



Regione Sicilia

Comune di Vizzini (CT)



# Progetto per la realizzazione di un Impianto Agrovoltaico della potenza di 150 MW e relative opere connesse nel Comune di Vizzini (CT), C.da Santa Domenica

## PROGETTAZIONE DEFINITIVA

### Proponente:

1-4-9 Invest Sicily P4 Dev S.r.l.  
Vicolo Gumer, 9 - 39100 Bolzano Messina  
C.F. e P.Iva: 03122340213 - Numero REA: BZ-233961  
pec: 1\_4\_9investsicilyp4dev@legalmail.it  
Tel: +39 0471 067150



1-4-9 Invest Sicily P4 Dev S.r.l.

### Progettazione:

Verde Ambiente Sicilia s.r.l.  
90123 Palermo, via Serraglio Vecchio n. 28  
C.F./P.IVA n. 06775290825  
email: verdeambientesicilia@gmail.com - PEC: verdeambientesicilia@pec.it



### Consulenti: Ing. Francesco Caligiore



*Ing. Francesco Caligiore*

Titolo: **Relazione di Calcolo Preliminare delle Strutture**

Allegato:

**PROG\_41**

CODICE identificativo : RS06REL0005A0



PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO DELLA POTENZA DI 150 MW E  
RELATIVE OPERE CONNESSE NEL COMUNE DI VIZZINI (CT), IN C.DA SANTA DOMENICA.

RELAZIONE TECNICA GENERALE.

**SOMMARIO**

1. PREMESSA.....	1
Generalità.....	1
2. ANALISI DEI CARICHI.....	2
Carichi permanenti .....	2
Carico variabile da neve.....	2
Carico variabile da vento.....	4
3.METODO DI CALCOLO UTILIZZATO, DESCRIZIONE DEL TIPO DI ANALISI ESEGUITA.VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA.....	6
4.VERIFICHE CONSUNTIVE.....	8
5. VALIDAZIONE DEL CODICE DI CALCOLO.....	14



## **1. PREMESSA.**

### *Generalità.*

Nella presente relazione vengono riportati i dati iniziali necessari per il corretto dimensionamento delle strutture di un singolo tracker per pannelli fotovoltaici. Tali dati sono anche utilizzati per il dimensionamento delle fondazioni a platea delle cabine di trasformazione e per i trasformatori dell'energia elettrica.

Un singolo tracker è composto da una serie di colonne e travi principali, alle quali si collegano delle traverse secondarie sulle quali si fissano i pannelli fotovoltaici. L'intera struttura in elevazione è realizzata in acciaio e la tipologia di fondazioni è del tipo profonda con plinto su palo (realizzata in c.a.). I dati iniziali sono anche utilizzati per il dimensionamento delle fondazioni a platea delle cabine di trasformazione e ai trasformatori.

Nel seguito sono quindi illustrate, l'analisi dei carichi, il tipo di calcolo eseguito con la scelta dei principali parametri relativi al comportamento delle strutture, e un riassunto dei risultati ottenuti (solamente per le strutture del tracker). Infine è riportato un esempio di validazione dei risultati ottenuti con l'utilizzo del software.

## 2. ANALISI DEI CARICHI.

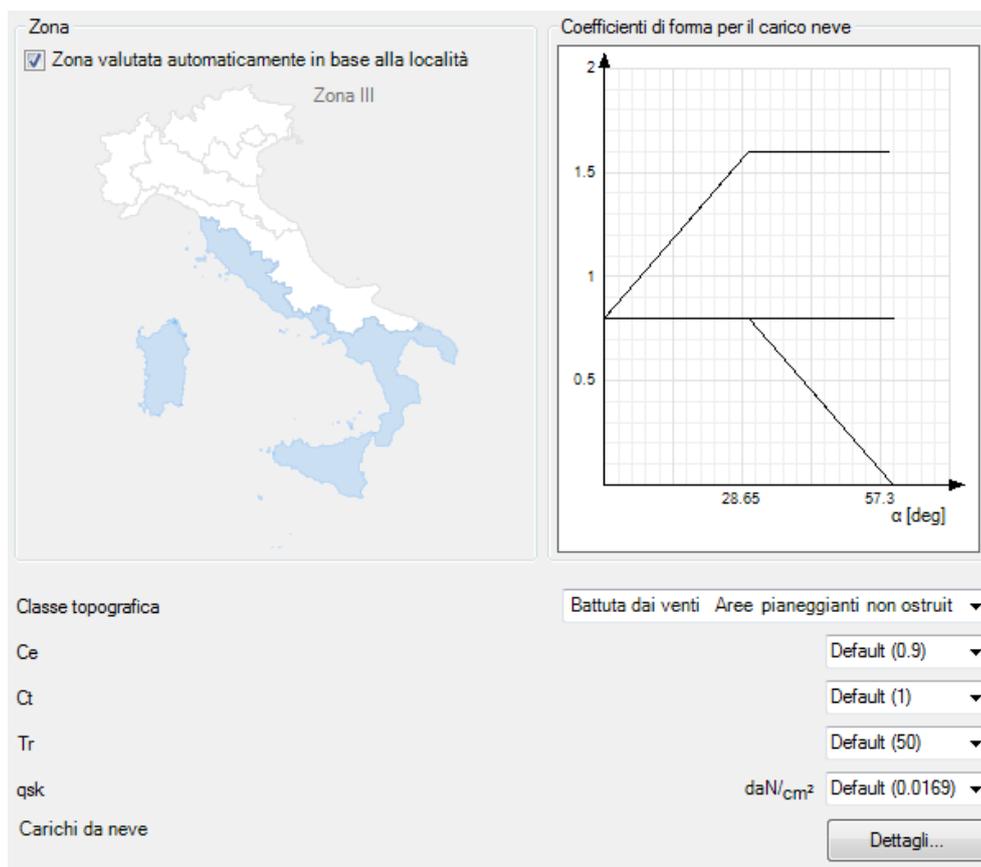
Viene riportata l'analisi dei carichi utilizzati per dimensionare le strutture portanti dei pannelli fotovoltaici e delle fondazioni relative alle cabine ed ai trasformatori. Le unità di misura sono espresse in daN – m.

### *Carichi permanenti*

Il carico permanente è quello relativo al peso del singolo pannello fotovoltaico che viene collegato alla struttura di supporto. Il peso di ogni singolo pannello, avente dimensioni di 2,252m x 1,048m è di  $25,7 \frac{\text{daN}}{\text{m}^2}$ , per cui il corrispondente carico permanente al mq è pari a  $10,9 \frac{\text{daN}}{\text{m}^2}$ .

### *Carico variabile da neve*

Il carico variabile da neve è dato dal seguente prospetto:



Il valore di riferimento del carico della neve al suolo  $q_{sk}$  è pari a  $170 \frac{\text{daN}}{\text{m}^2}$

L'inclinazione che massimizza il carico da neve è data dall'angolo  $\alpha$  pari a  $0^\circ$  (pannelli fotovoltaici in posizione orizzontale), per cui si ha il coefficiente di forma della copertura  $\mu_i$  è pari a 0,8.

Descrizione	Dati	Nuovo
▶ 1 Copertura ad una falda D.M. 17-01-18 §3.4.3.2	<input type="text" value="α=0.00"/>	Elimina

Dettagli del carico 1 'Copertura ad una falda D.M. 17-01-18 §3.4.3.2'

μ = 0.8

q =

α =

Il coefficiente d'esposizione è pari a  $C_E = 0,9$ .

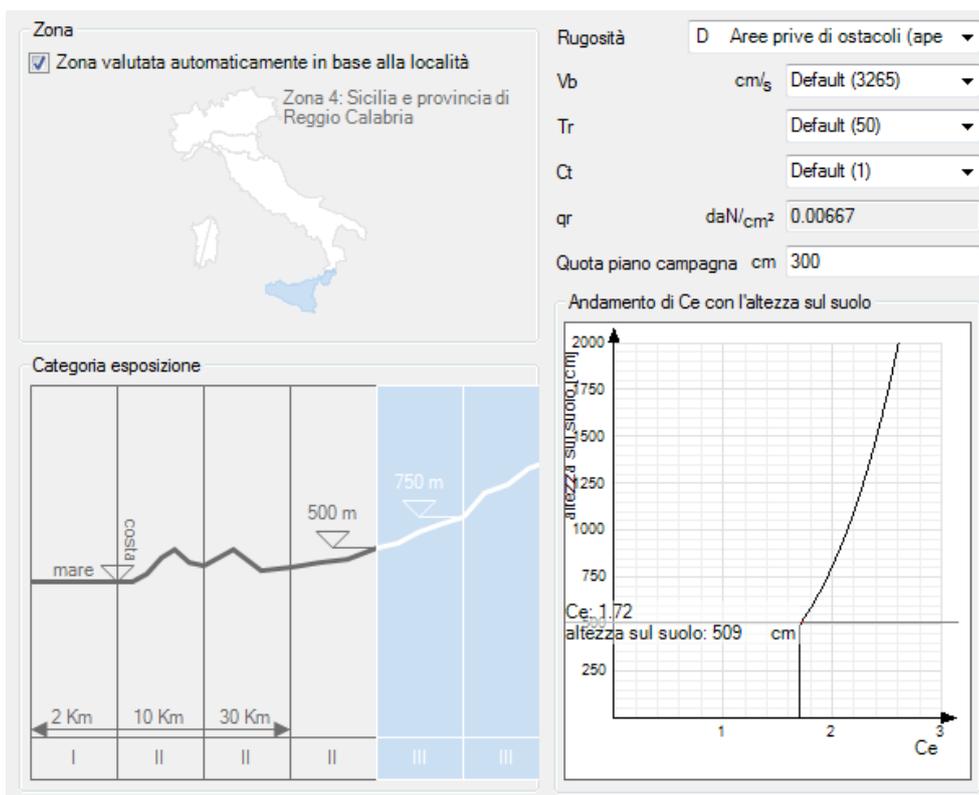
Il coefficiente termico è pari a  $C_t = 1$ .

Il carico da neve è pari a  $q_s = q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_E \cdot C_t = 170 \frac{\text{daN}}{\text{m}^2} \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 1 = 120 \frac{\text{daN}}{\text{m}^2}$ .

Nel caso in cui i pannelli fotovoltaici sono al massimo della loro inclinazione, cioè  $\alpha = 70^\circ$ , il coefficiente di forma della copertura  $\mu_i$  è pari a 0, per cui il carico da neve risulta nullo.

### Carico variabile da vento

La pressione cinetica di riferimento è calcolata in base ai dati del seguente prospetto:



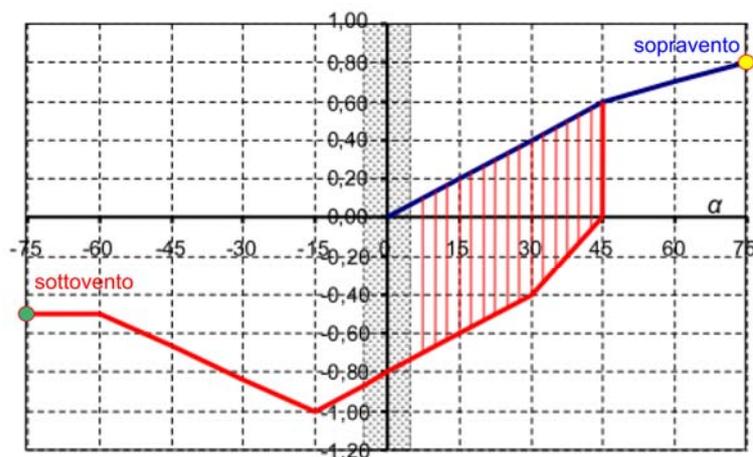
Il carico viene calcolato con riferimento ai due valori principali di inclinazione dei pannelli, per  $\alpha = 70^\circ$  (massima inclinazione dei pannelli) e per  $\alpha = 0^\circ$  (pannelli disposti orizzontalmente).

La pressione cinetica di riferimento è  $q_r = 67 \text{ daN/m}^2$ .

Il coefficiente di esposizione  $C_e$  è pari a 1,72.

Il coefficiente dinamico  $C_d$  è pari a 1.

Per  $\alpha = 70^\circ$  il coefficiente dinamico  $C_p$ , calcolato in accordo alla NTC2018 e alla norma CNR DT 207/2008, assume i seguenti valori:



**Figura G.7** – Coperture a semplice falda: valori del coefficiente  $c_{pe}$ : vento perpendicolare alla direzione del colmo.

$$- C_{P,\text{sopravento}} = 0,80$$

$$- C_{P,\text{sottovento}} = - 0,50$$

Per cui:

La pressione del vento in condizioni di sopravento è pari a:  $p_{\text{sopravento}} = 57 \frac{\text{daN}}{\text{m}^2} \cdot 1,72 \cdot 0,80 \cdot 1 = 92 \frac{\text{daN}}{\text{m}^2}$ .

La pressione del vento in condizioni di sottovento è pari a:  $p_{\text{sottovento}} = 57 \frac{\text{daN}}{\text{m}^2} \cdot 1,72 \cdot -0,50 \cdot 1 = 58 \frac{\text{daN}}{\text{m}^2}$ .

Per  $\alpha = 0^\circ$  (pannelli disposti orizzontalmente) il coefficiente dinamico  $C_p$ , assume valore pari a 0, per cui si può considerare nulla la pressione esercitata dal vento. In fase di esecuzione dei calcoli verrà assunto il valore di carico da vento che massimizza le sollecitazioni sulle strutture di sostegno dei pannelli, ovvero  $p = 92 \frac{\text{daN}}{\text{m}^2}$ .

*Carico variabile per ispezione delle coperture.*

Tale carico (cat. di tipo H) è utilizzato per le cabine di trasformazione ed è pari a  $100 \text{ daN/m}^2$ .

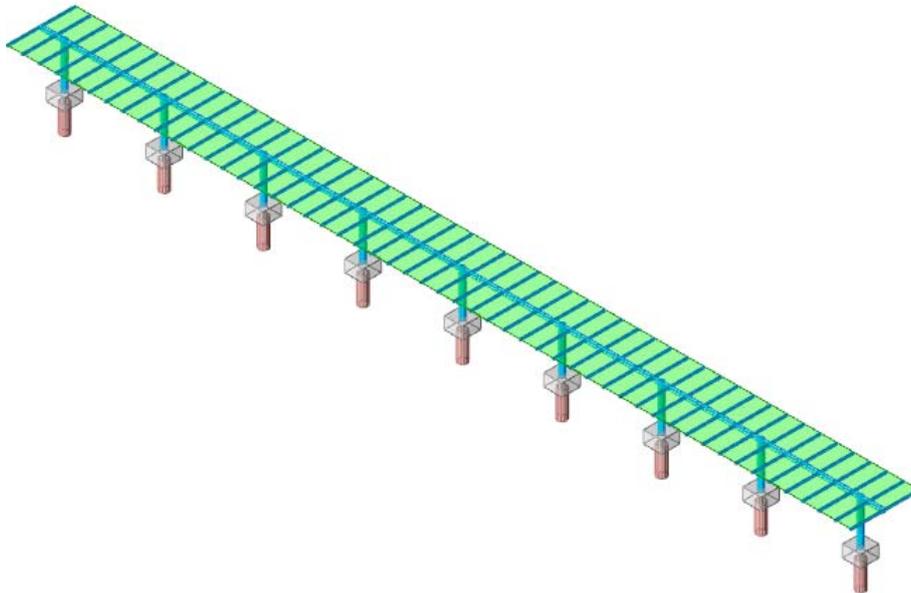
### 3.METODO DI CALCOLO UTILIZZATO, DESCRIZIONE DEL TIPO DI ANALISI ESEGUITA.VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA.

L'analisi del comportamento strutturale e le verifiche delle strutture in oggetto vengono condotte osservando le indicazioni delle nuove norme tecniche per le costruzioni D.M. infrastrutture del 17/01/2018 (in seguito NTC2018) e della relativa circolare esplicativa n.7 del 19/1/2019 (in seguito circ. 7). Si è fatto inoltre riferimento anche alle istruzioni CNR DT 207/2008 per completezza dello sviluppo dell'analisi dei carichi.

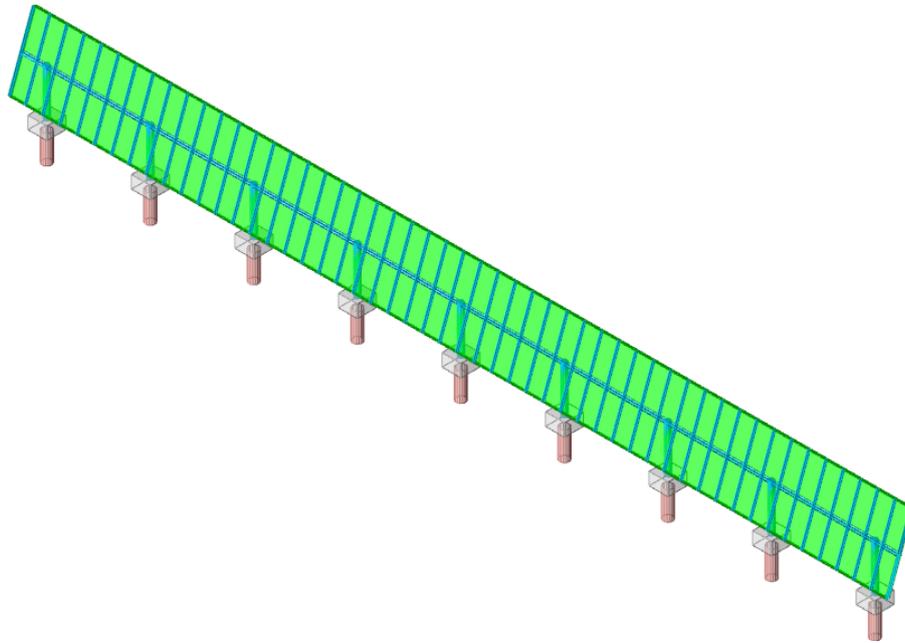
È stato condotto un calcolo di tipo lineare con analisi dinamica modale con spettro di risposta e con fattore di comportamento  $q$ , eseguito mediante elaboratore elettronico, con l'ausilio di un codice di calcolo automatico basato su risoluzione dei problemi strutturali tramite la metodologia degli elementi finiti. La struttura sarà progettata come tipologia non dissipativa utilizzando quindi un fattore di comportamento  $q$  pari a 1,5 per gli stati limite di esercizio (SLD) e ultimo (SLV).

Le strutture sono verificate con la metodologia degli stati limite, in campo statico e in campo dinamico. Sono considerati gli stati limite d'esercizio (SLE) e ultimo (SLU) per i carichi gravitazionali (campo statico), e gli stati limite di danno (SLD) e di salvaguardia della vita (SLV) per i carichi sismici.

Per le verifiche condotte sugli elementi strutturali, sono state preliminarmente analizzate le due configurazioni geometriche riguardante la disposizione dei pannelli. Infatti, per la posizione dei pannelli orizzontali si massimizza l'azione del carico da neve, mentre per posizione dei pannelli nella loro massima inclinazione è prevalente l'azione esercitata dal vento.



Struttura di un singolo tracker per supporto dei pannelli fotovoltaici. Configurazione geometrica con pannelli orizzontali. In questo caso il carico da neve massimizza le sollecitazioni.



Struttura di un singolo tracker per supporto dei pannelli fotovoltaici. Configurazione geometrica con pannelli inclinati al massimo. In questo caso il carico da vento massimizza le sollecitazioni.

Dal confronto preliminare è emerso che le strutture risultano più sollecitate quando si trovano nella posizione di massima inclinazione rispetto all'orizzontale, per cui le verifiche saranno condotte con questa configurazione.

Inoltre, dalla relazione geologica si evince come anche se la maggior parte dei tracker da installare ricade su un suolo di origine vulcanica, un certo numero sarà collocato su un'area sulla quale tale strato roccioso è preceduto da dei terrazzi fluviali costituiti da sabbie e limi (per uno spessore massimo dello strato di circa 2m), per cui il calcolo sarà condotto duplicemente considerando le due tipologie di suolo. Ulteriori notizie sulla modellazione delle fondazioni ai fini del calcolo sono illustrate nella relazione geotecnica.

Per le fondazioni delle cabine di trasformazione e dei trasformatori dell'energia elettrica, esse sono dimensionate tenendo in conto il peso delle strutture che vi vanno a gravare ed eventuali sovraccarichi.

Una volta ottenuto il modello agli elementi finiti della struttura, viene sottoposto all'analisi statica e sismica per le diverse combinazioni di carico così come richieste dalla normativa, e vengono eseguite le verifiche per tutti gli elementi strutturali.

#### 4.VERIFICHE CONSUNTIVE

Nel seguente capitolo vengono riportate in sintesi le verifiche su ogni singolo elemento che compone la struttura di un tracker di supporto per i pannelli fotovoltaici. Le verifiche qui riassunte riguardano sia quelle eseguite su suolo di tipo vulcanico che sul suolo stratificato (terrazze fluviali – vulcani basici). Nel fascicolo dei calcoli saranno solamente riportate per esteso le verifiche relative al suolo di tipo vulcanico, e le verifiche delle platee di fondazione relative alle cabine di trasformazione e ai trasformatori.

#### TERRENO ZONA VULCANITI BASICHE

#### Verifiche di riepilogo superelementi in acciaio

**Verifica:** Descrizione della verifica relativa che ne consente l'individuazione all'interno della struttura.

**Sicurezza minima:** Visualizza per ciascun elemento di verifica il valore minimo del coefficiente di sicurezza relativamente alle verifiche visualizzabili per tale elemento. Il valore è adimensionale.

**Minimo trazione:** Minimo coefficiente di sicurezza a trazione. Il valore è adimensionale.

**Minimo compressione:** Minimo coefficiente di sicurezza a compressione. Il valore è adimensionale.

**Minimo taglio:** Minimo coefficiente di sicurezza a taglio. Il valore è adimensionale.

**Minimo torsione:** Minimo coefficiente di sicurezza a torsione. Il valore è adimensionale.

**Minimo flessione semplice:** Minimo coefficiente di sicurezza a flessione semplice. Il valore è adimensionale.

**Minimo flessione deviata:** Minimo coefficiente di sicurezza a flessione deviata. Il valore è adimensionale.

**Minimo flessione semplice + N:** Minimo coefficiente di sicurezza a flessione semplice con sforzo normale. Il valore è adimensionale.

**Minimo flessione deviata + N:** Minimo coefficiente di sicurezza a flessione deviata con sforzo normale. Il valore è adimensionale.

Verifica	Sicurezza minima	Minimo trazione	Minimo compressione	Minimo taglio	Minimo torsione	Minimo flessione semplice	Minimo flessione deviata	Minimo flessione semplice + N	Minimo flessione deviata + N
Superelemento in acciaio a "Testa colonna" fili 4 - 5	1.551	424.967	529.967	17.756	36.787	11.654	11.061	3.315	2.024
Superelemento in acciaio quote "Fondazione" - "Testa colonna" filo 4	1.779		74.627	19.982	265.959			2.213	1.779
Superelemento in acciaio quote "Fondazione" - "Testa colonna" filo 5	1.78		74.659	19.98	283.635			1.78	13.334
Superelemento in acciaio quote "Fondazione" - "Testa colonna" filo 9	2.34		102.001	25.522	23.318			4.151	2.34
Superelemento in acciaio quote "Fondazione" - "Testa colonna" filo 8	1.81		71.343	20.142	229.703			1.814	1.81
Superelemento in acciaio a "Testa colonna" fili 8 - 9	1.551	515.711	471.494	17.476	36.965	12.523	10.599	2.967	1.896
Superelemento in acciaio a "Testa colonna" fili 9 - (5451; 0)	1.685	1271.236	1271.236	36.849	95.524	32.751	6.256	157.798	16.237
Superelemento in acciaio a "Testa colonna" fili 7 - 8	1.551	402.043	500.258	17.719	35.56	11.459	11.166	3.102	2.035
Superelemento in acciaio a "Testa colonna" fili 6 - 7	1.551	420.358	516.644	17.756	36.763	11.643	11.009	3.315	2.023
Superelemento in acciaio a "Testa colonna" fili 5 - 6	1.551	424.975	529.984	17.756	36.789	11.654	11.062	3.315	2.024
Superelemento in acciaio a "Testa colonna" fili 3 - 4	1.551	420.335	516.634	17.756	36.765	11.643	11.01	3.315	2.023
Superelemento in acciaio a "Testa colonna" fili 2 - 3	1.551	402.006	500.255	17.721	35.558	11.459	11.167	3.103	2.035
Superelemento in acciaio a "Testa colonna" fili 1 - 2	1.551	515.637	471.496	17.478	36.963	12.523	10.599	2.966	1.896
Superelemento in acciaio a "Testa colonna" fili 1 - (-211; 0)	6.256	1271.384	1271.384	36.855	95.516	32.75	6.256	158.018	16.236
Superelemento in acciaio quote "Fondazione" - "Testa colonna" filo 6	1.779		74.627	19.982	265.96			2.213	1.779
Superelemento in acciaio quote "Fondazione" - "Testa colonna" filo 7	1.777		74.976	19.958	271.078			2.642	1.777
Superelemento in acciaio quote "Fondazione" - "Testa colonna" filo 3	1.777		74.976	19.958	271.078			2.642	1.777
Superelemento in acciaio quote "Fondazione" - "Testa colonna" filo 2	1.81		71.343	20.142	229.705			1.814	1.81
Superelemento in acciaio quote "Fondazione" - "Testa colonna" filo 1	2.34		101.999	25.521	23.315			4.151	2.34
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili a8 - g8	3.087	2424.828		30.327		35.349	46.337		3.087
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili f7 - n7	2.979	2620.466		29.267		34.112	56.57		2.979
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili e7 - m7	2.985			29.323		34.174	62.686		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili d7 - l7	2.985			29.323		34.174	52.829		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili c7 - i7	2.985			29.323		34.174	48.767		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili a7 - g7	2.98	2608.196		29.275		34.114	57.748		2.98
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili f6 - n6	2.979	2608.203		29.267		34.112	54.454		2.979
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili e6 - m6	2.985	1945.698		29.323		34.174	47.58		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili d6 - l6	2.985			29.323		34.174	42.982		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili c6 - i6	2.985			29.323		34.174	42.654		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili a6 - g6	2.98	2609.989		29.275		34.114	54.117		2.98
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili f5 - n5	2.979	2608.303		29.267		34.112	57.913		2.979
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili e5 - m5	2.985	2111.078		29.323		34.174	48.072		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili d5 - l5	2.985			29.323		34.174	43.366		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili c5 - i5	2.985			29.323		34.174	43.198		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili a5 - g5	2.98	2601.413		29.275		34.114	59.274		2.98
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili f4 - n4	2.979	2607.945		29.267		34.112	60.619		2.979
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili e4 - m4	2.985	2103.627		29.323		34.174	48.381		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili d4 - l4	2.985			29.323		34.174	43.728		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili c4 - i4	2.985			29.323		34.174	43.704		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili a4 - g4	2.98	2607.82		29.275		34.114	60.276		2.98
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili f3 - n3	2.979	2601.425		29.267		34.112	60.265		2.979
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili e3 - m3	2.985	2103.521		29.323		34.174	48.285		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili d3 - l3	2.985			29.323		34.174	43.705		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili c3 - i3	2.985			29.323		34.174	43.727		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili a3 - g3	2.98	2608.074		29.275		34.114	60.633		2.98

Verifica	Sicurezza minima	Minimo trazione	Minimo compressione	Minimo taglio	Minimo torsione	Minimo flessione semplice	Minimo flessione deviata	Minimo flessione semplice + N	Minimo flessione deviata + N
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili f2 - n2	2.979	2607.852		29.267		34.112	59.268		2.979
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili e2 - m2	2.985	2110.619		29.323		34.174	48.08		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili d2 - l2	2.985			29.323		34.174	43.198		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili c2 - i2	2.985			29.323		34.174	43.368		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili b2 - h2	2.985	2102.527		29.323		34.174	48.074		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili a2 - g2	2.98	2608.432		29.275		34.114	57.919		2.98
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili f1 - n1	2.979	2609.86		29.267		34.112	58.651		2.979
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili e1 - m1	2.985	1946.721		29.323		34.174	47.317		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili d1 - l1	2.985			29.323		34.174	42.655		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili c1 - i1	2.985			29.323		34.174	42.979		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili a1 - g1	2.98	2608.333		29.275		34.114	54.464		2.98
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili f - n	2.979	2594.292		29.267		34.112	57.745		2.979
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili e - m	2.985			29.323		34.174	53.839		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili d - l	2.985			29.323		34.174	48.766		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili c - i	2.985			29.323		34.174	52.833		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili a - g	2.98	2597.032		29.275		34.114	56.567		2.98
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili b0 - h0	3.087			30.327		35.357	57.154		3.087
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili a0 - g0	6.207		1741.116	61.118		40.35	52.514		6.207
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili b - h	2.985			29.323		34.174	62.689		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili b1 - h1	2.985	1945.723		29.323		34.174	47.579		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili b3 - h3	2.985	2111.339		29.323		34.174	48.383		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili b4 - h4	2.985	2103.55		29.323		34.174	48.287		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili b5 - h5	2.985	2102.329		29.323		34.174	48.082		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili b6 - h6	2.985	1946.747		29.323		34.174	47.32		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili b7 - h7	2.985			29.323		34.174	53.841		2.985
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili b8 - (5396; 0)	6.203		1740.773	61.084		40.327	39.851		6.203

## Verifiche di riepilogo plinti

**Verifica:** Descrizione della verifica relativa che ne consente l'individuazione all'interno della struttura.

**Sicurezza minima:** Visualizza per ciascun elemento di verifica il valore minimo del coefficiente di sicurezza relativamente alle verifiche visualizzabili per tale elemento. Il valore è adimensionale.

**Verifica a flessione:** Visualizza per ciascun elemento di verifica il valore minimo del coefficiente di sicurezza a flessione tra tutte le verifiche a flessione condotte per tale elemento. Il valore è adimensionale.

**Verifica a taglio:** Visualizza per ciascun elemento di verifica il valore minimo del coefficiente di sicurezza a taglio tra tutte le verifiche a taglio condotte per tale elemento. Il valore è adimensionale.

**Verifica di portanza:** Visualizza per ciascun elemento di verifica di fondazione il valore minimo del coefficiente di sicurezza per portanza. Il valore è adimensionale.

**Verifica di scorrimento:** Visualizza per ciascun elemento di verifica di fondazione il valore minimo del coefficiente di sicurezza per scorrimento. Il valore è adimensionale.

Verifica	Sicurezza minima
Plinto su pali 6	4.482
Plinto su pali 7	4.476
Plinto su pali 8	4.608
Plinto su pali 9	6.052
Plinto su pali 5	4.481
Plinto su pali 4	4.482
Plinto su pali 3	4.477
Plinto su pali 2	4.608
Plinto su pali 1	6.048

## Verifiche di riepilogo pali

**Verifica:** Descrizione della verifica relativa che ne consente l'individuazione all'interno della struttura.

**Sicurezza minima:** Visualizza per ciascun elemento di verifica il valore minimo del coefficiente di sicurezza relativamente alle verifiche visualizzabili per tale elemento. Il valore è adimensionale.

**Verifica a flessione:** Visualizza per ciascun elemento di verifica il valore minimo del coefficiente di sicurezza a flessione tra tutte le verifiche a flessione condotte per tale elemento. Il valore è adimensionale.

**Verifica a taglio:** Visualizza per ciascun elemento di verifica il valore minimo del coefficiente di sicurezza a taglio tra tutte le verifiche a taglio condotte per tale elemento. Il valore è adimensionale.

**Verifica di portanza:** Visualizza per ciascun elemento di verifica di fondazione il valore minimo del coefficiente di sicurezza per portanza. Il valore è adimensionale.

Verifica	Sicurezza minima	Verifica a flessione	Verifica a taglio	Verifica di portanza
Trivellato D60 di plinto su pali filo 6	1.172	1.172	1.381	8.239
Trivellato D60 di plinto su pali filo 5	1.172	1.172	1.381	8.24
Trivellato D60 di plinto su pali filo 4	1.172	1.172	1.381	8.239
Trivellato D60 di plinto su pali filo 3	1.171	1.171	1.38	8.25
Trivellato D60 di plinto su pali filo 2	1.194	1.194	1.403	8.126
Trivellato D60 di plinto su pali filo 1	1.574	1.574	1.83	8.96
Trivellato D60 di plinto su pali filo 7	1.171	1.171	1.38	8.25
Trivellato D60 di plinto su pali filo 8	1.194	1.194	1.403	8.126
Trivellato D60 di plinto su pali filo 9	1.574	1.574	1.83	8.96

TERRENO ZONA TERRAZZE FLUVIALI – VULCANITI BASICHE

**Verifiche di riepilogo superelementi in acciaio**

**Verifica:** Descrizione della verifica relativa che ne consente l'individuazione all'interno della struttura.

**Sicurezza minima:** Visualizza per ciascun elemento di verifica il valore minimo del coefficiente di sicurezza relativamente alle verifiche visualizzabili per tale elemento. Il valore è adimensionale.

**Minimo trazione:** Minimo coefficiente di sicurezza a trazione. Il valore è adimensionale.

**Minimo compressione:** Minimo coefficiente di sicurezza a compressione. Il valore è adimensionale.

**Minimo taglio:** Minimo coefficiente di sicurezza a taglio. Il valore è adimensionale.

**Minimo torsione:** Minimo coefficiente di sicurezza a torsione. Il valore è adimensionale.

**Minimo flessione semplice:** Minimo coefficiente di sicurezza a flessione semplice. Il valore è adimensionale.

**Minimo flessione deviata:** Minimo coefficiente di sicurezza a flessione deviata. Il valore è adimensionale.

**Minimo flessione semplice + N:** Minimo coefficiente di sicurezza a flessione semplice con sforzo normale. Il valore è adimensionale.

**Minimo flessione deviata + N:** Minimo coefficiente di sicurezza a flessione deviata con sforzo normale. Il valore è adimensionale.

Verifica	Sicurezza minima	Minimo trazione	Minimo compressione	Minimo taglio	Minimo torsione	Minimo flessione semplice	Minimo flessione deviata	Minimo flessione semplice + N	Minimo flessione deviata + N
Superelemento in acciaio a "Testa colonna" fili 4 - 5	1.551	413.36	692.706	17.938	43.92	11.422	11.563	3.348	2.066
Superelemento in acciaio quote "Fondazione" - "Testa colonna" filo 4	1.781		78.342	19.983	378.8			2.13	1.781
Superelemento in acciaio quote "Fondazione" - "Testa colonna" filo 5	1.782		78.385	19.98	387.548			1.782	16.096
Superelemento in acciaio quote "Fondazione" - "Testa colonna" filo 9	2.347		108.257	25.548	24.406			4.017	2.347
Superelemento in acciaio quote "Fondazione" - "Testa colonna" filo 8	1.815		74.497	20.156	259.153			1.815	1.875
Superelemento in acciaio a "Testa colonna" fili 8 - 9	1.551	499.285	564.156	17.646	43.414	13.52	12.133	4.869	1.923
Superelemento in acciaio a "Testa colonna" fili 9 - (-5451; 0)	1.685	1980.436	1980.436	37.373	117.935	54.122	6.637	376.948	20.359
Superelemento in acciaio a "Testa colonna" fili 7 - 8	1.551	392.347	615.962	17.898	41.155	11.199	11.335	3.042	2.078
Superelemento in acciaio a "Testa colonna" fili 6 - 7	1.551	409.444	651.667	17.938	44.078	11.411	11.551	3.349	2.064
Superelemento in acciaio a "Testa colonna" fili 5 - 6	1.551	413.367	692.746	17.938	43.923	11.422	11.563	3.348	2.066
Superelemento in acciaio a "Testa colonna" fili 3 - 4	1.551	409.423	651.637	17.938	44.081	11.411	11.551	3.348	2.064
Superelemento in acciaio a "Testa colonna" fili 2 - 3	1.551	392.315	615.94	17.9	41.153	11.199	11.335	3.043	2.078
Superelemento in acciaio a "Testa colonna" fili 1 - 2	1.551	499.222	564.145	17.648	43.412	13.52	12.134	4.91	1.923
Superelemento in acciaio a "Testa colonna" fili 1 - (-211; 0)	6.636	1980.834	1980.834	37.38	117.956	54.137	6.636	377.253	20.358
Superelemento in acciaio quote "Fondazione" - "Testa colonna" filo 6	1.781		78.342	19.983	378.804			2.13	1.781
Superelemento in acciaio quote "Fondazione" - "Testa colonna" filo 7	1.779		78.785	19.954	375.501			2.524	1.779
Superelemento in acciaio quote "Fondazione" - "Testa colonna" filo 3	1.779		78.785	19.954	375.506			2.524	1.779
Superelemento in acciaio quote "Fondazione" - "Testa colonna" filo 2	1.815		74.497	20.156	259.139			1.815	1.875
Superelemento in acciaio quote "Fondazione" - "Testa colonna" filo 1	2.347		108.255	25.548	24.404			4.017	2.347
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili a8 - g8	1.391			25.416		29.518	24.347		1.566
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili f7 - n7	1.341			24.517		28.477	24.289		1.511
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili e7 - m7	1.344			24.565		28.529	29.506		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili d7 - l7	1.344			24.565		28.529	26.032		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili c7 - i7	1.344			24.565		28.529	25.799		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili a7 - g7	1.342			24.524		28.478	29.592		1.511
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili f6 - n6	1.341			24.517		28.477	25.843		1.511
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili e6 - m6	1.344			24.565		28.529	23.69		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili d6 - l6	1.344			24.565		28.529	23.867		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili c6 - i6	1.344			24.565		28.529	23.967		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili a6 - g6	1.342			24.524		28.478	28.675		1.511
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili f5 - n5	1.341			24.517		28.477	28.568		1.511
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili e5 - m5	1.344			24.565		28.529	23.928		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili d5 - l5	1.344			24.565		28.529	24.539		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili c5 - i5	1.344			24.565		28.529	24.965		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili a5 - g5	1.342			24.524		28.478	29.217		1.511
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili f4 - n4	1.341			24.517		28.477	29.398		1.511
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili e4 - m4	1.344			24.565		28.529	27.295		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili d4 - l4	1.344			24.565		28.529	24.998		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili c4 - i4	1.344			24.565		28.529	24.898		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili a4 - g4	1.342			24.524		28.478	29.548		1.511
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili f3 - n3	1.341			24.517		28.477	29.54		1.511
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili e3 - m3	1.344			24.565		28.529	27.194		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili d3 - l3	1.344			24.565		28.529	24.899		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili c3 - i3	1.344			24.565		28.529	24.997		1.513

Verifica	Sicurezza minima	Minimo trazione	Minimo compressione	Minimo taglio	Minimo torsione	Minimo flessione semplice	Minimo flessione deviata	Minimo flessione semplice + N	Minimo flessione deviata + N
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili a3 - g3	1.342			24.524		28.478	29.405		1.511
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili f2 - n2	1.341			24.517		28.477	29.209		1.511
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili e2 - m2	1.344			24.565		28.529	24.474		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili d2 - l2	1.344			24.565		28.529	24.966		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili c2 - i2	1.344			24.565		28.529	24.538		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili b2 - h2	1.344			24.565		28.529	23.928		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili a2 - g2	1.342			24.524		28.478	28.576		1.511
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili f1 - n1	1.341			24.517		28.477	28.667		1.511
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili e1 - m1	1.344			24.565		28.529	23.767		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili d1 - l1	1.344			24.565		28.529	23.967		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili c1 - i1	1.344			24.565		28.529	23.867		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili a1 - g1	1.342			24.524		28.478	25.994		1.511
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili f - n	1.341			24.517		28.477	29.587		1.511
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili e - m	1.344			24.565		28.529	28.725		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili d - l	1.344			24.565		28.529	26.086		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili c - i	1.344			24.565		28.529	25.575		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili a - g	1.342			24.524		28.478	24.291		1.511
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili b0 - h0	1.392			25.416		29.525	24.351		1.566
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili a0 - g0	2.897			51.789		24.471	22.357		3.187
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili b - h	1.344			24.565		28.529	29.508		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili b1 - h1	1.344			24.565		28.529	23.691		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili b3 - h3	1.344			24.565		28.529	24.614		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili b4 - h4	1.344			24.565		28.529	27.194		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili b5 - h5	1.344			24.565		28.529	27.138		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili b6 - h6	1.344			24.565		28.529	23.767		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili b7 - h7	1.344			24.565		28.529	28.725		1.513
Superelemento in acciaio a "Falda 1" fili b8 - (5396; 0)	2.896			51.76		24.457	30.283		3.185

## Verifiche di riepilogo plinti

**Verifica:** Descrizione della verifica relativa che ne consente l'individuazione all'interno della struttura.

**Sicurezza minima:** Visualizza per ciascun elemento di verifica il valore minimo del coefficiente di sicurezza relativamente alle verifiche visualizzabili per tale elemento. Il valore è adimensionale.

**Verifica a flessione:** Visualizza per ciascun elemento di verifica il valore minimo del coefficiente di sicurezza a flessione tra tutte le verifiche a flessione condotte per tale elemento. Il valore è adimensionale.

**Verifica a taglio:** Visualizza per ciascun elemento di verifica il valore minimo del coefficiente di sicurezza a taglio tra tutte le verifiche a taglio condotte per tale elemento. Il valore è adimensionale.

**Verifica di portanza:** Visualizza per ciascun elemento di verifica di fondazione il valore minimo del coefficiente di sicurezza per portanza. Il valore è adimensionale.

**Verifica di scorrimento:** Visualizza per ciascun elemento di verifica di fondazione il valore minimo del coefficiente di sicurezza per scorrimento. Il valore è adimensionale.

Verifica	Sicurezza minima
Plinto su pali 6	4.458
Plinto su pali 7	4.451
Plinto su pali 8	4.59
Plinto su pali 9	6.003
Plinto su pali 5	4.457
Plinto su pali 4	4.458
Plinto su pali 3	4.452
Plinto su pali 2	4.59
Plinto su pali 1	6

## Verifiche di riepilogo pali

**Verifica:** Descrizione della verifica relativa che ne consente l'individuazione all'interno della struttura.

**Sicurezza minima:** Visualizza per ciascun elemento di verifica il valore minimo del coefficiente di sicurezza relativamente alle verifiche visualizzabili per tale elemento. Il valore è adimensionale.

**Verifica a flessione:** Visualizza per ciascun elemento di verifica il valore minimo del coefficiente di sicurezza a flessione tra tutte le verifiche a flessione condotte per tale elemento. Il valore è adimensionale.

**Verifica a taglio:** Visualizza per ciascun elemento di verifica il valore minimo del coefficiente di sicurezza a taglio tra tutte le verifiche a taglio condotte per tale elemento. Il valore è adimensionale.

**Verifica di portanza:** Visualizza per ciascun elemento di verifica di fondazione il valore minimo del coefficiente di sicurezza per portanza. Il valore è adimensionale.

Verifica	Sicurezza minima	Verifica a flessione	Verifica a taglio	Verifica di portanza
Trivellato D60 di plinto su pali filo 6	1.211	1.211	1.43	8.326
Trivellato D60 di plinto su pali filo 5	1.211	1.211	1.43	8.327
Trivellato D60 di plinto su pali filo 4	1.211	1.211	1.43	8.326
Trivellato D60 di plinto su pali filo 3	1.21	1.21	1.429	8.339
Trivellato D60 di plinto su pali filo 2	1.236	1.236	1.455	8.203
Trivellato D60 di plinto su pali filo 1	1.625	1.625	1.893	9.051
Trivellato D60 di plinto su pali filo 7	1.21	1.21	1.429	8.339
Trivellato D60 di plinto su pali filo 8	1.236	1.236	1.455	8.203
Trivellato D60 di plinto su pali filo 9	1.625	1.625	1.893	9.051

## 5. VALIDAZIONE DEL CODICE DI CALCOLO.

L'analisi strutturale e le relative verifiche sono condotte mediante l'ausilio di un codice di calcolo. Il software utilizzato è SismiCAD 12.18. Si tratta di un software di calcolo strutturale che nella versione più estesa è dedicato al progetto e verifica degli elementi in cemento armato, acciaio, muratura e legno di opere civili. Il programma utilizza come analizzatore e solutore del modello strutturale un proprio solutore agli elementi finiti tridimensionale fornito col pacchetto. Il programma è sostanzialmente diviso in tre moduli: un pre-processore che consente l'introduzione della geometria e dei carichi e crea il file dati di input al solutore; il solutore agli elementi finiti; un post processore che a soluzione avvenuta elabora i risultati eseguendo il progetto e la verifica delle membrature e producendo i grafici ed i tabulati di output.

Ai fini dell'accettabilità dei risultati di calcolo, viene riportato un esempio di confronto sviluppato dal produttore del software

E' stata condotta una verifica per controllare la correttezza dei risultati di Sismicad 12.  
A questo scopo, si è deciso di studiare una struttura semplice risolvendola sia con Sismicad 12 sia con metodi di calcolo manuali.

### 3.1 SCOPO DELL'ESEMPIO

Con il seguente esempio ci si prefigge di controllare le seguenti caratteristiche del programma:

- caratteristiche geometriche ed inerziali delle sezioni;
- ripartizione dei carichi di superficie sugli elementi trave sostenenti;
- calcolo dei pesi propri degli elementi strutturali;
- valutazione della sollecitazione M3;
- valutazione dello sforzo normale sui pilastri;
- verifica di una sezione rettangolare in c.a. soggetta a flessione semplice;
- verifica di un sezione rettangolare in c.a. soggetta a presso flessione deviata.

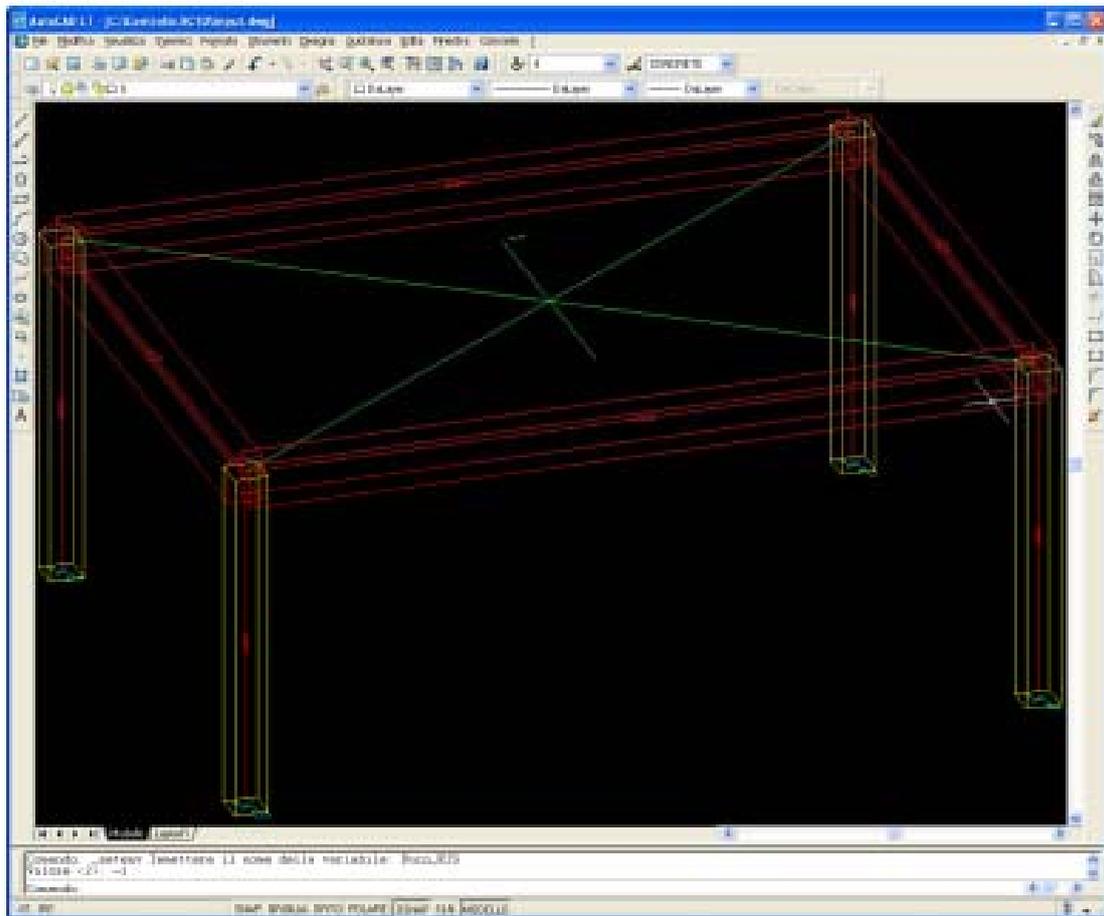
### 3.2 FILE ASSOCIATI ALL'ESEMPIO

La directory della commessa di Sismicad 12 relativa a questa struttura è *Edificio non sismico* presente nella cartella "*Documenti\Concrete\Sismicad 12.xx\Esempi\Casi validazione\1 - Azioni e Analisi Sismica*" del profilo utente.

Per il controllo della verifica a presso flessione di una sezione in c.a. si utilizza un altro software Concrete, Presfle+. Il file relativo alla verifica di tale sezione è *Pilastro.flx*.

### 3.3 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

La struttura è a pianta rettangolare (500 x 700) ed è costituita da quattro pilastri e quattro travi, come riportato nell'immagine sotto.



### 3.3.1 Dimensioni degli elementi strutturali

Proprietà delle travi



Lunghezza travi  $l_1 = 700$  cm  
 $l_2 = 500$  cm

Proprietà dei pilastri



Altezza pilastri  $h = 312$  cm

### 3.3.2 Analisi dei carichi

Viene inserito un carico superficiale avente le seguenti componenti:

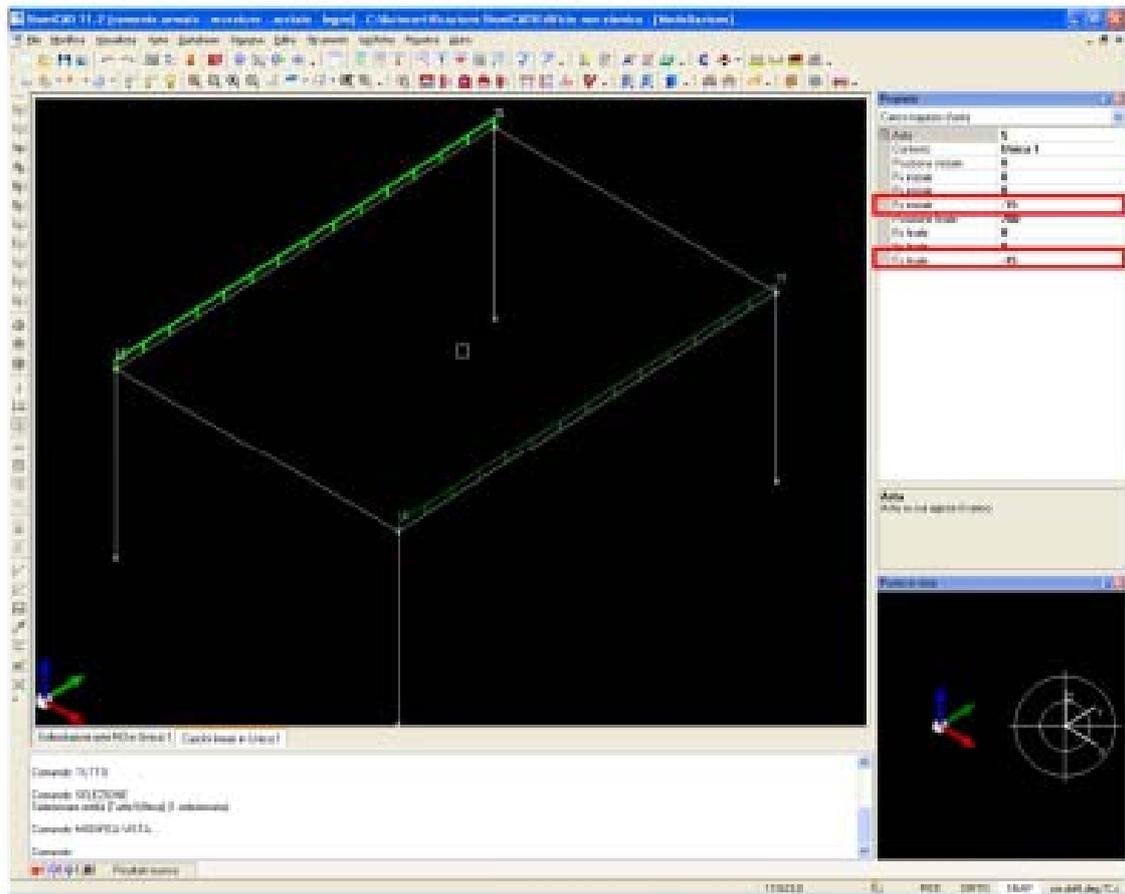
Carico distribuito permanente = 0.04 daN/cm<sup>2</sup>

Carico distribuito variabile = 0.02 daN/cm<sup>2</sup>

Carico lineare agente sulle travi di lunghezza  $l_1$  dovuto al carico distribuito in combinazione 1:

$$Q_1 = (((1 * 0.04 + 1 * 0.02) * 500 * 700) / 2) * 700 = 15 \text{ daN / cm}$$

Il risultato fornito dal Sismicad è riportato in figura:



**Carichi superficiali disegnati nella struttura senza l'attributo solaio associato vengono segnalati all'utente.**

Carico lineare agente sulle travi di lunghezza  $l_1$  e  $l_2$  dovuto al peso proprio delle travi

$$Q_2 = (30 * 40 * 0.0025) = 3 \text{ daN / cm}$$

Il risultato fornito dal Sismicad è riportato in figura:

Proprietà	
Indice	5
Node I	9
Node J	5
Node K	12
Sezione	2 (R 30*40, RCR.2000)
Area	1200
Area 2	1000
Area 3	1000
Inerzia 2	90000
Inerzia 3	150000
Inerzia torsionale	1650
E	210000
G	141910
Alfa	0.00001
Permeabilità	3

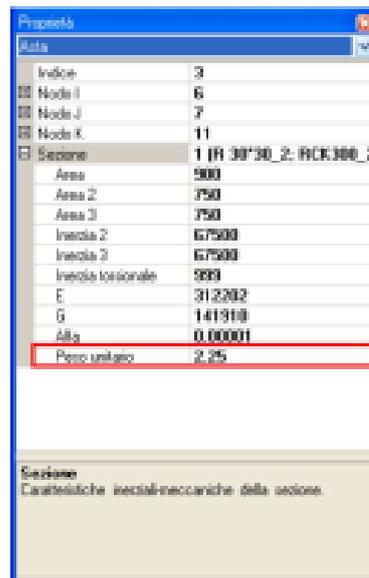
Sezione  
Caratteristiche meccaniche della sezione.

$$Q_{TOT} = 15 + 3 = 18 \text{ daN / cm}$$

### 3.3.3 Peso proprio del pilastro

$$q = (30 * 30 * 0.0025) = 2.25 \text{ daN / cm}$$

Il risultato fornito dal Sismicad è riportato in figura:



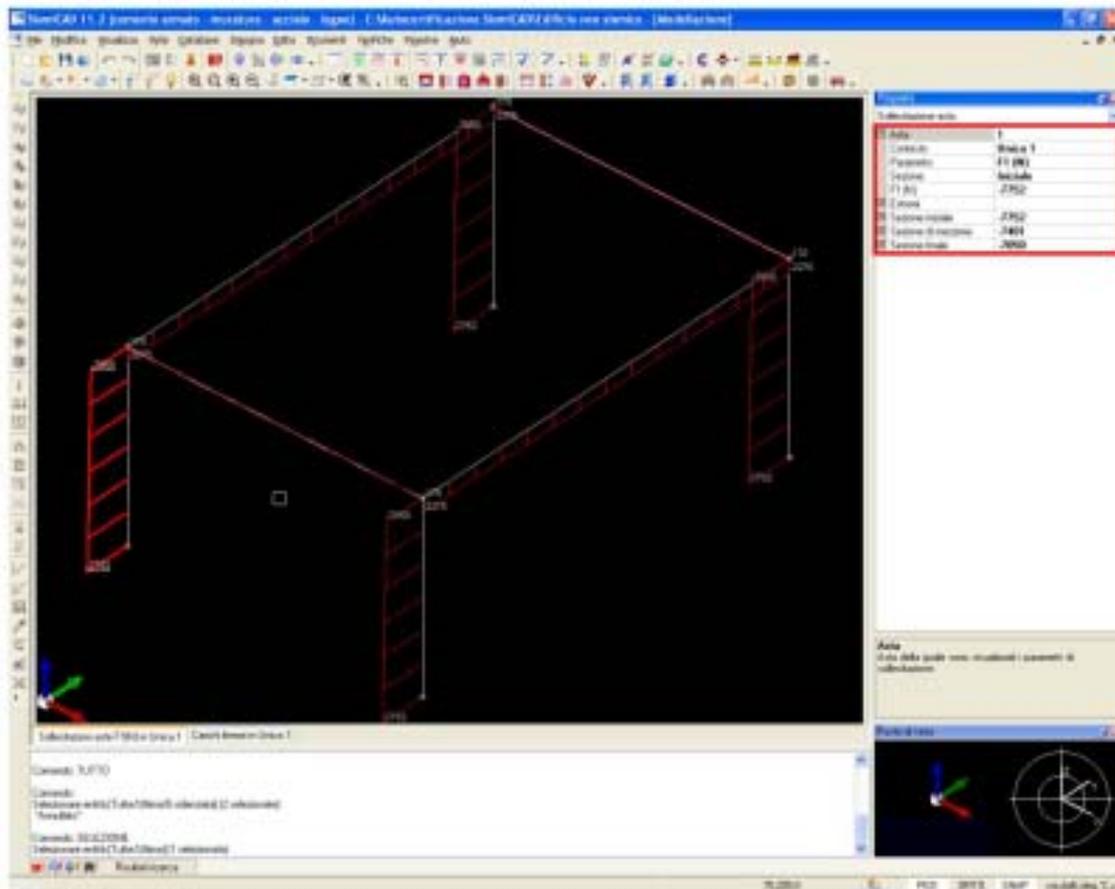
Proprietà	
Auto	
Ineloc	3
Node I	6
Node J	7
Node K	11
Sezione	1 (R 30*30_2: FCK300_2)
Area	900
Area 2	750
Area 3	750
Inertia 2	67500
Inertia 3	67500
Inertia laterale	999
E	312202
G	141910
Alfa	0.00001
Peso unitario	2.25

Sezione  
Caratteristiche meccaniche della sezione.

## 3.4 VALUTAZIONE DELLO SFORZO NORMALE NEI PILASTRI

### 3.4.1 Sforzo normale Sismicad nelle colonne

Il valore di sforzo normale N fornito dal Sismicad per le colonne è riportato in figura nella tabella al paragrafo successivo:



Riportiamo di seguito un paragrafo di relazione prodotta.

Numero asta	Contesto	Pos.	X	Y	Z	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1	Unica 1	0	0,00	0,00	0,00	-7752	-2275	170	0,00	-174,0	-2328
1	Unica 1	15	0,00	0,00	1,56	-7401	-2275	170	0,00	90,96	1221,0
1	Unica 1	30	0,00	0,00	3,12	-7050	-2275	170	0,00	355,91	4769,9

$$N_{(travata)} = -7752 \text{ daN}$$

$$N_{(trave)} = -7050 \text{ daN}$$

### 3.4.2 Sforzo normale calcolato manualmente

Essendo  $V_{trave} = Pl / 2$

$$V_{trave\ 700} = 18 \cdot 700 / 2 = 6300 \text{ daN}$$

$$V_{trave\ 500} = 3 \cdot 500 / 2 = 750 \text{ daN}$$

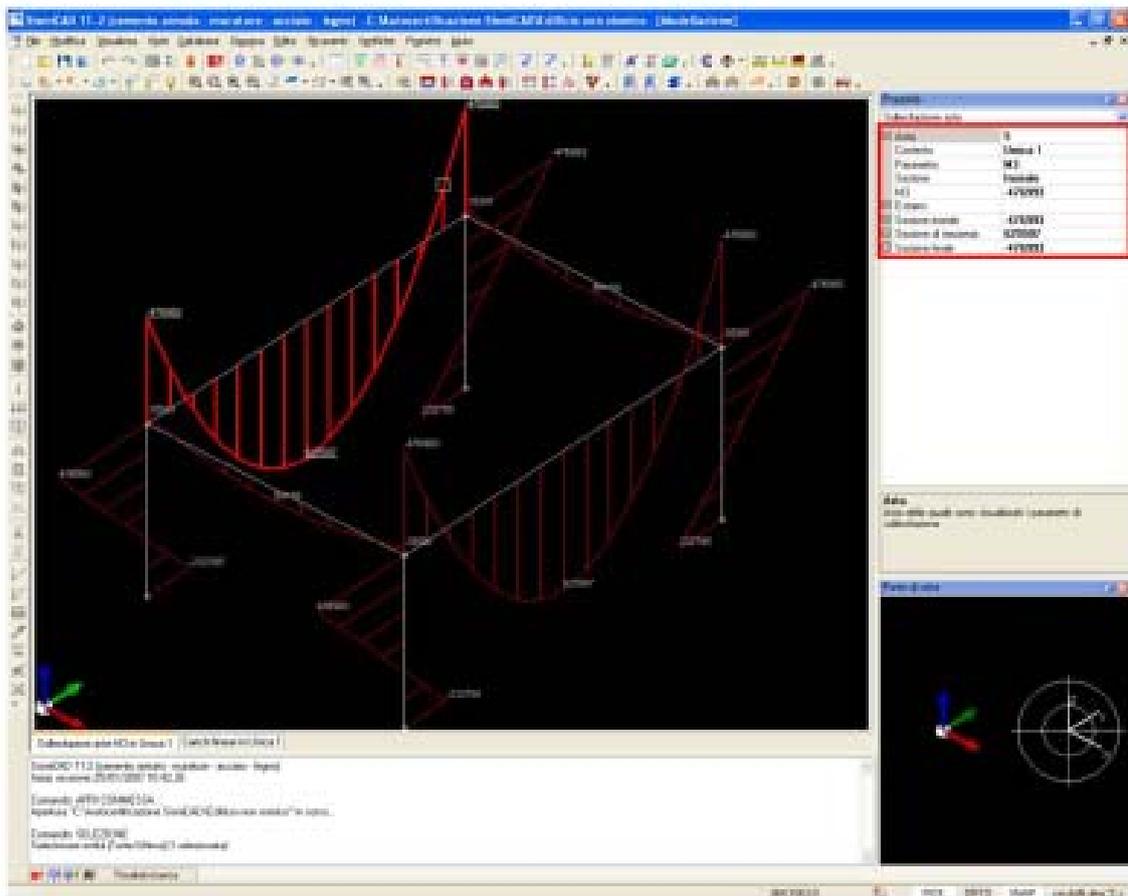
$$N_{sommita} = V_{trave\ 700} + V_{trave\ 500} = 6300 + 750 = 7050 \text{ daN}$$

$$N_{base} = N_{sommita} + \text{Peso}_{pilastro} = 7050 + 225 \cdot 3,12 = 7752 \text{ daN}$$

## 3.5 VALUTAZIONE DEI MOMENTI NELLE TRAVI

### 3.5.1 Momenti flettenti massimi e minimi nella trave di luce 700 cm

Il valore di momento M3 fornito dal Sismcad per le travi è riportato in figura e per ciascuna trave nelle due tabelle dei paragrafi successivi:



Riportiamo di seguito un paragrafo di relazione prodotta.

Numero asta	Contesto	Pos.	X	Y	Z	F1	F2	F3	M1	M2	M3
5	Unica 1	0	0,00	0,00	3,12	-2275	-6300	0	0,00	0,00	-4770
5	Unica 1	15	0,00	3,50	3,12	-2275	0	0	0,00	0,00	6255,1
5	Unica 1	30	0,00	7,00	3,12	-2275	6300	0	0,00	0,00	-4770

$$M_{1(\text{mezzaria})} = 6255.1 \text{ daN m}$$

$$M_{1(\text{riale})} = 4770 \text{ daN m}$$

### 3.5.2 Momenti flettenti massimi e minimi nella trave di luce 500 cm

Riportiamo di seguito un paragrafo di relazione prodotta.

Numero asta	Contesto	Pos.	X	Y	Z	F1	F2	F3	M1	M2	M3
6	Unica 1	0	0,00	7,00	3,12	-170	-750	0	0,00	0,00	-355,9
6	Unica 1	15	2,50	7,00	3,12	-170	0	0	0,00	0,00	581,58
6	Unica 1	30	5,00	7,00	3,12	-170	750	0	0,00	0,00	-355,9

$$M_{2(\text{mezzaria})} = 581.6 \text{ daN m}$$

$$M_{2(\text{riale})} = 355.9 \text{ daN m}$$

### 3.5.3 Momenti calcolati manualmente

Utilizzando la formula tratta dal Prontuario Le Monnier:

$$M_{\text{esterna}} = - P l^2 / 6(2 + k)$$

$$M_{\text{mezzaria}} = P l^2 / 8 - P l^2 / 6(2 + k)$$

con  $k = (J_{trave} * h_{pilastro}) / (J_{pilastro} * l_{trave})$

$$J_{trave} = 30 * 40^3 / 12 = 160000 \text{ cm}^4$$

$$J_{pilastro} = 30^4 / 12 = 67500 \text{ cm}^4$$

$$h_{pilastro} = 312 \text{ cm}$$

si ottiene per la trave di lunghezza 700 cm:

$$k = (160000 * 312) / (67500 / 700) = 1.0565$$

$$M_{estremità} = - 18 * 700^2 / 6(2 + 1.0565) = 480942 \text{ daN cm} = 4809 \text{ daN m}$$

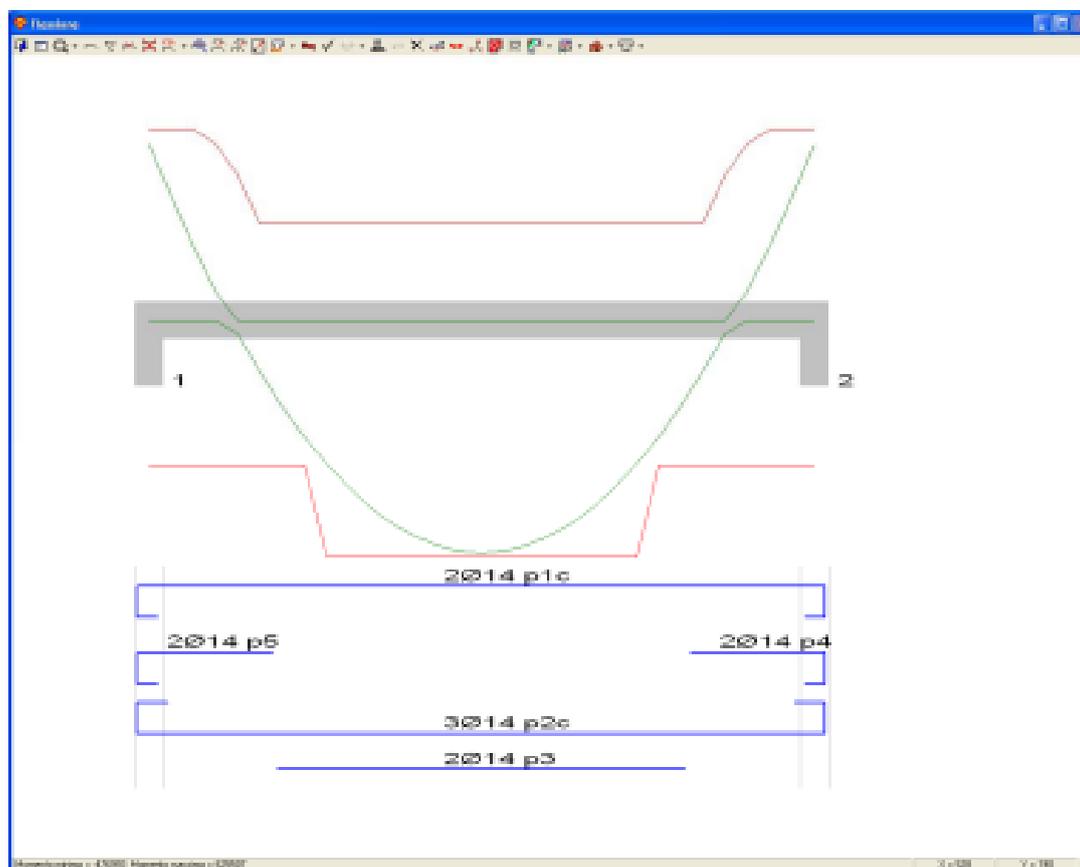
$$M_{mezzeria} = 18 * 700^2 / 8 - 480942 = 621558 \text{ daN cm} = 6216 \text{ daN m}$$

La differenza tra i valori calcolati con il programma Sismicad e con le formule è trascurabile (0.8 %) e dovuta alla non considerazione nel calcolo manuale della deformabilità a taglio.

## 3.6 VERIFICA DELLA TRAVE

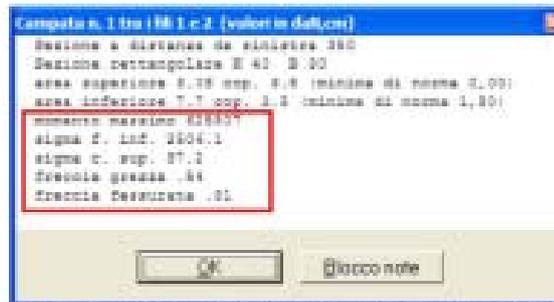
Il progetto dell'armatura della trave eseguito con il Sismicad è riportato nell'immagine che segue.

Il programma ha inserito, in prossimità della mezzeria della trave, 7 $\phi$ 14 inferiormente e 2 $\phi$ 14 superiormente.



### 3.6.1 Tensioni calcolate con Sismicad

La verifica puntuale nella sezione a distanza 350 cm da sinistra ha fornito i dati rappresentati in figura.



Per questa sezione, i valori delle tensioni superficiali calcolati con il Sismicad sono:

$$\sigma_f = 2506.1 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_c = -87.2 \text{ daN/cm}^2$$

### 3.6.2 Tensioni calcolate manualmente

Utilizzando la formula (1.1) tratta da Giovanni Falchi Delitala, Calcolo delle sezioni in cemento armato, Ed Hoepli:

Calcolo dell'asse neutro della sezione 30x40.

$$x = \frac{b}{2} \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2k_0}{f_c} \left( \frac{f_t}{f_c} \right)} \right)$$

$$A_1 = \text{Area acciaio tesa} = 7.7 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = \text{Area acciaio compressa} = 3.08 \text{ cm}^2$$

$$d = 36.5 \text{ cm}$$

$$C_1 = C_2 = 3.5 \text{ cm}$$

$$i_1 = \frac{n(A_1 + A_2)}{b} = 15 \cdot (7.7 + 3.08) / 30 = 5.39 \text{ cm}$$

$$k_0 = \frac{(A_1 d + A_2 C_2) / (A_1 + A_2)}{i_1} = \frac{(7.7 \cdot 36.5 + 3.08 \cdot 3.5) / (7.7 + 3.08)}{5.39} = 27.07$$

$$x = 5.39 \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 27.07}{5.39}} \right)$$

$$x = \text{distanza dell'asse neutro dal bordo compresso} = 12.52 \text{ cm}$$

$$J = \frac{bx^3}{3} + n A_1 (d - x)^2 + n A_2 (x - C_2)^2$$

$$J = \frac{30 \cdot 12.52^3}{3} + 15 \cdot 7.7 \cdot (36.5 - 12.52)^2 + 15 \cdot 3.08 \cdot (12.52 - 3.5)^2 = 89801 \text{ cm}^2$$

Utilizzando i valori di x e di J è possibile calcolare i valori delle tensioni nel cls e nell'acciaio:

$$\sigma_c = M x / J = 625507 \cdot 12.52 / 89801 = -87.2 \text{ daN/cm}^2$$

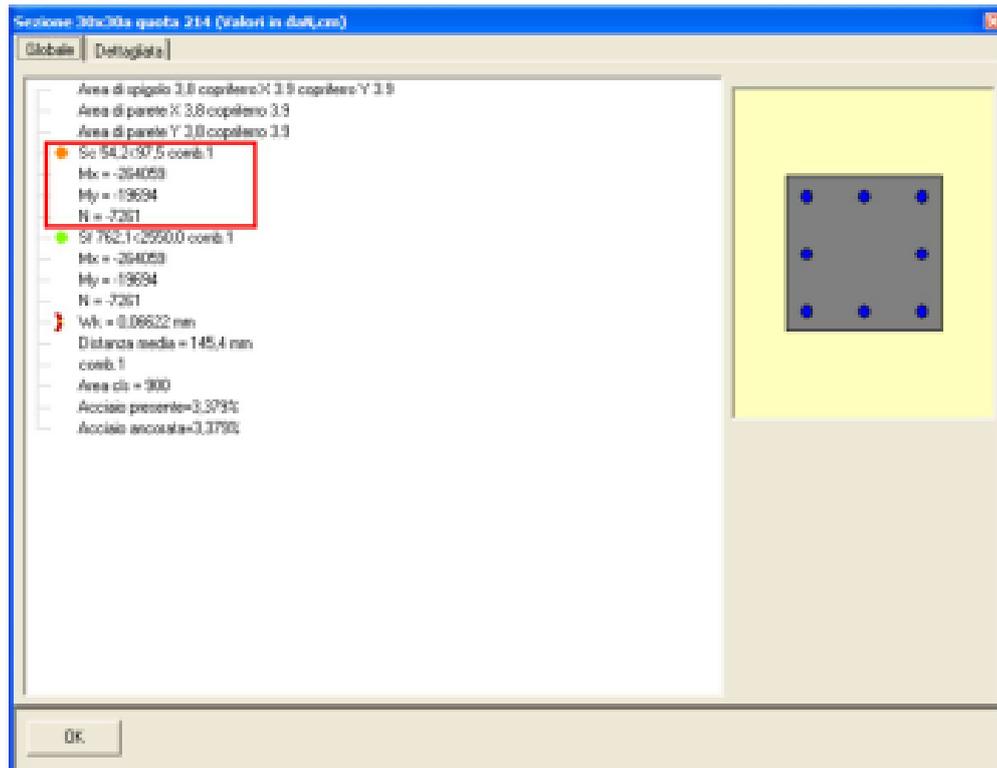
$$\sigma_f = n M (d - x) / J = 15 \cdot 625507 \cdot (36.5 - 12.52) / 89801 = 2505.5 \text{ daN/cm}^2$$

## 3.7 VERIFICA DEL PILASTRO

E' stata condotta la verifica del pilastro con il Sismicad.

Il programma ha inserito 8 barre longitudinali  $\phi 22$  con un copriferro pari a 3.9 cm

### 3.7.1 Tensioni calcolate con Sismicad



Per la sezione del pilastro a quota 214 cm si sono trovati i seguenti dati

$$\begin{aligned}M_x &= 264059 \text{ daN cm} \\M_y &= 19694 \text{ daN cm} \\N &= -7261 \text{ daN} \\ \sigma_0 &= 54.2 \text{ daN / cm}^2 \\ \sigma_1 &= 762.1 \text{ daN / cm}^2\end{aligned}$$

### 3.7.2 Tensioni calcolate manualmente

Con il programma PresFle+ si sono calcolate le tensioni relative ad una sezione con le stesse caratteristiche di quelle del pilastro con i momenti e lo sforzo normale riportati in precedenza.

I valori ottenuti sono i seguenti:

$$\begin{aligned}\sigma_0 &= 54.2 \text{ daN / cm}^2 \\ \sigma_1 &= 762.1 \text{ daN / cm}^2\end{aligned}$$

Viene allegata la verifica della sezione in questione *Pilastro.flx*