

IMPIANTO AGRIVOLTAICO E OPERE DI CONNESSIONE

LA VALENTA

POTENZA IMPIANTO 22,66 MWp - COMUNE DI PREDOSA (AL)

Proponente

SKI 26 S.R.L.

VIA CARADOSSO 9 - 20123 MILANO - P.IVA: 11412940964 – PEC: ski26@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

Collaboratori

Ing. Lorenzo Stocchino

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

Tel.: +39 0532 202613 – email: l.stocchino@incico.com

Coordinamento progettuale

Envidev Consulting s.r.l.

CORSO VITTORIO EMANUELE II 287 – 00186 – ROMA (RM) – P.IVA:01653460558 – PEC: envidev_csrl@pec.it

Tel.: +39 3666 376 932 – email: francesco@envidevconsulting.com

Titolo Elaborato

Relazione tecnica strutture

LIVELLO PROGETTAZIONE	CODICE ELABORATO	FILE NAME	DATA
DEFINITIVO	PD_REL08	23ENV04_PD-REL08.00 - Relazione tecnica strutture.docx	31/07/2023

Revisioni

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
0	31/07/23	EMISSIONE PER PERMITTING	LAR	MLA	ARU



COMUNE DI PREDOSA (AL)

REGIONE PIEMONTE



Relazione tecnica strutture

INDICE

1. OPERE IN ACCIAIO	1
PREMESSA.....	1
INTRODUZIONE	2
NORMATIVE E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
MATERIALI.....	5
CARICHI ELEMENTARI	7
Peso proprio strutture (G1)	7
Carichi permanenti non strutturali (G2)	7
Carichi da vento (Wx/Wy)	8
Carico da Neve (N)	10
Azione Sismica (E)	10
COMBINAZIONI DI CARICO	11
PROGRAMMA DI CALCOLO	12
MODELLO DI CALCOLO.....	14
CARICHI APPLICATI E COMBINAZIONI DI CARICO	17
REAZIONI AL PIEDE DELLA STRUTTURA	18
VERIFICHE ALLO SLU DEI PROFILI PIÙ SOLLECITATI.....	20
2. OPERE DI FONDAZIONE IN CA	21
PREMESSA.....	21
INTRODUZIONE	21
NORMATIVE E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	23
MATERIALI.....	24
CARICHI ELEMENTARI	25
CARICHI CABINATI.....	25
COMBINAZIONI DI CARICO	32
PROGRAMMA DI CALCOLO	33
MODELLO DI CALCOLO.....	35
CARICHI APPLICATI E COMBINAZIONI DI CARICO	44
DATI DI OUTPUT	47
VERIFICHE DI STABILITA' - SCORRIMENTO.....	55
VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO SLE.....	60
VERIFICA A CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE	65
3. CONCLUSIONI	66

1. OPERE IN ACCIAIO

PREMESSA

Scopo del presente documento è quello di illustrare i criteri progettuali e le principali caratteristiche tecniche relative alla costruzione di un impianto fotovoltaico associato alla proponente Società SKI 26 S.r.l. con sede in Via Caradosso 9 - Milano (MI).

Tutte le parti di impianto oggetto della presente valutazione saranno realizzate nel territorio del comune di Predosa (AL) con moduli installati su strutture 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

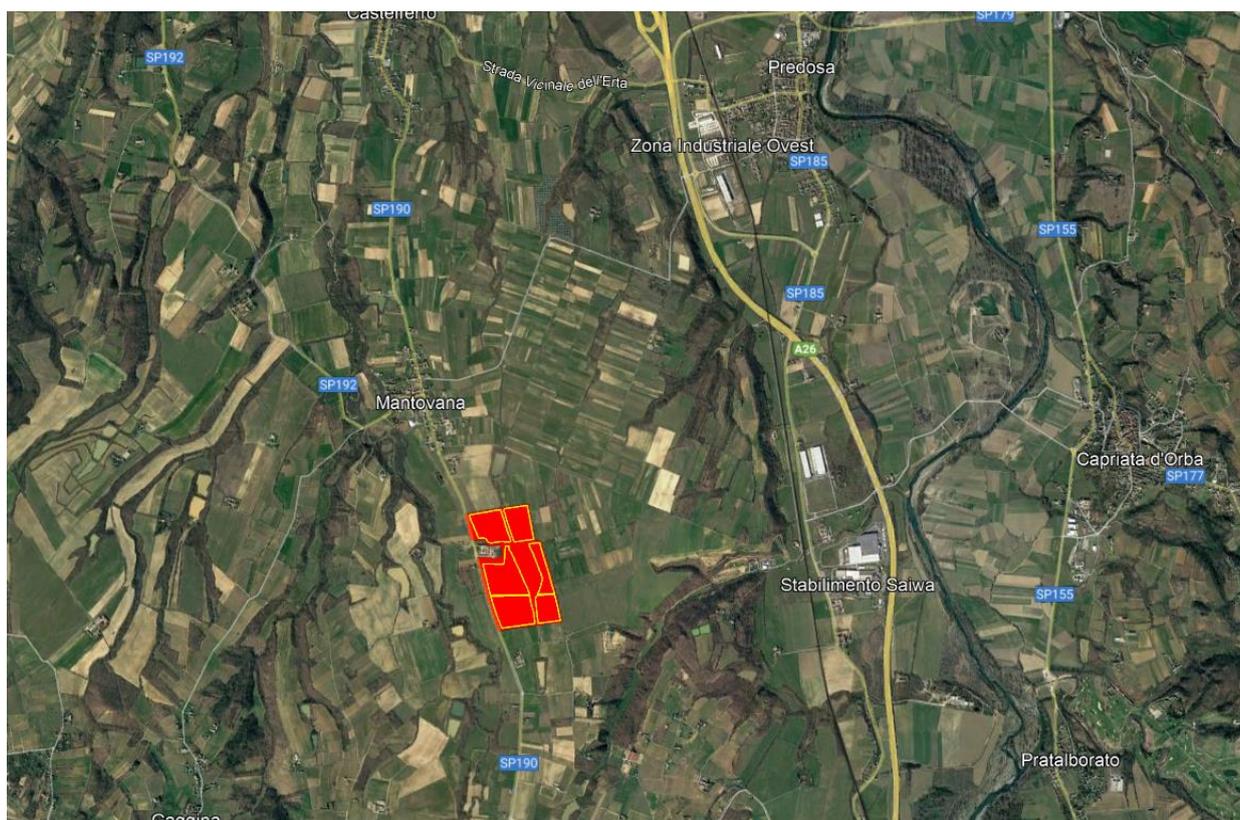


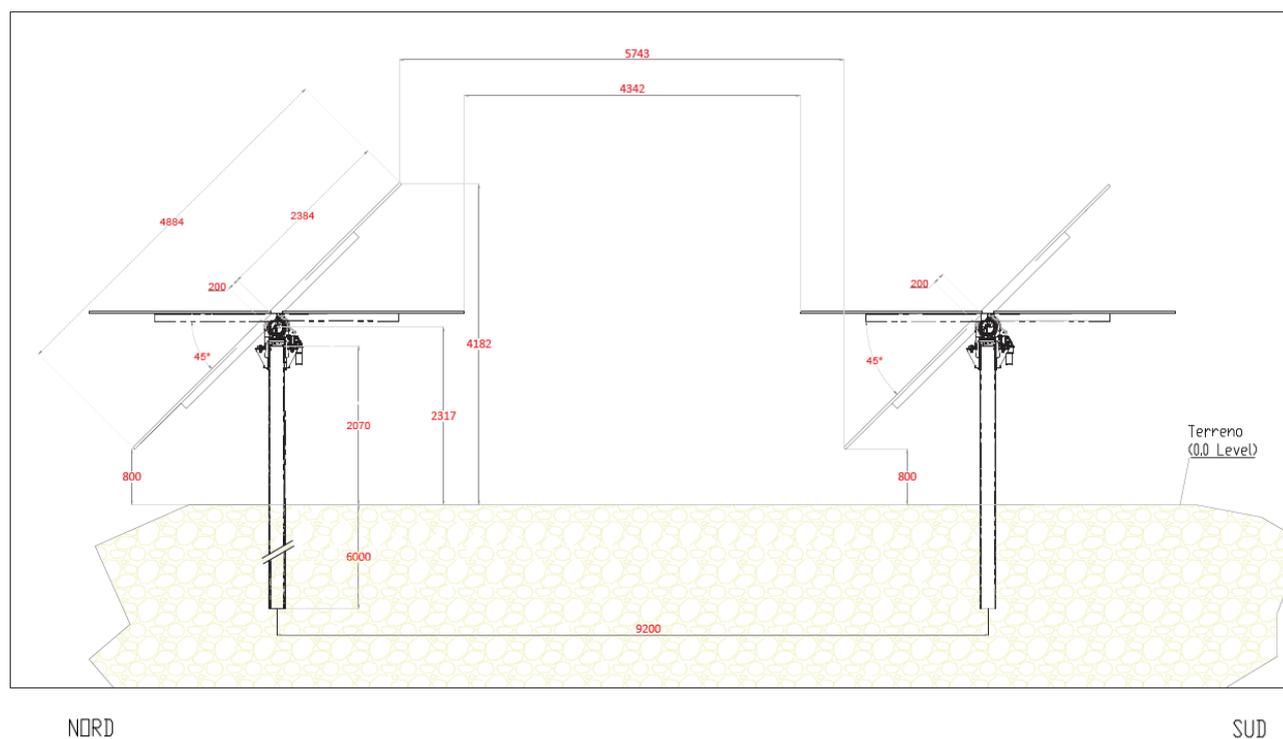
FIG. 1 – Vista satellitare dell'impianto

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 hanno una lunghezza totale di metri 8.5m sono infissi nel terreno per metri 6.0 partendo dalla quota campagna.

La fondazione è realizzata mediante palo battuto in acciaio con sezione $\varnothing 273 \times 6.3$ mm in acciaio di qualità S275 JR e lunghezza 6.0m.



2

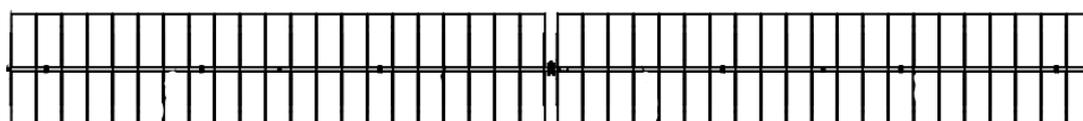


Figura 1 Immagine rappresentativa

L'analisi statica della fondazione in oggetto è stata eseguita utilizzando un programma di calcolo agli elementi finiti (Robot Structural Analysis Professional 2022 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 (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.

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

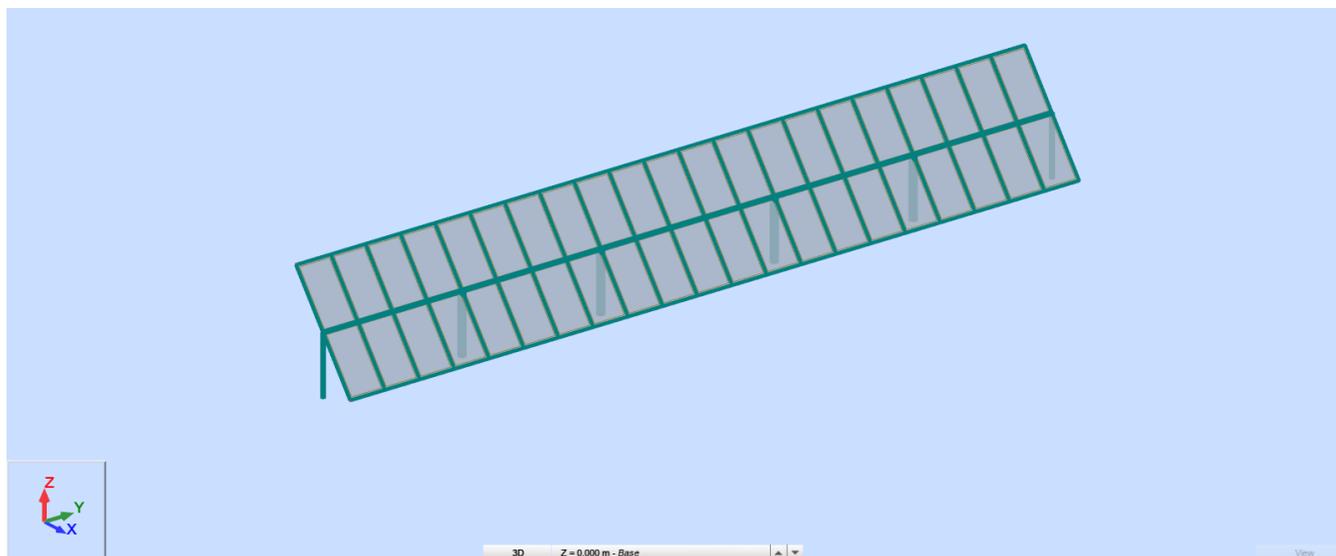


FIG. 2 –Struttura a sostegno dei tracker – 3D modello di calcolo

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”

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 poliuretanica.

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 EU 54	UNI EN 10279
Angolari		UNI EN 10056-1	UNI EN 10056-2
Sezioni a T		UNI EN 10055	UNI EN 10055
Piatti 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, JD, 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);
 S355J0W, 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.

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

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

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

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

$E = 210000 \text{ MPa}$ modulo elastico longitudinale

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

$\alpha = 12E-6 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ coefficiente di espansione termica lineare (fino a 100°C)

$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ 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.

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

Solar Cells	Monocrystalline
No. of cells	132 cells
Module Dimensions	2384×1303×35 mm (93.86×51.30×1.38 inches)
Weight	38.7 kg (85.3 lb)
Front Glass	2.0 mm (0.08 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant material	POE/EVA
Back Glass	2.0 mm (0.08 inches), Heat Strengthened Glass (White Grid Glass)
Frame	35mm(1.38 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² (0.006 inches ²), Portrait: 280/280 mm(11.02/11.02 inches) Length can be customized
Connector	MC4 EVO2 / Trina Solar TS4

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: Predosa (AL);
 Regione: Piemonte
 Zona: 1 (vb,0 = 25 m/s, a0 = 1000 m, ks=0.40).

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

Ove:

$C_a = 1$ 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: $a_s = 19 \text{ m s.l.m.} < a_0 = 5000 \text{ m}$

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

Velocità di riferimento $v_r = v_b \cdot C_r = 25.0 \text{ m/s}$ ($T_r = 50 \text{ anni} \Rightarrow C_r = 1$)

Pressione cinetica di riferimento $q_r = 0.5 \cdot v_r^2 \cdot 1.25 = 391 \text{ N/m}^2$

Coefficiente di esposizione:

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

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

8

$c_t = 1$ coefficiente di topografia

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

$c_e = 1.8$ (per $z_{\text{colmo}} = 4.0 \text{ m}$) $q = q_b \cdot c_e = 391 \cdot 1.8 = 704 \text{ N/m}^2 = 0.71 \text{ kN/m}^2$

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

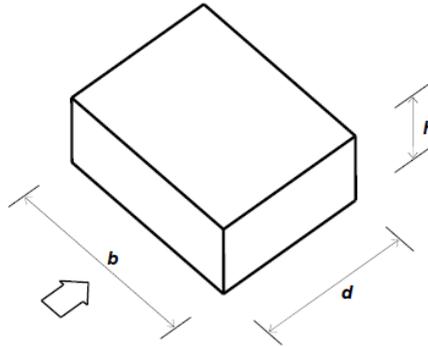


Figura G.1 – Parametri caratteristici di edifici a pianta rettangolare.

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

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

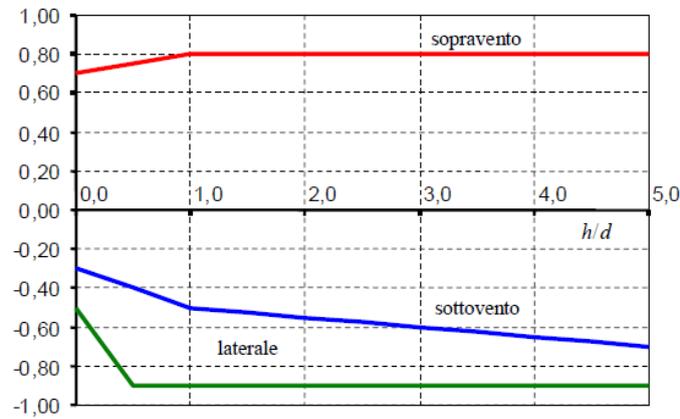


Figura G.2 – Edifici a pianta rettangolare: c_{pe} per facce sopravento, sottovento e laterali.

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

$$P=1.0 \text{ kN/m}^2$$

Carico da Neve (N)

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

$$q_s = \mu_1 \cdot q_{sk} \cdot CE \cdot Ct$$

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

Zona di carico della neve II

$$q_{sk} = 1.0 \text{ kN/m}^2$$

Coefficiente di esposizione $CE = 1.0$

Coefficiente termico $Ct = 0.9$

Coefficiente di forma $\mu_1 = 0 (\alpha=60^\circ)$

$$q_s = 0 \text{ kN/m}^2$$

Azione Sismica (E)

Il comune di Predosa (MN) è classificato a rischio sismico dalla Normativa italiana vigente con zona a sismicità 4.

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. 10

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 stato limite di danno (SLD)

T_R = 9.50 · V_R 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 "4", si attesta che le azioni sismiche sono minoranti rispetto alle altre azioni gravanti sulla struttura metallica.

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):
 $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$ [2.5.1]
- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:
 $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$ [2.5.2]
- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:
 $G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{33} \cdot Q_{k3} + \dots$ [2.5.3]
- Combinazione quasi permanente (SLF), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:
 $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$ [2.5.4]
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:
 $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$ [2.5.5]
- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:
 $G_1 + G_2 + P + A_k + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$ [2.5.6]

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

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

Nelle combinazioni si intende che vengano omissi i carichi Q_{kj} 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_f			
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli	γ_{G1}	1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(4)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli	γ_{G2}	1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qk}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli	γ_{Qk}	1,5	1,5	1,3

⁽⁴⁾ Nel caso in cui l'intensità 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

1.0 G1 + 1.0G2 ± 1.0W

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 2022 di

Titolo	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2022
Autore	Autodesk Inc.
Produttore	Autodesk Inc.
Fornitore	Autodesk Inc.
Versione	33.0.1.8274 (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.

12

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 2020: per coordinate e spostamenti nodali e per i carichi applicati.

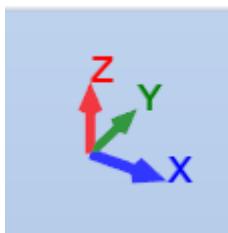


FIG. 3 – Sistema di riferimento globale modello 3d

Sistema di riferimento locale Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020: per le azioni interne.

Unità di misura utilizzate : kN, kNm

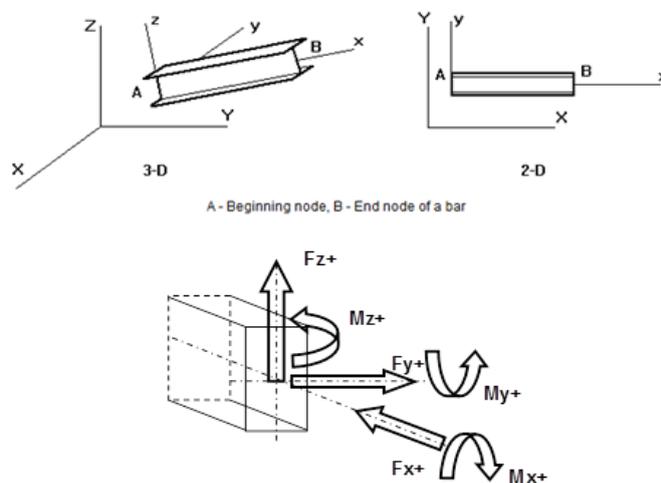


FIG. 4 – Sistema di riferimento locale elementi finiti monodimensionali (barre)

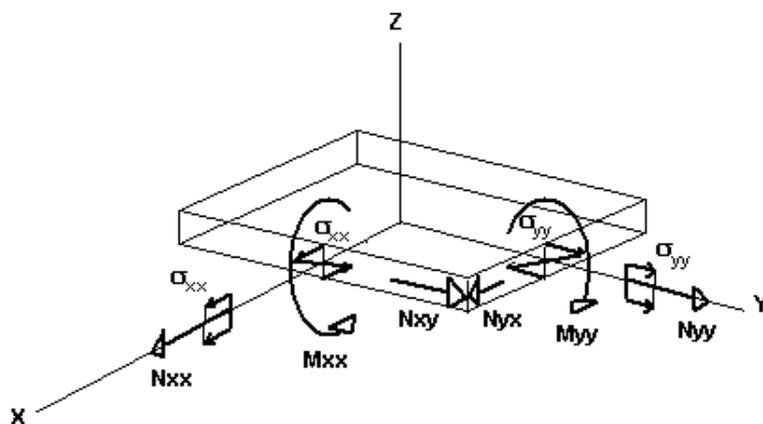


FIG. 5 – Sistema di riferimento locale elementi finiti bidimensionali

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 +3.40m su cui andranno installati dei moduli di pannelli fotovoltaici con le seguenti caratteristiche

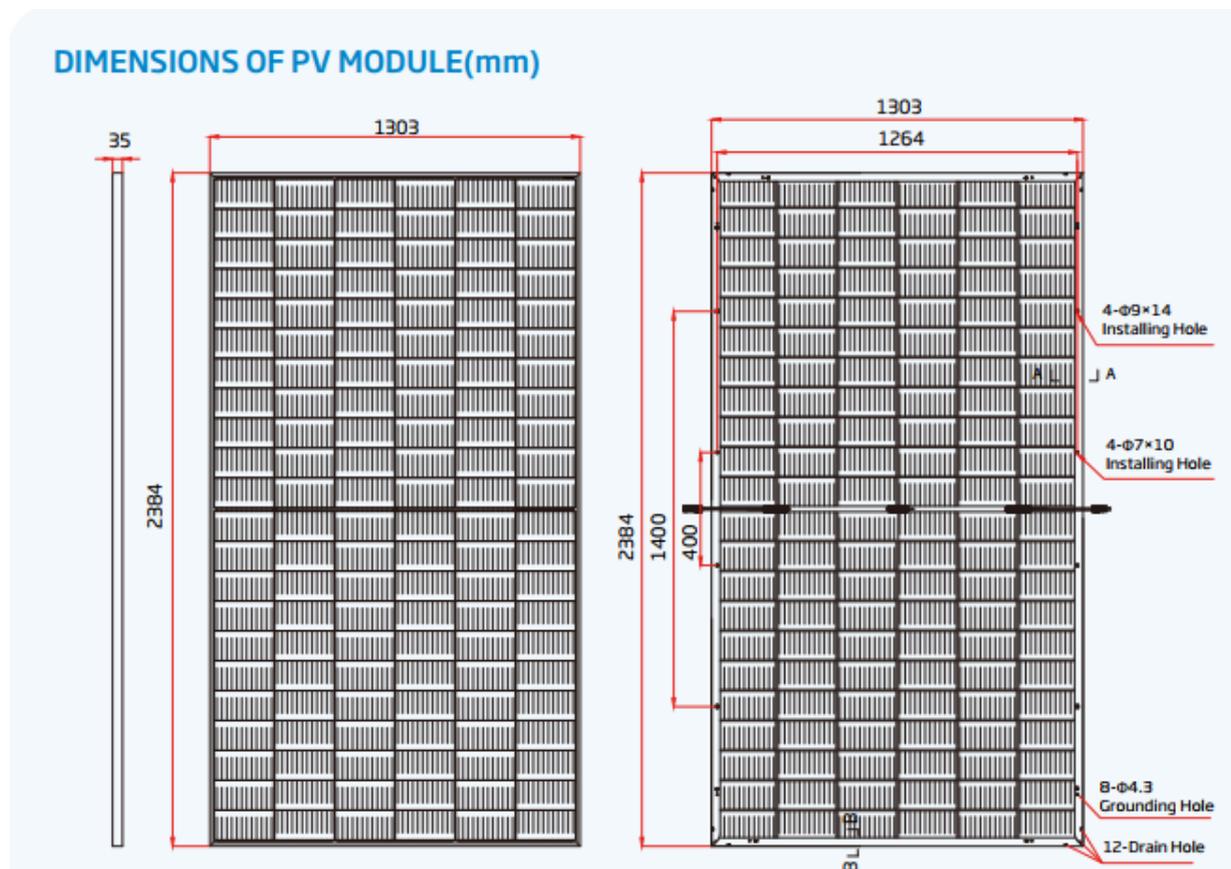


FIG. 6 – Datasheet Moduli PV

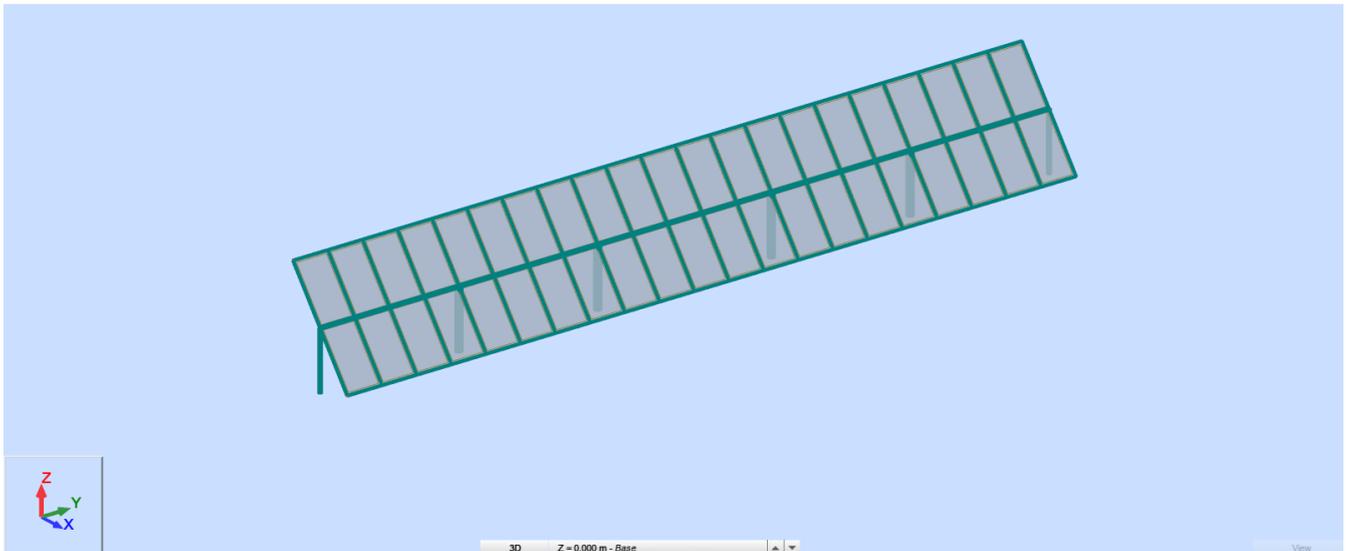


FIG. 7 – Vista 3D del modello di calcolo

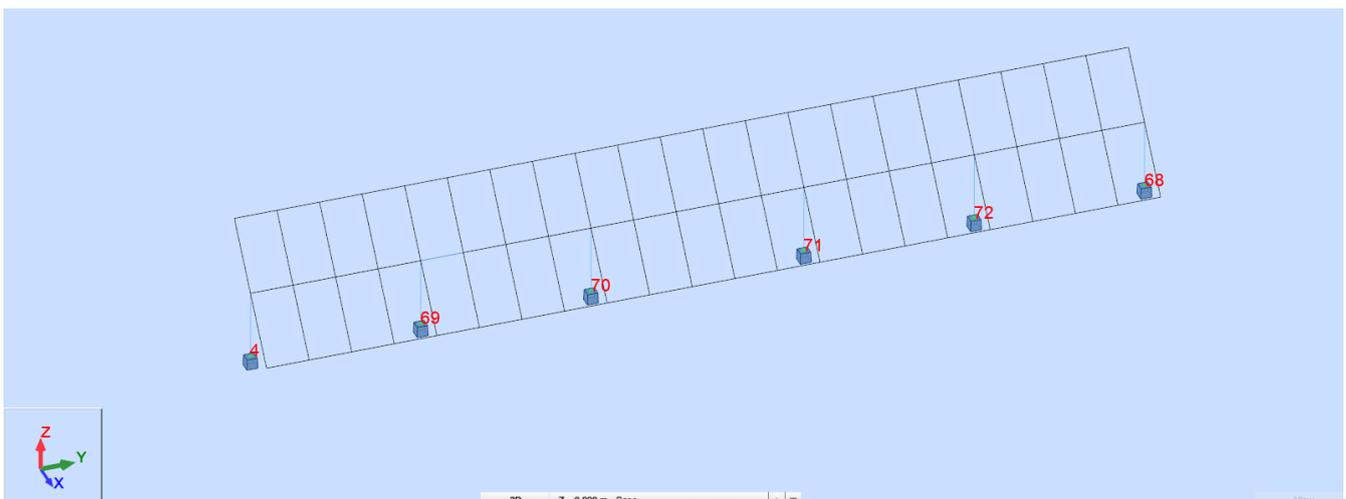


FIG. 8 – Nodi con vincoli alla base

Nodi

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

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)	Vincoli
1	1,460	0,0	0,428	
2	-1,460	0,0	4,206	
3	0,0	0,0	2,317	
4	0,0	0,0	0,0	Fixed
5	-1,460	1,400	4,206	
6	0,0	1,400	2,317	
7	1,460	1,400	0,428	

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)	Vincoli
8	-1,460	2,800	4,206	
9	0,0	2,800	2,317	
10	1,460	2,800	0,428	
11	-1,460	4,200	4,206	
12	0,0	4,200	2,317	
13	1,460	4,200	0,428	
14	-1,460	5,600	4,206	
15	0,0	5,600	2,317	
16	1,460	5,600	0,428	
17	-1,460	7,000	4,206	
18	0,0	7,000	2,317	
19	1,460	7,000	0,428	
20	-1,460	8,400	4,206	
21	0,0	8,400	2,317	
22	1,460	8,400	0,428	
23	-1,460	9,800	4,206	
24	0,0	9,800	2,317	
25	1,460	9,800	0,428	
26	-1,460	11,200	4,206	
27	0,0	11,200	2,317	
28	1,460	11,200	0,428	
29	-1,460	12,600	4,206	
30	0,0	12,600	2,317	
31	1,460	12,600	0,428	
32	-1,460	14,000	4,206	
33	0,0	14,000	2,317	
34	1,460	14,000	0,428	
35	-1,460	15,400	4,206	
36	0,0	15,400	2,317	
37	1,460	15,400	0,428	
38	-1,460	16,800	4,206	
39	0,0	16,800	2,317	
40	1,460	16,800	0,428	
41	-1,460	18,200	4,206	
42	0,0	18,200	2,317	
43	1,460	18,200	0,428	
44	-1,460	19,600	4,206	
45	0,0	19,600	2,317	
46	1,460	19,600	0,428	
47	-1,460	21,000	4,206	
48	0,0	21,000	2,317	
49	1,460	21,000	0,428	
50	-1,460	22,400	4,206	

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)	Vincoli
51	0,0	22,400	2,317	
52	1,460	22,400	0,428	
53	-1,460	23,800	4,206	
54	0,0	23,800	2,317	
55	1,460	23,800	0,428	
56	-1,460	25,200	4,206	
57	0,0	25,200	2,317	
58	1,460	25,200	0,428	
59	-1,460	26,600	4,206	
60	0,0	26,600	2,317	
61	1,460	26,600	0,428	
62	-1,460	28,000	4,206	
63	0,0	28,000	2,317	
64	1,460	28,000	0,428	
65	-1,460	29,400	4,206	
66	0,0	29,400	2,317	
67	1,460	29,400	0,428	
68	0,0	29,400	0,0	Fixed
69	0,0	5,600	0,0	Fixed
70	0,0	11,200	0,0	Fixed
71	0,0	18,200	0,0	Fixed
72	0,0	23,800	0,0	Fixed

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	self-weight	1to94 96to114 172 174to214	' PZ Negative Factor=1,00
2	(FE) uniform	172 174to214	' PZ=-0,130(kN/m ²)
3	(FE) uniform	172 174to214	' PZ=1,000(kN/m ²) local
4	uniform load	2to45	' PY=0,180(kN/m)

REAZIONI AL PIEDE DELLA STRUTTURA

Si riporta di seguito l'elenco per le condizioni semplici delle reazioni in fondazione (sotto forma di azioni al piede).

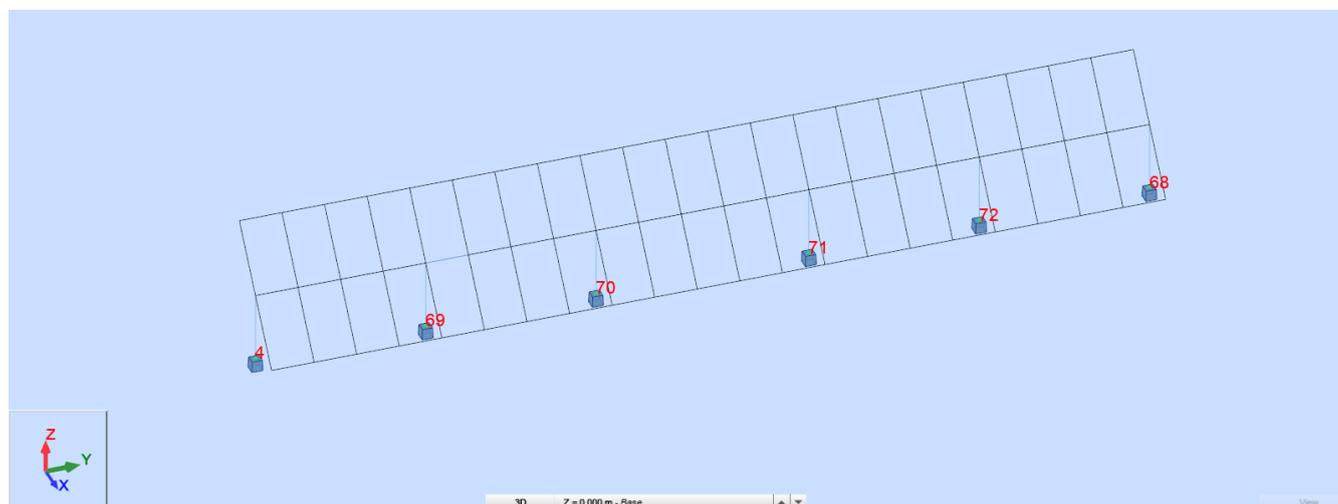


FIG. 9 – Numerazione dei nodi con vincolo alla base della struttura

Azioni alla base Strut.– Sistema globale in formato DDC – Cond.: 1a4

Valori

Nodo/Condiz./Modo	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
4/ 1	-0,011	0,205	1,211	-0,155	-0,021	-0,041
4/ 2	-0,027	0,484	1,612	-0,366	-0,052	-0,099
4/ 3	-8,310	-3,539	-8,173	2,673	-18,178	2,050
4/ 4	0,014	-1,284	-0,438	1,796	0,028	-0,043
68/ 1	-0,011	-0,205	1,211	0,155	-0,021	0,041
68/ 2	-0,027	-0,484	1,612	0,366	-0,052	0,099
68/ 3	-8,310	3,539	-8,173	-2,673	-18,178	-2,050
68/ 4	-0,014	-1,284	0,438	1,796	-0,028	-0,043
69/ 1	0,008	-0,058	2,369	0,054	0,015	0,022
69/ 2	0,019	-0,136	3,582	0,128	0,034	0,051
69/ 3	-23,312	1,181	-16,216	-1,073	-55,027	-2,204
69/ 4	0,018	-4,111	-0,086	6,736	0,045	-0,166

Nodo/Condiz./Modo	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
70/ 1	0,003	0,136	2,505	-0,100	0,006	-0,045
70/ 2	0,008	0,342	3,931	-0,251	0,018	-0,113
70/ 3	-23,915	-2,672	-18,535	1,971	-55,474	2,970
70/ 4	0,009	-4,059	0,155	6,691	0,020	-0,192
71/ 1	0,003	-0,136	2,505	0,100	0,006	0,045
71/ 2	0,008	-0,342	3,931	0,251	0,018	0,113
71/ 3	-23,915	2,672	-18,535	-1,971	-55,474	-2,970
71/ 4	-0,009	-4,059	-0,155	6,691	-0,020	-0,192
72/ 1	0,008	0,058	2,369	-0,054	0,015	-0,022
72/ 2	0,019	0,136	3,582	-0,128	0,034	-0,051
72/ 4	-23,312	-1,181	-16,216	1,073	-55,027	2,204
72/ 5	-0,018	-4,111	0,086	6,736	-0,045	-0,166

VERIFICHE ALLO SLU DEI PROFILI PIÙ 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

Barra	Profilato	Materiale	Lay	Laz	Resist.	Condizione
1 Colonna_1	TRON 168x6.3	S 275	40.42	40.42	0.63	8 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
46 Colonna_46	TRON 168x6.3	S 275	40.42	40.42	0.63	8 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
89 Colonna_89	TRON 273x6.3	S 275	24.57	24.57	0.70	9 1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Wx
90 Colonna_90	TRON 273x6.3	S 275	24.57	24.57	0.71	9 1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Wx
91 Colonna_91	TRON 273x6.3	S 275	24.57	24.57	0.71	9 1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Wx
92 Colonna_92	TRON 273x6.3	S 275	24.57	24.57	0.70	9 1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Wx

2. OPERE DI FONDAZIONE IN CA

PREMESSA

La presente relazione definisce i criteri di calcolo necessari alla progettazione della struttura di fondazione della locali SW Station e Cabina di Trasformazione

Nella figura seguente si riporta il layout:



Fig. 10 - Layout d'impianto

INTRODUZIONE

La fondazione in esame è costituita da platee di fondazioni di dimensioni pari a 17,5mx5.0m di spessore pari a 30cm per la SW Station e la Cabina di Trasformazione poggia su una platea di fondazione di dimensioni pari a 13.0x3.5m con uno spessore pari a 30cm.

L'analisi statica della fondazione in oggetto è stata eseguita utilizzando un programma di calcolo agli elementi finiti (Robot Structural Analysis Professional 2022 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 (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.

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”

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

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	G1	Permanenti
2	G2	G2	Perm.Non-str.
3	Q	Q	Categoria E
4	N	N	Neve H<1000
5	Vx+	Vx+	Vento
6	Vx-	Vx-	Vento
7	Vy+	Vy+	Vento
8	Vy-	Vy-	Vento
9	T	T	Termiche
10	Modale	Modale	
11	SLD X	SLD X	Sismiche
12	SLV X	SLV X	Sismiche
13	SLD Y	SLD Y	Sismiche
14	SLV Y	SLV Y	Sismiche

25

CARICHI CABINATI

Peso Proprio Struttura (G1)

Per ciò che riguarda la SW station, questa sarà realizzata in cemento armato vibrato, il cui peso è stato stimato come di seguito:

$$Peso_{SW\ Station} = [(16.45m \cdot 0.2m \cdot 2.8m) + (3.1m \cdot 0.2m \cdot 2.8m)] * 2 * 25 \frac{kN}{m^3} = 548\ kN \approx 55ton$$

Il peso proprio della struttura della Cabina di Trasformazione è stato valutato nell'ordine di 20ton.

Carichi permanenti non strutturali (G2)

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

- Pannelli $g_p = 0.20\ kN/m^2$

Carichi variabili di esercizio su copertura (Q)

Sulla copertura dell'edificio si considera un carico variabile di esercizio relativo alla cat.H (copertura accessibile per sola manutenzione e riparazione):

- Carico variabile in esercizio cat. H: $Q = 0.50 \text{ kN/m}^2$

Carico della 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 I

$$q_{sk} = 1.0 \text{ kN/m}^2$$

Coefficiente di esposizione $C_E = 1.0$

Coefficiente di forma $\mu_1 = 0.8 \text{ } (\alpha=0^\circ)$

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

Carico del vento (Vx/Vy)

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:

26

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

Comune: Predosa (AL);

Regione: Lombardia

Zona: 1 ($v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$, $a_0 = 1000 \text{ m}$, $k_s=0.40$).

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

Ove:

$C_a = 1$ 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: $a_s = 19 \text{ m s.l.m.} < a_0 = 5000 \text{ m}$

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

Velocità di riferimento $v_r = v_b \cdot C_r = 25.0 \text{ m/s}$ ($Tr=50 \text{ anni} \Rightarrow Cr=1$)

Pressione cinetica di riferimento $q_r = 0.5 \cdot v_r^2 \cdot 1.25 = 391 \text{ N/m}^2$

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 al colmo $C_{e,min}$ 1.800 $Z \leq 4m$

$c_e = 1.8$ (per $z_{colmo} = 4.0 m$)

$q = q_b \cdot c_e = 391 \cdot 1.8 = 704 N/m^2 = 0.71 kN/m^2$

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

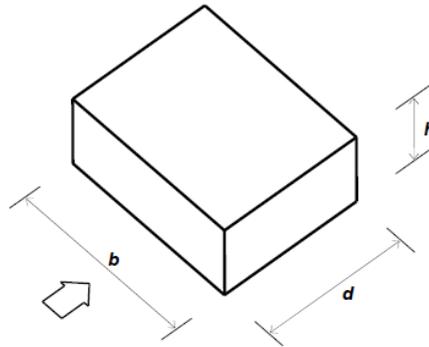


Figura G.1 – Parametri caratteristici di edifici a pianta rettangolare.

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

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

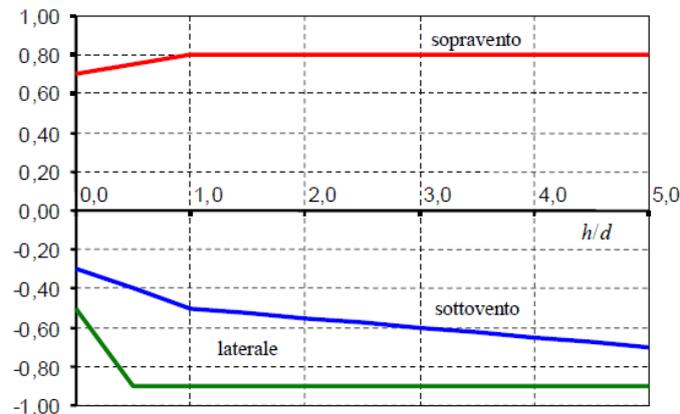


Figura G.2 – Edifici a pianta rettangolare: c_{pe} per facce sopravvento, sottovento e laterali.

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:

$$\Delta T = \pm 15^\circ$$

Carichi Sismici

Il Comune di Predosa (AL) è classificato 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:

$T_R = V_R$ stato limite di danno (SLD)

$T_R = 9.50 \cdot V_R$ 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:

$V_N = 50$ anni

$C_U = 1$, corrispondente alla classe d’uso II definita dalla Norma

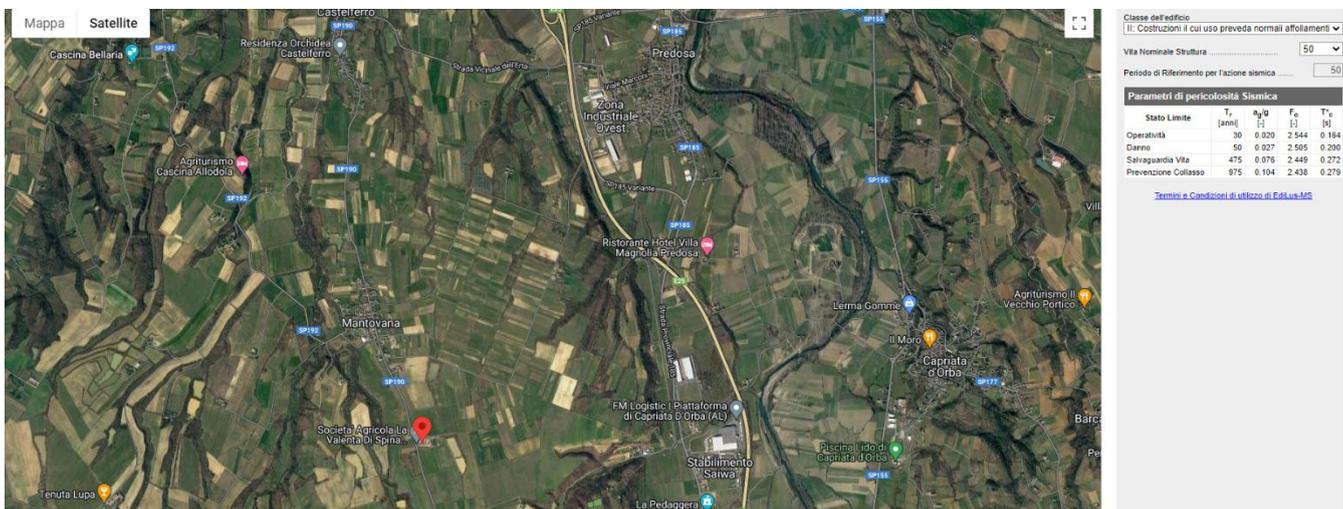
La V_R risulta di conseguenza pari a 50 anni ed i periodi di riferimento del sisma diventano:

$T_R = 30$ 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 Predosa (AL), i valori di riferimento per il calcolo dell’azione sismica sono riportati nelle tabelle sottostanti.

Parametri di pericolosità Sismica				
	T_r	a_g	F_0	T^*_c
"Stato Limite"	[anni]	[g]	[-]	[s]
Operatività	30	0,02	2,544	0,164
Danno	50	0,027	2,505	0,2
Salvaguardia Vita	475	0,079	2,449	0,272

Prevenzione Collasso	975	0,104	2,438	0,279
----------------------	-----	-------	-------	-------

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;

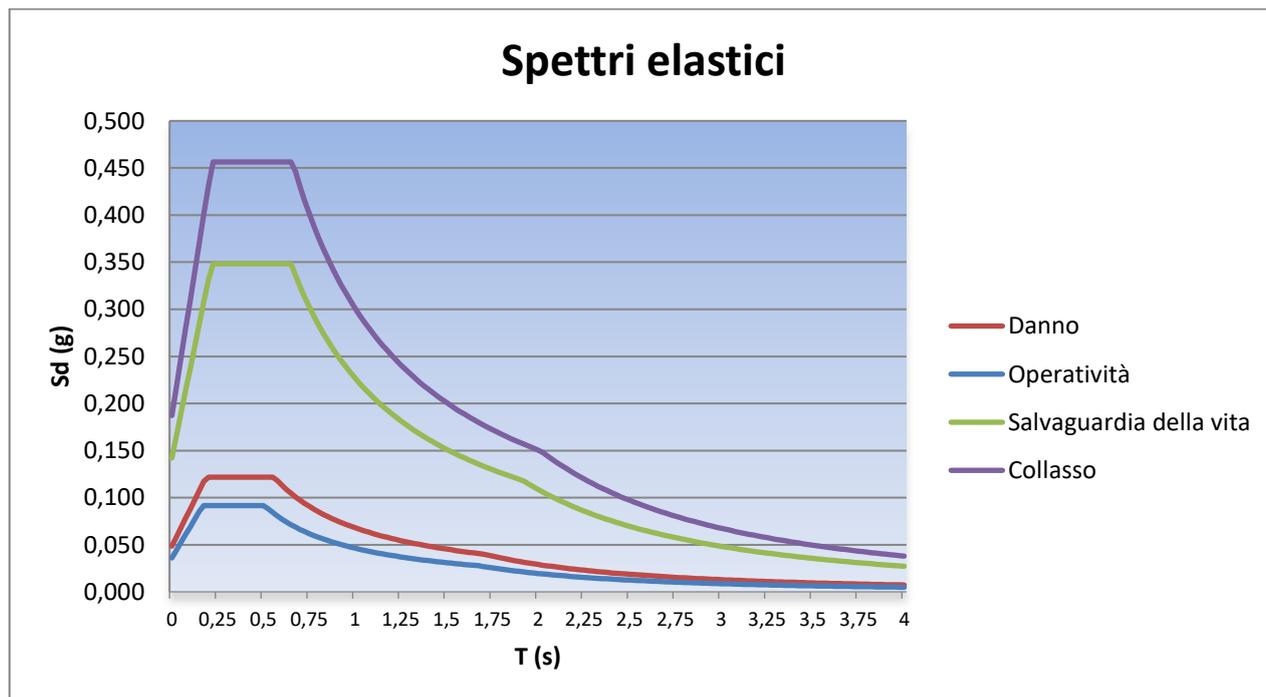
ST : Coefficiente di amplificazione topografica;

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

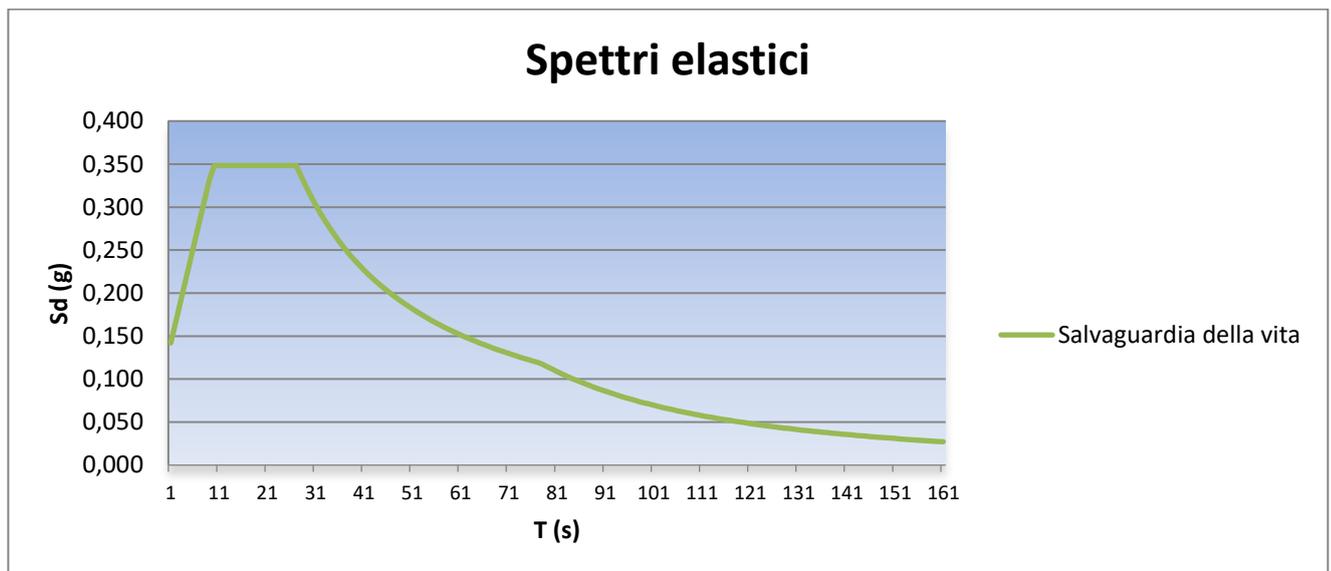


Considerando la tabella seguente per la classificazione stratigrafica e topografica del sito

Categoria di profilo stratigrafico	D
Categoria Topografica:	T1

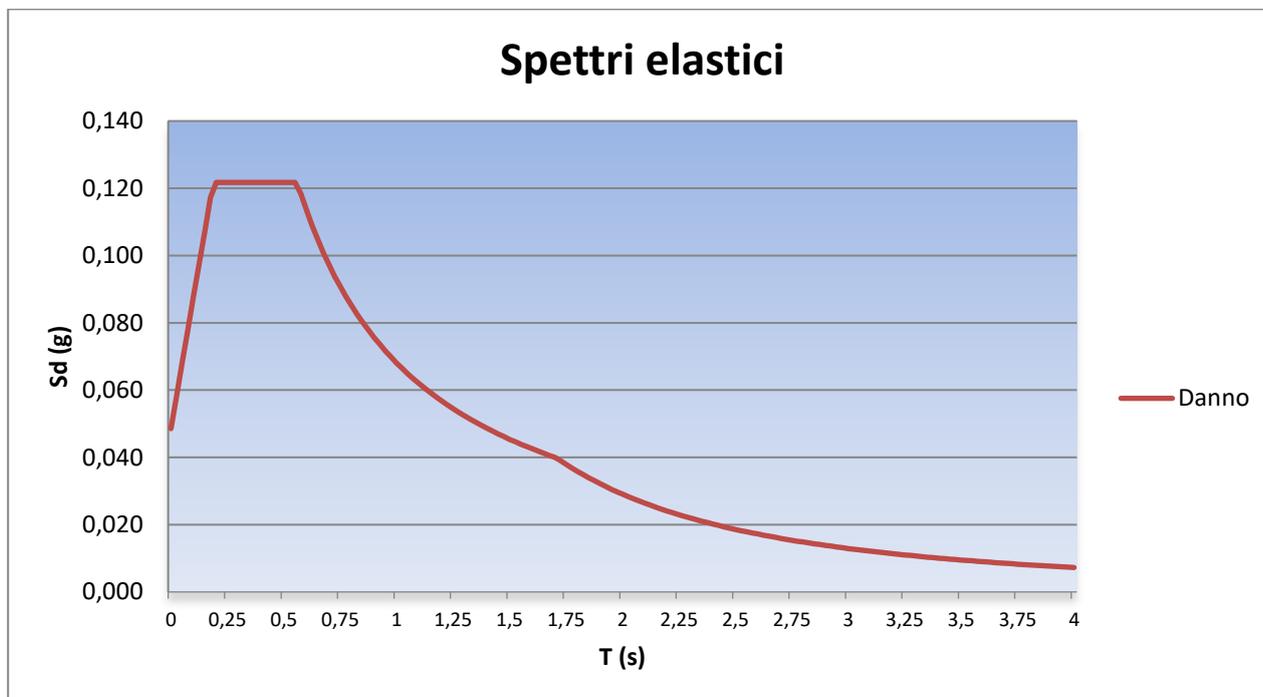
Stato limite di Salvaguardia della vita (SLV)

ORIZZONTALE					
Ss	Cc	S	TB	TC	TD
1,80	2,26	1,80	0,231	0,693	1,956



Stato limite di Danno (SLD)

ORIZZONTALE					
Ss	Cc	S	TB	TC	TD
1,80	2,45	1,80	0,212	0,637	1,756



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.

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

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

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	$\tan \phi'_k$	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

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 2022 di

Titolo	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2022
Autore	Autodesk Inc.
Produttore	Autodesk Inc.
Fornitore	Autodesk Inc.
Versione	33.0.1.8274 (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 2020: per coordinate e spostamenti nodali e per i carichi applicati.

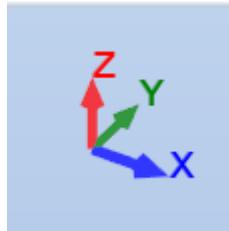


FIG. 11 – Sistema di riferimento globale modello 3d

Sistema di riferimento locale Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020: per le azioni interne.

Unità di misura utilizzate : kN, kNm

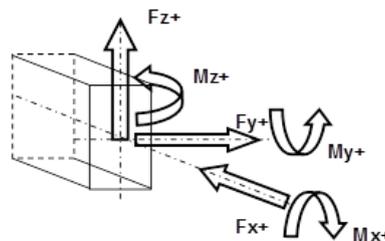
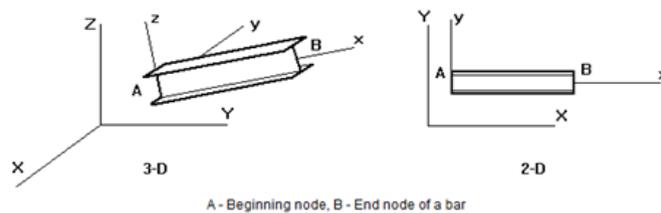


FIG. 12 – Sistema di riferimento locale elementi finiti monodimensionali (barre)

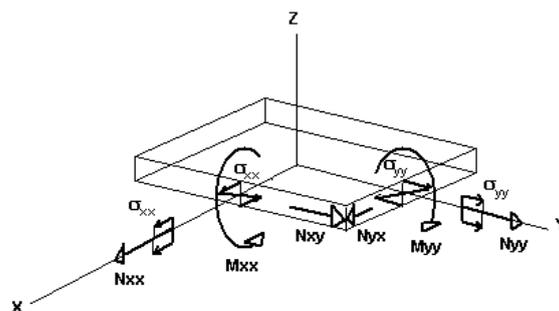


FIG. 13 – Sistema di riferimento locale elementi finiti bidimensionali

MODELLO DI CALCOLO

FONDAZIONE SW STATION

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 16000 kN/m³ e orizzontale pari a 8000 kN/m³.

La discretizzazione degli elementi bidimensionali è stata realizzata con una "mesh" regolare con dimensione massima dell'elemento finito pari a 40cm.

Gli elementi utilizzati hanno le seguenti caratteristiche geometriche:

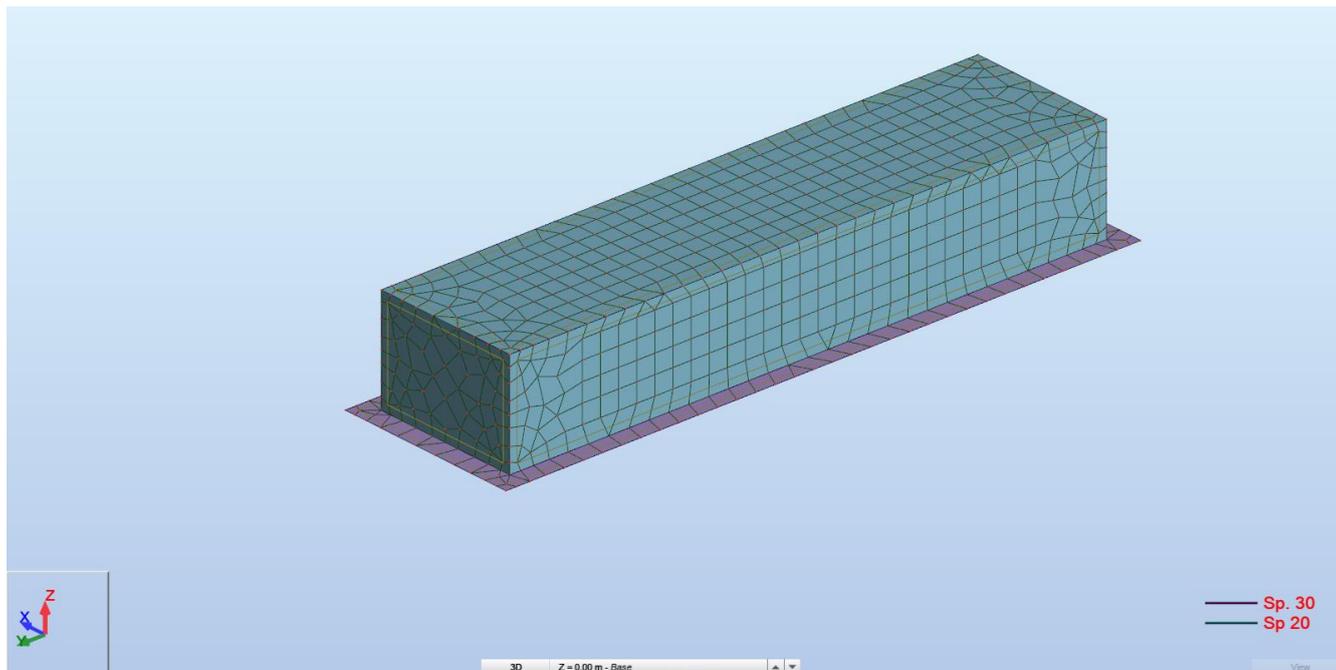


FIG. 14 – Planimetria modello di calcolo

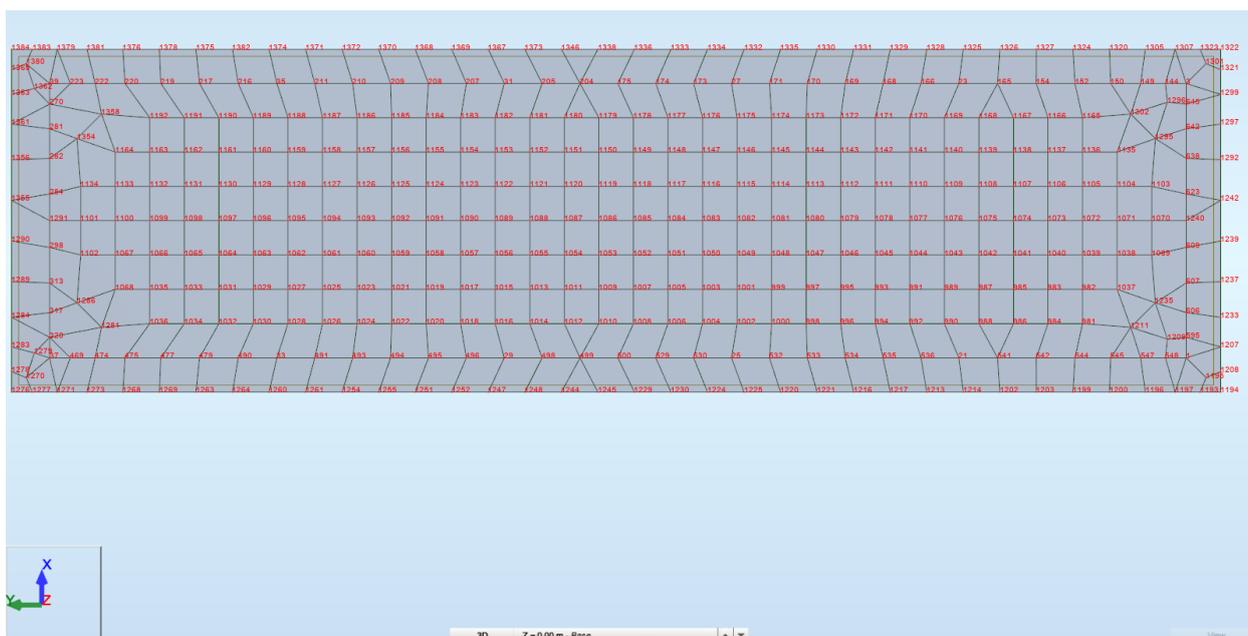
Elementi tipo shell

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.

COORDINATE E NUMERAZIONE NODI – FONDAZIONE

Fig. 15 – Nodi SW Station

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)	Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)	Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	0,0	0,0	0,0	1034	0,50	14,50	0,0	1169	3,50	3,50	0,0
3	4,00	0,0	0,0	1035	1,00	15,00	0,0	1170	3,50	4,00	0,0
21	0,0	3,29	0,0	1036	0,50	15,00	0,0	1171	3,50	4,50	0,0
23	4,00	3,29	0,0	1037	1,00	1,00	0,0	1172	3,50	5,00	0,0
25	0,0	6,58	0,0	1038	1,50	1,00	0,0	1173	3,50	5,50	0,0
27	4,00	6,58	0,0	1039	1,50	1,50	0,0	1174	3,50	6,00	0,0
29	0,0	9,87	0,0	1040	1,50	2,00	0,0	1175	3,50	6,50	0,0
31	4,00	9,87	0,0	1041	1,50	2,50	0,0	1176	3,50	7,00	0,0
33	0,0	13,16	0,0	1042	1,50	3,00	0,0	1177	3,50	7,50	0,0
35	4,00	13,16	0,0	1043	1,50	3,50	0,0	1178	3,50	8,00	0,0
37	0,0	16,45	0,0	1044	1,50	4,00	0,0	1179	3,50	8,50	0,0
39	4,00	16,45	0,0	1045	1,50	4,50	0,0	1180	3,50	9,00	0,0
144	4,00	0,30	0,0	1046	1,50	5,00	0,0	1181	3,50	9,50	0,0
149	4,00	0,66	0,0	1047	1,50	5,50	0,0	1182	3,50	10,00	0,0
150	4,00	1,09	0,0	1048	1,50	6,00	0,0	1183	3,50	10,50	0,0
152	4,00	1,61	0,0	1049	1,50	6,50	0,0	1184	3,50	11,00	0,0
154	4,00	2,17	0,0	1050	1,50	7,00	0,0	1185	3,50	11,50	0,0
165	4,00	2,73	0,0	1051	1,50	7,50	0,0	1186	3,50	12,00	0,0
166	4,00	3,84	0,0	1052	1,50	8,00	0,0	1187	3,50	12,50	0,0
168	4,00	4,39	0,0	1053	1,50	8,50	0,0	1188	3,50	13,00	0,0
169	4,00	4,94	0,0	1054	1,50	9,00	0,0	1189	3,50	13,50	0,0
170	4,00	5,48	0,0	1055	1,50	9,50	0,0	1190	3,50	14,00	0,0
171	4,00	6,03	0,0	1056	1,50	10,00	0,0	1191	3,50	14,50	0,0
173	4,00	7,13	0,0	1057	1,50	10,50	0,0	1192	3,50	15,00	0,0
174	4,00	7,68	0,0	1058	1,50	11,00	0,0	1193	-0,50	-0,20	0,0
175	4,00	8,22	0,0	1059	1,50	11,50	0,0	1194	-0,50	-0,50	0,0
204	4,00	8,77	0,0	1060	1,50	12,00	0,0	1195	-0,29	-0,29	0,0
205	4,00	9,32	0,0	1061	1,50	12,50	0,0	1196	-0,50	0,59	0,0
207	4,00	10,42	0,0	1062	1,50	13,00	0,0	1197	-0,50	0,16	0,0
208	4,00	10,97	0,0	1063	1,50	13,50	0,0	1199	-0,50	1,64	0,0
209	4,00	11,52	0,0	1064	1,50	14,00	0,0	1200	-0,50	1,11	0,0
210	4,00	12,06	0,0	1065	1,50	14,50	0,0	1202	-0,50	2,70	0,0
211	4,00	12,61	0,0	1066	1,50	15,00	0,0	1203	-0,50	2,17	0,0
216	4,00	13,72	0,0	1067	1,50	15,50	0,0	1207	0,16	-0,50	0,0

36

217	4,00	14,28	0,0	1068	1,00	15,50	0,0	1208	-0,20	-0,50	0,0
219	4,00	14,84	0,0	1069	1,50	0,50	0,0	1209	0,27	0,27	0,0
220	4,00	15,36	0,0	1070	2,00	0,50	0,0	1211	0,45	0,80	0,0
222	4,00	15,79	0,0	1071	2,00	1,00	0,0	1213	-0,50	3,75	0,0
223	4,00	16,15	0,0	1072	2,00	1,50	0,0	1214	-0,50	3,23	0,0
270	3,70	16,45	0,0	1073	2,00	2,00	0,0	1216	-0,50	4,81	0,0
281	3,34	16,45	0,0	1074	2,00	2,50	0,0	1217	-0,50	4,28	0,0
282	2,91	16,45	0,0	1075	2,00	3,00	0,0	1220	-0,50	5,87	0,0
284	2,39	16,45	0,0	1076	2,00	3,50	0,0	1221	-0,50	5,34	0,0
298	1,61	16,45	0,0	1077	2,00	4,00	0,0	1224	-0,50	6,93	0,0
313	1,09	16,45	0,0	1078	2,00	4,50	0,0	1225	-0,50	6,40	0,0
317	0,66	16,45	0,0	1079	2,00	5,00	0,0	1229	-0,50	7,99	0,0
320	0,30	16,45	0,0	1080	2,00	5,50	0,0	1230	-0,50	7,46	0,0
469	0,0	16,15	0,0	1081	2,00	6,00	0,0	1233	0,59	-0,50	0,0
474	0,0	15,79	0,0	1082	2,00	6,50	0,0	1235	0,80	0,45	0,0
475	0,0	15,36	0,0	1083	2,00	7,00	0,0	1237	1,11	-0,50	0,0
477	0,0	14,84	0,0	1084	2,00	7,50	0,0	1239	1,70	-0,50	0,0
479	0,0	14,28	0,0	1085	2,00	8,00	0,0	1240	2,00	0,0	0,0
490	0,0	13,72	0,0	1086	2,00	8,50	0,0	1242	2,30	-0,50	0,0
491	0,0	12,61	0,0	1087	2,00	9,00	0,0	1244	-0,50	9,04	0,0
493	0,0	12,06	0,0	1088	2,00	9,50	0,0	1245	-0,50	8,51	0,0
494	0,0	11,52	0,0	1089	2,00	10,00	0,0	1247	-0,50	10,10	0,0
495	0,0	10,97	0,0	1090	2,00	10,50	0,0	1248	-0,50	9,57	0,0
496	0,0	10,42	0,0	1091	2,00	11,00	0,0	1251	-0,50	11,16	0,0
498	0,0	9,32	0,0	1092	2,00	11,50	0,0	1252	-0,50	10,63	0,0
499	0,0	8,77	0,0	1093	2,00	12,00	0,0	1254	-0,50	12,22	0,0
500	0,0	8,22	0,0	1094	2,00	12,50	0,0	1255	-0,50	11,69	0,0
529	0,0	7,68	0,0	1095	2,00	13,00	0,0	1260	-0,50	13,27	0,0
530	0,0	7,13	0,0	1096	2,00	13,50	0,0	1261	-0,50	12,75	0,0
532	0,0	6,03	0,0	1097	2,00	14,00	0,0	1263	-0,50	14,33	0,0
533	0,0	5,48	0,0	1098	2,00	14,50	0,0	1264	-0,50	13,80	0,0
534	0,0	4,94	0,0	1099	2,00	15,00	0,0	1268	-0,50	15,39	0,0
535	0,0	4,39	0,0	1100	2,00	15,50	0,0	1269	-0,50	14,86	0,0
536	0,0	3,84	0,0	1101	2,00	16,00	0,0	1270	-0,29	16,79	0,0
541	0,0	2,73	0,0	1102	1,50	16,00	0,0	1271	-0,50	16,34	0,0
542	0,0	2,17	0,0	1103	2,50	0,50	0,0	1273	-0,50	15,91	0,0
544	0,0	1,61	0,0	1104	2,50	1,00	0,0	1276	-0,50	17,00	0,0
545	0,0	1,09	0,0	1105	2,50	1,50	0,0	1277	-0,50	16,70	0,0
547	0,0	0,66	0,0	1106	2,50	2,00	0,0	1278	-0,20	17,00	0,0
548	0,0	0,30	0,0	1107	2,50	2,50	0,0	1279	0,07	16,67	0,0
595	0,30	0,0	0,0	1108	2,50	3,00	0,0	1281	0,45	15,70	0,0
606	0,66	0,0	0,0	1109	2,50	3,50	0,0	1283	0,16	17,00	0,0
607	1,09	0,0	0,0	1110	2,50	4,00	0,0	1284	0,59	17,00	0,0
609	1,61	0,0	0,0	1111	2,50	4,50	0,0	1286	0,80	16,05	0,0
623	2,39	0,0	0,0	1112	2,50	5,00	0,0	1289	1,11	17,00	0,0
638	2,91	0,0	0,0	1113	2,50	5,50	0,0	1290	1,70	17,00	0,0
642	3,34	0,0	0,0	1114	2,50	6,00	0,0	1291	2,00	16,45	0,0
645	3,70	0,0	0,0	1115	2,50	6,50	0,0	1292	2,89	-0,50	0,0
981	0,50	1,50	0,0	1116	2,50	7,00	0,0	1295	3,20	0,45	0,0
982	1,00	1,50	0,0	1117	2,50	7,50	0,0	1296	3,73	0,27	0,0
983	1,00	2,00	0,0	1118	2,50	8,00	0,0	1297	3,41	-0,50	0,0
984	0,50	2,00	0,0	1119	2,50	8,50	0,0	1299	3,84	-0,50	0,0
985	1,00	2,50	0,0	1120	2,50	9,00	0,0	1301	4,29	-0,29	0,0
986	0,50	2,50	0,0	1121	2,50	9,50	0,0	1302	3,55	0,80	0,0
987	1,00	3,00	0,0	1122	2,50	10,00	0,0	1305	4,50	0,59	0,0
988	0,50	3,00	0,0	1123	2,50	10,50	0,0	1307	4,50	0,16	0,0
989	1,00	3,50	0,0	1124	2,50	11,00	0,0	1320	4,50	1,11	0,0
990	0,50	3,50	0,0	1125	2,50	11,50	0,0	1321	4,20	-0,50	0,0
991	1,00	4,00	0,0	1126	2,50	12,00	0,0	1322	4,50	-0,50	0,0
992	0,50	4,00	0,0	1127	2,50	12,50	0,0	1323	4,50	-0,20	0,0

993	1,00	4,50	0,0	1128	2,50	13,00	0,0	1324	4,50	1,64	0,0
994	0,50	4,50	0,0	1129	2,50	13,50	0,0	1325	4,50	3,23	0,0
995	1,00	5,00	0,0	1130	2,50	14,00	0,0	1326	4,50	2,70	0,0
996	0,50	5,00	0,0	1131	2,50	14,50	0,0	1327	4,50	2,17	0,0
997	1,00	5,50	0,0	1132	2,50	15,00	0,0	1328	4,50	3,75	0,0
998	0,50	5,50	0,0	1133	2,50	15,50	0,0	1329	4,50	4,28	0,0
999	1,00	6,00	0,0	1134	2,50	16,00	0,0	1330	4,50	5,34	0,0
1000	0,50	6,00	0,0	1135	3,00	1,00	0,0	1331	4,50	4,81	0,0
1001	1,00	6,50	0,0	1136	3,00	1,50	0,0	1332	4,50	6,40	0,0
1002	0,50	6,50	0,0	1137	3,00	2,00	0,0	1333	4,50	7,46	0,0
1003	1,00	7,00	0,0	1138	3,00	2,50	0,0	1334	4,50	6,93	0,0
1004	0,50	7,00	0,0	1139	3,00	3,00	0,0	1335	4,50	5,87	0,0
1005	1,00	7,50	0,0	1140	3,00	3,50	0,0	1336	4,50	7,99	0,0
1006	0,50	7,50	0,0	1141	3,00	4,00	0,0	1338	4,50	8,51	0,0
1007	1,00	8,00	0,0	1142	3,00	4,50	0,0	1346	4,50	9,04	0,0
1008	0,50	8,00	0,0	1143	3,00	5,00	0,0	1354	3,20	16,05	0,0
1009	1,00	8,50	0,0	1144	3,00	5,50	0,0	1355	2,30	17,00	0,0
1010	0,50	8,50	0,0	1145	3,00	6,00	0,0	1356	2,89	17,00	0,0
1011	1,00	9,00	0,0	1146	3,00	6,50	0,0	1358	3,55	15,70	0,0
1012	0,50	9,00	0,0	1147	3,00	7,00	0,0	1361	3,41	17,00	0,0
1013	1,00	9,50	0,0	1148	3,00	7,50	0,0	1362	3,93	16,67	0,0
1014	0,50	9,50	0,0	1149	3,00	8,00	0,0	1363	3,84	17,00	0,0
1015	1,00	10,00	0,0	1150	3,00	8,50	0,0	1365	4,20	17,00	0,0
1016	0,50	10,00	0,0	1151	3,00	9,00	0,0	1367	4,50	10,10	0,0
1017	1,00	10,50	0,0	1152	3,00	9,50	0,0	1368	4,50	11,16	0,0
1018	0,50	10,50	0,0	1153	3,00	10,00	0,0	1369	4,50	10,63	0,0
1019	1,00	11,00	0,0	1154	3,00	10,50	0,0	1370	4,50	11,69	0,0
1020	0,50	11,00	0,0	1155	3,00	11,00	0,0	1371	4,50	12,75	0,0
1021	1,00	11,50	0,0	1156	3,00	11,50	0,0	1372	4,50	12,22	0,0
1022	0,50	11,50	0,0	1157	3,00	12,00	0,0	1373	4,50	9,57	0,0
1023	1,00	12,00	0,0	1158	3,00	12,50	0,0	1374	4,50	13,27	0,0
1024	0,50	12,00	0,0	1159	3,00	13,00	0,0	1375	4,50	14,33	0,0
1025	1,00	12,50	0,0	1160	3,00	13,50	0,0	1376	4,50	15,39	0,0
1026	0,50	12,50	0,0	1161	3,00	14,00	0,0	1378	4,50	14,86	0,0
1027	1,00	13,00	0,0	1162	3,00	14,50	0,0	1379	4,50	16,34	0,0
1028	0,50	13,00	0,0	1163	3,00	15,00	0,0	1380	4,29	16,79	0,0
1029	1,00	13,50	0,0	1164	3,00	15,50	0,0	1381	4,50	15,91	0,0
1030	0,50	13,50	0,0	1165	3,50	1,50	0,0	1382	4,50	13,80	0,0
1031	1,00	14,00	0,0	1166	3,50	2,00	0,0	1383	4,50	16,70	0,0
1032	0,50	14,00	0,0	1167	3,50	2,50	0,0	1384	4,50	17,00	0,0
1033	1,00	14,50	0,0	1168	3,50	3,00	0,0				

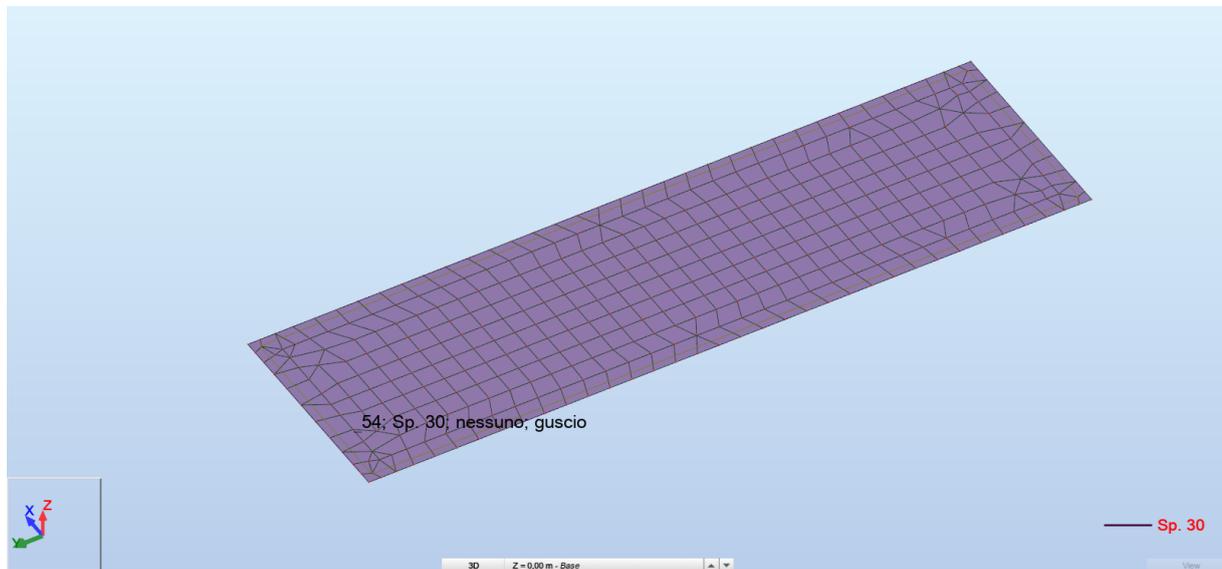
Pannelli


FIG. 16 – Numerazione 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 12727 kN/m^3 e orizzontale pari a 6364 kN/m^3 .

La discretizzazione degli elementi bidimensionali è stata realizzata con una "mesh" regolare con dimensione massima dell'elemento finito pari a 40cm.

Gli elementi utilizzati hanno le seguenti caratteristiche geometriche:

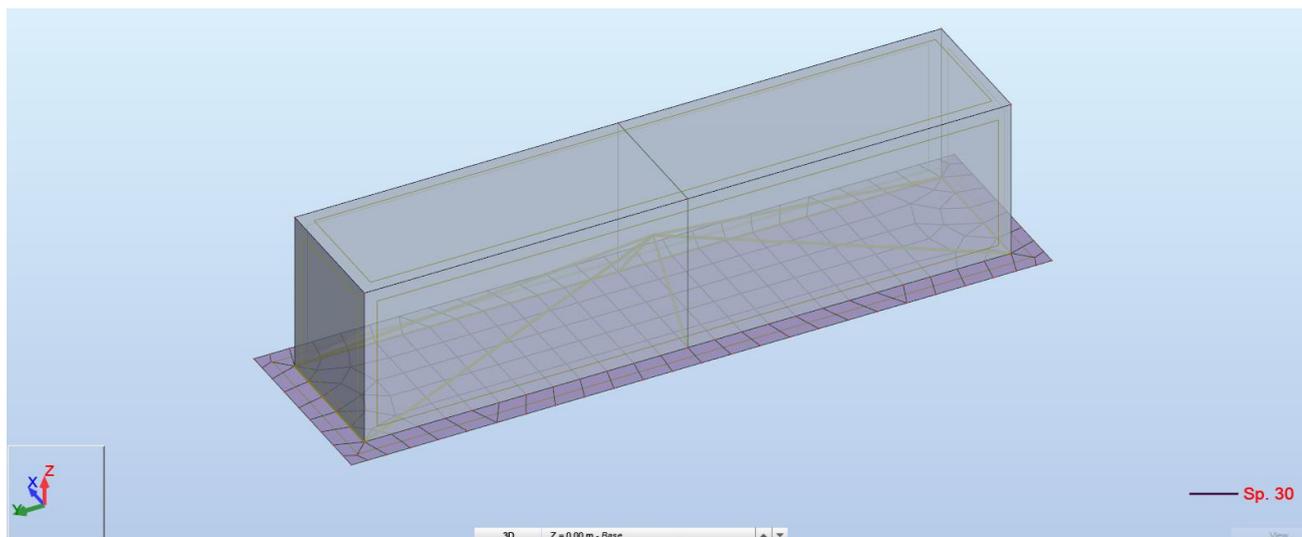


FIG. 17 – Planimetria modello di calcolo

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.

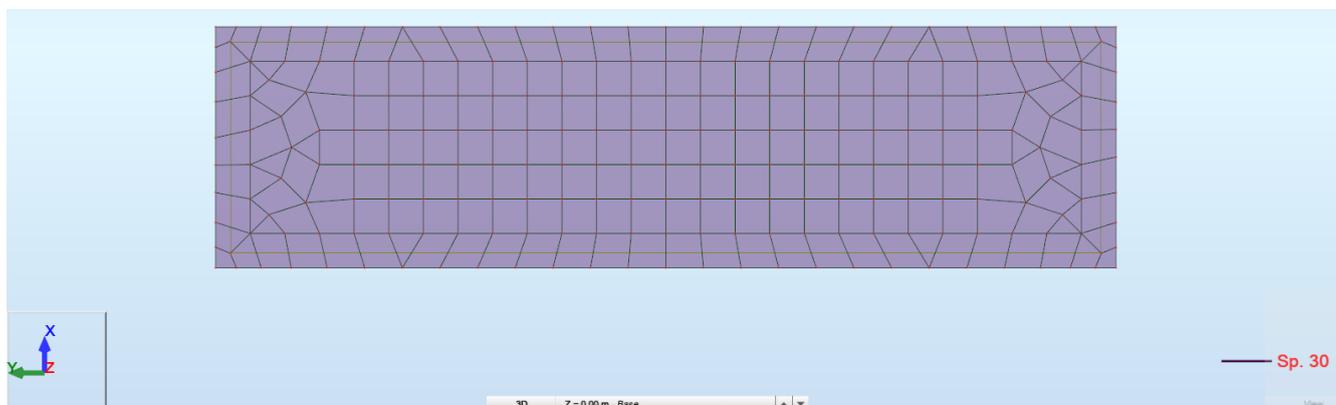


Fig. 18 – Nodi Cabina di trasformazione

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)	Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)	Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	0,50	6,00	0,0	79	2,00	14,00	0,0	160	0,59	17,00	0,0
2	1,00	6,00	0,0	80	2,00	14,50	0,0	161	0,99	17,00	0,0
3	1,00	6,50	0,0	81	2,00	15,00	0,0	162	1,39	17,00	0,0
4	0,50	6,50	0,0	82	-0,50	4,30	0,0	163	1,70	16,05	0,0
5	1,00	7,00	0,0	83	-0,50	4,00	0,0	164	1,51	4,00	0,0
6	0,50	7,00	0,0	84	-0,29	4,21	0,0	165	1,91	4,00	0,0
7	1,00	7,50	0,0	85	-0,50	5,09	0,0	166	0,0	16,50	0,0
8	0,50	7,50	0,0	86	-0,50	4,66	0,0	167	2,00	4,50	0,0
9	1,00	8,00	0,0	87	0,0	5,00	0,0	168	2,05	5,30	0,0
10	0,50	8,00	0,0	88	-0,50	5,61	0,0	169	2,34	4,00	0,0
11	1,00	8,50	0,0	89	0,0	5,50	0,0	171	2,79	4,21	0,0
12	0,50	8,50	0,0	91	0,16	4,00	0,0	172	2,23	4,77	0,0
13	1,00	9,00	0,0	92	-0,20	4,00	0,0	173	2,50	5,00	0,0
14	0,50	9,00	0,0	93	0,45	5,30	0,0	174	2,50	5,50	0,0
15	1,00	9,50	0,0	94	0,0	6,00	0,0	175	3,00	4,66	0,0
16	0,50	9,50	0,0	95	0,27	4,77	0,0	176	2,50	6,50	0,0
17	1,00	10,00	0,0	96	-0,50	6,15	0,0	177	2,50	7,00	0,0
18	0,50	10,00	0,0	97	-0,50	6,70	0,0	178	2,50	8,00	0,0
19	1,00	10,50	0,0	98	2,50	4,50	3,00	179	2,50	8,50	0,0
20	0,50	10,50	0,0	99	0,0	6,50	0,0	180	2,50	9,00	0,0
21	1,00	11,00	0,0	100	-0,50	7,24	0,0	181	2,50	9,50	0,0
22	0,50	11,00	0,0	101	0,0	7,00	0,0	182	2,50	10,00	0,0
23	1,00	11,50	0,0	102	0,0	8,00	0,0	183	2,50	6,00	0,0
24	0,50	11,50	0,0	103	-0,50	8,33	0,0	184	3,00	5,09	0,0
25	1,00	12,00	0,0	104	-0,50	7,78	0,0	185	2,70	4,00	0,0
26	0,50	12,00	0,0	105	0,0	8,50	0,0	186	3,00	4,00	0,0
27	1,00	12,50	0,0	106	-0,50	8,87	0,0	187	3,00	5,61	0,0
28	0,50	12,50	0,0	107	0,0	7,50	0,0	188	3,00	6,15	0,0
29	1,00	13,00	0,0	108	0,0	9,00	0,0	189	3,00	6,70	0,0
30	0,50	13,00	0,0	109	-0,50	9,41	0,0	190	3,00	4,30	0,0
31	1,00	13,50	0,0	110	0,0	9,50	0,0	191	3,00	7,24	0,0
32	0,50	13,50	0,0	111	-0,50	9,96	0,0	192	2,50	7,50	0,0
33	1,00	14,00	0,0	112	0,0	10,00	0,0	193	3,00	7,78	0,0
34	0,50	14,00	0,0	113	-0,50	10,50	0,0	194	3,00	8,33	0,0
35	1,00	14,50	0,0	114	0,50	4,50	0,0	195	3,00	9,41	0,0
36	0,50	14,50	0,0	115	0,59	4,00	0,0	196	3,00	9,96	0,0
37	1,00	15,00	0,0	116	0,80	4,95	0,0	197	3,00	8,87	0,0
38	0,50	15,00	0,0	117	1,11	4,00	0,0	199	3,00	10,50	0,0
39	1,00	5,50	0,0	118	1,00	4,50	0,0	200	2,50	11,50	0,0
40	1,50	5,50	0,0	119	1,25	5,10	0,0	201	2,50	12,00	0,0
41	1,50	6,00	0,0	120	1,50	4,50	0,0	202	2,50	12,50	0,0
42	1,50	6,50	0,0	121	1,70	4,95	0,0	203	2,50	13,00	0,0
43	1,50	7,00	0,0	123	2,50	16,50	0,0	204	2,50	11,00	0,0
44	1,50	7,50	0,0	124	-0,50	11,59	0,0	205	3,00	11,04	0,0
45	1,50	8,00	0,0	125	-0,50	11,04	0,0	206	2,50	13,50	0,0
46	1,50	8,50	0,0	126	0,0	11,50	0,0	207	3,00	12,13	0,0
47	1,50	9,00	0,0	127	0,0	11,00	0,0	208	2,50	14,00	0,0
48	1,50	9,50	0,0	128	-0,50	12,13	0,0	209	3,00	11,59	0,0
49	1,50	10,00	0,0	129	0,0	12,00	0,0	210	2,05	15,70	0,0
50	1,50	10,50	0,0	130	0,0	12,50	0,0	211	2,00	16,50	0,0
51	1,50	11,00	0,0	131	-0,50	12,67	0,0	212	1,50	16,50	0,0

52	1,50	11,50	0,0		132	0,0	13,00	0,0		213	1,91	17,00	0,0
53	1,50	12,00	0,0		133	-0,50	13,22	0,0		214	2,50	16,00	0,0
54	1,50	12,50	0,0		134	0,0	13,50	0,0		215	2,23	16,23	0,0
55	1,50	13,00	0,0		135	-0,50	13,76	0,0		216	2,50	15,50	0,0
56	1,50	13,50	0,0		136	-0,50	14,30	0,0		217	2,34	17,00	0,0
57	1,50	14,00	0,0		137	0,0	14,00	0,0		219	2,50	14,50	0,0
58	1,50	14,50	0,0		138	-0,50	14,85	0,0		220	3,00	13,22	0,0
59	1,50	15,00	0,0		139	0,0	14,50	0,0		221	3,00	13,76	0,0
60	1,50	15,50	0,0		140	0,0	15,50	0,0		222	3,00	14,30	0,0
61	1,00	15,50	0,0		141	-0,50	15,91	0,0		223	3,00	12,67	0,0
62	2,00	6,00	0,0		142	0,0	4,50	0,0		224	3,00	14,85	0,0
63	2,50	4,50	0,0		143	-0,50	15,39	0,0		225	2,50	15,00	0,0
64	2,00	6,50	0,0		144	-0,29	16,79	0,0		226	3,00	15,91	0,0
65	2,00	7,00	0,0		145	-0,50	16,34	0,0		227	3,00	16,34	0,0
66	2,00	7,50	0,0		147	0,0	15,00	0,0		228	2,79	16,79	0,0
67	2,00	8,00	0,0		148	0,0	16,00	0,0		229	2,70	17,00	0,0
68	2,00	8,50	0,0		149	-0,50	16,70	0,0		230	3,00	17,00	0,0
69	2,00	9,00	0,0		150	-0,50	17,00	0,0		231	3,00	15,39	0,0
70	2,00	9,50	0,0		151	-0,20	17,00	0,0		232	3,00	16,70	0,0
71	2,00	10,00	0,0		152	0,16	17,00	0,0		239	0,0	16,50	3,00
72	2,00	10,50	0,0		153	0,45	15,70	0,0		383	0,0	4,50	3,00
73	2,00	11,00	0,0		154	0,27	16,23	0,0		917	0,0	10,50	3,00
74	2,00	11,50	0,0		155	0,50	16,50	0,0		918	2,50	10,50	3,00
75	2,00	12,00	0,0		156	2,50	16,50	3,00		919	0,0	10,50	0,0
76	2,00	12,50	0,0		157	0,80	16,05	0,0		920	2,50	10,50	0,0
77	2,00	13,00	0,0		158	1,25	15,90	0,0		921	1,25	10,50	1,50
78	2,00	13,50	0,0		159	1,00	16,50	0,0					

Pannelli

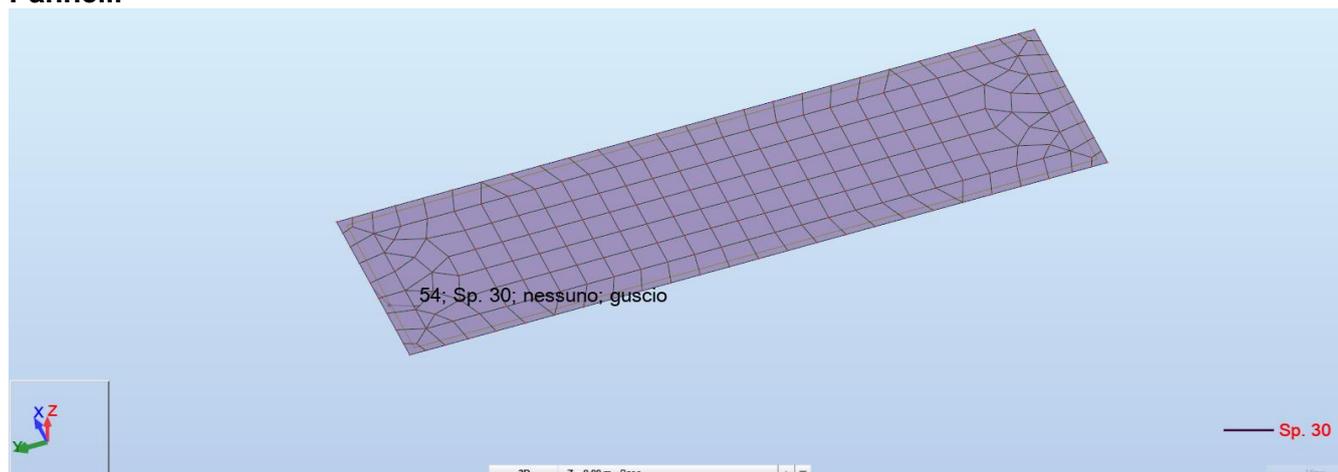


FIG. 19 – Numerazione Pannelli

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.

CARICHI APPLICATI 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

Condizione	Nome della condizione	Natura	Tipo di analisi
1	G1	Permanenti	Statica lineare
2	G2	Perm.Non-str.	Statica lineare
3	Q	Categoria E	Statica lineare
4	N	Neve H<1000	Statica lineare
5	Vx+	Vento	Statica lineare
6	Vx-	Vento	Statica lineare
7	Vy+	Vento	Statica lineare
8	Vy-	Vento	Statica lineare
9	T	Termiche	Statica lineare
10	Modale	Modale	Modale
11	SLD X	Sismiche	Statica lineare
12	SLV X	Sismiche	Statica lineare
13	SLD Y	Sismiche	Statica lineare
14	SLV Y	Sismiche	Statica lineare

Tabella dei Carichi – SW Station – Fondazione

Condiz.	Nome della condizione	Tipo di carico	Lista	Valori di carico
1	G1	self-weight	1 54 55 57to59	' PZ Negative Factor=1,00
2	G2	(FE) uniform	54	' PZ=-0,50(kN/m2)
3	Q	(FE) uniform	54	' PZ=-2,00(kN/m2)
3	Q	(FE) uniform	1	' PZ=-0,50(kN/m2)
4	N	(FE) uniform	1	' PZ=-0,8(kN/m2)
5	Vx+	(FE) uniform	1	' PZ=0,70(kN/m2)
5	Vx+	(FE) uniform	55 58	' PX=0,80(kN/m2)
5	Vx+	(FE) uniform	57 59	' PX=0,80(kN/m2)
6	Vx-	(FE) uniform	1	' PZ=0,70(kN/m2)
6	Vx-	(FE) uniform	55 58	' PX=-0,80(kN/m2)
6	Vx-	(FE) uniform	57 59	' PX=-0,80(kN/m2)
7	Vy+	(FE) uniform	1	' PZ=0,70(kN/m2)
7	Vy+	(FE) uniform	55 58	' PY=0,80(kN/m2)
7	Vy+	(FE) uniform	57 59	' PY=0,80(kN/m2)
8	Vy-	(FE) uniform	1	' PZ=0,70(kN/m2)
8	Vy-	(FE) uniform	55 58	' PY=-0,80(kN/m2)
8	Vy-	(FE) uniform	57 59	' PY=-0,80(kN/m2)
9	T	(FE) thermal load 3p	1 54 55 57to59	' TX1=15,00(°C) N1X=0,0(m) N1Y=0,0(m) N1Z=0,0(m)

Tabella dei Carichi –Cabina di Trasformazione – Fondazione

Condiz.	Nome della condizione	Tipo di carico	Lista	Valori di carico
1	G1	self-weight	2to5 54to66	' PZ Negative Factor=1,00
3	Q	(FE) uniform	54	' PZ=-2,00(kN/m2)
3	Q	(FE) uniform	63	' PZ=-0,50(kN/m2)
4	N	(FE) uniform	63	' PZ=-0,8(kN/m2)
5	Vx+	(FE) uniform	63	' PZ=0,70(kN/m2)
5	Vx+	(FE) uniform	62 64to66	' PX=0,80(kN/m2)
6	Vx-	(FE) uniform	63	' PZ=0,70(kN/m2)
6	Vx-	(FE) uniform	62 64to66	' PX=-0,80(kN/m2)
7	Vy+	(FE) uniform	63	' PZ=0,70(kN/m2)
7	Vy+	(FE) uniform	62 64to66	' PY=0,80(kN/m2)
8	Vy-	(FE) uniform	63	' PZ=0,70(kN/m2)
8	Vy-	(FE) uniform	62 64to66	' PY=-0,80(kN/m2)
9	T	(FE) thermal load 3p	54 62to66	' TX1=15,00(°C) N1X=0,0(m) N1Y=0,0(m) N1Z=0,0(m)
1	G1	nodal force	921	' FZ=-200,00(kN)
2	G2	(FE) planar on contour	63	' PZ1=-0,20(kN/m2) P1(0, 16.5, 3) P2(0, 8, 3) P3(4, 8, 3) P4(4, 16.5, 3)

Combinazioni di carico

Comb.	Nome	Tipo comb.	Definizione
15	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
16	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
17	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
18	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
19	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
20	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
21	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
22	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
23	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
24	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
25	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
26	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
27	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
28	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
29	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
30	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
31	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
32	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
33	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
34	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
35	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
36	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
37	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
38	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
39	G1+G2	SLE	(1+2)*1.00
40	G1+G2+Q+Vx+0.5N+0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+5)*1.00+4*0.50+9*0.60
41	G1+G2+Q+Vx+0.5N-0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+5)*1.00+4*0.50+9*-0.60
42	G1+G2+Q-Vx+0.5N+0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+6)*1.00+4*0.50+9*0.60
43	G1+G2+Q-Vx+0.5N-0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+6)*1.00+4*0.50+9*-0.60
44	G1+G2+Q+Vy+0.5N+0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+7)*1.00+4*0.50+9*0.60
45	G1+G2+Q+Vy+0.5N-0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+7)*1.00+4*0.50+9*-0.60
46	G1+G2+Q-Vy+0.5N+0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+8)*1.00+4*0.50+9*0.60
47	G1+G2+Q-Vy+0.5N-0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+8)*1.00+4*0.50+9*-0.60
48	G1+G2+Q+0.6Vx+N+0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+4)*1.00+(5+9)*0.60
49	G1+G2+Q+0.6Vx+N-0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+4)*1.00+5*0.60+9*-0.60
50	G1+G2+Q-0.6Vx+N+0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+4)*1.00+(6+9)*0.60
51	G1+G2+Q-0.6Vx+N-0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+4)*1.00+6*0.60+9*-0.60
52	G1+G2+Q+0.6Vy+N+0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+4)*1.00+(7+9)*0.60
53	G1+G2+Q+0.6Vy+N-0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+4)*1.00+7*0.60+9*-0.60
54	G1+G2+Q-0.6Vy+N+0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+4)*1.00+(8+9)*0.60
55	G1+G2+Q-0.6Vy+N-0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+4)*1.00+8*0.60+9*-0.60
56	G1+G2+Q+0.6Vx+0.5N+T	SLE: CHR	(1+2+3+9)*1.00+5*0.60+4*0.50
57	G1+G2+Q+0.6Vx+0.5N-T	SLE: CHR	(1+2+3)*1.00+5*0.60+4*0.50+9*-1.00
58	G1+G2+Q-0.6Vx+0.5N+T	SLE: CHR	(1+2+3+9)*1.00+6*0.60+4*0.50
59	G1+G2+Q-0.6Vx+0.5N-T	SLE: CHR	(1+2+3)*1.00+6*0.60+4*0.50+9*-1.00
60	G1+G2+Q+0.6Vy+0.5N+T	SLE: CHR	(1+2+3+9)*1.00+7*0.60+4*0.50
61	G1+G2+Q+0.6Vy+0.5N-T	SLE: CHR	(1+2+3)*1.00+7*0.60+4*0.50+9*-1.00
62	G1+G2+Q+0.6Vy+0.5N+T	SLE: CHR	(1+2+3+9)*1.00+8*0.60+4*0.50
63	G1+G2+Q-0.6Vy+0.5N-T	SLE: CHR	(1+2+3)*1.00+8*0.60+4*0.50+9*-1.00
64	G1+G2+0.9Q	SLE: FRE	(1+2)*1.00+3*0.90
65	G1+G2+0.8Q+0.2Vx	SLE: FRE	(1+2)*1.00+3*0.80+5*0.20
66	G1+G2+0.8Q-0.2Vx	SLE: FRE	(1+2)*1.00+3*0.80+6*0.20
67	G1+G2+0.8Q+0.2Vy	SLE: FRE	(1+2)*1.00+3*0.80+7*0.20
68	G1+G2+0.8Q-0.2Vy	SLE: FRE	(1+2)*1.00+3*0.80+8*0.20
69	G1+G2+0.8Q+0.2N	SLE: FRE	(1+2)*1.00+3*0.80+4*0.20
70	G1+G2+0.8Q+0.5T	SLE: FRE	(1+2)*1.00+3*0.80+9*0.50
71	G1+G2+0.8Q-0.5T	SLE: FRE	(1+2)*1.00+3*0.80+9*-0.50
72	G1+G2+0.8Q	SLE: QPR	(1+2)*1.00+3*0.80
73	0.9G1+0.8G2+1.5Q+1.5Vx+0.9T	SLU: EQU	(1+9)*0.90+2*0.80+(3+5)*1.50
74	0.9G1+0.8G2+1.5Q+1.5Vx-0.9T	SLU: EQU	1*0.90+2*0.80+(3+5)*1.50+9*-0.90
75	0.9G1+0.8G2+1.5Q-1.5Vx+0.9T	SLU: EQU	(1+9)*0.90+2*0.80+(3+6)*1.50
76	0.9G1+0.8G2+1.5Q-1.5Vx-0.9T	SLU: EQU	1*0.90+2*0.80+(3+6)*1.50+9*-0.90
77	0.9G1+0.8G2+1.5Q+1.5Vy+0.9T	SLU: EQU	(1+9)*0.90+2*0.80+(3+7)*1.50
78	0.9G1+0.8G2+1.5Q+1.5Vy-0.9T	SLU: EQU	1*0.90+2*0.80+(3+7)*1.50+9*-0.90
79	0.9G1+0.8G2+1.5Q-1.5Vy+0.9T	SLU: EQU	(1+9)*0.90+2*0.80+(3+8)*1.50
80	0.9G1+0.8G2+1.5Q-1.5Vy-0.9T	SLU: EQU	1*0.90+2*0.80+(3+8)*1.50+9*-0.90

Comb.	Nome	Tipo comb.	Definizione
81	0.9G1+0.8G2+1.5Q+0.9Vx+1.5T	SLU: EQU	$(1+5)*0.90+2*0.80+(3+9)*1.50$
82	0.9G1+0.8G2+1.5Q+0.9Vx-1.5T	SLU: EQU	$(1+5)*0.90+2*0.80+3*1.50+9*-1.50$
83	0.9G1+0.8G2+1.5Q-0.9Vx+1.5T	SLU: EQU	$(1+6)*0.90+2*0.80+(3+9)*1.50$
84	0.9G1+0.8G2+1.5Q-0.9Vx-1.5T	SLU: EQU	$(1+6)*0.90+2*0.80+3*1.50+9*-1.50$
85	0.9G1+0.8G2+1.5Q+0.9Vy+1.5T	SLU: EQU	$(1+7)*0.90+2*0.80+(3+9)*1.50$
86	0.9G1+0.8G2+1.5Q+0.9Vy-1.5T	SLU: EQU	$(1+7)*0.90+2*0.80+3*1.50+9*-1.50$
87	0.9G1+0.8G2+1.5Q-0.9Vy+1.5T	SLU: EQU	$(1+8)*0.90+2*0.80+(3+9)*1.50$
88	0.9G1+0.8G2+1.5Q-0.9Vy-1.5T	SLU: EQU	$(1+8)*0.90+2*0.80+3*1.50+9*-1.50$
89	G1+G2+0.8Q+Ex+0.3Ey (SLV)	SLV Sismiche	$(1+2+11)*1.00+3*0.80+13*0.30$
90	G1+G2+0.8Q+Ex-0.3Ey (SLV)	SLV Sismiche	$(1+2+11)*1.00+3*0.80+13*-0.30$
91	G1+G2+0.8Q-Ex+0.3Ey (SLV)	SLV Sismiche	$(1+2)*1.00+3*0.80+11*-1.00+13*0.30$
92	G1+G2+0.8Q-Ex-0.3Ey (SLV)	SLV Sismiche	$(1+2)*1.00+3*0.80+11*-1.00+13*-0.30$
93	G1+G2+0.8Q+Ey+0.3Ex (SLV)	SLV Sismiche	$(1+2+13)*1.00+3*0.80+11*0.30$
94	G1+G2+0.8Q+Ey-0.3Ex (SLV)	SLV Sismiche	$(1+2+13)*1.00+3*0.80+11*-0.30$
95	G1+G2+0.8Q-Ey+0.3Ex (SLV)	SLV Sismiche	$(1+2)*1.00+3*0.80+11*0.30+13*-1.00$
96	G1+G2+0.8Q-Ey-0.3Ex (SLV)	SLV Sismiche	$(1+2)*1.00+3*0.80+11*-0.30+13*-1.00$
97	G1+G2+0.8Q+Ex+0.3Ey (SLD)	SLD Sismiche	$(1+2+11)*1.00+3*0.80+12*0.30$
98	G1+G2+0.8Q+Ex-0.3Ey (SLD)	SLD Sismiche	$(1+2+11)*1.00+3*0.80+12*-0.30$
99	G1+G2+0.8Q-Ex+0.3Ey (SLD)	SLD Sismiche	$(1+2)*1.00+3*0.80+1*-1.00+12*0.30$
100	G1+G2+0.8Q-Ex-0.3Ey (SLD)	SLD Sismiche	$(1+2)*1.00+3*0.80+1*-1.00+12*-0.30$
101	G1+G2+0.8Q+Ey+0.3Ex (SLD)	SLD Sismiche	$(1+2+12)*1.00+3*0.80+1*0.30$
102	G1+G2+0.8Q+Ey-0.3Ex (SLD)	SLD Sismiche	$(1+2+12)*1.00+3*0.80+1*-0.30$
103	G1+G2+0.8Q-Ey+0.3Ex (SLD)	SLD Sismiche	$(1+2)*1.00+3*0.80+1*0.30+12*-1.00$
104	G1+G2+0.8Q-Ey-0.3Ex (SLD)	SLD Sismiche	$(1+2)*1.00+3*0.80+1*-0.30+12*-1.00$

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 – SW Station

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.

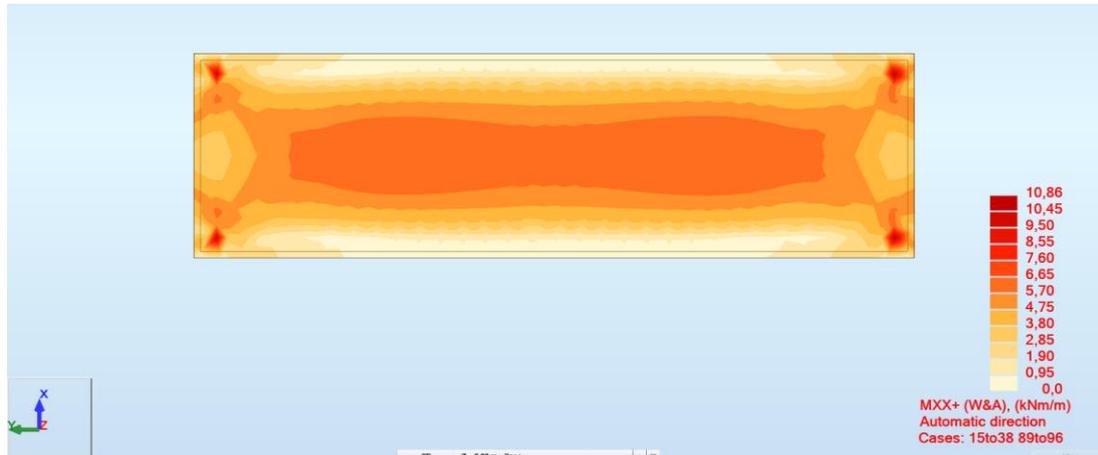


FIG. 20 – INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X

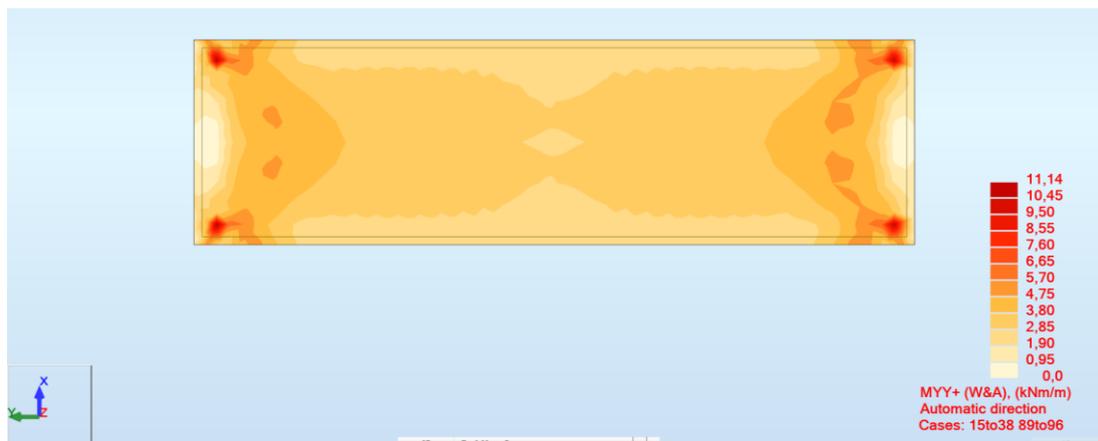


FIG. 21 – INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y



FIG. 22 – INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X

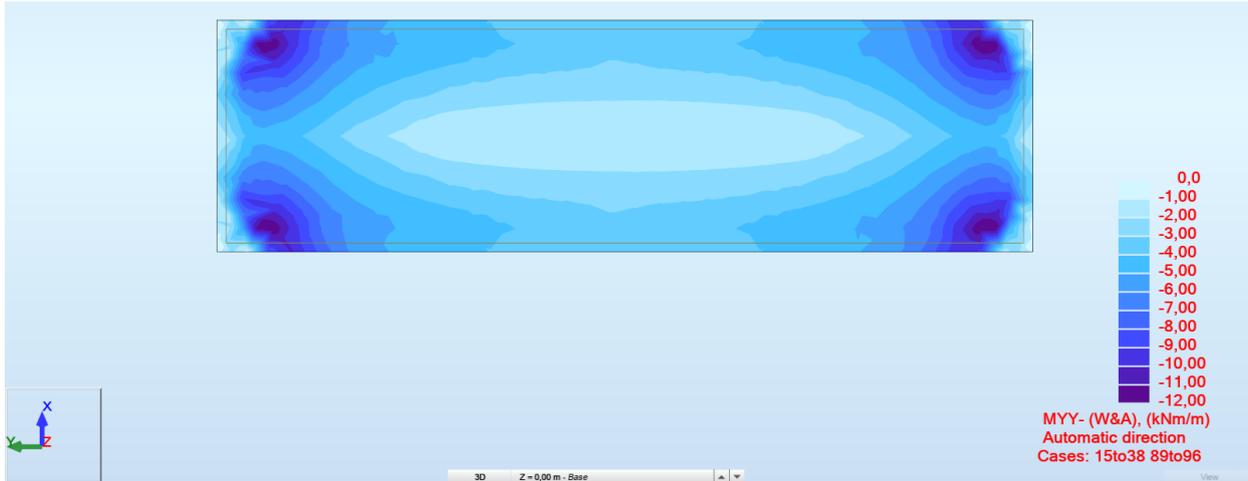


FIG. 23 – INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y

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

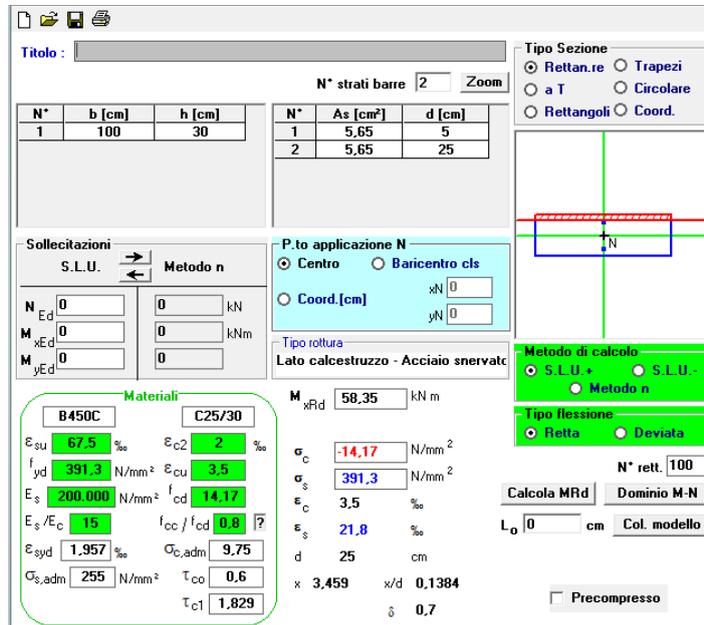


FIG. 24 – MRD PER LA SEZIONE CON H=30CM E ARMATURA $\varnothing 12/200$ MM

$$M_{Rd} = 58.35 \text{ kNm} > M_{sd,max} = 12 \text{ kNm}$$

Verifica soddisfatta

$$\text{Fattore di Sicurezza} = 58.35/41.69 = 4.86 > 1$$

M_{Rd} : 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 M_{Rd} 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.

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

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

Inviluppo delle sollecitazioni di Taglio – Fondazione – SW Station



FIG. 25 – MAPPA Qxx+ - MAPPA DEL TAGLIO SOLLECITANTE

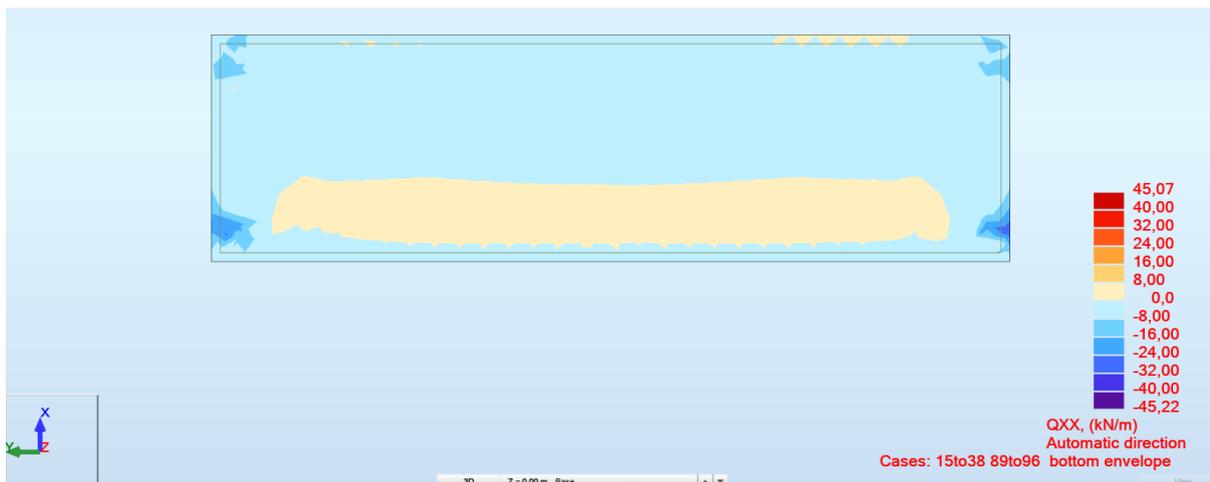


FIG. 26 – MAPPA Qxx- - MAPPA DEL TAGLIO SOLLECITANTE



FIG. 27 – MAPPA Qyy+ - MAPPA DEL TAGLIO SOLLECITANTE

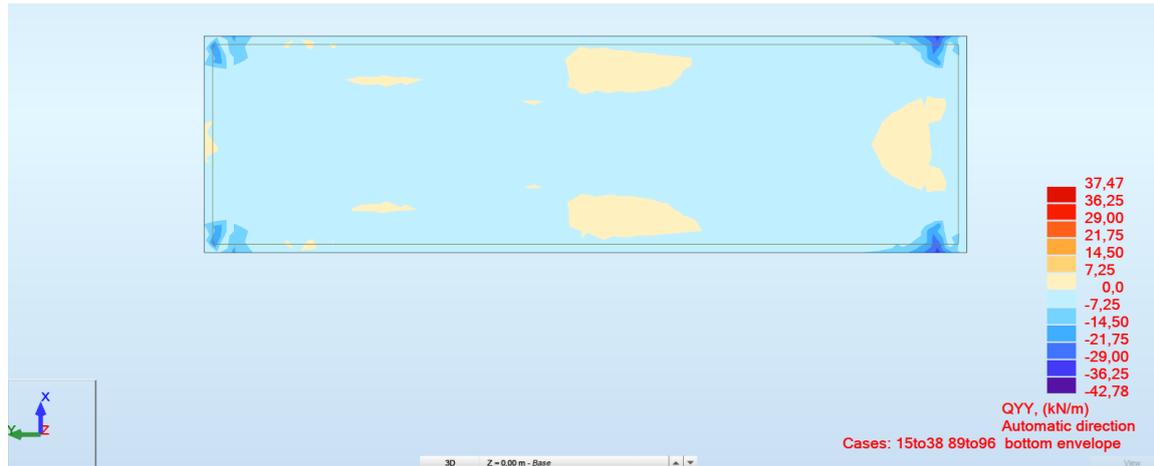


FIG. 28 – MAPPA QYY - - MAPPA DEL TAGLIO SOLLECITANTE

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

Elements not requiring design shear reinforcement

H = 30 cm	$A_c = 300000 \text{ mm}^2$
d = 25 cm	k = 1,8944
$b_w = 100 \text{ cm}$	$\rho_l = 0,0023$
$A_{sl} = 5,65 \text{ cm}^2$	$k_1 = 0,15$
$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$	$v_{min} = 0,4563$
$\gamma_c = 1,5$	$C_{Rd,c} = 0,12$
$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$	$\sigma_{cp} = 0 \text{ MPa}$

Ultimate design shear resistance

(6.2.a) : $V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] d_{wd} = 101,2 \text{ kN}$
 $V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) d_{wd} = 114,1 \text{ kN}$
 $V_{Rd,c} = 114,1 \text{ kN}$

$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$
 $v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$
 $k = 1 + (200/d)^{1/2}$ with d in mm
 $\rho_l = A_{sl} / (b_w d)$
 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_{cp} = compr.stress at the center of concr.sect.due to axial force N_{Ed}

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.

$$V_{Rd,c \ 300mm} = 114.1 \text{ kN} > V_{Sd,max} = 45.22 \text{ kN} \quad \text{Taglio massimo riportato nelle mappe}$$

Inviluppo delle sollecitazioni flessionali – Fondazione – Cabina di Trasformazione

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



FIG. 30 – INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y

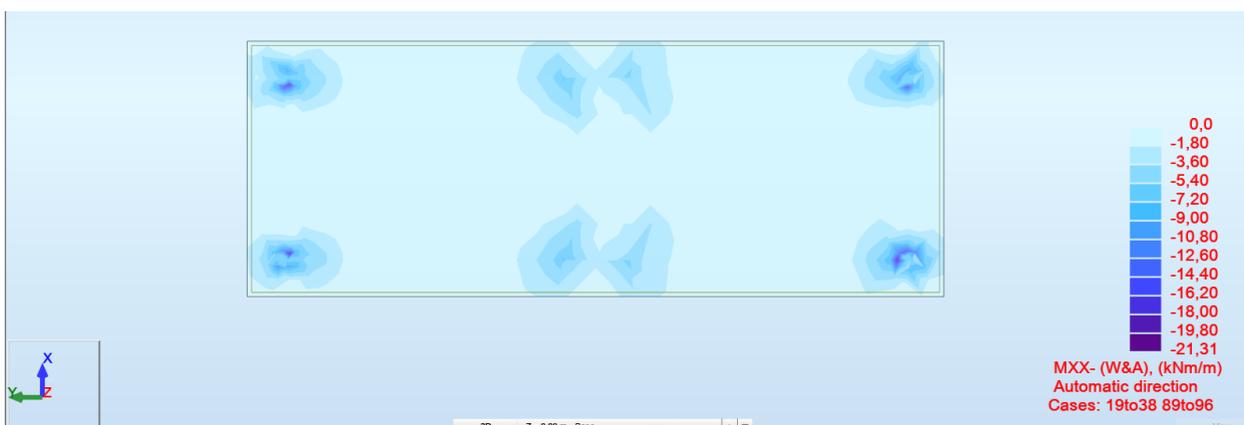


FIG. 31 – INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X

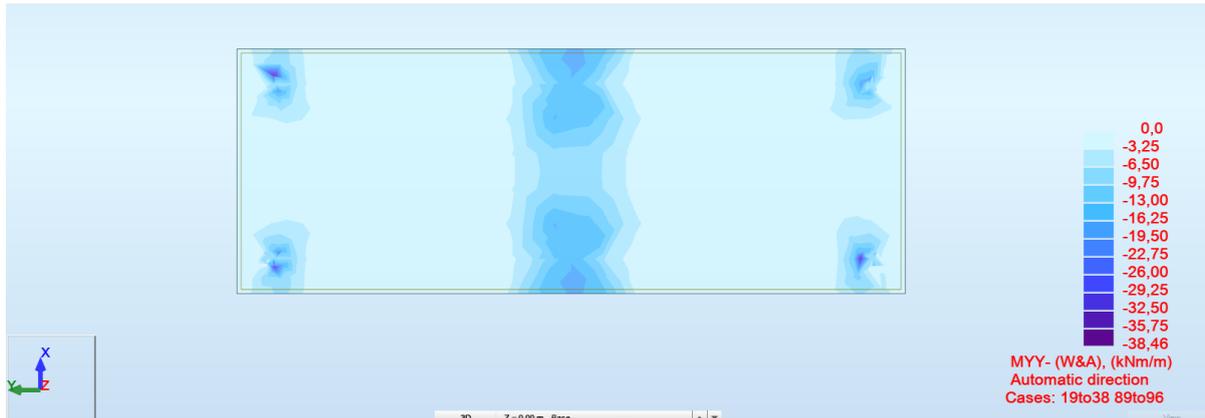


FIG. 32 – INVOLUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y

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

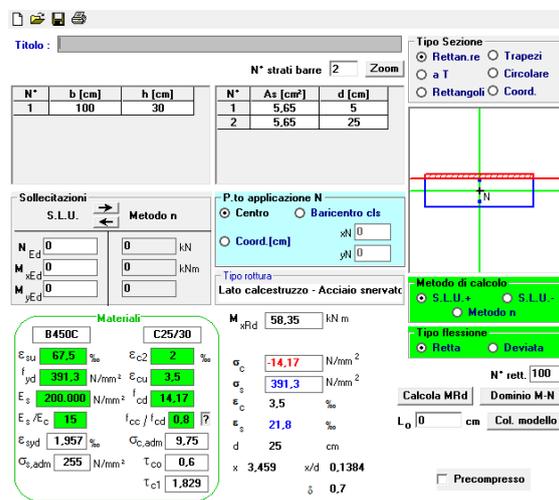


FIG. 33 – MRD PER LA SEZIONE CON H=30CM E ARMATURA $\varnothing 12/200$ MM

$$M_{Rd} = 58.35 \text{ kNm} > M_{sd,max} = 38.46 \text{ kNm}$$

Verifica soddisfatta

$$\text{Fattore di Sicurezza} = 58.35/38.46 = 1.51 > 1$$

M_{Rd} : 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 M_{Rd} 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.

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

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

Inviluppo delle sollecitazioni di Taglio – Fondazione – Cabina di Trasformazione

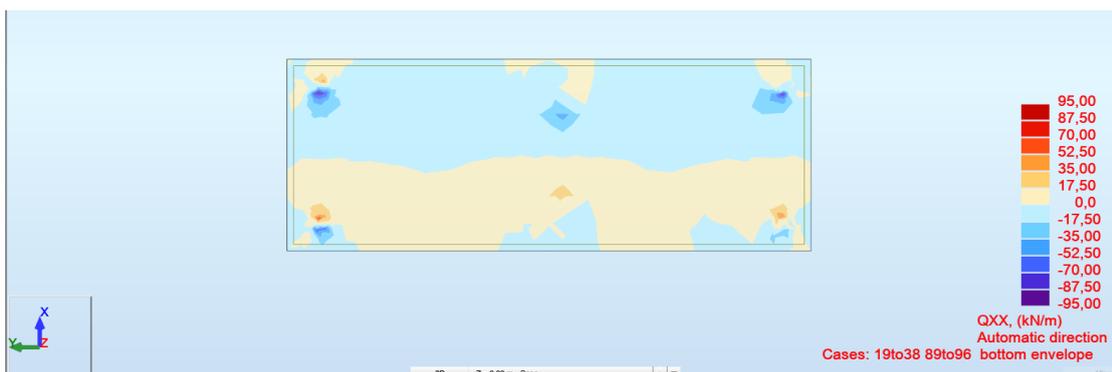


FIG. 34 – MAPPA Qxx MAPPA DEL TAGLIO SOLLECITANTE



FIG. 35 – MAPPA Qyy MAPPA DEL TAGLIO SOLLECITANTE

Qxx / Qyy: Valore dello sforzo di taglio per gli elementi finiti con il sistema di coordinate diretto secondo l'asse locale globale 54 del modello FEM.

Resistenza a taglio senza armatura

Elements not requiring design shear reinforcement

H = 30 cm	$A_c = 300000 \text{ mm}^2$
d = 25 cm	k = 1,8944
$b_w = 100 \text{ cm}$	$\rho_l = 0,0023$
$A_{st} = 5,65 \text{ cm}^2$	$k_1 = 0,15$
$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$	$v_{min} = 0,4563$
$\gamma_c = 1,5$	$C_{Rd,c} = 0,12$
$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$	$\sigma_{cp} = 0 \text{ MPa}$

Ultimate design shear resistance

(6.2 a) $V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] D_{vd} = 101,2 \text{ kN}$
 $V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) D_{vd} = 114,1 \text{ kN}$
 $C_{Rd,c} = 0,18 f_{t,d}$ $V_{Rd,c} = 114,1 \text{ kN}$

$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{-1/2}$
 $k = 1 + (200/d)^{1/2}$ with d in mm
 $\rho_l = A_{st}/(b_w d)$
 A_{st} = 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_{cp} = compr. stress at the center of concr. sect. due to axial force N_{Ed}

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.

$$V_{Rd,c 300mm} = 114.1kN > V_{Sd,max} = 95kN \text{ Taglio massimo riportato nelle mappe}$$

VERIFICHE DI STABILITA' - SCORRIMENTO

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

$$FS = [N_{tot} \cdot \tan(2/3 \cdot \phi) / \gamma_{Rd}] / V_{ed}$$

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

Fondazione Station	SW	Combinazione	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	Ved [kN]	VRd [kN]	F.S.
143/ 15 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Vx+0.75N+0.9T	-131,11	-5,31	927,21	131,2	347,4	2,65
143/ 16 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Vx+0.75N-0.9T	-131,11	5,82	860,86	131,2	322,6	2,46
143/ 17 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Vx+0.75N+0.9T	131,11	-5,31	927,21	131,2	347,4	2,65
143/ 18 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Vx+0.75N-0.9T	131,11	5,82	860,86	131,2	322,6	2,46
143/ 19 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Vy+0.75N+0.9T	0	-141,42	929,42	141,4	348,3	2,46
143/ 20 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Vy+0.75N-0.9T	0	-130,3	863,07	130,3	323,4	2,48
143/ 21 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Vy+0.75N+0.9T	0	130,81	925	130,8	346,6	2,65
143/ 22 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Vy+0.75N-0.9T	0	141,93	858,65	141,9	321,7	2,27
143/ 23 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vx+1.5N+0.9T	-78,66	-5,3	974,43	78,8	365,1	4,63
143/ 24 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vx+1.5N-0.9T	-78,66	5,83	908,08	78,9	340,3	4,31
143/ 25 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vx+1.5N+0.9T	78,67	-5,3	974,43	78,8	365,1	4,63
143/ 26 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vx+1.5N-0.9T	78,67	5,83	908,08	78,9	340,3	4,31
143/ 27 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vy+1.5N+0.9T	0	-86,96	975,76	87,0	365,6	4,20
143/ 28 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vy+1.5N-0.9T	0	-75,84	909,41	75,8	340,8	4,49
143/ 29 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vy+1.5N+0.9T	0	76,37	973,1	76,4	364,6	4,77
143/ 30 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vy+1.5N-0.9T	0	87,5	906,75	87,5	339,8	3,88
143/ 31 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vx+0.75N+1.5T	-78,66	-9,01	966,28	79,2	362,1	4,57
143/ 32 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vx+0.75N-1.5T	-78,66	-9,01	966,28	79,2	362,1	4,57
143/ 33 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vx+0.75N+1.5T	78,67	-9,01	966,28	79,2	362,1	4,57
143/ 34 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vx+0.75N-1.5T	78,67	-9,01	966,28	79,2	362,1	4,57
143/ 35 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vy+0.75N+1.5T	0	-90,68	967,61	90,7	362,6	4,00
143/ 36 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vy+0.75N-1.5T	0	-90,68	967,61	90,7	362,6	4,00
143/ 37 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vy+0.75N+1.5T	0	72,66	964,95	72,7	361,6	4,98
143/ 38 (C)		1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vy+0.75N-1.5T	0	72,66	964,95	72,7	361,6	4,98

143/ 89 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q+Ex+0.3Ey (SLV)	50,74	17,74	645,4	53,8	241,8	4,50
143/ 90 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q+Ex-0.3Ey (SLV)	50,74	-17,36	645,07	53,6	241,7	4,51
143/ 91 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q-Ex+0.3Ey (SLV)	-50,74	17,73	645,4	53,7	241,8	4,50
143/ 92 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q-Ex-0.3Ey (SLV)	-50,74	-17,37	645,06	53,6	241,7	4,51
143/ 93 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q+Ey+0.3Ex (SLV)	15,22	58,69	645,8	60,6	242,0	3,99
143/ 94 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q+Ey-0.3Ex (SLV)	-15,22	58,69	645,8	60,6	242,0	3,99
143/ 95 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q-Ey+0.3Ex (SLV)	15,22	-58,32	644,67	60,3	241,6	4,01
143/ 96 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q-Ey-0.3Ex (SLV)	-15,22	-58,32	644,67	60,3	241,6	4,01

Fondazione Trasformazione	Cabina di Combinazione	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	Ved [kN]	VRd [kN]	F.S.
922/ 15 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Vx+0.75N+0.9T	-78,93	-0,03	666,98	78,9	249,9	3,17
922/ 16 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Vx+0.75N-0.9T	-78,95	0,03	666,98	79,0	249,9	3,17
922/ 17 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Vx+0.75N+0.9T	78,95	-0,03	666,98	79,0	249,9	3,17
922/ 18 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Vx+0.75N-0.9T	78,93	0,03	666,98	78,9	249,9	3,17
922/ 19 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Vy+0.75N+0.9T	0,01	-78,96	667,00	79,0	249,9	3,17
922/ 20 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Vy+0.75N-0.9T	-0,01	-78,91	667,00	78,9	249,9	3,17
922/ 21 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Vy+0.75N+0.9T	0,01	78,91	666,97	78,9	249,9	3,17
922/ 22 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Vy+0.75N-0.9T	-0,01	78,96	666,97	79,0	249,9	3,17
922/ 23 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vx+1.5N+0.9T	-47,35	-0,03	693,27	47,4	259,8	5,49
922/ 24 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vx+1.5N-0.9T	-47,38	0,03	693,27	47,4	259,8	5,48
922/ 25 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vx+1.5N+0.9T	47,38	-0,03	693,27	47,4	259,8	5,48
922/ 26 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vx+1.5N-0.9T	47,35	0,03	693,27	47,4	259,8	5,49
922/ 27 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vy+1.5N+0.9T	0,01	-47,39	693,28	47,4	259,8	5,48
922/ 28 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vy+1.5N-0.9T	-0,01	-47,33	693,28	47,3	259,8	5,49
922/ 29 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vy+1.5N+0.9T	0,01	47,33	693,26	47,3	259,8	5,49
922/ 30 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vy+1.5N-0.9T	-0,01	47,39	693,26	47,4	259,8	5,48
922/ 31 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vx+0.75N+1.5T	-47,35	-0,05	675,35	47,4	253,1	5,34
922/ 32 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vx+0.75N-1.5T	-47,35	-0,05	675,35	47,4	253,1	5,34
922/ 33 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vx+0.75N+1.5T	47,38	-0,05	675,35	47,4	253,1	5,34
922/ 34 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vx+0.75N-1.5T	47,38	-0,05	675,35	47,4	253,1	5,34
922/ 35 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vy+0.75N+1.5T	0,02	-47,41	675,36	47,4	253,1	5,34

922/ 36 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q+0.9Vy+0.75N-1.5T	0,02	-47,41	675,36	47,4	253,1	5,34
922/ 37 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vy+0.75N+1.5T	0,02	47,32	675,34	47,3	253,1	5,35
922/ 38 (C)	1.3G1+1.5G2+1.5Q-0.9Vy+0.75N-1.5T	0,02	47,32	675,34	47,3	253,1	5,35
922/ 89 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q+Ex+0.3Ey (SLV)	19,54	6,91	489,34	20,7	183,4	8,85
922/ 90 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q+Ex-0.3Ey (SLV)	19,50	-6,80	489,34	20,7	183,4	8,88
922/ 91 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q-Ex+0.3Ey (SLV)	-19,50	6,80	489,34	20,7	183,4	8,88
922/ 92 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q-Ex-0.3Ey (SLV)	-19,54	-6,91	489,34	20,7	183,4	8,85
922/ 93 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q+Ey+0.3Ex (SLV)	5,92	22,86	489,34	23,6	183,4	7,76
922/ 94 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q+Ey-0.3Ex (SLV)	-5,79	22,83	489,34	23,6	183,4	7,78
922/ 95 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q-Ey+0.3Ex (SLV)	5,79	-22,83	489,34	23,6	183,4	7,78
922/ 96 (C) (CQC)	G1+G2+0.8Q-Ey-0.3Ex (SLV)	-5,92	-22,86	489,34	23,6	183,4	7,76

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.

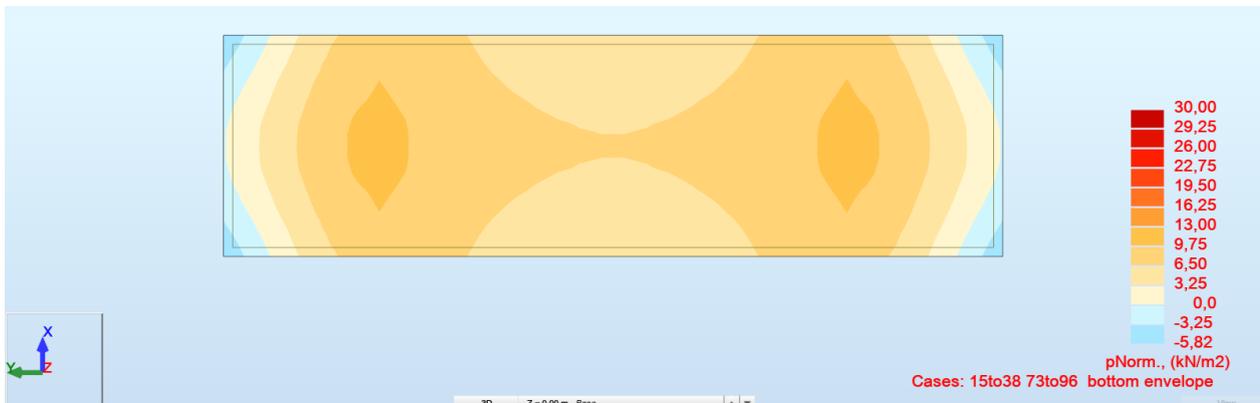


Fig. 36 – Ribaltamento – Involuppo Combinazioni SLU (EQU) – Fondazione – SW Station



Fig. 37 – Ribaltamento – Involuppo Combinazioni SLU (EQU) – Fondazione – Cabina di Trasformazione

Verifica a Capacità Portante

Di seguito le mappe di pressione del suolo generate dal basamento nelle combinazioni SLU.

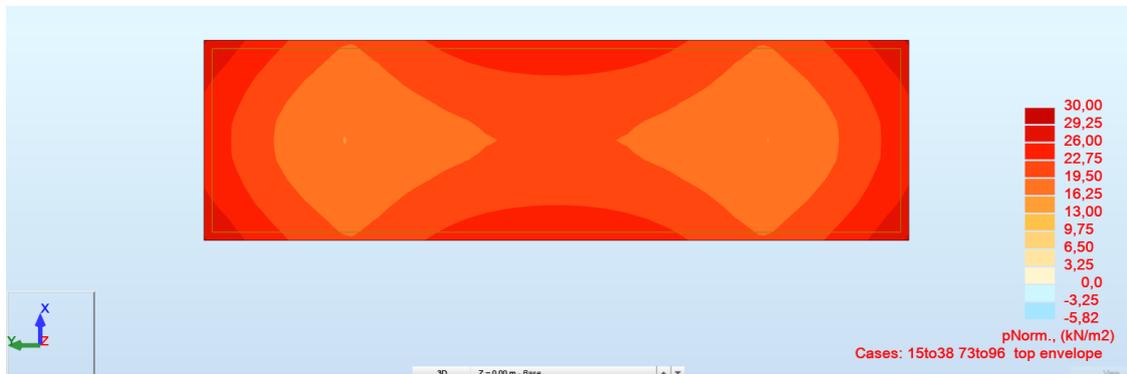


Fig. 38 – Involuppo delle Pressioni nelle Combinazioni SLU – SLV – Fondazione – SW Station ($q_{max}=30 \text{ kN/m}^2$)

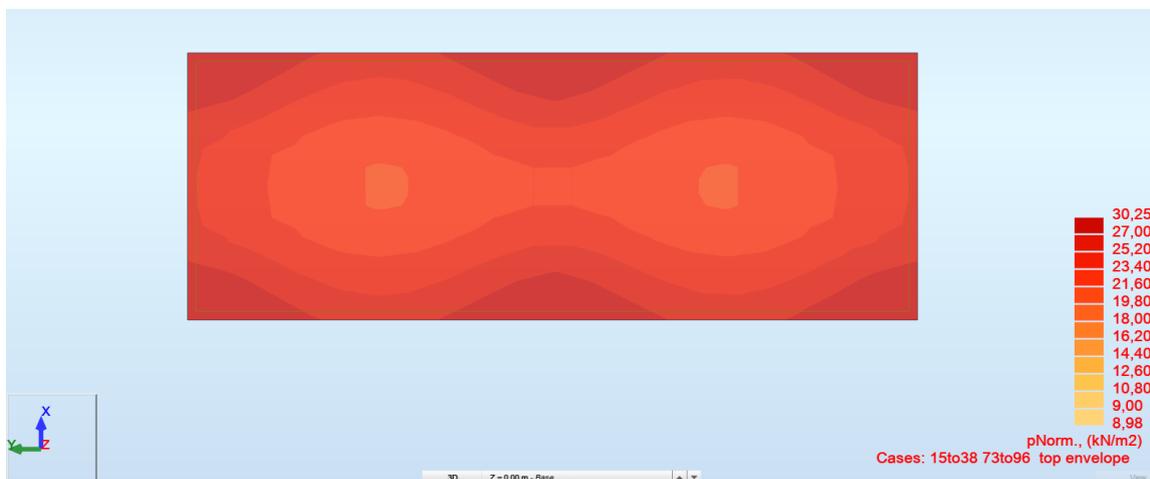


Fig. 39 – Involuppo delle Pressioni nelle Combinazioni SLU – SLV – Fondazione – Cabina di Trasformazione ($q_{max}=31 \text{ kN/m}^2$)

59

Si riportano di seguito i valori della Capacità portante del terreno:

23ENV04 - PREDOSA (AL)							
FONDAZIONE	z	B	L	p_{SLE}	s	$k_{s,v}$	Rd
	[m da P.C.]	[m]	[m]	[kPa]	[mm]	[kPa/m]	[kPa]
SW STATION	0.5	5.00	17.50	9.6	0.6	16000	362
CABINA TRAF0 BT/MT	0.1	3.50	9.50	14.0	1.1	12727	203

Si evince che i risultati ottenuti sono inferiori rispetto che la capacità portante della fondazione

VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO SLE

Verifica a Fessurazione – Fondazione – SW STATION

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

Combinazioni frequenti → $w_3 = 0.3\text{mm}$

Combinazioni quasi permanenti → $w_2 = 0.2\text{mm}$

Verifica delle tensioni di esercizio

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

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

$\sigma_c < 0.60 \times f_{ck} (25) = 15.0 \text{ N/mm}^2$ (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 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 frequente SLE: Combinazione da n°64-72

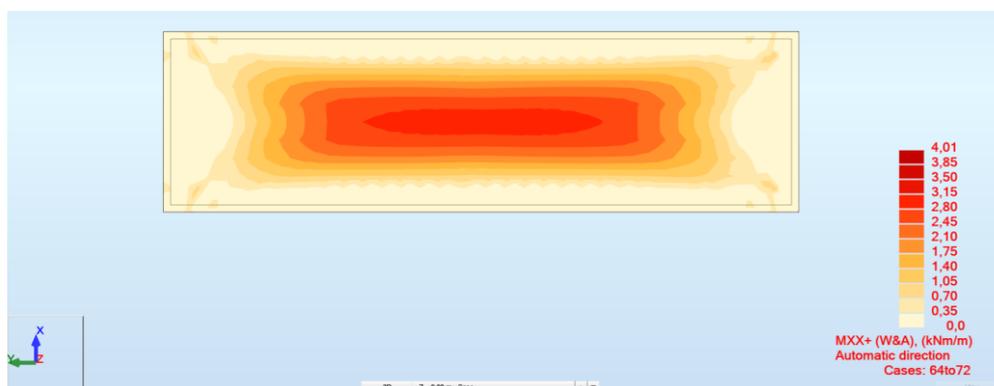


FIG. 40 – INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X

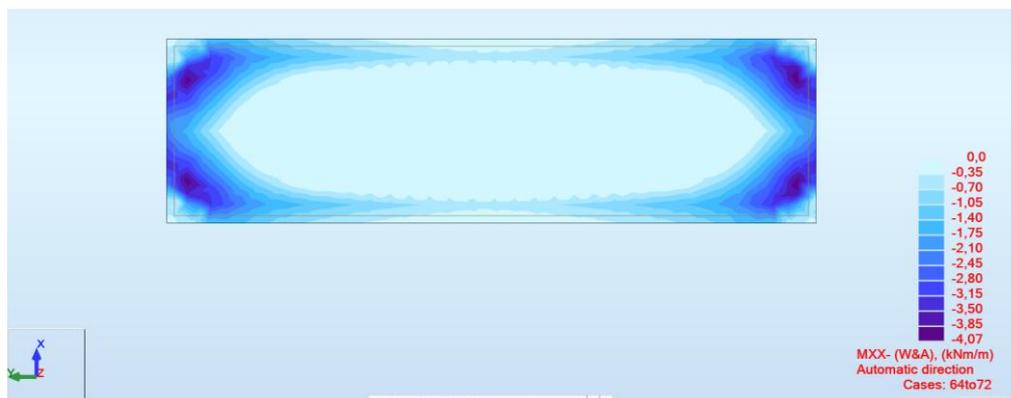


FIG. 41 – INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X



FIG. 42 – INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y

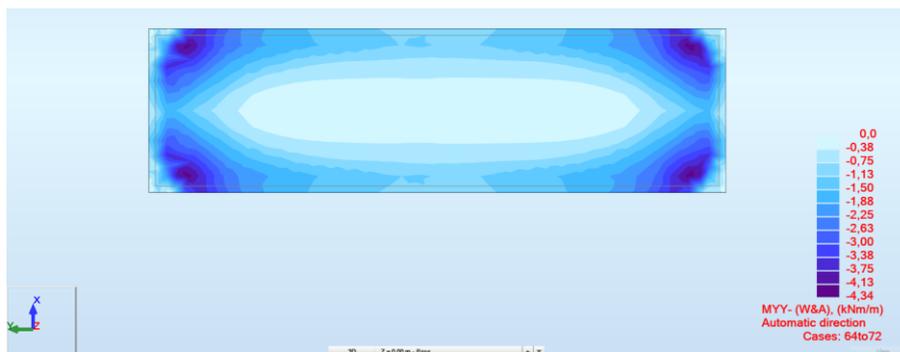


FIG. 43 – INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y

Si riporta nel seguito verifica a fessurazione soletta spessore 30cm armata con fi 12/200 considerando il massimo momento $M_x = 5\text{ kNm/m}$ agente per le combinazioni quasi permanenti SLE:

61

Verifica della sezione a fessurazione (SLE)		
wlim	0,30 mm	Comb SLE Freq
b	100 cm	
h	30 cm	
Es	210000 N/mm ²	
σs	38,4 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	#VALORE!
d	25 cm	
x	5,64 cm	
hc,ef	8,1 cm	
Ac,ef	812,1 cm ²	
pp,eff	0,007	
Ecm	31447 N/mm ²	
αe	6,678	
esm	-0,00055	
0.6(σs/Es)	0,00011	
k1	0,8	Barre Ad. Migl.
k2	0,50	
k3	3,4	
k4	0,425	
Δsmax	462,97 mm	
wd	0,051 mm	Sezione verificata

$$\sigma_c \sim 0.75 \text{ N/mm}^2 < 0.6 \times f_{ck} = 15.00 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_s \sim 38 \text{ N/mm}^2 < 0.8 \times f_{yk} = 360.0 \text{ N/mm}^2$$

L'apertura delle fessure è stimata pari a:

$$w_k = 0.051 \text{ mm} < 0.3 \text{ mm}$$

Verifica a Fessurazione – Fondazione – Cabina di Trasformazione

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

Combinazioni frequenti → $w_3 = 0.3\text{mm}$

Combinazioni quasi permanenti → $w_2 = 0.2\text{mm}$

Verifica delle tensioni di esercizio

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

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

$\sigma_c < 0.60 \times f_{ck} (25) = 15.0 \text{ N/mm}^2$ (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 frequente SLE: Combinazione da n°64-72

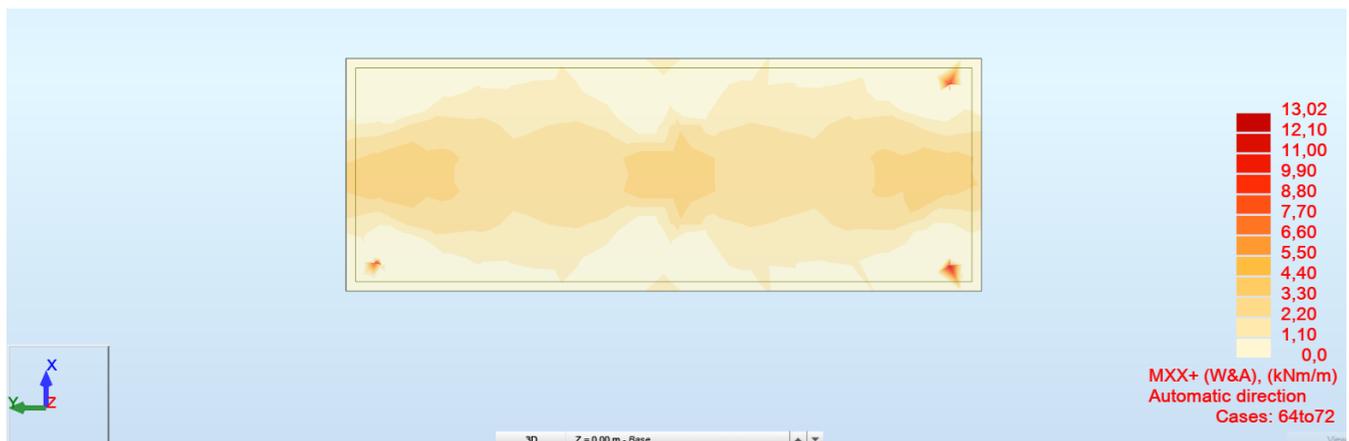


FIG. 44 – INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X

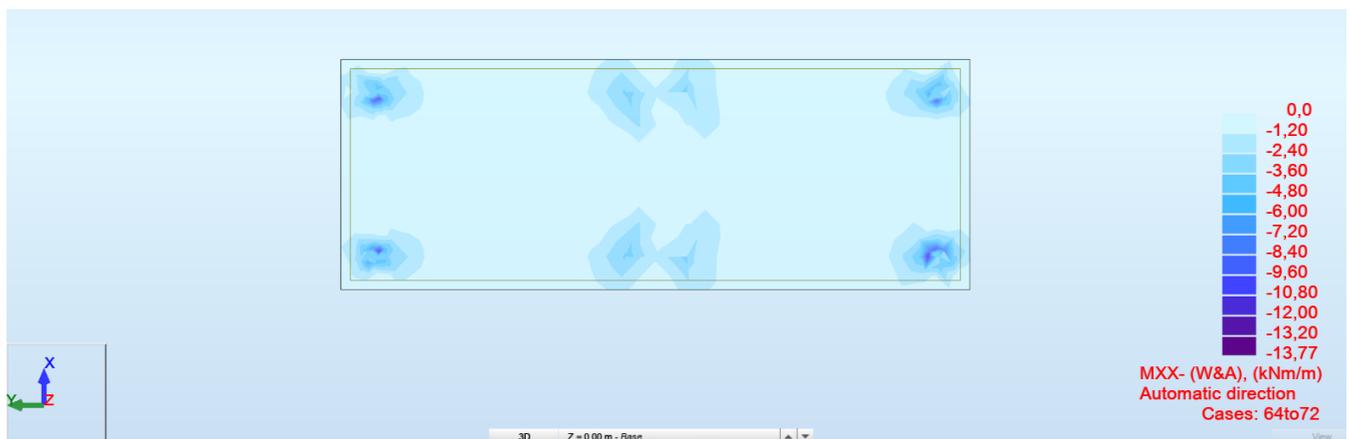


FIG. 45 – INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X

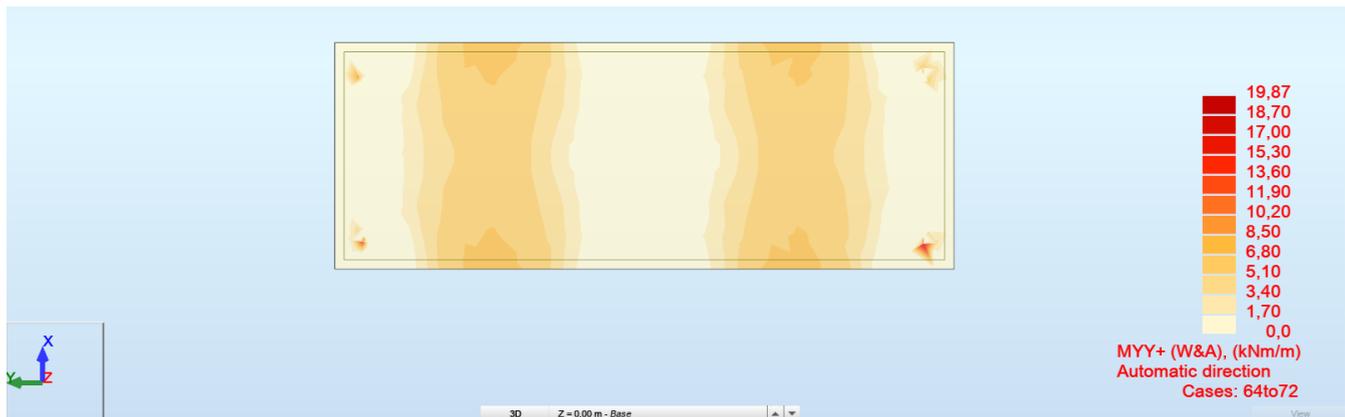


FIG. 46 – INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y

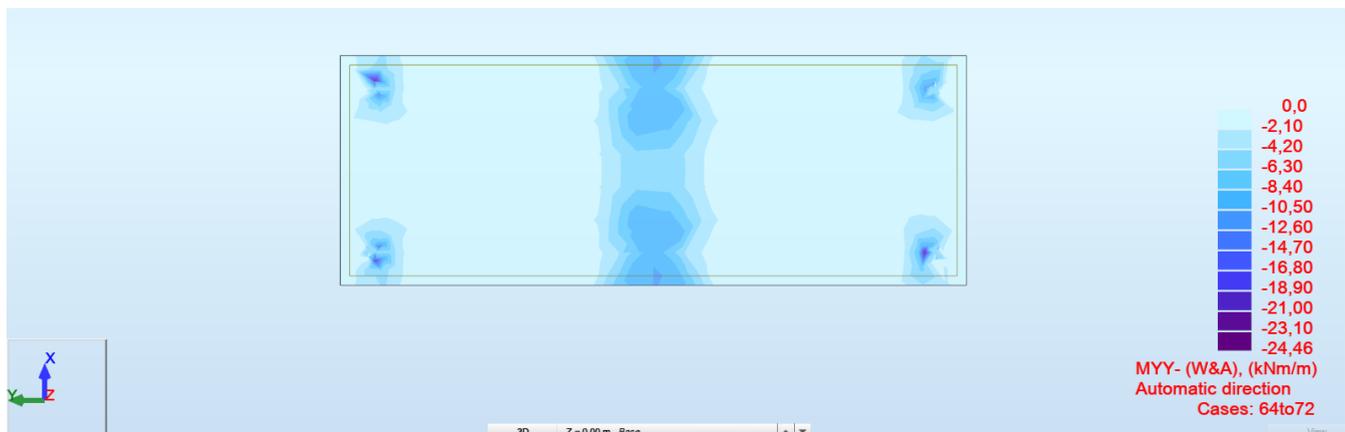


FIG. 47 – INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y

Si riporta nel seguito verifica a fessurazione soletta spessore 30cm armata con fi 12/200 considerando il massimo momento $M_x = 25\text{kNm/m}$ agente per le combinazioni quasi permanenti SLE:

Verifica della sezione a fessurazione (SLE)			
wlim	0,30 mm	Comb SLE Freq ▼	
b	100 cm		
h	30 cm		
Es	210000 N/mm ²		
σs	192,1 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		
d	25 cm		
x	5,64 cm		
hc,ef	8,1 cm		
Ac,ef	812,1 cm ²		
pp,eff	0,007		
Ecm	31447 N/mm ²		
αe	6,678		
εsm	0,00018		
0.6(σs/Es)	0,00055		
k1	0,8	Barre Ad. Migl. ▼	
k2	0,50		
k3	3,4		
k4	0,425		
Δsmax	462,97 mm		
wd	0,254 mm	Sezione verificata	

$$\sigma_c \sim 3.73 \text{ N/mm}^2 < 0.6 \times f_{ck} = 15.00 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_s \sim 192 \text{ N/mm}^2 < 0.8 \times f_{yk} = 360.0 \text{ N/mm}^2$$

L'apertura delle fessure è stimata pari a: $w_k = 0.254 \text{ mm} < 0.4 \text{ mm}$

VERIFICA A CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE

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

Peso proprio fondazione e carichi di esercizio applicati SLE

Peso proprio fondazione e carichi di esercizio applicati SLE

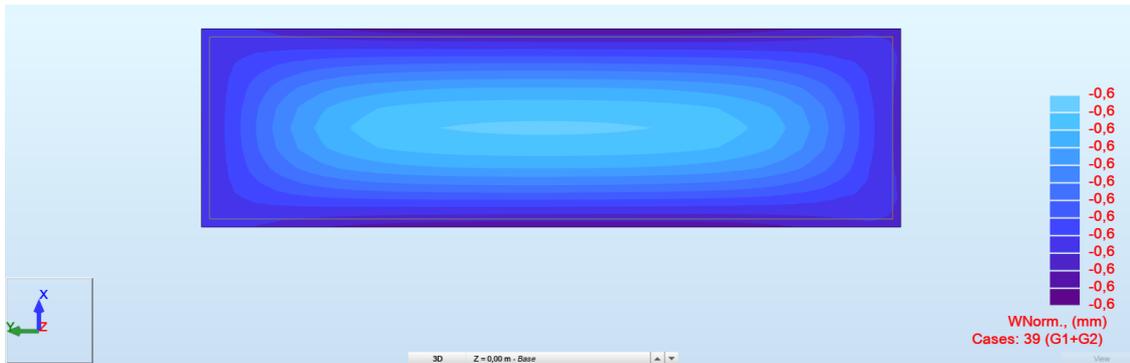


FIG. 48 – INVILUPPO DEI CEDIMENTI SECONDO LE COMBINAZIONI SLE – FONDAZIONE – SW STATION

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

$$w_{\max} = 0.6\text{mm}$$

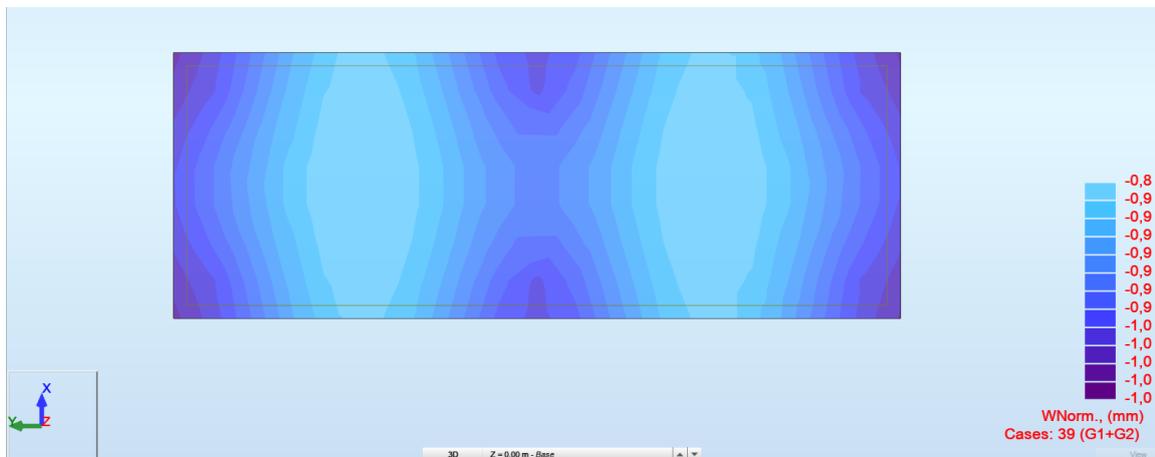


FIG. 49 – INVILUPPO DEI CEDIMENTI SECONDO LE COMBINAZIONI SLE – FONDAZIONE – CABINA DI TRASFORMAZIONE

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

$$w_{\max} = 1.0\text{mm}$$

Si riportano di seguito i valori dei cedimenti del terreno, comparabili con quelli sopra riportati:

23ENV04 - FV Predosa							
FONDAZIONE	z	B	L	p _{SLS}	s	k _{s,v}	Rd
	[m da P.C.]	[m]	[m]	[kPa]	[mm]	[kPa/m]	[kPa]
SW STATION	0,5	5	17,5	9,6	0,6	16000	362
CABINA TRAF0 BT/MT	0,1	3,5	13	14	1,1	12727	203

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 sopra indicato 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 2022
Autore	Autodesk Inc.
Produttore	Autodesk Inc.
Fornitore	Autodesk Inc.
Versione	35.0.1.8274 (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.

67

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..

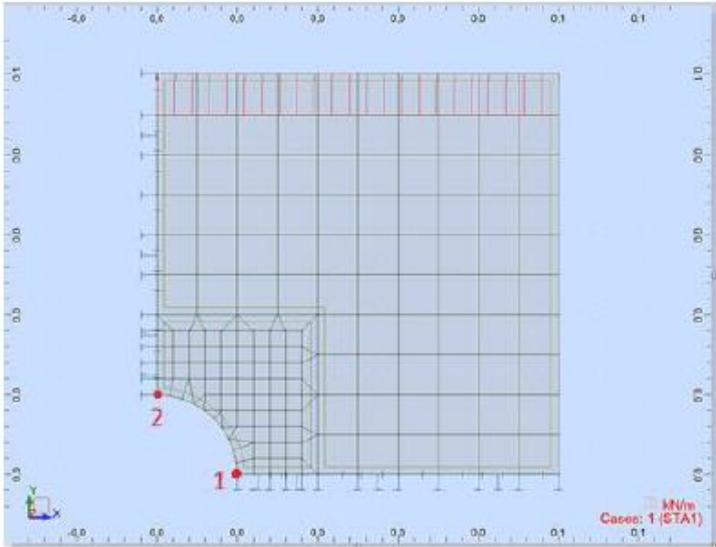
In base a quanto detto, si può asserire che l'elaborazione è **corretta ed idonea al caso specifico**, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi **validi ed accettabili**.

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:	¼ 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 σ_{xx} (N/mm ²)	6.94	7.5	7.47
2	Stress σ_{xx} (N/mm ²)	- 2.57	- 2.5	2.80
CONCLUSION:				
Poor agreement of results.				
24	 <small>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.</small>			

VERIFICATION EXAMPLE

Rectangular plate: cantilever slab - SSSL01

Name of the test:

SSLS01

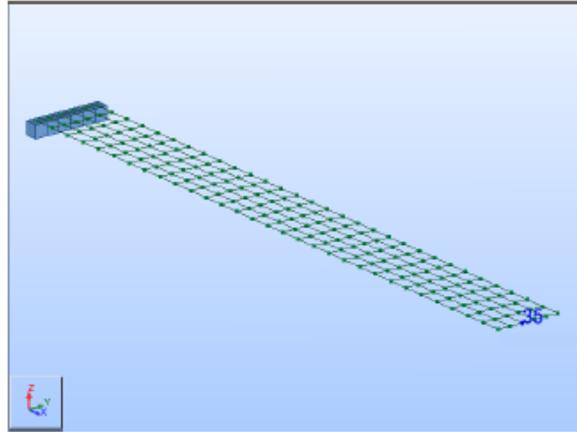
Reference:

AFNOR

Specification:

Cantilever slab under uniform pressure

GEOMETRY:



DATA FILE

SSLS01.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



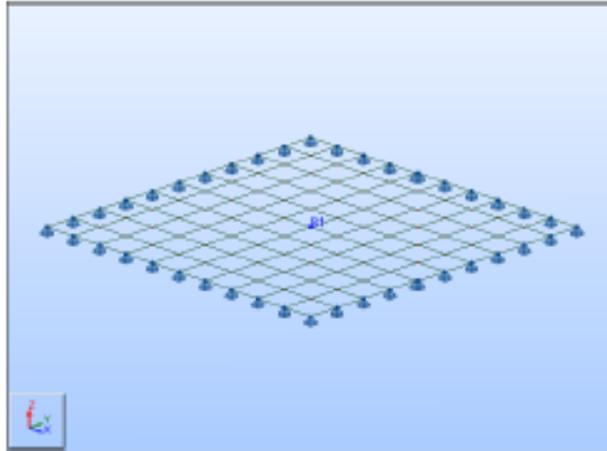
Autodesk [and other products] are registered trademarks or trademarks of Autodesk, Inc., and/or its subsidiaries and/or affiliates in the USA and/or other countries. All other brand names, product names, or trademarks belong to their respective holders. Autodesk reserves the right to alter product offerings, 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 - SSSL02

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

GEOMETRY:



DATA FILE: SSSL02.rtd

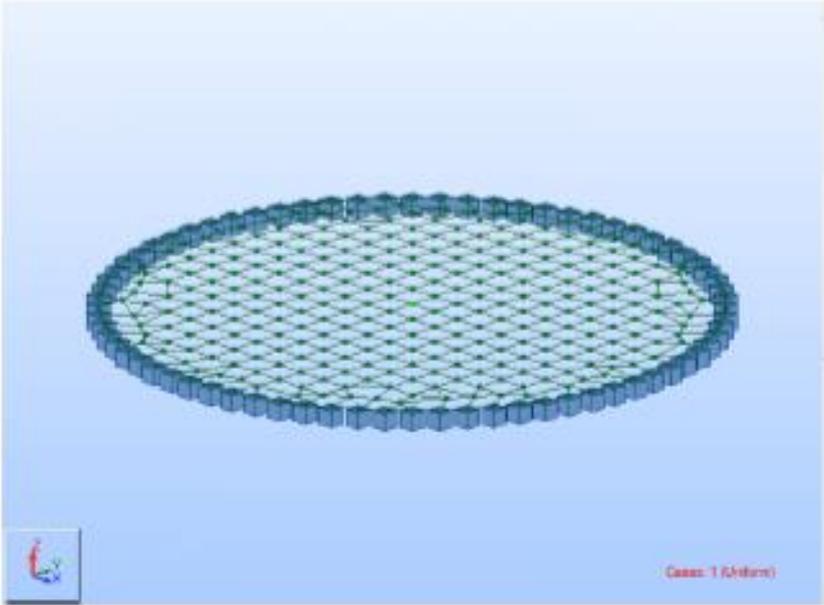
COMPARISON:

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

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

CONCLUSION:

Excellent agreement of results.

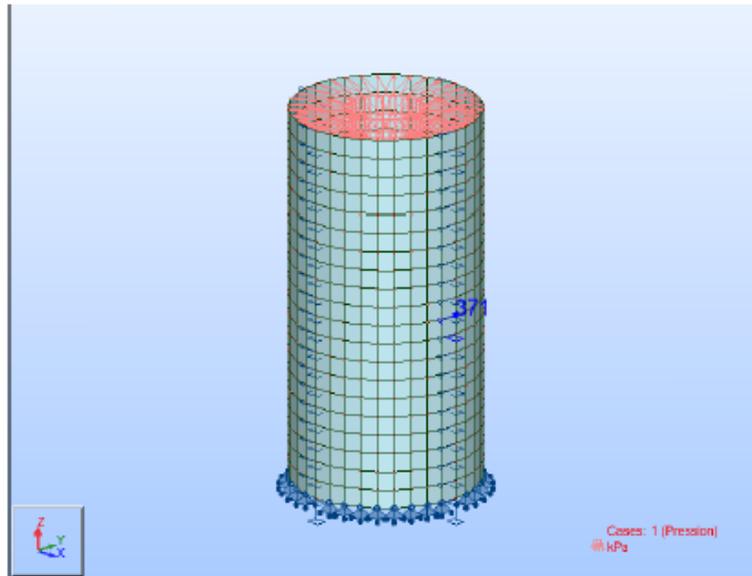
VERIFICATION EXAMPLE				
Circular plate under uniform load - SSSL03				
Name of the test:				SSLS03
Reference:				AFNOR
Specification:	Circular plate with clamped edges under uniform load			
GEOMETRY:				
				
DATA FILES:	SSLS03.rtd			
COMPARISON:				
Node	Compared result	RSA 2021	AFNOR	Difference %
1	Displacement UZ (mm)	- 6.477	- 6.500	0.36
CONCLUSION:				
Very good agreement of results.				
27	 <small>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.</small>			

VERIFICATION EXAMPLE

Thin-walled cylinder under uniform radial pressure - SSLS06

Name of the test: SSLS06
Reference: AFNOR
Specification: Shell - Cylinder - Material: elastic - Pressure

GEOMETRY:



DATA FILE: SSLS06.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.

30



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.