



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 OPERE IN C.A. - INTERRUTTORE	CAP-06_05-RT - Rel. calcolo opere in c.a.	1 / 33	A4	
<input type="checkbox"/> COSTRUZIONE		Documento No.			
<input type="checkbox"/> AS BUILT		CAP-06_05-RT			
<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	11
	7.1 Pesi propri	
	7.2 Peso del ghiaccio	11
	7.3 Azione del vento	
	7.4 Carico durante il montaggio	12
	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	18
	8.3 Combinazione di carico da corto circuito	18
9	VERIFICA DELLA FONDAZIONE	19
	9.1 Verifiche SLU di tipo geotecnico	21
	9.1.1 Verifica a ribaltamento EQU	23
	9.1.2 Collasso per carico limite fondazione-terreno GEO	25
	9.1.3 Collasso per scorrimento sul piano di posa GEO	27
9.2	Verifiche SLU di tipo strutturale	28
10	CONCLUSIONI	

Allegati

Error! Bookmark not defined.

1 PREMESSA

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

- n. 1 INTERRUTTORE

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 a cui è vincolata la struttura di supporto dei tre poli dell'apparecchiatura. La piazzola opzionale non viene presa in considerazione nel calcolo di verifica.

La piastra verificata ha dimensioni di 7,10x1,80x0,70m al centro della quale è ricavata una canaletta di dimensioni 0,50 x 0,30 m che si sviluppa lungo tutta la lunghezza della fondazione. La struttura di sostegno dell'interruttore tripolare è ancorata alla fondazione mediante tasselli o zanche, in due posizioni. La posizione dell'asse degli ancoraggi è centrata nel senso del lato minore della fondazione e posta rispettivamente a 2,28 metri dalle estremità. L'interasse degli ancoraggi nel senso longitudinale della fondazione è di 254 cm, come riportato nello schematico ricevuto dal fornitore e riportato in allegato al presente documento.

La struttura di supporto è costituita da un telaio in carpenteria metallica, realizzato con due elementi verticali di altezza 2,5 metri e collegati in sommità da un traverso con due sbalzi laterali. Al traverso sono vincolati i tre poli dell'apparecchiatura in esame.

Per quanto riguarda le apparecchiature installate sulla fondazione.

INTERRUTTORE TRIPOLARE

Sostegno	
Peso [daN]	630,00
Altezza [m]	2,675
Baricentro [m]	1,3375
Diametro [m]	0,220
h vento [m]	1,3375
Sup. esposta al vento [m^2]	0,589
H sez traverso [m]	0,2
Lunghezza traverso	5,089
Apparecchiatura	
Peso [daN]	1920
Altezza [m]	2,919
Baricentro [m]	1,4595
Sezione [m]	0,28
H vento (m)	4,1345
Diametro testa [m]	0,28
altezza attacco dx	5,963
Sup. esposta al vento [m^2]	0,817
Altezza attacco sx	4,6
Altezza applicazione tiro [m]	5,594
Altezza applicazione montaggio [m]	2,675
Collegamento elettrico	
Lunghezza campata [m]	7,5+3,5
diametro conduttore [m]	0,040
altezza	5,96+4,6
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

Nel caso in esame, la struttura di supporto è fornita direttamente dal fornitore dell’apparecchiatura e pertanto non è stata oggetto dimensionamento.

3. Verifica della fondazione

Con riferimento allo schematico dell’apparecchiatura e della relativa struttura di supporto, è stato realizzato un modello di calcolo ad elementi finiti cui sono stati applicati i carichi descritti al paragrafo precedente, che combinati tra loro secondo quanto riportato al capitolo 6 e in tabella 6.1, hanno fornito i parametri della sollecitazione alla base della struttura di supporto.

Tali parametri della sollecitazione sono stati considerati come carichi massimi agenti sulla fondazione, sulla quale sono svolte le verifiche, 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.

La modellazione ad elementi finiti della struttura di supporto è stata eseguita mediante l'ausilio del programma di calcolo Mastersap Top, 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 è stata modellata mediante l'impiego degli elementi strutturali “Travi e pilastri”, avendo cura di vincolare i nodi di base per simulare l'ancoraggio alla fondazione. Agli elementi modellati sono stati assegnati idonei materiale e sezione. Ai nodi coincidenti con i tre punti di ancoraggio dell'apparecchiatura al sostegno sono stati applicati i carichi nodali.
- 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 “Travi e pilastri”, in output il programma consente di visualizzare le sollecitazioni necessarie per proseguire con il dimensionamento della fondazione come sopra descritto. Nella fase di post processing, sono stati considerati, in particolare, i valori di sforzo normale, taglio e momento flettente rispetto ai due assi x e y, 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 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)		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

7.5 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 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

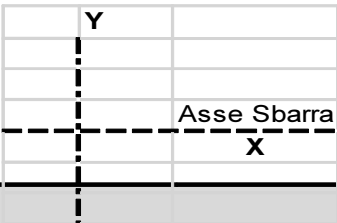
Di seguito sono riportati i carichi sopra descritti che sono stati applicati al modello di calcolo ad elementi finiti della struttura di sostegno dell'apparecchiatura.

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.



INTERRUTTORE TRIPOLARE, del tipo ABB (SF6 CIRCUIT BREAKER, SF6 BRYTARE).

Carichi derivanti da azione del vento												
pressione vento su sup. cilindriche			p sup. cil.	55,60	daN/m^2							
pressione vento su sup. piane			p sup. piane	79,43	daN/m^2							
Forza vento xx												
Superficie esposta al vento	app.	yy		2,45	m^2/m	Superficie yy_vento in dir XX			apparecch. singolo traverso singola colonna			
	traverso	yy		1,0178	m^2/m	Superficie yy_vento in dir XX						
	colonna	yy		0,59	m^2/m	Superficie yy_vento in dir XX						
Fvx, app			/3	45,45	daN	<table><tr><td>zG,app=</td><td>4,13</td><td>m</td></tr></table>				zG,app=	4,13	m
zG,app=	4,13	m										
Fvx, trav			1	80,85	daN	<table><tr><td>zG,trav=</td><td>2,78</td><td>m</td></tr></table>				zG,trav=	2,78	m
zG,trav=	2,78	m										
Fvx, col			1	46,75	daN	<table><tr><td>zG,col=</td><td>1,34</td><td>m</td></tr></table>				zG,col=	1,34	m
zG,col=	1,34	m										
My,trasporto			1	66,33	daN m							
Forza vento yy												
Superficie esposta al vento	app.	xx		2,45	m^2/m	Superficie xx_vento in dir YY			apparecch. singolo traverso singola colonna			
	traverso	xx		0	m^2/m	Superficie xx_vento in dir YY						
	colonna	xx		0,59	m^2/m	Superficie xx_vento in dir YY						
	conduttore	xx		0,04	m^2/m							
Fvy, app			/3	45,45	daN	<table><tr><td>zG,app=</td><td>4,13</td><td>m</td></tr></table>				zG,app=	4,13	m
zG,app=	4,13	m										
Fvy, trav			1	0,00	daN	<table><tr><td>zG,trav=</td><td>2,78</td><td>m</td></tr></table>				zG,trav=	2,78	m
zG,trav=	2,78	m										
Fvy, col			1	46,75	daN	<table><tr><td>zG,col=</td><td>1,34</td><td>m</td></tr></table>				zG,col=	1,34	m
zG,col=	1,34	m										
Fvy, cond rigido DX			1	8,34	daN							
Fvy, cond rigido SX			1	3,89	daN							
Mx,trasporto		vento su app.	1	78,50	daN m							
Mx,trasporto		vento su cond. DX	1	49,73	daN m							
Mx,trasporto		vento su cond. SX	1	17,90	daN m							
Peso conduttore rigido				-4,04	daN	p lineae sb. alluminio d=0,04m [daNm]			0,735			
Peso manicotto di ghiaccio 10mm				-7,77	daN	p lineare manicotto 10mm [daN/m]			1,412			

Area esposta al vento conduttore rigido	0,04	m^2/m	densità ghiaccio 900 kg/m3
Lunghezza conduttore binato DX	7,5	m	
Lunghezza conduttore binato SX	3,5	m	
Area esposta al vento conduttore rigido con ghiaccio	0,06	m^2/m	

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

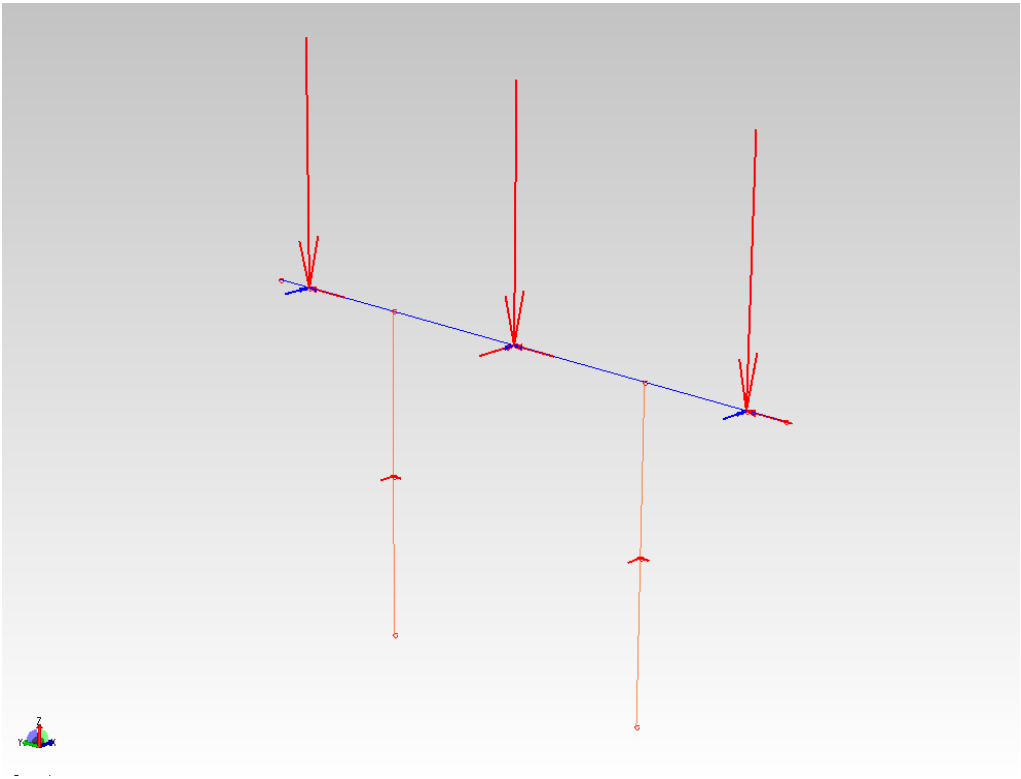
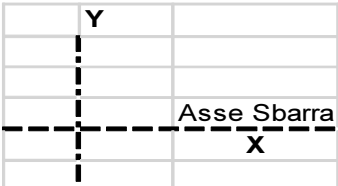


Fig. 8.1. Vista del modello ad elemeneti finiti con applicazione dei carichi in SLU 3.

8.2 Corto circuito

Il carico da corto circuito è stato applicato nella direzione yy in corrispondenza dei nodi cui è vincolata l'apparecchiatura. La forza vale 300 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 $M=300 \text{ daN} \times 2,919 \text{ m}=875,70 \text{ daN m}$.

INTERRUTTORE TRIPOLARE

Corto circuito			
valore del corto circuito	YY	300,00	daN applicato all'apparecchiatura
My,trasporto		875,70	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

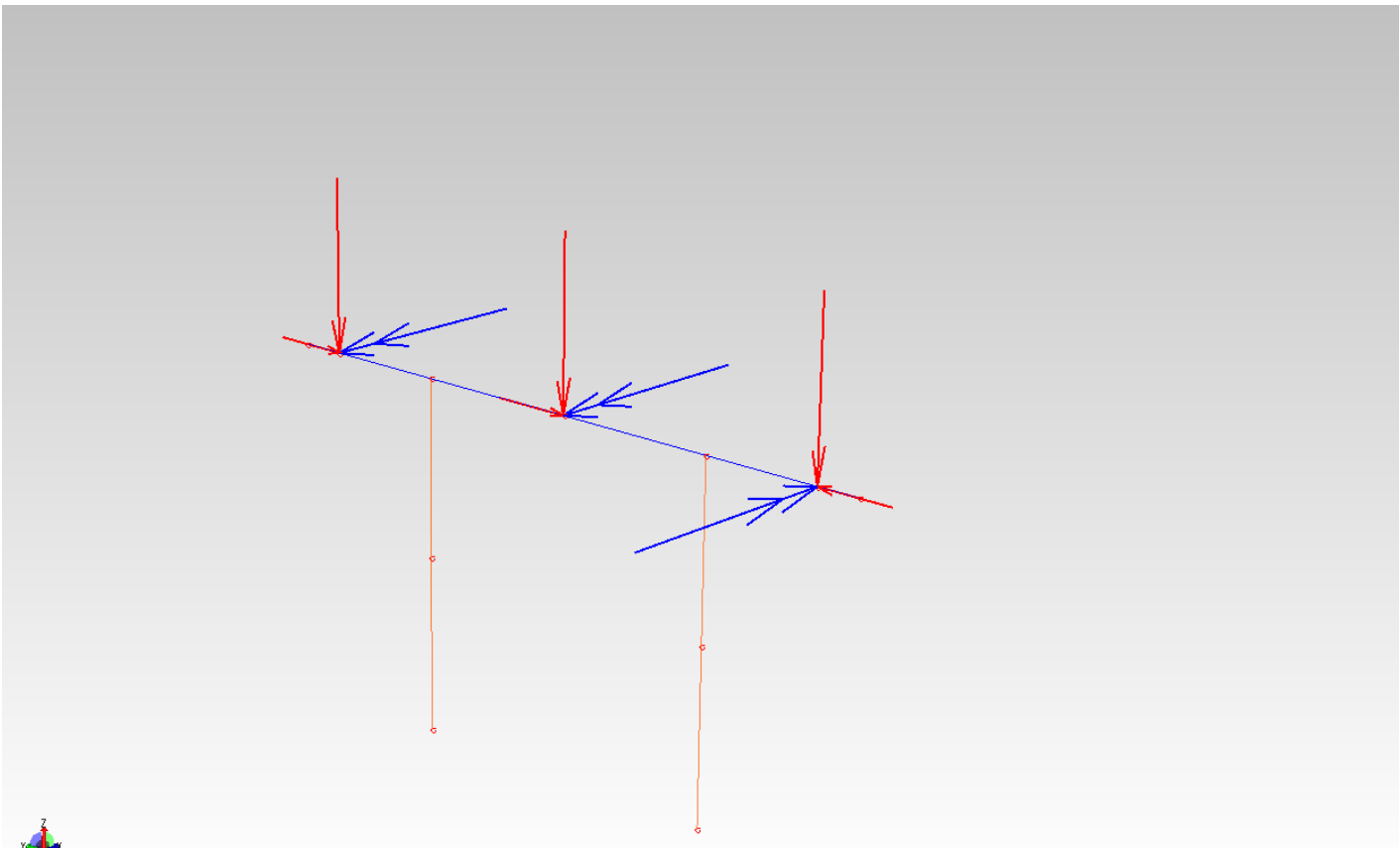


Fig. 8.2. Vista del modello ad elementi finiti con applicazione dei carichi in Corto circuito.

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:

INTERRUTTORE TRIPOLARE, del tipo ABB (SF6 CIRCUIT BREAKER, SF6 BRYTARE).

Carichi derivanti da azione sismica					
Forza orizzontale	Fh	765,00	daN		
Apparecchiatura	Wapp	1920,00	daN		
	z app	4,13	m		
Sostegno	Wtrav+col	630,00	daN		
	z trav+col	1,34	m		
	$\sum_j z_j W_j$	8780,87	daN m		
Ripartizione azione sismica su elementi principali					
		Apparecchiatura	691,59	daN	
		sostegno	73,41	daN	
M trasporto	$691,59 \cdot 2,919/2 =$	1009,37	daN m		

Anche in questo caso ai nodi del traverso (n. 6) su cui grava l'apparecchiatura, è stato applicato un momento $M= 691,59 \cdot 2,919/2=1009,37$ 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.

		G1	G2	Qk,i	Qk,i	Qk,i	Qk,i	Qk,i	E	E	A	
		Combinazione di carico	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	0	1	0,3	0
	Sismica_2	1	1	1,5	0	0	0	0	0	0,3	1	0
	Sismica_3	1	1	0	1,5	0	0	0	0	1	0,3	0
	Sismica_4	1	1	0	1,5	0	0	0	0	0,3	1	0

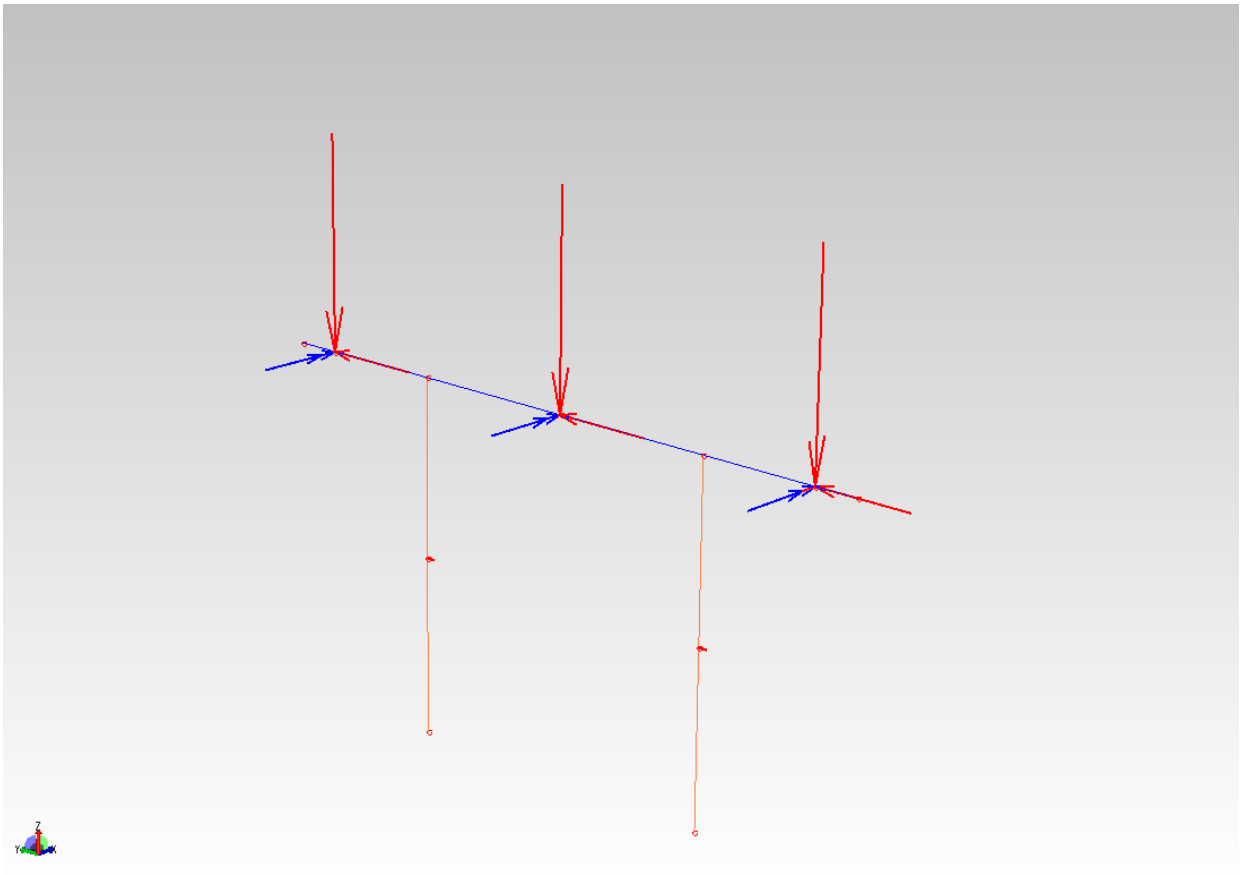


Fig. 8.3. Vista del modello ad elementi finiti con applicazione dei carichi in Sismica 4.

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	19000	19480	19420	19050	19080	19560	N
Taglio in X	4580	2330	3650	1400	3650	1400	N
Taglio in Y	3840	6090	4640	6890	3850	6100	N
Momento flettente rispetto asse X	3710	7470	4710	8460	3720	7480	N m
Momento flettente rispetto asse y	12810	6790	10090	4070	10090	4070	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	14750	15190	16150	15710	N
Taglio in X	6080	3400	3830	1150	N
Taglio in Y	3250	5930	5500	8180	N
Momento flettente rispetto asse X	3420	7270	7180	11030	N m
Momento flettente rispetto asse y	20810	10460	14790	4440	N m

8.6 Combinazione di carico da corto circuito

Parametri della sollecitazione alla base della singola colonna- CORTO CIRCUITO		
	CC1	
Azione assiale	14900	N
Taglio in X	0	N
Taglio in Y	6920	N
Momento flettente rispetto asse X	7490	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	1,8	m	lato minore//x
B_y	7,1	m	lato maggiore//y
b	0	m	lato minore batolo
l	0	m	lato maggiore batolo
e_{bx}	0	m	eccentricità batolo y
e_{by}	0	m	eccentricità batolo x
D	0	m	altezza batolo
d	0,7	m	altezza piastra
$sp=H$	0,7	m	spessore totale fondazione
spf	0,1	m	spessore fondazione fuori terra
$sp\ t$	0	m	Spessore terreno
$P\ cls$	198525	N	Peso fondazione cls
$P\ terreno$	0	N	Peso terreno su fondazione
$P\ tot\ fon$	-198525	N	Peso totale cls+terreno
Volume cunicolo	1,005	m3	

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	14750	15190	16150	15710	N
Taglio in X	6080	3400	3830	1150	N
Taglio in Y	3250	5930	5500	8180	N
Momento flettente rispetto asse X	3420	7270	7180	11030	N m
Momento flettente rispetto asse y	20810	10460	14790	4440	N m

PdS alla base del sostegno - SISMICA

	Sismica_1	Sismica_2	Sismica_3	Sismica_4	
Azione assiale	26550	27342	29070	28278	N
Taglio in X	12160	6800	7660	2300	N
Taglio in Y	6500	11860	11000	16360	N
Momento flettente rispetto asse X	6840	14540	14360	22060	N m
Momento flettente rispetto asse y	41620	20920	29580	8880	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	SISMICA 4	2206	1636	888	230	
2. My max	SISMICA 1	SISMICA 1	684	650	4162	1216	
3. N min							Coincide con precedente
1. Mx max	SISMICA 4	SISMICA 4	1145	0	161	0	Contributo alle sollecitazioni dato dalla fondazione
2. My max	SISMICA 1	SISMICA 1	455	0	851	0	Contributo alle sollecitazioni dato dalla fondazione
3. N min			0	0	0	0	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	3351	1636	1049	230	-19702	
2.	SISMICA 1	1139	650	5013	1216	-19530	
3.							

Verifica a ribaltamento

Condizione	1.	2.	3.		
Ed= M rib,xx	3351	1139	-	daN m	Momento di ribaltamento totale rispetto asse xx Momento stabilizzante derivante da carichi di compressione-asse xx Verifica
Rd= M stab xx / yR	63585	63027	-	daN m	
Ed<Rd	Verificato	Verificato	Verificato		
m rib,xx	18,97	55,34	-		
Verifica stabilità	Verificato	Verificato	Verificato		
Ed= M rib,yy	1049	5013	-	daN m	Momento di ribaltamento totale rispetto asse yy Momento stabilizzante derivante da carichi di compressione-asse yy Verifica
Rd= M stab yy / yR	16120	15979	-	daN m	
Ed<Rd	Verificato	Verificato	Verificato		
m rib,yy	15,37	3,19	-		
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	14750	15190	16150	15710	N
Taglio in X	6080	3400	3830	1150	N
Taglio in Y	3250	5930	5500	8180	N
Momento flettente rispetto asse X	3420	7270	7180	11030	N m
Momento flettente rispetto asse y	20810	10460	14790	4440	Nm
PdS alla base del sostegno - SISMICA					
	Sismica_1	Sismica_2	Sismica_3	Sismica_4	
Azione assiale	29500	30380	32300	31420	N
Taglio in X	12160	6800	7660	2300	N
Taglio in Y	6500	11860	11000	16360	N
Momento flettente rispetto asse X	6840	14540	14360	22060	N m
Momento flettente rispetto asse y	41620	20920	29580	8880	Nm

Condizione	Comb.	Mx (daN m)	Ty (daN)	My (daN m)	Tx (daN)	N (daN)
1. Mx max	SISMICA 4	2206	1636	888	230	-3142
2. My max	SISMICA 1	684	650	4162	1216	-2950
3. N min						

Coincide con precedente

1. Mx max	SISMICA 4	1145	0	161	0	-25808
2. My max	SISMICA 1	455	0	851	0	-25808
3. N min						

Contributo alle sollecitazioni dato dalla fondazione
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	3351	1636	1049	230	-28950
2.	SISMICA 1	1139	650	5013	1216	-28758
3.						

APPROCCIO 2 A1+M1+R3			
Condizione	1.	2.	
Bx=	1,80	1,80	m
Ly=	7,10	7,10	m
ey=	0,12	0,04	m
ex=	0,04	0,17	m
L'y=	6,87	7,02	m
B'x=	1,73	1,45	m
H tot	1652	1379	daN
V tot	28950	28758	daN
mL	1,201	1,171	
mB	1,799	1,829	
θ	1,571	1,571	rad
m	1,799	1,829	
D	0,70	0,70	m
Ed	28950	28758	daN

lato minore fondazione

lato maggiore fondazione

eccentricità yy

eccentricità xx

dimensione yy efficace della fondazione

dimensione xx efficace della fondazione

Carico orizzontale base fondazione

Carico verticale totale base fondazione

angolo di applicazione di H rispetto alla direzione L'

profondità piano di posa

Carico totale di compressione

$q_{lim}=N_q\gamma_1D s_q i_q d_q b_q + N_c c s_c i_c d_c b_c + 0,5 N_{\gamma}\gamma B s_{\gamma} i_{\gamma} b_{\gamma}$			
APPROCCIO 2 A1+M1+R3	1.	2.	
φ γ c'k	0,349	0,349	
	1800	1800	
	0	0	
N _q N _c N _γ	9,6	9,6	fattori di capacità portante
	19,32	19,32	
	9,44	9,44	
s _q s _c s _γ	1,117	1,096	fattori di forma
	1,125	1,103	
	0,899	0,917	
i _q i _c i _γ	0,900	0,914	fattori di inclinazione del carico
	0,889	0,905	
	0,848	0,870	
b _q b _c b _γ	1	1	fattori di inclinazione del piano di posa
	1	1	
	1	1	
g _q g _c g _γ	1	1	fattori di inclinazione del piano campagna
	1	1	
	1	1	
q _{lim}	10720	10081	daN/m2
Q _{LIM}	127194	102721	daN
Ed	28950	28758	daN
VERIFICATO		VERIFICATO	
rapporto Ed/Rd	0,23	0,28	

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					azione orizzontale agente azione verticale agente
Approccio 2					
(A1+M1+R3)	1.	2.	3.		
Qh	1652	1379	-	daN	
Qv	28950	28758	-	daN	
φ	25	25	-	°	
c	0	0	-	kg/m²	
Qh,lim	13500	13410	-	daN	
γR	1,1	1,1	-		
Qh,Rd	12272	12191	-	daN	
rapporto Ed/Rd	Verificato	Verificato	-		
	0,135	0,113	-		

9.2 Verifiche SLU di tipo strutturale

Le verifiche di tipo strutturale sono eseguite secondo due schemi statici:

- schema A: trave continua su due appoggi, con una luce lunghezza 2,54 m e due mensole laterali di lunghezza 2.28 m (lunghezza complessiva 7,10 m), larghezza 1,80 m e spessore 0,70 m; la sezione presenta una risega centrale di dimensioni 50 x 30 cm; gli appoggi sono in corrispondenza dell'asse verticale delle carpenterie di sostegno dell'interruttore;
- schema B: trave semplicemente appoggiata di luce 1,80 m, larghezza 7,10 m e spessore 0,40 m.

La trave si considera uniformemente caricata dal peso della fondazione stessa e dalla reazione del terreno, assunta corrispondente alla pressione massima e considerata agente su tutta la superficie di base della trave.

Il calcolo dei momenti massimi applicati alle sezioni di verifica è stato eseguito utilizzando il programma "Trave continua", ver. 7.3 del 07/02/2008. La verifica delle sezioni in calcestruzzo armato è stata eseguita utilizzando il programma "VcaSlu" ver. 7.2 del 10/01/2009; entrambi i programmi sono stati sviluppati dal Prof. Piero Gelfi del Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio e Ambiente della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Brescia.

Schema A

La tensione massima trasmessa al terreno si ricava dai risultati della verifica della capacità portante ed è pari a: $E_d/A' = 29704 \text{ daN} / (B' \cdot L') = 2594 \text{ daN/m}^2$

Carico per unità di lunghezza dovuto al peso di fondazione:

$$q_{c/s} = + 2500 \text{ daN/m}^3 \cdot (1,80 \cdot 0,70 - 0,50 \cdot 0,30) \text{ m}^2 = + 2796 \text{ daN/m}$$

Carico per unità di lunghezza dovuto alla reazione del terreno:

$$q_t = - 2594 \text{ daN/m}^2 \cdot 1,80 \text{ m} = - 4670 \text{ daN/m}$$

Carico totale agente: $q = q_{c/s} + q_t = - 1874 \text{ daN/m}$

Da cui si ottiene: $M_{\max} = 6332 \text{ daN m}$

Si riporta nelle figure seguenti il grafico dell'andamento del momento flettente, e la verifica a flessione della sezione in c.a. armata con barre longitudinali $\Phi 14$, risultata soddisfatta.

Trave Continua - File:

FileOpzioniImpostazioni?

Titolo : Interr. Tripolare_fondazione

Tipo di calcolo delle sollecitazioni:

Esercizio

Stato Limite Ultimo

Numero campate (Compresi Sbalzi) : 3

Appoggi

Sezioni

Camp. N°	Luce	Perm.	Var.	Sez. N°
1	2,28	-1874	0	1
2	2,54	-1874	0	1
3	2,28	-1874	0	1

App.	Largh.
1	1,80
2	1,80
3	1,80
4	1,80

Vincoli di estremità

Sinistra

Destra

Appoggio

Incastro

Libero

Elastico

1

?

Calcolo

Diagrammi

Visualizza Deformata

Momento 1: 2.000

Scale fisse Taglio 1: 2.000

Freccia 1: 0,05

N. Punti Plottaggio: 100

Visualizza

Stampa

M

I

M + T

DWG

Esporta Blocco

?

Risultati

Sez.	Mmax	x Mmax	Mmin	x Mmin	f max	f min
1	0		0		-1,62E-02	-2,30E-02
m	6.332	2,28	4.871	2,28		
2	6.332		4.871			
m	6.332	0	4.871	0	3,98E-03	2,53E-03
3	6.332		4.871			
m	6.332	0	4.871	0		
4	6,924E-11		5,326E-11		-1,62E-02	-2,30E-02

Sez.	Tmax s	Tmax d	Rmax	Rmin
1		0	0	0
2	5.555	-3.669	-6.077	-9.224
3	3.669	-5.555	-6.077	-9.224
4	0,000580		0	0

Diagram of a continuous beam with three spans and two supports. The beam is shown in black with triangular supports. A red line represents the bending moment distribution. The diagram is labeled with values for M min, M max, R max, and R min at various points along the beam.

Point	M min	M max	R max	R min
1	0		0	0
2	6.332		-6.077	-9.224
3	4.871		-6.077	-9.224
4	6.332		-6.077	-9.224
5	4.871		-6.077	-9.224
6	6.332		0	0
7	5,326E-11		0	0

Verifica C.A. S.L.U. - File: sezione A-A fonD interr

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

Titolo :

N° Vertici Zoom N° barre Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	180	0
3	180	70
4	115	70
5	115	40
6	65	40

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	1,54	4	4
2	1,54	23	4
3	1,54	42	4
4	1,54	61	4
5	1,54	80	4
6	1,54	99	4

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

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

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

M_{xRd} kN m
σ_c N/mm²
σ_s N/mm²
ε_c ‰
ε_s ‰
d cm
x x/d
δ

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

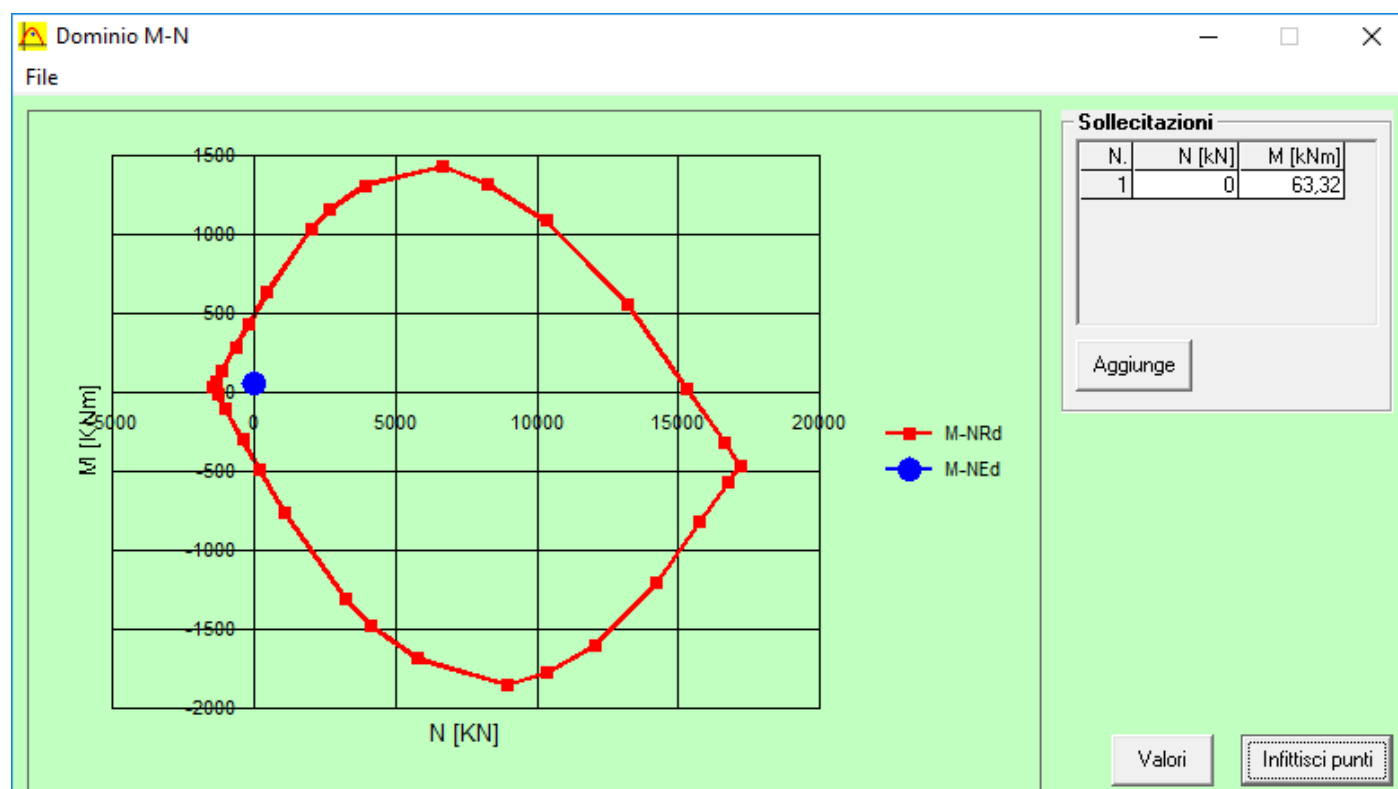
Metodo di calcolo
☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-
☐ Metodo n

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N
L₀ cm Col. modello

☐ Precompresso



Schema B

La tensione massima trasmessa al terreno si ricava dai risultati della verifica della capacità portante ed è pari a: $E_d/A' = 29704 \text{ daN} / (B' \cdot xL') = 2594 \text{ daN/m}^2$

Carico per unità di lunghezza dovuto al peso di fondazione:

$$q_{c/s} = + 2500 \text{ daN/m}^3 \cdot 7,10 \text{ m} \cdot (1,30 \cdot 0,70 + 0,40 \cdot 0,50) \text{ m}^2 / 1,80 \text{ m} = + 10946 \text{ daN/m}$$

Carico per unità di lunghezza dovuto alla reazione del terreno:

$$q_t = - 2594 \text{ daN/m}^2 \cdot 7,10 \text{ m} = - 18417 \text{ daN/m}$$

Carico totale agente: $q = q_{c/s} + q_t = - 7471 \text{ daN/m}$

Da cui si ottiene: $M_{\max} = - 1/8 \cdot q \gamma_{G1} \cdot L^2 = 1/8 \cdot (- 7471 \cdot 1,3) \cdot 1,80^2 = 3933,50 \text{ daN m}$

Si riporta nelle figure seguenti il grafico dell'andamento del momento flettente, e la verifica a flessione della sezione in c.a. armata con barre longitudinali $\Phi 12$ superiormente ed inferiormente, risultata soddisfatta.

Verifica C.A. S.L.U. - File: sez. BB

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

Titolo :

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	710	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	50,89	4
2	50,89	36

Tipo Sezione

☒ Rettan.re ☐ Trapezi

☐ a T ☐ Circolare

☐ Rettangoli ☐ Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN

M_{xEd} 39,33 kNm

M_{yEd} 0 kNm

P.to applicazione N

☒ Centro ☐ Baricentro cls

☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo

☐ S.L.U.+ ☒ S.L.U.-

☐ Metodo n

Tipo flessione

☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L_o 0 cm Col. modello

Precompresso

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

E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8

ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9,75

$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,6

τ_{c1} 1,829

M_{xRd} -708,1 kN m

σ_c -14,17 N/mm²

σ_s 391,3 N/mm²

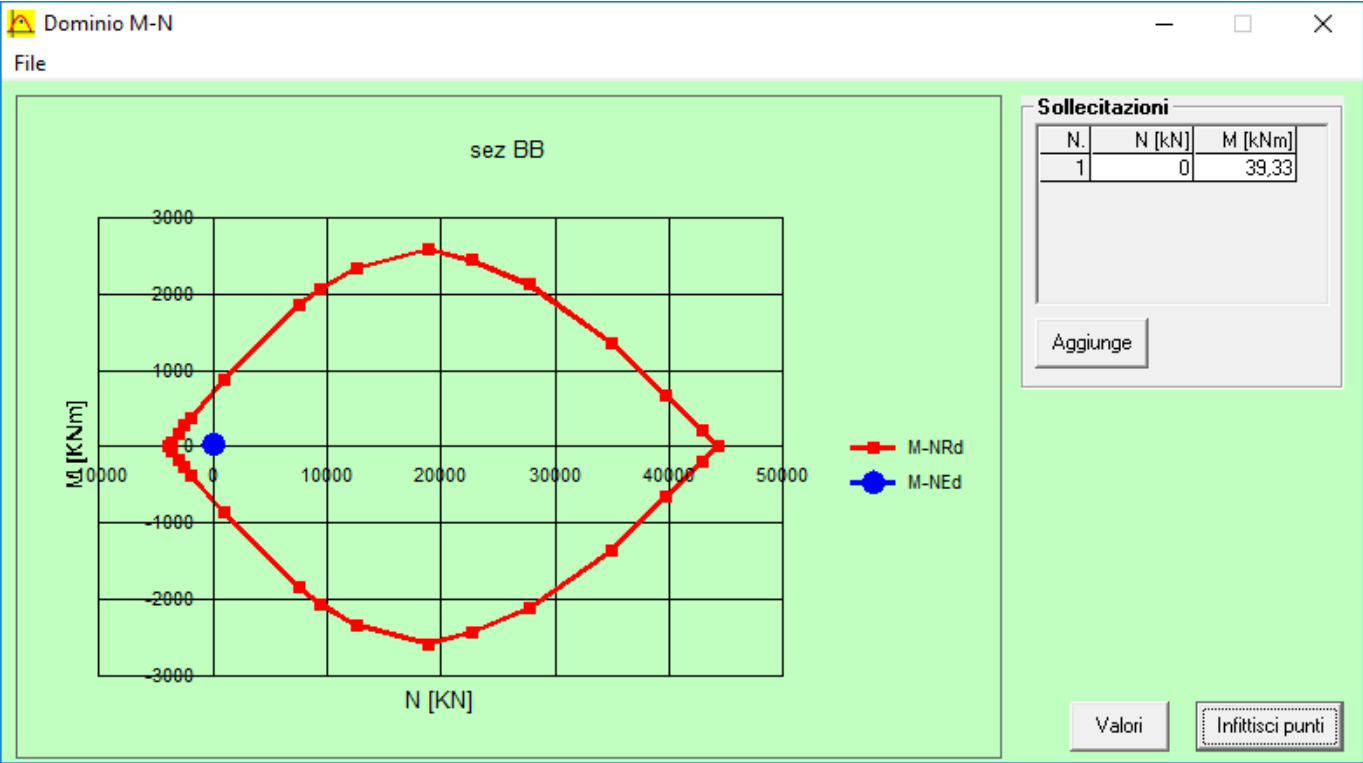
ϵ_c 3,5 ‰

ϵ_s 34,39 ‰

d 36 cm

x 3,325 x/d 0,09236

δ 0,7



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