

# IMPIANTO AGRIVOLTAICO E OPERE CONNESSE PAULI ARBAREI

**LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 16 S.R.L.**

**POTENZA IMPIANTO 33,81 MW e 7,80 MW DI ACCUMULO**

## Proponente

**LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 16 S.R.L.**

VIA GIACOMO LEOPARDI, 7 - 20123 MILANO (MI) - P.IVA: 12593760965 - PEC: [lightsourcespv\\_16@legalmail.it](mailto:lightsourcespv_16@legalmail.it)

## Progettazione

**Ing. Antonello Ruttilio**

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

Tel.: +39 0532 202613 – email: [a.ruttilio@incico.com](mailto:a.ruttilio@incico.com)

## Collaboratori

**Ing. Lorenzo Stocchino**

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

Tel.: +39 0532 202613 – email: [l.stocchino@incico.com](mailto:l.stocchino@incico.com)

## Coordinamento progettuale

**SOLAR IT S.R.L.**

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

Tel.: +390425 072 257 – email: [info@solaritglobal.com](mailto:info@solaritglobal.com)

## Titolo Elaborato

### Relazione Tecnica Strutture

LIVELLO PROGETTAZIONE	CODICE ELABORATO	FILE NAME	DATA
DEFINITIVO	PD_REL09	23SOL11_PD_REL09.00-Relazione tecnica strutture	31/03/2023

## Revisioni

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
0	MARZO '23	EMISSIONE PER PERMITTING	LAR	LST	ARU



**COMUNE DI PAULI ARBAREI (SU) - COMUNE DI LUNAMATRONA (SU)**

**REGIONE SARDEGNA**



# Relazione Tecnica Strutture

## INDICE

1. OPERE IN ACCIAIO .....	1
PREMESSA.....	1
INTRODUZIONE .....	2
NORMATIVE E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
MATERIALI.....	5
CARICHI ELEMENTARI .....	7
COMBINAZIONI DI CARICO .....	11
PROGRAMMA DI CALCOLO .....	12
MODELLO DI CALCOLO.....	14
CARICHI APPLICATI E COMBINAZIONI DI CARICO .....	16
REAZIONI AL PIEDE DELLA STRUTTURA .....	17
VERIFICHE ALLO SLU DEI PROFILI PIÙ SOLLECITATI.....	18
2. OPERE DI FONDAZIONE IN CA .....	19
PREMESSA.....	19
INTRODUZIONE .....	19
NORMATIVE E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	20
MATERIALI.....	21
CARICHI ELEMENTARI .....	22
CARICHI CABINATI.....	22
REAZIONI VINCOLARI SW STATION.....	30
REAZIONI VINCOLARI TRASFORMATORI/INVERTER .....	33
COMBINAZIONI DI CARICO .....	35
PROGRAMMA DI CALCOLO .....	36
MODELLO DI CALCOLO SW STATION.....	38
MODELLO DI CALCOLO TRASFORMATORE/INVERTER .....	42
CARICHI APPLICATI E COMBINAZIONI DI CARICO .....	44
DATI DI OUTPUT .....	49
VERIFICHE DI STABILITA' - SCORRIMENTO.....	60
VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO SLE – FONDAZIONE – SW STATION.....	61
VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO SLE – FONDAZIONE – TRASFORMATORE/INVERTER.....	66
VERIFICA A CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE .....	71
3. CONCLUSIONI .....	72

## 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 LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY S.r.l. con sede in Via Giacomo Leopardi 7 (MI).

Tutte le parti di impianto oggetto della presente valutazione saranno realizzate nel territorio dei comuni di Pauli Arbarei(SU) e Lunamatrona(SU) 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

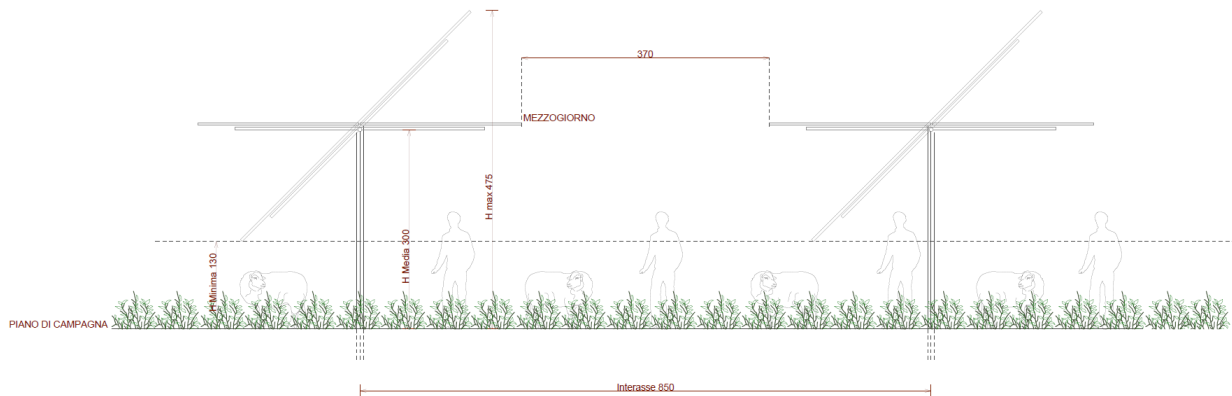
## INTRODUZIONE

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 10.0m sono infissi nel terreno per metri 7.0 partendo dalla quota campagna.

La fondazione è realizzata mediante palo battuto in acciaio con sezione  $\varnothing 323 \times 5.6$ mm in acciaio di qualità S275 JR e lunghezza 7.0m.

I moduli fotovoltaici scelti per la realizzazione dell'impianto oggetto della presente relazione sono di tipo bifacciale in grado cioè di captare la radiazione luminosa sia sul fronte che sul retro del modulo, avranno dimensioni pari a (2384 H x 1303 L x 35 P) mm. Essi saranno fissati su ciascuna struttura in modalità Landscape 2xN, ovvero in file composte da due moduli con lato corto parallelo al terreno, le strutture utilizzate nel presente progetto saranno essenzialmente di un tipo individuato in funzione della loro lunghezza ovvero 2x14 moduli a cui corrispondono strutture di lunghezza complessiva di circa 19 metri



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.

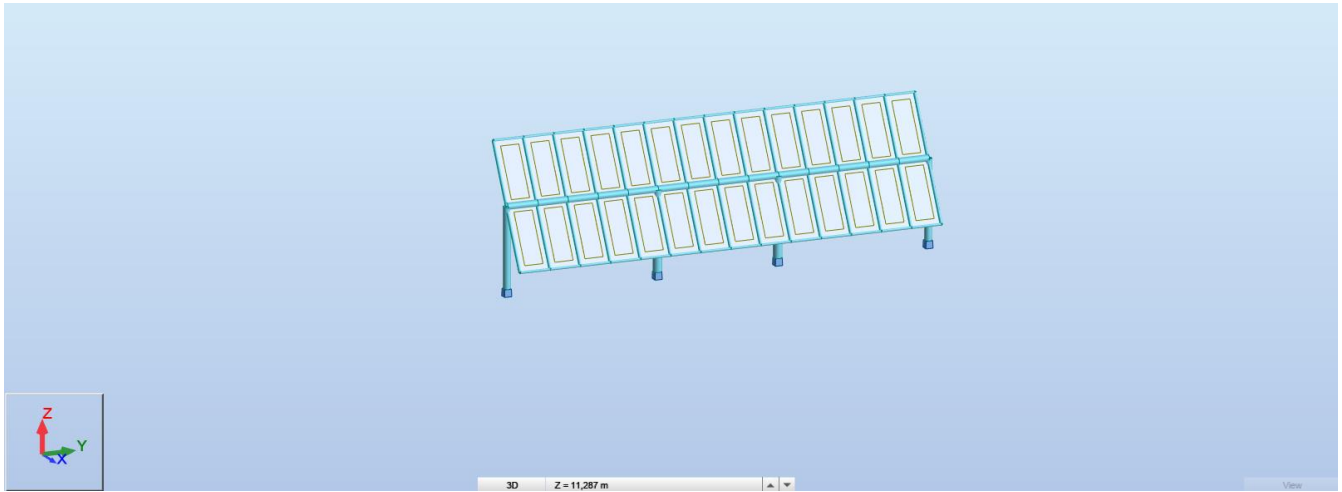


FIG. 2 –Struttura a sostegno dei tracker – 3D modello di calcolo

## **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 10084
Profili ad I laminati a caldo ed alla 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, J0, J2 e K2 (UNI EN 10025-2, acciai non legati);  
S275, S355, S420 e S460 N e NL (UNI EN 10025-3, acciai a grana fine);  
S275, S355, S420 e S460 M e ML (UNI EN 10025-4, acciai a grana fine);  
S235J0W, S235J2W, S355J0W, S355J2W e S355K2W (UNI EN 10025-5, acciai con resistenza alla corrosione migliorata).  
(2) Tolleranza sullo spessore: Classe B, per serbatoi e ciminiere: Classe C.  
(3) Valide soltanto per le dimensioni; per le tolleranze di laminazione vale la UNI EN 10034.

### **Acciaio per profilati, piatti, lamiere**

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

$f_{yk} = 275 \text{ MPa}$  ( $t \leq 40 \text{ mm}$ ) 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  $100^\circ\text{C}$ )

$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$  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	Wy	Wy	Vento
4	Wx	Wx	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	HJT cell
Cell configuration	132 cells (6×11+6×11)
Module dimensions	2384×1303×35mm
Weight	41kg
Superstrate	High Transmission, Low Iron, Tempered ARC Glass
Substrate	Tempered Glass
Frame	High strength alloy steel
J-Box	Potted, IP68, 1500VDC, TÜV&UL Certified
Cables	4.0mm <sup>2</sup> (12AWG), Positive(+)350mm, Negative(-)230mm (Connector Included )
Connector	Risen Twinsel PV-SY02, IP68

**Carichi da 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:

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

Comune: Pauli Arbarei (SU) – Lunamatrona (SU);  
 Regione: Sardegna  
 Zona: 6 (vb,0 = 28 m/s, a0 = 500 m, ks=0.36).

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

Ove:

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

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

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

Altitudine:  $a_s = 288 \text{ m s.l.m.} < a_0 = 5000 \text{ m}$

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

Velocità di riferimento  $v_r = v_b \cdot C_r = 28.0 \text{ m/s}$  ( $T_r = 50 \text{ anni} \Rightarrow C_r = 1$ )

Pressione cinetica di riferimento  $q_r = 0.5 \cdot v_r^2 \cdot 1.25 = 490 \text{ N/m}^2$

Coefficiente di esposizione:

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

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

$c_t = 1$  coefficiente di topografia

<b>Coefficiente di esposizione minimo</b>	<b>C<sub>e,min</sub></b>	1.800	<b>Z ≤ 4m</b>
<b>Coefficiente di esposizione al colmo</b>	<b>C<sub>e, 4.75m</sub></b>	1.90	<b>Z = 4.75m</b>

$$c_e = 1.90 \quad (\text{per } z_{colmo} = 4.75 \text{ m}) \quad q = q_b \cdot c_e = 490 \cdot 1.90 = 0.94 \text{ N/m}^2 = 0.94 \text{ kN/m}^2$$

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

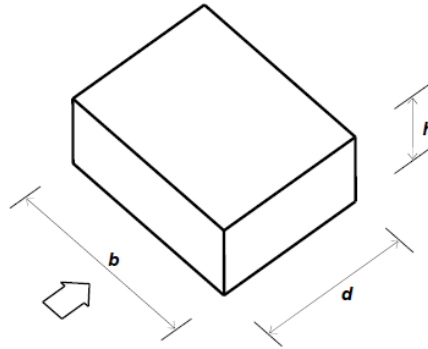


Figura G.1 – Parametri caratteristici di edifici a pianta rettangolare.

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

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

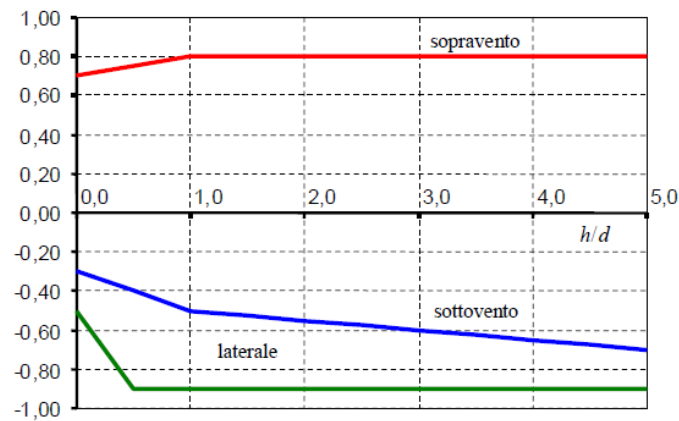


Figura G.2 – Edifici a pianta rettangolare:  $c_{pe}$  per facce sopravento, sottovento e laterali.

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 III

$$q_{sk} = 0.7 \text{ kN/m}^2$$

Altezza del sito sopra il livello del mare  $a_s = 288\text{m} > 200\text{m}$

$$q_{sk} = 0.51 \cdot [1 + (a_s/481)^2] = 0.7 \text{ kN/m}^2$$

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)

I comuni di Pauli Arbarei (SU) e di Lunamatrona (SU) sono classificati 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.

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.

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:  

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.3]
- Combinazione quasi permanente (SLE), 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:  

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$
 [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
		$\gamma_f$			
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	$\gamma_{Qj}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> 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	$\psi_{0j}$	$\psi_{1j}$	$\psi_{2j}$
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 $\leq 30$ 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 $\leq 1000$ 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

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

## 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.

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.

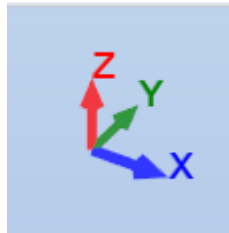


FIG. 3 – Sistema di riferimento globale modello 3d

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

Unità di misura utilizzate : kN, kNm

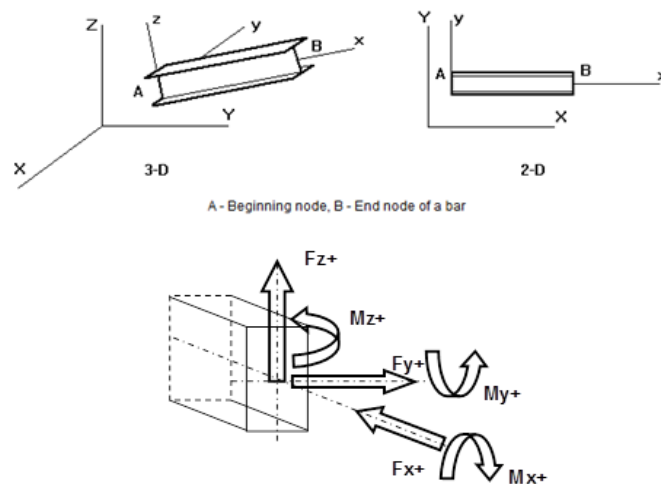


FIG. 4 – Sistema di riferimento locale elementi finiti monodimensionali (barre)

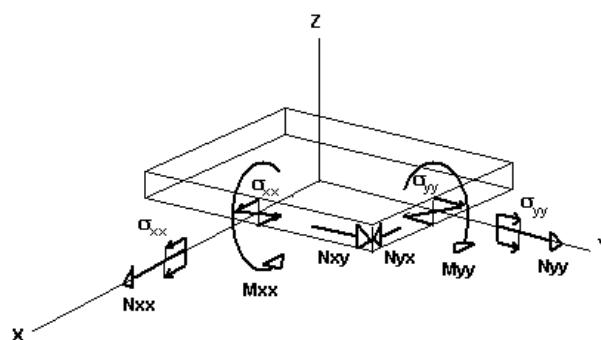


FIG. 5 – Sistema di riferimento locale elementi finiti bidimensionali



### 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

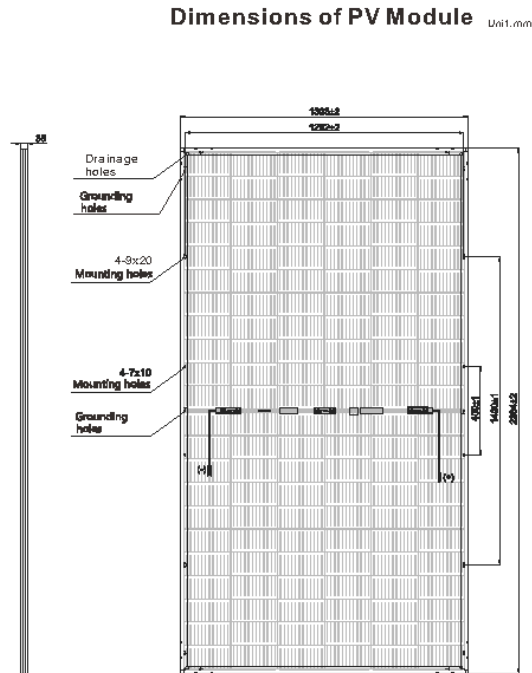


FIG. 6 –Datasheet Moduli PV

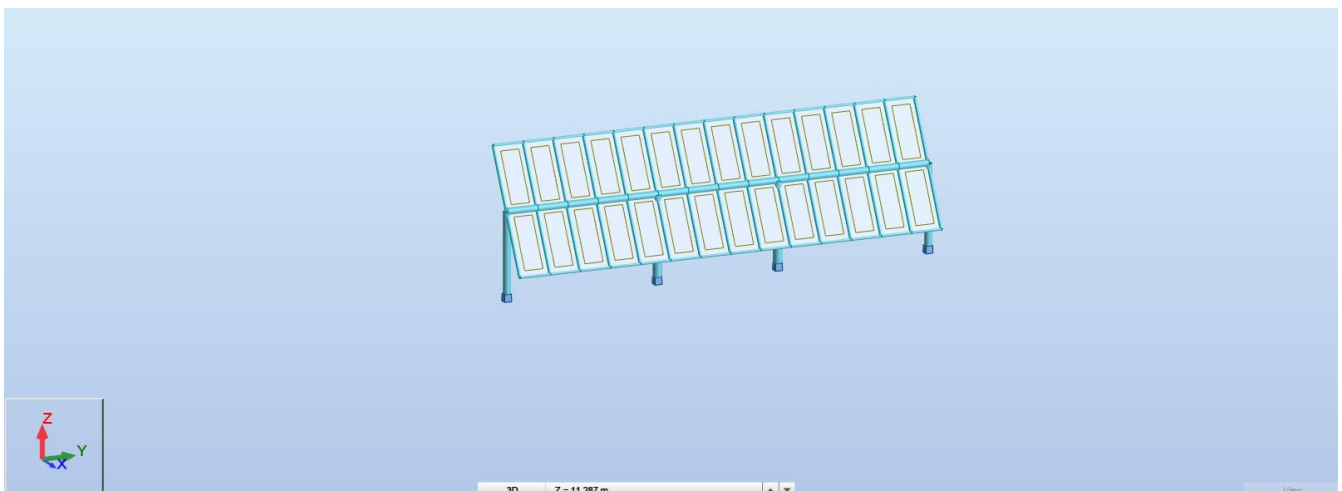


FIG. 7 – Vista 3D del modello di calcolo

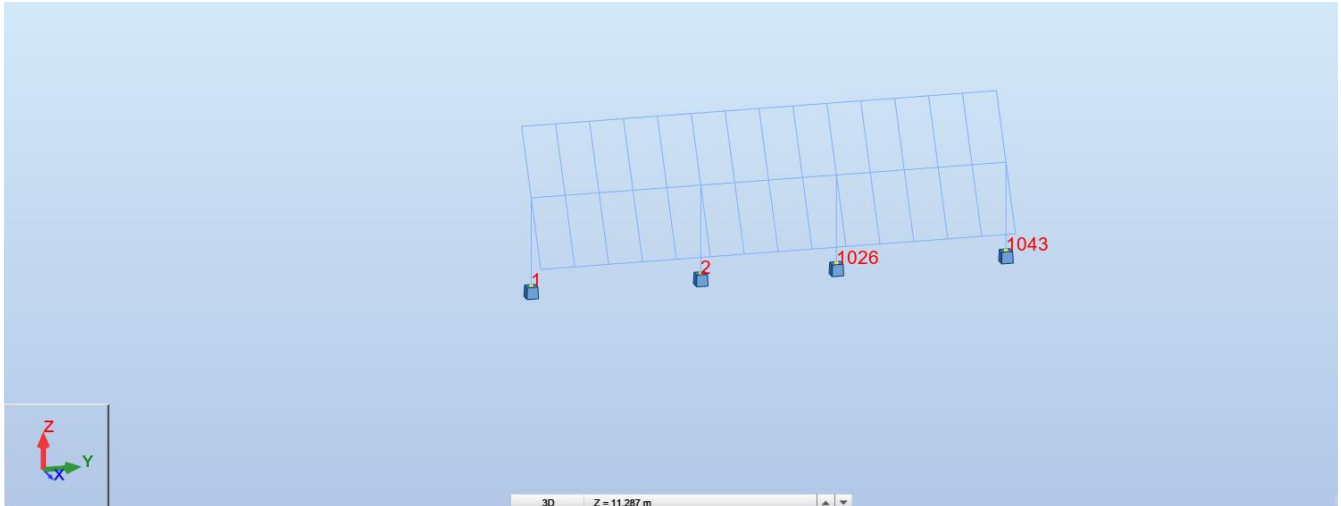


FIG. 8 – Nodi con vincoli alla base

## Nodi

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

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)	Vincoli
1	0,0	0,0	0,0	Incastro
1043	0,0	16,100	0,0	Incastro
1026	0,0	10,350	0,0	Incastro
2	0,0	5,750	0,0	Incastro
1047	-1,200	16,100	5,100	
1042	-1,200	14,950	5,100	
1046	0,0	14,950	3,000	
1045	1,200	14,950	0,900	
1041	0,0	13,800	3,000	
1040	1,200	13,800	0,900	
1039	-1,200	13,800	5,100	
1037	1,200	12,650	0,900	
1036	-1,200	12,650	5,100	
1034	1,200	11,500	0,900	
1033	-1,200	11,500	5,100	
1025	-1,200	9,200	5,100	
1022	-1,200	8,050	5,100	
1032	0,0	10,350	3,000	
1031	1,200	10,350	0,900	
1010	-1,200	3,450	5,100	
1009	0,0	2,300	3,000	
1008	1,200	2,300	0,900	
1007	-1,200	2,300	5,100	
1006	0,0	5,750	3,000	
1030	-1,200	10,350	5,100	
1044	0,0	16,100	3,000	

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)	Vincoli
1038	0,0	12,650	3,000	
1029	0,0	9,200	3,000	
1028	1,200	9,200	0,900	
1027	0,0	11,500	3,000	
1024	0,0	8,050	3,000	
1048	1,200	16,100	0,900	
1023	1,200	8,050	0,900	
1021	0,0	6,900	3,000	
1020	1,200	6,900	0,900	
1019	-1,200	6,900	5,100	
1017	1,200	5,750	0,900	
1016	-1,200	5,750	5,100	
1015	0,0	4,600	3,000	
1014	1,200	4,600	0,900	
1013	-1,200	4,600	5,100	
1012	0,0	3,450	3,000	
1011	1,200	3,450	0,900	
1002	0,0	1,150	3,000	
1001	0,0	0,0	3,000	
104	1,200	1,150	0,900	
103	-1,200	1,150	5,100	
102	-1,200	0,0	5,100	
101	1,200	0,0	0,900	

### 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	Wy	Wy	Vento
4	Wx	Wx	Vento

**Valori dei Carichi**

Condizione	Tipo di carico	Lista	Valori di carico
4:Wx	(FE) uniform	1225to1252	' PX=1,000(kN/m2)
4:Wx	(FE) uniform	1225to1252	' PY=0,017(kN/m2)
2:Permanente	(FE) uniform	1225to1252	' PZ=-0,140(kN/m2)
1:peso Proprio	self-weight	1 2 101to106 1016 1019to1023 1026to1030 1033to1037 1040to1044 1048to1052 1055to1060 1063to1067 1070to1074 1076to1080 1084to1088 1091to1096 1099to1103 1112to1116 1225to1252	' PZ Negative Factor=1,00

**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).

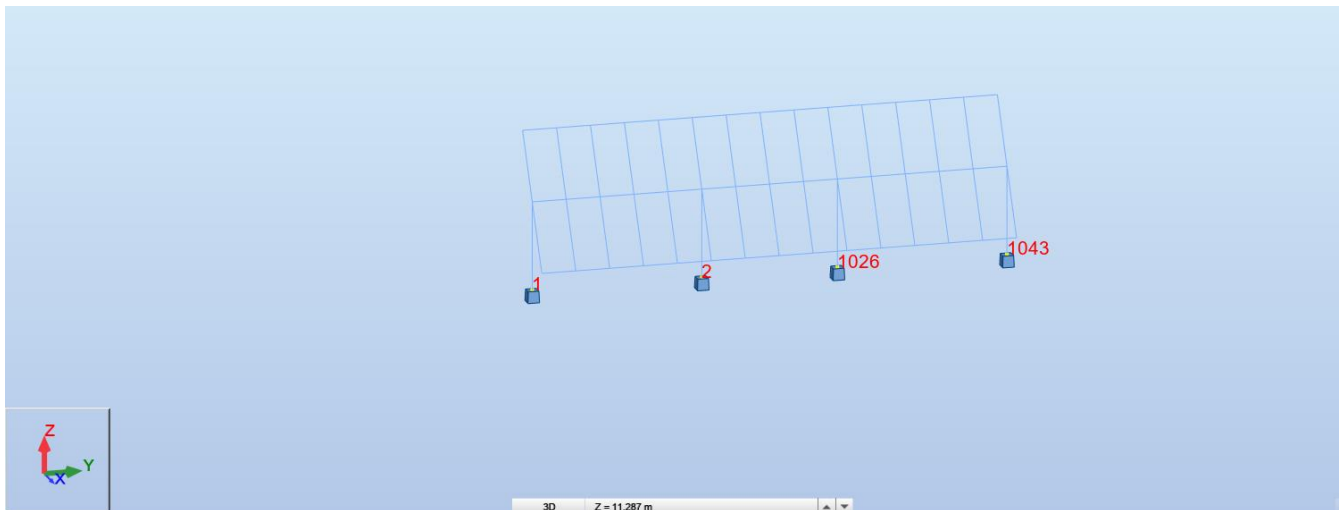


FIG. 9 – Numerazione dei nodi con vincolo alla base della struttura

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)
1/ 1	0,004	0,017	2,376	-0,082	0,012	-0,031
1/ 2	0,009	0,025	1,929	-0,120	0,027	-0,066
1/ 4	-13,963	-0,492	0,106	0,804	-42,093	0,161
1/ 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2/ 1	-0,023	0,060	3,240	-0,159	-0,064	0,018
2/ 2	-0,040	0,088	3,250	-0,233	-0,111	0,027
2/ 4	-23,045	-0,239	0,764	0,714	-69,430	-0,080
2/ 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1026/ 1	0,024	0,173	3,655	-0,273	0,066	0,008
1026/ 2	0,041	0,294	3,930	-0,440	0,112	0,008
1026/ 4	-27,889	-0,871	-1,857	1,347	-82,511	1,884

Nodo/Condiz./Modo	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
1026/ 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1043/ 1	-0,005	-0,249	2,299	0,180	-0,014	0,034
1043/ 2	-0,011	-0,408	1,795	0,307	-0,028	0,053
1043/ 4	-12,985	0,279	0,987	0,042	-39,610	-5,233
1043/ 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

### 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
1093 Colonna 1-1	TRON 273x6.3	S 275	63.61	63.61	0.51	8 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
2 Colonna 1-1	TRON 323x5.6	S 275	53.31	53.31	0.70	8 1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Wx
1 Colonna 1-1	TRON 273x6.3	S 275	63.61	63.61	0.54	9 1.3G1+1.5G2+1.5Q-1.5Wx
1057 Colonna 1-1	TRON 323x5.6	S 275	53.31	53.31	0.83	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 dei trasformatori.

Nella figura seguente si riporta il layout:

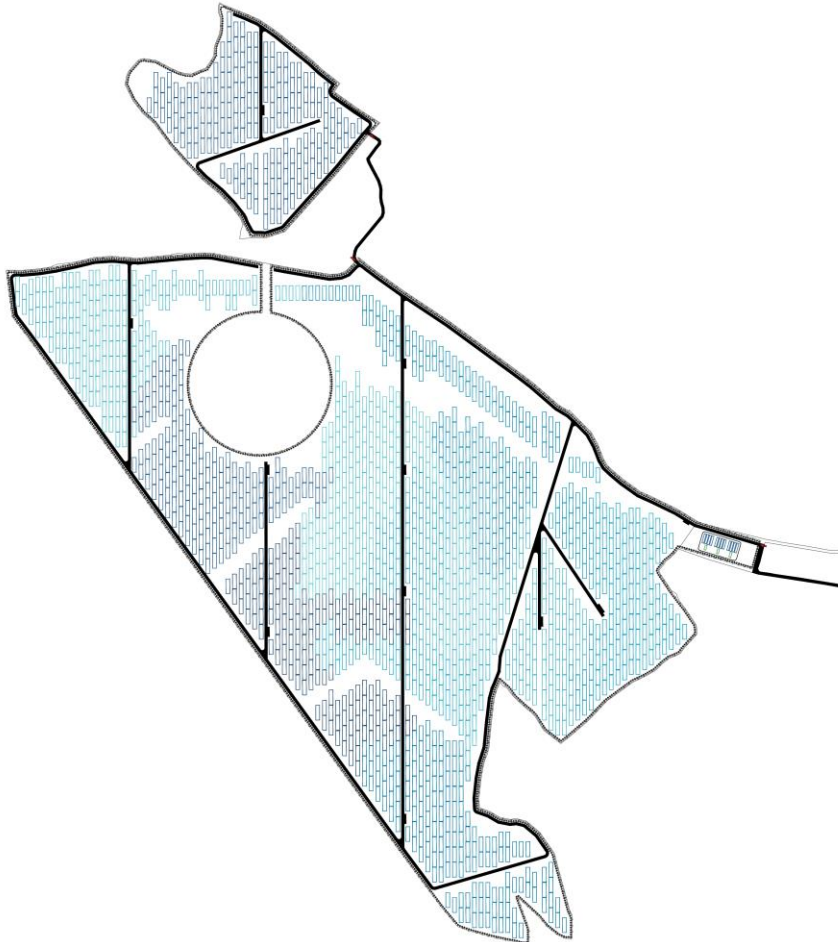


FIG. 10 - Layout d'impianto

### 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, mentre il trasformatore poggia su una platea di fondazione di dimensioni pari a 3.0mx4.0m 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 <sup>(*)</sup>
SLE	SLO					RIG		FUN
	SLD	RIG	RIG			RES		
SLU	SLV	RES	RES	STA	STA	RES	STA	STA
	SLC		DUT <sup>(**)</sup>			DUT <sup>(**)</sup>		

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

<sup>(\*\*)</sup> 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	$\leq 0.6$
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

### CARICHI CABINATI

Per poter effettuare il dimensionamento della fondazione della SW Station e dei trasformatori/inverter, si è reso necessario valutare le azioni gravanti sulla sovrastruttura.

#### Peso Proprio Struttura (G1)

Il peso proprio della struttura del traformatore/inverte, è stato ricavato dal datasheet di seguito riportato.

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

$$Peso_{SW \text{ Station}} = [(16.45m \cdot 0.2m \cdot 4.0m) + (3.1m \cdot 0.2m \cdot 4.0m)] * 2 * 25 \frac{kN}{m^3} = 782 \text{ kN} \approx 80 \text{ ton}$$

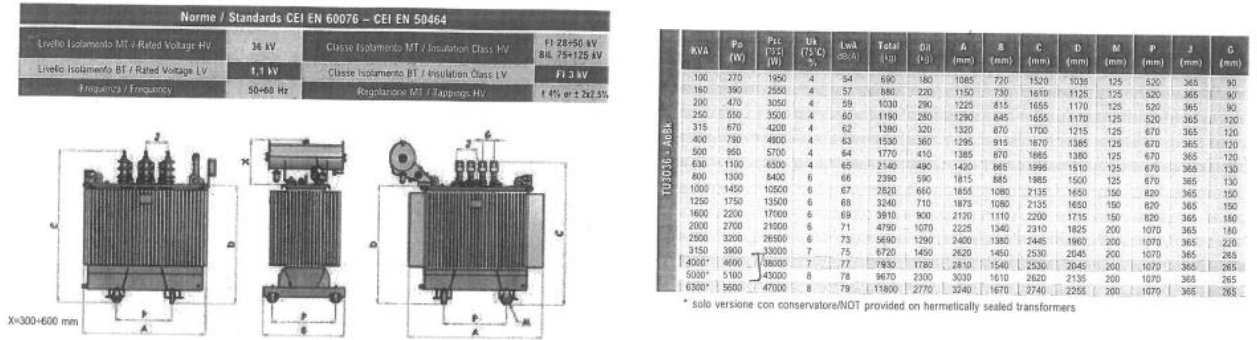



Fig. 11 – Datasheet Trasformatore

# SG3125/3400HV-30

Outdoor Inverter for 1500 Vdc System



**NEW**

**HIGH YIELD**

- Advanced three-level technology, max. inverter efficiency 99 %
- Effective cooling, full power operation at 50 °C

**SMART O&M**

- Integrated zone monitoring function for online analysis and trouble shooting
- Modular design, easy for maintenance
- Convenient external touch screen

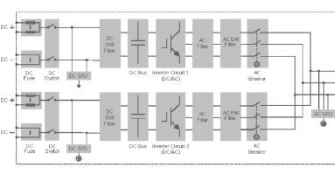
**SAVED INVESTMENT**

- Low transportation and installation cost due to outdoor design
- DC 1500 V system, low system cost
- Q at night function optional

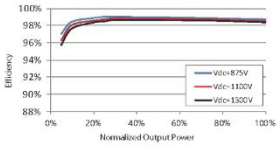
**GRID SUPPORT**

- Compliance with standards: IEC 61727, IEC 62116
- Low / High voltage ride through (L/HVRT)
- Active & reactive power control and power ramp rate control

**CIRCUIT DIAGRAM**



**EFFICIENCY CURVE**



© 2022 Sungrow Power Supply Co., Ltd. All rights reserved. Subject to change without notice. Version 14

<b>General Data</b>	
Dimensions (W*H*D)	2280 * 2280 * 1600 mm
Weight	3.2 T
Topology	Transformerless
Degree of protection	IP65
Night power consumption	< 200 W
Operating ambient temperature range	-35 to 60 °C (> 50 °C derating)      -35 to 60 °C (> 45 °C derating)
Allowable relative humidity range	0 – 100 %
Cooling method	Temperature controlled forced air cooling
Max. operating altitude	4000 m (> 3000 m derating)
Display	Touch screen
Communication	Standard: RS485, Ethernet
Compliance	CE, IEC 62109, IEC 61727, IEC 62116
Grid support	Q at night function (optional), L/HVRT, active & reactive power control and power ramp rate control

FIG. 12 – Datasheet Inverter

### Carichi permanenti non strutturali (G2)

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

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

### 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 dovrà essere conforme al D.M. 17/01/18:

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

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

Zona di carico della neve III

$$q_{sk} = 0.7 \text{ kN/m}^2$$

Altezza del sito sopra il livello del mare  $a_s = 288 \text{ m} > 200 \text{ m}$

$$q_s = 0.51 \cdot [1 + (a_s/481)^2] \approx 0.70 \text{ kN/m}^2$$

### 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:

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

Comune: Pauli Arbarei (Su) – Lunamatrona (SU);

Regione: Sardegna

Zona: 6 ( $v_{b,0} = 28 \text{ m/s}$ ,  $a_0 = 500 \text{ m}$ ,  $k_s = 0.36$ ).

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

Ove:

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

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

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

Altitudine:  $a_s = 288 \text{ m s.l.m.} < a_0 = 500 \text{ m}$

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

Velocità di riferimento  $v_r = v_b \cdot C_r = 28.0 \text{ m/s}$  ( $T_r = 50 \text{ anni} \Rightarrow C_r = 1$ )

Pressione cinetica di riferimento

$$q_r = 0.5 \cdot v_r^2 \cdot 1.25 = 490 \text{ N/m}^2$$

Coefficiente di esposizione:

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

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

$c_t = 1$  coefficiente di topografia

**Coefficiente di esposizione minimo**      **C<sub>e,min</sub>**      **1.80**      **Z ≤ 4m**

$c_e = 1.80$  (per  $z \leq 4 \text{ m}$ )       $q = q_b \cdot c_e = 490 \cdot 1.80 = 890 \text{ N/m}^2 = 0.89 \text{ kN/m}^2$

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

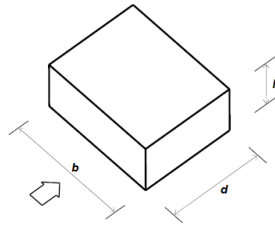


Figura G.1 – Parametri caratteristici di edifici a pianta rettangolare.

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

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

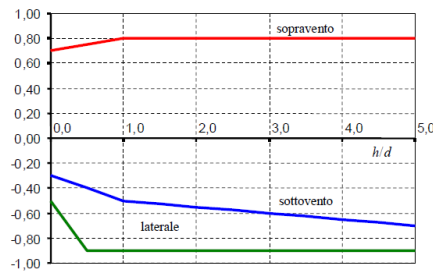


Figura G.2 – Edifici a pianta rettangolare:  $c_{pe}$  per facce sopravvento, sottovento e laterali.

### 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:

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

### Carichi Sismici

I comuni di Pauli Arbarei (SU) e Lunamatrona(SU) sono classificati 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.

Il lasso di tempo in questione è il “V<sub>R</sub>” che, associato alla “probabilità di superamento nel periodo di riferimento” P<sub>VR</sub>,

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.

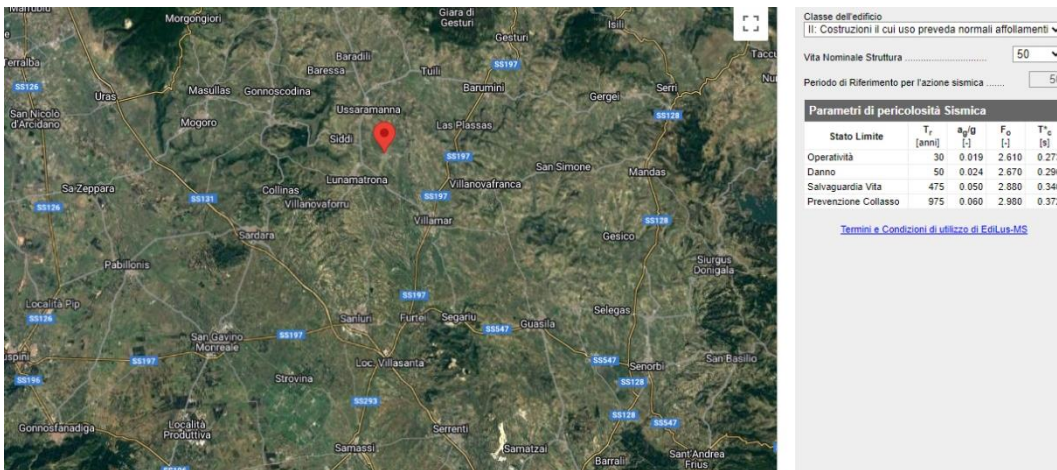
Si riportano di seguito i dati sismici del sito in oggetto.

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 i Comuni di Pauli Arbarei (SU) e Lunamatrona (SU), i valori di riferimento per il calcolo dell'azione sismica sono riportati nelle tabelle sottostanti.



Parametri di pericolosità Sismica				
Stato Limite	$T_r$ [anni]	$a_g$ [-]	$F_o$ [-]	$T^*_c$ [s]
Operatività	30	0,019	2,610	0,273
Danno	50	0,024	2,676	0,296
Salvaguardia Vita	475	0,050	2,880	0,340
Prevenzione Collasso	975	0,060	2,980	0,372

Parametri di pericolosità Sismica				
"Stato Limite"	$T_r$	$a_g$	$F_o$	$T^*_c$
	[anni]	[g]	[-]	[s]
Operatività	30	0,019	2,61	0,273
Danno	50	0,024	2,67	0,296
Salvaguardia Vita	475	0,05	2,88	0,34
Prevenzione Collasso	975	0,06	2,98	0,372

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  $S = S_S \times S_T$  ;

$S_S$ : Coefficiente di amplificazione stratigrafica;

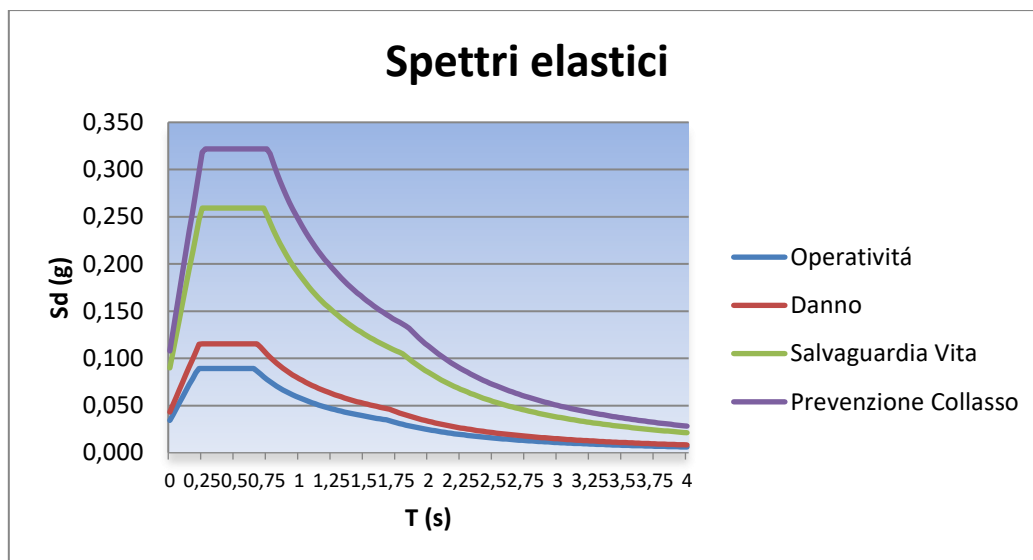
$S_T$ : Coefficiente di amplificazione topografica;

$\eta$ : 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

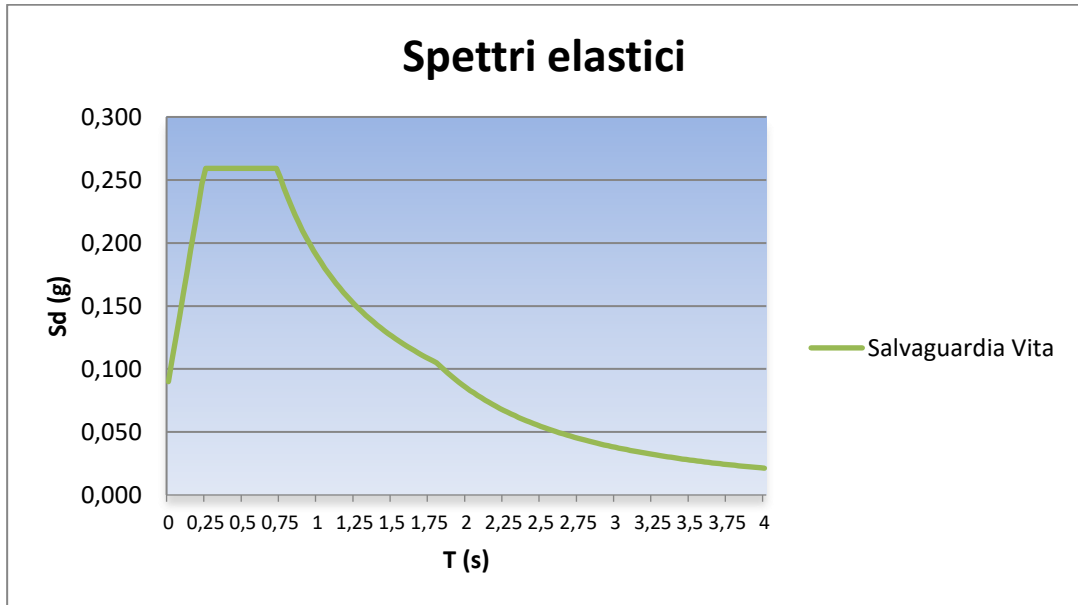


Considerando la tabella seguente per la classificazione stratigrafica e topografica del sito

Categoria di profilo stratigrafico	D
Categoria Topografica:	T1

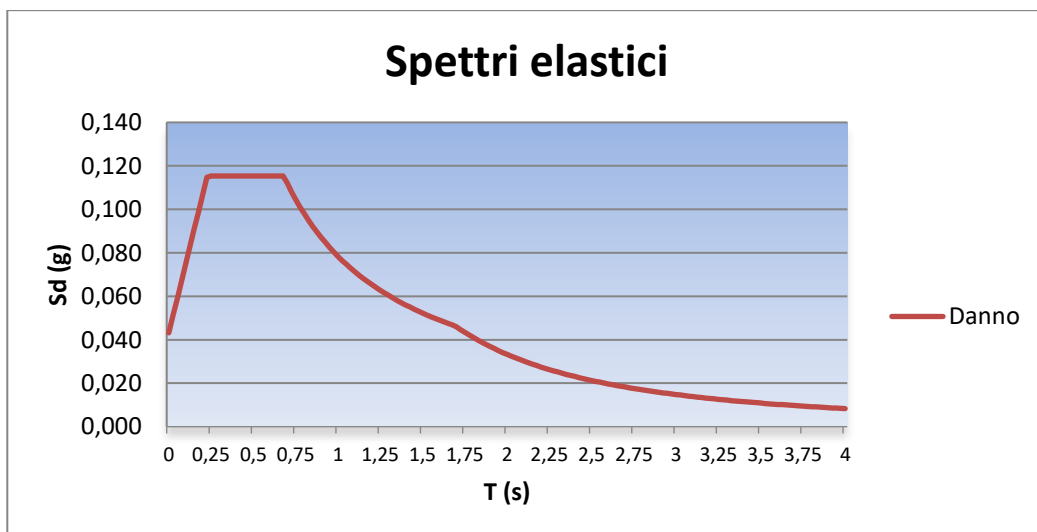
Stato limite di Salvaguardia della vita (SLV)

ORIZZONTALE					
$S_s$	$C_c$	$S$	$T_B$	$T_C$	$T_D$
1,78	2,35	1,78	0,222	0,666	2,268



Stato limite di Danno (SLD)

ORIZZONTALE					
Ss	Cc	S	TB	TC	TD
1,80	2,39	1,80	0,218	0,653	1,848



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.



REAZIONI VINCOLARI SW STATION

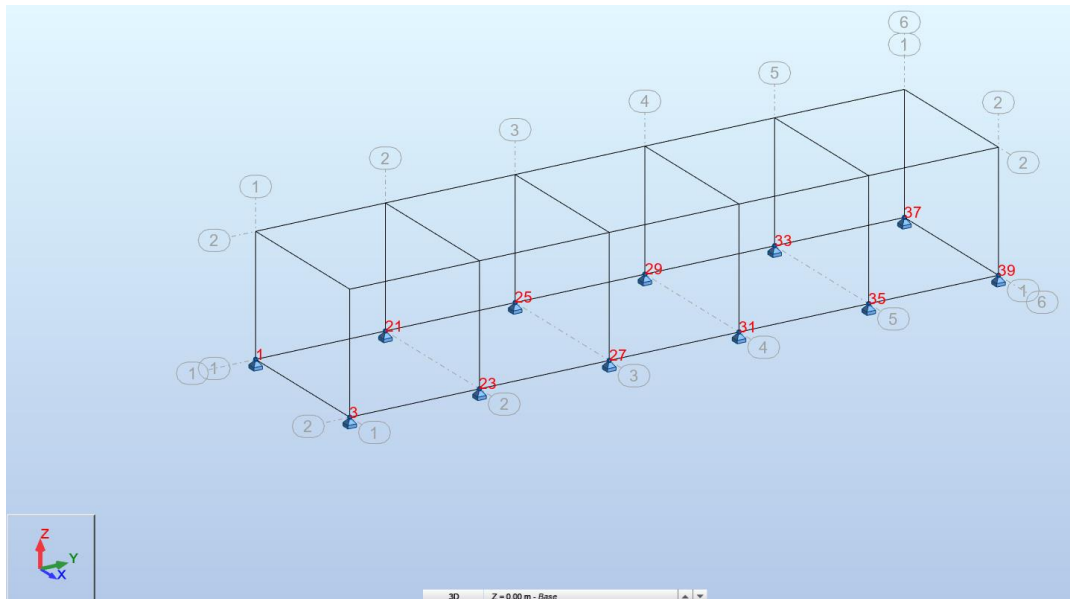


Fig. 13 – Nodi Container

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)	Vincoli
37	0,0	16,45	0,0	Cerniera
35	4,00	13,16	0,0	Cerniera
33	0,0	13,16	0,0	Cerniera
31	4,00	9,87	0,0	Cerniera
27	4,00	6,58	0,0	Cerniera
1	0,0	0,0	0,0	Cerniera
39	4,00	16,45	0,0	Cerniera
29	0,0	9,87	0,0	Cerniera
3	4,00	0,0	0,0	Cerniera
25	0,0	6,58	0,0	Cerniera
23	4,00	3,29	0,0	Cerniera
21	0,0	3,29	0,0	Cerniera

Nodo/Condizione	Fx(kN)	Fy (kN)	Fz (kN)
1/ 1	0,26	0,11	4,76
1/ 2	0,07	0,02	1,19
1/ 3	0,28	0,09	4,76
1/ 4	0,65	0,21	3,24
1/ 5	-5,50	-0,72	-6,54
1/ 6	4,32	0,34	0,71
1/ 7	-1,06	-3,25	-4,37
1/ 8	-0,12	2,87	-1,46
1/ 9	0,40	1,79	2,84
3/ 1	-0,26	0,11	4,76
3/ 2	-0,07	0,02	1,19
3/ 3	-0,28	0,09	4,76
3/ 4	-0,65	0,21	3,24
3/ 5	-4,32	0,34	0,71
3/ 6	5,50	-0,72	-6,54

3/ 7	1,06	-3,25	-4,37
3/ 8	0,12	2,87	-1,46
3/ 9	-0,40	1,79	2,84
21/ 1	0,33	-0,02	9,55
21/ 2	0,10	-0,00	3,07
21/ 3	0,39	-0,01	12,30
21/ 4	1,39	-0,04	6,95
21/ 5	-11,09	0,23	-13,88
21/ 6	8,60	-0,16	1,36
21/ 7	-1,20	-1,62	-5,76
21/ 8	-1,30	1,69	-6,75
21/ 9	0,46	1,51	-1,56
23/ 1	-0,33	-0,02	9,55
23/ 2	-0,10	-0,00	3,07
23/ 3	-0,39	-0,01	12,30
23/ 4	-1,39	-0,04	6,95
23/ 5	-8,60	-0,16	1,36
23/ 6	11,09	0,23	-13,88
23/ 7	1,20	-1,62	-5,76
23/ 8	1,30	1,69	-6,75
23/ 9	-0,46	1,51	-1,56
25/ 1	0,32	0,00	8,91
25/ 2	0,09	0,00	2,81
25/ 3	0,37	0,00	11,24
25/ 4	1,39	0,01	6,76
25/ 5	-11,16	0,01	-13,71
25/ 6	8,66	-0,02	1,53
25/ 7	-1,25	-1,29	-6,19
25/ 8	-1,25	1,27	-5,98
25/ 9	0,47	0,46	-0,44
27/ 1	-0,32	0,00	8,91
27/ 2	-0,09	0,00	2,81
27/ 3	-0,37	0,00	11,24
27/ 4	-1,39	0,01	6,76
27/ 5	-8,66	-0,02	1,53
27/ 6	11,16	0,01	-13,71
27/ 7	1,25	-1,29	-6,19
27/ 8	1,25	1,27	-5,98
27/ 9	-0,47	0,46	-0,44
29/ 1	0,32	-0,00	8,91
29/ 2	0,09	-0,00	2,81
29/ 3	0,37	-0,00	11,24
29/ 4	1,39	-0,01	6,76
29/ 5	-11,16	-0,01	-13,71
29/ 6	8,66	0,02	1,53
29/ 7	-1,25	-1,27	-5,98
29/ 8	-1,25	1,29	-6,19
29/ 9	0,47	-0,46	-0,44
31/ 1	-0,32	-0,00	8,91
31/ 2	-0,09	-0,00	2,81
31/ 3	-0,37	-0,00	11,24
31/ 4	-1,39	-0,01	6,76
31/ 5	-8,66	0,02	1,53

31/ 6	11,16	-0,01	-13,71
31/ 7	1,25	-1,27	-5,98
31/ 8	1,25	1,29	-6,19
31/ 9	-0,47	-0,46	-0,44
33/ 1	0,33	0,02	9,55
33/ 2	0,10	0,00	3,07
33/ 3	0,39	0,01	12,30
33/ 4	1,39	0,04	6,95
33/ 5	-11,09	-0,23	-13,88
33/ 6	8,60	0,16	1,36
33/ 7	-1,30	-1,69	-6,75
33/ 8	-1,20	1,62	-5,76
33/ 9	0,46	-1,51	-1,56
35/ 1	-0,33	0,02	9,55
35/ 2	-0,10	0,00	3,07
35/ 3	-0,39	0,01	12,30
35/ 4	-1,39	0,04	6,95
35/ 5	-8,60	0,16	1,36
35/ 6	11,09	-0,23	-13,88
35/ 7	1,30	-1,69	-6,75
35/ 8	1,20	1,62	-5,76
35/ 9	-0,46	-1,51	-1,56
37/ 1	0,26	-0,11	4,76
37/ 2	0,07	-0,02	1,19
37/ 3	0,28	-0,09	4,76
37/ 4	0,65	-0,21	3,24
37/ 5	-5,50	0,72	-6,54
37/ 6	4,32	-0,34	0,71
37/ 7	-0,12	-2,87	-1,46
37/ 8	-1,06	3,25	-4,37
37/ 9	0,40	-1,79	2,84
39/ 1	-0,26	-0,11	4,76
39/ 2	-0,07	-0,02	1,19
39/ 3	-0,28	-0,09	4,76
39/ 4	-0,65	-0,21	3,24
39/ 5	-4,32	-0,34	0,71
39/ 6	5,50	0,72	-6,54
39/ 7	0,12	-2,87	-1,46
39/ 8	1,06	3,25	-4,37
39/ 9	-0,40	-1,79	2,84

## REAZIONI VINCOLARI TRASFORMATORI/INVERTER

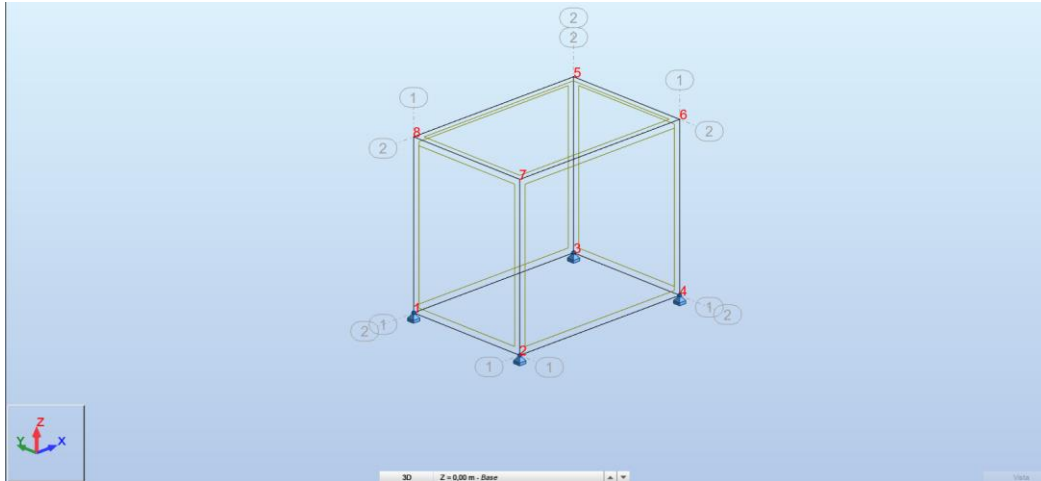


Fig. 14 – Nodi box trasformatore

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)	Vincoli
1	0,0	2,40	0,0	Cerniera
2	0,0	0,0	0,0	Cerniera
3	3,50	2,40	0,0	Cerniera
4	3,50	0,0	0,0	Cerniera
5	3,50	2,40	3,00	
6	3,50	0,0	3,00	
7	0,0	0,0	3,00	
8	0,0	2,40	3,00	

Nodo/Condizione	Fx(kN)	Fy (kN)	Fz (kN)
1/ 1/	0,05	-0,01	1,44
1/ 2/	0,10	-0,02	1,05
1/ 3/	0,10	-0,02	1,05
1/ 4/	0,15	-0,03	1,47
1/ 5/	-3,81	0,04	-5,35
1/ 6/	3,39	0,04	1,15
1/ 7/	-0,21	-5,21	5,26
1/ 8/	-0,21	5,29	-9,46
1/ 9/	0,05	-0,02	-0,00
1/ 11/ CQC	0,10	0,00	0,18
1/ 12/ CQC	0,22	0,00	0,38
1/ 13/ CQC	0,00	0,12	0,30
1/ 14/ CQC	0,00	0,27	0,68
2/ 1/	0,05	0,01	1,44
2/ 2/	0,10	0,02	1,05
2/ 3/	0,10	0,02	1,05
2/ 4/	0,15	0,03	1,47
2/ 5/	-3,81	-0,04	-5,35
2/ 6/	3,39	-0,04	1,15
2/ 7/	-0,21	-5,29	-9,46

2/ 8/	-0,21	5,21	5,26
2/ 9/	0,05	0,02	0,0
2/ 11/ CQC	0,10	0,00	0,18
2/ 12/ CQC	0,22	0,00	0,38
2/ 13/ CQC	0,00	0,12	0,30
2/ 14/ CQC	0,00	0,27	0,68
3/ 1/	-0,05	-0,01	1,44
3/ 2/	-0,10	-0,02	1,05
3/ 3/	-0,10	-0,02	1,05
3/ 4/	-0,15	-0,03	1,47
3/ 5/	-3,39	0,04	1,15
3/ 6/	3,81	0,04	-5,35
3/ 7/	0,21	-5,21	5,26
3/ 8/	0,21	5,29	-9,46
3/ 9/	-0,05	-0,02	-0,00
3/ 11/ CQC	0,10	0,00	0,18
3/ 12/ CQC	0,22	0,00	0,38
3/ 13/ CQC	0,00	0,12	0,30
3/ 14/ CQC	0,00	0,27	0,68
4/ 1/	-0,05	0,01	1,44
4/ 2/	-0,10	0,02	1,05
4/ 3/	-0,10	0,02	1,05
4/ 4/	-0,15	0,03	1,47
4/ 5/	-3,39	-0,04	1,15
4/ 6/	3,81	-0,04	-5,35
4/ 7/	0,21	-5,29	-9,46
4/ 8/	0,21	5,21	5,26
4/ 9/	-0,05	0,02	0,0
4/ 11/ CQC	0,10	0,00	0,18
4/ 12/ CQC	0,22	0,00	0,38
4/ 13/ CQC	0,00	0,12	0,30
4/ 14/ CQC	0,00	0,27	0,68

## 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 $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> 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  $\gamma_{G1}$

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

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

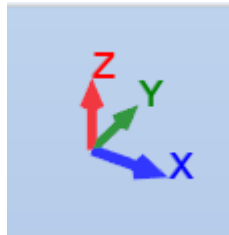


FIG. 15 – Sistema di riferimento globale modello 3d

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

Unità di misura utilizzate : kN, kNm

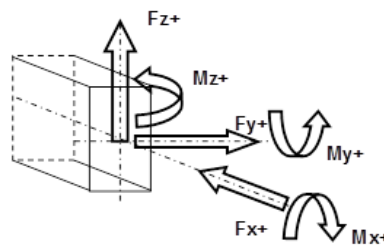
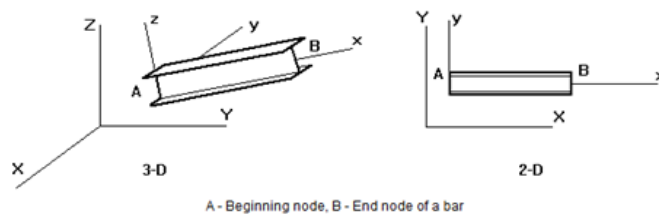


FIG. 16 – Sistema di riferimento locale elementi finiti monodimensionali (barre)

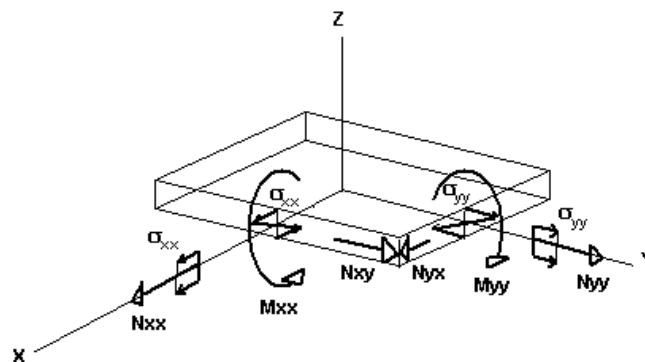


FIG. 17 –Sistema di riferimento locale elementi finiti bidimensionali



## MODELLO DI CALCOLO 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 2000 kN/m<sup>3</sup> e orizzontale pari a 1000 kN/m<sup>3</sup>, i pedestal invece sono stati schematizzati come elementi monodimensionali tipo "beam".

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:

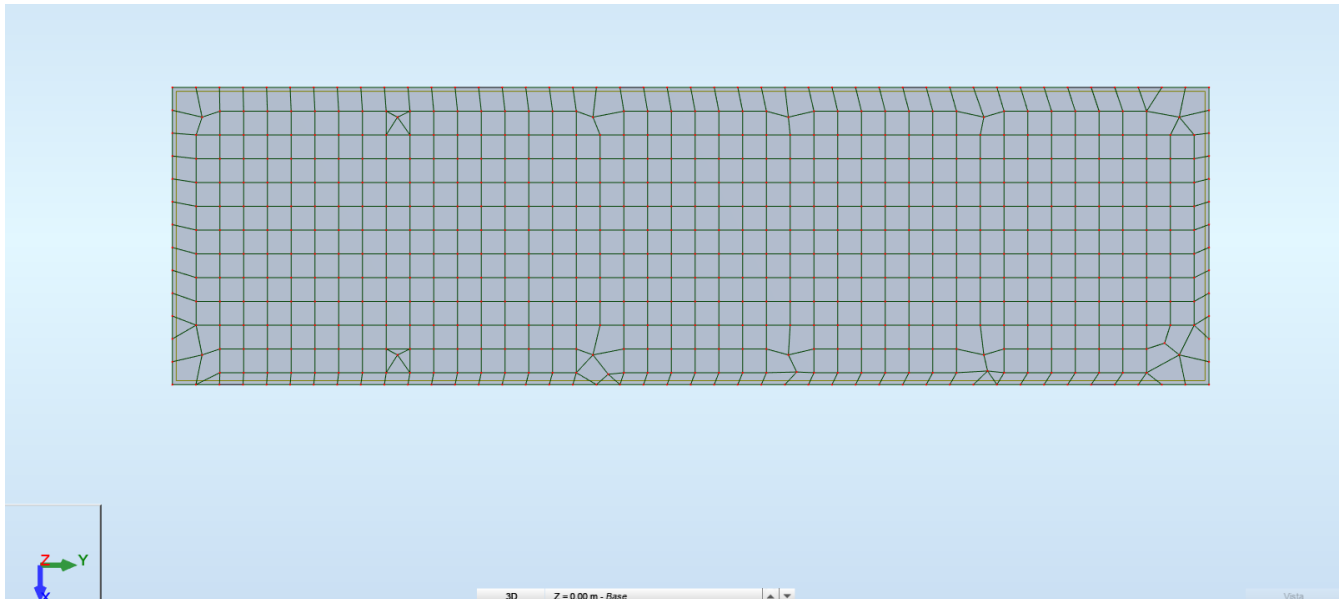


FIG. 18 – Planimetria modello di calcolo

### 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 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

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	0,0	0,0	0,30
2	-0,10	0,30	0,0
3	4,00	0,0	0,30
4	0,30	0,30	0,0
5	0,30	0,70	0,0
6	-0,10	0,70	0,0
7	0,30	1,10	0,0
8	-0,10	1,10	0,0
9	0,30	1,50	0,0
10	-0,10	1,50	0,0
11	0,30	1,90	0,0
12	-0,10	1,90	0,0
13	0,30	2,30	0,0

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
215	1,50	9,50	0,0
216	1,50	9,90	0,0
217	1,50	10,30	0,0
218	1,50	10,70	0,0
219	1,50	11,10	0,0
220	1,50	11,50	0,0
221	1,50	11,90	0,0
222	1,50	12,30	0,0
223	1,50	12,70	0,0
224	1,50	13,10	0,0
225	1,50	13,50	0,0
226	1,50	13,90	0,0
227	1,50	14,30	0,0

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
428	3,50	8,70	0,0
429	3,50	9,10	0,0
430	3,50	9,50	0,0
431	3,50	9,90	0,0
432	3,50	10,30	0,0
433	3,50	10,70	0,0
434	3,50	11,10	0,0
435	3,50	11,50	0,0
436	3,50	11,90	0,0
437	3,50	12,30	0,0
438	3,50	12,70	0,0
439	3,50	13,10	0,0
440	3,50	13,50	0,0

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
14	-0,10	2,30	0,0
15	0,30	2,70	0,0
16	-0,10	2,70	0,0
17	0,30	3,10	0,0
18	-0,10	3,10	0,0
19	-0,10	3,50	0,0
20	0,30	3,50	0,0
21	0,0	3,29	0,30
22	0,30	3,90	0,0
23	4,00	3,29	0,30
24	-0,10	3,90	0,0
25	0,0	6,58	0,30
26	0,30	4,30	0,0
27	4,00	6,58	0,30
28	-0,10	4,30	0,0
29	0,0	9,87	0,30
30	0,30	4,70	0,0
31	4,00	9,87	0,30
32	-0,10	4,70	0,0
33	0,0	13,16	0,30
34	0,30	5,10	0,0
35	4,00	13,16	0,30
36	-0,10	5,10	0,0
37	0,0	16,45	0,30
38	0,30	5,50	0,0
39	4,00	16,45	0,30
40	0,0	0,0	0,0
41	4,00	0,0	0,0
42	0,0	3,29	0,0
43	4,00	3,29	0,0
44	0,0	6,58	0,0
45	4,00	6,58	0,0
46	0,0	9,87	0,0
47	4,00	9,87	0,0
48	0,0	13,16	0,0
49	4,00	13,16	0,0
50	0,0	16,45	0,0
51	4,00	16,45	0,0
52	-0,10	5,50	0,0
53	0,30	5,90	0,0
54	-0,10	5,90	0,0
55	0,30	6,30	0,0
56	-0,10	6,30	0,0
57	-0,10	7,10	0,0
58	0,30	7,10	0,0
59	0,30	7,50	0,0
60	-0,10	7,50	0,0
61	0,30	7,90	0,0
62	-0,10	7,90	0,0
63	0,30	8,30	0,0
64	-0,10	8,30	0,0
65	0,30	8,70	0,0
66	-0,10	8,70	0,0
67	0,30	9,10	0,0
68	-0,10	9,10	0,0
69	0,30	9,50	0,0
70	-0,10	9,50	0,0
71	-0,10	10,30	0,0
72	0,30	10,30	0,0
73	0,30	10,70	0,0
74	-0,10	10,70	0,0
75	0,30	11,10	0,0
76	-0,10	11,10	0,0
77	0,30	11,50	0,0
78	-0,10	11,50	0,0
79	0,30	11,90	0,0
80	-0,10	11,90	0,0
81	0,30	12,30	0,0
82	-0,10	12,30	0,0
83	0,30	12,70	0,0
84	-0,10	12,70	0,0

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
228	1,50	14,70	0,0
229	1,50	15,10	0,0
230	1,50	15,50	0,0
231	1,50	15,90	0,0
232	1,50	16,30	0,0
233	1,50	16,70	0,0
234	1,90	-0,10	0,0
235	1,90	0,30	0,0
236	1,90	0,70	0,0
237	1,90	1,10	0,0
238	-0,10	1,50	0,0
239	1,90	1,90	0,0
240	1,90	2,30	0,0
241	1,90	2,70	0,0
242	1,90	3,10	0,0
243	1,90	3,50	0,0
244	1,90	3,90	0,0
245	1,90	4,30	0,0
246	1,90	4,70	0,0
247	1,90	5,10	0,0
248	1,90	5,50	0,0
249	1,90	5,90	0,0
250	1,90	6,30	0,0
251	1,90	6,70	0,0
252	1,90	7,10	0,0
253	1,90	7,50	0,0
254	1,90	7,90	0,0
255	1,90	8,30	0,0
256	1,90	8,70	0,0
257	1,90	9,10	0,0
258	1,90	9,50	0,0
259	1,90	9,90	0,0
260	1,90	10,30	0,0
261	1,90	10,70	0,0
262	1,90	11,10	0,0
263	1,90	11,50	0,0
264	1,90	11,90	0,0
265	1,90	12,30	0,0
266	1,90	12,70	0,0
267	1,90	13,10	0,0
268	1,90	13,50	0,0
269	1,90	13,90	0,0
270	1,90	14,30	0,0
271	1,90	14,70	0,0
272	1,90	15,10	0,0
273	1,90	15,50	0,0
274	1,90	15,90	0,0
275	1,90	16,30	0,0
276	1,90	16,70	0,0
277	2,30	-0,10	0,0
278	2,30	0,30	0,0
279	2,30	0,70	0,0
280	2,30	1,10	0,0
281	2,30	1,50	0,0
282	2,30	1,90	0,0
283	2,30	2,30	0,0
284	2,30	2,70	0,0
285	2,30	3,10	0,0
286	2,30	3,50	0,0
287	2,30	3,90	0,0
288	2,30	4,30	0,0
289	2,30	4,70	0,0
290	2,30	5,10	0,0
291	2,30	5,50	0,0
292	2,30	5,90	0,0
293	2,30	6,30	0,0
294	2,30	6,70	0,0
295	2,30	7,10	0,0
296	2,30	7,50	0,0
297	2,30	7,90	0,0
298	2,30	8,30	0,0

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
441	3,50	13,90	0,0
442	3,50	14,30	0,0
443	3,50	14,70	0,0
444	3,50	15,10	0,0
445	3,50	15,50	0,0
446	3,50	15,90	0,0
447	3,50	16,30	0,0
448	3,50	16,70	0,0
449	3,90	0,30	0,0
450	3,90	0,70	0,0
451	3,90	1,10	0,0
452	3,90	1,50	0,0
453	3,90	1,90	0,0
454	3,90	2,30	0,0
455	3,90	2,70	0,0
456	3,90	3,10	0,0
457	3,90	3,50	0,0
458	3,90	3,90	0,0
459	3,90	4,30	0,0
460	3,90	4,70	0,0
461	3,90	5,10	0,0
462	3,90	5,50	0,0
463	3,90	5,90	0,0
464	3,90	6,30	0,0
465	3,90	7,10	0,0
466	3,90	7,50	0,0
467	3,90	7,90	0,0
468	3,90	8,30	0,0
469	3,90	8,70	0,0
470	3,90	9,10	0,0
471	3,90	9,50	0,0
472	3,90	10,30	0,0
473	3,90	10,70	0,0
474	3,90	11,10	0,0
475	3,90	11,50	0,0
476	3,90	11,90	0,0
477	3,90	12,30	0,0
478	3,90	12,70	0,0
479	3,90	13,50	0,0
480	3,90	13,90	0,0
481	3,90	14,30	0,0
482	3,90	14,70	0,0
483	3,90	15,10	0,0
484	3,90	15,50	0,0
485	3,90	15,90	0,0
486	4,30	0,30	0,0
487	4,30	0,70	0,0
488	4,30	1,10	0,0
489	4,30	1,50	0,0
490	4,30	1,90	0,0
491	4,30	2,30	0,0
492	4,30	2,70	0,0
493	4,30	3,10	0,0
494	4,30	3,50	0,0
495	4,30	3,90	0,0
496	4,30	4,30	0,0
497	4,30	4,70	0,0
498	4,30	5,10	0,0
499	4,30	5,50	0,0
500	4,30	5,90	0,0
501	4,30	6,30	0,0
502	4,30	7,10	0,0
503	4,30	7,50	0,0
504	4,30	7,90	0,0
505	4,30	8,30	0,0
506	4,30	8,70	0,0
507	4,30	9,10	0,0
508	4,30	9,50	0,0
509	4,30	10,30	0,0
510	4,30	10,70	0,0
511	4,30	11,10	0,0

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
85	-0,10	13,50	0,0
86	0,30	13,50	0,0
87	0,30	13,90	0,0
88	-0,10	13,90	0,0
89	0,30	14,30	0,0
90	-0,10	14,30	0,0
91	0,30	14,70	0,0
92	-0,10	14,70	0,0
93	0,30	15,10	0,0
94	-0,10	15,10	0,0
95	0,30	15,50	0,0
96	-0,10	15,50	0,0
97	0,30	15,90	0,0
98	-0,10	15,90	0,0
99	0,30	-0,10	0,0
100	0,70	-0,10	0,0
101	0,70	0,30	0,0
102	0,70	0,70	0,0
103	0,70	1,10	0,0
104	0,70	1,50	0,0
105	0,70	1,90	0,0
106	0,70	2,30	0,0
107	0,70	2,70	0,0
108	0,70	3,10	0,0
109	0,70	3,50	0,0
110	0,70	3,90	0,0
111	0,70	4,30	0,0
112	0,70	4,70	0,0
113	0,70	5,10	0,0
114	0,70	5,50	0,0
115	0,70	5,90	0,0
116	0,70	6,30	0,0
117	0,70	6,70	0,0
118	0,30	6,70	0,0
119	0,70	7,10	0,0
120	0,70	7,50	0,0
121	0,70	7,90	0,0
122	0,70	8,30	0,0
123	0,70	8,70	0,0
124	0,70	9,10	0,0
125	0,70	9,50	0,0
126	0,70	9,90	0,0
127	0,30	9,90	0,0
128	0,70	10,30	0,0
129	0,70	10,70	0,0
130	0,70	11,10	0,0
131	0,70	11,50	0,0
132	0,70	11,90	0,0
133	0,70	12,30	0,0
134	0,70	12,70	0,0
135	0,70	13,10	0,0
136	0,30	13,10	0,0
137	0,70	13,50	0,0
138	0,70	13,90	0,0
139	0,70	14,30	0,0
140	0,70	14,70	0,0
141	0,70	15,10	0,0
142	0,70	15,50	0,0
143	0,70	15,90	0,0
144	0,70	16,30	0,0
145	0,30	16,30	0,0
146	0,70	16,70	0,0
147	0,30	16,70	0,0
148	1,10	-0,10	0,0
149	1,10	0,30	0,0
150	1,10	0,70	0,0
151	1,10	1,10	0,0
152	1,10	1,50	0,0
153	1,10	1,90	0,0
154	1,10	2,30	0,0
155	1,10	2,70	0,0

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
299	2,30	8,70	0,0
300	2,30	9,10	0,0
301	2,30	9,50	0,0
302	2,30	9,90	0,0
303	2,30	10,30	0,0
304	2,30	10,70	0,0
305	2,30	11,10	0,0
306	2,30	11,50	0,0
307	2,30	11,90	0,0
308	2,30	12,30	0,0
309	2,30	12,70	0,0
310	2,30	13,10	0,0
311	2,30	13,50	0,0
312	2,30	13,90	0,0
313	2,30	14,30	0,0
314	2,30	14,70	0,0
315	2,30	15,10	0,0
316	2,30	15,50	0,0
317	2,30	15,90	0,0
318	2,30	16,30	0,0
319	2,30	16,70	0,0
320	2,70	-0,10	0,0
321	2,70	0,30	0,0
322	2,70	0,70	0,0
323	2,70	1,10	0,0
324	2,70	1,50	0,0
325	2,70	1,90	0,0
326	2,70	2,30	0,0
327	2,70	2,70	0,0
328	2,70	3,10	0,0
329	2,70	3,50	0,0
330	2,70	3,90	0,0
331	2,70	4,30	0,0
332	2,70	4,70	0,0
333	2,70	5,10	0,0
334	2,70	5,50	0,0
335	2,70	5,90	0,0
336	2,70	6,30	0,0
337	2,70	6,70	0,0
338	2,70	7,10	0,0
339	2,70	7,50	0,0
340	2,70	7,90	0,0
341	2,70	8,30	0,0
342	2,70	8,70	0,0
343	2,70	9,10	0,0
344	2,70	9,50	0,0
345	2,70	9,90	0,0
346	2,70	10,30	0,0
347	2,70	10,70	0,0
348	2,70	11,10	0,0
349	2,70	11,50	0,0
350	2,70	11,90	0,0
351	2,70	12,30	0,0
352	2,70	12,70	0,0
353	2,70	13,10	0,0
354	2,70	13,50	0,0
355	2,70	13,90	0,0
356	2,70	14,30	0,0
357	2,70	14,70	0,0
358	2,70	15,10	0,0
359	2,70	15,50	0,0
360	2,70	15,90	0,0
361	2,70	16,30	0,0
362	2,70	16,70	0,0
363	3,10	-0,10	0,0
364	3,10	0,30	0,0
365	3,10	0,70	0,0
366	3,10	1,10	0,0
367	3,10	1,50	0,0
368	3,10	1,90	0,0
369	3,10	2,30	0,0

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
512	4,30	11,50	0,0
513	4,30	11,90	0,0
514	4,30	12,30	0,0
515	4,30	12,70	0,0
516	4,30	13,50	0,0
517	4,30	13,90	0,0
518	4,30	14,30	0,0
519	4,30	14,70	0,0
520	4,30	15,10	0,0
521	4,30	15,50	0,0
522	4,30	15,90	0,0
523	-0,50	-0,10	0,0
524	-0,50	-0,50	0,0
525	-0,12	-0,50	0,0
526	-0,50	0,69	0,0
527	-0,50	0,29	0,0
528	-0,50	1,48	0,0
529	-0,50	1,09	0,0
530	-0,50	2,28	0,0
531	-0,50	1,88	0,0
533	-0,50	2,67	0,0
534	-0,50	3,47	0,0
535	-0,50	3,07	0,0
536	-0,50	4,26	0,0
537	-0,50	3,86	0,0
538	-0,50	5,05	0,0
539	-0,50	4,66	0,0
540	-0,50	5,85	0,0
541	-0,50	5,45	0,0
542	-0,50	6,64	0,0
543	-0,50	6,24	0,0
544	-0,50	7,04	0,0
545	-0,50	7,43	0,0
546	-0,50	8,22	0,0
547	-0,50	7,83	0,0
548	0,27	-0,50	0,0
549	0,65	-0,50	0,0
550	1,04	-0,50	0,0
552	1,42	-0,50	0,0
553	1,81	-0,50	0,0
554	2,19	-0,50	0,0
555	2,58	-0,50	0,0
557	-0,50	9,02	0,0
558	-0,50	8,62	0,0
559	-0,50	9,81	0,0
560	-0,50	9,41	0,0
561	-0,50	10,60	0,0
562	-0,50	10,21	0,0
563	-0,50	11,40	0,0
564	-0,50	11,00	0,0
566	-0,50	11,79	0,0
567	-0,50	12,19	0,0
568	-0,50	12,98	0,0
569	-0,50	12,59	0,0
570	-0,50	13,78	0,0
571	-0,50	13,38	0,0
572	-0,50	14,57	0,0
573	-0,50	14,17	0,0
575	-0,50	15,36	0,0
576	-0,50	15,76	0,0
577	-0,50	14,97	0,0
578	-0,50	16,16	0,0
579	-0,12	16,95	0,0
580	-0,50	16,55	0,0
582	-0,50	16,95	0,0
583	4,29	10,01	0,0
584	0,27	16,95	0,0
585	0,65	16,95	0,0
586	1,04	16,95	0,0
587	4,33	6,84	0,0
588	3,80	16,20	0,0

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
156	1,10	3,10	0,0
157	1,10	3,50	0,0
158	1,10	3,90	0,0
159	1,10	4,30	0,0
160	1,10	4,70	0,0
161	1,10	5,10	0,0
162	1,10	5,50	0,0
163	1,10	5,90	0,0
164	1,10	6,30	0,0
165	1,10	6,70	0,0
166	1,10	7,10	0,0
167	1,10	7,50	0,0
168	1,10	7,90	0,0
169	1,10	8,30	0,0
170	1,10	8,70	0,0
171	1,10	9,10	0,0
172	1,10	9,50	0,0
173	1,10	9,90	0,0
174	1,10	10,30	0,0
175	1,10	10,70	0,0
176	1,10	11,10	0,0
177	1,10	11,50	0,0
178	1,10	11,90	0,0
179	1,10	12,30	0,0
180	1,10	12,70	0,0
181	1,10	13,10	0,0
182	1,10	13,50	0,0
183	1,10	13,90	0,0
184	1,10	14,30	0,0
185	1,10	14,70	0,0
186	1,10	15,10	0,0
187	1,10	15,50	0,0
188	1,10	15,90	0,0
189	1,10	16,30	0,0
190	1,10	16,70	0,0
191	1,50	-0,10	0,0
192	1,50	0,30	0,0
193	1,50	0,70	0,0
194	1,50	1,10	0,0
195	1,50	1,50	0,0
196	1,50	1,90	0,0
197	1,50	2,30	0,0
198	1,50	2,70	0,0
199	1,50	3,10	0,0
200	1,50	3,50	0,0
201	1,50	3,90	0,0
202	1,50	4,30	0,0
203	1,50	4,70	0,0
204	1,50	5,10	0,0
205	1,50	5,50	0,0
206	1,50	5,90	0,0
207	1,50	6,30	0,0
208	1,50	6,70	0,0
209	1,50	7,10	0,0
210	1,50	7,50	0,0
211	1,50	7,90	0,0
212	1,50	8,30	0,0
213	1,50	8,70	0,0
214	1,50	9,10	0,0

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
370	3,10	2,70	0,0
371	3,10	3,10	0,0
372	3,10	3,50	0,0
373	3,10	3,90	0,0
374	3,10	4,30	0,0
375	3,10	4,70	0,0
376	3,10	5,10	0,0
377	3,10	5,50	0,0
378	3,10	5,90	0,0
379	3,10	6,30	0,0
380	3,10	6,70	0,0
381	3,10	7,10	0,0
382	3,10	7,50	0,0
383	3,10	7,90	0,0
384	3,10	8,30	0,0
385	3,10	8,70	0,0
386	3,10	9,10	0,0
387	3,10	9,50	0,0
388	3,10	9,90	0,0
389	3,10	10,30	0,0
390	3,10	10,70	0,0
391	3,10	11,10	0,0
392	3,10	11,50	0,0
393	3,10	11,90	0,0
394	3,10	12,30	0,0
395	3,10	12,70	0,0
396	3,10	13,10	0,0
397	3,10	13,50	0,0
398	3,10	13,90	0,0
399	3,10	14,30	0,0
400	3,10	14,70	0,0
401	3,10	15,10	0,0
402	3,10	15,50	0,0
403	3,10	15,90	0,0
404	3,10	16,30	0,0
405	3,10	16,70	0,0
406	3,50	-0,10	0,0
407	3,50	0,30	0,0
408	3,50	0,70	0,0
409	3,50	1,10	0,0
410	3,50	1,50	0,0
411	3,50	1,90	0,0
412	3,50	2,30	0,0
413	3,50	2,70	0,0
414	3,50	3,10	0,0
415	3,50	3,50	0,0
416	3,50	3,90	0,0
417	3,50	4,30	0,0
418	3,50	4,70	0,0
419	3,50	5,10	0,0
420	3,50	5,50	0,0
421	3,50	5,90	0,0
422	3,50	6,30	0,0
423	3,50	6,70	0,0
424	3,50	7,10	0,0
425	3,50	7,50	0,0
426	3,50	7,90	0,0
427	3,50	8,30	0,0

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
589	1,42	16,95	0,0
590	2,19	16,95	0,0
591	1,81	16,95	0,0
592	2,58	16,95	0,0
593	2,96	-0,50	0,0
594	3,35	-0,50	0,0
595	3,73	-0,50	0,0
597	4,50	-0,10	0,0
598	4,12	-0,50	0,0
599	4,50	1,09	0,0
600	4,50	1,88	0,0
601	4,50	1,48	0,0
602	4,50	0,69	0,0
605	4,50	3,07	0,0
606	4,50	2,67	0,0
607	4,50	3,86	0,0
608	4,50	3,47	0,0
609	4,50	2,28	0,0
610	4,50	0,29	0,0
611	4,50	4,66	0,0
612	4,50	-0,50	0,0
613	4,50	4,26	0,0
614	4,50	5,05	0,0
615	4,50	5,45	0,0
616	4,50	6,24	0,0
617	4,50	5,85	0,0
618	4,50	6,64	0,0
619	4,50	7,04	0,0
620	4,50	7,83	0,0
621	4,50	7,43	0,0
622	4,50	8,22	0,0
624	4,50	8,62	0,0
625	4,50	9,41	0,0
626	4,50	9,02	0,0
627	4,50	10,60	0,0
628	4,50	11,40	0,0
629	4,50	11,00	0,0
630	4,50	9,81	0,0
631	4,50	10,21	0,0
633	2,96	16,95	0,0
634	3,35	16,95	0,0
636	3,73	16,95	0,0
637	4,12	16,95	0,0
638	4,50	16,55	0,0
639	4,27	13,22	0,0
640	4,50	12,19	0,0
641	4,50	12,59	0,0
642	4,50	11,79	0,0
643	4,50	13,38	0,0
644	4,50	12,98	0,0
645	4,50	13,78	0,0
646	4,50	14,57	0,0
647	4,50	14,17	0,0
648	4,50	14,97	0,0
649	4,50	15,76	0,0
650	4,50	15,36	0,0
651	4,50	16,16	0,0
652	4,50	16,95	0,0

**Pannelli**

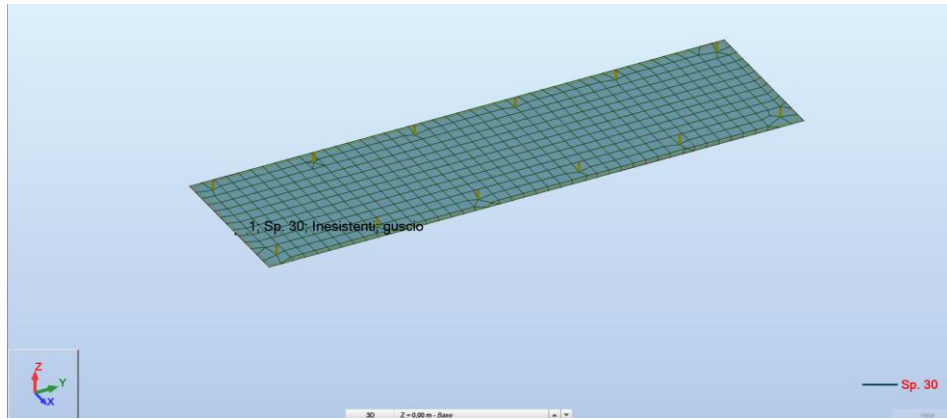


FIG. 19 – Numerazione Pannelli

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.

**MODELLO DI CALCOLO TRASFORMATORE/INVERTER**

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 2000 kN/m<sup>3</sup> e orizzontale pari a 1000 kN/m<sup>3</sup>, i pedestal invece sono stati schematizzati come elementi monodimensionali tipo “beam”.

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:

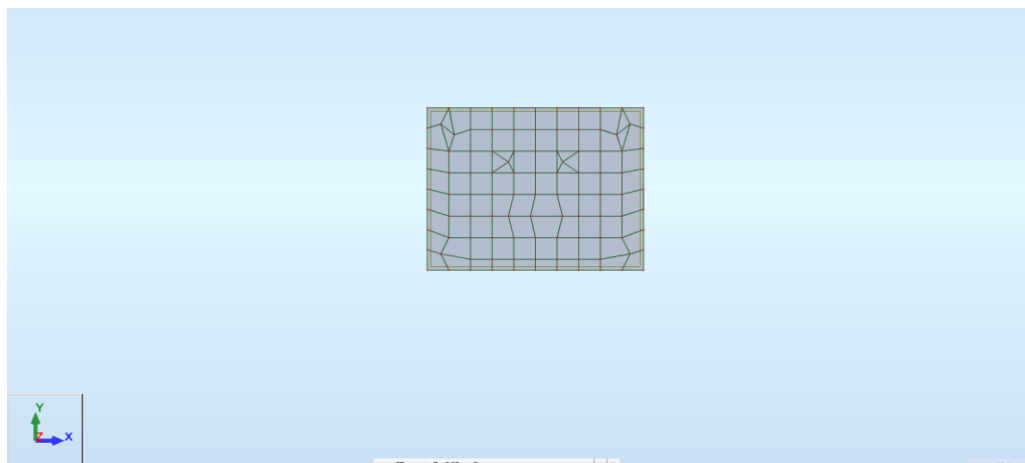


Fig. 20 – Planimetria modello di calcolo

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 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**

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	0,0	2,40	0,30
2	0,0	0,0	0,30
3	3,50	2,40	0,30
4	3,50	0,0	0,30
5	0,0	2,40	0,0
6	0,0	0,0	0,0
7	3,50	2,40	0,0
8	3,50	0,0	0,0
9	0,55	2,30	0,0
10	0,55	1,90	0,0
11	2,25	1,70	0,0
12	2,25	0,70	0,0
13	1,25	1,70	0,0
14	1,25	0,70	0,0
15	1,75	1,20	1,25
16	0,95	1,90	0,0
17	0,95	2,30	0,0
18	1,35	1,90	0,0
19	1,35	2,30	0,0
20	1,75	1,90	0,0
21	1,75	2,30	0,0
22	2,15	1,90	0,0
23	2,15	2,30	0,0
24	2,55	1,90	0,0
25	2,55	2,30	0,0
26	2,95	1,90	0,0
27	2,95	2,30	0,0
28	0,15	1,90	0,0
29	0,15	1,50	0,0
30	0,55	1,50	0,0
31	0,95	1,50	0,0
32	2,55	1,50	0,0
33	2,95	1,50	0,0
34	3,35	1,50	0,0
35	3,35	1,90	0,0
36	0,15	1,10	0,0

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
37	0,55	1,10	0,0
38	0,95	1,10	0,0
39	1,35	1,10	0,0
40	1,35	1,50	0,0
41	1,75	1,10	0,0
42	1,75	1,50	0,0
43	2,15	1,10	0,0
44	2,15	1,50	0,0
45	2,55	1,10	0,0
46	2,95	1,10	0,0
47	3,35	1,10	0,0
48	0,15	0,70	0,0
49	0,55	0,70	0,0
50	0,95	0,70	0,0
51	2,55	0,70	0,0
52	2,95	0,70	0,0
53	3,35	0,70	0,0
54	0,15	0,30	0,0
55	0,55	0,30	0,0
56	0,95	0,30	0,0
57	2,55	0,30	0,0
58	2,95	0,30	0,0
59	3,35	0,30	0,0
60	0,55	-0,10	0,0
61	0,95	-0,10	0,0
62	1,35	-0,10	0,0
63	1,35	0,30	0,0
64	1,75	-0,10	0,0
65	1,75	0,30	0,0
66	2,15	-0,10	0,0
67	2,15	0,30	0,0
68	2,55	-0,10	0,0
69	2,95	-0,10	0,0
70	0,15	2,70	0,0
71	-0,25	2,70	0,0
73	0,55	2,70	0,0

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
74	-0,25	2,33	0,0
75	0,25	2,20	0,0
76	1,35	2,70	0,0
77	0,95	2,70	0,0
78	1,75	2,70	0,0
79	-0,25	1,95	0,0
80	-0,25	1,57	0,0
81	-0,25	1,20	0,0
82	-0,25	0,83	0,0
84	2,55	2,70	0,0
85	2,15	2,70	0,0
86	2,95	2,70	0,0
87	3,35	2,70	0,0
89	3,75	2,70	0,0
90	3,25	2,20	0,0
91	3,75	2,33	0,0
92	3,75	1,95	0,0
94	3,75	1,57	0,0
95	3,75	1,20	0,0
96	-0,25	0,45	0,0
97	-0,25	0,07	0,0
99	1,66	0,70	0,0
101	-0,25	-0,30	0,0
102	0,15	-0,30	0,0
103	0,55	-0,30	0,0
104	0,95	-0,30	0,0
105	1,35	-0,30	0,0
106	1,75	-0,30	0,0
108	3,75	0,83	0,0
109	3,75	0,45	0,0
110	3,75	0,07	0,0
111	2,15	-0,30	0,0
112	2,55	-0,30	0,0
113	2,95	-0,30	0,0
115	3,35	-0,30	0,0
116	3,75	-0,30	0,0

**Pannelli**

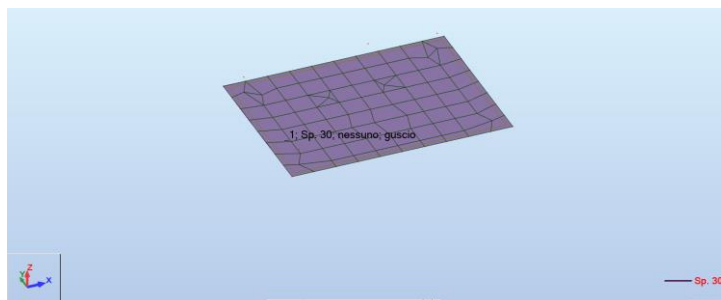


FIG. 21 – Numerazione Pannelli

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

#### Tabella dei Carichi – SW Station – Fondazione

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

Condiz .	Nome della condizione	Tipo di carico	Lista	Valori di carico
1	G1	peso proprio	1	' PZ Negativo Coeff.=1,00
1	G1	forza nodale	1	' FX=-0,26(kN) FY=-0,11(kN) FZ=-4,76(kN)
2	G2	forza nodale	1	' FX=-0,07(kN) FY=-0,02(kN) FZ=-1,19(kN)
3	Q	forza nodale	1	' FX=-0,28(kN) FY=-0,09(kN) FZ=-4,76(kN)
4	N	forza nodale	1	' FX=-0,65(kN) FY=-0,21(kN) FZ=-3,24(kN)
5	Vx+	forza nodale	1	' FX=5,50(kN) FY=0,72(kN) FZ=6,54(kN)
6	Vx-	forza nodale	1	' FX=-4,32(kN) FY=-0,34(kN) FZ=-0,71(kN)
7	Vy	forza nodale	1	' FX=1,06(kN) FY=3,25(kN) FZ=4,37(kN)
8	Vy-	forza nodale	1	' FX=0,12(kN) FY=-2,87(kN) FZ=1,46(kN)
9	T	forza nodale	1	' FX=-0,40(kN) FY=-1,79(kN) FZ=-2,84(kN)
1	G1	forza nodale	3	' FX=0,26(kN) FY=-0,11(kN) FZ=-4,76(kN)
2	G2	forza nodale	3	' FX=0,07(kN) FY=-0,02(kN) FZ=-1,19(kN)
3	Q	forza nodale	3	' FX=0,28(kN) FY=-0,09(kN) FZ=-4,76(kN)

4	N	forza nodale	3	' FX=0,65(kN) FY=-0,21(kN) FZ=-3,24(kN)
5	Vx+	forza nodale	3	' FX=4,32(kN) FY=-0,34(kN) FZ=-0,71(kN)
6	Vx-	forza nodale	3	' FX=-5,50(kN) FY=0,72(kN) FZ=6,54(kN)
7	Vy	forza nodale	3	' FX=-1,06(kN) FY=3,25(kN) FZ=4,37(kN)
8	Vy-	forza nodale	3	' FX=-0,12(kN) FY=-2,87(kN) FZ=1,46(kN)
9	T	forza nodale	3	' FX=0,40(kN) FY=-1,79(kN) FZ=-2,84(kN)
1	G1	forza nodale	21	' FX=-0,33(kN) FY=0,02(kN) FZ=-9,55(kN)
2	G2	forza nodale	21	' FX=-0,10(kN) FZ=-3,07(kN)
3	Q	forza nodale	21	' FX=-0,39(kN) FY=0,01(kN) FZ=-12,30(kN)
4	N	forza nodale	21	' FX=-1,39(kN) FY=0,04(kN) FZ=-6,95(kN)
5	Vx+	forza nodale	21	' FX=11,09(kN) FY=-0,23(kN) FZ=13,88(kN)
6	Vx-	forza nodale	21	' FX=-8,60(kN) FY=0,16(kN) FZ=-1,36(kN)
7	Vy	forza nodale	21	' FX=1,20(kN) FY=1,62(kN) FZ=5,76(kN)
8	Vy-	forza nodale	21	' FX=1,30(kN) FY=-1,69(kN) FZ=6,75(kN)
9	T	forza nodale	21	' FX=-0,46(kN) FY=-1,51(kN) FZ=1,56(kN)
1	G1	forza nodale	23	' FX=0,33(kN) FY=0,02(kN) FZ=-9,55(kN)
2	G2	forza nodale	23	' FX=0,10(kN) FZ=-3,07(kN)
3	Q	forza nodale	23	' FX=0,39(kN) FY=0,01(kN) FZ=-12,30(kN)
4	N	forza nodale	23	' FX=1,39(kN) FY=0,04(kN) FZ=-6,95(kN)
5	Vx+	forza nodale	23	' FX=8,60(kN) FY=0,16(kN) FZ=-1,36(kN)
6	Vx-	forza nodale	23	' FX=-11,09(kN) FY=-0,23(kN) FZ=13,88(kN)
7	Vy	forza nodale	23	' FX=-1,20(kN) FY=1,62(kN) FZ=5,76(kN)
8	Vy-	forza nodale	23	' FX=-1,30(kN) FY=-1,69(kN) FZ=6,75(kN)
9	T	forza nodale	23	' FX=0,46(kN) FY=-1,51(kN) FZ=1,56(kN)
1	G1	forza nodale	25	' FX=-0,32(kN) FZ=-8,91(kN)
2	G2	forza nodale	25	' FX=-0,09(kN) FZ=-2,81(kN)
3	Q	forza nodale	25	' FX=-0,37(kN) FZ=-11,24(kN)
4	N	forza nodale	25	' FX=-1,39(kN) FY=-0,01(kN) FZ=-6,76(kN)
5	Vx+	forza nodale	25	' FX=11,16(kN) FY=-0,01(kN) FZ=13,71(kN)
6	Vx-	forza nodale	25	' FX=-8,66(kN) FY=0,02(kN) FZ=-1,53(kN)
7	Vy	forza nodale	25	' FX=1,25(kN) FY=1,29(kN) FZ=6,19(kN)
8	Vy-	forza nodale	25	' FX=1,25(kN) FY=-1,27(kN) FZ=5,98(kN)
9	T	forza nodale	25	' FX=-0,47(kN) FY=-0,46(kN) FZ=0,44(kN)
1	G1	forza nodale	27	' FX=0,32(kN) FZ=-8,91(kN)
2	G2	forza nodale	27	' FX=0,09(kN) FZ=-2,81(kN)
3	Q	forza nodale	27	' FX=0,37(kN) FZ=-11,24(kN)
4	N	forza nodale	27	' FX=1,39(kN) FY=-0,01(kN) FZ=-6,76(kN)
5	Vx+	forza nodale	27	' FX=8,66(kN) FY=0,02(kN) FZ=-1,53(kN)
6	Vx-	forza nodale	27	' FX=-11,16(kN) FY=-0,01(kN) FZ=13,71(kN)
7	Vy	forza nodale	27	' FX=-1,25(kN) FY=1,29(kN) FZ=6,19(kN)
8	Vy-	forza nodale	27	' FX=-1,25(kN) FY=-1,27(kN) FZ=5,98(kN)
9	T	forza nodale	27	' FX=0,47(kN) FY=-0,46(kN) FZ=0,44(kN)
1	G1	forza nodale	29	' FX=-0,32(kN) FZ=-8,91(kN)
2	G2	forza nodale	29	' FX=-0,09(kN) FZ=-2,81(kN)
3	Q	forza nodale	29	' FX=-0,37(kN) FZ=-11,24(kN)
4	N	forza nodale	29	' FX=-1,39(kN) FY=0,01(kN) FZ=-6,76(kN)
5	Vx+	forza nodale	29	' FX=11,16(kN) FY=0,01(kN) FZ=13,71(kN)
6	Vx-	forza nodale	29	' FX=-8,66(kN) FY=-0,02(kN) FZ=-1,53(kN)



7	Vy	forza nodale	29	' FX=1,25(kN) FY=1,27(kN) FZ=5,98(kN)
8	Vy-	forza nodale	29	' FX=1,25(kN) FY=-1,29(kN) FZ=6,19(kN)
9	T	forza nodale	29	' FX=-0,47(kN) FY=0,46(kN) FZ=0,44(kN)
1	G1	forza nodale	31	' FX=0,32(kN) FZ=-8,91(kN)
2	G2	forza nodale	31	' FX=0,09(kN) FZ=-2,81(kN)
3	Q	forza nodale	31	' FX=0,37(kN) FZ=-11,24(kN)
4	N	forza nodale	31	' FX=1,39(kN) FY=0,01(kN) FZ=-6,76(kN)
5	Vx+	forza nodale	31	' FX=8,66(kN) FY=-0,02(kN) FZ=-1,53(kN)
6	Vx-	forza nodale	31	' FX=-11,16(kN) FY=0,01(kN) FZ=13,71(kN)
7	Vy	forza nodale	31	' FX=-1,25(kN) FY=1,27(kN) FZ=5,98(kN)
8	Vy-	forza nodale	31	' FX=-1,25(kN) FY=-1,29(kN) FZ=6,19(kN)
9	T	forza nodale	31	' FX=0,47(kN) FY=0,46(kN) FZ=0,44(kN)
1	G1	forza nodale	33	' FX=-0,33(kN) FY=-0,02(kN) FZ=-9,55(kN)
2	G2	forza nodale	33	' FX=-0,10(kN) FZ=-3,07(kN)
3	Q	forza nodale	33	' FX=-0,39(kN) FY=-0,01(kN) FZ=-12,30(kN)
4	N	forza nodale	33	' FX=-1,39(kN) FY=-0,04(kN) FZ=-6,95(kN)
5	Vx+	forza nodale	33	' FX=11,09(kN) FY=0,23(kN) FZ=13,88(kN)
6	Vx-	forza nodale	33	' FX=-8,60(kN) FY=-0,16(kN) FZ=-1,36(kN)
7	Vy	forza nodale	33	' FX=1,30(kN) FY=1,69(kN) FZ=6,75(kN)
8	Vy-	forza nodale	33	' FX=1,20(kN) FY=-1,62(kN) FZ=5,76(kN)
9	T	forza nodale	33	' FX=-0,46(kN) FY=1,51(kN) FZ=1,56(kN)
1	G1	forza nodale	35	' FX=0,33(kN) FY=-0,02(kN) FZ=-9,55(kN)
2	G2	forza nodale	35	' FX=0,10(kN) FZ=-3,07(kN)
3	Q	forza nodale	35	' FX=0,39(kN) FY=-0,01(kN) FZ=-12,30(kN)
4	N	forza nodale	35	' FX=1,39(kN) FY=-0,04(kN) FZ=-6,95(kN)
5	Vx+	forza nodale	35	' FX=8,60(kN) FY=-0,16(kN) FZ=-1,36(kN)
6	Vx-	forza nodale	35	' FX=-11,09(kN) FY=0,23(kN) FZ=13,88(kN)
7	Vy	forza nodale	35	' FX=-1,30(kN) FY=1,69(kN) FZ=6,75(kN)
8	Vy-	forza nodale	35	' FX=-1,20(kN) FY=-1,62(kN) FZ=5,76(kN)
9	T	forza nodale	35	' FX=0,46(kN) FY=1,51(kN) FZ=1,56(kN)
1	G1	forza nodale	37	' FX=-0,26(kN) FY=0,11(kN) FZ=-4,76(kN)
2	G2	forza nodale	37	' FX=-0,07(kN) FY=0,02(kN) FZ=-1,19(kN)
3	Q	forza nodale	37	' FX=-0,28(kN) FY=0,09(kN) FZ=-4,76(kN)
4	N	forza nodale	37	' FX=-0,65(kN) FY=0,21(kN) FZ=-3,24(kN)
5	Vx+	forza nodale	37	' FX=5,50(kN) FY=-0,72(kN) FZ=6,54(kN)
6	Vx-	forza nodale	37	' FX=-4,32(kN) FY=0,34(kN) FZ=-0,71(kN)
7	Vy	forza nodale	37	' FX=0,12(kN) FY=2,87(kN) FZ=1,46(kN)
8	Vy-	forza nodale	37	' FX=1,06(kN) FY=-3,25(kN) FZ=4,37(kN)
9	T	forza nodale	37	' FX=-0,40(kN) FY=1,79(kN) FZ=-2,84(kN)
1	G1	forza nodale	39	' FX=0,26(kN) FY=0,11(kN) FZ=-4,76(kN)
2	G2	forza nodale	39	' FX=0,07(kN) FY=0,02(kN) FZ=-1,19(kN)
3	Q	forza nodale	39	' FX=0,28(kN) FY=0,09(kN) FZ=-4,76(kN)
4	N	forza nodale	39	' FX=0,65(kN) FY=0,21(kN) FZ=-3,24(kN)
5	Vx+	forza nodale	39	' FX=4,32(kN) FY=0,34(kN) FZ=-0,71(kN)
6	Vx-	forza nodale	39	' FX=-5,50(kN) FY=-0,72(kN) FZ=6,54(kN)
7	Vy	forza nodale	39	' FX=-0,12(kN) FY=2,87(kN) FZ=1,46(kN)
8	Vy-	forza nodale	39	' FX=-1,06(kN) FY=-3,25(kN) FZ=4,37(kN)
9	T	forza nodale	39	' FX=0,40(kN) FY=1,79(kN) FZ=-2,84(kN)

**Tabella dei Carichi – Trasformatore – Fondazione**

Condiz .	Nome della condizione	Tipo di carico	Lista	Valori di carico
1	G1	self-weight	1	' PZ Negative Factor=1,00
2	G2	nodal force	15	' FZ=-68,00(kN)
3	Q	nodal force	15	' FZ=-21,00(kN)
1	G1	nodal force	1	' FX=-0,05(kN) FY=0,01(kN) FZ=-1,44(kN)
2	G2	nodal force	1	' FX=-0,10(kN) FY=0,02(kN) FZ=-1,05(kN)
3	Q	nodal force	1	' FX=-0,10(kN) FY=0,02(kN) FZ=-1,05(kN)
4	N	nodal force	1	' FX=-0,15(kN) FY=0,03(kN) FZ=-1,47(kN)
5	Vx+	nodal force	1	' FX=3,81(kN) FY=-0,04(kN) FZ=5,35(kN)
6	Vx-	nodal force	1	' FX=-3,39(kN) FY=-0,04(kN) FZ=-1,15(kN)
7	Vy+	nodal force	1	' FX=0,21(kN) FY=5,21(kN) FZ=-5,26(kN)
8	Vt-	nodal force	1	' FX=0,21(kN) FY=-5,29(kN) FZ=9,46(kN)
9	T	nodal force	1	' FX=-0,05(kN) FY=0,02(kN)
10	Ex SLD	nodal force	1	' FX=-0,10(kN) FZ=-0,18(kN)
11	Ex SLV	nodal force	1	' FX=-0,22(kN) FZ=-0,38(kN)
12	Ey SLD	nodal force	1	' FY=-0,12(kN) FZ=-0,30(kN)
13	Ey SLV	nodal force	1	' FY=-0,27(kN) FZ=-0,68(kN)
1	G1	nodal force	2	' FX=-0,05(kN) FY=-0,01(kN) FZ=-1,44(kN)
2	G2	nodal force	2	' FX=-0,10(kN) FY=-0,02(kN) FZ=-1,05(kN)
3	Q	nodal force	2	' FX=-0,10(kN) FY=-0,02(kN) FZ=-1,05(kN)
4	N	nodal force	2	' FX=-0,15(kN) FY=-0,03(kN) FZ=-1,47(kN)
5	Vx+	nodal force	2	' FX=3,81(kN) FY=0,04(kN) FZ=5,35(kN)
6	Vx-	nodal force	2	' FX=-3,39(kN) FY=0,04(kN) FZ=-1,15(kN)
7	Vy+	nodal force	2	' FX=0,21(kN) FY=5,29(kN) FZ=9,46(kN)
8	Vt-	nodal force	2	' FX=0,21(kN) FY=-5,21(kN) FZ=-5,26(kN)
9	T	nodal force	2	' FX=-0,05(kN) FY=-0,02(kN)
10	Ex SLD	nodal force	2	' FX=-0,10(kN) FZ=-0,18(kN)
11	Ex SLV	nodal force	2	' FX=-0,22(kN) FZ=-0,38(kN)
12	Ey SLD	nodal force	2	' FY=-0,12(kN) FZ=-0,30(kN)
13	Ey SLV	nodal force	2	' FY=-0,27(kN) FZ=-0,68(kN)
1	G1	nodal force	3	' FX=0,05(kN) FY=0,01(kN) FZ=-1,44(kN)
2	G2	nodal force	3	' FX=0,10(kN) FY=0,02(kN) FZ=-1,05(kN)
3	Q	nodal force	3	' FX=0,10(kN) FY=0,02(kN) FZ=-1,05(kN)
4	N	nodal force	3	' FX=0,15(kN) FY=0,03(kN) FZ=-1,47(kN)
5	Vx+	nodal force	3	' FX=3,39(kN) FY=-0,04(kN) FZ=-1,15(kN)
6	Vx-	nodal force	3	' FX=-3,81(kN) FY=-0,04(kN) FZ=5,35(kN)
7	Vy+	nodal force	3	' FX=-0,21(kN) FY=5,21(kN) FZ=-5,26(kN)
8	Vt-	nodal force	3	' FX=-0,21(kN) FY=-5,29(kN) FZ=9,46(kN)
9	T	nodal force	3	' FX=0,05(kN) FY=0,02(kN)
10	Ex SLD	nodal force	3	' FX=-0,10(kN) FZ=-0,18(kN)
11	Ex SLV	nodal force	3	' FX=-0,22(kN) FZ=-0,38(kN)
12	Ey SLD	nodal force	3	' FY=-0,12(kN) FZ=-0,30(kN)
13	Ey SLV	nodal force	3	' FY=-0,27(kN) FZ=-0,68(kN)

1	G1	nodal force	4	' FX=0,05(kN) FY=-0,01(kN) FZ=-1,44(kN)
2	G2	nodal force	4	' FX=0,10(kN) FY=-0,02(kN) FZ=-1,05(kN)
3	Q	nodal force	4	' FX=0,10(kN) FY=-0,02(kN) FZ=-1,05(kN)
4	N	nodal force	4	' FX=0,15(kN) FY=-0,03(kN) FZ=-1,47(kN)
5	Vx+	nodal force	4	' FX=3,39(kN) FY=0,04(kN) FZ=-1,15(kN)
6	Vx-	nodal force	4	' FX=-3,81(kN) FY=0,04(kN) FZ=5,35(kN)
7	Vy+	nodal force	4	' FX=-0,21(kN) FY=5,29(kN) FZ=9,46(kN)
8	Vt-	nodal force	4	' FX=-0,21(kN) FY=-5,21(kN) FZ=-5,26(kN)
9	T	nodal force	4	' FX=0,05(kN) FY=-0,02(kN)
10	Ex SLD	nodal force	4	' FX=-0,10(kN) FZ=-0,18(kN)
11	Ex SLV	nodal force	4	' FX=-0,22(kN) FZ=-0,38(kN)
12	Ey SLD	nodal force	4	' FY=-0,12(kN) FZ=-0,30(kN)
13	Ey SLV	nodal force	4	' FY=-0,27(kN) FZ=-0,68(kN)

**Combinazioni di carico**

Comb.	Nome	Tipo comb.	Definizione
14	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
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+6)*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+1.5Vy+0.75N+0.9T	SLU	1*1.30+(2+3+7)*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+8)*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+0.9Vx+1.5N+0.9T	SLU	1*1.30+(2+3+4)*1.50+(5+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*0.90+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+(6+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*0.90+9*-0.90
26	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
27	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
28	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
29	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
30	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
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+6*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+0.9Vy+0.75N+1.5T	SLU	1*1.30+(2+3+9)*1.50+4*0.75+7*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+8*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	G1+G2	SLE: CHR	(1+2)*1.00
39	G1+G2+Q+Vx+0.5N+0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+5)*1.00+4*0.50+9*0.60
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+6)*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+Vy+0.5N+0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+7)*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+8)*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+0.6Vx+N+0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+4)*1.00+(5+9)*0.60
48	G1+G2+Q+0.6Vx+N-0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+4)*1.00+5*0.60+9*-0.60
49	G1+G2+Q-0.6Vx+N+0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+4)*1.00+(6+9)*0.60
50	G1+G2+Q-0.6Vx+N-0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+4)*1.00+6*0.60+9*-0.60
51	G1+G2+Q+0.6Vy+N+0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+4)*1.00+(7+9)*0.60
52	G1+G2+Q+0.6Vy+N-0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+4)*1.00+7*0.60+9*-0.60
53	G1+G2+Q-0.6Vy+N+0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+4)*1.00+(8+9)*0.60
54	G1+G2+Q-0.6Vy+N-0.6T	SLE: CHR	(1+2+3+4)*1.00+8*0.60+9*-0.60
55	G1+G2+Q+0.6Vx+0.5N+T	SLE: CHR	(1+2+3+9)*1.00+5*0.60+4*0.50
56	G1+G2+Q+0.6Vx+0.5N-T	SLE: CHR	(1+2+3)*1.00+5*0.60+4*0.50+9*-1.00
57	G1+G2+Q-0.6Vx+0.5N+T	SLE: CHR	(1+2+3+9)*1.00+6*0.60+4*0.50

Comb.	Nome	Tipo comb.	Definizione
58	G1+G2+Q-0.6Vx+0.5N-T	SLE: CHR	(1+2+3)*1.00+6*0.60+4*0.50+9*-1.00
59	G1+G2+Q+0.6Vy+0.5N+T	SLE: CHR	(1+2+3+9)*1.00+7*0.60+4*0.50
60	G1+G2+Q+0.6Vy+0.5N-T	SLE: CHR	(1+2+3)*1.00+7*0.60+4*0.50+9*-1.00
61	G1+G2+Q-0.6Vy+0.5N+T	SLE: CHR	(1+2+3+9)*1.00+8*0.60+4*0.50
62	G1+G2+Q-0.6Vy+0.5N-T	SLE: CHR	(1+2+3)*1.00+8*0.60+4*0.50+9*-1.00
63	G1+G2+0.9Q	SLE:FRE	(1+2)*1.00+3*0.90
64	G1+G2+0.8Q+0.2Vx	SLE:FRE	(1+2)*1.00+3*0.80+5*0.20
65	G1+G2+0.8Q-0.2Vx	SLE:FRE	(1+2)*1.00+3*0.80+6*0.20
66	G1+G2+0.8Q+0.2Vy	SLE:FRE	(1+2)*1.00+3*0.80+7*0.20
67	G1+G2+0.8Q-0.2Vy	SLE:FRE	(1+2)*1.00+3*0.80+8*0.20
68	G1+G2+0.8Q+0.2N	SLE:FRE	(1+2)*1.00+3*0.80+4*0.20
69	G1+G2+0.8Q+0.5T	SLE:FRE	(1+2)*1.00+3*0.80+9*0.50
70	G1+G2+0.8Q-0.5T	SLE:FRE	(1+2)*1.00+3*0.80+9*-0.50
71	G1+G2+0.8Q	SLE:QPR	(1+2)*1.00+3*0.80
72	0.9G1+0.8G2+1.5Q+1.5Vx+0.9T	SLU	(1+9)*0.90+2*0.80+(3+5)*1.50
73	0.9G1+0.8G2+1.5Q+1.5Vx-0.9T	SLU	1*0.90+2*0.80+(3+5)*1.50+9*-0.90
74	0.9G1+0.8G2+1.5Q-1.5Vx+0.9T	SLU	(1+9)*0.90+2*0.80+(3+6)*1.50
75	0.9G1+0.8G2+1.5Q-1.5Vx-0.9T	SLU	1*0.90+2*0.80+(3+6)*1.50+9*-0.90
76	0.9G1+0.8G2+1.5Q+1.5Vy+0.9T	SLU	(1+9)*0.90+2*0.80+(3+7)*1.50
77	0.9G1+0.8G2+1.5Q+1.5Vy-0.9T	SLU	1*0.90+2*0.80+(3+7)*1.50+9*-0.90
78	0.9G1+0.8G2+1.5Q-1.5Vy+0.9T	SLU	(1+9)*0.90+2*0.80+(3+8)*1.50
79	0.9G1+0.8G2+1.5Q-1.5Vy-0.9T	SLU	1*0.90+2*0.80+(3+8)*1.50+9*-0.90
80	0.9G1+0.8G2+1.5Q+0.9Vx+1.5T	SLU	(1+5)*0.90+2*0.80+(3+9)*1.50
81	0.9G1+0.8G2+1.5Q+0.9Vx-1.5T	SLU	(1+5)*0.90+2*0.80+3*1.50+9*-1.50
82	0.9G1+0.8G2+1.5Q-0.9Vx+1.5T	SLU	(1+6)*0.90+2*0.80+(3+9)*1.50
83	0.9G1+0.8G2+1.5Q-0.9Vx-1.5T	SLU	(1+6)*0.90+2*0.80+3*1.50+9*-1.50
84	0.9G1+0.8G2+1.5Q+0.9Vy+1.5T	SLU	(1+7)*0.90+2*0.80+(3+9)*1.50
85	0.9G1+0.8G2+1.5Q+0.9Vy-1.5T	SLU	(1+7)*0.90+2*0.80+3*1.50+9*-1.50
86	0.9G1+0.8G2+1.5Q-0.9Vy+1.5T	SLU	(1+8)*0.90+2*0.80+(3+9)*1.50
87	0.9G1+0.8G2+1.5Q-0.9Vy-1.5T	SLU	(1+8)*0.90+2*0.80+3*1.50+9*-1.50
88	G1+G2+0.8Q+Ex+0.3Ey (SLV)	Sismiche SLU	(1+2+11)*1.00+3*0.80+13*0.30
89	G1+G2+0.8Q+Ex-0.3Ey (SLV)	Sismiche SLU	(1+2+11)*1.00+3*0.80+13*-0.30
90	G1+G2+0.8Q-Ex+0.3Ey (SLV)	Sismiche SLU	(1+2)*1.00+3*0.80+11*-1.00+13*0.30
91	G1+G2+0.8Q-Ex-0.3Ey (SLV)	Sismiche SLU	(1+2)*1.00+3*0.80+11*-1.00+13*-0.30
92	G1+G2+0.8Q+Ey+0.3Ex (SLV)	Sismiche SLU	(1+2+13)*1.00+3*0.80+11*0.30
93	G1+G2+0.8Q+Ey-0.3Ex (SLV)	Sismiche SLU	(1+2+13)*1.00+3*0.80+11*-0.30
94	G1+G2+0.8Q-Ey+0.3Ex (SLV)	Sismiche SLU	(1+2)*1.00+3*0.80+11*0.30+13*1.00
95	G1+G2+0.8Q-Ey-0.3Ex (SLV)	Sismiche SLU	(1+2)*1.00+3*0.80+11*-0.30+13*-1.00
96	G1+G2+0.8Q+Ex+0.3Ey (SLD)	Sismiche SLE	(1+2+10)*1.00+3*0.80+12*0.30
97	G1+G2+0.8Q+Ex-0.3Ey (SLD)	Sismiche SLE	(1+2+10)*1.00+3*0.80+12*-0.30
98	G1+G2+0.8Q-Ex+0.3Ey (SLD)	Sismiche SLE	(1+2)*1.00+3*0.80+10*-1.00+12*0.30
99	G1+G2+0.8Q-Ex-0.3Ey (SLD)	Sismiche SLE	(1+2)*1.00+3*0.80+10*-1.00+12*-0.30
100	G1+G2+0.8Q+Ey+0.3Ex (SLD)	Sismiche SLE	(1+2+12)*1.00+3*0.80+10*0.30
101	G1+G2+0.8Q+Ey-0.3Ex (SLD)	Sismiche SLE	(1+2+12)*1.00+3*0.80+10*-0.30
102	G1+G2+0.8Q-Ey+0.3Ex (SLD)	Sismiche SLE	(1+2)*1.00+3*0.80+10*0.30+12*1.00
103	G1+G2+0.8Q-Ey-0.3Ex (SLD)	Sismiche SLE	(1+2)*1.00+3*0.80+10*-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.

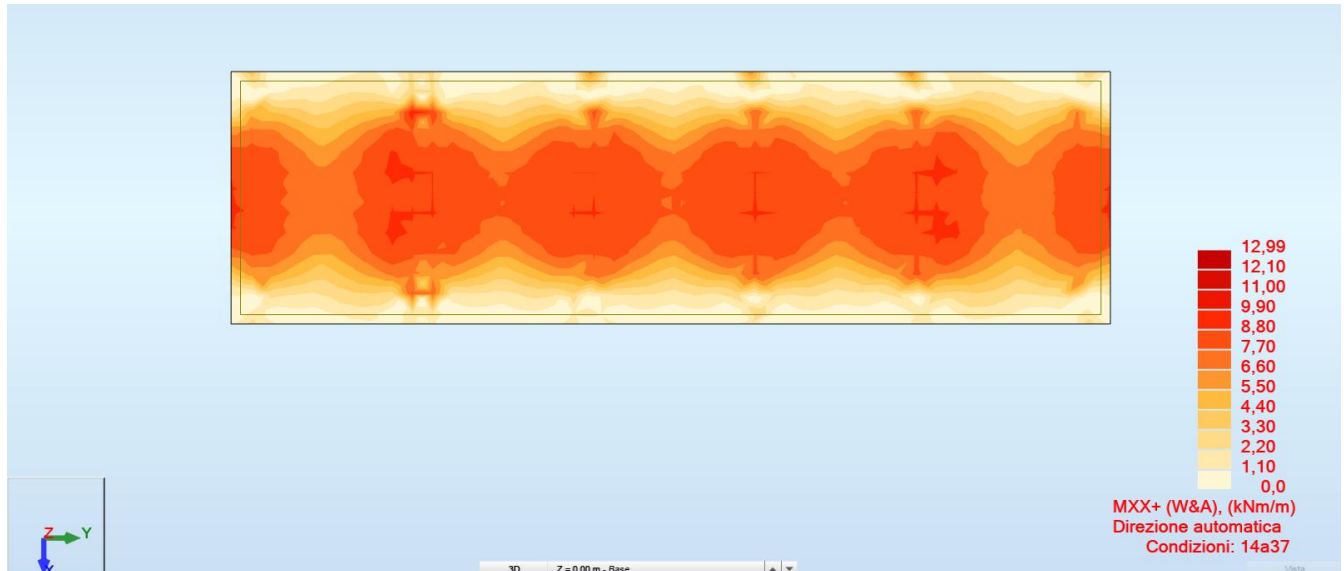


FIG. 22 – INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X

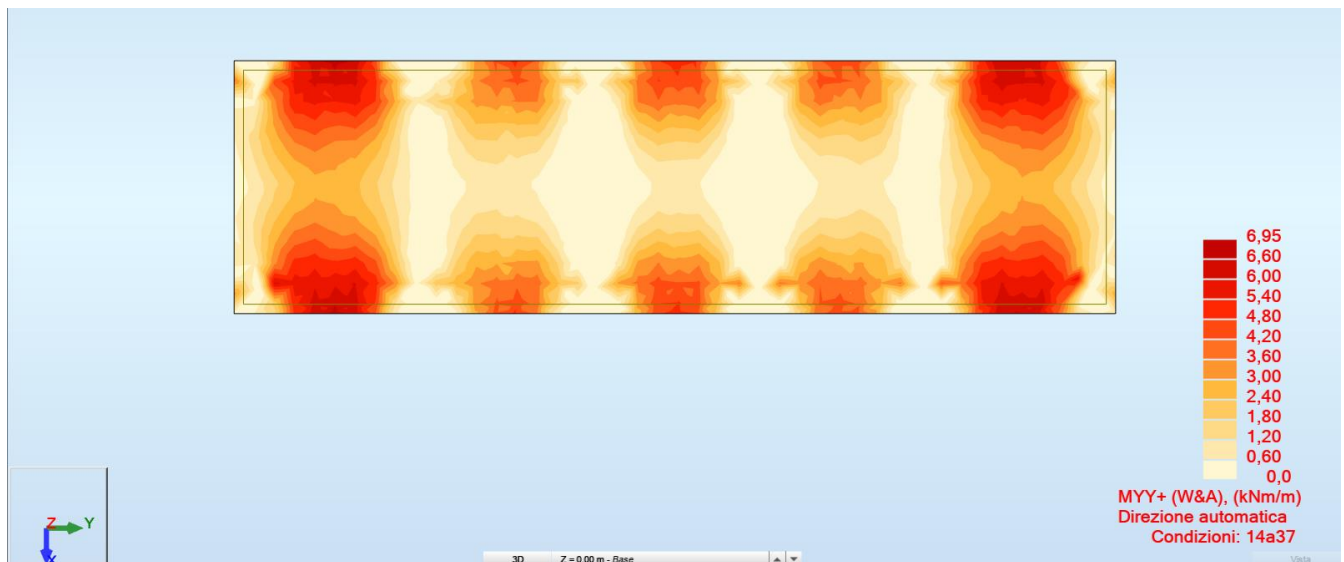


FIG. 23 – INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y

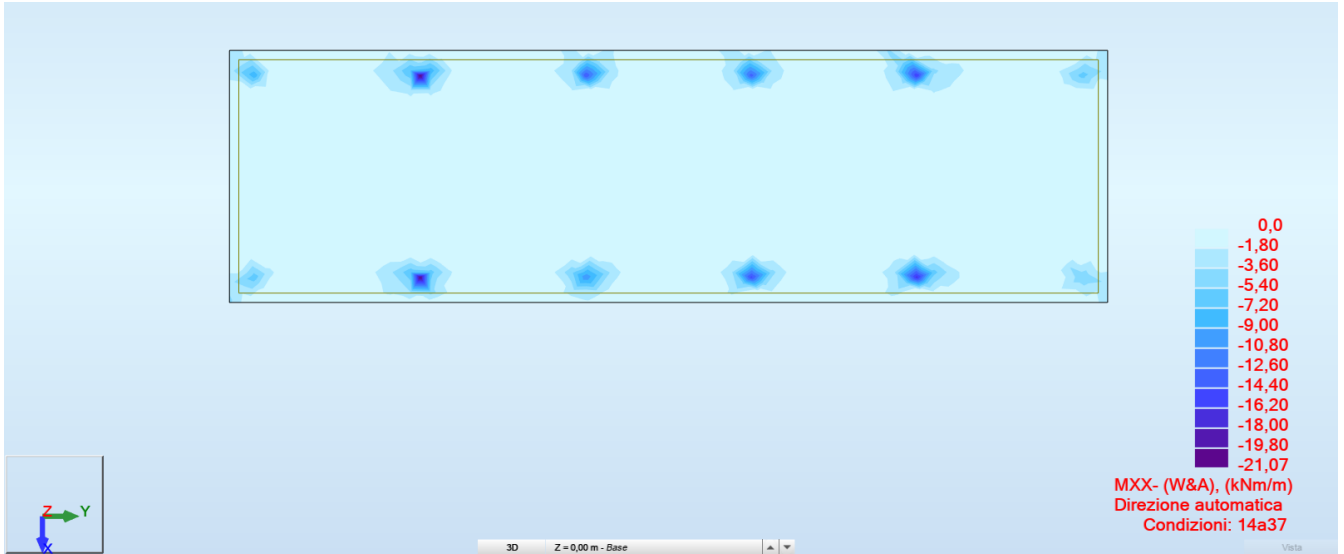


FIG. 24 – INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X

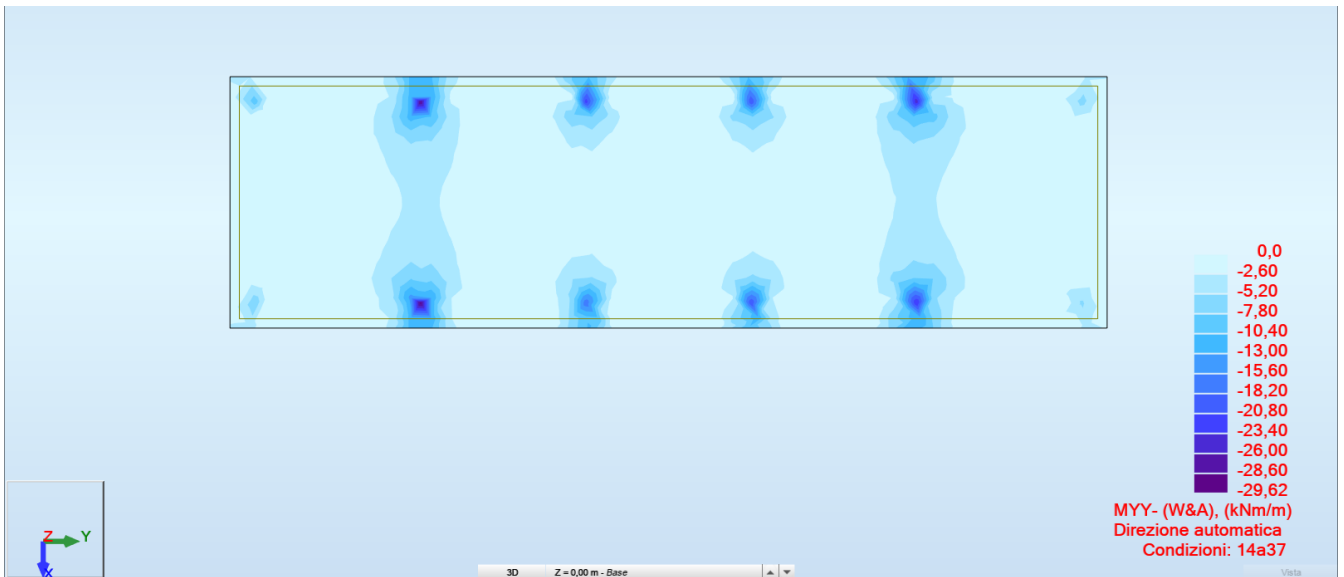
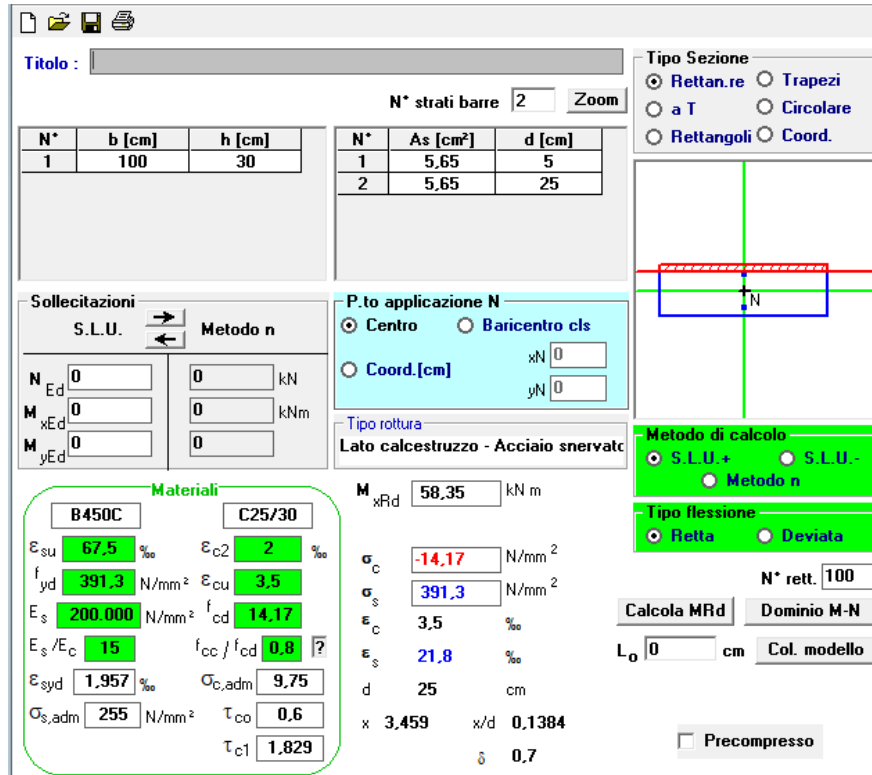


FIG. 25 – INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y

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



**TITOLO :** \_\_\_\_\_

N° strati barre:  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	30	1	5.65	5
			2	5.65	25

**Tipologia Sezione:**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni S.L.U. Metodo n**

N<sub>Ed</sub>   kN  
M<sub>xEd</sub>   kNm  
M<sub>yEd</sub>   kNm

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

**Materiali:**  
 B450C  C25/30  
ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰  
f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  ‰  
E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ‰  
ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  N/mm²  
σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  ‰  
τ<sub>c1</sub>  N/mm²

**Calcolo:**  
M<sub>xRd</sub>  kNm  
σ<sub>c</sub>  N/mm²  
σ<sub>s</sub>  N/mm²  
ε<sub>c</sub>  ‰  
ε<sub>s</sub>  ‰  
d  cm  
x  x/d   
δ

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

**Tipologia Flessione:**  
 Retta  Deviata

N° rett.   
   
L<sub>0</sub>  cm   
 Precompresso

Fig. 26 – Mrd per la sezione con h=30cm e Armatura Ø12/200mm

$$M_{Rd} = 58.35 \text{ kNm} > M_{sd,max} = 29.62 \text{ kNm}$$

Verifica soddisfatta

$$\text{Fattore di Sicurezza} = 58.35/29.62 = 1.97 > 1$$

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

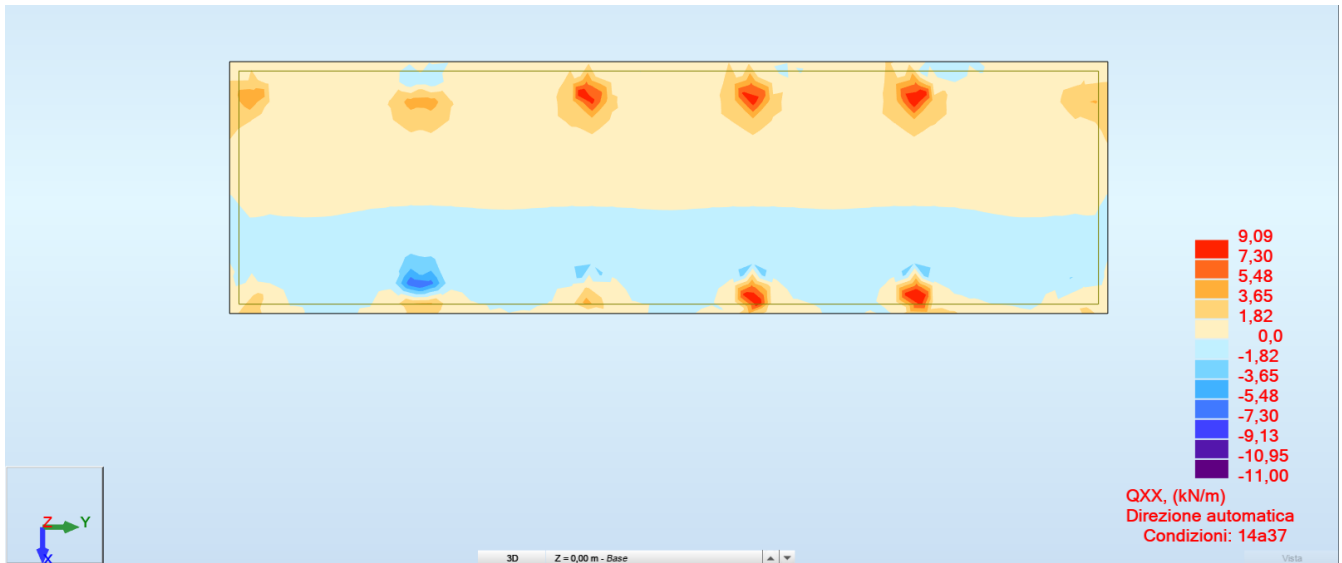
Per il calcolo di M<sub>Rd</sub> della sezione di progetto, si è utilizzato il Software free VCA SLU del Prof. Gelfi V7.7

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 Ø12/200mm.

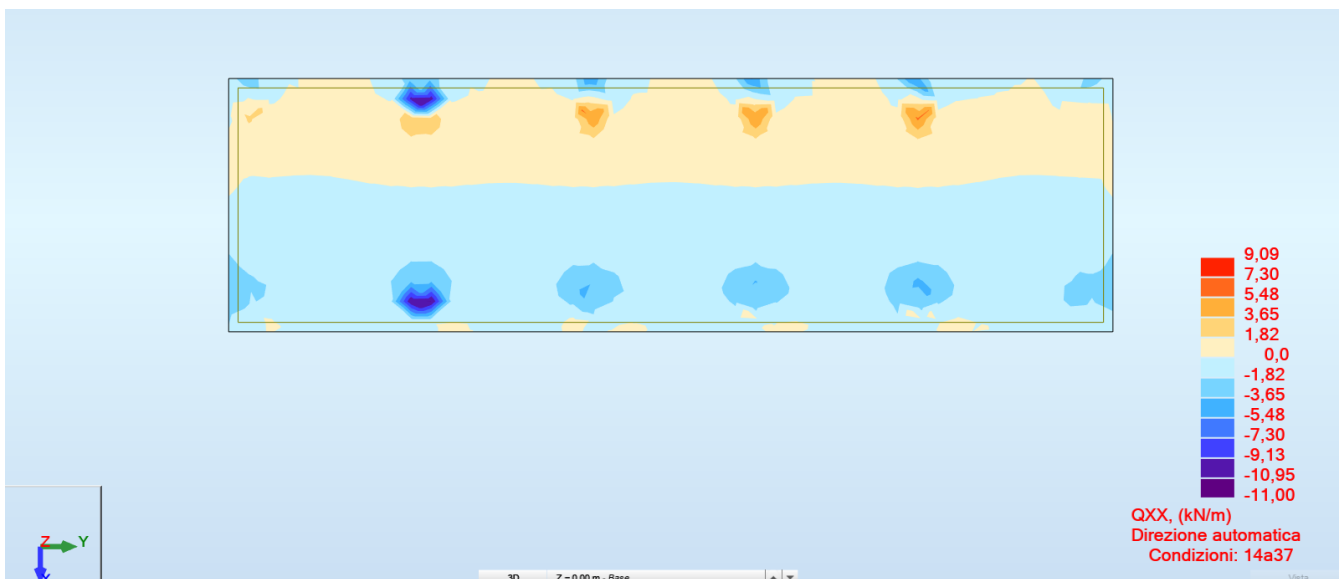
$$A_{s,min} = 0.1\% * A_c = \frac{1}{1000} * 300 * 1000 = 300 \frac{mm^2}{m} = 3 \frac{cm^2}{m}$$

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

**Inviluppo delle sollecitazioni di Taglio – Fondazione – SW Station**



**Fig. 27 – Mappa Qxx+ - Mappa del Taglio sollecitante**



**Fig. 28 – Mappa Qxx- - Mappa del Taglio sollecitante**



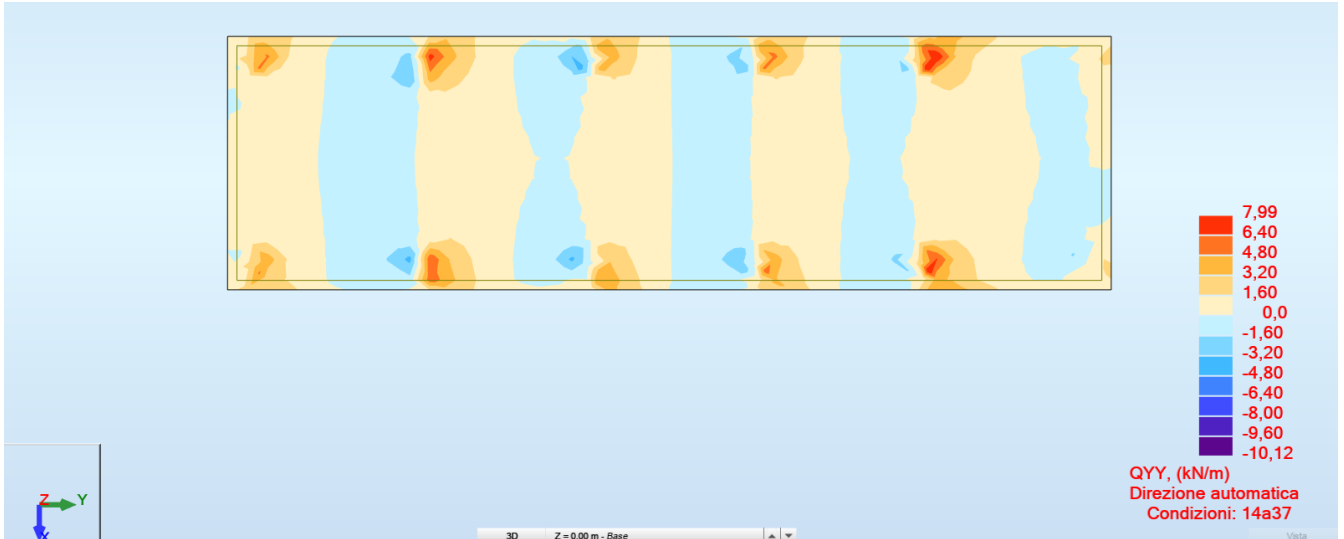


Fig. 29 – **Mapa Qyy +** - Mapa del Taglio sollecitante

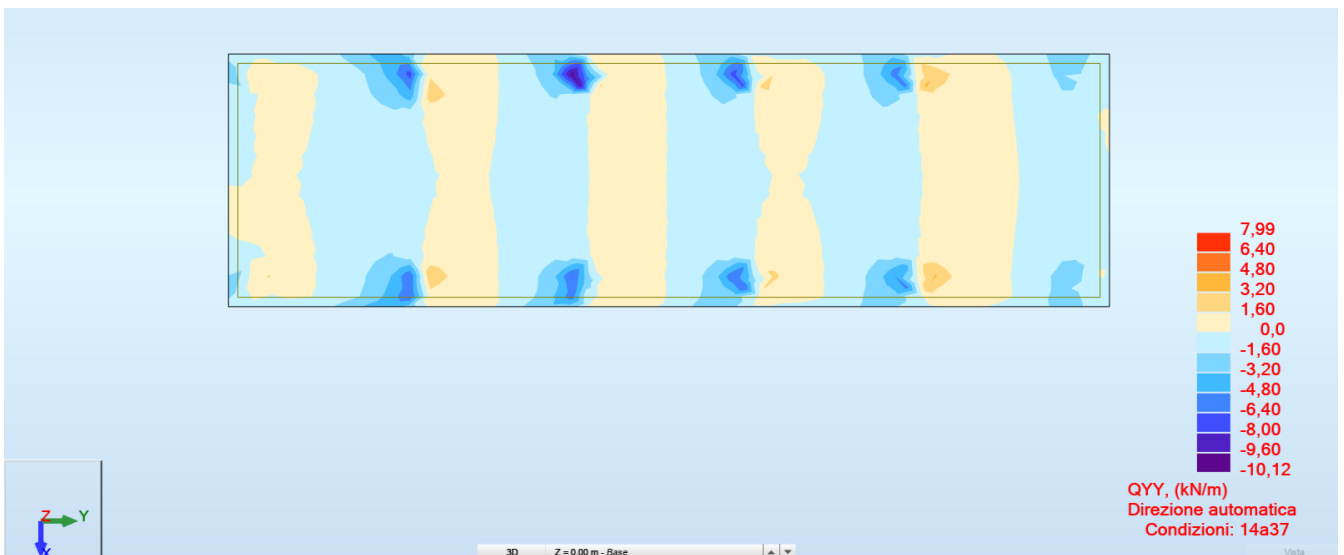


Fig. 30 – **Mapa Qyy -** - Mapa del Taglio sollecitante

Qxx / Qyy: Valore dello sforzo di taglio per gli elementi finiti con il sistema di coordinate diretto secondo l'asse locale globale 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		
d = 25 cm	$A_c = 300000 \text{ mm}^2$	
$b_w = 100 \text{ cm}$	$k = 1,8944$	
$A_{sl} = 5,65 \text{ cm}^2$	$\rho_l = 0,0023$	
	$k_1 = 0,15$	
$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$	$v_{min} = 0,4563$	
$\gamma_c = 1,5$	$C_{Rd,c} = 0,12$	
$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$	$\sigma_{cp} = 0 \text{ MPa}$	

***Ultimate design shear resistance***

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

$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d = 114,1 \text{ kN}$

$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$   $V_{Rd,c} = 114,1 \text{ kN}$

$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$

$k = 1 + (200/d)^{1/2}$  with d in mm

$\rho_l = A_{sl} / (b_w d)$

$A_{sl}$  = 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)

$\sigma_{cp}$  = 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.

$$V_{Rd,c 300mm} = 114.1kN > V_{Sd,max} = 11kN$$

Taglio massimo riportato nelle mappe

**Inviluppo delle sollecitazioni flessionali – Fondazione – Trasformatore/inverter**

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.

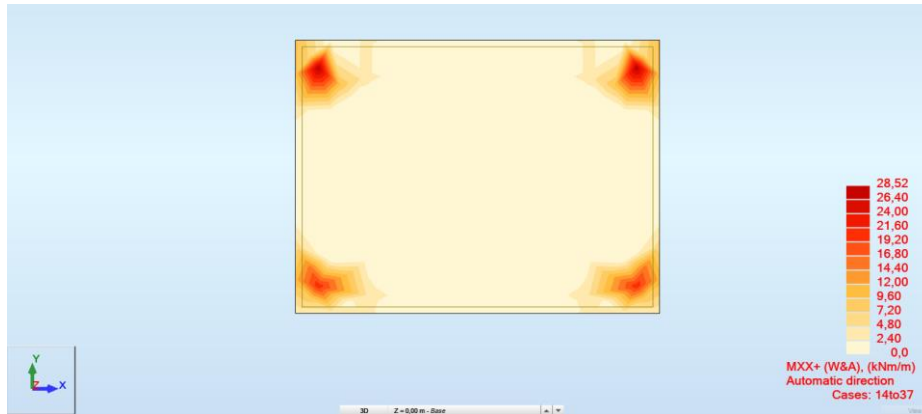


FIG. 31 – INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X

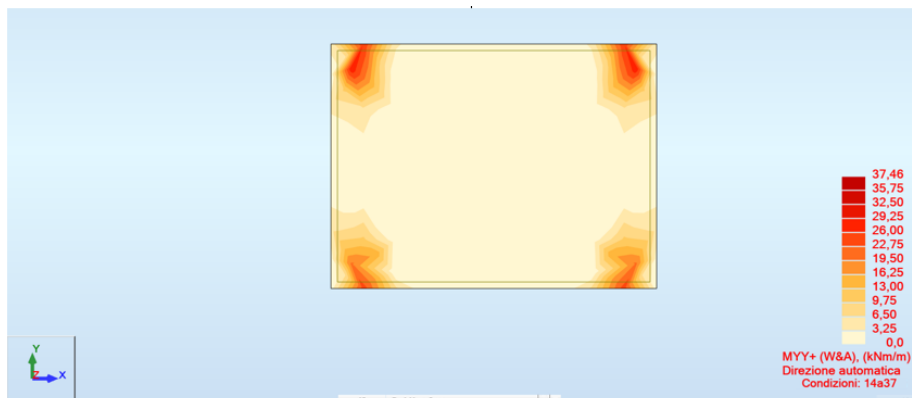


FIG. 32 – INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y

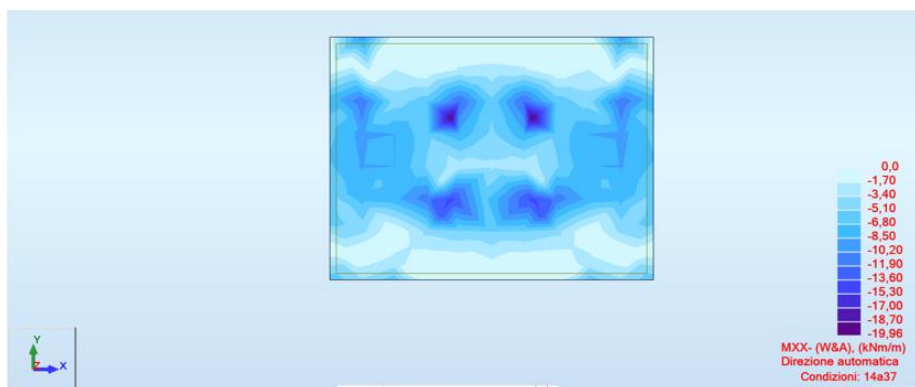


FIG. 33 – INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X

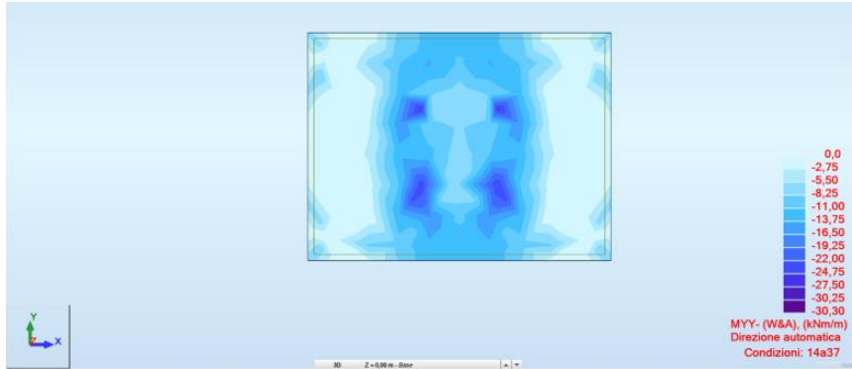


FIG. 34 – INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y

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

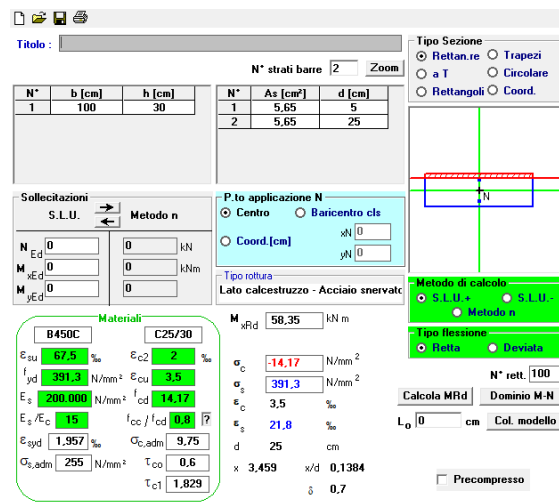


Fig. 35 – M<sub>Rd</sub> per la sezione con h=30cm e Armatura  $\varnothing 12/200$ mm

$$M_{Rd} = 58.35 \text{ kNm} > M_{sd,max} = 37.46 \text{ kNm}$$

Verifica soddisfatta

$$\text{Fattore di Sicurezza} = 58.35/37.46 = 1.55 > 1$$

M<sub>Rd</sub>: 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<sub>Rd</sub> 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 – Trasformatore**

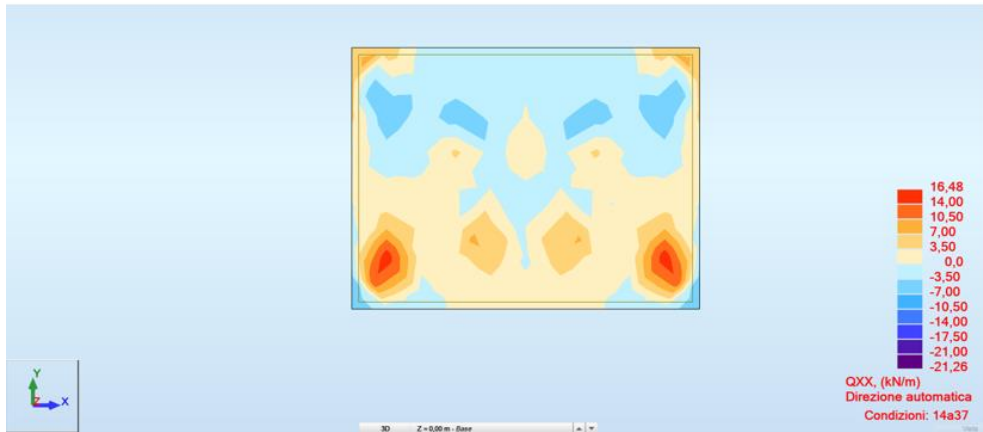


Fig. 36 – **Mappa Qxx+** - Mappa del Taglio sollecitante



Fig. 37 – **Mappa Qxx-** - Mappa del Taglio sollecitante

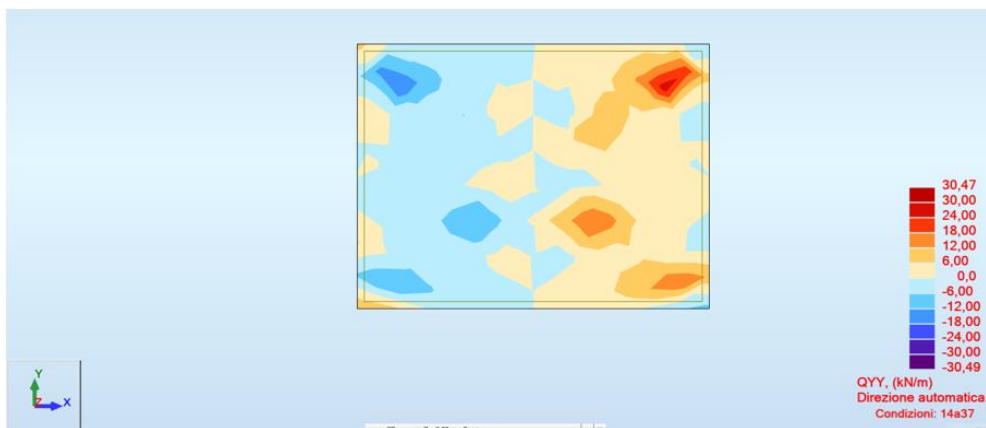


Fig. 38 – **Mappa Qyy +** - Mappa del Taglio sollecitante

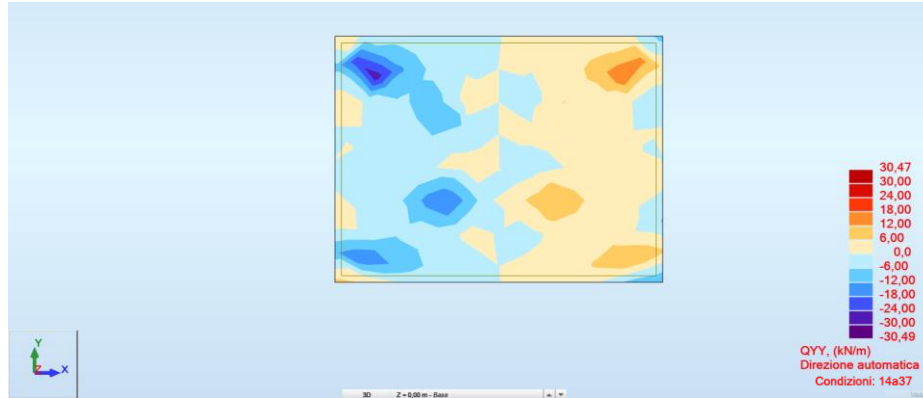


Fig. 39 – **Mappa Qyy** - - Mappa del Taglio sollecitante

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

**Elements not requiring design shear reinforcement**

H = 30 cm	A <sub>c</sub> = 300000 mm <sup>2</sup>
d = 25 cm	k = 1,8944
b <sub>w</sub> = 100 cm	ρ <sub>l</sub> = 0,0023
A <sub>sl</sub> = 5,65 cm <sup>2</sup>	
	k <sub>1</sub> = 0,15
f <sub>ck</sub> = 25 MPa	V <sub>min</sub> = 0,4563
γ <sub>c</sub> = 1,5	C <sub>Rd,c</sub> = 0,12
N <sub>Ed</sub> = 0 kN	σ <sub>cp</sub> = 0 MPa

**Ultimate design shear resistance**

(6.2.a) : V<sub>Rd,c</sub> = [C<sub>Rd,c</sub> k (100 ρ<sub>l</sub> f<sub>ck</sub>)<sup>1/3</sup> + k<sub>1</sub> σ<sub>cp</sub>] d<sub>wd</sub> = **101,2** kN  
V<sub>Rd,c</sub> = (V<sub>min</sub> + k<sub>1</sub> σ<sub>cp</sub>) d<sub>wd</sub> = **114,1** kN  
C<sub>Rd,c</sub> = 0.18 / γ<sub>c</sub>      V<sub>Rd,c</sub> = **114,1** kN

V<sub>min</sub> = 0,035 k<sup>3/2</sup> f<sub>ck</sub><sup>1/2</sup>  
k = 1 + (200/d)<sup>1/2</sup> with d in mm  
ρ<sub>l</sub> = A<sub>sl</sub> / (b<sub>w</sub> d)  
A<sub>sl</sub> = tensile longitudinal reinforcement area  
b<sub>w</sub> = minimum depth of the section  
A<sub>c</sub> = concrete section area  
N<sub>Ed</sub> = axial force due to the loads or to the pre-compression  
(N<sub>Ed</sub> > 0 compression)  
σ<sub>cp</sub> = compr.stress at the center of concr.sect.due to axial force N<sub>Ed</sub>

Resistenza a taglio senza armatura

Di seguito si riporta la resistenza a taglio della soletta di spessore 30cm non armata a taglio

L'immagine precedente riporta la verifica degli "Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio" secondo quanto indicato da §4.1.2.3.5.1. del D.M. 17/01/18.

$$V_{Rd,c} 300mm = 114.1kN > V_{Sd,max} = 30.49kN$$

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  $\phi = 35^\circ$  e la seguente formulazione:

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

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

Fondazione – SW Station	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	Ved [kN]	VRd [kN]	F.S.
1.3(G1)+1.5(G2)+1.5(Qcop)+1.5(Q)+0.9(Wy-)+0.75(S)-0.9(T)						
Som.di forz.	-2	26	72	26.1	28.2	1,08

Fondazione – Trasformatore	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	Ved [kN]	VRd [kN]	F.S.
1.3(G1)+1.5(G2)+1.5(Q)+1.5(Wy-)+0.75(S)-0.9(T)						
Som.di forz.	2	9	141	9,2	55,3	6,00

### 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.

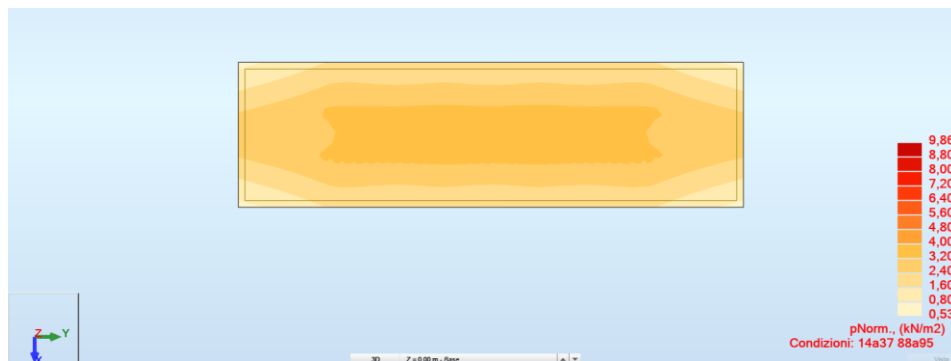


Fig. 40 – Pressioni sul terreno – Involuppo Combinazioni SLU (EQU) – Fondazione – SW Station

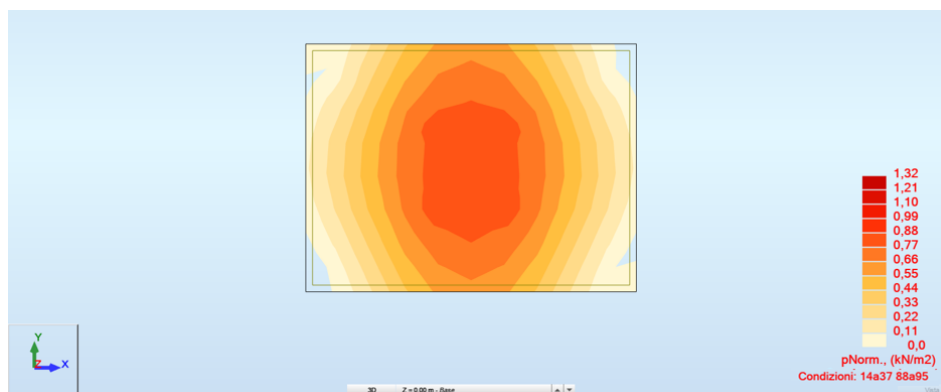


Fig. 41 – Pressioni sul terreno – Involuppo Combinazioni SLU (EQU) – Fondazione – Trasformatore

### Verifica a Capacità Portante

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

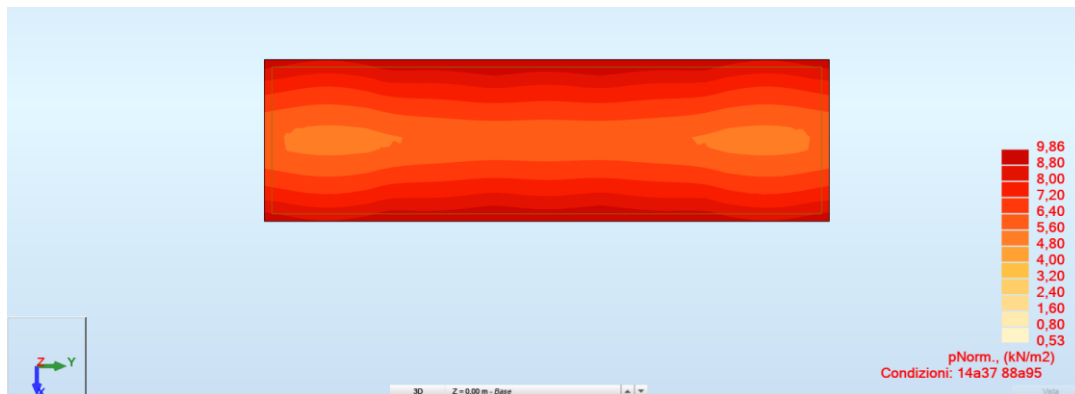


Fig. 42 – Involuppo delle Pressioni nelle Combinazioni SLU – SLV – Fondazione – SW Station

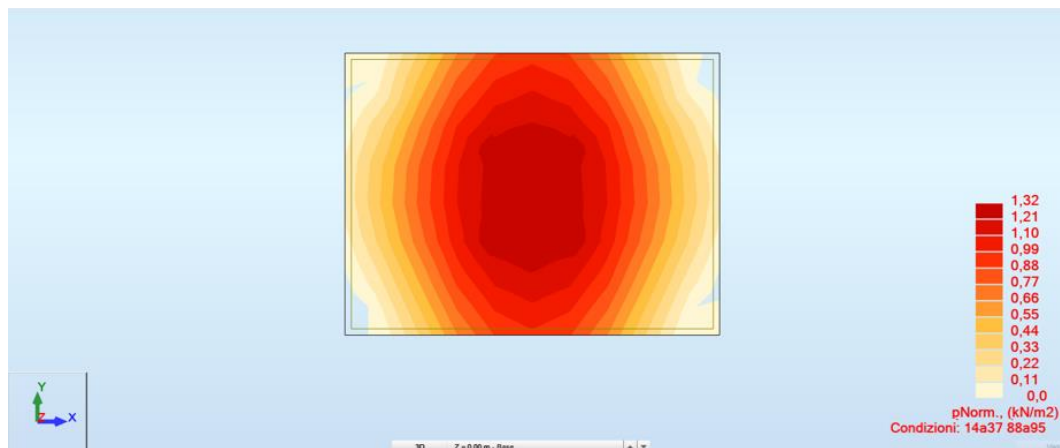


Fig. 43 – Involuppo delle Pressioni nelle Combinazioni SLU – SLV – Fondazione – Trasformatore

## **VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO SLE – FONDAZIONE – SW STATION**

### Verifica a Fessurazione – Fondazione

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

Combinazioni frequenti →  $w_3 = 0.4\text{mm}$

Combinazioni quasi permanenti →  $w_2 = 0.3\text{mm}$

### Verifica delle tensioni di esercizio

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

$\sigma_c < 0.45 \times f_{ck} (25) = 11.25 \text{ N/mm}^2$  (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 involupei dei momenti flettenti composti secondo Wood & Armer (il metodo consiste ne comporre i momenti flettenti  $m_{xx}$  con  $m_{xy}$  e  $m_{yy}$  con  $m_{xy}$ ) nelle combinazioni agli stati limite di esercizio frequente e quasi permanente (SLE\_FRE, SLE\_QP), le forze interne di tipo membranale sono trascurabili.

Combinazione quasi permanente SLE: Combinazione n°71

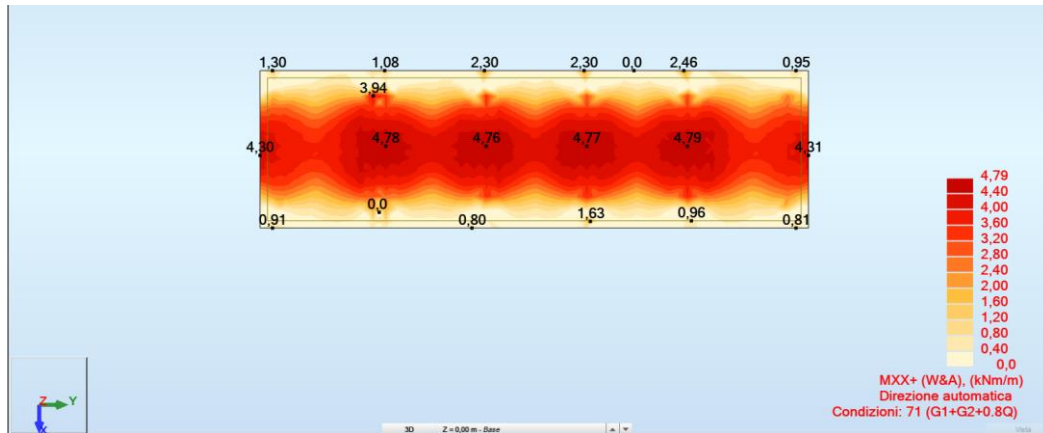


FIG. 44 – INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X COMBINAZIONE SLE QUASI PERMANENTE

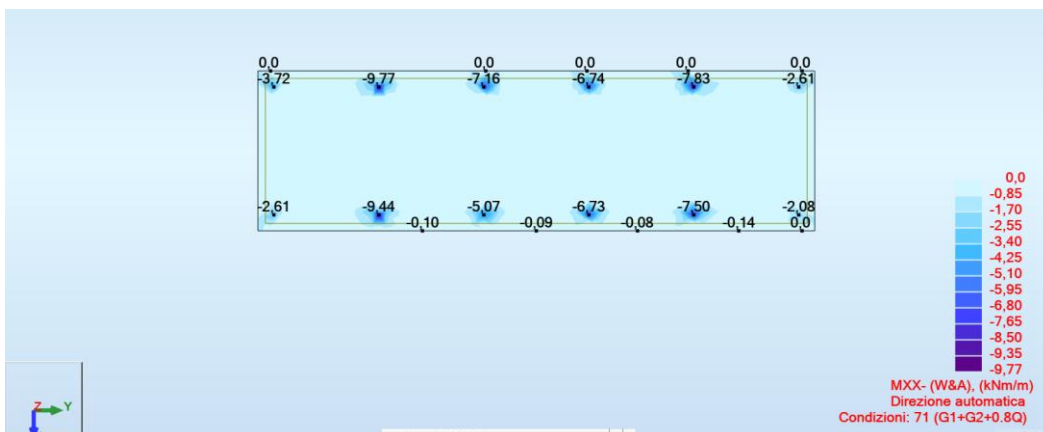


FIG. 45 – INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X COMBINAZIONE SLE QUASI PERMANENTE

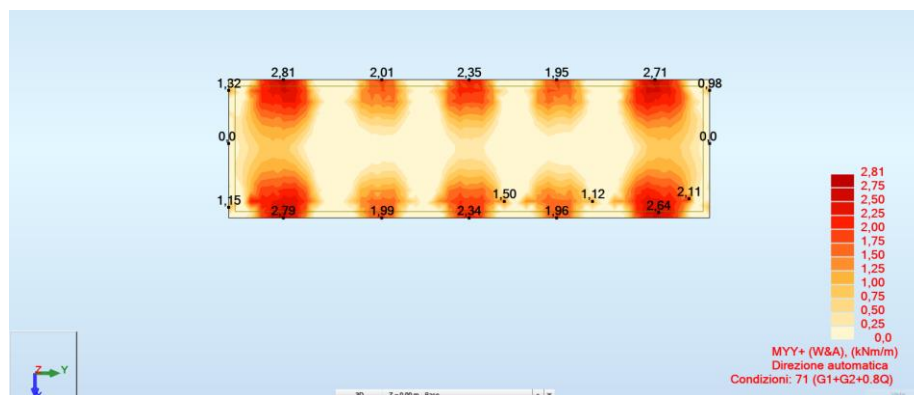


FIG. 46 – INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y COMBINAZIONE SLE QUASI PERMANENTE

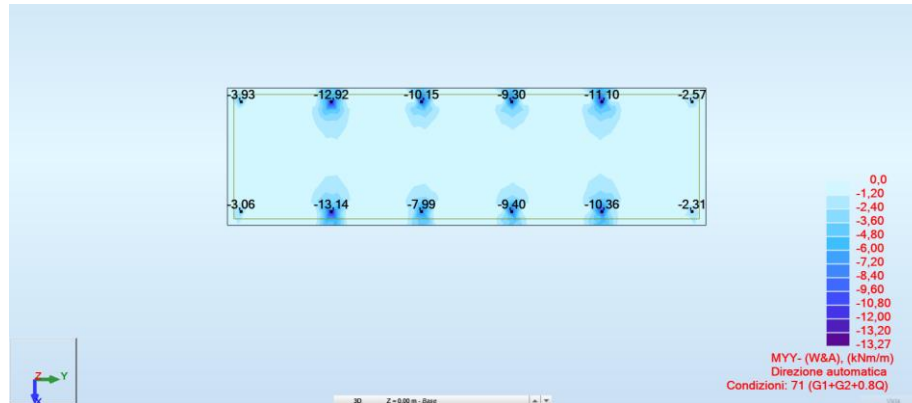


Fig. 47 – Involuppo inferiore Momento Flettente (Wood&Armer) direzione Y  
 COMBINAZIONE SLE QUASI PERMANENTE

Si riporta nel seguito verifica a fessurazione soletta spessore 30cm armata con fi 12/200 considerando il massimo momento  $M_x = 14 \text{ kNm/m}$  agente per le combinazioni quasi permanenti SLE:

Verifica della sezione a fessurazione (SLE)			
wlim	0,30 mm	Comb SLE Qper ▼	
b	100 cm		
h	30 cm		
Es	210000 N/mm <sup>2</sup>		
σs	99,9 N/mm <sup>2</sup>		
kt	0,4	carico di lunga durata ▼	
fctm	2,94 N/mm <sup>2</sup>		
As	5,65 cm <sup>2</sup>	5ø12	
c	50 mm	copriferro	
d	25 cm		
x	5,64 cm		
hc,ef	8,1 cm		
Ac,ef	812,1 cm <sup>2</sup>		
pp,eff	0,007		
Ecm	33019 N/mm <sup>2</sup>		
αe	6,360		
esm	-0,00036		
0.6(σs/Es)	0,00029		
k1	0,8	Barre Ad. Migl. ▼	
k2	0,50		
k3	3,4		
k4	0,425		
Δsmax	462,97 mm		
wd	0,132 mm	Sezione verificata	

$$\sigma_c \sim 1.94 \text{ N/mm}^2 < 0.45 \times f_{ck} = 11.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_s \sim 100 \text{ N/mm}^2 < 0.8 \times f_{yk} = 360.0 \text{ N/mm}^2$$

L'apertura delle fessure è stimata pari a:

$$w_k = 0.132 \text{ mm} < 0.3 \text{ mm}$$

Combinazione frequente SLE: Combinazione da n°63-70

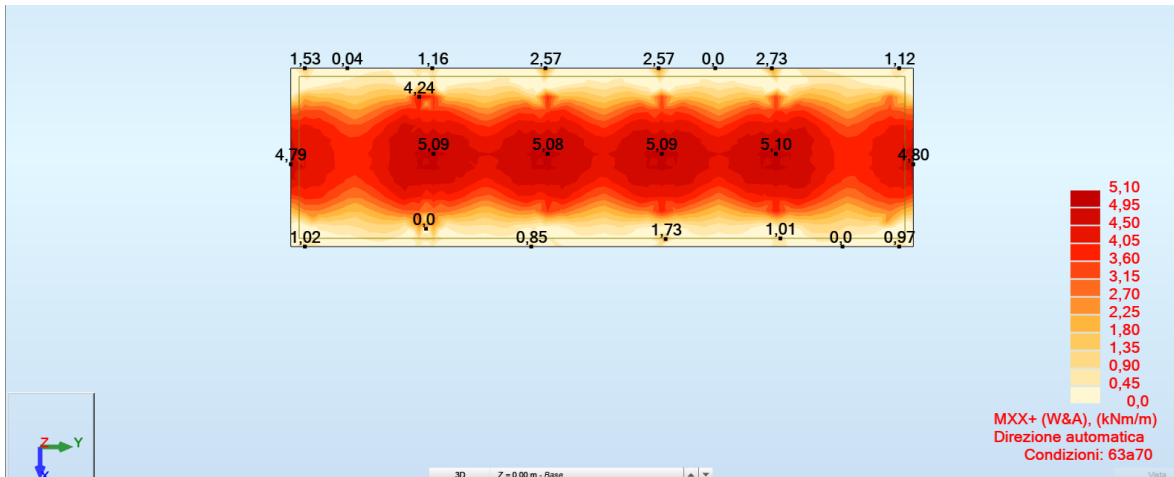


FIG. 48 – INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X COMBINAZIONE SLE FREQUENTE

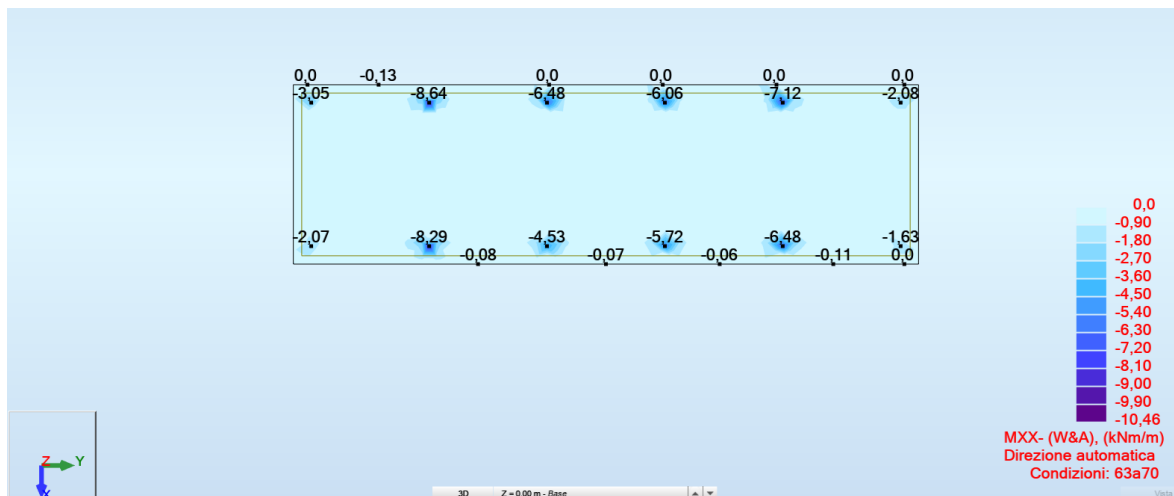


FIG. 49 – INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X COMBINAZIONE SLE FREQUENTE

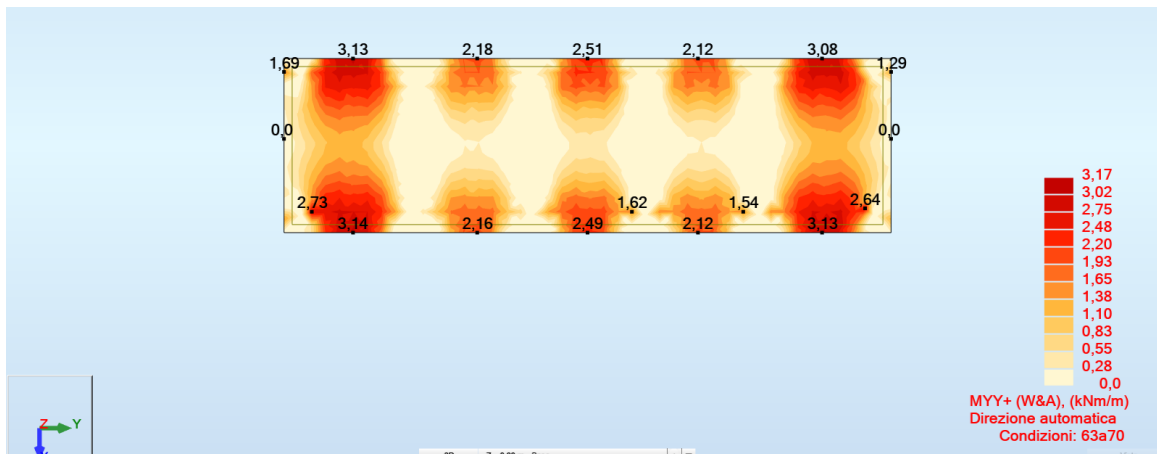


FIG. 50 – INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y  
COMBINAZIONE SLE FREQUENTE

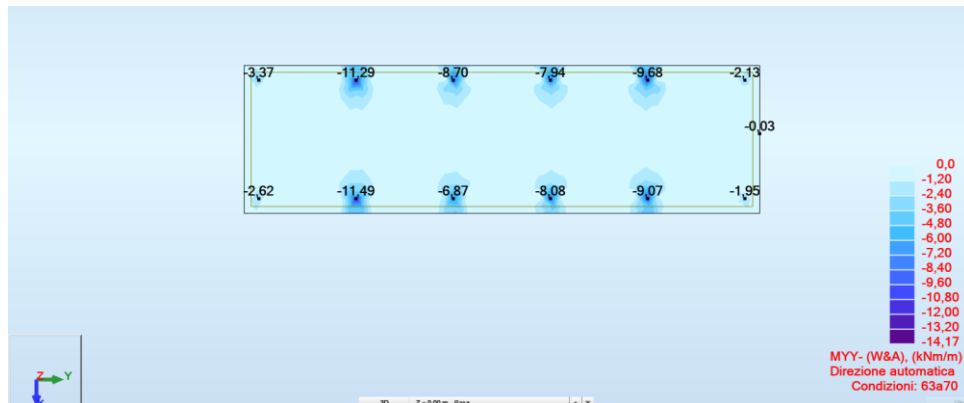


FIG. 51 – INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y  
COMBINAZIONE SLE FREQUENTE

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

Verifica della sezione a fessurazione (SLE)		
wlim	0,30 mm	Comb SLE Qper
b	100 cm	
h	30 cm	
Es	210000 N/mm <sup>2</sup>	
σs	92,2 N/mm <sup>2</sup>	
kt	0,4	carico di lunga durata
fctm	2,94 N/mm <sup>2</sup>	
As	5,65 cm <sup>2</sup>	5ø12
c	50 mm	copriferro
d	25 cm	
x	5,64 cm	
hc,ef	8,1 cm	
Ac,ef	812,1 cm <sup>2</sup>	
pp,eff	0,007	
Ecm	33019 N/mm <sup>2</sup>	
αe	6,360	
esm	-0,00040	
0.6(σs/Es)	0,00026	
k1	0,8	Barre Ad. Migl.
k2	0,50	
k3	3,4	
k4	0,425	
Δsmax	462,97 mm	
wd	0,122 mm	Sezione verificata

$$\sigma_c \sim 1.79 \text{ N/mm}^2 < 0.6 \times f_{ck} = 15.00 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_s \sim 92 \text{ N/mm}^2 < 0.8 \times f_{yk} = 360.0 \text{ N/mm}^2$$

L'apertura delle fessure è stimata pari a:

$$w_k = 0.122\text{mm} < 0.4 \text{ mm}$$

## VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO SLE – FONDAZIONE – TRASFORMATORE/INVERTER

### Verifica a Fessurazione – Fondazione

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

Combinazioni frequenti →  $w_3 = 0.4\text{mm}$

Combinazioni quasi permanenti →  $w_2 = 0.3\text{mm}$

### Verifica delle tensioni di esercizio

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

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

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

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

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

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

### Combinazione quasi permanente SLE: Combinazione n°71

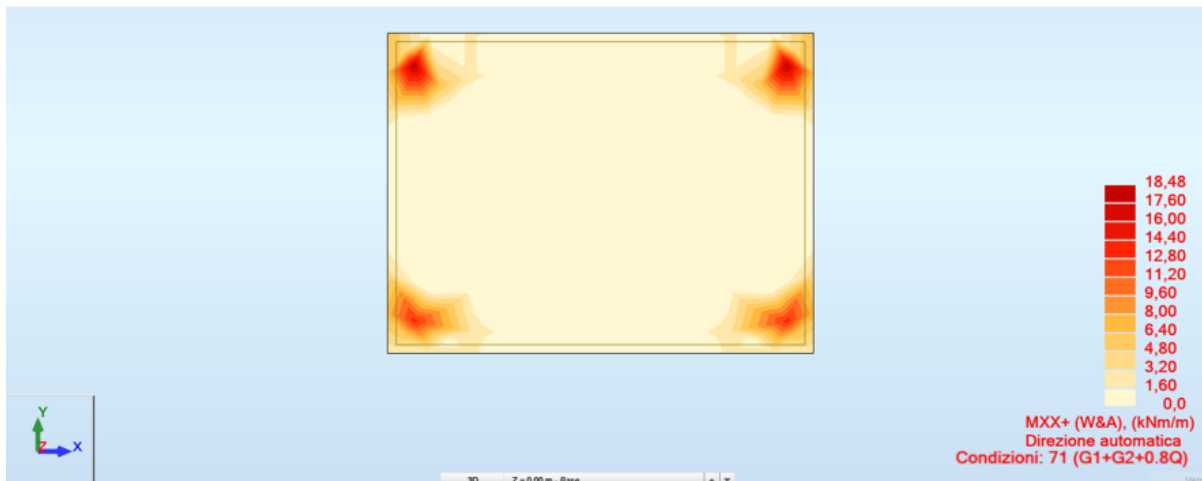


Fig. 52 – Involuppo superiore Momento Flettente (Wood&Armer) direzione X

COMBINAZIONE SLE QUASI PERMANENTE

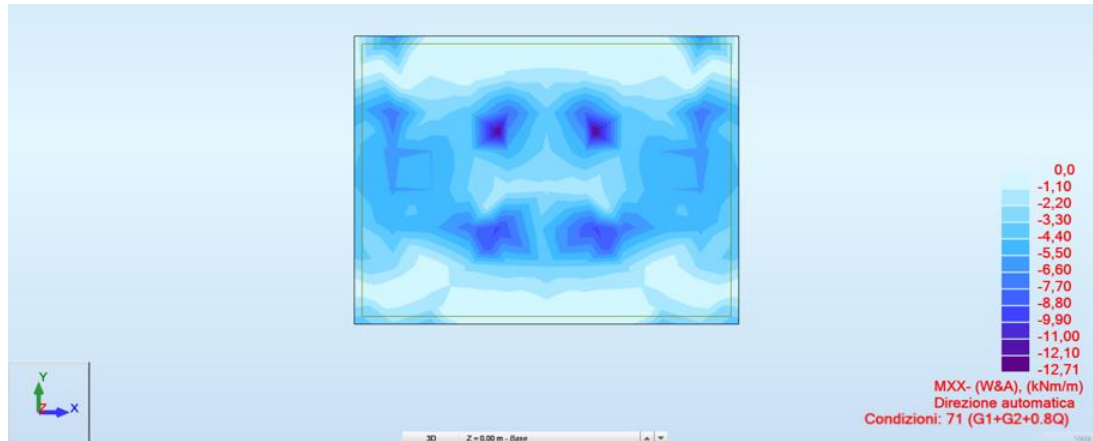


FIG. 53 – INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X COMBINAZIONE SLE QUASI PERMANENTE

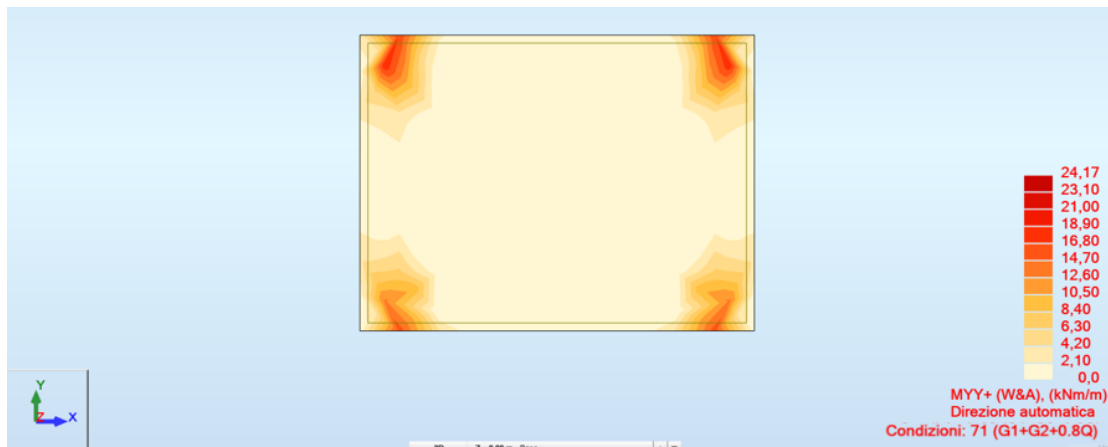


FIG. 54 – INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y COMBINAZIONE SLE QUASI PERMANENTE

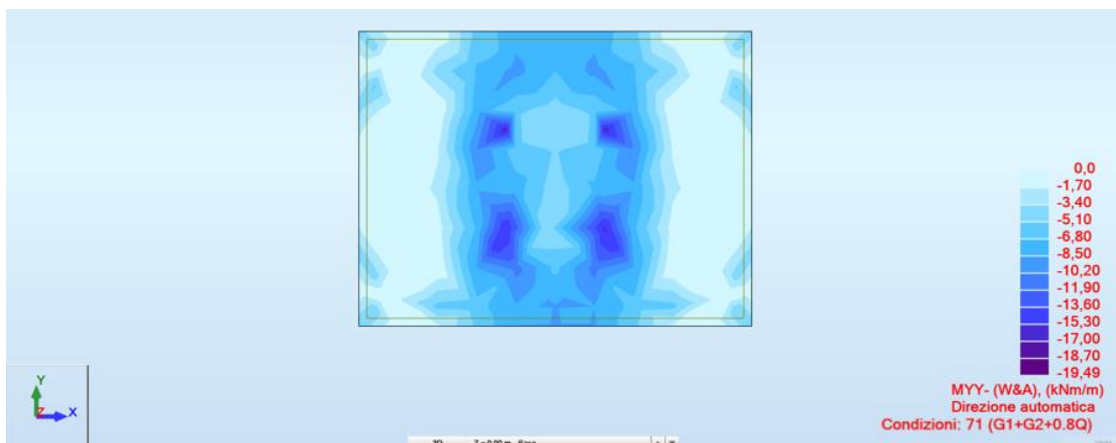


FIG. 55 – INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y COMBINAZIONE SLE QUASI PERMANENTE

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

Verifica della sezione a fessurazione (SLE)			
wlim	0,30 mm		Comb SLE Qper ▼
b	100 cm		
h	30 cm		
Es	210000 N/mm <sup>2</sup>		
σs	192,1 N/mm <sup>2</sup>		
kt	0,4		carico di lunga durata ▼
fctm	2,56 N/mm <sup>2</sup>		
As	5,65 cm <sup>2</sup>		5ø12
c	50 mm		copriferro
d	25 cm		
x	5,64 cm		
hc,ef	8,1 cm		
Ac,ef	812,1 cm <sup>2</sup>		
ρp,eff	0,007		
Ecm	31447 N/mm <sup>2</sup>		
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		
wk	0,254 mm		<b>Sezione verificata</b>

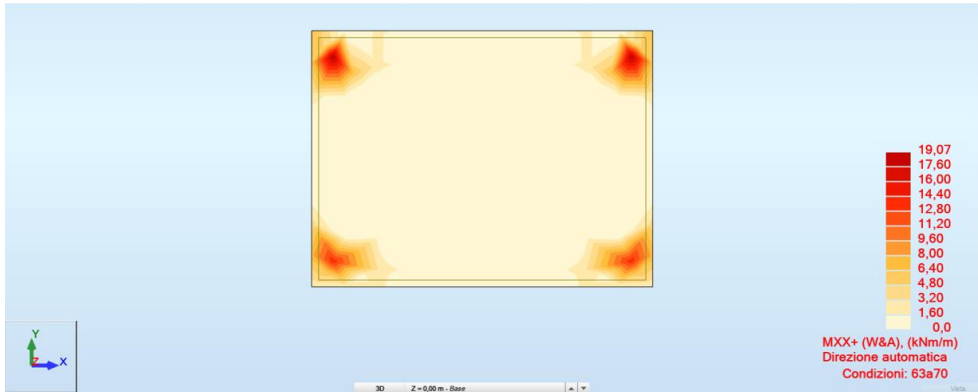
$$\sigma_c \sim 3.73 \text{ N/mm}^2 < 0.45 \times f_{ck} = 11.25 \text{ N/mm}^2$$

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

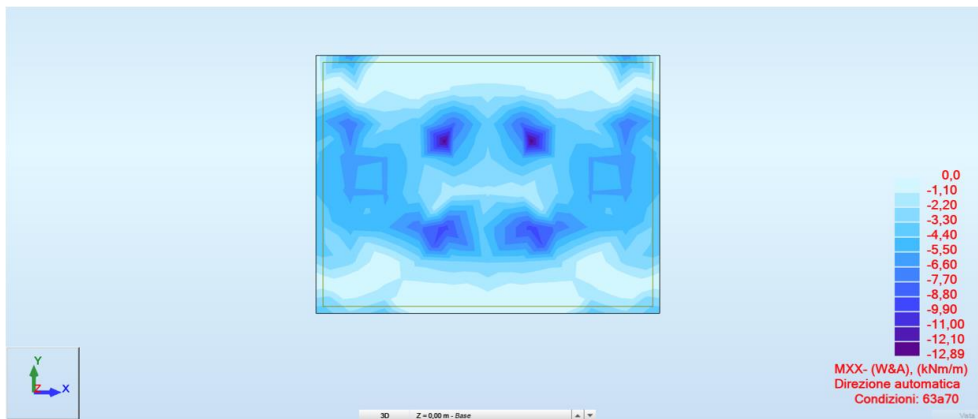
L'apertura delle fessure è stimata pari a:

$$w_k = 0.254 \text{ mm} < 0.3 \text{ mm}$$

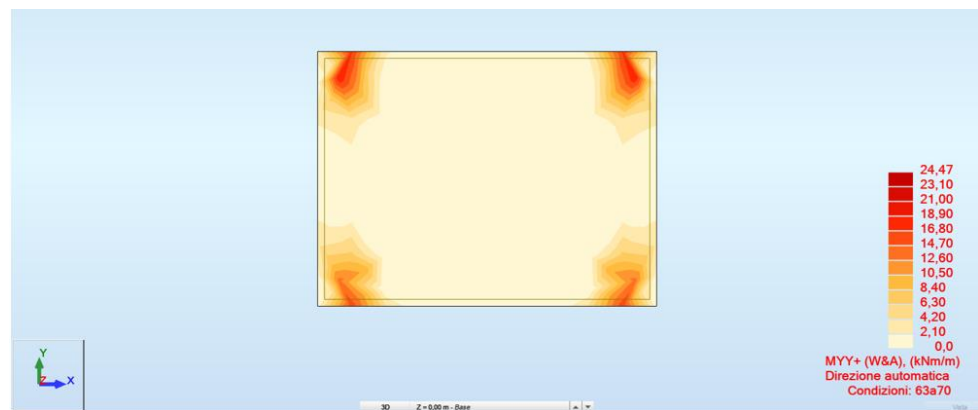
**Combinazione frequente SLE: Combinazione da n°63-70**



**FIG. 56 – INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X  
COMBINAZIONE SLE FREQUENTE**



**FIG. 57 – INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE X  
COMBINAZIONE SLE FREQUENTE**



**FIG. 58 – INVILUPPO SUPERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y  
COMBINAZIONE SLE FREQUENTE**



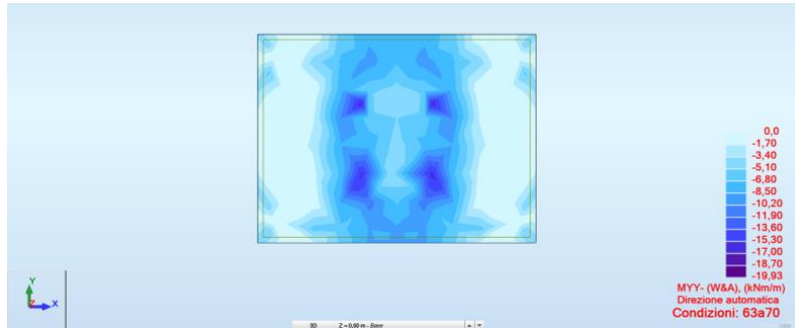


FIG. 59 – INVILUPPO INFERIORE MOMENTO FLETTENTE (WOOD&ARMER) DIREZIONE Y  
COMBINAZIONE SLE FREQUENTE

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

Verifica della sezione a fessurazione (SLE)			
wlim	0,40 mm	Comb SLE Freq ▼	
b	100 cm		
h	30 cm		
Es	210000 N/mm <sup>2</sup>		
σs	192,1 N/mm <sup>2</sup>		
kt	0,4	carico di lunga durata ▼	
fctm	2,56 N/mm <sup>2</sup>		
As	5,65 cm <sup>2</sup>	5ø12	
c	50 mm	copriferro	
d	25 cm		
x	5,64 cm		
hc,ef	8,1 cm		
Ac,ef	812,1 cm <sup>2</sup>		
pp,eff	0,007		
Ecm	31447 N/mm <sup>2</sup>		
αe	6,678		
esm	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		
wk	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

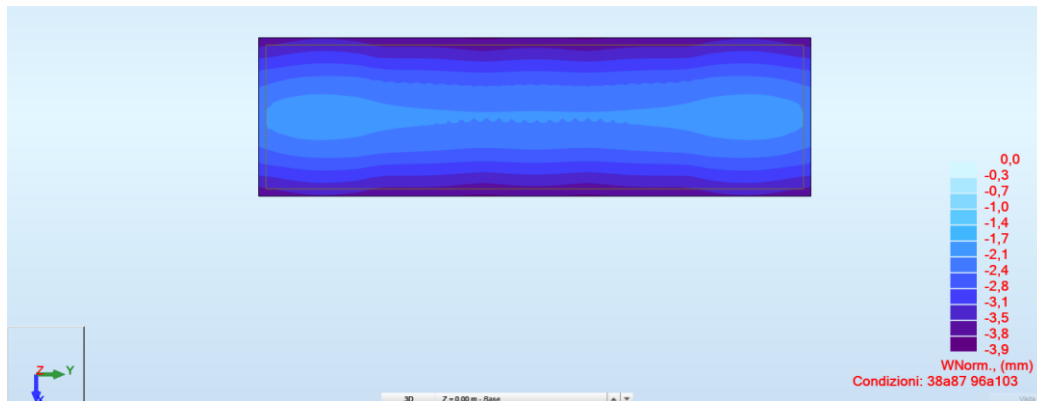


FIG. 60 – INVILUPPO DEI CEDIMENTI SECONDO LE COMBINAZIONI SLE – FONDAZIONE – SW STATION

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

$$w_{\max} = 3.9\text{mm}$$

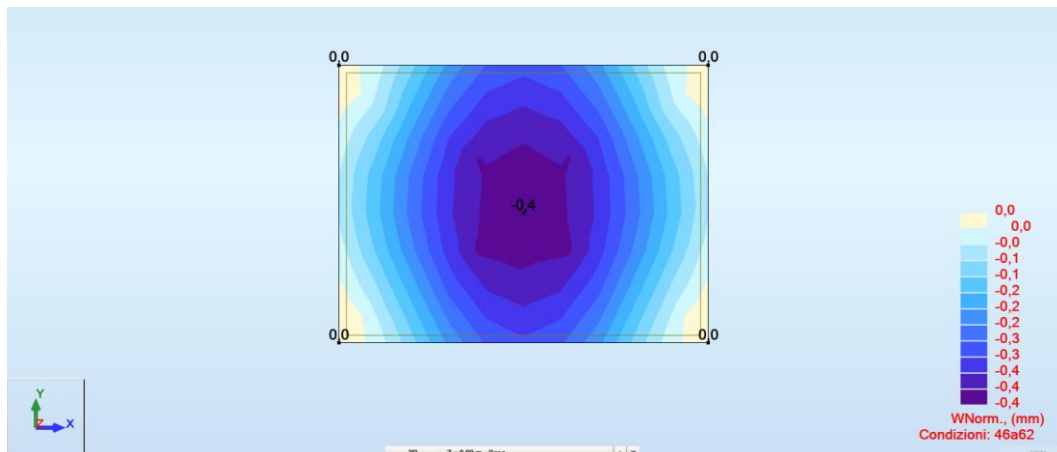


FIG. 61 – INVILUPPO DEI CEDIMENTI SECONDO LE COMBINAZIONI SLE – FONDAZIONE – TRASFORMATORE

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

$$w_{\max} = 0.4\text{mm}$$

### 3. CONCLUSIONI

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

#### TIPO DI ANALISI SVOLTA

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

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

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

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

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

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

Il metodo degli elementi finiti 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.

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

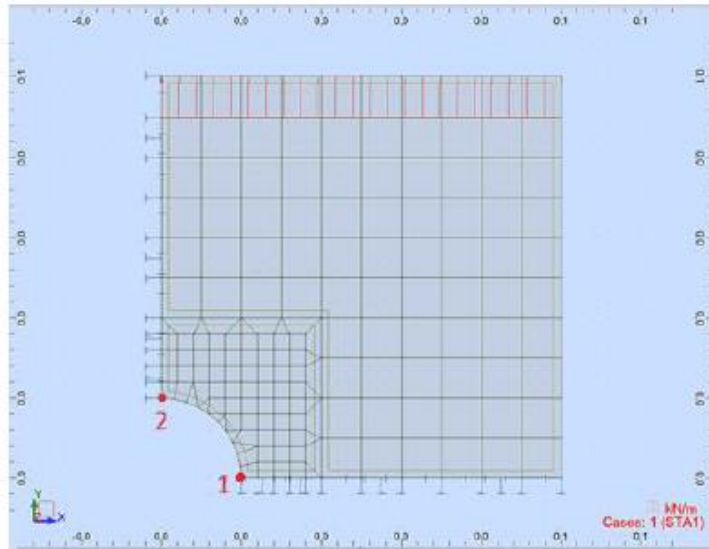


Autodesk (and other products) are registered trademarks or trademarks of Autodesk, Inc., and/or its subsidiaries and/or affiliates in the USA and/or other countries. All other brand names, product names, or trademarks belong to their respective holders. Autodesk reserves the right to alter product offerings, 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 $\sigma_{\theta\theta}$ (N/mm <sup>2</sup> )	6.94	7.5	7.47
2	Stress $\sigma_{\theta\theta}$ (N/mm <sup>2</sup> )	- 2.57	- 2.5	2.80

**CONCLUSION:**

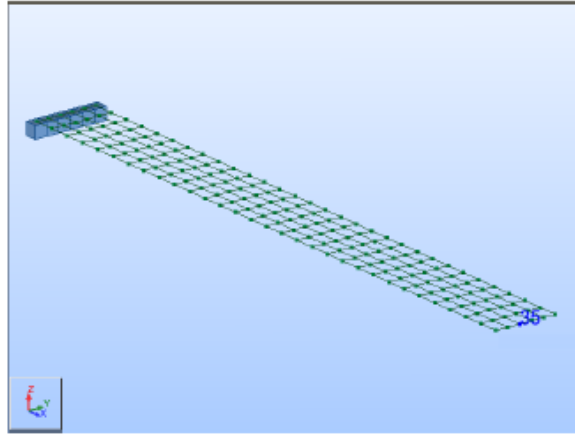
Poor agreement of results.

**VERIFICATION EXAMPLE**

Rectangular plate: cantilever slab - SSSL01

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

**GEOMETRY:**



DATA FILE SSSL01.rtd

**COMPARISON:**

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

**CONCLUSION:**

Excellent agreement of results.

25



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

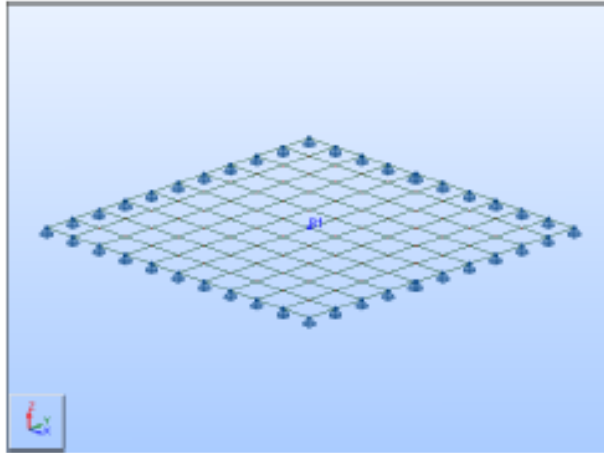


**VERIFICATION EXAMPLE**

Simply supported square plate - SSSL02

Name of the test: SSSL02  
 Reference: AFNOR  
 Specification: Simply supported square plate under self weight.

**GEOMETRY:**



DATA FILE: SSSL02.rtd

**COMPARISON:**

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

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

**CONCLUSION:**

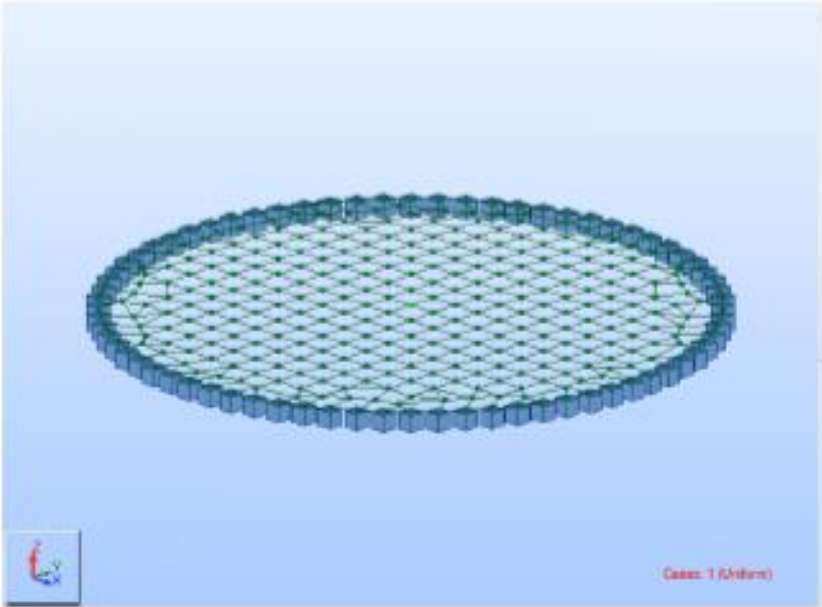
Excellent agreement of results.

**VERIFICATION EXAMPLE**

Circular plate under uniform load - SSSL03

**Name of the test:** SSSL03  
**Reference:** AFNOR  
**Specification:** Circular plate with clamped edges under uniform load

**GEOMETRY:**




**DATA FILES:** SSSL03.rtd

**COMPARISON:**

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

**CONCLUSION:**  
Very good agreement of results.

27



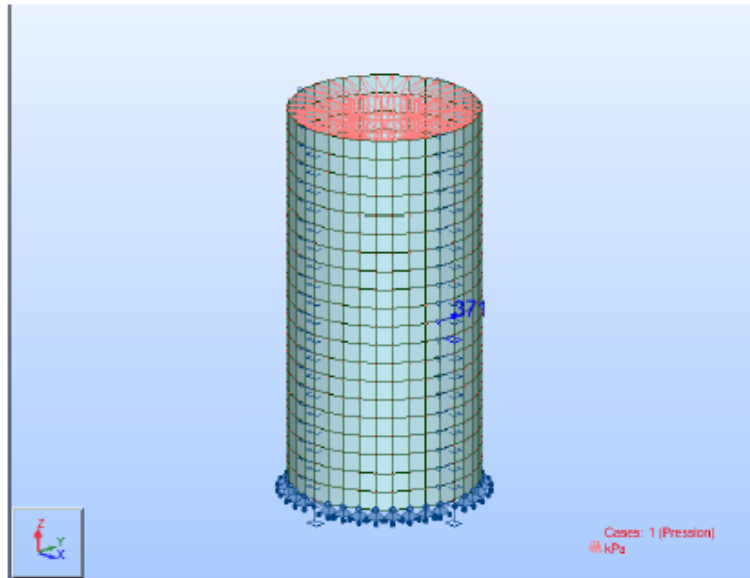
Autodesk (and other products) are registered trademarks or trademarks of Autodesk, Inc., and/or its subsidiaries and/or affiliates in the USA and/or other countries. All other brand names, product names, or trademarks belong to their respective holders. Autodesk reserves the right to alter product offerings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

Thin-walled cylinder under uniform radial pressure - SSSL06

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

**GEOMETRY:**



DATA FILE: SSSL06.rtd

**COMPARISON:**

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

**CONCLUSION:**

Good agreement of results.