



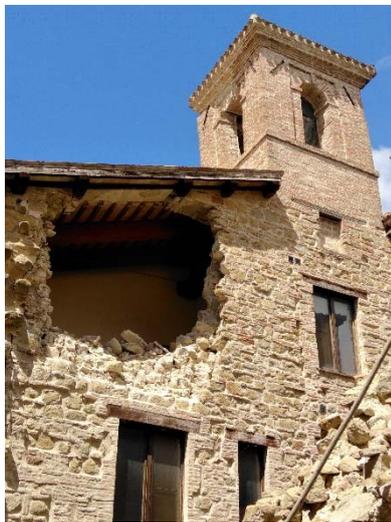
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
NAPOLI FEDERICO II



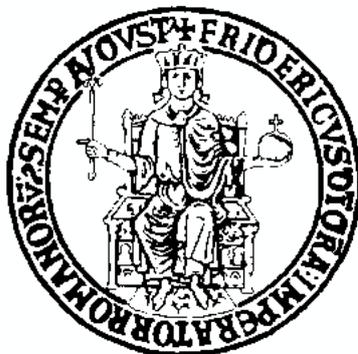
REPORT

VISITA TECNICA CENTRO ITALIA

16-17 luglio 2018



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA STRUTTURALE E GEOTECNICA

DIPARTIMENTO DI STRUTTURE PER L'INGEGNERIA E L'ARCHITETTURA

Visita tecnica nelle zone colpite dalla sequenza sismica del 2016 nell'Italia centrale

16-17 luglio 2018

Comuni di Norcia (PG), Visso (MC) e Camerino (MC)

A cura degli studenti:

Tommaso Giampaolino
Antonio Grella
Marco Petrillo
Matteo Pugliese

Indice

1.	Premessa	1
2.	Comune di Norcia	2
2.1	Palazzo comunale, Piazza San Benedetto	3
2.2	Basilica di San Benedetto e Chiesa di Santa Maria Argentea	4
2.3	Centro storico	5
3.	Comune di Visso	7
3.1	Centro storico	8
3.2	Collegiata di Santa Maria	12
3.3	Zona residenziale	13
4.	Comune di Camerino	16
4.1	Edifici in muratura	17
4.1.1	Edifici di culto	17
4.1.2	Edifici civili	22
4.2	Edifici in cemento armato	27
4.2.1	Centro storico	27
4.2.2	Quartiere Vallicelle	29

1. Premessa

Il Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Strutturale e Geotecnica (STReGA), con il patrocinio del Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura (DiSt), ha organizzato, nei giorni 16 e 17 luglio 2018, una visita tecnica nelle zone del centro Italia colpite dalla sequenza sismica del 2016-2017.

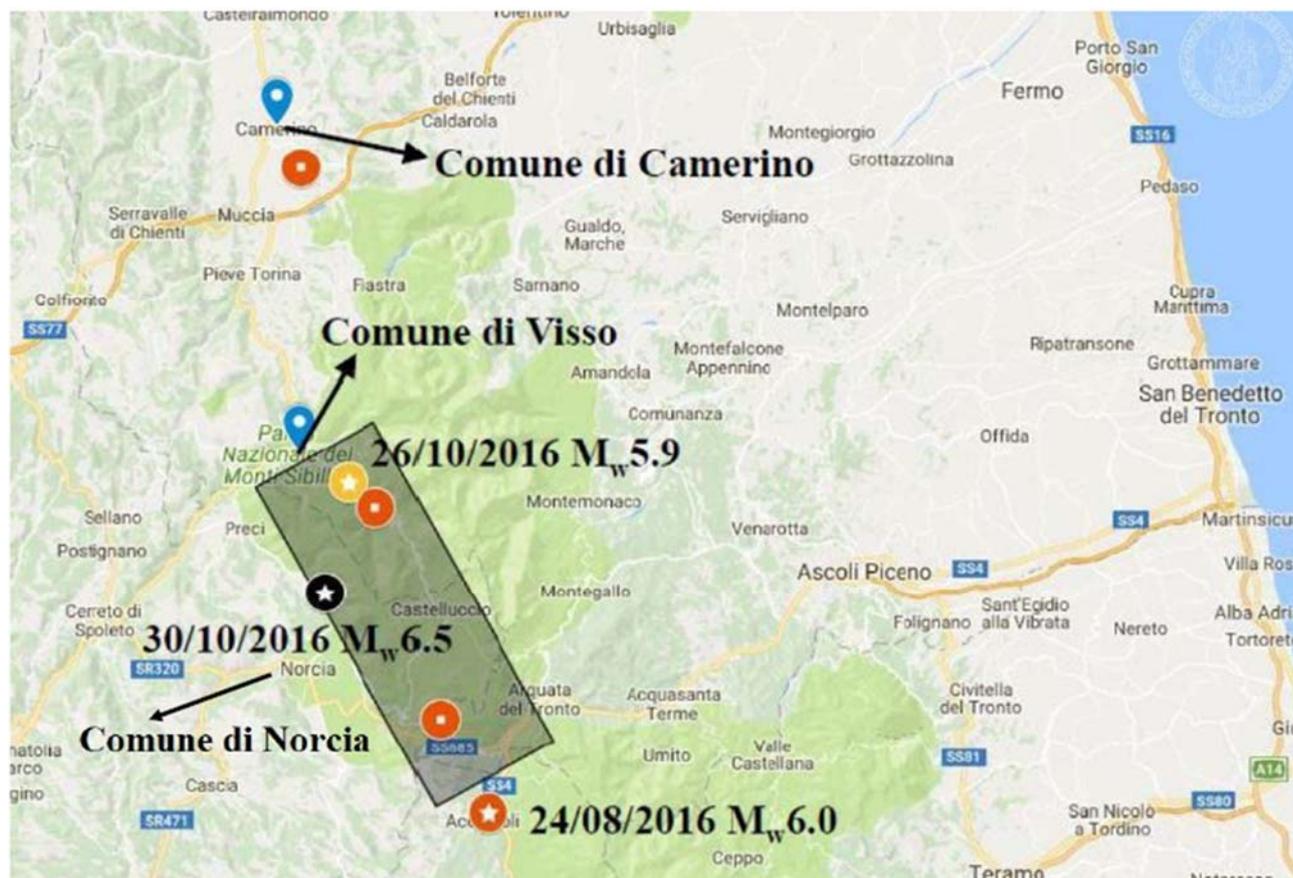
I docenti Fulvio Parisi e Georgios Baltzopoulos, unitamente agli ingegneri Filomena De Silva, Giuseppina De Martino e Marta Del Zoppo, e affiancati da tecnici e ricercatori delle zone visitate, hanno accompagnato un gruppo di quarantasei studenti in uno specifico itinerario nei comuni di Norcia (PG), Visso e Camerino (MC), finalizzato all'analisi tecnica dei danni arrecati alle strutture e dei conseguenti interventi di messa in sicurezza.

I maggiori eventi sismici che hanno interessato i comuni di cui sopra, risalgono alle seguenti date:

- 24 agosto 2016 M_w 6.0
- 26 ottobre 2016 M_w 5.9
- 30 ottobre 2016 M_w 6.5

Nel 1997 il territorio era stato già interessato dalla sequenza sismica dell'Umbria e delle Marche, che aveva provocato danneggiamenti diffusi del patrimonio costruito: gli interventi di miglioramento sismico effettuati sull'esistente hanno, in molti casi, limitato notevolmente le conseguenze post-sismiche.

Lo scopo del seguente report, complementare a quello redatto nel 2017, è descrivere in maniera qualitativa i principali danni ed evidenziare alcune tipologie degli interventi di messa in sicurezza osservati.



Mappatura dei comuni oggetto della visita tecnica e della zona sismogenetica

2. Comune di Norcia

Il comune di Norcia è situato in provincia di Perugia (Umbria); si estende per una superficie di 275,57 km² e conta 4981 abitanti, per una densità abitativa di 18,1 ab/km² (ISTAT 01/01/2017). Secondo la zonazione sismica del territorio italiano (Ordinanza PCM n. 3274/2003 e aggiornamento nell'Ordinanza PCM n. 3519/2006, suddivisione del territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base dell'accelerazione orizzontale massima al suolo a_g), Norcia ricade in zona sismica 1.

La sequenza sismica che ha interessato il comune di Norcia, intensificata tra il 26/10/2016 e il 30/10/2016, ha causato un accumulo del danno perlopiù agli edifici monumentali.

Percorrendo il centro storico accompagnati da tecnici afferenti all'ufficio tecnico comunale, si è potuto riscontrare che le civili abitazioni sono state lievemente danneggiate, data la presenza di molteplici interventi di rinforzo post 1997, a differenza degli edifici storici. Tra i danneggiamenti maggiormente osservati si annoverano: lesioni diagonali dovute al taglio sia nei pannelli di maschio che nei pannelli di fascia; lesioni da pressoflessione; crisi delle pareti fuori dal proprio piano, causate da un cattivo (o, in taluni casi, totalmente assente) ammassamento delle pareti tra loro; totale disgregazione delle pareti costituite da murature di scarsa qualità, incapaci di resistere alle azioni indotte dal sisma; meccanismi di crisi causati dalla presenza di solai di copertura o cordoli in cemento armato, con localizzazione del danno e lesioni nei cantonali.

A Norcia, su ventotto chiese, soltanto tre non hanno subito danni rilevanti. L'ammontare dei danni diretti ai beni monumentali è stato stimato dall'amministrazione comunale in circa due miliardi di euro.

Sulla base dei danni rilevati e in accordo alla scala macrosismica europea EMS 98 (European Macroseismic Scale), il valore di intensità macrosismica attribuito a Norcia è pari a 8-10.

Nell'immagine seguente sono riportate le localizzazioni dei principali dissesti e interventi osservati.



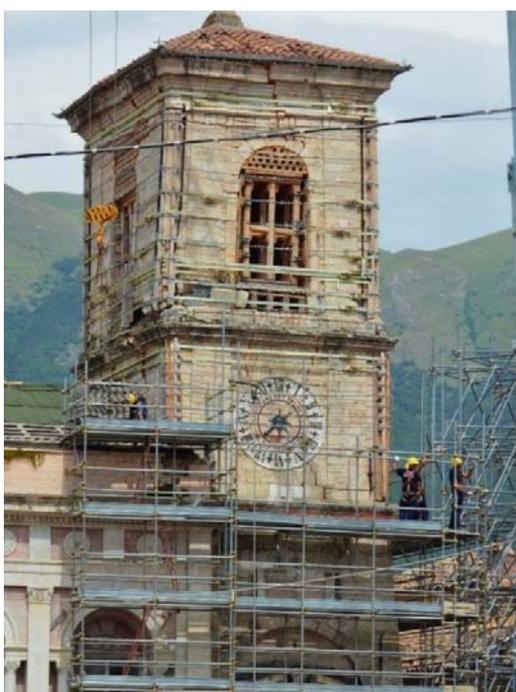
Localizzazione dei principali dissesti osservati nel Comune di Norcia e richiamati nel seguito

2.1 Palazzo comunale, Piazza San Benedetto

Il Palazzo Comunale [Figura 1] era sede del municipio di Norcia. Situato di fianco alla Basilica di San Benedetto, di cui resta soltanto la facciata, è stato gravemente danneggiato dal terremoto del 30 ottobre 2016 e dichiarato inagibile, soprattutto per la pericolosità legata al crollo del campanile ad esso contiguo [Figura 2a]. Si possono notare, infatti, danneggiamenti al corpo del campanile, sia esternamente che internamente, dettati dall'oscillazione e dall'eccessivo peso delle campane (quattro campane di oltre cinquanta tonnellate cadauna) e martellamento tra i due edifici, caratterizzati da modi di vibrare completamente diversi. Inoltre, si evidenzia la configurazione deformata conseguente ad un moto prevalentemente torsionale che ha interessato la struttura della torre campanaria. Quest'ultima è stata messa in sicurezza attraverso un sistema di fasciature con cavi metallici e sistemi lignei per il consolidamento della muratura [Figura 2b].



Figura 1. Palazzo Comunale



a)



b)

Figura 2. Effetti del campanile sul palazzo comunale (a); Interventi di messa in sicurezza della torre campanaria (b)

2.2 Basilica di San Benedetto e Chiesa di Santa Maria Argentea

Per quanto riguarda la Basilica di San Benedetto, i danni sono stati principalmente causati dall'assenza di collegamenti efficaci tra le pareti con conseguente attivazione di meccanismi di ribaltamento e disgregazione dell'apparato murario dettato dalla scarsa qualità della muratura utilizzata. Del corpo di fabbrica della Basilica non resta nulla se non l'abside [Figura 3] e la facciata principale [Figura 4a]. Quest'ultima è sostenuta mediante una struttura metallica intelaiata così come la facciata della vicina Chiesa di Santa Maria Argentea [Figura 4b].



Figura 3. Crollo struttura interna e navata della Basilica



a)



b)

Figura 4. Puntellamento della facciata della Basilica di San Benedetto (a) e della Chiesa di Santa Maria Argentea (b)

2.3 Centro storico

Nel centro storico, rilevanti sono le lesioni riportate dall'azione tagliante sugli edifici in muratura, essenzialmente su quelli di natura storica, e i crolli dei solai di copertura i quali, irrigiditi dai precedenti interventi, hanno trasferito un'azione spingente su elementi murari di scarsa qualità.



Figura 5. Lesione da taglio del pannello di maschio (via C. Battisti)



Figura 6. Lesione da taglio nella fascia di piano (corso Sertorio)



Figura 7. Interventi di contenimento al ribaltamento fuori piano della parete (via Solferino)



Figura 8. Propagazione della fessura lungo l'intera parete (via Cavour)

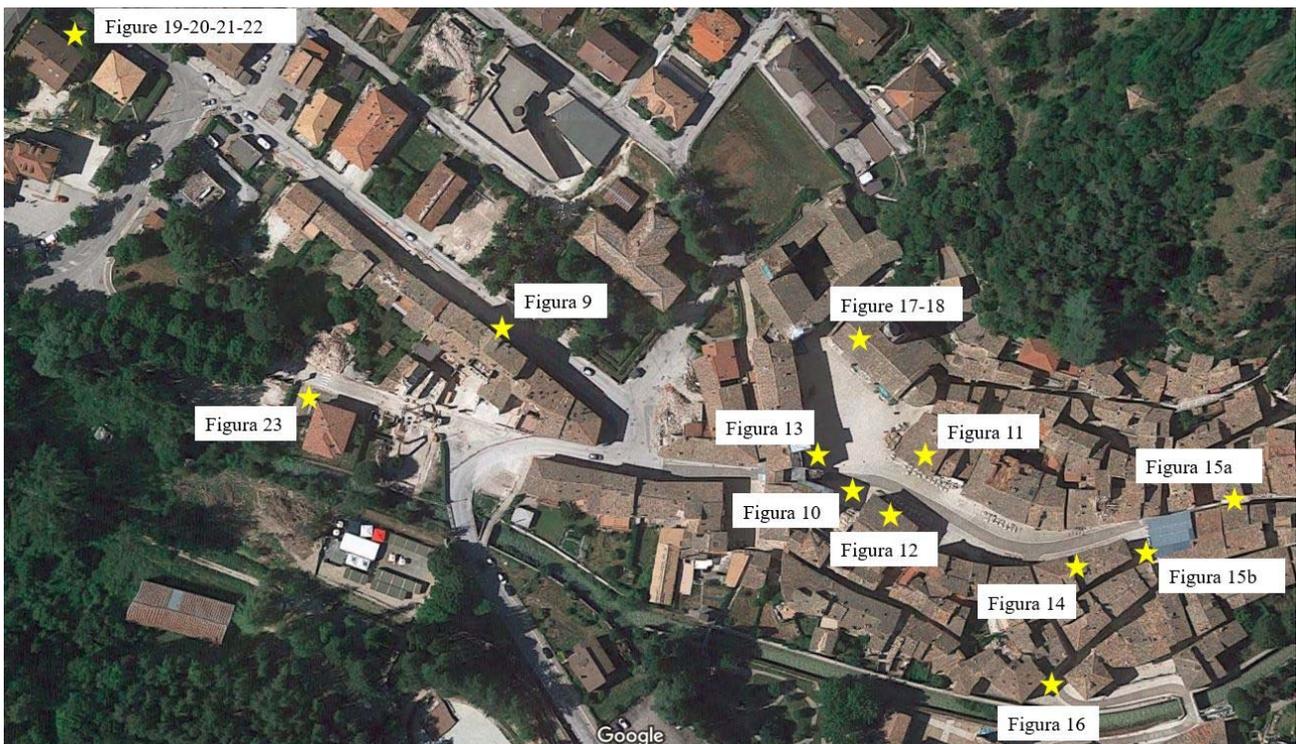
3. Comune di Visso

Visso è un comune della provincia di Macerata. Situato a 607 m s.l.m., consta di una popolazione di 1106 abitanti (dati Istat 01/01/2017) e di una superficie di 100,40 km², con una densità abitativa di 11,02 ab/km². Il comune rientra nella zona sismica 1 (OPCM 3274/2003), ovvero nella zona ad alta pericolosità sismica, con accelerazione massima al suolo $a_g > 0,25g$.

Il centro storico sorge in parte su roccia affiorante e in parte su un banco di depositi alluvionali, vista la immediata prossimità col torrente Ussita. Quest'ultima è stata oggetto della visita tecnica e, catalogata come zona rossa, si presenta in una situazione disastrosa, come si evince dai danneggiamenti osservati. In particolare, è stata focalizzata l'attenzione sugli edifici in muratura, con la presenza di lesioni da taglio, ribaltamento delle pareti fuori dal proprio piano, disgregazione delle murature, crollo dei solai di copertura irrigiditi dagli interventi eseguiti dopo il terremoto del 1997, innesco di meccanismi locali nelle pareti.

In generale, i danni sono dettati dalla costruzione degli edifici in assenza dei criteri della buona regola dell'arte in quanto si è riscontrata una scarsa qualità delle murature, assenza di collegamento tra i paramenti che costituiscono la muratura, assenza di collegamento tra le pareti ortogonali, distribuzione asimmetrica delle aperture in facciata. Gli interventi finora eseguiti hanno riguardato la messa in sicurezza degli edifici, principalmente attraverso sistemi di incatenamento, cerchiatura metallica e puntellatura.

Nell'immagine di seguito sono riportate le localizzazioni dei principali dissesti e interventi osservati.



Localizzazione dei principali dissesti osservati nel Comune di Visso e richiamati nel seguito



Figura 9. Quadro fessurativo e mancanza di collegamento tra gli edifici (via Battisti)

3.1 Centro storico

Ad oggi sono state realizzate opere di messa in sicurezza per consentire l'accesso al centro storico attraverso via Fiume, arteria principale, e opere su strutture di rilevanza storica quali la Collegiata di Santa Maria e il Palazzo comunale di Largo Goala Antinori. Gradualmente l'attenzione è stata poi posta sulle civili abitazioni, evidenziando il notevole danneggiamento.



Figura 10. Realizzazione di una struttura metallica a protezione dell'unico accesso al centro storico (via Fiume, piazza Martiri Vissani)



Figura 11. Fessurazione diffusa dei pannelli di fascia (piazza P. Capuzi)



Figura 12. Interventi di messa in sicurezza dell'edificio (piazza P. Capuzi)



Figura 13. Crollo dei piani superiori di un edificio con disgregazione del materiale scadente e totale assenza di collegamenti tra i paramenti murari e tra le pareti ortogonali (piazza Martiri Vissani)



Figura 14. Lesioni da taglio nei pannelli di maschio e di fascia (piazza P. Capuzi)



a)



b)

Figura 15. (a) Meccanismo locale da flessione verticale: (a) dovuto alla presenza di elemento spingente (via Galliano); (b) della parete perimetrale (Largo G.B. Goala Antinori)



a)



b)

Figura 16. Lesioni da taglio per azione ciclica nei pannelli di maschio: (a) con propagazione della fessura nella zona del cantonale per scarso ammorsamento tra pareti ortogonali e differente altezza degli edifici attigui (via G. Leopardi); (b) con scarsa qualità della muratura (via delle Guaite)

3.2 Collegiata di Santa Maria

Di particolare interesse gli interventi osservati a fronte dei dissesti alla Collegiata di Santa Maria in piazza Martiri Vissani.

La struttura ha subito un principio di distacco e ribaltamento della parete d'angolo, ragione dell'intervento di cerchiatura evidente in facciata [Figura 17].

Dall'interno sono visibili sia le catene poste in opera successivamente al sisma del 1997, che gli interventi alla volta danneggiata dell'abside [Figura 18].

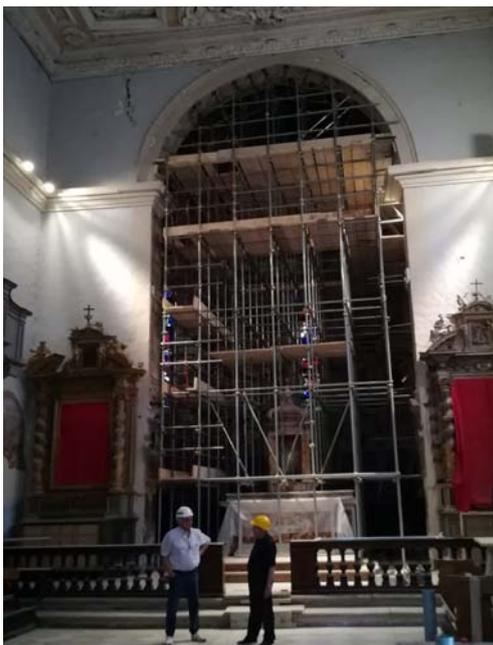


a)



b)

Figura 17. (a) Fessurazione in prossimità del cantonale; (b) intervento di contenimento della parete muraria



a)



b)

Figura 18 (a) Messa in sicurezza della volta; (b) particolare della lesione

3.3 Zona residenziale

Fuori la zona rossa l'abitato è realizzato per lo più in cemento armato; questo ha subito danni strutturali di grande rilevanza quali formazione delle cerniere plastiche nei pilastri tozzi e rottura a taglio dei nodi. Sono stati riscontrati gravi danni anche agli elementi non strutturali quali lesioni a taglio alle tamponature e, in alcuni casi, il totale ribaltamento

Di particolare interesse l'edificio in via Valnerina n. 49, ove sono evidenti i danni agli elementi strutturali e non strutturali, come visibile nelle immagini di seguito riportate.



Figura 19. Grave danneggiamento dovuto alla dimensione ridotta degli elementi in presenza del seminterrato (via Valnerina)



Figura 20. Particolari di rottura per schiacciamento del pannello murario in mattoni di cemento al piano seminterrato



a)

b)

Figura 21. (a) Danneggiamento diffuso sulle tamponature; (b) puntellamento del pilastro d'angolo



Figura 22. Fessurazione orizzontale del pilastro dovuta ad errata ripresa del getto

Si pone inoltre attenzione al caso dell'edificio di via G. Rosi n. 29, caratterizzato da una struttura intelaiata in cemento armato in cui una parte del suo corpo risulta essere a sbalzo [Figura 23]. A causa della presenza delle sole tamponature in questa parte di edificio, il danneggiamento degli elementi non strutturali risulta predominante, in quanto essi vengono maggiormente sollecitati dalle azioni orizzontali. Si osserva principalmente il parziale ribaltamento delle tamponature ed il conseguente danneggiamento degli infissi presenti.



Figura 23. Danneggiamento di elementi non strutturali (via G. Rosi n. 29)

4. Comune di Camerino

Camerino è un comune italiano di 7007 abitanti (Istat 01/01/2017), in provincia di Macerata (Marche), che si estende per una superficie di 129,88 km², con densità abitativa di 54 ab./km² (Codice Istat: 043007).

Appartiene alla zona sismica II secondo la classificazione sismica dei comuni italiani dell'OPCM n. 3274/2003.

La zona più colpita è stata il centro storico del Comune che ha subito danni gravi. La maggior parte degli edifici sono in muratura dove si sono potute osservare, sulla facciata di alcuni di essi, strategie di rinforzo quali catene e tiranti che in alcuni casi hanno evitato il ribaltamento.

Fra i danni maggiormente osservati per gli edifici in muratura ci sono le lesioni diagonali, il ribaltamento e i meccanismi dovuti alle scarse proprietà meccaniche del materiale.

La cittadina di Camerino è arroccata sulla sommità del colle sul quale erge il centro storico, mentre alle sue pendici sono sorti nuovi insediamenti, tra i quali il quartiere Vallicelle, anch'esso particolarmente danneggiato dallo sciame sismico in oggetto: i danni qui riscontrati sugli edifici in cemento armato sono prevalentemente lesioni nei nodi causati da scarsa armatura a taglio (mancanza di staffe o non adeguato passo di esse) e ribaltamento delle tamponature.

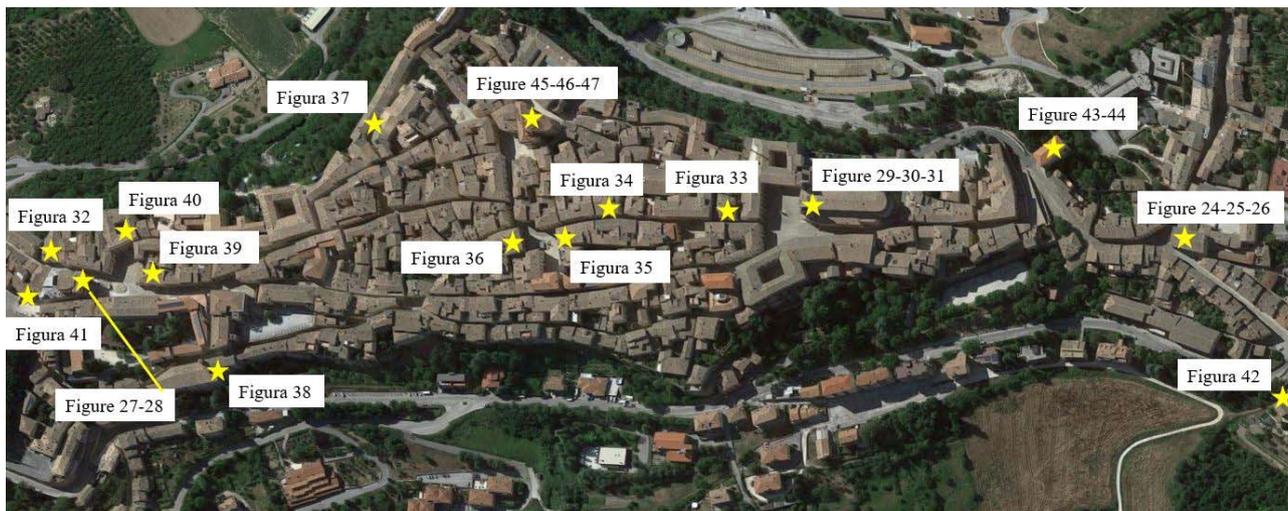
Secondo la scala europea EMS98 (European Macroseismic Scale), il valore attribuito a Camerino è 7-8 EMS.

Gli interventi, finora eseguiti, hanno riguardato la messa in sicurezza degli edifici, principalmente attraverso sistemi di incatenamento, cerchiatura metallica e puntellatura. Particolare attenzione è stata posta nella messa in sicurezza di due Chiese.



Inquadramento generale del comune di Camerino e del quartiere Vallicelle

Nell'immagine di seguito, sono riportate le localizzazioni dei principali dissesti e interventi osservati nel centro storico.



Localizzazione dei principali dissesti osservati nel centro storico di Camerino e di seguito richiamati

4.1 Edifici in muratura

Attraversando il centro storico di Camerino, sia a ridosso che all'interno della zona rossa, sono notevoli gli interventi di messa in sicurezza sugli edifici sia di culto che di uso civile.

4.1.1 Edifici di culto

Di grande impatto sono gli interventi con strutture di contenimento delle facciate delle Chiese di San Domenico (Figura 24, Figura 25 e Figura 26) e Santa Maria in Via (Figura 27 e Figura 28).



Figura 24. Intervento di messa in sicurezza della facciata del Complesso di San Domenico con struttura in acciaio



Figura 25. Sistema di cavi per il fissaggio della struttura in acciaio (Complesso di San Domenico)



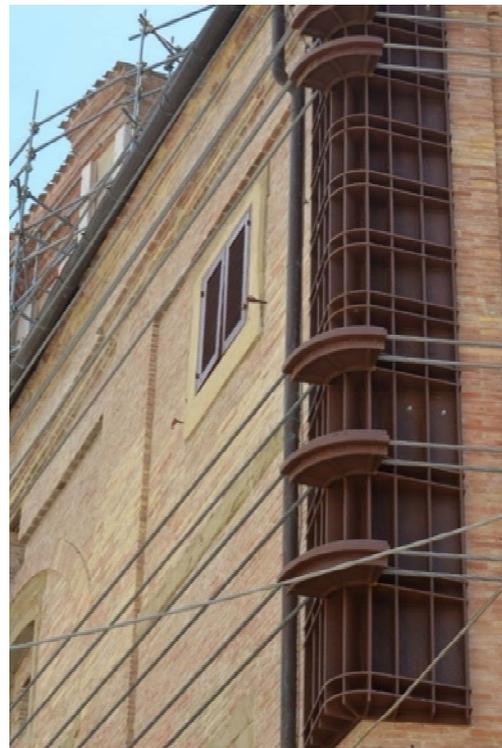
Figura 26. Particolare del sistema di cavi (Complesso di San Domenico)



Figura 27. Intervento di messa in sicurezza della facciata della Chiesa di Santa Maria in Via con struttura in acciaio



a)



b)

Figura 28. Particolari del sistema di contenimento (Chiesa di Santa Maria in Via)

Il complesso monumentale della Cattedrale di Santa Maria Annunziata presenta gli interventi di messa in sicurezza già osservati nel 2017. Il sistema di elementi in legno e catene in acciaio provoca un effetto di confinamento, per evitare alla struttura dissestata dal sisma di subire fenomeni di crisi a compressione.

In aggiunta ai danni riportati nel report 2017, si osservano quelli al timpano della facciata e al campanile.



Figura 29. Sistemi di messa in sicurezza della facciata e dei campanili (Cattedrale di Santa Maria Annunziata)



Figura 30. Fenomeno di ribaltamento del timpano e sistemi di contenimento misto legno-acciaio (Cattedrale di Santa Maria Annunziata)



Figura 31. Cattedrale di Santa Maria Annunziata: (a) Effetto di confinamento garantito da elementi in legno e catene di acciaio; (b) particolare del quadro fessurativo del campanile

La Chiesa di San Giacomo è un edificio precedentemente soggetto a interventi di adeguamento strutturale (evidente è il cordolo in c.a. della copertura con ancoraggi alla struttura muraria, che ha inoltre aumentato la massa in testa) la cui realizzazione non è stata efficace a causa delle scarse proprietà meccaniche della muratura preesistente nei confronti dei nuovi elementi in c.a. i quali non hanno fornito l'effetto scatolare richiesto.



Figura 32. Collasso per disgregazione della muratura dovuto alla presenza di un elemento fortemente irrigidente in testa (Chiesa di San Giacomo)

4.1.2 Edifici civili



Figura 33. Propagazione della lesione a taglio fino al cantonale (Corso Vittorio Emanuele II n. 9)



Figura 34. Quadro fessurativo concentrato nelle fasce (Corso Vittorio Emanuele II n. 43)



Figura 35. (a) Lesioni da taglio localizzate essenzialmente nei pannelli di fascia; (b) meccanismo di ribaltamento parziale della parte superiore della facciata (Piazza G. Garibaldi n. 20)



Figura 36. Particolare di collasso della chiave di volta e principio di distacco laterale (portici in Piazza G. Garibaldi n. 25)



Figura 37. Collasso della muratura dovuta probabilmente a un elemento spingente in sommità (Via Tiburzio Vergelli n. 10)



Figura 38. Lesione da taglio nel Campanile dell'Accademia Italiana Clarinetto (Via Costanza Varano)



Figura 39. Meccanismo di ribaltamento parziale probabilmente causato dalla deformabilità della trave in legno (Via Pieragostini n. 12)



Figura 40. Sistemi di contenimento misti legno-acciaio in direzione orizzontale e verticale (Piazza Umberto I n. 3)



Figura 41. Macerie dell'edificio residenziale interessato dal crollo del campanile della Chiesa di Santa Maria in Via (via C. Battisti n. 2)



Figura 42. Sistema di contenimento misto legno-acciaio (Strada Provinciale n. 18)

4.2 Edifici in cemento armato

4.2.1 Centro storico

Sebbene la mappatura strutturale del centro storico sia caratterizzata essenzialmente da edifici in muratura, si possono trovare, sia in prossimità che all'interno del centro stesso, edifici in cemento armato.



Figura 43. Danneggiamenti della tamponatura (Via Ridolfini n. 2)



Figura 44. Particolare del quadro fessurativo (Via Ridolfini n. 2)

In via Arco della luna, in pieno centro storico, sorge l'edificio multipiano dell'Università di Camerino (Scuola delle Scienze e delle Tecnologie). Questo si caratterizza per irregolarità in pianta e in elevazione, con notevoli differenze di altezze di piano. Nelle immagini sottostanti si evidenzia l'espulsione delle tamponature concentrate al primo e secondo livello a causa dei maggiori spostamenti di interpiano.



Figura 45. (a) Espulsione delle tamponature ai piani inferiori; (b) particolare del danneggiamento (Scuola Scienze e tecnologie UniCam, Via Arco della luna)



Figura 46. Danneggiamento localizzato in prossimità della scala (Scuola Scienze e tecnologie UniCam, Via Arco della luna)



Figura 47. Danneggiamento per l'assenza di armatura nel pannello nodale e scarsa efficienza dell'ancoraggio dell'armatura longitudinale della trave (Scuola Scienze e tecnologie UniCam, Via Arco della luna)

4.2.2 Quartiere Vallicelle

A ridosso del colle su cui sorge il centro storico di Camerino, tra i nuovi insediamenti residenziali è stata posta particolare attenzione per il quartiere Vallicelle, già interessato da opere di adeguamento post 1997, e che con lo sciame sismico 2016-2017 ha riportato notevoli danni sia alle parti strutturali che non degli edifici.

Di seguito si riporta la mappatura dei dissesti osservati al quartiere.



Localizzazione dei principali dissesti osservati nel quartiere Vallicelle e di seguito richiamati



Figura 48. Lesioni a taglio ed espulsione della tamponatura (quartiere Vallicelle)



Figura 49. Probabile meccanismo di piano soffice (quartiere Vallicelle)

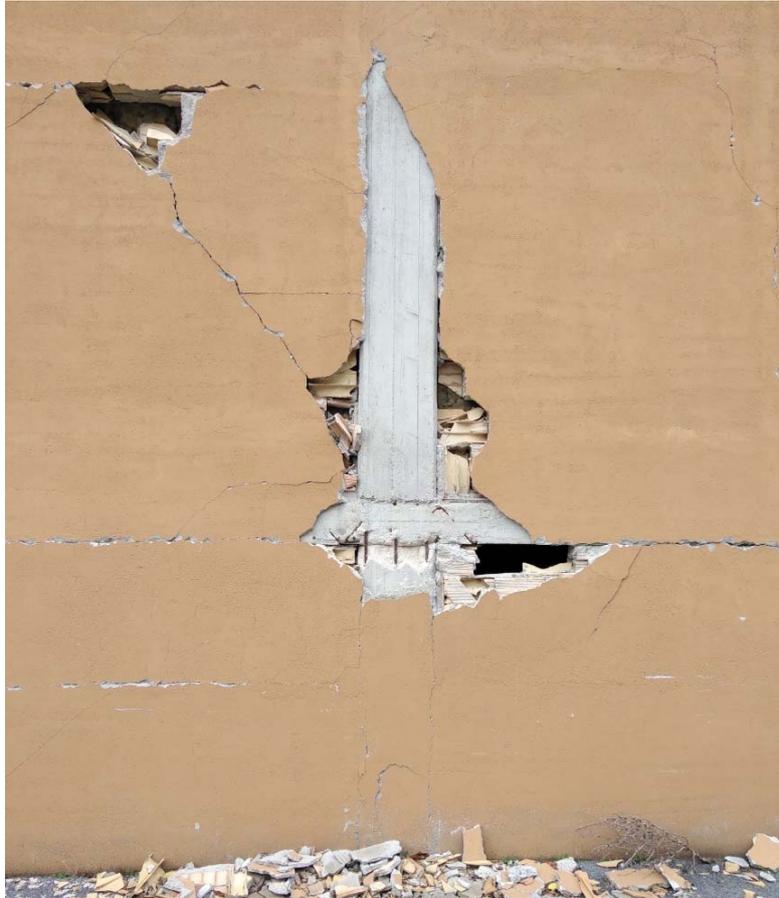


Figura 50. Assenza di staffatura nel nodo ed espulsione del copriferro (quartiere Vallicelle)



Figura 51. Danneggiamento dovuto alle dimensioni tozze degli elementi strutturali e mancata distinzione tra zona critica e non critica, evidenziata dal passo elevato delle staffe in prossimità del nodo (quartiere Vallicelle)



a)



b)

Figura 52. Rottura a taglio del nodo dovuta al meccanismo di puntone compresso nella tamponatura (quartiere Vallicelle)



Figura 53. Distacco parziale del paramento esterno delle tamponature (quartiere Vallicelle)



a)



b)

Figura 54. Crisi a taglio di pilastro in cemento armato (quartiere Vallicelle)

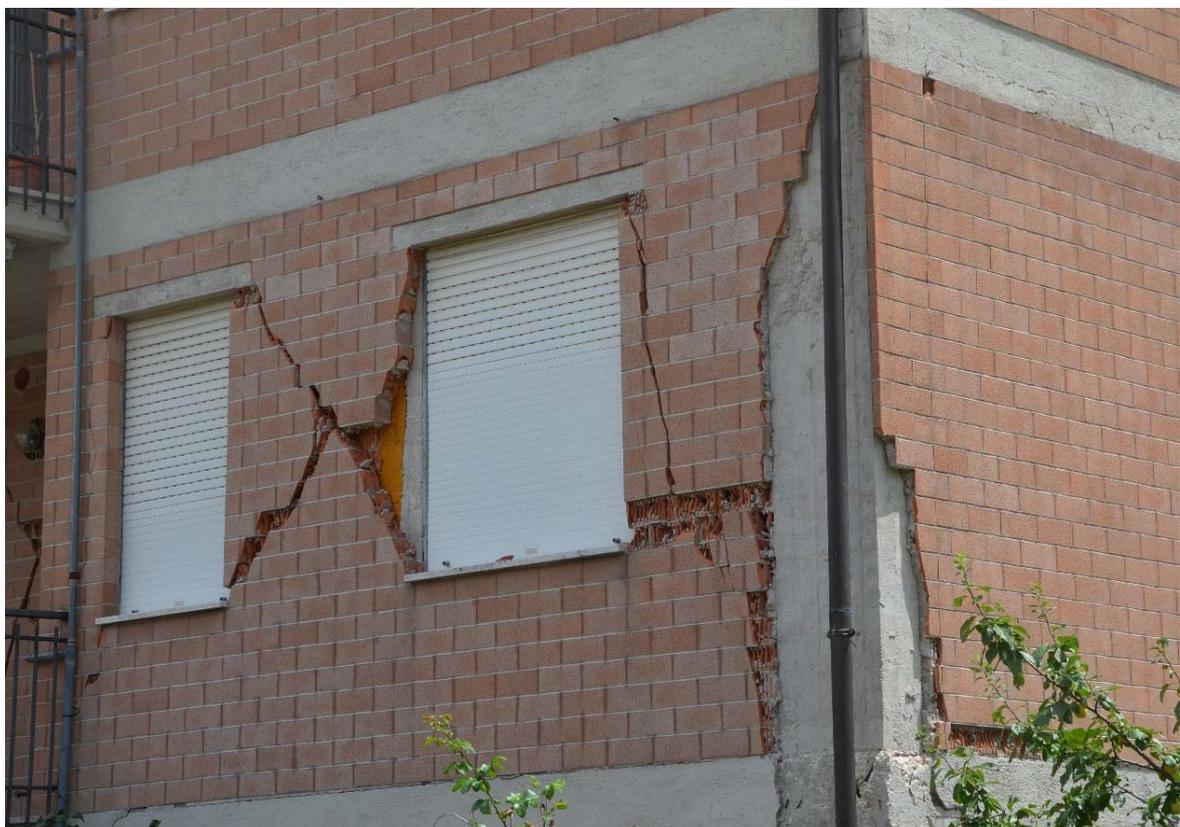


Figura 55. Lesione diagonale della tamponatura (quartiere Vallicelle)