

VERIFICA STATICA E DINAMICA
DELLA TORRE PIEZOMETRICA DEL SISTEMA ACQUEDOTTISTICO
DI LESIGNANA (MO)



COMMITTENTE : AIMAG S.p.A.
Via Maestri del Lavoro, 38 – Mirandola (MO)

IL TECNICO: ***Dott. Ing. Maurizio Biancardi***
Via Indipendenza, 47 – Sermide (MN)

Data: 05-04-2013

IL TECNICO



Relazione sullo stato della torre piezometrica di Lesignana (MO) a seguito agli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012.

Sommario

Descrizione dell'opera.....	2
Dati sismici	3
Modello di calcolo.....	5
Dimensioni delle sezioni	5
Carichi applicati.....	7
Combinazioni di carico	9
Situazione a vasca vuota	9
Situazione a vasca piena	10
Risultati analisi strutturale	11
Situazione a vasca vuota	11
Situazione a vasca piena	12
Armature esistenti	13
Verifiche di normativa.....	14
Caratteristiche dei materiali e fattore di confidenza.....	14
Situazione a vasca vuota	14
Verifiche dei meccanismi duttili.....	14
Verifiche dei meccanismi fragili	15
Situazione a vasca piena	16
Verifiche dei meccanismi duttili.....	16
Verifiche dei meccanismi fragili	17
Conclusioni	18

Descrizione dell'opera

Si tratta di un torrino piezometrico risalente all'anno 1965 realizzato da una struttura portante di tipo intelaiato in cemento armato, formata da 4 pilastri di sezione ad L allungata all'incrocio dei due lati (illustrata nelle immagini), con dimensioni delle ali variabili in altezza, disposti lungo una circonferenza di diametro variabile (3.00 metri alla base e 1.60 in sommità) per un'altezza di circa 29 metri. In sommità al telaio si trova la vasca di accumulo, di forma circolare, avente una capacità complessiva di circa 160 mc. Il peso complessivo della vasca di accumulo è di circa 210 t. Nelle immagini seguenti è rappresentata la geometria del serbatoio.

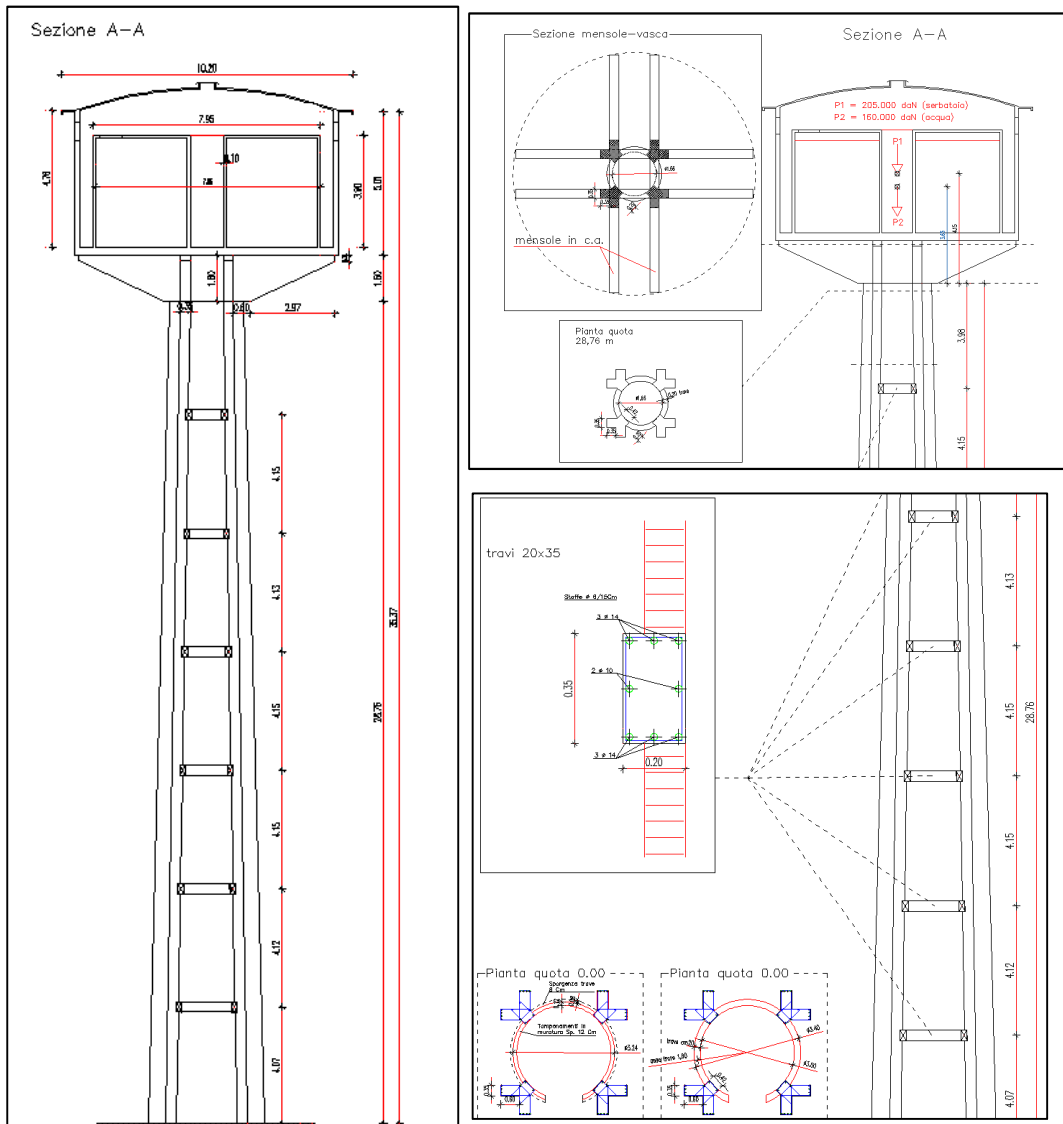


Figura 1: disegni della torre dell'acquedotto di Lesignano.

Dati sismici

Riportiamo nelle tabelle successive i parametri utili per la determinazione delle azioni sismiche sul serbatoio.

INTESTAZIONE E DATI CARATTERISTICI DELLA STRUTTURA

Intestazione del lavoro	Torre piezometrica Lesignana
Tipo di struttura	Nello Spazio
Tipo di analisi	Statica e Dinamica
Tipo di soluzione	Lineare
Unita' di misura delle forze	kg
Unita' di misura delle lunghezze	cm
Normativa	NTC/2008

NORMATIVA

Vita nominale costruzione	50 anni
Classe d'uso costruzione	III
Vita di riferimento	75 anni
Spettro di risposta	Stato limite ultimo slv
Probabilità di superamento periodo di riferimento	10
Tempo di ritorno del sisma	712 anni
Località	Lesignana - (MO)
ag/g	0.189
F0	2.47
Tc	0.28
Categoria del suolo	C
Fattore topografico	1

STATO LIMITE ULTIMO

Coefficiente di smorzamento	5%
Eccentricità accidentale	5%
Numero di frequenze	6
Fattore q di struttura per sisma orizzontale	$q_{or} = 1$
Duttilità	Bassa Duttilità

PARAMETRI SISMICI

Angolo del sisma nel piano orizzontale	0
Sisma verticale	Assente
Combinazione dei modi	CQC
Combinazione componenti azioni sismiche	NTC 2008 - Eurocodice 8
λ	0.3
μ	0.3



Calcolo dei parametri sismici

Indirizzo:

Cerca

↑

↶

↷

↓

+

−

1000 m

200 m

Mappa

Satellite

Ibrida



Informazioni

Calcolo dei parametri completato.

Messaggi

Calcolo eseguito con successo.

Parametri

Vita nominale:	50	(anni)
Classe di utilizzo:	Classe III	
Vita di riferimento:	75	(anni)
Spettro:	SLV (10%)	
Probabilità di superamento della vita di riferimento:	10	%
Periodo di ritorno	712	(anni)
Latitudine:	44.68083	°
Longitudine:	10.89078	°

Risultati

ag/g:	F0:	TC:
0.189	2.47	0.28

Amministrazione comunale più vicina

Modena

Powered by Geonames.org



Modello di calcolo

Il modello di calcolo esaminato comprende la struttura della torre piezometrica esistente.

Dimensioni delle sezioni

La struttura portante è costituita da quattro pilastri di sezione variabile in altezza disposti su una pianta circolare di diametro variabile, per un'altezza complessiva di circa 26 m. Il primo livello è parzialmente interrato, per un'altezza di circa 29 m.

Le sezioni dei pilastri sono riconducibili ad una L, con dimensioni delle ali che variano da 65x35 cm alla base fino a 35x35 cm in sommità. E' possibile desumere le sezioni utilizzate e le caratteristiche inerziali dei pilastri dalle immagini seguenti:

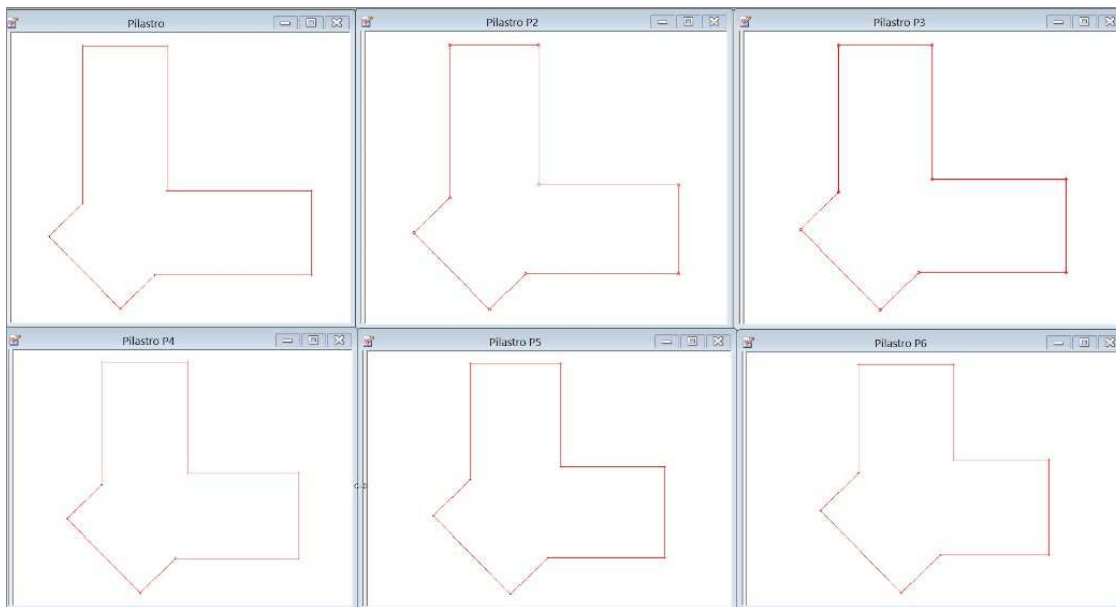


Figura 3: sezioni dei pilastri

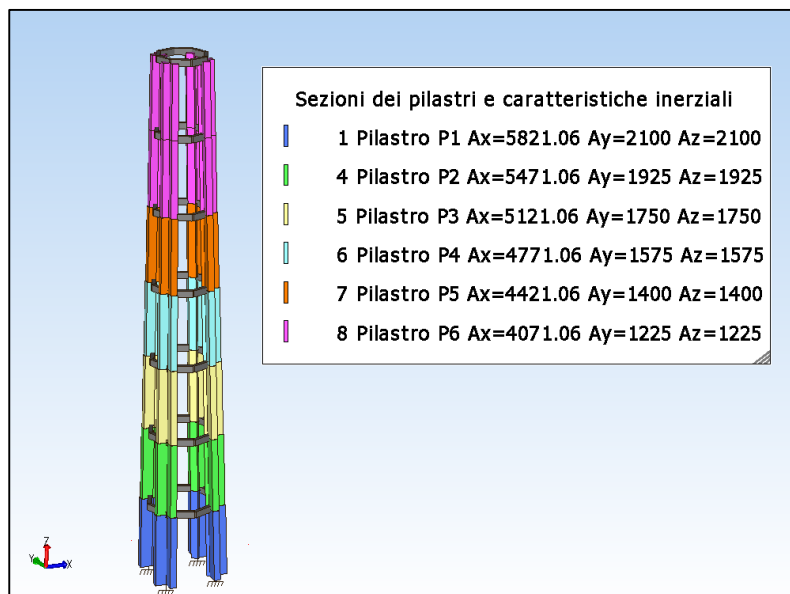


Figura 4: proprietà inerziali dei pilastri.

Su sei livelli intermedi si innestano delle travi perimetrali di dimensioni 20x35 cm. A livello superiore la vasca è sostenuta da quattro mensole di sezione variabile, riconducibili ad un trapezio. Le dimensioni delle travi sono rappresentate nell'immagine seguente:

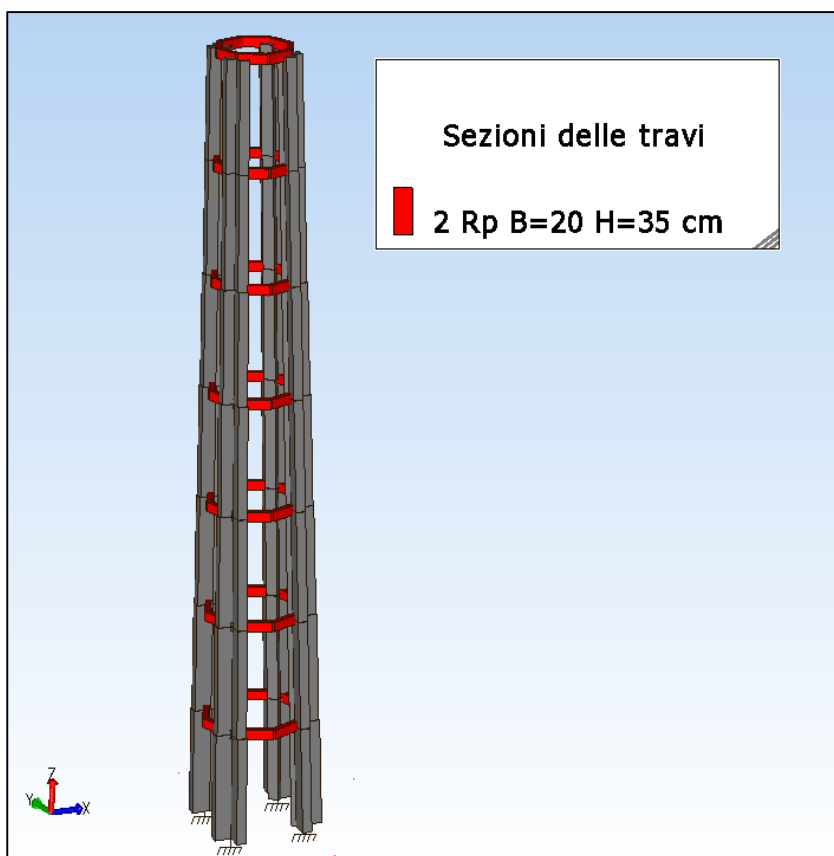


Figura 5: sezioni delle travi.

Le mensole e il serbatoio non sono state modellate (si veda la Figura 1), ma il loro peso è stato simulato come un carico (statico e dinamico) applicato al telaio.

Carichi applicati

Le travi interne ad ogni coronamento, di dimensione 20x35 cm, reggono una soletta di spessore 15 cm, sulla quale è applicato un carico variabile di 200 kg/mq. Lungo il perimetro, a tutta altezza, vi sono dei tamponamenti perimetrali in mattoni pieni di una testa poggianti sulle travi.

I valori dei carichi applicati sono quindi:

Carico distribuito con riferimento globale Z, agente sulla lunghezza reale

Descrizione	Cod.	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Val. iniz.	Dist.iniz. nodo I	Val. finale	Dist.fin. nodo I	Aliq.inerz.	Aliq.inerz. SLD
Peso proprio solaio h = 15 cm	1	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-0.020000	0.000	-0.020000	0.000	1.0000	1.0000
Variabile	2	Condizione 2	Variabile: Domestici e residenziali	-0.020000	0.000	-0.020000	0.000	0.3000	0.3000
Tamponamento perimetrale	3	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-0.025000	0.000	-0.025000	0.000	1.0000	1.0000

La distribuzione dei carichi è rappresentata nelle immagini seguenti, dove si leggono le influenze dei carichi (esprese in cm).

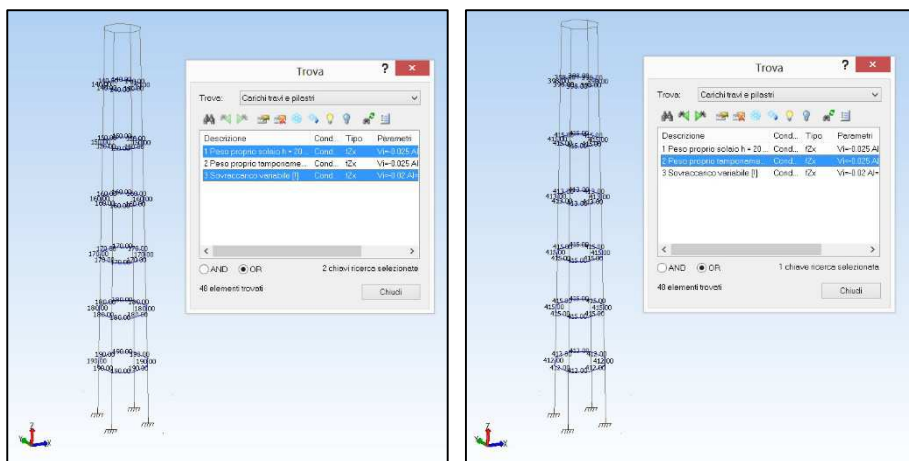


Figura 6: distribuzione dei carichi di solaio e dei tamponamenti.

Il valore complessivo dei carichi portati (espresso in kg/cm) viene rappresentato nell'immagine seguente.

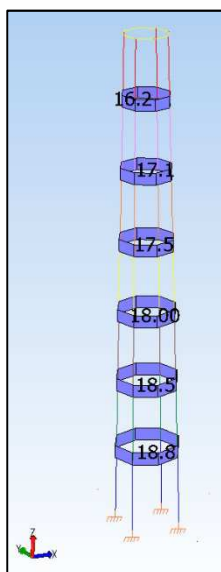


Figura 7: carichi complessivi applicati sulle travi.

La vasca per il contenimento dell'acqua ha un diametro esterno di circa 10 m per uno spessore di circa 10-15 cm ed una capacità di 160 mc di acqua. La soletta al fondo della vasca è sostenuta da quattro mensole di sezione trapezoidale.

Il peso totale del serbatoio vuoto è stimabile in 205.000 kg. Una sezione trasversale del serbatoio è rappresentata nell'immagine seguente, dove sono indicate anche le quote di applicazione dei carichi.

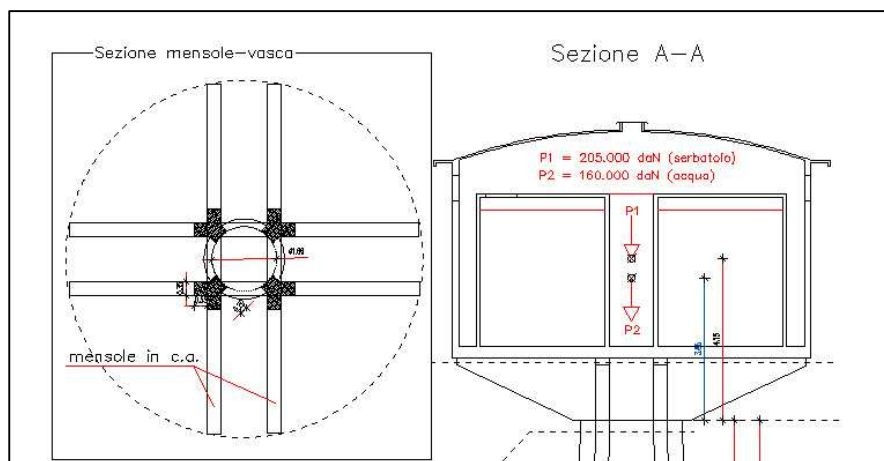


Figura 8: sezione trasversale della vasca di contenimento superiore.

Nel modello di calcolo le forze statiche sono applicate nei due nodi indicati, collegate al telaio in c.a. con delle relazioni di rigid-link, come indicato nelle immagini seguenti.

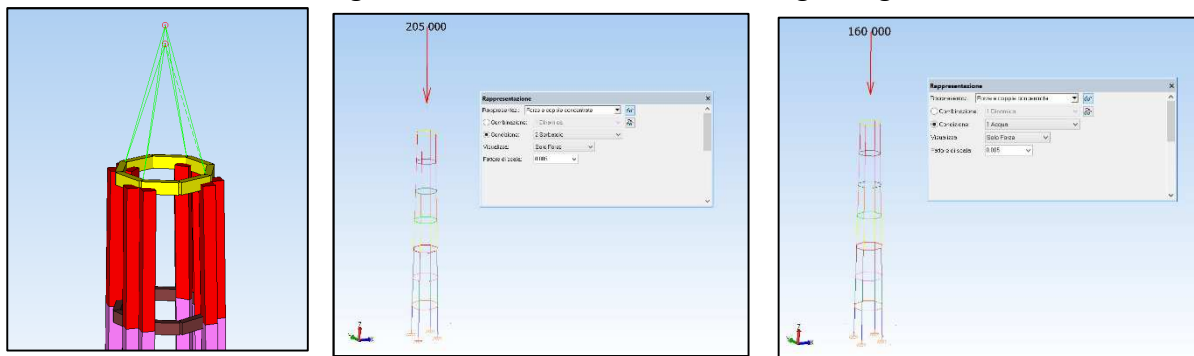


Figura 9: punti di applicazione dei carichi del serbatoio e dell'acqua, con i rispettivi valori unitari.

Ai due carichi sono state associate anche delle masse di dinamiche nodali, per tener conto del loro contributo in presenza di azione sismica.

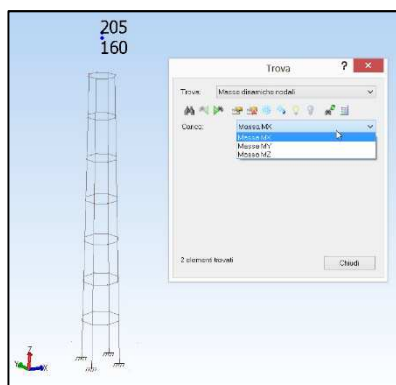


Figura 10: masse dinamiche associate al carico del serbatoio e dell'acqua.

Combinazioni di carico

Le normative di riferimento sono le Norme Tecniche per le costruzioni (DM 14.01.2008, chiamate anche NTC 2008) e l'Eurocodice 8 parte 4, Silos e serbatoi.

Viene sempre considerata un'eccentricità accidentale sui vari orizzontamenti intermedi pari al 5%, così come previsto dalla normativa.

Situazione a vasca vuota

Una prima situazione di carico da esaminare è il caso di vasca vuota. Viene valutato il comportamento statico (con il metodo degli stati limite, e quindi con dei coefficienti moltiplicativi dei carichi pari a 1.3 per i carichi permanenti e 1.5 per i variabili) che quello sismico, sotto l'effetto di un'analisi dinamica modale.

Pertanto nella combinazione dinamica al carico statico di 205.00 kg dovuto al peso proprio del serbatoio viene automaticamente associata anche una massa di 205 kg[m], mentre in combinazione statica il carico viene amplificato per il coefficiente parziale di sicurezza pari a 1.3, per un totale di 266.500 kg.

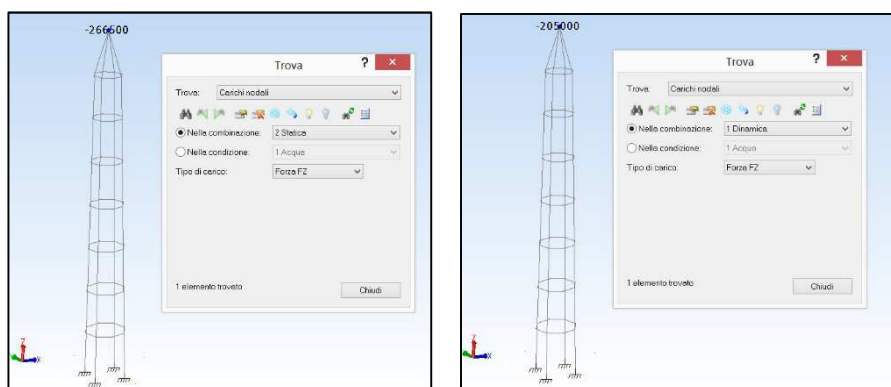


Figura 11: forze presenti a vasca vuota: combinazione statica e dinamica.

Queste sono le combinazioni di carico analizzate.

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
1	Dinamica	Azione sismica: Presente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 2	0.300
2	Statica	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 2	1.500

Mentre i carichi nodali applicati sono:

CARICHI NODALI

Num. comb. car.	Descrizione							
1	Dinamica	Nodo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		70			-205.000			
2	Statica	Nodo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		70			-266.500			

Al carico nodale è associata anche una massa (come indicato in Figura 10) per tener conto del suo contributo ai fini sismici.

Situazione a vasca piena

Una seconda situazione di carico è quella a vasca piena. Anche qui vengono analizzate due combinazioni di carico, una statica (con dei coefficienti moltiplicativi dei carichi pari a 1.3 per i carichi permanenti e 1.5 per i variabili) e una sismica, con un'analisi dinamica modale.

In combinazione dinamica al carico statico di 205.00 kg dovuto al peso proprio del serbatoio viene automaticamente associata anche una massa di 205 kg[m], mentre in combinazione statica il carico viene amplificato per un coefficiente parziale di sicurezza pari a 1.3, per un totale di 266.500 kg.

Il carico dell'acqua viene invece rappresentato come una forza statica di 160.000 kg, applicata nel punto indicato nell'immagine di Figura 8. Anche questa forza viene amplificata di un coefficiente parziale di sicurezza pari a 1.3 nella combinazione statica, come si può vedere nelle immagini seguenti.

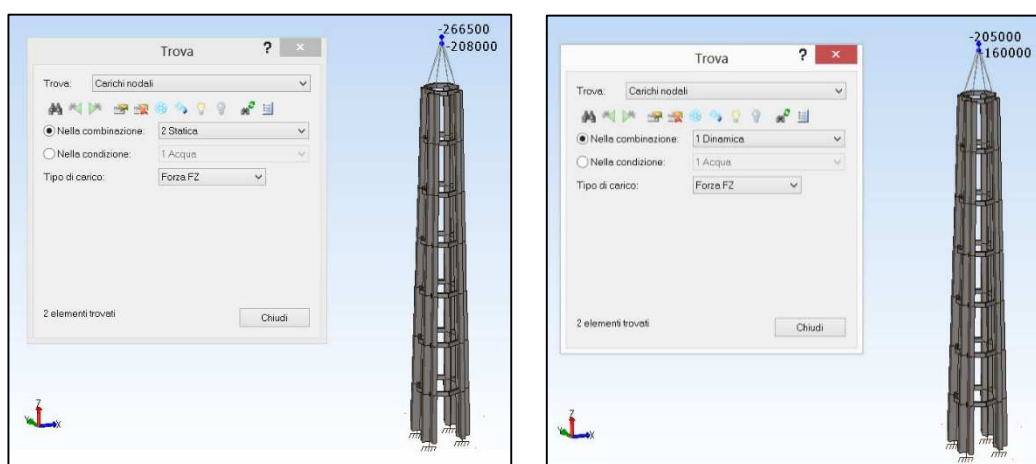


Figura 12: forze presenti a vasca piena: combinazione statica e dinamica.

Le combinazioni di carico pertanto risultano essere:

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
1	Dinamica	Azione sismica: Presente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 2	0.300
2	Statica	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 2	1.500

Mentre i carichi nodali applicati sono:

CARICHI NODALI

Num. comb. car.	Descrizione							
1	Dinamica	Nodo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		2			-160.000			
		70			-205.000			
2	Statica	Nodo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		2			-208.000			
		70			-266.500			

Ai carichi nodali è associata anche una massa (come indicato in Figura 10) per tener conto del suo contributo ai fini sismici.

Risultati analisi strutturale

Il modello così costruito è stato studiato con un numero di 6 frequenze, sufficienti a portare in eccitazione oltre l'85% della massa complessiva. Si presentano i risultati per una traslazione del centro di massa (in direzione +X).

Situazione a vasca vuota

FREQUENZE PROPRIE DI OSCILLAZIONE

Numero	Pulsazione	Frequenza	Periodo	Precisione
1	3.214e+000	5.115e-001	1.955e+000	4.441e-016
2	3.214e+000	5.115e-001	1.955e+000	4.441e-016
3	1.289e+001	2.051e+000	4.876e-001	4.441e-016
4	1.291e+001	2.055e+000	4.867e-001	4.441e-016
5	2.139e+001	3.404e+000	2.937e-001	4.441e-016
6	3.288e+001	5.234e+000	1.911e-001	4.441e-016

COEFFICIENTI DI PARTECIPAZIONE MODALE

Modo	Direz.X	Direz.Y
1	-8.348e-004	1.948e+001
2	1.948e+001	8.348e-004
3	2.227e-005	-5.952e+000
4	5.962e+000	2.221e-005
5	6.512e-009	-3.609e-001
6	-1.917e-005	3.994e+000

MASSA ECCITATA

Modo	Direz.X	%	Direz.Y	%	Direz.Z	%
Modo: 1	+6.97e-007	0	+3.79e+002	86	+3.39e-019	0
Progressiva	+6.97e-007	0	+3.79e+002	86	+3.39e-019	0
Modo: 2	+3.79e+002	86	+6.97e-007	0	+4.66e-019	0
Progressiva	+3.79e+002	86	+3.79e+002	86	+8.05e-019	0
Modo: 3	+4.96e-010	0	+3.54e+001	8	+2.11e-018	0
Progressiva	+3.79e+002	86	+4.15e+002	94	+2.91e-018	0
Modo: 4	+3.56e+001	8	+4.93e-010	0	+1.70e-018	0
Progressiva	+4.15e+002	94	+4.15e+002	94	+4.61e-018	0
Modo: 5	+4.24e-017	0	+1.30e-001	0	+5.53e-015	0
Progressiva	+4.15e+002	94	+4.15e+002	94	+5.54e-015	0
Modo: 6	+3.67e-010	0	+1.60e+001	4	+6.86e-017	0
Progressiva	+4.15e+002	94	+4.31e+002	97	+5.61e-015	0

MASSA TOTALE ECCITABILE

Direzione X	Direzione Y	Direzione Z
+4.42e+002	+4.42e+002	+4.42e+002

La struttura, sotto l'effetto dell'azione sismica, presenta uno spostamento di circa 17 cm.

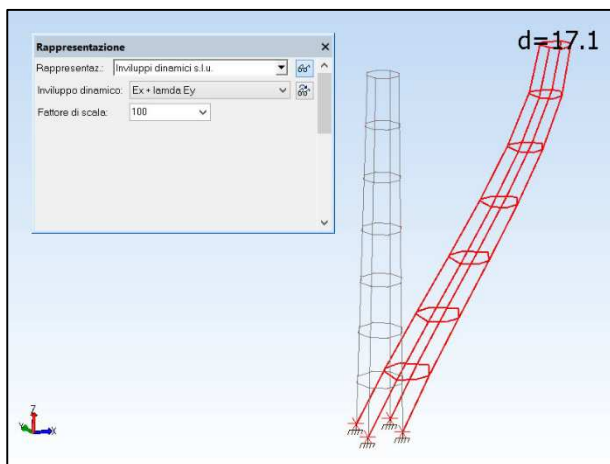


Figura 13: deformata del serbatoio vuoto sotto l'effetto dell'azione sismica.

Situazione a vasca piena

FREQUENZE PROPRIE DI OSCILLAZIONE

Numero	Pulsazione	Frequenza	Periodo	Precisione
1	2.589e+000	4.120e-001	2.427e+000	4.441e-016
2	2.589e+000	4.120e-001	2.427e+000	4.441e-016
3	1.239e+001	1.971e+000	5.073e-001	4.441e-016
4	1.241e+001	1.975e+000	5.064e-001	4.441e-016
5	2.139e+001	3.404e+000	2.937e-001	4.441e-016
6	3.268e+001	5.201e+000	1.923e-001	4.441e-016

COEFFICIENTI DI PARTECIPAZIONE MODALE

Modo	Direz.X	Direz.Y
1	-2.582e-003	2.313e+001
2	-2.313e+001	-2.582e-003
3	2.273e-005	-6.282e+000
4	6.291e+000	2.268e-005
5	-7.293e-009	3.582e-001
6	1.935e-005	-4.031e+000

MASSA ECCITATA

Modo	Direz.X	%	Direz.Y	%	Direz.Z	%
Modo: 1	+6.67e-006	0	+5.35e+002	89	+2.36e-019	0
Progressiva	+6.67e-006	0	+5.35e+002	89	+2.36e-019	0
Modo: 2	+5.35e+002	89	+6.67e-006	0	+2.88e-019	0
Progressiva	+5.35e+002	89	+5.35e+002	89	+5.25e-019	0
Modo: 3	+5.17e-010	0	+3.95e+001	7	+2.01e-018	0
Progressiva	+5.35e+002	89	+5.74e+002	95	+2.53e-018	0
Modo: 4	+3.96e+001	7	+5.14e-010	0	+1.92e-018	0
Progressiva	+5.75e+002	95	+5.74e+002	95	+4.46e-018	0
Modo: 5	+5.32e-017	0	+1.28e-001	0	+5.67e-015	0
Progressiva	+5.75e+002	95	+5.75e+002	95	+5.67e-015	0
Modo: 6	+3.74e-010	0	+1.63e+001	3	+5.34e-017	0
Progressiva	+5.75e+002	95	+5.91e+002	98	+5.73e-015	0

MASSA TOTALE ECCITABILE

Direzione X	Direzione Y	Direzione Z
+6.02e+002	+6.02e+002	+6.02e+002

La struttura, sotto l'effetto dell'azione sismica, presenta uno spostamento di circa 20 cm.

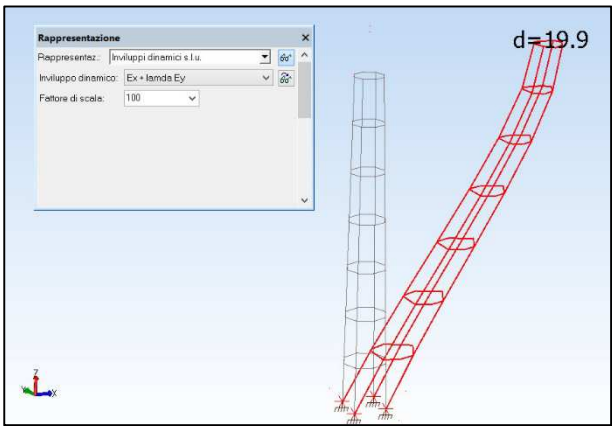


Figura 14: deformata del serbatoio sotto l'effetto dell'azione sismica.

Armature esistenti

In base ai sopralluoghi, ad alcuni sondaggi, ed alla visione degli elaborati dell'epoca, è stato possibile supporre il seguente quantitativo di armatura presente negli elementi strutturali.

Pilastri (di sezione variabile): armatura longitudinale disposta come in figura, con staffe $\phi 6/15$ cm;

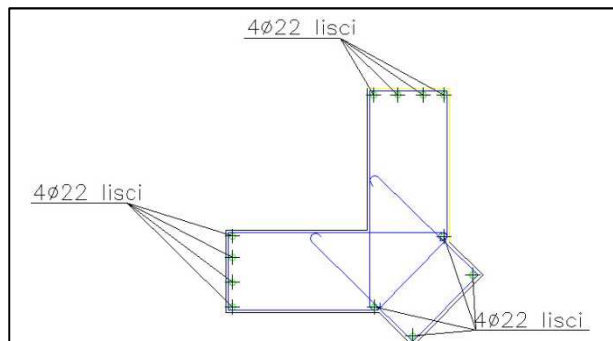


Figura 15: rappresentazione grafica delle armature longitudinali dei pilastri.

Travi perimetrali (dimensioni 20x35 cm): 3+3 $\phi 14$, 1+1 $\phi 10$ laterali, con staffe $\phi 6/15$ cm;

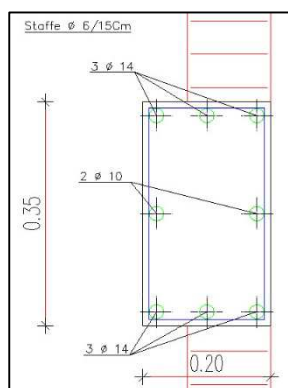


Figura 16: rappresentazione grafica delle armature longitudinali delle travi.

Le armature sono rappresentate nelle immagini successive.

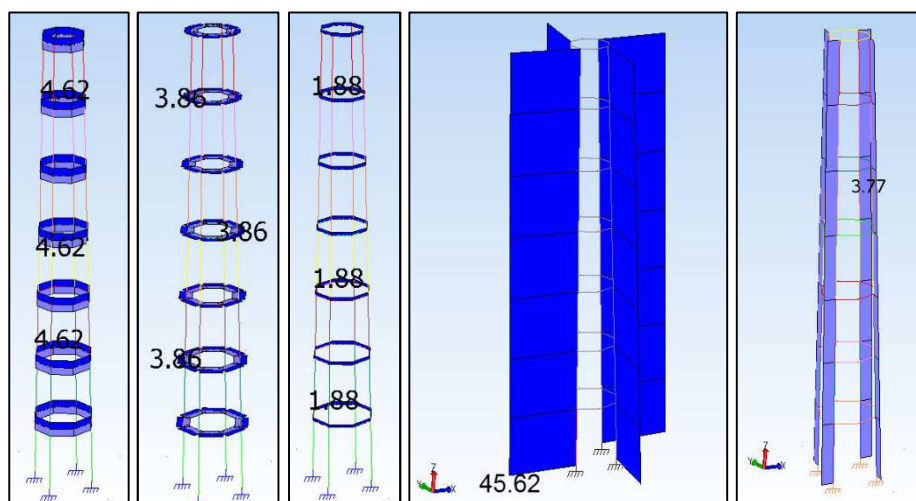


Figura 17: rappresentazione delle armature longitudinali (valori espressi in cmq) e trasversali (cmq/m).

Verifiche di normativa

Caratteristiche dei materiali e fattore di confidenza

Per i pilastri e le travi del telaio esistente, in base a sondaggi e all'analisi degli elaborati di progetto, sono state utilizzate le seguenti caratteristiche dei materiali.

Resistenza media del calcestruzzo (R_{ck} 300): $R_{cm} = 398 \text{ kg/cm}$

Resistenza media dell'acciaio (barre lisce FeB38k): $f_{ym} = 3800 \text{ kg/cm}$

Dato il limitato numero di prelievi eseguiti e le informazioni, non sempre precise, riscontrate negli elaborati originari, si deciso di eseguire le verifiche con un livello di conoscenza basso (LC1), che presuppone dei fattori di confidenza pari ad 1.35.

Nei tabulati di verifica, ad un risultato positivo corrisponde un indice di resistenza minore di uno. Viceversa, indici di resistenza maggiori di uno sono sintomo di verifiche non soddisfatte.

Situazione a vasca vuota

Verifiche dei meccanismi duttili

La verifica dei meccanismi duttili (pressoflessione) ha dato esiti fortemente negativi per tutte le travi e i pilastri. In quest'immagine è possibile vedere il diagramma degli indici di resistenza: con colorazioni rossastre vengono indicati gli elementi che non rispettano le verifiche.

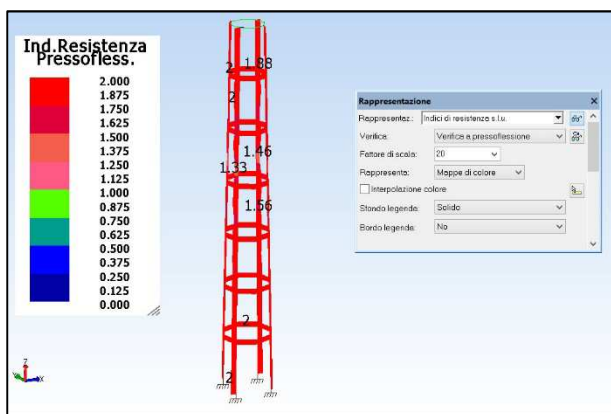


Figura 18: risultati delle verifiche dei meccanismi duttili.

Alleghiamo a titolo di esempio il tabulato di una delle travi non verificate, nelle sue sezioni più significative (appoggi e centro campata).

Elemento: **TRAVE** Gruppo: **2** Tabella: **Tabella travi**
Descrizione: **Travi primo livello**
 R_{cm} : **398.00** kg/cm^2 f_{ym} : **3800.0** kg/cm^2 fatt. confidenza: **1.35**
Tensioni di calcolo: f_{cdm} : **-244.69** kg/cm^2 f_{ydm} : **2814.8** kg/cm^2
Coefficienti parziali di sicurezza dei materiali: γ_c : **1.50** γ_s : **1.15** α_{cc} : **1.00**

ASTA NUM. 6 NI 10 NF 24 SEZ. Rp B= 20.0 H= 35.0 (trave)

categoria: p.p. y Permanente Domestici q_y tot.
 q_y medio: 1.7500 15.0500 3.8000 20.6000 kg/cm

Copriferro sup.: 3.0 cm, copriferro inf.: 3.0 cm, copriferro lat: 3.0 cm

NC	x	Fx	Mz	APOST	AANT	AINF	ASUP	Mz.Res.	I.R.	Note
	cm	kg	kg*m					kg*m	Fx, M	
1A	0	-0	26361	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	6.70	NON Verif.
1B	0	-0	-29281	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	7.44	NON Verif.
1I	0	-0	8530	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	2.17	NON Verif.
1J	0	-0	-10174	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	2.59	NON Verif.
2	0	-0	-2242	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	0.57	
1A	68	-0	20901	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	5.31	NON Verif.
1B	68	-0	-22102	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	5.62	NON Verif.

1I	68	-0	6115	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	1.55	NON Verif.
1J	68	-0	-7316	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	1.86	NON Verif.
2	68	-0	-922	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	0.23	
1A	145	-0	-443	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	0.11	
1B	145	-0	8415	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	2.14	NON Verif.
1I	145	-0	2352	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	0.60	
1J	145	-0	2955	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	0.75	
2	145	-0	673	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	0.17	

Verifiche dei meccanismi fragili

Anche la verifica dei meccanismi fragili (taglio) ha dato esiti negativi per tutte le travi, mentre la risposta dei pilastri è positiva. In quest'immagine è possibile vedere il diagramma degli indici di resistenza: con colorazioni rossastre vengono indicati gli elementi che non rispettano le verifiche.

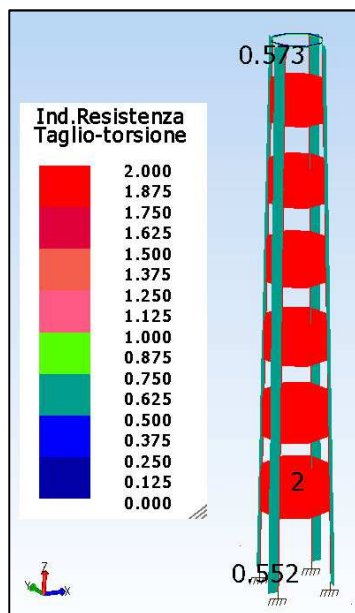


Figura 19: risultati delle verifiche dei meccanismi fragili.

Allegiamo a titolo di esempio il tabulato della medesima trave.

Elemento: **TRAVE** Gruppo: **2** Tabella: **Tabella travi**
 Descrizione: **Travi primo livello**
 Calcolo Vu(flex) ABILITATO Metodo di calcolo taglio: Opzione 1
 Rcm: **398.00** kg/cm² fym: **3800.0** kg/cm² fatt. confidenza: **1.35**
 Tensioni di calcolo per Vu(flex): fcdm: **-445.95** kg/cm² fydm: **5130.0** kg/cm²
 Tensioni di calcolo per Vu(taglio): fcdm: **-163.13** kg/cm² fydm: **2447.7** kg/cm²
 Coefficienti parziali di sicurezza dei materiali: γc: **1.50** γs: **1.15** αcc: **1.00**

ASTA NUM. **6** NI 10 NF 24 SEZ. Rp B= 20.0 H= 35.0 (trave)

categoria: p.p. y Permanente Domestici qy tot.
 qy medio: 1.7500 15.0500 3.8000 20.6000 kg/cm

Copriferro sup.: 3.0 cm, copriferro inf.: 3.0 cm, copriferro lat: 3.0 cm

Mr. sup(I):		7180	kg*m,	Mr. inf(I):		-7180	kg*m,	Mr. sup(J):		7180	kg*m,	Mr. inf(J):		-7180	kg*m		
NC	x	Fx	Fy	Fz	AINF	ASUP	Asw/s	Vu(flex)	Vrd	Vrsd	Vrcd	Vu(taglio)	ctg	I.R.	Nota		
	cm	kg			cmq		cmq/m	kg						(theta)			
1A	0	-0	-17099	0	4.62	4.62	1.88	11205	4009	3313	16200	7322	2.50	2.34	NON Ver.		
1B	0	-0	22319	0	4.62	4.62	1.88	11205	4009	3313	16200	7322	2.50	3.05	NON Ver.		
1H	0	-0	22319	-0	4.62	4.62	1.88	11205	4009	3313	16200	7322	2.50	3.05	NON Ver.		
1I	0	-0	-3544	0	4.62	4.62	1.88	11205	4009	3313	16200	7322	2.50	0.48			
1J	0	-0	8764	0	4.62	4.62	1.88	11205	4009	3313	16200	7322	2.50	1.20	NON Ver.		
2	0	-0	4007	-0	4.62	4.62	1.88	11205	4009	3313	16200	7322	2.50	0.55			
1A	68	-0	-18319	0	4.62	4.62	1.88	9985	4009	3313	16200	7322	2.50	2.50	NON Ver.		
1B	68	-0	21100	0	4.62	4.62	1.88	9985	4009	3313	16200	7322	2.50	2.88	NON Ver.		
1I	68	-0	-4764	0	4.62	4.62	1.88	9985	4009	3313	16200	7322	2.50	0.65			
1J	68	-0	7544	0	4.62	4.62	1.88	9985	4009	3313	16200	7322	2.50	1.03	NON Ver.		
2	68	-0	2134	-0	4.62	4.62	1.88	9985	4009	3313	16200	7322	2.50	0.29			
1A	145	-0	-19709	0	4.62	4.62	1.88	11205	4009	3313	16200	7322	2.50	2.69	NON Ver.		

1B	145	-0	19709	0	4.62	4.62	1.88	11205	4009	3313	16200	7322	2.50	2.69	NON Ver.
1I	145	-0	-6154	0	4.62	4.62	1.88	11205	4009	3313	16200	7322	2.50	0.84	
1J	145	-0	6154	0	4.62	4.62	1.88	11205	4009	3313	16200	7322	2.50	0.84	
2	145	-0	-0	-0	4.62	4.62	1.88	11205	4009	3313	16200	7322	2.50	0.00	

Situazione a vasca piena

Verifiche dei meccanismi duttili

La verifica dei meccanismi duttili (pressoflessione) ha dato esiti fortemente negativi per tutte le travi e i pilastri. In quest'immagine è possibile vedere il diagramma degli indici di resistenza: con colorazioni rossastre vengono indicati gli elementi che non rispettano le verifiche.

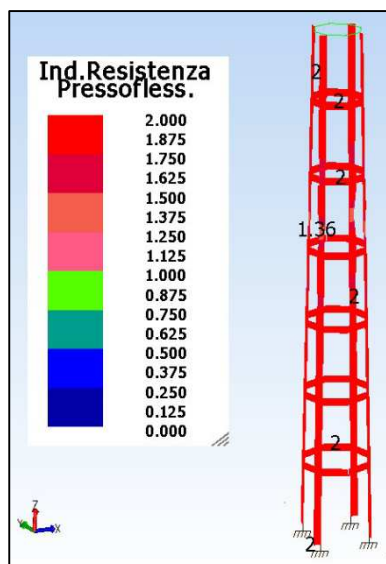


Figura 20: risultati delle verifiche dei meccanismi duttili.

Alleghiamo a titolo di esempio il tabulato di una delle travi non verificate, nelle sue sezioni più significative (appoggi e centro campata).

Elemento: **TRAVE** Gruppo: **2** Tabella: **Tabella travi**
 Descrizione: **Travi primo livello**
 Rcm: **398.00** kg/cm² fym: **3800.0** kg/cm² fatt. confidenza: **1.35**
 Tensioni di calcolo: fcdm: **-244.69** kg/cm² fydm: **2814.8** kg/cm²
 Coefficienti parziali di sicurezza dei materiali: γ_c : **1.50** γ_s : **1.15** α_{cc} : **1.00**

ASTA NUM. **6** NI **10** NF **24** SEZ. Rp B= **20.0** H= **35.0** (trave)

categoria: p.p. y Permanente Domestici qy tot.
 qy medio: **1.7500** **15.0500** **3.8000** **20.6000** kg/cm

Copriferro sup.: **3.0** cm, copriferro inf.: **3.0** cm, copriferro lat: **3.0** cm

NC	x	Fx	Mz	APOST	AANT	AINF	ASUP	Mz.Res.	I.R.	Note
	cm	kg	kg*m					kg*m	Fx, M	
1A	0	-0	29383	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	7.47	NON Verif.
1B	0	-0	-32303	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	8.21	NON Verif.
1I	0	-0	9673	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	2.46	NON Verif.
1J	0	-0	-11085	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	2.82	NON Verif.
2	0	-0	-2241	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	0.57	
1A	68	-0	23236	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	5.91	NON Verif.
1B	68	-0	-24437	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	6.21	NON Verif.
1I	68	-0	6817	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	1.73	NON Verif.
1J	68	-0	-8018	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	2.04	NON Verif.
2	68	-0	-922	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	0.23	
1A	145	-0	-539	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	0.14	
1B	145	-0	9283	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	2.36	NON Verif.
1I	145	-0	2552	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	0.65	
1J	145	-0	3221	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	0.82	
2	145	-0	673	3.86	3.86	4.62	4.62	3933	0.17	

Verifiche dei meccanismi fragili

Anche la verifica dei meccanismi fragili (taglio) ha dato esiti negativi per tutte le travi, mentre la risposta dei pilastri è positiva. In quest'immagine è possibile vedere il diagramma degli indici di resistenza: con colorazioni rossastre vengono indicati gli elementi che non rispettano le verifiche.

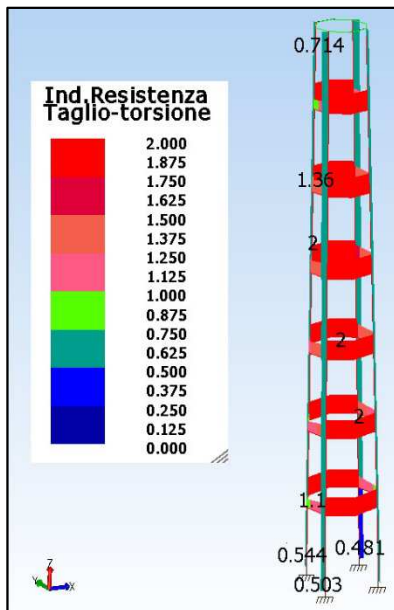


Figura 21: risultati delle verifiche dei meccanismi fragili.

Allegiamo a titolo di esempio il tabulato della medesima trave.

Elemento: **TRAVE** Gruppo: **2** Tabella: **Tabella travi**
 Descrizione: **Travi primo livello**
 Calcolo Vu(flex) ABILITATO Metodo di calcolo taglio: Opzione 1
 Rcm: **398.00** kg/cm² fym: **3800.0** kg/cm² fatt. confidenza: **1.35**
 Tensioni di calcolo per Vu(flex): fcdm: **-445.95** kg/cm² fydm: **5130.0** kg/cm²
 Tensioni di calcolo per Vu(taglio): fcdm: **-163.13** kg/cm² fydm: **2447.7** kg/cm²
 Coefficienti parziali di sicurezza dei materiali: γ_c : **1.50** γ_s : **1.15** α_{cc} : **1.00**

ASTA NUM. 6 NI 10 NF 24 SEZ. Rp B= 20.0 H= 35.0 (trave)

categoria: p.p. y Permanente Domestici qy tot.
 qy medio: 1.7500 15.0500 3.8000 20.6000 kg/cm

Copriferro sup.: 3.0 cm, copriferro inf.: 3.0 cm, copriferro lat: 3.0 cm

Mr.sup(I): 7180 kg*m, Mr.inf(I): -7180 kg*m, Mr.sup(J): 7180 kg*m, Mr.inf(J): -7180 kg*m

NC	x	Fx	Fy	Fz	AINF	ASUP	Asw/s	Vu(flex)	Vrd	Vrsd	Vrcd	Vu(taglio)	ctg	I.R.	Nota
--	cm	kg			cmq			kg							
							cmq/m						(theta)		
1A	0	-0	-19240	0	4.62	4.62	1.88	11205	4009	3313	16200	7322	2.50	2.63	NON Ver.
1B	0	-0	24460	0	4.62	4.62	1.88	11205	4009	3313	16200	7322	2.50	3.34	NON Ver.
1I	0	-0	-4189	0	4.62	4.62	1.88	11205	4009	3313	16200	7322	2.50	0.57	
1J	0	-0	9409	0	4.62	4.62	1.88	11205	4009	3313	16200	7322	2.50	1.28	NON Ver.
2	0	-0	4007	-0	4.62	4.62	1.88	11205	4009	3313	16200	7322	2.50	0.55	
1A	68	-0	-20460	0	4.62	4.62	1.88	9985	4009	3313	16200	7322	2.50	2.79	NON Ver.
1B	68	-0	23241	0	4.62	4.62	1.88	9985	4009	3313	16200	7322	2.50	3.17	NON Ver.
1I	68	-0	-5409	0	4.62	4.62	1.88	9985	4009	3313	16200	7322	2.50	0.74	
1J	68	-0	8189	0	4.62	4.62	1.88	9985	4009	3313	16200	7322	2.50	1.12	NON Ver.
2	68	-0	2134	-0	4.62	4.62	1.88	9985	4009	3313	16200	7322	2.50	0.29	
1A	145	-0	-21850	0	4.62	4.62	1.88	11205	4009	3313	16200	7322	2.50	2.98	NON Ver.
1B	145	-0	21850	0	4.62	4.62	1.88	11205	4009	3313	16200	7322	2.50	2.98	NON Ver.
1I	145	-0	-6799	0	4.62	4.62	1.88	11205	4009	3313	16200	7322	2.50	0.93	
1J	145	-0	6799	0	4.62	4.62	1.88	11205	4009	3313	16200	7322	2.50	0.93	
2	145	-0	-0	-0	4.62	4.62	1.88	11205	4009	3313	16200	7322	2.50	0.00	

Conclusioni

Considerato che:

- non è stata rinvenuta alcuna documentazione sulle strutture del manufatto;
- la verifica dinamica svolta risulta palesemente non soddisfatta e, quindi, le strutture risultano lontane dal poter essere consolidate;
- per il caso in esame non è stato possibile stabilire il tipo di collegamento pilastri e serbatoio e quindi manca ogni elemento per valutare la capacità di resistere al sisma da parte del sistema fusto-vasca, parte maggiormente critica del sistema strutturale;
- le azioni sismiche da applicare per il mantenimento in funzione dell'opera, secondo le vigenti norme, sono particolarmente intense e sproporzionate per strutture concepite nei passati decenni, calcolate esclusivamente per carichi verticali;

tutto ciò premesso, si sottolinea l'esito negativo della verifica condotta sia a serbatoio pieno che a serbatoio vuoto evidenziando, pertanto, il pericolo concreto per la sua stabilità in caso di sisma.