

## ALLEGATO C

### Modello per la valutazione della vulnerabilità sismica delle chiese

La metodologia considera 28 meccanismi di danno, elencati nel seguito, associati ai diversi macroelementi che possono essere presenti in una chiesa. Attraverso un opportuno modello, descritto al punto 5.4.3, è possibile valutare un indice di vulnerabilità (5.14) e quindi l'indice di sicurezza sismica della chiesa.

In primo luogo è necessario verificare se alcuni macroelementi non sono presenti, ovvero quali meccanismi non si potrebbero verificare nella chiesa a seguito di un sisma, ed a questi assegnare  $\rho_k=0$ ; agli altri dovrebbe essere attribuito il valore  $\rho_k=1$ , ad eccezione dei meccanismi 4 e 15 ( $\rho_k=0.5$ ) e di alcuni meccanismi (10, 11, 12, 18, 20, 22, 23, 24, 25, 26), nei quali si dovrà scegliere un valore  $0.5 < \rho_k < 1$ , in relazione all'importanza dell'elemento nel contesto della costruzione.

Per ogni meccanismo vengono suggeriti i possibili elementi di presidio antisismico e gli indicatori di vulnerabilità; a queste liste possono essere aggiunti altri elementi che dovessero emergere, a seguito di una specifica conoscenza della costruzione, come significativi per la valutazione del comportamento sismico della chiesa. A ciascun presidio o indicatore di vulnerabilità rilevato deve essere attribuito, rispettivamente, un grado di efficacia o di gravità, con un punteggio da 1 a 3. Attraverso la tabella 5.1 è possibile ricavare i valori di  $v_{ki}$  e  $v_{kp}$  da utilizzare in (5.14) per il calcolo dell'indice di vulnerabilità.

#### 1 – RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA

Distacco della facciata dalle pareti o evidenti fuori piombo

##### *Presidi antisismici*

Presenza di catene longitudinali

Presenza di efficaci elementi di contrasto (contrafforti, corpi addossati, altri edifici)

Ammorsamento di buona qualità tra la facciata ed i muri della navata

##### *Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di elementi spingenti (puntoni di copertura, volte, archi)

Presenza di 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*

Presenza di collegamenti puntuali con gli elementi della copertura

Presenza di controventi di falda

Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, altro)

##### *Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di grandi aperture (rosone)

Presenza di 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 (taglio) – Lesioni verticali o arcuate (rotazione) – Altre fessurazioni o spanciamanti



*Presidi antisismici*

Presenza di una catena in controfacciata  
 Contrasto laterale fornito da corpi addossati; chiesa inserita in aggregato

*Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di aperture di grandi dimensioni o 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 dalla facciata – Martellamento

*Presidi antisismici*

Presenza di catene  
 Presenza di colonne/pilastrini di adeguata dimensione

*Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di elementi spingenti (archi, volte)

**5 - RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA**

Lesioni negli arconi (con eventuale prosecuzione nella volta) – Rotazioni delle pareti laterali – Lesioni a taglio nelle volte – Fuori piombo e schiacciamento nelle colonne

*Presidi antisismici*

Presenza di paraste o contrafforti esterni  
 Presenza di corpi annessi adiacenti  
 Presenza di catene trasversali

*Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di pareti con elevata snellezza  
 Presenza di 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  
 Presenza di buoni architravi nelle aperture  
 Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, altro)

*Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di grandi aperture o di ampie zone con muratura di limitato spessore  
 Cordoli in c.a. molto rigidi, copertura pesante in c.a.

**7 - RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO NELLE CHIESE A PIÙ NAVATE**

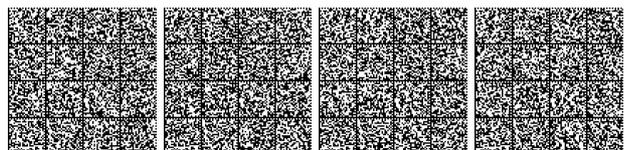
Lesioni negli archi o negli architravi longitudinali – Schiacciamento e/o lesioni alla base dei pilastrini – Lesioni a taglio nelle volte delle navate laterali

*Presidi antisismici*

Presenza di catene longitudinali  
 Presenza di contrafforti in facciata

*Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di volte pesanti nella navata centrale  
 Copertura pesante in c.a., cappe armate di significativo spessore nelle volte



**8 - VOLTE DELLA NAVATA CENTRALE**

Lesioni nelle volte dell'aula centrale – Sconnessioni delle volte dagli arconi

*Presidi antisismici*

Presenza di catene in posizione efficace

Presenza di rinfianchi o frenelli

*Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di carichi concentrati trasmessi dalla copertura

Volte in foglio, specialmente se su campate di grande luce

Presenza di lunette o interruzioni ed irregolarità nel profilo delle volte

**9 - VOLTE DELLE NAVATE LATERALI**

Lesioni nelle volte o sconconnessioni dagli arconi o dalle pareti laterali

*Presidi antisismici*

Presenza di catene in posizione efficace

Presenza di rinfianchi o frenelli

*Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di carichi concentrati trasmessi dalla copertura

Volte in foglio, specialmente se su campate di grande luce

Presenza di 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*

Presenza di catene longitudinali

Presenza di 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

Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, altro)

*Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di cordoli rigidi, travi di colmo in c.a., copertura pesante

Presenza di grandi aperture nella parete frontale (rosone) e/o in quelle laterali

Presenza di una sommità a vela di grande dimensione

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

Lesioni inclinate (singole o incrociate) – Lesioni attraverso discontinuità

*Presidi antisismici*

Muratura uniforme (unica fase costruttiva) e di buona qualità

Presenza di buoni architravi nelle aperture

Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, altro)

*Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di cordoli rigidi, copertura pesante

Presenza di grandi aperture o di ampie zone con muratura di limitato spessore

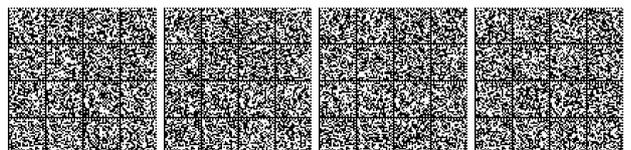
**12 - VOLTE DEL TRANSETTO**

Lesioni nelle volte o sconconnessioni dagli arconi e dalle pareti laterali

*Presidi antisismici*

Presenza di catene in posizione efficace

Presenza di rinfianchi o frenelli



*Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di carichi concentrati trasmessi dalla copertura  
 Volte in foglio, specialmente se su campate di grande luce  
 Presenza di lunette o interruzioni ed irregolarità nel profilo delle volte

**13 - ARCHI TRIONFALI**

Lesioni nell'arco – Scorrimento di conci – Schiacciamento o lesioni orizzontali alla base dei piedritti

*Presidi antisismici*

Pareti di contrasto efficaci (basso rapporto luce/larghezza aula, transetto, altri corpi di fabbrica)  
 Presenza di una catena in posizione efficace  
 Conci di buona fattura e/o adeguato spessore dell'arco

*Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di copertura pesante in c.a.  
 Presenza di cupola o tiburio

**14 - CUPOLA - TAMBURO/TIBURIO**

Lesioni nella cupola (ad arco) con eventuale prosecuzione nel tamburo

*Presidi antisismici*

Presenza di una cerchiatura esterna, anche a più livelli  
 Presenza nel tamburo di contrafforti esterni o paraste  
 Cupola direttamente impostata sugli archi trionfali (assenza del tamburo)

*Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di grandi aperture nel tamburo  
 Presenza di carichi concentrati trasmessi dalla copertura

**15 - LANTERNA**

Lesioni nel cupolino della lanterna – Rotazioni o scorrimenti dei piedritti

*Presidi antisismici*

Presenza di catene o di una cerchiatura esterna  
 Presenza di 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**

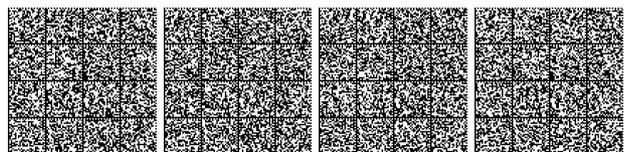
Lesioni verticali o arcuate nelle pareti dell'abside – Lesioni verticali negli absidi poligonali – Lesione ad U negli absidi semicircolari

*Presidi antisismici*

Presenza di cerchiatura (semicircolare e poligonale) o catene (rettangolare)  
 Presenza di efficaci elementi di contrasto (contrafforti, corpi addossati)  
 Presenza di copertura controventata, non spingente

*Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di un forte indebolimento per la presenza di aperture (anche tamponate) nelle pareti  
 Presenza di 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

Presenza di buoni architravi nelle aperture

Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, altro)

*Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di cordoli rigidi, copertura pesante

Presenza di grandi aperture o di ampie zone con muratura di limitato spessore

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

Lesioni nelle volte o sconessioni dagli arconi o dalle pareti laterali

*Presidi antisismici*

Presenza di catene in posizione efficace

Presenza di rinfianchi o frenelli

*Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di carichi concentrati trasmessi dalla copertura

Volte in foglio, specialmente se su campate di grande luce

Presenza di 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 stesse – Sconnessioni tra cordoli e muratura – Movimenti significativi del manto di copertura

*Presidi antisismici*

Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, altro)

Presenza di collegamenti delle travi alla muratura

Presenza di controventi di falda (tavolato incrociato o tiranti metallici)

Presenza di buone connessioni tra gli elementi di orditura della copertura

*Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di copertura staticamente spingente

Presenza di cordoli rigidi, copertura pesante

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

Lesioni vicine alle teste delle travi lignee, scorrimento delle stesse – Sconnessioni tra i cordoli e muratura – Movimenti significativi del manto di copertura

*Presidi antisismici*

Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, altro)

Presenza di collegamenti delle travi alla muratura

Presenza di controventi di falda (tavolato incrociato o tiranti metallici)

Presenza di buone connessioni tra gli elementi di orditura della copertura

*Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di copertura staticamente spingente

Presenza di cordoli rigidi, copertura pesante

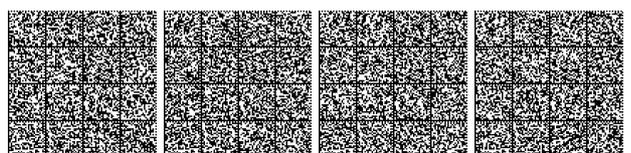
**21 - MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA – ABSIDE E PRESBITERIO**

Lesioni vicine alle teste delle travi lignee, scorrimento delle stesse – Sconnessioni tra i cordoli e muratura – Movimenti significativi del manto di copertura

*Presidi antisismici*

Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, altro)

Presenza di collegamenti delle travi alla muratura



Presenza di controventi di falda (tavolato incrociato o tiranti metallici)  
 Presenza di buone connessioni tra gli elementi di orditura della copertura

*Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di copertura staticamente spingente  
 Presenza di cordoli rigidi, copertura pesante

**22 - RIBALTAMENTO DELLE CAPPELLE**

Distacco della parete frontale dalle pareti laterali

*Presidi antisismici*

Presenza di efficaci elementi di contrasto (contrafforti, edifici addossati)  
 Presenza di cerchiatura o incatenamento  
 Ammorsamento di buona qualità tra la parete frontale ed i muri laterali

*Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di 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  
 Presenza di buoni architravi nelle aperture  
 Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, altro)

*Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di cordoli rigidi, copertura pesante  
 Presenza di grandi aperture (anche tamponate), muratura di limitato spessore

**24 - VOLTE DELLE CAPPELLE**

Lesioni nelle volte o sconnessioni dalle pareti laterali

*Presidi antisismici*

Presenza di catene in posizione efficace  
 Presenza di rin fianchi o frenelli

*Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di carichi concentrati trasmessi dalla copertura  
 Volte in foglio, specialmente se molto ribassate  
 Presenza di lunette o interruzioni ed irregolarità nel profilo delle volte

**25 - INTERAZIONI IN PROSSIMITÀ DI IRREGOLARITÀ PLANO-ALTIMETRICHE**

Movimento in corrispondenza di discontinuità costruttive - Lesioni nella muratura per martellamento

*Presidi antisismici*

Presenza di un'adeguata connessione tra le murature di fasi diverse  
 Presenza di catene di collegamento

*Indicatori di vulnerabilità*

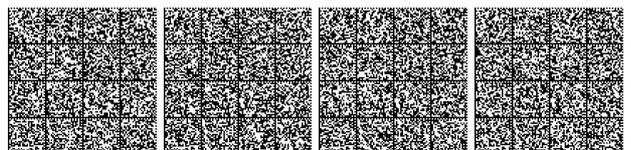
Presenza di un'elevata differenza di rigidezza tra i due corpi  
 Possibilità di azioni concentrate trasmesse dall'elemento di collegamento

**26 - AGGETTI (VELA, GUGLIE, PINNACOLI, STATUE)**

Evidenza di rotazioni permanenti o scorrimento – Lesioni

*Presidi antisismici*

Presenza di perni di collegamento con la muratura o elementi di ritegno  
 Elementi di limitata importanza e dimensione  
 Muratura monolitica (a conci quadrati o comunque di buona qualità)



*Indicatori di vulnerabilità*

Elementi di elevata snellezza

Appoggio in falso sulle murature sottostanti in falso

Posizione asimmetrica rispetto all'elemento sottostante (specie se l'oggetto ha 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 più angoli)

*Presidi antisismici*

Muratura uniforme (unica fase costruttiva) e di buona qualità

Presenza di catene ai diversi ordini

Presenza di adeguata distanza dalle pareti della chiesa (se adiacente)

Presenza buon collegamento con le pareti della chiesa (se inglobata)

*Indicatori di vulnerabilità*

Presenza di aperture significative su più 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*

Presenza di piedritti tozzi e/o archi di luce ridotta

Presenza di catene o cerchiature

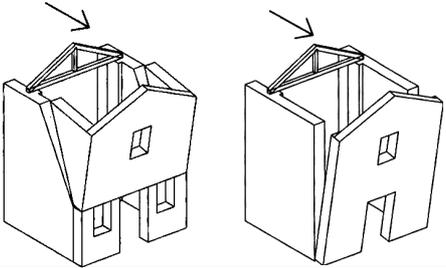
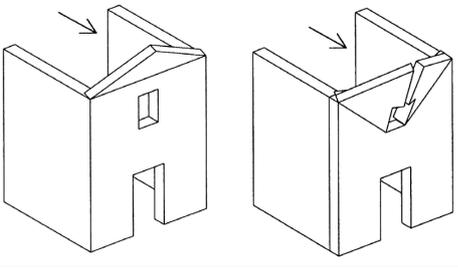
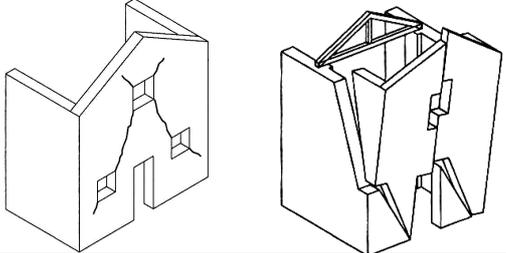
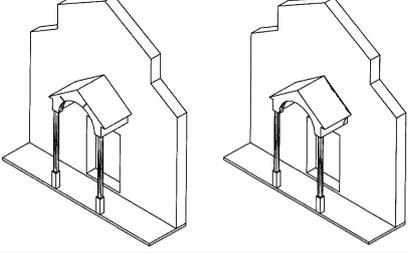
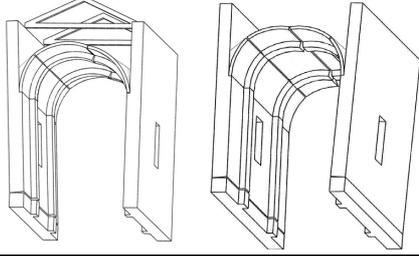
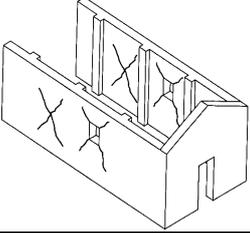
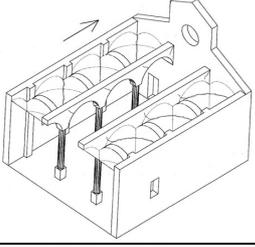
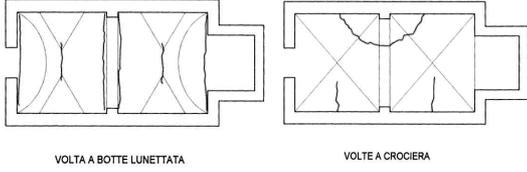
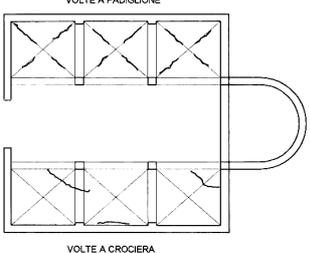
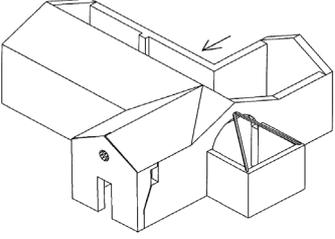
*Indicatori di vulnerabilità*

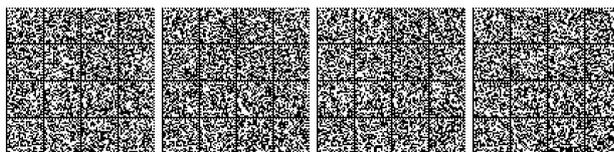
Presenza di copertura pesante o di altre masse significative

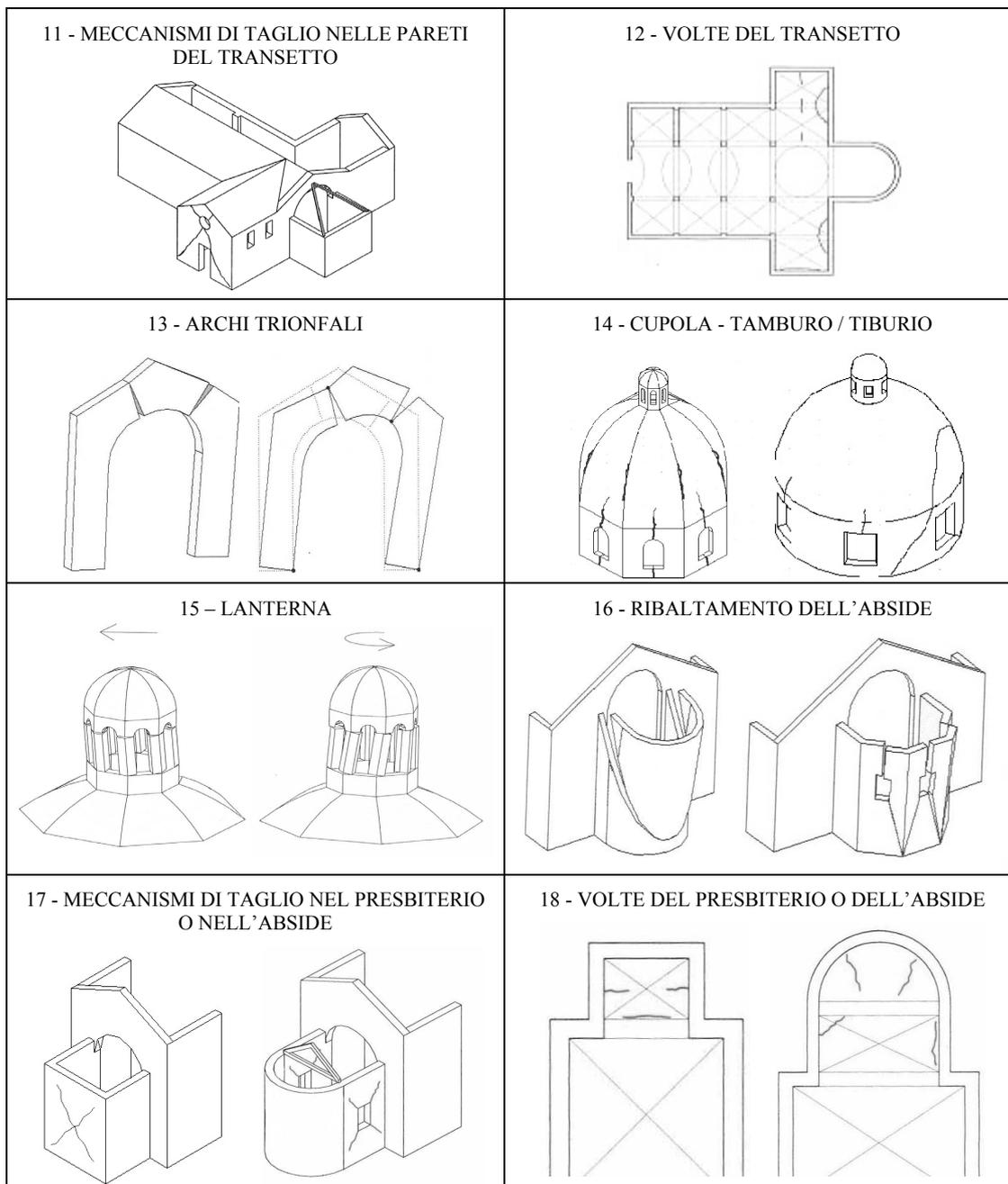
Presenza di copertura spingente

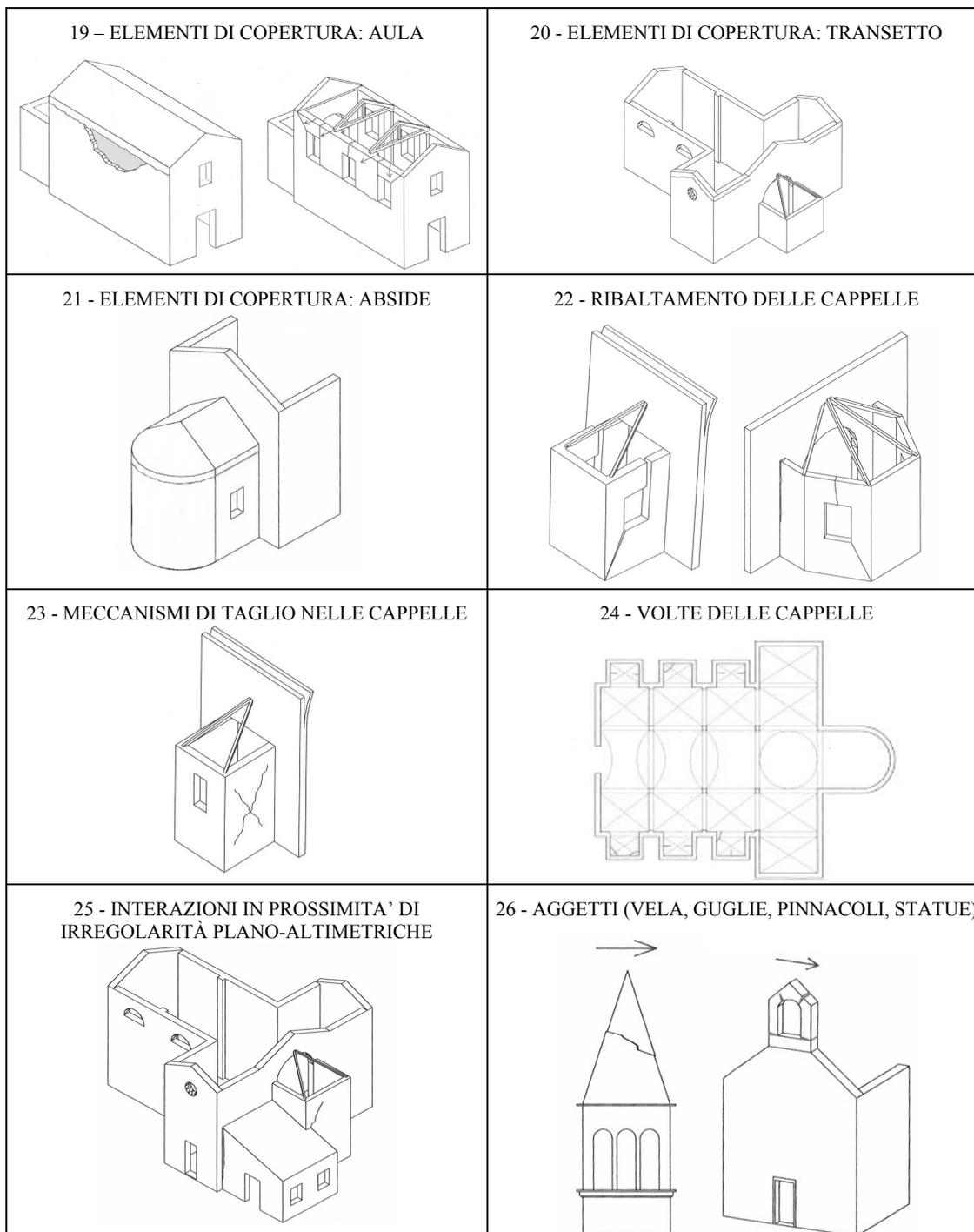


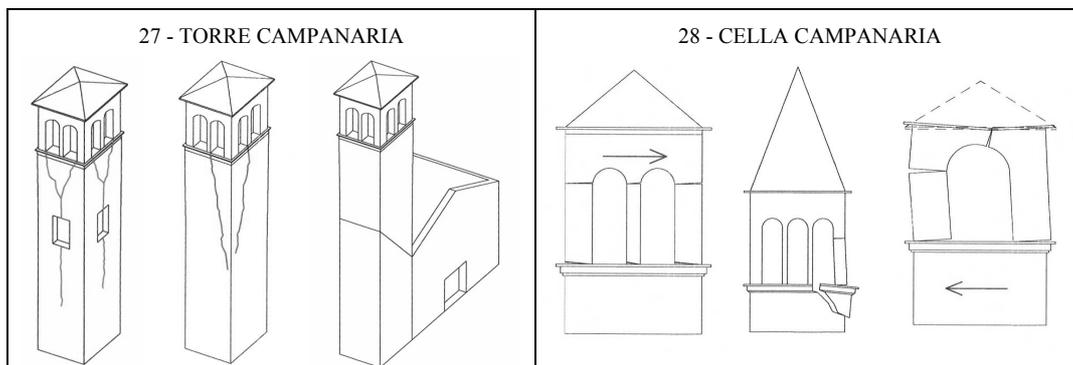
**ABACO DEI MECCANISMI DI COLLASSO DELLE CHIESE**

<p>1. RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA</p> 	<p>2. MECCANISMI NELLA SOMMITÀ DELLA FACCIATA</p> 
<p>3. MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA</p> 	<p>4 - PROTIRO - NARTECE</p> 
<p>5 - RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA</p> 	<p>6 - MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI LATERALI (RISPOSTA LONGITUDINALE)</p> 
<p>7 - RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO</p> 	<p>8 - VOLTE DELLA NAVATA CENTRALE</p> 
<p>9 - VOLTE DELLE NAVATE LATERALI</p> 	<p>10 - RIBALTAMENTO DELLE PARETI DI ESTREMITÀ DEL TRANSETTO</p> 









11A02374

ALFONSO ANDRIANI, *redattore*  
DELIA CHIARA, *vice redattore*

(WI-GU-2011-SON-040) Roma, 2011 - Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato S.p.A. - S.

