Qh,lim	9322	9192	9191	daN
γR	1,1	1,1	1,1	
Qh,Rd	8475	8356	8355	daN
rapporto Ed/Rd	Verificato	Verificato	Verificato	
	0,154	0,156	0,130	

azione orizzontale agente

azione verticale agente

9.2 Verifiche SLU di tipo strutturale

Si riporta nell'immagine seguente una vista del modello di calcolo da cui sono stati ricavati i parametri della sollecitazione relativi alla fondazione.

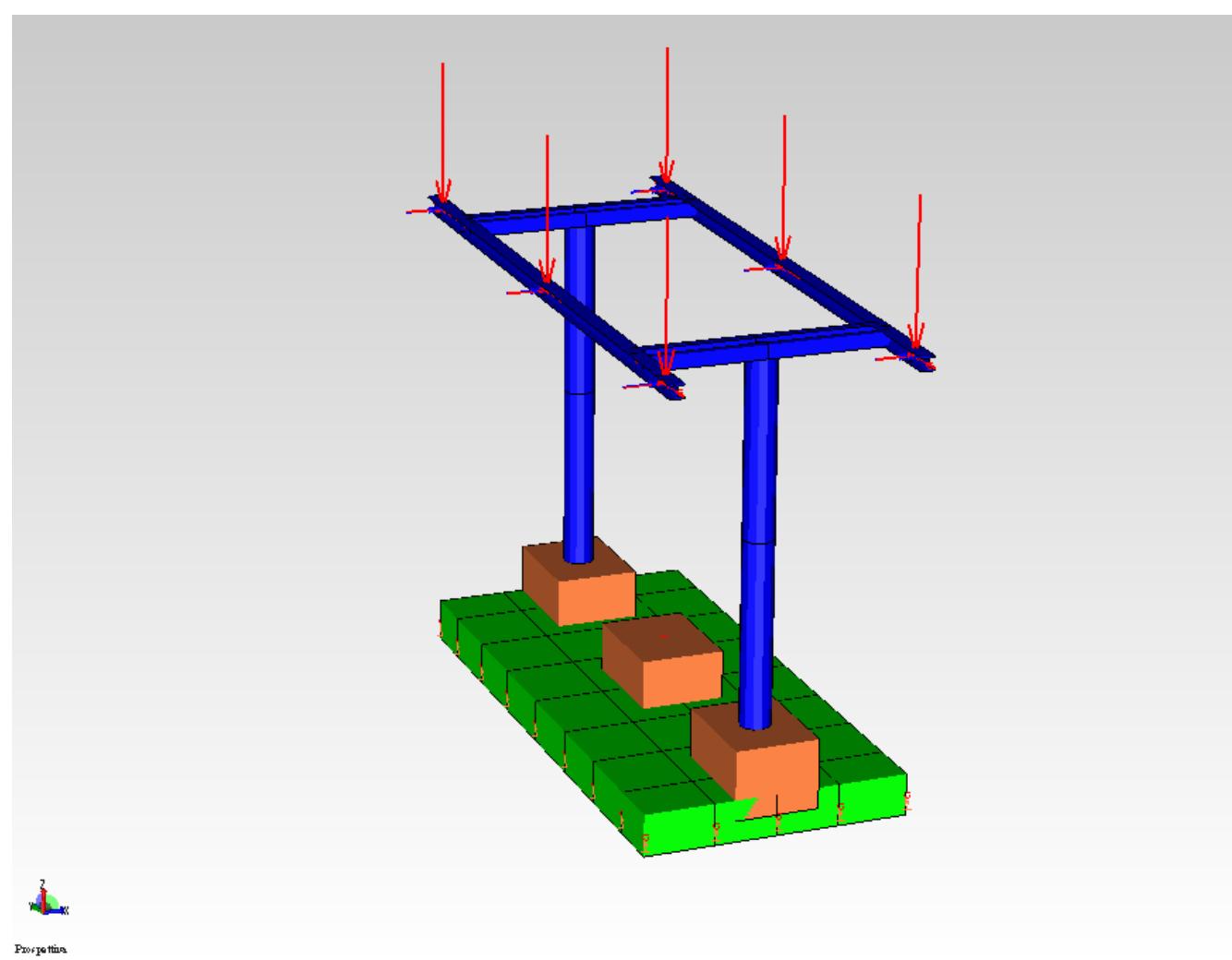


Fig. 9.1: Vista solida del modello ad elementi finiti e applicazione dei carichi sul sostegno- comb. Sismica 2.

9.2.1 Verifica strutturale della piastra

Nella tabella seguente si riportano i valori della sollecitazione flettente sulla piastra di fondazione ottenute dall’analisi statica lineare effettuata sul modello ad elementi finiti. Inoltre si riportano le mappe di colore ottenute relative alla sollecitazione flettente massima rispetto agli assi di sviluppo x e y, in cui i valori forniti dal programma di calcolo per il momento flettente sono riferiti alla lunghezza lineare di 1m di sezione. Tali valori saranno impiegati nella verifica flessione della piastra di fondazione.

M _{XX max}	910	daN m/m
M _{YY max}	1002	daN m/m

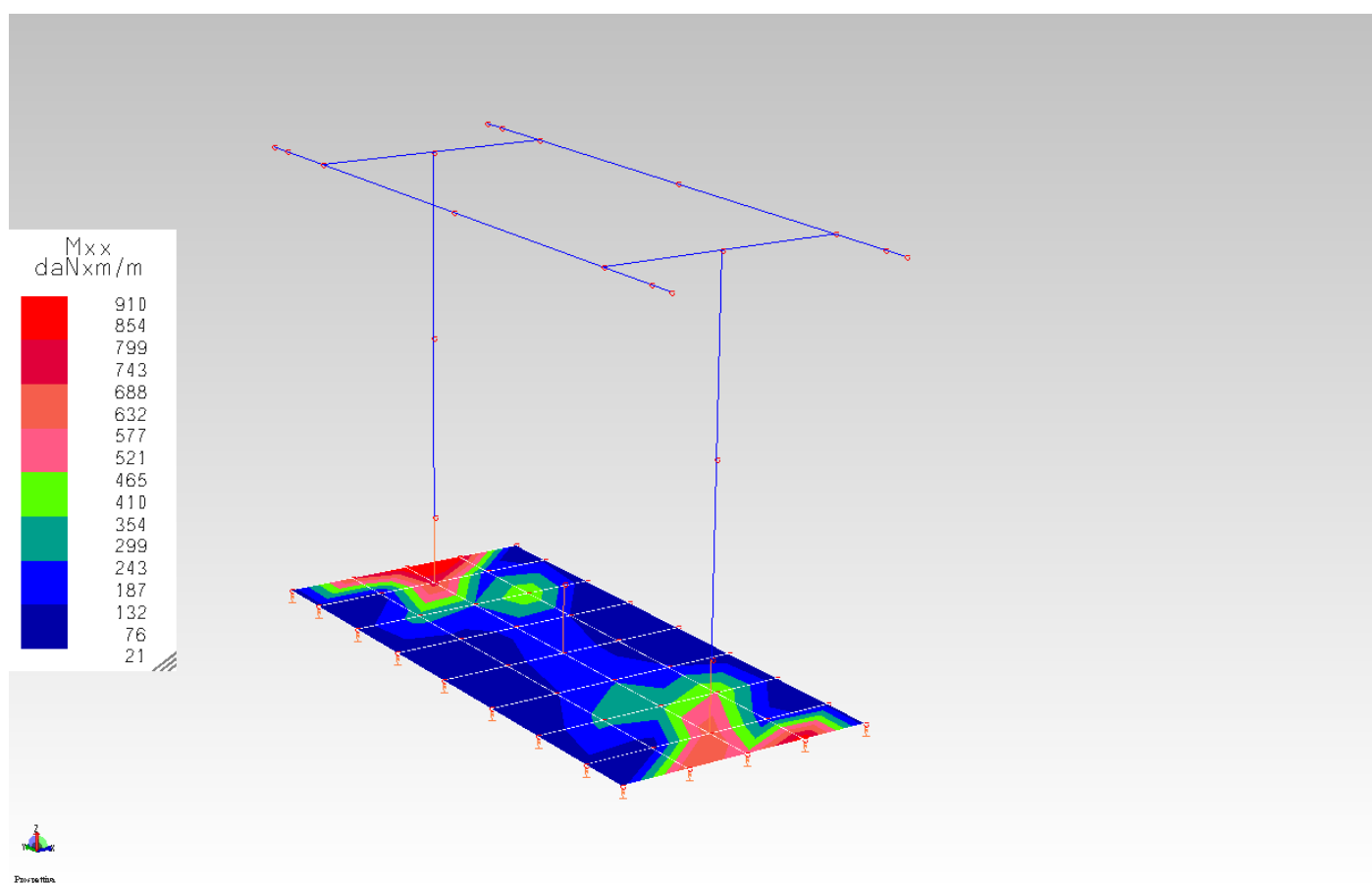


Fig. 9.2: Mappa di colore momento flettente rispetto asse globale x

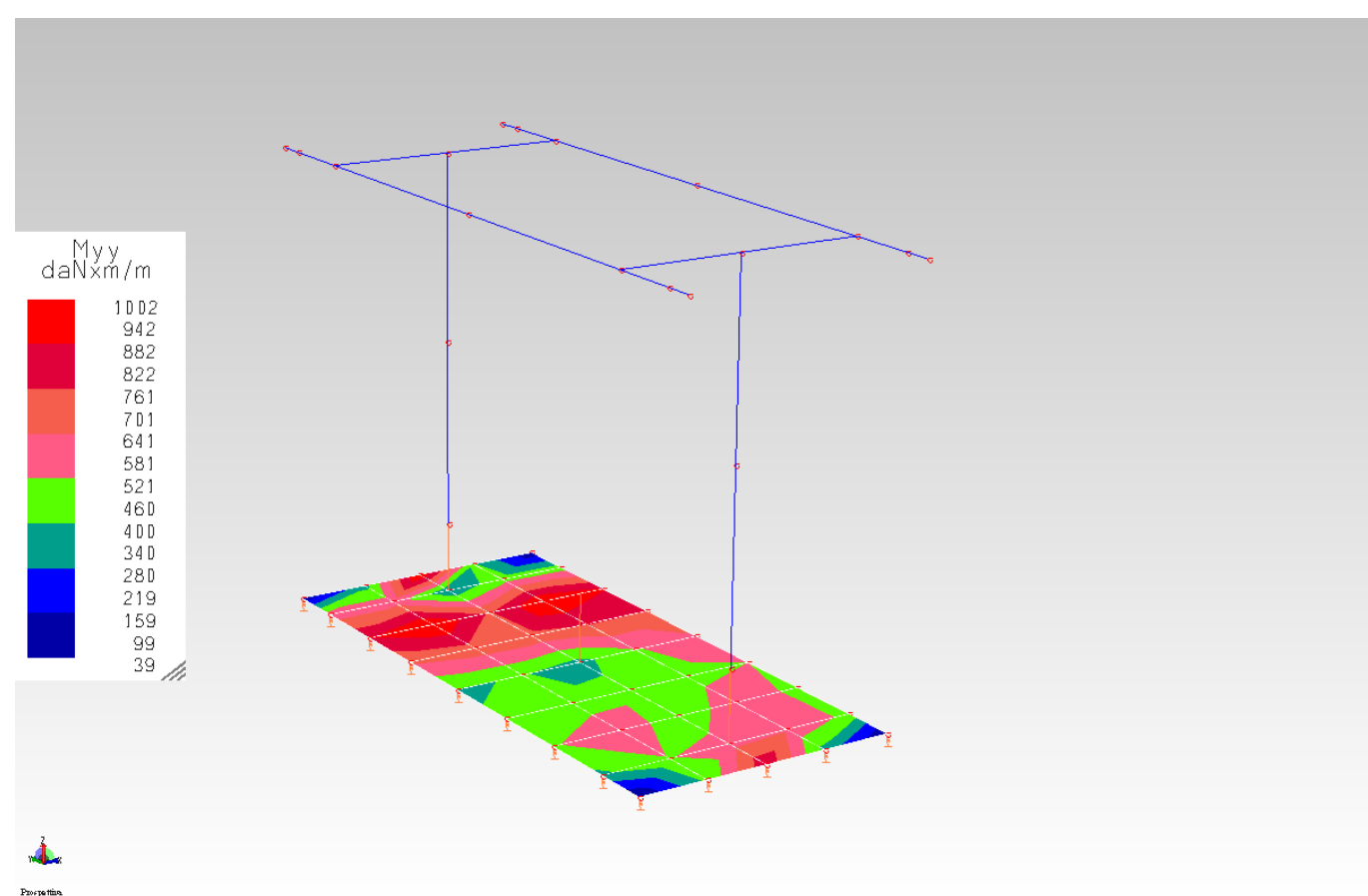


Fig. 9.3: Mappa di colore momento flettente rispetto asse globale y

Si riporta la verifica della sezione della piastra per i massimi valori di momento flettente calcolati, disponendo 1Ø12/25cm in entrambe le direzioni.

Verifica sezione 100x30cm: sollecitazione flettente 1002 daN m.

Verifica C.A. S.L.U. - File: piastra sezionatore

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : piastra sezionatore

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	4,52	26
2	4,52	4

Tipo Sezione

☒ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☐ Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. ☒ Metodo n ☐

N_{Ed} kN
M_{xEd} kNm
M_{yEd}

P.to applicazione N

☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

B450C C25/30

ε_{su} ‰ ε_{c2} ‰
f_{yd} N/mm² ε_{cu} ‰
E_s N/mm² f_{cd} N/mm²
E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
ε_{syd} ‰ σ_{c,adm} N/mm²
σ_{s,adm} N/mm² τ_{co} N/mm²
τ_{c1} N/mm²

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²
σ_s N/mm²
ε_c ‰
ε_s ‰
d cm
x x/d
δ

Metodo di calcolo

☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-
☐ Metodo n

Tipo flessione

☒ Retta ☐ Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ cm Col. modello

☐ Precompresso

Dominio M-N

File

piastra sezionatore

M [kNm]

N [kN]

—■— M-NRd
—●— M-NEd

Sollecitazioni

N.	N [kN]	M [kNm]
1	0	10,02

Aggiunge

Valori Infilisci punti

La verifica della sezione è soddisfatta.

9.2.2 Verifica del batolo

Il batolo viene verificato come una trave incastrata nella sezione di interfaccia tra il batolo stesso e la piastra di fondazione, su cui agiscono le sollecitazioni trasmesse dalla struttura fuori terra sovrastante.

Si svolge la verifica a pressoflessione deviata sulla sezione caratterizzata da:

sezione: 80x60cm copriferro: 4cm

I livello di armatura: 3Ø10

II livello di armatura: 2Ø10

III livello di armatura: 3Ø10

Le verifiche a pressoflessione deviata sulla sezione del batolo sono condotte considerando i parametri della sollecitazione ottenuti dalle combinazioni di carico SLU, con massimo momento flettente attorno all'asse x e all'asse y, rispettivamente asse trasversale e parallelo alla linea.

Ntot	2755	daN	Carico di compressione totale
Msdx	1991	daNm	Momento flettente di calcolo rispetto asse x
Msdy	2313	daNm	Momento flettente di calcolo rispetto asse y

Verifica batolo, sezione 80x60cm.

Verifica C.A. S.L.U. - File: batolo sez 60x80

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : batolo sez 60x80

N° Vertici 4 Zoom N° barre 8 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	80	0
3	80	60
4	0	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0,79	4	4
2	0,79	40	4
3	0,79	76	4
4	0,79	4	56
5	0,79	40	56
6	0,79	76	56

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 27,55 0 kN
M_{xEd} 19,91 0 kNm
M_{yEd} 23,13 0

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

B450C C25/30

ε_{su} 67,5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391,3 N/mm² ε_{cu} 3,5 ‰
E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 14,17 N/mm²
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
ε_{syd} 1,957 ‰ σ_{c,adm} 9,75 N/mm²
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0,6
τ_{c1} 1,829

M_{xRd} 72,35 kN m
M_{yRd} 85,13 kN m
σ_c -14,17 N/mm²
σ_s 391,3 N/mm²
ε_c 3,5 ‰
ε_s 19,76 ‰
d 78,62 cm
x 11,83 x/d 0,1505
δ 0,7

Tipo Sezione
☐ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☒ Coord.

Metodo di calcolo
☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-
☒ Metodo n

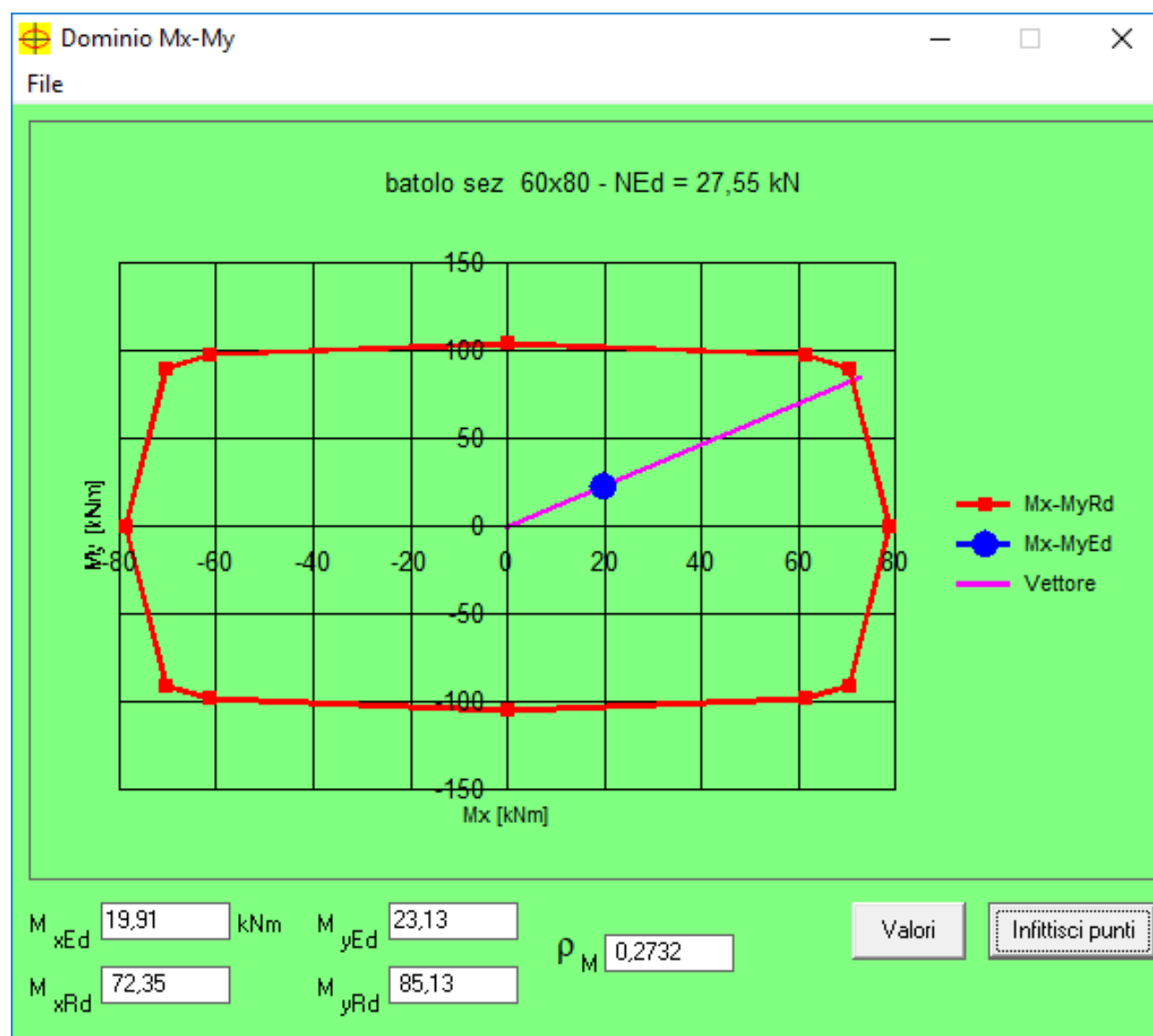
Tipo flessione
☐ Retta ☒ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio Mx-My

angolo asse neutro θ° 340

☐ Precompresso



La verifica a pressoflessione deviata del batolo risulta soddisfatta.

10 CONCLUSIONI

Sugli esiti delle analisi effettuate, per le condizioni di carico statico e per la condizione di carico sismica effettuata secondo le NTC 2018, risulta che per tutte le combinazioni di carico applicate:

- le verifiche di tipo geotecnico sulla fondazione in c.a. risultano verificate;
- le verifiche di tipo strutturale sulla fondazione in c.a. risultano verificate.

Il progettista