



COMUNE DI LAVAGNO

PROVINCIA DI VERONA

AMPLIAMENTO DEL CIMITERO DI VAGO DI LAVAGNO

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

2.1

PRATICA CEMENTI ARMATI
RELAZIONE DI CALCOLO

Progettista

Ing. Ilario Rossi

Data

Gennaio 2023

Studio Ingegneri Rossi

Via Perlasca, 4 - 37036 San Martino Buon Albergo (VR)
Tel. / Fax. 045 8799318 e mail: ing.iliorossi@gmail.com

RELAZIONE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE

Progetto di ampliamento del cimitero di Vago
di Lavagno nel Comune di Lavagno (VR).

Committente: **COMUNE DI LAVAGNO**

è vietata la riproduzione di questo elaborato o di sue parti, salvo qualora sia stata formalmente autorizzata da chi lo ha
emesso

INDICE

1	RELAZIONE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE	1
1.1	MODALITA' DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI	1
1.1.1	INQUADRAMENTO NORMATIVO	1
1.1.2	SOGGETTI COINVOLTI.....	1
1.1.3	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO.....	1
1.1.4	DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI PROGETTO	2
1.1.5	DEFINIZIONE DEI CARICHI DI PROGETTO – struttura in acciaio.....	4
1.1.6	DEFINIZIONE DEI CARICHI DI PROGETTO – struttura in CEMENTO ARMATO.....	5
1.1.7	DESCRIZIONE DEI MATERIALI ADOTTATI E LORO CARATTERISTICHE MECCANICHE	6
1.1.8	COMBINAZIONI DI CARICO	6
1.1.9	CRITERI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE	8
1.1.10	ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO	8
1.1.11	INFORMAZIONI GENERALI SULL'ELABORAZIONE	8
1.1.12	INDICAZIONI NORMATIVE	8
1.1.13	ELENCO ED ILLUSTRAZIONE DEI CONTROLLI SVOLTI.....	8
1.1.14	RISPETTO DELLE VERIFICHE PER GLI STATI LIMITE IMPIEGATI	9
1.1.15	VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA	9
1.2	TIPO DI ANALISI SVOLTA	9
1.2.1	TIPO DI ANALISI STRUTTURALE CONDOTTA.....	9
1.2.2	METODO ADOTTATO PER LA RISOLUZIONE DEL PROBLEMA STRUTTURALE	10
1.2.3	COMPORTAMENTO DELLE STRUTTURE – ELLISSE DELLE RIGIDEZZE.....	12
1.2.4	VERIFICA SPOSTAMENTI SISMICI	13
1.2.5	VERIFICA PLATEA DI FONDAZIONE	14

1 RELAZIONE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE

1.1 MODALITA' DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

1.1.1 INQUADRAMENTO NORMATIVO

La presente Relazione di Calcolo costituisce prova e riassunto delle attività di progettazione esecutiva strutturale svolte con la finalità di assicurare la perfetta stabilità e sicurezza delle strutture e di evitare qualsiasi pericolo per la pubblica incolumità, ed in modo da escludere la necessità di variazioni significative in corso di esecuzione.

Nello svolgimento di tali attività si è fatto costante riferimento al corpo normativo nazionale e regionale vigente, ed in particolare ai seguenti documenti:

- D.P.R. n° 380/2001 "Testo Unico dell'Edilizia";
- D.Lgs. n° 163/2006 "Codice dei contratti pubblici di lavori, servizi e forniture" e relativo Regolamento di Attuazione;
- Deliberazione Giunta Regione Veneto n° 2122 del 02.08.05 "Criteri e modalità attuative per l'effettuazione del controllo dei progetti con il metodo a campione nell'ambito delle procedure per la realizzazione degli interventi nelle zone classificate sismiche";
- Circolare Regione Veneto n° 399115/58.01 del 21.07.08 "Indicazioni relative alle nuove disposizioni normative in materia di edificazione in zona sismica";
- UNI – EN 206:2016 Parte 1, Calcestruzzo: specificazione, prestazione produzione e conformità;
UNI 11104:2016 Calcestruzzo - specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206;
- C.N.R. – Documento Tecnico 206 R1/2018 Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle strutture di legno;
- Eurocodici da 1 a 8, nella forma internazionale EN.
- D.M. Infrastrutture 17.01.2018 "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni".
- Circolare Ministero Infrastrutture e Trasporti n° 7 del 21.01.2019 "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018";

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, ad integrazione delle norme precedenti e per quanto con esse non in contrasto, sono state utilizzate le indicazioni contenute nella

- UNI EN 206-1/2001 - Calcestruzzo, prestazione produzione e conformità.

La progettazione esecutiva delle strutture è stata effettuata unitamente alla progettazione esecutiva delle opere civili, al fine di prevedere ingombri, passaggi, fori, sedi di impianti, attraversamenti e simili e di ottimizzare le fasi di realizzazione.

1.1.2 SOGGETTI COINVOLTI

Il progetto d'insieme risulta essere descritto compiutamente nelle tavole prodotte dallo scrivente Ing. Ilario Rossi con sede in Via Giorgio Perlasca, 4 – 37036 San Martino Buon Albergo (VR).

Il committente dell'intervento è il Comune di Lavagno, avente sede in Via Piazza, 4 37030 Lavagno (VR).

1.1.3 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO

Il progetto riguarda la realizzazione di una nuova tettoia con struttura in carpenteria e le preliminari opere di fondazione/elevazione in c.a. consistenti in una platea e dei muretti per il sostegno di un solaio alveolare (la parte interrata risulterà inutilizzata). La struttura di progetto riprende e prosegue quella già presente. Le strutture in carpenteria metallica fuori terra saranno realizzate con profili di acciaio; la copertura sarà realizzata con pannelli sandwich grecati e spessore pari a 3,5 cm..

Le strutture principali risultano succintamente descrivibili come segue:

- Platea di fondazione in c.a. di spessore pari a 40 cm;

- Muretti in c.a. di spessore pari a 30/32 cm fino alla quota poco inferiore la piano di calpestio per sostenere il solaio alveolare;
- Muri in elevazione in c.a. di spessore pari a 25 cm;
- 7 contrafforti sul lato esterno (sud) sulla cui sommità si andranno ad ancorare le colonne HEA180;
- 7 colonne in acciaio zincato a caldo HEA 180 (lato esterno a sud);
- 7 colonne in acciaio zincato a caldo scatolare 180x180 sp. 5 (lato interno a nord);
- 7 travi principali (in direzione nord-sud) in acciaio zincato a caldo composte da 2 profili UNP180 uniti da calastrelli in scatolare 100x50 sp.4;
- 6+6 travi trasversali in acciaio zincato a caldo HEA140;
- Arcarecci di copertura in profili d'acciaio zincato a caldo HEA120.

Oltre alle strutture principali sopradescritte si provvederà anche alla realizzazione di un nuovo muretto di contenimento da realizzare sul lato ovest dell'area. Tale muretto in c.a. avrà fondazione nastriforme in c.a. di larghezza pari a 90 cm e spessore 40 cm. Il muretto avrà spessore pari a 25 cm fino ad una altezza di 1,35 m dalla base e quindi l'ultimo tratto (55 cm) avrà spessore pari a 15 cm.

1.1.4 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI PROGETTO



DATI CARTOGRAFICI DEL SITO

Posizione sito: Vago di Lavano, Via Alcide De Gasperi
Coordinate sito: 45.440318°; 11.131781°
Quota altimetrica: circa 67 m.s.l.m.m.

CLASSE DI DUTTILITÀ

La classe di duttilità è rappresentativa della capacità della struttura in acciaio di dissipare energia in campo anelastico per azioni cicliche ripetute.

Il D.M. 17 gennaio 2018 definisce due tipi di comportamento strutturale:

- comportamento strutturale non dissipativo;
- comportamento strutturale dissipativo.

Per strutture con comportamento strutturale dissipativo si distinguono due livelli di Capacità Dissipativa o Classi di Duttilità (CD):

- CD 'A' - Alta;
- CD 'B' - Bassa.

La differenza tra le due classi risiede nella entità delle plasticizzazioni cui ci si riconduce in fase di progettazione; per ambedue le classi, onde assicurare alla struttura un comportamento dissipativo e duttile evitando rotture fragili e la formazione di meccanismi instabili impreveduti, si fa ricorso ai procedimenti tipici della gerarchia delle resistenze.

Le strutture in esame verranno progettate/verificate con comportamento strutturale NON DISSIPATIVO.

VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

L'azione sismica è stata valutata in conformità alle indicazioni riportate al capitolo 3.2 del D.M. 17 gennaio 2018 - Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

In particolare il procedimento per la definizione degli spettri di progetto per i vari Stati Limite per cui sono state effettuate le verifiche è stato il seguente:

- definizione della Vita Nominale e della Classe d'Uso della struttura, il cui uso combinato ha portato alla definizione del Periodo di riferimento dell'azione sismica;
- individuazione, tramite latitudine e longitudine, dei parametri sismici di base a_g , F_0 e T^*c per tutti e quattro gli Stati Limite previsti (SLO, SLD, SLV e SLC); l'individuazione è stata effettuata interpolando tra i quattro punti più vicini al punto di riferimento dell'edificio;
- determinazione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica;
- calcolo del periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello Spettro.

I dati così calcolati sono stati utilizzati per determinare gli Spettri di Progetto nelle verifiche agli Stati Limite considerati.

ZONIZZAZIONE SISMICA

Il territorio del comune di Lavagno non era classificato sismico. Successivamente la ORDINANZA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI n. 3274 del 20 MARZO 2003: *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica* lo ha inserito in classe 3, con valore di ancoraggio dell'accelerazione sismica orizzontale di 0.15g. La successiva OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006 ha rivisto la classificazione sismica non più in riferimento ai comuni ma in modo più dettagliato e puntuale. La DGRV n. 244 del 09 marzo 2021 (entrata in vigore dal 16 maggio 2021) inserisce molti comuni del Veneto che erano classificati in classe 3 nella zona sismica 2. Lavagno è quindi passato dalla classe 3 alla classe 2.

Le N.T.C. contenute nel D.M. del 17.01.2018 prescrivono di determinare i parametri sismici a_g , F_0 , T_c^* del sito come media pesata dei 4 dei 10751 punti appartenenti alla maglia considerata nella "pericolosità sismica di base" entro cui il sito stesso ricade (si veda a tl proposito la trattazione contenuta nella Relazione Geologica e Geotecnica redatta dal dott. Geologo Dario Gaspari).

LIVELLO DI SICUREZZA ADOTTATO

Si fissano di concerto con il Committente ed in riferimento alle N.T.C. 2018, i seguenti parametri volti a definire il livello di sicurezza delle strutture oggetto della presente relazione:

- L'intervento si classifica come nuova realizzazione in zona sismica.
- Tipologia della costruzione: 2 (opere ordinarie)
- Vita nominale VN della struttura: 500 anni;
- Classe d'uso della struttura: II (costruzioni cui l'uso preveda normali affollamenti)
- Coefficiente d'uso $C_U = 1.0$;
- Periodo di riferimento per l'azione sismica $VR = V_N * C_U = 100$ anni.
- Classe di duttilità: Bassa

DETERMINAZIONE DEL FATTORE DI COMPORTAMENTO

Il fattore di risposta della struttura, che tiene conto della capacità della struttura di dissipare l'energia sismica, è dato da:

$$q = q_0 k_R k_W$$

Dal momento che la struttura è progettata secondo un comportamento non dissipativo, il fattore q è stato posto pari a 1,5 e pertanto:

Il fattore di comportamento della struttura per le azioni orizzontali sarà: $q_d = 1.50$

Il fattore di comportamento della struttura per le azioni verticali è assunto convenzionalmente pari a: $q_v = 1.50$

L'applicazione di tali parametri presuppone un servizio di manutenzione e controllo che sarà accurato e frequente secondo quanto prescritto nel piano di manutenzione.

1.1.5 DEFINIZIONE DEI CARICHI DI PROGETTO – STRUTTURA IN ACCIAIO

PROFILI ACCIAIO:

Peso proprio: 7850 kg/m^3

TOTALE Gs: 7850 kg/m^3

Pannelli sandwich controsoffitto: 9 kg/m^2

Pannelli sandwich di copertura: 10 kg/m^2

TOTALE Gp: 19 kg/m^2

CARICO NEVE

CARICO NEVE lavoro : CIMITV
Unità di misura : m ; Kg/mq ; Kg/m

Zona 2
Altitudine [m]: 67
Periodo di Ritorno [anni]: 50

gsk (carico neve al suolo) = 101.97

COPERTURA AD UNA FALDA

alfa (inclinazione della falda [°]) = 10

mu1	mu	qs	qe
	.8	81.58	17.4

Il carico da neve considerato nel modello di calcolo, pertanto, è stato posto dallo scrivente pari a: 80 daN/mq.

CARICO VENTO

L'azione del vento sulla copertura è stata considerata come forza risultante negativa (agente verso l'alto) sulle falde di copertura.

VENTO lavoro : CIMITV
Unità di misura : m ; Kg/mq ; m/s

Convenzione di segno:
(+) compressione
(-) decompressione

Zona 1
Altitudine: 67
Periodo di Ritorno [anni]: 50
Classe di rugosità del terreno:D
Distanza dalla costa [km]: 100
Categoria di esposizione del sito: 2
Tipologia di costruzione:Edifici a pianta rettangolare con coperture piane a falde inclinate o curve

vref (velocità di riferimento) = 25.
qref (pressione cinetica di riferimento) = 39.83
cd (coefficiente dinamico) = 1.
cf (coefficiente d' attrito) = .01

	P.to	z	ct(z)	ce(z)	par.1 cp	esterno p(z)	par.1 cp	interno p(z)
1	A	0.	1.	1.8005	.8	57.38	-.5	-35.86
2		.5	1.	1.8005	.8	57.38	-.5	-35.86
3		1.	1.	1.8005	.8	57.38	-.5	-35.86
4		1.5	1.	1.8005	.8	57.38	-.5	-35.86
5		2.	1.	1.8005	.8	57.38	-.5	-35.86
6		2.5	1.	1.8005	.8	57.38	-.5	-35.86
7		3.	1.	1.8005	.8	57.38	-.5	-35.86
8		3.5	1.	1.8005	.8	57.38	-.5	-35.86
9		4.	1.	1.8005	.8	57.38	-.5	-35.86
10	B	4.5	1.	1.8681	.8	59.53	-.5	-37.21

	P.to	z	ct(z)	ce(z)	par.2 cp	esterno p(z)	par.2 cp	interno p(z)
1	E	0.	1.	1.8005	-.4	-28.69	-.5	-35.86
2		.5	1.	1.8005	-.4	-28.69	-.5	-35.86

cf (coefficiente d' attrito) = .01

	P.to	z	ct(z)	ce(z)	par.1 cp	esterno p(z)	par.1 cp	interno p(z)
1	A	0.	1.	1.8005	.8	57.38	-.5	-35.86
2		.5	1.	1.8005	.8	57.38	-.5	-35.86
3		1.	1.	1.8005	.8	57.38	-.5	-35.86
4		1.5	1.	1.8005	.8	57.38	-.5	-35.86
5		2.	1.	1.8005	.8	57.38	-.5	-35.86
6		2.5	1.	1.8005	.8	57.38	-.5	-35.86
7		3.	1.	1.8005	.8	57.38	-.5	-35.86
8		3.5	1.	1.8005	.8	57.38	-.5	-35.86
9		4.	1.	1.8005	.8	57.38	-.5	-35.86
10	B	4.5	1.	1.8681	.8	59.53	-.5	-37.21

	P.to	z	ct(z)	ce(z)	par.2 cp	esterno p(z)	par.2 cp	interno p(z)
1	E	0.	1.	1.8005	-.4	-28.69	-.5	-35.86
2		.5	1.	1.8005	-.4	-28.69	-.5	-35.86
3		1.	1.	1.8005	-.4	-28.69	-.5	-35.86
4		1.5	1.	1.8005	-.4	-28.69	-.5	-35.86
5		2.	1.	1.8005	-.4	-28.69	-.5	-35.86
6		2.5	1.	1.8005	-.4	-28.69	-.5	-35.86
7		3.	1.	1.8005	-.4	-28.69	-.5	-35.86
8		3.5	1.	1.8005	-.4	-28.69	-.5	-35.86
9		4.	1.	1.8005	-.4	-28.69	-.5	-35.86
10	D	4.5	1.	1.8681	-.4	-29.76	-.5	-37.21

	P.to	z	ct(z)	ce(z)	fal.1 cp	esterno p(z)	fal.1 cp	interno p(z)
10	B	4.5	0.	1.8681	-.4	-29.76	-.5	-37.21
11		4.61	0.	1.8822	-.4	-29.99	-.5	-37.49
12		4.72	0.	1.896	-.4	-30.21	-.5	-37.76
13		4.83	0.	1.9095	-.4	-30.42	-.5	-38.03
14		4.94	0.	1.9228	-.4	-30.64	-.5	-38.29
15		5.06	0.	1.9358	-.4	-30.84	-.5	-38.55
16		5.17	0.	1.9485	-.4	-31.05	-.5	-38.81
17		5.28	0.	1.9611	-.4	-31.25	-.5	-39.06
18		5.39	0.	1.9734	-.4	-31.44	-.5	-39.3
19	C	5.5	0.	1.9854	-.4	-31.63	-.5	-39.54

	P.to	z	ct(z)	ce(z)	fal.2 cp	esterno p(z)	fal.2 cp	interno p(z)
10	D	4.5	0.	1.8681	-.4	-29.76	-.5	-37.21
11		4.61	0.	1.8822	-.4	-29.99	-.5	-37.49
12		4.72	0.	1.896	-.4	-30.21	-.5	-37.76
13		4.83	0.	1.9095	-.4	-30.42	-.5	-38.03
14		4.94	0.	1.9228	-.4	-30.64	-.5	-38.29
15		5.06	0.	1.9358	-.4	-30.84	-.5	-38.55
16		5.17	0.	1.9485	-.4	-31.05	-.5	-38.81
17		5.28	0.	1.9611	-.4	-31.25	-.5	-39.06
18		5.39	0.	1.9734	-.4	-31.44	-.5	-39.3
19	C	5.5	0.	1.9854	-.4	-31.63	-.5	-39.54

	P.to	z	pf(z)
1	A-E	0.	.72
2		.5	.72
3		1.	.72
4		1.5	.72
5		2.	.72
6		2.5	.72
7		3.	.72
8		3.5	.72
9		4.	.72
10	B-D	4.5	.74
11		4.61	.75
12		4.72	.76
13		4.83	.76
14		4.94	.77
15		5.06	.77
16		5.17	.78
17		5.28	.78
18		5.39	.79
19	C	5.5	.79

Vento su muratura sud:

60 kg/m²

Variabile distribuito (peso loculi + affollamento):

850 kg/m²**TOTALE Qs:****910 kg/m²**

1.1.7 DESCRIZIONE DEI MATERIALI ADOTTATI E LORO CARATTERISTICHE MECCANICHE

I materiali ed i prodotti edili, per poter essere utilizzati nelle costruzioni devono essere sottoposti a procedure e prove sperimentali di accettazione. Quelli utilizzati per il progetto di cui alla presente sono specificatamente definiti nella Relazione Illustrativa dei Materiali Impiegati.

1.1.8 COMBINAZIONI DI CARICO

Per comodità, viene riportata nel seguito una breve tabella riassuntiva dei carichi applicati.

NOM	DESCRIZIONE	VERIF.	TIPO	CONDIZIONI INSERITE				CASI INS.	
				Nro	Descrizione	Coef.	Somma	Nom	Coef.
1	SLU	SLU	somma	1	Peso_proprio_____	1.300	+		
				2	Permanente_____	1.500	+		
				3	A:Var_pubblico_____	1.500	+		
				4	Neve_(<1000m_slm)____	1.500	+		
				6	fondazioni_____	1.300	+		
				7	terreno_____	1.500	+		
2	SLU VENTOY	SLU	somma	1	Peso_proprio_____	1.300	+		
				2	Permanente_____	1.500	+		
				3	A:Var_pubblico_____	1.500	+		
				4	Neve_(<1000m_slm)____	1.500	+		
				5	vento_y_____	1.500	+/-		
				6	fondazioni_____	1.300	+		
				7	terreno_____	1.500	+		
3	SISMAX SLU	NONUT	somma	8	Sisma_X_____	1.000	quad		
				10	Torcente_add._X_____	1.000	quad		
				12	Autovett_001_(X)_____	1.000	quad		
				14	Autovett_002_(X)_____	1.000	quad		
				18	Autovett_004_(X)_____	1.000	+/-		
4	SISMAY SLU	NONUT	somma	9	Sisma_Y_____	1.000	quad		
				11	Torcente_add._Y_____	1.000	quad		
				13	Autovett_001_(Y)_____	1.000	quad		
				15	Autovett_002_(Y)_____	1.000	quad		
				19	Autovett_004_(Y)_____	1.000	+/-		
5	SLU con SISMAX PRINC	SLU	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+	3	1.000
				2	Permanente_____	1.000	+	4	.300
				3	A:Var_pubblico_____	.300	+		
				6	fondazioni_____	1.000	+		
				7	terreno_____	1.000	+		
6	SLU con SISMAY PRINC	SLU	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+	4	1.000
				2	Permanente_____	1.000	+	3	.300
				3	A:Var_pubblico_____	.300	+		
				6	fondazioni_____	1.000	+		
				7	terreno_____	1.000	+		
7	SLD con SISMAX PRINC	SLD	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+	3	.626
				2	Permanente_____	1.000	+	4	.188
				3	A:Var_pubblico_____	.300	+		
				6	fondazioni_____	1.000	+		
				7	terreno_____	1.000	+		
8	SLD con SISMAY PRINC	SLD	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+	4	.626
				2	Permanente_____	1.000	+	3	.188
				3	A:Var_pubblico_____	.300	+		
				6	fondazioni_____	1.000	+		
				7	terreno_____	1.000	+		
9	Rara	RARA	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+		
				2	Permanente_____	1.000	+		
				3	A:Var_pubblico_____	1.000	+		
				4	Neve_(<1000m_slm)____	1.000	+		
				6	fondazioni_____	1.000	+		
				7	terreno_____	1.000	+		
10	Rara VentoY	RARA	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+		
				2	Permanente_____	1.000	+		
				3	A:Var_pubblico_____	1.000	+		
				4	Neve_(<1000m_slm)____	1.000	+		
				5	vento_y_____	1.000	+/-		
				6	fondazioni_____	1.000	+		
				7	terreno_____	1.000	+		
11	Frequente	FREQ	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+		
				2	Permanente_____	1.000	+		
				3	A:Var_pubblico_____	.500	+		
				4	Neve_(<1000m_slm)____	.200	+		
				6	fondazioni_____	1.000	+		
				7	terreno_____	1.000	+		
12	Frequente VentoY	FREQ	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+		
				2	Permanente_____	1.000	+		
				3	A:Var_pubblico_____	.500	+		
				4	Neve_(<1000m_slm)____	.200	+		

				5	vento_y	.200	+/-			
				6	fondazioni	1.000	+			
				7	terreno	1.000	+			
13	Quasi Perm	QPERM	somma	1	Peso_proprio	1.000	+			
				2	Permanente	1.000	+			
				3	A:Var_pubblico	.300	+			
				6	fondazioni	1.000	+			
				7	terreno	1.000	+			

1.1.9 CRITERI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE

Per l'analisi e la verifica dell'organismo strutturale sopra descritto, oltre a semplici schematizzazioni in fase di predimensionamento, è stato approntato un modello numerico agli elementi finiti, per quanto possibile fedele alla reale configurazione della struttura, e su di esso sono state condotte le prescritte analisi e verifiche di deformazione e sollecitazione, considerando un comportamento elasto-plastico dei materiali ed effettuando esplicite analisi del 2° ordine quando previsto (in base ai criteri proposti al punto 4.1.1.4 del D.M. 17.01.2018).

1.1.10 ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

Per la modellazione spaziale, la combinazione dei carichi, il calcolo delle sollecitazioni e per le verifiche di gusci intesi come piastre orizzontali o setti verticali, solai ed altre tipologie di elementi eventualmente presenti si è utilizzato il programma di calcolo DOLMEN WIN[®], release 20, prodotto, distribuito ed assistito dalla CDM DOLMEN & OMNIA IS S.r.l., avente sede in Torino, Via Drovetti n° 9/F.

Tale programma risulta regolarmente licenziato allo scrivente dalla ditta che lo commercializza e ne esercita i diritti d'autore.

1.1.11 INFORMAZIONI GENERALI SULL'ELABORAZIONE

A supporto del programma sopraccitato è fornito un ampio manuale d'uso contenente fra l'altro una serie di test di validazione sia su esempi classici di Scienza delle Costruzioni sia su strutture particolarmente impegnative reperibili in bibliografia. L'affidabilità del Codice di Calcolo è inoltre garantita dall'esistenza di un'ampia casistica di strutture risolte nel corso degli oltre 25 anni di presenza sul mercato, e dal livello di qualità degli utilizzatori. Allo scrivente è stata inoltre fornita la documentazione di presentazione del Codice di Calcolo, contenente la bibliografia di riferimento, esempi di calcolo svolti, le metodologie di calcolo adottate ed i linguaggi di programmazione utilizzati.

La presenza di un modulo CAD per l'introduzione dei dati permette la visualizzazione dettagliata degli elementi introdotti, rappresentati dal proprio asse longitudinale o con la effettiva sezione, e la rappresentazione grafica di deformate e sollecitazioni della struttura.

Nelle pagine seguenti sono riportati i dettagli della modellazione e dell'elaborazione eseguita sul modello numerico, ed i calcoli di verifica delle singole membrature limitati a quelle più significative o tipologicamente prevalenti.

1.1.12 INDICAZIONI NORMATIVE

I risultati dell'elaborazione sono sottoposti a controlli che ne hanno comprovato l'attendibilità ovvero è avvenuto il confronto con risultati di semplici calcoli, anche di larga massima, eseguito con riferimento a schemi o soluzioni note ed adottati in fase di proporzionamento della struttura.

1.1.13 ELENCO ED ILLUSTRAZIONE DEI CONTROLLI SVOLTI

CONTROLLO IN AUTOMATICO

Al termine dell'elaborazione viene automaticamente valutata la qualità della soluzione raffrontando il lavoro esterno e l'energia di deformazione, che devono risultare pressoché coincidenti.

Per una maggiore sicurezza sull'affidabilità dei risultati ottenuti, vengono controllati sistematicamente la mancanza di labilità, l'uguaglianza tra carichi applicati e reazioni vincolari, ed il fatto che eventuali simmetrie di carichi e struttura diano origine a sollecitazioni simmetriche.

VALIDAZIONE ALL'ORIGINE

Al presente indirizzo è possibile recuperare le validazione di tutti gli applicativi del programma in oggetto.

<https://www.cdmdolmen.it/download/validazione-dolmen/validazione.htm>

1.1.14 RISPETTO DELLE VERIFICHE PER GLI STATI LIMITE IMPIEGATI

La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale di progetto di cui al precedente 1.1.4.

Si definisce stato limite una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze elencate nelle N.T.C. 2018.

In particolare, secondo quanto stabilito nei capitoli specifici, le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- Sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi (S.L.U.): capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio, dissesti gravi totali o parziali;
- Sicurezza nei confronti degli stati limite di esercizio (S.L.E.): capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- Sicurezza antincendio: capacità di garantire le prestazioni strutturali previste in caso d'incendio, per un periodo richiesto;
- Durabilità: capacità della costruzione di mantenere, nell'arco della vita nominale di progetto, i livelli prestazionali per i quali è stata progettata, tenuto conto delle caratteristiche ambientali in cui si trova e del livello previsto di manutenzione;
- Robustezza: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità di possibili cause innescanti eccezionali quali esplosioni e urti.

1.1.15 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Nel metodo agli stati limite, la sicurezza strutturale nei confronti degli S.L.U. deve essere verificata confrontando la capacità di Progetto Rd, in termini di resistenza, duttilità, spostamento della struttura o della membratura strutturale, funzione delle caratteristiche meccaniche dei materiali che la compongono (X_d) e dei valori nominali delle grandezze geometriche interessate (a_d) con il corrispondente valore di progetto della domanda Ed, funzione dei valori di progetto delle azioni (F_d) e dei valori nominali delle grandezze geometriche delle strutture interessate.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi (S.L.U.), è espressa attraverso la seguente espressione formale:

$$R_d \geq E_d$$

Il valore di progetto della resistenza di un dato materiale X_d è, a sua volta, funzione del valore caratteristico della resistenza, definito come frattile 5% della distribuzione statistica della grandezza, attraverso l'espressione:

$$X_d = X_k / \gamma_M \quad \text{essendo } \gamma_M \text{ il fattore parziale associato alla resistenza del materiale.}$$

Il valore di progetto di ciascuna delle azioni agenti sulla struttura F_d è ottenuto dal suo valore caratteristico F_k , inteso come frattile 95% della distribuzione statistica o come valore caratterizzato da un assegnato periodo di ritorno, attraverso l'espressione:

$$F_d = \gamma_F F_k \quad \text{essendo } \gamma_F \text{ il fattore parziale relativo alle azioni.}$$

Nel caso di concomitanza di più azioni variabili di origine diversa si definisce un valore di combinazione $\psi_0 F_k$ dove $\psi_0 < 1$ è un opportuno coefficiente di combinazione che tiene conto della ridotta probabilità che più azioni di diversa origine si realizzino simultaneamente.

La capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (S.L.E.) deve essere verificata confrontando il valore limite di progetto associato a ciascun aspetto di funzionalità esaminato (C_d), con il corrispondente valore di progetto dell'effetto delle azioni (E_d), attraverso la seguente espressione formale:

$$C_d \geq E_d$$

1.2 TIPO DI ANALISI SVOLTA

1.2.1 TIPO DI ANALISI STRUTTURALE CONDOTTA

L'organismo strutturale è stato schematizzato escludendo il contributo degli elementi aventi rigidezza e resistenza trascurabili a fronte dei principali. E' quindi stata considerata l'orditura a telaio tridimensionale, i solai ed i setti verticali ad elevata rigidezza come vani scala o ascensore in cls; i plinti di fondazione sono assimilati a vincoli elastici di cui è stata fornita al Codice di Calcolo la costante di rigidezza, mentre le travi e le platee di fondazione sono schematizzate come poggianti su vincoli elastici distribuiti.

La struttura è modellata con il metodo degli elementi finiti, applicato a sistemi tridimensionali. Gli elementi utilizzati sono sia monodimensionali (trave con eventuali sconnessioni interne), che bidimensionali (piastre e

membrane triangolari e quadrangolari). I vincoli sono considerati puntuali ed inseriti tramite le sei costanti di rigidezza elastica, oppure come elementi asta poggianti su suolo elastico. Le sezioni oggetto di verifica nelle travi sono stampate a passo costante; dei gusci si conoscono le sollecitazioni nel baricentro dell'elemento stesso.

Nell'elaborazione automatica sono state considerate le seguenti azioni:

- ✓ Pesi propri strutturali;
- ✓ Carichi permanenti portati dalla struttura;
- ✓ Carichi variabili;
- ✓ Forze di piano simulanti il sisma, ricavate tramite analisi statica o dinamica.

In particolare sono stati considerati i seguenti carichi, i cui valori per ogni impalcato sono specificati nella parte introduttiva della Relazione di Calcolo:

- ✓ Peso proprio impalcato;
- ✓ Carico permanente;
- ✓ Carico variabile;
- ✓ Sisma.

I materiali costituenti la struttura sono considerati elasto-plastici (calcestruzzo con diagramma delle deformazioni parabola-rettangolo, ed acciaio con curva tensioni-deformazioni bilatera con incrudimento); le loro caratteristiche sono specificate nella stampa dei dati di input.

1.2.2 METODO ADOTTATO PER LA RISOLUZIONE DEL PROBLEMA STRUTTURALE

METODO DI ANALISI

Il calcolo delle azioni sismiche è stato eseguito con analisi dinamica modale, considerando il comportamento della struttura in regime elastico lineare.

Come descritto nel *D.M. 17 gennaio 2018 par. 7.3.3.1*, l'analisi dinamica lineare consiste:

- nella determinazione dei modi di vibrare della costruzione (analisi modale);
- nel calcolo degli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto, per ciascuno dei modi di vibrare individuati;
- nella combinazione di questi effetti.

Devono essere considerati tutti i modi con massa partecipante significativa. È opportuno a tal riguardo considerare tutti i modi con massa partecipante superiore al 5% e comunque un numero di modi la cui massa partecipante totale sia superiore all'85%. Per la combinazione degli effetti relativi ai singoli modi deve essere utilizzata una Combinazione Quadratica Completa (CQC).

Le sollecitazioni derivanti da tali azioni sono state composte poi con quelle derivanti da carichi verticali, orizzontali non sismici secondo le varie combinazioni di carico probabilistiche.

Il numero di modi di vibrazione considerato ha consentito, nelle varie condizioni, di mobilitare percentuali delle masse della struttura non inferiori all'85% della massa totale.

COMBINAZIONE DELLE COMPONENTI DELL'AZIONE SISMICA

Il sisma viene convenzionalmente considerato come agente separatamente in due direzioni tra loro ortogonali prefissate; per tenere conto che nella realtà il moto del terreno durante l'evento sismico ha direzione casuale e in accordo con le prescrizioni normative, per ottenere l'effetto complessivo del sisma, a partire dagli effetti delle direzioni calcolati separatamente, si è provveduto a sommare i massimi ottenuti in una direzione con il 30% dei massimi ottenuti per l'azione applicata nell'altra direzione. L'azione sismica verticale viene considerata in presenza di elementi pressoché orizzontali con luce superiore a 20 m, di elementi principali precompressi o di elementi a mensola.

ECCENTRICITÀ ACCIDENTALI

Per valutare le eccentricità accidentali, previste in aggiunta all'eccentricità effettiva, sono state considerate condizioni di carico aggiuntive ottenute applicando l'azione sismica nelle posizioni del centro di massa di ogni piano ottenute traslando gli stessi, in ogni direzione considerata, di una distanza pari a $\pm 5\%$ della dimensione massima del piano in direzione perpendicolare all'azione sismica.

LIVELLI RIGIDI

Nella definizione del modello strutturale alcuni livelli sono stati considerati infinitamente rigidi nel loro piano. In particolare i piani rigidi generati nel modello tridimensionale sono i seguenti:

Livello	Quota [cm]	Rigido
Fondazione	-200	Sì
1	-25	Sì
2	537	NO

Si ricorda che la normativa consente di considerare un solaio come infinitamente rigido se rispettato il *par. 7.2.6 D.M. 17 gennaio 2018*, per orizzontamenti realizzati in cemento armato, latero-cemento con soletta in c.a. di almeno 40 mm di spessore o in struttura mista con soletta in cemento armato di almeno 50 mm di spessore collegata da connettori a taglio opportunamente dimensionati agli elementi strutturali in acciaio o in legno purché le aperture presenti non ne riducano significativamente la rigidità.

SPETTRI DI PROGETTO PER SLU E SLD

Per la definizione degli spettri di risposta, oltre ai parametri precedentemente richiamati (dipendenti dalla classificazione sismica del Comune) occorre determinare il Fattore di Struttura q .

Il Fattore di struttura q è un fattore riduttivo delle forze elastiche introdotto per tenere conto delle capacità dissipative della struttura che dipende dal sistema costruttivo adottato, dalla Classe di Duttilità e dalla regolarità in pianta ed altezza.

Per la struttura in esame sono stati determinati i seguenti valori:

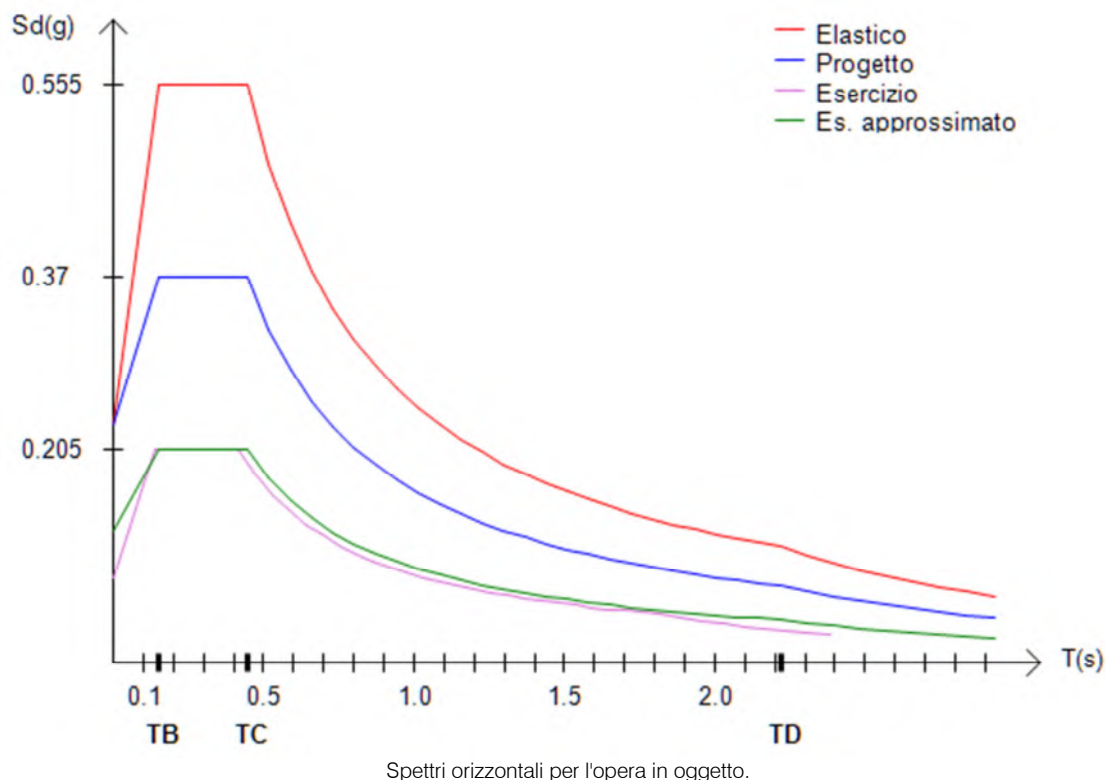
Fattore di struttura per sisma orizzontale (q) = 1.50

$$T_B = 0.149 \text{ [s]}$$

$$T_C = 0.447 \text{ [s]}$$

$$T_D = 2.22 \text{ [s]}$$

Per la struttura in esame sono stati utilizzati i seguenti spettri orizzontali:



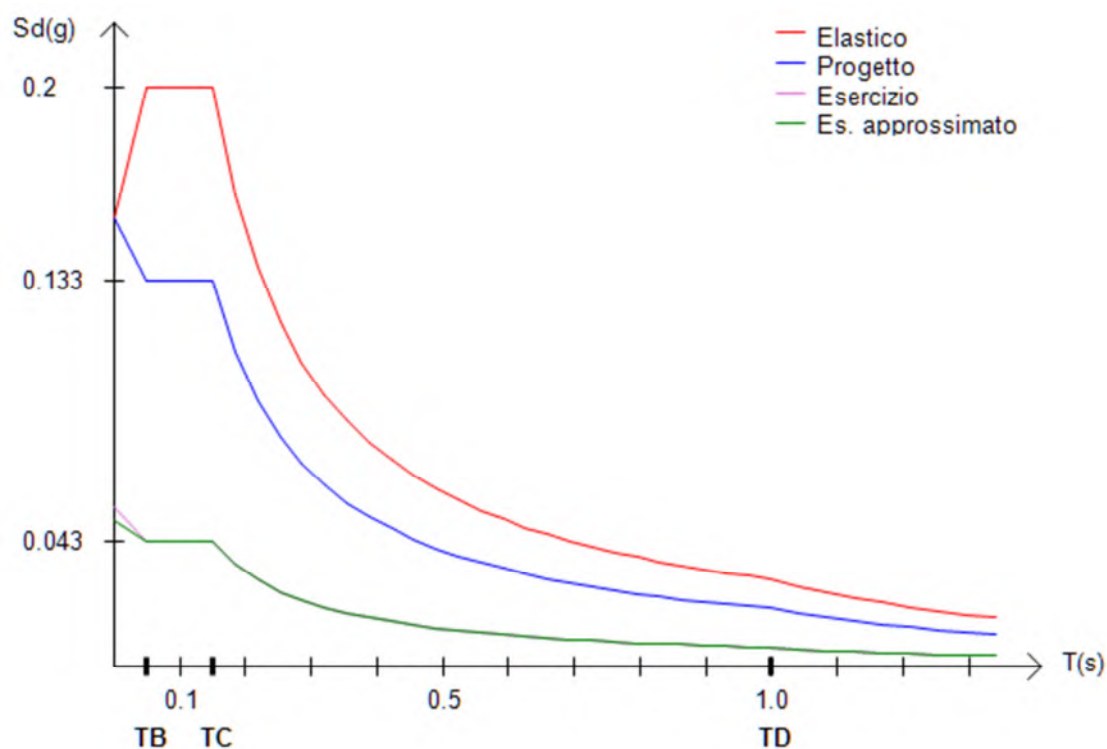
Fattore di struttura per sisma verticale (q) = 1.5

$$T_B = 0.050 \text{ [s]}$$

$$T_C = 0.150 \text{ [s]}$$

$$T_D = 1.000 \text{ [s]}$$

Per la struttura in esame sono stati utilizzati i seguenti spettri orizzontali:



Spettri verticali per l'opera in oggetto.

1.2.3 COMPORTAMENTO DELLE STRUTTURE – ELLISSE DELLE RIGIDEZZE

Il calcolo delle ellisse delle rigidezze ha lo scopo di effettuare i controlli prescritti dal *D.M. 17 gennaio 2018* riguardo alla regolarità strutturale, in particolare alla scelta della tipologia strutturale e alla presa in conto degli effetti del secondo ordine).

L'analisi effettuata viene riassunta mediante la seguente tabella, preceduta dall'elenco dei significati dei vari parametri.

Quota del piano: è la quota di ciascun livello rigido definito nel modello strutturale.

Rigidezze flessionali K_x e K_y : calcolate come rapporto tra forza applicata e spostamento del baricentro di piano. Il valore è ridotto di tre ordini di grandezza per una maggiore leggibilità.

Rigidezza torsionale K_{tors} : calcolata come rapporto tra momento torcente applicato e rotazione del piano. Il valore è ridotto di sei ordini di grandezza.

Coordinate X_k e Y_k del centro rigidezze: è il punto attorno al quale avviene la rotazione del piano, e corrisponde al centro dell'ellisse di rigidezze (o delle rigidezze).

Coordinate X_g e Y_g del baricentro: è il punto di applicazione della risultante delle azioni gravitazionali, e perciò anche delle forze sismiche; nella grafica viene disegnato un rettangolo centrato sul baricentro, con base e altezza pari al 5% delle dimensioni definite al punto seguente.

Dimensioni X ed Y del piano: L_x ed L_y corrispondono alla larghezza e all'altezza del rettangolo che circoscrive il piano.

Raggi di rigidezze r_x e r_y : sono definiti come la radice quadrata del rapporto tra rigidezza torsionale e rigidezza flessionale e costituiscono i semiassi dell'ellisse delle rigidezze.

Raggio giratorio (I_s): $I_s^2 = (L_x^2 + L_y^2)/12$. È una lunghezza caratteristica del piano, di tipo puramente geometrico.

$MIN(r_x, r_y) / I_s$: nelle strutture a telaio/pareti il rapporto tra il più piccolo raggio di rigidezze ed il raggio giratorio deve essere maggiore di 0.8; se così non è la struttura va classificata come *deformabile torsionalmente* ai fini del

fattore di struttura q_0 (NTC 7.4.3.1). Per aumentare questo rapporto gli elementi di controvento come setti e pareti devono essere il più distanti possibile dal centro della struttura, per esempio sul perimetro esterno.

$(X_g - X_k)/r_x$ e $(Y_g - Y_k)/r_y$: distanze tra baricentro e centro delle rigidezze (separatamente per direzione x e y) rapportate al rispettivo raggio di rigidezza. Misurano l'eccentricità della forza sismica, che idealmente dovrebbe essere nulla (baricentro delle masse coincidente col centro delle rigidezze): in effetti l'EC8 considera *regolare in pianta* una distribuzione di rigidezze in cui tali rapporti sono minori di 0.3. Nella grafica viene evidenziata la regione di nocciolo, che è appunto un'ellisse con gli assi pari a 0.3 volte quelli dell'ellisse di rigidezza. In pratica la regolarità è sufficiente se il rettangolo baricentrico cade all'interno della regione di nocciolo.

2° ordine (θ_X / θ_Y): in base al punto 7.3.2 del D.M. 17 gennaio 2018 va verificato ad ogni piano che gli effetti del 2° ordine siano trascurabili, cioè che la quantità peso x spostamento orizzontale relativo al piano inferiore sia minore del 10% di forza sismica x altezza di piano. Il parametro calcolato è appunto il valore di tale rapporto, nelle due direzioni.

Percentuale dinamica X/Y: è una stima dell'importanza della massa di piano ai fini dell'azione sismica complessiva. In effetti il contributo di ogni piano non dipende solo dall'entità del suo carico, ma anche dalla distribuzione delle rigidezze lungo l'altezza della struttura. Il programma segnala con un simbolo apposito (^ ^ ^ ^ ^ ^) i piani dove la percentuale stimata è minore di 1/4 del contributo medio.

CONTROLLO RIGIDEZZE STRUTTURALI

Quota del piano		-25.0		537.0	[cm]
Rigidezza KX (/1000)		15538.286		0.969	[daN/cm]
Rigidezza KY (/1000)		3395.788		2.449	[daN/cm]
Rigidezza Ktors (/1e6)		9857017		1234	[daNcm]
Xk (centro rigidezze)		749.1		1533.8	[cm]
Yk (centro rigidezze)		220.7		760.1	[cm]
Xg (baricentro)		1050.8		1081.7	[cm]
Yg (baricentro)		580.7		484.4	[cm]
dimensione X		2106		2087	[cm]
dimensione Y		1115		920	[cm]
raggio rigidezza (rx)		1704		710	[cm]
raggio rigidezza (ry)		796		1129	[cm]
raggio giratorio (ls)		604		623	[cm]
MIN(rx , ry) / ls		1.3191		1.1406	ok (> 1)
(Xg - Xk) / rx		0.1771		0.6367	> 0.3 !!!!
(Yg - Yk) / ry		0.4520		0.2442	> 0.3 !!!!
2° ordine (theta X)		0.01		0.80	[%] ok (< 10%)
2° ordine (theta Y)		0.04		0.31	[%] ok (< 10%)
Percentuale dinamica X		0.43		99.57	[%]
^^^^^^^^^^					
Percentuale dinamica Y		4.64		95.36	[%]
^^^^^^^^^^					

Come emerge dai risultati (e come era facilmente prevedibile, considerata la particolare struttura) il complesso NON risulta regolare in pianta ed altezza.

1.2.4 VERIFICA SPOSTAMENTI SISMICI

SPOSTAMENTI ALLO STATO LIMITE D'ESERCIZIO (SLD)

Per le costruzioni ricadenti in classe d'uso I o II si deve verificare che l'azione sismica di progetto non produca agli elementi costruttivi senza funzione strutturale danni tali da rendere la costruzione temporaneamente inagibile.

Nel caso delle costruzioni civili e industriali, qualora la temporanea inagibilità sia dovuta a spostamenti eccessivi di interpiano, questa condizione si può ritenere soddisfatta quando gli spostamenti interpiano ottenuti dall'analisi in presenza dell'azione sismica di progetto relativa allo SLD siano inferiori ai limiti indicati al par. 7.3.7.2 del D.M. 17 gennaio 2018 - Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

Per le costruzioni ricadenti in classe d'uso III e IV si deve inoltre verificare che l'azione sismica di progetto non produca danni agli elementi costruttivi senza funzione strutturale tali da rendere temporaneamente non operativa la costruzione.

SPOSTAMENTI ALLO STATO LIMITE ULTIMO (SLV)

Gli spostamenti d_E della struttura sotto l'azione sismica di progetto allo SLV si ottengono moltiplicando per il fattore μ_d ottenuti i valori d_{Ee} ottenuti dall'analisi lineare, dinamica o statica, secondo l'espressione 7.3.8 del D.M. 17 gennaio 2018 - Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

RISULTATI DELLE VERIFICHE

I risultati del calcolo degli spostamenti sono riportati nelle tabelle seguenti.

spostamento limite interpiano = 0.5% dell'altezza

CASO n. 7 - SLD con SISMAT PRINC:

Zinf [cm]	Zsup [cm]	h [cm]	spost.max [cm]	%h	nodo	sest.	ver.
-200.00	-25.00	175.00	0.011346	0.006	1537	13	SI
-25.00	525.00	550.00	2.359607	0.429	1299	16	SI

CASO n. 8 - SLD con SISMAT PRINC:

Zinf [cm]	Zsup [cm]	h [cm]	spost.max [cm]	%h	nodo	sest.	ver.
-200.00	-25.00	175.00	0.017105	0.010	1537	4	SI
-25.00	525.00	550.00	1.487551	0.270	1299	6	SI

VERIFICA SPOSTAMENTI SISMICI DI S.L.V. (NTC 7.3.3.3)

Fattore μ_d = 1.500

Quota [cm]	DX max [cm]	nodo	DY max [cm]	nodo
-25.00	0.009967	1067	0.034374	1537
537.40	5.970039	1394	3.341246	1544

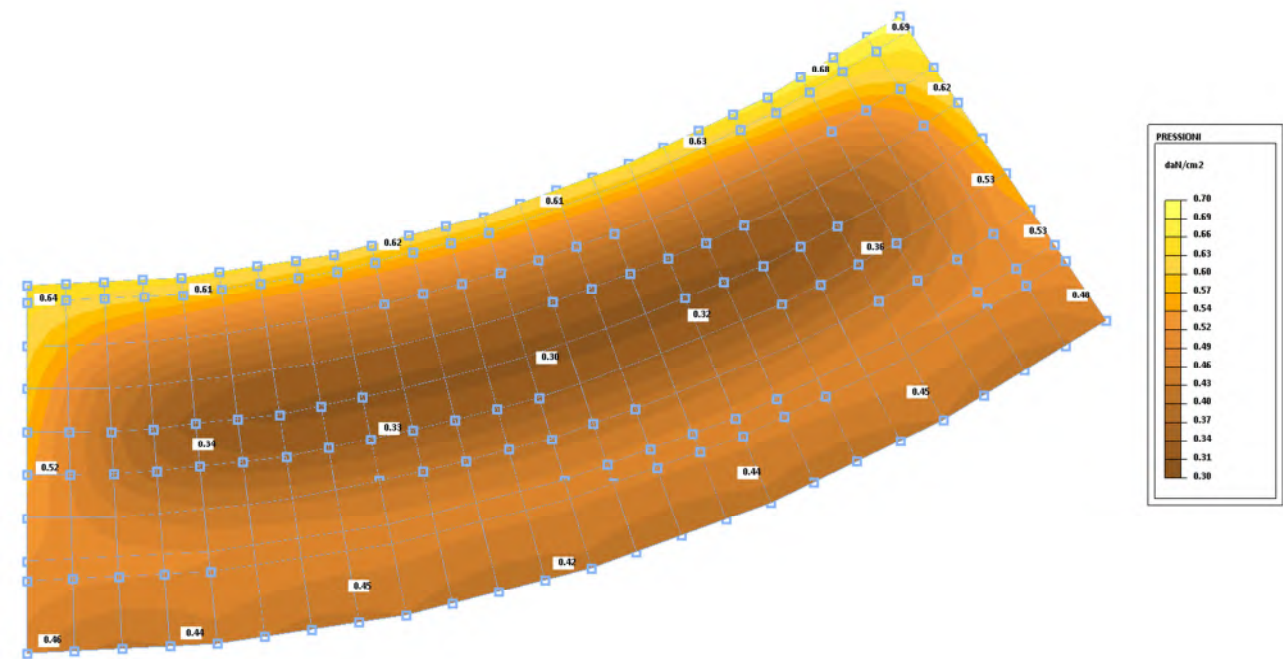
1.2.5 VERIFICA PLATEA DI FONDAZIONE

Lo schema fondazionale adottato, come detto in precedenza, è una platea in c.a. di altezza pari a 40 cm.

Tale sistema consente di distribuire sul terreno in maniera efficace le tensioni prodotte dai carichi verticali e quelle derivanti dalle azioni orizzontali del sisma e del vento.

La tensione limite riportata nella succitata Relazione Geologico-Geotecnica appositamente predisposta dal Dott. Geol. Dario Gaspari è stabilita pari ad 1,26 daN/cm².

Il valore di pressione massimo sul terreno calcolato è pari a 0,70 daN/cm², inferiore quindi al valore di tensione limite predetto.



DISTRIBUZIONE PRESSIONI