

IMPIANTO A G RIVOLTAICO EG BETULLA SRL E OPERE CONNESSE

POTENZA IMPIANTO 93,73 MWp - COMUNE DI POLESELLA (RO)

Proponente

EG BETULLA S.R.L.

VIA DEI PELLEGRINI 22 – 20122 MILANO (MI) - P.IVA: 12460120962 – PEC: egbetulla@pec.it

Progettazione

Ing. Antonello Rutilio

VIA R. ZANDONAI 4 – 44124 - FERRARA (FE) - P.IVA: 00522150382 – PEC: incico@pec.it

Tel.: +39 0532 202613 – email: a.rutilio@incico.com

Coordinamento progettuale

SOLAR IT S.R.L.

VIA ILARIA ALPI 4 – 46100 - MANTOVA (MN) - P.IVA: 02627240209 – PEC: solarit@lamiapec.it

Tel.: +390425 072 257 – email: info@solaritglobal.com

Titolo Elaborato

Relazione strutturale

LIVELLO PROGETTAZIONE	CODICE ELABORATO	FILE NAME	DATA
DEFINITIVO	PD_REL07.00	24SOL069_PD_REL07.00-Relazione strutturale.docx	GIUGNO '24

Revisioni

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
0	GIUGNO '24	EMISSIONE PER PERMITTING	BKA	EPO	ARU



COMUNE DI POLESELLA (RO)

REGIONE VENETO



Relazione strutturale



INDICE

1. OPERA IN ACCIAIO	1
1.1 Premessa.....	1
2.1 Introduzione	1
3.1 Normative e documenti di riferimento :.....	3
4.1 Materiali	4
5.1 Carichi Elementari:.....	6
6.1 Combinazioni di carico:.....	9
7.1 Programma di calcolo	10
8.1 Modello di calcolo:	12
9.1 Verifiche allo SLU dei profili piu sollecitati:	17
2. OPERE DI FONDAZIONE IN CA	18
2.1 Premessa.....	18
2.2 Introduzione:.....	18
2.3 Normative e documenti di riferimento.....	19
2.4 MATERIALI.....	21
2.5 Carichi elementari	22
2.6 Carichi Cabinati:.....	22
2.7 Combinazioni di carico :.....	31
2.8 Programma di calcolo:.....	32
2.9 Parametri Geotecnici:	34
2.10 Modello di calcolo.....	35
2.11 Carichi applicate e combinazioni di carico.....	46
2.12 Dati di output.....	50
3. CONCLUSIONI	75

1. OPERA IN ACCIAIO

1.1 Premessa

Scopo del presente documento è quello di illustrare i criteri progettuali e le principali caratteristiche tecniche relative alla costruzione di un impianto agrivoltaico associato alla proponente Società EG BETULLA S.R.L. con sede in Via dei pellegrini 22 20122 MILANO (MI).

Tutte le parti di impianto oggetto della presente valutazione saranno realizzate nel territorio del comune di Polesella (RO), con moduli installati su strutture tracker a terra, ovvero su apposite strutture di sostegno direttamente infisse nel terreno senza l'ausilio di elementi in calcestruzzo, sia prefabbricato che gettato in opera.



FIG1-Vista satellitare dell'impianto

2.1 Introduzione

La presente relazione riguarda la progettazione e la verifica di un palo in acciaio infisso nel terreno per sostenere una sovrastruttura mobile per l'installazione di un impianto FV.

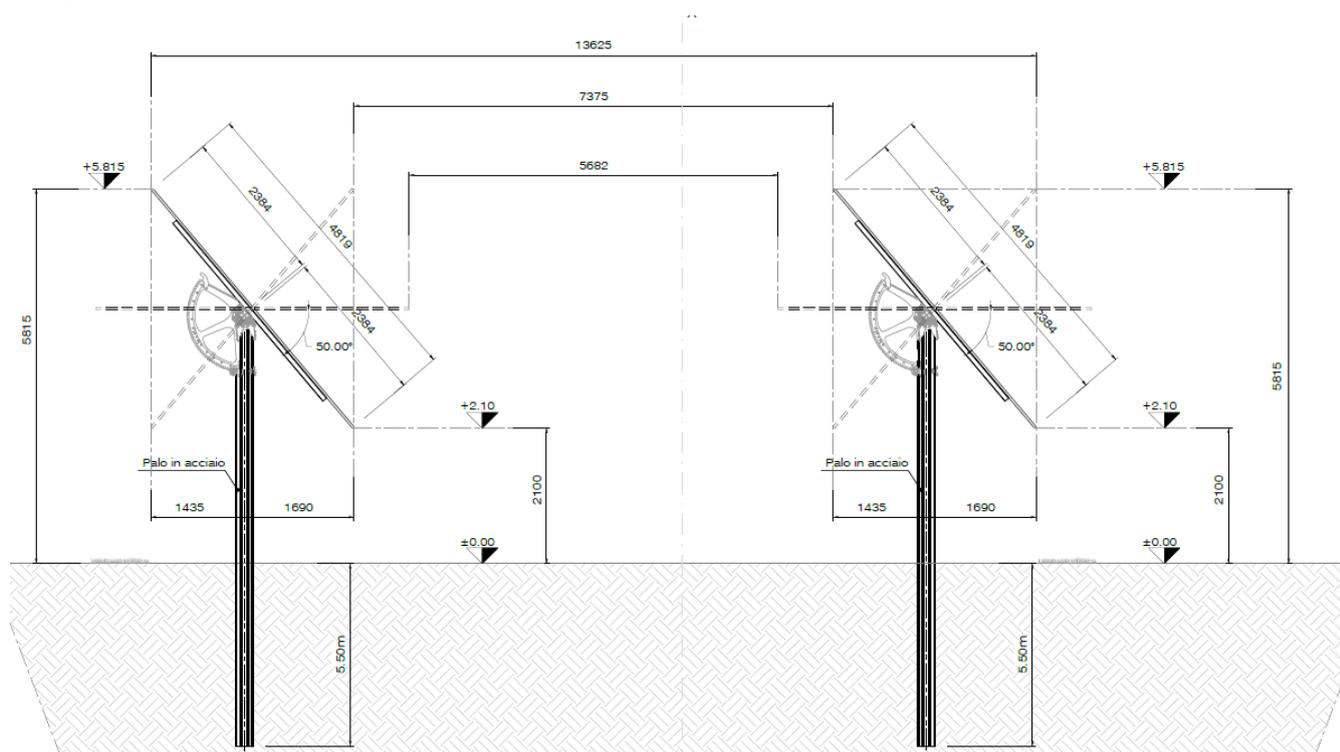
I pali $\varnothing 355 \times 8.00$ mm hanno una lunghezza totale di metri 9.20 m sono infissi nel terreno 5.50m partendo dalla quota campagna.

La fondazione è realizzata mediante palo battuto in acciaio con sezione $\varnothing 355 \times 8.00$ mm in acciaio di qualità S275 JR e lunghezza 9.20 m.

I moduli fotovoltaici saranno installati in 2 fila, configurazione 2xN, con il lato inferiore ad una quota di 2.10 metri dal piano campagna in tal modo l'altezza massima dei moduli, corrispondente ad una inclinazione di 50°, sarà di circa 5.90 metri. Il pitch, ovvero l'interdistanza tra le strutture, sarà di 10.50 metri.

Le strutture utilizzate nel presente progetto saranno essenzialmente configurate con la seguente formazione:

- stringa 1x122 moduli a cui corrispondono strutture di lunghezza circa 73.74 metri.
- stringa 2x28 moduli a cui corrispondono strutture di lunghezza circa 18.81 metri.
- stringa 3x84 moduli a cui corrispondono strutture di lunghezza circa 55.43 metri.
- stringa 4x56 moduli a cui corrispondono strutture di lunghezza circa 37.12 metri.



L'analisi statica della fondazione in oggetto è stata eseguita utilizzando un programma di calcolo agli elementi finiti (Robot Structural Analysis Professional 2024 di Autodesk), che fornisce in output le caratteristiche di sollecitazione interne alla platea di fondazione nelle diverse combinazioni di carico.

Il calcolo delle strutture è stato eseguito in accordo alla Normativa vigente (D.M. 17/01/2018) con le seguenti assunzioni:

- l'intervento in oggetto è classificabile fra quelli di "nuova costruzione" ai sensi del D.M. 17/01/2018;
- Le azioni trasmesse in fondazione derivano dall'analisi strutturale del comportamento dell'intera opera eseguita ipotizzando comportamento strutturale non dissipativo;

Il progetto strutturale è stato condotto considerando le condizioni:

- Stati Limite di Servizio (SLE) ai fini della verifica delle tensioni di esercizio e della fessurazione;
- Per quanto riguarda le verifiche di resistenza di elementi strutturali e le verifiche a rottura del terreno si considerano le combinazioni statiche SLU e per le combinazioni sismiche solamente quelle allo SLV (riferimento alla tabella 7.3.III sotto riportata).

Tab. 7.3.III – Stati limite di elementi strutturali primari, elementi non strutturali e impianti

STATI LIMITE		CU I	CU II			CU III e IV		
		ST	ST	NS	IM	ST	NS	IM(*)
SLE	SLO					RIG		FUN
	SLD	RIG	RIG			RES		
SLU	SLV	RES	RES	STA	STA	RES	STA	STA
	SLC		DUT(**)			DUT(**)		

(*) Per le sole CU III e IV, nella categoria Impianti ricadono anche gli arredi fissi.

(**) Nei casi esplicitamente indicati dalle presenti norme.

Le verifiche in DUT (duttività) non sono state condotte in quanto la struttura è stata trattata come non dissipativa, ed in accordo al §7.2.5 le capacità degli elementi vengono valutati in accordo alle regole del capitolo §4.1 del D.M 2018.

Nelle pagine seguenti si riportano le piante, sezioni e la vista 3D del modello di calcolo della struttura metallica.

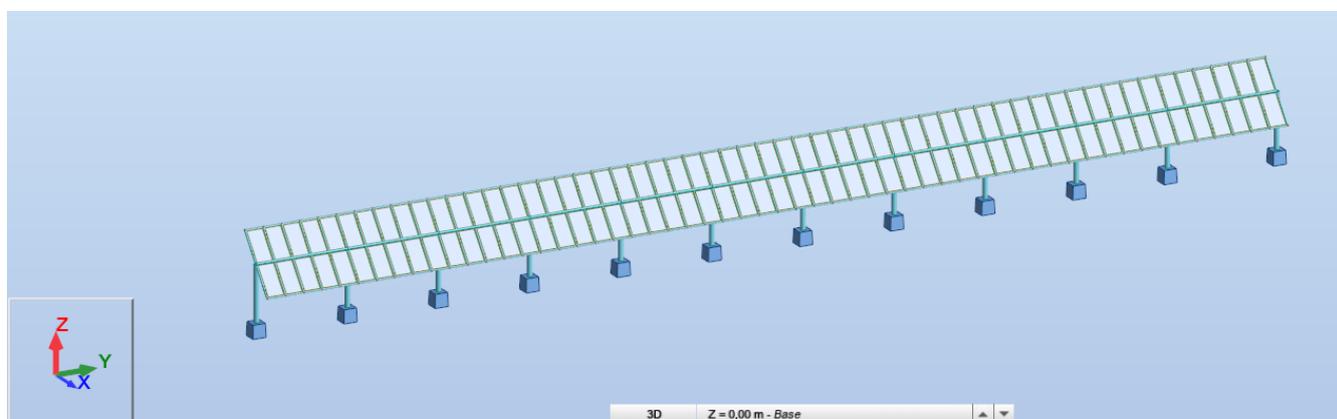


FIG2. –Struttura a sostegno dei tracker – 3D modello di calcolo

3.1 Normative e documenti di riferimento :

La progettazione andrà eseguita in accordo con la normativa attualmente vigente.

Le seguenti normative italiane saranno applicate:

- D.M. 17 Gennaio 2018 - “Nuove Norme tecniche per le costruzioni”
- Circolare 21 Gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP- “Istruzione per l’applicazione dell’aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.
- D.M. 31 Luglio 2012 “Approvazione delle Appendici nazionali recanti i parametri tecnici per l’applicazione degli Eurocodici”
- Legge 05.11.1971, n.1086 “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- Legge 02.02.1974 N. 64 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”
- D.M. 16-02-2007 “Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere di costruzione”
- D.M. 09-03-2007 “Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del corpo nazionale dei vigili del fuoco”.
- UNI EN 1990 “EUROCODICE 0 – Criteri generali di progettazione strutturale”
- UNI EN 1991 “EUROCODICE 1 – Azioni sulle strutture”
- UNI EN 1992 “EUROCODICE 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo”

- UNI EN 1997 “EUROCODICE 7 – Progettazione geotecnica”
- UNI EN 1998 “EUROCODICE 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica”

Cemento armato:

- UNI EN 206 “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità”
- UNI 11104 “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206”
- UNI 11417 “Durabilità delle opere di calcestruzzo e degli elementi prefabbricati di calcestruzzo”
- UNI EN 12350 “Prova sul calcestruzzo fresco”
- UNI EN 12390 “Prove sul calcestruzzo indurito”
- UNI EN 13670 “Esecuzione di strutture di calcestruzzo”
- UNI EN 197 “Cemento”
- UNI EN 480 “Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Metodi di prova”
- UNI EN 932 “Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati”
- UNI EN 933 “Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati”
- UNI EN 1008 “Acqua d'impasto per il calcestruzzo - Specifiche di campionamento, di prova e di valutazione dell'idoneità dell'acqua, incluse le acque di ricupero dei processi dell'industria del calcestruzzo, come acqua d'impasto del calcestruzzo”
- UNI EN 1097 “Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati”
- UNI EN 1744 “Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati”
- UNI CEN/TS 1992 “Progettazione di attacchi da utilizzare nel calcestruzzo”
- UNI EN 10080 “Acciaio d'armatura per calcestruzzo - Acciaio d'armatura saldabile - Generalità”

UNI EN 13055 “Aggregati leggeri - Aggregati leggeri per calcestruzzo, malta e malta per iniezione”

4.1 Materiali

Acciaio per strutture metalliche

Le Norme vigenti relative alle caratteristiche e ai requisiti dei materiali devono essere integralmente applicate.

Tutte le strutture metalliche devono essere zincate a caldo e verniciate con vernice acrilica poliuretanic.

Gli acciai strutturali dovranno essere conformi ai requisiti della norma EN10025/EN10210 e UNI EN 10219-1 e appartenere alle seguenti classi di seguito elencate.

Prodotti	Condizioni tecniche di fornitura	Dimensioni	Tolleranze	
Sezioni ad I ed H	UNI EN 10025-1/6 Per quanto applicabili (1)	UNI EN 10365	UNI EN 10094	
Profili ad I laminati a caldo ad ala rastremata		UNI EN 10365	UNI EN 10024	
Profili a C o U		UNI EN 54	UNI EN 10279	
Angolari		UNI EN 10056-1	UNI EN 10056-2	
Sezioni a T		UNI EN 10055	UNI EN 10055	
Platti e lamiere		N/A	UNI EN 10029 (2) UNI EN 10051	
Barre		UNI EN 10017, 10058, 10059, 10060, 10061	UNI EN 10017, 10058, 10059, 10060, 10061	
Profili cavi finiti a caldo		UNI EN 10210-1	UNI EN 10210-2	UNI EN 10210-2
Profili cavi formati a freddo		UNI EN 10219-1	UNI EN 10219-2	UNI EN 10219-2
NOTE: (1) Materiali da impiegare: S235, S275 e S355 JR, J0, J2 e K2 (UNI EN 10025-2, acciai non legati); S275, S355, S420 e S460 N e NL (UNI EN 10025-3, acciai a grana fine); S275, S355, S420 e S460 M e ML (UNI EN 10025-4, acciai a grana fine); S235J0W, S235J2W, S355J0W, S355J2W e S355K2W (UNI EN 10025-5, acciai con resistenza alla corrosione migliorata). (2) Tolleranza sullo spessore: Classe B; per serbatoi e ciminiere: Classe C. (3) Valide soltanto per le dimensioni; per le tolleranze di laminazione vale la UNI EN 10034.				

Acciaio per profilati, piatti, lamiere

Si prevede l'impiego di acciaio tipo S-275 JR in accordo UNI EN 10219-1.

$f_{yk} = 275$ MPa ($t \leq 40$ mm) tensione caratteristica a snervamento

$f_{tk} = 430$ MPa ($t \leq 40$ mm) tensione caratteristica a rottura

$f_{yk} = 255$ MPa ($40\text{mm} < t \leq 80\text{mm}$) tensione caratteristica a snervamento

$f_{tk} = 410$ MPa ($40\text{mm} < t \leq 80\text{mm}$) tensione caratteristica a rottura

$E = 210000$ MPa modulo elastico longitudinale

$A_{min} \geq 21\%$ allungamento a rottura

$\alpha = 12E-6$ °C⁻¹ coefficiente di espansione termica lineare (fino a 100°C)

$\rho = 7850$ kg/m³ densità

Bulloni, dadi e rondelle

Tutti i bulloni saranno galvanizzati a caldo.

Tutte le unioni dovranno essere non precaricate con l'utilizzo di bulloni "non a serraggio controllato" (UNI EN 15048-1).

Bulloni, dadi e rosette nelle connessioni "non precaricate" dovranno essere in accordo alla norma UNI EN 15048-1:2007 "Bulloneria Strutturale non a serraggio controllato".

Gli accoppiamenti vite-dado-rondella consentiti sono riportati in tabella sottostante.

Tab. II.3.XIIIa

Viti	Dadi	Rondelle	Riferimento
Classe di resistenza UNI EN ISO 898-1:2013	Classe di resistenza UNI EN ISO 898-2:2012	Durezza	
4.6	4; 5; 6 oppure 8	100 HV min.	UNI EN 15048-1
4.8			
5.6			
5.8	5; 6 oppure 8	100 HV min.	
6.8			
6.8	6 oppure 8	100 HV min. oppure 300 HV min.	
8.8	8 oppure 10		
10.9	10 oppure 12		

I bulloni possono essere in accordo alle UNI EN ISO 4014 e 4016 (gambo parzialmente filettato). Non sono ammessi bulloni con gambo interamente filettato. I bulloni non precaricati devono avere un tratto non filettato di lunghezza tale che le sezioni di taglio (tra un elemento collegato e l'altro) rientrino in tale tratto.

Si prevede l'utilizzo di bulloni in acciaio classe 8.8 - UNI EN ISO 898-1

$f_{yk}=640$ MPa tensione caratteristica a snervamento

$f_{tk}=800$ MPa tensione caratteristica a rottura

Si prevede l'utilizzo di dadi in acciaio:

classe 8 – UNI EN ISO 898-2

Si prevede l'utilizzo di rosette in acciaio:

durezza 100 HV min.

Saldature

La saldatura degli acciai dovrà avvenire con uno dei procedimenti all'arco elettrico codificati secondo la norma UNI EN ISO 4063.

5.1 Carichi Elementari:

Nella tabella seguente sono indicate le condizioni di carico considerate nel modello di calcolo:

LISTA CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI

Caso	Etichetta	Nome	Natura
1	G1	peso Proprio	Permanenti
2	G2	Permanente	Perm.Non-str.
3	Wx	Wx	Vento
4	Wy	Wy	Vento

PESO PROPRIO STRUTTURE (G1)

Il peso proprio della struttura è stato valutato con il seguente peso specifico:

- Peso dell'acciaio $\gamma_s = 78.5 \text{ kN/m}^3$

Si applica un incremento del 15% sul peso proprio per tener conto di collegamenti e giunzioni.

Carichi permanenti non strutturali (G2)

I valori di carico utilizzati nella progettazione della struttura sono di seguito riportati:

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	TOPCon cells
Cell Arrangement	132 [2 x (11 x 6)]
Dimensions	2384 x 1303 x 33 mm (93.9 x 51.3 x 1.30 in)
Weight	37.8 kg (83.3 lbs)
Front Glass	2.0 mm heat strengthened glass with anti-reflective coating
Back Glass	2.0 mm heat strengthened glass
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4.0 mm ² (IEC), 10 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	460 mm (18.1 in) (+) / 340 mm (13.4 in) (-) or customized length*
Connector	T6 (IEC 1500V) or PV-KST4-EVO2/XY, PV-KBT4-EVO2/XY (IEC 1500V) or PV-KST4-EVO2A/xy, PV-KBT4-EVO2A/xy (IEC 1500V)
Per Pallet	33 pieces
Per Container (40' HQ)	561 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

Carichi da vento (Wx/Wy)

Il carico vento è stato determinato in accordo a quanto previsto dal Cap.3.3 del D.M. 17/01/18, assumendo per il sito in esame i seguenti parametri:

La velocità di progetto del vento è stata determinata in accordo alle D.M. 17/01/18, sono stati considerati i seguenti parametri:

Comune: Polesella (RO);

Regione: Veneto;

Zona: 1 (vb,0 = 25 m/s, a0 = 1000 m, ks=0.4).

$$V_b = v_{b,0} \cdot C_a$$

Ove:

$$C_a = 1 \quad \text{per } a_s < a_0$$

$$C_a = 1 + k_s [(a_s / a_0) - 1] \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

Classe rugosità terreno: D (Area priva di ostacoli).

Altitudine: $a_s = 6 \text{ m s.l.m.} < a_0 = 1000 \text{ m}$

Categoria esposizione II ($k_r = 0.19, z_0 = 0.05 \text{ m}, z_{\min} = 4.0 \text{ m}$)

Velocità di riferimento $v_r = v_b \cdot C_r = 25.02 \text{ m/s}$ (Tr=50 anni=>Cr=1)

Pressione cinetica di riferimento $q_r = 0.5 \cdot v_r^2 \cdot 1.25 = 391.20 \text{ N/m}^2$

Coefficiente di esposizione:

$$c_e(z) = k_r^2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] \quad \text{if } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{if } z < z_{\min}$$

ct = 1 coefficiente di topografia

Coefficiente di esposizione minimo	Ce,min	1.800	Z<=4m
Coefficiente di esposizione al colmo	Ce, 5.90m	1.99	Z = 5.90m

$$c_e = 1.99 \quad (\text{per } z_{\text{colmo}} = 5.90 \text{ m}) \quad q = q_b \cdot c_e = 391.20 \times 1.99 = 778.488 \text{ N/m}^2 = 0.778 \text{ kN/m}^2$$

Per i coefficienti di pressione esterni si fa riferimento alla circolare 21/01/2019 delle NTC2018

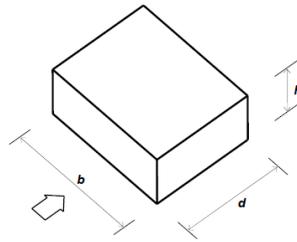


Figura G.1 – Parametri caratteristici di edifici a pianta rettangolare.

Tabella G.I – Edifici a pianta rettangolare: c_{pe} per facce sopravento, sottovento e laterali.

Faccia sopravento	Facce laterali	Faccia sottovento
$h/d \leq 1: c_{pe} = 0,7 + 0,1 \cdot h/d$	$h/d \leq 0,5: c_{pe} = -0,5 - 0,8 \cdot h/d$	$h/d \leq 1: c_{pe} = -0,3 - 0,2 \cdot h/d$
$h/d > 1: c_{pe} = 0,8$	$h/d > 0,5: c_{pe} = -0,9$	$1 < h/d \leq 5: c_{pe} = -0,5 - 0,05 \cdot (h/d - 1)$

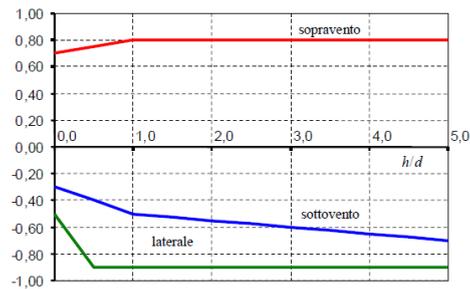


Figura G.2 – Edifici a pianta rettangolare: c_{pe} per facce sopravento, sottovento e laterali.

C3.3.8.2.1 Tettoie a falda singola

La Tabella C3.3.XV e la relativa Figura C.3.3.21 riportano i valori dei coefficienti di forza per le tettoie a semplice falda con vento agente perpendicolarmente alla linea di colmo. I valori dei coefficienti di forza sono espressi in funzione del grado di bloccaggio ϕ e dell'inclinazione α della falda. Per valori intermedi di ϕ è ammessa un'interpolazione lineare tra i valori relativi ai casi $\phi=0$ e $\phi=1$. La quota di riferimento Z_e è pari all'altezza massima h della tettoia. L'area di riferimento L^2 , ossia l'area su cui è applicata la forza risultante, è pari all'area della tettoia.

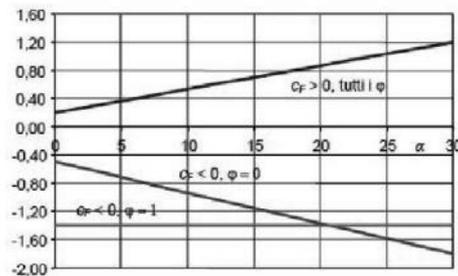


Figura C3.3.21 - Coefficienti di pressione complessiva per tettoie a semplice falda

Tabella C3.3.XV - Coefficienti di forza per tettoie a semplice falda (α in $^\circ$).

Valori positivi	Tutti i valori di ϕ	$c_F = 0,2 + \alpha/30$
Valori negativi	$\phi = 0$	$c_F = -0,5 - 1,3 \cdot \alpha/30$
	$\phi = 1$	$c_F = -1,4$

A favore di sicurezza si sceglie di adottare un carico da vento a metro quadrato pari a:

$$P=1.00 \text{ kN/m}^2$$

Carico da Neve (N)

Il carico neve è stato determinato in accordo a quanto previsto dal D.M. 17/01/18, precisamente:

$$q_s = \mu_1 \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

L'azione della neve è definita considerando i seguenti parametri del sito:

Zona di carico della neve II

$$q_{sk} = 1$$

Altezza del sito sopra il livello del mare	$a_s = 6m < 200m$
Coefficiente di esposizione	$CE = 1.0$
Coefficiente termico	$C_t = 1$
Coefficiente di forma	$\mu_1 = 0 (\alpha=60^\circ)$
	$q_s = 0 \text{ kN/m}^2$

Azione Sismica (E)

Il Comune di Polesella (RO) è a rischio sismico dalla Normativa italiana vigente con zona a sismicità 3.

La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che si verifichi in un certo intervallo temporale un evento sismico di entità pari ad un valore prefissato.

Il lasso di tempo in questione è il “ V_R ” che, associato alla “probabilità di superamento nel periodo di riferimento” P_{VR} , determina il periodo di ritorno T_R del sisma. Il periodo di ritorno del sisma per le analisi agli stati limite eseguite è pari a:

$$T_R = V_R \quad \text{stato limite di danno (SLD)}$$

$$T_R = 9.50 \cdot V_R \quad \text{stato limite di salvaguardia della vita (SLV)}$$

La vita di riferimento dell’opera si calcola dal prodotto tra la vita nominale V_N , da intendersi pari al numero di anni durante i quali deve essere usata, pur con la necessaria manutenzione ordinaria, per gli scopi previsti, ed il coefficiente d’uso C_U che traduce la destinazione d’uso dell’opera quantificandone l’importanza/pericolosità.

Tuttavia, trattandosi di zona sismica “3”, si attesta che le azioni sismiche sono minoranti rispetto alle altre azioni gravanti sulla struttura metallica.

6.1 Combinazioni di carico:

Le combinazioni di carico prese in considerazione sono quelle previste dal D.M. 17/01/18 par. 2.5.3 considerando i coefficienti in tab. 2.5.I e 2.6.I:

2.5.3. COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$
- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$
- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$
- Combinazione quasi permanente (SI.F), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all’azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$
- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.6]$$

Gli effetti dell’azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad [2.5.7]$$

Nelle combinazioni si intende che vengano omissi i carichi Q_{ki} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_2 .

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l’effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		γ_r			
Carichi permanenti G_i	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qk}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l’interessità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E - Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I - Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K - Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)	da valutarsi caso per caso		
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Si riportano di seguito le combinazioni considerate nel calcolo della struttura metallica in elevazione.

Combinazioni SLU-A1

$$1.3G1 + 1.5G2 \pm 1.5W$$

$$1.0 G1 + 0.8G2 \pm 1.5W$$

Combinazioni SLE Rare

$$1.0G1 + 1.0G2 \pm 1.0W$$

7.1 Programma di calcolo

L'analisi strutturale e le verifiche delle strutture in oggetto sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico ad elementi finiti: Robot Structural Analysis Professional 2024 di

Titolo	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2024
Autore	Autodesk Inc.
Produttore	Autodesk Inc.
Fornitore	Autodesk Inc.
Versione	37.0.0.10095(x64)
Licenza no.	563-61811595

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico.

La verifica della sicurezza degli elementi strutturali avviene con i metodi della scienza e della tecnica delle costruzioni. L'analisi statica è di tipo non lineare e utilizza il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tenso-deformativo indotto da carichi statici. La non linearità del problema deriva dalla modellazione dell'interazione terreno-fondazione considerato di tipo elastico in compressione ma non reagente a trazione.

L'analisi strutturale è effettuata con il metodo degli elementi finiti. Nel caso specifico gli elementi monodimensionali sono stati modellati tramite l'utilizzo di elementi monodimensionali tipo "beam" mentre gli elementi bidimensionali tramite elementi "shell".

Il metodo degli elementi finiti sopraindicato si basa sulla schematizzazione della struttura in elementi connessi solo in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi. I nodi sono definiti dalle tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale.

Le incognite del problema (nell'ambito del metodo degli spostamenti) sono le componenti di spostamento dei nodi riferite al sistema di riferimento globale (traslazioni secondo X, Y, Z, rotazioni attorno X, Y, Z). La soluzione del problema si ottiene con un sistema di equazioni algebriche lineari i cui termini noti sono costituiti dai carichi agenti sulla struttura opportunamente concentrati ai nodi.

L'analisi strutturale è eseguita mediante analisi di rigidità per la valutazione dello stato di tensione-deformazione indotta dall'analisi statica.

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limiti Ultimi.

Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

La valutazione della affidabilità e idoneità del software per questo progetto è stata consentita da un esame della documentazione fornita dallo sviluppatore. Questa documentazione contiene la descrizione completa della base teorica, gli algoritmi utilizzati, l'individuazione delle aree di applicazione, test (con file di input necessari a riprodurre il processo) del tutto risolti e discussi.

Il programma prevede una serie di controlli automatici (check) che consentono l'individuazione di errori di modellazione, quali mesh non coerente, presenza di nodi isolati, assenza di vincoli, il non rispetto delle limitazioni geometriche, la presenza di elementi non verificati, la non convergenza del calcolo nel caso di analisi non lineare, il mancato raggiungimento dei limiti normativi, la ridondanza di oggetti modellati, etc...

Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabulare, la totalità dei dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

Oltre al controllo automatico condotto dal software, i risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti ad ulteriori controlli che ne comprovano l'attendibilità e l'accettabilità. Questi controlli, eseguiti manualmente con metodi tradizionali, consistono in verifiche di equilibrio tra reazioni vincolari e carichi applicati, comparazioni tra i risultati delle analisi e quelli di valutazioni semplificati, etc..

In base a quanto detto, si può asserire che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico; pertanto, i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

Ci si riferisce alle seguenti convenzioni:

Sistema di riferimento globale Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2024: per coordinate e spostamenti nodali e per i carichi applicati.

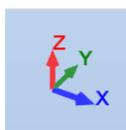


FIG. 3 – Sistema di riferimento globale modello 3d

Sistema di riferimento locale Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2024: per le azioni interne.

Unità di misura utilizzate: kN, kNm

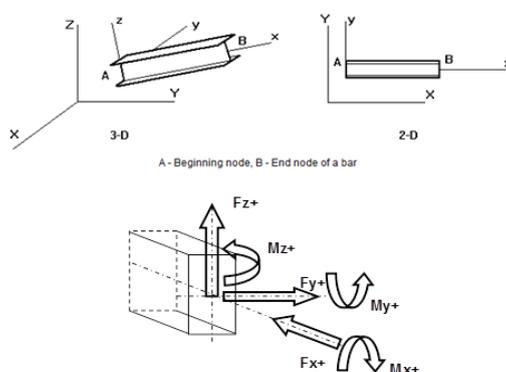


FIG. 4 – Sistema di riferimento locale elementi finiti monodimensionali (barre)

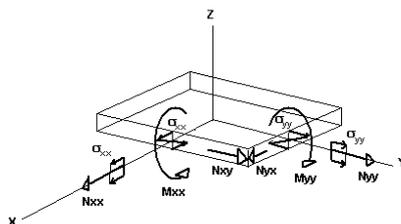


FIG. 5 – Sistema di riferimento locale elementi finiti bidimensionali

8.1 Modello di calcolo:

La struttura oggetto del presente report viene calcolata mediante l’ausilio di un software di calcolo FEM dove le aste vengono modellate con elementi “beam”.

Il calcolo prevede un’analisi lineare dinamica (analisi modale) considerando l’85% di partecipazione delle masse.

Il telaio è costituito da profili saldati ed imbullonati.

E’ costituito da un colonne con un TOS di +5.815 m su cui andranno installati dei moduli di pannelli fotovoltaici con le seguenti caratteristiche

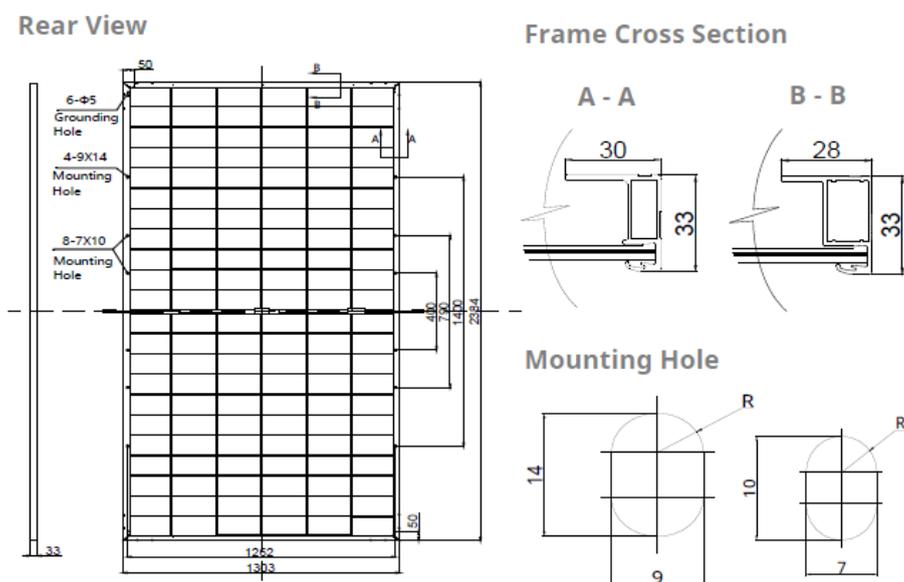


FIG. 6 – Datasheet Moduli PV

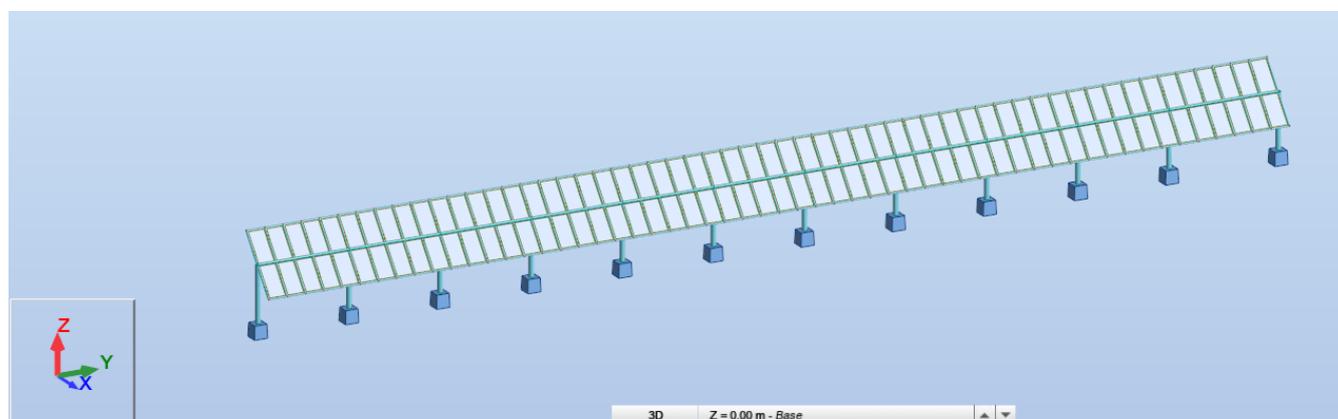


FIG. 7 – Vista 3D del modello di calcolo

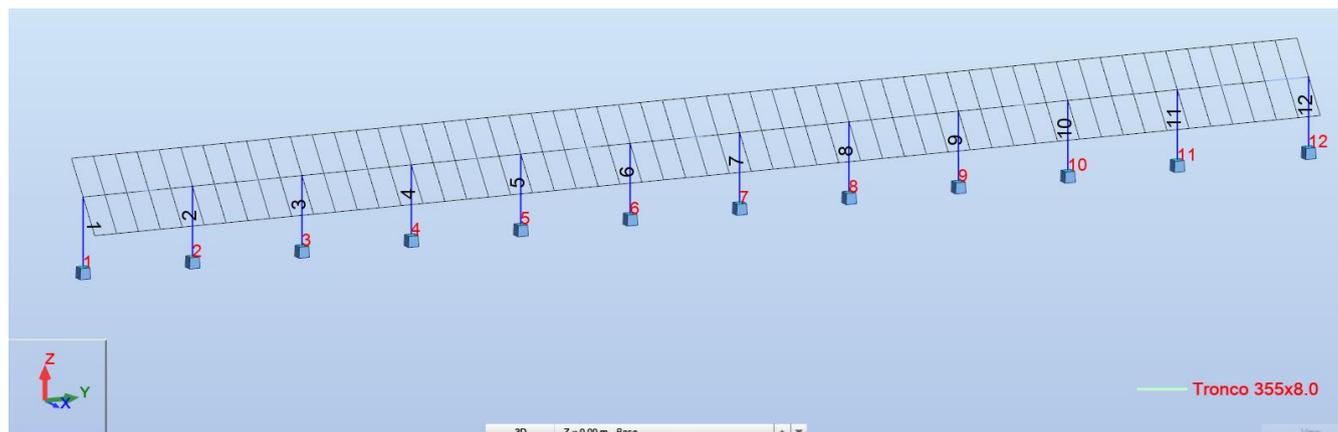


Fig. 8 – Nodi con vincoli alla base

Nodi

Si riporta di seguito la tabella dei nodi, relativi alla struttura

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)	Vincoli	Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)	Vincoli
1	0,13	0,0	0,0	fixed	93	0,13	35,37	3,96	93
2	0,13	6,55	0,0	fixed	94	-1,44	35,37	5,82	94
3	0,13	13,10	0,0	fixed	95	1,69	36,68	2,1	95
4	0,13	19,65	0,0	fixed	96	0,13	36,68	3,96	96
5	0,13	26,20	0,0	fixed	97	-1,44	36,68	5,82	97
6	0,13	32,75	0,0	fixed	98	1,69	37,99	2,1	98
7	0,13	39,30	0,0	fixed	99	0,13	37,99	3,96	99
8	0,13	45,85	0,0	fixed	100	-1,44	37,99	5,82	100
9	0,13	52,40	0,0	fixed	101	1,69	39,3	2,1	101
10	0,13	58,95	0,0	fixed	102	-1,44	39,3	5,82	102
11	0,13	65,50	0,0	fixed	103	1,69	40,61	2,1	103
12	0,13	73,36	0,0	fixed	104	0,13	40,61	3,96	104
13	1,69	5,24	2,10		105	-1,44	40,61	5,82	105
14	0,13	5,24	3,96		106	1,69	41,92	2,1	106
15	-1,44	5,24	5,82		107	0,13	41,92	3,96	107
16	1,69	6,55	2,10		108	-1,44	41,92	5,82	108
17	0,13	6,55	3,96		109	1,69	43,23	2,1	109
18	-1,44	6,55	5,82		110	0,13	43,23	3,96	110
19	1,69	7,86	2,10		111	-1,44	43,23	5,82	111
20	0,13	7,86	3,96		112	1,69	44,54	2,1	112
21	-1,44	7,86	5,82		113	0,13	44,54	3,96	113
22	1,69	0,0	2,10		114	-1,44	44,54	5,82	114
23	-1,44	0,0	5,82		115	1,69	45,85	2,1	115
24	1,69	9,17	2,10		116	-1,44	45,85	5,82	116
25	0,13	9,17	3,96		117	1,69	47,16	2,1	117
26	-1,44	9,17	5,82		118	0,13	47,16	3,96	118
27	1,69	10,48	2,10		119	-1,44	47,16	5,82	119
28	0,13	10,48	3,96		120	1,69	48,47	2,1	120
29	-1,44	10,48	5,82		121	0,13	48,47	3,96	121
30	1,69	11,79	2,10		122	-1,44	48,47	5,82	122
31	0,13	11,79	3,96		123	1,69	49,78	2,1	123
32	-1,44	11,79	5,82		124	0,13	49,78	3,96	124
33	1,69	13,10	2,10		125	-1,44	49,78	5,82	125
34	0,13	13,10	3,96		126	1,69	51,09	2,1	126
35	-1,44	13,10	5,82		127	0,13	51,09	3,96	127
36	1,69	14,41	2,10		128	-1,44	51,09	5,82	128
37	0,13	14,41	3,96		129	1,69	52,4	2,1	129
38	-1,44	14,41	5,82		130	0,13	52,4	3,96	130
39	1,69	15,72	2,10		131	-1,44	52,4	5,82	131
40	0,13	15,72	3,96		132	1,69	53,71	2,1	132
41	-1,44	15,72	5,82		133	0,13	53,71	3,96	133
42	1,69	17,03	2,10		134	-1,44	53,71	5,82	134
43	0,13	17,03	3,96		135	1,69	55,02	2,1	135
44	-1,44	17,03	5,82		136	0,13	55,02	3,96	136
45	1,69	18,34	2,10		137	-1,44	55,02	5,82	137

46	0,13	18,34	3,96		138	1,69	56,33	2,1	138
47	-1,44	18,34	5,82		139	0,13	56,33	3,96	139
48	1,69	19,65	2,10		140	-1,44	56,33	5,82	140
49	0,13	19,65	3,96		141	1,69	57,64	2,1	141
50	-1,44	19,65	5,82		142	0,13	57,64	3,96	142
51	1,69	20,96	2,10		143	-1,44	57,64	5,82	143
52	0,13	20,96	3,96		144	1,69	58,95	2,1	144
53	-1,44	20,96	5,82		145	0,13	58,95	3,96	145
54	1,69	22,27	2,10		146	-1,44	58,95	5,82	146
55	0,13	22,27	3,96		147	1,69	60,26	2,1	147
56	-1,44	22,27	5,82		148	0,13	60,26	3,96	148
57	1,69	23,58	2,10		149	-1,44	60,26	5,82	149
58	0,13	23,58	3,96		150	1,69	61,57	2,1	150
59	-1,44	23,58	5,82		151	0,13	61,57	3,96	151
60	1,69	24,89	2,10		152	-1,44	61,57	5,82	152
61	0,13	24,89	3,96		153	1,69	62,88	2,1	153
62	-1,44	24,89	5,82		154	0,13	62,88	3,96	154
63	1,69	26,20	2,10		155	-1,44	62,88	5,82	155
64	0,13	26,20	3,96		156	1,69	64,19	2,1	156
65	-1,44	26,20	5,82		157	0,13	64,19	3,96	157
66	1,69	27,51	2,10		158	-1,44	64,19	5,82	158
67	0,13	27,51	3,96		159	1,69	65,5	2,1	159
68	-1,44	27,51	5,82		160	0,13	65,5	3,96	160
69	1,69	28,82	2,10		161	-1,44	65,5	5,82	161
70	0,13	28,82	3,96		162	1,69	66,81	2,1	162
71	-1,44	28,82	5,82		163	0,13	66,81	3,96	163
72	0,13	0,0	3,96		164	-1,44	66,81	5,82	164
73	1,69	1,31	2,10		165	1,69	68,12	2,1	165
74	0,13	1,31	3,96		166	0,13	68,12	3,96	166
75	0,13	32,75	3,96		167	-1,44	68,12	5,82	167
76	-1,44	1,31	5,82		168	1,69	69,43	2,1	168
77	0,13	39,30	3,96		169	0,13	69,43	3,96	169
78	1,69	2,62	2,10		170	-1,44	69,43	5,82	170
79	0,13	45,85	3,96		171	1,69	70,74	2,1	171
80	0,13	2,62	3,96		172	0,13	70,74	3,96	172
81	1,69	30,13	2,10		173	-1,44	70,74	5,82	173
82	0,13	30,13	3,96		174	1,69	72,05	2,1	174
83	-1,44	30,13	5,82		175	0,13	72,05	3,96	175
84	1,69	31,44	2,10		176	-1,44	72,05	5,82	176
85	0,13	31,44	3,96		177	-1,44	2,62	5,82	177
86	-1,44	31,44	5,82		178	1,69	3,93	2,1	178
87	1,69	32,75	2,1		179	0,13	3,93	3,96	179
88	-1,44	32,75	5,82		180	1,69	73,36	2,1	180
89	1,69	34,06	2,1		181	0,13	73,36	3,96	181
90	0,13	34,06	3,96		182	-1,44	73,36	5,82	182
91	-1,44	34,06	5,82		183	-1,44	3,93	5,82	183
92	1,69	35,37	2,1						

CARICHI APPLICATI E COMBINAZIONI DI CARICO

Di seguito si riportano le condizioni di carico ed i valori dei carichi applicati nel modello di calcolo.

Caso	Etichetta	Nome	Natura
1	G1	peso Proprio	Permanenti
2	G2	Permanente	Perm.Non-str.
3	Wx	Wx	Vento
4	Wy	Wy	Vento

Valori dei Carichi

Condizione	Tipo di carico	Lista	Valori di carico
1:G1	self-weight	1to361	' PZ Negative Factor=1,15
2:G2	(FE) uniform	250to361	' PZ=-0,14(kN/m2)
3: Wx	(FE) uniform	250to361	' PX=1,00(kN/m2)
4:Wy	(FE) uniform	250to361	' PY=0,02(kN/m2)

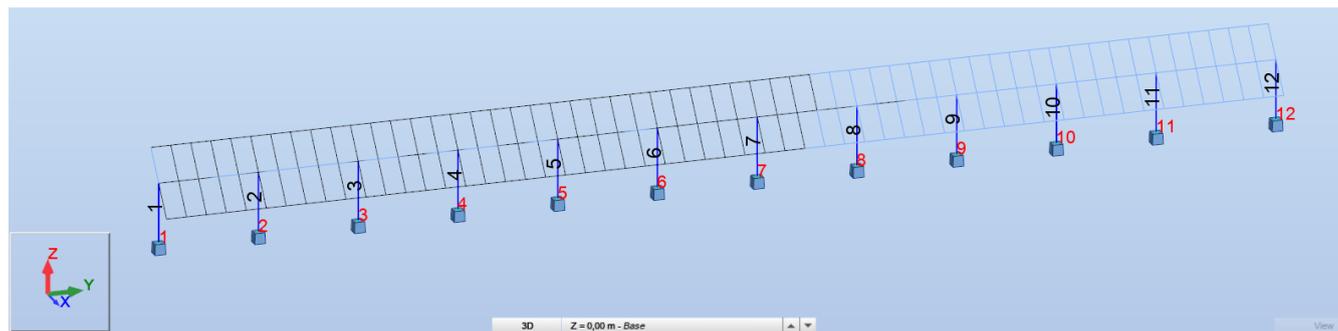


Fig. 9 – Numerazione dei nodi con vincolo alla base della struttura

Nodo/Condiz./Modo	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
1/ 5 (C)	-16,82	-0,57	7,95	2,09	-68,99	12,13
1/ 6 (C)	-16,84	0,91	8,31	-2,46	-69,04	12,24
1/ 7 (C)	-25,24	-0,60	11,05	2,14	-103,50	18,25
1/ 8 (C)	-16,84	1,07	9,77	-2,66	-69,04	12,19
1/ 9 (C)	-25,24	-0,30	11,12	1,23	-103,51	18,27
1/ 10 (C)	-25,25	0,59	11,33	-1,51	-103,53	18,34
1/ 11 (C)	-16,83	-0,27	8,02	1,18	-69,00	12,15
1/ 12 (C)	-16,83	0,61	8,24	-1,55	-69,03	12,22
2/ 5 (C)	-30,80	-0,79	10,23	2,39	-119,85	1,97
2/ 6 (C)	-30,80	1,05	10,20	-2,65	-119,87	2,04
2/ 7 (C)	-46,20	-0,72	13,96	2,31	-179,79	2,97
2/ 8 (C)	-30,80	1,03	12,26	-2,61	-119,85	2,05
2/ 9 (C)	-46,20	-0,35	13,96	1,30	-179,79	2,98
2/ 10 (C)	-46,20	0,76	13,95	-1,72	-179,80	3,03
2/ 11 (C)	-30,80	-0,42	10,22	1,39	-119,85	1,98
2/ 12 (C)	-30,80	0,68	10,21	-1,64	-119,86	2,03
3/ 5 (C)	-31,77	-0,91	11,15	2,55	-125,32	0,16
3/ 6 (C)	-31,77	0,92	11,16	-2,49	-125,32	0,24
3/ 7 (C)	-47,65	-0,91	15,38	2,55	-187,99	0,26
3/ 8 (C)	-31,77	0,91	13,19	-2,47	-125,32	0,24
3/ 9 (C)	-47,65	-0,54	15,38	1,55	-187,98	0,27
3/ 10 (C)	-47,65	0,56	15,38	-1,48	-187,98	0,33
3/ 11 (C)	-31,77	-0,55	11,15	1,54	-125,32	0,17
3/ 12 (C)	-31,77	0,55	11,16	-1,48	-125,32	0,23
4/ 5 (C)	-31,82	-0,93	11,26	2,58	-125,86	-0,01
4/ 6 (C)	-31,82	0,91	11,26	-2,48	-125,85	0,07
4/ 7 (C)	-47,73	-0,94	15,54	2,59	-188,78	0,00
4/ 8 (C)	-31,82	0,90	13,30	-2,47	-125,85	0,07
4/ 9 (C)	-47,73	-0,57	15,54	1,58	-188,78	0,02
4/ 10 (C)	-47,73	0,53	15,54	-1,45	-188,78	0,07
4/ 11 (C)	-31,82	-0,57	11,26	1,56	-125,85	0,00
4/ 12 (C)	-31,82	0,54	11,26	-1,47	-125,85	0,06
5/ 5 (C)	-31,83	-0,93	11,27	2,57	-125,92	-0,04

Nodo/Condiz./Modo	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
5/ 6 (C)	-31,83	0,91	11,27	-2,50	-125,92	0,05
5/ 7 (C)	-47,74	-0,94	15,55	2,59	-188,89	-0,03
5/ 8 (C)	-31,83	0,91	13,31	-2,49	-125,92	0,05
5/ 9 (C)	-47,74	-0,57	15,55	1,58	-188,89	-0,02
5/ 10 (C)	-47,74	0,54	15,55	-1,47	-188,89	0,03
5/ 11 (C)	-31,83	-0,57	11,27	1,56	-125,92	-0,02
5/ 12 (C)	-31,83	0,54	11,27	-1,48	-125,92	0,03
6/ 5 (C)	-31,83	-0,93	11,27	2,57	-125,93	-0,04
6/ 6 (C)	-31,83	0,91	11,27	-2,51	-125,93	0,04
6/ 7 (C)	-47,74	-0,94	15,55	2,58	-188,90	-0,04
6/ 8 (C)	-31,83	0,91	13,31	-2,51	-125,93	0,04
6/ 9 (C)	-47,74	-0,57	15,55	1,57	-188,90	-0,02
6/ 10 (C)	-47,74	0,54	15,55	-1,48	-188,90	0,03
6/ 11 (C)	-31,83	-0,56	11,27	1,55	-125,93	-0,02
6/ 12 (C)	-31,83	0,54	11,27	-1,49	-125,93	0,03
7/ 5 (C)	-31,83	-0,93	11,27	2,56	-125,93	-0,04
7/ 6 (C)	-31,83	0,92	11,27	-2,52	-125,93	0,04
7/ 7 (C)	-47,74	-0,94	15,55	2,58	-188,90	-0,04
7/ 8 (C)	-31,83	0,92	13,31	-2,53	-125,93	0,04
7/ 9 (C)	-47,74	-0,57	15,55	1,56	-188,90	-0,03
7/ 10 (C)	-47,74	0,54	15,55	-1,49	-188,90	0,03
7/ 11 (C)	-31,83	-0,56	11,27	1,55	-125,93	-0,03
7/ 12 (C)	-31,83	0,55	11,27	-1,51	-125,93	0,03
8/ 5 (C)	-31,83	-0,93	11,27	2,56	-125,93	-0,04
8/ 6 (C)	-31,83	0,92	11,27	-2,53	-125,93	0,04
8/ 7 (C)	-47,74	-0,94	15,55	2,57	-188,90	-0,04
8/ 8 (C)	-31,83	0,93	13,31	-2,55	-125,93	0,04
8/ 9 (C)	-47,74	-0,57	15,55	1,55	-188,90	-0,03
8/ 10 (C)	-47,74	0,55	15,55	-1,50	-188,90	0,03
8/ 11 (C)	-31,83	-0,56	11,27	1,54	-125,93	-0,03
8/ 12 (C)	-31,83	0,55	11,27	-1,52	-125,93	0,03
9/ 5 (C)	-31,83	-0,93	11,28	2,55	-125,96	-0,04
9/ 6 (C)	-31,83	0,92	11,28	-2,55	-125,96	0,05
9/ 7 (C)	-47,74	-0,94	15,56	2,56	-188,95	-0,03
9/ 8 (C)	-31,83	0,93	13,31	-2,56	-125,96	0,05
9/ 9 (C)	-47,74	-0,56	15,56	1,55	-188,95	-0,02
9/ 10 (C)	-47,74	0,55	15,56	-1,51	-188,95	0,04
9/ 5 (C)	-31,83	-0,93	11,28	2,55	-125,96	-0,04
9/ 6 (C)	-31,83	0,92	11,28	-2,55	-125,96	0,05
9/ 7 (C)	-47,74	-0,94	15,56	2,56	-188,95	-0,03
9/ 8 (C)	-31,83	0,93	13,31	-2,56	-125,96	0,05
9/ 9 (C)	-47,74	-0,56	15,56	1,55	-188,95	-0,02
9/ 10 (C)	-47,74	0,55	15,56	-1,51	-188,95	0,04
9/ 11 (C)	-31,83	-0,56	11,28	1,53	-125,96	-0,02
9/ 12 (C)	-31,83	0,55	11,28	-1,53	-125,96	0,03
10/ 5 (C)	-31,86	-0,88	11,43	2,48	-126,22	0,07
10/ 6 (C)	-31,86	0,97	11,43	-2,62	-126,22	0,15
10/ 7 (C)	-47,78	-0,86	15,79	2,46	-189,33	0,12
10/ 8 (C)	-31,86	0,98	13,46	-2,64	-126,23	0,16
10/ 9 (C)	-47,78	-0,49	15,80	1,44	-189,33	0,14
10/ 10 (C)	-47,78	0,62	15,80	-1,62	-189,33	0,19
10/ 11 (C)	-31,86	-0,51	11,43	1,46	-126,22	0,08
10/ 12 (C)	-31,86	0,60	11,43	-1,60	-126,22	0,13
11/ 5 (C)	-34,21	-1,32	10,94	3,05	-133,06	2,12
11/ 6 (C)	-34,21	0,50	10,86	-2,01	-133,05	2,21
11/ 7 (C)	-51,32	-1,58	14,94	3,40	-199,60	3,22
11/ 8 (C)	-34,21	0,59	13,03	-2,14	-133,03	2,17

Nodo/Condiz./Modo	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
11/ 9 (C)	-51,32	-1,22	14,93	2,39	-199,60	3,24
11/ 10 (C)	-51,32	-0,12	14,88	-0,65	-199,60	3,29
11/ 11 (C)	-34,21	-0,96	10,92	2,04	-133,06	2,14
11/ 12 (C)	-34,21	0,14	10,88	-0,99	-133,05	2,19
12/ 5 (C)	-19,72	-0,62	8,98	2,13	-80,14	-15,99
12/ 6 (C)	-19,70	0,84	8,70	-2,43	-80,08	-15,87
12/ 7 (C)	-29,57	-0,40	12,35	1,87	-120,19	-24,02
12/ 8 (C)	-19,70	0,60	10,27	-2,14	-80,09	-15,78
12/ 9 (C)	-29,57	-0,11	12,29	0,95	-120,18	-23,99
12/ 10 (C)	-29,56	0,76	12,13	-1,78	-120,15	-23,91
12/ 11 (C)	-19,72	-0,33	8,92	1,22	-80,13	-15,97
12/ 12 (C)	-19,71	0,55	8,76	-1,52	-80,09	-15,89

9.1 Verifiche allo SLU dei profili piu sollecitati:

Si riportano nelle pagine seguenti le verifiche allo stato limite ultimo degli elementi strutturali in accordo alla norma UNI-EN 1993-1-1:2005/NA:2007/A1:2014, "Eurocode 3: Design of steel structures".

In particolare, vengono visualizzati i risultati in forma tabellare sintetica, tramite esplicitazione del fattore di proporzionalità rispetto alla tensione di snervamento di calcolo, riportando le verifiche in forma estesa solo per gli elementi più sollecitati o significativi.

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO – Barre - COMB. SLU & SLV

arra	Profilato	Materiale	Lay	Laz	Resist.	Condizione
1 Colonna	Tronco 355x8.0	S 275	64.50	64.50	0.42	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
2 Colonna	Tronco 355x8.0	S 275	64.50	64.50	0.73	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
3 Colonna	Tronco 355x8.0	S 275	64.50	64.50	0.76	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
4 Colonna	Tronco 355x8.0	S 275	64.50	64.50	0.76	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
5 Colonna	Tronco 355x8.0	S 275	64.50	64.50	0.76	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
6 Colonna	Tronco 355x8.0	S 275	64.50	64.50	0.76	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
7 Colonna	Tronco 355x8.0	S 275	64.50	64.50	0.76	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
8 Colonna	Tronco 355x8.0	S 275	64.50	64.50	0.76	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
9 Colonna	Tronco 355x8.0	S 275	64.50	64.50	0.76	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
10 Colonna	Tronco 355x8.0	S 275	64.50	64.50	0.77	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
11 Colonna	Tronco 355x8.0	S 275	64.50	64.50	0.81	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
12 Colonna	Tronco 355x8.0	S 275	64.50	64.50	0.49	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
13 Trave	TRON219x6.3	S 275	87.02	87.02	0.28	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
14 Trave	TRON219x6.3	S 275	87.02	87.02	0.31	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
15 Trave	TRON219x6.3	S 275	87.02	87.02	0.32	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
16 Trave	TRON219x6.3	S 275	87.02	87.02	0.32	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
17 Trave	TRON219x6.3	S 275	87.02	87.02	0.32	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
18 Trave	TRON219x6.3	S 275	87.02	87.02	0.32	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
19 Trave	TRON219x6.3	S 275	87.02	87.02	0.32	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
20 Trave	TRON219x6.3	S 275	87.02	87.02	0.32	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
21 Trave	TRON219x6.3	S 275	87.02	87.02	0.32	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
22 Trave	TRON219x6.3	S 275	87.02	87.02	0.33	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
23 Trave	TRON219x6.3	S 275	104.43	104.43	0.37	7 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx

- La profondità e le dimensioni dei pali indissi saranno confermate in base ai risultati delle prove geotecniche in fase esecutiva .

2. OPERE DI FONDAZIONE IN CA

2.1 Premessa

La presente relazione definisce i criteri di calcolo necessari alla progettazione della struttura di fondazione dei locali: Cabina d'interfaccia e Cabina di trasformazione.

Nella figura seguente si riporta il layout:



Fig10. – Layout d'impianto

2.2 Introduzione:

La fondazione in esame è costituita da:

- Cabina d'interfaccia di dimensioni pari a 17,50m X 5.00 m di spessore pari a 30cm.
- Cabina di trasformazione di dimensioni pari a 6.60m X 3,10 m di spessore pari a 40cm.
- L'analisi statica della fondazione in oggetto è stata eseguita utilizzando un programma di calcolo agli elementi finiti (Robot Structural Analysis Professional 2024 di Autodesk), che fornisce in output le caratteristiche di sollecitazione interne alla platea di fondazione nelle diverse combinazioni di carico.
- Il calcolo delle strutture è stato eseguito in accordo alla Normativa vigente (D.M. 17/01/2018) con le seguenti assunzioni:
- l'intervento in oggetto è classificabile fra quelli di "nuova costruzione" ai sensi del D.M. 17/01/2018;
- Le azioni trasmesse in fondazione derivano dall'analisi strutturale del comportamento dell'intera opera eseguita

ipotizzando comportamento strutturale non dissipativo;

- Le strutture delle fondazioni devono essere progettate per le azioni definite sulla struttura in elevazione alla quale sono applicate le pertinenti combinazioni delle azioni.
- al precedente punto, assumendo un comportamento non dissipativo; non sono quindi necessarie armature specifiche per ottenere un comportamento duttile.
- Per il calcolo della fondazione è stata effettuata una analisi statica lineare in accordo al D.M. 17/01/2018 applicando al top dei pedestal le azioni derivanti dalla sovrastruttura, considerando la struttura di tipo non dissipativo.
- Il progetto strutturale è stato condotto considerando le condizioni:
 - Stati Limite di Servizio (SLE) ai fini della verifica delle tensioni di esercizio e della fessurazione;
- Per quanto riguarda le verifiche di resistenza di elementi strutturali e le verifiche a rottura del terreno si considerano le combinazioni statiche SLU e per le combinazioni sismiche solamente quelle allo SLV (riferimento alla tabella 7.3.III sotto riportata).

Tab. 7.3.III – Stati limite di elementi strutturali primari, elementi non strutturali e impianti

STATI LIMITE		CU I	CU II			CU III e IV		
		ST	ST	NS	IM	ST	NS	IM ^(*)
SLE	SLO					RIG		FUN
	SLD	RIG	RIG			RES		
SLU	SLV	RES	RES	STA	STA	RES	STA	STA
	SLC		DUT ^(**)			DUT ^(**)		

^(*) Per le sole CU III e IV, nella categoria Impianti ricadono anche gli arredi fissi.

^(**) Nei casi esplicitamente indicati dalle presenti norme.

- Le verifiche in DUT (duttilità) non sono state condotte in quanto la struttura è stata trattata come non dissipativa, ed in accordo al §7.2.5 le capacità degli elementi vengono valutati in accordo alle regole del capitolo §4.1 del D.M 2018.

2.3 Normative e documenti di riferimento

La progettazione andrà eseguita in accordo con la normativa attualmente vigente.

Le seguenti normative italiane saranno applicate:

- D.M. 17 Gennaio 2018 - “Nuove Norme tecniche per le costruzioni”
- Circolare 21 Gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP- “Istruzione per l’applicazione dell’aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.
- D.M. 31 Luglio 2012 “Approvazione delle Appendici nazionali recanti i parametri tecnici per l’applicazione degli Eurocodici”
- Legge 05.11.1971, n.1086 “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- Legge 02.02.1974 N. 64 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”
- D.M. 16-02-2007 “Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere di costruzione”
- D.M. 09-03-2007 “Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del corpo nazionale dei vigili del fuoco”.
- UNI EN 1990 “EUROCODICE 0 – Criteri generali di progettazione strutturale”
- UNI EN 1991 “EUROCODICE 1 – Azioni sulle strutture”
- UNI EN 1992 “EUROCODICE 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo”
- UNI EN 1997 “EUROCODICE 7 – Progettazione geotecnica”
- UNI EN 1998 “EUROCODICE 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica”

Cemento armato:

- UNI EN 206 “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità”
- UNI 11104 “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206”
- UNI 11417 “Durabilità delle opere di calcestruzzo e degli elementi prefabbricati di calcestruzzo”
- UNI EN 12350 “Prova sul calcestruzzo fresco”
- UNI EN 12390 “Prove sul calcestruzzo indurito”
- UNI EN 13670 “Esecuzione di strutture di calcestruzzo”
- UNI EN 197 “Cemento”
- UNI EN 480 “Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Metodi di prova”
- UNI EN 932 “Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati”
- UNI EN 933 “Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati”
- UNI EN 1008 “Acqua d'impasto per il calcestruzzo - Specifiche di campionamento, di prova e di valutazione dell'idoneità dell'acqua, incluse le acque di ricupero dei processi dell'industria del calcestruzzo, come acqua d'impasto del calcestruzzo”
- UNI EN 1097 “Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati”
- UNI EN 1744 “Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati”
- UNI CEN/TS 1992 “Progettazione di attacchi da utilizzare nel calcestruzzo”
- UNI EN 10080 “Acciaio d'armatura per calcestruzzo - Acciaio d'armatura saldabile - Generalità”
- UNI EN 13055 “Aggregati leggeri - Aggregati leggeri per calcestruzzo, malta e malta per iniezione”

2.4 MATERIALI

Calcestruzzo

Calcestruzzo magro di sottofondazione:

classe di resistenza C12/15 (caratteristica cubica a compressione a 28 gg. $R_{ck} \geq 15 \text{ N/mm}^2$)

Calcestruzzo in opera per strutture di fondazione:

Per le opere oggetto della presente relazione si prevede l'utilizzo di calcestruzzo di classe C25/30 avente resistenza cubica caratteristica:

$R_{ck} \geq 30 \text{ N/mm}^2$ e $f_{ck} \geq 25 \text{ N/mm}^2$ ($f_{cd} = 0.85 \cdot 0.83 \cdot 30 / 1.5 = 14,17 \text{ N/mm}^2$).

- | | |
|--------------------------------------|---------------------------|
| - Tipo cemento: | 32.5R II (UNI EN 197/1) |
| - Classe di esposizione (UNI 11104): | XC2 |
| - Dim max aggregati: | 25 mm |
| - Rapporto Acqua/Cemento | ≤ 0.6 |
| - Minimo contenuto in cemento | $\geq 280 \text{ kg/m}^2$ |
| - Classe di consistenza | $\geq S4$ |
| - Copriferro (fondazioni) | 50 mm |

Acciaio per cemento armato

Per le strutture in cemento armato devono essere utilizzati i seguenti tipi di acciaio in accordo alle NTC2018 par. 7.4.2.2 e 11.3.2.1:

- Barre ad aderenza migliorata e Rete Elettrosaldata

Acciaio tipo B450C: tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$

$1,15 < (f_t/f_y)_k < 1,35$;

$(f_y/f_{y \text{ nom}})_k \leq 1,25$;

- Le giunzioni delle barre con saldatura non sono permesse

2.5 Carichi elementari

Nella tabella seguente sono indicate le condizioni di carico considerate nel modello di calcolo:

LISTA CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI

Caso	Etichetta	Nome	Natura	Tipo di analisi
1	G1	G1	Permanenti	Static - Linear
2	G2	G2	Perm.Non-str.	Static - Linear
3	Q	Q	Categoria E	Static - Linear
4	N	N	Neve H<1000	Static - Linear
5	Vx+	Vx+	Vento	Static - Linear
6	Vx-	Vx-	Vento	Static - Linear
7	Vy+	Vy+	Vento	Static - Linear
8	Vy-	Vy-	Vento	Static - Linear
9	T	T	Termiche	Static - Linear
10	MOD10	Modale		Modal
11	SIS11	SLD X	Sismiche SLE	Dynamics - Seismic
12	SIS12	SLV X	Sismiche SLU	Dynamics - Seismic
13	SIS13	SLD Y	Sismiche SLE	Dynamics - Seismic
14	SIS14	SLV Y	Sismiche SLU	Dynamics - Seismic
15	SLD X	SLD X Equipment	Sismiche SLE	Static - Linear
16	SLV X	SLV X Equipement	Sismiche SLU	Static - Linear
17	SLD Y	SLD Y Equipement	Sismiche SLE	Static - Linear
18	SLV Y	SLV Y Equipment	Sismiche SLU	Static - Linear

2.6 Carichi Cabinati:

Per poter effettuare il dimensionamento della fondazione dei locali: la cabina d'interfaccia e la Cabina di trasformazione, si è reso necessario valutare le azioni gravanti sulla sovrastruttura.

Peso Proprio Struttura (G1):

Peso proprio derivante dalla struttura in elevazione e del peso proprio della fondazione:

- **La cabina d'interfaccia:** sarà realizzate con una struttura prefabbricata in c.a.v. monoblocco costituita da un basamento di fondazione prefabbricato a vasca e da un monoblocco in elevazione fuori terra.
- **La cabina di trasformazione:** sarà realizzate con una struttura prefabbricata in acciaio.

Carichi permanenti non strutturali (G2):

Per i pannelli di tamponamento si considerano pannelli sandwich del seguente peso:

- Pannelli $g_p = 0.50 \text{ kN/m}^2$

- La cabina d'interfaccia:

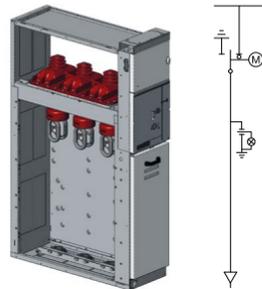
• Trasformatore con conservatore KVA:

TRASFORMATORE CON CONSERVATORE kVA		50	100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
LUNGHEZZA (A)	mm	1.100	1.200	1.280	1.300	1.320	1.390	1.420	1.660	1.750	1.960	1.950	2.200	2.340	2.320	2.350
PROFONDITÀ (B)	mm	500	600	600	680	680	800	900	900	1.000	1.030	1.050	1.050	1.150	1.250	1.250
ALTEZZA (C)	mm	1.290	1.350	1.430	1.520	1.600	1.650	1.700	1.890	2.020	2.150	2.150	2.200	2.400	2.500	2.550
INTERASSE RUOTE (D)	mm	400	520	520	520	520	670	670	670	670	670	820	820	820	1.000	1.000
DIAMETRO RUOTE	mm	100	100	100	100	100	100	100	160	160	160	160	160	160	160	160
PESO DELL'OLIO	kg	105	160	180	250	280	295	345	460	515	640	690	800	1.110	1.150	1.270
PESO TOTALE	kg	665	870	1.100	1.200	1.370	1.540	1.800	2.000	2.390	3.130	3.300	3.950	6.010	5.500	6.090

È stato deciso di applicare un carico modale pari al peso del trasformatore.

• SDC – Arrivo unità linea con interruttore di manovra-sezionatore:

SDC – Arrivo unità linea con interruttore di manovra-sezionatore



L'unità con interruttore di manovra-sezionatore viene utilizzata principalmente come unità di arrivo, ad anello o di derivazione. L'unità è dotata di un interruttore di manovra-sezionatore a 3 posizioni, che può assumere una delle seguenti posizioni: "chiuso", "aperto" o "a terra" evitando così operazioni errate. Il comparto cavi è accessibile solo nella posizione di "a terra". Le connessioni dei cavi possono essere ispezionate facilmente attraverso l'obolo della porta frontale.

Larghezza pannello	Peso ⁽¹⁾ (kg)	
mm ⁽²⁾	H = 1700 mm	H = 2000 mm
375	150	160
500	170	180
750	195	210

Un	Ir	Ik
kV	A	kA
12	630/800	16 ⁽²⁾ /20/25 ⁽²⁾ (3s)
17,5	630/800	16 ⁽²⁾ /20/25 ⁽²⁾ (3s)
24	630	16 ⁽²⁾ /20/25 ⁽²⁾ (3s)

(1) Consultare il cap. 10 per le dimensioni generali
 (2) Peso stimato senza componenti (TA, TV, scaricatori, fusibili, etc.) Dettagli nel paragrafo pesi

(1) 630 A, 16 kA 3s per comando doppia molla
 (2) 25 kA (2s) come disconnettore classe E0 (interbloccato con l'interruttore a monte) a 17,5 e 24kV

Peso = 220Kg ≈ 2.2 kN

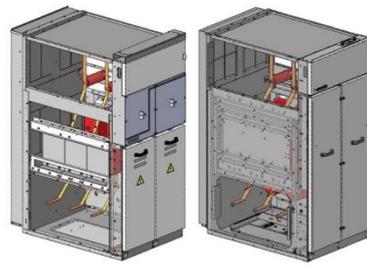
A = 0.92 m x 0.275 m = 0.253 m²

G2 = 220/0.253 = 869.56 kg/m² ≈ 8.6 kN/m²

Si è deciso di considerare un carico uniformemente distribuito sulla fondazione di **8.6 kN/m²**

• UMP-Unità di misura universale:

UMP – Unità di misura universale

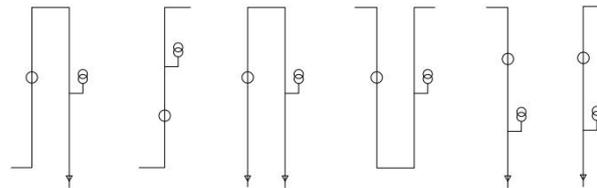


Questa unità viene utilizzata nelle applicazioni di media tensione dove è necessario un pannello dedicato per i trasformatori di misura. L'unità è molto flessibile e ne sono disponibili sei configurazioni: ingresso sistema di sbarre e uscita cavo, ingresso e uscita cavo, ingresso e uscita sbarre.

Queste configurazioni soddisfano appieno anche le richieste dei clienti più esigenti. L'accesso ai trasformatori di misura e il loro montaggio sono semplici e sicuri; l'unità è anche fornita di una grande porta che permette l'accesso dal lato frontale. La porta può essere provvista di sigilli e/o lucchetti di sicurezza.

I trasformatori di misura sono montati singolarmente su piastre di scorrimento che sono fissate a guide posizionate sulle pareti. L'unità è predisposta per l'installazione dei trasformatori di misura DIN.

(Su richiesta, contattare ABB)



Larghezza pannello	Peso ⁽¹⁾ (kg)		Un	Ir	Ik
mm ⁽²⁾	H = 1700 mm	H = 2000 mm ⁽³⁾	kV	A	kA
750	200	220	12	630/800	16/20/25 ⁽⁴⁾ (3s)
			17.5	630/800	16/20/25 ⁽⁴⁾ (3s)
			24	630	16/20/25 ⁽⁴⁾ (3s)

(1) Peso stimato senza componenti (TA, TV, scaricatori, fusibili, ecc.) Dettagli nel paragrafo pesi

Peso = 220Kg ≈ 2.2 kN

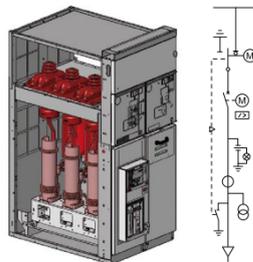
A = 0.55m x 0.270m = 0.1485 m²

G2 = 220/0.270 = 1481.5 kg/m² ≈ 14.8 kN/m²

si è deciso di considerare un carico uniformemente distribuito sulla fondazione di **14.8 kN/m²**

• SBC- Arrivo linea con interruttore e interruttore di manovra-sezionatore:

SBC – Arrivo linea con interruttore e interruttore di manovra-sezionatore



Le unità SBC sono state progettate per il controllo e la protezione di linee di distribuzione, reti, motori, trasformatori, batterie di condensatori, ecc. L'unità può essere dotata di un interruttore in vuoto o in gas SF₆. L'interruttore è montato su una guida e fissato alle sbarre.

Per le manovre di isolamento è previsto un interruttore di manovra-sezionatore a 3 posizioni dotato di un sezionatore di terra e montato tra l'interruttore e le sbarre.

La porta è interbloccata meccanicamente con la posizione di messa a terra dell'interruttore di manovra-sezionatore per garantire la sicurezza del personale.

L'unità può essere dotata di TA, TV o sensori. In alternativa è disponibile un interruttore con sensore di corrente e relè integrati.

Larghezza pannello	Peso ⁽¹⁾ (kg)		Un	Ir	Ik	ItAg ⁽²⁾
mm ⁽²⁾	H = 1700 mm	H = 2000 mm	kV	A	kA	kAp
750	335	355	2	630/800	16/20/25 ⁽³⁾ (3s)	40/50/63
			7.5	630/800	16/20/25 ⁽³⁾ (3s)	40/50/63
			24	630	16/20/25 ⁽³⁾ (3s)	40/50/63

(1) Consultare il cap. 20 per le dimensioni di ingombro
(2) Peso stimato senza componenti (TA, TV, scaricatori, paragrafo pesi)

(*) Potere di chiusura del sezionatore di terra a valle ES2/3D. N classe E1, M0 solo per la versione con commutazione sbarre inferiore destra.
(2) 25 kA (D) come disconnettore classe 60 con interruttore in vuoto 630A a 17.5 e

Sono presenti all'interno del locale n°8 SBC:

Peso = 8 x 380 kg = 3040 kg ≈ 30.40 kN

A = 8 x 0.610m x 0.35 m = 1.708 m²

G2 = 30.40 / 1.708 kN/m² = 17.798 kN/m².

si è deciso di considerare un carico uniformemente distribuito sulla fondazione di **17.80 kN/m²**

- **La cabina di trasformazione:**

Type Designation	SG3300UD-MV	SG4400UD-MV
Input (DC)		
Max. PV input voltage	1500 V	
Min. PV input voltage / Startup input voltage	895 V / 905 V	
MPP voltage range	895 – 1500 V	
No. of independent MPP inputs	3	4
No. of DC inputs	15(optional: 18/21 inputs negative grounding)	20(optional: 24/28 inputs negative grounding)
Max. PV input current	3 * 1400 A	4 * 1435 A
Max. DC short-circuit current	3 * 3528 A	4 * 3528 A
PV array configuration	Negative grounding or floating	
Output (AC)		
AC output power	3300 kVA @ 45 °C 3399 kVA @ 40°C 3795 kVA @ 20°C	4400 kVA @ 45 °C 4532 kVA @ 40°C 5060 kVA @ 20°C
Max. inverter output current	3 * 1160 A	4 * 1160 A
Max. AC output current	219.2 A	292.2 A
AC voltage range	10 kV – 35 kV	
Nominal grid frequency / Grid frequency range	50 Hz / 45 – 55 Hz, 60 Hz / 55 – 65 Hz	
Harmonic (THD)	< 3 % (at nominal power)	
Power factor at nominal power / Adjustable power factor	> 0.99 / 0.8 leading – 0.8 lagging	
Feed-in phases / AC connection	3 / 3-PE	
Efficiency		
Inverter max. efficiency / Inverter European efficiency	99.0 % / 98.7 %	
Transformer		
Transformer rated power	3300 kVA	4400 kVA
Transformer max. power	3795 kVA	5060 kVA
LV / MV voltage	0.63 kV / (10 – 35) kV	
Impedance	7 % (0 ~ ± 10 %) @ 3300 kVA	8 % (0 ~ ± 10 %) @ 4400 kVA
Transformer vector	Dy11	
Transformer cooling type	ONAN / Optional: ONAF	
Oil type	Mineral oil (PCB free) or degradable oil on request	
Protection & Function		
DC input protection	Load break switch + fuse	
Inverter output protection	Circuit breaker	
AC MV output protection	Circuit breaker	
Surge protection	DC Type II / AC Type II	
Grid monitoring / Ground fault monitoring	Yes / Yes	
Insulation monitoring	Yes	
Overheat protection	Yes	
Q at night function	Optional	
General Data		
Dimensions (W*H*D)	6058 mm * 2896 mm * 2438 mm	
Weight	≤ 16 T	≤ 17.5 T
Degree of protection	Inverter: IP65 / Others: IP54	
Auxiliary power supply	5 kVA (optional: max. 40 kVA)	
Operating ambient temperature range	-35 to 60 °C (> 45 °C derating)	
Allowable relative humidity range	0 – 100 %	
Cooling method	Temperature controlled forced air cooling	
Max. operating altitude	1000 m (standard) / > 1000 m (optional)	
Display	LED indicators, WLAN + WebHMI	
Communication	Standard: RS485, Ethernet; Optional: optical fiber; MPLC	
Compliance	CE, IEC 62109, IEC 61727, IEC 62116, IEC 62271-202, IEC 62271-200, IEC 60076	
Grid support	Q at night (Optional), L/HVRT, active & reactive power control and power ramp rate control	

È stato deciso di applicare un carico modale pari al peso della cabina di trasformazione.

Carico della neve (N)

Il carico neve dovrà essere conforme al D.M. 17/01/18:

$$q_s = \mu_1 \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

L'azione della neve è definita considerando i seguenti parametri del sito:

Zona di carico della neve 2

$$q_{sk} = 1 \text{ kN/m}^2$$

- Altezza del sito sopra il livello del mare $a_s = 6\text{m} < 200\text{m}$
- Coefficiente di esposizione $C_E = 1.0$
- Coefficiente termico $C_t = 1.0$
- Coefficiente di forma $\mu_1 = 0.8$
- Valore caratteristico della neve al suolo $q_{sk} = 1 \text{ kN/m}^2$

$$q_s = 0.8 \text{ kN/m}^2$$

Carico del vento

Il carico vento è stato determinato in accordo a quanto previsto dal Cap.3.3 del D.M. 17/01/18, assumendo per il sito in esame i seguenti parametri:

La velocità di progetto del vento è stata determinata in accordo alle D.M. 17/01/18, sono stati considerati i seguenti parametri:

Comune: Polesella (RO);

Regione: Veneto;

Zona: 1 ($v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$, $a_0 = 1000 \text{ m}$, $k_s = 0.4$).

$$V_b = v_{b,0} \cdot C_a$$

Ove:

$$C_a = 1 \quad \text{per } a_s < a_0$$

$$C_a = 1 + k_s [(a_s / a_0) - 1] \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

Classe rugosità terreno: D (Area priva di ostacoli).

Altitudine: $a_s = 6 \text{ m s.l.m.} < a_0 = 1000 \text{ m}$

Categoria esposizione II ($k_r = 0.19$, $z_0 = 0.05 \text{ m}$, $z_{min} = 4.0\text{m}$)

Velocità di riferimento $v_r = v_b \cdot C_r = 25.02 \text{ m/s}$ ($T_r = 50 \text{ anni} \Rightarrow C_r = 1$)

Pressione cinetica di riferimento $q_r = 0.5 \cdot v_r^2 \cdot 1.25 = 391.20 \text{ N/m}^2$

Coefficiente di esposizione:

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{if } z \geq z_{min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{min}) \quad \text{if } z < z_{min}$$

$c_t = 1$ coefficiente di topografia

Coefficiente di esposizione minimo	$C_{e,min}$	1.800	$Z \leq 4\text{m}$
Coefficiente di esposizione al colmo	$C_{e,4.2m}$	1.800	$Z = 4\text{m}$

$c_e = 1.800$ (per $z_{colmo} = 4.00$ m) $q = q_b \cdot c_e = 391.20 \times 1.800 = 704.16$ N/m² = 0.71 kN/m²

Per i coefficienti di pressione esterni si fa riferimento alla circolare 21/01/2019 delle NTC2018

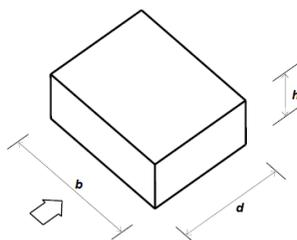


Figura G.1 – Parametri caratteristici di edifici a pianta rettangolare.

Tabella G.1 – Edifici a pianta rettangolare: c_{pe} per facce sopravento, sottovento e laterali.

Faccia sopravento	Facce laterali	Faccia sottovento
$h/d \leq 1: c_{pe} = 0,7 + 0,1 \cdot h/d$	$h/d \leq 0,5: c_{pe} = -0,5 - 0,8 \cdot h/d$	$h/d \leq 1: c_{pe} = -0,3 - 0,2 \cdot h/d$
$h/d > 1: c_{pe} = 0,8$	$h/d > 0,5: c_{pe} = -0,9$	$1 < h/d \leq 5: c_{pe} = -0,5 - 0,05 \cdot (h/d - 1)$

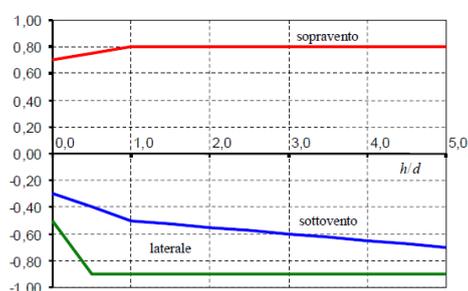


Figura G.2 – Edifici a pianta rettangolare: c_{pe} per facce sopravento, sottovento e laterali.

A favore di sicurezza si sceglie di adottare un carico da vento a metro quadrato pari a:

$$P = 1.2 \text{ kN/m}^2$$

Variazione termica (T)

In accordo al D.M. 17/01/18, nel calcolo della struttura in oggetto è stata considerata una variazione termica per strutture in carpenteria metallica esposte pari a:

$$\Delta T = \pm 25^\circ$$

Carichi Sismici

Il Comune di Polesella (RO) è a rischio sismico dalla Normativa italiana vigente con zona a sismicità 3.

La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che si verifichi in un certo intervallo temporale un evento sismico di entità pari ad un valore prefissato.

Il lasso di tempo in questione è il “ V_R ” che, associato alla “probabilità di superamento nel periodo di riferimento” P_{VR} , determina il periodo di ritorno T_R del sisma. Il periodo di ritorno del sisma per le analisi agli stati limite eseguite è pari a:

$$T_R = V_R \quad \text{stato limite di danno (SLD)}$$

$$T_R = 9.50 \cdot V_R \quad \text{stato limite di salvaguardia della vita (SLV)}$$

La vita di riferimento dell’opera si calcola dal prodotto tra la vita nominale V_N , da intendersi pari al numero di anni durante i quali deve essere usata, pur con la necessaria manutenzione ordinaria, per gli scopi previsti, ed il coefficiente d’uso C_U che traduce la destinazione d’uso dell’opera quantificandone l’importanza/pericolosità.

Si riportano di seguito i dati sismici del sito in oggetto.

Per la struttura qui esaminata si è assunto:

$$V_N = 50 \text{ anni}$$

$C_u = 1$, corrispondente alla classe d'uso II definita dalla Norma

La V_R risulta di conseguenza pari a 50 anni ed i periodi di riferimento del sisma diventano:

$T_R = 30$ anni stato limite di operatività (SLO)

$T_R = 50$ anni stato limite di danno (SLD)

$T_R = 475$ anni stato limite di salvaguardia della vita (SLV)

$T_R = 975$ anni stato limite di collasso (SLC)

Fissato il sito di interesse presso il Comune di Polesella (RO), i valori di riferimento per il calcolo dell'azione sismica sono riportati nelle tabelle sottostanti.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Parametri di pericolosità Sismica				
	T_r	a_g	F_o	T^*_c
"Stato Limite"	[anni]	[g]	[-]	[s]
Operatività	30	0,031	2,540	0,223
Danno	50	0,037	2,573	0,270
Salvaguardia Vita	475	0,081	2,607	0,333
Prevenzione Collasso	975	0,104	2,600	0,333

Lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle seguenti espressioni:

Dove:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

a_g : Accelerazione orizzontale massima al sito;

S : Coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche $S = SS \times ST$;

SS : Coefficiente di amplificazione stratigrafica;

ST : Coefficiente di amplificazione topografica;

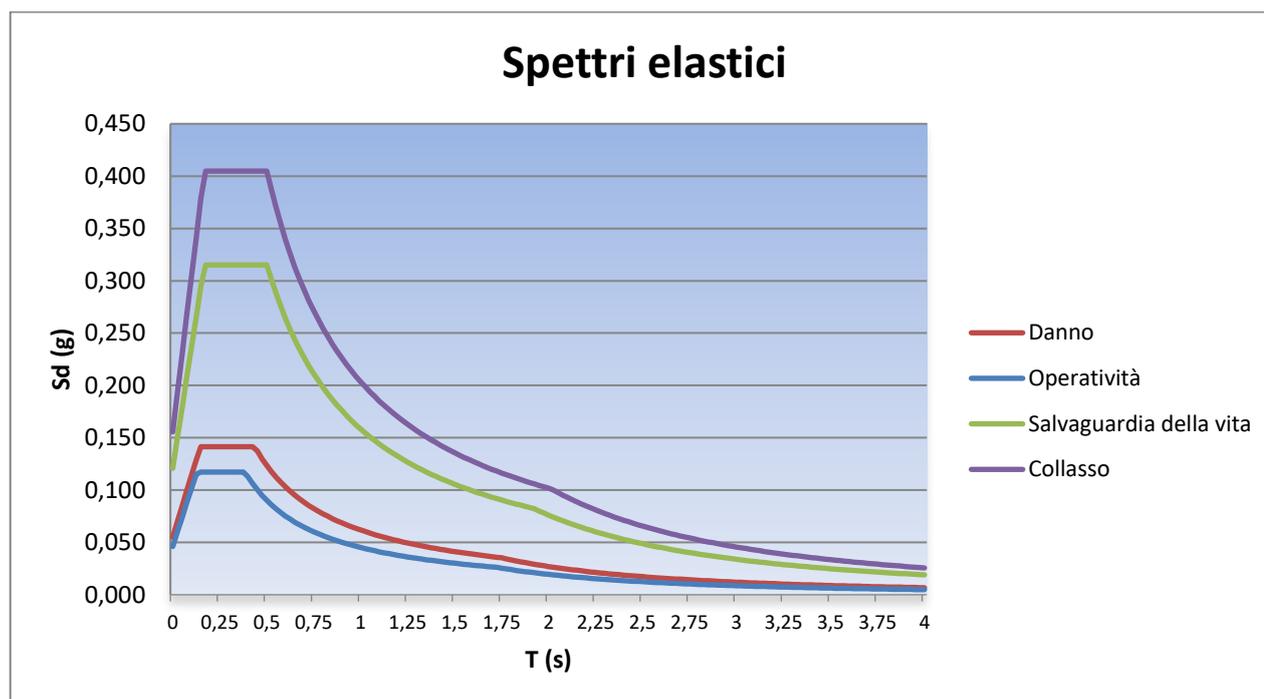
η : Damping;

F_0 : Fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido;

T_B, T_C^*, T_C, T_D . periodi caratteristici dello spettro in funzione della categoria di sottosuolo

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

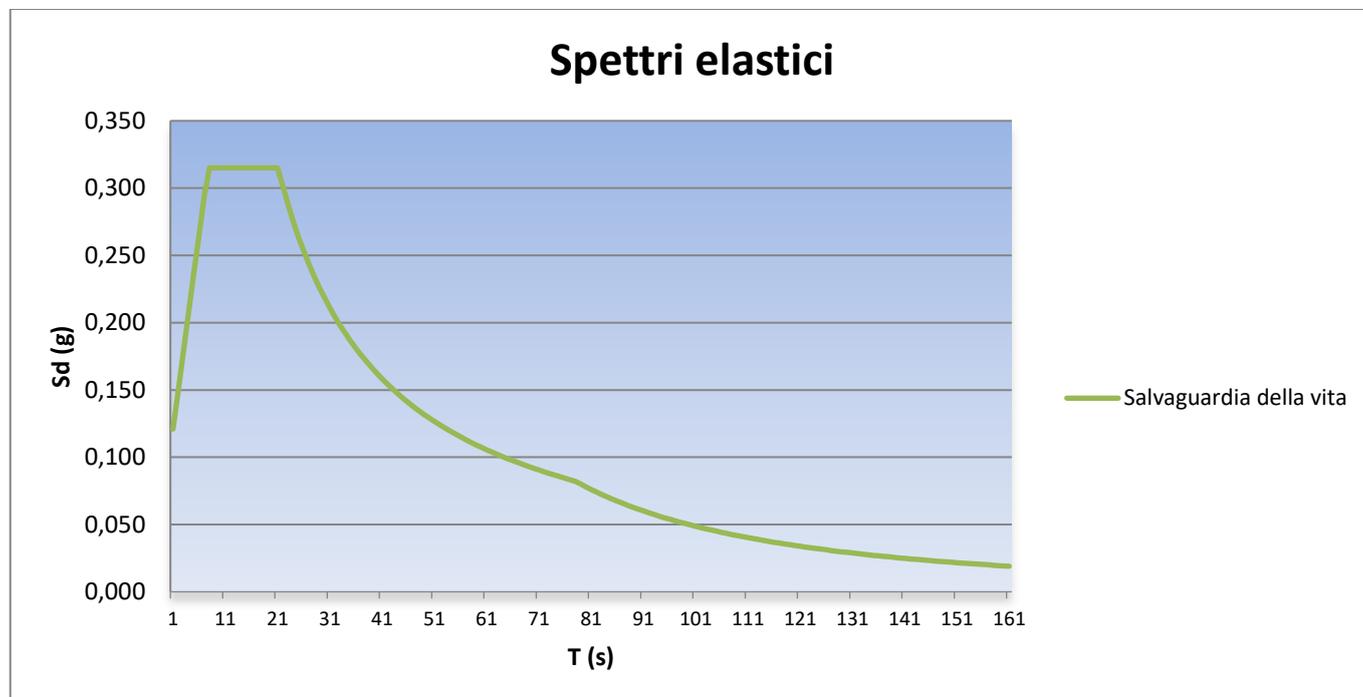
Considerando la tabella seguente per la classificazione stratigrafica e topografica del sito



Categoria di profilo stratigrafico	C
Categoria Topografica:	T1

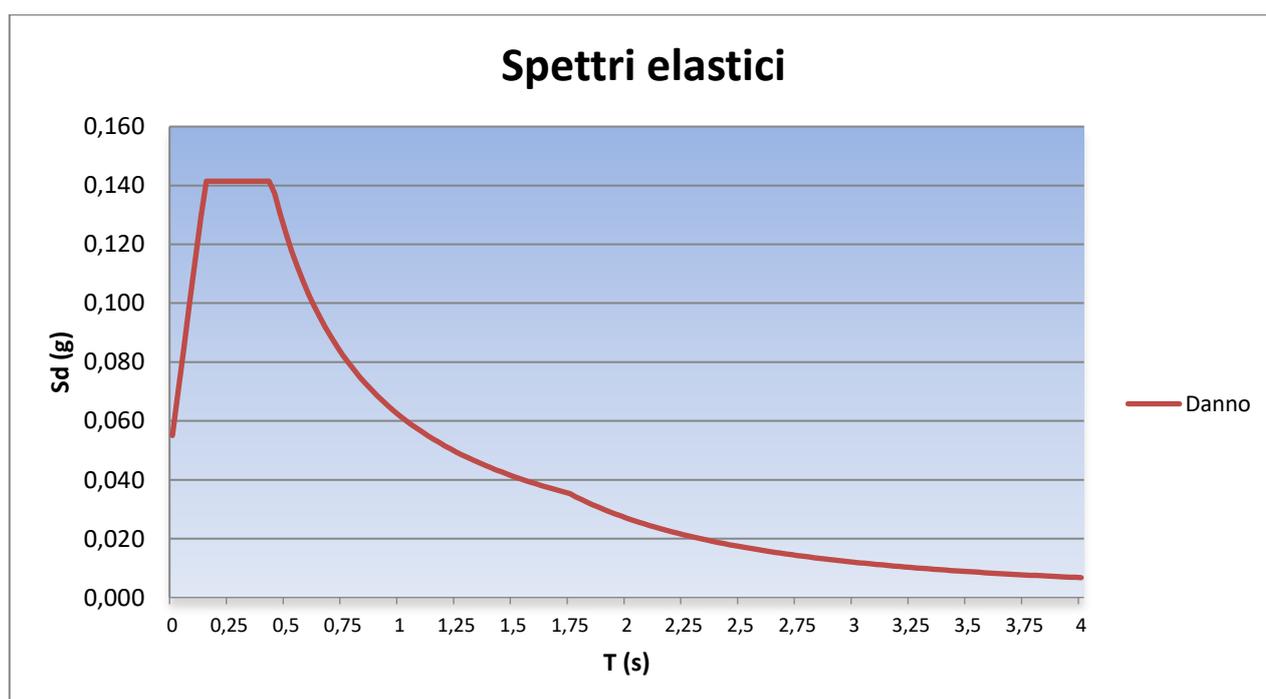
Stato limite di Salvaguardia della vita (SLV)

ORIZZONTALE					
Ss	Cc	S	TB	TC	TD
1,50	1,51	1,50	0,167	0,502	1,922



Stato limite di Danno (SLD)

ORIZZONTALE					
Ss	Cc	S	TB	TC	TD
1,50	1,62	1,50	0,146	0,437	1,747



Le verifiche, nei confronti degli stati limite sismici, sono state condotte assumendo un fattore di struttura $q=1$

COEFFICIENTI DI PARTECIPAZIONE DELLE MASSE

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

Peso proprio (G1)	1
Permanenti Non strutturali (G2)	1
Variabili (Q)	0.8

Ai fini della progettazione della fondazione, i carichi ottenuti dal calcolo della struttura in elevazione per le condizioni sismiche sono stati applicati come forze nodali alla base delle colonne.

2.7 Combinazioni di carico :

In accordo all'NTC2018 § 6.4.2, per il progetto delle fondazioni i carichi di Progetto devono essere combinati in accordo a quanto segue:

Stato limite ultimo (SLU)

Nelle verifiche di sicurezza sono presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine. Le verifiche sono effettuate nei confronti dei seguenti stati limite:

SLU di tipo geotecnico (GEO)

collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;

collasso per scorrimento sul piano di posa;

stabilità globale.

SLU di tipo strutturale (STR)

raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali

Tutte le verifiche, eccetto le verifiche di stabilità globale, devono essere effettuate seguendo almeno uno dei due approcci:

Approccio 1

Combinazione 1 (A1+M1+R1)

Combinazione 2 (A2+M2+R2)

Approccio 2

Combinazione (A1+M1+R3)

I valori dei coefficienti parziali sono riportati nelle tabelle seguenti:

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

Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	Coefficiente Parziale	
			(A1)	(A2)
Carichi permanenti G ₁	Favorevole	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole	1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti G ₂ ⁽¹⁾	Favorevole	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole	1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole	1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G₂ si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{c1}

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	$\tan \varphi'_k$	γ_φ	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_γ	γ_γ	1,0	1,0

2.8 Programma di calcolo:

L'analisi strutturale e le verifiche delle strutture in oggetto sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico ad elementi finiti: Robot Structural Analysis Professional 2024 di

Titolo	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2024
Autore	Autodesk Inc.
Produttore	Autodesk Inc.
Fornitore	Autodesk Inc.
Versione	37.0.0.10095(x64)
Licenza no.	563-61811595

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico.

La verifica della sicurezza degli elementi strutturali avviene con i metodi della scienza e della tecnica delle costruzioni. L'analisi statica è di tipo non lineare e utilizza il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tenso-deformativo indotto da carichi statici. La non linearità del problema deriva dalla modellazione dell'interazione terreno-fondazione considerato di tipo elastico in compressione ma non reagente a trazione.

L'analisi strutturale è effettuata con il metodo degli elementi finiti. Nel caso specifico gli elementi monodimensionali sono stati modellati tramite l'utilizzo di elementi monodimensionali tipo "beam" mentre gli elementi bidimensionali tramite elementi "shell".

Il metodo degli elementi finiti sopraindicato si basa sulla schematizzazione della struttura in elementi connessi solo in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi. I nodi sono definiti dalle tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale.

Le incognite del problema (nell'ambito del metodo degli spostamenti) sono le componenti di spostamento dei nodi riferite al sistema di riferimento globale (traslazioni secondo X, Y, Z, rotazioni attorno X, Y, Z). La soluzione del problema si ottiene con un sistema di equazioni algebriche lineari i cui termini noti sono costituiti dai carichi agenti sulla struttura opportunamente concentrati ai nodi.

L'analisi strutturale è eseguita mediante analisi di rigidità per la valutazione dello stato di tensione-deformazione indotta dall'analisi statica.

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limiti Ultimi.

Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

La valutazione della affidabilità e idoneità del software per questo progetto è stata consentita da un esame della documentazione fornita dallo sviluppatore. Questa documentazione contiene la descrizione completa della base teorica, gli algoritmi utilizzati, l'individuazione delle aree di applicazione, test (con file di input necessari a riprodurre il processo) del tutto risolti e discussi.

Il programma prevede una serie di controlli automatici (check) che consentono l'individuazione di errori di modellazione, quali mesh non coerente, presenza di nodi isolati, assenza di vincoli, il non rispetto delle limitazioni geometriche, la presenza di elementi non verificati, la non convergenza del calcolo nel caso di analisi non lineare, il mancato raggiungimento dei limiti normativi, la ridondanza di oggetti modellati, etc...

Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabulare, la totalità dei dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

Oltre al controllo automatico condotto dal software, i risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti ad ulteriori controlli che ne comprovano l'attendibilità e l'accettabilità. Questi controlli, eseguiti manualmente con metodi tradizionali, consistono in verifiche di equilibrio tra reazioni vincolari e carichi applicati, comparazioni tra i risultati delle analisi e quelli di valutazioni semplificati, etc...

In base a quanto detto, si può asserire che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico; pertanto, i risultati di calcolo

sono da ritenersi validi ed accettabili.

Ci si riferisce alle seguenti convenzioni:

Sistema di riferimento globale Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2024: per coordinate e spostamenti nodali e per i carichi applicati.

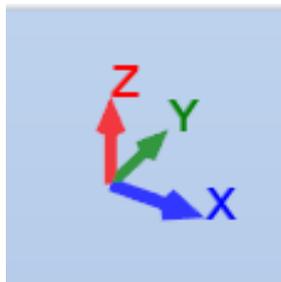


FIG. 11 – Sistema di riferimento globale modello 3d

Sistema di riferimento locale Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2024: per le azioni interne.

Unità di misura utilizzate: kN, kNm

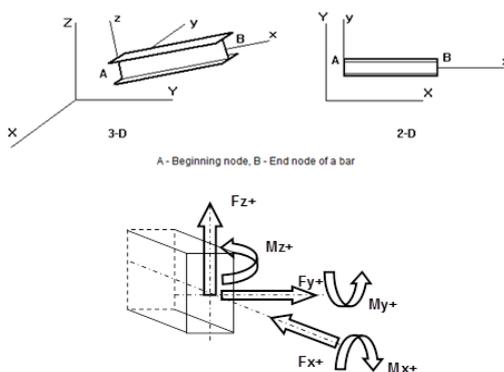


FIG. 12 – Sistema di riferimento locale elementi finiti monodimensionali (barre)

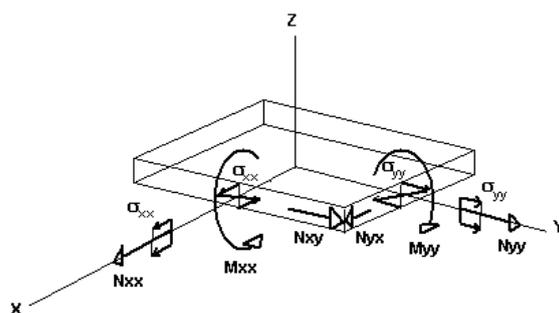


FIG. 13 – Sistema di riferimento locale elementi finiti bidimensionali

2.9 Parametri Geotecnici:

Come descritto nella relazione geotecnica, si è deciso di utilizzare delle solette di fondazione con le seguenti caratteristiche:

Classificazione Suolo:

- categoria di sottosuolo: C
- Categoria topografica : T1

Nella tabella sottostante sono riportati i valori della costante di Winkler e della capacità portante, per le diverse tipologie fondazionali.

	Z	B	L	Modulo di reazione verticale K_{s,v}	Modulo di reazione orizzontale K_{s,h}
	(m)	(m)	(m)	(KN/m³)	(KN/m³)
Cabina di trasformazione	0.40	0.60	6.60	4667	2333
Cabina di interfaccia	0.85	5.00	17.50	2500	1250

2.10 Modello di calcolo

Fondazione _ Cabina d'interfaccia:

Per il calcolo della struttura in oggetto è stata utilizzata l'analisi agli elementi finiti, modellando le platee di fondazione come lastre orizzontali di spessore costante, costituite da elementi "shell" su suolo elastico alla Winkler mediante molle di cedevolezza verticale di 2500 kN/m³ e orizzontale pari a 1250 kN/m³, i pedestal invece sono stati schematizzati come elementi monodimensionali tipo "beam".

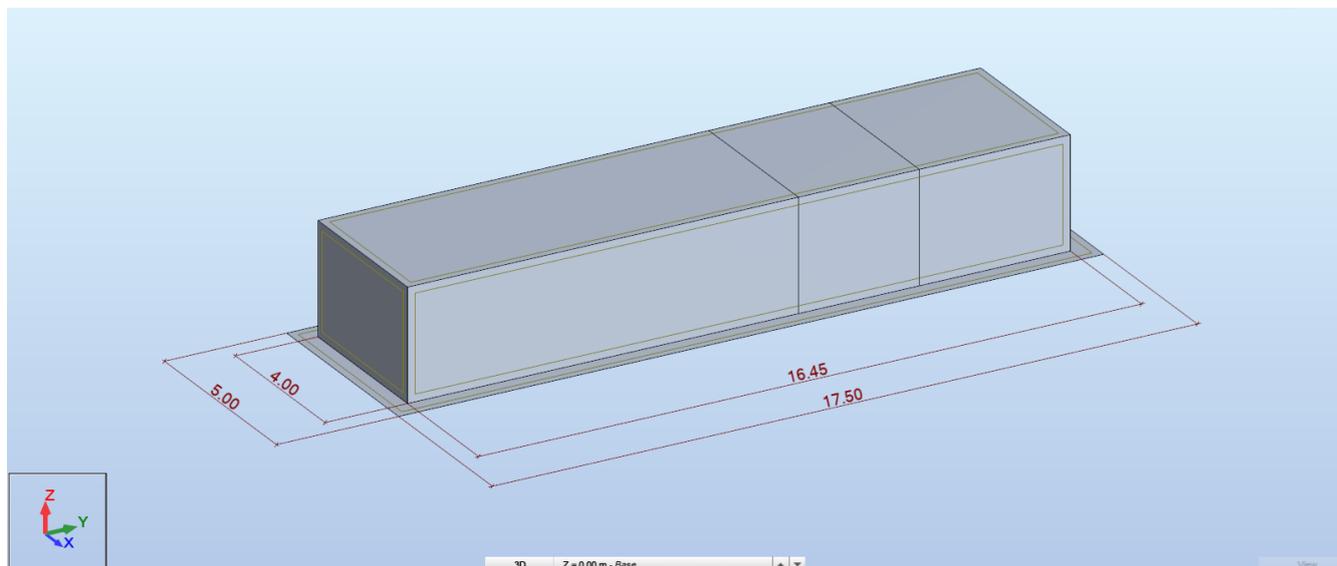


FIG19. – Planimetria modello di calcolo

Elementi tipo shell

Elementi tipo "shell" che rappresentano la platea di fondazione: TH = 30 cm

I carichi applicati (come elencati nel capitolo dedicato) sono di varia natura, precisamente:

- Carichi nodali derivanti dall'analisi della sovrastruttura;

Nelle pagine seguenti si riportano le viste dei modelli di calcolo della fondazione in oggetto e si evidenziano i dati di input e output forniti dal modello di calcolo, le sollecitazioni interne nella platea di fondazione e le azioni nei pilastri con le rispettive verifiche.

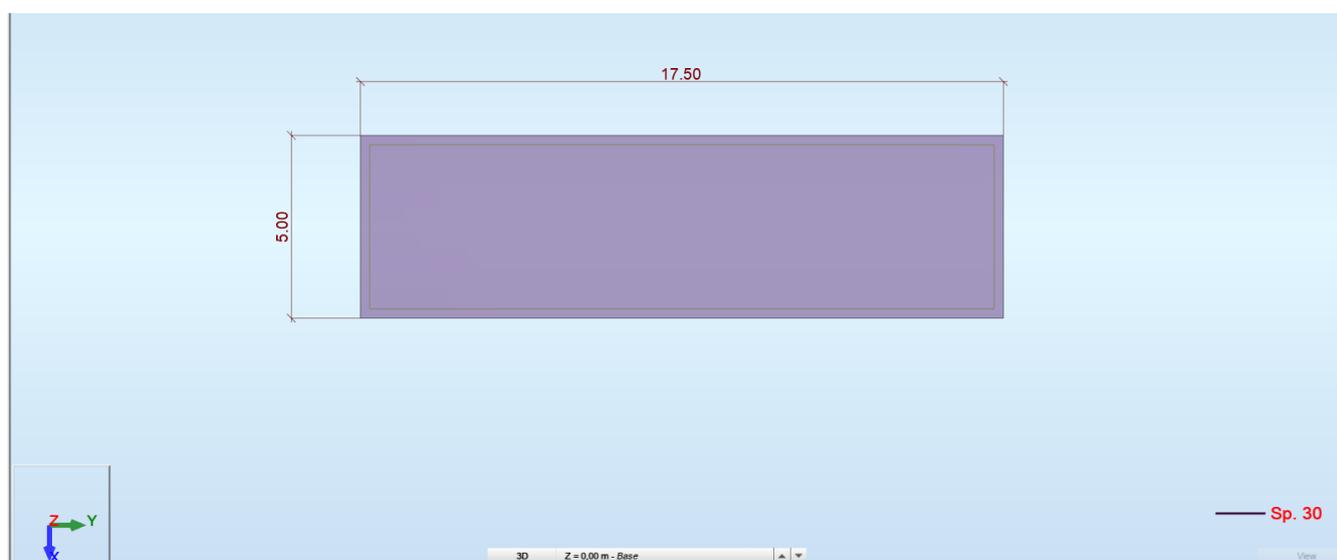


FIG20. – Planimetria modello di calcolo

Coordinate e Numerazione Nodi – Fondazione

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)		Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	0	0	0		1673	1,9	9,9	0
2	4	0	0		1674	1,9	10,3	0
3	0	16,45	0		1675	1,9	10,7	0
4	4	16,45	0		1676	1,9	11,1	0
5	0,7	8,23	1		1677	1,9	11,5	0
6	0,4	7,63	0		1678	1,9	11,9	0
7	1	7,63	0		1679	1,9	12,3	0
8	1	8,83	0		1680	1,9	13,1	0
9	0,4	8,83	0		1681	1,9	13,5	0
10	2	2,6	0		1682	1,9	13,9	0
11	2	2,88	0		1683	1,9	14,3	0
12	1,08	2,6	0		1684	1,9	14,7	0
13	1,08	2,88	0		1685	1,9	15,1	0
14	2	3,15	0		1686	1,9	15,5	0
15	1,45	2,88	0		1687	1,9	15,9	0
16	1,45	3,15	0		1688	2,3	0,3	0
17	2	5,95	0		1689	2,3	0,7	0
18	1,39	3,15	0		1690	2,3	1,1	0
19	1,39	5,95	0		1691	2,3	1,5	0
482	0	9,7	0		1692	2,3	1,9	0
483	4	9,7	0		1693	2,3	2,3	0
495	0,4	9,7	0		1694	2,3	3,5	0
496	0,8	9,7	0		1695	2,3	3,9	0
497	1,2	9,7	0		1696	2,3	4,3	0
498	1,6	9,7	0		1697	2,3	4,7	0
499	2	9,7	0		1698	2,3	5,1	0
500	2,4	9,7	0		1699	2,3	5,5	0
501	2,8	9,7	0		1700	2,3	6,3	0
502	3,2	9,7	0		1701	2,3	6,7	0
503	3,6	9,7	0		1702	2,3	7,1	0
570	0	12,7	0		1703	2,3	7,5	0
571	4	12,7	0		1704	2,3	7,9	0
583	0,4	12,7	0		1705	2,3	8,3	0
584	0,8	12,7	0		1706	2,3	8,7	0
585	1,2	12,7	0		1707	2,3	9,1	0
586	1,6	12,7	0		1708	2,3	9,5	0
587	2	12,7	0		1709	2,3	9,9	0
588	2,4	12,7	0		1710	2,3	10,3	0
589	2,8	12,7	0		1711	2,3	10,7	0
590	3,2	12,7	0		1712	2,3	11,1	0
591	3,6	12,7	0		1713	2,3	11,5	0
887	4	0,4	0		1714	2,3	11,9	0
889	4	0,81	0		1715	2,3	12,3	0
890	4	1,21	0		1716	2,3	13,1	0
892	4	1,62	0		1717	2,3	13,5	0
893	4	2,02	0		1718	2,3	13,9	0
894	4	2,43	0		1719	2,3	14,3	0

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)		Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
895	4	2,83	0		1720	2,3	14,7	0
896	4	3,23	0		1721	2,3	15,1	0
897	4	3,64	0		1722	2,3	15,5	0
898	4	4,04	0		1723	2,3	15,9	0
900	4	4,45	0		1724	2,7	0,3	0
901	4	4,85	0		1725	2,7	0,7	0
902	4	5,66	0		1726	2,7	1,1	0
903	4	5,25	0		1727	2,7	1,5	0
904	4	6,06	0		1728	2,7	1,9	0
905	4	6,47	0		1729	2,7	2,3	0
906	4	6,87	0		1730	2,7	2,7	0
907	4	7,28	0		1731	2,3	2,7	0
908	4	7,68	0		1732	2,7	3,1	0
909	4	8,08	0		1733	2,3	3,1	0
910	4	8,49	0		1734	2,7	3,5	0
911	4	8,89	0		1735	2,7	3,9	0
913	4	9,3	0		1736	2,7	4,3	0
943	4	10,08	0		1737	2,7	4,7	0
944	4	10,45	0		1738	2,7	5,1	0
945	4	10,83	0		1739	2,7	5,5	0
946	4	11,2	0		1740	2,7	5,9	0
947	4	11,58	0		1741	2,3	5,9	0
948	4	11,95	0		1742	2,7	6,3	0
949	4	12,33	0		1743	2,7	6,7	0
954	4	13,12	0		1744	2,7	7,1	0
956	4	13,53	0		1745	2,7	7,5	0
957	4	13,95	0		1746	2,7	7,9	0
958	4	14,37	0		1747	2,7	8,3	0
959	4	14,78	0		1748	2,7	8,7	0
960	4	15,62	0		1749	2,7	9,1	0
961	4	15,2	0		1750	2,7	9,5	0
962	4	16,03	0		1751	2,7	9,9	0
1013	3,6	16,45	0		1752	2,7	10,3	0
1014	3,2	16,45	0		1753	2,7	10,7	0
1015	2,8	16,45	0		1754	2,7	11,1	0
1016	2,4	16,45	0		1755	2,7	11,5	0
1017	2	16,45	0		1756	2,7	11,9	0
1018	1,6	16,45	0		1757	2,7	12,3	0
1019	1,2	16,45	0		1758	2,7	13,1	0
1020	0,8	16,45	0		1759	2,7	13,5	0
1021	0,4	16,45	0		1760	2,7	13,9	0
1311	0	16,03	0		1761	2,7	14,3	0
1312	0	15,62	0		1762	2,7	14,7	0
1315	0	15,2	0		1763	2,7	15,1	0
1316	0	14,78	0		1764	2,7	15,5	0
1317	0	14,37	0		1765	2,7	15,9	0
1318	0	13,95	0		1766	3,1	0,3	0
1319	0	13,53	0		1767	3,1	0,7	0
1320	0	13,12	0		1768	3,1	1,1	0

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)		Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
1326	0	12,33	0		1769	3,1	1,5	0
1327	0	11,95	0		1770	3,1	1,9	0
1328	0	11,58	0		1771	3,1	2,3	0
1329	0	11,2	0		1772	3,1	2,7	0
1330	0	10,83	0		1773	3,1	3,1	0
1331	0	10,08	0		1774	3,1	3,5	0
1332	0	10,45	0		1775	3,1	3,9	0
1335	0	9,3	0		1776	3,1	4,3	0
1338	0	8,89	0		1777	3,1	4,7	0
1367	0	8,49	0		1778	3,1	5,1	0
1368	0	7,68	0		1779	3,1	5,5	0
1369	0	8,08	0		1780	3,1	5,9	0
1370	0	7,28	0		1781	3,1	6,3	0
1371	0	6,87	0		1782	3,1	6,7	0
1372	0	6,47	0		1783	3,1	7,1	0
1373	0	6,06	0		1784	3,1	7,5	0
1374	0	5,66	0		1785	3,1	7,9	0
1375	0	5,25	0		1786	3,1	8,3	0
1376	0	4,85	0		1787	3,1	8,7	0
1377	0	4,45	0		1788	3,1	9,1	0
1378	0	4,04	0		1789	3,1	9,5	0
1379	0	3,64	0		1790	3,1	9,9	0
1380	0	3,23	0		1791	3,1	10,3	0
1381	0	2,83	0		1792	3,1	10,7	0
1382	0	2,43	0		1793	3,1	11,1	0
1383	0	2,02	0		1794	3,1	11,5	0
1384	0	1,62	0		1795	3,1	11,9	0
1385	0	1,21	0		1796	3,1	12,3	0
1386	0	0,81	0		1797	3,1	13,1	0
1387	0	0,4	0		1798	3,1	13,5	0
1443	0,4	0	0		1799	3,1	13,9	0
1444	0,8	0	0		1800	3,1	14,3	0
1445	1,2	0	0		1801	3,1	14,7	0
1446	1,6	0	0		1802	3,1	15,1	0
1447	2	0	0		1803	3,1	15,5	0
1448	2,4	0	0		1804	3,1	15,9	0
1449	2,8	0	0		1805	3,5	0,3	0
1450	3,2	0	0		1806	3,5	0,7	0
1451	3,6	0	0		1807	3,5	1,1	0
1506	0,3	0,3	0		1808	3,5	1,5	0
1507	0,7	0,3	0		1809	3,5	1,9	0
1508	0,7	0,7	0		1810	3,5	2,3	0
1509	0,3	0,7	0		1811	3,5	2,7	0
1510	0,7	1,1	0		1812	3,5	3,1	0
1511	0,3	1,1	0		1813	3,5	3,5	0
1512	0,7	1,5	0		1814	3,5	3,9	0
1513	0,3	1,5	0		1815	3,5	4,3	0
1514	0,7	1,9	0		1816	3,5	4,7	0
1515	0,3	1,9	0		1817	3,5	5,1	0

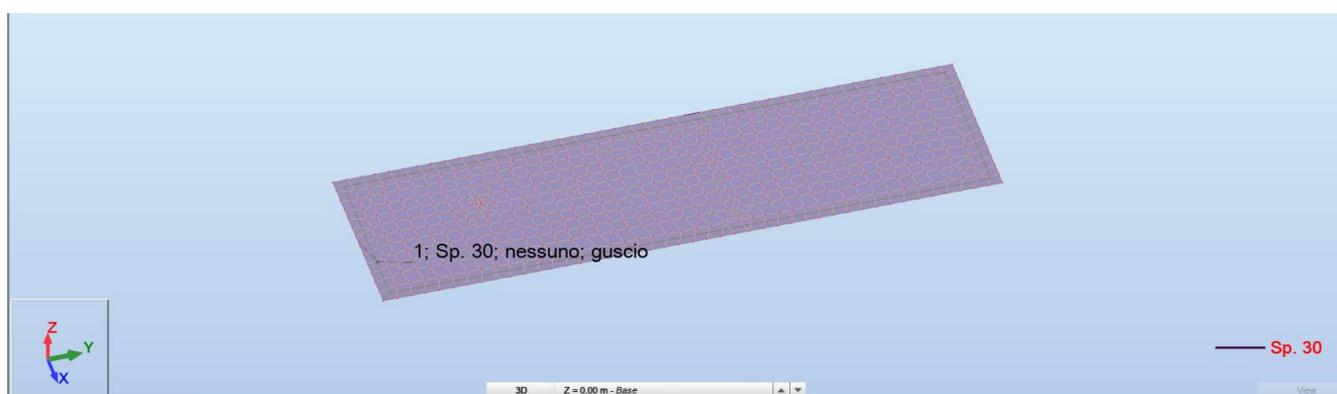
Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)		Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
1516	0,7	2,3	0		1818	3,5	5,5	0
1517	0,3	2,3	0		1819	3,5	5,9	0
1518	0,7	2,7	0		1820	3,5	6,3	0
1519	0,3	2,7	0		1821	3,5	6,7	0
1520	0,7	3,1	0		1822	3,5	7,1	0
1521	0,3	3,1	0		1823	3,5	7,5	0
1522	0,7	3,5	0		1824	3,5	7,9	0
1523	0,3	3,5	0		1825	3,5	8,3	0
1524	0,7	3,9	0		1826	3,5	8,7	0
1525	0,3	3,9	0		1827	3,5	9,1	0
1526	0,7	4,3	0		1828	3,5	9,5	0
1527	0,3	4,3	0		1829	3,5	9,9	0
1528	0,7	4,7	0		1830	3,5	10,3	0
1529	0,3	4,7	0		1831	3,5	10,7	0
1530	0,7	5,1	0		1832	3,5	11,1	0
1531	0,3	5,1	0		1833	3,5	11,5	0
1532	0,7	5,5	0		1834	3,5	11,9	0
1533	0,3	5,5	0		1835	3,5	12,3	0
1534	0,7	5,9	0		1836	3,5	13,1	0
1535	0,3	5,9	0		1837	3,5	13,5	0
1536	0,7	6,3	0		1838	3,5	13,9	0
1537	0,3	6,3	0		1839	3,5	14,3	0
1538	0,7	6,7	0		1840	3,5	14,7	0
1539	0,3	6,7	0		1841	3,5	15,1	0
1540	0,7	7,1	0		1842	3,5	15,5	0
1541	0,3	7,1	0		1843	3,5	15,9	0
1542	0,3	7,9	0		1844	-0,5	-0,1	0
1543	0,7	7,9	0		1845	-0,5	-0,5	0
1544	0,7	8,3	0		1846	-0,12	-0,5	0
1545	0,3	8,3	0		1847	-0,5	0,3	0
1546	0,3	9,1	0		1850	0,27	-0,5	0
1547	0,7	9,1	0		1851	-0,5	0,69	0
1548	0,7	9,5	0		1853	-0,5	1,09	0
1549	0,3	9,5	0		1855	-0,5	1,49	0
1550	0,3	9,9	0		1857	-0,5	2,28	0
1551	0,7	9,9	0		1858	-0,5	1,89	0
1552	0,7	10,3	0		1860	-0,5	2,68	0
1553	0,3	10,3	0		1865	-0,5	3,08	0
1554	0,7	10,7	0		1866	-0,5	3,48	0
1555	0,3	10,7	0		1867	-0,5	3,88	0
1556	0,7	11,1	0		1869	-0,5	4,67	0
1557	0,3	11,1	0		1870	-0,5	4,27	0
1558	0,7	11,5	0		1872	-0,5	5,07	0
1559	0,3	11,5	0		1875	-0,5	5,86	0
1560	0,7	11,9	0		1876	-0,5	5,47	0
1561	0,3	11,9	0		1878	-0,5	6,26	0
1562	0,7	12,3	0		1880	-0,5	7,06	0
1563	0,3	12,3	0		1881	-0,5	6,66	0
1564	0,3	13,1	0		1883	-0,5	7,45	0

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)		Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
1565	0,7	13,1	0		1888	-0,5	7,85	0
1566	0,7	13,5	0		1892	0,65	-0,5	0
1567	0,3	13,5	0		1894	1,04	-0,5	0
1568	0,7	13,9	0		1898	1,42	-0,5	0
1569	0,3	13,9	0		1899	1,81	-0,5	0
1570	0,7	14,3	0		1901	1,42	3,02	0
1571	0,3	14,3	0		1902	1,26	3,05	0
1572	0,7	14,7	0		1904	1,42	3,27	0
1573	0,3	14,7	0		1905	1,23	3,25	0
1574	0,7	15,1	0		1906	1,68	3,27	0
1575	0,3	15,1	0		1908	1,73	3,01	0
1576	0,7	15,5	0		1909	1,66	2,6	0
1577	0,3	15,5	0		1910	1,57	3,05	0
1578	0,7	15,9	0		1911	0,7	7,45	0
1579	0,3	15,9	0		1914	1,7	5,78	0
1580	1,1	0,3	0		1916	3,7	16,15	0
1581	1,1	0,7	0		1921	3,78	9,91	0
1582	1,1	1,1	0		1923	-0,5	17	0
1583	1,1	1,5	0		1924	-0,2	16,7	0
1584	1,1	1,9	0		1925	-0,12	17	0
1585	1,1	2,3	0		1927	-0,5	8,65	0
1586	1,1	3,1	0		1928	-0,5	8,25	0
1587	1,1	3,5	0		1930	-0,5	9,05	0
1588	1,1	3,9	0		1931	-0,5	9,84	0
1589	1,1	4,3	0		1932	-0,5	9,44	0
1590	1,1	4,7	0		1935	-0,5	10,24	0
1591	1,1	5,1	0		1938	-0,5	10,64	0
1592	1,1	5,5	0		1940	-0,5	11,03	0
1593	1,1	5,9	0		1942	-0,5	11,83	0
1594	1,1	6,3	0		1943	-0,5	11,43	0
1595	1,1	6,7	0		1945	-0,5	12,23	0
1596	1,1	7,1	0		1949	-0,5	13,02	0
1597	1,1	7,9	0		1950	-0,5	12,63	0
1598	1,1	8,3	0		1952	-0,5	13,42	0
1599	1,1	9,1	0		1954	-0,5	14,22	0
1600	1,1	9,5	0		1955	-0,5	13,82	0
1601	1,1	9,9	0		1957	-0,5	14,61	0
1602	1,1	10,3	0		1960	-0,5	15,41	0
1603	1,1	10,7	0		1961	-0,5	15,01	0
1604	1,1	11,1	0		1963	-0,5	15,81	0
1605	1,1	11,5	0		1965	-0,5	16,6	0
1606	1,1	11,9	0		1966	-0,5	16,2	0
1607	1,1	12,3	0		1971	0,27	17	0
1608	1,1	13,1	0		1973	0,7	8,65	0
1609	1,1	13,5	0		1978	3,78	9,48	0
1610	1,1	13,9	0		1983	0,65	17	0
1611	1,1	14,3	0		1988	1,04	17	0
1612	1,1	14,7	0		1989	1,42	17	0
1613	1,1	15,1	0		1992	2,19	-0,5	0

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)		Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
1614	1,1	15,5	0		1993	2,58	-0,5	0
1615	1,1	15,9	0		1996	2,96	-0,5	0
1616	1,5	0,3	0		1998	3,35	-0,5	0
1617	1,5	0,7	0		2007	4,5	17	0
1618	1,5	1,1	0		2008	4,2	16,7	0
1619	1,5	1,5	0		2009	4,5	16,6	0
1620	1,5	1,9	0		2023	3,73	17	0
1621	1,5	2,3	0		2024	4,12	17	0
1622	1,5	3,5	0		2029	3,73	-0,5	0
1623	1,5	3,9	0		2031	4,12	-0,5	0
1624	1,5	4,3	0		2032	4,5	0,69	0
1625	1,5	4,7	0		2033	4,5	1,09	0
1626	1,5	5,1	0		2034	4,5	0,3	0
1627	1,5	5,5	0		2035	4,5	1,89	0
1628	1,5	6,3	0		2036	4,5	2,28	0
1629	1,5	6,7	0		2037	4,5	3,08	0
1630	1,5	7,1	0		2038	4,5	3,48	0
1631	1,5	7,9	0		2039	4,5	2,68	0
1632	1,5	8,3	0		2040	4,5	1,49	0
1633	1,5	9,1	0		2041	4,5	-0,5	0
1634	1,5	9,5	0		2042	4,5	-0,1	0
1635	1,5	9,9	0		2043	4,5	3,88	0
1636	1,5	10,3	0		2044	4,5	4,27	0
1637	1,5	10,7	0		2045	4,5	4,67	0
1638	1,5	11,1	0		2046	4,5	5,47	0
1639	1,5	11,5	0		2047	4,5	5,86	0
1640	1,5	11,9	0		2048	4,5	5,07	0
1641	1,5	12,3	0		2049	4,5	6,66	0
1642	1,5	13,1	0		2050	4,5	7,06	0
1643	1,5	13,5	0		2051	4,5	7,85	0
1644	1,5	13,9	0		2053	4,5	8,65	0
1645	1,5	14,3	0		2054	4,5	8,25	0
1646	1,5	14,7	0		2055	4,5	7,45	0
1647	1,5	15,1	0		2056	4,5	6,26	0
1648	1,5	15,5	0		2057	4,5	9,05	0
1649	1,5	15,9	0		2071	1,81	17	0
1650	1,9	0,3	0		2072	2,19	17	0
1651	1,9	0,7	0		2074	2,58	17	0
1652	1,9	1,1	0		2078	2,96	17	0
1653	1,9	1,5	0		2079	3,35	17	0
1654	1,9	1,9	0		2081	4,5	9,44	0
1655	1,9	2,3	0		2082	4,5	10,24	0
1656	1,9	3,5	0		2083	4,5	10,64	0
1657	1,9	3,9	0		2084	4,5	9,84	0
1658	1,9	4,3	0		2087	4,5	11,83	0
1659	1,9	4,7	0		2088	4,5	12,23	0
1660	1,9	5,1	0		2089	4,5	11,43	0
1661	1,9	5,5	0		2091	4,5	11,03	0
1662	1,9	6,3	0		2092	4,5	13,02	0

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)		Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
1663	1,9	6,7	0		2093	4,5	12,63	0
1664	1,9	7,1	0		2094	4,5	13,42	0
1665	1,9	7,5	0		2098	4,5	13,82	0
1666	1,5	7,5	0		2099	4,5	14,22	0
1667	1,9	7,9	0		2103	4,5	15,01	0
1668	1,9	8,3	0		2104	4,5	14,61	0
1669	1,9	8,7	0		2105	4,5	15,41	0
1670	1,5	8,7	0		2106	4,5	15,81	0
1671	1,9	9,1	0		2107	4,5	16,2	0
1672	1,9	9,5	0					

Pannelli:



Pannello	Spessore	Materiale	Tipo di Meshatura	Oggetto di costruzione
1	Fondazione 30cm	C25/30	Cons	Pannello

Nota: il programma di calcolo raggruppa gli elementi finiti tipo Shell in pannelli. Per il progetto della presente fondazione si è prodotto un pannello (N°1) che raggruppano tutti gli elementi finiti.

Fondazione _ cabina di trasformazione :

Per il calcolo della struttura in oggetto è stata utilizzata l'analisi agli elementi finiti, modellando le platee di fondazione come lastre orizzontali di spessore costante, costituite da elementi "shell" su suolo elastico alla Winkler mediante molle di cedevolezza verticale di 4667 kN/m³ e orizzontale pari a 2333 kN/m³, i pedestal invece sono stati schematizzati come elementi monodimensionali tipo "beam".

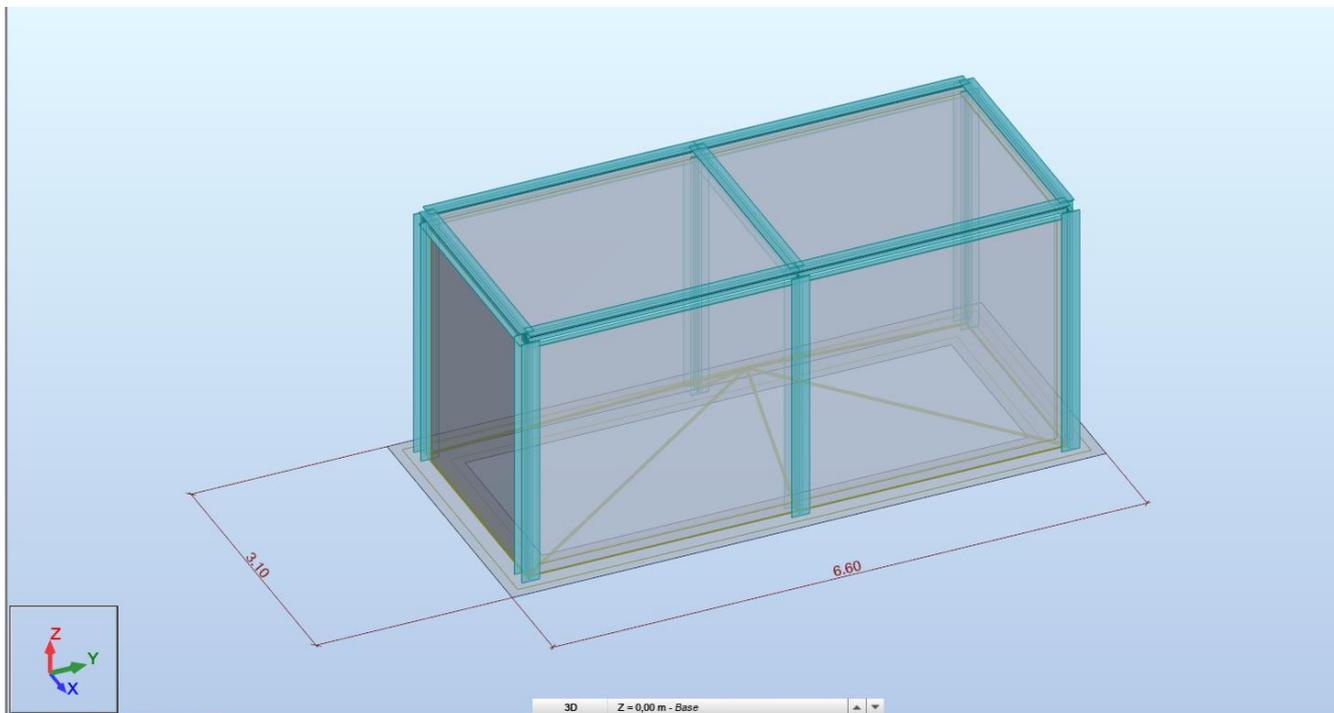


FIG21. – Planimetria modello di calcolo

Elementi tipo shell:

Elementi tipo "shell" che rappresentano la platea di fondazione: TH = 40 cm

I carichi applicati (come elencati nel capitolo dedicato) sono di varia natura, precisamente:

- Carichi nodali derivanti dall'analisi della sovrastruttura;

Nelle pagine seguenti si si riportano le viste dei modelli di calcolo della fondazione in oggetto e si evidenziano i dati di input e output forniti dal modello di calcolo, le sollecitazioni interne nella platea di fondazione e le azioni nei pilastri con le rispettive verifiche.

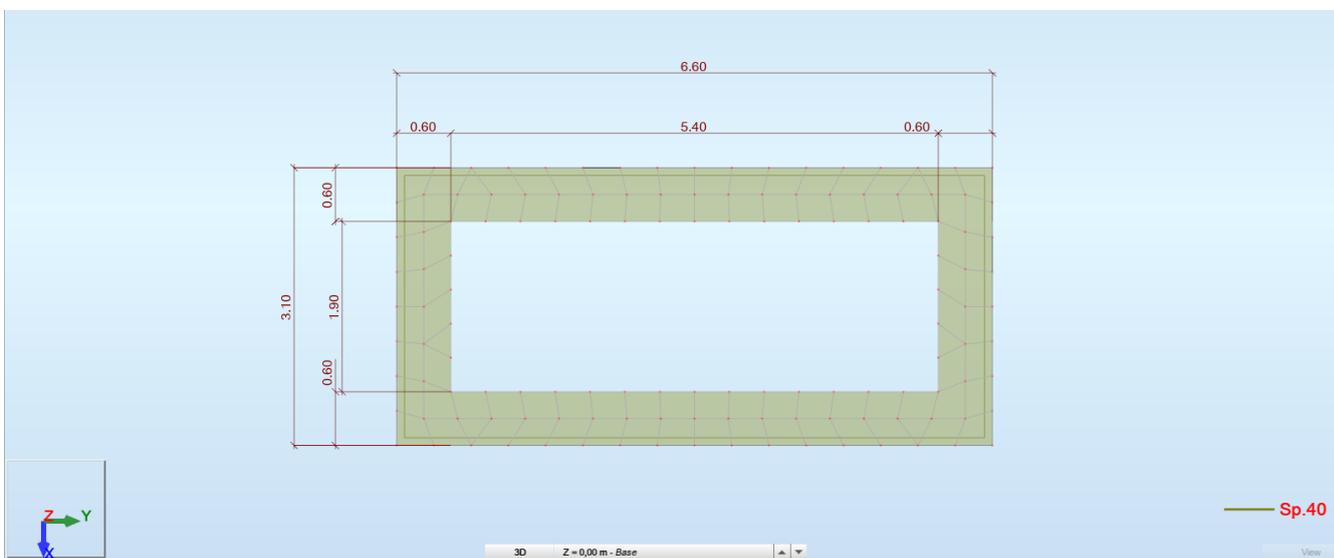
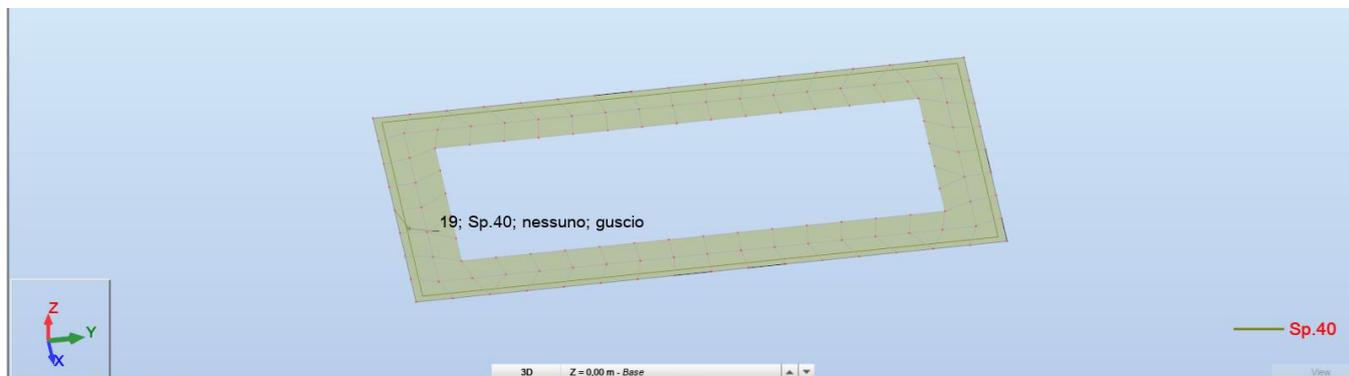


FIG22. – Planimetria modello di calcolo

Coordinate e Numerazione Nodi – Fondazione

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)		Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	0	0	0		73	0,42	6	0
2	2,5	0	0		74	0,09	6,3	0
3	0	3	0		75	0,48	6,3	0
4	2,5	3	0		76	0,68	5,7	0
5	0	6	0		77	1,06	5,7	0
6	2,5	6	0		78	0,83	6	0
7	1,25	3	1		79	0,86	6,3	0
8	0	0	2,9		80	1,25	6	0
9	2,5	0	2,9		81	1,44	0,3	0
10	0	3	2,9		82	1,67	0	0
11	2,5	3	2,9		83	1,82	0,3	0
12	0	6	2,9		84	2,08	0	0
13	2,5	6	2,9		85	2,02	-0,3	0
14	-0,3	0,11	0		86	2,41	-0,3	0
15	-0,3	-0,3	0		87	2,2	0,3	0
17	-0,3	0,94	0		89	2,8	-0,3	0
18	-0,3	0,53	0		90	2,5	0,38	0
19	0	0,75	0		91	2,2	0,69	0
20	0	0,38	0		92	2,5	1,13	0
21	0,3	0,3	0		93	2,2	1,46	0
22	0	1,13	0		94	2,2	1,07	0
23	0,3	1,07	0		95	2,5	0,75	0
24	0,3	0,69	0		96	2,5	1,88	0
25	0,09	-0,3	0		97	2,2	2,23	0
26	-0,3	1,35	0		98	2,2	1,84	0
27	-0,3	1,76	0		99	2,5	2,63	0
28	0	1,5	0		100	2,2	3	0
29	-0,3	2,59	0		101	2,2	2,61	0
30	-0,3	2,18	0		102	2,5	2,25	0
31	0	2,25	0		103	2,5	1,5	0
32	0	1,88	0		104	2,8	0,53	0
33	0,3	1,84	0		105	2,8	0,11	0
34	0	2,63	0		106	2,8	0,94	0
35	0,3	2,61	0		107	2,8	1,35	0
36	0,3	2,23	0		108	2,8	1,76	0
37	-0,3	3	0		109	2,8	2,59	0
38	0,3	1,46	0		110	2,8	2,18	0
39	0,48	-0,3	0		111	2,8	3	0
40	0,42	0	0		113	2,5	3,38	0
41	0,68	0,3	0		114	2,5	4,13	0
42	0,83	0	0		115	2,2	4,16	0
43	0,86	-0,3	0		116	2,2	3,77	0
44	1,25	-0,3	0		117	1,44	5,7	0
45	1,25	0	0		118	1,82	5,7	0
46	1,64	-0,3	0		119	1,67	6	0
47	1,06	0,3	0		120	2,5	4,88	0

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)		Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
48	0,3	3	0		121	2,2	4,93	0
49	-0,3	3,41	0		122	2,2	4,54	0
50	0	3,38	0		123	2,5	5,63	0
51	-0,3	4,24	0		124	2,2	5,7	0
52	-0,3	3,83	0		125	2,2	5,31	0
53	0	4,13	0		126	2,5	5,25	0
54	0	3,75	0		127	2,5	4,5	0
56	0,3	3,77	0		128	1,64	6,3	0
57	0,3	3,39	0		129	1,25	6,3	0
58	0	4,5	0		130	2,02	6,3	0
59	-0,3	5,06	0		131	2,41	6,3	0
60	-0,3	4,65	0		132	2,08	6	0
61	0	4,88	0		134	2,2	3,39	0
62	0	5,63	0		135	2,5	3,75	0
63	-0,3	5,89	0		136	2,8	3,41	0
64	-0,3	5,48	0		137	2,8	4,24	0
65	0	5,25	0		138	2,8	3,83	0
66	0,3	4,54	0		139	2,8	4,65	0
68	-0,3	6,3	0		140	2,8	5,06	0
69	0,3	4,93	0		141	2,8	5,89	0
70	0,3	4,16	0		142	2,8	5,48	0
71	0,3	5,31	0		143	2,8	6,3	0
72	0,3	5,7	0					



Pannello	Spessore	Materiale	Tipo di Meshatura	Oggetto di costruzione
1	Fondazione 40cm	C25/30	Cons	Pannello

Nota: il programma di calcolo raggruppa gli elementi finiti tipo Shell in pannelli. Per il progetto della presente fondazione si è prodotto un pannello (N°19) che raggruppano tutti gli elementi finiti.

2.11 Carichi applicate e combinazioni di carico

Condizioni di carico:

Di seguito si riportano le condizioni di carico ed i vari valori dei carichi applicati nel modello di calcolo

Lista condizioni di carico

Caso	Etichetta	Nome	Natura	Tipo di analisi
1	G1	G1	Permanenti	Static - Linear
2	G2	G2	Perm.Non-str.	Static - Linear
3	Q	Q	Categoria E	Static - Linear
4	N	N	Neve H<1000	Static - Linear
5	Vx+	Vx+	Vento	Static - Linear
6	Vx-	Vx-	Vento	Static - Linear
7	Vy+	Vy+	Vento	Static - Linear
8	Vy-	Vy-	Vento	Static - Linear
9	T	T	Termiche	Static - Linear
10	MOD10	Modale		Modal
11	SIS11	SLD X	Sismiche SLE	Dynamics - Seismic
12	SIS12	SLV X	Sismiche SLU	Dynamics - Seismic
13	SIS13	SLD Y	Sismiche SLE	Dynamics - Seismic
14	SIS14	SLV Y	Sismiche SLU	Dynamics - Seismic
15	SLD X	SLD X Equipment	Sismiche SLE	Static - Linear
16	SLV X	SLV X Equipement	Sismiche SLU	Static - Linear
17	SLD Y	SLD Y Equipement	Sismiche SLE	Static - Linear
18	SLV Y	SLV Y Equipment	Sismiche SLU	Static - Linear

Tabella dei Carichi – Cabina d'interfaccia:

Di seguito si riportano i valori delle reazioni vincolari, cambiate di segno, delle condizioni di carico ricavate dalla struttura in elevazione.

Numero Condizione	Condizione	Tipo di Carico	Lista nodi	Valore di Carico
1	G1	self-weight	1to3 5to9	' PZ Negative Factor=1,00
2	G2	(FE) uniform	1	' PZ=-0,50(kN/m2)
2	G2	nodal force	5	' FZ=-8,70(kN)
2	G2	(FE) planar on contour	1	' PZ1=-8,70(kN/m2) P1(1.08, 2.6, 0) P2(1.08, 2.88, 0) P3(2, 2.88, 0) P4(2, 2.6, 0)
2	G2	(FE) planar on contour	1	' PZ1=-14,90(kN/m2) P1(1.45, 2.88, 0) P2(1.45, 3.15, 0) P3(2, 3.15, 0) P4(2, 2.88, 0)
2	G2	(FE) planar on contour	1	' PZ1=-17,80(kN/m2) P1(1.39, 3.15, 0) P2(1.39, 5.95, 0) P3(2, 5.95, 0) P4(2, 3.15, 0)
3	Q	(FE) uniform	1	' PZ=-2,00(kN/m2)
3	Q	(FE) uniform	2	' PZ=-0,50(kN/m2)
4	N	(FE) uniform	2	' PZ=-0,80(kN/m2)
5	Vx+	(FE) uniform	5 7	' PX=1,20(kN/m2)
5	Vx+	(FE) uniform	6 8	' PX=0,60(kN/m2)
5	Vx+	(FE) uniform	2	' PZ=0,60(kN/m2)
6	Vx-	(FE) uniform	5 7	' PX=-1,20(kN/m2)
6	Vx-	(FE) uniform	6 8	' PX=-0,60(kN/m2)
6	Vx-	(FE) uniform	2	' PZ=0,60(kN/m2)
7	Vy+	(FE) uniform	5 7	' PY=0,60(kN/m2)
7	Vy+	(FE) uniform	6 8	' PY=1,20(kN/m2)
7	Vy+	(FE) uniform	2	' PZ=0,60(kN/m2)
8	Vy-	(FE) uniform	2	' PZ=0,60(kN/m2)
8	Vy-	(FE) uniform	5 7	' PY=-0,60(kN/m2)
8	Vy-	(FE) uniform	6 8	' PY=-1,20(kN/m2)
9	T	(FE) thermal load 3p	1 2 5to8	' TX1=15,00(°C) N1X=0,0(m) N1Y=0,0(m) N1Z=0,0(m)
15	SLD X Equipment	nodal force	5	' FX=1,54(kN)
16	SLV X Equipment	nodal force	5	' FX=3,43(kN)
17	SLD Y Equipment	nodal force	5	' FY=1,54(kN)
18	SLV Y Equipment	nodal force	5	' FY=3,43(kN)

Tabella dei Carichi – Cabina di trasformazione:

Di seguito si riportano i valori delle reazioni vincolari, cambiate di segno, delle condizioni di carico ricavate dalla struttura in elevazione.

Numero Condizione	Condizione	Tipo di Carico	Lista nodi	Valore di Carico
1	G1	self-weight	1to19	' PZ Negative Factor=1,15
2	G2	(FE) uniform	19	' PZ=-0,50(kN/m2)
2	G2	nodal force	7	' FZ=-175,00(kN)
2	G2	uniform load	7to11 13	' PZ=-0,50(kN/m)
3	Q	(FE) uniform	19	' PZ=-2,00(kN/m2)
3	Q	(FE) uniform	18	' PZ=-0,50(kN/m2)
4	N	(FE) uniform	18	' PZ=-0,80(kN/m2)
5	Vx+	(FE) uniform	14 15	' PX=1,20(kN/m2)
5	Vx+	(FE) uniform	16 17	' PX=0,60(kN/m2)
5	Vx+	(FE) uniform	18	' PZ=0,60(kN/m2)
6	Vx-	(FE) uniform	14 15	' PX=-1,20(kN/m2)
6	Vx-	(FE) uniform	16 17	' PX=-0,60(kN/m2)
6	Vx-	(FE) uniform	18	' PZ=0,60(kN/m2)
7	Vy+	(FE) uniform	16 17	' PY=1,20(kN/m2)
7	Vy+	(FE) uniform	14 15	' PY=0,60(kN/m2)
7	Vy+	(FE) uniform	18	' PZ=0,60(kN/m2)
8	Vy-	(FE) uniform	16 17	' PY=-1,20(kN/m2)
8	Vy-	(FE) uniform	14 15	' PY=-0,60(kN/m2)
8	Vy-	(FE) uniform	18	' PZ=0,60(kN/m2)
9	T	(FE) thermal load 3p	14to19	' TX1=25,00(°C) N1X=0,0(m) N1Y=0,0(m) N1Z=0,0(m)
15	SLD X Equipment	nodal force	7	' FX=31,00(kN)
16	SLV X Equipment	nodal force	7	' FX=69,00(kN)
17	SLD Y Equipment	nodal force	7	' FY=31,00(kN)
18	SLV Y Equipment	nodal force	7	' FY=69,00(kN)

Combinazioni di carico:

Comb.	Nome	Tipo comb.	Definizione
19 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Vx+0.75N+0.9T	SLU	1*1.30+(2+3+5)*1.50+4*0.75+9*0.90
20 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Vx+0.75N-0.9T	SLU	1*1.30+(2+3+5)*1.50+4*0.75+9*-0.90
21 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Vx+0.75N+0.9T	SLU	1*1.30+(2+3+6)*1.50+4*0.75+9*0.90
22 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Vx+0.75N-0.9T	SLU	1*1.30+(2+3+6)*1.50+4*0.75+9*-0.90
23 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Vy+0.75N+0.9T	SLU	1*1.30+(2+3+7)*1.50+4*0.75+9*0.90
24 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Vy+0.75N-0.9T	SLU	1*1.30+(2+3+7)*1.50+4*0.75+9*-0.90
25 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Vy+0.75N+0.9T	SLU	1*1.30+(2+3+8)*1.50+4*0.75+9*0.90
26 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Vy+0.75N-0.9T	SLU	1*1.30+(2+3+8)*1.50+4*0.75+9*-0.90
27 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vx+1.5N+0.9T	SLU	1*1.30+(2+3+4)*1.50+(5+9)*0.90
28 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vx+1.5N-0.9T	SLU	1*1.30+(2+3+4)*1.50+5*0.90+9*-0.90
29 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vx+1.5N+0.9T	SLU	1*1.30+(2+3+4)*1.50+(6+9)*0.90
30 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vx+1.5N-0.9T	SLU	1*1.30+(2+3+4)*1.50+6*0.90+9*-0.90
31 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vy+1.5N+0.9T	SLU	1*1.30+(2+3+4)*1.50+(7+9)*0.90
32 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vy+1.5N-0.9T	SLU	1*1.30+(2+3+4)*1.50+7*0.90+9*-0.90
33 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vy+1.5N+0.9T	SLU	1*1.30+(2+3+4)*1.50+(8+9)*0.90
34 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vy+1.5N-0.9T	SLU	1*1.30+(2+3+4)*1.50+8*0.90+9*-0.90
35 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vx+0.75N+1.5T	SLU	1*1.30+(2+3+9)*1.50+4*0.75+5*0.90
36 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vx+0.75N-1.5T	SLU	1*1.30+(2+3+9)*1.50+4*0.75+5*0.90
37 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vx+0.75N+1.5T	SLU	1*1.30+(2+3+9)*1.50+4*0.75+6*0.90
38 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vx+0.75N-1.5T	SLU	1*1.30+(2+3+9)*1.50+4*0.75+6*0.90
39 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vy+0.75N+1.5T	SLU	1*1.30+(2+3+9)*1.50+4*0.75+7*0.90
40 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vy+0.75N-1.5T	SLU	1*1.30+(2+3+9)*1.50+4*0.75+7*0.90
41 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vy+0.75N+1.5T	SLU	1*1.30+(2+3+9)*1.50+4*0.75+8*0.90
42 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vy+0.75N-1.5T	SLU	1*1.30+(2+3+9)*1.50+4*0.75+8*0.90
43 (C)	G1+G2	SLU	(1+2)*1.00
44 (C)	G1+G2+Q+Vx+0.5N+0.6T	SLU	(1+2+3+5)*1.00+4*0.50+9*0.60
45 (C)	G1+G2+Q+Vx+0.5N-0.6T	SLU	(1+2+3+5)*1.00+4*0.50+9*-0.60
46 (C)	G1+G2+Q-Vx+0.5N+0.6T	SLU	(1+2+3+6)*1.00+4*0.50+9*0.60
47 (C)	G1+G2+Q-Vx+0.5N-0.6T	SLU	(1+2+3+6)*1.00+4*0.50+9*-0.60
48 (C)	G1+G2+Q+Vy+0.5N+0.6T	SLU	(1+2+3+7)*1.00+4*0.50+9*0.60
49 (C)	G1+G2+Q+Vy+0.5N-0.6T	SLU	(1+2+3+7)*1.00+4*0.50+9*-0.60
50 (C)	G1+G2+Q-Vy+0.5N+0.6T	SLU	(1+2+3+8)*1.00+4*0.50+9*0.60
51 (C)	G1+G2+Q-Vy+0.5N-0.6T	SLU	(1+2+3+8)*1.00+4*0.50+9*-0.60
52 (C)	G1+G2+Q+0.6Vx+N+0.6T	SLU	(1+2+3+4)*1.00+(5+9)*0.60
53 (C)	G1+G2+Q+0.6Vx+N-0.6T	SLU	(1+2+3+4)*1.00+5*0.60+9*-0.60
54 (C)	G1+G2+Q-0.6Vx+N+0.6T	SLU	(1+2+3+4)*1.00+(6+9)*0.60
55 (C)	G1+G2+Q-0.6Vx+N-0.6T	SLU	(1+2+3+4)*1.00+6*0.60+9*-0.60
56 (C)	G1+G2+Q+0.6Vy+N+0.6T	SLU	(1+2+3+4)*1.00+(7+9)*0.60
57 (C)	G1+G2+Q+0.6Vy+N-0.6T	SLU	(1+2+3+4)*1.00+7*0.60+9*-0.60
58 (C)	G1+G2+Q-0.6Vy+N+0.6T	SLU	(1+2+3+4)*1.00+(8+9)*0.60
59 (C)	G1+G2+Q-0.6Vy+N-0.6T	SLU	(1+2+3+4)*1.00+8*0.60+9*-0.60
60 (C)	G1+G2+Q+0.6Vx+0.5N+T	SLU	(1+2+3+9)*1.00+5*0.60+4*0.50
61 (C)	G1+G2+Q+0.6Vx+0.5N-T	SLU	(1+2+3)*1.00+5*0.60+4*0.50+9*-1.00
62 (C)	G1+G2+Q-0.6Vx+0.5N+T	SLU	(1+2+3+9)*1.00+6*0.60+4*0.50
63 (C)	G1+G2+Q-0.6Vx+0.5N-T	SLU	(1+2+3)*1.00+6*0.60+4*0.50+9*-1.00
64 (C)	G1+G2+Q+0.6Vy+0.5N+T	SLU	(1+2+3+9)*1.00+7*0.60+4*0.50
65 (C)	G1+G2+Q+0.6Vy+0.5N-T	SLU	(1+2+3)*1.00+7*0.60+4*0.50+9*-1.00
66 (C)	G1+G2+Q-0.6Vy+0.5N+T	SLU	(1+2+3+9)*1.00+8*0.60+4*0.50
67 (C)	G1+G2+Q-0.6Vy+0.5N-T	SLU	(1+2+3)*1.00+8*0.60+4*0.50+9*-1.00
68 (C)	G1+G2+0.9Q	SLU	(1+2)*1.00+3*0.90
69 (C)	G1+G2+0.8Q+0.2Vx	SLU	(1+2)*1.00+3*0.80+5*0.20
70 (C)	G1+G2+0.8Q-0.2Vx	SLU	(1+2)*1.00+3*0.80+6*0.20

71 (C)	$G1+G2+0.8Q+0.2Vy$	SLU	$(1+2)*1.00+3*0.80+7*0.20$
72 (C)	$G1+G2+0.8Q-0.2Vy$	SLU	$(1+2)*1.00+3*0.80+8*0.20$
73 (C)	$G1+G2+0.8Q+0.2N$	SLU	$(1+2)*1.00+3*0.80+4*0.20$
74 (C)	$G1+G2+0.8Q+0.5T$	SLU	$(1+2)*1.00+3*0.80+9*0.50$
75 (C)	$G1+G2+0.8Q-0.5T$	SLU	$(1+2)*1.00+3*0.80+9*0.50$
76 (C)	$G1+G2+0.8Q$	SLU	$(1+2)*1.00+3*0.80$
77 (C)	$0.9G1+0.8G2+1.5Q+1.5Vx+0.9T$	SLU	$(1+9)*0.90+2*0.80+(3+5)*1.50$
78 (C)	$0.9G1+0.8G2+1.5Q+1.5Vx-0.9T$	SLU	$1*0.90+2*0.80+(3+5)*1.50+9*0.90$
79 (C)	$0.9G1+0.8G2+1.5Q-1.5Vx+0.9T$	SLU	$(1+9)*0.90+2*0.80+(3+6)*1.50$
80 (C)	$0.9G1+0.8G2+1.5Q-1.5Vx-0.9T$	SLU	$1*0.90+2*0.80+(3+6)*1.50+9*0.90$
81 (C)	$0.9G1+0.8G2+1.5Q+1.5Vy+0.9T$	SLU	$(1+9)*0.90+2*0.80+(3+7)*1.50$
82 (C)	$0.9G1+0.8G2+1.5Q+1.5Vy-0.9T$	SLU	$1*0.90+2*0.80+(3+7)*1.50+9*0.90$
83 (C)	$0.9G1+0.8G2+1.5Q-1.5Vy+0.9T$	SLU	$(1+9)*0.90+2*0.80+(3+8)*1.50$
84 (C)	$0.9G1+0.8G2+1.5Q-1.5Vy-0.9T$	SLU	$1*0.90+2*0.80+(3+8)*1.50+9*0.90$
85 (C)	$0.9G1+0.8G2+1.5Q+0.9Vx+1.5T$	SLU	$(1+5)*0.90+2*0.80+(3+9)*1.50$
86 (C)	$0.9G1+0.8G2+1.5Q+0.9Vx-1.5T$	SLU	$(1+5)*0.90+2*0.80+3*1.50+9*1.50$
87 (C)	$0.9G1+0.8G2+1.5Q-0.9Vx+1.5T$	SLU	$(1+6)*0.90+2*0.80+(3+9)*1.50$
88 (C)	$0.9G1+0.8G2+1.5Q-0.9Vx-1.5T$	SLU	$(1+6)*0.90+2*0.80+3*1.50+9*1.50$
89 (C)	$0.9G1+0.8G2+1.5Q+0.9Vy+1.5T$	SLU	$(1+7)*0.90+2*0.80+(3+9)*1.50$
90 (C)	$0.9G1+0.8G2+1.5Q+0.9Vy-1.5T$	SLU	$(1+7)*0.90+2*0.80+3*1.50+9*1.50$
91 (C)	$0.9G1+0.8G2+1.5Q-0.9Vy+1.5T$	SLU	$(1+8)*0.90+2*0.80+(3+9)*1.50$
92 (C)	$0.9G1+0.8G2+1.5Q-0.9Vy-1.5T$	SLU	$(1+8)*0.90+2*0.80+3*1.50+9*1.50$
93 (C) (CQC)	$G1+G2+0.8Q+Ex+0.3Ey$ (SLV)	SLU	$(1+2+11+15)*1.00+3*0.80+(13+17)*0.30$
94 (C) (CQC)	$G1+G2+0.8Q+Ex-0.3Ey$ (SLV)	SLU	$(1+2+11+15)*1.00+3*0.80+(13+17)*0.30$
95 (C) (CQC)	$G1+G2+0.8Q-Ex+0.3Ey$ (SLV)	SLU	$(1+2)*1.00+3*0.80+(11+15)*1.00+(13+17)*0.30$
96 (C) (CQC)	$G1+G2+0.8Q-Ex-0.3Ey$ (SLV)	SLU	$(1+2)*1.00+3*0.80+(11+15)*1.00+(13+17)*0.30$
97 (C) (CQC)	$G1+G2+0.8Q+Ey+0.3Ex$ (SLV)	SLU	$(1+2+13+17)*1.00+3*0.80+(11+15)*0.30$
98 (C) (CQC)	$G1+G2+0.8Q+Ey-0.3Ex$ (SLV)	SLU	$(1+2+13+17)*1.00+3*0.80+(11+15)*0.30$
99 (C) (CQC)	$G1+G2+0.8Q-Ey+0.3Ex$ (SLV)	SLU	$(1+2)*1.00+3*0.80+(11+15)*0.30+(13+17)*1.00$
100 (C) (CQC)	$G1+G2+0.8Q-Ey-0.3Ex$ (SLV)	SLU	$(1+2)*1.00+3*0.80+(11+15)*0.30+(13+17)*1.00$
101 (C) (CQC)	$G1+G2+0.8Q+Ex+0.3Ey$ (SLD)	SLU	$(1+2+12+16)*1.00+3*0.80+(14+18)*0.30$
102 (C) (CQC)	$G1+G2+0.8Q+Ex-0.3Ey$ (SLD)	SLU	$(1+2+12+16)*1.00+3*0.80+(14+18)*0.30$
103 (C) (CQC)	$G1+G2+0.8Q-Ex+0.3Ey$ (SLD)	SLU	$(1+2)*1.00+3*0.80+(12+16)*1.00+(14+18)*0.30$
104 (C) (CQC)	$G1+G2+0.8Q-Ex-0.3Ey$ (SLD)	SLU	$(1+2)*1.00+3*0.80+(12+16)*1.00+(14+18)*0.30$
105 (C) (CQC)	$G1+G2+0.8Q+Ey+0.3Ex$ (SLD)	SLU	$(1+2+14+18)*1.00+3*0.80+(12+16)*0.30$
106 (C) (CQC)	$G1+G2+0.8Q+Ey-0.3Ex$ (SLD)	SLU	$(1+2+14+18)*1.00+3*0.80+(12+16)*0.30$
107 (C) (CQC)	$G1+G2+0.8Q-Ey+0.3Ex$ (SLD)	SLU	$(1+2)*1.00+3*0.80+(12+16)*0.30+(14+18)*1.00$
108 (C) (CQC)	$G1+G2+0.8Q-Ey-0.3Ex$ (SLD)	SLU	$(1+2)*1.00+3*0.80+(12+16)*0.30+(14+18)*1.00$

2.12 Dati di output

In accordo al cap. 6.4.2, 7.4 e 4.1 del D.M. 17/01/18 vengono eseguite le seguenti verifiche per gli Stati Limite indicati:

Stato Limite Ultimo (SLU e SLV)

- Resistenza elementi strutturali
- Verifica a flessione e taglio (SLU)
- Verifica a Ribaltamento (SLU-EQU)
- Verifica a Scorrimento (SLU-GEO)
- Verifica a capacità portante (SLU-GEO)

Stato Limite di Esercizio (SLE)

- Verifiche di fessurazione
- Verifiche a cedimento

Inviluppo delle sollecitazioni flessionali – Fondazione _ cabina d'interfaccia:

Nel seguito si riportano le mappe degli involuppi dei momenti flettenti composti secondo Wood & Armer (il metodo consiste nel comporre i momenti flettenti m_{xx} con m_{xy} e m_{yy} con m_{xy}) nelle combinazioni agli stati limite ultimo (SLU e SLV), le forze interne di tipo membranale sono trascurabili.

Si sottolinea inoltre che alcuni dei valori riportati nelle mappe sono valori puntuali di picco e di bordo che non risultano significativi ai fini delle verifiche, le verifiche saranno effettuate con valori integrali su sezioni di larghezza unitaria.

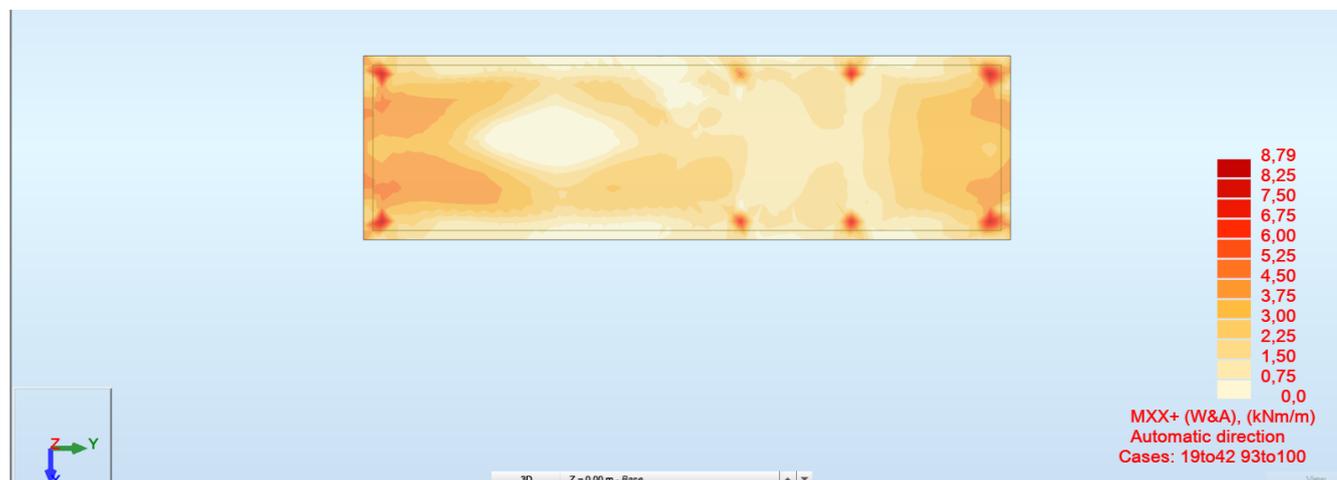


FIG. 44 – INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X

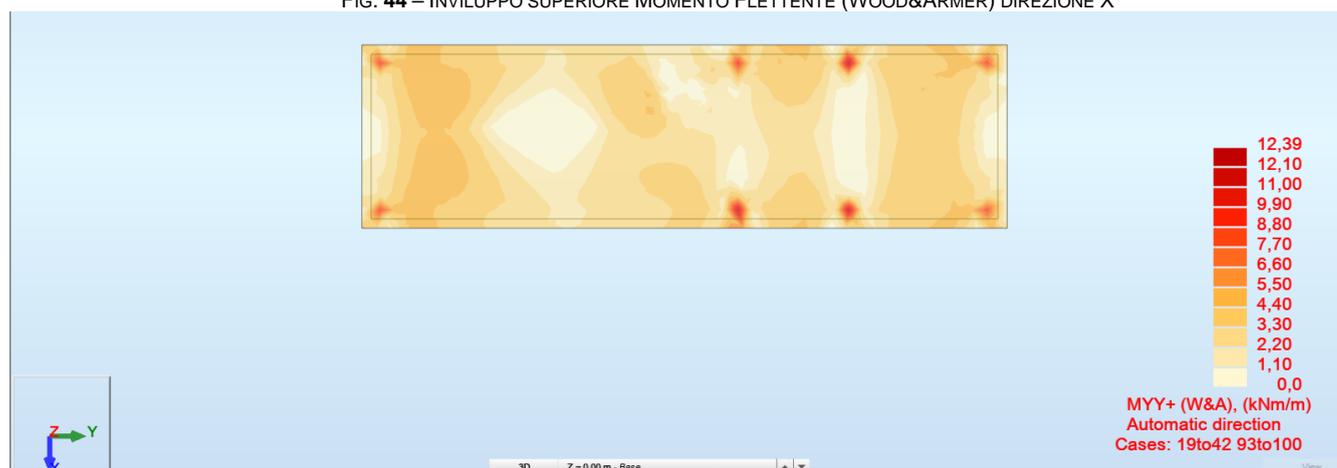


FIG. 45 – INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y



FIG. 46 – INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X

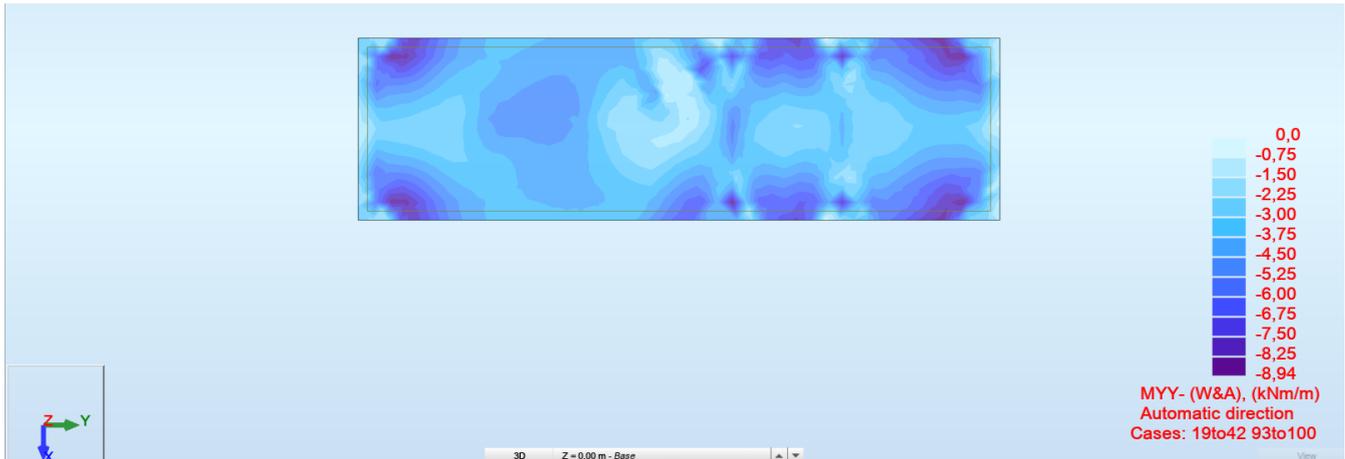


FIG. 47– INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y

Per il basamento viene predisposta una armatura $\varnothing 12/200$ in entrambe le direzioni sia inferiormente che superiormente.

FIG. 48– MRD PER LA SEZIONE CON H=30CM E ARMATURA $\varnothing 12/200$ MM

$$MRd = 58.35 \text{ kNm} > Msd, \text{max} = 12.39 \text{ kNm}$$

Verifica soddisfatta

$$\text{Fattore di Sicurezza} = 58.35/12.39 = 4.7094 > 1$$

MRd: Momento resistente della sezione allo SLU come indicato da §4.1.2.3.4.2. del D.M. 17/01/18

Per il calcolo di MRd della sezione di progetto, si è utilizzato il Software free VCA SLU del Prof. Gelfi V7.7

Per poter rientrare all'interno della verifica dell'armatura minima richiesta per platee di fondazione come indicato nel §7.2.5 del D.M. 17/01/18, si è scelto di adottare un'armatura tesa pari a $\varnothing 12/200$ mm.

$$A_{s, \text{min}} = 0.1\% * A_c = \frac{1}{1000} * 300 * 1000 = 300 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} = 3 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$A_{s, \text{tesa } \varnothing 12/200\text{mm}} = 5 * (6 * 6 * \pi) = 565 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} = 5.65 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} > 3.00 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Inviluppo delle sollecitazioni di taglio – Fondazione _ Cabina d'interfaccia:

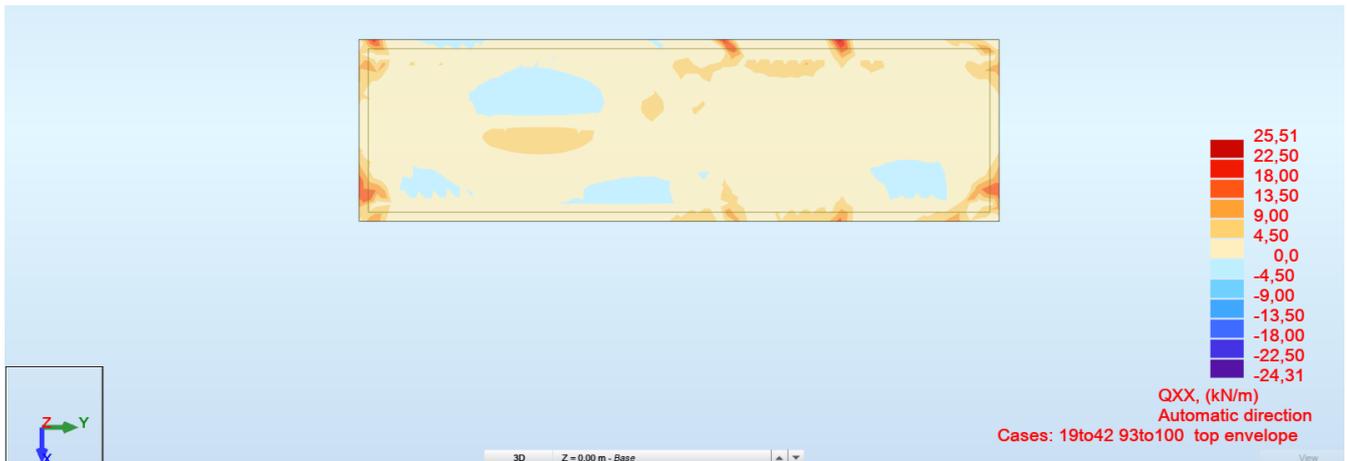


Fig. 49 – **Mappa Qxx+** - Mappa del Taglio sollecitante

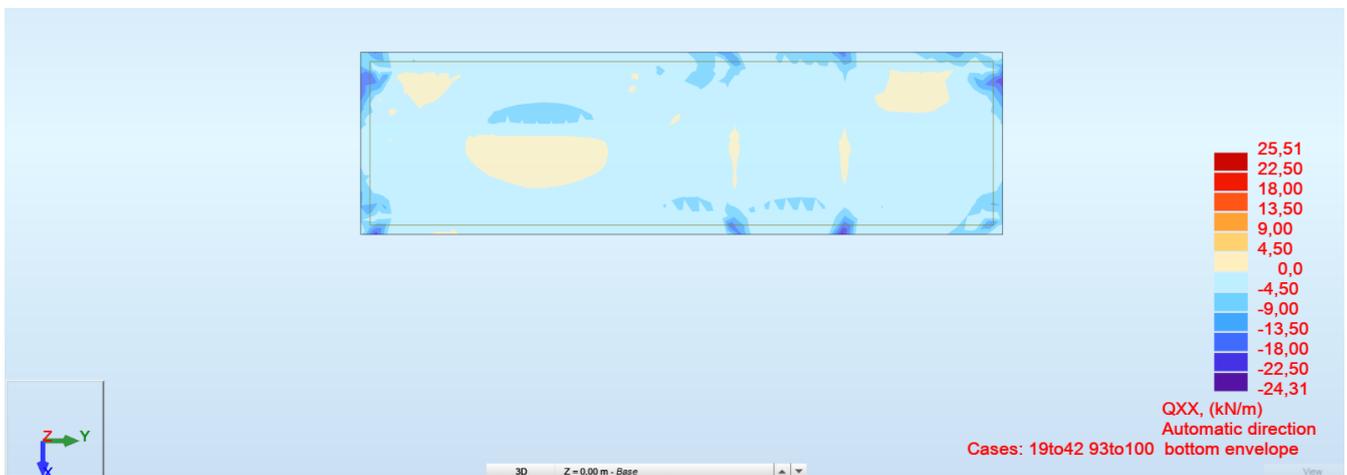


Fig. 50– **Mappa Qxx-** - Mappa del Taglio sollecitante



Fig. 51 – **Mappa Qyy +** - Mappa del Taglio sollecitante

Inviluppo delle sollecitazioni flessionali – Fondazione _ Cabina di trasformazione:

Nel seguito si riportano le mappe degli involuppi dei momenti flettenti composti secondo Wood & Armer (il metodo consiste nel comporre i momenti flettenti m_{xx} con m_{xy} e m_{yy} con m_{xy}) nelle combinazioni agli stati limite ultimo (SLU) e SLV), le forze interne di tipo membranale sono trascurabili.

Si sottolinea inoltre che alcuni dei valori riportati nelle mappe sono valori puntuali di picco e di bordo che non risultano significativi ai fini delle verifiche, le verifiche saranno effettuate con valori integrali su sezioni di larghezza unitaria.

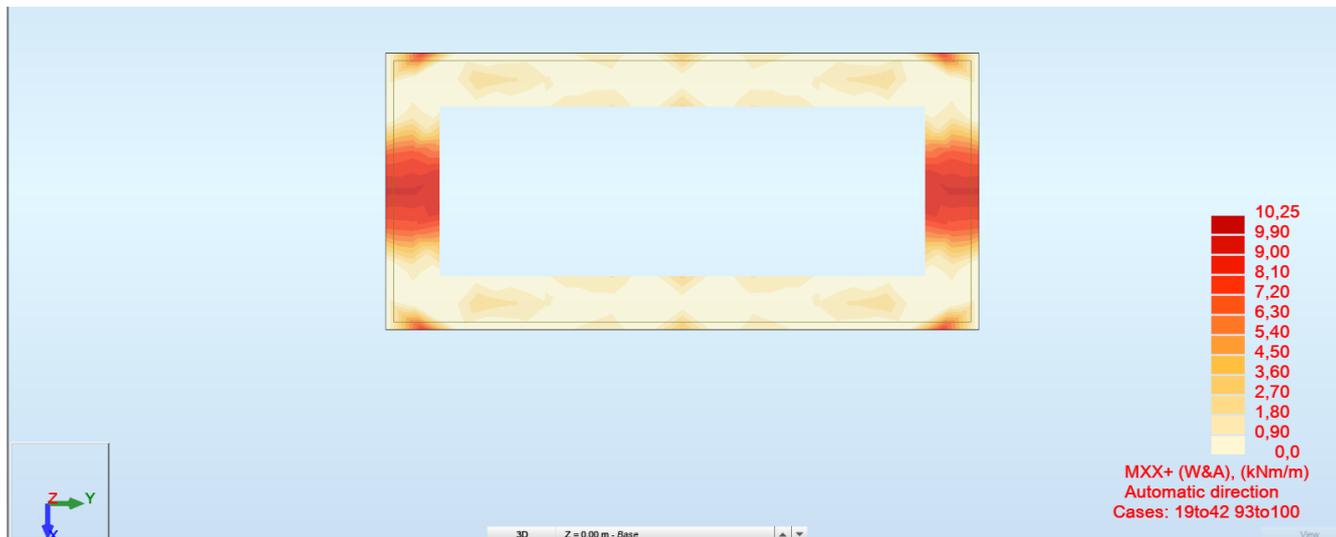


FIG. 52 – INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X

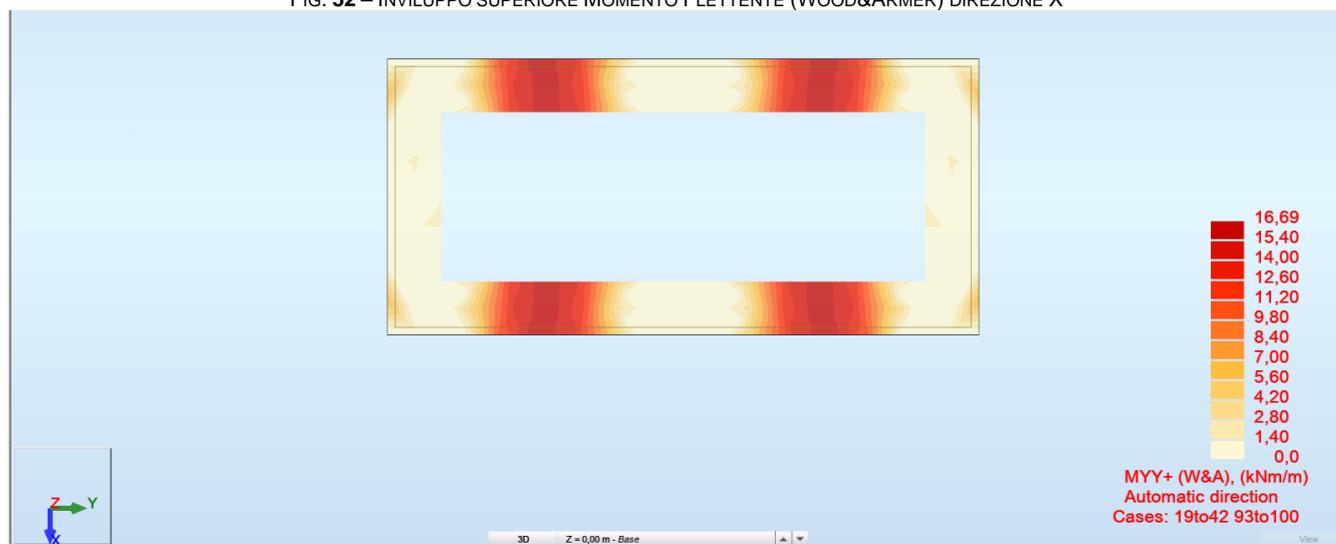


FIG. 53– INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y

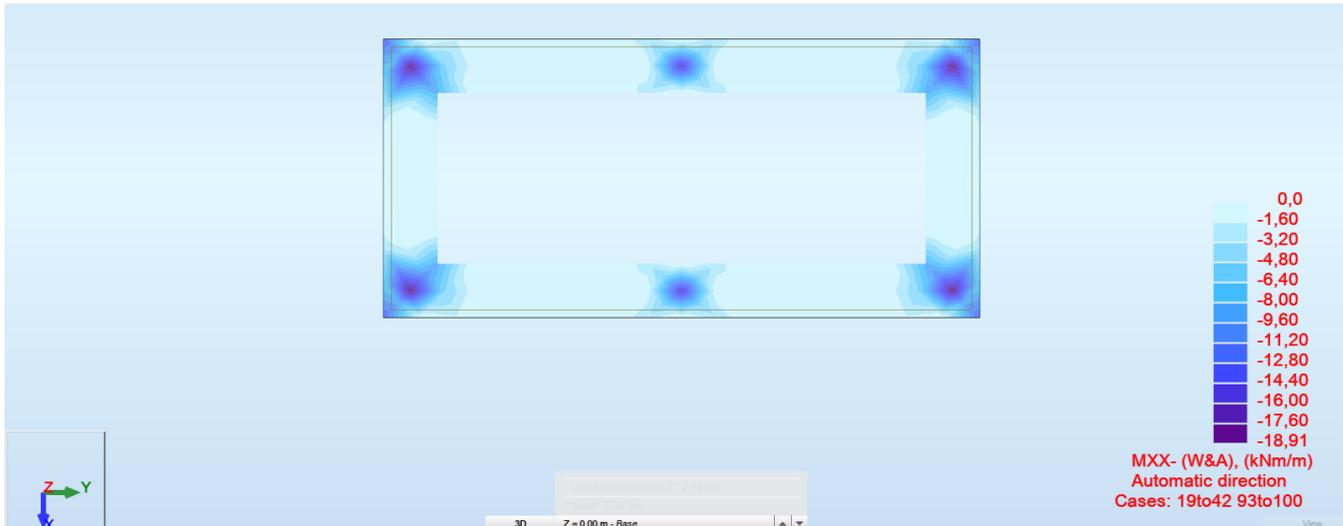


FIG. 54– INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X

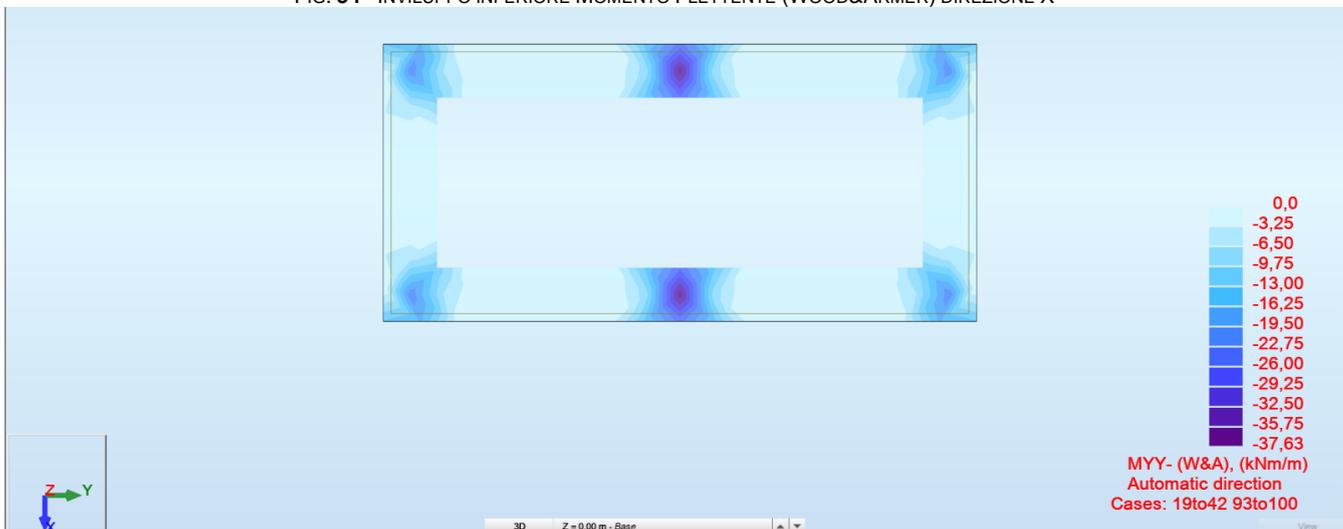


FIG. 55– INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y

Titolo: _____

N° strati barre 1 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	60	40	1	3,39	35

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.
 DXF

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n
 N_{Ed} 0 0 kN
 M_{xEd} 0 0 kNm
 M_{yEd} 0 0

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

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xEd} 45,35 kNm

Materiali
 B450C C25/30
 ε_{cu} 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‰ σ_{c,adm} 9,75
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0,6
 τ_{c1} 1,829

σ_c -14,17 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ε_c 3,5‰
 ε_s 60,51‰
 d 35 cm
 x 1,914 x/d 0,05468
 δ 0,7

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
 Calcola MRd Dominio M-N
 L₀ 0 cm Col. modello
 M-curvatura
 Precompresso

FIG. 56– MRD PER LA SEZIONE CON H=40CM E ARMATURA 3 Ø12
 MRd = 45.35 kNm > Msd,max = 37.63 kNm

Verifica soddisfatta

Fattore di Sicurezza = $45.35/37.63=1.205 > 1$

MRd: Momento resistente della sezione allo SLU come indicato da §4.1.2.3.4.2. del D.M. 17/01/18

Per il calcolo di MRd della sezione di progetto, si è utilizzato il Software free VCA SLU del Prof. Gelfi V7.7

Per poter rientrare all'interno della verifica dell'armatura minima richiesta per platee di fondazione come indicato nel §7.2.5 del D.M. 17/01/18, si è scelto di adottare un'armatura tesa pari a 3 Ø12.

$$A_{s,min} = 0.1\% * A_c = \frac{1}{1000} * 300 * 1000 = 300 \frac{mm^2}{m} = 3 \frac{cm^2}{m}$$

$$A_{s,tesa\ 3\ \varnothing 12} = 3 * (6 * 6 * \pi) = 339 \frac{mm^2}{m} = 3.39 \frac{cm^2}{m} > 3.00 \frac{cm^2}{m}$$

Inviluppo delle sollecitazioni di taglio – Fondazion _ Cabina di trasformazione:

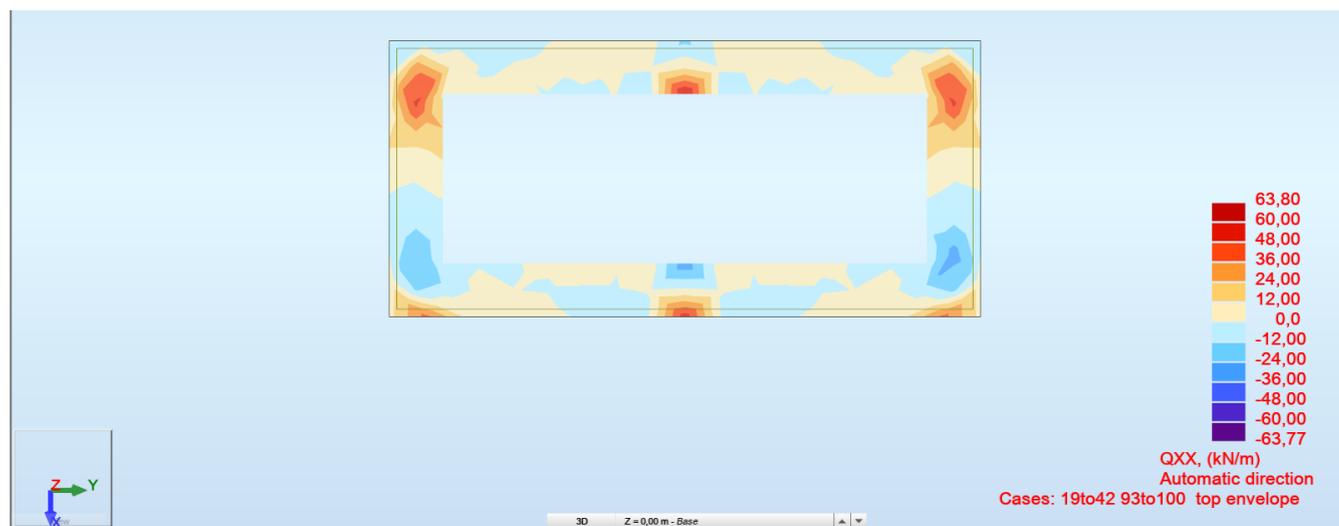


FIG. 57 – MAPPA Qxx+ - MAPPA DEL TAGLIO SOLLECITANTE

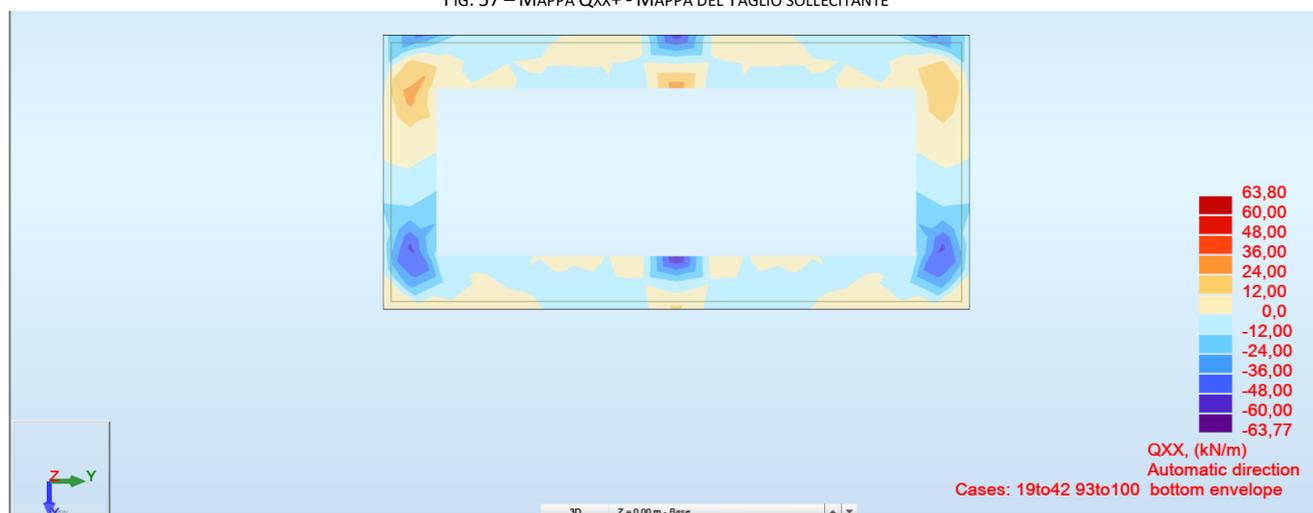


Fig. 58– **Mappa Qxx-** - Mappa del Taglio sollecitante

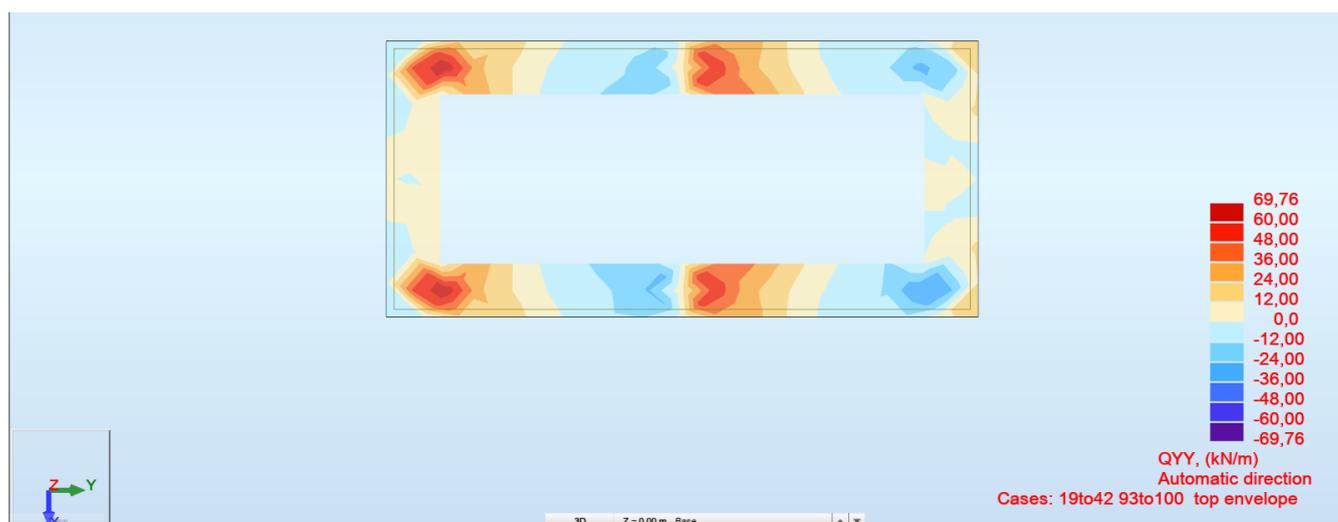


Fig. 59 – **Mappa Qyy +** - Mappa del Taglio sollecitante

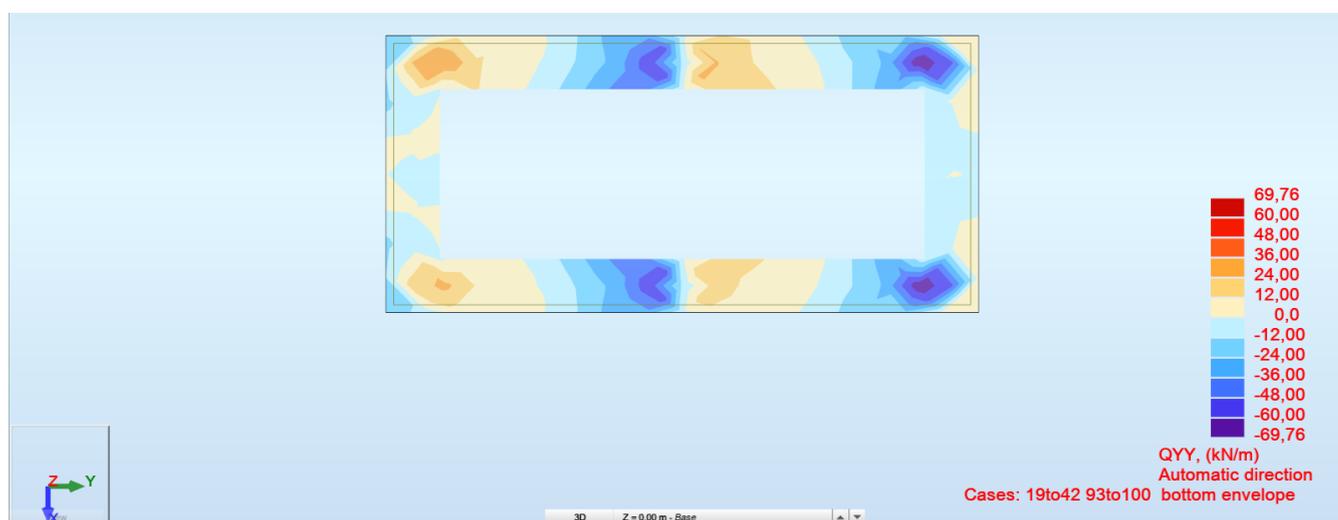


Fig. 60 – **Mappa Qyy -** - Mappa del Taglio sollecitante

Q_{xx} / Q_{yy} : Valore dello sforzo di taglio per gli elementi finiti con il sistema di coordinate diretto secondo l'asse locale globale del modello FEM.

Resistenza a taglio senza armatura

Di seguito si riporta la resistenza a taglio della soletta di spessore 30cm non armata a taglio
L'immagine precedente riporta la verifica degli "Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio" secondo quanto indicato da §4.1.2.3.5.1. del D.M. 17/01/18.

Elements not requiring design shear reinforcement

H = 40 cm	d = 35 cm	A _c = 240000 mm ²
b _w = 60 cm	Asl = 3,39 cm ²	k = 1,7559
		ρ _l = 0,0016
f _{ck} = 25 MPa	γ _c = 1,5	K ₁ = 0,15
		V _{min} = 0,4072
		C _{Rd,c} = 0,12
N _{Ed} = 0 kN		σ _{op} = 0 MPa

Ultimate design shear resistance

(6.2.a) : V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 ρ_l f_{ck})^{1/3} + K₁ σ_{op}] b_{wd} = 70,4 kN
V_{Rd,c} = (V_{min} + K₁ σ_{op}) b_{wd} = 85,5 kN
V_{Rd,c} = 85,5 kN

C_{Rd,c} = 0.18 / γ_c
V_{min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}
k = 1 + (200/d)^{1/2} with d in mm
ρ_l = A_{sl} / (b_w d)
A_{sl} = tensile longitudinal reinforcement area
b_w = minimum depth of the section
A_c = concrete section area
N_{Ed} = axial force due to the loads or to the pre-compression
(N_{Ed} > 0 compression)
σ_{op} = compr. stress at the center of concr. sect. due to axial force N_{Ed}

$$VR_{d,c} 400mm = 85.5kN > VS_{d,max} = 69.76 kN$$

Taglio massimo riportato nelle mappe

Verifica a scorrimento:

La verifica a scorrimento è stata eseguita considerando un angolo di resistenza al taglio pari a $\theta = 30^\circ$ e la seguente formulazione:

$$FS = [N_{tot} \cdot \operatorname{tg}(2/3 \cdot \theta) / \gamma R_d] / V_{ed}$$

Dove N_{tot} è l'azione verticale (FZ) mentre V_{tot} è la composizione dell'azione orizzontale nelle due direzioni, ottenuta come $V_{ed} = (FX^2 + FY^2)^{0.5}$ e γR_d posto pari a 1,1.

Fondazioni e – Cabina d'interfaccia	Combinazione	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	Tg sismico	Ved [kN]	VRd	F.S.
1708/ 19 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Vx+0.75N+0.9T	-167,49	18,64	852,63		168,5	345,1	2,05
1708/ 20 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Vx+0.75N-0.9T	-166,13	-21,52	791,4		167,5	320,3	1,91
1708/ 21 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Vx+0.75N+0.9T	165,75	20,39	864,29		167,0	349,8	2,09
1708/ 22 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Vx+0.75N-0.9T	167,1	-19,77	803,06		168,3	325,0	1,93

1708/ 23 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Vy+0.75N+0.9T	-1,46	-102,09	853,24		102,1	345,4	3,38
1708/ 24 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Vy+0.75N-0.9T	-0,1	-142,25	792		142,3	320,6	2,25
1708/ 25 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Vy+0.75N+0.9T	-0,28	141,12	863,69		141,1	349,6	2,48
1708/ 26 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Vy+0.75N-0.9T	1,07	100,96	802,45		101,0	324,8	3,22
1708/ 27 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vx+1.5N+0.9T	-100,85	18,97	890,27		102,6	360,3	3,51
1708/ 28 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vx+1.5N-0.9T	-99,5	-21,19	829,03		101,7	335,6	3,30
1708/ 29 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vx+1.5N+0.9T	99,09	20,03	897,26		101,1	363,2	3,59
1708/ 30 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vx+1.5N-0.9T	100,44	-20,14	836,03		102,4	338,4	3,30
1708/ 31 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vy+1.5N+0.9T	-1,23	-53,46	890,63		53,5	360,5	6,74
1708/ 32 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vy+1.5N-0.9T	0,12	-93,62	829,39		93,6	335,7	3,59
1708/ 33 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vy+1.5N+0.9T	-0,53	92,46	896,9		92,5	363,0	3,93
1708/ 34 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vy+1.5N-0.9T	0,82	52,3	835,66		52,3	338,2	6,47
1708/ 35 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vx+0.75N+1.5T	-101,3	32,37	888,62		106,3	359,7	3,38
1708/ 36 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vx+0.75N-1.5T	-101,3	32,37	888,62		106,3	359,7	3,38
1708/ 37 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vx+0.75N+1.5T	98,64	33,42	895,61		104,1	362,5	3,48
1708/ 38 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vx+0.75N-1.5T	98,64	33,42	895,61		104,1	362,5	3,48
1708/ 39 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vy+0.75N+1.5T	-1,68	-40,07	888,98		40,1	359,8	8,97
1708/ 40 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vy+0.75N-1.5T	-1,68	-40,07	888,98		40,1	359,8	8,97
1708/ 41 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vy+0.75N+1.5T	-0,97	105,86	895,25		105,9	362,4	3,42
1708/ 42 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vy+0.75N-1.5T	-0,97	105,86	895,25		105,9	362,4	3,42
1708/ 93 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q+Ex+0.3Ey (SLV)	41,12	14,43	594,64	120,526	121,4	240,7	1,98
1708/ 94 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q+Ex-0.3Ey (SLV)	40,77	-14,24	593,93	120,176	121,0	240,4	1,99
1708/ 95 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q-Ex+0.3Ey (SLV)	-41,05	13,43	593,01	120,456	121,2	240,0	1,98
1708/ 96 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q-Ex-0.3Ey (SLV)	-41,4	-15,24	592,31	120,806	121,8	239,7	1,97
1708/ 97 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q+Ey+0.3Ex (SLV)	12,77	47,54	594,89	92,1762	103,7	240,8	2,32
1708/ 98 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q+Ey-0.3Ex (SLV)	-11,88	47,24	594,4	91,2862	102,8	240,6	2,34
1708/ 99 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q-Ey+0.3Ex (SLV)	11,6	-48,05	592,54	91,0062	102,9	239,8	2,33
1708/ 100 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q-Ey-0.3Ex (SLV)	-13,05	-48,35	592,06	92,4562	104,3	239,6	2,30

Fondazione – Cabina di trasformazione	Combinazione	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	Tg sismico	Ved [kN]	VRd	F.S.
1708/ 19 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Vx+0.75N+0.9T	-75,69	0	492,02		75,7	199,1	2,63
1708/ 20 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Vx+0.75N-0.9T	-75,69	0	492,02		75,7	199,1	2,63
1708/ 21 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Vx+0.75N+0.9T	75,69	0	492,02		75,7	199,1	2,63
1708/ 22 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Vx+0.75N-0.9T	75,69	0	492,02		75,7	199,1	2,63
1708/ 23 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Vy+0.75N+0.9T	0	-57,42	492,02		57,4	199,1	3,47
1708/ 24 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Vy+0.75N-0.9T	0	-57,42	492,02		57,4	199,1	3,47
1708/ 25 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Vy+0.75N+0.9T	0	57,42	492,02		57,4	199,1	3,47
1708/ 26 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Vy+0.75N-0.9T	0	57,42	492,02		57,4	199,1	3,47
1708/ 27 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vx+1.5N+0.9T	-45,41	0	506,42		45,4	205,0	4,51
1708/ 28 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vx+1.5N-0.9T	-45,41	0	506,42		45,4	205,0	4,51
1708/ 29 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vx+1.5N+0.9T	45,41	0	506,42		45,4	205,0	4,51
1708/ 30 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vx+1.5N-0.9T	45,41	0	506,42		45,4	205,0	4,51
1708/ 31 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vy+1.5N+0.9T	0	-34,45	506,42		34,5	205,0	5,95
1708/ 32 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vy+1.5N-0.9T	0	-34,45	506,42		34,5	205,0	5,95
1708/ 33 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vy+1.5N+0.9T	0	34,45	506,42		34,5	205,0	5,95
1708/ 34 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vy+1.5N-0.9T	0	34,45	506,42		34,5	205,0	5,95
1708/ 35 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vx+0.75N+1.5T	-45,41	0	497,42		45,4	201,3	4,43
1708/ 36 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vx+0.75N-1.5T	-45,41	0	497,42		45,4	201,3	4,43
1708/ 37 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vx+0.75N+1.5T	45,41	0	497,42		45,4	201,3	4,43
1708/ 38 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vx+0.75N-1.5T	45,41	0	497,42		45,4	201,3	4,43
1708/ 39 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vy+0.75N+1.5T	0	-34,45	497,42		34,5	201,3	5,84
1708/ 40 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vy+0.75N-1.5T	0	-34,45	497,42		34,5	201,3	5,84
1708/ 41 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vy+0.75N+1.5T	0	34,45	497,42		34,5	201,3	5,84
1708/ 42 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vy+0.75N-1.5T	0	34,45	497,42		34,5	201,3	5,84
1708/ 93 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q+Ex+0.3Ey (SLV)	-19,52	-8,36	343,07	44,2766	45,1	138,9	3,08
1708/ 94 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q+Ex-0.3Ey (SLV)	-19,52	8,36	343,07	44,2766	45,1	138,9	3,08

1708/ 95 (C) (CQC)	$G1+G2+0.8Q-Ex+0.3Ey$ (SLV)	19,52	-8,36	343,07	44,2766	45,1	138,9	3,08
1708/ 96 (C) (CQC)	$G1+G2+0.8Q-Ex-0.3Ey$ (SLV)	19,52	8,36	343,07	44,2766	45,1	138,9	3,08
1708/ 97 (C) (CQC)	$G1+G2+0.8Q+Ey+0.3Ex$ (SLV)	-5,86	-27,88	343,07	30,6166	41,4	138,9	3,35
1708/ 98 (C) (CQC)	$G1+G2+0.8Q+Ey-0.3Ex$ (SLV)	5,86	-27,88	343,07	30,6166	41,4	138,9	3,35
1708/ 99 (C) (CQC)	$G1+G2+0.8Q-Ey+0.3Ex$ (SLV)	-5,86	27,88	343,07	30,6166	41,4	138,9	3,35
1708/ 100 (C) (CQC)	$G1+G2+0.8Q-Ey-0.3Ex$ (SLV)	5,86	27,88	343,07	30,6166	41,4	138,9	3,35

Verifica a ribaltamento:

L'analisi condotta per le fondazioni è di tipo lineare, l'involuppo minimo della mappa delle pressioni mostra un'area quasi totalmente reagente a compressione per cui la verifica a ribaltamento si può ritenere soddisfatta.

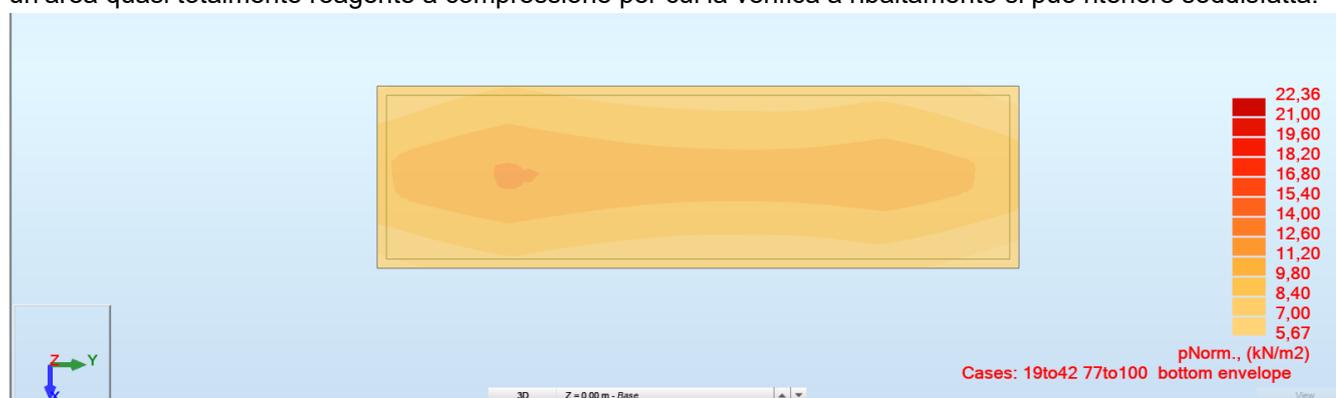


Fig. 61– Pressioni sul terreno – Involuppo Combinazioni SLU (EQU) – Fondazione –Cabina D'Interfaccia

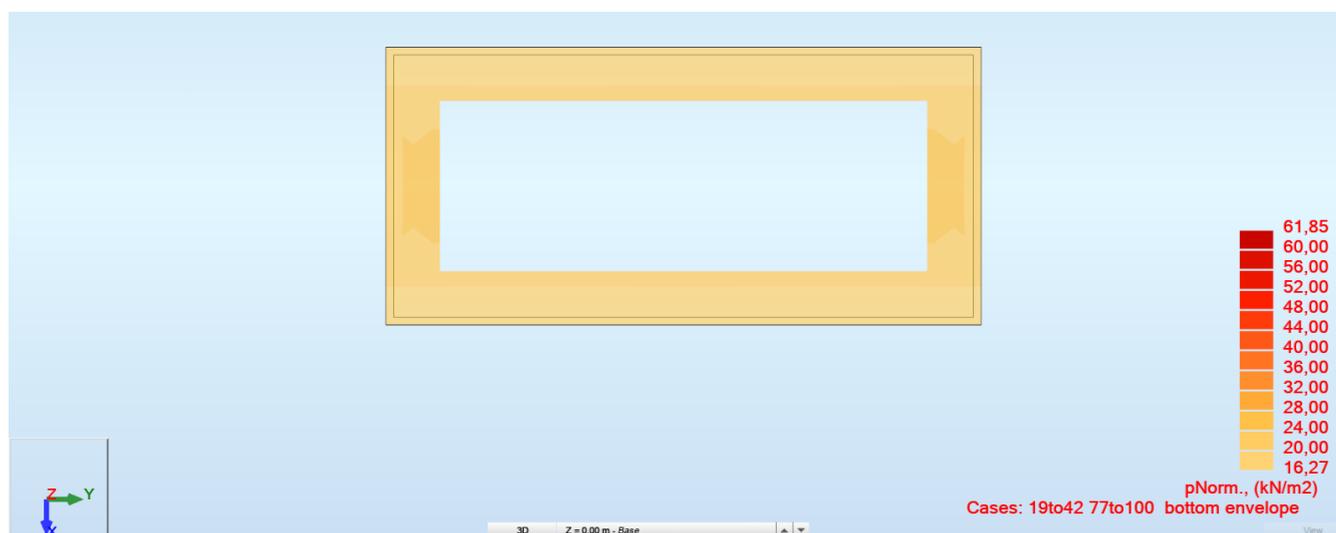


Fig. 62– Pressioni sul terreno – Involuppo Combinazioni SLU (EQU) – Fondazione –Cabina Di trasformazione

Verifica a capacità portante:

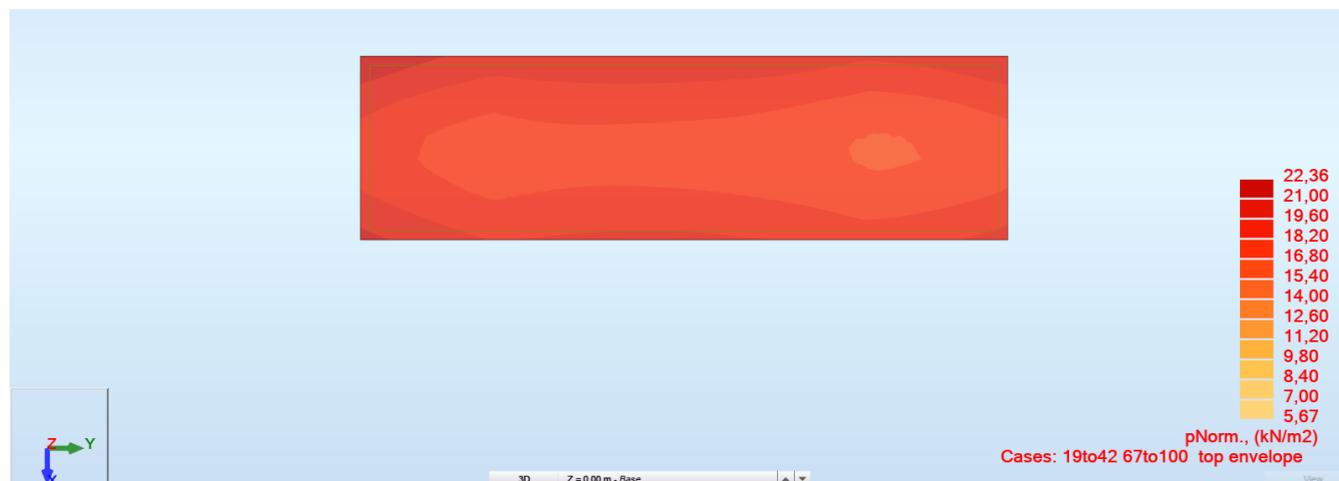


Fig. 63– Involuppo delle Pressioni nelle Combinazioni SLU – SLV – Fondazione – Cabina Di trasformazione

$$Q_{ed} = 22.36 \text{ Kn/m}^2$$

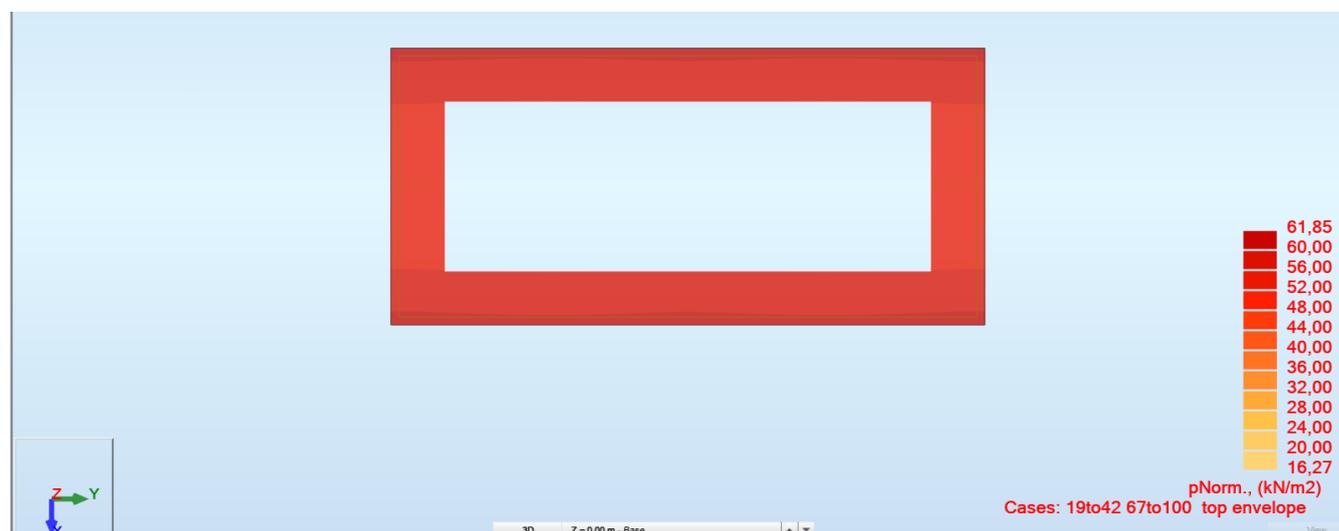


Fig. 64– Involuppo delle Pressioni nelle Combinazioni SLU – SLV – Fondazione – Cabina Di trasformazione

$$Q_{ed} = 61.85 \text{ Kn/m}^2$$

Verifica agli stati limite di esercizio SLE – Fondazione_ Cabina d'interfaccia:

Verifica a Fessurazione – Fondazione

Si prendono in considerazione le seguenti combinazioni e massima apertura ammissibile delle fessure:

- Combinazioni frequenti → $w_3 = 0.4\text{mm}$
- Combinazioni quasi permanenti → $w_2 = 0.3\text{mm}$

Verifica delle tensioni di esercizio

La massima tensione di compressione del calcestruzzo deve rispettare la seguente limitazione:

$$\sigma_c < 0.45 \times f_{ck} (25) = 11.25 \text{ N/mm}^2 \text{ (combinazione quasi permanente)}$$

$$\sigma_c < 0.60 \times f_{ck} (25) = 15.0 \text{ N/mm}^2 \text{ (combinazione rara)}$$

La massima tensione nell'acciaio dell'armatura deve rispettare la seguente limitazione:

$$\sigma_s < 0.80 \times f_{yk} (450) = 360.0 \text{ N/mm}^2$$

Nel seguito si riportano le mappe degli involuppi dei momenti flettenti composti secondo Wood & Armer (il metodo consiste ne comporre i momenti flettenti m_{xx} con m_{xy} e m_{yy} con m_{xy}) nelle combinazioni agli stati limite di esercizio frequente e quasi permanente (SLE_FRE, SLE_QP), le forze interne di tipo membranale sono trascurabili.

Combinazione quasi permanente SLE: Combinazione n°76



FIG. 65– INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X
COMBINAZIONE SLE QUASI PERMANENTE



Fig. 66– Inviluppo inferiore Momento Flettente (Wood&Armer) direzione X
COMBINAZIONE SLE QUASI PERMANENTE

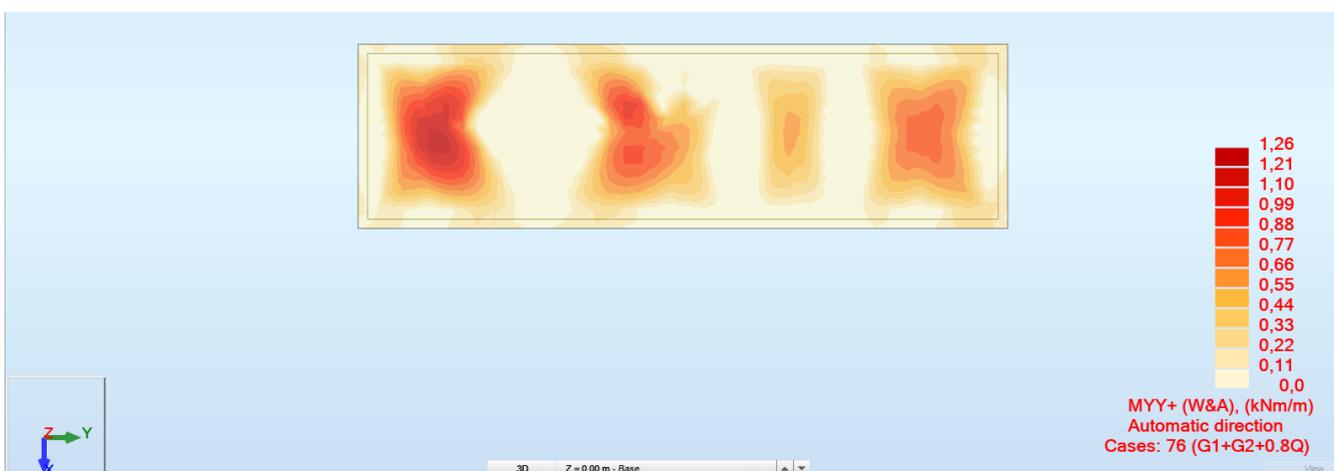


FIG. 67– INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y
COMBINAZIONE SLE QUASI PERMANENTE

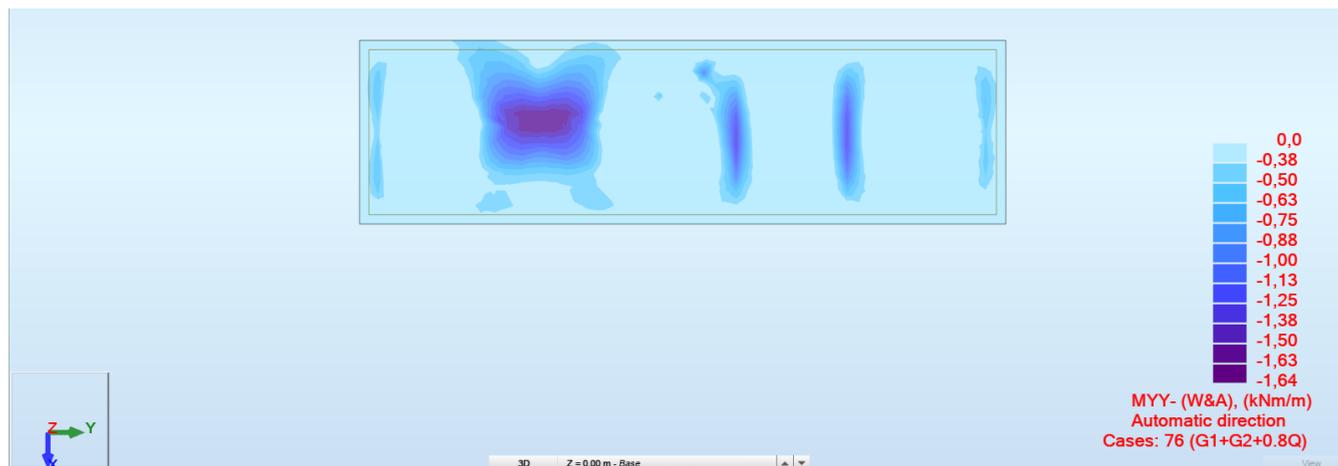


Fig. 68– Involuppo inferiore Momento Flettente (Wood&Armer) direzione y
 COMBINAZIONE SLE QUASI PERMANENTE

Si riporta nel seguito verifica a fessurazione soletta spessore 30cm armata con fi 12/200 considerando il massimo momento $M_x = 2.37 \text{ kNm/m}$ agente per le combinazioni quasi permanenti SLE:

Verifica della sezione a fessurazione (SLE)		
wlim	0,30 mm	Comb SLE Qper
b	100 cm	
h	30 cm	
Es	210000 N/mm ²	
σs	16,8 N/mm ²	
kt	0,4	carico di lunga durata
fctm	2,56 N/mm ²	
As	5,65 cm ²	5ø12
c	50 mm	copriferro
d	25 cm	
x	5,72 cm	
hc,ef	8,1 cm	
Ac,ef	809,4 cm ²	
ρp,eff	0,007	
Ecm	31447 N/mm ²	
αe	6,678	
esm	-0,00065	
0.6(σs/Es)	0,00005	
k1	0,8	Barre Ad. Migl.
k2	0,50	
k3	3,4	
k4	0,425	
Δsmax	461,98 mm	
wd	0,022 mm	Sezione verificata

$$\sigma_c \sim 0.61 \text{ N/mm}^2 < 0.45 \times f_{ck} = 11.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_s \sim 31 \text{ N/mm}^2 < 0.8 \times f_{yk} = 360.0 \text{ N/mm}^2$$

L'apertura delle fessure è stimata pari a:

$$w_k = 0.022 \text{ mm} < 0.3 \text{ mm}$$

Combinazione frequente SLE: Combinazione da n°68-76

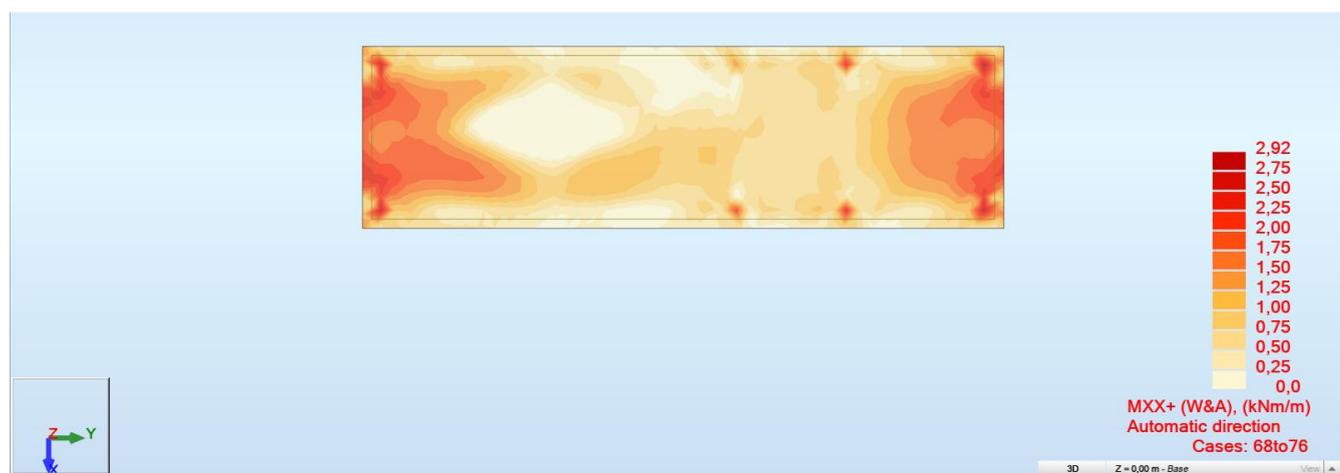


FIG. 69– INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X
COMBINAZIONE SLE FREQUENTE

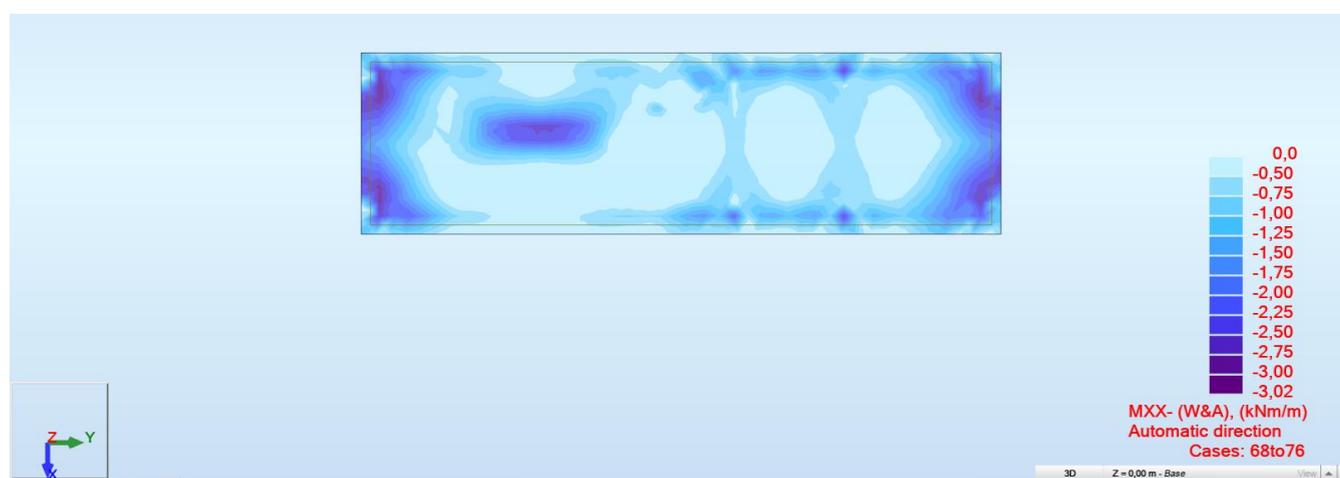


FIG. 70– INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X
COMBINAZIONE SLE FREQUENTE

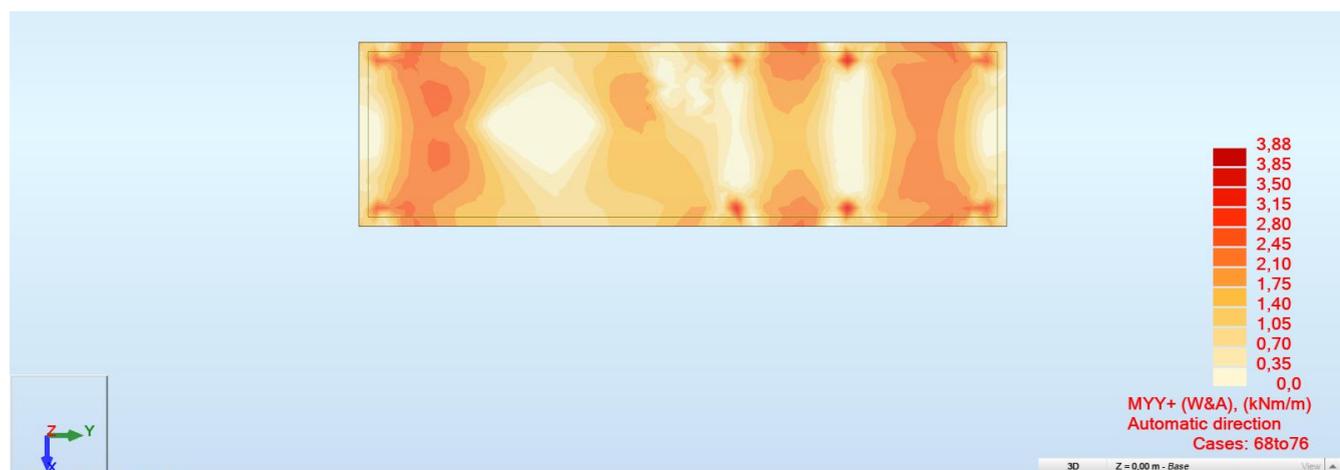


FIG. 71– INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y
COMBINAZIONE SLE FREQUENTE



FIG. 72– INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y
COMBINAZIONE SLE FREQUENTE

Si riporta nel seguito verifica a fessurazione soletta spessore 30cm armata con fi 12/200 considerando il massimo momento $M_x = 4.37$ kNm/m agente per le combinazioni frequente SLE:

Verifica della sezione a fessurazione (SLE)		
wlim	0,40 mm	Comb SLE Freq
b	100 cm	
h	30 cm	
Es	210000 N/mm ²	
σs	33,5 N/mm ²	
kt	0,4	carico di lunga durata
fctm	2,56 N/mm ²	
As	5,65 cm ²	5φ12
c	50 mm	copriferro
d	25 cm	
x	5,72 cm	
hc,ef	8,1 cm	
Ac,ef	809,4 cm ²	
pp,eff	0,007	
Ecm	31447 N/mm ²	
αe	6,678	
esm	-0,00057	
0.6(σs/Es)	0,00010	
k1	0,8	Barre Ad. Migl.
k2	0,50	
k3	3,4	
k4	0,425	
Δsmax	461,98 mm	
wd	0,044 mm	Sezione verificata

$$\sigma_c \sim 0.61 \text{ N/mm}^2 < 0.45 \times f_{ck} = 11.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_s \sim 31 \text{ N/mm}^2 < 0.8 \times f_{yk} = 360.0 \text{ N/mm}^2$$

L'apertura delle fessure è stimata pari a:

$$w_k = 0.044 \text{ mm} < 0.4 \text{ mm}$$

Verifica agli stati limite di esercizio SLE- Fondazione _ cabina di trasformazione:

Si prendono in considerazione le seguenti combinazioni e massima apertura ammissibile delle fessure:

- Combinazioni frequenti → $w_3 = 0.4\text{mm}$
- Combinazioni quasi permanenti → $w_2 = 0.3\text{mm}$

Verifica delle tensioni di esercizio

La massima tensione di compressione del calcestruzzo deve rispettare la seguente limitazione:

$$\sigma_c < 0.45 \times f_{ck} (25) = 11.25 \text{ N/mm}^2 \text{ (combinazione quasi permanente)}$$

$$\sigma_c < 0.60 \times f_{ck} (25) = 15.0 \text{ N/mm}^2 \text{ (combinazione rara)}$$

La massima tensione nell'acciaio dell'armatura deve rispettare la seguente limitazione:

$$\sigma_s < 0.80 \times f_{yk} (450) = 360.0 \text{ N/mm}^2$$

Nel seguito si riportano le mappe degli involuipi dei momenti flettenti composti secondo Wood & Armer (il metodo consiste nel comporre i momenti flettenti m_{xx} con m_{xy} e m_{yy} con m_{xy}) nelle combinazioni agli stati limite di esercizio frequente e quasi permanente (SLE_FRE, SLE_QP), le forze interne di tipo membranale sono trascurabili.

Combinazione quasi permanente SLE: Combinazione n°76

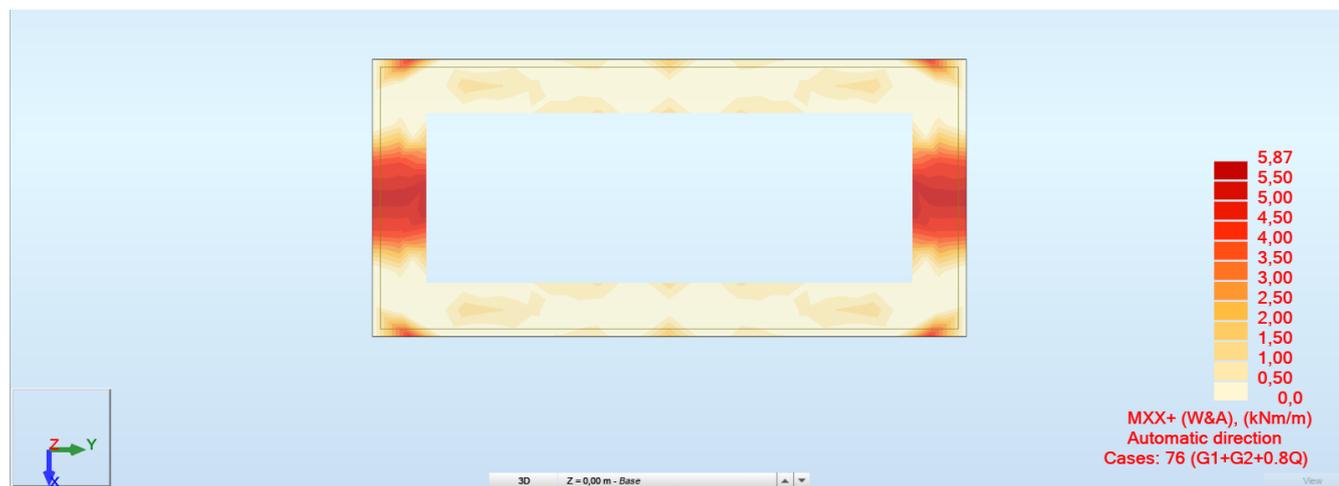


FIG. 73– INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X
COMBINAZIONE SLE QUASI PERMANENTE



Fig. 74– Inviluppo inferiore Momento Flettente (Wood&Armer) direzione X
COMBINAZIONE SLE QUASI PERMANENTE

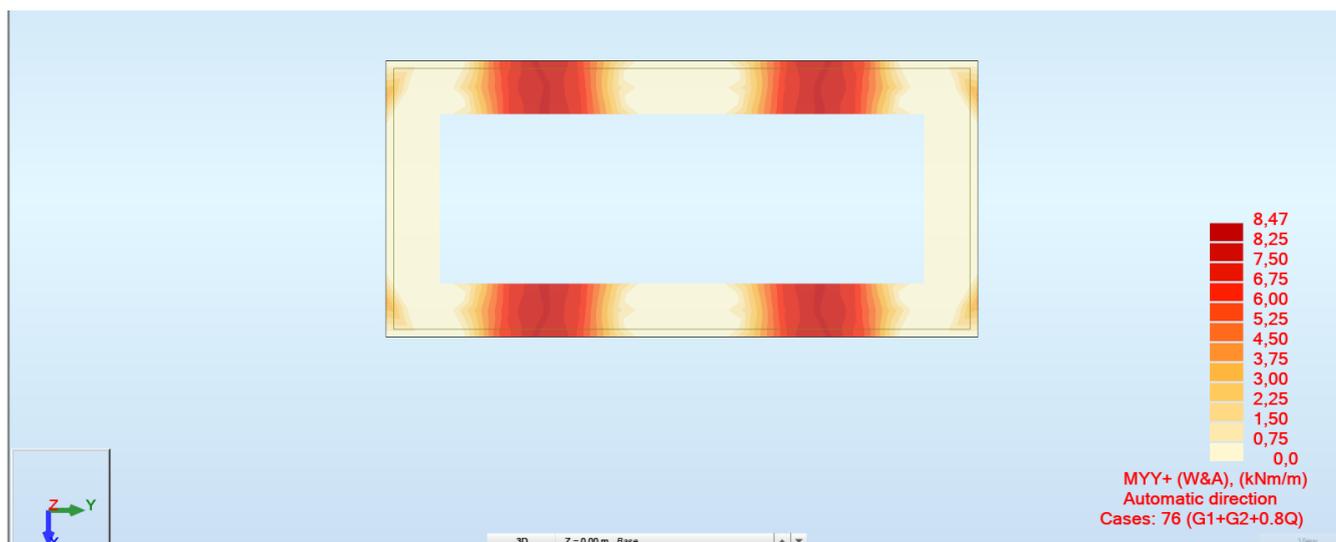


FIG. 75– INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y
COMBINAZIONE SLE QUASI PERMANENTE



Fig. 76– Inviluppo inferiore Momento Flettente (Wood&Armer) direzione y
COMBINAZIONE SLE QUASI PERMANENTE

Si riporta nel seguito verifica a fessurazione soletta spessore 40cm armata con 3 \varnothing 12 considerando il massimo momento $M_x = 19.03$ kNm/m agente per le combinazioni quasi permanenti SLE:

Verifica della sezione a fessurazione (SLE)			
wlim	0,30 mm	Comb SLE Qper ▼	
b	60 cm		
h	40 cm		
Es	210000 N/mmq		
os	171,5 N/mmq		
kt	0,4	carico di lunga durata ▼	
fctm	2,56 N/mmq		
As	3,39 cmq	3ø12	
c	50 mm	copriferro	
d	35 cm		
x	6,90 cm		
hc,ef	11,0 cm		
Ac,ef	661,9 cmq		
pp,eff	0,005		
Ecm	31447 N/mmq		
αe	6,678		
esm	-0,00017		
0.6(σs/Es)	0,00049		
k1	0,8	Barre Ad. Migl. ▼	
k2	0,50		
k3	3,4		
k4	0,425		
Δsmax	567,98 mm		
wd	0,278 mm	Sezione verificata	

$$\sigma_c \sim 0.61 \text{ N/mm}^2 < 0.45 \times f_{ck} = 11.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_s \sim 31 \text{ N/mm}^2 < 0.8 \times f_{yk} = 360.0 \text{ N/mm}^2$$

L'apertura delle fessure è stimata pari a:

$$w_k = 0.278 \text{ mm} < 0.3 \text{ mm}$$

Combinazione frequente SLE: Combinazione da n°68-76

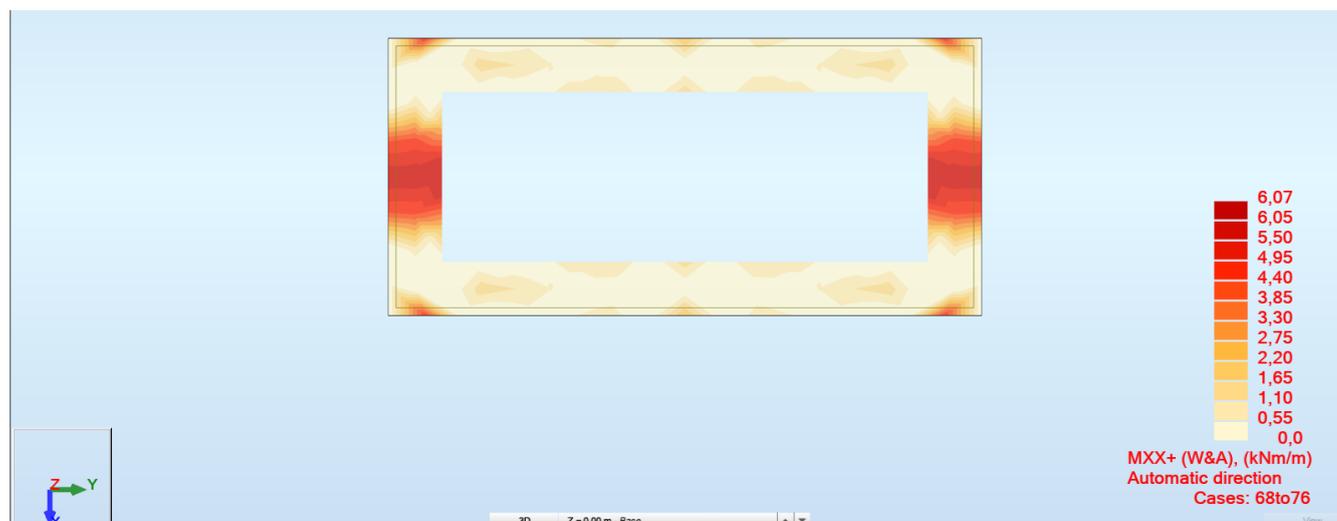


FIG. 77– INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X
COMBINAZIONE SLE FREQUENTE

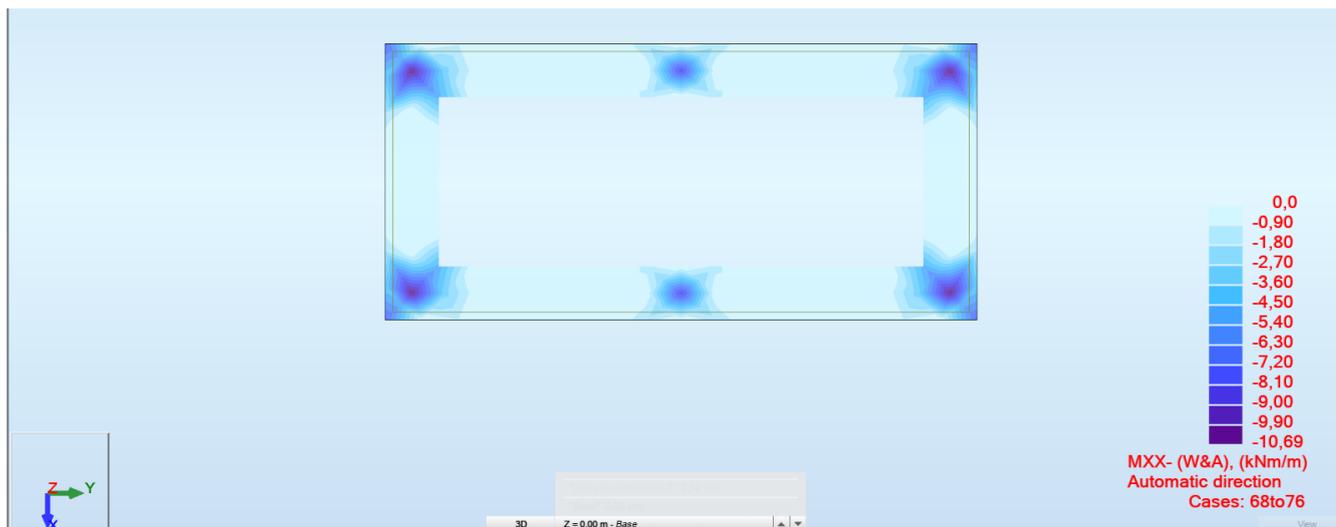


Fig. 78– Involuppo inferiore Momento Flettente (Wood&Armer) direzione X
COMBINAZIONE SLE FREQUENTE

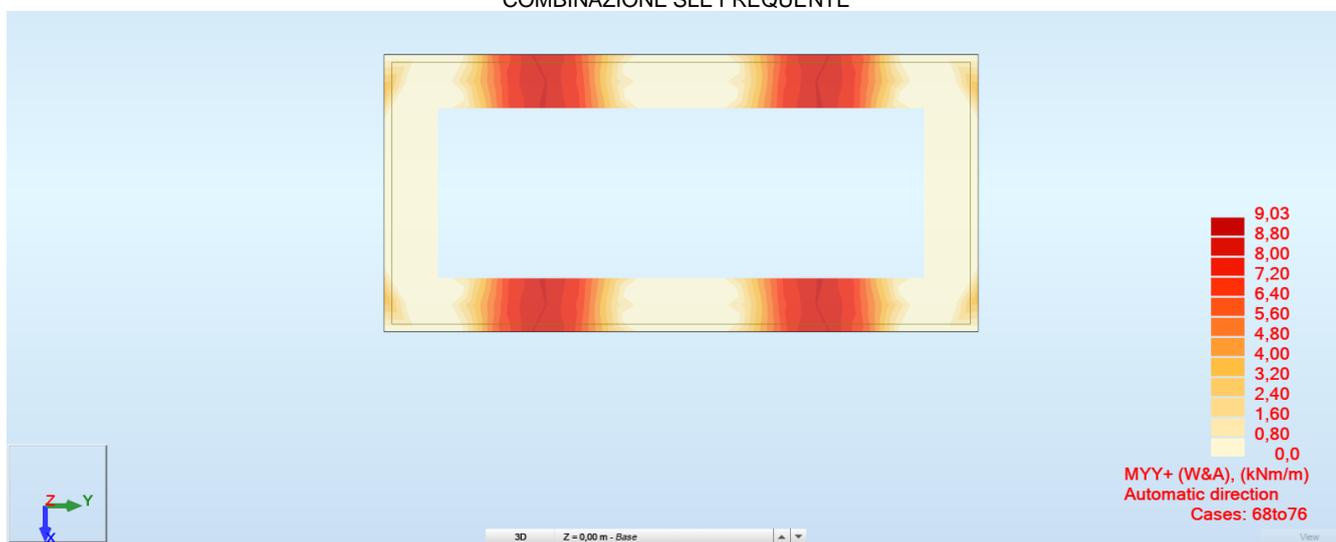


FIG. 79– INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y
COMBINAZIONE SLE FREQUENTE



Fig. 80– Involuppo inferiore Momento Flettente (Wood&Armer) direzione y
COMBINAZIONE SLE FREQUENTE

Si riporta nel seguito verifica a fessurazione soletta spessore 40cm armata con 3 \varnothing 12 considerando il massimo momento $M_x = 20.14$ kNm/m agente per le combinazioni quasi permanenti SLE:

Verifica della sezione a fessurazione (SLE)		
wlim	0,40 mm	Comb SLE Freq
b	60 cm	
h	40 cm	
Es	210000 N/mm ²	
σ_s	181,5 N/mm ²	
kt	0,4	carico di lunga durata
fctm	2,56 N/mm ²	
As	3,39 cm ²	3 \varnothing 12
c	50 mm	copriferro
d	35 cm	
x	6,90 cm	
hc,ef	11,0 cm	
Ac,ef	661,9 cm ²	
pp,eff	0,005	
Ecm	31447 N/mm ²	
α_e	6,678	
esm	-0,00012	
0.6(σ_s /Es)	0,00052	
k1	0,8	Barre Ad. Migl.
k2	0,50	
k3	3,4	
k4	0,425	
Δs_{max}	567,98 mm	
wd	0,295 mm	Sezione verificata

$$\sigma_c \sim 0.61 \text{ N/mm}^2 < 0.45 \times f_{ck} = 11.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_s \sim 31 \text{ N/mm}^2 < 0.8 \times f_{yk} = 360.0 \text{ N/mm}^2$$

L'apertura delle fessure è stimata pari a:

$$w_k = 0.295 \text{ mm} < 0.4 \text{ mm}$$

Verifica a cedimento Fondazione:

Di seguito si riporta la mappa dei cedimenti nelle seguenti condizioni:

- Peso Proprio fondazione
- Peso proprio fondazione e carichi di esercizio applicati SLE

Peso proprio fondazione:

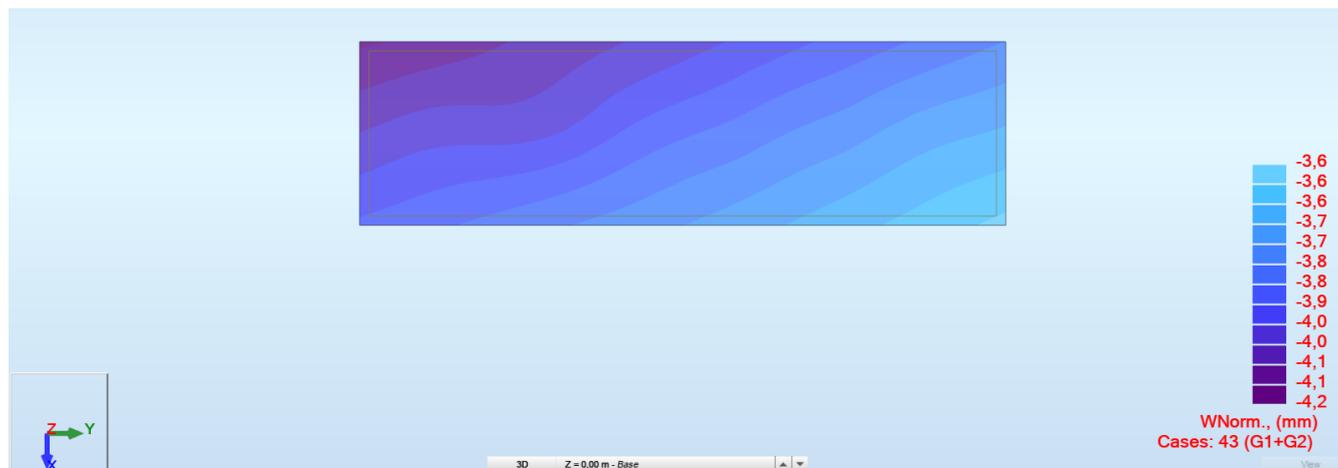


FIG. 73– INVILUPPO DEI CEDIMENTI SECONDO LE COMBINAZIONI SLE – FONDAZIONE – CABINA D'INTERFACCIA

Come si può notare dalla mappa sopra riportata nella combinazione SLE il valore massimo del cedimento risulta:

$$w_{\max} = 4.2\text{mm}$$

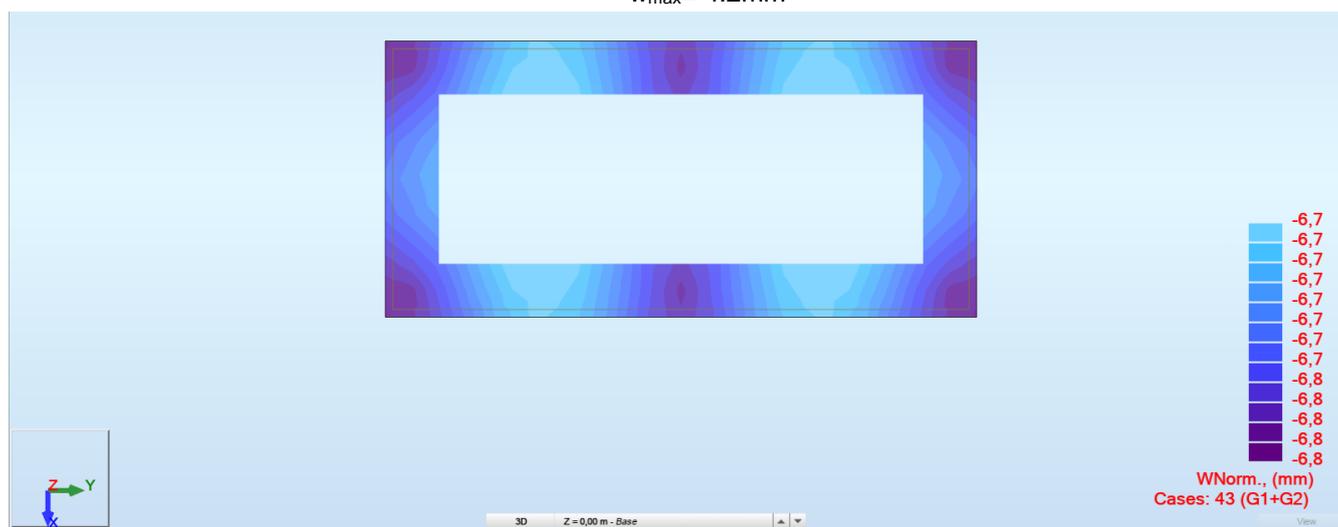


FIG. 74– INVILUPPO DEI CEDIMENTI SECONDO LE COMBINAZIONI SLE – FONDAZIONE – CABINA DI TRASFORMAZIONE

Come si può notare dalla mappa sopra riportata nella combinazione SLE il valore massimo del cedimento risulta:

$$w_{\max} = 6.7\text{mm}$$

Peso proprio fondazione e carichi di esercizio applicati SLE

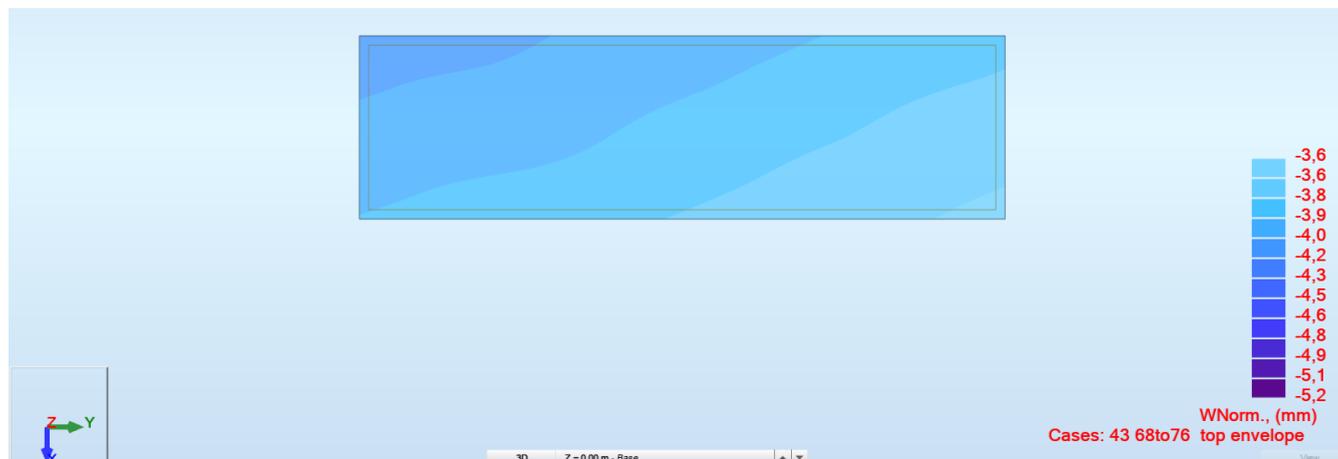


FIG. 75– INVILUPPO DEI CEDIMENTI SECONDO LE COMBINAZIONI SLE – FONDAZIONE – CABINA D'INTERFACCIA

Come si può notare dalla mappa sopra riportata nella combinazione SLE il valore massimo del cedimento risulta:

$$w_{\max} = 5.2\text{mm}$$

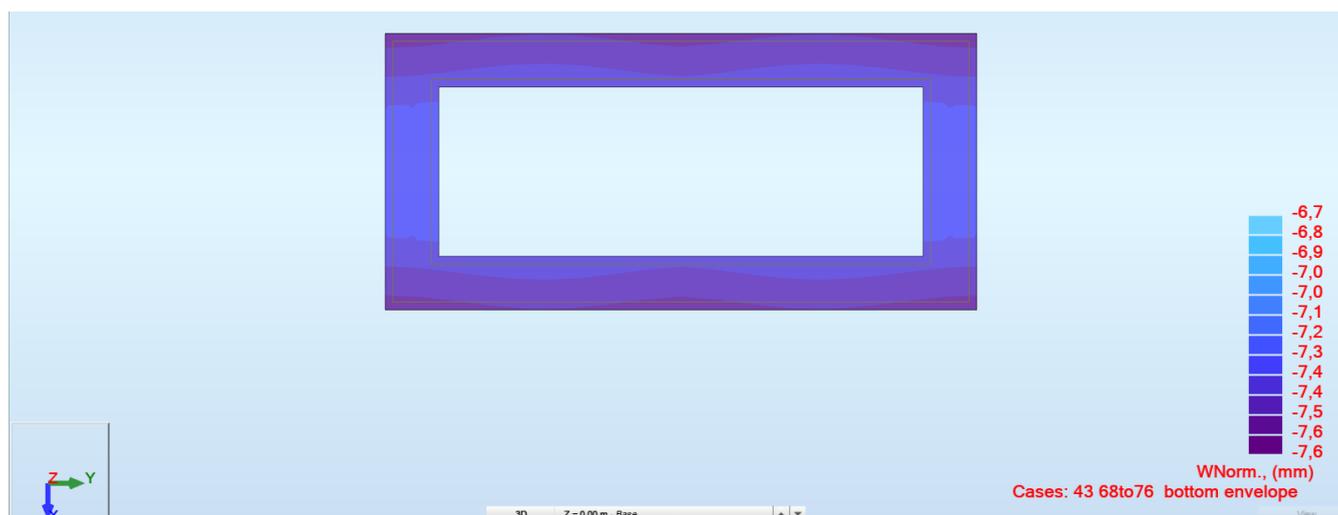


FIG. XX– INVILUPPO DEI CEDIMENTI SECONDO LE COMBINAZIONI SLE – FONDAZIONE – CABINA DI TRASFORMAZIONE

Come si può notare dalla mappa sopra riportata nella combinazione SLE il valore massimo del cedimento risulta:

$$w_{\max} = 7.6\text{mm}$$

3. CONCLUSIONI

Dal punto di vista strutturale le analisi consentono di concludere che l'intero sistema fondazione-terreno soddisfa le verifiche effettuate sia in termini di strutturali che geotecnici, garantendo quindi il rispetto dei requisiti di sicurezza e di durabilità imposti dalle norme vigenti.

❖ TIPO DI ANALISI SVOLTA

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico.

La verifica della sicurezza degli elementi strutturali avviene con i metodi della scienza e della tecnica delle costruzioni.

L'analisi statica è di tipo lineare e utilizza il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tenso-deformativo indotto da carichi statici.

Per la struttura in oggetto l'analisi sismica è di tipo lineare dinamica, mediante analisi modale con spettro di risposta in termini di accelerazione secondo le disposizioni dei capitoli 3 e 7 del DM. 17/01/2018.

L'analisi strutturale è effettuata con il metodo degli elementi finiti.

Nel caso specifico gli elementi travi e colonne sono stati modellati tramite l'utilizzo di elementi monodimensionali tipo "beam" mentre gli elementi controventi tramite elementi "truss".

Il metodo degli elementi finiti sopraindicato si basa sulla schematizzazione della struttura in elementi connessi solo in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi.

I nodi sono definiti dalle tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale.

Le incognite del problema (nell'ambito del metodo degli spostamenti) sono le componenti di spostamento dei nodi riferite al sistema di riferimento globale (traslazioni secondo X, Y, Z, rotazioni attorno X, Y, Z).

La soluzione del problema si ottiene con un sistema di equazioni algebriche lineari i cui termini noti sono costituiti dai carichi agenti sulla struttura opportunamente concentrati ai nodi.

L'analisi strutturale è eseguita mediante analisi di rigidità per la valutazione dello stato di tensione-deformazione indotta dall'analisi statica. La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limiti Ultimi.

Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

❖ ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

Di seguito si indicano l'origine e le caratteristiche dei codici di calcolo utilizzati riportando titolo, produttore/distributore e versione:

Titolo	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2024
Autore	Autodesk Inc.
Produttore	Autodesk Inc.
Fornitore	Autodesk Inc.
Versione	37.0.0.10095(x64)

❖ AFFIDABILITA' DEI CODICI UTILIZZATI

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico. La documentazione, fornita dal produttore e distributore del software, contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati.

La società produttrice Autodesk ha verificato tramite le società AFNOR e NAFEMS, l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Di seguito è possibile consultare parte della documentazione contenente alcuni dei più significativi casi trattati scelti in funzione della tipologia di struttura calcolata con il modello di calcolo.

La valutazione della affidabilità e idoneità del software per questo progetto è stata consentita da un esame della documentazione fornita dallo sviluppatore.

Questa documentazione contiene la descrizione completa della base teorica, gli algoritmi utilizzati, l'individuazione delle aree di applicazione, test (con file di input necessari a riprodurre il processo) del tutto risolti e discussi.

❖ MODALITA' DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

I dati contenuti nella relazione di calcolo strutturale sono tali da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. In particolare, la relazione di calcolo illustra in modo chiaro ed esaustivo i dati in ingresso e i risultati delle analisi sia in forma tabellare che grafica, tale da avere una sintesi completa e efficace del comportamento della struttura per ogni tipo di analisi svolta.

❖ **INFORMAZIONI GENERALI SULL'ELABORAZIONE**

Il programma prevede una serie di controlli automatici (check) che consentono l'individuazione di errori di modellazione, quali mesh non coerente, presenza di nodi isolati, assenza di vincoli, il non rispetto delle limitazioni geometriche, la presenza di elementi non verificati, la non convergenza del calcolo nel caso di analisi non lineare, il mancato raggiungimento dei limiti normativi, la ridondanza di oggetti modellati, etc...

Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabulare, la totalità dei dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

❖ **GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITA' DEI RISULTATI**

Oltre al controllo automatico condotto dal software, i risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti ad ulteriori controlli che ne comprovano l'attendibilità e l'accettabilità.

Questi controlli, eseguiti manualmente con metodi tradizionali, consistono in verifiche di equilibrio tra reazioni vincolari e carichi applicati, comparazioni tra i risultati delle analisi e quelli di valutazioni semplificati, etc...

In base a quanto detto, si può asserire che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico; pertanto, i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

❖ **DOCUMENTAZIONE CASI PROVA**

2. PLATE/SHELL STRUCTURES

22



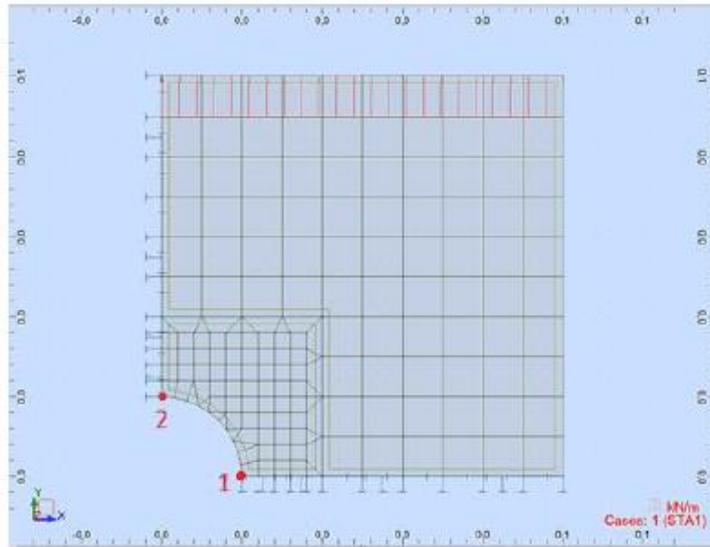
Autodesk (and other products) are registered trademarks or trademarks of Autodesk, Inc., and/or its subsidiaries and/or affiliates in the USA and/or other countries. All other brand names, product names, or trademarks belong to their respective holders. Autodesk reserves the right to alter product offerings, specifications and pricing at any time without notice, and is not responsible for typographical or graphical errors that may appear in this document. © 2020 Autodesk, Inc. All rights reserved.



VERIFICATION EXAMPLE

Tension of perforated membrane - SSLP02

Name of the test: SSLP02
Reference: AFNOR
Specification: Simple tension of perforated membrane.
GEOMETRY: $\frac{1}{4}$ of a model analyzed (due to symmetry) with a mesh 10x10



DATA FILE SSLP02.rtd

COMPARISON:

Node	Compared result	RSA 2021	AFNOR	Difference %
1	Stress $\sigma_{\theta\theta}$ (N/mm ²)	6.94	7.5	7.47
2	Stress $\sigma_{\theta\theta}$ (N/mm ²)	- 2.57	- 2.5	2.80

CONCLUSION:

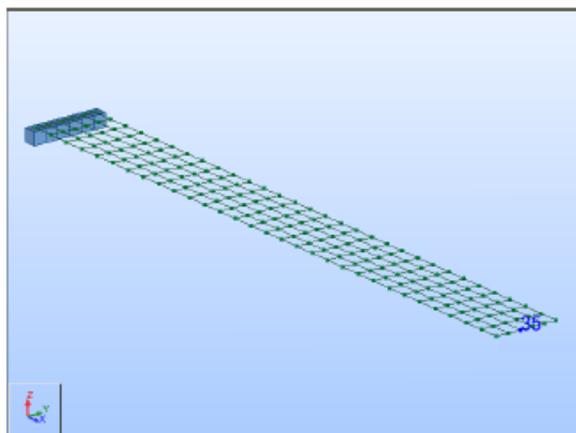
Poor agreement of results.

VERIFICATION EXAMPLE

Rectangular plate: cantilever slab - SSSL01

Name of the test: SSSL01
 Reference: AFNOR
 Specification: Cantilever slab under uniform pressure

GEOMETRY:



DATA FILE SSSL01.rtd

COMPARISON:

Node	Compared result	RSA 2021	AFNOR	Difference %
35	Displacement UZ (mm)	- 95.919	- 95.90	0.021

CONCLUSION:

Excellent agreement of results.

25



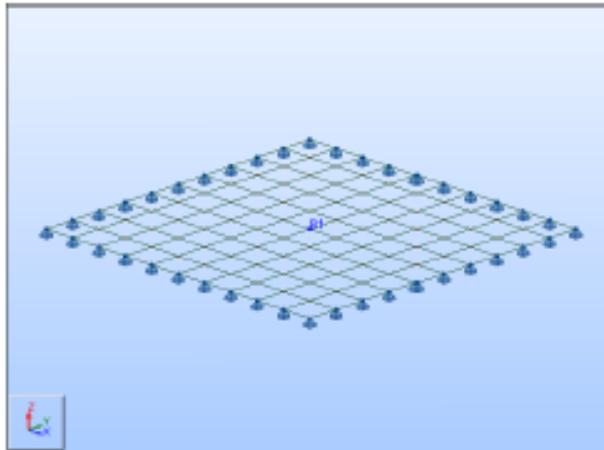
Autodesk [and other products] are registered trademarks or trademarks of Autodesk, Inc., and/or its subsidiaries and/or affiliates in the USA and/or other countries. All other brand names, product names, or trademarks belong to their respective holders. Autodesk reserves the right to alter product offerings, and specifications and pricing at any time without notice, and is not responsible for typographical or graphical errors that may appear in this document. © 2020 Autodesk, Inc. All rights reserved.

VERIFICATION EXAMPLE

Simply supported square plate - SSLS02

Name of the test: SSLS02
Reference: AFNOR
Specification: Simply supported square plate under self weight.

GEOMETRY:



DATA FILE: SSLS02.rtd

COMPARISON:

Node	Compared result	RSA 2021	AFNOR	Difference %
261	Displacement Uz (mm)	- 16.47	- 16.45*	0.122

* *Guide... * presents an incorrect value (compare with SSLS 24)

CONCLUSION:

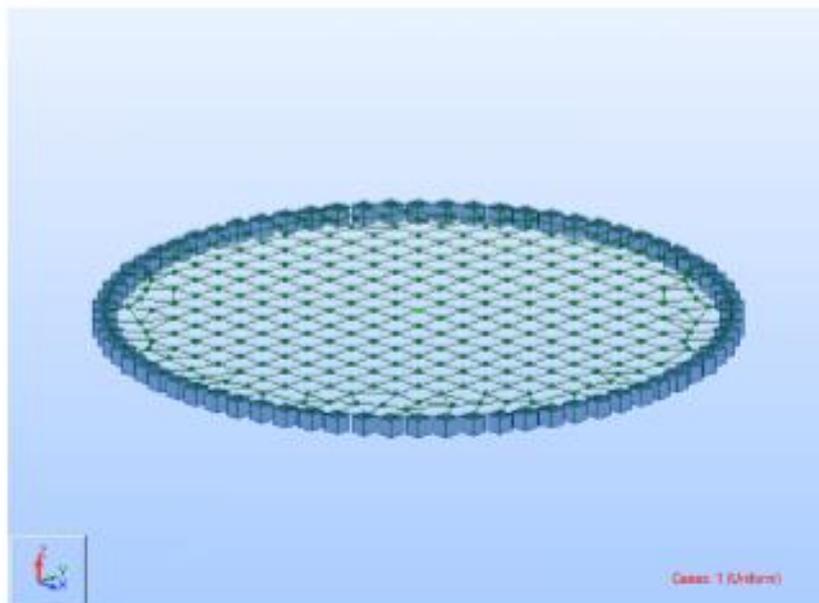
Excellent agreement of results.

VERIFICATION EXAMPLE

Circular plate under uniform load - SSSL03

Name of the test:	SSLS03
Reference:	AFNOR
Specification:	Circular plate with clamped edges under uniform load

GEOMETRY:



DATA FILES: SSSL03.rtd

COMPARISON:

Node	Compared result	RSA 2021	AFNOR	Difference %
1	Displacement UZ (mm)	- 6.477	- 6.500	0.36

CONCLUSION:

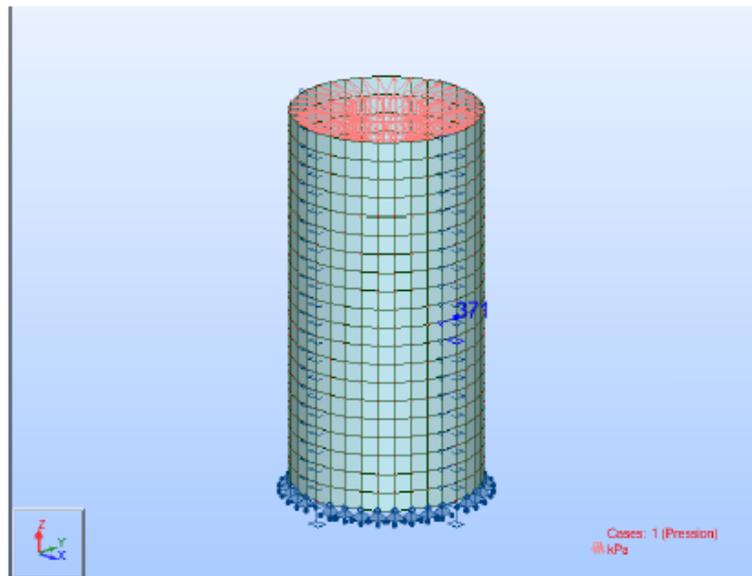
Very good agreement of results.

VERIFICATION EXAMPLE

Thin-walled cylinder under uniform radial pressure - SSSL06

Name of the test: SSSL06
Reference: AFNOR
Specification: Shell - Cylinder - Material: elastic - Pressure

GEOMETRY:



DATA FILE: SSSL06.rtd

COMPARISON:

Node	Compared result	RSA 2021	AFNOR	Difference %
371	Displacement UX (mm)	2.371 e-3	2.380 e-3	0.378
371	Circumfer. stress [kPa]	498.1	500.0	0.380
741	Displacement UZ (mm)	- 2.964 e-3	- 2.860 e-3	1.036

CONCLUSION:

Good agreement of results.