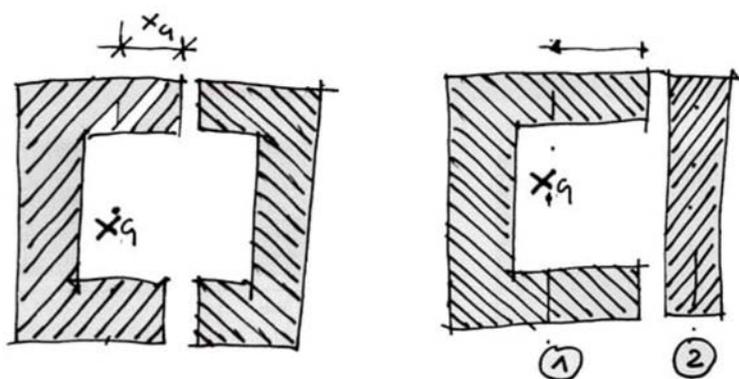
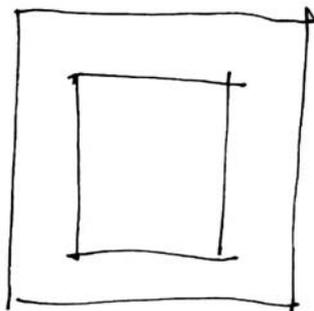


Considerazioni sul metodo di verifica della vulnerabilità sismica di 13 campanili significativi del centro storico di Venezia

Architetto Albert Cabané Cañas
Tutor – Ingegnere Alberto Lionello



1. Obiettivi e studi precedenti

1.1. Studi precedenti

Negli studi precedentemente realizzati sulla vulnerabilità dei campanili del centro storico di Venezia si riscontra una sostanziale discordanza tra i risultati ottenuti da verifiche effettuate secondo quanto previsto dalla normativa vigente (NTC 2008) e da analisi qualitative degli elementi di pericolosità presenti (v. Tecniche costruttive, dissesti e consolidamenti dei campanili di Venezia, a cura di A. Lionello, 2011).

Gli studi sono stati sviluppati partendo da dati comuni ed oggettivi raccolti dalla novantina di schede riguardanti i campanili della laguna, suddivise in quattro sezioni e quattro allegati:

SCHEDA A

- Dati generali;
- Dati storici;
- Documentazione esistente;
- Collocazione;
- Relazione con altri corpi di fabbrica;
- Stato di manutenzione generale.

SCHEDA C

- Dati dimensionali;
- Forature;
- Spessori murari.

SCHEDA B

- Organizzazione base;
- Discontinuità;
- Copertura;
- Elementi costitutivi e materiali.

SCHEDA D

Elementi di rinforzo:

- Grappe, tiranti, sostituzioni murarie, cerchiature, contrafforti, ecc.

Dissesto:

- Strapiombo, lesioni, rotture, spancamenti, biffe, ecc.

ALLEGATO 1. Documentazione esistente.

ALLEGATO 2. Fotografie rappresentative.

ALLEGATO 3. Prospetti, pianta e strapiombo.

ALLEGATO 4. Approfondimenti sullo stato fessurativo.

Sono stati scelti 11 campanili maggiormente significativi: 3. San Geremia - 54. San Giacomo dell'Orto - 25. San Francesco della Vigna - 71. S. Aponal - 84. S.M. Assunta di Torcello - 5. Madonna dell'Orto - 28. S. Pietro in Castello - 30. S. Pantalon - 80. S. Donato a Murano - 8. Gesuiti - 78. Santa Caterina di Mazzorbo. A cui sono stati aggiunti i campanili di Santa Maria Gloriosa dei Frari e il campanile di Santo Stefano compilando la scheda conoscitiva tipo.

1.2. I livelli di conoscenza

Dalla documentazione d'archivio si sono ricavate le seguenti informazioni e prove:

Madonna dell'Orto (1): Rilievo geometrico, rilievo fessurativo, rilievo stratigrafico, martinetti piatti semplici, martinetti piatti doppi e indagini geotecniche.

San Francesco della Vigna (2): Rilievo geometrico, rilievo fessurativo, martinetti piatti semplici, martinetti piatti doppi e indagini geotecniche.

Gesuiti (3): Rilievo geometrico, rilievo stratigrafico esterno, martinetti piatti semplici, martinetti piatti doppi, prove soniche, prove penetrometriche, endoscopie e studi fisico-chimici su 10 campioni.

Santa Maria Assunta di Torcello (4.a): Rilievo geometrico, rilievo stratigrafico esterno, prove soniche, prove penetrometriche, endoscopie e studi fisico-chimici su 7 campioni.

Santa Maria Assunta di Torcello (4.b): Rilievo geometrico, rilievo fessurativo, rilievo stratigrafico, prove georadar, martinetti piatti semplici, martinetti piatti doppi, prove soniche, videoendoscopie e studi fisico-chimici su campioni.

Santi Maria e Donato a Murano (5): Rilievo geometrico, rilievo stratigrafico esterno, rilievo fessurativo, martinetti piatti semplici, martinetti piatti doppi, prove soniche, endoscopie e studi fisico-chimici su 5 campioni.

Sant'Aponal (6.a): Prove soniche

Sant'Aponal (6.b): Rilievo geometrico, rilievo fessurativo, rilievo stratigrafico e martinetti piatti doppi.

Santo Stefano (7): Rilievo geometrico e fessurativo, martinetti piatti semplici, endoscopie e indagini geotecniche.

Santa Maria Gloriosa dei Frari (8): Rilievo geometrico, rilievo fessurativo, rilievo del degrado, martinetti piatti semplici e indagini geotecniche. Si pensa che esistano endoscopie per la presenza di fori all'interno sulla muratura della canna esterna ma non si è localizzato lo studio.

Ne deriva che i fattori di confidenza sono:

LC1 - Fc = 1,35 - San Geremia, San Giacomo dell'Orto, Santa Caterina di Mazzorbo, San Pietro in Castello e San Pantalon.

LC2 - Fc = 1,20 - Santo Stefano e Santa Maria Gloriosa dei Frari.

LC3 - Fc = 1,00 - Santi Maria e Donato a Murano, Gesuiti, San Francesco della Vigna, Madonna dell'Orto, Sant'Aponal e Santa Maria Assunta di Torcello.

(1) 'Esecuzione dei lavori d'indagine diagnostiche e monitoraggio per l'accertamento delle condizioni statiche del campanile della chiesa Madonna dell'Orto in Venezia. Archivio Magistrato alle Acque, 1994. ELLETIPI srl (FE).

(2) 'Progetto dei lavori di ripristino e risarcimento statico della chiesa e del campanile di S. Francesco della Vigna'. Archivio Magistrato alle Acque, 1994. ELLETIPI srl (FE).

(3), (4a), (5) 'Campagna di studio sui campanili'. 1996. Archivio Corrente Soprintendenza. Il Cenacolo s.r.l., Impresa Pouchain e SPC s.r.l.

(4b) Rapporto Tecnico per l'intervento. 2010. Archivio della soprintendenza. Metralab

(6a) 'Analisi del comportamento dinamico del campanile di Sant'Aponal attraverso misure di vibrazione ambientale e indagini soniche'. M. Bondanelli, G.M. Roberti.

(6b) Progetto di restauro conservativo del campanile della chiesa di Sant'Aponal nel sestiere di San Polo a Venezia. 2014. Archivio della soprintendenza.

(7) 'Indagini diagnostiche e ampliamento del sistema di monitoraggio del campanile di S. Stefano in Venezia'. 2002. Archivio Corrente Soprintendenza. Teknos s.r.l.

(8) 'Prove con Martinetti Piatti nel campanile della basilica di S. Maria Gloriosa dei Frari in Venezia'. 2003. Archivio Corrente Soprintendenza. Teknos s.r.l.

2. Determinazione delle caratteristiche meccaniche

2.1. Caratteristiche della tipologia muraria

Tipologia di muratura	f_m	τ_0	E	G	w
	(N/cm ²)	(N/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN/m ³)
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadriati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2700 3600	810 1080	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	1200 1600	300 400	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300 440	18,0 24,0	2400 3520	600 880	14

I valori caratteristici delle murature discendono dai relativi livelli di conoscenza. Per i campanili con un livello di conoscenza LC1, i valori delle resistenze corrispondono a quelli minimi, e i valori dei moduli elastici corrispondono al valore medio degli intervalli normativi. Per i campanili con livello di conoscenza LC2, i valori delle resistenze e dei moduli elastici corrispondono alla media fra il valore massimo e il valore minimo.

$$f_m = 320 \text{ N/cm}^2 \quad \tau_0 = 7,6 \text{ N/cm}^2$$

$$E = 1.500 \text{ N/mm}^2 \quad G = 500 \text{ N/mm}^2$$

Per i campanili con LC3 i valori delle resistenze e dei moduli elastici, dipendono direttamente dalla quantità di prove realizzate direttamente e dai successivi risultati.

Campanile	LC	f_m	τ_0	E	G	risultato martinetti piatti		risultato martinetti piatti	
		N/cm ²	N/cm ²	N/mm ²	N/mm ²	$f_{m,k}$ N/cm ²		E N/mm ²	
3 San Geremia	1	240	6,0	1500	500	-	-	-	-
54 San Giacomo dell'Orio	1	240	6,0	1500	500	-	-	-	-
30 San Pantalon	1	240	6,0	1500	500	-	-	-	-
5 Madonna dell'Orto	3	400	9,2	1800	600	425	475	2429	3828
71 Sant'Aponal	3	320	7,6	1500	500	420	-	2000	-
78 Santa Caterina di Mazzorbo	1	240	6,0	1500	500	-	-	-	-
25 San Francesco della Vigna	3	320	7,6	1500	500	373	390	5814	2109
8 Gesuiti	3	320	7,6	1500	500	375	-	4815	-
84 S. Maria Assunta di Torcello	3	320	7,6	1500	500	285	251	1650	1000
80 Ss. Maria e Donato a Murano	3	320	7,6	1500	500	300	375	2900	3570
28 San Pietro di Castello	1	240	6,0	1500	500	-	-	-	-
S.M. Gloriosa dei Frari	2	320	7,6	1500	500	-	-	-	-
Santo Stefano	2	320	7,6	1500	500	-	-	-	-

Tabella 1. Livelli di conoscenza dei campanili e determinazione dei valori di riferimento dei parametri meccanici

2.2. Coefficienti caratteristici della muratura

La normativa prevede l'applicazione di coefficienti migliorativi e/o peggiorativi secondo le caratteristiche reali della muratura di studio.

Coefficiente 1. 1,5 – Malta buona
 Coefficiente 2. 1,5 – Giunti sottili (<10 mm)
 Coefficiente 3. 0,7 – Nucleo scadente

Utilizzando i coefficienti descritti si ottengono i risultati della tabella 2.

n°	campanile	Valore normativo NTC-2008 e circolare 2009				Coefficienti		
		f _m [N/cm ²]	T ₀ [N/cm ²]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	1	2	3
3	San Geremia	240,00	6,00	1500	500	-	-	-
4	Madonna dell'Orto	400,00	9,20	1500	500	-	-	-
8	Gesuiti (Canna esterna)	320,00	7,60	1500	500	-	-	-
	(Canna interna)	480,00	5,70	2250	750	-	1,50	-
25	San Francesco della Vigna	480,00	11,40	2250	750	1,50	-	-
28	San Pietro in Castello	240,00	6,00	1500	500	-	-	-
30	San Pantalon	240,00	6,00	1500	500	-	-	-
54	San Giacomo dell'Orio	168,00	4,20	1050	350	-	-	0,70
71	Sant'Aponal	320,00	7,60	1500	500	-	-	-
78	Santa Caterina di Mazzorbo	240,00	6,00	1500	500	-	-	-
80	Ss. Maria e Donato a Murano	224,00	5,32	1050	350	-	-	0,70
84	S.M. Assunta di Torcello (Canna esterna)	480,00	11,40	2250	750	1,50	-	-
	(Canna interna)	720,00	8,55	3375	1125	1,50	1,50	-
	Santo Stefano	720,00	8,55	3375	1125	1,50	1,50	-
	S.M. Gloriosa dei Frari (Canna esterna)	480,00	11,40	2250	750	1,50	-	-
	(Canna interna)	480,00	11,40	2250	750	1,50	-	-

Tabella 2. Parametri meccanici normativi con l'applicazione dei coefficienti normativi

Dalla tabella si può osservare la poca diversificazione dei valori per murature di campanili che oggettivamente possiedono caratteristiche diverse.

Nel caso di studio le murature dei campanili sono di notevole spessore superiore a volte a 100 cm, formate da un paramento in laterizio con un nucleo più o meno apparecchiato, con sostituzioni murarie di parte della sezione e quadri fessurativi che possono diminuire le caratteristiche meccaniche. Per tener conto di questi fattori si propone di inserire tre ulteriori coefficienti.

Coefficiente 4. 1,3 – Tipo mattone impiegato e omogeneità
 Coefficiente 5. 0,7 – Eventuali sostituzioni murarie
 Coefficiente 6. 0,7 - Presenza diffusa di lesioni

I coefficienti proposti modificano i valori dei parametri segnalati nella tabella 3.

	f _m	T ₀	E	G
Coeff. 1 Malta Buona	X	X	X	X
Coeff. 2 Giunti sottili (<10 mm)	X	50%	X	X
Coeff. 3 Nucleo scadente	X	X	X	X
Coeff. 4 Mattone impiegato e omogeneità	X	X	X	X
Coeff. 5 Sostituzioni murarie	X	X		
Coeff. 6 Presenza diffusa di lesioni	X	X	X	X

Tabella 3. Applicazione dei coefficienti normativi e di studio sui parametri meccanici

Coefficiente 4. Tipo di mattone impiegato e omogeneità

Questo è il primo dei tre coefficienti di studio proposti per caratterizzare il valore dei parametri normativi. Fa riferimento alla tipologia di mattone e alla sua omogeneità lungo il paramento laterizio. Il valore 1 rappresenta una muratura sostanzialmente eterogenea, con varie tipologie di mattoni, anche di recupero.

Si propone un coefficiente peggiorativo che diminuisca i valori di base (0,8) per murature con mattoni di dimensioni ridotte, inferiori a 20 cm, quelle note come altinelle, un tipo di mattone molto utilizzato a Venezia specialmente tra i secoli XI e XIV.

Inoltre, si propone un coefficiente migliorativo (1,3) per murature omogenee.

1,0 - Muratura sostanzialmente eterogenea con varie tipologie di mattoni, anche di recupero.

- Ss. Maria e Donato a Murano, San Giacomo dell'Orio, Santa Caterina di Mazzorbo, San Pietro di Castello, Santa Maria Assunta di Torcello e San Geremia.

1,3- Muratura omogenea con mattoni di buona qualità sia di primo impiego che di recupero.

- Madonna dell'Orto, San Francesco della Vigna, S.M. Gloriosa dei Frari, Santo Stefano, Gesuiti, Sant'Aponal e San Pantalon.

Coefficiente 5. Presenza di sostituzioni murarie

Questo coefficiente è un fattore di decremento di f_m e τ_0 . Le sostituzioni murarie si verificano quando a un paramento degradato viene rimossa parte della sezione e rifatta con nuovi laterizi. La sezione originale viene temporaneamente ridotta determinando un aumento localizzato delle tensioni. Il nuovo paramento realizzato non contribuisce subito alla resistenza dell'intera sezione ma solo gradualmente. Il paramento storico ha quindi stati tensionali più elevati.

1,0 - Sostanziale assenza di sostituzione murarie significative.

- Gesuiti (c. interna), Santa Caterina di Mazzorbo, San Pietro di Castello, Sant'Aponal, San Pantalon e Santa Maria Assunta di Torcello (c. interna).

0,7 - Sostituzioni murarie eterogenee e diffuse

- Santo Stefano, San Geremia, Gesuiti (c. esterna), San Francesco della Vigna, Ss. Maria e Donato a Murano, San Giacomo dell'Orio, Santa Maria Assunta di Torcello (c. esterna), Santa Maria Gloriosa dei Frari e Madonna dell'Orto.

Coefficiente 6. Presenza diffusa di lesioni

Si propone come coefficiente di partenza 1 per una muratura con assenza di lesione e il coefficiente peggiorativo 0,7 in presenza diffusa di lesioni. La presenza diffusa di lesioni riduce le caratteristiche meccaniche della muratura influenzando sullo stato di tensione triassiale.

1,0 - Assenza di lesioni.

- S.M. Gloriosa dei Frari, San Pantalon, Sant'Aponal, San Francesco della Vigna e San Pietro di Castello.

0,7 - Presenza diffusa di lesioni.

- San Geremia, Gesuiti, Santo Stefano, San Giacomo dell'Orio, Madonna dell'Orto, Santa Caterina di Mazzorbo, S.M. Assunta di Torcello e Ss. Maria e Donato a Murano.

2.3. Valori caratteristici e di calcolo

Dalla schedatura realizzata, si ottengono i valori medi di resistenza e i moduli di elasticità.

n°	campanile	Valore normativo NTC-2008 e circolare 2009				Valore di studio				Coeff. NTC			Coeff. Studio			
		f _m [N/cm²]	T ₀ [N/cm²]	E [N/mm²]	G [N/mm²]	f _m [N/cm²]	T ₀ [N/cm²]	E [N/mm²]	G [N/mm²]	f _m	T ₀	E e G	f _m	T ₀	E e G	
80	Ss. Maria e Donato a Murano	224,00	5,32	1500	500	109,76	2,61	1050	350	0,70	0,70	1,00	0,30	0,30	0,70	
3	San Geremia	240,00	6,00	1500	500	117,6	2,94	1050	350	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,70	
8	Gesuiti	(Canna esterna)	320,00	7,60	1500	500	203,84	4,84	1365	455	1,00	1,00	1,00	0,60	0,60	0,90
		(Canna interna)	480,00	11,40	2250	750	436,80	10,37	2048	683	1,50	1,50	1,50	1,40	1,40	1,40
54	San Giacomo dell'Orio	168,00	4,20	1500	500	82,32	2,06	1050	350	0,70	0,70	1,00	0,30	0,30	0,70	
78	Santa Caterina di Mazzorbo	240,00	6,00	1500	500	168,00	4,20	1050	350	1,00	1,00	1,00	0,70	0,70	0,70	
28	San Pietro in Castello	(Mattoni)	240,00	6,00	1500	500	240,00	6,00	1500	500	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		(Pietra)	540,00	13,50	3375	1125	540,00	13,50	3375	1125	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30
30	San Pantalon	240,00	6,00	1500	500	312,00	7,80	1950	650	1,00	1,00	1,00	1,30	1,30	1,30	
84	S.M. Assunta di Torcello	(Canna esterna)	480,00	11,40	2250	750	235,20	5,59	1575	525	1,50	1,50	1,50	0,70	0,70	1,10
		(Canna interna)	720,00	17,10	3375	1125	720,00	17,10	3375	1125	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30
71	Sant'Aponal	320,00	7,60	1500	500	416,00	9,88	1950	650	1,00	1,00	1,00	1,30	1,30	1,30	
25	San Francesco della Vigna	480,00	11,40	2250	750	436,80	10,37	2925	975	1,50	1,50	1,50	1,40	1,40	2,00	
	S.M. Gloriosa dei Frari	(Canna esterna)	480,00	11,40	2250	750	436,80	10,37	2925	975	1,50	1,50	1,50	1,40	1,40	2,00
		(Canna interna)	480,00	11,40	2250	750	436,80	10,37	2925	975	1,50	1,50	1,50	1,40	1,40	2,00
5	Madonna dell'Orto	400,00	9,20	1800	600	254,80	5,86	1638	546	1,00	1,00	1,00	0,60	0,60	0,90	
	Santo Stefano	720,00	17,10	3375	1125	458,68	10,89	3071	1024	2,30	2,30	2,30	1,40	1,40	2,00	

Per ottenere i valori caratteristici a compressione, si devono ridurre i valori medi resistenti ottenuti nella schedatura precedente secondo il fattore di confidenza.

n°	campanile	F _c	Valore normativo NTC-2008 e circolare 2009				Valore di studio				
			f _k [N/cm²]	T _{0k} [N/cm²]	E [N/mm²]	G [N/mm²]	f _k [N/cm²]	T _{0k} [N/cm²]	E [N/mm²]	G [N/mm²]	
3	San Geremia	1,35	177,78	4,44	1500	500	87,11	2,18	1050	350	
54	Ss. Maria e Donato a Murano	1	224,00	5,32	1500	500	109,76	2,61	1050	350	
80	S. Giacomo dell'Orio	1,35	226,80	5,67	1500	500	111,13	2,78	1050	350	
8	Gesuiti	(Canna esterna)	1	320,00	7,60	1500	500	203,84	4,84	1365	455
		(Canna interna)	1	480,00	11,40	2250	750	436,80	10,37	2048	683
78	Santa Caterina di Mazzorbo	1,35	177,78	4,44	1500	500	124,44	3,11	1050	350	
28	San Pietro in Castello	1,35	177,78	4,44	1500	500	177,78	4,44	1500	500	
			400,00	10,00	3375	1125	400,00	10,00	3375	1125	
30	San Pantalon	1,35	177,78	4,44	1500	500	231,11	5,78	1950	650	
84	S.M. Assunta di Torcello	(Canna esterna)	1	480,00	11,40	1500	500	235,20	5,59	1575	525
		(Canna interna)	1	720,00	17,10	3375	1125	720,00	17,10	3375	1125
71	Sant'Aponal	1	320,00	7,60	1500	500	416,00	9,88	1950	650	
	S.M. Gloriosa dei Frari	(Canna esterna)	1,2	400,00	9,50	1500	500	364,00	8,65	2925	975
		(Canna interna)	1,2	400,00	9,50	2250	750	364,00	8,65	2925	975
25	San Francesco della Vigna	1	480,00	11,40	1500	500	436,80	10,37	2925	975	
	Santo Stefano	1,2	600,00	14,25	1500	500	382,20	9,08	3071	1024	
5	Madonna dell'Orto	1	400,00	9,20	1500	500	254,80	5,86	1638	546	

Per ottenere i valori di calcolo della resistenza a compressione, si riducono i valori precedenti di resistenza caratteristica con il coefficiente parziale di sicurezza del materiale, pari a $\gamma_M = 2$ (tabella 4.5.II NTC) per condizioni sismiche e $\gamma_M = 3$ (NTC 7.8.1.1) per condizioni non sismiche.

La resistenza a taglio derivando dalla formula $f_{vk} = f_{vk0} + 0,4\sigma_m$, sarà diversa a ogni quota del campanile.

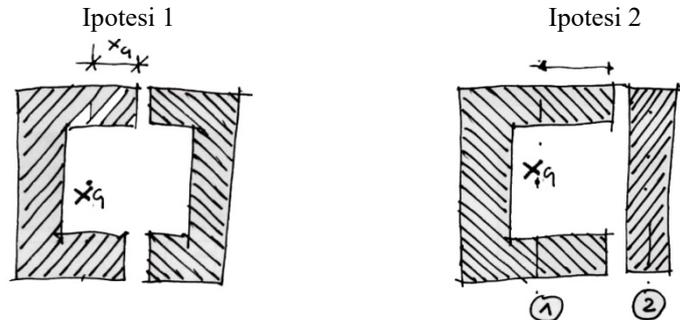
n°	campanile	γ_M	Valore normativo NTC-2008 e circolare 2009				Valore di studio			
			f_d [N/cm ²]	T_d [N/cm ²]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	f_d [N/cm ²]	T_d [N/cm ²]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]
3	San Geremia	3	59,26		1500	500	29,04		1050	350
54	Ss. Maria e Donato a Murano	3	74,67		1500	500	36,59		1050	350
80	S. Giacomo dell'Orto	3	75,60		1500	500	37,04		1050	350
8	Gesuiti (Canna esterna)	3	106,67		1500	500	67,95		1365	455
		3	160,00		2250	750	145,60		2048	683
78	Santa Caterina di Mazzorbo	3	59,26		1500	500	41,48		1050	350
28	San Pietro in Castello	3	59,26		1500	500	59,26		1500	500
			133,33		3375	1125	133,33		3375	1125
30	San Pantalon	3	59,26		1500	500	77,04		1950	650
84	S.M. Assunta di Torcello (Canna esterna)	3	160,00		1500	500	78,33		1575	525
		3	240,00		3375	1125	240,00		3375	1125
71	Sant'Aponal (Canna interna)	3	106,67		1500	500	138,67		1950	650
		3	133,33		1500	500	121,33		2268	756
25	San Francesco della Vigna (Canna esterna)	3	160,00		1500	500	145,60		2925	975
		3	200,00		1500	500	127,40		3071	1024
5	Madonna dell'Orto	3	133,33		1500	500	84,93		1638	546

n°	campanile	γ_M	Valore normativo NTC-2008 e circolare 2009				Valore di studio			
			f_d [N/cm ²]	T_d [N/cm ²]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	f_d [N/cm ²]	T_d [N/cm ²]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]
3	San Geremia	2	88,89		1500	500	43,56		1050	350
54	Ss. Maria e Donato a Murano	2	112,00		1500	500	54,88		1050	350
80	S. Giacomo dell'Orto	2	113,40		1500	500	55,57		1050	350
8	Gesuiti (Canna esterna)	2	160,00		1500	500	101,92		1365	455
		2	240,00		2250	750	218,40		2048	683
78	Santa Caterina di Mazzorbo	2	88,89		1500	500	62,22		1050	350
28	San Pietro in Castello	2	58,89		1500	500	58,89		1500	500
			200,00		3375	1125	200,00		3375	1125
30	San Pantalon	2	88,89		1500	500	115,56		1950	650
84	S.M. Assunta di Torcello (Canna esterna)	2	240,00		1500	500	117,60		1575	525
		2	360,00		3375	1125	360,00		3375	1125
71	Sant'Aponal (Canna interna)	2	160,00		1500	500	208,00		1950	650
		2	200,00		1500	500	182,00		2925	975
25	San Francesco della Vigna (Canna esterna)	2	240,00		1500	500	218,40		2925	975
		2	300,00		1500	500	191,10		3071	1024
5	Madonna dell'Orto	2	200,00		1500	500	127,40		1638	546

T_d dipenderà direttamente di un valore $T_k = T_{0k} + 0,4 \sigma_m$. Quindi, a seconda della sezione di calcolo, il carico N e l'area A dell'oggetto di studio varieranno, e con questa T_k sarà diversa. Maggiore alla base e minore in corrispondenza della cella.

3. Quadri fessurativi

L'attuale normativa italiana (NTC 2008) non prevede la verifica di torri fortemente lesionate che possono provocare deformazioni della sezione resistente fuori del piano determinando riduzioni significative dei moduli di resistenza. I campanili veneziani sono tutti lesionati e una loro verifica non può prescindere dall'analisi dei quadri fessurativi. Vengono studiate due situazioni tipo di lesioni passanti che possono rappresentare i più complessi quadri reali.

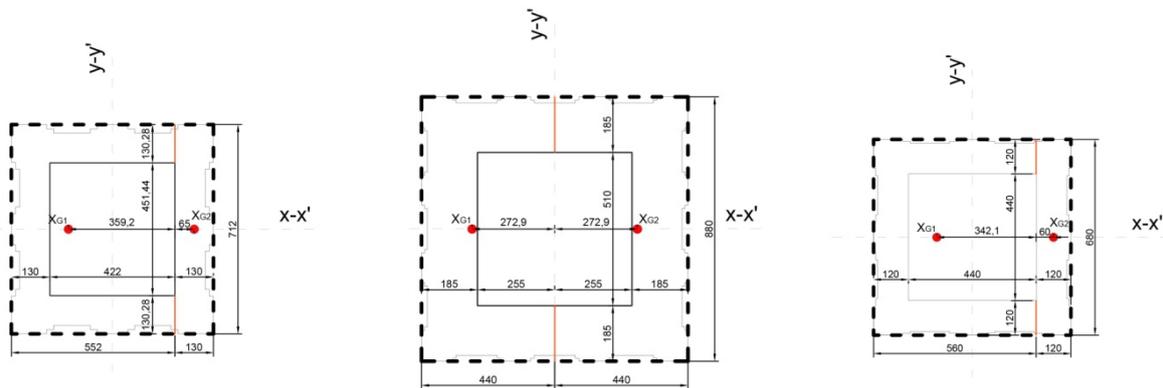


I campanili che presentano le ipotesi precedenti sono:

- Ipotesi 1: Ss. Maria e Donato a Murano.
- Ipotesi 2: San Geremia e San Giacomo dell'Orio.

Sono stati esclusi dallo studio i campanili che presentano caratteristiche geometriche irregolari:

- Doppia canna: S. M. Ass. dei Gesuiti, S. M. Ass. di Torcello e S. M. Gloriosa dei Frari.
- Contrafforti: Santo Stefano.
- Sezioni eterogenea: S. Pietro di Castello.



San Geremia

Ss. Maria e Donato a Murano

San Giacomo dell'Orio

4. Confronto dei valori con studi precedenti

La procedura di verifica secondo quanto previsto dalle NTC 2008 è stata in questo studio integrata inserendo:

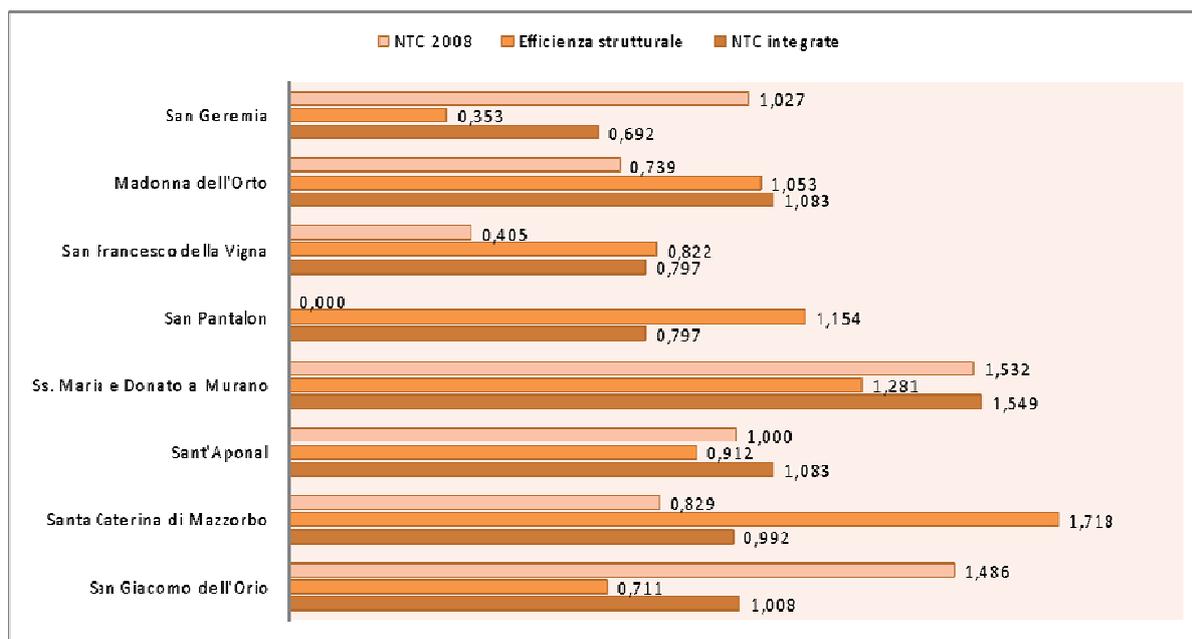
A. i tre coefficienti integrativi:

- ✓ Tipo di mattone impiegato e omogeneità.
- ✓ Presenza di sostituzioni murarie.
- ✓ Presenza diffusa di lesioni.

B. la verifica con sezione fessurata per i tre campanili maggiormente lesionati (Ss. Maria e Donato a Murano, San Geremia, San Giacomo dell'Orio).

Risulta ora interessante confrontare i risultati ottenuti con quelli previsti da normativa (NTC 2008) e con i risultati sullo studio dell'efficienza strutturale basato sull'analisi parametrata di tipo qualitativo.

Campanile		NTC integrate	Efficienza strutturale	NTC 2008
03.	San Geremia	0,692	0,353	1,027
05.	Madonna dell'Orto	1,083	1,053	0,739
25.	San Francesco della Vigna	0,797	0,822	0,405
30.	San Pantalon	0,797	1,154	--
54.	Ss. Maria e Donato a Murano	1,549	1,281	1,532
71.	Sant'Aponal	1,083	0,912	1,000
78.	Santa Caterina di Mazzorbo	0,992	1,718	0,829
80.	San Giacomo dell'Orio	1,008	0,711	1,486



I valori di vulnerabilità ricavati risultano per la maggioranza delle strutture intermedi tra quelli ottenuti da norma e quelli ricavati dall'analisi qualitativa; ne discende che l'inserimento di ulteriori parametri e della verifica strutturale che tiene conto dei quadri fessurativi meglio rappresenta la situazione delle torri, in particolar modo se lesionate. Più in generale risulta che una verifica sismica di strutture murarie non può non tener conto dei quadri fessurativi e deformativi e che i modelli di calcolo devono essere opportunamente modificati secondo quanto emerge da un'analisi qualitativa.