

RELAZIONE DI CALCOLO

(ai sensi della legge 5-11-1971, n°1086, art. 4, lettera a)

Opera:

N° 1 CABINA ELETTRICA PREFABBRICATA IN CALCESTRUZZO PESANTE

mt 4,00 x 11,80 h = 2,90

Committente: **Mistral Italia s.r.l.**
Via Nicolò Copernico, 18
42124 Reggio Emilia (RE)

Cantiere: **Via Ferarri Moreni, 13**
41049 Sassuolo (MO)

PROGETTISTA

ING. MAURO BELLERI iscritto all'Albo degli Ingegneri della provincia di Brescia al n°3960

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Legge 5.11.71 n°1086 "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato
D.L. n.380 06/06/2001 cementizio armato, normale e precompresso";
- Legge 02.02.1974 n°64 "Ministero dei lavori pubblici - Provvedimenti per le costruzioni con particolari
prescrizioni per le zone sismiche";
- D.M. 16.01.96 "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e norme tecniche per i carichi
ed i sovraccarichi";
- C.M. 04.07.96 "Istruzioni relative ai carichi, ai sovraccarichi ed ai criteri
n°156AA.GG./STC generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni";
- D.M. 09.01.96 "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in c.a. normale, precompresso e per le strutture
metalliche";
- D.M. 03.12.87 "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate";

- C.M. 16.03.89 n°31104 "Istruzioni in merito alle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate";
- D.M. 16.01.96 "Norme tecniche relative alle costruzioni in zona sismica";
- D.M. 14.09.2005 "Norme tecniche per le costruzioni";
- D.M. 14.01.2008 "Norme tecniche per le costruzioni";
- Ordinanza del P.C.M. 20 marzo 2003 n° 3274: Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica e relativi Allegati;
- Ordinanza del P.C.M. 2 ottobre 2003 n° 3316: Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003;
- Ordinanza del P.C.M. 3 maggio 2005 n° 3431: Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003;
- DECRETO 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»

PRIORITÀ NORMATIVE

Le azioni sulle strutture, le combinazioni di carico, le caratteristiche dei materiali e i coefficienti parziali di sicurezza sono determinati in accordo al D.M. 17 gennaio 2018

AZIONI SULLE STRUTTURE

Le azioni da considerare nelle costruzioni comprendono:

- pesi propri degli elementi costituenti la struttura
- carichi permanenti
- sovraccarichi variabili (i.e. vento, neve e sisma)

Nel seguito ci si riferisce al Decreto 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le costruzioni".

Per quanto riguarda il vento, la neve e il sisma nel calcolo si considerano i valori più sfavorevoli dell'intero territorio, anche se non contemporaneamente presenti sullo stesso comune.

1.1. CARICHI E SOVRACCARICHI

1.1.1. Azioni da neve

Le azioni da neve, assumendo i riferimenti del Decreto 17.01.2018, sono calcolate secondo i seguenti parametri:

- | | |
|---|---|
| • zona di riferimento: | I - Mediterranea |
| • altitudine a_s | 1000 m |
| • Coefficiente di esposizione: | $C_E = 1$ |
| • Coefficiente termico: | $C_T = 1$ |
| • valore caratteristico del carico neve al suolo: | $q_{sk} = 1,35 + [1 + (a_s/602)^2] = 5,08 \text{ KN/m}^2$ |

Il valore caratteristico da usarsi nel calcolo sarà: $q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_T$

Nel caso di coperture piane si assumerà $\mu_i = 0.8$ per cui:

$$q_s = 5,08 \times 0,8 = 4,06 \text{ KN/m}^2$$

1.1.2. Azioni del vento

Le azioni del vento devono essere considerate normalmente come statiche e spiranti secondo le due direzioni ortogonali principali. In nessun caso si potrà tenere conto dell'effetto ombra degli edifici vicini.

La pressione del vento è data da:

$$p = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

dove:

q_r è la pressione cinetica di riferimento

c_e è il coefficiente di esposizione

c_p è il coefficiente di pressione

c_d è il coefficiente dinamico

1.1.2.1. Pressione cinetica di riferimento

La pressione cinetica di riferimento q_r è data dall'espressione

$$q_r = \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2$$

dove:

ρ è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/m³

v_b è la velocità di riferimento del vento

1.1.2.2. Velocità di riferimento

La velocità di riferimento del vento v_b , in mancanza di adeguate indagini statistiche, è data dall'espressione:

$$\begin{array}{ll} v_b = v_{b,0} & \text{per } a_s \leq a_0 \\ v_b = v_{b,0} (1 + k_s (a_s/a_0 - 1)) & a_0 < a_s \leq 1.500 \text{ m} \end{array}$$

dove:

$v_{b,0}$, a_0 e k_a sono tabellati in funzione della zona

Il valore di v_b da usarsi nel calcolo sarà: $31+0.02(1000-500) = 41 \text{ m/s}$

1.1.2.3. Coefficiente di esposizione

Il coefficiente di esposizione c_e dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione, per altezze sul suolo non maggiori di $z = 200 \text{ m}$, esso è dato dalla formula:

$$c_e(z) = k_r^2 C_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \cdot \left[7 + C_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

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

dove:

c_t è il coefficiente di topografia, che assume generalmente valore 1

$z_{\min}$, z_0 , k_r sono tabellati in funzione della categoria di esposizione del sito ove si trova la costruzione

1.1.2.4. Coefficiente di pressione

Il coefficiente di pressione (interna, esterna e netta) è funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

In generale per i coefficienti di pressione esterna si possono utilizzare i seguenti parametri.

- elementi sopravento con inclinazione sull'orizzontale $\alpha > 60^\circ$ +0,8
- elementi sopravento con inclinazione sull'orizzontale $20^\circ < \alpha < 60^\circ$ $+0,03 \alpha - 1$
- elementi sopravento con inclinazione sull'orizzontale $0^\circ < \alpha < 20^\circ$
- ed elementi sottovento e paralleli al vento -0,4

1.1.2.5. Coefficiente dinamico

Il coefficiente dinamico tiene in conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali. Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali.

Assumendo i riferimenti del Decreto 17.01.2018, si riassumono le caratteristiche geografiche dell'area di ubicazione dell'intervento (la peggiore possibile):

ZONA	9
ALTITUDINE a_s	1000 m
ALTEZZA EDIFICIO	2.30 m
CATEGORIA DI ESPOSIZIONE	I
CLASSE DI RUGOSITA' PER EDIFICI	D

Con queste caratteristiche la pressione del vento risulta essere 2.05 KN/m^2

1.1.3. Azione sismica

L'azione sismica di progetto per le verifiche di fondazioni e strutture valutata con riferimento a quanto indicato nel Decreto 17 Gennaio 2018 conduce alla definizione di forme spettrali differenti per ogni comune del territorio italiano.

Si sono quindi fissati alcuni parametri e in particolare verranno adottati per la progettazione i seguenti valori

VITA NOMINALE	50 anni
CLASSE D'USO	II
COEFFICIENTE D'USO C_u	1
PERIODO DI RIFERIMENTO	50 anni
CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO	D
CLASSE DI DUTTILITA'	B

La definizione della forma spettrale dipende inoltre dalla terna di coefficienti a_g , F_0 e T_c^* tabellati in funzione delle coordinate della località in esame e della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} .

Fissata la P_{VR} al 10%, probabilità cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente allo Stato Limite di Salvaguardia (SLV), si può notare come al variare delle località i valori di a_g abbiano come limite superiore i valori definiti dalla O.P.C.M. 3274 e ripresi nelle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 settembre 2005.

Per ottenere quindi il valore dell'azione sismica agente si valuta la stessa attraverso una analisi statica lineare (p.to 7.3.3.2 del Decreto 2018), considerando l'ordinata dello spettro di risposta sul tratto rettilineo utilizzando i seguenti parametri relativi al cantiere in oggetto (allegato B delle NTC 2008):

accelerazione di picco su suolo rigido $a_g = 0,162g$

Fattore che quantifica l'amplificazione spettrale $F_0 = 2,405$

Fattore S_s $S_s = 1,8$

Coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1$

Lo spettro di risposta di progetto delle componenti orizzontali è definito dalla seguente espressione:

$$S_d(T) = \frac{a_g \cdot S \cdot F_0}{q} = 0,234g \quad \text{con} \quad S = S_s \cdot S_T$$

Dove il fattore di struttura q è stato calcolato nel seguente modo:

$$q = q_0 \cdot K_R$$

$q_0 = 3,0$ per strutture prefabbricate a pannelli per quanto riguarda la classe di bassa duttilità

$K_R = 1,0$ per costruzioni regolari in altezza

COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico da prendere in esame sono quelle dedotte dal Decreto 17/01/2018.

1. Combinazione fondamentale, per gli stati limite ultimi, in assenza di sisma

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Con:

$$\gamma_{G1} = 1.3$$

$$\gamma_{G2} = 1.5$$

$$\gamma_{Qi} = 1.5$$

$$\psi_{0i} = 0.6 \text{ per quanto riguarda il vento}$$

$$\psi_{0i} = 0.5 \text{ per quanto riguarda la neve fino ad una quota di 1000 m}$$

2. Combinazione sismica, per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E

$$E + G_1 + G_2 + \sum_{i=1}^n \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

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

$$G_1 + G_2 + \sum_{i=1}^n \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Con:

$$\psi_{2i} = 0.0 \text{ per quanto riguarda il vento}$$

$$\psi_{2i} = 0.0 \text{ per quanto riguarda la neve fino ad una quota di 1000 m}$$

[Nel nostro caso gli effetti dell'azione sismica sono stati valutati tenendo conto delle masse associate ai soli carichi permanenti]

VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI PER COMBINAZIONE SISMICA

La verifica di calcolo è stata eseguita sull'elemento più sollecitato (vedi Fig 1).

Verifica del ribaltamento

Il peso del tetto che incide sull'elemento verificato è pari a:

$$P_{\text{tetto}} = 4.075 \text{ Kg}$$

Forze orizzontali dovute al sisma:

$$F_{or} = \frac{S_d \cdot N \cdot \lambda}{g} = 0,234 \times P_i \quad (\lambda=1)$$

per cui:

$$For, t = 0,234 \times P_{\text{tetto}} = 0,234 \times 4.075 = 953 \text{ Kg} \quad h_1 = 3,00 \quad (\text{tetto di pertinenza})$$

$$For, 1 = 0,234 \times P_1 = 0,234 \times 2.775 = 649 \text{ Kg} \quad h_{1g} = 1,49 \quad (\text{pannello verificato})$$

$$For, 2 = 0,234 \times P_2 = 0,234 \times 2.526 = 591 \text{ Kg} \quad h_1 / 2 = 1,50 \quad (\text{pannelli laterali})$$

Il momento ribaltante e il momento stabilizzante sono pari a:

$$M_r = (F_{or,t} \times h_1) + (F_{or,1} \times h_{1g}) + \left(F_{or,2} \times \frac{h_1}{2} \right) = (953 \times 3,00) + (649 \times 1,49) + (591 \times 1,50) = 4.711 \text{ Kgm}$$

$$M_s = \left(P_{\text{tetto}} \times \frac{l_1}{2} \right) + (P_1 \times l_{1g}) = (4.075 \times 4,20/2) + (2.775 \times 2,045) = 14.230 \text{ Kgm}$$

N.B.: il peso del pannello laterale è considerato solo nella somma delle spinte sismiche ($F_{or,2}$), non nel conteggio dei pesi stabilizzanti

$\frac{M_s}{M_r} = 3,0 \rightarrow$ quindi la verifica del ribaltamento è soddisfatta.

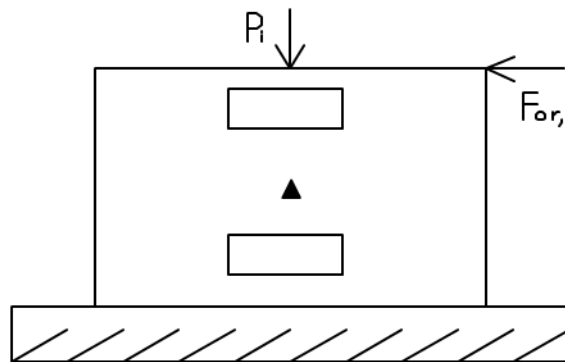


Fig. 1 - Disegno di massima del pannello oggetto della verifica con indicato il baricentro (disegno non in scala)

VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI RESISTENZA DEL TERRENO (GEO)

Ai sensi del punto 2.6.1 delle Norme Tecniche delle Costruzioni del 17/01/2018, utilizzando i coefficienti parziali A1 dell'approccio 2 come da tabella 2.6.I, si ottiene il seguente carico totale sul terreno:

	PESO (Kg)	Coefficiente parziale (A1)
Pannelli =	20.460	$\gamma_{g1} = 1,3$
Divisori =	5.150	$\gamma_{g1} = 1,3$
Copertura =	23.230	$\gamma_{g1} = 1,3$
Pavimento =	11.800	$\gamma_{g1} = 1,3$
Vasca di fondazione =	15.678	$\gamma_{g1} = 1,3$
Carico variabile pavimento prefabbricato =	23.600	$\gamma_{Q1} = 1,5$
Carico variabile neve in copertura =	23.158	$\gamma_{Q1} = 1,5$
TOTALE 169.351 Kg		

L'appoggio della fondazione è pari a:

$$A_{\text{fond}} = 465.696 \text{ cm}^2$$

La cabina scarica pertanto sul terreno una spinta pari a:

$$S = 0,36 \text{ Kg/cm}^2$$

Ipotizzando una capacità portante del terreno pari a 1,3 Kg/cm² in favore della sicurezza e considerando un coefficiente R3, sempre relativo all'approccio 2, pari a 2,3 si ottiene una capacità portante limite del terreno pari a:

$$\sigma_{\text{lim}} = 0,57 \text{ Kg/cm}^2 > 0,36 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow \text{verificato}$$

VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI IN ASSENZA DI SISMA

Sia la verifica agli stati limite ultimi con accidentale neve predominante che quella con accidentale vento predominante sono largamente meno gravose per la struttura che la verifica per combinazione sismica. Per brevità di trattazione non si riportano le calcolazioni eseguite.