

Vulnerabilità dei Centri Storici e dei Beni Culturali

Coordinatore: Ing. Luciano Marchetti

Introduzione

L'attività di ricerca è volta a sperimentare su centri storici campione la possibilità di organizzare in banche dati sistematiche le informazioni utili all'approntamento dei piani di recupero e alla progettazione degli interventi sui beni culturali. In particolare tali informazioni riguarderanno le caratteristiche tecnologico-costruttive degli edifici censiti, le caratteristiche della struttura e dei materiali (con particolare riferimento alle tecnologie costruttive ed ai materiali impiegati per le murature portanti) anche di quelli impiegati per le riparazioni prima del terremoto, i meccanismi di collasso degli edifici e delle strutture causati dal terremoto anche ad edifici già riparati.

Attraverso una valutazione sull'efficacia degli interventi passati di messa in sicurezza sarà possibile redigere linee guida per la riparazione ed il miglioramento.

Nel secondo anno di ricerca, una volta conclusa la campagna di rilievo dei due centri di Montesanto e di Roccanolfi, i rilievi hanno interessato le altre due aree campione di Campi Alto e Castelluccio di Norcia (PG). Su tali centri sono state eseguite indagini in situ e di laboratorio atte a caratterizzare la tessitura muraria, le caratteristiche delle strutture e dei materiali della muratura oggetto di studio.

Titoli dei sottoprogetti

U.R. 1 - Responsabile scientifico: arch. Margherita Guccione – Indagine sugli interventi di messa in sicurezza e loro valutazione in base al valore storico-artistico e monumentale dei manufatti.

U.R. 2 - Responsabile scientifico: Prof. Luigia Binda – Interpretazione della consistenza dell'edilizia storica dei casi studio, analisi del danno sismico pregresso e valutazione di vulnerabilità

U.R. 3 - Responsabile scientifico: Prof. Claudio Modena – Valutazione sull'efficacia degli interventi passati e produzione di linee guida per la riparazione ed il miglioramento

U.R. 1 - Responsabile scientifico: arch. Margherita Guccione

Un'approfondita ricerca storica è stata svolta negli archivi e nelle biblioteche non solo del territorio provinciale ma anche di Roma (in quanto territorio afferente in passato allo Stato Pontificio) allo scopo di individuare le origini e l'evoluzione dei due centri storici, la ricostruzione degli eventi sismici nella zona e per spiegare la presenza di certe vulnerabilità degli edifici, mediante la conoscenza del loro sviluppo in tempi successivi.

Campi Alto di Norcia: Si tratta di un castello di pendio circondato da mura con case disposte su una serie di terrazzamenti concentrici delimitati da vie raccordate da brevi rampe radiali (v Fig.1). I volumi degli edifici di Campi si adeguano all'orografia, escogitando soluzioni funzionali alla vita sociale e religiosa del castello e si presentano nella maggior parte dei casi con disposizione a schiera.

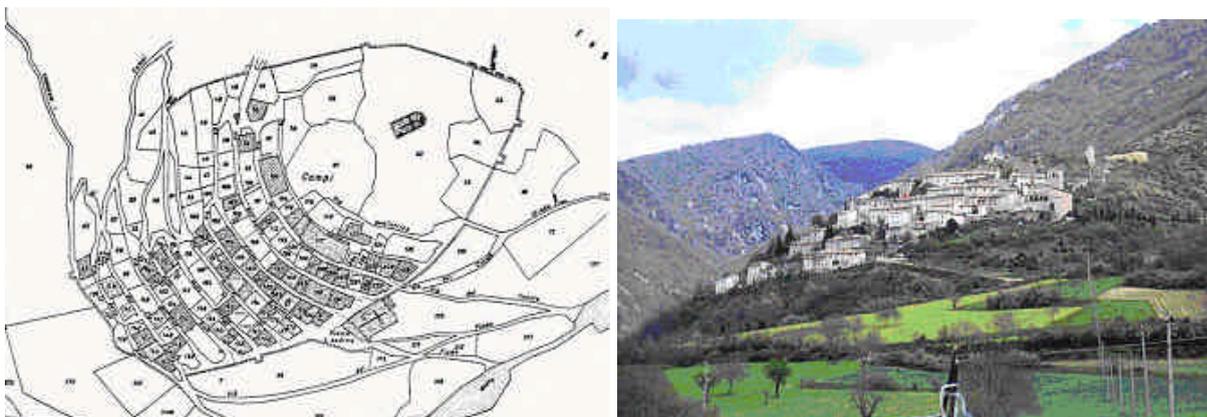


Figura 1. Pianta e veduta di Campi Alto di Norcia.

Campi appartiene al comune di Norcia, da cui dista 11 km, si trova ad un'altitudine di circa 900 m e conserva ancora l'aspetto del castello medievale. Oggetto di studio è Campi Alta, in quanto esiste anche una parte a valle denominata Campi Bassa ovvero "La Civitas Campi": un agglomerato agricolo di probabile origine etrusca con testimonianze romane chiamato anche, nel Medioevo, "Campi vecchio". In seguito alla distruzione di questa cittadina, i coloni si trasferirono più a monte e costruirono il Castello di Campi detto anche "Campi nuovo". Il castello risale al 1288. Le mura castellane sono crollate ma si conserva ancora l'arco d'ingresso e un torrione. Le caratteristiche edilizie dell'abitato indicano ancora, nonostante i danni provocati dal tempo e dai terremoti, l'importanza del castello di Campi che possedeva un Monte di Pietà già nel 1502 e due cenobi (un convento dei minori francescani e il monastero di S.Orsola delle benedettine).

Castelluccio di Norcia: sorge su una collina a 1453 m sul livello del mare. Il nucleo urbano è di sommità con sviluppo elicoidale. Le case si dispongono a semicerchi concentrici sul pendio esposto a sud, restando deserto il versante nord per le avverse condizioni climatiche e orografiche (Fig.2). Lo sviluppo urbanistico del paese si manifesta in due fasi: la prima accentrata attorno al Cassero, la parte più in sommità di cui si conserva solo l'impianto planimetrico ed il reticolo viario, e la seconda verso i piedi della collina, dove si sono conservate le costruzioni adibite a stalle.

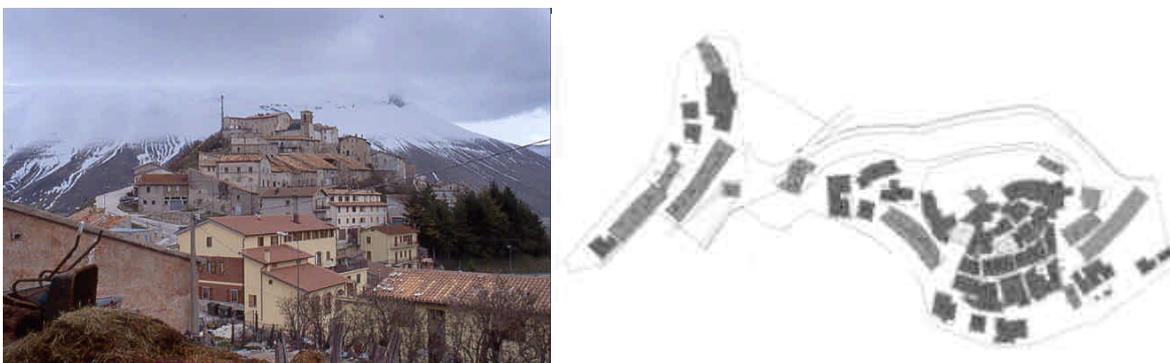


Figura 2. Pianta e veduta di Castelluccio.

I primi documenti su Castelluccio sono datati 1276. Nelle riformanze del 1442, nella consegna dei palii Castelluccio è chiamato Castello de Monte Precino ed appartiene al comune di Norcia.

Fino a circa la metà del 1900 esisteva un solo nucleo abitato, quello compreso tra le vecchie mura, mentre all'esterno ed in basso si raccoglievano le stalle. Oggi, però a causa della decadenza degli allevamenti, dell'abbandono del paese, si è formato un secondo polo nella parte bassa del colle, lungo la strada provinciale che viene da Norcia. Castelluccio ha conservato, così, quasi interamente la sua antica struttura.

Sempre per ragioni climatiche, le vecchie finestre del paese erano di dimensioni molto piccole, incassate, soprattutto quelle a nord, per ripararsi dal freddo e dal vento.

L'epoca di maggiore attività edilizia è stata il XVI sec., mentre per tutta la prima metà del 1700 venivano riparati i danni causati da due grandi terremoti, quello del 1703 e del 1730.

Durante il secondo anno è stata svolta anche una raccolta di documenti presso il Comune di Norcia e la Soprintendenza relativamente ai piani ed ai progetti di intervento proposti ed eseguiti dopo il terremoto del 1979.

U.R. 2 - Responsabile scientifico: Prof. L. Binda

I due centri si prestano allo studio atto ad analizzare i meccanismi di danno attivati dal terremoto ed interpretarli sulla base di una conoscenza delle tecniche costruttive originali e delle modifiche apportate dai successivi interventi (compresi quelli recenti di adeguamento sismico); lo scopo è quello di fornire indicazioni utili nell'impostazione del piano di recupero dei centri, ovvero della loro restituzione all'uso che sarà decisa dalle autorità competenti e dai proprietari degli immobili, e nella loro prevenzione e salvaguardia dai futuri eventi sismici [1].

a) Campi alto di Norcia:

In tutto il territorio nursino l'unico tipo di abitazione riscontrato è la casa unifamiliare a due o più piani, costruita secondo una tecnica costruttiva semplice con muri in pietra, solai e coperture in legno [2]. I diversi modi in cui la casa unifamiliare può aggregarsi sono i soli fattori che determinano le diverse tipologie edilizie: casa isolata, casa a schiera semplice o doppia, casa a blocco.

In conseguenza del forte dislivello del terreno in cui è ubicato Campi Alto (oltre 100 metri dalla base al culmine dell'aggregato) gli edifici seguono il naturale andamento delle curve di livello del terreno e si sviluppano secondo una tipologia a schiera, genericamente su tre livelli: uno con accesso dalla strada a valle (per stalle, depositi o cantine), uno intermedio ed uno con accesso dalla strada a monte (per l'abitazione). I primi due sono seminterrati ed il terzo è a livello della strada a monte (v. Fig.3).

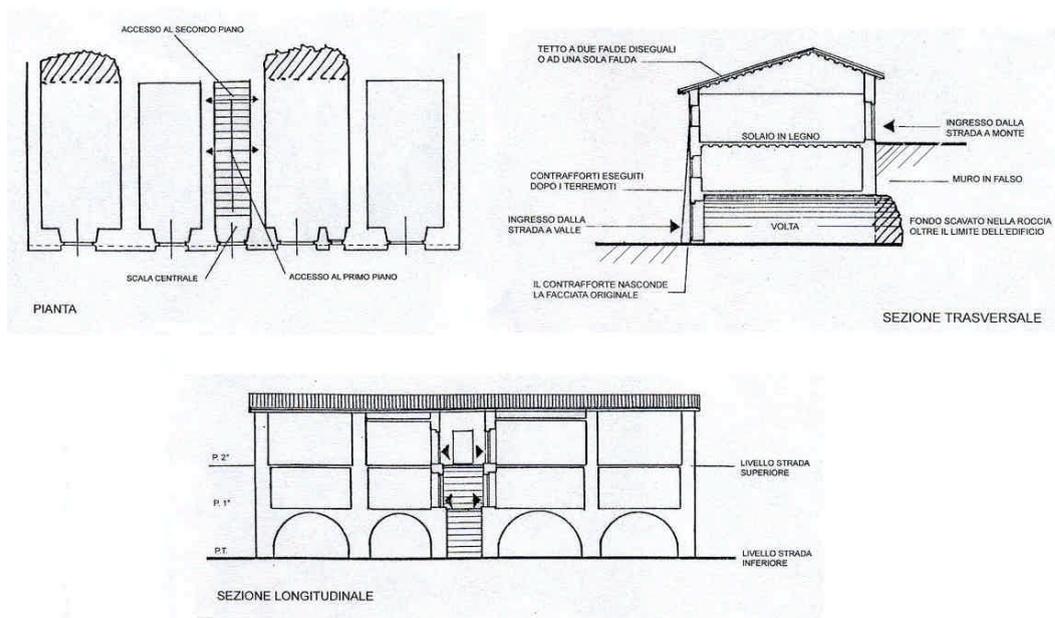


Figura 3. La tipologia edilizia in Campi Alto.

Il piano inferiore in molti casi non presenta muratura di fondo ma risulta scavato nella roccia e si estende sotto la strada a monte con profondità variabili. Tali locali presentano per lo più volte a botte in pietra, che, nonostante i numerosi eventi sismici, restano ancora ben conservate, persino negli edifici parzialmente crollati (v. Fig.4). Un dettaglio rilevato in quasi tutti questi edifici, ancora da comprendere, è l'arretramento di circa 1m delle volte rispetto alle facciate.

I numerosi sismi verificatisi nel passato, tra cui ricordiamo i più importanti nel 1705, 1730, 1859 e tra i più recenti quello del 1979, hanno profondamente segnato tra gli altri anche questo centro storico, che mostrava non solo le piaghe di tali eventi ma anche quelle dell'abbandono protrattosi per lungo tempo. In figura 5 si presenta un confronto tra lo stato di fatto al 1820-35 e il 1997. Le ricerche d'archivio hanno anche avuto lo scopo di chiarire l'esistenza a Campi di una elevata concentrazione di piccoli edifici religiosi: 22 di cui solo 13 sopravvissuti.

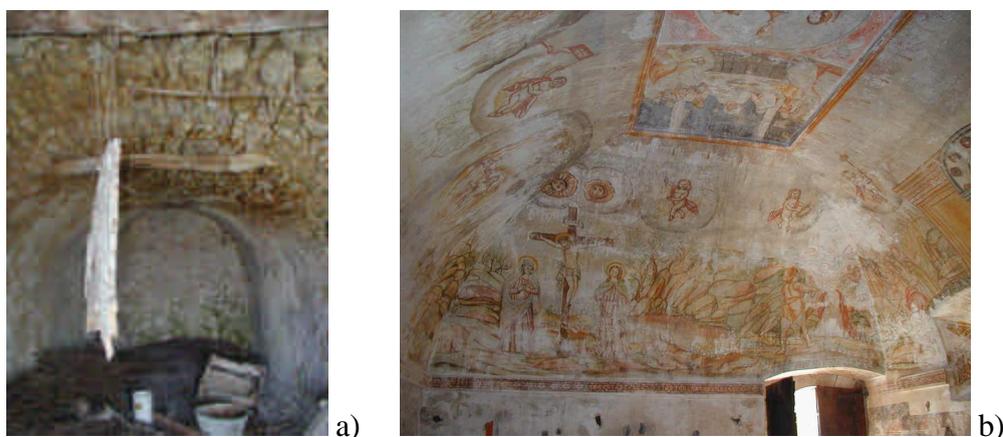


Figura 4. Campi: esempi di piani seminterrati con volte a botte; a) U.I.190 e b) U.I.191.

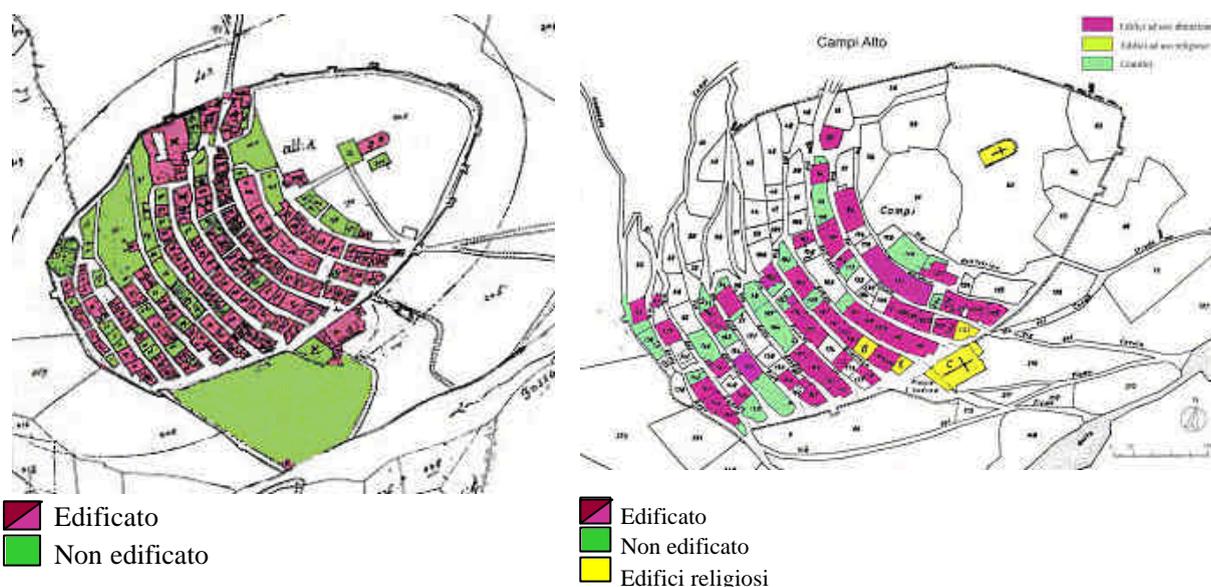


Figura 5. Confronto tra lo stato di fatto di Campi al 1835 e il 1997.

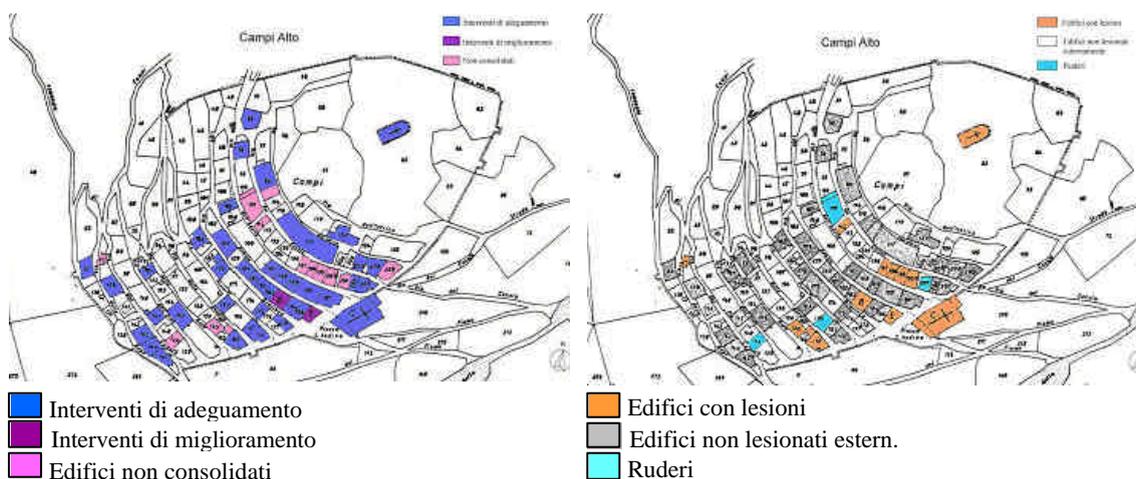


Figura 6. Confronto tra gli interventi realizzati prima del sisma del 1997 e il danno subito dopo il sisma.

A seguito del sisma del 1979, che ha causato numerosi danni alle strutture murarie, il centro storico di Campi Alto ha subito una serie di interventi di adeguamento sismico che hanno compromesso nella quasi totalità le tipologie originarie dei paramenti murari che risultano ora di difficile lettura (Fig.6). Il più delle volte si potrebbe affermare che essi sono stati determinanti nella salvaguardia del centro storico dopo il sisma del 1997, anche se di fatto la scossa sismica in questa valle – Val Castoriana - è stata meno sentita. Infatti i danni riscontrati a Campi dopo il 1997 sono stati di poca entità, per lo più localizzati negli edifici che non avevano subito manutenzione da lungo tempo.

b) Castelluccio di Norcia: La struttura topografica del paese è condizionata dall'orografia del terreno. La viabilità interna principale si sviluppa concentricamente rispetto al colle e divide l'abitato in quattro gironi digradanti. Le strade principali, che nella parte alta del paese si dispongono quasi in piano, si raccordano fra di loro mediante brevi e strette rampe radiali a forte pendenza, dette buci. Questi non sono altro che stretti passaggi ricoperti da volte ancora annerite da fumi secolari. Purtroppo nei primi anni del 1980 tutte le vie del paese sono state pavimentate con cemento.

Non esistono case singole, tranne due edifici di recente edificazione. Il paese è tutto raccolto in una configurazione edilizia molto compatta. Si ricorda che negli aggregati edilizi di forma composita, lo studio del comportamento sismico risulta molto più complesso e in generale meno chiaro rispetto a quelli di forma più regolare.

c) Indagini di laboratorio e in situ: E' stata condotta a Campi e a Castelluccio una campagna d'indagini diagnostiche, eseguite su alcuni edifici abitativi con tipologia ricorrente (abitazioni e stalle) ed alcuni religiosi messi gentilmente a disposizione dalla Soprintendenza ai Beni Architettonici della Regione Umbria. Si tratta di edifici religiosi di notevole pregio, ma molto degradati non solo per effetto del sisma ma anche per mancanza di manutenzione e presenza di umidità in particolare nei locali seminterrati.



Figura 7. Campi: Edifici religiosi (U.I.C e U.I.B).

Le indagini svolte in situ sono consistite in: 1) rilievi geometrici e materici dei singoli edifici, riportati nelle opportune schede, basi di partenza anche per il modello matematico, 2) rilievi dei quadri fessurativi, 3) rilievi anche fotografici dei dettagli utili per studiare l'evoluzione dell'edificio, 4) prove con i martinetti piatti, 5) indagini soniche, 6) prelievi dei materiali per la loro caratterizzazione chimico-fisico-meccanica. I metodi di controllo sonici si collocano all'interno delle indagini non distruttive capaci di caratterizzare e descrivere qualitativamente la muratura. I martinetti piatti si collocano all'interno delle prove semidistruttive al fine di individuare lo stato di sollecitazione e il comportamento tenso-deformativo della muratura. Le prove di laboratorio sono state eseguite sui materiali prelevati (malte e pietre) e sono servite per la definizione di parametri fisici e meccanici e per lo studio della

composizione delle malte. I risultati saranno molto utili nella scelta dei materiali per l'intervento. La fase diagnostica sulle strutture e sui materiali è importante per interpretare il comportamento delle strutture, scegliere modelli opportuni per l'analisi strutturale e scegliere tecniche d'intervento di miglioramento.

Le indagini consigliate forniscono un livello minimo di conoscenza della muratura che è possibile raggiungere anche in casi di carenza di fondi per la sperimentazione.

Su alcuni edifici rappresentativi dei centri storici sono stati prelevati dei campioni di malta e dei materiali lapidei più ricorrenti (v Fig.7), sui quali sono state eseguite della analisi chimico-fisico-meccaniche (v Figg.8, 9, 10).

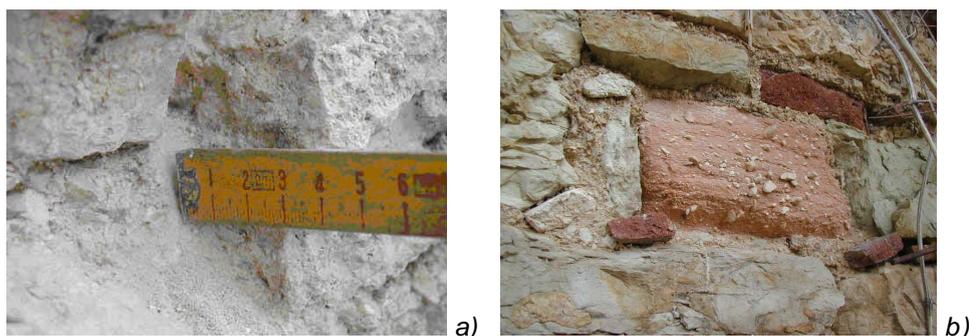


Figura 8. Prelievo di materiali costituenti le murature locali: a) prelievo di malta da un edificio religioso (Chiesa di S.Andrea): presenza di numerosi calcinelli; b) tipologia di elementi lapidei ricorrenti negli edifici abitativi.

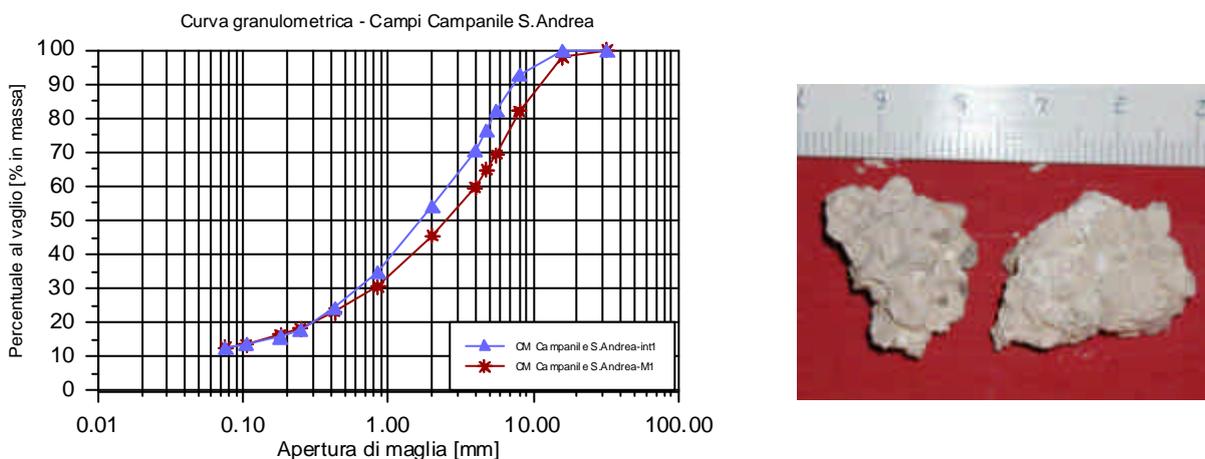


Figura 9 – Analisi granulometrica dell'aggregato di malte prelevate in situ all'interno ed all'esterno della muratura di un edificio religioso.

Le malte prelevate su edifici sia abitativi che religiosi hanno rivelato tutte una elevata presenza di calcinelli che, come le analisi chimiche hanno confermato, rivelano la natura aerea del legante. L'aggregato risulta di natura prevalentemente calcarea ed il suo rapporto col legante può essere stimato intorno a 1:2 ÷ 1:2,5.

Sui campioni degli elementi lapidei sono stati eseguiti dei carotaggi per ricavare provini cilindrici da provare a compressione e a trazione indiretta in condizioni essiccate e sature nella direzione di lavoro e perpendicolare alla direzione del carico. In Fig.10 sono riportati i diagrammi sforzi-deformazioni a compressione, di alcune pietre prelevate in situ.

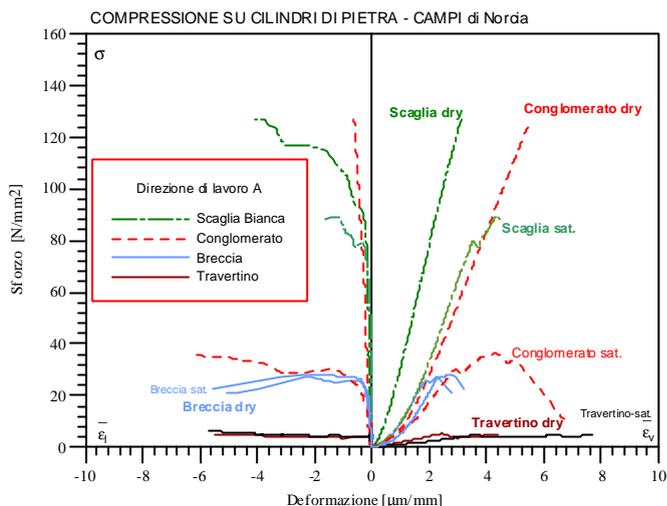
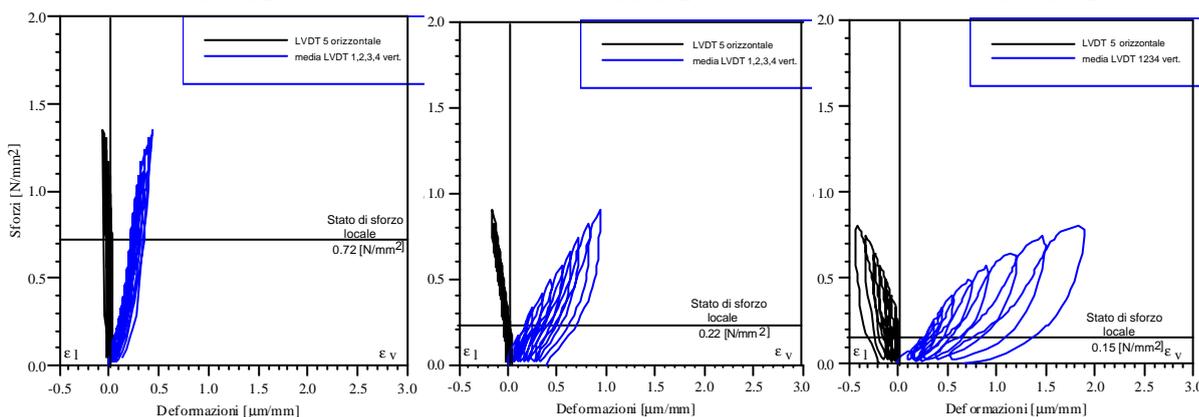
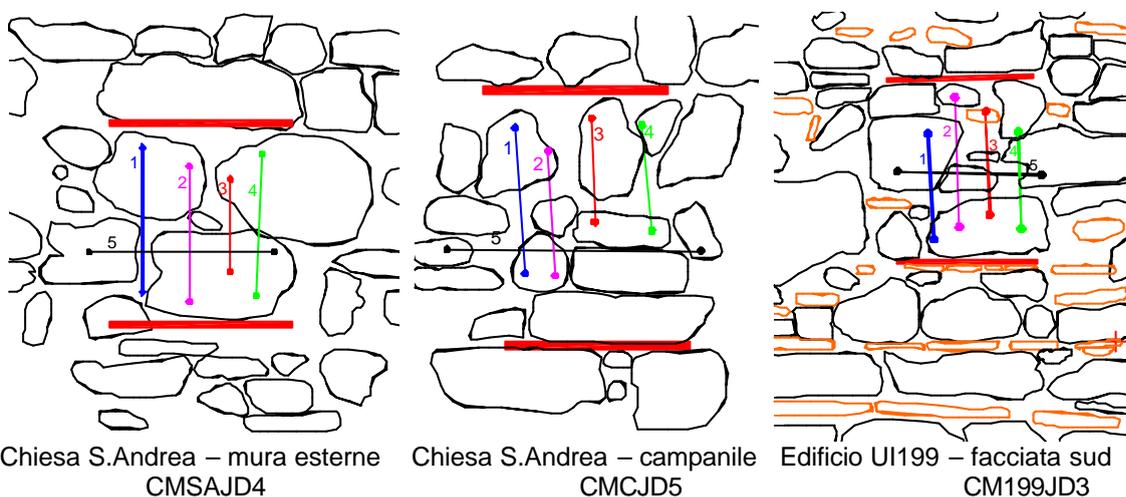


Figura 10. Prove di compressione monotona su cilindri di pietra prelevata in situ, provata nella direzione di lavoro essiccata e saturata.



	CMSAJD4	CMCJD5	CM199JD3
Stato di sforzo locale	0.72 N/mm ²	0.22 N/mm ²	0.15 N/mm ²
Stato di sforzo max. applicato	1.35 N/mm ²	0.90 N/mm ²	0.81 N/mm ²
Modulo Elastico (di Young)	3116 N/mm ²	902 N/mm ²	435 N/mm ²
Coefficiente di Poisson	0.16	0.18	0.25

Figura 11. Alcuni risultati ottenuti dalle indagini con i martinetti piatti singoli e doppi.

Nella Figura 11 si riportano i risultati delle prove con martinetto piatto semplice e doppio eseguite su alcuni edifici rappresentativi di Campi di Norcia. I risultati permettono di distinguere la differenza di comportamento delle murature di edifici più importanti o con struttura molto complessa (Chiesa, campanile), da quello di edifici di abitazione.

Allo stesso modo, è possibile confrontare i valori della velocità sonica misurati nelle stesse aree dove è stato eseguita la prova con martinetto piatto (Fig.12). Anche se il rilievo delle differenze non è immediato, sarà possibile forse utilizzare in futuro l'indagine sonica (ND) con i risultati delle prove con martinetto piatto e soprattutto verificare le zone più deboli delle murature.

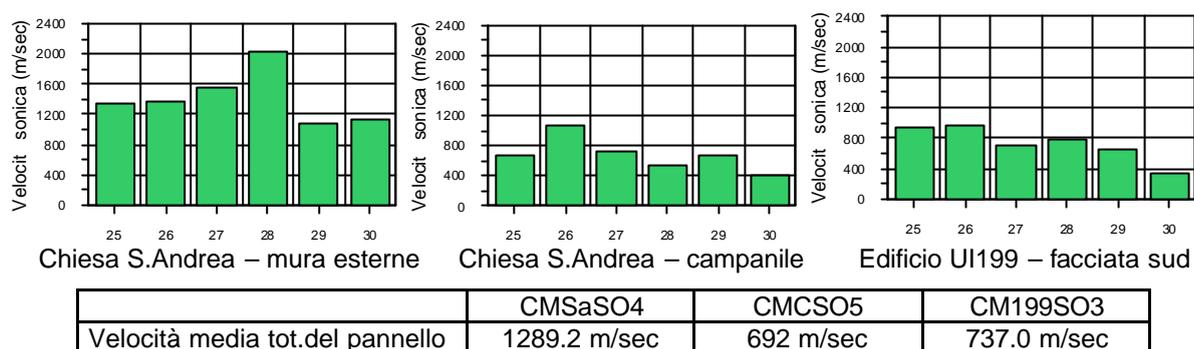


Figura 12. Risultati rappresentativi delle indagini soniche di superficie con traiettoria diagonale.

U.R. 3 - Responsabile scientifico: Prof. C. Modena

Nel secondo anno di ricerca l'U.O. di Padova ha concentrato le attività sulla individuazione dei modelli più appropriati per le analisi di previsione di vulnerabilità da adottare sui centri colpiti che non hanno evidenziato danneggiamento nella fase post-sisma. Sulla base dei rilievi critici sistematizzati in collaborazione con l'U.O. di Milano, l'attività è stata impostata sul centro di Campi di Norcia (PG). Lo studio ha le sue basi nella verifica preliminare della vulnerabilità dei centri maggiormente danneggiati (Montesanto e Roccanolfi), oggetto della ricerca nel primo anno di attività.

Le metodologie di calcolo adottate riguardano l'utilizzo di modelli cinematici elementari che analizzano il comportamento meccanico di componenti strutturali (macromodelli). L'analisi viene effettuata a livello generale, edificio per edificio, mediante l'applicazione del programma Vulnus [3] e, più localmente, selezionando all'interno degli edifici le componenti più significative, attraverso l'applicazione di singoli modelli cinematici. A tale proposito sono state implementate procedure automatiche in ambiente Visual Basic sia della metodologia Vulnus (versione Vulnus VB) [4] che dell'applicazione locale dei cinematicismi (con programma denominato C-Sisma) [5], al fine di rendere agevole l'applicazione su larga scala per analisi speditive.

La metodologia Vulnus individua in particolare due indici, I1 e I2, riferiti rispettivamente alla possibilità di collasso nel piano e fuori piano. Il parametro

significativo, sia per la determinazione di I1 e I2 che nell'applicazione dei singoli cinematismi elementari, è il coefficiente di collasso $c=a/g$, che rappresenta il moltiplicatore delle masse sismiche per il quale l'elemento considerato raggiunge le condizioni limite di equilibrio. In via preliminare, assunto il dato di sismicità della zona oggetto di studio (es. $S=9$ per la località di Campi) è possibile verificare la vulnerabilità effettiva degli edifici in relazione alla vulnerabilità limite richiesta per la zona considerata (in zona II il valore di riferimento è $c=0.28$).

In relazione al centro storico di Campi Alto sono state analizzate tre schiere di edifici, nella fattispecie composti di n. 8 unità abitative ubicate in via Graziosa, n. 5 unità abitative ubicate in via Entedia e n. 4 unità abitative ubicate in via dell'Aquila.

Per tutte le schiere studiate i valori minimi dei coefficienti di collasso si riferiscono a meccanismi fuori piano (indice I2), con una percentuale di sopravvivenza degli edifici complessiva dell'81%. I risultati denotano una particolare sensibilità ai meccanismi di danno più fragili (ribaltamento) per gli edifici di testa delle schiere.

In Fig. 13 si riportano i risultati ottenuti applicando la procedura Vulnus, evidenziando le unità contraddistinte da coefficienti che non soddisfano le richieste normative. A titolo di esempio è riportato, inoltre, in Fig. 14, il risultato dell'applicazione dei singoli cinematismi elementari, in relazione al prospetto rivelatosi maggiormente vulnerabile per la schiera di via dell'Aquila.

Infine, sempre in relazione alla schiera di via dell'Aquila, la simulazione di interventi che prevedano il rafforzamento delle murature, ove possibile, con interventi di iniezione, la chiusura di forature prossime agli spigoli delle murature portanti, e la riqualificazione di solai e coperture lignee con tecniche di irrigidimento mediante assiti sovrapposti [6], induce un miglioramento significativo, quantificabile con una riduzione della vulnerabilità specifica (v. Fig. 15).

La procedura di analisi adottata su Campi verrà successivamente applicata per le valutazioni sul centro di Castelluccio di Norcia (PG), al fine di completare il quadro generale di vulnerabilità dei siti oggetto della ricerca e di fornire un utile contributo alla stesura di una serie di raccomandazioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo dell'efficacia degli interventi di riparazione e rinforzo.

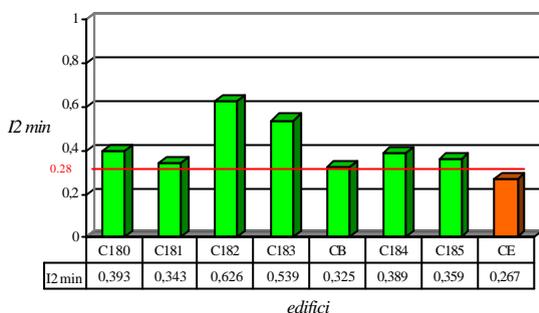
Conclusione

L'indagine condotta dalle 3 UR, ben coordinate tra loro, grazie anche all'apporto organizzativo di Attilio D'Annibale del Dipartimento della protezione civile, ha permesso di raccogliere una grande quantità di dati su:

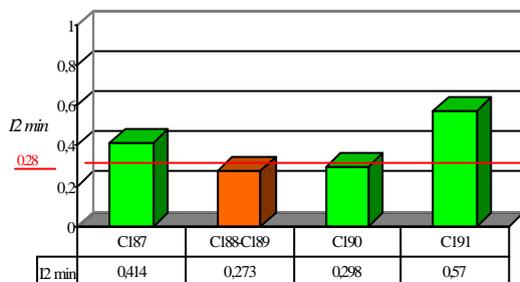
1. storia ed evoluzione degli edifici e dei centri studiati;
2. caratteristiche tipologiche degli edifici, delle strutture e dei materiali;
3. danni e interventi dopo il 1979 e danni dopo il 1997;
4. efficacia delle riparazioni dopo il 1979;
5. possibili meccanismi di danno degli edifici riparati e non riparati in futuro.

I dati sono stati utilizzati per eseguire verifiche degli edifici mediante il programma Vulnus e definirne la loro vulnerabilità oltre che a prevedere opportune tecniche di intervento.

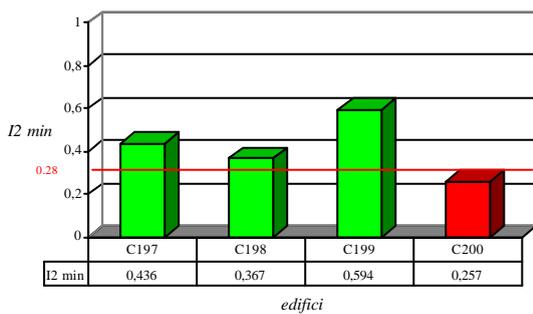
Nel terzo anno i dati ed i risultati saranno trasferiti in un data base che riguarderà i quattro centri di Montesanto, Roccanolfi, Campi e Castelluccio. Saranno inoltre stese delle Linee Guida per l'indagine diagnostica e per gli interventi di miglioramento.



a)

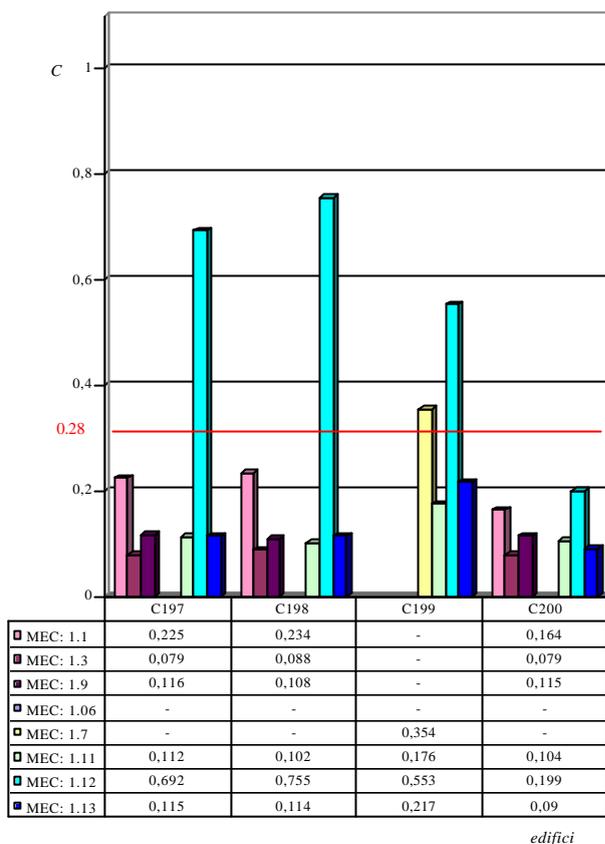


b)



c)

Fig. 13. Risultati di Vulnus per le schiere di via Graziosa (a), via Entedia (b) e via dell'Aquila (c).



edifici

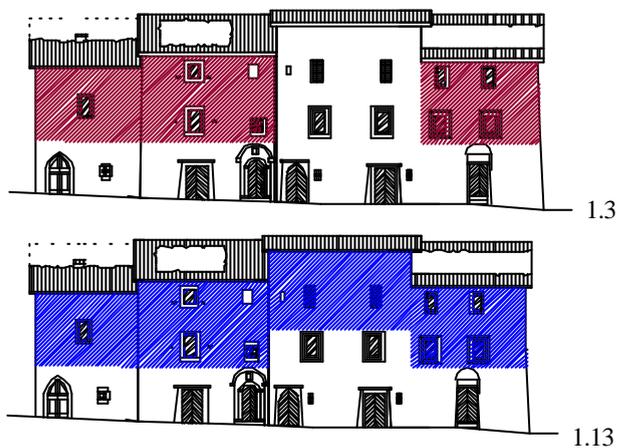


Fig. 14. Risultati di C-Sisma per la schiera di via dell'Aquila con indicazione dei setti sensibili ai meccanismi di collasso più deboli.

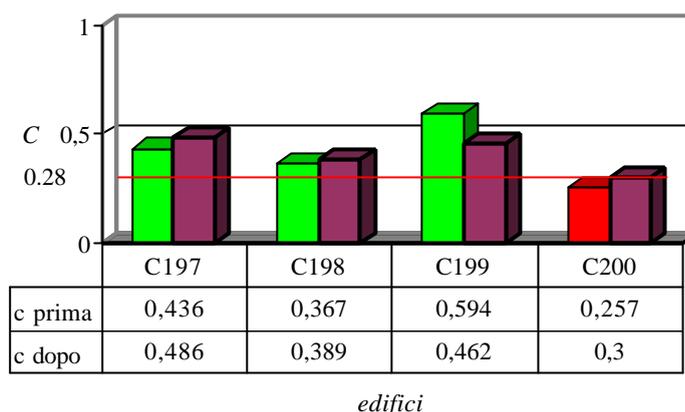


Fig. 15. Schiera di via dell'Aquila: simulazione con Vulnus di possibili interventi d consolidamento.

Bibliografia

- [1] Binda L., Cardani G., Penazzi D., Saisi, A., Performance of some repair and strengthening techniques applied to historical stone masonries in seismic areas, ICPCM a New Era of Building, Cairo, Egypt, 18-20/2/2003, to appear.
- [2] F.Bonfanti, F. Pisco, Campi Alto di Norcia: metodologia per un'indagine conoscitiva del centro storico e per la valutazione delle tecniche d'intervento con individuazione delle principali cause di vulnerabilità ai fini della prevenzione, Tesi di Laurea, Fac. Architettura del Politecnico di Milano, A.A.2001-2002.
- [3] Bernardini A., Gori R., Modena C.: "Valutazioni di resistenza di nuclei di edifici in muratura per analisi di vulnerabilità sismica", R.I. 2/88, Università di Padova, Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni, 1988.
- [4] Faedo S.: "Analisi della vulnerabilità di edifici in muratura nelle zone colpite dal terremoto Umbro-Marchigiano del 1997 mediante procedura automatica", Tesi di Laurea, Università di Padova, A.A. 2000-2001.
- [5] Zenere M.: "Procedura automatica per l'analisi della vulnerabilità di edifici esistenti in muratura mediante l'applicazione di modelli cinematici elementari", Tesi di Laurea, Università di Padova, A.A. 2000-2001.
- [6] Modena C., Riva G., Valluzzi M.R., Mar G., Sonda D., Zonta D., Berti M., da Porto F., Franchetti P., Zanardo G.: "Caratterizzazione strutturale e consolidamento di costruzioni in muratura"; MURST 1998-2000 'Il progetto di conservazione: linee metodologiche per le analisi preliminari, l'intervento, il controllo di efficacia', Rapporti di ricerca, a cura di Serena Pesenti, Alinea Ed., Milano, Dic. 2001; ISBN 88-8125-537-5; pp. 415-457.