



COMPORTAMENTO SISMICO DELLE CHIESE IN MURATURA

ANALISI DI 5 CHIESE DOPO IL SISMA DEL
MAGGIO 2012 IN EMILIA

LAUREANDI:

CHIARA FIENI 780617

ALESSANDRO MANTOVANI 786832

RELATORE: **PROF. MARCO VALENTE**

CORELATORE: **PROF. GABRIELE MILANI**

P
S
C
P
S
C
O
U
L
O
L
A
D
I
A
R
C
H
I
T
E
T
T
U
R
A
D
I
M
I
L
A
N
O
-
S
E
D
E
D
I
M
A
N
T
O
V
A

D
I
L
A
U
R
E
A
D
E
M
A
G
I
S
T
R
A
S
O
L
E
S
E
T
À
-
A
R
C
H
I
T
E
T
T
U
R
A

2
0
1
3
/
1
4

INDICE

INTRODUZIONE	P. 12		
CAP 1. LA MURATURA	P. 14		
1.1. TIPOLOGIE STRUTTURALI	P.17		
1.2. PROPRIETÀ MECCANICHE	P. 20		
1.3. RISPOSTA SISMICA DELLE MURATURE	P. 21		
1.4. TIPOLOGIE DI DANNO	P. 22		
1.4.1. DISGREGAZIONE DELLA TESSITURA MURARIA	P. 22		
1.4.2. COLLASSO FUORI DAL PIANO	P. 23		
1.4.3. COLLASSO NEL SUO PIANO	P. 24		
1.5. CARATTERISTICHE PER UN BUON COMPORTAMENTO IN PRESENZA DI SISMA	P. 26		
1.5.1. COMPORTAMENTO SCATOLARE	P. 26		
1.5.2. REGOLARITÀ	P. 28		
1.6. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	P. 30		
1.7. PROCEDURA PER LA PROGETTAZIONE DELL'INTERVENTO	P. 32		
1.8. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA PER COSTRUZIONI ESISTENTI	P. 34		
1.9. TIPOLOGIE D'INTERVENTO	P. 36		
1.10. INTERVENTI DI RINFORZO STRUTTURALE	P. 37		
CAP 2. LE CHIESE	P. 38		
2.1. CENNI STORICI	P. 38		
2.2. VALUTAZIONE DEL COMPORTAMENTO SISMICO DELLE CHIESE	P. 42		
2.3. MECCANISMI DI DANNO PER LE CHIESE	P. 43		
2.4. TORRI E CAMPANILI	P. 56		
CAP 3. INQUADRAMENTO SISMOLOGICO E GEOLOGICO			P. 58
3.1. SISMA 20 MAGGIO 2012			P. 59
3.2. SISMA 29 MAGGIO 2012			P. 60
3.3. SISMA 3 GIUGNO 2012			P. 61
3.4. CASTELLUCCHIO			P. 62
3.5. GONZAGA			P. 63
3.6. PEGOGAGA			P. 65
3.7. VIGARANO MAINARDA			P. 66
3.8. FERRARA			P. 67
3.9. ANALISI GEOSISMOLOGICA			P. 72
CAP 4. PROCEDIMENTO DI ANALISI DELLE CHIESE IN ESAME			P. 74
CAP 5. CHIESA SAN GIACOMO MAGGIORE APOSTOLO A POLESINE (MN)			P.76
5.1. CENNI STORICI			P.77
5.2. DESCRIZIONE (ALLEGATO TAVOLA DI INQUADRAMENTO E DISEGNI GEOMETRICI)			P.79
5.3. RILIEVO DEI DANNI (ALLEGATO SCHEDE DI RILIEVO DEL DANNO E TAVOLA DEL QUADRO FESSURATIVO)			P.90
5.3.1. CAMPANILE			P.90
5.3.2. MURATURE DELLA CHIESA			P.90
5.3.3. COPERTURA DELLA CHIESA			P. 92
5.3.4. VOLTE IN GAMORGANNA DELLA CHIESA			P. 92
5.4. ANALISI MODALE CON SPETTRO DI RISPOSTA			P.102
5.4.1. VALUTAZIONE ANALISI			P.103
5.5. VALUTAZIONE VERIFICHE			P.109

5.5.1. SNELLEZZA	P.111	6.5.4. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE FUORI DAL PIANO IN PRESENZA DI SISMA (SLV)	P.149
5.5.2. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (SLU)	P.112	6.5.5. VERIFICA A TAGLIO IN PRESENZA DI SISMA (SLV)	P.150
5.5.3. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO IN PRESENZA DI SISMA (SLV)	P.113		
5.5.4. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE FUORI DAL PIANO IN PRESENZA DI SISMA (SLV)	P.114	CAP 7. CHIESA S.SISTO II A PALIDANO DI GONZAGA (MN)	P.152
5.5.5. VERIFICA A TAGLIO IN PRESENZA DI SISMA (SLV)	P.115	7.1. CENNI STORICI	P.153
CAP 6. CHIESA SAN GIORGIO MARTIRE A CASTELLUCCHIO (MN)	P.120	7.2. DESCRIZIONE (ALLEGATO TAVOLA DI INQUADRAMENTO E DISEGNI GEOMETRICI)	P.155
6.1. CENNI STORICI	P.119	7.3. RILIEVO DEI DANNI (ALLEGATO SCHEDE DI RILIEVO DEL DANNO E TAVOLA DEL QUADRO FESSURATIVO)	P.169
6.2. DESCRIZIONE (ALLEGATO TAVOLA DI INQUADRAMENTO E DISEGNI GEOMETRICI)	P.121	7.3.1. CAMPANILE	P.169
6.3. RILIEVO DEI DANNI (ALLEGATO SCHEDE DI RILIEVO DEL DANNO E TAVOLA DEL QUADRO FESSURATIVO)	P.130	7.3.2. MURATURE DELLA CHIESA	P.169
6.3.1. INTONACI INTERNI DELLE MURATURE E DELLE VOLTE NON DECORATE	P.130	7.3.3. COPERTURA DELLA CHIESA	P.171
6.3.2. INTONACI INTERNI DELLE VOLTE DECORATE A TEMPERA	P.131	7.3.4. VOLTE IN CANNUCCIATO	P.171
6.3.3. INTONACI ESTERNI DELLA PARETE LATERALE EST	P.131	7.4. ANALISI MODALE CON SPETTRO DI RISPOSTA	P.184
6.4. ANALISI MODALE CON SPETTRO DI RISPOSTA	P.138	7.4.1. VALUTAZIONE ANALISI	P.184
6.4.1. VALUTAZIONE ANALISI	P.139	7.5. VALUTAZIONE VERIFICHE	P.190
6.5. VALUTAZIONE VERIFICHE	P.144	7.5.1. SNELLEZZA	P.192
6.5.1. SNELLEZZA	P.146	7.5.2. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (SLU)	P.193
6.5.2. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (SLU)	P.147	7.5.3. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO IN PRESENZA DI SISMA (SLV)	P.194
6.5.3. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO IN PRESENZA DI SISMA (SLV)	P.148	7.5.4. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE FUORI DAL PIANO IN PRESENZA DI SISMA (SLV)	P.195
		7.5.5. VERIFICA A TAGLIO IN PRESENZA DI SISMA (SLV)	P.198

CAP 8. CHIESA SANTI PIETRO E PAOLO A VIGARANO PIEVE DI VIGARANO MAINARDA	P.202	9.4. ANALISI MODALE CON SPETTRO DI RISPOSTA	P.252
8.1. CENNI STORICI	P.203	9.4.1. VALUTAZIONE ANALISI	P.253
8.2. DESCRIZIONE (ALLEGATO TAVOLA DI INQUADRAMENTO E DISEGNI GEOMETRICI)	P.205	9.5. VALUTAZIONE VERIFICHE	P.259
8.3. RILIEVO DEI DANNI (ALLEGATO SCHEDE DI RILIEVO DEL DANNO E TAVOLA DEL QUADRO FESSURATIVO)	P.211	9.5.1. SNELLEZZA	P.261
8.4. ANALISI MODALE CON SPETTRO DI RISPOSTA	P.220	9.5.2. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (SLU)	P.262
8.4.1. VALUTAZIONE ANALISI	P.221	9.5.3. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO IN PRESENZA DI SISMA (SLV)	P.263
8.5. VALUTAZIONE VERIFICHE	P.227	9.5.4. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE FUORI DAL PIANO IN PRESENZA DI SISMA (SLV)	P.264
8.5.1. SNELLEZZA	P.229	9.5.5. VERIFICA A TAGLIO IN PRESENZA DI SISMA (SLV)	P.265
8.5.2. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (SLU)	P.230	CAP 10. RESOCONTO DELLE ANALISI EFFETTUATE	P.268
8.5.3. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO IN PRESENZA DI SISMA (SLV)	P.231	CAP 11. CONCLUSIONI	P.280
8.5.4. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE FUORI DAL PIANO IN PRESENZA DI SISMA (SLV)	P.232	BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	P.283
8.5.5. VERIFICA A TAGLIO IN PRESENZA DI SISMA (SLV)	P.233		
CAP 9. CHIESA SANTI FILIPPO E GIACOMO APOSTOLO A RAVALLE DI FERRARA	P.236		
9.1. CENNI STORICI	P.237		
9.2. DESCRIZIONE (ALLEGATO TAVOLA DI INQUADRAMENTO E DISEGNI GEOMETRICI)	P.239		
9.3. RILIEVO DEI DANNI (ALLEGATO SCHEDE DI RILIEVO DEL DANNO E TAVOLA DEL QUADRO FESSURATIVO)	P.245		

INDICE IMMAGINI

FIG.1. IL COLOSSEO A ROMA. CONSIDERATO UNA DELLE 7 MERAVIGLIE DEL MONDO MODERNO	P.15
FIG.2. OPUS LATERICIUM	P.16
FIG.3. A OPUS INCERTUM	P.16
FIG.4. OPUS RETICULATUM	P.16
FIG.5. OPUS MIXTUM	P.16
FIG.6. ELEMENTI CHE COMPONGONO UN ARCO E PERCORSO IDEALE DI SCARICO A TERRA DEI CARICHI VERTICALI AGENTI SU UNA STRUTTURA CON A FIANCO UN ESEMPIO DI MURATURA REALIZZATA "A REGOLA D'ARTE"	P.17
FIG.7. ACQUEDOTTO ROMANO	P.17
FIG.8. TIPOLOGIE DI ARCHI	P.18
FIG.9. ARCHI IN MURATURA SOSTENUTI DA COLONNE	P.18
FIG. 10. VOLTA A VELA DELL'OSPEDALE DEGLI INNOCENTI DI FILIPPO BRUNELLESCHI	P.19
FIG. 11. VOLTA A CUPOLA DELLA BASILICA DI SUPERGA	P.19
FIG. 12. VOLTA A CROCIERA	P.19
FIG. 13. CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA MURATURA	P.20
FIG. 14 - 15 - 16 . DANNI CAUSATI DA TERREMOTI	P.21
FIG. 17. ESEMPIO DI DISGREGAZIONE DELLA MURATURA	P.22
FIG. 18. RIBALTAMENTO SEMPLICE	P.23
FIG. 19. RIBALTAMENTO COMPOSTO	P.23
FIG. 20. FLESSIONE ORIZZONTALE	P.23
FIG. 21. FLESSIONE VERTICALE	P.23

FIG. 22. RIBALTAMENTO DEL CANTONALE	P.23
FIG. 23. SFONDAMENTO DEL TIMPANO	P.23
FIG. 24. COLLASSO NEL PIANO DI UN EDIFICIO A MIRANDOLA DOPO IL RECENTE SISMA CHE HA COLPITO L'EMILIA	P.24
FIG. 25-26. ESEMPI DI COLLASSO NEL SUO PIANO. MECCANISMO DI ROTTURA PER TAGLIO	P.25
FIG. 27. COMPORTAMENTO SCATOLARE	P.26
FIG. 28. COLLEGAMENTI TRA PARAMENTI E RINFORZO STRUTTURALE CON RETE IN FIBRA DI VETRO	P.27
FIG. 29. COMPORTAMENTO DI UNA SINGOLA PARETE SOTTO AZIONE ORIZZONTALE	P.27
FIG. 30. CATENE DI COLLEGAMENTO DELLE VOLTE	P.27
FIG. 31. IL CENTRO DI MASSA E IL CENTRO DI RIGIDEZZA (DENTRO IL CERCHI BLU) SONO DISTANTI CREANDO UN MOMENTO TORCENTE	P.28
FIG. 32. LA DISTRIBUZIONE NON UNIFORME DELLE RIGIDENZE TRA PIANI SI TRADUCE IN MEGLIORI AZIONI INTERNE NEI PILASTRI NEI PIANI MENO RIGIDI, POTENDO DAR LUOGO A ROTTURE FRAGILI	P.29
FIG. 33. MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA NAZIONALE	P.31
FIG. 34. E' IMPORTANTE PROGETTARE L'INTERVENTO PIÙ ADEGUATO	P.32
FIG. 35. OBIETTIVO PER TUTTI GLI EDIFICI È LA SICUREZZA DELLE VITE, QUALITÀ DELL'ABITARE E RISPETTO PER L'AMBIENTE. PER GLI EDIFICI ESISTENTI È IMPORTANTE PREVENIRE E QUINDI CONOSCERE PER LIMITARE I RISCHI	P.33
FIG. 36. ESEMPIO DI INIEZIONI NELLA MURATURA PER MIGLIORARE LA RESISTENZA	P.33
FIG. 37. PERCEZIONE DEL RISCHIO SISMICO DA PARTE DELLE PERSONE	P.34

FIG. 38. ESEMPI DI CLASSIFICAZIONI DI RISCHIO SISMICO	P.35
FIG. 39. PARTICOLARE DELLE CATENE SOTTO LE VOLTE PER CONTRASTARE LE SPINTE ORIZZONTALI	P.36
FIG. 40. PARTICOLARE DELL'INTERVENTO PROVVISORIO IN LEGNO PER LA MESSA IN SICUREZZA	P.36
FIG. 41. PARTICOLARE DELL'INTERVENTO DI RINFORZO DELLA VOLTA IN FIBRE DI CARBONIO	P.37
FIG. 42. PARTICOLARE DELLA RETE IN FIBRA DI VETRO PER IL RINFORZO STRUTTURALE	P.37
FIG. 44 . CHIESA DI PADRE PIO A SAN GIOVANNI ROTONDO DI RENZO PIANO	P.39
FIG. 45. DUOMO DI MODENA. ESEMPIO DI ARCHITETTURA ROMANICA IN ITALIA	P.40
FIG. 46. DUOMO DI MILANO È UNO DEI POCCHI, MA SPETTACOLARI, ESEMPI DI ARCHITETTURA NEOGOTICA IN ITALIA	P.40
FIG. 47. Pianta della chiesa di Padre Pio a San Giovanni Rotondo di Renzo Piano	P.41
FIG. 48. ELEMETI COMPONENTI UNA CHIESA	P.42
FIG. 49. DUOMO DI MODENA	P.43
FIG. 50. 1. RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA	P.44
FIG. 51. 2. MECCANISMI NELLA SOMMITÀ DELLA FACCIATA	P.44
FIG. 52. 3. MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA	P.44
FIG. 53. 4. PROTIRO-NARTECE	P.45
FIG. 54. 5. RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA	P.45
FIG. 55. 6. MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI LATERALI (RISPOSTA LONGITUDINALE)	P.45
FIG. 56. 7. RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO NELLE CHIESE A PIÙ NAVATE	P.46
FIG. 57. 8. VOLTE DELLA NAVATA	P.46
FIG. 58. 9. VOLTE DELLE NAVATE LATERALI	P.47

FIG. 59. 10. RIBALTAMENTO DELLE PARETI DI ESTREMITÀ DEL TRANSETTO	P.47
FIG 60. 11. MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI DEL TRANSETTO	P.48
FIG. 61. 12. VOLTE DEL TRANSETTO	P.48
FIG. 62. 13. VOLTE TRIONFALI	P.49
FIG. 63. 14. CUPOLA - TAMBURO/TIBURIO	P.49
FIG. 64. 15. LANTERNA	P.49
FIG. 65. 16. RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE	P.50
FIG 66. 17. MECCANISMI DI TAGLIO NEL PRESBITERIO O NELL'ABSIDE	P.50
FIG. 67. 18. VOLTE DEL PRESBITERIO O DELL'ABSIDE	P.50
FIG. 68. 19. MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA - PARETI LATERALI DELL'AULA	P.51
FIG. 69. 20. MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA - TRANSETTO	P.51
FIG. 70. 21. MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA - ABSIDE E PRESBITERIO	P.52
FIG. 71. 22. RIBALTAMENTO DELLE CAPPELLE	P.52
FIG. 72. 23. MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI DELLE CAPPELLE	P.53
FIG. 73. 24. VOLTE DELLE CAPPELLE	P.53
FIG. 74. 25. INTERAZIONI IN PROSSIMITÀ DI IRREGOLARITÀ PLANO - ALTIMETRICHE	P.54
FIG. 75. 26. AGGETTI (VELA, GUGLIE, PINNACOLI, STATUE)	P.54
FIG. 76. 27. TORRE CAMPANARIA	P.54
FIG. 77. 28. CELLA CAMPANARIA	P.55
FIG. 78. TORRE DI PISA NEL CAMPO DEI MIRACOLI	P.55
FIG. 79. TORRE DELLA SAGRA. LA PRIMA CHIESA COSTRUITA A CARPI	P.56

FIG. 80 - SEZIONI GEOLOGICHE SCHEMATICHE DELLA PIANURA PADANA LUNGO LA TRASVERSALE MODENESE (SOPRA) E BOLOGNESE E FERRARESE (SOTTO) (DA AGIP, 1966). LE STRUTTURE TETTONICHE (SISTEMI DI PIEGHE E FAGLIE INVERSE) PIÙ SETTENTRIONALI (A DESTRA NELLE SEZIONI) IN CORRISPONDENZA DELLE PERFORAZIONI CAVONE E FERRARA 1, RAPPRESENTANO IL FRONTE PIÙ AVANZATO DELLA CATENA APPENNINICA SEPOLTA SOTTO LE ALLUVIONI (IN VERDE/AZZURRO). LE FIGURE MOSTRANO L'ACCAVALLAMENTO DELLA CATENA APPENNINICA (IN MARRONE E IN GIALLO) SULLE ROCCE PIÙ PROFONDE DEL SOTTOSUOLO DELLA PIANURA PADANA (IN ROSSO E IN AZZURRO). P.57

FIG. 81-82 - ESEMPIO DI MODELLAZIONE DELLA CHIESA DI CASTELLUCHHIO COL PROGRAMMA PRO_SAP. P.73

FIG. 83. CARTOLINA DEL 1918. CHIESA E CAMPANILE VISTI DALLA PIAZZA. P.75

FIG. 84. PARTICOLARE DEL DISEGNO RIPORTATO SU UNA MAPPA DEL 1605. PALAZZO DEI GONZAGA E ORATORIO DI POLESINE (ASMN) P.78

FIG. 85. FACCIATA DELLA CHIESA, CON IMPALCATURA IN LEGNO, DURANTE IL RESTAURO DEL 1930. , IL CAMPANILE HA ANCORA LA CUPOLA ORIGINALE. P.78

FIG. 86. CAMPANILE DOPO L'INCENDIO DEL 1943 CHE DISTRUSSE LA CUPOLA. P.78

FIG. 87. FACCIATA IN OCCASIONE DEL RESTAURO DEL 1960. P.78

FIG. 88. VEDUTA INTERNA DELLA CHIESA. P.78

FIG. 89. VEDUTA DEL SOTTOTETTO SOSTENUTO DA CAPRIATE LIGNEE. P.79

FIG. 90. FACCIATA DELLA CHIESA. P.80

FIG. 91. LESIONI ALLA PARETE LATERALE LA NAVATA, CHE DA LA FINESTRA SOVRASTANTE ARRIVA FINO ALL'ARCO DI SCARICO SOTTOSTANTE. P.81

FIG. 92. LESIONI SULLE PARETI LATERALI IN CORRISPONDENZA DELL'INNESTO DELLA FACCIATA. P.90

FIG. 93. SFILAMENTO DALLA MURATURA PERIMETRALE DEL PILASTRO DI DESTRA CHE SOSTIENE L'ULTIMA CAPRIATA. P.91

FIG. 94. LESIONI SULLA VOLTA A VELA DELL'ABSIDE. P.92

FIG. 95. LESIONI SULLE VOLTE DELLE CAPPELLE LATERALI. P.93

FIG. 96. LESIONI SULLE LUNETTE DELLE FINESTRE. P.93

FIG. 97. SISMA DEL 20/05/2012. P.93

FIG. 98. SISMA DEL 03/06/2012. P.103

FIG. 99. SISMA DEL 29/05/2012 (EVENTO1). P.103

FIG. 100. SISMA DEL 29/05/2012 (EVENTO2). P.103

FIG. 101. CATASTO TERESIANO 1776. P.103

FIG. 102. MAPPA CENSUARIA 1855. P.103

FIG. 103-104. CAMPANILE E SEZIONE TRASVERSALE DEL 1858. DISEGNI DELL'ING. IVANI PRODOTTI PER LE OPERE DI RIFACIMENTO DELLA COPERTURA. P.120

FIG. 105-106. PLANIMETRIA SETTI, VOLTE E SOTTOTETTO DEL 1858. RIPRODUZIONE DEI DISEGNI DELL'ING. IVANI PRODOTTI PER LE OPERE DI RIFACIMENTO DELLA COPERTURA. P.120

FIG. 107. VEDUTA INTERNA DELLA CHIESA. P.120

FIG. 108. FACCIATA DELLA CHIESA. P.121

FOTO. 109. SOTTOTETTO CON ARCO CHE SORMONTA LE VOLTE SOTTOSTANTI A SOSTEGNO DELLA COPERTURA. P.122

FIG. 110. LESIONI DI INTONACO SULLA VOLTA A CROCIERA. P.123

FIG. 111. LESIONI DI INTONACO SULLA VOLTA DIPINTA A TEMPERA. P.130

FIG. 112. LESIONI DI INTONACO SULLE PARETI ESTERNE LATERALI. P.130

FIG. 113. SISMA DEL 20/05/2012. P.131

FIG. 114. SISMA DEL 3/6/2012. P.139

FIG. 115. SISMA DEL 29/05/2012 (EVENTO1). P.139

FIG. 116. SISMA DEL 29/05/2012 (EVENTO2). P.139

FIG. 117. SCHIZZO DELLA RICOSTRUZIONE CRONOLOGICA DEL COMPLESSO. P.139

FIG. 118-119. VISTE DELLA NATAVA INTERNA DELLA CHIESA. P.139

FIG. 120-121. VOLTE INTERNE IN CANNUCCIATO. P.154

FIG. 122-123. FACCIATA, ABSIDE E CAMPANILE DELLA CHIESA. P.155

FIG. 124. VISTA LATERALE CON CORPI ADDOSSATI ALLA CHIESA. P.156

FIG. 125. VISTA DALL'INTERNO DEL TETTO DELLA CHIESA. P.157

FIG. 126. LESIONI SUL CAMPANILE. P.158

FIG. 127. LESIONI SULL'ABSIDE. P.158

FOTO. 128. LESIONI SULLE PARETI LATERALI. P.169

FOTO. 129. LESIONI SULLE VOLTE IN CANNUCCIATO. P.170

FIG. 130. SISMA DEL 20/05/2012. P.171

FIG. 131. SISMA DEL 3/6/2012. P.185

FIG. 132. SISMA DEL 29/05/2012 (EVENTO1). P.185

FIG. 133. SISMA DEL 29/05/2012 (EVENTO2). P.185

FIG. 134. CARTA STORICA DELLA PIANTE E ALZATO PROSPETTI DELLA CHIESA DI VIGARANO PIEVE DEL 18 APRILE 1957. P.185

FIG. 135. FACCIATA DELLA CHIESA DI VIGARANO PIEVE PRIMA DEL SISMA DEL MAGGIO 2012. P.203

FIG. 136. VEDUTA DELLA FACCIATA E DEL FIANCO DELLA CHIESA DI VIGARANO PIEVE. P.204

FIG. 137. VEDUTA DELL'ABSIDE E DEL FIANCO DELLA CHIESA DI VIGARANO PIEVE. P.204

FIG. 138. VEDUTA DELLE DECORAZIONI DELLE VOLTE. IN ORDINE DA SINISTRA A DESTRA: TRIONFO DELL'ASSUNTA E MARTIRIO DI S.PIETRO. P.205

FIG. 139. VEDUTA DELLE DECORAZIONI DEL CORO E DELLA PALA DEDICATA ALLA VERGINE E AI SS. PIETRO E PAOLO. P.205

FIG. 140. VEDUTA DI CONFSSIONALI SETTECENTESCHI INTAGLIATI DAL CORBI E DEGLI ORNAMENTI INTERNI. P.206

FIG. 141. LESIONE SUL MURO LONGIDUDINALE DELLA CHIESA NEL PUNTO DI ADIACENZA CON UN CORPO SECONDARIO. P.206

FIG. 142. LESIONE SUL MURO LONGIDUDINALE DELLA CHIESA IN PROSSIMITÀ DELLA FACCIATA. P.207

FIG. 143. LESIONE VERTICALE SUL TIMPANO DELLA FACCIATA. P.211

FOTO. 144. LESIONE VERTICALE IN FACCIATA CHE SCENDE SOTTO LA NICCHIA. P.211

FIG. 145. VEDUTA DEL CAMPANILE DOPO IL CROLLO DELLA COPERTURA. P.212

FIG. 146. LESIONE SULL'ABSIDE. P.212

FIG. 147. SISMA DEL 20/05/2012. P.213

FIG. 148. SISMA DEL 3/6/2012. P.213

FIG. 149. SISMA DEL 29/05/2012 (EVENTO1). P.221

FIG. 150. SISMA DEL 29/05/2012 (EVENTO2). P.221

FIG. 151. RAVALLE, ARCHIVIO PARROCCHIALE, PIANTE DELLA CHIESA NUOVA E VECCHIA, DELLA. P.221

CANONICA E DEI TERRENI E DELLE STRADE PROSPICIENTI A ESSE	P.221
FIG. 152. RAVALLE, ARCHIVIO PARROCCHIALE, DISEGNO PERIMETRALE DELLA VECCHIA CHIESA, 1785	P.237
FIG. 153. RAVALLE, ARCHIVIO PARROCCHIALE: DISEGNO DELLA FACCIATA E DEGLI INTERNI DELLA NUOVA CHIESA ESEGUITI DAL BASSEGGIO	P.238
FIG. 154-155. VEDUTE GENERALI DELL'INTERNO DELLA CHIESA	P.238
FIG. 156-157. VEDUTE DELLE VOLTE INTERNE DELLA CHIESA	P.239
FIG. 158-159. VEDUTE DELLE VOLTE DELLE NICCHIE INTERNE DELLA CHIESA	P.240
FIG. 160. PARTICOLARE DELLE LESIONI IN CORRISPONDENZA DELLE APERTURE SULLE MURATURE LONGITUDINALI	P.241
FIG. 161. LESIONI AI PINNACOLI DELLA FACCIATA	P.245
FIG. 162. LESIONI IN CORRISPONDENZA DELLE APERTURE SULLE MURATURE LONGITUDINALI	P.246
FIG. 163. SISMA DEL 20/5/2012	P.246
FIG. 164. SISMA DEL 3/6/2012	P.253
FIG. 165. SISMA DEL 29/05/2012 (EVENTO1)	P.253
FIG. 166. SISMA DEL 29/05/2012 (EVENTO2)	P.253
FIG. 167. CHIESA S.GIACOMO MAGGIORE A POLESINE (1775)	P.269
FIG. 168. CHIESA S.GIORGIO MARTIRE A CASTELLUCCHIO (1757)	P. 269
FIG. 169. CHIESA S.SISTO II A PALIDANO (1771-1775)	P. 269
FIG. 170. CHIESA S.S. PIETRO E PAOLO A VIGARANO PIEVE (1776)	P. 269
FIG. 171. CHIESA S.S. FILIPPO E GIACOMO APO-	

STOLO A RAVALLE (1796)	P. 269
FIG. 172 (SOPRA A SINISTRA). CHIESA S.GIACOMO MAGGIORE A POLESINE	P.271
FIG. 173 (SOPRA A DESTRA). CHIESA S.SISTO II A PALIDANO	P.271
FIG. 174 (A FIANCO). CHIESA S.S. PIETRO E PAOLO A VIGARANO PIEVE	P.271
FIG. 175. CHIESA S.GIACOMO MAGGIORE A POLESINE	P.272
FIG. 176. CHIESA S.SISTO II A PALIDANO	P.272
FIG. 177. CHIESA S.S. FILIPPO E GIACOMO APOSTOLO A RAVALLE	P.272
FIG. 178. CHIESA S.GIACOMO MAGGIORE A POLESINE	P.272
FIG. 179. CHIESA S.SISTO II A PALIDANO	P.273
FIG. 180. CHIESA S.S. PIETRO E PAOLO A VIGARANO PIEVE	P.273
FIG.181-182-183. NMP-ARCO TRIONFALE	P.275
FIG.184-185-186. NMP-PARETI CAPPELLE	P.275
FIG.187. NMP-FACCIATA PALIDANO	P.276
FIG.188-189-190-191.NMO-PARETI LATERALI	P.276
FIG.192-193-194-195.NMO-FACCIATE	P.277
FIG.196-197-198-199.NMO-ARCHI TRIONFALI	P.278
FIG.200-201-202.V-FACCIATE	P.278
FIG.203-204-205-206.V-PARETI LATERALI	P.279
FIG.207-208-209-210. V-PARETI CAPPELLE	P.279
FIG.211-212-213.V-ARCHI TRIONFALI	P.279
FIG.214-215-216-217.V-ABSIDE	P.279

INDICE TABELLE

TAB 1. STORICO DEI TERREMOTI DI CASTELLUCCHIO. DATI ESTRAPOLATI DA I.N.G.V.	P.62
TAB 2. STORICO DEI TERREMOTI DI GONZAGA. DATI ESTRAPOLATI DA I.N.G.V.	P.64
TAB 3. STORICO DEI TERREMOTI DI PEGOGNAGA. DATI ESTRAPOLATI DA I.N.G.V.	P.65
TAB 4. STORICO DEI TERREMOTI DI VIGARANO MAINARDA. DATI ESTRAPOLATI DA I.N.G.V.	P.66
TAB 5. STORICO DEI TERREMOTI DI FERRARA. DATI ESTRAPOLATI DA I.N.G.V.	P.71
TAB. 6. SPETTRO DI RISPOSTA DI PROGETTO DA NTC2008 DEL COMUNE DI PEGOGNAGA	P.102
TAB. 7. SPETTRO DI RISPOSTA DI PROGETTO DA NTC2008 DEL COMUNE DI CASTELLUCCHIO	P.138
TAB. 8. SPETTRO DI RISPOSTA DI PROGETTO DA NTC2008 DEL COMUNE DI GONZAGA	P.184
TAB. 9. SPETTRO DI RISPOSTA DI PROGETTO DA NTC2008 DEL COMUNE DI VIGARANO MAINARDA DI CUI VIGARANO PIEVE È UNA FRAZIONE	P.220
TAB. 10. SPETTRO DI RISPOSTA DI PROGETTO DA NTC2008 DEL COMUNE DI FERRARA	P.252
TAB. 11. TABELLA DEI DANNI SUBITI.	P.270
TAB. 12. TABELLA DEI DANNI RISULTATI DALLE ANALISI EFFETTUATE.	P.274

INDICE TAVOLE E ALLEGATI

ALL.1. DISEGNI GEOMETRICI E INQUADRAMENTO DELLA CHIESA SAN GIACOMO MAGGIORE APOSTOLO A POLESINE (MN)	P.89
ALL.2 E 3. QUADRO FESSURATIVO DELLA CHIESA SAN GIACOMO MAGGIORE APOSTOLO A POLESINE (MN)	P.100
ALL.4. DISEGNI GEOMETRICI E INQUADRAMENTO DELLA CHIESA SAN GIORGIO MARTIRE A CASTELLUCCHIO (MN)	P.129
ALL.5 E 6. QUADRO FESSURATIVO DELLA CHIESA SAN GIORGIO MARTIRE A CASTELLUCCHIO (MN)	P.136
ALL.7. DISEGNI GEOMETRICI E INQUADRAMENTO DELLA CHIESA S.SISTO II A PALIDANO DI GONZAGA (MN)	P.168
ALL.8 E 9. QUADRO FESSURATIVO DELLA CHIESA S.SISTO II A PALIDANO DI GONZAGA (MN)	P.182
ALL.10. DISEGNI GEOMETRICI E INQUADRAMENTO DELLA CHIESA SANTI PIETRO E PAOLO A VIGARANO PIEVE DI VIGARANO MAINARDA	P.210
ALL.11 E 12. QUADRO FESSURATIVO DELLA CHIESA SANTI PIETRO E PAOLO A VIGARANO PIEVE DI VIGARANO MAINARDA	P.218
ALL.13. DISEGNI GEOMETRICI E INQUADRAMENTO DELLA CHIESA SANTI FILIPPO E GIACOMO APOSTOLO A RAVALLE DI FERRARA	P.244
ALL.14 E 15. QUADRO FESSURATIVO DELLA CHIESA SANTI FILIPPO E GIACOMO APOSTOLO A RAVALLE DI FERRARA	P.250

INTRODUZIONE

IL SISMA DEL MAGGIO 2012 IN EMILIA HA MESSO IN GINOCCHIO INTERE COMUNITÀ, LASCIANDO DIETRO DI SE' DISTRUZIONE E MORTE. IL TERREMOTO HA LESIONATO UN GRAN NUMERO DI MANUFATTI TRA ABITAZIONI, COMPLESSI INDUSTRIALI ED EDIFICI STORICI. IL TERRITORIO ITALIANO NON È NUOVO A QUESTO GENERE DI EVENTI, INFATTI NEGLI ULTIMI QUINDICI ANNI SI SONO VERIFICATI EVENTI DI GRANDE PORTATA, TRA I QUALI SI RICORDANO IL TERREMOTO UMBRO-MARCHIGIANO DEL 1997, IL SISMA DELL'AQUILA DEL 2009 E PER ULTIMO QUELLO DELL'EMILIA DEL 2012, AI QUALI SI SOMMANO LE DECINE DI PICCOLE SCOSSE CHE OGNI GIORNO VENGONO REGISTRATE DALL'I.N.G.V. QUESTI EVENTI HANNO PORTATO GRANDE DISTRUZIONE, IN PARTICOLAR MODO AL PATRIMONIO STORICO DELLE ZONE COLPITE. SI RICORDANO ANCORA LE VOLTE DI CIMABUE CROLLATE NELLA BASILICA DI ASSISI, IL CENTRO STORICO DELL'AQUILA COMPLETAMENTE LESIONATO E LA TORRE DEI MODENESI DI FINALE EMILIA CROLLATA; SIMBOLI DI QUESTI EVENTI CHE SEMPRE COLGONO IMPREPARATA LA POPOLAZIONE ITALIANA.

IN QUESTO ELABORATO SARANNO STUDIATE CINQUE CHIESE SITE TRA LE PROVINCE DI MANTOVA E FERRARA. QUESTI EDIFICI IN MURATU-

RA RAPPRESENTANO DEI MODELLI ARCHITETTONICI TIPICI DELLA STORIA E DELLA CULTURA LOCALE ITALIANA. L'IMPORTANZA STORICA DI QUESTI EDIFICI SI EVINCE DAL FATTO CHE PICCOLE E POVERE COMUNITÀ ABBIANO ERETTO EDIFICI COSÌ COMPLESSI. OGGI QUESTI LUOGHI DI CULTO, RAPPRESENTANO LA STORIA DELLE COMUNITÀ E TESTIMONIANO UNA CULTURA DEL COSTRUIRE CHE OGGI SI È PERSA.

PER PRIMA COSA SARANNO STUDIATI I TIPI EDILIZI, IL MATERIALE E LE NORMATIVE VIGENTI, COSÌ DA COMPIERE UNO STUDIO COMPLETO DEI MANUFATTI CHE SI ESAMINERANNO IN QUESTO ELABORATO. SI ANDRANNO QUINDI A VALUTARE I DANNI CHE QUESTE CHIESE HANNO SUBITO CON I SISMI DEL 20 E 29 MAGGIO E 3 GIUGNO 2012, MEDIANTE RILIEVI DEI DANNI E MODELLI DI CALCOLO, CHE ANALIZZERANNO IL COMPORTAMENTO STATICO DELLE STRUTTURE. SI EFFETTUERÀ UN ANALISI GLOBALE DELL'EDIFICIO, ALLO SCOPO DI VERIFICARE GLI ELEMENTI AGLI STATI LIMITE ULTIMI, COSÌ DA INDIVIDUARE I PUNTI DI MAGGIORE CRITICITÀ STRUTTURALE

I RISULTATI OTTENUTI, PERMETTERANNO DI INDIVIDUARE GLI ELEMENTI SU CUI INTERVENIRE PER PORTARE UN EFFETTIVO MIGLIORAMENTO STRUTTURALE DEGLI EDIFICI ESAMINATI.

THE EARTHQUAKE OF MAY 2012 BROUGHT ENTIRE COMMUNITIES TO THEIR KNEES, WREAKING DESTRUCTION AND DEATH. IT HAS CAUSED TERRIBLE LOSSES TO DWELLINGS, INDUSTRIAL PARKS AND HISTORIC BUILDINGS. UNFORTUNATELY, THE ITALIAN TERRITORY IS EXPOSED TO THIS KIND OF INCIDENTS: IN THE LAST FIFTEEN YEARS WE ATTENDED TRAGIC EVENTS, AMONG WHICH THE EARTHQUAKES WHICH TOOK PLACE IN UMBRIA IN 1997, IN ABRUZZO IN 2009 AND LAST IN EMILIA IN 2012, NOT TO MENTION THE TENS OF SMALL TREMORS THAT EVERY DAY ARE RECORDED BY I.N.G.V. ESPECIALLY THE HISTORICAL HERITAGE OF THESE AREAS HAS BEEN AFFECTED: THE CIMABUE'S VAULTS IN THE ASSISI'S BASILICA, THE OLD TOWN CENTRE OF L'AQUILA AND THE MODENESI'S TOWER OF FINALE EMILIA HAVE BECOME THE SYMBOLS OF THESE DISASTERS, WHICH ALWAYS FLOOR ITALIAN POPULATION.

IN THIS PAPER, FIVE PARISH CHURCHES LOCATED BETWEEN THE PROVINCES OF MANTUA AND FERRARA WILL BE ANALYZED. THESE SUPPORTING-STONEWORK BUILDINGS, OF LESS IMPORTANCE COMPARED TO THOSE ABOVE MENTIONED, REPRESENT NONETHELESS ARCHITECTURAL MODELS TYPICAL OF ITALIAN LOCAL HISTORY AND CULTURE. THE HISTORIC IMPORTANCE OF THESE BUILDINGS CAN BE INFERRED BY THE FACT THAT

SMALL AND POOR COMMUNITIES HAVE BUILT SUCH COMPLEX BUILDINGS. NOWADAYS, BESIDES THE FACT THAT THEY ARE PLACES OF WORSHIP AND SO DEAR TO RELIGIOUS, THESE EDIFICES REPRESENT COMMUNITIES' HISTORY AND ARE A TESTIMONY TO A BUILDING - CULTURE WHICH HAS LOST GROUND THESE DAYS, LEAVING ROOM FOR MODERN ARCHITECTURE.

FIRST OF ALL, THIS THESIS WILL EXAMINE THE BUILDING TYPES, BUILDING MATERIAL AND THE CURRENT REGULATIONS, IN ORDER TO PROVIDE A COMPLETE RESEARCH OF THE BUILDINGS AIM OF THE STUDY. THEN, BY MEANS OF SURVEYS AND CALCULATION PATTERNS WHICH ANALYZE THE STATIC BEHAVIOUR OF THE STRUCTURES, IT WILL EVALUATE THE DAMAGES THAT THESE CHURCHES SUFFERED DURING THE EARTHQUAKES OF MAY AND JUNE 2012. A GLOBAL ANALYSIS OF THE BUILDING WILL BE IMPLEMENTED, IN ORDER TO VERIFY THE ELEMENTS BY THE ULS (ULTIMATE LIMIT STATES) AND THE CRITICAL STRUCTURAL POINTS, COMPARING THIS RESULTS WITH THE REAL STATE OF DAMAGE OF THE BUILDING. THE FINAL OUTCOMES WILL ALLOW THE IDENTIFICATION OF THE ELEMENTS ON WHICH IT IS POSSIBLE TO WORK, IN BEHALF OF A STRUCTURAL IMPROVEMENT OF THE BUILDINGS TAKEN INTO ACCOUNT.

LA MURATURA

È LA TECNICA CON CUI VENIVANO COSTRUITI, IN PASSATO, LA MAGGIOR PARTE DEGLI EDIFICI. IL MATTONE INFATTI, COSTITUITO DA TERRA PIÙ O MENO COTTA, ERA LA MATERIA PRIMA MAGGIORMENTE REPERIBILE NELLE AREE DELLA NOSTRA PENISOLA, MENTRE I PAESI NORDICI, RICCHI DI BOSCHI, COSTRUIVANO PRINCIPALMENTE USANDO IL LEGNO.

QUESTA TECNICA COSTRUTTIVA HA PERMESSO DI FAR ARRIVARE FINO A NOI QUESTO PATRIMONIO DI GRANDE VALORE STORICO-ARTISTICO.

FIN DAL TEMPO DEI ROMANI, VENIVANO COSTRUITI EDIFICI IN MURATURA PORTANTE, TRA CUI IMPORTANTI OPERE DI INGEGNERIA IDRAULICA, TEATRI, ANFITEATRI, VILLE, ECC. L'UTILIZZO DI QUESTA TECNICA È DURATO QUASI DUEMILA ANNI, FINO AGLI INIZI DEL XX SECOLO, QUANDO L'AVVENTO DI NUOVI MATERIALI E NUOVE TECNOLOGIE HA RESO OBSOLETA LA REALIZZAZIONE DI EDIFICI IN MURATURA PORTANTE.

LA MURATURA NASCE DALL'ACCOSTAMENTO DI LATERIZI (IN PASSATO SI USAVANO MATTONI PIENI DI DIVERSE GRANDEZZE A SECONDA DELLA ZONA DI ORIGINE) E MALTA, IN MODO DA OTTENERE ELEMENTI MONOLITICI COME PARETI, PILASTRI, ARCHI, SISTEMI VOLTATI, CUPOLE, ECC. LA MALTA HA INFATTI IL COMPITO DI LEGARE I LATERIZI E DISTRIBUIRE I CARICHI. TRA LA MALTA E IL LATERIZIO SI CREANO FORZE DI ADERENZA CHE PERMETTONO AI DUE MATERIALI DI COLLABORARE IN MANIERA OTTIMALE.

LA MURATURA RESISTE BENE A COMPRESSIO-



FIG 1 . IL COLOSSEO A ROMA. CONSIDERATO UNA DELLE 7 MERAVIGLIE DEL MONDO MODERNO

NE, MA POCO A TRAZIONE. LA RESISTENZA A COMPRESSIONE È INFLUENZATA DALLA QUALITÀ DEL LATERIZIO E DELLA MALTA, DALLA GEOMETRIA DEL MATTONI E DALLA DISTRIBUZIONE DELLA TESSITURA MURARIA, CHE DEVE ESSERE FATTA “A REGOLA D’ARTE”. UNA BUONA MURATURA IN LATERIZIO È REALIZZATA CON BLOCCHI POSATI IN CORSI CONTINUI AD ALTEZZA COSTANTE OPPORTUNAMENTE SFALSATI TRA CORSO E CORSO E LEGATI DA GIUNTI DI MALTA. DA STUDI FATTI, EMERGE CHE NELLA STORIA SONO STATE REALIZZATE DIVERSE TIPOLOGIE DI MURATURA; SI È OSSERVATO CHE LA MIGLIORE È QUELLA COMPOSTA DA DUE O PIÙ PARAMENTI PARALLELI, LEGATI DA UN NUMERO OPPORTUNO DI DIATONI TRASVERSALI. QUESTA TECNICA COSTRUTTIVA GARANTISCE UN COMPORTAMENTO MONOLITICO, IN PARTICOLAR MODO SOTTO L’AZIONE DI SPINTE ORIZZONTALI.

IN PASSATO SI PRESTAVA MOLTA ATTENZIONE ALLA COSTRUZIONE DI EDIFICI DI MAGGIORE IMPORTANZA COME CHIESE, CASTELLI, MASTI MURARI, ECC. QUESTI VENIVANO REALIZZATI CON BUONI MATERIALI E SEGUENDO LE “REGOLE DELL’ARTE”, MENTRE PER GLI EDIFICI COMUNI O DI GETI PIÙ POVERI VENIVANO REALIZZATI CON MATERIALI DI MINOR QUALITÀ E CON TECNICHE PIÙ SCARSE.

ESISTE ANCHE UNA TECNICA DI POSA DELLA MURATURA A SECCO, OVVERO SENZA MALTA, MA SI TRATTA DI MURATURE NON ADATTE A COMPITI STRUTTURALI IN QUANTO LA STABILITÀ È AFFIDATA INTERAMENTE AL PESO PROPRIO DELLA MURATURA. IN ZONA SISMICA È ASSOLUTAMENTE DA EVITARE.



FIG. 2 . OPUS LATERICIUM



FIG. 3 . OPUS INCERTUM

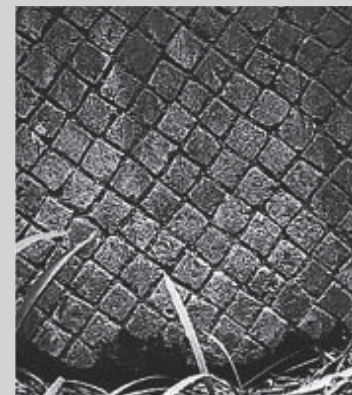


FIG. 4 . OPUS RETICULATUM



FIG. 5 . OPUS MIXTUM

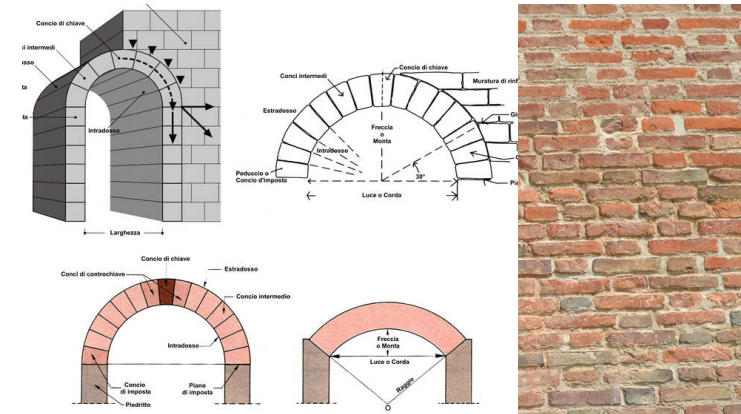


FIG. 6. ELEMENTI CHE COMPONGONO UN ARCO E PERCORSO IDEALE DI SCARICO A TERRA DEI CARICHI VERTICALI AGENTI SU UNA STRUTTURA CON A FIANCO UN ESEMPIO DI MURATURA REALIZZATA “A REGOLA D’ARTE”



FIG. 7 . ACQUEDOTTO ROMANO

1.1. TIPOLOGIE STRUTTURALI

UN EDIFICIO IN MURATURA È COMPOSTO DA DIVERSI ELEMENTI CHE COSTITUISCONO LA STRUTTURA PORTANTE.

NELL’EDILIZIA MODERNA GLI EDIFICI COSTRUITI CON QUESTA TECNICA SONO DEGLI “IBRIDI”, IN QUANTO LA MURATURA COLLABORA CON ELEMENTI REALIZZATI CON MATERIALI DI DIVERSA NATURA (CALCESTRUZZO ARMATO E ACCIAIO). PARLANDO INVECE DI EDIFICI STORICI, I MANUFATTI ANALIZZATI SONO INTERAMENTE COSTITUITI DA MURATURA IN MATTONI PIENI. TRA GLI ELEMENTI PORTANTI IN MURATURA RICONOSCIAMO:

- **MURATURE DI FONDAZIONE**
LE OPERE DI FONDAZIONE SI DIVIDONO PRINCIPALMENTE IN DUE TIPOLOGIE:
 - ALLARGAMENTO DELLA SEZIONE MURARIA
 - ARCHI ROVESCI

- **SETTI E MURI PORTANTI:**
DESTINATI A SOSTENERE CARICHI VERTICALI E USATI COME APPOGGIO PER SOLAI O COPERTURE. DEVONO RESISTERE ANCHE AD AZIONI ORIZZONTALI COME IL VENTO O IL SISMA.

- **PILASTRI:**
SONO SOLLECITATI PREVALENTEMENTE A COMPRESSIONE. LE LORO DIMENSIONI DEVONO ES-

SERE TALI DA POTER GARANTIRE LA CAPACITÀ PORTANTE RICHIESTA, FACENDO ATTENZIONE AL CARICO DI PUNTA (EQUILIBRIO DEL PILASTRO).

- PIATTABANDE:

POSSONO ESSERE CONSIDERATE DEGLI ARCHI ANOMALI IN QUANTO LAVORANO CON LO STESSO PRINCIPIO, MA CON FRECCE MOLTO LIMITATE E LUCI MOLTO MODESTE.

- ELEMENTI AD ARCO:

SONO ELEMENTI SPINGENTI SOTTOPOSTI PREVALENTEMENTE A COMPRESSIONE. LE FORZE ARRIVANO A TERRA SEGUENDO UN PERCORSO IDEALE CHE RESTA ALL'INTERNO DEL TERZO MEDIO. I VARI TIPI DI ARCHI SI DISTINGUONO A SECONDA DELLA FORMA CHE ASSUME LA LINEA DELL'INTRADOSSO:

- **ARCO A TUTTO SESTO** IN CUI LA FRECCIA È PARI AL RAGGIO
- **ARCO A SESTO RIBASSATO** IN CUI LA FRECCIA È INFERIORE AL RAGGIO
- **ARCO A SESTO RIALZATO** IN CUI LA FRECCIA È MAGGIORE DEL RAGGIO

- STRUTTURE VOLTATE:

SONO STRUTTURE SPINGENTI BIDIMENSIONALI IL CUI COMPORTAMENTO STATICO È INFLUENZATO DALLA FORMA. LE PRINCIPALI SONO:

- **VOLTA A BOTTE**, È LA PIÙ SEMPLICE E GENERALMENTE USATA PER COPRIRE SPAZI RETTANGOLARI
- **VOLTA A VELA** COMPOSTA DA UNA CALOTTA SFERICA

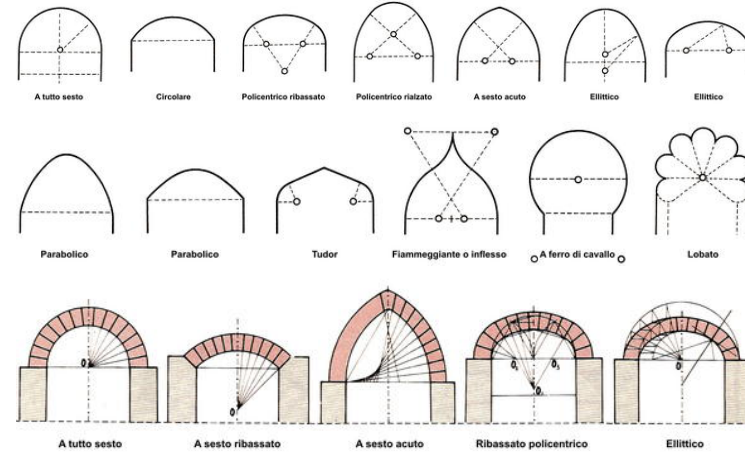


FIG. 8. TIPOLOGIE DI ARCHI



FIG. 9. ARCHI IN MURATURA SOSTENUTI DA COLONNE



FIG. 10. VOLTA A VELA DELL'OSPEDALE DEGLI INNOCENTI DI FILIPPO BRUNELLESCHI



FIG. 11. VOLTA A CUPOLA DELLA BASILICA DI SUPERGA



FIG. 12. VOLTA A CROCIERA

SIMILE A UNA CUPOLA, CON BASE QUADRATA

- **VOLTA A CUPOLA** È UNA VOLTA A CALOTTA CON BASE POLIGONALE, CIRCOLARE O ELLITTICA E PROFILO A SEMICERCHIO, PARABOLA OPPURE OVOIDALE
- **VOLTA A CROCIERA** È FORMATA DALL'UNIONE LONGITUDINALE DI DUE VOLTE A BOTTE
- **VOLTA A LUNETTA** INTERSEZIONE DI DUE VOLTE A BOTTE AVENTI RAGGIO DIVERSO
- **VOLTA A PADIGLIONE** VOLTA A CROCIERA SENZA GLI ARCHI PERIMETRALI
- **VOLTA ROMANA** (DETTA ANCHE "SCHIFO") VOLTA A PADIGLIONE SEZIONATA DA UN PIANO ORIZZONTALE
- **VOLTA A CRESTE E VELE** VOLTA CARATTERIZZATA DA UNA SUDDIVISIONE IN SPICCHI TRAMITE COSTOLONI

1.2. PROPRIETA' MECCANICHE

NELLE MURATURE LEGATE CON MALTA SI FA IN GENERE RIFERIMENTO AD UN IDEALE MATERIALE OMOGENEO EQUIVALENTE DEL QUALE È POSSIBILE RICAVARE IL LEGAME COSTITUTIVO MEDIANTE PROVE A COMPRESSIONE MONDASSIALE.

IN GENERALE LA CURVA TIPICA FA RIFERIMENTO AD UN'AZIONE VERTICALE ORTOGONALE AI FILARI DI CONCI. TALE CURVA INDICA UNA DEBOLE RESISTENZA A TRAZIONE CON ROTTURA FRAGILE, UN ANDAMENTO NON IDEALE A COMPRESSIONE FINO AL RAGGIUNGIMENTO DELLA MASSIMA SOLLECITAZIONE ED UN SUCCESSIVO RAMO DISCENDENTE CHE SI CONSIDERA, CONVENZIONALMENTE, FINO AD UNA ASSEGNATA RIDUZIONE DELLA SOLLECITAZIONE MASSIMA. L'ATTENZIONE ALLA DEFORMABILITÀ DEL MATERIALE, CHE PUR NELLA SUA SPECIFICITÀ CORRISPONDE AD UNA SORTA DI DUTTILITÀ, RISPONDE AL MODERNO APPROCCIO DELL'ANALISI STRUTTURALE NEI PROBLEMI SISMICI.

IL LEGAME COSTITUTIVO È INFLUENZATO DAI COMPORTAMENTI DEI DUE MATERIALI COMPONENTI LA MURATURA, OVVERO LA MALTA E IL LATERIZIO. IL RISULTATO OTTENUTO RISENTE DELLE CARATTERISTICHE DEI DUE MATERIALI COMPONENTI, MA NEL SUO COMPLESSO NON MANIFESTA UN COMPORTAMENTO MEDIO TRA I DUE. INNANZITUTTO LA DIVERSA DEFORMABILITÀ DI MALTA E LATERIZIO SONO RESPONSABILI DI STATI TENSIONALI IN GENERE PLURIASSIALI

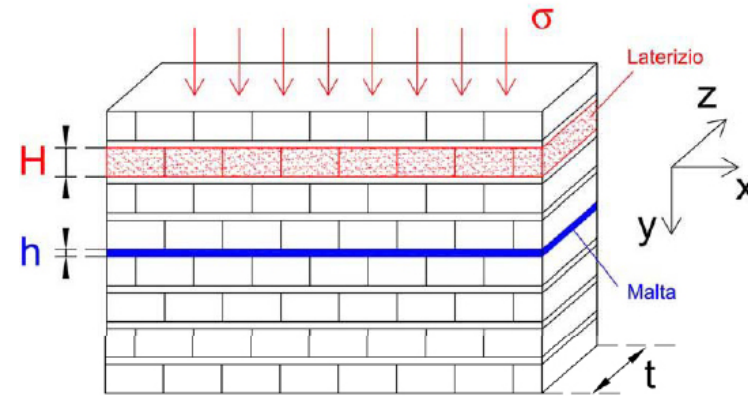


FIG. 13. CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA MURATURA

CHE NE RENDONO COMPLESSO IL COMPORTAMENTO.

IN SECONDO LUOGO LA PRESENZA DI DIREZIONI PREFERENZIALI NEL MATERIALE CONFERISCONO ALLA MURATURA UN CARATTERE FORTEMENTE ORTOTROPO, PER CUI LA RESISTENZA NON DIPENDE SOLO DALL'ENTITÀ DEI CARICHI APPLICATI, MA ANCHE DALLA LORO DIREZIONE.

IN CASO DI INTERVENTI SU EDIFICI ESISTENTI È FONDAMENTALE CONOSCERE IL COMPORTAMENTO MECCANICO DELLA MURATURA IN ESAME. PER OTTENERE QUESTI VALORI SI FA USO DI PROVE STRUMENTALI INVASIVE COME I MARTINETTI PIATTI E DOPPI.



FIG. 14 - 15 - 16 . DANNI CAUSATI DA TERREMOTI

1.3. RISPOSTA SISMICA DELLE MURATURE

IL DANNEGGIAMENTO DELLA STRUTTURA PRODOTTO DAL SISMA DETERMINA UN INCREMENTO DI DEFORMABILITÀ E QUINDI DEL PERIODO PROPRIO. IL DANNO DETERMINA UN INCREMENTO DELLO SMORZAMENTO STRUTTURALE E QUINDI UNA RIDUZIONE DELLE ORDINATE SPETTRALI. A TUTTO QUESTO CONSEGUE LA RIDUZIONE DELLE AZIONI SULLA STRUTTURA. GRAZIE A TALE COMPORTAMENTO, NONOSTANTE LA SCARSA DUTTILITÀ DEI SINGOLI ELEMENTI STRUTTURALI DI UN EDIFICIO IN MURATURA, TALI COSTRUZIONI PRESENTANO RISERVE DI DUTTILITÀ ANCHE ELEVATE.

PER EFFETTO DELLE TENSIONI DI TRAZIONE PRODOTTE DAL TAGLIO O DALLA FLESSIONE LA MURATURA SI FESSURA DANDO ORIGINE A MODALITÀ DI COLLASSO DI VARIO TIPO. LE PRINCIPALI POSSONO RIASSUMERSI COME SEGUE:

1. **DISGREGAZIONE DELLA TESSITURA MURARIA** (DISTACCO DI PARAMENTI ESTERNI)
2. **COLLASSO DELLA PARETE FUORI DAL SUD PIANO** (DISSESTI PER SPINTE LOCALIZZATE, RIBALTAMENTO DEI MASCHI MURARI NON COLLEGATI ADEGUATAMENTE)
3. **COLLASSO DELLA PARETE NEL SUD PIANO** (COLLASSO PER TAGLIO, PER SCORRIMENTO, PER FLESSIONE).

1.4. TIPOLOGIE DI DANNO

NELLE COSTRUZIONI IN MURATURA ESISTENTI, SOTTOPOSTE AD AZIONE SISMICA, SI POSSONO MANIFESTARE MECCANISMI DI DANNO LOCALE E GLOBALE. QUELLI LOCALI INTERESSANO SINGOLI PANNELLI MURARI O PIÙ AMPIE PORZIONI E SONO CONCENTRATI IN UNA ZONA. VENGONO FAVORITI DALL'ASSENZA O DALLA SCARSA EFFICACIA DEI COLLEGAMENTI TRA MURI E TRA PERETI ED ORIZZONTAMENTI. I MECCANISMI GLOBALI SONO QUELLI CHE INTERESSANO L'INTERA COSTRUZIONE E IMPEGNANO I PANNELLI MURARI PREVALENTEMENTE NEL LORO PIANO. LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA DEVE CONSIDERARE ENTRAMBI I MECCANISMI DI DANNO.

1.4.1. DISGREGAZIONE DELLA TESSITURA MURARIA

IL TRASFERIMENTO DELLE FORZE IN UNA PARETE IN MURATURA AVVIENE ATTRAVERSO IL CONTATTO DEGLI ELEMENTI IN LATERIZIO CHE LA COSTITUISCONO. AL CRESCERE DI TALE INGRANAMENTO CRESCE LA CAPACITÀ DEL MURO DI ASSUMERE UN COMPORTAMENTO MONOLITICO SOTTO L'AZIONE DI FORZE ORIZZONTALI. L'INGRANAMENTO È MAGGIORE PER MURI IN CUI LA POSA DEGLI ELEMENTI È REALIZZATA "A REGOLA D'ARTE".

SPESSE UNA PARETE MURARIA È COSTITUITA DA DUE PARAMENTI (UNO PIÙ ESTERNO E UNO INTERNO) RIEMPI TI ALL'INTERNO CON MATERIALE

DI SCARTO, PIETRISCO, ECC. PER GARANTIRE IL COMPORTAMENTO MONOLITICO DELLA SINGOLA PARETE SONO DI NOTEVOLE IMPORTANZA I COLLEGAMENTI (TRA PARAMENTI, TRA SOLAI E MURATURE, ECC.). INFATTI È NECESSARIO GARANTIRE LA DISTRIBUZIONE DEI CARICHI VERTICALI A TUTTO LO SPESSORE DELLA PARETE. IN ASSENZA DI COLLEGAMENTI TRA PARAMENTO ESTERNO ED INTERNO I CARICHI RISULTEREBBERO APPLICATI SOLO AL PARAMENTO ESTERNO, INNESCANDO COSÌ FENOMENI DI INSTABILITÀ PER CARICO DI PUNTA.



FIG. 17. ESEMPIO DI DISGREGAZIONE DELLA MURATURA

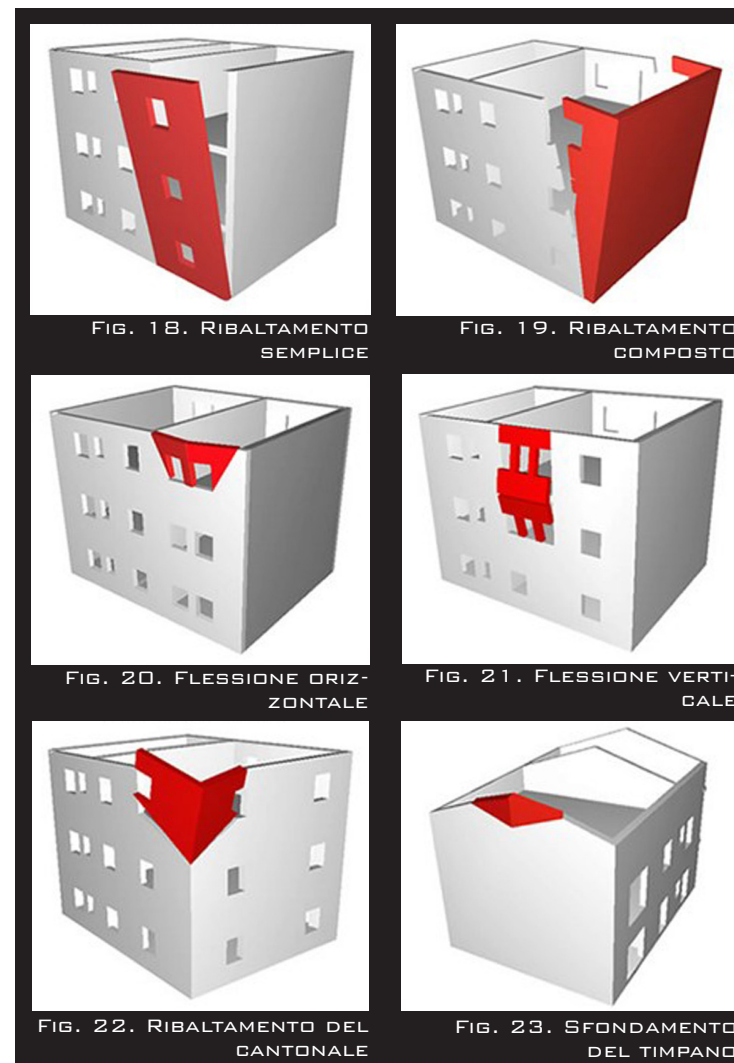


FIG. 18. RIBALTAMENTO SEMPLICE

FIG. 19. RIBALTAMENTO COMPOSTO

FIG. 20. FLESSIONE ORIZZONTALE

FIG. 21. FLESSIONE VERTICALE

FIG. 22. RIBALTAMENTO DEL CANTONALE

FIG. 23. SFONDAMENTO DEL TIMPANO

1.4.2. COLLASSO FUORI DAL PIANO

IL RIBALTAMENTO SI VERIFICA QUANDO UNA PARETE NON È BEN AMMORSATA AI SOLAI O ALLE PARETI ORTOGONALI A ESSA. PUÒ RIGUARDARE ANCHE SOLO PARTI DI PARETE IN PRESENZA DI APERTURE O DI FESSURAZIONI PREESISTENTI. IL RIBALTAMENTO PUÒ INVOLGERE ANCHE PARTE DELLA PARETE ORTOGONALE E QUESTO DERIVA DALLA MANCANZA DI UN VINCOLO ALLA TESTA DELLA PARETE, DALLA PRESENZA DI APERTURE NELLA PARETE ORTOGONALE E DALLA QUALITÀ DELLA MURATURA CHE LA COSTITUISCE.

I DANNEGGIAMENTI DOVUTI A FLESSIONE VERTICALE SI VERIFICANO QUANDO UNA PARETE È VINCOLATA AGLI ESTREMI E LIBERA AL CENTRO E IN ASSENZA DI COLLEGAMENTO AI SOLAI INTERMEDI. QUESTO MECCANISMO È CONOSCIUTO ANCHE COME COMPORTAMENTO AD ARCO DELLE MURATURE. SI PUÒ ANCHE VERIFICARE PER LA PORZIONE DI PARETE COMPRESA TRA DUE SOLAI BEN VINCOLATI AD ESSA.

I SOLAI DEVONO ASSOLVERE LA FUNZIONE DI RIPARTIZIONE DELLE AZIONI ORIZZONTALI ALLE PARETI STRUTTURALI, PER QUESTO DEVONO ESSERE BEN COLLEGATI AI MURI.

I DANNI DOVUTI A FLESSIONE ORIZZONTALE SI VERIFICANO IN PARETI FORTEMENTE TRATTENUTE LATERALMENTE DA TIRANTI. LA FLESSIONE ORIZZONTALE È INOLTRE FAVORITA DALLA PRESENZA DI COPERTURE SPINGENTI O ALL'AZIONE DI MARTELLAMENTO DELLE TRAVI DI COPERTURA SULLA SOMMITÀ DELLA PARETE, DALLA SCARSA RESISTENZA A TRAZIONE DELLA MURATURA CHE DETERMINA L'ESPULSIONE DEL MATERIALE CHE COSTITUISCE LA FACCIA ESTERNA (TESA) DELLA PARETE.

1.4.3. COLLASSO NEL SUO PIANO

I MECCANISMI DI COLLASSO PRECEDENTI POSSONO VERIFICARSI IN PRESENZA DI SFORZI NOTEVOLMENTE INFERIORI ALLE MASSIME RISORSE DI RESISTENZA DELLE MURATURE. SE LA STRUTTURA PRESENTA BUONI COLLEGAMENTI TRA LE SUE PARTI E QUINDI HA UN COMPORTAMENTO SCATOLARE LIMITANDO I MECCANISMI DI COLLASSO DELLE PARETI FUORI DAL LORO PIANO, LA RESISTENZA DELLA STRUTTURA DIPENDE DAL COMPORTAMENTO DELLE PARETI NEL LORO PIANO.

TUTTO IL CARICO ORIZZONTALE VIENE QUINDI TRASFERITO (IN MANIERA PROPORZIONALE ALLA RIGIDEZZA) ALLE PARETI PARALLELE ALLA DIREZIONE DEL SISMA. I MECCANISMI DI COLLASSO DEI **PANNELLI MURARI** POSSONO ESSERE PER **SCORRIMENTO**, **FESSURAZIONE DIAGONALE** (SUPERAMENTO DELLA MASSIMA TENSIONE DI TRAZIONE) E **FLESSIONE** (SUPERAMENTO DELLA MASSIMA TENSIONE DI COMPRESSIONE).

IL COLLASSO A TAGLIO DEI **MASCHI MURARI** SI VERIFICA SOLITAMENTE NEL CASO DI EDIFICI MOLTO BASSI E CARATTERIZZATI DA FASCE DI INTERPIANO CON ELEVATA RIGIDEZZA. IN COSTRUZIONI DI MAGGIORE ALTEZZA E/O CON FASCE DI INTERPIANO DI MINORE RIGIDEZZA LA COMPARSA DI FESSURE DIAGONALI SI VERIFICA IN CORRISPONDENZA DELLE FASCE DI PIANO.

I MECCANISMI DI COLLASSO DELLE **FASCE MURARIE** SONO COME QUELLI DEI PANNELLI,



FIG. 24. COLLASSO NEL PIANO DI UN EDIFICIO A MIRANDOLA DOPO IL RECENTE SISMA CHE HA COLPITO L'EMILIA



FIG. 25-26. ESEMPI DI COLLASSO NEL SUO PIANO. MECCANISMO DI ROTTURA PER TAGLIO

CON LA SOLA DIFFERENZA CHE LE FASCE MURARIE HANNO SCARSA RESISTENZA A TAGLIO PER TRAZIONE DIAGONALE E PER SCORRIMENTO A CAUSA DEI VALORI MODESTISSIMI DELL'AZIONE ASSIALE SOTTO LE APERTURE. QUINDI I MECCANISMI DI RIBALTAMENTO DEVONO ESSERE EFFICACEMENTE CONTRASTATI MEDIANTE CORDOLI O TIRANTI. QUESTO PORTA ALLA FESSURAZIONE DELLE FASCE DI PIANO PER VALORI ANCHE MODESTI DELLE AZIONI ORIZZONTALI. IN SEGUITO ALLA FESSURAZIONE SI FORMANO DELLE COLONNE DI MURATURA TRA LE APERTURE CHE PER EFFETTO DELLE FORZE ORIZZONTALI TENDONO A RIBALTARSI. IL RIBALTAMENTO VIENE PERÒ CONTRASTATO DALLE FASCE DI PIANO. IN TALI CONDIZIONI I MECCANISMI DI COLLASSO DELLE FASCE MURARIE SONO:

1. **ROTTURA DEL PUNTONE COMPRESSO** (ANALOGO ALLA ROTTURA A PRESSOFLESSIONE DEL MASCHIO)
2. **ROTTURA PER TAGLIO**

PER EVITARE QUESTI TIPI DI COLLASSI È IMPORTANTE L'UTILIZZO DI ELEMENTI RESISTENTI A TRAZIONE, COME CATENE O CORDOLI IN CALCESTRUZZO ARMATO, DISPOSTI A LIVELLO DELLE FASCE PER RESISTERE ALLA TRAZIONE INCREMENTANDO LA RESISTENZA A FLESSIONE.

1.5. CARATTERISTICHE PER UN BUON COMPORTAMENTO IN PRESENZA DI SISMA

DOVENDO ANALIZZARE DEGLI EDIFICI IN MURATURA CHE POTENZIALMENTE POTREBBERO ESSERE SOGGETTI AD AZIONI SISMICHE, È IMPORTANTE VALUTARE ALCUNI ASPETTI CHE NE DETERMINANO IL COMPORTAMENTO E QUINDI IL GRADO DI STABILITÀ E SICUREZZA.

1.5.1. COMPORTAMENTO SCATOLARE

LE COSTRUZIONI IN MURATURA SONO COMPOSTE DA TANTI ELEMENTI SINGOLI. PER FAR SI CHE TALI ELEMENTI COLLABORINO TRA LORO E TRASFERISCANO LE FORZE AGENTI SULLA STRUTTURA A TUTTO L'EDIFICIO SONO MOLTO IMPORTANTI I COLLEGAMENTI. I COLLEGAMENTI CONFERISCONO ALLA STRUTTURA UN **COMPOSTAMENTO SCATOLARE**, OVVERO L'EDIFICIO SI COMPORTA COME UNA SCATOLA, COME SE FOSSE COMPOSTO DA UN UNICO ELEMENTO E NON DA TANTI SINGOLI.

I COLLEGAMENTI TRA LE PARETI SONO IMPORTANTI PER GARANTIRE IL COMPORTAMENTO SCATOLARE DELLA STRUTTURA EVITANDO IL DISTACCO DELLE PARETI POSTE PERPENDICOLARMENTE ALLA DIREZIONE DEL SISMA.

I COLLEGAMENTI TRA LE PARETI E SOLAI SONO FONDAMENTALI PER TRASMETTERE L'AZIONE SISMICA DAGLI IMPALCATI ALLE PARETI VERTICALI E PER EVITARE FENOMENI DI RIBALTAMENTO. NEL

CASO DI MANGANZA DI QUESTO TIPO DI COLLEGAMENTO LE FORZE INVECE CHE AGIRE SULL'INTERPIANO AGIRANNO SULL'INTERA L'ALTEZZA.

LA RIGIDEZZA DEI SOLAI È IMPORTANTE PER:

1. COLLEGARE LE PARETI SOLLECITATE DAL SISMA EVITANDONE IL RIBALTAMENTO
 2. DISTRIBUIRE LE FORZE PROPORZIONALMENTE ALLA RIGIDEZZA DEGLI ELEMENTI, IMPONENDOGLI UGUALI SPOSTAMENTI.
- IMPALCATI RIGIDI E PESANTI SU MURATURE DI SCARSA QUALITÀ POSSONO PROVOCARE DISSESTI LOCALI È QUINDI IMPORTANTE TENERE CON-

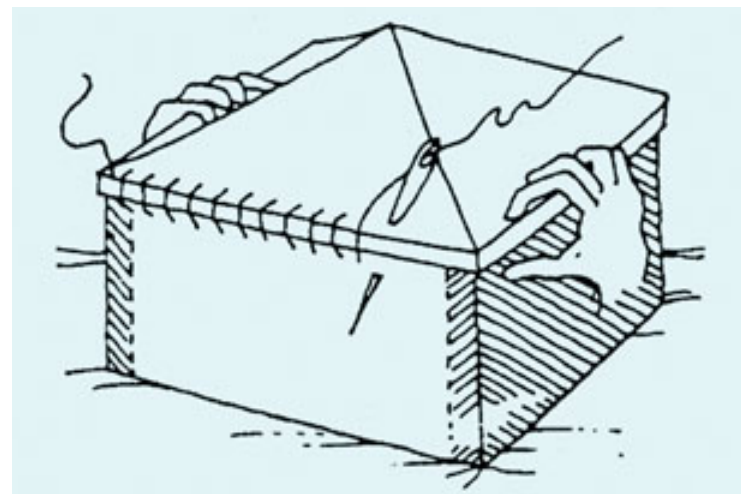


FIG. 27. COMPORTAMENTO SCATOLARE

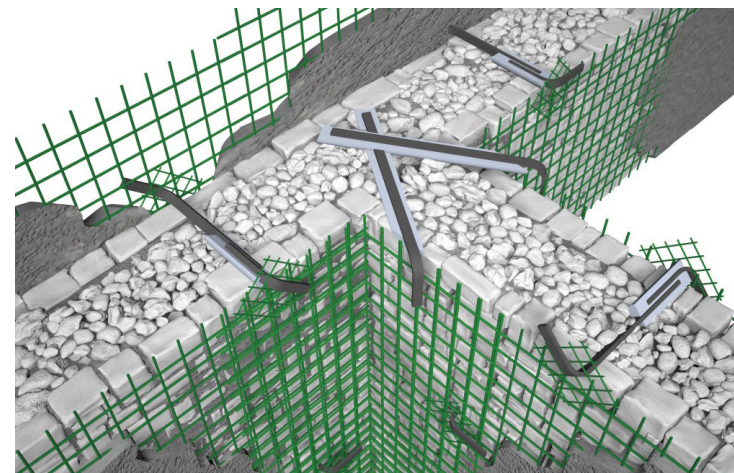


FIG. 28. COLLEGAMENTI TRA PARAMENTI E RINFORSO STRUTTURALE CON RETE IN FIBRA DI VETRO

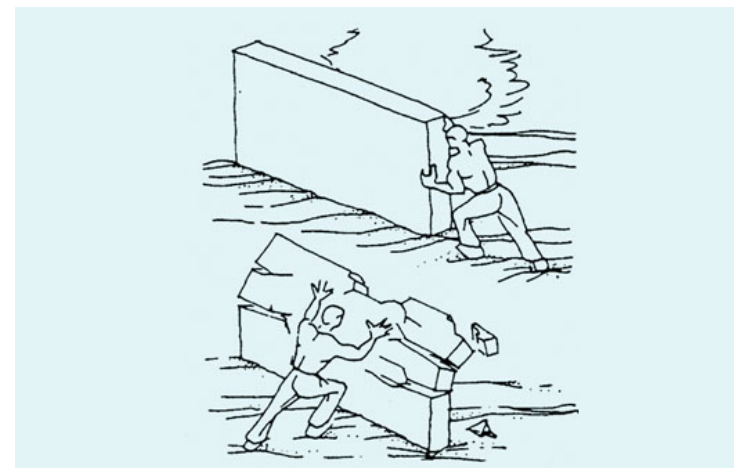


FIG. 29. COMPORTAMENTO DI UNA SINGOLA PARETE SOTTO AZIONE ORIZZONTALE



FIG. 30. CATENE DI COLLEGAMENTO DELLE VOLTE

TO DELLE CARATTERISTICHE DELLE PARETI SOTTOGLI ORIZZONTAMENTI.

LE NORME PONGONO DEI LIMITI ALLE ALTEZZE DEI MASCHI MURARI PER **RIDURRE LA SNELLEZZA DELLE PARETI**, EVITANDO COSÌ FENOMENI DI INSTABILITÀ.

IL SISMA INCREMENTA LE AZIONI ORIZZONTALI DOVUTE AD **ELEMENTI SPINGENTI** PRESENTI NELLE COSTRUZIONI IN MURATURA (ARCHI, VOLTE E COPERTURE SPINGENTI) INNESCANDO FENOMENI DI RIBALTAMENTO. L'INTENSITÀ DEL SISMA AUMENTA ALL'AUMENTARE DELLA MASSA DI QUESTI ELEMENTI. LA SPINTA DEVE ESSERE CONTRASTATA DA DISPOSITIVI EFFICACI COME CATENE, CONTRAFFORTI, PIEDRITTI, ECC.

1.5.2. REGOLARITÀ

LA MURATURA ESSENDO POCO DUTTILE PERMETTE POCHE SPOSTAMENTI E DEFORMAZIONI E SE LA RICHIESTA SUPERA LA DISPONIBILITÀ ALLORA AVVIENE IL COLLASSO. RIDUCENDO LA RICHIESTA DI DUTTILITÀ ATTRAVERSO LA REGOLARITÀ SI RIDUCONO GLI SPOSTAMENTI.

LA FORZA DEL SISMA VIENE APPLICATA AL CENTRO DI MASSA DELL'EDIFICIO E VIENE ALLO STESSO TEMPO CONTRASTATA DA UNA FORZA APPLICATA NEL CENTRO DI RIGIDEZZA. SE QUESTI DUE CENTRI COINCIDONO SI INNESCHERÀ UNA TRASLAZIONE DELL'EDIFICIO IN MANIERA UNIFORME. SE IN DUE CENTRI NON COINCIDONO LA COPPIA DI FORZE CREA UN MOMENTO TORCENTE GENERANDO UNA ROTAZIONE E SPOSTAMENTI DIFFERENZIALI DELL'EDIFICIO. PIÙ GRANDE È LA DISTANZA I DUE CENTRI, MAGGIORE È LA ROTAZIONE, CON SPOSTAMENTI PIÙ ELEVATI NELLA ZONA PIÙ DEBOLE E DEFORMABILE. LA PRESENZA DI SOLAI DI TIPOLOGIA E RIGIDEZZA DIFFERENTE NEL PROPRIO PIANO, DOVUTA PER ESEMPIO A INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO SU SOLAI ESISTENTI (AD ESEMPIO PORZIONE DI SOLAIO IN LEGNO CONSOLIDATA CON GETTO DI SOLETTA IN CALCESTRUZZO) PUÒ DETERMINARE UN ALLONTANAMENTO DEL BARICENTRO DELLE MASSE DA QUELLO DELLE RIGIDEZZE E QUINDI UN INCREMENTO DELLE AZIONI TORCENTI. È QUINDI MOLTO IMPORTANTE AVVICINARE IL PIÙ

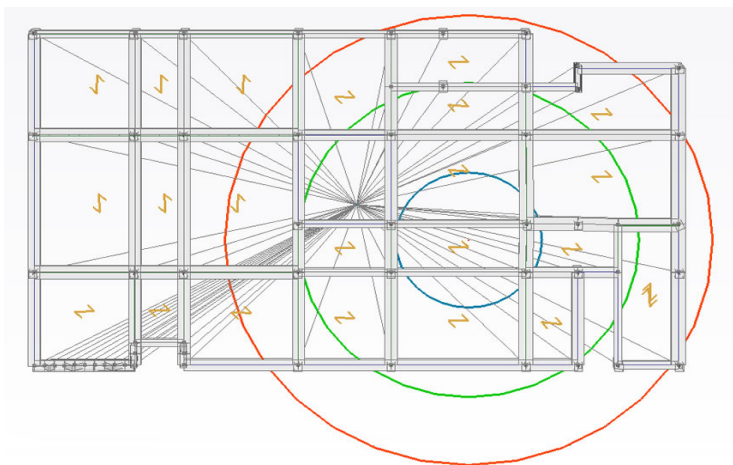


FIG. 31. IL CENTRO DI MASSA E IL CENTRO DI RIGIDEZZA (DENTRO IL CERCHI BLU) SONO DISTANTI CREANDO UN MOMENTO TORCENTE

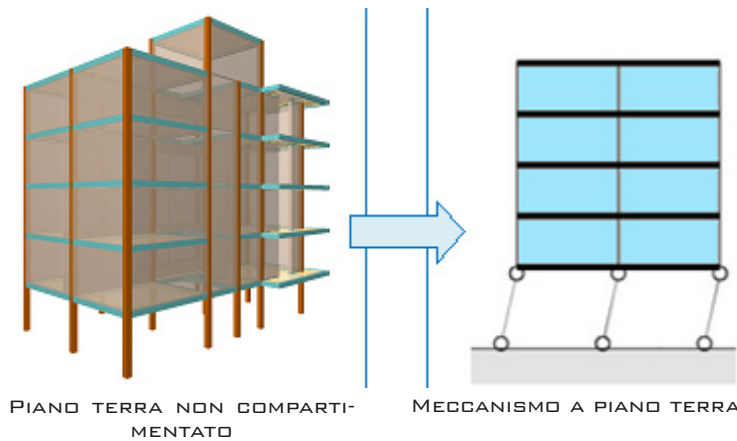
POSSIBILE IL CENTRO DI MASSA E QUELLO DI RIGIDEZZA DIMINUENDO COSÌ LA RICHIESTA DI DUTTILITÀ IN CASO DI SISMA.

È INOLTRE FONDAMENTALE CHE LE PARETI (ELEMENTI CON RIGIDEZZA ELEVATA) SIANO DISPOSTE IN ENTRAMBE LE DIREZIONI DELL'EDIFICIO IN MODO DA GARANTIRE L'ASSORBIMENTO DELLE AZIONI ORIZZONTALI PROVENIENTI DA QUALUNQUE DIREZIONE, ESSENDO IL SISMA UN EVENTO IMPREVEDIBILE.

OLTRA ALLA **REGOLARITÀ IN PIANTA** UN EDIFICIO IN MURATURA, PER AVERE UN BUON COMPORTAMENTO IN CASO DI SISMA, DEVE ESSERE



DANNI A PIANO TERRA



PIANO TERRA NON COMPARTIMENTATO

MECCANISMO A PIANO TERRA

FIG. 32. LA DISTRIBUZIONE NON UNIFORME DELLE RIGIDEZZE TRA PIANI SI TRADUCE IN MEGLIORI AZIONI INTERNE NEI PILASTRI NEI PIANI MENO RIGIDI, POTENDO DAR LUOGO A ROTTURE FRAGILI

REGOLARE ANCHE IN ALTEZZA. IN UN EDIFICIO IN MURATURA LA MANGANZA DI REGOLARITÀ IN ELEVATO PUÒ ESSERE DIPESA DA: VARIAZIONE DEGLI SPESSORI DEI MURI, DALLA VARIAZIONE DELLE APERTURE, DALLA PRESENZA DI MURATURE PORTANTI APPOGGIATE IN FALSO SUI SOLAI. GIOCA UN RUOLO FONDAMENTALE ANCHE LA DISTRIBUZIONE DELLE MASSE, CHE SE MINORE IN UN PIANO RISPETTO A GLI ALTRI, VA A CREARE IL COSIDETTO **PIANO DEBOLE** CHE RISCHIA DI COLLASSARE SU SE STESSO IN CASO DI SISMA. SE LA MASSA È INVECE CONCENTRATA AL PIANO PIÙ ALTO (**STRUTTURE A PENDOLO INVERTITO**), SALE IL CENTRO DELLE MASSE E IN CASO DI SISMA AUMENTA IL RISCHIO DI RIBALTAMENTO. GLI ELEMENTI RESISTENTI DOVREBBERO ESTENDERSI SENZA INTERRUZIONI E SENZA PERDITÀ DI MASSA DALLE FONDAZIONI ALLA SOMMITÀ DELL'EDIFICIO. MASSA E RIGIDEZZA DEVONO ESSERE COSTANTI LUNGO L'ALTEZZA O GRADUALMENTE DECRESCENTI DAL BASSO VERSO L'ALTO.

UN ULTERIORE CAUSA DI DANNI CONSEGUENTI ALL'EVENTO SISMICO È L'ACCOSTAMENTO DI PARTI CON RIGIDEZZA E RESISTENZA DIVERSE. QUESTA DIFFERENZA DETERMINA PERIODI DI OSCILLAZIONE DIVERSI DELLE DUE PARTI. LA PARTE PIÙ DEFORMABILE PERMETTE MAGGIORI SPOSTAMENTI PROVOCANDO UN EFFETTO DI MANTELLAMENTO SULLA PARTE PIÙ RIGIDA CON CONSEGUENTE DANNO.

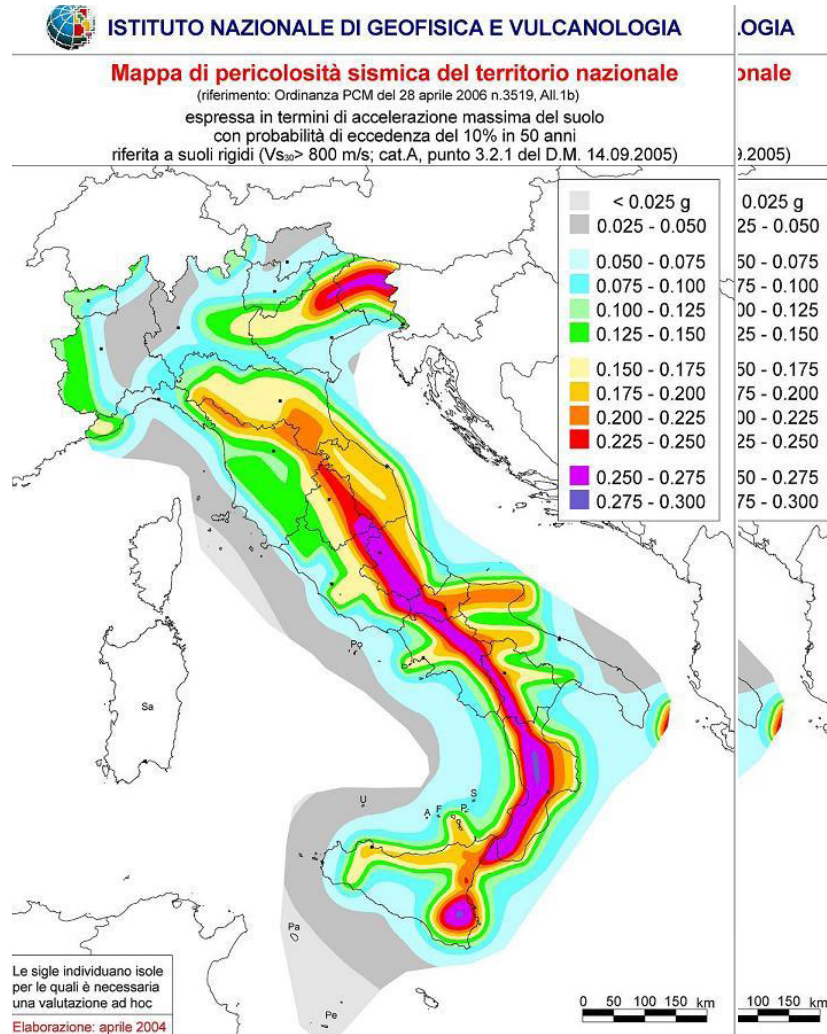
1.6. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

DOPO GLI EVENTI SISMICI CHE HANNO COLPITO IL CENTRO ITALIA NEGLI ANNI '90 E L'EMISSIONE DI NUOVE NORME, L'INTERO TERRITORIO ITALIANO È CONSIDERATO AD ALTO RISCHIO SISMICO FATTA ECCEZIONE DELLA SARDEGNA. L'ATTUALE QUADRO NORMATIVO A CUI SI FA RIFERIMENTO È IL SEGUENTE:

- **NTC 2008** DECRETO MINISTERIALE D.M. DEL 14 GENNAIO 2008, NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI.
- **CIRC 2009** CIRCOLARE SULLE NUOVE NORME TECNICHE PER LA COSTRUZIONI, DI CUI AL D.M. 14 GENNAIO 2008. GU. 29 DEL 04/02/2008 (SUPPL. ORD. N.30).
- **DIR 2011** DIRETTIVA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI DEL 9 FEBBRAIO 2011. VALUTAZIONE E RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO DEL PATRIMONIO CULTURALE CON RIFERIMENTO ALLE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI DI CUI AL DECRETO DEL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI DEL 14 GENNAIO 2008. CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI. BOZZA AGGIORNATA AL 7 MARZO 2008.
- **LG (LINEE GUIDA)** PER LA VALUTAZIONE E RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO DEL PATRIMONIO CULTURALE ALLINEATE ALLE NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (D.M. 14 GENNAIO 2008). G.U. N. 24 DEL 29 GENNAIO 2008 (SUPPL. ORD. N. 25). DIRETTIVA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI DEL 12 OTTOBRE 2007.

LO SPETTRO DI RISPOSTA DEFINISCE IL MOTO SISMICO DI UN LUOGO A PARTIRE DALLE COORDINATE GEOGRAFICHE DELL'EDIFICIO, DALLE CARATTERISTICHE GEOLOGICO-STRATIGRAFICHE E TOPOGRAFICHE DEL SITO E DA UNA SERIE DI PARAMETRI CHE DIPENDONO DELLE CARATTERISTICHE PROPRIE DEL MANUFATTO E DEL SUO USO.

PER UN BENE CULTURALE NON È PRESCRITTO IL RAGGIUNGIMEN-

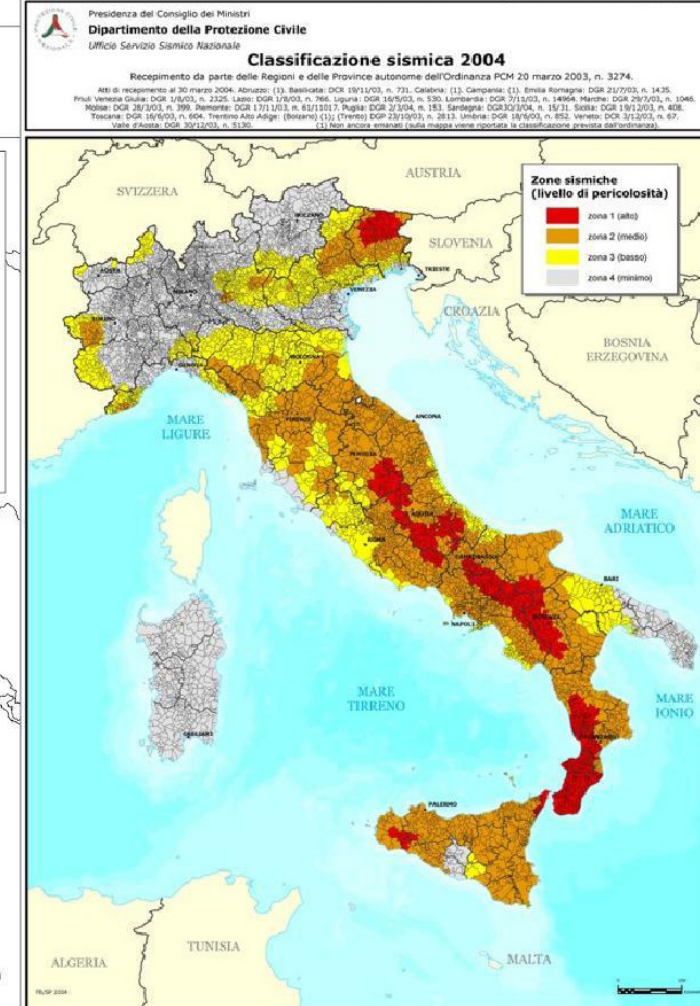


OGIA

onale

2005)

elaborazione immagine EdilNotizie.it (Lug.09)



TO DI UN PREFISSATO LIVELLO DI SICUREZZA, PER CUI IN FASE INIZIALE SI ASSUME UN VALORE DI VITA UTILE PARI A 50 ANNI COME PRESCRITTO NELLE NTC 2008 PER LE OPERE ORDINARIE. IN TAL CASI QUESTO VALORE PUÒ ESSERE ADOTTATO ESSENDO UN VALORE INTERMEDIO CHE PERMETTE DI GARANTIRE LA CONSERVAZIONE DEL BENE IN CASO DI AZIONI SISMICHE CON UN TEMPO DI RITORNO PIUTTOSTO ELEVATO, MA SENZA DOVER EFFETTUARE UNA VERIFICA SISMICA COSÌ GRAVOSA DA RENDERE NECESSARIA L'ESECUZIONE DI INTERVENTI TROPPO INVASIVI NEI RIGUARDI DELL'OPERA.

È FONDAMENTALE LA PREVENZIONE DEGLI EDIFICI NEI CONFRONTI DEL SISMA. PER PREVENIRE È NECESSARIO CONOSCERE UN EDIFICIO. DA MOLTO TEMPO SI DISCUTE SULL'EVENTUALITÀ DI REDIGERE UNA LEGGE PER FAR FRONTE ALLA PROBLEMATICHE SISMICA DEI CENTRI STORICI. QUESTE NORME SARANNO COGENTI SE INSERITE ALL'INTERNO DELLE NORME TECNICHE DI ATTUAZIONE DEI PIANI DI RECUPERO O IN APPOSITI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE URBANISTICA. CI SI VUOLE PORRE COME OBIETTIVO (DIFFICILE DA RAGGIUNGERE MA NON IMPOSSIBILE) L'ATTRIBUZIONE, A TUTTI GLI EDIFICI ESISTENTI, DI UNA CLASSE DI PRESTAZIONE DELL'EDIFICIO IN CASO DI SISMA. A TAL PROPOSITO È POSSIBILE RIFERIRSI AI LIVELLI DI SICUREZZA DESCRITTI NELLE NTC2008: A+, A, B1, B2, C1, C2, D1, D2, D3, E. DOVE A CLASSE A+ È QUELLA DI MASSIMA SICUREZZA ANTISISMICA, MENTRE LA E È QUELLA CON MAGGIOR RISCHIO. QUESTE CLASSI PERMETTONO A QUALUNQUE INDIVIDUO DI VALUTARE E CONFRONTARE LA PRESTAZIONE ANTISISMICA DELL'EDIFICIO IN QUESTIONE. LA PROCEDURA DI QUALIFICAZIONE SISMICA SI COMPONE DI DUE MOMENTI:

1. ANALISI DEI PRINCIPALI ELEMENTI VULNERABILI DELL'EDIFICIO (SCHEDE CHE SI PONGONO L'OBIETTIVO DI COGLIERE SITUAZIONI DI DEBOLEZZA CHE SFUGGONO AI CALCOLI)
2. VERIFICHE NUMERICHE SEMPLIFICATE

1.7. PROCEDURA PER LA PROGETTAZIONE DELL'INTERVENTO

PER EFFETTUARE UN BUON INTERVENTO È NECESSARIA UN'ADEGUATA E APPROFONDATA CONOSCENZA DEL MANUFATTO. LE FASI DI LAVORO PER ARRIVARE A QUESTO OBIETTIVO SONO:

1. **ANALISI STORICO - CRITICA** (PROCESSO DI REALIZZAZIONE, SUCCESSIVE MODIFICAZIONI SUBITE NEL TEMPO, GLI EVENTI CHE LO HANNO INTERESSATO)
2. **RILIEVO** (GEOMETRIA, ELEMENTI COSTRUTTIVI, STRUTTURE IN ADERENZA, MODIFICAZIONI INTERVENUTE NEL TEMPO, STRUTTURA PORTANTE, QUALITÀ E LO STATO DI CONSERVAZIONE DEI MATERIALI, DISTESSI)
3. **CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI** (DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE, ISPEZIONI VISIVE, INDAGINI SPERIMENTALI IN SITU E IN LABORATORIO)
4. **COMPARAZIONE DEI DATI RICAVATI** (LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA)
4. **VALUTAZIONE DELL'INDICE DI SICUREZZA SISMICA**
5. **INTERVENTO** (PIANIFICAZIONE DELL'INTERVENTO, PROVE SU CAMPIONI PER VERIFICARE LA COMPATIBILITÀ E EFFICACIA DELL'INTERVENTO, VALUTAZIONE DI SICUREZZA POST-INTERVENTO, INFINE MONITORAGGIO NEL TEMPO DELL'INTERVENTO PER VERIFICARNE GLI EFFETTI) IN ACCORDO COL PRINCIPIO DI MINIMO INTERVENTO E CONSERVAZIONE DEL VALORE CULTURALE ARCHITETTONICO DEL BENE.

“LA SCELTA DEL TIPO, DELLA TECNICA, DELL'ENTITÀ E DELL'URGENZA DELL'INTERVENTO DIPENDE



FIG. 34. È IMPORTANTE PROGETTARE L'INTERVENTO PIÙ ADEGUATO

DAI RISULTATI DELLA PRECEDENTE FASE DI VALUTAZIONE, DOVENDO MIRARE PRIORITARIAMENTE A CONTRASTARE LO SVILUPPO DI MECCANISMI LOCALI E/O DI MECCANISMI FRAGILI E, QUINDI, A MIGLIORARE IL COMPORTAMENTO GLOBALE DELLA COSTRUZIONE. IN GENERALE DOVRANNO ESSERE VALUTATI E CURATI GLI ASPETTI SEGUENTI:

- RIPARAZIONE DI EVENTUALI DANNI PRESENTI
- RIDUZIONE DELLE CARENZE DOVUTE AD ERRORI GROSSOLANI;
- MIGLIORAMENTO DELLA CAPACITÀ DEFORMATIVA (“DUTTILITÀ”) DI SINGOLI ELEMENTI,
- RIDUZIONE DELLE CONDIZIONI CHE DETERMINANO SITUAZIONI DI FORTE IRREGOLARITÀ DEGLI EDIFICI, IN TERMINI DI MASSA, RESISTENZA E/O RIGIDEZZA, ANCHE LEGATE ALLA PRESENZA DI ELEMENTI NON STRUTTURALI;
- RIDUZIONE DELLE MASSE, ANCHE MEDIANTE DEMOLIZIONE PARZIALE O VARIAZIONE DI DESTINAZIONE

RILIEVO DELLA **VULNERABILITÀ SISMICA** CON TECNOINDAGINI



FIG. 35. OBIETTIVO PER TUTTI GLI EDIFICI È LA SICUREZZA DELLE VITE, QUALITÀ DELL'ABITARE E RISPETTO PER L'AMBIENTE. PER GLI EDIFICI ESISTENTI È IMPORTANTE PREVENIRE E QUINDI CONOSCERE PER LIMITARE I RISCHI



FIG. 36. ESEMPIO DI INIEZIONI NELLA MURATURA PER MIGLIORARE LA RESISTENZA

- D'USO,
- RIDUZIONE DELL'IMPEGNO DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI ORIGINALI MEDIANTE L'INTRODUZIONE DI SISTEMI D'ISOLAMENTO O DI DISSIPAZIONE DI ENERGIA,
- RIDUZIONE DELL'ECCESSIVA DEFORMABILITÀ DEGLI ORIZZONTAMENTI,
- MIGLIORAMENTO DEI COLLEGAMENTI DEGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI,
- INCREMENTO DELLA RESISTENZA DEGLI ELEMENTI VERTICALI RESISTENTI, TENENDO EVENTUALMENTE CONTO DI UNA POSSIBILE RIDUZIONE DELLA DUTTILITÀ GLOBALE PER EFFETTO DI RINFORZI LOCALI
- REALIZZAZIONE, AMPLIAMENTO, ELIMINAZIONE DI GIUNTI SISMICI O INTERPOSIZIONE DI MATERIALI ATTI AD ATTENUARE GLI URTI.
- MIGLIORAMENTO DEL SISTEMA DI FONDAZIONE, OVE NECESSARIO”¹.

“PER LE STRUTTURE IN MURATURA, INOLTRE, DOVRANNO ESSERE VALUTATI E CURATI GLI ASPETTI SEGUENTI:

- MIGLIORAMENTO DEI COLLEGAMENTI TRA SOLAI E PARETI O TRA COPERTURA E PARETI E FRA PARETI CONFLUENTI IN MARTELLI MURARI ED ANGOLATE.
- RIDUZIONE ED ELIMINAZIONE DELLE SPINTE NON CONTRASTATE DI COPERTURE, ARCHI E VOLTE;
- RAFFORZAMENTO DELLE PARETI INTORNO ALLE APERTURE”².

NOTE

1. NTC 2008. CAP.8.7.4, P.333-334
2. NTC2008. CAP.8.7.4, P.334

1.8. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA PER COSTRUZIONI ESISTENTI

LE COSTRUZIONI ESISTENTI SONO QUELLE LA CUI STRUTTURA RISULTA COMPLETAMENTE REALIZZATA ALLA DATA DELLA REDAZIONE DELLA VALUTAZIONE DI SICUREZZA E/O DEL PROGETTO DI INTERVENTO. LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA, PER LE COSTRUZIONI ESISTENTI, DEVE ESSERE EFFETTUATA OGNI VOLTA CHE SI ESEGUONO INTERVENTI STRUTTURALI E PUÒ ESSERE ESEGUITA CON RIFERIMENTO AI SOLI **STATI LIMITE ULTIMI**:

- **SLV** (SALVAGUARDIA DELLA VITA UMANA)
- **SLC** (STATO LIMITE DI COLLASSO)

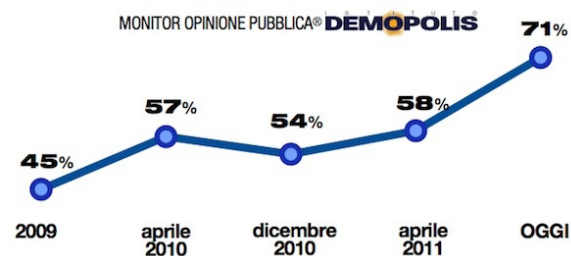
IN PARTICOLARE LE SITUAZIONI IN CUI È NECESSARIA LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SONO:

- RIDUZIONE EVIDENTE DELLA CAPACITÀ RESISTENTE E/O DEFORMATIVA DELLA STRUTTURA O DI ALCUNE SUE PARTI DOVUTA AD AZIONI AMBIENTALI (SISMA, VENTO, NEVE E TEMPERATURA), SIGNIFICATIVO DEGRADO E DECADIMENTO DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI, AZIONI ECCEZIONALI (URTI, INCENDI, ESPLOSIONI), SITUAZIONI DI FUNZIONAMENTO ED USO ANOMALO, DEFORMAZIONI SIGNIFICATIVE IMPOSTE DA CEDIMENTI DEL TERRENO DI FONDAZIONE;
- PROVATI GRAVI ERRORI DI PROGETTO O DI COSTRUZIONE;
- CAMBIO DELLA DESTINAZIONE D'USO DELLA

COSTRUZIONE O DI PARTI DI ESSA, CON VARIAZIONE SIGNIFICATIVA DEI CARICHI VARIABILI E/O DELLA CLASSE D'USO DELLA COSTRUZIONE;

- INTERVENTI NON DICHIARATAMENTE STRUTTURALI, QUALORA ESSI INTERAGISCANO, ANCHE SOLO IN PARTE, CON ELEMENTI AVENTI FUNZIONE STRUTTURALE E, IN MODO CONSISTENTE, NE RIDUCANO LA CAPACITÀ O NE MODIFICHINO LA RIGIDEZZA.”³.

La percezione del rischio sismico



Le cognizioni dei cittadini sui luoghi abitualmente frequentati

La sua sede di lavoro è costruita con criteri anti-sismici?



FIG. 37. PERCEZIONE DEL RISCHIO SISMICO DA PARTE DELLE PERSONE

Stelle di sicurezza Criteri di assegnazione

- ☆☆☆☆☆ Sito inidoneo (presenza di gravi criticità di sito di secondo livello)
- ★☆☆☆☆ Sito idoneo (assenza pericolosità indotte di secondo livello)
- ★★☆☆☆ Prestazione strutturale almeno in classe D
- ★★★☆☆ Prestazione strutturale almeno in classe C con assenza di evidenze di potenziali effetti strutturali locali, non strutturali e/o funzionali critici
- ★★★★☆ Prestazione strutturale almeno in classe B e assenza di criticità non strutturali
- ★★★★★ Assenza criticità funzionali



- Edificio non controllato
- Edificio controllato Indice non pubblicato
- Edificio verificato Rischio contenuto
- Edificio controllato Alto rischio

FIG. 38. ESEMPI DI CLASSIFICAZIONI DI RISCHIO SISMICO

VENGONO INDIVIDUATI TRE DIVERSI **LIVELLI DI VALUTAZIONE**:

- **LV1** PER LE VALUTAZIONI DI SICUREZZA DA EFFETTUARSI A SCALA TERRITORIALE SU TUTTI I BENI CULTURALI TUTELATI TRAMITE MODELLI SEMPLIFICATI;
- **LV2** PER LE VALUTAZIONI DA ADOTTARE IN PRESENZA DI INTERVENTI LOCALI SU ZONE LIMITATE DEL MANUFATTO TRAMITE METODI DI ANALISI LOCALE
- **LV3** PER IL PROGETTO DI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO CHE INCIDANO SUL FUNZIONAMENTO STRUTTURALE COMPLESSIVO O QUANDO VENGA COMUNQUE RICHIESTA UN'ACCURATA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DEL MANUFATTO (USO DI METODI DI ANALISI LOCALE E GLOBALE).

IL PROGETTISTA DEVE ESPlicitARE I LIVELLI DI SICUREZZA GIÀ PRESENTI E QUELLI RAGGIUNTI DOPO L'INTERVENTO. "LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA DEVE PERMETTERE DI STABILIRE SE:

- L'USO DELLA COSTRUZIONE POSSA CONTINUARE SENZA INTERVENTI;
- L'USO DEBBA ESSERE MODIFICATO (DECLASSAMENTO, CAMBIO DI DESTINAZIONE E/O IMPOSIZIONE DI LIMITAZIONI E/O CAUTELE NELL'USO);
- SIA NECESSARIO PROCEDERE AD AUMENTARE O RIPRISTINARE LA CAPACITÀ PORTANTE.”⁴.

NOTE

3. NTC 2008. CAP.8.3, P.328

4. NTC2008. CAP.8.3, P.328

1.9. TIPOLOGIE D'INTERVENTO

SI POSSONO CLASSIFICARE GLI INTERVENTI IN TRE CATEGORIE:

- **ADEGUAMENTO** PER CONFORMARSI AI LIVELLI DI SICUREZZA PREVISTI DALLE RECENTI NORME (OBBLIGATORI NEL CASO DI SOPRAELEVAZIONI, SIGNIFICATIVE MODIFICHE STRUTTURALI, CAMBI D'USO)
- **MIGLIORAMENTO** PER INCREMENTARE LA SICUREZZA STRUTTURALE SENZA NECESSARIAMENTE RAGGIUNGERE I LIVELLI RICHIESTI DALLA NORMATIVA. "PER I BENI DI INTERESSE CULTURALE IN ZONE DICHIARATE A RISCHIO SISMICO, AI SENSI DEL COMMA 4 DELL'ART. 29 DEL D. LGS. 22 GENNAIO 2004, N. 42 "CODICE DEI BENI CULTURALI E DEL PAESAGGIO", È IN OGNI CASO POSSIBILE LIMITARSI AD INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO EFFETTUANDO LA RELATIVA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA."⁵.
- **RIPARAZIONI O INTERVENTI LOCALI** CHE INTERESSANO ELEMENTI ISOLATI, PER MIGLIORARE LE CONDIZIONI DI SICUREZZA.

NOTE

5. NTC 2008. CAP.8.4, P.329



FIG. 39. PARTICOLARE DELLE CATENE SOTTO LE VOLTE PER CONTRASTARE LE SPINTE ORIZZONTALI



FIG. 40. PARTICOLARE DELL'INTERVENTO PROVVISORIO IN LEGNO PER LA MESSA IN SICUREZZA



FIG. 41. PARTICOLARE DELL'INTERVENTO DI RINFORZO DELLA VOLTA IN FIBRE DI CARBONIO



FIG. 42. PARTICOLARE DELLA RETE IN FIBRA DI VETRO PER IL RINFORZO STRUTTURALE

1.10. INTERVENTI DI RINFORZO STRUTTURALE

AD OGGI ESISTONO UN'INFINITÀ DI TECNICHE E MATERIALI DA UTILIZZARE A TAL SCOPO, ED È UN CAMPO IN CONTINUA EVOLUZIONE E SPERIMENTAZIONE.

I RICERCATORI, LE AZIENDE STANNO SEMPRE DI PIÙ SPECIALIZZANDOSI CERCANDO INTERVENTI SEMPRE PIÙ COMPATIBILI E MENO INVASIVI, PUR GARANTENDO LA MASSIMA EFFICACIA.

I VARI TIPI DI INTERVENTO SI POSSONO SUDDIVIDERE IN:

- **TECNICHE, MATERIALI ED ELEMENTI STRUTTURALI AGGIUNTIVI** CHE MIGLIORANO CAPACITÀ RESISTENTE COMPLESSIVA DELLA STRUTTURA
- **MATERIALI E TECNICHE** CHE PENETRANO ALL'INTERNO DELLA MATERIA ORIGINARIA AGENDO IN MODO DIFFUSO E MIGLIORANDONE LA RESISTENZA

NON ESISTE LA TECNICA PERFETTA, PER OGNUNO ESISTONO PRO E CONTRO. PER QUESTO BISOGNA SCEGLIERE LA TECNICA E IL MATERIALE D'INTERVENTO CHE SI RITIENE PIÙ OPPORTUNO IN UN DETERMINATO EDIFICIO AVENDO GIÀ ACQUISITO UNA VASTA CONOSCENZA DEL FABBRICATO STESSO. PERTANTO OGNI CASO È DA VALUTARE SINGOLARMENTE E NON SI POSSONO UTILIZZARE DATI E SOLUZIONI PROVVENIENTI DA PRECEDENTI INTERVENTI SENZA UN'ATTENTA VALUTAZIONE.

LE CHIESE

SONO EDIFICI DEDICATI AL CULTO RELIGIOSO CRISTIANO.

2.1. GENNI STORICI

LE PRIME COMUNITÀ CRISTIANE IN ITALIA ERA VITTIME DI NUMEROSE PERSECUZIONI DA PARTE DEI ROMANI, QUINDI ERANO COSTRETTE A TENERE NASCOSTO IL LORO CULTO. VISTA L'IMPOSSIBILITÀ DI PROFESSARE LA LORO FEDE IN PUBBLICO, I PRIMI CRISTIANI SI RIUNIVANO IN CATACOMBE O CASE PRIVATE (**DOMUS ECCLESIAE**, OVVERO CASE DELLA COMUNITÀ), FINO ALL'EDITTO DI COSTANTINO DEL 313 CHE HA CONCESSO LIBERTÀ DI CULTO NELL'IMPERO.

CON L'EDITTO DI TESSALONICA DEL 380 EMANATO DALL'IMPERATORE TEODOSIO, IL CULTO CRISTIANO, DIVENTA L'UNICA RELIGIONE AD ESSERE PROFESSATA NELL'IMPERO. PERTANTO ERA NECESSARIO TROVARE UN EDIFICIO IDONEO AD OSPITARE I RITI CRISTIANI. VIENE ADOTTATO IL **MODELLO BASILICALE ROMANO** IN QUANTO EDIFICIO PUBBLICO E NON FUNZIONALE AD UN ALTRO CULTO RELIGIOSO. L'EDIFICIO BASILICALE ROMANO VIENE MODIFICATO PER RENDERLO ADEGUATO ALLA PROFESSIONE DEL CULTO CRISTIANO:

- SPOSTAMENTO DELLA PORTA D'INGRESSO SUL LATO CORTO CON PERCORRENZA INTERNA



FOTO. 43. SAN PIETRO A ROMA



FIG. 44. CHIESA DI PADRE PIO A SAN GIOVANNI ROTONDO DI RENZO PIANO

PREVALENTEMENTE LONGITUDINALE

- LOCALIZZAZIONE DELL'ALTARE, SPESSO DOTATO DI ABSIDE, SUL LATO CORTO OPPOSTO ALL'INGRESSO

- TRA LA NAVATA E L'ALTARE SPESSO VIENE POSTA UNA NAVATA MINORE TRASVERSALE, CHIAMATA TRANSETTO, CHE RENDE LA PIANTA DELL'EDIFICIO SIMILE AD UNA GROCE

- SPESSO LE PARETI VENGONO RICOPERTE DA CICLI DI MOSAICI O AFFRESCHI, CHE SMATERIALIZZANO LO SPAZIO.

IL MEDIOEVO È IL PERIODO PIÙ FLORIDO PER L'ARCHITETTURA ECCLESIASTICA, CHE SEGUE REGOLE, GEOMETRICHE, MATEMATICHE ED ASTRONOMICHE BEN PRECISE (AD ESEMPIO L'ABSIDE DOVEVA ESSERE ORIENTATO AD EST, OVVERO LA DIREZIONE DEL SORGERE DEL SOLE; IN TAL MODO L'INGRESSO PRINCIPALE ERA POSIZIONATO A OVEST, IN MODO CHE I FEDELI, ENTRATI NELL'EDIFICIO, CAMMINASSERO MUOVENDOSI VERSO ORIENTE A SIMBOLEGGIARE L'ASCESA DI CRISTO SULLA GROCE).

NELL'ALTO MEDIOEVO LE CHIESE NON SONO DI GRANDI DIMENSIONI. IL TERRITORIO RURALE VIENE SUDDIVISO IN PLEBANATI CON A CAPO UNA PIEVE E CON CHIESE FIGLIALI DIPENDENTI. NELLE CITTÀ, SOPRATTUTTO DOPO L'ANNO MILLE (NELL'ETÀ DETTA ROMANICA) ASSUMONO IMPORTANZA LE CATTEDRALI (CHIESE IN CUI RISIEDA IL VESCOVO). L'ARTE ROMANICA VEDE MOLTE VARIAZIONI DOVUTE A DIFFERENZE LOCALI, CRONOLOGICHE E MATERICHE (PIETRE, A



FIG. 45. DUOMO DI MODENA. ESEMPIO DI ARCHITETTURA ROMANICA IN ITALIA



FIG. 46. DUOMO DI MILANO È UNO DEI POCCHI, MA SPETTACOLARI, ESEMPI DI ARCHITETTURA NEOGOTICA IN ITALIA

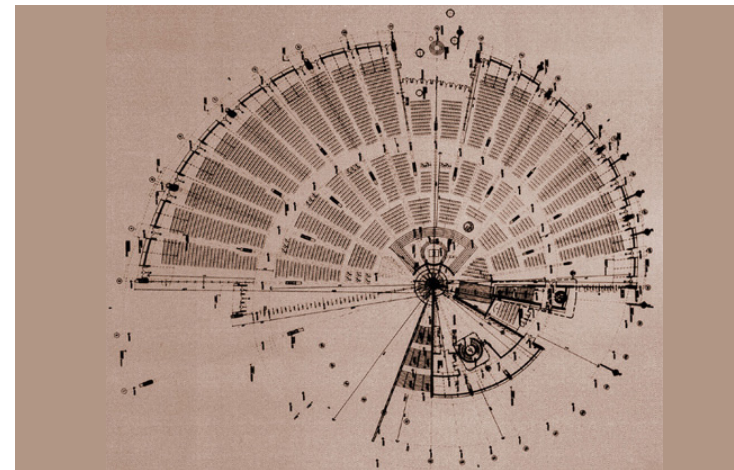


FIG. 47. PIANTA DELLA CHIESA DI PADRE PIO A SAN GIOVANNI ROTONDO DI RENZO PIANO

VOLTE DI FIUME, MATTONI, ECC.)

NEL XII SECOLO IN FRANCIA, L'ARCHITETTURA ECCLESIASTICA SUBISCE UN'IMPORTANTE TRASFORMAZIONE CON L'AVVENTO DEL GOTICO. QUESTO NUOVO STILE UTILIZZA NUOVE TECNICHE DI COSTRUZIONE CHE PERMETTEVANO DI COSTRUIRE EDIFICI PIÙ ALTI (USO DELL'ARCO ACUTO E VOLTA A CROCIERA), SIMBOLO DI ELEVAZIONE VERSO DIO. IL GOTICO ESALTA GLI ELEMENTI COSTRUTTIVI, E NEI MIGLIORI ESEMPI DI CATTEDRALI GOTICHE (IN GERMANIA, FRANCIA E INGHILTERRA), L'ELEMENTO DECORATIVO COINCIDE SPESSO CON QUELLO STRUTTURALE. L'IMPIEGO DELLO STILE GOTICO HA AVUTO

MOLTA DIFFUSIONE IN TUTTA EUROPA TRANNE CHE IN ITALIA, DOVE IL SUO UTILIZZO È STATO LIMITATO.

LE PRIME CHIESE ERANO SPOGLIE E AUSTERE FINO AL PERIODO BAROCCO IN CUI RAGGIUNGO L'APICE NELLE DECORAZIONI DIVENTANDO RICCHE E SFARZOSE.

TRA IL '700 E L'800 VI FU UN FORTE IMPULSO NELL'EDILIZIA ECCLESIASTICA, MOLTE CHIESE VENNERO RISTRUTTURATE E AMPIATE, CAMBIANDO SPESSO L'ESTETICA SECONDO I CANONI DELL'EPOCA. IL PENSIERO ILLUMINISTA, IN REAZIONE AGLI STILI BAROCCO E ROCOCO, SVILUPPÒ L'INTERESSE PER L'ARTE ANTICA, PRENDE FORMA QUINDI UN NUOVO STILE NEOCLASSICO CHE RIPROPONEVA FORME, PROPORZIONI E REGOLE COMPOSITIVE DERIVANTI DAL PERIODO GRECO-ROMANO.

CON IL MOVIMENTO MODERNO, È ANDATO PERSO IL "IL TIPO", ED ANCHE GLI EDIFICI PER IL CULTO HANNO SUBITO QUESTO IMPORTANTE CAMBIAMENTO CULTURALE. OGNI EDIFICIO HA CARATTERISTICHE DIVERSE DAGLI ALTI, ED È INFLUENZATO DA ALTRI FATTORI COME IL CONTESTO, IL LUOGO, I MATERIALI, LE TECNOLOGIE, LA SENSIBILITÀ DEL PROGETTISTA E LA CULTURA DEL LUOGO. LA PROGETTAZIONE NON È PIÙ SUBORDINATA A REGOLE GEOMETRICHE O CANONI STILISTICI, MA MANTIENE COME PUNTO FERMO L'ADOZIONE DI FORTI SIGNIFICATI SIMBOLICI, COME L'USO DELLA LUCE O IL RICORSO A FORME NATURALI.

2.2. VALUTAZIONE DEL COMPORTAMENTO SISMICO DELLE CHIESE

PER QUANTO RIGUARDA L'ANALISI STRUTTURALE E LE VERIFICHE DI VULNERABILITÀ SISMICA LE CHIESE, NON ESSENDO COMPOSTE DA ORIZZONTAMENTI, COME TUTTE LE ALTRE TIPOLOGIE DI EDIFICI, VENGONO STUDIATE A PARTE. LE LINEE GUIDA TRATTANO DI QUESTO ARGOMENTO IN UN SOTTOCAPITOLO SPECIFICO.

IL COMPORTAMENTO SISMICO DI QUESTI EDIFICI PUÒ ESSERE STUDIATO ATTRAVERSO LA SCOMPOSIZIONE DI ESSO IN MACROELEMENTI (PORZIONI ARCHITETTONICHE). QUESTA PROCEDURA RISULTA POSSIBILE IN QUANTO TALI ELEMENTI HANNO UN COMPORTAMENTO CHE SI PUÒ CONSIDERARE AUTONOMO RISPETTO ALLA CHIESA NELLA SUA TOTALITÀ. QUESTI MACROELEMENTI POSSO SUDDIVIDERSI IN: FACCIATA, ABSIDE, CAMPANILE, CUPOLA, ECC.

SOLO NEL CASO DI CHIESE A Pianta CENTRALE ABBAZANZA SIMMETRICHE IN Pianta E DOTATE DI OMOGENEITÀ COSTRUTTIVA E BUONA CONNESSIONE TRA GLI ELEMENTI È UTILE PROCEDERE CON UN MODELLO COMPLESSIVO DELL'EDIFICIO; PUR SEMPRE VERIFICANDO LE AZIONI DOVUTE AD ELEMENTI SPINGENTI QUALI VOLTE, ARCHI E COPERTURE. NELLA MAGGIOR PARTE DEI CASI È MEGLIO PROCEDERE CON VERIFICHE LOCALI DEI SINGOLI MACROELEMENTI.

PER PROGETTARE UN INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO È NECESSARIA UNA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA CHE PRENDA IN CONSIDERAZIONE SIA I DANNI CHE LA CHIESA HA MANIFESTATO IN PASSATO, SIA I DETTAGLI COSTRUTTIVI RIGUARDANTI LA RISPOSTA AD

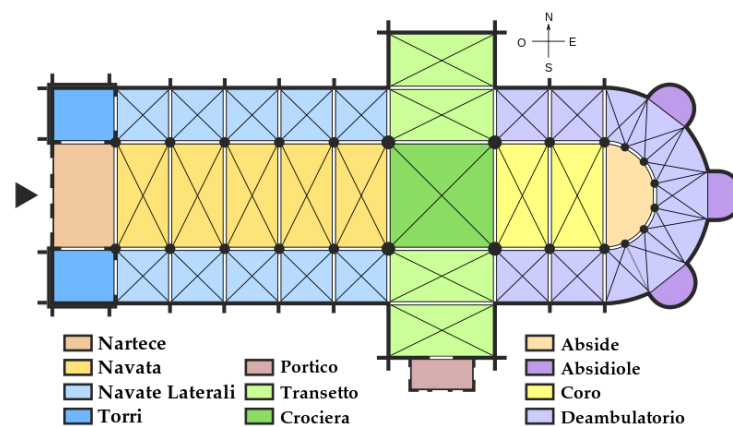


FIG. 48. ELEMENTI COMPONENTI UNA CHIESA

AZIONI ORIZZONTALI.

“NEL CASO DI INTERVENTI DI RIPARAZIONE E MIGLIORAMENTO A SEGUITO DI UN EVENTO SISMICO, L'INDIVIDUAZIONE DEI MACROELEMENTI E DEI CORRISPONDENTI MECCANISMI DI COLLASSO, DOVRÀ NECESSARIAMENTE ESSERE CORRELATA AL FUNZIONAMENTO ACCERTATO ATTRAVERSO LA LETTURA DEL DANNO SISMICO.”⁶

PER PROGETTARE UN INTERVENTO DI PREVENZIONE DEL DANNO SISMICO L'ANALISI DEI DETTAGLI COSTRUTTIVI PUÒ FACILITARE L'INDIVIDUAZIONE DEI MACROELEMENTI E DEI MECCANISMI DI DANNO ATTIVABILI. NEGLI EDIFICI ESISTENTI DOVRÀ ESSERE VALUTATA PRELIMINARMENTE LA RIPARTIZIONE DELLE AZIONI SISMICHE ORIZZONTALI TRA I MACROELEMENTI.

NOTE

6. LG. CAP.5.4.3, P.80



FIG. 49. DUOMO DI MODENA

2.3. MECCANISMI DI DANNO PER LE CHIESE

“LA SCHEDA PER IL RILIEVO DEL DANNO E DELLA VULNERABILITÀ DELLE CHIESE È STATA UTILIZZATA NELLE EMERGENZE SISMICHE A PARTIRE DAL 1995; LA NOTEVOLE MOLE DI DATI RACCOLTI (OLTRE 4000 CHIESE) HA CONSENTITO, ATTRAVERSO ELABORAZIONI STATISTICHE, DI STABILIRE UNA RELAZIONE TRA L'AZIONE SISMICA ED IL DANNO, IN FUNZIONE DI UN PARAMETRO DI VULNERABILITÀ DELLA CHIESA. UNA STIMA COSÌ ESEGUITA ASSUME UNA VALENZA PURAMENTE STATISTICA, MA QUESTO APPROCCIO PUÒ ESSERE CONSIDERATO CORRETTO SE (...) RIVOLTO AD INDIRIZZARE VERSO INTERVENTI DI PREVENZIONE. PERALTRO, L'USO DI UN MODELLO UNITARIO, PER VALUTAZIONI DI QUESTA NATURA, CONSENTE UN PIÙ OGGETTIVO CONFRONTO RELATIVO IN TERMINI DI RISCHIO SISMICO”⁷.

SONO STATI ELABORATI 28 MECCANISMI DI DANNO ASSOCIATI A DIVERSI MACROELEMENTI, CUI È POSSIBILE AGGIUNGERNE ALTRI, IN RELAZIONE ALLE CARATTERISTICHE SPECIFICHE DI OGNI SINGOLA CHIESA O DELL'AREA GEOGRAFICA SU CUI SORGE:

1. **RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA**

DISTACCO DELLA FACCIATA O EVIDENTI FUORI PIOMBO.

PRESIDI ANTISISMICI: CATENE LONGITUDINALI, EFFICACI ELEMENTI DI CONTRASTO (CONTRAF-

FORTI, CORPI ADDOSSATI, ALTRI EDIFICI) E BUON AMMORSAMENTO TRA LA FACCIATA E I MURI DELLA NAVATA.

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: ELEMENTI SPINGENTI (PUNTONI DI COPERTURA, ARCHI, VOLTE) E GRANDI APERTURE NELLE PARETI LATERALI IN VICINANZA DEL CANTONALE.

2. **MECCANISMI NELLA SOMMITÀ' DELLA FACCIATA**

RIBALTAMENTO DEL TIMPANO CON LESIONE ORIZZONTALE O A "V". DISGREGAZIONE DELLA MURATURA O SCORRIMENTO DEL CORDOLO. ROTAZIONE DELLE CAPRIATE.

PRESIDI ANTISISMICI: COLLEGAMENTI PUNTUALI CON GLI ELEMENTI DELLA COPERTURA, CONTROVENTI DI FALDA E CORDOLI LEGGERI (METALLICI RETICOLARI, MURATURA ARMATA, ECC.).

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: GRANDI APERTURE (ROSONE), UNA SOMMITÀ A VELA DI GRANDE DIMENSIONE E PESO, CORDOLI RIGIDI, TRAVE DI COLMO IN C.A., COPERTURA PESANTE IN C.A.

3. **MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA**

LESIONI INCLINATE (A TAGLIO). LESIONI VERTICALI O ARGUATE (ROTAZIONE). ALTRE FESSURAZIONI O SPANCIAMENTI.

PRESIDI ANTISISMICI: CATENA IN CONTROFACCIATA. CONTRASTO LATERALE FORNITO DA CORPI ADDOSSATI. CHIESA INSERITA IN AGGREGATO.

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: APERTURE DI

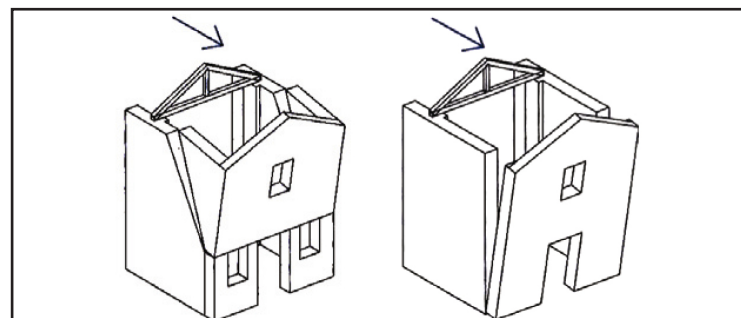


FIG. 50. 1. RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA

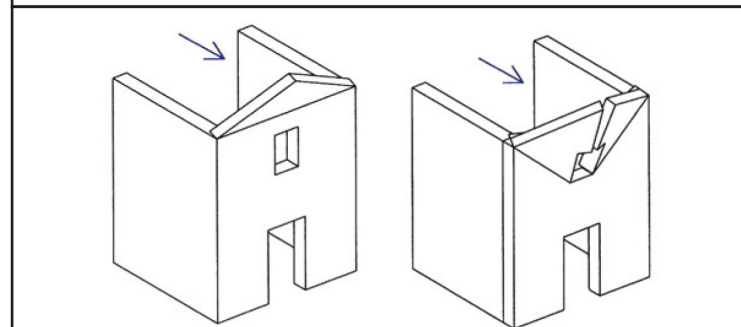


FIG. 51. 2. MECCANISMI NELLA SOMMITÀ DELLA FACCIATA

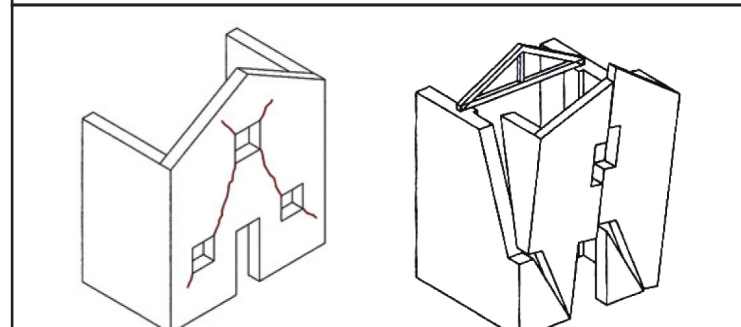


FIG. 52. 3. MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA

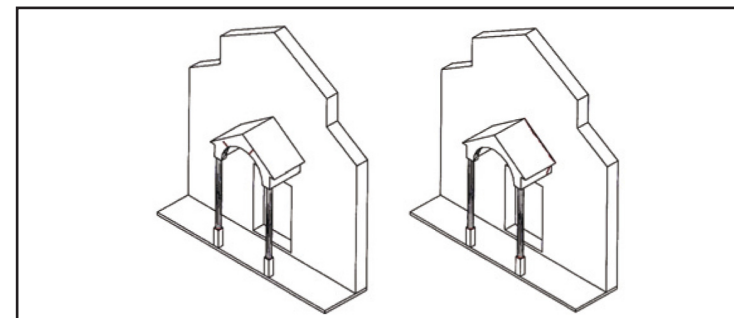


FIG. 53. 4. PROTIRO-NARTECE

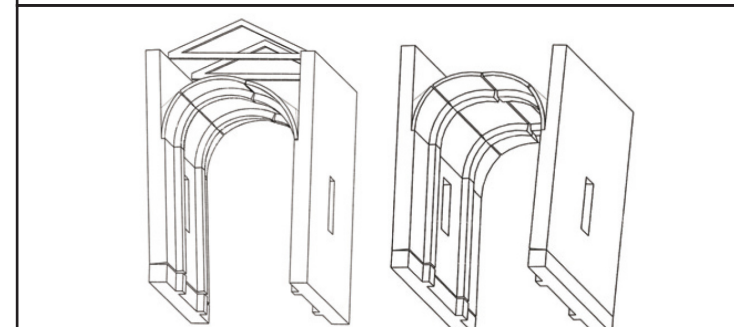


FIG. 54. 5. RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA

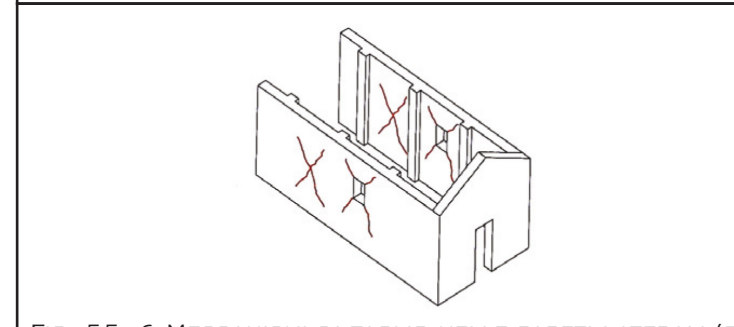


FIG. 55. 6. MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI LATERALI (RISPOSTA LONGITUDINALE)

GRANDI DIMENSIONI IN NUMERO ELEVATO (ANCHE SE TAMPONATE). ELEVATA SNELLEZZA (RAPPORTO ALTEZZA LARGHEZZA).

4. **PROTIRO - NARTECE**

LESIONI NEGLI ARCHI O NELLA TRABEAZIONE PER ROTAZIONE DELLE COLONNE. DISTACCO DELLA FACCIATA. MARTELLAMENTO.

PRESIDI ANTISISMICI: CATENE. COLONNE O PILASTRI DI ADEGUATA DIMENSIONE.

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: ELEMENTI SPINGENTI (ARCHI, VOLTE).

5. **RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA**

LESIONI NEGLI ARCONI (CON EVENTUALE PROSECUZIONE NELLA VOLTA). ROTAZIONE DELLE PARETI LATERALI. LESIONI A TAGLIO NELLE VOLTE. FUORI PIOMBO E SCHIACCIAMENTO DELLE COLONNE.

PRESIDI ANTISISMICI: PARASTE O CONTRAFFORTI ESTERNI. CORPI ANNESSI ADIACENTI. CATENE TRASVERSALI.

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: PARETI CON ELEVATA SNELLEZZA. VOLTE E ARCHI.

6. **MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI LATERALI (RISPOSTA LONGITUDINALE)**

LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE). LESIONI IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ NELLA MURATURA.

PRESIDI ANTISISMICI: MURATURA UNIFORME (UNICA FASE COSTRUTTIVA) E DI BUONA QUALITÀ.

BUONI ARCHITRAVI NELLE APERTURE. CORDOLI LEGGERI (METALLICI RETICOLARI, MURATURA ARMATA, ECC.)

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: GRANDI APERTURE O AMPIE ZONE CON MURATURA DI LIMITATO SPESSORE. CORDOLI IN C.A. MOLTO RIGIDI O COPERTURA PESANTE IN C.A.

7. RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO NELLE CHIESE A PIU' NAVATE

LESIONI NEGLI ARCHI O NEGLI ARCHITRAVI LONGITUDINALI. SCHIACCIAMENTO E/O LESIONI ALLA BASE DEI PILASTRI. LESIONI A TAGLIO NELLE VOLTE DELLE NAVATE LATERALI.

PRESIDI ANTISISMICI: CATENE LONGITUDINALI. CONTRAFFORTI IN FACCIATA.

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: VOLTE PESANTI NELLA NAVATA CENTRALE. COPERTURA PESANTE IN C.A. O CAPPE ARMATE DI SIGNIFICATIVO SPESSORE NELLE VOLTE.

8. VOLTE DELLA NAVATA CENTRALE

LESIONI NELLE VOLTE DELL'AULA CENTRALE. SCONNESSIONI DELLE VOLTE DEGLI ARCONI.

PRESIDI ANTISISMICI: CATENE IN POSIZIONE EFFICACE. RINFRANCHI O FRENELLI.

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: CARICHI CONCENTRATI TRASMESSI DALLA COPERTURA. VOLTE IN FOGLIO, SPECIALMENTE SE SU CAMPATE DI GRANDE LUCE. LUNETTE O INTERRUZIONI ED IRREGOLARITÀ NEL PROFILO DELLE VOLTE.

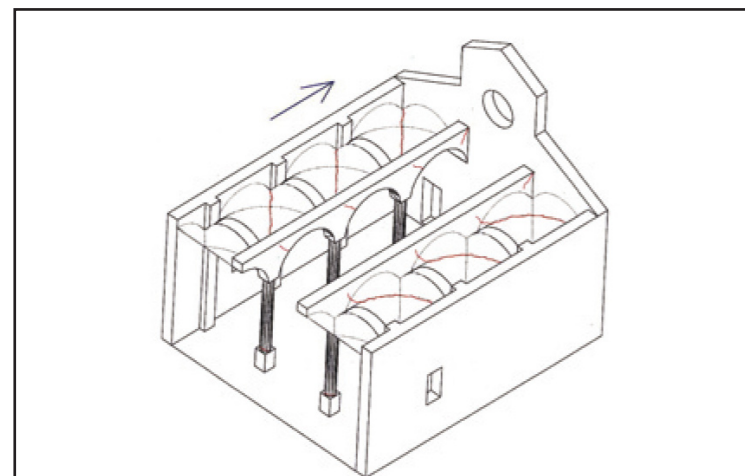


FIG. 56. 7. RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO NELLE CHIESE A PIÙ NAVATE

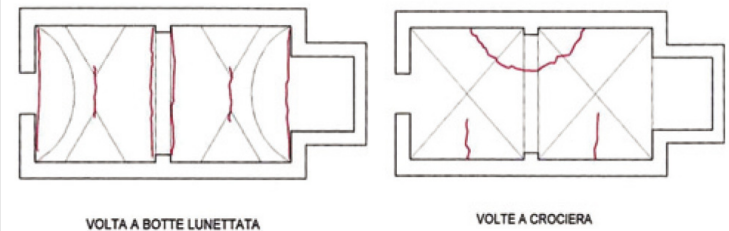


FIG. 57. 8. VOLTE DELLA NAVATA

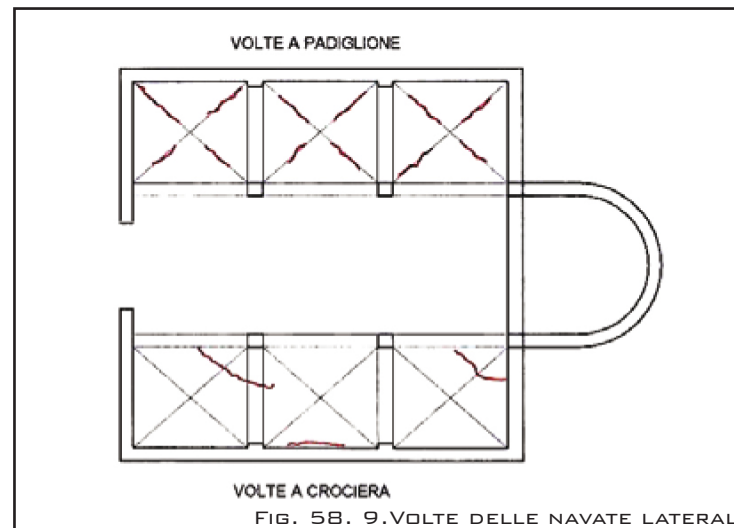


FIG. 58. 9. VOLTE DELLE NAVATE LATERALI

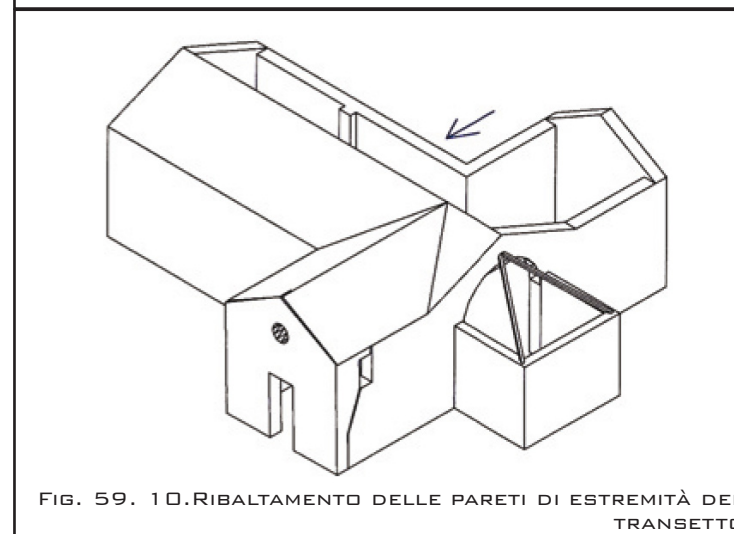


FIG. 59. 10. RIBALTAMENTO DELLE PARETI DI ESTREMITÀ DEL TRANSETTO

9. VOLTE DELLE NAVATE LATERALI

LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONE DEGLI ARCONI O DELLE PARETI LATERALI.

PRESIDI ANTISISMICI: CATENE IN POSIZIONE EFFICACE. RINFRANCHI O FRENELLI.

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: CARICHI CONCENTRATI TRASMESSI DALLA COPERTURA. VOLTE IN FOGLIO, SPECIALMENTE SE SU CAMPATE DI GRANDE LUCE. LUNETTE O INTERRUZIONI ED IRREGOLARITÀ NEL PROFILO DELLE VOLTE.

10. RIBALTAMENTO DELLE PARETI DI ESTREMITÀ DEL TRANSETTO

DISTACCO DELLA PARETE FRONTALE DALLE PARETI LATERALI. RIBALTAMENTO O DISGREGAZIONI DEL TIMPANO IN SOMMITÀ.

PRESIDI ANTISISMICI: CATENE LONGITUDINALI. EFFICACI ELEMENTI DI CONTRASTO (CONTRAFFORTI, CORPI ADDOSSATI, ALTRI EDIFICI). BUON COLLEGAMENTO CON LA COPERTURA (TRAVI-CATENA, CONTROVENTI). AMMORSAMENTO DI BUONA QUALITÀ TRA LA PARETE FRONTALE ED I MURI LATERALI. CORDOLI LEGGERI (METALLICI RETICOLARI, MURATURA ARMATA, ECC.)

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: CORDOLI RIGIDI, TRAVI DI COLMO IN C.A., COPERTURA PESANTE. GRANDI APERTURE NELLA PARETE FRONTALE (ROSONE) E /O IN QUELLE LATERALI. SOMMITÀ A VELA DI GRANDE DIMENSIONE.

11. **MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI DEL TRANSETTO**

LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INGROCIATE). LESIONI ATTRAVERSO DISCONTINUITÀ.

PRESIDI ANTISISMICI: MURATURA UNIFORME (UNICA FASE COSTRUTTIVA) E DI BUONA QUALITÀ. BUONI ARCHITRAVI NELLE APERTURE. CORDOLI LEGGERI (METALLICI RETICOLARI, MURATURA ARMATA, ECC.)

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: CORDOLI RIGIDI O COPERTURA PESANTE. GRANDI APERTURE O AMPIE ZONE CON MURATURA DI LIMITATO SPESORE.

12. **VOLTE DEL TRANSETTO**

LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONE DEGLI ARCONI O DELLE PARETI LATERALI.

PRESIDI ANTISISMICI: CATENE IN POSIZIONE EFFICACE. RINFRANCHI O FRENELLI.

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: CARICHI CONCENTRATI TRASMESSI DALLA COPERTURA. VOLTE IN FOGLIO, SPECIALMENTE SE SU CAMPATE DI GRANDE LUCE. LUNETTE O INTERRUZIONI ED IRREGOLARITÀ NEL PROFILO DELLE VOLTE.

13. **VOLTE TRIONFALI**

LESIONI NELL'ARCO. SCORRIMENTO DI CONCI. SCHIACCIAMENTO O LESIONI ORIZZONTALI ALLA BASE DEI PIEDRITTI.

PRESIDI ANTISISMICI: PARETI IN CONTRASTO EFFICACI (BASSO RAPPORTO LUCE/LARGHEZZA AULA, TRANSETTO, ALTRI CORPI DI FABBRICA). CATENA

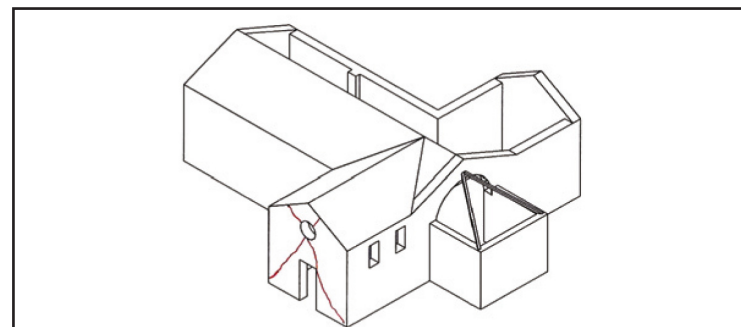


FIG. 60. 11. MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI DEL TRANSETTO

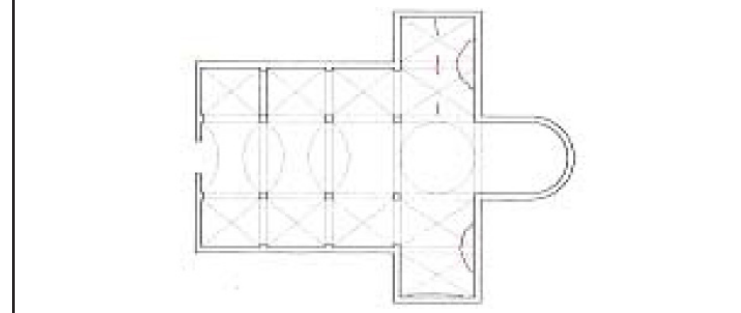


FIG. 61. 12. VOLTE DEL TRANSETTO

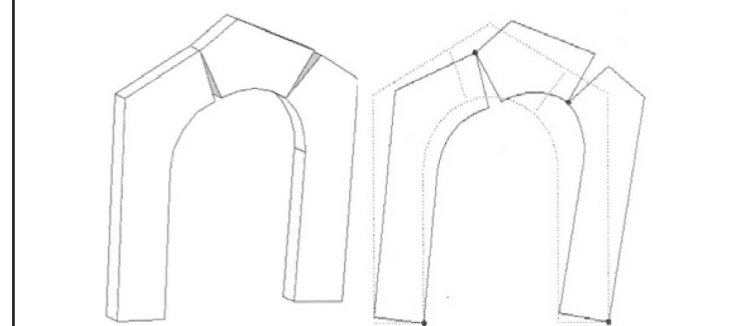


FIG. 62. 13. VOLTE TRIONFALI

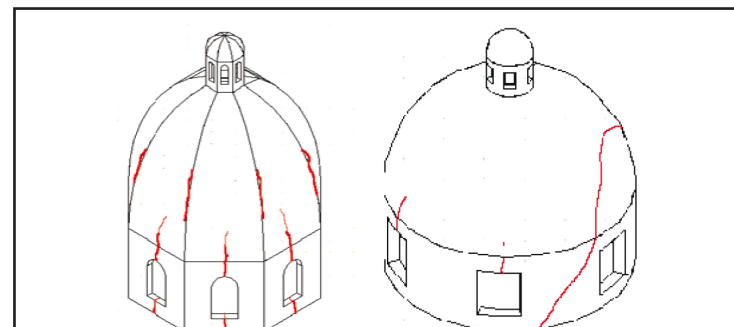


FIG. 63. 14. CUPOLA - TAMBURO/TIBURIO

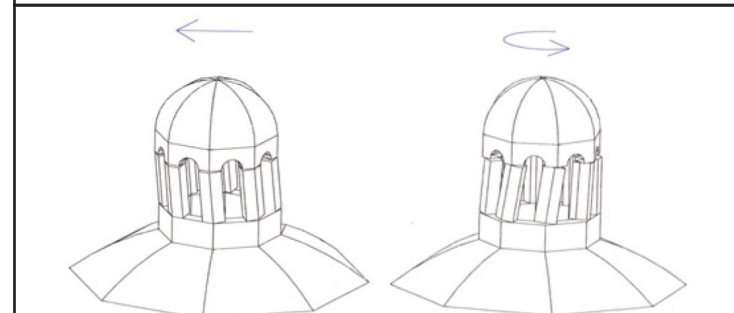


FIG. 64. 15. LANTERNA

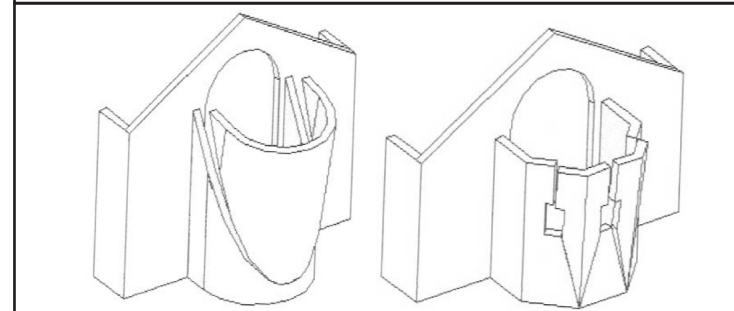


FIG. 65. 16. RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE

IN POSIZIONE EFFICACE. CONCI DI BUONA FATTEZZA E/O ADEGUATO SPESORE DELL'ARCO.

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: COPERTURA PESANTE IN C.A. CUPOLA O TIBURIO.

14. **CUPOLA - TAMBURO/TIBURIO**

LESIONI NELLA CUPOLA (AD ARCO) CON EVENTUALE PROSECUZIONE NEL TAMBURO.

PRESIDI ANTISISMICI: CERCHIATURA ESTERNA, ANCHE A PIÙ LIVELLI. PRESENZA DI CONTRAFFORTI ESTERNI O PARASTE NEL TAMBURO. CUPOLA DIRETTAMENTE IMPOSTATA SUGLI ARCHI TRIONFALI (ASSENZA NEL TAMBURO).

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: GRANDI APERTURE NEL TAMBURO. CARICHI CONCENTRATI TRASMESSI DALLA COPERTURA.

15. **LANTERNA**

LESIONI NEL CUPOLINO DELLA LANTERNA. ROTAZIONI O SCORRIMENTI DEI PIEDRITTI.

PRESIDI ANTISISMICI: CATENE O CERCHIATURA ESTERNA. PARASTE O CONTRAFFORTI. DIMENSIONI CONTENUTE RISPETTO A QUELLE DELLA CUPOLA.

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: LANTERNA DI ELEVATA SNELLEZZA, CON GRANDI APERTURE E PICCOLI PILASTRI.

16. **RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE**

LESIONI VERTICALI O ARCUATE NELLE PARETI DELL'ABSIDE. LESIONI VERTICALI NEGLI ABSIDI POLIGONALI. LESIONE A "U" NEGLI ABSIDI SE-

MICIRCOLARI.

PRESIDI ANTISISMICI: CERCHIATURA (SEMIGIRCOLARE E POLIGONALE) O CATENE (RETTANGOLARE). EFFICACI ELEMENTI DI CONTRASTO (CONTRAFFORTI, CORPI ADDOSSATI). COPERTURA CONTROVENTATA, NON SPINGENTE.

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: FORTE INDEBOLIMENTO PER LA PRESENZA DI APERTURE (ANCHE TAMPONATE) NELLE PARETI. VOLTE SPINGENTI. CORDOLI RIGIDI, COPERTURA PESANTE, PUNTONI DI FALDA IN C.A.

17. **MECCANISMI DI TAGLIO NEL PRESBITERIO O NELL'ABSIDE**

LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE). LESIONI IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ MURARIE.

PRESIDI ANTISISMICI: MURATURA UNIFORME (UNICA FASE COSTRUTTIVA) E DI BUONA QUALITÀ. BUONI ARCHITRAVI NELLE APERTURE. CORDOLI LEGGERI (METALLICI RETICOLARI, MURATURA ARMATA, ECC.)

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: CORDOLI RIGIDI O COPERTURA PESANTE. GRANDI APERTURE O AMPIE ZONE CON MURATURA DI LIMITATO SPESORE.

18. **VOLTE DEL PRESBITERIO O DELL'ABSIDE**

LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONE DEGLI ARCONI O DELLE PARETI LATERALI.

PRESIDI ANTISISMICI: CATENE IN POSIZIONE EF-

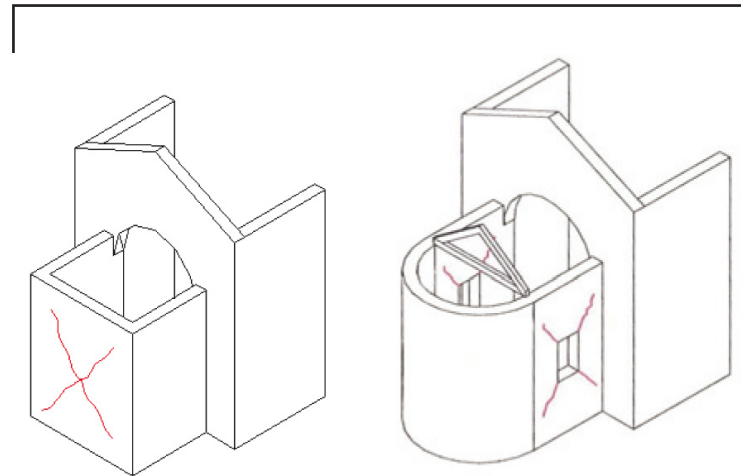


FIG. 66. 17. MECCANISMI DI TAGLIO NEL PRESBITERIO O NELL'ABSIDE

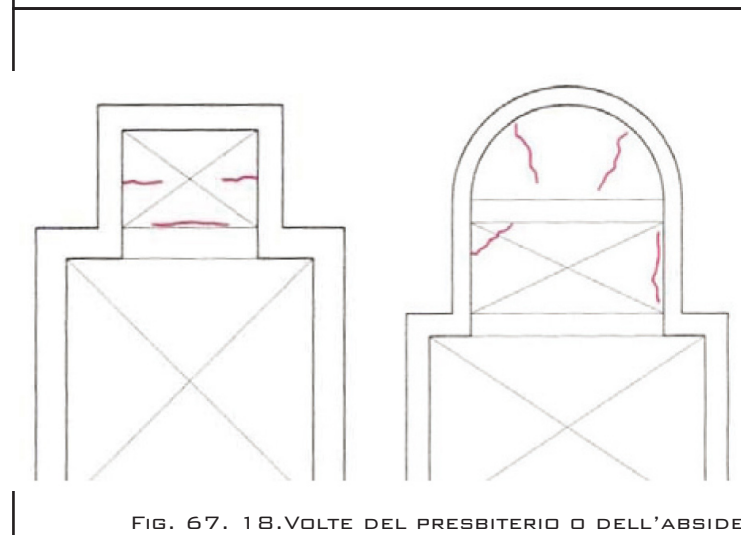


FIG. 67. 18. VOLTE DEL PRESBITERIO O DELL'ABSIDE

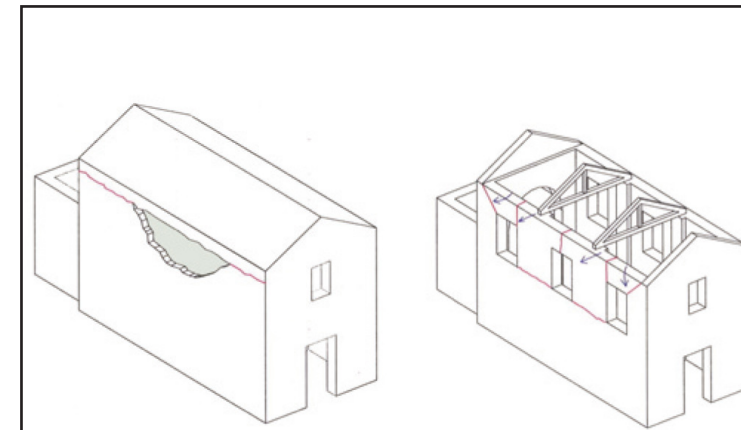


FIG. 68. 19. MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA - PARETI LATERALI DELL'AULA

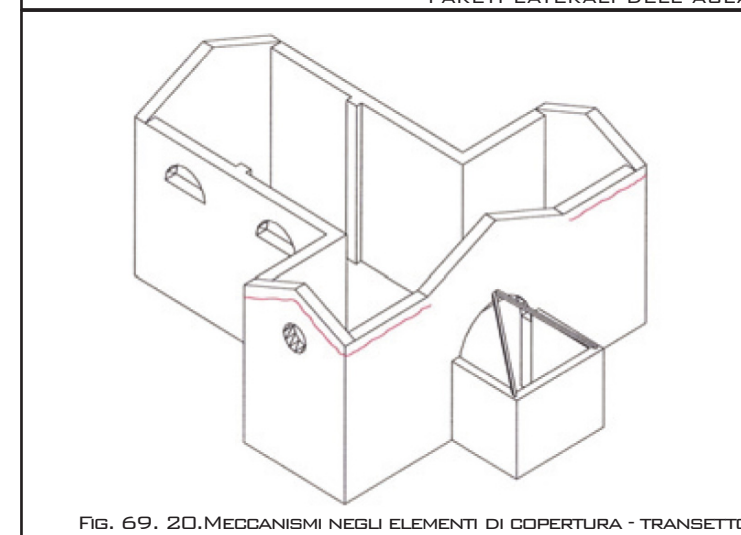


FIG. 69. 20. MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA - TRANSETTO

FIGACE. RINFRANGHI O FRENELLI.

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: CARICHI CONCENTRATI TRASMESSI DALLA COPERTURA. VOLTE IN FOGLIO, SPECIALMENTE SE SU CAMPATE DI GRANDE LUCE. LUNETTE O INTERRUZIONI ED IRREGOLARITÀ NEL PROFILO DELLE VOLTE.

19. **MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA - PARETI LATERALI DELL'AULA**

LESIONI VICINE ALLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE, SCORRIMENTO DELLE TESTE. SCONNESSIONI TRA CORDOLI E MURATURA. MOVIMENTI SIGNIFICATIVI DEL MANTO DI COPERTURA.

PRESIDI ANTISISMICI: CORDOLI LEGGERI (METALLICI RETICOLARI, MURATURA ARMATA, ECC.). COLLEGAMENTI DELLE TRAVI ALLA MURATURA. CONTROVENTI DI FALDA (TAVOLATO INCROCIATO O TIRANTI METALLICI). BUONE CONNESSIONE TRA GLI ELEMENTI DI ORDITURA DELLA COPERTURA.

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: COPERTURA STATICAMENTE SPINGENTE. CORDOLI RIGIDI, COPERTURA PESANTE.

20. **MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA - TRANSETTO**

LESIONI VICINE ALLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE, SCORRIMENTO DELLE TESTE. SCONNESSIONI TRA CORDOLI E MURATURA. MOVIMENTI SIGNIFICATIVI DEL MANTO DI COPERTURA.

PRESIDI ANTISISMICI: CORDOLI LEGGERI (ME-

TALLICI RETICOLARI, MURATURA ARMATA, ECC.). COLLEGAMENTI DELLE TRAVI ALLA MURATURA. CONTROVENTI DI FALDA (TAVOLATO INCROCIATO O TIRANTI METALLICI). BUONE CONNESSIONI TRA GLI ELEMENTI DI ORDITURA DELLA COPERTURA.

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: COPERTURA STATICAMENTE SPINGENTE. CORDOLI RIGIDI, COPERTURA PESANTE.

21. **MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA - ABSIDE E PRESBITERIO**

LESIONI VICINE ALLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE, SCORRIMENTO DELLE TESTE. SCONNESSIONI TRA CORDOLI E MURATURA. MOVIMENTI SIGNIFICATIVI DEL MANTO DI COPERTURA.

PRESIDI ANTISISMICI: CORDOLI LEGGERI (METALLICI RETICOLARI, MURATURA ARMATA, ECC.). COLLEGAMENTI DELLE TRAVI ALLA MURATURA. CONTROVENTI DI FALDA (TAVOLATO INCROCIATO O TIRANTI METALLICI). BUONE CONNESSIONI TRA GLI ELEMENTI DI ORDITURA DELLA COPERTURA.

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: COPERTURA STATICAMENTE SPINGENTE. CORDOLI RIGIDI, COPERTURA PESANTE.

22. **RIBALTAMENTO DELLE CAPPELLE**

DISTACCO DELLA PARETE FRONTALE DALLE PARETI LATERALI.

PRESIDI ANTISISMICI: EFFICACI ELEMENTI DI CONTRASTO (CONTRAFFORTI, EDIFICI ADDOS-

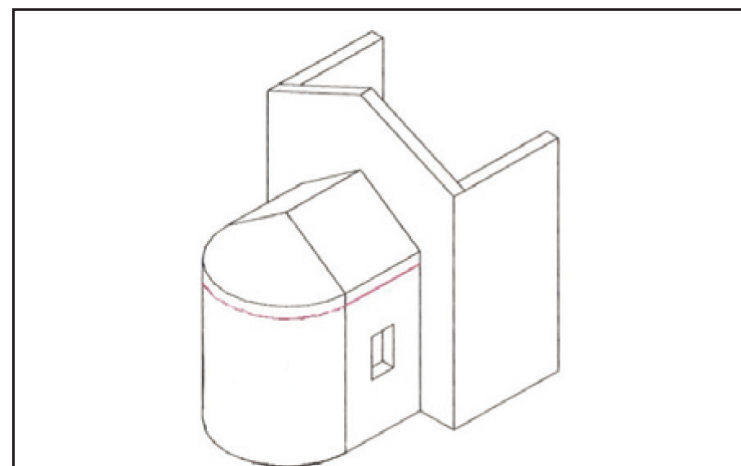


FIG. 70. 21. MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA - ABSIDE E PRESBITERIO

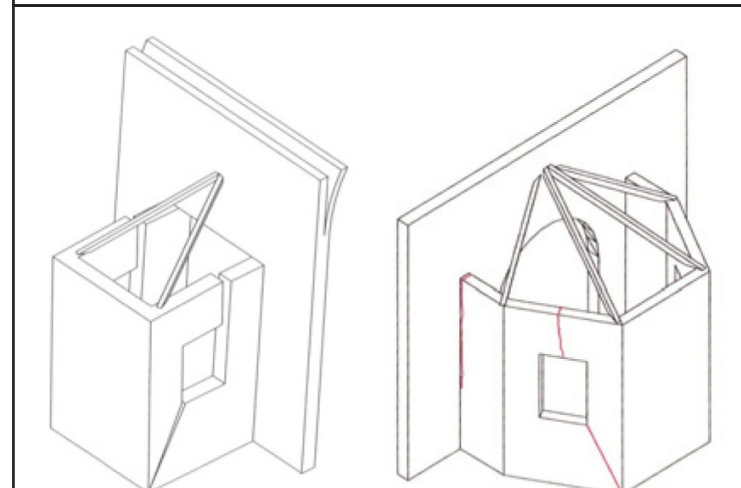


FIG. 71. 22. RIBALTAMENTO DELLE CAPPELLE

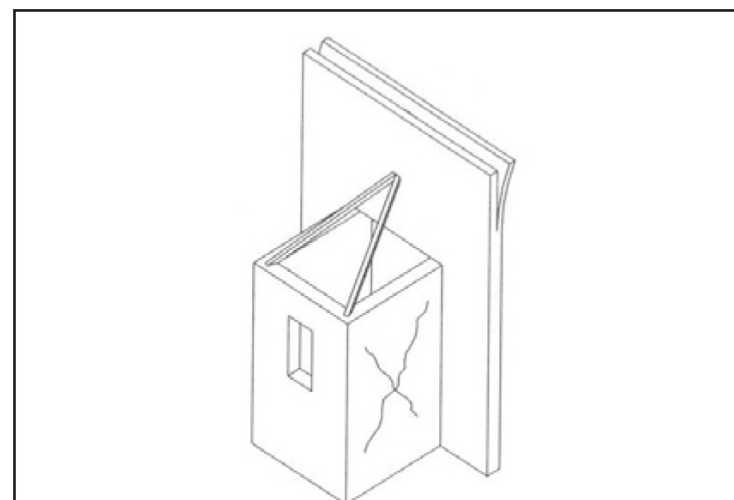


FIG. 72. 23. MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI DELLE CAPPELLE

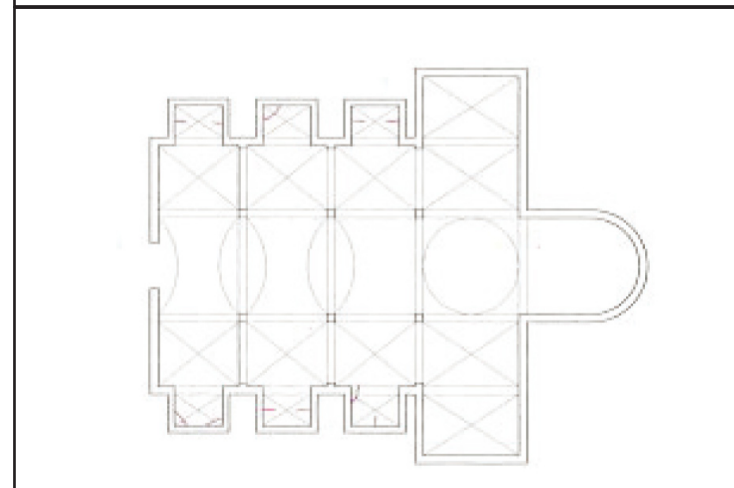


FIG. 73. 24. VOLTE DELLE CAPPELLE

SATI). CERCHIATURA O INCATENAMENTO. AMMORSAMENTO DI BUONA QUALITÀ TRA LA PARETE FRONTALE ED I MURI LATERALI.

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: FORTE INDEBOLIMENTO PER LA PRESENZA DI APERTURE NELLE PARETI.

23. **MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI DELLE CAPPELLE**

LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE). LESIONI IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ MURARIE.

PRESIDI ANTISISMICI: MURATURA UNIFORME (UNICA FASE COSTRUTTIVA) E DI BUONA QUALITÀ. BUONI ARCHITRAVI NELLE APERTURE. CORDOLI LEGGERI (METALLICI RETICOLARI, MURATURA ARMATA, ECC.)

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: CORDOLI RIGIDI O COPERTURA PESANTE. GRANDI APERTURE (ANCHE TAMPONATE) E MURATURA DI LIMITATO SPESSORE.

24. **VOLTE DELLE CAPPELLE**

LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DALLE PARETI LATERALI.

PRESIDI ANTISISMICI: CATENE IN POSIZIONE EFFICACE. RINFRANGHI O FRENELLI.

INDICATORI DI VULNERABILITÀ: CARICHI CONCENTRATI TRASMESSI DALLA COPERTURA. VOLTE IN FOGLIO, SPECIALMENTE SE MOLTO RIBASSATE. LUNETTE O INTERRUZIONI ED IRREGOLARITÀ NEL PROFILO DELLE VOLTE.

25. INTERAZIONI IN PROSSIMITA' DI IRREGOLARITA' PLANO - ALTIMETRICHE

MOVIMENTO IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITA' COSTRUTTIVE. LESIONI NELLA MURATURA PER MARTELLAMENTO.

PRESIDI ANTISISMICI: ADEGUATA CONNESSIONE TRA LE MURATURE DI FASI DIVERSE. CATENE DI COLLEGAMENTO.

INDICATORI DI VULNERABILITA': ELEVATA DIFFERENZA DI RIGIDEZZA TRA I DUE CORPI. POSSIBILITA' DI AZIONI CONCENTRATE TRASMESSE DALL'ELEMENTO DI COLLEGAMENTO.

26. AGGETTI (VELA, GUGLIE, PINNACOLI, STATUE)

EVIDENZA DI ROTAZIONI PERMANENTI O SCORRIMENTI. LESIONI.

PRESIDI ANTISISMICI: PERNI DI COLLEGAMENTO CON LA MURATURA O ELEMENTI DI RITEGNO. ELEMENTI DI LIMITATA IMPORTANZA E DIMENSIONE. MURATURA MONOLITICA (A CONGI SQUADRATI O COMUNQUE DI BUONA QUALITA')

INDICATORI DI VULNERABILITA': ELEMENTI DI ELEVATA SNELLEZZA. APPOGGIO IN FALSO SULLE MURATURE SOTTOSTANTI. POSIZIONE ASIMMETRICA RISPETTO ALL'ELEMENTO SOTTOSTANTE (SPECIE SE L'AGGETTO A NOTEVOLE MASSA).

27. TORRE CAMPANARIA

LESIONI VICINO ALLO STACCO DAL CORPO DELLA CHIESA. LESIONI A TAGLIO O SCORRIMENTO. LESIONI VERTICALI O ARCUATE (ESPULSIONE DI UNO O PIU'

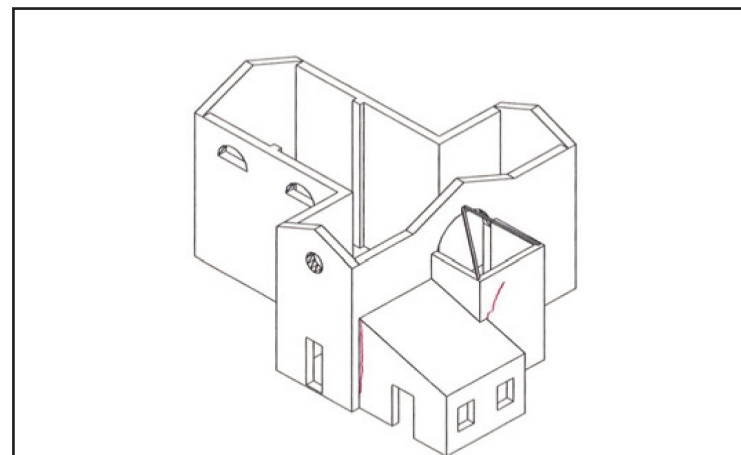


FIG. 74. 25. INTERAZIONI IN PROSSIMITA' DI IRREGOLARITA' PLANO - ALTIMETRICHE

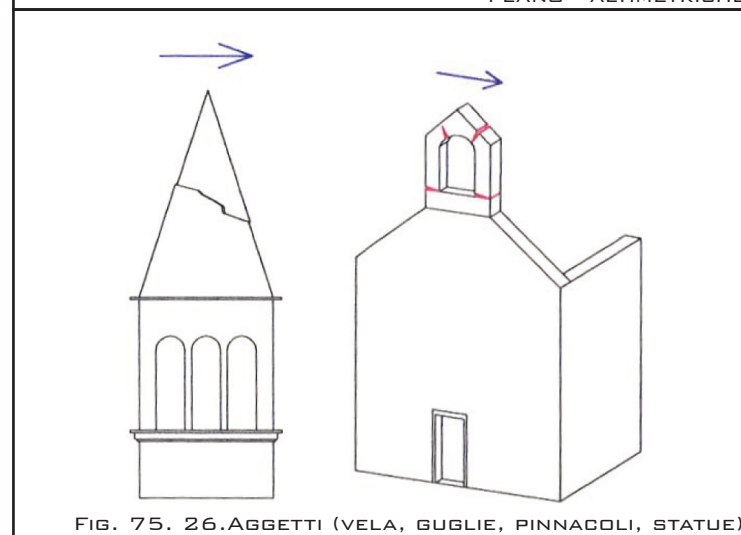


FIG. 75. 26. AGGETTI (VELA, GUGLIE, PINNACOLI, STATUE)

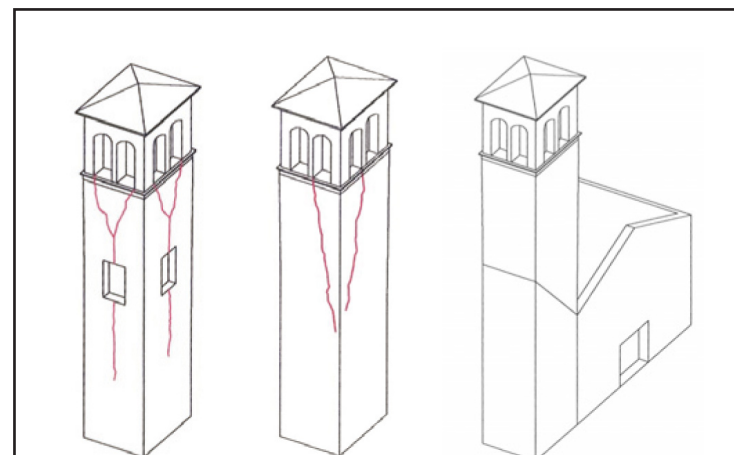


FIG. 76. 27. TORRE CAMPANARIA

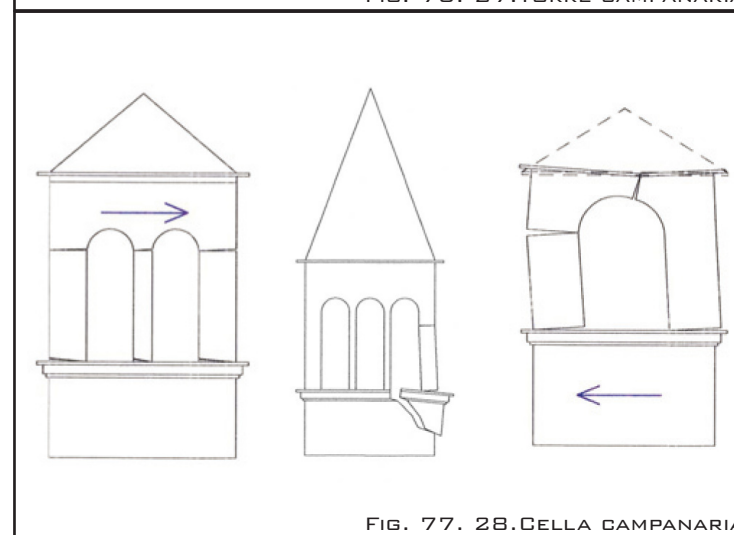


FIG. 77. 28. CELLA CAMPANARIA

ANGOLI).

PRESIDI ANTISISMICI: MURATURA UNIFORME (UNICA FASE COSTRUTTIVA) E DI BUONA QUALITA'. CATENE AI DIVERSI ORDINI. ADEGUATA DISTANZA DALLE PARETI DELLA CHIESA (SE ADIACENTE). BUON COLLEGAMENTO CON LE PARETI DELLA CHIESA (SE INGLOBATA).

INDICATORI DI VULNERABILITA': APERTURE SIGNIFICATIVE SU PIU' LIVELLI. VINCOLO ASIMMETRICO SULLE MURATURE ALLA BASE (TORRE INGLOBATA). APPOGGIO IRREGOLARE A TERRA DELLA TORRE (PRESENZA DI ARCHI SU ALCUNI LATI, PARETI A SBALZO).

28. CELLA CAMPANARIA

LESIONI NEGLI ARCHI. ROTAZIONI O SCORRIMENTI DEI PIEDRITTI.

PRESIDI ANTISISMICI: PIEDRITTI TOZZI E/O ARCHI DI LUCE RIDOTTA. CATENE O CERCHIATURE.

INDICATORI DI VULNERABILITA': COPERTURA PESANTE O ALTRE MASSE SIGNIFICATIVE. COPERTURA SPINGENTE.

VIENE COSI' INDIVIDUATO UN INDICE DI VULNERABILITA' SISMICA DELL'EDIFICIO NEL SUO COMPLESSO E LIVELLI DI DANNO SUBITI DA OGNI MACROELEMENTO IN RELAZIONE AI MECCANISMI DI DANNO ELENCATI. "ACCANTO ALLA VALUTAZIONE DELL'INDICE DI SICUREZZA COMPLESSIVO DELLA COSTRUZIONE, E' OPPORTUNO SEGNALARE LA PRESENZA DI ELEMENTI O MECCANISMI AI QUALI E' ASSOCIATA UNA VULNERABILITA' PARTICOLARMENTE ALTA"⁸.

NOTE

7. LG. CAP.5.4.3, P.82

8. LG. CAP.5.4.3, P.85

2.4. TORRI E CAMPANILI

SONO STRUTTURE A SVILUPPO VERTICALE E SONO DIFFUSISSIME IN TUTTO IL TERRITORIO ITALIANO.

IL COMPORTAMENTO SISMICO DI QUESTE STRUTTURE DIPENDE DA VARI FATTORI:

- LA SNELLEZZA DELLA STRUTTURA
- IL GRADO DI AMMORSAMENTO DELLE PARETI
- LA PRESENZA DI STRUTTURE ADIACENTI PIÙ BASSE, CHE DIVENTANO UN VINCOLO ORIZZONTALE
- LA PRESENZA NELLA PARTE SOMMITALE DI ELEMENTI ARCHITETTONICI SNELLI (GUGLIE, VELE CAMPANARIE, MERLATURE, ECC.) O COMUNQUE VULNERABILI (CELLE CAMPANARIE)

LA VULNERABILITÀ SISMICA È INOLTRE INCREMENTATA DA ALTRI FATTORI QUALI LE VIBRAZIONI INDOTTE DALLE CAMPANE O PROBLEMATICHE IN FONDAZIONE.

TORRI MOLTO TOZZE POSSONO ESSERE CONSIDERATE COME COSTRUZIONI MASSIVE GRAZIE AL GRANDE SPESSORE DEI LORO MURI A SACCO, MENTRE TORRI SNELLE POSSONO ESSERE CONSIDERATI COME STRUTTURE MONODIMENSIONALI CHE SI COMPORTANO COME UNA MENSOLA INCASTRATA ALLA BASE (VINCOLO A TERRA). FATTORE FONDAMENTALE PER ASSIMILARE UNA TORRE SNELLA COME UNA MENSOLA È IL BUON AMMORSAMENTO TRA LA PARETI, INFATTI LA TORRE DEVE COMPORTARSI COME SE FOSSE UN UNICO ELEMENTO MONODIMENSIONALE. LE

TECNICHE TRADIZIONALI PER GARANTIRE BUONI COLLEGAMENTI SONO: LA TESSITURA DEI CANTONALI, LA PRESENZA DI GERCHIATURE E CATENE METALLICHE, LA PRESENZA DI ORIZZONTAMENTI BEN COLLEGATI. NEL CASO DI VOLTE IN MURATURA DEVE ESSERE VALUTATA LA PRESENZA DI SPINTE ORIZZONTALI.

IN ITALIA, NELLA MAGGIOR PARTE DEI CASI, TORRI E CAMPANILI NON SONO MAI COSTRUZIONI ISOLATE, MA SONO POSTE A CONTATTO CON ALTRI CORPI PIÙ BASSI: CAMPANILI INGLOBATI O ACCOSTATI ALLA CHIESA, TORRI INGLOBATE NEL TESSUTO URBANO STORICO O NELLA CINTA MURARIA. QUESTI VINCOLI ORIZZONTALI A DIVERSE



FIG. 78. TORRE DI PISA NEL CAMPO DEI MIRACOLI



FIG. 79. TORRE DELLA SAGRA. LA PRIMA CHIESA COSTRUITA A CARPI

QUOTE MUTANO SIGNIFICATIVAMENTE IL COMPORTAMENTO DELLA STRUTTURA. INFATTI OLTRE A LIMITARE L'EFFETTIVA SNELLEZZA DELLA TORRE, COSTITUISCONO IRRIGIDIMENTI LOCALIZZATI E PUNTI DI POSSIBILE CONCENTRAZIONE DEGLI SFORZI (L'OSSERVAZIONE HA IN GENERE DIMOSTRATO CHE QUESTE SITUAZIONI SONO CAUSA DI DANNI ANCHE SIGNIFICATIVI). TALI SITUAZIONI SONO SPESSO CARATTERIZZATE DA NOTEVOLE VULNERABILITÀ.

UN ALTRO ELEMENTO DI VULNERABILITÀ PRESENTE NEI CAMPANILI È LA CELLA CAMPANARIA, COSTITUITA DA AMPIE BUCATURE CON PILASTRI SPESSE SNELLI E POCO CARICATI, CHE PRODUCONO ROTTURE A TAGLIO PER SCORRIMENTO. ANALOGHE CONSIDERAZIONI VALGONO PER GLI ELEMENTI SNELLI E SVETTANTI, SPESSO PRESENTI SULLA SOMMITÀ DELLE TORRI. LA LORO VULNERABILITÀ È IN PRIMO LUOGO DOVUTA AL MODESTO CARICO VERTICALE (ASSOCIATO AL SOLO PESO PROPRIO), CHE GARANTISCE UN LIMITATO EFFETTO STABILIZZANTE NEI RIGUARDI DEL RIBALTAMENTO. ANCORA PIÙ CRITICO È L'EFFETTO DI AMPLIFICAZIONE DEL MOTO SISMICO CHE SI VERIFICA NELLE PARTI PIÙ ALTE DELLA COSTRUZIONE. L'OSSERVAZIONE DEI DANNI HA INFATTI MOSTRATO COME CELLE CAMPANARIE SIMILI SI SIANO COMPORTATE IN MODO MOLTO DIVERSO, A PARITÀ DI AZIONE SISMICA ALLA BASE, A CAUSA DELLA DIVERSA INTERAZIONE TRA SISMA, TERRENO DI FONDAZIONE, STRUTTURA E SOVRASTRUTTURA.