Tesi di Dottorato

Valutazione e riduzione della vulnerabilità sismica degli aggregati edilizi nei centri storici

Il caso di Villa Sant'Angelo

Davide Indelicato

Università degli Studi di Catania Dipartimento di Architettura e Urbanistica Dottorato di Ricerca in Progetto e Recupero Architettonico Urbano e Ambientale

In copertina la foto aerea di Villa Sant'Angelo (L'Aquila) scattata subito dopo il sisma del 6 Aprile 2009

Università degli Studi di Catania
Dipartimento di Architettura e Urbanistica
Dottorato di Ricerca in
Progetto e recupero architettonico, urbano e ambientale
XXIII ciclo

Catania
2010

Tesi di Dottorato

Valutazione e riduzione della vulnerabilità sismica degli aggregati edilizi nei centri storici

Il caso di Villa Sant'Angelo

Davide Indelicato

Coordinatrice Prof. Arch. Piera Busacca
Tutor Prof. Ing. Gaetano Sciuto
Co-tutor Prof. Arch. Caterina F. Carocci Prof. Ing. Corrado Fianchino

Ringrazio Cristina,
che riesce sempre a guardare oltre ciò che si vede

Alle mie radici

INDICE

PARTE I
Lo stato dell'arte

1. La vulnerabilità sismica
- 1.1. Origini e terminologia di base 7
- 1.2. Vulnerabilità sismica urbana 11
- 1.3. Vulnerabilità sismica edilizia 14

2. La valutazione della vulnerabilità sismica
- 2.1. Metodologie di valutazione della vulnerabilità sismica urbana 17
- 2.2. Metodologie di rilievo del danno e di valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici 30
- 2.3. La metodologia del "gruppo Ortigia" 39
- 2.4. L'esigenza di revisione della metodologia 40

3. La riduzione della vulnerabilità sismica
- 3.1. Riduzione della vulnerabilità sismica urbana 43
- 3.2. Riduzione della vulnerabilità sismica edilizia: dalla regola dell'arte alla normativa sismica moderna 43
- 3.3. Procedimenti giuridici e contenuti scientifico-tecnici dei regolamenti emanati dopo i terremoti storici 50
- 3.4. Normativa nazionale post-unitaria e diffusione del cemento armato 62
- 3.5. Il fallimento dell'applicazione delle tecniche moderne sugli edifici murari: il terremoto di Umbria e Marche del 1997 80
- 3.6. Normativa sismica vigente 90
- 3.7. Considerazioni sugli interventi normativi per la riduzione della vulnerabilità sismica 101

4. L'aggregato come unità di lettura per la valutazione della vulnerabilità sismica 103

PARTE II

La procedura metodologica: proposta di guida alla lettura degli aggregati

1. Il percorso di conoscenza alla scala dell'aggregato	1.1.	La lettura critica	108
2. Il percorso di conoscenza alla scala edilizia	2.1.	Individuazione delle unità elementari nell'aggregato	121
	2.2.	Conoscenza delle unità elementari per l'orientamento del progetto	123
3. L'interpretazione: dall'analisi al progetto	3.1.	Individuazione, valutazione e classificazione dei fattori di vulnerabilità e di resistenza	125
	3.2.	Prefigurazione dello scenario di danno sismico dell'aggregato	128
4. Il progetto	4.1.	Criteri per la riduzione della vulnerabilità sismica degli aggregati: le "linee guida"	133

PARTE III
Un'applicazione del metodo: il caso di Villa Sant'Angelo

1. Il terremoto del 6 Aprile 2009 a L'Aquila	1.1.	Sequenza sismica	139
	1.2.	Sismicità storica dell'aquilano e di Villa Sant'Angelo	143
2. Il centro storico di Villa Sant'Angelo	2.1.	Contesto ambientale e morfologia del sito	147
	2.2.	Inquadramento storico	148
3. Il percorso di conoscenza alla scala dell'aggregato	3.1.	Rilievo critico dell' aggregato di studio	155
	3.2.	Rilievo dello stato di crollo e di danneggiamento	158
	3.3.	Ipotesi di configurazione ante –sisma dell'aggregato	166
	3.4.	Fasi di formazione ed evoluzione dell'aggregato	173
	3.5.	Rilievo costruttivo e cultura sismica locale	178
4. Il percorso di conoscenza alla scala edilizia	4.1.	Individuazione delle Unità Elementari	185
5. L'interpretazione	5.1.	Individuazione dei fattori di vulnerabilità e di resistenza	191
	5.2.	Ricostruzione dello scenario di danno sismico attivato e valutazione dei fattori di vulnerabilità e di resistenza sismica	197
6. Il progetto	6.1.	Criteri di messa in sicurezza, conservazione e riduzione della vulnerabilità sismica del centro storico e dell'aggregato	205
	6.2.	La ricostruzione: quale futuro per Villa Sant'Angelo?	224
Conclusioni. Caratteri innovativi e prospettive di ricerca			227
Bibliografia			229
Bibliografia delle illustrazioni			234
Elenco delle pubblicazioni e delle attività svolte durante il dottorato			235

Parte I
Lo stato dell'arte

Introduzione

I drammatici eventi sismici verificatesi recentemente in Italia e non solo, hanno riportato di attualità un tema già ampiamente affrontato dagli studiosi nel corso degli ultimi trent'anni. È ormai opinione diffusamente condivisa che gli interventi di conservazione della città storica devono confrontarsi dialetticamente con l'istanza della sicurezza sismica[1]. Ciononostante le modalità con cui si affrontano tali tematiche risultano ancora confuse e spesso inefficaci.

Mentre per gli edifici di nuova costruzione il raggiungimento di un adeguato livello di sicurezza nei confronti dell'azione sismica è insito nel rispetto delle norme antisismiche vigenti, per gli edifici esistenti, in particolare per quelli murari dei centri storici, tale garanzia è affidata a una pratica ben più complessa che consiste nel rispetto della logica con cui essi sono costruiti, il riconoscimento della quale ne permette la conservazione.

Questo lavoro si propone, dopo un inquadramento dello stato di avanzamento della disciplina, di illustrare una metodologia di lettura della città storica per la comprensione e la riduzione della sua vulnerabilità sismica. Tale metodologia viene applicata ad un caso studio scelto all'interno del contesto territoriale abruzzese, colpito dal terremoto dell'aprile 2009.

1.1. Origini e terminologia di base

I terremoti del Friuli e dell'Irpinia hanno segnato la svolta verso la consapevolezza dell'ineluttabilità del problema sismico. Infatti, a datare da quegli eventi, numerosi studi sulla vulnerabilità sismica sono stati condotti sia in ambito sismologico e geodinamico sia nel campo della pianificazione urbanistica e del recupero edilizio. In seguito a tali eventi prese avvio infatti la riclassificazione delle zone sismiche italiane; la revisione e l' aggiornamento della normativa sismica; la formulazione di nuovi criteri di intervento e di nuovi metodi per la valutazione del rischio sismico nonché lo studio della sicurezza sismica dei centri storici, proprio a partire dall' osservazione della loro maggiore suscettibilità al terremoto fatta in occasione di quelle circostanze.

Le procedure di valutazione del rischio sono state inizialmente elaborate in senso esteso con riferimento ai rischi naturali: terremoti, alluvioni, maremoti, esplosioni vulcaniche, da geologi e sismologi.

Solo recentemente il problema è stato affrontato anche dagli architetti. Mentre però le metodologie di valutazione del rischio sismico alla scala territoriale sono ormai consolidate, quelle di valutazione delle vulnerabilità sismica edilizia e urbana risultano ancora non compiutamente definite.

La vulnerabilità sismica, assieme alla pericolosità e all'esposizione, costituisce però solo una delle componenti del più ampio concetto di rischio sismico, che si può considerare infatti come il risultato del prodotto di vulnerabilità, esposizione e pericolosità:

1 Il binomio "*sicurezza e conservazione*" è alla base dell'attività di ricerca introdotta negli anni '80 da Antonino Giuffrè e costituisce riferimento costante di questo lavoro

a) *Rischio Sismico = Pericolosità * Esposizione * Vulnerabilità* [2]

Dallo studio delle ricerche sul tema, pubblicate a partire dagli anni settanta, emergono molteplici e spesso complementari definizioni di tali concetti.
In termini di mero utilizzo il "*Rischio sismico è definibile come la possibilità di perdita di proprietà o di funzionalità degli edifici e delle strutture in genere a causa di un terremoto*"[3], o in termini economico- sociali come "*la probabilità che le conseguenze degli effetti di un certo terremoto sul piano economico e sociale superino, in un certo intervallo di tempo, una determinata soglia*"[4]. In particolare in questa seconda definizione il rischio sismico è espresso in funzione di una soglia ammissibile del possibile danno e dunque si può anche esprime come il prodotto tra la probabilità che si verifichi il sisma di riferimento nell'arco di tempo considerato (P_i/T) e il danno generato (D)[5]:

b) $R= P_i/T *D$

La prima componente del rischio sismico presente nell' equazione a) è la *Pericolosità*, definita come "*la probabilità che si verifichi in un dato luogo, o entro una data area, e entro un certo periodo di tempo un terremoto capace di causare danni*"[6]. Questa componente si riferisce quindi esclusivamente alla descrizione del fenomeno sismico, come meglio esplicitato nella definizione di French S.P., Isaacson M.S. (1984), in cui per *seismic hazard* si intende "*l'insieme di eventi naturali di tipo geologico e geofisico risultanti da una attività sismica (scosse, liquefazioni, movimento del suolo, frane, ecc …) senza alcun riguardo per l'attività umana*"[7]. In questa definizione si escludono chiaramente tutte le conseguenze che l'evento genera sulla vita umana concentrandosi invece sull'analisi dell'evento sismico in se e valutando la pericolosità solo in relazione agli effetti naturali generati.
A questo proposito, in letteratura, si distingue tra pericolosità in *diretta* ed *indotta*.
La *pericolosità sismica diretta* riguarda "*l'evento di natura sismica e le sue caratteristiche (magnitudo, intensità e tipo di scossa, accelerazione delle onde sismiche, tipo di sorgente ecc …)*", mentre la *pericolosità sismica indotta* è "*la serie di eventi di natura geologica che possono essere innescati per effetto della scossa sismica, quale ad esempio, maremoti, frane e smottamenti, fenomeni di liquefazione dei terreni ecc …*"[8].
Anche nella distinzione tra pericolosità diretta e indotta dunque si fa riferimento esclusivo alle geofisiche caratteristiche.
Il secondo termine dell' equazione del rischio a) è l' *Esposizione*, cioè "*la quantità di oggetti soggetti al rischio sismico*"[9], o anche "*la dislocazione, consistenza, qualità e valore dei beni e delle attività presenti sul territorio che possono essere influenzate direttamente o indirettamente dall'evento sismico (insediamenti, edifici, attività economiche-produttive, infrastrutture, densità di popolazione)* "[10].

2 Barazza F., Carniel R., Del Pin E., Di Cecca M., Grimaz S., Martini F., Manarolla I., Riuscetti M., *Progetto Rischio Sismico,* Gruppo di Ricerca in Sismologia applicata, Università di Udine, Dipartimento di Georisorse e Territorio, www.dgt.uniud.it/seismol/rischio/prs.html, 2009
3 *Ibid.*
4 Petrini V., *La proposta di riclassificazione sismica del territorio nazione nel Progetto finalizzato Geodinamica del CNR*, relazione al corso organizzato dalla regione Emilia Romagna sulla prevenzione dei danni da terremoto, Bologna 1983
5 Di Sopra L., Palandra C., a cura di, "La vulnerabilità sistemica come dimensione generatrice del rischio. Un approccio di scienza del territorio", in *Teoria della vulnerabilità. Introduzione multidisciplinare*, F. Angeli, Milano, 1984
6 Barazza F., Carniel R., Del Pin E., Di Cecca M., Grimaz S., Martini F., Manarolla I., Riuscetti M., *Progetto Rischio Sismico, op.cit.*
7 French S.P., Isaacson M.S., "Applying Earthquake Risk Analysis to Land Use", in *Journal of American Planning Association*,n.4, 1984
8 UNDRO (United Nations Disaster Relief Office), *National Disasters and Vulnerability Analysis*, New York, 1979
9 Petrini V., *La proposta di riclassificazione sismica del territorio nazione nel Progetto finalizzato Geodinamica del CNR, op.cit*
10 Barazza F., Carniel R., Del Pin E., Di Cecca M., Grimaz S., Martini F., Manarolla I., Riuscetti M., *Progetto Rischio Sismico, op.cit.*

Questa componente riguarda dunque i soggetti che possono essere danneggiati, in vario modo, dal terremoto, le cui caratteristiche fisiche sono definite invece dal parametro *pericolosità*.
Come si deduce dalle precedenti definizioni lo studio degli effetti del sisma parte dallo studio della natura stessa dell'evento e dunque la disciplina si fonda su conoscenze di tipo geologico e geofisico. Tale quadro culturale costituisce il fondamento teorico su cui discipline differenti hanno nel tempo elaborato le loro teorie sul tema della sicurezza sismica. In particolare l'aspetto della vulnerabilità sismica degli edifici viene studiato con la finalità di comprendere quali elementi sono in grado di influenzare la reazione del costruito all'azione sismica stabilendo una correlazione tra la causa (terremoto) e l'effetto (danno) che esso produce sugli edifici interessati. Per questo motivo diverse sono state le definizioni date al concettodi *vulnerabilità sismica*.
In generale la vulnerabilità sismica è riferita alla possibilità di danneggiamento dell'elemento, sia esso un organismo urbano, un edificio o un componente costitutivo di quest'ultimo.
Possiamo raggruppare le definizioni di vulnerabilità rintracciate in letteratura in tre categorie in funzione del tipo di valutazione che forniscono:

a. Definizioni basate sul concetto di danneggiamento o riduzione della funzionalità dell'elemento:
La "*vulnerabilità è la suscettibilità al danneggiamento di ciascun oggetto esposto al rischio*"[11].
La "*vulnerabilità consiste nella predisposizione da parte di persone, beni o attività a subire danni o modificazioni a causa del verificarsi di un terremoto. Tali danni possono indurre alla momentanea riduzione di efficienza da parte di questi elementi o anche ad una totale irrecuperabilità*" [12].
La relazione fra causa ed effetto insita nel concetto di vulnerabilità è bene espressa nella definizione fornita da Sandi H.(1986):
"*La vulnerabilità sismica di un edificio è un suo carattere comportamentale descritto attraverso una legge causa-effetto in cui la causa è il terremoto e l'effetto è il danno*"[13].
"*La vulnerabilità sismica in termini generici è la sensibilità della costruzione alle azioni sismiche, ovvero la sua propensione a subire danni per effetto di un dato terremoto*"[14].
Danni che appunto sono direttamente proporzionali alla vulnerabilità e dipendono da numerosi parametri rintracciabili sia nella natura stessa dell'edificio (e dunque nelle caratteristiche degli elementi e dei materiali di cui è realizzato) che nell'interrelazione tra gli edifici nell'aggregato.

b. Definizioni basate sulla quantificazione numerica:

11 Petrini V., *La proposta di riclassificazione sismica del territorio nazione nel Progetto finalizzato Geodinamica del CNR, op.cit.*
12 Barazza F., Carniel R., Del Pin E., Di Cecca M., Grimaz S., Martini F., Manarolla I., Riuscetti M., *Progetto Rischio Sismico, op.cit.*
13 Sandi H., "Vulnerability and Risk analysis for individual structures and systems", in *Proceedings of 8° European Conference on Earthquake Engineering (ECEE)*, Lisbon, 1986
14 Gavarini C., "Rischio sismico e danneggiamento", in *Atti del 5° Convegno "L'ingegneria sismica in Italia"*, Palermo 1991

"*Per vulnerabilità si intende una misura di probabilità oggettiva per una assegnata popolazione di edifici soggetti agli effetti di un terremoto di intensità prefissata*"[15].
Qui si sottolinea l'aspetto che si ritiene essere oggettivo della misura della vulnerabilità introducendo la necessità di quantificazione.
"*La vulnerabilità è la grandezza numerica atta a consentire la previsione del danno in funzione della sismicità del sito*"[16].
Anche in questa definizione si mette in relazione la vulnerabilità al danno che il terremoto può comportare ma con riferimento alle caratteristiche naturali dell'area su cui esso ricade, ed esprimendo la vulnerabilità come un dato attraverso cui prevedere tale danno.
"*Vulnerability is the degree of loss to a given element at risk, or set of such elements, resulting from an earthquake of a given magnitude or intensity, which is usually expressed on a scale from O (no damage) to 10 (total loss)*"[17]. La misura della vulnerabilità viene qui espressa attraverso una scala crescente discreta a cui si associa un "*grado di perdita*" di comportamento a un valore numerico.
"*Vulnerability is the degree of loss to a given element of risk resulting from the occurrence of a natural phenomenon of a given magnitude*"[18].

c. Definizioni che associano la propensione al danno all'intensità del terremoto
"*Vulnerability is the distribution of damage and/or loss resulting from seismic action*"[19].
"*Vulnerability is the proneness to damage or loss of a BS in relation to a single seismic event. It Is useful to consider a primary vulnerability (V') referring to the distribution of damage degree, conditional upon the magnitude of action, and a secondary vulnerability (V'') referring to the distribution of loss conditional upon the damage degree undergone by a BS dealt with. The convolution of V' and V'' will give the Summary Vulnerability (VS)*"[20].

Alcune delle precedenti definizioni, utilizzando il termine *degree* (grado), sottintendono un'accezione quantitativa e misurabile della vulnerabilità. La vulnerabilità, in tal caso, è misurata a posteriori dal danno fisico (*damage*) o più in generale dalle perdite (*losses*). Altre definizioni forniscono, invece, una descrizione qualitativa della vulnerabilità sismica come *propensione al danneggiamento* del sistema edificato. Il termine *propensione* sottintende la necessità di far riferimento alle caratteristiche intrinseche del sistema ed alle sue relazioni con il contesto per descriverne la vulnerabilità, riconoscendo la distinzione e l'autonomia di quest'ultima rispetto al danno[21].
Da tutte le definizioni emerge il rapporto di causa - effetto tra il terremoto e il danno da esso generato, il quale varia proprio in funzione della maggiore o minore propensione al danneggiamento, cioè in funzione della vulnerabilità. Visto che il comportamento al

15 Bernardini A., "Finalità, definizione e misura della vulnerabilità sismica di singoli edifici e di tipologie murarie. Problemi di coerenza tra osservazioni e previsioni", Rapporto al seminario GNDT sulla vulnerabilità edilizia murari, Roma, 1996
16 Gavarini G., "Ipotesi per una nuova scala di vulnerabilità sismica degli edifici in muratura", in *Atti del 3° Convegno Nazionale "L'ingegneria sismica in Italia"*, Roma, 1987
17 Haresh C. Shah Chairman, "Terms for Probabilistic Seismic-Risk and Hazard Analysis", *EERI Committee on Seismic Risk, Earthquake Spectra*, Vol. 1, N. 1, November 1984
18 UNIDO, *Natural Disaster and Vulnerability Analysis,* Report of Expert Group Meeting, Geneva, 1979
19 UNDP/UNESCO Project RER/79/015, "Building Construction Under Seismic Conditions in the Balkan Region", Vol. 4, "Damage Evaluation and Strength Assessment of Buildings Under Seismic Conditions". Appendix D in Sandi, H. *Analytical Treatment of Seismic Risk*, UMIDO, Vienna,1985
20 Sandi H., Dolce M., Coburn A.W., Goschy B., "EAEE/WG on Vulnerability and Risk Analysis", *Report to the IX ECEE, Proc. IX ECEE*, Mosca, 1990
21 Per queste definizioni si vedano anche: Aa Vv, *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione post sismica degli edifici*, Regione Umbria, Dei, Roma, 1999; Fabietti W., *Vulnerabilità e trasformazione dello spazio urbano,* Alinea, Firenze, 1999; Cremonini I., *Rischio sismico e pianificazione nei centri storici,* Alinea, Firenze, 1994; Bramerini F., Di Pasquale G., Orsini G., Pugliese A., Romeo R., Sabetta F., *Rischio sismico del territorio italiano. Proposta di una metodologia e risultati preliminari*, Rapporto tecnico interno SSN, Roma, 1995

sisma dell'edificio è una variabile che dipende dalle sua caratteristiche intrinseche, oltre che da numerosi fattori esterni, il danno sismico *D* può essere espresso come il prodotto tra l'azione sismica *A* e la vulnerabilità sismica *V*:

c) $D = A * V$

Ciò esprime in maniera sintetica proprio la suscettibilità al danneggiamento dell'edificio secondo il legame causa- effetto: cioè il danno è tanto maggiore quanto maggiore è la vulnerabilità dell'edificio e l'intensità dell'azione sismica cui è soggetto. Tale vincolo non è comunque di tipo lineare, poiché i diversi fattori che intervengono nella definizione della vulnerabilità non agiscono allo stesso modo in situazioni differenti, segno della estrema complessità della situazione al contorno.
Per ottenere una misura quantitativa della vulnerabilità, secondo quando espresso nelle definizioni che parlano di *grado*, essa deve essere espressa da un numero; sono quindi necessari almeno due parametri: l'azione sismica e il danno.
Per il parametro dell'azione sismica, una scelta immediata è quella dell'intensità macrosismica *I* che presenta come vantaggio fondamentale la grande disponibilità di dati forniti dalla sismicità storica. Anche se questo permette statistiche basate su un grande numero di tipologie edilizie, non è possibile utilizzare l'intensità macrosismica come dato di ingresso per la stima del danno usando l'analisi strutturale.
Un'altra possibile scelta è ricercare un parametro direttamente connesso al movimento del suolo in un determinato luogo; utilizzando ad esempio l'accelerazione di picco al suolo si ha un minore supporto di dati perché il numero di terremoti recenti per cui sono disponibili registrazioni strumentali unitamente ad una stima dei danni provocati è molto limitato, anche se come si vedrà in seguito, tale indirizzo è quello preferito dalla comunità scientifica europea. La scelta del parametro rappresentativo del danno presenta maggiori problemi. Alcune proposte includono stime economiche dei costi di ricostruzione rispetto ai costi di edificazione di un nuovo edificio similare; oppure valori discreti corrispondenti ad arbitrari stati di danneggiamento - leggero, medio, grave - in un approccio simile alle scale di intensità macrosismica. Questo per dire che la misura quantitativa della vulnerabilità di un edificio o di un sistema di edifici può essere intesa solo a fini di indirizzo generale delle scelte di intervento e non fornisce dei risultati univocamente ammissibili.

1.2. Vulnerabilità sismica urbana

Lo studio del comportamento sismico dei centri urbani storici e non, deve includere anche considerazioni di tipo urbanistico. La comprensione del comportamento sismico degli edifici presi singolarmente infatti non è sufficiente a spiegare il comportamento del tessuto urbano, poiché al variare della scala entrano in gioco altri fattori complessi che riguardano la correlazione tra gli edifici, la loro collocazione in relazione al territorio ecc...

Il concetto di *vulnerabilità* si è sviluppato inizialmente soprattutto alla scala del singolo edificio, inteso come la sua suscettibilità a subire danni in funzione delle sue caratteristiche costruttive intrinseche in occasione dell'evento sismico. L'estensione di questo concetto a scala urbana comporta notevoli difficoltà concettuali e operative.
Inizialmente per *vulnerabilità urbana* si intendeva la sommatoria delle singole vulnerabilità degli edifici che compongono la città o una sua porzione. Oggi questa impostazione è superata e si accentua invece il carattere di interdipendenza degli edifici nella loro complessiva configurazione di insieme[22]. Tra queste interrelazioni l'urbanistica include anche quelle di carattere socio economico. Corsangelo[23], infatti dopo aver sottolineato i limiti della valutazione della vulnerabilità dei sistemi urbani come sommatoria delle vulnerabilità dei singoli componenti, propone una metodologia basata sulla modellazione del "*sistema urbano*" come "*sistema funzionale*", cioè come organismo in grado di fornire tutte le funzioni che consentono la vita della comunità. Questo modello funzionale di rappresentazione della città è posto in parallelo a un modello meccanico di rappresentazione dei materiali in cui i parametri di duttilità, resistenza o rigidezza che sono caratteristiche proprie dei materiali, vengono sostituiti dagli standard urbanistici. Le strutture interne al sistema devono contribuire alla realizzazione di tali standard e in questa logica il danno è inteso dunque come "*perdita di rendimento misurata da un calo degli standard*", mentre la vulnerabilità viene intesa come "*probabilità di un certo calo in relazione a una certa intensità sismica*".
La vulnerabilità sismica urbana, secondo questo atteggiamento, è "*l'attitudine al danneggiamento fisico e funzionale di un insediamento e non dipende solo dal grado di vulnerabilità dei singoli manufatti (connesso alle loro caratteristiche morfologiche e costruttive), ma anche dall'organizzazione funzionale dei sistemi che assicurano l'effetto urbano (attuali standard di funzionamento e ruolo dei singoli elementi fisici componenti nel funzionamento complessivo dei sistema) e dalla loro organizzazione spaziale (concentrazione o diffusione territoriale; rapporto tra sistemi ed ambiente fisico)* " (Cremonini, 1994) [24].

L' "*effetto urbano*" di cui parla Cremonini è determinato da sette "*sistemi urbani*"(detti anche "*sottosistemi funzionali*"):

1. Abitativo
2. Manifatturiero
3. Terziario
4. Turistico
5. Attrezzature pubbliche
6. Beni culturali
7. Accessibilità dell'esterno

22 Fera G., *La città antisismica : storia, strumenti e prospettive della pianificazione territoriale per la riduzione del rischio*, Roma, Gangemi, 1991
23 Corsangelo A., "La vulnerabilità degli insediamenti", in Italsider, Cee, Gruppo di lavoro azienda Finsider, *Strutture in acciaio ed abbattimento della vulnerabilità sismica*, Recco (GE), 1986
24 Cremonini I., *Rischio sismico e pianificazione nei centri storici. Metodologie ed esperienze in Emilia Romagna, op.cit*

A questi si aggiungono altre quattro componenti che influiscono sul rischio sismico:

1. Sistema delle presenze equivalenti: tempo di permanenza delle persone negli immobili rispetto alla destinazione d'uso, che determina il numero potenziale di vittime;
2. Sistema delle vie di fuga e di soccorso e delle aree sicure di raccolta, il cui buon funzionamento riduce il numero di vittime;
3. Sistema delle infrastrutture territoriali, il cui cattivo funzionamento può impedire la mobilità dei soccorsi;
4. Sistema d'accesso agli edifici pubblici.

Per ciascun sistema funzionale possono presentarsi, distinti in categorie, sette fattori di rischio possibili:

a. *Fattore di esposizione fisica*, cioè quantità di beni immobili o di persone rispetto alla durata delle loro permanenza;
b. *Fattore di esposizione funzionale di sistema*, cioè ruolo degli elementi fisici censiti rispetto al territorio comunale;
c. *Fattore complementare di vulnerabilità diretta*, inteso come suscettibilità fisica del singolo manufatto;
d. *Fattore complementare di vulnerabilità diretta "standard"*, inteso come standard attuale di funzionamento del sistema;
e. *Fattore di vulnerabilità aggiuntiva indotta: contiguità*, cioè determinato dalla contiguità fisica degli edifici;
f. *Fattore di vulnerabilità aggiuntiva indotta: elementi critici*, cioè determinato da manufatti critici come torri, campanili, mura urbane, ecc…;
g. *Fattore di pericolosità locale*, cioè la presenza di possibili elementi che possono amplificare l'intensità sismica o il danno, come dissesti idrogeologici o particolari conformazioni geologiche.

Dunque la strutturazione dei sistemi urbani, la loro reciproca relazione e collocazione nella città li rende più o meno vulnerabili all'azione sismica sotto differenti aspetti, ed è su di essi che si deve intervenire per ridurre il rischio sismico urbano. Tale metodologia di approccio alla misura della vulnerabilità urbana è stata impiegata per valutare le migliori politiche di intervento nella progettazione urbanistica e nella pianificazione della dislocazione delle funzioni all'interno del sistema urbano.

Wolfe e Heikkala[25] ritengono che i fattori che possono influenzare la vulnerabilità sono da ricercare a tre diverse scale: macroscala, scala urbana, scala di quartiere. Alla macroscala i fattori sono la morfologia del sito, la localizzazione dei servizi, la rete infrastrutturale, le polarità extraurbane; alla scala urbana i fattori di influenza sulla vulnerabilità sono i rapporti tra uso del suolo e pericolosità locale, la circolazione; alla scala

25 Wolfe M.R., Heikkala S.G., "Urban Scale Vulnerability", *Cnr-Nsf, US-Italy Workshop on Earthquake Disaster Mitigation*, Roma, 12-16 Ottobre 1981

di quartiere invece sono l'età e le caratteristiche delle costruzione, le loro modalità di aggregazione, il loro utilizzo, la morfologia degli spazi aperti.
Questo atteggiamento di tipo "*scalare*" tenta, sempre dal punto di vista urbanistico, di impostare una modalità di valutazione della vulnerabilità che tenga conto della necessità di differenziare il taglio di analisi da fare in relazione al diverso grado di definizione necessaria.
Nell'ottica di un analisi completa della vulnerabilità alla scala urbana si pone il problema di individuare non solo i singoli elementi che possono collassare sotto l'impatto del sisma, ma di individuare e quantificare gli effetti che il loro collasso determina sul funzionamento del sistema territoriale. In questo senso le componenti che concorrono alla definizione del concetto di *vulnerabilità* possono essere distinte in:

Vulnerabilità diretta: definita in rapporto alla propensione del singolo elemento fisico semplice o complesso a subire collasso (ad esempio la vulnerabilità di un edificio, di un viadotto, o di un insediamento).
Vulnerabilità indotta: definita in rapporto agli effetti di crisi dell'organizzazione del territorio generati dal collasso di uno degli elementi fisici (ad esempio la crisi del sistema di trasporto indotto dall'ostruzione di una strada).
Vulnerabilità differita: definita in rapporto agli effetti che si manifestano nelle fasi successive all'evento e alla prima emergenza e tali da modificare il comportamento delle popolazioni insediate (ad esempio il disagio della popolazione conseguente alla riduzione della base occupazionale per il collasso di stabilimenti industriali).
Vulnerabilità globale: insieme non lineare delle componenti sopra definite [26].

1.3. Vulnerabilità sismica edilizia

Il concetto di vulnerabilità sismica si è storicamente affermato preventivamente con riferimento alle singole unità edilizie ed in particolare alle singole componenti degli edifici.
Tale concetto viene formulato sulla base delle osservazioni condotte sulla natura costruttiva degli edifici murari e sulla caratterizzazione meccanica delle loro componenti.
Gli studi condotti dal gruppo guidato Antonino Giuffré sui centri Irpini colpiti dal terremoto del 1980 hanno portato ad una vera rivoluzione nelle modalità di approccio alla comprensione degli edifici esistenti in muratura, alla luce della normativa sismica allora vigente e delle modalità di intervento da essa proposte. Le riflessioni di Giuffré sulle caratteristiche costruttive degli edifici murari hanno portato a individuare l'esistenza di caratteristiche generalizzabili delle costruzioni storiche in zona sismica, quali ad esempio il numero di piani non superiore a tre; il passo delle cellule non superiore a 5-6m; la snellezza dei muri non inferiore a 1/7 e soprattutto una caratteristica che accomuna tutte le costruzioni murarie (in zona sismica e non), cioè l'assemblaggio e dunque la

26 Clementi A., "Il contributo della progettazione urbanistica alla riduzione della vulnerabilità alla scala urbana", *CNR-Nsf, US-Italy, Workshop on Earthquake Disaster Mitigation*, Roma, 12-16 Ottobre 1981

mancanza di connessioni tenaci tra le parti che compongono l'organismo strutturale.

Da tale caratteristica di base e dall'osservazione degli edifici colpiti dai terremoti, scaturiscono delle considerazioni sulle modalità di crollo e di danneggiamento degli stessi che hanno portato alla definizione dei cosiddetti "*meccanismi di danno alla Giuffré*", cioè alla spiegazione attraverso una modellazione meccanica delle strutture murarie, delle modalità di crollo degli edifici, da cui desumere gli interventi di consolidamento.
Si comprende allora come le variabili che determinano il differente grado di danneggiamento di un edificio murario non siano definibili solo attraverso un valore dell'accelerazione sismica ma dipendano anche e soprattutto dalle caratteristiche costruttive dell'edificio stesso. La cattiva esecuzione non anticipa il collasso ma influisce sulla qualità del danno e sulla effettiva attivazione dei meccanismi i quali in realtà presuppongono una buona qualità muraria.
Considerando dunque la capacità della costruzione muraria di comportarsi come un insieme di parti assemblate tra loro è possibile studiarne il collasso scindendola nei cosiddetti "*macroelementi*", cioè in porzioni dotate di un comportamento autonomo nei confronti del sisma. Tale approccio, applicato in maniera estesa sui monumenti in cui questa scomposizione è facilmente comprensibile, è oggi parte integrante della normativa sismica vigente e oggetto di numerosi studi ed approfondimenti.

2. La valutazione della vulnerabilità sismica

Tutti i metodi di valutazione di vulnerabilità si basano sul presupposto che essa si può rappresentare solo dopo aver esplicitato il rapporto causa – effetto tra il costruito e il suo stato di danneggiamento. Il problema è appunto stabilire la natura e le modalità di comprensione della relazione che intercorre tra edificio e danno. Tale relazione risulta infatti difficilmente definibile in termini analitici, poiché richiede l'osservazione di numerosi aspetti e caratteristiche proprie di ogni specifico edificio. Ciò nonostante sono stati codificati svariati modelli di calcolo capaci di esprimere, con sufficiente grado di approssimazione, le modalità di danneggiamento degli edifici murari. Lo stesso livello di avanzamento della ricerca non è stato raggiunto invece per la definizione del comportamento sismico degli edifici in aggregato. Spesso infatti si tende a concepire semplicemente l'aggregato come la somma delle unità edilizie che lo compongo, quando in realtà la definizione stessa di aggregato presuppone un legame inscindibile esistente tra loro, una regola di formazione ed evoluzione comune che influisce notevolmente sulla sua vulnerabilità sismica. Mentre per le costruzioni in cemento armato è chiaramente definita una metodologia di calcolo analitico basato sulle teorie della scienza delle costruzioni, per gli edifici murari in aggregato ancora oggi gli strumenti analitici effettuano delle semplificazioni troppo drastiche, seppur necessarie per creare un modello rappresentativo della realtà.

2.1. Metodologie di valutazione della vulnerabilità sismica urbana

Le procedure di valutazione quantitativa e qualitativa della vulnerabilità urbana prevedono l'utilizzo degli "*indicatori di vulnerabilità*" o "*variabili di vulnerabilità*".
Gli indicatori di vulnerabilità utilizzati nelle procedure di valutazione si possono suddividere in tre categorie [27]:

A. Vulnerabilità fisica
Riferita ai sistemi spaziali (configurazione morfologica dell'insediamento), ai sistemi a rete (strade e trasporti in genere).
B. Vulnerabilità funzionale
Riferita alla possibilità di perdita di utilizzazione del sistema urbano
C. Vulnerabilità economico sociale
Riferita alla possibilità di perdita in termini economici e sociali del sistema urbano.

Ad ognuno di questi indicatori si associa un valore numerico che esprime appunto la vulnerabilità all'azione sismica, e che sommato al valore dei parametri di esposizione e pericolosità, fornisce la misura del rischio del sistema urbano studiato. Tale misura è esprimibile ad esempio attraverso il numero di vittime che si potrebbero avere in occasione di un sisma rispetto alla popolazione; attraverso il numero e l'entità dei danni; il costo

27 Fera G., *La città antisismica: storia, strumenti e prospettive della pianificazione territoriale per la riduzione del rischio, op.cit.*

complessivo dei danni subiti e della ricostruzione.
I risultati ottenuti dalle procedure di valutazione del rischio sismico elaborate in ambito urbanistico sono finalizzate ad ottenere delle *stime di valore di rischio* che vengono elaborate come dati numerici finalizzati alla progettazione urbanistica, cioè ad esempio alla scelta della localizzazione di una determinata attività, o all'indirizzo delle scelte di progetto che andrebbero fatte con maggiore priorità.
Per ottenere una valutazione attendibile della vulnerabilità è importante riuscire a verificare sul campo, attraverso una sperimentazione reale, le ipotesi fatte. Tale verifica è possibile attraverso l'osservazione dei danni sul costruito e la loro corretta interpretazione rispetto all'azione sismica. Una sperimentazione di questo tipo è stata resa possibile dallo studio del terremoto del maggio 1976 in Friuli, in seguito al quale si ebbe per la prima volta una grande disponibilità di documentazione riguardo agli effetti dell'evento sismico sulle costruzioni allora presenti. Tale documentazione è stata ottenuta attraverso un censimento dei danni e delle caratteristiche generali degli edifici mediante la compilazione di opportune schede (verbali di accertamento danni, Legge Regionale n. 17 del 1976) al fine di determinare l'entità dei contributi per la ricostruzione e la riparazione degli edifici distrutti o danneggiati. Il censimento è stato condotto nell'ambito delle ricerche sulla vulnerabilità svolte presso il Dipartimento di Georisorse e Territorio dell'Università degli Studi di Udine, grazie alle quali la regione Friuli ha costituito una banca dati denominata *Fr.E.D.* (Friuli Earthquake Damages) con lo scopo fondamentale di raccogliere dati relativi al terremoto del Friuli del 6 maggio 1976 [28].
La banca dati *Fr.E.D.* è organizzata in funzione dei diversi livelli di dettaglio delle informazioni a partire da fonti documentali di origine eterogenea che includono:

- *Verbali di accertamento danni ad edifici per uso abitazione o misto*, circa 85.000 schede originali compilate dalle squadre di rilevamento istituite immediatamente dopo il terremoto, sulla base della Legge Regionale n. 17 del 7/6/76.
- *Base di dati relazionati*, contengono le descrizioni dei rilievi effettuati e raccolti su supporto magnetico con le tecnologie degli anni settanta.
- *Planimetrie catastali*
- *Documentazioni fotografiche*
- *Schede di vulnerabilità GNDT per il centro storico di Venzone*
- *Censimento ISTAT della popolazione e delle abitazioni nel 1991*, rappresentano una fonte di informazione insostituibile per stime di massima sulla consistenza del patrimonio edilizio a scala territoriale supportate dal fatto che i censimenti sono ripetuti a scadenze decennali permettendo quindi di controllare nel tempo le variazioni di tale patrimonio.

Sulla base degli indicatori forniti dal censimento ISTAT è stato in seguito possibile classificare gli edifici in termini di vulnerabilità sismica. Il processo di classificazione si è

28 Barazza F., Carniel R., Del Pin E., Di Cecca M., Grimaz S., Martini F., Manarolla I., Riuscetti M., *Progetto Rischio Sismico, op.cit.*

basato sull'individuazione dei parametri presenti nel censimento ISTAT e che si riteneva potessero essere indicatori tipologici dello stato di vulnerabilità sismica in base alle elaborazioni effettuate sui dati dei Verbali di Accertamento Danni. Il limite di questo metodo, cui si sono riferiti in seguito numerosi altri studi, sta nel fatto che la catalogazione ISTAT non è progettata per le esigenze di un censimento del patrimonio edilizio in zona sismica, per cui i dati sono relativi alla singola abitazione e non all'intero edificio e soprattutto le informazioni relative alle caratteristiche tipologiche e costruttive degli edifici sono limitate. Il vantaggio di questo metodo consiste però nella possibilità di ricavare informazioni sulla vulnerabilità edilizia da fonti eterogenee e di rielaborarle alla scala urbana.

La fase di studio seguente a un sisma è tanto delicata quanto indispensabile sia per fornire delle indicazioni sulle modalità di ricostruzione, sia per costituire una fonte importante di dati da rielaborare in futuro in vista di studi sulla prevenzione.
Uno dei primi studi che coniugano le indagini di tipo urbanistico alle procedure con approccio più architettonico-edilizio è quello di Irene Cremonini[29]. In questo studio viene definita una metodologia di lettura qualitativa degli isolati come "*moduli*" attraverso cui intervenire sull'intera città, considerando diversi fattori di vulnerabilità urbana ed edilizia, fattori fisici, geomorfologici, alle diverse scale, secondo una lettura dell' isolato nella sua interezza , cioè analizzando anche i vuoti e gli spazi di pertinenza.

Una delle principali esperienze recenti di ricerca che si occupa sia delle metodologie di valutazione della vulnerabilità sismica urbana che edilizia, è rappresentata dallo studio sui Programmi di Recupero post sisma, promosso dal Comitato Tecnico Scientifico della Regione Marche[30]. Tale ricerca aveva come obiettivo la valutazione dell'efficacia delle operazioni previste dai Programmi di Recupero ai sensi della legge 61/98 nella Regione Marche in seguito della crisi sismica del 26 settembre 1997. La metodologia di ricerca adottata si basa sulla formazione di due unità operative di ricerca parallele ma operanti a scala differente: l'una a caratterizzazione urbanistica, l'altra a caratterizzazione edilizia. Le due Unità hanno effettuato una disamina critica degli interventi realizzati in occasione dei Programmi di Recupero (di cui si parlerà nel capitolo 3.5.1.-parte I) valutandone l'effettiva capacità di ridurre la vulnerabilità sismica urbana e l'eventuale necessità di integrazione normativa o conoscitiva ai fini di una completa applicazione delle politiche di prevenzione sismica. A partire dai dati raccolti in occasione della redazione dei Programmi di Recupero che hanno interessato 95 Comuni della regione, catalogati in 24 schede comunali[31], la ricerca ha valutato il livello dei principali fattori di esposizione e vulnerabilità dei sistemi urbani nella situazione precedente all'applicazione dei Programmi di Recupero per confrontarli con i dati ottenuti dopo l'intervento. Per perseguire tale fine sono stati ricavati dai Programmi di Recupero alcuni dati utili a costituire degli

29 Cremonini I., *Rischio sismico e pianificazione nei centri storici. Metodologie ed esperienze in Emilia Romagna, op.cit.*
30 Carocci C., Ceradini V., Panzetta M., Cremonini I., Mazzotti P., Smargiasso M., *Rassegna Ragionata dei Programmi di Recupero post sisma*, Attività di Ricerca promossa dal Comitato Tecnico Scientifico della Regione Marche, Bollettino Ufficiale della Regione Marche, anno XXXIII N.3 Ed.S., 21 marzo 2002
31 Ogni scheda analitica comunale contiene una cartografia del Comune interessato su base aerofotogrammetria in scala 1:25000; una tabella di dati statistici socio - economici; tante planimetrie in scala 1:2000 quanti sono i Programmi di Recupero adottati dal Comune; una tabella per ciascun Programma descrittiva delle principali innovazioni introdotte; una classificazione tipologia della morfologia dell'insediamento in relazione ai percorsi

indicatori di esposizione e di *vulnerabilità* dei principali sistemi urbani.

Sistemi urbani:
- Abitativo
- Produttivo
- Beni culturali

Per ogni sistema urbano sono stati rintracciati i *fattori di esposizione* e i *fattori di vulnerabilità* cui sono stati attribuiti dei valori numerici.

Fattori di esposizione:
- *Fattore di esposizione fisica*: rappresentato dal numero di residenti (non potendo conoscere gli occupanti effettivi) rispetto al numero di edifici;
- *Fattore di esposizione funzionale dei sistemi produttivi e dei servizi*: rappresentato dal numero di edifici non residenziali danneggiati (edifici produttivi, attrezzature pubbliche, chiese e beni culturali sede di attrezzature pubbliche) rispetto al numero totale di edifici;
- *Fattore di esposizione del sistema dei beni culturali*: rappresentato dal rapporto tra numero di beni danneggiati e numero totale di edifici;
- *Fattore di standard funzionale (importanza) del sistema dei beni culturali*: ricavato valutando il numero di edifici soggetti a vincolo monumentale ai sensi delle leggi 1497/1939 e 1089/1939 (oggi Codice Urbani dei Beni Culturali, 2004)

Fattori di vulnerabilità:
- *Fattore di vulnerabilità dell'edilizia residenziale*: rappresentato dal rapporto tra la volumetria residenziale esistente nella perimetrazione per la definizione dei Programmi di Recupero e il numero di residenti individuati dalla stessa perimetrazione, considerando maggiormente vulnerabili gli edifici residenziali non occupati; tale fattore viene integrato da
  - *Standard del sistema abitativo comunale*: fattore integrativo del fattore di vulnerabilità dell'edilizia residenziale ed espresso dal rapporto tra le effettive abitazioni occupate (su base ISTAT 1991) e le famiglie residenti nello stesso anno;
  - *Standard del sistema produttivo comunale*: espresso dal rapporto tra gli addetti nel settore comunale e i residenti;
- *Fattore di vulnerabilità aggiuntiva indotta dalla contiguità*: rappresenta la vulnerabilità dovuta alla vicinanza o alla contiguità tra edifici e alla loro prospicienza su si strade strette ed è espresso attraverso la densità edilizia territoriale (volume costruito/ superficie territoriale) all'interno dell' area delimitata dal Programmi di Recupero;
- *Fattori di amplificazione della vulnerabilità sismica*: sono espressi da tutti quegli

indicatori di pericolosità locale quali ad esempio il dissesto idrogeologico.

Successivamente i valori individuati per ogni fattore sono stati suddivisi in sei classi di vulnerabilità progressivamente crescente, in modo da esprimere il grado di danneggiabilità fisica e funzionale di ciascun sistema e confrontarlo con lo stesso indice relativo ai diversi centri analizzati.
Il valore degli indici di vulnerabilità dei sistemi urbani ricavato da tale classificazione va da un minimo di 11 a un massimo di 66, corrispondente quest'ultimo alla situazione di maggiore probabilità di perdita totale di funzionalità urbana e dunque di maggiore necessità e priorità di intervento preventivo. Questi indici sono inoltre raggruppati anche in una scala di riferimento qualitativa discreta distinta in: vulnerabilità bassa, medio - bassa, medio - alta, alta, molto alta.
Sulla scorta di tale analisi la ricerca procede con la valutazione e le considerazioni sulla quantità di comuni ricadenti nelle rispettive fasce di vulnerabilità e all'analisi dei singoli fattori di esposizione e vulnerabilità di ogni comune, confrontando anche con la situazione successiva all'intervento dei Programmi di Recupero.
La ricerca inoltre, constatato come vi siano diversi fattori di vulnerabilità ed esposizione dei sistemi urbani influenzati dalla morfologia urbana, si è occupata di individuare dei fattori di vulnerabilità relativi alla condizione dell'insediamento rispetto alla morfologia del sito, attraverso l'individuazione del tipo morfologico urbano. Tale parte della ricerca si è fondata sulle indagini sulla classificazione degli insediamenti effettuate dalla scuola di Saverio Muratori e Gianfranco Caniggia, e sulle ricerche di G. Cataldi [32]. Suddividendo i centri abitati secondo tipologie morfologiche dell'insediamento sono stati rielaborati i dati relativi ai diversi fattori di vulnerabilità, riscontrando in generale che nei centri urbani di crinale, promontorio e contro crinale la vulnerabilità prevalente è quella indotta dovuta alla contiguità delle costruzioni, generalmente aggregate linearmente su pendio. Rilevante è inoltre la vulnerabilità dovuta a pericolosità locale, negli insediamenti acrocorici, dove è alto il rischio geologico.
La metodologia di valutazione della vulnerabilità sismica urbana adotta nella rassegna ragionata dei Programmi di Recupero delle Marche costituisce una sintesi metodologica chiara dell'approccio urbanistico alla riduzione della vulnerabilità, ponendo l'attenzione agli aspetti costruttivi dell'edilizia storica ed individuando in essi sia una valenza culturale che ne giustifica la necessità di conservazione, sia la possibilità di operare, per mezzo di una adeguata conoscenza, sulla riduzione delle precarietà che essa presenta o che può indurre.

Un altro caso studio che illustra una procedura di conoscenza della città secondo una logica sistemica per la valutazione della vulnerabilità sismica urbana è quello di Nocera Umbra. Tale ricerca, realizzata dal Dipartimento di Pianificazione Territoriale e Urbani-

32 Cataldi G., *Per una scienza del territorio*, Alinea, Firenze, 1977

stica dell'Università "La Sapienza", coordinata da Massimo Olivieri[33],ha lo scopo di sperimentare una procedura di valutazione e riduzione della vulnerabilità sismica alla scala urbana, valutando l'efficacia degli interenti eseguiti a seguito della legge regionale del 2002 .

Dopo la crisi sismica del 1997 che interessò Umbra e Marche il primo intervento normativo che diede risposta alla immediata esigenza di effettuare una efficace politica di prevenzione sismica fu la legge regionale n. 18 del 2002. Successivamente a tale legge è stato approvato il Regolamento Tecnico per la prevenzione del rischio sismico degli isolati edilizi nei centri storici umbri.

La legge urbanistica regionale della regione Umbria introduce il concetto di Struttura Urbana Minima (Sum)[34], cioè insieme di percorsi e strutture strategiche da mantenere in efficienza per garantire lo svolgimento delle attività primarie di carattere economico e sociale anche dopo il terremoto. Secondo tale legge l'identificazione della Sum deve costituire l'elemento principale nelle scelte di pianificazione territoriale contenute negli strumenti urbanistici.

La ricerca condotta sul centro storico di Nocera Umbra si concentra quindi innanzitutto sulla definizione della Struttura urbana minima, cioè di quella "città nella città" in cui sono concentrate tutte le funzioni urbane primarie necessarie allo svolgimento della vita di un centro urbano, poichè le operazioni di prevenzione devono essere finalizzate almeno a garantire la conservazione e la sopravvivenza di tale porzione della città.

Per la definizione della Sum si considera la necessità di mantenimento sia delle funzioni di "ordinarietà" della vita di una città, che di gestione della fase di "emergenza". I contenuti della Sum sono infatti sia di carattere immateriale, eventualmente mediato dalla fisicità degli elementi cui sono riferibili, che di carattere materiale. I primi sono riconducibili alla necessità dell'autoriconoscimento della popolazione al senso della comunità urbana, alle tradizioni civiche e religiose locali. Tali significati sono rappresentati da alcune manifestazioni fisiche della vita urbana, quali ad esempio le emergenze architettoniche, i percorsi processionali tradizionali, le feste religiose, le piazze o i luoghi di vita collettiva.

Tra i contenuti materiali della Sum ci sono invece le strade che permetto di mantenere gli spostamenti "consueti" della popolazione, oltre che costituire le necessarie vie di fuga, così come le strutture per la protezione civile, i parcheggi o gli edifici pubblici.

Il metodo proposto nel caso studio di Nocera Umbra consiste nella preventiva definizione e individuazione delle Sum; nella definizione delle criticità presenti, attraverso la valutazione della vulnerabilità complessiva e delle singole componenti; nella definizione degli interventi per il miglioramento della funzionalità e per la messa in sicurezza. L'applicazione di tale metodologia a un centro che, come Nocera Umbra, ha subito un sisma, permette di confrontare un'ipotesi di valutazione simulata ante sisma con quanto effettivamente accaduto, in modo da effettuare le opportune tarature del metodo.

33 Dipartimento di Pianificazione territoriale e urbanistica (Dptu), Università "La Sapienza", Roma, Regione Umbria, "Analisi del comportamento del sistema urbano di Nocera Umbra sotto il sisma del 1997. Definizione della struttura urbana minima e verifica di vulnerabilità urbana", 2003, in *Atti del convegno Rischio sismico e pianificazione a scala urbana: metodi di analisi e strumenti di intervento*, Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, Ufficio sismico nazionale, Roma, 5-6 giugno 2003; Olivieri M., a cura di, *Regione Umbria. Vulnerabilità urbana e prevenzione urbanistica degli effetti del sisma: il caso di Nocera Umbra*, Urbanistica, Quaderni, Collana dell'Istituto Nazionale di Urbanistica, INU, Supplemento al n.124 di Urbanistica, Quaderno 44, Anno X, 2004

Fazzino F., Nigro F., Pizzo B., "Prevenzione sismica e pianificazione: il caso di Nocera Umbra", *Urbanistica Informazioni*, n.191, 1993

34 Fabietti W., a cura di, *Vulnerabilità urbanistica e trasformazione dello spazio urbano*, Alinea, Firenze, 1999

La fase di acquisizione delle informazioni per la valutazione della vulnerabilità della Sum ante sisma è avvenuta attraverso la rielaborazione delle informazioni fornite dall'amministrazione comunale e attraverso il rilievo diretto[35].
Le informazioni fornite dall'amministrazione comunale comprendono: basi cartografiche; dati demografici; dati relativi alle attività commerciali e ai servizi; dati relativi alla consistenza edilizia degli edifici danneggiati e degli immobili soggetti al recupero; dati relativi alle emergenze architettoniche.
L'acquisizione diretta delle informazioni sul costruito è avvenuta invece attraverso il rilievo, finalizzato a definire i caratteri morfotipologici dei tessuti edificati attraverso l'identificazione delle caratteristiche tipologiche, strutturali e funzionali degli edifici, delle strade e degli spazi aperti e delle loro relazioni reciproche. Un rilievo di questo tipo ha permesso di acquisire in maniera rapida delle informazioni di prima approssimazione su tutto il costruito e per questo motivo, dopo una fase di valutazione sommaria della morfologia urbana effettuata su base cartografica, sono state redatte delle schede sintetiche di rilievo distinte in: *Schede edifici*, *Scheda strade* e *Scheda degli spazi aperti*. Le informazioni raccolte sono state poi sintetizzate nelle *Schede di tessuto* (riguardanti il centro storico e non nel suo stato di assieme) e *Schede di isolato* (relative ad aggregazioni edilizie interne al centro storico).

Le *Schede edifici* sono riferite ognuna ad un singolo edificio e raccolgono informazioni sulle:

- caratteristiche funzionali (usi prevalenti; aree di pertinenza e livello gerarchico delle funzioni ospitate);
- caratteristiche tipologiche e strutturali (posizione dell'edificio nel tessuto; numero di piani; rapporto tra l'edificio e la conformazione del terreno; caratteristiche delle strutture di elevazione; presenza di elementi particolarmente vulnerabili come portici, passaggi voltati, sporti o sopraelevazioni evidenti o di eventuali danneggiamenti visibili);
- caratteristiche delle aree di pertinenza (accessibilità, usi, configurazione, tipo di recinsione).

Le *Schede strade* contengono le principali informazioni sulle caratteristiche morfologiche delle strade che possono influire sulla vulnerabilità diretta e sulla funzionalità delle possibili vie di fuga. Per questo riportano:

- le dimensioni delle strade;
- le caratterizzazioni di uso prevalente (pedonale o carrabile);
- gli accessi degli edifici prospicienti;
- il tipo di pavimentazione;
- la presenza di ponti, viadotti o muri di sostegno;

35 Giuffrè M., "Gli studi per il centro urbano: obiettivi specifici, fasi del lavoro, struttura degli elaborati", sta in, Olivieri M., a cura di, *Regione Umbria. Vulnerabilità urbana e prevenzione urbanistica degli effetti del sisma: il caso di Nocera Umbra, op.cit*

- la presenza di ostacoli o discontinuità quali scale o salti di quota;
- gli elementi aggettanti sui percorsi come alberature o illuminazione pubblica;
- i parcheggi.

Ogni scheda si riferisce a un tratto di strada delimitato da due nodi significativi, come intersezioni stradali o interruzioni, cambi di sezione o di pendenza.
Le *Schede degli spazi aperti* sono impostate allo stesso modo delle precedenti ma contengono in più le caratteristiche di accessibilità, gli usi e l'assetto attuale dell'area.

Le informazioni vengono poi raccolte nelle schede di tessuto, in modo da avere sotto controllo la dimensione dell'intero insediamento ai fini dei calcoli della diverse quantità sulle quali impostare la valutazione della vulnerabilità quali ad esempio: superficie residenziale totale, superficie commerciale, numero di edifici produttivi ecc..
Parallelamente al rilievo del costruito è stata svolta una lettura morfologica e funzionale degli elementi che compongono la struttura urbana. Tale analisi morfologica è stata condotto a livello del centro urbano e a livello dei singoli tessuti. A livello del centro urbano sono state localizzate tutte le funzioni e il loro rapporto con il sistema insediativo.
In particolare le analisi effettuate sono relative a tre sistemi:

1. *Sistemi geomorfologico, idrogeologico e ambientale-paesistico*; attraverso questa analisi si è definito l'aspetto morfologico del sito, le sue caratteristiche paesaggistiche e idrogeologiche individuando gli elementi di pericolosità quali ad esempio i versanti acclivi, le frane attive o quiescenti.
2. *Sistemi delle infrastrutture e delle funzioni urbane*; a sua volta suddiviso in:
   - *sistema dei percorsi*: in cui è stata definita una gerarchia dei percorsi e dei nodi;
   - *sistema delle funzioni urbane*: in cui oltre alla localizzazione delle funzioni si è sottolineato il loro aspetto di relazione sistemiche rispetto all'interno organismo urbano;
   - *sistema degli spazi di relazione*: attraverso cui definire le principali aree in cui si svolge la vita collettiva;
   - *sistema delle reti e delle attrezzature tecnologiche*: in cui sono state localizzate le strutture impiantistiche a rete alla scala territoriale e urbana.
3. *Sistema insediativo*: in cui sono stati descritti i principali beni storici e le emergenze edilizie.

A livello dei tessuti urbani sono stati studiati i rapporti tra spazi edificati e gli spazi liberi; la morfologia e tipologia delle strade e degli spazi aperti, in modo da distinguere all'interno del sistema urbano dieci tipi diversi di tessuto, differenti per caratteristiche di omogeneità morfotipologica, all'interno dei quali descrive il diverso comportamento in caso di sisma. Si è proceduto inoltre alla classificazione degli isolati in funzione:

- della conformazione generale dell'isolato: lineare, curvilineo a blocco
- dell'andamento dell'isolato: regolare, irregolare, complesso
- dei tipi edilizi che lo compongono: schiere monoaffaccio o biaffaccio, palazzi, edifici specialistici, rifusioni, tipi particolari
- della funzione prevalente: residenziale, mista, specialistica.

Sulla base di tali parametri sono stati individuati 9 tipi di isolato:

a. Isolato esclusivamente residenziale a sviluppo lineare e andamento regolare composto da tipi edilizi di base di piccole dimensioni (schiere biaffaccio)
b. Isolati esclusivamente residenziali a sviluppo curvilineo e andamento regolare composti da tipi edilizi di base di piccole dimensioni (schiere biaffaccio)
c. Isolati prevalentemente residenziali a sviluppo lineare e andamento regolare composti da tipi edilizi di base con presenza di palazzi o edifici di rifusione
d. Isolati prevalentemente residenziali ad andamento complesso composti da tipi edilizi di base con presenza di palazzi o edifici di rifusione
e. Isolati prevalentemente residenziali a sviluppo lineare ed andamento regolare composti da tipi edilizi di base, palazzi o edifici di rifusione e presenza di edifici specialistici
f. Isolati ad andamento complesso composti in prevalenza da palazzi o edifici di rifusione e presenza di edifici specialistici
g. Isolati ad andamento complesso composti in prevalenza da palazzi o edifici di rifusione e presenza di edifici specialistici impostati su strutture tipologiche particolari
h. Isolati a blocco composti da edifici specialistici
i. Isolati composti da complessi di edifici specialistici

In questo modo si può valutare l'influenza della conformazione morfotipologica dell'isolato sulla sua vulnerabilità.
Il processo di comprensione della struttura urbana nel suo sistema organico di relazioni fin qui illustato, è finalizzato all'individuazione di tutti quei sistemi indispensabili al mantenimento delle funzioni urbane in caso di sisma che si definisce appunto Struttura urbana minima. Fanno parte della Sum quindi:

- gli edifici strategici
- il sistema di percorsi che garantiscono il collegamento agli edifici strategici e verso l'esterno dell'insediamento;
- i percorsi e gli spazi aperti intesi come vie di esodo;
- gli spazi sicuri per la sosta;
- la ridondanza di spazi e percorsi sicuri tali da garantire comunque l'efficacia del sistema di mobilità.

Il passo successivo alla individuazione della Sum di Nocera Umbra nella condizione precedente al sisma è stato quello di definire i parametri attraverso cui stabilire la perdita di funzionalità che essa ha avuto in seguito all'evento sismico del 1997[36].
Per fare ciò sono stati individuati degli elementi di criticità riferibili alla vulnerabilità sismica, alla pericolosità e all'esposizione. L' individuazione degli elementi di criticità è avvenuta per sistemi, gli stessi secondo i quali la Sum è stata specificata e descritta:

a. criticità del sistema dei percorsi
b. criticità del sistema degli edifici strategici e critici
c. criticità del tessuto e gli ambiti edificati.

Gli elementi di criticità dei percorsi sono stati stabiliti considerando:

- le caratteristiche morfologiche e dimensionali del percorso: pendenza; variazione dei sezione; morfologia del terreno circostante;
- la presenza di manufatti fissi adiacenti al percorso: sovrappassi; muri di recinzione; mura urbiche e ostacoli in genere;
- la presenza di manufatti stradali lungo il percorso: ponti; viadotti; muri di sostegno della strada;
- la presenza di strutture temporanee e mobili: come il mercato o le manifestazioni temporalmente ricorrenti;
- la presenza di utilizzazioni delle strutture edificate lungo le strade potenzialmente critiche: vendita o stoccaggio di materiale infiammabile o esplosivo;
- l'influenza dei fronti edificati lungo la strada, per i quali deve essere considerato il rapporto tra l'altezza del fronte e la larghezza della sezione stradale; la vulnerabilità edilizia.

Le criticità degli edifici strategici sono state valutate localizzando gli edifici maggiormente suscettibili all'azione sismica in relazione al loro grado di utilizzazione o alla loro esposizione.
Per quanto riguarda la vulnerabilità dei tessuti urbani la ricerca non ha individuato le criticità puntuali dei singoli elementi edilizi ma ha proceduto a definire interi ambiti suddivisi per differente grado di vulnerabilità, dandone una descrizione discreta secondo categorie come: tessuti a vulnerabilità alta, medio alta, medio bassa, bassa.

Un ulteriore fattore di criticità individuato è costituito dalla condizione geomorfologica del sito, la valutazione della quale deve portare a individuare tutti quegli elementi che possono influire sull'amplificazione della vulnerabilità sismica locale. A tale proposito il territorio di Nocera Umbra è stato suddiviso in aree differenti per caratteristiche geomorfologiche e di criticità locale[37].
Le informazioni riguardo le criticità della Sum sono state sincronicamente indicate in

36 Parotto R., "Gli effetti del sisma del 1997 sulla Struttura urbana minima di Nocera Umbra", sta in, Olivieri M., a cura di, *Regione Umbria. Vulnerabilità urbana e prevenzione urbanistica degli effetti del sisma: il caso di Nocera Umbra, op.cit.*
37 Parotto M., "Analisi della pericolosità sismica locale dell'area di Nocera Umbra", sta in Olivieri Massimo, a cura di, *Regione Umbria. Vulnerabilità urbana e prevenzione urbanistica degli effetti del sisma: il caso di Nocera Umbra, op.cit.*

una carta delle criticità, dalla quale è emersa la drammatica coincidenza della individuazione fatta con le aree effettivamente maggiormente danneggiate dal sisma. Tale danneggiamento, considerato come perdita di funzionalità degli elementi componenti la Sum, è stato quantificato in termini di danno fisico agli edifici e ai servizi pubblici; in base al danneggiamento del sistema stradale in termini di interruzione dei percorsi; in funzione della dismissione delle attività produttive, della contrazione delle aree collettive o il danneggiamento del patrimonio culturale.
La fase successiva all'acquisizione delle informazioni relative alle caratteristiche dei sistemi edilizi e urbani di Nocera Umbra e all'individuazione delle rispettive criticità, è la valutazione della vulnerabilità urbana. La vulnerabilità urbana viene definita nello studio descritto come "*la suscettibilità alla perdita di organizzazione e di funzionalità complessiva dell'insediamento, letta attraverso l'identificazione dei sistemi che lo compongono, dei diversi fattori di rischio (vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio, pericolosità sismica, esposizione urbana) e delle loro relazioni reciproche*"[38]. In questa ottica la valutazione della Sum dipende direttamente dalla valutazione della vulnerabilità urbana.
Il presupposto di base è stato l'assunto che ad aggregazioni urbane e ambiti urbani urbanisticamente omogenei corrisponda un comportamento al sisma omogeneo, alla luce della analisi condotte.
La procedura utilizzata per la valutazione della vulnerabilità urbana, nonostante utilizzi delle elaborazioni numeriche, può comunque essere considerata qualitativa o semiquantitativa, poiché, avendo come obiettivo la definizione di porzioni di città aventi diversi livelli relativi di vulnerabilità, attribuisce a ciascun parametro individuato nell'analisi un peso numerico. Si tratta dunque di individuare ambiti più vulnerabili di altri su cui poter prevedere con maggiore urgenza gli specifici approfondimenti.
In questa operazione di attribuzione di un peso agli elementi ritenuti critici sono stati utilizzato sia dati misurabili che non, per i quali è stato fornito un valore sulla base delle osservazioni effettuate. È proprio in questa fase di scelta e quantificazione della gamma di indicatori che si manifesta il legame metodologico più stretto con la fase di analisi delle caratteristiche del centro urbano.

All'interno di questa ricerca sono stati sperimentati due tipi di metodi per la valutazione della vulnerabilità urbana, riferiti a gradi di approfondimento e ambiti di indagine diversi, definiti metodi di primo e di secondo livello. Il metodo di primo livello è considerato "*aggregato e sintetico*", quello di secondo invece, "*analitico e sistematico*", ma entrambi partono dall'elaborazione dei dati acquisiti tramite le schede di rilievo diretto.
Il metodo di primo livello rielabora i dati in modo da ottenere il diverso valore di vulnerabilità di ogni tessuto attraverso la semplice somma dei valori relativi a tre fattori: vulnerabilità sismica, pericolosità sismica locale, esposizione urbana.
Il metodo di secondo livello si basa sui metodi già sperimentati nella regione Emilia

38 Fazzino F.,"La valutazione della vulnerabilità urbana: il caso di Nocera Umbra", sta in Olivieri M., a cura di, *Regione Umbria. Vulnerabilità urbana e prevenzione urbanistica degli effetti del sisma: il caso di Nocera Umbra, op.cit.*

Romagna e consiste nella individuazione delle componenti sistemiche presenti in ogni tessuto a cui attribuire singolarmente un livello relativo al diverso fattore di rischio.
Tali componenti sistemiche dei tessuti urbani sono:

- Sistema delle presenze
- Sistema abitativo
- Sistema dei servizi e delle attrezzature pubbliche
- Sistema della attività commerciali
- Sistema della attività terziarie pubbliche e private
- Sistema turistico-ricettivo
- Sistema delle attività artigianali
- Sistema dei beni culturali
- Sistema dei luoghi di relazione
- Sistema degli edifici strategici e critici
- Sistema dell'accessibilità, delle vie di fuga e degli spazi sicuri.

I fattori di rischio riscontrati all'interno di ogni sistema sono invece:

- esposizione fisica: il cui valore dell'indicatore cresce con la quantità degli elementi del sistema;
- esposizione di sistema: il cui valore dell'indicatore cresce all'aumentare del rapporto tra le quantità di elementi presenti nel sistema e il totale del centro urbano;
- livello di funzionalità: il cui valore degli indicatori cresce sia con l'importanza relativa del sistema nel contesto urbano sia col diminuire della sua efficienza di funzionamento;
- vulnerabilità diretta degli elementi componenti il sistema;
- vulnerabilità indotta da contiguità con elementi critici;
- vulnerabilità indotta da manufatti critici;
- pericolosità sismica locale.

Attribuiti vari valori agli indicatori corrispondenti a ogni sistema e sommandoli si ottiene il valore di vulnerabilità del singolo sistema riferito al singolo fattore di rischio. La sommatoria dei valori di ogni indicatore per ogni componente sistemica determina i valori relativi di vulnerabilità urbana complessiva del tessuto.
I valori di vulnerabilità ricavati vengono infine raggruppati in classi distinte secondo notazioni qualitative: bassa, media, alta, molto alta.
In questa procedura di valutazione della vulnerabilità urbana, costituita da due diversi livelli di approfondimento, risulta particolarmente delicato il momento della definizione dei parametri da attribuire per la valutazione e la loro quantificazione.
Tale passo viene illustrato attraverso la costruzione di apposite tabelle in cui sono contenuti i valori da attribuire a ciascun fattore di rischio in funzione delle sue caratteristiche,

sia nel metodo di primo che di secondo livello.

L'attività di studio illustrata propone una metodologia di conoscenza della città in tutte le sue componenti strutturali sistemiche in vista della valutazione della sua vulnerabilità sismica e rappresenta un approccio a scala urbanistica del vasto problema della sicurezza sismica delle città.
Tale metodo esprime pienamente l'esigenza di superare le logiche di focalizzazione sul singolo edificio e, nella sua fase conclusiva, attraverso l'introduzione del problema della vulnerabilità alla scala dell'isolato, sintetizza compiutamente l'approccio scientifico pluridisciplinare necessario per affrontare questo tema.
Ciononostante, le due procedure di valutazione della vulnerabilità proposte, seppur a diverso grado di approfondimento, non sono sufficienti, da sole, a spiegare il comportamento sismico alla scala dell'isolato, per il quale comunque la ricerca continua a parlare, forse impropriamente, di vulnerabilità urbana, trasponendo ad una scala ridotta e semplificata, le medesime modalità di valutazione adoperate per i tessuti. Coscienti della parziale perdita, alla scala dell'isolato, delle relazioni sistemiche che invece caratterizzano la scala urbana, l'approccio condotto sull'isolato consiste comunque nella individuazione dei sistemi funzionali, dei sistemi dei percorsi e delle strutture critiche, evidenziando naturalmente un minor grado di complessità rispetto al livello urbano, tale da giustificare l'applicazione del metodo di primo livello. Nella procedura di valutazione alla scala dell'isolato infatti vengono maggiormente approfondite le considerazioni alla scala edilizia, che a livello di parametro acquisiscono un "peso" maggiore. L'applicazione del metodo di primo livello ha condotto alla classificazione degli isolato in funzione di diverse classi di vulnerabilità, così come avvenuto per i tessuti omogenei.

Da tale anali si è emerso che le maggiori criticità sono state osservate in corrispondenza dei grandi complessi specialistici o caratterizzati da maggiore commistione tipologica; in corrispondenza di isolati dotati di "strutture tipologiche particolari" quali portici ad esempio; in corrispondenza di isolati con irregolarità morfologica plani-altimetrica, posizionati su pendii o soggetti a trasformazioni storiche consistenti. Al contrario emergono come meno vulnerabili gli isolati ad andamento lineare regolare, composti da edilizia di base e con alto grado di omogeneità tipologica. Inoltre dalla ricerca è emerso che il fattore di vulnerabilità dell'isolato è, fra tutti, quello che incide maggiormente sulla vulnerabilità sisma urbana complessiva.
Le analisi di valutazione della vulnerabilità dei sistemi urbani hanno portato a concludere che la vulnerabilità urbana è maggiore da quella derivante dalla somma delle vulnerabilità dei singoli manufatti edilizi. Ciò non può sorprendere se si considera che i numerosi parametri in gioco nell'analisi del sistema edilizio si integrano con quelli riferiti ai sistemi funzionali che costituiscono l'organismo urbano, alle diverse scale di aggregato, di bra-

no di città o di centro urbano, variando in maniera non lineare.

L'esperienza di Nocera Umbra dimostra il tentativo di superamento dell'atteggiamento di concentrazione esclusiva sulla dimensione edilizia della prevenzione sismica per passare a un approccio interscalare in cui l'aspetto edilizio si integra con una più articolata e complessa valutazione urbana[39].
Il processo di definizione di una metodologia di approccio a un problema così ampio risulta dunque particolarmente faticoso poiché deve riuscire al suo interno a convogliare e coordinare numerosi aspetti che vanno dal sapere specificamente tecnico alle modalità amministrative di realizzazione e gestione.

2.2. Metodologie di rilievo del danno e di valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici

Le prime procedure di indagine sul costruito storico murario al fine di individuarne le vulnerabilità sismiche sono state elaborate in seguito ai terremoti del Friuli del 1976 e dell'Irpinia del 1980, durante la fase di rilievo e quantificazione del danno[40].
Tali primi studi sono stati condotti da Braga[41], Corsanego[42], Dolce, Liberatore[43], Gavarini, Angeletti[44], Giuffrè[45], Petrini[46], dal Gruppo di Ricerca UNDP/UNIDO [47], Zuccaro, Kappos, Coburn[48].
Dalle loro ricerche emerge che i metodi di valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici possono essere suddivisi in tre categorie[49]:

a) Metodi diretti tipologici (di categorizzazione, statistici)
b) metodi indiretti di ispezione e classificazione (semiquantitativi)
c) metodi meccanici analitici (quantitativi[50])

Nell'ultimo decennio si sono diffusi inoltre i cosiddetti "metodi ibridi".
I primi due metodi sono condotti con approcci di tipo tipologico-probabilistico, applicandoli a un campione più o meno esteso di edifici. Il terzo metodo presuppone la definizione analitica di un modello meccanico che descriva l'edificio, in tutte le sue componenti strutturali e materiche, di cui verificare la resistenza sismica[51].

2.2.1. Metodi diretti tipologici

La lettura tipologia dell'architettura storica, introdotta da Saverio Muratori[52] e sviluppata da Gianfranco Caniggia[53] e Gian Luigi Maffei[54] tra gli anni cinquanta e settanta, non era nota ai primi studiosi di vulnerabilità sismica degli anni ottanta. Ciononostante si possono rintracciare dei punti in comune tra i due filoni di ricerca. Innanzitutto l'oggetto di studio, cioè la città storica, poi la volontà di classificare il costruito per tipologie costruttive. Mentre però la finalità classificatoria di scuola muratoriana è quella di carpire le regole sottese alla "cultura costruttiva spontanea" da declinare come metodologia progettuale; nei primi studi di vulnerabilità il tentativo era quello di riconoscere delle

39 Olivieri M., "Finalità, contenuti, articolazione della ricerca", sta in, Olivieri M., a cura di, *Regione Umbria. Vulnerabilità urbana e prevenzione urbanistica degli effetti del sisma: il caso di Nocera Umbra, op.cit.*
40 In tali circostanze lo stato italiano assunse una serie di importanti iniziative: la riclassificazione sismica del territorio italiano, sulla base delle proposte del CNR eseguite negli anni '80; l'introduzione di maggiori livelli di protezione sismica per la progettazione di nuovi edifici; la formulazione di una adeguata normativa sismica per gli interventi di recupero, assenti nella normativa tecnica edilizia allora vigente (legge 2/2/1974 n. 64, *Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche*). Essa contemplava solo le operazioni di nuova costruzione, senza prevedere il recupero dei centri storici.
41 Braga F., Ramasco M., "Valutazione su base statistica delle Vulnerabilità sismica degli edifici di Pozzuoli", in *Atti del 2° Convegno nazionale "L'ingegneria sismica in Italia"*, Rapallo, 1984
42 Corsanego A., "Vulnerabilità degli edifici e metodi per valutarla", in *L'ingegneria sismica*, n.1/1984
43 Braga F., Dolce M., Liberatore D., "Rassegna critica dei metodi per la stima della vulnerabilità", in *Atti del 3° Convegno nazionale "L'ingegneria sismica in Italia"*, Roma, 30 Settembre-2 Ottobre 1987
44 Gavarini C., Angeletti P., "Vulnerabilità sismica degli edifici esistenti. Lo stato dell'arte e le prospettive di sviluppo della ricerca in Italia", in *L'industria italiana del cemento*, n.2/1984
45 Giuffrè A., "Valutazione della vulnerabilità sismica dei monumenti: metodi di verifica e tecniche di intervento" in *Convegno C.N.R. sui problemi del restauro in Italia*, Dipartimento di Ingegneria strutturale e geotecnica, Roma, 1986
46 Corsanego A., Petrini V., "Evaluation criteria of seismic vulnerability of the existing building patrimony on the national territory", *Ingegneria Sismica* Volume 1, 1994
47 UNDP/UNIDO Project RER/79/015, *Post Earthquake damage Evaluation and Strength Assessment of Buildings under Seismic Condition* (Vol.4) UNDP, Vienna, 1985
48 Dolce M., Zuccaro G., Kappos A., Coburn A., "Report of the EAEE Working Group 3: Vulnerability and risk analysis", *Proceding of 10th European Conference on Earthquake Engineering*, Volume 4, 1994

debolezze a partire dai danni rilevati, anche se lo strumento di rilevamento introdotto, cioè le schede GNDT, hanno un carattere classificatorio più delle tipologie costruttive che delle forme di vulnerabilità.
In Italia i metodi diretti tipologici e i metodi indiretti di classificazione, sono stati utilizzati nell' elaborazione delle schede GNDT rispettivamente di 1 e 2 livello in seguito al terremoto del'Irpinia del 1980.

I sistemi di schedatura di 1 livello GNDT
La scheda di 1 livello GNDT si basa sul metodo diretto tipologico. Nella scheda si ha infatti una classificazione delle tipologie di edifici a cui i rilevatori associano i tipi di danno rilevati ai fini di definirne, attraverso elaborazioni statistiche, le *classi di vulnerabilità* (espresse in A,B,C) associando in questo modo, di fatto, per ognuna di esse l' azione sismica allo scenario di danno rilevato ed esprimendo tale relazione attraverso le *matrici di probabilità di danno* (DPM)[55]. Per la determinazione delle matrici di probabilità di danno si usa un approccio probabilistico simile a quello usato nelle scale macrosismiche. Si rilevano i danni causati dai terremoti storici, distinguendoli per area geografica e intensità del sisma e si associano alle diverse tipologie di edificio.
Le schede di 1 livello relative ad edifici ordinari sono le schede "Irpinia 80", "Irpinia 80 modificata", "GNDT-84" e la scheda AeDES 2000. Queste schede sono suddivise per elementi costruttivi di murature e orizzontamenti. L'incrocio delle caratteristiche costruttive dà luogo a 13 tipologie strutturali nella scheda Irpinia, e a 8 nella scheda GNDT, cui sono attribuiti 3 gradi di vulnerabilità A,B,C nella scheda Irpinia e 6 in quella GNDT. Ogni sistema strutturale è a priori considerato più o meno vulnerabile di un altro, grazie ad elaborazioni statistiche dei dati rilevati dopo il terremoto dell'Irpinia.
Lo studio di Braga da cui scaturiscono le schede di 1livello GNDT è comunque un primo tentativo che ovviamente dopo molti anni mostra i suoi limiti. Innanzitutto il costruito murario è inserito in una unica categoria. In un campione così vario si trovano dunque diversissimi tipi di danno. Le informazioni raccolte in sostanza non vengono correttamente interpretate in vista della definizione della vulnerabilità poiché si tende a classificare gli edifici trascurando i molteplici aspetti che possono influire sulla loro effettiva vulnerabilità. Inoltre, usando una forma semplificata della scheda di 1 livello, precedente a quella attuale, si raccoglievano dati su edifici estremamente diversi per cultura costruttiva e area geografica, non tenendo conto della specificità del costruito locale. Si classificavano infine allo stesso modo edifici in cemento armato moderni ed edifici murari antichi, edifici con orizzontamenti lignei voltati originali e sostituiti[56].
La scheda AeDES, invece, è finalizzata alla valutazione dell'intensità macrosismica, alla valutazione quantitativa del danno e ad esprimere un giudizio di agibilità dell'immobile. Per edifici murari si associano delle classi di vulnerabilità alle caratteristiche costruttive in funzione del stato di conservazione rilevato.

49 Questa classificazione è proposta in Giovinazzi S., Lagomarsino S., "Seismic Risk Analysis: a method for the vulnerability assessment of built-up areas", *European Safety and Reliability Conference ESREL 2003*, Maastricht, Olanda, 2003.
Il primo tentativo di classificazione delle metodologie di valutazione della vulnerabilità sismica edilizia è stato condotto da A.Corsanglo e pubblicato in Corsanego A., Petrini V., "Seismic Vulnerability of Buildings. Work in Progress", *SEISMED 2nd Workshop on Earthquake Vulnerability, Loss and Risk Assessment*, Trieste, Italy, December 10-15, 1990; Corsanego A., "Seismic vulnerability evaluations for risk assessment in Europe", *Proceedings of the Fourth International Conference on Seismic Zonation* , Stanford, California, August 25th - 29th, volume I, 1991.
50 La classificazione in metodi tipologici, metodi semiquantitativi e metodi quantitativi è proposta in Cremonini I., *Rischio sismico e pianificazione nei centri storici. Metodologie ed esperienze in Emilia Romagna, op.cit.*
51 Una classificazione dei metodi di valutazione della vulnerabilità sismica basata sul tipo di strumento utilizzato (matrice di probabilità di danno, schede di rilievo, modello meccanico) è illustrata in Fera G., *La città antisismica: storia, strumenti e prospettive della pianificazione territoriale per la riduzione del rischio, op.cit.*
52 Bollati S., Muratori S., *Studi per un'operante storia urbana di Roma*, Roma, 1963; Muratori S., *Studi per un'operante storia urbana di Venezia*, Roma, 1959
53 Caniggia, G., *Ragionamenti di tipologia: operatività della tipologia processuale in architettura*, a cura di Gianluigi Maffei, Firenze , Alinea, 1997
Caniggia, G., *Struttura dello spazio antropico: Studi e note*, Firenze, Alinea, 1985
54 Maffei, G.L., *La casa fiorentina nella storia della città : dalle origini all'Ottocento*, Venezia , Marsilio, 1990
55 Braga F., Dolce M., Liberatore D., "A statistical study on damaged buildings and an ensuing review of the M.S.K.-76 scale", *Proceeding of the 7th European Conference on Earthquake Engineering*, 1982
56 Carocci C., *Conservazione dei centri storici in area sismica. Vulnerabilità e mitigazione*, Tesi di dottorato di ricerca in Storia della Scienze e delle Tecniche costruttive, VIII ciclo, Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Facoltà di Architettura, 1996

GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DAI TERREMOTI (G.N.D.T.) - C.N.R.
Scheda di Esposizione e Vulnerabilità di 1° livello - Censimento Danni **1ª Parte**

DATA (1) Giorno Mese | (4) Squadra | (7) N° Ordine Edificio | (10) Isolato (*) | (11) Portoni (*)

LOCALIZZAZIONE EDIFICIO

(12) Sigla provincia | (14) Codice Istat Comune | (17) 1 Via, 2 Piazza, 3 Località | (18) Nome della Via, Piazza o Località

(32) N° Civico | (36) N° Fronti a comune | (37) Rif. cartografici (*) o Zona

DATI METRICI

(42, 47, 52, 57) Superficie Media Coperta (in m²) | N° Piani a Superficie Media Coperta Uguale

(62, 65, 68, 71, 74) Altezza Media Interpiano (in m) | N° Piani ad Altezza Media Interpiano Uguale

(77) Altezza Massima Fuori Terra (in m) | (80) Altezza Minima Fuori Terra (in m)

DESTINAZIONE D'USO

Abitazione (83)	1 sì 2 no	Attività Produttiva (93)	1 sì 2 no	Servizi Pubblici (106)	1 sì 2 no
N° Alloggi Occupati (84)		Industria (94)	% Piano	Istruzione (107)	% Piano
N° Alloggi Liberi (86)		Artigianato, Riparazioni Beni consumo, Veicoli (96)	% Piano	Attrezzature collettive civili (109)	% Piano
N° Famiglie (88)		Commercio (98)	% Piano	Attrezzature collettive religiose (111)	% Piano
N° Abitanti (90)		Pubblici esercizi, Attività ricettive e ricreative (100)	% Piano	Sanità (113)	% Piano
		Credito, Assicurazioni, Servizi alle imprese (102)	% Piano	Altro (115)	% Piano
		Trasporto e Comunicazioni (104)	% Piano		

ETÀ

A 1° Periodo
B 2° Periodo
C 3° Periodo
D 4° Periodo
E 5° Periodo
F 6° Periodo
G 7° Periodo

INTERVENTI

Ø Nessuno
1 Ampliamento
2 Sopraelevazione
3 Ristrutturazione
4 Restauro
5 Manutenzione
6 Riparazione antisism.
7 Adeguamento antisism.

(117) Classe di età costruzione | (118) Classe di età ultimo intervento | (119) Tipo dell'ultimo intervento

FINITURE - IMPIANTI

(121, 122, 123, 124, 125, 126, 127)

Intonaci esterni
Intonaci interni
Pavimenti
Infissi esterni
Infissi interni
Impianto elettrico
Impianto idraulico

Esistenti A
Non esistenti B

(120) Edificio vincolato ai termini della L. 1089 o L. 1497 del 1939 — 1 sì, 2 no

(*) I dati contrassegnati da un asterisco vanno raccolti solo se disponibili o quando sia il caso.

1

Fig.1 Prima parte della scheda di primo livello per il rilievo del danno e della vulnerabilità realizzata dal GNDT

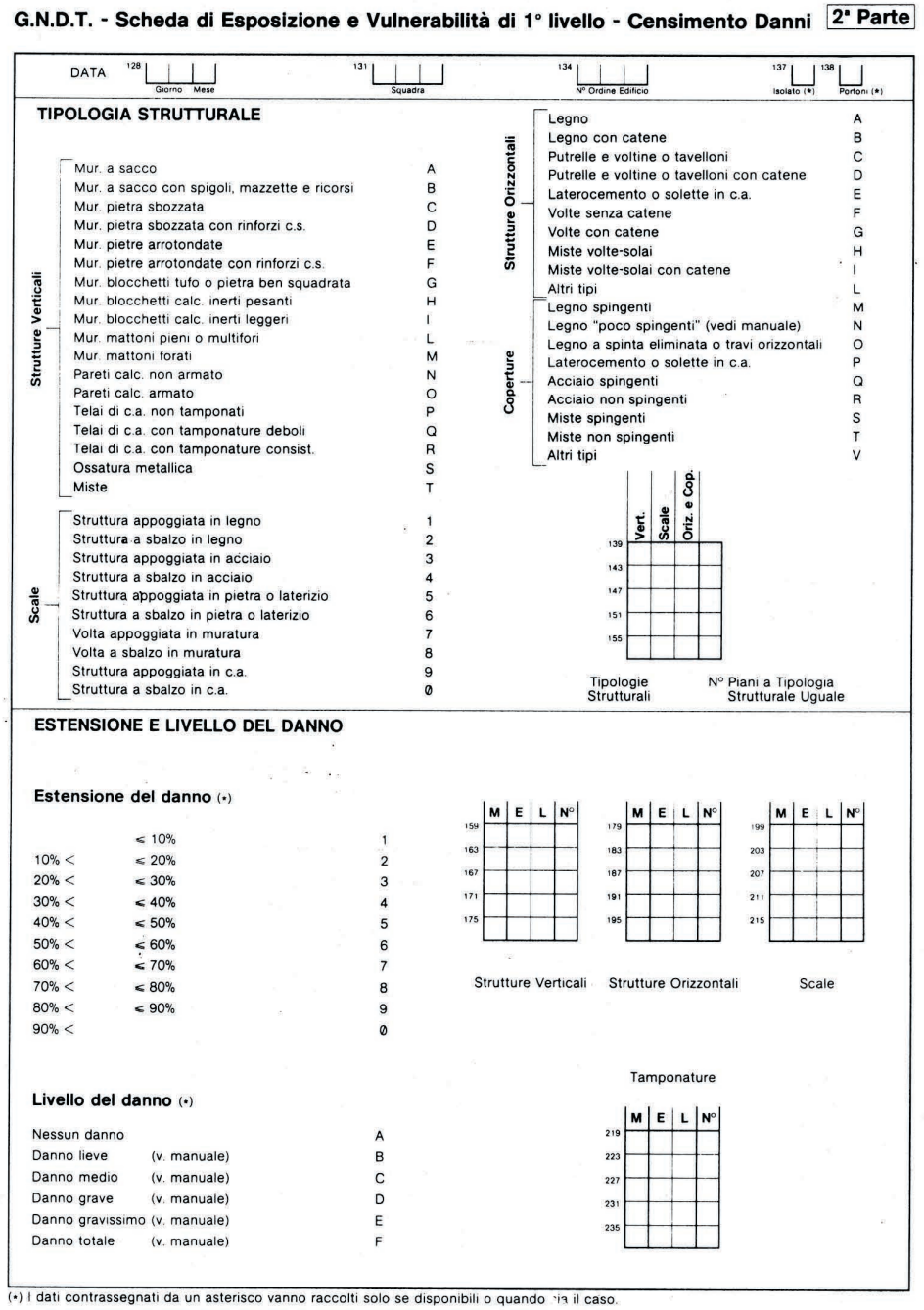


Fig.2 Seconda parte della scheda di primo livello per il rilievo del danno e della vulnerabilità realizzata dal GNDT

2.2.2. Metodi indiretti di ispezione e classificazione (semiquantitativi)

Nei metodi indiretti di classificazione i dati rilevati vengono elaborati in modo da costruire per via deterministica le curve di vulnerabilità.[57]

I sistemi di schedatura di 2 livello GNDT

La scheda di 2 livello GNDT definisce la vulnerabilità dell'edificio come somma del risultato delle singole vulnerabilità attribuite alle sue componenti strutturali. Le schedature sono state elaborate in occasione dei terremoti, hanno dunque una componente di censimento dei danni, a cui si associa la ricerca a posteriori della vulnerabilità. Sono costituite da due sezioni (edifici in muratura e in cemento armato) per ognuna delle quali vengono classificate le componenti costruttive (orizzontamenti, murature …).

Ad ogni elemento costruttivo si associa un *indice di vulnerabilità, I_v (indice Benedetti Petrini)* [58] e ad ogni *Indice di vulnerabilità* si associa una *curva di vulnerabilità* che esprime il rapporto tra il fattore di danno (espresso in termini di costo di riparazione rispetto al valore delle strutture) e *l'intensità sismica* di picco del terremoto atteso preso a modello.

Le schede di 2 livello GNDT sono la "Pozzuoli 83" e la "GNDT-84" (e la DISEG per le chiese).

Tali schede sono organizzate in due sezioni distinte: muratura e cemento armato. Per ogni elemento costruttivo viene attribuito un valore di vulnerabilità, la sommatoria dei quali determina la vulnerabilità dell'edificio.

Confronto tra le matrici di probabilità di danno e le curve di fragilità

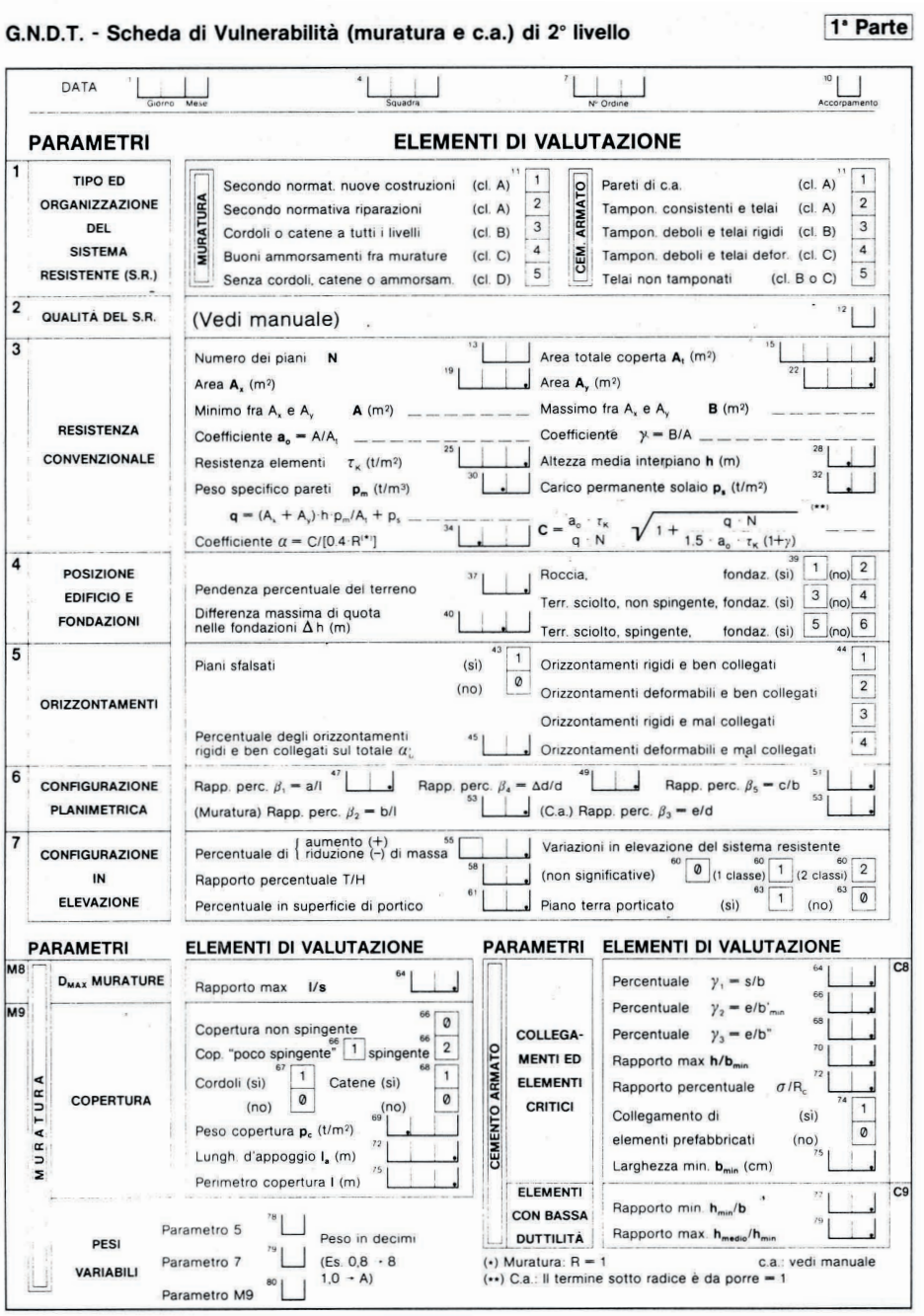
Gli studi sviluppatisi a partire dagli anni ottanta hanno proposto due diverse soluzioni per la costruzione del legame funzionale tra azione sismica, danno e vulnerabilità: *le matrici di probabilità di danno* e *le curve di fragilità*. Esse fanno riferimento a due diverse misure sintetiche di vulnerabilità, una di carattere qualitativo rappresentata dalla *classe tipologica di vulnerabilità* e l'altra di natura quantitativa, rappresentata dall'*indice di vulnerabilità*.

Le matrici di probabilità di danno sono considerate una *metodologia di tipo diretto* poiché associano direttamente la previsione del danno atteso a ciascuna classe di vulnerabilità e a ciascuna tipologia costruttiva; *le curve di fragilità* invece sono una *metodologia di tipo indiretto* in quanto richiedono la preventiva definizione di un indice di vulnerabilità in base al quale classificare l'edificato; a tale indice è poi associata una funzione che correla statisticamente l'accelerazione di picco ad un indice di danno.

Le due metodologie sono classificate anche rispettivamente come metodologie di *primo livello* e di *secondo livello*, in ragione del diverso grado di risoluzione con cui è affrontato il problema della caratterizzazione dell'oggetto di analisi e dunque del diverso tipo di scheda di rilievo di cui si avvalgono.

57 Carocci C., *Conservazione dei centri storici in area sismica. Vulnerabilità e mitigazione, op.cit.*

58 Benedetti D., Petrini V., "On seismic vulnerability of masonry buildings: proposal of an evaluation procedure", *The industry of constructions*, Vol. 18



3

Fig.3 Prima parte della scheda di secondo livello per il rilievo del danno e della vulnerabilità realizzata dal GNDT

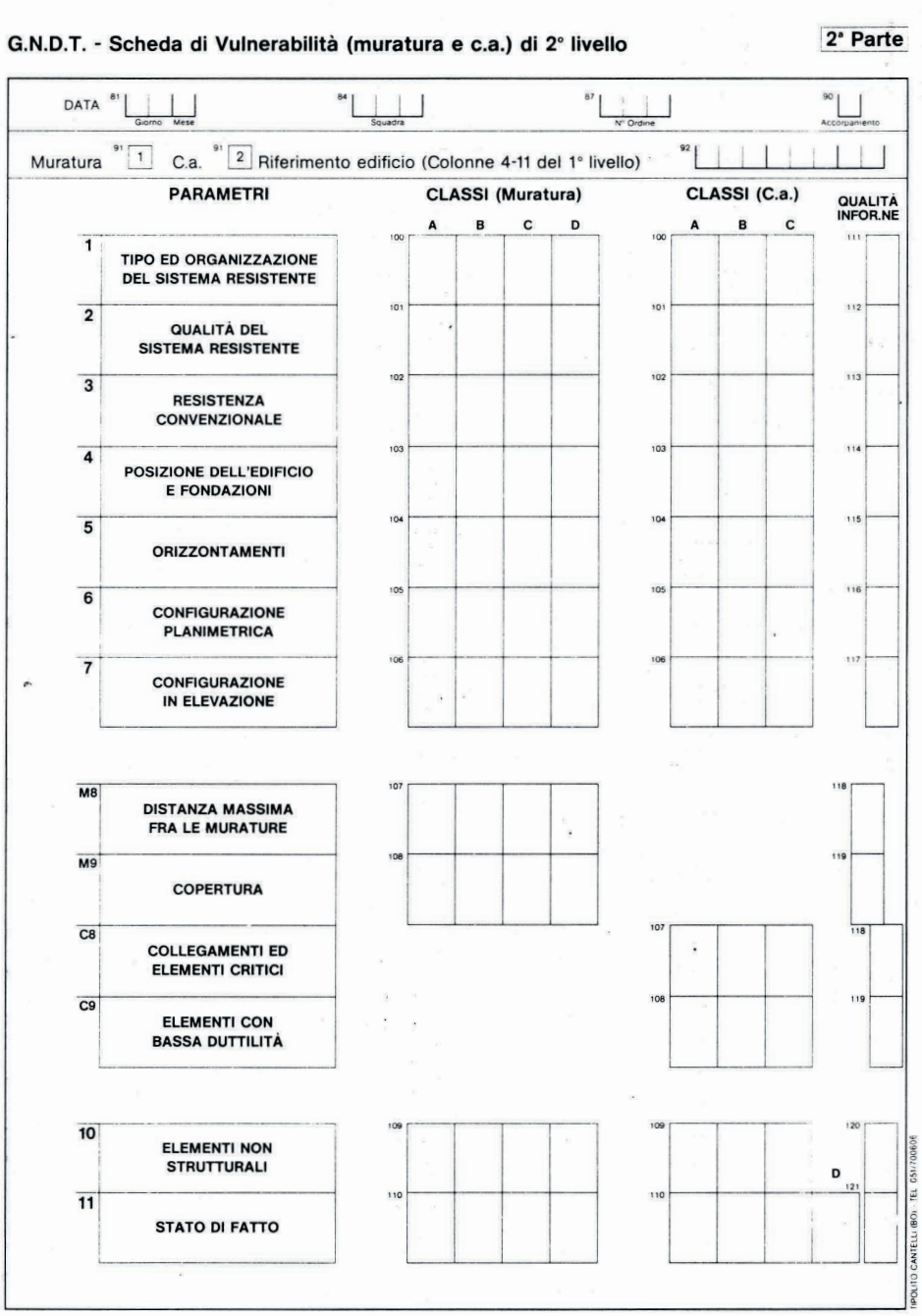


Fig.4 Seconda parte della scheda di secondo livello per il rilievo del danno e della vulnerabilità realizzata dal GNDT

2.2.3. Metodi meccanici analitici (quantitativi)

Appartengono a tale categoria i metodi che sono indirizzati a ricavare una misura quantitativa della vulnerabilità attraverso la correlazione tra l'intensità sismica, espressa come spettro di risposta dell'accelerazione sismica, e la capacità di assorbimento della struttura. Ne sono un esempio i vari metodi utilizzati negli Stati Uniti come HAZUS[59], introdotto nel 1999. Messo a punto dalla *Federal Emergency Management Agency* (FEMA), HAZUS rappresenta ormai lo standard nelle analisi di rischio sismico per gli Stati Uniti. Si basa sul confronto tra la l'azione sismica, espressa in termini di spettro ADRS –*Adimensional Displacement Response Spectrum*, e la capacità della struttura a sopportarlo, descritta da una curva forza-spostamento, valutata attraverso un'analisi incrementale a collasso. Tali curve sono fornite a priori per le diverse tipologie, sulla base di pochi parametri dimensionali e costruttivi; su di esse sono individuati alcuni significativi stati limite di danno. Tale approccio è utilizzato nel Progetto Catania[60] in parallelo con le tradizionali metodologie GNDT.

Trova diffusa applicazione in Italia il metodo elaborato da Antonino Giuffrè e basato sul principio di stabilità dell' equilibrio delle strutture murarie. Tale metodo consiste nel ricavare la massima azione orizzontale che la struttura è in grado di sopportare prima della sua perdita di stabilità. Lo stesso approccio è stato utilizzato anche negli studi per gli interventi di miglioramento sismico alle chiese, sviluppati nell'ambito di una ricerca finanziata dalla Regione Marche [61].

2.2.4. Metodi ibridi

I metodi ibridi mirano a colmare le naturali imprecisioni dovute all'incertezza dei metodi tipologico - statistici. Sono stati proposti da Bernardini[62], Faccioli, Pessina[63], Di Pasquale[64], Dolce, Kappos, Coburn[65], Lagomarsino, Giovinazzi [66], Meroni[67], Zuccaro, Baratta[68]

In particolare il metodo proposto da Lagomarsino e Giovinazzi[69], scaturito dall'osservazione della insufficienza dei metodi tipologici, propone di valutare la vulnerabilità sismica attraverso alcune caratteristiche degli edifici che possono comportare delle modificazioni del loro comportamento sismico. Per far ciò il metodo si basa sulla *EMS-98* (*European Macroseismic Scale*)[70], che come le altre scale macrosismiche, misura l'intensità del sisma attraverso i danni osservati sugli edifici e ne esprime implicitamente dunque la loro vulnerabilità.

Il metodo prevede l' elaborazione delle curve di vulnerabilità, che correlano il rischio sismico (in termini di *intensità macrosismica I*) con il danno (in termini di *indice di danno*, come definito dalla EMS-98, cioè come somma delle singole probabilità che si verifichi danneggiamento degli edifici che costituiscono l'area in esame). Le curve esprimono dunque, al variare dell'intensità sismica, la probabilità che un certo numero di

59 HAZUS, *Earthquake Loss Estimation Methodology*, Washington, Federal Emergency Management Agency, 1999

60 Liberatore D. (a cura di), *Progetto Catania: indagine sulla risposta sismica di due edifici in muratura*, CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 2000

61 Cocina S., Lagomarsino S., Podestà S., "Analisi di vulnerabilità della facciata nelle chiese di Catania", *Atti del IX Convegno Nazionale L'ingegneria sismica in Italia*, Torino 20-23 settembre 1999

Lagomarsino S., "Damage survey of ancient churches: the Umbria-Marche experience", in *Seismic Damage to Masonry Buildings* A. Bernardini Ed., *Proceeding of the International Workshop on "Measures of seismic damage to masonry buildings"*, Monselice, Padova, Italy, June 25-26 1998

Lagomarsino S., Brun S., Giovinazzi S., Idri C., Penna A., Podestà S., Resemini S., Rossi B., "Modelli di calcolo per il miglioramento sismico delle chiese", *Atti del IX Convegno Nazionale "L'ingegneria sismica in Italia"*, Torino 20-23 settembre 1999

Lagomarsino S., Podestà S., "Metodologie per l'analisi di vulnerabilità delle chiese", *Atti del IX Convegno Nazionale "L'ingegneria sismica in Italia"*, Torino 20-23 settembre 1999

62 Bernardini A., "Coerenza fra osservazioni e previsioni di vulnerabilità sismica di tipologie murarie", *Atti 8° Convegno Nazionale ANIDIS: L'ingegneria Sismica in Italia*, Taormina, 1997

Bernardini A., "Seismic Damage to Masonry Buildings", *Proceeding of the Int. Workshop of Seismic Damage to Masonry Buildings*, Monselice, Padova, June 25-26, 1998

Bernardini A., *La vulnerabilità degli edifici - Valutazione a scala nazionale della vulnerabilità sismica degli edifici ordinari*, CNR-GNDT, Roma, 2000

63 Faccioli E., Pessina, V., Calvi G.M., Borzi B., *A study on damage scenarios for residential buildings in Catania city. The Catania Project*, Romea, CNR-GNDT, 1999

64 Di Pasquale G., Dolce M., Martinelli A., "Analisi della vulnerabilità", in *Censimento di vulnerabilità a campione dell'edilizia corrente dei centri abitati, nelle regioni Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Molise, Puglia e Sicilia,* Progetto Lavori Socialmente Utili, Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 2000

edifici subiscano danni. Questo metodo dunque associa ai metodi tipologici le analisi statistiche, al fine di stabilire delle maggiori o minori vulnerabilità di classi di edifici in funzione dell'azione sismica.
Questo metodo può essere applicato a singoli edifici o ad edifici in aggregato. Per questi ultimi gli autori ricavano la probabilità del danneggiamento dell'insieme dalla valutazione delle singole classi di appartenenza degli edifici con il loro rispettivo indice di vulnerabilità.
In sostanza il metodo proposto da Lagomasino - Giovinazzi[71] esprime la tendenza attuale indirizzata verso la definizione di un metodo unico, quanto più omogeneo possibile, per valutare la vulnerabilità degli edifici, introducendo l'importanza della analisi della situazione al contorno e dunque la necessità di studiare l'edificio all'interno dell'aggregato. Un ulteriore approfondimento è stato elaborato dagli stessi autori nel corso degli ultimi anni, proponendo un metodo che parte dalla classificazione della EMS-98 basandosi su procedure più tradizionali. [72]
In un ulteriore e successivo aggiornamento della metodologia,[73] vengono inoltre introdotti degli indici relativi al comportamento d'insieme.
Le valutazioni effettuate in questo ultimo modello si basano su quelle caratteristiche dell'aggregato e delle unità edilizie alle quali può essere imputata una variazione del comportamento sismico, quali ad esempio:

- la posizione dell'edificio nell'aggregato
- la sua eterogeneità strutturale
- le criticità che possono indurre interazioni pericolose tra gli edifici (solai sfalsati, edifici di altezza diversa)
- la presenza di elementi di presidio antisismico

Se da un lato l'estrema specificità dei centri storici richiederebbe una analisi di dettaglio del singolo caso, dall'altro la loro complessità deve indurre alla formulazione di modelli semplificati.
Il modello del 2004 è una evoluzione del precedente modello del 2003. Mentre nella precedente applicazioni venivano considerate le definizioni generiche di classi di vulnerabilità fornite dalla EMS-98 in questo modello lo studio viene distinto per tipologia di edificio, utilizzando anche dei "*modificatori del contesto aggregato e del costruito storico*". Questo modello inoltre è applicabile alla scala territoriale e alla scala locale, come dalle numerose applicazioni sviluppate nell'ambito del progetto di ricerca nazionale "Scenari di rischio sismico in Liguria Occidentale, Italia, e strategie per la conservazione dei centri storici" all'interno del Programma Quadro 2000-2002 del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), finanziato dal Dipartimento di Protezione Civile.

Il metodo consiste nell'associare a ogni tipologia edilizia un *indice di vulnerabilità*

65 Dolce M., Zuccaro G., Kappos A., Coburn A., "Report of the EAEE Working Group 3: Vulnerability and risk analysis", *Proceding of 10th European Conference on Earthquake Engineering*, Volume 4, 1994
66 Giovinazzi S., Lagomarsino S. "Una metodologia di analisi di vulnerabilità del costruito", *Atti del X Congresso Nazionale ANIDIS "L'ingegneria sismica in Italia"*, Potenza - Matera, 9-13 Settembre 2001
67 Meroni F., Petrini V., Zonno, G., "Valutazione della vulnerabilità di edifici su aree estese tramite dati ISTAT", *Atti 9° Convegno Nazionale ANIDIS: L'ingegneria Sismica in Italia*, Torino, 1999
Meroni F., Petrini V., Zonno G. "Distribuzione nazionale della vulnerabilità media comunale" in A. Bernardini, a cura di, *La vulnerabilità degli edifici*, CNR-GNDT, Roma, 2000
68 Zuccaro G., Baratta A., "Valutazione a scala nazionale della vulnerabilità degli edifici ordinari", *Atti 9° Convegno Nazionale ANIDIS: L'ingegneria Sismica in Italia*, Torino, 1999
Zuccaro G., Papa F., Baratta, A., "Distribuzione nazionale della vulnerabilità media comunale", in A. Bernardini, a cura di, *La vulnerabilità degli edifici, op.cit*
69 Giovinazzi S., Lagomarsino S., *Seismic Risk Analysis: a method for the vulnerability assessment of built-up areas, op.cit.*
70 La EMS-98, pubblicata nel 1998 come versione definitiva della bozza del 1992, è la scala utilizzata nella maggior parte d'Europa e del mondo oggi. Diversamente dalle scale di magnitudo, che esprimono intensità del sisma in funzione dell'energia che rilasciano, la EMS è una scala macrosismica che misura gli effetti del sisma su un dato luogo ed è suddivisa in 12 gradi. Nella EMS-98 sono considerate diverse tipologie costruttive a ognuna della quali è associato il comportamento sismico espresso, in termini di danno, attraverso 6 classi di vulnerabilità. Si può notare però come ci sono casi in cui tipologie costruttive diverse appartengano alla stessa classe di vulnerabilità, anche se nella realtà si potrebbe verificare il caso di edifici appartenenti alla stessa tipologia ma con notevoli differenze in termini di vulnerabilità, ciò a causa delle specifiche caratteristiche costruttive del singolo edificio e della sua disposizione rispetto al tessuto urbano.
71 Giovinazzi S., Lagomarsino S., "Seismic Risk Analysis: a method for the vulnerability assessment of built-up areas", *European Safety and Reliability Conference ESREL 2003*, Maastricht, Olanda, 2003

tipologico V_I^* a cui si consente un range di variabilità $V_I^- \div V_I^+$.
La misura dell'indice di vulnerabilità avviene innanzitutto riferendolo all'edificio isolato, sommando all'indice di vulnerabilità tipologico anche altri due indici: il *fattore di vulnerabilità regionale* ΔV_R e l'*indice di modificazione del comportamento* ΔV_m.

$$V_I = V_I^* + \Delta V_R + \Delta V_m$$

V_I^* = *indice di vulnerabilità tipologico*, assegnato alle diverse tipologie edilizie.
V_R= *fattore di vulnerabilità regionale*, che tiene conte delle variazioni regionali della tecnica costruttiva in relazione alla regola dell'arte.
V_m= *indice di modificazione del comportamento*, che tiene conto della irregolarità morfologia, plani altimetrica, altezza, qualità della conservazione ecc…
Inoltre per tenere in conto la specificità del centro storico si inserisce anche il *fattore di vulnerabilità del centro storico* ΔV_{CS}, che tiene conto del rispetto o meno delle tecniche costruttive storiche o delle loro evoluzioni; e il *fattore di interazione dell'aggregato* ΔV_{IA}, che tiene conto della influenza del comportamento in aggregato.

$$VI = VI^* + \Delta V_r + \Delta Vm + \Delta V_{CS} + \Delta_{VIA}$$

2.3. La metodologia del "gruppo Ortigia"

Una importante metodologia di valutazione della vulnerabilità finalizzata direttamente alla definizione di criteri di intervento per la "*sicurezza e la conservazione*" del costruito murario è la cosiddetta metodologia del "*gruppo Ortigia*[74]" definita ed elaborata da Giuffrè e Carocci nel corso di anni di attività di ricerca sul tema dei centri storici in zona sismica. La lettura del costruito esistente che propongono procede dalla scala dell'elemento costruttivo alla scala dell'edificio murario e del tessuto urbano, con una progressiva estensione dei concetti di base alle differenti scale.

Alla base di questa metodologia si ha la comprensione delle caratteristiche meccaniche delle costruzioni murarie ed il principio, individuato già da Rondelet, secondo cui la struttura muraria entra in crisi per la perdita di stabilità piuttosto che per il superamento dei propri limiti di resistenza.
La definizione delle caratteristiche meccaniche delle murature avviene attraverso il confronto con la "regola dell'arte", indicata come riferimento per la buona qualità della costruzione.
La valutazione della stabilità delle costruzioni invece avviene attraverso l'individuazione delle modalità di collasso più probabili e delle forme più comuni di vulnerabilità, desumendole direttamente dall'osservazione delle caratteristiche del costruito e delle sue reali

72 Giovinazzi S., Lagomarsino S., *Una metodologia di analisi di vulnerabilità del costruito, op.cit.*
73 Balbi A., Giovinazzi S., Lagomarsino S., "Un modello di vulnerabilità per gli edifici nei centri storici", *Atti del XI Convegno Nazionale ANIDIS "L'ingegneria sismica in Italia"*, Genova 25-29 Gennaio 2004
74 Così definita da Carocci C. in *Conservazione dei centri storici in area sismica. Vulnerabilità e mitigazione, op.cit.*

modalità di danno in occasione dei terremoti storici. A questo proposito lo studio della sismicità storica e dunque delle scale di misurazione macrosismica dei terremoti, risulta di insostituibile utilità poiché da essa si possono dedurre importanti considerazioni riguardo le modalità di crollo e danneggiamento accorse negli edifici murari. Se, ad esempio, è possibile fare confusione tra un evento sismico dell' VII e uno del VIII grado MCS, o tra un evento del IX e uno del X, è impossibile confondere l' VIII grado MCS con il IX grado MCS, poiché il IX grado è individuato dal crollo non solo della parti precarie del costruito ma anche delle pareti di facciata.

Le forme di vulnerabilità individuate si possono distinguere in:

- elementi di vulnerabilità riconducibili all'edificio isolato: tipologia e connessione tra elementi verticali e orizzontali, tipologia di fondazioni e della copertura, mancanza di omogeneità nei materiali e nelle tecniche costruttive utilizzate;
- elementi di vulnerabilità dell'aggregato in cui l'edificio è inserito: connessione insufficiente tra edifici adiacenti, edifici adiacenti di altezza diversa o solai sfalsati;
- elementi di vulnerabilità legati alla tradizione costruttiva locale o alle modifiche subite dagli edifici rispetto alla loro concezione originale.

Riguardo a molte delle vulnerabilità individuate, Giuffrè sostiene inoltre[75] che prima dell'affermarsi delle esperienze abitative moderne, le città storiche non avevano gravi precarietà intrinseche.
Cioè l'affermarsi della "*pianta libera*" ha portato alla diffusione di esigenze distributive prima di allora impensabili, come l'apertura di varchi per l'automobile, la costruzione di mansarde o ancora la demolizione dei muri trasversali. Le esigenze abitative premoderne infatti non necessitavano di cellule murarie di dimensione superiore ai 5x5 m.
Molteplici sono le esperienze condotte dal gruppo di ricerca guidato da Giuffrè prima e Carocci dopo, che hanno passo dopo passo, definito un quadro metodologico sempre più preciso e capace di adattarsi alle più diversificate accezioni locali delle problematiche affrontate, ricavando sempre nuovi dati e nuove considerazioni utili all'avanzamento del percorso di ricerca principale.

2.4. L'esigenza di revisione della metodologia

L'esigenza di una revisione delle metodologie di valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici murari storici è sentita già dalla fine degli anni ottanta, quando l' applicazione delle consolidate metodologie basate sulle schede GNDT cominciava ed essere ritenuta inadeguata:

"*Il terremoto del Friuli del 1976 ed il successivo dell'Irpinia del 1980, con le conseguenti necessità di rapida diagnosi di decine di migliaia di edifici sottoposti a rilevanti azioni e generalmente non progettati secondo criteri anti-sismici, hanno richiesto la*

75 Giuffrè A., "Vulnerabilità della città storica in area sismica e criteri per la conservazione", sta in Sanfilippo E.D., La Greca P., a cura di, *Piano e progetto nelle aree a rischio sismico*, Gangemi editore, Roma,1994;
Giuffrè A., Carocci C., *Codice di pratica per la sicurezza e la conservazione del centro storico di Palermo*, Roma, Laterza, 1999

preparazione di metodi di rilievo e catalogazione degli edifici, sia per quanto riguarda l'edilizia storica in muratura sia per gli edifici di più recente costruzione con strutture resistenti di c.a. In particolare le metodologie basate sulle schede di primo e secondo livello preparate in ambito GNDT si sono affermate come lo strumento principale, largamente utilizzato negli anni '80 non solo per il rilievo dei danni nella fase post-terremoto, ma anche per la raccolta di dati finalizzati a previsioni di vulnerabilità e rischio sismico sul territorio. A distanza di circa 15 anni si avverte l'esigenza di ridiscutere la tematica del rilievo, in particolare nell'ottica di creare una serie di strumenti fra di loro strettamente coordinati ma più specificamente orientati ai differenti obiettivi: quantificazione rapida del danno economico nell'ispezione post-sisma, indicazioni di abitabilità degli edifici, rilievo dell'intensità macrosimica, valutazioni a priori della vulnerabilità , indicazioni relative alla necessità e alle tecniche di adeguamento anti-sismico. Si tenga presente che il drammatico sviluppo delle tecniche per l'archiviazione ed elaborazione delle informazioni avvenuto in questo stesso periodo rende oggi possibili obiettivi assolutamente inimmaginabili agli inizi degli anni 80, quali lo sviluppo e la gestione di archivi locali e nazionali degli edifici immediatamente disponibili a supporto delle situazioni di emergenza. Il documento elaborato ad Erice (1996) dai delegati del GNDT, INGV ed SSN segnala come obiettivo per i prossimi anni la preparazione di strumenti di seconda generazione per le stime di vulnerabilità e di una sistematizzazione e armonizzazione dei diversi approcci attraverso la messa a punto di uno strumento di indagine unificato"[76] (Bernardini 1996).

Sempre Bernardini nel 2000[77] cita l'esigenza espressa da Dolce già nel 1988[78] (a pochi anni dagli eventi rovinosi cui si è accennato) di una nuova metodologia di valutazione della vulnerabilità. Già nel 1988 infatti ritiene necessaria la definizione di un metodo chiaro codificato a livello europeo, attraverso cui leggere, rappresentare e interpretare le caratteristiche di vulnerabilità del costruito murario storico in modo da creare una banca dati unica attraverso cui poter rintracciare "*categorie di edifici isovulnerabili definite da una lista di caratteristiche strutturali a priori ritenute significative in base all'esperienza ed al giudizio di un gruppo di esperti e a posteriori validate dalle statistiche del loro danneggiamento*".

Ad oggi tale esigenza di comprensione per la classificazione degli edifici in funzione della loro vulnerabilità nonché la creazione di quella che Dolce definisce "*lista di caratteristiche strutturali significative*" dal punto di vista della loro influenza sulla danneggiabilità, non ha trovato significante accoglimento ed estesa applicazione .
Se per gli edifici specialistici infatti numerose sono le applicazione e le esperienze condotte con lo scopo di migliorarne la risposta al sisma, per quanto riguarda l'edilizia residenziale dei centri storici, caratterizzata dall'essere inserita in un tessuto, l'avanzamento

76 Bernardini, A. "Finalità, definizione e misura della vulnerabilità sismica di singoli edifici e di tipologie murarie. Problemi di coerenza fra osservazioni e previsioni", Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni dell'Università di Padova, RI 2/96, 1996 (non pubblicato), sta in "*Attività del gruppo di lavoro GNDT-SSN per i rilievi di danno e vulnerabilità sismica degli edifici*", Bernardini A. a cura di, *La vulnerabilità degli edifici: valutazione a scala nazionale della vulnerabilità sismica degli edifici ordinari, op.cit.*
77 *Ibid.*
78 Dolce, M., *Basic ideas for a unified vulnerability/damage inspection form*, EAEE/WG3 Meeting, Ossiach, Austria, September 26, 1988, Annex to the 4th Circular of EAEE/WG3, 1988

della ricerca non è allo stesso livello.

L'aspirazione di questo lavoro è dunque quella di soffermarsi su tale problematiche mettendo in luce, attraverso le esperienze di studio condotte, come sia possibile collocarsi all'interno di un percorso di ricerca sapientemente tracciato e, ripercorrendone le tappe, tentare di contribuire ad incrementarne gli sviluppi futuri.

3. La riduzione della vulnerabilità sismica

3.1. Riduzione della vulnerabilità sismica urbana

La prevenzione e riduzione del rischio sismico implica un insieme di azioni volte ad agire contemporaneamente sull'esposizione e sulla vulnerabilità. Non potendo intervenire sulla pericolosità, tranne in alcuni casi in cui è possibile migliorare le condizioni del suolo allo scopo di mitigare alcuni effetti indotti dal terremoto, si interviene sull'esposizione, cercando di influire sulla distribuzione territoriale degli elementi esposti a rischio (quali popolazione, beni e funzioni) e sulla vulnerabilità, cercando di ridurre la possibilità che tali sistemi possano subire danni.
Le tecniche di riduzione della vulnerabilità urbana, cioè riferite al sistema spaziale, al sistema dell'accessibilità, al sistema delle funzioni, al sistema dei servizi strategici a rete, comportano azioni complesse di tipo urbanistico sulle quali non ci si soffermerà, ma considerando fondamentale l'aspetto pluridisciplinare dell'argomento trattato, se ne ritiene metodologicamente corretto citare l'importanza.

3.2. Riduzione della vulnerabilità sismica edilizia: dalla regola dell'arte alla normativa sismica moderna

Gli elementi costruttivi e strutturali associati alla cultura costruttiva e all'uso dei materiali locali costituiscono testimonianza del *lessico caratteristico* di un luogo in un determinato periodo storico ed esprimono la consistenza e l'evoluzione delle diverse culture edilizie materializzandone le acquisizioni tecniche e scientifiche. Il lessico espresso attraverso gli elementi costruttivi e strutturali costituisce dunque il linguaggio con cui una cultura materiale costruttiva si esprime nel tempo.

Stabilire quale fosse il miglior uso possibile dei materiali e delle tecniche costruttive al fine di misurarsi con il trascorrere del tempo e con gli effetti delle trasformazioni e dei terremoti era una pratica comune nella costruzione degli edifici del passato. I costruttori antichi, con lo scopo di realizzare edifici capaci di resistere ai terremoti, applicavano tutti gli accorgimenti ed i criteri costruttivi noti, perfezionandoli col tempo e con l'esperienza, anche grazie al confronto con gli effetti dei terremoti sugli edifici stessi. In questo modo si è innescato un processo di evoluzione tecnico- scientifica sperimentale, basata sull'osservazione diretta del repertorio reale di esempi fornito proprio dai terremoti.

Le conoscenze via via acquisite e periodicamente sperimentate hanno costituito per secoli un patrimonio culturale gelosamente custodito e tramandato oralmente tale da costituire una vera e propria "*cultura sismica del costruire*", codificata in chiave normativa solo a partire dal XVIII secolo nelle prime "*raccomandazioni*" e "*regolamenti*" per le costruzioni antisismiche.

La lettura critica di questi *regolamenti antisismici* permette di individuare gli eventi significativi del processo di definizione dell'odierna cultura costruttiva e di riprendere criticamente alcune peculiarità tecniche dimenticate ma sicuramente ancora valide per gli edifici storici [79].

Lo studio del comportamento al sisma delle costruzioni murarie ha origini antiche ma solo a partire dal Settecento il problema viene posto in maniera scientifica. Prima di allora erano comunque numerose le esperienze di costruzioni in cui sono riscontabili caratteri di opposizione al sisma.

Sia la Grecia che la Turchia, ad esempio, hanno una lunga storia di disastrosi eventi sismici che ne ha fortemente influenzato la tradizione costruttiva locale. In merito alle modalità di salvaguardia dagli eventi sismici si espressero Talete, Democrito, Aristotele ed Epicuro, i quali però conclusero solo l'ineluttabilità del sisma.

Si deve a Caio Plinio Secondo (24 dC-79 d.C) uno dei più antichi testi pervenuti fino a noi che trattano il tema delle cause e degli effetti dei terremoti. Nelle Historie Mundi Libro XXXVI cap. 21, Plinio introduce un primo sistema di isolamento degli edifici che consisteva nel costruire su terreni omogenei sabbiosi interponendo tra le fondazioni e il terreno uno strato di lana o carbone. Questo sistema deriva probabilmente da una leggenda del VI sec a.C. secondo cui, nella ennesima ricostruzione del tempio di Diana ad Efeso dopo un terremoto, si era deciso di edificarlo su uno strato di lana che lo isolasse dal sisma.
In questo stesso testo si introduce, seppur in maniera romanzata, il concetto di terremoto ondulatorio e sussultorio. Plinio però non considera l'esistenza della spinta delle strutture voltate ne fa riferimento all'opus craticium quale tecnica costruttiva antisismica. Sappiamo invece che le strutture ad intelaiatura lignea, di cui è un famoso esempio *la casa a graticcio ercolanese*, saranno il riferimento principale per la "gaiola" pombalina e per la "casa baraccata", tipologie costruttive che avranno largo impiego nella ricostruzione seguita ai terremoti di Lisbona del 1755 e Reggio Calabria del 1783.

Molti esempi di architetture storiche in zona sismica possono rappresentare la somma delle esperienze costruttive proprie della cultura che le ha originate, al punto da costituire modello da cui trarre alcune considerazioni di carattere compositivo e costruttivo.
Il Partenone, ad esempio, anche se non realizzato con tecniche espressamente finalizzate alla resistenza al sisma, presenta una perfetta regolarità morfologia e planimetrica, due assi di simmetria, un fitto portico e dei muri di taglio quasi completamente chiusi con l'interposizione di colonne. Tali caratteristiche architettoniche - costruttive ne hanno incrementato la resistenza al sisma garantendone la sopravvivenza fino ad oggi[80].

79 Pugliano A., *Il contributo formativo del terremoto nella cultura edilizia della città storica. La normativa antisismica premoderna*, Rassegna di architettura e urbanistica, Anno 26 n°80 – 81, Maggio – Dicembre 1993
80 Masciari Genoese F., *Trattato di costruzioni antisismiche*, Hoepli, Milano, 1915

A Santorini era utilizzato invece un sistema differente che consiste nell'impiego di un particolare calcestruzzo confezionato con materiale vulcanico detto "aspo", battuto in modo da realizzare una scatola monolitica, che richiama la concrezione romana[81].
Santa Sofia, definita "il supersite sismico" per i numerosi terremoti cui ha resistito, deve la sua sopravvivenza non tanto ai materiali o al dimensionamento degli elementi utilizzati, quanto alla sua conformazione spaziale: simmetrica distribuzione fra masse piene e vuote e fra la spinta delle cupolette[82].
Ad Antalia, sempre in Turchia, il sistema costruttivo principalmente usato è quello detto "*a graticcio*" simile al sistema romano a cui si è precedentemente accennato. Il piano terra delle costruzioni è in muratura mentre il primo piano è costruito da pareti fatte da montanti lignei su cui sono chiodate delle tavole e al cui interno vi è un riempimento in calcestruzzo[83].
Anche le città del sud America presentano forti testimonianza di una radicata cultura antisismica già dall'epoca precolombiana. La cittadella fortificata di Machu Picchu in Perù, ad esempio, per la sua regolarità planimetrica e dimensionamento dei muri sembra essere edificata in modo da resistere non solo ai carichi verticali. La città di Cuzco distrutta da Pizarro nel 1533, richiama nella sua struttura ad isolati di case basse intervallati da piazze e delineate da strade larghe, le città ricostruite dai Borbone dopo il del 1783[84].
Estremamente diffuse in Pakistan è il cosiddetto Dhajji, una tecnica costruttiva basata sul principio della "muratura confinata", chiara declinazione locale della struttura intelaiata lignea diffusa in Europa. Il Dhajji è una tecnica costruttiva basata sull'utilizzo di travi in legno e di pietre assemblati assieme in modo molto simile ad un patchwork. È una tipologia di "muratura confinata" molto diffusa in Pakistan e che pare abbia buona resistenza all'azione sismica in particolare alle azioni nel piano. Mentre nella muratura tradizionale i meccanismi di secondo modo determinano la formazioni delle tipiche lesioni diagonali incrociate, nei muri Dhajji le azioni di trazione vengono assorbite dalle travi lignee che costituiscono il telaio resistente, il quale, deformandosi permette che solo piccole porzioni di pietra vengano espulse fuori dal piano. Il terremoto sollecita dunque la struttura lignea che deformandosi dissipa energia, allo stesso tempo però mette in crisi in particolare i nodi di collegamento tra gli elementi lignei.
La buona riuscita di un pannello Dhajji è legata però:

- alla buona esecuzione dei nodi
- alla protezione dall'acqua
- alla presenza di piccoli elementi lapidei che in casi di crollo non danneggiano gli occupanti.

In una "casa Dajji" le fondazioni sono in muratura continua armata in cui i ferri costituiscono un legame con i montanti lignei delle pareti di spiccato superiore. Le fondazioni devono inoltre emergere dal piano del terreno e costituire un basamento protettivo contro

81 *ibid.*
82 *ibid.*
83 *ibid.*
84 *ibid.*

l'umidità. I montanti lignei delle strutture di elevazione non devono poggiare direttamente sulle pietre della fondazione ma deve essere posta una trave che funga da dormiente continuo sulla quale agganciarli con opportune bullonature metalliche. Le travi vanno inoltre protette con catrame. Il sistema di smaltimento delle acque meteoriche consiste in coperture molto sporgenti che convogliano le acque lungo canali di scolo ricavati lungo le strade. Le strutture di coperture sono delle incavallature semplici in cui la spinta dei puntoni viene assorbita da una catena lignea. Diversi sono i modi di connettere i due elementi: il primo tipo consiste nell'inserimento del puntone all'interno di un apposito scasso sagomato della catena (una modalità classica e ampiamente diffusa); il secondo invece consiste nel far lavorare i due elementi per opposizione. Il puntone viene appoggiato sulla catena e fissato per mezzo di uno smusso diagonale e di staffature metalliche. Meno affidabile del precedente. I muri devono essere suddivisi in piccole porzioni regolari in cui realizzare anche il vuoto per le aperture. Questa tipologia costruttiva è simile alle costruzioni inglesi, tedesche e svizzere intelaiate in legno e muratura[85].

Tutte queste esperienze sono testimonianza della possibilità di realizzare edifici capaci di resistere al tempo e alle sollecitazioni sismiche attraverso accorgimenti costruttivi dettati da considerazioni empiriche. La stessa abilità che caratterizza le maestranze storiche nella realizzazione di edifici monumentali si rintraccia anche nella costruzione dell'edilizia residenziale Gli accorgimenti utilizzati appartengono a tradizioni orali rintracciabili per prima cosa nella lettura delle fabbriche esistenti e solo più avanti codificate nei *trattati di architettura.*

Il primo vero trattato italiano di costruzioni antisismiche è scritto da Eusebio Sguario nel 1756 e si intitola "*Specimen physico-geometricum de terraemotu ad Architetturae utilitatem concinnatum*", stampato da G.B. Recurti. Questo testo è famoso perché introduce la diagonale come direzione di orientamento prevalente dei fabbricati rispetto all'azione sismica, poiché consente di opporsi all'azione sismica con entrambe i muri che costituiscono il cantonale. Lo Sguario era inoltre convinto che la maggiore stabilità del fabbricato ed un suo omogeneo comportamento al sisma fosse possibile dal posizionamento dei baricentri dei muri alla medesima altezza rispetto al suolo. Questo trattato, successivo al terremoto di Lisbona, è il primo scritto con valenza tecnica scientifica [86].

85 Schacher T., *Basic Training on Dhajji construction*, Mansehra, Pakistan, 2006
Langenbach R., *Armature Crosswalls. How pre-modern construction practices may hold the key to avoiding the collapse of vulnerable urban housing blocks*, Joint US-India Symposium on Urban Housing and Infrastructure, New Delhi, India, October, 2005

86 Polverino F., *Ischia: architettura e terremoto*, CLEAN, Napoli, 1998

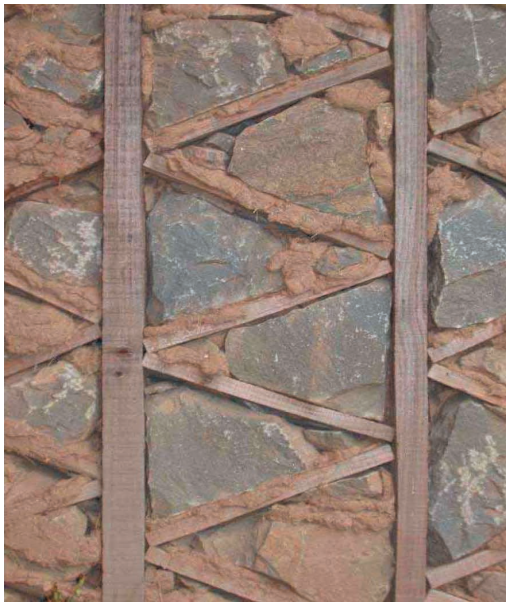
5

6

Fig.5-6 Costruzioni tradizionali sull'isola di Santorini, Grecia. La tecnica costruttiva tradizionale locale prevede l'utilizzo di elementi di pezzatura di ridotte dimensioni e l'uso abbondante di una malta particolarmente tenace

7

8



9

10

11

Fig.7 Muratura "Bhatar" tradizionale in Pakistan
Fig. 8 Casa contemporanea realizzata con tecnica "Bhatar" in Pakistan. Il Bhatar è un sistema costruttivo che consiste nella realizzazione di strutture murarie con elementi lignei orizzontali di rinforzo
Fig. 9-10 Murature Dajji. Tra gli elementi lapidei, sagomati in modo da rientrare perfettamente nel telaio in legno, sono presenti dei ritagli di paglia
Fig 11 Una parete di una casa Dajji. Si nota la disposizione del telaio ligneo in corrispondenza dell'apertura

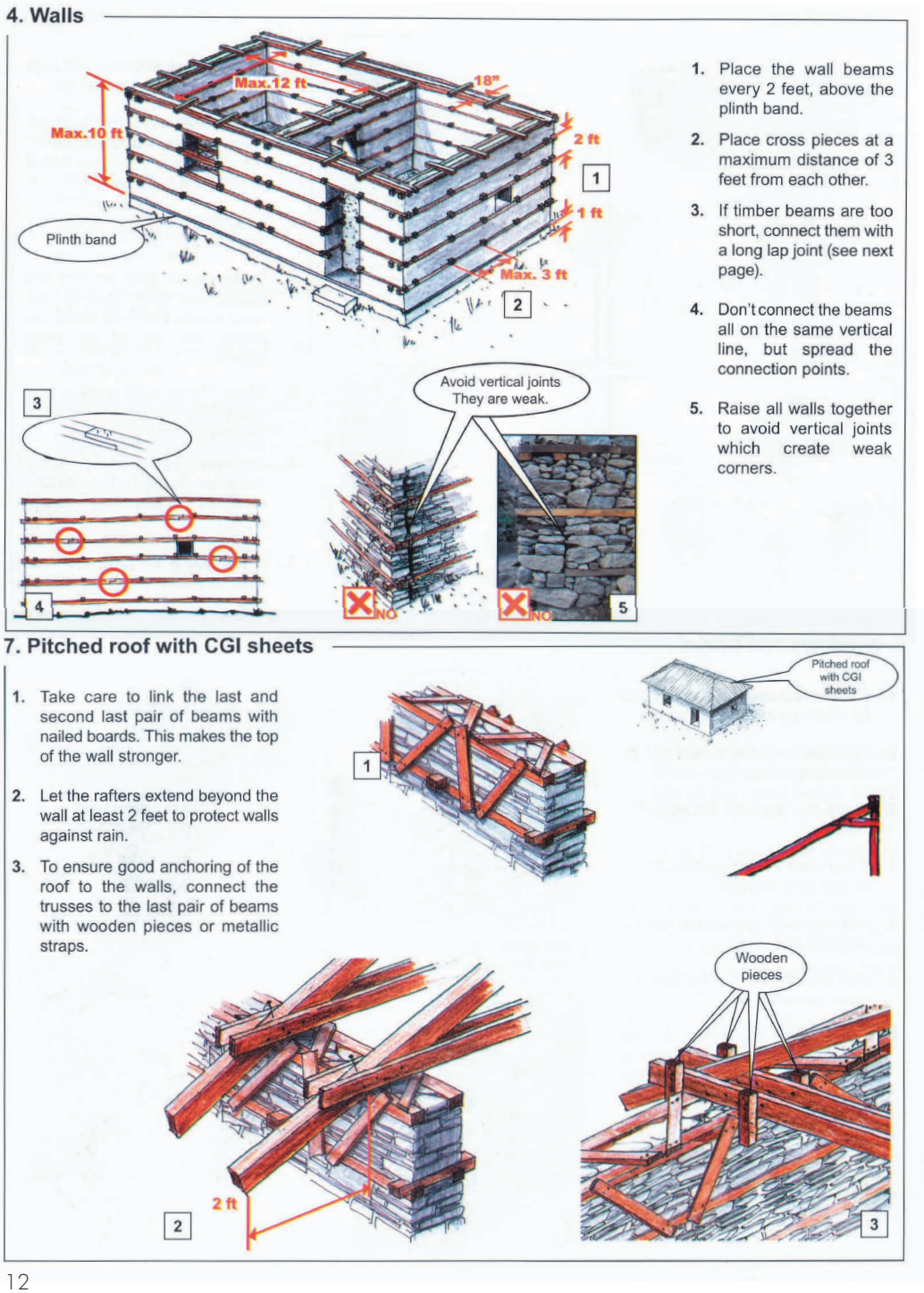


Fig.12 Alcuni accorgimenti per la costruzione di una casa con tecnica Bhatar

3.3. Procedimenti giuridici e contenuti scientifico-tecnici dei regolamenti emanati dopo i terremoti storici

Le relazioni tecniche e scientifiche redatte in seguito ai terremoti storici costituiscono la base su cui i legislatori hanno da sempre definito i regolamenti e le prescrizioni da osservare affinché i futuri eventi disastrosi non conducessero ai medesimi esiti. I tecnici che, oggi come in passato, intervengono subito dopo il terremoto, sono chiamati a studiare l'effetto che tale circostanza ha avuto sul costruito, registrando sia le carenze originarie dei fabbricati, messe in crisi dal sisma, che i particolari casi di resistenza. Attraverso la disamina di queste relazioni, dei regolamenti antisismici storici seguenti e della normativa nazionale fino ad oggi, dunque ci si propone di comprendere l'evoluzione della *regola dell'arte antisismica*, deducendone lo stato di avanzamento culturale in un dato periodo storico e in una data area geografica, valutando i progressi delle conoscenze scientifiche riguardo il fenomeno sismico. Risulta evidente come, nello studio dei fenomeni sismici, la ricerca storica assuma un ruolo indispensabile.

Dallo studio dei terremoti storici infatti si possono ottenere indicazioni sulla sismicità locale nonché mantenere viva nella collettività l'attenzione verso la pericolosità di un futuro evento sismico, in modo da mettere costantemente in atto adeguati provvedimenti di prevenzione.

Dalla descrizione accurata dei terremoti storici condotta dagli studiosi o dai tecnici del passato si possono fare delle considerazioni riguardando la prassi del costruire nelle varie epoche e dunque l'affidabilità attuale delle costruzioni. Un esempio di quanto detto è fornito dalla lettura delle fonti riguardanti i terremoti palermitani del 1726 e 1823 descritti da Antonio Mongitore e Carlo Dolce. Mongitore mette in relazione i danni rilevati sugli edifici alle particolari condizioni morfologiche del sito, concludendo che i danni maggiori si verificarono in corrispondenza delle antiche depressioni dei fiumi Kemonia e Papireto, ricolmate con terreni di riporto.

Scrive inoltre Carlo Dolce riguardo la memoria degli eventi sismici a Catania: "*…dopo il fatale tremuoto del 1693[…] si cominciò a fabbricare a un piano, e sempre con sistema di baracche; a misura che lo spaventevole impressione andò dileguandosi si fecero due piani, e qualche volta tre, e non con molta solidità; ma da dopo quasi la metà del passato secolo l'eccellente materiale somministrato dall'Etna i buoni metodi, e i piani regolati con prudenza permettono lunga durata a quella città […]* (Dolce, C., "*Sul Tremoto di Palermo il giorno e marzo 1823*", Palermo, 1823)[87]. Ciò a dimostrazione del fatto che l'adozione dei più elementari accorgimenti di prevenzione antisismica quali l'utilizzo di buoni materiali e di adeguate tecniche costruttive perde col tempo applicazione fino al verificarsi di un nuovo evento sismico.

87 Fulci L., *Le leggi speciali italiane in conseguenza dei terremoti. Esposizione e commento,* Milano, 1916; Pugliano A., *Il contributo formativo del terremoto nella cultura edilizia della città storica. La normativa antisismica premoderna, op.cit.*

Fig 13. Catania, Via di Sangiuliano. Lapide commemorativa del terremoto del 1693 realizzata nel 1697 a monito per generazioni future

3.3.1. I provvedimenti giuridici del Regno di Napoli tra XVI e XVIII secolo

In seguito ad ogni evento sismico si sono sempre attivati dei procedimenti giuridici finalizzati a regolamentare le operazioni di riparazione dei danni. I riferimenti giuridici più antichi sono relativi alla normativa romana repubblicana, in cui erano presenti soprattutto indicazioni di tipo procedurale per l'acquisizione delle aree o la costruzione delle strutture di controllo per la gestione dell'emergenza. Le prime norme con un indirizzo tecnico si possono invece fare risalire ai procedimenti giuridici del Regno di Napoli dal XVI al XVIII secolo.

Si ricordano ad esempio i provvedimenti di tipo giuridico presi in occasione del terremoto di Girifalco (Catanzaro) del 1626, quando vennero sospesi i pagamenti fiscali per dieci anni da parte delle popolazioni vittime del sisma; oppure in occasione del terremoto di Nicastro, quando il Regno di Napoli mandò dei consiglieri a rilevare lo stato di danno; o ancora in occasione del terremoto del 1688 nel Beneventano il Vicerè dispose che non fosse aumentato il prezzo del legno e del ferro, per favorire la ricostruzione agevolando economicamente i proprietari. Questi provvedimenti dimostrano una attenzione alla necessità della ricostruzione e soprattutto un'attenzione ai costi economici necessari per affrontarla. Indicare ferro e legno come principali materiali necessari alla ricostruzione significa fornire informazioni sulle tecniche di riparazione e ricostruzione adottate.

Erano frequenti infatti gli incatenamenti delle pareti libere, l'uso dei "radiciamenti" nelle pareti murarie e forse già dal 1638 la realizzazione di pareti murarie intelaiate[88].
In Sicilia, nel XVI e XVII secolo venne intrapreso un provvedimento giuridico finalizzato a favorire le ricostruzioni evitando l'abbandono dei centri devastati. Questo meccanismo giuridico, noto come "*vendita con verbo regio e scudo di perpetua salvaguardia*"[89], favoriva le operazioni di "abbellimento" della città, come dimostrato dalla costruzione delle strade Maqueda e Toledo a Palermo fra il 1567 e il 1600. Consiste nell'esproprio e demolizione dei possedimenti privati danneggiati e nella vendita con "privilegio" del terreno; il "verbo regio" infatti permette all'amministrazione di sostituirsi al privato nell'acquisizione degli edifici danneggiati e delle loro aree di pertinenza, rivendendole a nuovi proprietari che ne garantivano l'immediata riparazione. Questo provvedimento venne applicato anche a Siracusa, con la vendita di numerosi "casaleni" abbandonati, in tutta la Val di Noto e nella zona etnea dopo il terremoto del 1693 e nel messinese dopo il sisma del 1783.
Un altro provvedimento diffuso in Sicilia è il cosiddetto capitolo 20 di Re Martino, del 1555. Con questo istituto giuridico si permetteva a chiunque avesse voluto ricostruire ed ampliare la propria abitazione di acquistare le proprietà limitrofe anche contro il volere del legittimo proprietario, purché pagasse un terzo in più del suo valore.
Questi procedimenti giuridici danno avvio a un processo di trasformazione molto decisivo del volto e della struttura della città perché portano all'aggregazione dell'edilizia minima medievale in forme più complesse di tipo palazziale, attraverso l'associazione in un'unica proprietà. In questo modo le unità edilizie vengono inglobate e uniformate sia attraverso una ricomposizione formale dei prospetti sia reimpiegando le murature originali e dando vita ad organismi edilizi molto stratificati. La lettura di questi interventi dunque va condotta in modo da comprendere quali conseguenze hanno avuto sulle trasformazioni e sulle modalità di crescita e costruzione della città storica anche attraverso lo studio dei numerosi casi reali ancora disponibili[90].

3.3.2. I provvedimenti giuridici successivi al sisma di Reggio del 1783 e le "Reali Istruzioni per la Ricostruzione di Reggio"

Il primo evento sismico che in Italia pose concretamente il problema della ricostruzione e dell'adozione di adeguate tecniche di prevenzione è il terremoto che colpì la Calabria nel 1783. Testimone e guida della ricostruzione fu Giovanni Vivenzio, il quale descrisse le numerose opere necessarie per la ricostruzione della città[91]. Per prima cosa si dovette affrontare la scelta di ricostruire in sito o meno. Scelta che in molti casi portò addirittura a spostare il sito di 17 centri abitati su aree libere ottenute prosciugando i laghi e gli stagni prodotti dal terremoto e definendo nuovi assetti infrastrutturali programmati con piani regolatori.
Si assiste in questo periodo ad un fiorire di studi sulla ricostruzione, soprattutto da parte

88 Masciari Genoese F., *Trattato di costruzioni antisismiche, op.cit.*
89 Tommaso S., *Le vendite col verbo regio e scudo di perpetua salvaguardia in Sicilia*, appendice al "Trattato storico - legale", Palermo,1859
90 Fulci L., *Le leggi speciali italiane in conseguenza dei terremoti. Esposizione e commento, op.cit.*; Pugliano A., *Il contributo formativo del terremoto nella cultura edilizia della città storica. La normativa antisismica premoderna, op.cit.*
91 Vivenzio G., *Istoria de' tremuoti avvenuti nella provincia di Calabria Ulteriore, e nella città di Messina nell'anno 1783, e di quanto nelle Calabrie fu fatto per lo suo risorgimento fino al 1787, preceduta da una teoria ed istoria generale di tremuoti*, Stamperia Regale, Napoli, 1788

di noti accademici, tra i quali il Salfi, membro insigne dell'Accademia Cosentina ed autore del "*Saggio di fenomeni antropologici*"[92]. Il Salfi introduce degli accorgimenti costruttivi da adottare per conferire agli edifici una maggiore resistenza al sisma, quali ad esempio: non collocare le aperture in prossimità dei maschi murari; disporle in maniera simmetrica; disporle una superiormente all'altra per permettere il corretto percorso dei carici al suolo; ordire i solai delle stanze contigue l'uno ortogonalmente all'altro in modo da vincolarli reciprocamente. Tutti semplici accorgimento che scaturiscono dalla consuetudine costruttiva propria di un periodo storico culturale che ha padronanza della tecnica muraria.
In conseguenza del terremoto calabrese del 1783 vennero presi dei provvedimenti giuridici finalizzati ad incrementare l'autocostruzione; concesso l'indulto alle persone allontanate per reati lievi; rese economicamente facilmente reperibili i materiali da costruzione come le tegole, che potevano essere comprate a credito dai poveri e in contanti dai ricchi. Per far fronte all'urgenza finanziaria, nel 1784, venne istituita in Calabria la "Cassa Sacra"[93], ad opera del Generale Francesco Pignatelli, vicario di Ferdinando di Borbone, assieme a Giuseppe Zurlo. Questo ente, che venne soppresso nel 1796, aveva funzione di tribunale e si occupò di raccogliere tutte le rendite delle corporazioni religiose soppresse della Calabria con lo scopo di amministrare e gestire le proprietà incamerate per trarre dei fondi da reinvestire nella ricostruzione.

Fra i provvedimenti presi a Messina invece ricordiamo quanto fatto dal marchese di Regalmici Antonio La Grua, vicario del Re, che costituì una giunta, di cui fu presidente, con lo scopo di occuparsi degli interventi di urgenza da realizzare per far fronte alla ricostruzione quali ad esempio: la ricostruzione degli stabili pericolanti; la realizzazione di alloggi provvisori, la distribuzione di sussidi.
Si deve invece alla *Giunta legale delle strade*, presieduta dal Generale Giovanni Danero, la ricostruzione della "Palazzata" e della limitrofa via Ferdinandea. La giunta adottava un particolare metodo per l'espropriazione dei fondi edificati. Secondo un regolamento speciale, istituito appositamente, tutto ciò che serviva per la realizzazione delle opere di adeguamento della città poteva essere espropriato dal Senato cittadino e rivenduto o concesso in enfiteusi. Erano preferite le vendite alle enfiteusi e veniva privilegiato il compratore che desiderava acquistare la maggiore quantità di terreno o che voleva edificare il volume maggiore o di migliore qualità architettonica. I nuovi proprietari erano garantiti dal verbo regio mentre i vecchi proprietari o depositari di ipoteca potevano rivalersi sul prezzo depositato.
Questo tipo di intervento normativo fu successivamente ripreso all'interno delle "Reali Istruzioni per la Ricostruzione di Reggio", emanate dal Ministro del Governo Borbonico Acton con Reale Dispaccio del 20 marzo 1784 e ispirate alla normativa di Lisbona, ma utilizzate anche in eventi successivi, nel 1894, 1905 e 1908. Le "Reali Istruzioni"

92 Greco, L. M., *Delle principali opera intorno ai calabri tremuoti dal 1783 al 1854 e degli studi più convenevoli sopra i medesimi*, Tipografia Giuseppe Migliaccio, Cosenza, 1856
93 Grimaldi, A., *La Cassa Sacra ovvero la soppressione delle manimorte in Calabria nel secolo XVIII, op.cit.*

introdussero l'uso diffuso del sistema baraccato per le ricostruzioni e fissarono sette punti per la ricostruzione:

1. L' aspetto degli edifici sarà "semplice ed elegante";
2. L' altezza massima degli edifici oltre il terreno è al massimo di 30 palmi (7,65 m) e dunque due elevazioni fuori terra; negli edifici prospicienti una piazza si può introdurre un mezzanino;
3. Demolizione di "sporti non rassicuranti" e muri fuori piombo; divieto di costruzione di grossi balconi che non devono comunque essere realizzati in prossimità degli angoli; demolizione dei piani superiori ai due, ad eccezione degli ammezzati e degli edifici prospicienti piazze o vie larghe;
4. Incatenamento delle travi dei solai ai muri; realizzazione di tetti non spingenti; utilizzo di "fasce di ferro per stringere tutto l'edificio" in tutte le direzioni;
5. Obbligo di realizzare una "armatura di legno" interna rivestita di muratura. Le pietre da utilizzare all'esterno dell'ingabbiatura lignea dovevano essere di piccole dimensioni o di mattoni, senza superficie liscia ma sbozzata per consentire maggiore adesione della malta;
6. Divieto di costruire cupole e campanili
7. Dimensione della strada principale di 50 palmi, delle trasversali da 24 a 30 con andamento regolare.

Il regolamento fu applicato in maniera diffusa in Calabria, non altrettanto in Sicilia.
A Messina infatti la "Palazzata" distrutta dal terremoto del 1783 venne ricostruita ma in maniera non conforme alle prescrizioni del regolamento, con un notevole sviluppo in altezza, grossi sporti, senza incatenamenti o pareti intelaiate, tanto da mostrare la sua debolezza con il sisma del 1908.
L'applicazione di questo regolamento venne sospesa in Calabria e Sicilia dal 1853, con l'abolizione della "*Giunta di Corrispondenza*", poiché la costruzione di edifici con due sole elevazioni aveva provocato una perdita economica rispetto allo sfruttamento del suolo con edifici a più elevazioni. Dunque per motivi sostanzialmente speculativi[94].
Le Reali Istruzioni Borboniche del 1784 per le Calabrie rappresentano la nascita della normativa sismica intesa come regolamentazione degli interventi post sismici, anche se costituiscono solo delle *istruzioni* (raccomandazioni) e non delle imposizioni normative e ciò probabilmente è il motivo per cui non sono state applicate in maniere uniforme.

3.3.3. Il "Regolamento edilizio" di Norcia del 24 aprile 1860

Dopo il terremoto di Norcia del 1859 Papa Pio IX emanò un regolamento edilizio redatto sulla base di accurate relazioni tecniche risultato del lavoro di un'apposita commissione scientifica. La "Commissione d'incolumità", che redasse tali relazioni, era costituita dall'erudito Angelo Secchi, noto sismologo del tempo dell'Osservatorio del Collegio Romano, dall'architetto Luigi Poletti, in veste di ingegnere ispettore e presiedu-

94 Fulci L., *Le leggi speciali italiane in conseguenza dei terremoti. Esposizione e commento, op.cit.*; Pugliano A., *Il contributo formativo del terremoto nella cultura edilizia della città storica. La normativa antisismica premoderna, op.cit.*

ta dal Gonfaloniere. Doveva redigere un rapporto sui danni e indicare i rimedi da porvi, valutare le proposte di intervento e concedere il permesso per la loro realizzazione. Per tale motivo si può intendere come un primo esempio di "commissione edilizia". Il rilievo analitico condotto e diretto dalla commissione è costituito dalla descrizione meticolosa del danno in 759 fabbricati al fine di fornire delle indicazioni di progetto. Fu motivo di dibattito sia per aspetti amministrativi che puramente tecnici, come ad esempio per la limitazione nel numero di piani. La versione definitiva adottata è costituita da tre parti, per un totale di 33 articoli:

1. "Disposizioni generali"
2. "Regolamento edilizio"
3. "Disposizioni transitorie"
4. "Regolamento d'Ornato"

La spedizione intrapresa dai membri della commissione non evidenziò problemi di natura vulcanica e ciò spinse il Secchi a studiare le caratteristiche geologiche del suolo umbro nei dintorni di Norcia, valutando la corrispondenza tra il fenomeno di propagazione del sisma al suolo e i differenti danni rilevati sugli edifici. Risultavano più danneggiate infatti le parti della città costruite sul pendio della collina verso levante.

Le norme vennero applicate con rigore anche provvedendo alla demolizione delle opere non conformi alle prescrizioni e istituendo dei premi per il miglior saggio sul più idoneo materiale da costruzione reperibile in zona. Il regolamento di Norcia ammetteva l'uso del sistema baraccato, abolito dal 1853 nel Regno di Napoli, giudicato adeguatamente rispondente alle esigente di prevenzione antisismica ma in contrasto con il crescente valore dei suoli edificabili e la loro occupazione intensiva. Prevede edifici alti al massimo due piani e la demolizione dei terzi piani delle case lesionate oltre che il divieto di costruire nelle zone su pendio[95].

Come le Istruzioni Borboniche, il Regolamento di Norcia limitava l'altezza degli edifici a due piani, per un massimo di 7,00 m, e riconosceva la bontà del sistema baraccato. Ciononostante lasciava libertà nelle scelte tecniche costruttive da utilizzare, vincolando invece le dimensioni dei muri che dovevano essere in genere di 60 cm; i muri d'ambito dovevano essere a scarpa con base pari a 1/20 dell'altezza e ben connessi tra loro e con le tramezzature. Vietava la costruzione di strutture voltate per coprire ambienti fuori terra; per gli edifici rimasti danneggiati dal sisma obbligava alla demolizione dei piani superiori al primo e alla realizzazione di solai le cui travi entrassero nel muro per tutto lo spessore della muratura per evitare che in caso di sisma si sfilassero. Dettava anche indicazioni sulla qualità dell'apparecchio murario, vietando l'utilizzo dei ciottoli di fiume[96].

Due sono gli aspetti di maggiore rilevanza del Regolamento di Norcia: è il primo ad avere approccio analitico nella rilevazione del danno in vista di un preciso progetto di intervento e costituisce il passaggio tra la trasmissione orale della regola dell'arte e la sua codifica scritta.

95 Fulci L., *Le leggi speciali italiane in conseguenza dei terremoti. Esposizione e commento, op.cit.*; Pugliano A., *Il contributo formativo del terremoto nella cultura edilizia della città storica. La normativa antisismica premoderna, op.cit.*

96 Polverino F., *Ischia: architettura e terremoto, op.cit.*

Da un confronto tra il terremoto del 1859 e il successivo del 1979 è possibile valutare l'influenza che ha avuto l'applicazione delle indicazioni del regolamento di Norcia nella riduzione della vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio superstite. Il sisma del 1979 danneggiò infatti soprattutto la zona della città che aveva subito uno sventramento successivo al 1859 e che era costituita da edifici con pareti di facciata su cui quindi non si era intervenuto dopo tale operazione. Questo terremoto non produsse invece effetti laddove si erano presentati invece nel 1859, ciò dimostra la qualità degli interventi previsti ed eseguiti dal Regolamento edilizio. Esso è dunque estremamente innovativo per l'epoca ed attuale ancora oggi sia per il metodo di indagine adottato, che per i principi forniti[97].
Contrariamente alle Reali Istruzioni, che costituivano solo delle raccomandazioni, il Regolamento Edilizio per la ricostruzione di Norcia del 1860, è parte di uno strumento urbanistico ed edilizio a più ampio respiro, il "*Tenore del Progetto di Regolamento da operarsi nella città di Norcia tanto nella costruzione di nuovi Fabricati quanto nel riattamento degli antichi, coerentemente alle istruzioni somministrate a base delli Ch.mi Sig. P.Angelo Secchi della Compagnia di Gesù e Professore Commendatore Luigi Poletti*".

3.3.4. Il "Regolamento edilizio" di Casamicciola del 1884

Il "*Regolamento edilizio per i Comuni dell'isola d' Ischia danneggiati dal Terremoto del 28 luglio 1883*", emanato con Regio Decreto del 1884, si potrebbe considerare il primo regolamento edilizio del nascente stato italiano. Riguardava cinque comuni e prevedeva, tra l'altro, anche la sospensione del peso fiscale per agevolare gli interventi di ricostruzione. Dopo il terremoto del 1883 gli ingegneri F. Giordano, del Regio Corpo delle Miniere, e P. Comotto, del Genio Civile, vennero incaricati di redigere le "*Norme di costruzioni antisismiche*". La loro relazione costituirà la base per il Regolamento edilizio approvato con Regio Decreto del 1884 e anzi risultò molto più complessa del regolamento adottato, che si mostrò invece più permissivo. La commissione aveva il compito di non imporre un tipo costruttivo unico ma di individuare, nella tradizione costruttiva locale, quelle consuetudini che erano state determinanti per il verificarsi di un così intenso danno sismico, quali ad esempio: le volte a sesto molto ribassato senza l'utilizzo di tiranti; le coperture piane molto pesanti; la scarsa qualità dell'apparecchio murario. In questo modo, di fatto, si riconosce la presenza, nel lessico costruttivo locale, di alcune precarietà intrinseche su cui indirizzare gli interventi di ricostruzione in chiave antisismica[98].

Il *"Regolamento edilizio per i Comuni dell'isola d' Ischia danneggiati dal Terremoto del 28 luglio 1883"* riprese i risultati ottenuti dalla indagini delle Commissioni sulla ricostruzione stabilendo delle norme da rispettare sull'uso dei materiali, delle tipologie costruttive, delle tecniche costruttive. Il regolamento stabilì anche le zone su cui indirizzare la

97 Reale C., Scheibel B., Vignoli F., Decanini L.D., Sorrentino L., "Il Regolamento Edilizio di Norcia del 1860: fra storia sismica e storia urbanistica", in *Atti del XI Congresso Nazione "L'ingegneria sismica in Italia", ANIDIS, Associazione Nazionale Italiana di Ingegneria Sismica*, Genova, 25-29 Gennaio 2004
98 Polverino F., *Ischia: architettura e terremoto,* CLEAN, Napoli, 1998

ricostruzione in funzione della conformazione morfologica del sottosuolo e delle acclività presenti[99]. Primo motivo di innovazione fu infatti l'aver stabilito una prima microzonazione dei centri considerati maggiormente sismici, cosa che le "Reali Istruzioni" avevano solo implicitamente accennato a fare definendo l' eventualità di ricostruire sullo stesso sito o su un sito differente. Si propose per Casamicciola di non ricostruire edifici pubblici nella zone considerate "pericolose" di ogni comune, e inoltre per la prima volta, si scelse di utilizzare il sistema baraccato tradizionale in legno o quello in acciaio.
Il secondo lasciava ovviamente spazio a un'applicazione maggiore dal punto di vista della resistenza del materiale, ma avrebbe avuto dei costi maggiori per la reperibilità dell'acciaio e pertanto venne utilizzato solo per edifici pubblici.

Per quanto riguarda le caratteristiche degli elementi costruttivi venne ribadita la necessità di non costruire su terreni acclivi e si propose la fondazione a gradoni, con aumento di spessore della muratura verso la base. Le murature dovevano avere lo spessore minimo di 70 cm (10 cm in più rispetto a quanto previsto a Norcia) e costituite da pietra tufacea locale, consigliando comunque l'uso del mattone. Si prescrisse inoltre che le aperture fossero lontane dai maschi murari almeno 1,5 m; che si realizzassero piattabande o archi con saetta non inferiore ad un terzo della corda sulle aperture (non erano diffusi elementi metallici come architravi). L'uso di elementi spingenti, respinto dal regolamento di Norcia, era qui invece ammesso perché si riteneva sufficiente la resistenza della muratura di imposta della copertura. I balconi dovevano essere realizzati con mensole in ferro o legno; le baraccature dovevano essere completamente connesse ai tramezzi e alle coperture, ed inoltre le pareti di facciata potevano essere rivestite di leggeri tralicci (novità rispetto a Norcia). Il regolamento di Casamicciola forniva inoltre alcuni esempi di casa baraccata che i tecnici potevano utilizzare come modello di riferimento[100].
In conclusione le linee principali del regolamento di Casamicciola sono:

- L'introduzione dello studio delle condizioni geologiche del sito nella valutazione della risposta sismica globale;
- L'esclusione di alcuni preconcetti prescientifici (come ad esempio i pozzi antisismici);
- L'individuazione di zone a differente pericolosità per le quali prevedere classi di intervento differenziate;
- La preferenza delle strutture in ferro o legno ma l'ammissione, per ragioni di economicità, reperibilità dei materiali e rispetto della tradizione costruttiva locale, della costruzione muraria semplice;
- L'indicazione di adottare la costruzione baraccata;
- La distinzione di interventi di nuova costruzione da interventi di restauro;
- La distinzione tra interventi su edifici pubblici e privati;
- La definizione di precise norme da rispettare per rendere gli edifici efficaci alla

99 AA.VV., *Relazione per le prescrizioni edilizie dell'isola di Ischia*, istituita dal Min. LL. PP dopo il terremoto del luglio 1883, Tip G.C. Roma, 1883
100 Polverino F., *Ischia: architettura e terremoto, op.cit.*

risposta sismica[101].

Il Regolamento di Casamicciola ebbe un seguito applicativo anche nelle provincie liguri occidentali di Sanremo, Porto Maurizio, Albenga e Savona colpite dal sisma del 1887, con la sola precisazione di alcuni accorgimenti sul finanziamento delle opere da farsi, come ad esempio l'istituzione dei Mutui di favore ai Comuni e alle Provincie[102].

Un'altra estensione del Regolamento di Casamicciola si ebbe in occasione del terremoto del 16 novembre 1894 in Calabria e Sicilia. In seguito a tale evento venne redatta la *"Relazione sui danni prodotti dal terremoto del 16 novembre 1894 in Calabria e Sicilia"*[103]. Questa relazione tecnica è costituita da una prima parte in cui sono fatte delle considerazioni a carattere sismologico (direzione ed intensità del sisma, caratteristiche dell'evento); e da una seconda parte a carattere geologico (rapporto tra terreno e struttura costruita). Viene evidenziato infatti come le costruzioni su terreno solido ebbero meno danni di quelle su terreno argilloso, arenario o alluvionale. Dal punto di vista tecnico questa relazione è molto vicina alle modalità di analisi e agli interventi proposti da Giordano e Comotto per Ischia ed in particolare ripropone il sistema baraccato come tecnica costruttiva a cui si riconosce la capacità di resistenza al sisma[104].

101 Sorrentino L., Caiafa F., *Le prescrizioni edilizie dell'Isola d'Ischia emanate dopo il terremoto del 1883 per gli edifici in muratura ordinaria: considerazioni strutturali, op.cit.*

102 Fulci L., *Le leggi speciali italiane in conseguenza dei terremoti. Esposizione e commento, op.cit.*; Pugliano A., *Il contributo formativo del terremoto nella cultura edilizia della città storica. La normativa antisismica premoderna, op.cit.*

103 Camerana E., "Relazione sui danni prodotti dal terremoto del 16 novembre 1894 in Calabria e Sicilia" in *Boll. Uff. C.le Meteor e Geodin.*, Vol. XIX, Roma, 1897

De Nava, R., *Sui danni prodotti agli edifizi dai terremoti calabresi del 1894*, Milano, 1896.

104 Fulci L., *Le leggi speciali italiane in conseguenza dei terremoti. Esposizione e commento, op.cit.*; Pugliano A., *Il contributo formativo del terremoto nella cultura edilizia della città storica. La normativa antisismica premoderna, op.cit.*

14

15

16

Fig.14-15 Due vedute di Casamicciola, Borgo Maio, successivamente al sisma del 1883. Si nota l'estensione del danno e le modalità di recupero delle vittime da parte dei soccorritori
Fig. 16 Casamicciola, Chiesa dell'Assunta dopo il sisma del 1883. Crollo totale delle coperture e crollo parziale dei muri delle tre navate

3.3.5. La "casa baraccata": origini e diffusione

La tipologia costruttiva cosiddetta "baraccata" rappresenta uno dei principali esempi tecnologicamente più avanzati della costruzione antisismica premoderna diffuso fra XVIII- XIX secolo e quindi precedentemente all' introduzione del sistema in calcestruzzo armato nelle ricostruzioni post sismiche dell'Italia meridionale. Il termine deriva dell'uso delle baracche come sistema di ricovero provvisorio nel sud Italia alla fine del 700.
Il primo sistema era detto "alla beneventana" e consisteva nella realizzazione di pareti in telai di legno con montanti e diagonali a croce di Sant'Andrea rivestiti di intonaco su incannucciato o materiale leggero. Il vero e proprio sistema baraccato è invece costituito, oltre che dall'ossatura lignea, da un rivestimento murario entro cui essa è annegata per uno spessore di 1.2 m in fondazione e 0.6 m in elevazione. Le tramezzature sono invece realizzate con materiale leggero.
Secondo il Vivenzio il primo esempio di abitazione che utilizza questo sistema costruttivo è l'abitazione del conte di Nocera Calabra a Filogaso del 1638. Non si hanno notizie certe su questo edificio ne tantomeno dell'adozione di sistemi costruttivi simili prima del 1783 in Calabria.
Invece certo è il provvedimento del marchese di Pombal, egli comprese che per la ricostruzione di Lisbona dopo il sisma del 1755 fosse necessario un nuovo sistema costruttivo resistente alle azioni orizzontali. Affidò dunque al tenente colonnello Carlos Mardel la definizione di un sistema adeguato. La "gaiola" (gabbia) adottata era una sorta di confinamento della scatola muraria costituito da montanti verticali (prumos) di sezione 15x13 e da traverse orizzontali di sezione 10x13 che racchiudevano la muratura. Questo sistema trovò una applicazione diffusa grazie all'industrializzazione del processo produttivo.
Le prime case baraccate calabresi erano molto simili alle "gaiole pombaline", differenziandosi solo per la minore dimensione e per la tamponatura esterna in pietra. In Italia si deve al Vivenzio la definizione del sistema anche se, come lui stesso dichiara, prende spunto dall'opera del francese Henry Loius Duhamel du Monceau circa L'Exploitation des bois, e du Trasport, de la concervation, de la force de bois (Parigi, 1764).
In conclusione i terremoti che interessarono l'Europa nel XVIII imposero una revisione scientifica degli accorgimenti costruttivi fino ad allora adottati per mantenere in sicurezza il costruito. Ciò si manifestò attraverso un acceso dibattito culturale soprattutto in campo tecnico -scientifico sulla possibilità di introdurre nuovi modelli costruttivi considerati più affidabili dal punto di vista sismico, dedotti dalla tradizione costruttiva ma anche frutto di innovazioni e prove sperimentali.

	Riferimento normativo	Contenuti essenziali
REGOLAMENTI EMANATI DOPO I TERREMOTI STORICI	Il "verbo regio" e il "capitolo 20 di Re Martino	Istituti giuridici rivolti a rendere agile la ricostruzione attraverso agevolazioni economiche
	Provvedimenti giuridici successivi al sisma di Reggio del 1783 e "Reali Istruzioni per la Ricostruzione di Reggio"	Salfi, 1783: • aperture non in prossimità dei maschi murari • solai delle stanze contigue orditi l'uno ortogonalmente all'altro Reali Istruzioni: • obbligo del sistema baraccato • altezza massima degli edifici 30 palmi, 7.65 m • due elevazioni fuori terra • demolizione di "sporti non rassicuranti" e muri fuori piombo • divieto di costruzione di grossi balconi • divieto di costruzione di balconi in prossimità degli angoli • demolizione dei piani superiori a due • incatenamento delle travi dei solai ai muri • realizzazione di tetti non spingenti • utilizzo di "fasce di ferro per stringere tutto l'edificio" in tutte le direzioni • divieto di costruire cupole e campanili • dimensione della strada principale 50 palmi, delle trasversali da 24 a 30 con andamento regolare
	Regolamento edilizio di Norcia del 24 aprile 1860	• istituzione del sistema baraccato • altezza massima degli edifici 7.00 m • due elevazioni fuori terra • spessore dei muri almeno 60 cm • muri d'ambito a scarpa con base pari a 1/20 dell'altezza • divieto di costruzione di strutture voltate per ambienti fuori terra • divieto di utilizzo di ciottoli di fiume
	Regolamento edilizio di Casamicciola del 1884	• primi studi di microzonazzione sismica • baraccature completamente connesse ai tramezzi e alle coperture • divieto di costruzione su terreni acclivi • spessore minimo dei muri 70 cm • aperture lontane dai maschi murari almeno 1,5 m • obbligo di costruzione di piattabande o archi sulle aperture con saetta non inferiore ad un terzo della corda

3.4. Normativa nazionale post-unitaria e diffusione del cemento armato

3.4.1. Le Norme emanate in Calabria a seguito del terremoto del 1905

Nella relazione seguita al terremoto del 1905 in Calabria sono presenti considerazioni sismologiche sulla direzione, intensità e modalità ondulatorie del sisma, così come fatto nella relazione per il regolamento di Casamicciola. Si fanno delle considerazioni sulla natura del vincolo tra terreno e struttura, valutando la possibilità di isolare il piano delle fondazioni dall'edificio in modo da consentire lo slittamento dell'edificio rispetto al terreno, anche se concretamente non si trovarono soluzioni strutturali efficaci. La relazioni propone l'uso del "cuscino anelastico" costituito da uno strato di sabbia frapposto tra edificio e terreno e per prima indica l'utilizzo di strutture in cemento armato poiché ritenute le sole in grado di resistere alle azioni sismiche. Questa relazione è stata preliminare all'approvazione delle norme tecniche approvate con RD il 16 Settembre 1906 [105].

3.4.2. Il terremoto di Messina del1908: la relazione Reycend e il R.D. n.193 del 1909

Dopo il tragico terremoto di Messina e Reggio Calabria del 1908 il Ministero dei Lavori Pubblici del governo italiano nominò una commissione di geologi e ingegneri presieduta da Italo Maganzini e composta dagli ingegneri Canevazzi, Ceradini, Panetti, Reycend (incaricato di redigere la relazione) con lo scopo di redigere una relazione che stabilisse modalità e luoghi della ricostruzione.

La commissione doveva studiare nuove tecniche per il risanamento igienico e per la ricostruzione degli edifici colpiti. La relazione che produsse riporta anche riferimenti a situazioni estere: il terremoto di Granada , l'articolo di Lescasse sui terremoti giapponesi, il terremoto di San Francisco del 1906 in occasione del quale la commissione istituita a Londra propose di sfalsare gli assi delle aperture e di evitare di accostare strutture con periodi di vibrazione diversi.

La relazione Reycend parte dall'analisi del costruito sottolineando la scarsa qualità dell'apparecchio murario composto da ciottoli di fiume; la mancanza di collegamenti tra le strutture di orizzontamento e di facciata; l'assenza di presidi di atti a contenere le spinte dei puntoni di copertura. Rileva invece la buona risposta al sisma delle case baraccate ed intelaiate e di quelle con muratura di buona fattura. Dopo l'analisi dei danni rilevati la relazione passa alla descrizione delle tecniche di consolidamento e di ricostruzione da adottare. Innanzitutto vengono studiati gli elementi costituitivi la fabbrica, valutandone il comportamento strutturale e distinguendo elementi che resistono a sforzi di compressione (murature in genere) da elementi capaci di resistere bene a qualsiasi tipo di sollecitazione (legno di essenza forte, metallo duttile). Per ognuno viene studiato il tipo di impiego possibile nella ricostruzione. In seguito passa allo studio dell'intera compagine dell'edificio e di come gli elementi precedentemente studiati si relazionano tra loro.

105 Fulci L., *Le leggi speciali italiane in conseguenza dei terremoti. Esposizione e commento, op.cit.*; Pugliano A., *Il contributo formativo del terremoto nella cultura edilizia della città storica. La normativa antisismica premoderna, op.cit.*

Viene fatta allora la distinzione fra:

- edifici a struttura ordinaria, con pareti in muratura portante e orizzontamenti semplicemente appoggiati;
- edifici intelaiati, costituiti da una maglia di muri portanti interni ed esterni che definiscono le "linee fondamentali " dell'edificio. Appartengono a questa seconda categoria gli edifici a struttura interamente in legno, ferro o cemento armato;
- Edifici baraccati, con intelaiatura immersa completamente o in parte nella muratura;
- Edifici ingabbiati, in muratura con sistemi di montanti in ferro orizzontali e verticali disposti agli angoli dei muri e collegati alle fondazioni.

Di volta in volta i tecnici della commissione erano chiamati a stabilire quale sistema fosse più opportuno utilizzare. In genere i primi tre tipi strutturali sono riferiti agli edifici di nuova costruzione, il sistema delle ingabbiature invece è indicato per le riparazioni.
In seguito alla relazione Reycend, la commissione delineò delle Norme Tecniche di Igiene per la costruzione, ricostruzione e riparazione post terremoto del 1908 emanate con il Regio Decreto 18 aprile 1909 n.193[106] che, per quel che riguarda le tecniche costruttive, non forniscono indicazioni assolute ma indicano dei principi legati alla necessità di garantire la sicurezza della costruzione, declinandoli operativamente secondo le diverse accezioni locali.
Le Norme emanate con il Rd 193 del 1909 riprendono le norme pre unitarie, soprattutto il regolamento di Norcia e Casamicciola, nell'imposizione di limiti dimensionali per le nuove costruzioni: altezza massima 10 m (solo per edifici prospicienti slarghi è possibile derogare a tale vincolo); due elevazioni fuori terra e altezza massima di interpiano pari a 5 m.; divieto di realizzare volte murarie, scale a sbalzo o sostenute da volte, costruzioni in aggetto o sbalzo ad eccezione dei balconi (con aggetto massimo di 60 cm) e dei cornicioni sommitali (40 cm). Impongono dei vincoli anche alla costruzione di piani abitabili al di sopra del piano di gronda, prescrivendo che i parapetti e i timpani murari siano estremamente leggeri e vietano l'uso di comignoli.
Per edifici a più elevazioni vietano la muratura ordinaria e impongono invece l'uso di sistemi intelaiati in calcestruzzo armato, legno, acciaio (purché i loro montanti siano fortemente incastrati nel terreno) o muratura armata. La muratura ordinaria è consentita solo per edifici ad una elevazione purchè sia garantita l'ammorsatura ai setti trasversali che non devono comunque distanziarsi tra loro di più di 5 metri, o in caso lo fossero, le pareti di facciata (che devono avere spessore pari a 1/8 della loro altezza) devono essere rinforzate con lesene che fuoriescano dal muro almeno per la metà del loro spessore con passo massimo di 5 metri.
Le travi dei solai devono essere uniche per tutta la lunghezza o in caso contrario devono essere collegate e poggiare nel muro per tutto lo spessore.

106 Regio Decreto 18 aprile 1909 n.193, *portante norme tecniche ed igieniche obbligatorie per le riparazioni ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati nei luoghi colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 e da altri precedenti elencati nel R.D. 15 aprile 1909 e ne designa i Comuni*, Gazzetta Ufficiale n.95 del 22 aprile 1909

Le aperture devono essere poste a una distanza di 1,5 m dagli spigoli, senza specificare se anche dai maschi murari. sono vietate le sopraelevazioni e gli ampliamenti realizzati in maniera strutturalmente incongrua rispetto all'esistente.
Le Norme del 1908 costituiscono la prima normativa tecnica che introduce limiti nel rapporto tra larghezza delle strade ed altezza dei fabbricati (art.22).
Nei casi di ricostruzione le Norme considerano valide le medesime indicazioni, mentre per le riparazioni propongono di mantenere le volte esistenti purchè non lesionate e purchè si provveda alla eliminazione delle lori spinte orizzontali.
In ogni caso nelle ricostruzioni considerano necessario eliminare le scale in muratura da sostituire con scale in legno, (a meno che i gradini non poggino sui muri maestri) e ridurre l'altezza degli edifici demolendo le sopraelevazioni.
Inoltre nei casi di consolidamento degli edifici con altezza superiore a un piano e non costruiti con la tecnica baraccata, indicano come indispensabile ingabbiare con catene e cinture in acciaio, cemento armato o legno. Le cinture devono essere collegate alle travi del solaio e rigirare per almeno 3 m; i montanti verticali devono essere posti a interasse di 5 m e comunque in ogni spigolo del fabbricato.
Le Norme Tecniche di Igiene emanate con il Rd 193 del 1909 vengono riprese e ampliate dai successivi decreti del 1912 - 1913.
In particolare il Regio Decreto 6 settembre 1912 n. 1080[107] è un aggiornamento che ricalca la normativa precedente introducendo la possibilità di costruire su terreni a pendio o su terrazzamenti artificiali, purché il terreno non sia di riporto. Inoltre introduce il concetto di isolamento tra gli edifici contigui indicando espressamente che a meno che i proprietari non si accordino a costruire i propri edifici contigui nello stesso momento e con le stesse strutture, esse devono essere contigue ma indipendenti. Nel caso di edifici in muratura ordinaria ad una sola elevazione viene ridotto lo spessore minimo dei muri a 1/10 della loro altezza, mentre rimane il limite a 5 metri per la distanza tra muri di spina.
Il Regio Decreto 12 ottobre 1913 n. 126[108] infine ingloba le precedenti norme ed introduce delle indicazioni di tipo giuridico ed economico. Questo testo unico inoltre considera zone sismiche le aree su cui sorgevano gli edifici demoliti dopo il terremoto e su cui, nel caso in cui il terreno non abbia le caratteristiche di solidità, non è possibile riedificare.
La soluzione tecnologica della struttura baraccata è considerata come la più idonea alla risposta al sisma e tutte le indicazioni fornite tendono a suggerirne l'applicazione. Per la prima volta rispetto ai precedenti regolamenti si valuta la necessità di coefficienti quantitativi che tengano conto dell'azione sismica nelle verifiche. Si introduce inoltre l'uso delle strutture in cemento armato anche per gli interventi sull'esistente e di ricostruzione.

107 Regio Decreto 6 settembre 1912 n. 1080, *da convertirsi in legge, che approva le norme obbligatorie per le riparazioni, ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici nei comuni colpiti dal terremoto, in sostituzione di quelle approvate col R. D. 18 aprile 1909 n. 193*, Gazzetta ufficiale n. 247 del 19 ottobre 1912
108 Regio Decreto 12 ottobre 1913 n. 1261, *da convertirsi in legge, che approva il Testo Unico delle leggi emanate in conseguenza del terremoto del 28 dicembre 1908*, Gazzetta Ufficiale n.274 del 25 novembre 1913

17

18

Fig.17-18 Messina, 1908. Si nota l'espulsione delle pareti di facciata dal secondo livello delle abitazioni e il crollo totale di grosse porzioni di isolati
Fig. 19-20 Messina, 1908. Le macerie delle facciate degli edifici occupano completamente la strada. Ciò dimostra una assenza di ammorsamento tra le pareti di facciata e setti di spina, difetto riscontrabile sia nell'edilizia residenziale sia in quella monumentale

19

20

21

22

23

Fig.21-22 Messina. Ciò che rimane del Duomo dopo il terremoto del 1908 e dopo il terremoto del 1783
Fig. 23 Messina, 1908. Crollo delle abitazioni su Piazza Cavallotti

24

25

26

Fig.24-25 Messina, 1908. Il retro di un edificio della palazzata devastato, tra via del Mercato e via Catalani, e la sua facciata principale apparentemente intatta
Fig. 26 Messina, 1908. Prospetto settentrionale della Palazzata distrutta dal sisma

3.4.3.La progressiva attenuazione delle limitazioni in favore della sicurezza sismica negli interventi normativi nazionali successivi al RD n.193 del 1909

Il Regio Decreto n.193 del 1909 costituisce il primo vero intervento normativo antisismico dello stato italiano, considerando che le esperienze di Norcia e Casamicciola si configuravano come "regolamenti edilizi". A tale decreto fecero seguito due aggiornamenti che costituirono un primo testo unico per le costruzioni e ricostruzioni antisismiche. Molti sono i successivi provvedimenti normativi che ricalcano il suddetto decreto e che vennero emanati comunque nelle medesime condizioni di emergenza seguite ad interventi calamitosi.

Il terremoto di Avezzano del 1915 interessò un settore della catena appenninica fino ad allora caratterizzato da una sismicità poco significativa. Ad Avezzano una sola casa rispettava i criteri di costruzione antisismici (fu l'unica a restare in piedi) ed inoltre l'economia legata al prosciugamento del lago del Fucino, cui molti studiosi attribuirono la causa del sisma, aveva favorito una diffusa speculazione edilizia caratterizzata da edifici costruiti velocemente e con materiali inappropriati. E dunque anche questa fu una delle cause che contribuì ad aumentare le proporzioni del disastro. Il regio decreto del 1915[109], riferito alle zone colpite dal sisma, da Avezzano ad Aversa, Roma, Perugia, Chieti, Caserta, Ascoli, Campobasso, ricalca quasi completamente il regolamento di Messina del 1909. Da questo differisce lievemente perché per nuove costruzioni in muratura ordinaria, ammesse solo se ad un piano, fissa a 50 cm la dimensione minima dei muri perimetrali e a 1/15 della loro altezza i muri trasversali, risultando dunque più permissivo e a sfavore di sicurezza.

Ma è dal 1920 che ha inizio la progressiva riduzione della tendenza restrittiva avviata con il Rd del 1909. In questa direzione si muove infatti il Regio Decreto Legge 9 maggio 1920 n. 665 [110], che apporta delle modifiche al Rd del 1909 per i comuni colpiti dal terremoto di Reggio e Messina del 1908.

Con tale decreto viene data la possibilità ai Comuni di autorizzare costruzioni a tre elevazioni ed altezza massima di 12 m, qualora sia dato parere favorevole dal comitato speciale del consiglio dei lavori pubblici. Non si possono ancora realizzare opere murarie al di sopra del livello della gronda inclusi fumaioli ; i parapetti invece adesso possono essere realizzati in cemento armato e sono anche permessi gli abbaini e le gabbie per le scale di accesso ai terrazzi o ai tetti per l'altezza strettamente necessaria. Per le costruzioni ad un solo piano in muratura ordinaria con setti di controvento distanti tra loro più di 5 metri possono essere realizzati dei pilastri in cemento armato, annegati nella muratura, a posto delle lesene previste dal regolamento del 1909, sempre a distanza massima di 5 metri l'uno dall'altro. Le sopraelevazioni non sono più vietate, ma consentite negli edifici con altezza non superiore ai 10 o 12 metri, in relazione alla larghezza della strada. Mentre fin qui tutti i contributi dati da questo regolamento sono a sfavore di sicurezza, all'articolo 229 si introduce un parametro preciso secondo cui

109 Regio Decreto Legge 29 aprile 1915 n. 573, *Norme tecniche ed igieniche da osservarsi per i lavori edilizi nelle località colpite dal terremoto del 13 gennaio 1915*, Gazzetta Ufficiale n.117 del 11 maggio 1915

110 Regio Decreto Legge 9 maggio 1920 n. 665, *che apporta modificazioni alle norme tecniche ed igieniche obbligatorie nelle località colpite dal terremoto,* Gazzetta ufficiale n. 129 del 2 giugno 1920

amplificare il carico e il sovraccarico nelle verifiche di stabilità. Cioè bisogna aumentare del 50% le azioni statiche per considerare l'effetto del sisma. Si introducono anche le azioni orizzontali da applicare per le verifiche dinamiche. Esse devono essere pari ad 1/8 del peso per il piano terra di edifici con altezza massima di 12 m ed 1/6 per i piani superiori e per tutti gli edifici con altezza superiore a 12 m. (art 229).
Questo decreto, precedente al terremoto in Garfagnana e Lunigiana del settembre 1920, risulta meno limitativo dei precedenti, a sostegno del fatto che allontanandosi dagli eventi calamitosi si perde memoria del pericolo e si rispettano più gli interessi economici che quelli di tutela. Introduce inoltre in maniera decisamente incidente l'integrazione dei elementi in cemento armato in strutture murarie preesistenti.
A questo decreto segue Regio Decreto Legge 23 ottobre 1924 n. 2089 (e successive modifiche)[111], riferito a tutte le zone colpite da terremoti dopo il 1908. Per gli edifici in muratura ordinaria ad un solo piano, tale decreto aumenta la distanza dei setti di controvento fino a 7 m e diminuisce il loro spessore a 1/10 dell'altezza. Se la distanza tra questi muri è superiore a 7 metri permette l'introduzione di pilastri in cemento armato annegati nella muratura. La stessa distanza vale per edifici in muratura ordinaria a due piani, con aumento da 50 a 80 cm dello spessore minimo dei muri al piano terra. Prescrive che i muri vengano collegati tra loro al piano di gronda con telaio in cemento armato. Il decreto poi procede con le indicazioni relative agli elementi costruttivi. Per i solai, ad esempio, impone che siano realizzati con travi in legno in numero minimo di una ogni due metri e disposte in moda da servire da incatenamento dei muri. Fornisce delle indicazioni precise sul dimensionamento dei pilastri in cemento armato per nuove costruzioni interamente realizzate con struttura intelaiata. La particolarità di questo aggiornamento è il fatto di essere esteso a tutti i territori precedentemente colpiti dal sisma, annullando le prescrizioni locali e imponendo dunque a livello nazionali delle prescrizioni meno limitative delle precedenti.

3.4.4. I primi interventi normativi di zonizzazione e classificazione sismica del territorio italiano

Un primo tentativo di suddivisione del territorio nazionale in diverse zone in funzione del rischio sismico si ha con il Regio Decreto Legge 13 marzo 1927 n. 431 [112]. Tale decreto per la prima volta distingue le norme da applicare nei paesi colpiti da terremoti ed esplicitamente elencati (dunque non ancora sull'intero territorio italiano) in due categorie, in base al grado di sismicità' e alla costituzione geologica.
La 1°categoria è riferita ad un livello di pericolosità maggiore rispetto alla seconda, e presenta dunque più limitazioni. Per le nuove costruzioni il decreto riprende i decreti precedenti, impedendo la costruzione su terreni acclivi e scoscesi e lasciando la decisione di deroga per la costruzione in terreni in pendio all'Ufficio del Genio Civile.
La limitazione delle altezze è mantenuta a due piani al massimo e a 10 m, per la 1°

111 Regio Decreto Legge 23 ottobre 1924 n. 2089, *norme tecniche ed igieniche di edilizia per le località colpite dal terremoto*, Gazzetta Ufficiale n.303 del 30 dicembre 1924, aggiornato dal Regio Decreto Legge 3 aprile 1926 n. 705, *modificazioni alle norme tecniche ed igieniche di edilizia obbligatorie per le località colpite da terremoti*, Gazzetta Ufficiale n.102 del 3 maggio 1926
112 Regio Decreto Legge 13 marzo 1927 n. 431, *norme tecniche ed igieniche di edilizia per le località colpite dai terremoti*, Gazzetta Ufficiale n.82 del 8 aprile 1927

categoria, e aumentata a 12 per la 2°.
Sono consentite altezze maggiori per gli edifici in 1° categoria fino a 3 piani con altezza massima di 13 metri e su parere del consiglio superiore dei lavori pubblici e 4 piani in 2° categoria con altezza massima di 15 m.
Per le fondazioni e le tipologie di muratura non si fa distinzione tra prima e seconda categoria, specificando solo che esse devono essere realizzate a regola d'arte con buoni materiali e vietando la muratura a sacco.
I sistemi costruttivi indicati per le nuove costruzioni sono esclusivamente quelli intelaiati in muratura armata, in legno o in acciaio e soprattutto si specifica il fatto che gli edifici adiacenti devono essere costruiti con gli stessi sistemi costruttivi in un unico corpo o completamente indipendenti. Ciò a sottolineare anche l'importanza che si attribuisce alle relazioni tra gli edifici adiacenti in caso di sisma.
Per gli edifici in muratura ordinaria ad un solo piano sono definiti precisi parametri per il dimensionamento dei muri perimetrali e trasversali, riprendendoli dal decreto del 1924, in particolare mantenendo la distanza tra i muri di controvento a 7 metri e dando la possibilità di introdurre pilastri in cemento armato in caso in cui questa luce fosse maggiore.
Sia in 1° che in 2° categoria sono vietate le volte impostate ai piani superiori al primo e consentite nei piani cantinati purché esse non impostino sopra il livello della strada. Nei casi di solai con travi di acciaio e voltine il decreto impone che siano poste delle travi anche lungo tutte le pareti.
Viene ribadito l'uso di elementi leggeri per i controsoffitti e le tramezzature, così come per i riempimenti delle strutture intelaiate, specificando la necessità di resistenza al fuoco e all'umidità dei materiali.
Si introduce l'obbligo di disporre le aperture a non meno di 1,5 m di distanza dallo spigolo murario più vicino, non solo dunque rispetto ai cantonali ma anche rispetto ai setti di controvento. Quando la distanza fra gli spigoli adiacenti di due finestre sia inferiore a metri 1,50, il blocco di muratura interposto deve essere di mattoni pieni, a garantire maggiore resistenza alla porzione muraria indebolita dalle aperture.
Per gli interventi di ricostruzione valgono le stesse norme, con precisazione dei casi di ricostruzione di edifici su strade di dimensione minori ai 4 m in cui l'edificio deve costruirsi in ritiro fino ad ottenere la dimensione stradale sufficiente.

Per gli interventi di riparazione si prescrive che le volte si possono mantenere purchè non siano ai piani superiori di edifici molto alti e comunque con l'eliminazione delle spinte attraverso catene e cinture. Sono vietate le riparazioni di edifici con fondazioni insufficienti o lesionate.
In allegato al decreto è riportato l'elenco delle località colpite da sisma e le rispettive classificazioni. Per la provincia di Catania ad esempio si prevedono solamente parte

dei comuni di Acireale, Aci Sant'Antonio, Giarre, Riposto, Viagrande, Zafferana Etnea, classificati in 2° categoria. Messina è in 1° categoria mentre la maggior parte della provincia in 2°. Non è classificata nessuna altra provincia siciliana.

Una prima estensione delle norme del precedente decreto alle altre zone del territorio nazionale non espressamente colpite da sisma si ha invece con il Regio Decreto Legge 25 marzo 1935 n. 640 [113] che prevede, tra l'altro, che :

- I muri devono essere eseguiti a regola d'arte, senza usare ciottoli di fiume se non opportunamente spezzati, con ricorsi costati di mattoni o di cemento;
- Sono vietate le coperture spingenti e le volte ai piani superiori;
- Sono obbligatori i telai in cemento armato a ogni piano e al di sopra del livello di gronda su tutti i muri perimetrali e interni dello spessore di almeno 20 cm.

Per le nuove costruzioni in zone di 1° categoria viene aumentata l'altezza massima dei fabbricati a 16 m, mentre per gli edifici in 2° categoria si arriva a 20 m.
Di conseguenza cambiano anche i rapporti tra larghezza della strada e altezza dell'edificio. Questo non deve essere più alto di una volta e mezza la larghezza della strada.
Viene rimosso il divieto di costruire al di sopra del livello della gronda i muri di timpano, i fumaioli, i parapetti dei terrazzi o gli attici, gli abbaini, i lucernari e la gabbia della scala.
Per le costruzioni ad una sola elevazione è consentita la muratura ordinaria purché venga utilizzata malta cementizia e vengano rispettati determinati rapporti. Ad esempio mentre con il precedente decreto la distanza massima tra due muri ortogonali alla facciata era stata aumentata da 5 a 7 m, adesso viene diminuita a 6. Nei casi in cui tale distanza sia superiore a 7 ma comunque fino a 12 m, si prevede di inserire lesene o pilastri in cemento armato a interasse massimo di 4m.
Per gli edifici a due piani valgono le stesse distanze tra i setti di controvento ma sono aumentate le dimensioni dei muri perimetrali.
Le costruzioni in legno vengono ora a essere limitate ad edifici di altezza massima di 8 m e due elevazioni, sempre con l'obbligo di mantenere una base in muratura e di garantire le adeguate giunzioni.
Vengono introdotte le scale a sbalzo in cemento armato mentre continuano ad essere vietate quelle in muratura, segno di una progressiva fiducia nella resistenza del sempre più diffuso sistema costruttivo.
I vani di porte esterne e di finestre dei diversi piani debbono avere i loro assi sulla stessa verticale ed essere disposti in modo che la distanza tra lo spigolo esterno del fabbricato e lo spigolo vivo dello stipite più vicino del vano non sia inferiore a metri 1,50. Tale distanza può essere ridotta a 1 metro quando il fabbricato abbia altezza non superiore a 6 metri, ovvero la facciata di larghezza non superiore a 4 metri.

113 Regio Decreto Legge 25 marzo 1935 n. 640, *nuovo testo delle norme tecniche di edilizia con speciali prescrizioni per le località colpite dai terremoti*, Gazzetta ufficiale n.120 del 22 maggio 1935

Per le ricostruzioni e le riparazioni in generale non ci si discosta dai regolamenti precedenti, dando sempre delle indicazioni legate al buon costruire e all'attenzione ai terreni su cui edificare, obbligando ad ottenere delle condizioni di sicurezza migliori di quelle che vi erano prima del terremoto.
Tra le zone considerate sismiche si inseriscono alcuni comuni della provincia di Ancona, in 1° categoria; si amplia l'elenco dei comuni in provincia dell'Aquila e compaiono Avellino, Benevento, Catanzaro, Chieti, Cosenza, Foggia, La Spezia, Carrara, Urbino e Udine.

Dopo un periodo di stasi legislativa, durante la seconda guerra mondiale, venne emanata una nuova legge sulle norme edilizie con riferimento alle zone sismiche, la Legge 25 novembre 1962 n. 1684 [114]. Tutte le norme contenute in questa legge sono da applicarsi a tutto il territorio nazionale, non solo ai comuni colpiti dal sisma o esplicitamente elencati.
Inoltre, per le zone che la legge definisce "sismiche", vengono esplicitate ulteriori disposizioni particolari. Le norme per l'edilizia valide in tutto il territorio sono sostanzialmente delle indicazioni sul rispetto delle regole del buon costruire, evitando di edificare su terreni scoscesi, obbligando a realizzare in cemento armato gli edifici con più di sette piani. Tutti i progetti inoltre devono essere corredati di calcoli delle principali strutture portanti. Le strutture in cemento armato sono le più consigliate, anche in zona non sismica.
Questa legge risulta essere ancora più permissiva per quel che riguarda le altezze massime degli edifici di nuova costruzione in c.a. che in zona 1 possono raggiungere i 21 m e in zona 2 i 24.5 m, considerando che le strade devono comunque avere larghezza pari a 10 m.
Non è più consentito se non in casi eccezionali su autorizzazione del Genio Civile, l'uso di sistemi in legno. Segno della ormai diffusa padronanza del sistema costruttivo in cemento armato considerato il più adatto a resistere agli eventi sismici.
Si ribadisce l'esigenza di indipendenza delle strutture degli edifici adiacenti:
"*In caso di costruzioni contigue, ciascun edificio deve costituire un organismo a sè stante mediante l'adozione di giunti od altri opportuni accorgimenti idonei a consentire la libera e indipendente oscillazione di ciascuno di essi. Se i due edifici vengono eseguiti contemporaneamente con lo stesso sistema costruttivo e con le stesse altezze, i proprietari possono accordarsi per le costruzioni dei lati o della parte di essi a contatto in modo che i due edifici costituiscano un unico complesso organico*"(Art.9).
La costruzione di edifici in muratura ordinaria non intelaiata è consentita invece solo per edifici ad un piano in 1° categoria e fino a tre piani in 2° categoria.
Anche nella ricostruzione devono seguirsi le stesse norme valide per le nuove edificazioni, mentre sono consentite le sopraelevazioni in edifici in cui le strutture esistenti e

114 Legge 25 novembre 1962 n. 1684, *Provvedimenti per l'edilizia, con particolari prescrizioni per le zone sismiche*

quelle nuove rispondano a tutti i requisiti validi per le nuove edificazioni e comunque non nei casi in cui sia già avvenuta una sopraelevazione. Ciò vale in 1° e 2° categoria. Inoltre la sopraelevazione in edifici in cemento armato è consentita solo nei casi in cui sia possibile saldarne le armature in modo da rendere continue le due strutture.
Le riparazioni devono essere eseguite in modo da conferire un maggior grado di sicurezza rispetto alle condizioni precedenti al terremoto. In alcune località elencate inoltre è vietata la riparazione degli edifici in parte danneggiati che devono essere considerati come distrutti.
"*Gli edifici realizzati col sistema intelaiato o baraccato lesionati vanno ridotti in altezza, ove le loro condizioni statiche lo richiedono,e debbono essere rafforzati da collegamenti verticali di ferro o di cemento armato, correnti dalle fondazioni alla sommità, e rilegati da cinture, parimenti di ferro o di cemento armato, al piano della risega di fondazioni ed a quelli dei solai e della gronda in modo da formare una intelaiatura esterna. Detti collegamenti debbono essere ubicati in corrispondenza di tutti gli spigoli dell'edificio e degli innesti dei muri portanti interni trasversali o di spina e, comunque, a distanza non maggiore di metri 6 l'uno dall'altro*" (Art.22 com.6).
La legge inoltre specifica maggiormente le località inserite in zona sismica nelle due categorie.

3.4.5. La legge n.64 del 1974 come primo tentativo di uniformare la normativa edilizia nazionale

La legge n.64/1974 [115] sancisce un primo aggiornamento globale della normativa edilizia, lasciando ai successivi decreti le specifiche norme tecniche. In particolare questa legge si propone di aggiornare l'elenco delle zone sismiche stabilendo differenti indici di sismicità, lasciando comunque al successivo decreto[116] la valutazione finalizzata a stabilire degli indici da utilizzare nelle verifiche di stabilità. Tale decreto, successivo al terremoto del Friuli del 1976, conferma l'elenco delle zone sismiche delle precedenti disposizioni a cui attribuisce due gradi di sismicità S alle categorie esistenti.

S= 9	2° categoria
S= 12	1° categoria

In particolare poi la Legge 26 aprile 1976, n.176, istituirà il Servizio Sismico presso il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, con lo scopo di "*aggiornare la conoscenza della sismicità del territorio nazionale e di predisporre elementi tecnici per l'aggiornamento delle norme e delle classificazioni di cui all'art. 3 della legge 2-2-1974, n. 64 Il servizio sismico cura:*

- la promozione delle iniziative per il completamente della rete di rilevazione sismica nazionale;

115 Legge 2 febbraio 1974, n. 64. *Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.*
116 Decreto Ministeriale 3 marzo 1975 n. 40; Legge 26 aprile 1976, n.176, *Norme per l'istituzione del servizio sismico e disposizioni Inerenti al movimenti sismici del 1971, del novembre e dicembre 1972, del dicembre 1974 e del gennaio 1975, in comuni della provincia di Perugia,* Gazzetta Ufficiale 7-5-1976, n. 120

- la raccolta delle informazioni macrosismiche, il rilevamento dei sismi e la elaborazione dei dati;
- lo studio della propagazione delle onde sismiche in relazione alla natura geologica e geotecnica dei terreni;
- lo studio degli effetti dei sismi su manufatti e gli studi teorico sperimentali su materiali, gli elementi costruttivi e le tecnologie delle costruzioni in zone sismiche".

La legge n.64/1974, legge quadro per la normative tecnica edilizia allora vigente, in conclusione, contempla solo le operazioni di nuova costruzione, da eseguire secondo i criteri antisismici precisati nei successivi decreti, le riparazioni e le sopraelevazioni, senza parlare di intervento su edifici murari. Sarà il DM 24/1/1986 a stabilire i criteri e le modalità per gli interventi di recupero in zona sismica.

3.4.6. La normativa d' urgenza seguita al terremoto dell'Irpinia del 1980 e le successive integrazioni

Nei primi anni '80 gli interventi normativi tecnici si sono orientati principalmente alla costruzione e collaudo di ponti, alle operazioni da condurre per le indagini e il consolidamento dei terreni e delle opere di fondazione. Sarà il tragico evento del terremoto dell'Irpinia a porre l'attenzione a una serie di interventi finalizzati ad operare in situazione di urgenza. Il terremoto colpì alle 19:34 di domenica 23 novembre 1980 con una scossa di magnitudo 6,9 scala Richter, della durata di circa 90 secondi con epicentro nel comune di Conza della Campania(AV). Causò circa 280.000 sfollati, 8.850 feriti e 2.735 morti e i comuni più colpiti sono stati Sant'Angelo dei Lombardi, Lioni, Torella dei Lombardi, Conza della Campania e Teora, tutti in provincia di Avellino.
Gli interventi post sisma furono regolati dal Decreto Ministeriale n. 593 del 1981[117]. Sulla base dei diversi livelli di danneggiamento e delle possibilità di intervento esso distingue gli interventi di "riparazione" da quelli di "adeguamento antisismico".
"*Si definisce intervento di riparazione l'esecuzione di un complesso di opere finalizzate a ripristinare la integrità di ogni parte di un edificio.*
L'intervento, ai sensi dell'art.15, L. 2 febbraio 1974, n. 64, deve tendere a conseguire un maggior grado di sicurezza dell'edificio nei confronti delle azioni sismiche".
"*L'adeguamento antisismico si consegue mediante la esecuzione di un complesso di opere che rendano l'edificio atto a resistere alle azioni sismiche, definite dalle norme tecniche approvate con D.M. 3 marzo 1975".*
Da queste definizioni risulta evidente la differenza di impatto, in termini di intervento e di conservazione, tra la riparazione e l'adeguamento.
Mentre le precedenti normative fornivano delle indicazioni sulle modalità di costruzione, sui sistemi costruttivi da adottare e alcune indicazioni sul dimensionamento degli elementi costruttivi principali spingendo al rispetto delle norme del buon costruire, questo decreto è il primo ad obbligare alla redazione di un preciso progetto di consolida-

117 Decreto Ministeriale 2 luglio 1981, n.593, *Normativa per le riparazioni ed il rafforzamento degli edifici danneggiati dal sisma nelle Regioni Basilicata, Campania e Puglia*

mento degli edifici danneggiati di cui dovevano far parte determinati elaborati grafici e specifiche relazioni di calcolo strutturale.
Il decreto del 1981 stabilisce che i criteri di intervento conseguenti allo studio della condizione dell'edificio preesistente al sisma alle sue caratteristiche geometriche, alle fasi di crescita, alle caratteristiche tecnologiche.
Stabilisce una precisa metodologia di verifica sismica, riprendendo la suddivisione in zone sismiche effettuata dal Dm del 1975 con l'aggiunta della terza zona con grado di sismicità S=6
Il decreto stabilisce dei procedimenti tecnici da adottare specificatamente per ogni sistema costruttivo e su ogni elemento tecnico che costituisce l'organismo architettonico. La maggior parte delle prescrizioni tecniche introdotte dal decreto sono oggi considerate scorrette e dannose, ma vale la pena descriverle per comprendere le ragioni del loro fallimento. Ad esempio, per il consolidamento delle fondazioni di edifici murari, consiglia l'approfondimento con getto di calcestruzzo o con micropali fortemente ancorati alla muratura

Per le pareti, nel decreto si legge:
"*Per aumentare la resistenza di un elemento murario si può ricorrere, in genere, ad uno o più dei seguenti provvedimenti:*

- *risarciture localizzate*
- *iniezioni di miscele leganti;*
- *applicazione di lastre in cemento armato o di reti metalliche elettrosaldate;*
- *inserimento di pilastrini in cemento armato o metallici in breccia nella muratura;*
- *tirantature orizzontali e verticali*".

Nel caso di aperture disallineate da mantenere si consiglia la cerchiatura con telai in cemento armato ancorati alla muratura con perforazioni armate.
Viene anche suggerito il consolidamento delle volte murarie con cappe in cemento armato o reti elettrosaldate.
Per le riparazioni sono consigliate le introduzioni di pareti di controvento esclusivamente armate.
A questo decreto seguirono poi altri interventi normativi che sanciscono l'affermazione delle tecniche concepite per le strutture in cemento armato sugli edifici esistenti in muratura. In particolare la Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici 30 Luglio 1981, n. 21745 e la Legge 14 Maggio 1981, n. 219[118]. Questa circolare del Ministero dei Lavori Pubblici definisce concretamente i tipi di intervento da eseguire per la riparazione e il rafforzamento degli edifici murai danneggiati. Introduce l'obbligo da parte dei comuni di redigere Piani di recupero intesi come Piani di Ricostruzione.
Si riferisce in particolare agli edifici destinati ad abitazione ma dal punto di vista metodologico ritiene di ampliarla anche agli edifici destinati ad altri usi.

118 Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici 30 Luglio 1981, n. 21745 e Legge 14 Maggio 1981, n. 219, *Istruzioni relative alla normativa tecnica per la riparazione ed il rafforzamento degli edifici in muratura danneggiati dal sisma*

Le disposizioni dettate dalla circolare si propongono di essere flessibilmente applicabili in relazione ai diversi casi e dunque costituiscono un intervento a carattere di guida e di principi generali di applicazione. Per la circolare, inoltre, lo studio e l'intervento sugli edifici dei centri storici, in gran parte murari, deve essere finalizzato anche alla prevenzione dei successivi eventi sismici.
Per sottolineare il carattere di guida della circolare sono anche forniti degli esempi di applicazione della stessa, attraverso l'illustrazione dei criteri di intervento da seguire.
"*I provvedimenti intesi a ridurre gli effetti delle azioni sismiche sono indicati a titolo esemplificativo al successivo punto 2.4.1 delle norme e consistono:*

- nella riduzione delle masse non strutturali;
- nella creazione ed adeguamento dei giunti
- nella riduzione degli effetti torsionali;
- nella ridistribuzione delle rigidezze.

Ciò in concreto si potrà realizzare:

1) alleggerendo la costruzione mediante l'eventuale demolizione di sopraelevazioni e l'eliminazione di carichi permanenti pesanti e sostituzione con altri in materiale leggero, specie nelle parti più elevate dell'edificio;
2) eliminando, quanto più possibile, elementi anche strutturali, che possano provocare effetti torsionali sotto l'azione delle forze sismiche (pensiline, balconi, sporgenze, ecc.) o aggiungendo nuovi elementi che contrastino la rotazione stessa;
3) modificando la pianta dell'edificio in guisa da eliminare dissimmetrie planimetriche, tendendo ad avvicinare il centro delle rigidezze al centro delle masse;
4) separando, se possibile, le parti dell'edificio per renderle indipendenti l'una dall'altra ciascuna delle quali strutturalmente regolare. La creazione o l'eliminazione di giunti possono produrre nel contesto dell'intervento due effetti qualitativamente diversi: modificare la distribuzione in pianta delle rigidezze e delle masse e frazionare o unificare lo schema resistente alle azioni orizzontali. Quest'ultimo effetto può risultare favorevole, ad esempio, in presenza di corpi di fabbrica di altezze differenti, regolarizzando, con la creazione di giunti, il comportamento dinamico della costruzione. In ogni caso tutti questi interventi devono tendere a ridurre l'eccentricità tra il centro delle masse e quello delle rigidezze, sì da mitigare l'influenza dei modi torsionali di vibrazione sulla risposta dinamica dell'edificio. Per quanto riguarda la distribuzione in verticale delle rigidezze, si fa rilevare che ogni brusca variazione può determinare una concentrazione del danno ed in definitiva una riduzione della duttilità complessiva della costruzione".

La linea seguita dalla Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici 30 Luglio 1981 viene in seguito riaffermata e approfondita dal D.M 24/01/86[119]che riformula le zone sismiche suddividendole in tre categorie:

119 Decreto Ministro dei Lavori Pubblici 24 Gennaio 1986, *Norme tecniche relative alle costruzioni antisismiche*, Gazzetta Ufficiale 12-5-1986, n. 108

S<9 terza categoria: per cui si prevede un terremoto inferiore o a uguale al VIII grado.
S=9 seconda categoria: per cui si prevede un terremoto di intensità compresa tra VIII – IX grado; la strategia di intervento consiste nell'incatenamento sistematico delle facciate salvo nei casi in cui la costruzione presenta una integrità che garantisce la connessione tra le pareti ortogonali
S>9 prima categoria: per cui si prevede un terremoto superiore al IX grado; la strategia di intervento consiste nell'incatenamento sistematico delle facciate e verifica delle pareti trasversali alle quali esse sono ancorate.
Inoltre per la prima volta il decreto stabilisce l'importanza della conoscenza delle norma costruttiva locale da cui deve scaturire l'intervento coerente con le tecnica costruttiva storica. Definisce fondamentale, infatti, prescrivere una tecnica delle costruzioni in muratura, che varia al variare delle aree geografiche e delle culture locali, come esiste una tecnica delle costruzioni in acciaio o delle costruzioni in cemento armato, infatti:

C.9.2.4. Criteri di scelta progettuale.
"*I criteri adottati nella scelta del tipo di intervento, devono scaturire, di norma, da uno studio preliminare dell'organismo edilizio riguardante in particolare:*
a)le caratteristiche, nella situazione esistente, sotto il profilo architettonico, strutturale e della destinazione d'uso;
b)l'evoluzione storica delle predette caratteristiche con particolare riferimento all'impianto edilizio originario ed alle principali modificazioni intervenute nel tempo;
c)l'analisi globale del comportamento strutturale al fine di accertare le cause ed il meccanismo di eventuali dissesti in atto".
La legge elenca inoltre una serie di interventi per il miglioramento del comportamento sismico degli edifici e per l'aumento della loro resistenza strutturale.
Oltre agli interventi sui singoli elementi strutturali, il D.M.L.L.P.P. n.276980, prevede interventi sui "complessi edili":

C. 9. IO. Complessi edilizi.
"*Nel caso di complessi edilizi privi di giunti tra gli edifici, il progetto esecutivo di intervento deve documentare la situazione statica degli edifici contigui, a dimostrazione che gli interventi previsti non arrechino aggravi a tale situazione*".

Il Decreto del 1986 viene integralmente sostituito dal Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 16 Gennaio 1996 [120] riguardante le nuove norme per le costruzioni in zona sismica. Tale decreto riprende la classificazione sismica del territorio italiano iniziata con la legge n. 64/1974, introducendo sia dei nuovi indici di sismicità che la possibilità di introdurre, nella progettazione dei nuovi edifici, gli isolatori sismici. Per la progettazione dei nuovi edifici murari vengono fornite delle indicazioni generali quali:

120 Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 16 Gennaio 1996, *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*, Pubblicato nel supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale" n. 29 del 5 febbraio 1996

- "le strutture costituenti i vari orizzontamenti, comprese le coperture di ogni tipo, non devono essere spingenti. Eventuali spinte orizzontali, comprese quelle esercitate ad esempio da archi e volte, e valutate tenendo conto dell'azione sismica, devono essere eliminate con tiranti o cerchiature oppure riportate alle fondazioni mediante idonee disposizioni strutturali;

- i solai devono assolvere, oltre alla funzione portante dei carichi verticali, quella di ripartizione delle azioni orizzontali tra i muri maestri;

- i cordoli, in corrispondenza dei solai di piano e di copertura devono avere larghezza pari a quella della muratura sottostante; è consentita una riduzione di larghezza fino a 6 cm per l'arretramento del filo esterno

- l'altezza di detti cordoli deve essere almeno pari a quella del solaio, e comunque non inferiore a cm 15. L'armatura deve essere di almeno cm2 8 con diametro non inferiore a mm 16; le staffe devono avere diametro non inferiore a mm 6 ed interasse non superiore a cm 25;

- la distanza massima fra lo spiccato delle fondazioni e l'intradosso del primo solaio o fra due solai successivi non deve superare m 5, fermo restando l'obbligo di garantire per i setti murari una snellezza inferiore a 12;

- in corrispondenza degli incroci d'angolo dei muri perimetrali sono prescritte, su entrambi i lati, zone di muratura di lunghezza pari ad almeno m 1; tali lunghezze si intendono comprensive dello spessore del muro ortogonale;

- nel piano interrato o seminterrato è ammesso realizzare i muri in calcestruzzo armato, con spessori almeno pari a quelli del piano sovrastante.

Per gli edifici in muratura ordinaria viene stabilito:

1. Il rispetto della regolarità geometrica, il rapporto tra i lati non deve essere inferiore ad 1/3

2. La distribuzione delle aperture dei muri, in pianta e in alzato, deve essere tale da garantire, per quanto possibile, la simmetria strutturale

3. La distanza tra due setti di spina non deve essere maggiore di 7m

4. Gli architravi devono essere in cemento armato o in acciaio

5. Al di sopra delle fondazioni in muratura deve essere collocato, alla quota di spiccato, un cordolo di cemento armato

6. È obbligatorio l'uso di malta di cemento

7. Lo spessore delle murature non deve essere inferiore a 24 cm, con un inspessimento in fondazione non inferiore a 20 cm"

Vengono riprese inoltre le definizioni di "*miglioramento*"e "*adeguamento*" sismico e specificati i criteri di scelta progettuale (C.9.2.4).

	Riferimento normativo	Contenuti essenziali
NORMATIVA NAZIONALE POST-UNITARIA. DIFFUSIONE DEL CEMENTO ARMATO E PROGRESSIVA ATTENUAZIONE DELLE RESTRIZIONI	Il terremoto di Messina 1908: la relazione Reycend e il R.D. n.193 del 1909	• altezza massima degli edifici 10.00 m • due elevazioni fuori terra • divieto di realizzare volte murarie e scale a sbalzo • balconi aggetto massimo di 60 cm • cornicioni sommitali con aggetto massimo 40 cm • parapetti e i timpani murari leggeri • muri perimetrali spessore pari a 1/8 dell' altezza • setti trasversali distanti tra loro non più di 5.00 m • travi dei solai uniche per tutta la lunghezza • aperture poste a una distanza di 1.5 m dagli spigoli • per edifici a più elevazioni obbligo del sistema intelaiato in calcestruzzo armato, legno, acciaio
	R.D. n. 1080 del 1909	• Per edifici in muratura ordinaria ad una elevazione spessore minimo dei muri pari a 1/10 dell' altezza
	R.D.L. n. 573 del 1915	• nuove costruzioni in muratura ordinaria ammesse ad un piano con muri perimetrali spessi almeno di 50 cm e muri trasversali spessi almeno 1/15 dell'altezza
	R.D. L. n. 665 del 1920	• altezza massima 12.00 m • tre elevazioni fuori terra • parapetti in cemento armato • per costruzioni ad un solo piano in muratura ordinaria con setti di controvento distanti tra loro più di 5.00 m possibilità di realizzare pilastri in c.a. annegati nella muratura • sopraelevazioni consentite negli edifici con altezza non superiore ai 10.00 o 12.00 metri
	R. D. L n. 2089 del 1924	Per edifici in muratura ordinaria ad un solo piano • distanza massima dei setti di controvento 7.00 m • spessore setti di controvento 1/10 dell'altezza • in caso di setti di controvento distanti più di 7.00 metri si rende obbligatoria l'introduzione di pilastri in c.a. annegati nella muratura Per edifici in muratura ordinaria a due piani • spessore minimo muri perimetrali 80 cm • collegamento al piano di gronda con telaio in cemento armato • solai con travi in legno in numero minimo di una ogni due metri e disposte in moda da servire da incatenamento dei muri
	L. n.64 del 1974	• primo tentativo di uniformare la normativa edilizia nazionale • riferita solo a operazioni di nuova costruzione
	Normativa seguita al sisma del 1980	• affermazione definitiva degli interventi in cemento armato sulle strutture murarie • elenco dei singoli interventi ammessi distinti per categoria

3.5. Il fallimento dell'applicazione delle tecniche moderne sugli edifici murari: il terremoto di Umbria e Marche del 1997

A partire dal terremoto di Messina e Reggio Calabria del 1908 i provvedimenti normativi si indirizzarono sempre più verso l'applicazione della nascente tecnica del calcestruzzo armato anche agli interventi di recupero e restauro degli edifici murari. Il terremoto di Umbria e Marche del 1997 rappresentò il momento della precisa presa di coscienza del fallimento di tale tendenza o prassi tecnico- professionale.

Le prescrizioni della regola dell'arte contengono implicitamente le verifiche di sicurezza, poiché desunte da una pratica del costruire fatta di sperimentazioni costanti. Storicamente gli interventi normativi post sismici sono stati indirizzati a far fronte all'emergenza immediatamente successiva al sisma, ma in particolare a partire dal terremoto di Messina del 1908, si ha il primo passo verso un progressivo allontanamento dalla prassi costruttiva tradizionale. La rapida diffusione della tecnica del cemento armato ha infatti preso il sopravvento, nella prassi costruttiva, sulle tradizionali costruzioni murarie, nella erronea convinzione che essa potesse essere applicata anche agli interventi di restauro di edifici murari. La difficoltà della fase diagnostica sugli edifici murari, la paziente programmazione delle fasi di lavorazione propria di un cantiere murario ha favorito il radicarsi di tale convenzione i cui effetti non sono però tardati a mostrarsi. Da questo punto di vista possiamo considerare i tragici eventi dell'ultimo decennio come il momento in cui la comunità scientifica ha preso coscienza degli errori del passato, anche se nella prassi professionale tale consapevolezza stenta ancora a diffondersi. Soprattutto si stenta ad avere un chiaro riferimento metodologico per la corretta interpretazione dell'esistente e la definizione dei progetti di restauro degli edifici in zona sismica.

3.5.1. I Programmi di Recupero post sisma della regione Marche e la programmazione degli interventi in ambito urbano.

Il terremoto umbro marchigiano del 1997 segna un cambiamento di tendenza nelle modalità di intervento per il consolidamento degli edifici storici, dando il via a numerosi percorsi di studio. Nascono nuove domande riguardo alle tecniche di intervento sugli edifici murari utilizzate fino ad allora e dunque nuove tendenze e sperimentazioni anche in campo normativo.

A seguito del sisma del 26 settembre 1997 la Regione Marche ha predisposto 95 Programmi di recupero post sisma in applicazione dell'art.3 della Legge 30 marzo 1998, n. 61 [121].

I PR marchigiani costituiscono una esperienza fondamentale nella storia della normativa post-sismica poiché sottolineano l'importanza della tematica urbanistica nel recupero degli insediamenti storici o di parte di essi. Gli articoli della legge n.61/98 vengono, nell'esperienza marchigiana, declinati in "linee guida" con cui indirizzare alla tutela del paesaggio e dei valori di identità storica secondo una logica di programmazione

121 Legge 30 marzo 1998, n. 61, *Ulteriori interventi urgenti in favore delle zone terremotate delle regioni Marche e Umbria e di altre zone colpite da eventi calamitosi*, Pubblicata nella G.U. Serie Generale n. 75 del 31 marzo 1998;
Ordinanza del Ministero dell'Interno delegato per il coordinamento della protezione
civile n. 2823 del 5 agosto 1998 recante *Ulteriori disposizioni per fronteggiare la situazione di emergenza alla crisi sismica iniziata il 26 settembre 1997 che ha colpito il territorio delle regioni Marche e Umbria*, Articolo 2;
Ordinanza del Ministero dell'Interno delegato per il coordinamento della protezione
civile n. 2947 del 24 febbraio 1999 recante *Ulteriori disposizioni per i danni conseguenti la crisi sismica iniziata il 26 settembre 1997 nel territorio delle regioni Umbria e Marche*
Carocci C., Ceradini V., Cremonini I., Mazzotti P., Panzetta M., Smargiasso M., "Rassegna Ragionata dei programmi di recupero post sisma", *Attività di ricerca promossa dal Comitato Tecnico Scientifico della Ragione Marche*, Bollettino Ufficiale della Regione Marche n.3 del 21/03/2002

degli interventi in ambito urbano, come già introdotto nel piano paesistico regionale in vigore dal 1990.
Prima di questi programmi c'erano state altre importanti normative nazionali che sottolineavano l'aspetto urbanistico della prevenzione del rischio sismico. Innanzitutto la legge 457/1978 sui Piani di Recupero, ma in particolare, ad esempio, legge 14 Maggio 1981, n. 219 [122] emanata dopo il terremoto dell'Irpinia del novembre 1980, all'articolo 10 introduce per la prima volta l'obbligo dei comuni colpiti da sisma di redigere dei Piani di Recupero intesi più che altro come Piani di Ricostruzione.
L'aspetto innovativo sta nel fatto che queste disposizioni dovevano essere riportate negli strumenti urbanistici sovraordinati, dimostrazione del fatto che tali indicazioni hanno ricadute sulla programmazione urbanistica dell'intera città poiché gli eventi sismici possono stravolgere notevolmente gli assetti urbani.
Dopo il terremoto del Valle di Comino (parco nazionale di Abruzzo, Lazio e Molise) del maggio 1984, inoltre, si ebbe una nuova normativa sismica che introdusse un altro strumento di gestione delle emergenze, i cosiddetti Progetti Unitari, che operano a una scala più piccola dei PR, relativa a complessi edificati, una scala che possiamo ricondurre a quella degli aggregati.
I PR appartengono alla categoria degli strumenti "complessi", strumenti urbanistici flessibili e caratterizzati dalla pluralità dei soggetti protagonisti. I criteri per la definizione di tali strumenti vennero definiti infatti congiuntamente non solo dalle regioni Marche ed Umbria ma anche da tutti gli altri enti preposti alla loro applicazione. A tal proposito la regione Marche ha garantito la collaborazione permanente con gli enti attraverso l'istituzione di appositi "uffici sisma" per snellire le procedure burocratiche inerenti la ricostruzione.
I PR sono approvati dalla regione, previa approvazione della perimetrazione delle aree interessate, tale approvazione corrisponde alla approvazione di una parte dei finanziamenti, in particolare per gli interventi unitari e di risanamento idrogeologico.
I soggetti attuatori sono i privati proprietari degli immobili, che nel casi di interventi unitari sono obbligati a riunirsi in consorzio.
I PR, secondo la legge 61, all'art 3, devono evidenziare i danni subiti dalle opere, proporre degli interventi e stimarne i costi. La legge è particolarmente importante poiché è la prima a disporre dei fondi anche per l'azione di prevenzione della vulnerabilità sismica urbana. C'è da dire però che i PR non propongono una metodologia di lettura della vulnerabilità sismica urbana, limitandosi solo ad indicare quali sono i punti critici presenti nel tessuto urbano, in particolare riferendosi alle sopraelevazioni.
La DGR n.1224/1998 [123] infatti non chiarisce i principi e le modalità di valutazione e riduzione della vulnerabilità sismica, ma richiede solo in maniera facoltativa la redazione di una tavola in scala 1:1000 o 1:2000 con gli interventi di riduzione della vulnerabilità sismica, senza specificarne i contenuti.
La legge nazionale n.61/1998, che istituisce i PR, viene applicata dalla regione Mar-

122 Legge 14 Maggio 1981 n. 219, *Istruzioni relative alla normativa tecnica per la riparazione ed il rafforzamento degli edifici in muratura danneggiati dal sisma*
123 Deliberazione della G.R. n. 1224 SI/LPU del 1/06/1998, *Procedure per la formazione dei programmi di recupero*

che attraverso la redazione di due allegati: le "*Linee di indirizzo per la progettazione e la realizzazione degli interventi di ricostruzione degli edifici distrutti e di ripristino, con miglioramento sismico, degli edifici danneggiati dal sisma del 26.9.97 e giorni successivi in Umbria e Marche*" e le "*Linee di indirizzo per la definizione dei criteri in base ai quali i comuni perimetrano i centri o i nuclei o parti di essi, di particolare interesse e maggiormente colpiti, nei quali gli interventi sono attuati attraverso programmi di recupero*"[124].

Nelle Linee di indirizzo per la progettazione si definisce cosa si intende per edificio oggetto di intervento, in tutte le accezioni relative alla sua interazione con il tessuto, riprendendo una definizione presente nell'allegato A al decreto commissariale n. 212 del 31.12.97.

"*L'edificio è così caratterizzato:*

-per gli organismi isolati, l'intero complesso esteso in altezza dalle fondazioni alla copertura e planimetricamente individuato dalle chiusure verticali, comprendente le eventuali parti a getto; qualora l'edificio isolato fosse strutturalmente suddiviso in più parti da giunti verticali, di ampiezza non inferiore a quella prescritta per i giunti sismici si può considerare ogni singola parte come edificio; pertanto l'edificio viene in tali casi definito come unità urbanisticamente isolata o strutturalmente isolata con giunti sismici;

- se si può identificare un organismo dotato di caratteri di unitarietà come tipologia ed epoca di costruzione, continuità delle chiusure verticali ed omogeneità delle quote degli orizzontamenti può essere considerato edificio un corpo di fabbrica planimetricamente aggregato, a condizione che vengano opportunamente valutate le interazioni con i corpi contermini. Per tali situazioni la porzione da esaminare viene definita, oltre che dalle pareti di chiusura verticale libere, da sezioni verticali passanti per le mezzerie dei vani adiacenti alle pareti di chiusura verticale di confine. Pertanto, per gli edifici aggregati longitudinalmente su un lato, quali il primo di una schiera, l'edificio é planimetricamente definito dal prospetto e dal retroprospetto, dal fianco laterale libero e da una sezione verticale passante per la mezzeria dei vani adiacenti al fianco aggregato, esterni a questo. Per gli edifici aggregati su due lati, quali l'intermedio di una schiera, l'edificio é planimetricamente individuato dal prospetto e dal retroprospetto e da due sezioni verticali passanti per le mezzerie dei vani adiacenti ai due fianchi aggregati esterni a questi; parimenti per l'edificio d'angolo di due schiere, l'edificio è planimetricamente individuato dai due prospetti concorrenti nell'angolo e da due sezioni verticali passanti per le mezzerie dei vani adiacenti ai due fianchi aggregati, esterni a questi. Per gli edifici aggregati su tre lati, la situazione può essere accettata solo se viene motivata l'impossibilità di trattare un complesso più ampio; in tali casi l'edificio è planimetricamente individuato dal prospetto e da tre sezioni verticali passanti per le mezzerie dei vani adiacenti ai tre fianchi aggregati esterni a questi. Se la struttura portante é a scheletro, l'edificio deve essere preferenzialmente isolato o individuato da

124 Deliberazione Amministrativa del Consiglio Regionale n. 198 del 12 maggio 1998, *Criteri per la perimetrazione dei programmi di recupero*

giunti sismici; l'edificio aggregato può essere considerato solo se viene motivata l'impossibilità di trattare un complesso più ampio per ottenere un edificio isolato e se viene garantito che le interazioni con le parti contermini sono non influenti o se tali interazioni vengono opportunamente considerate. Nei casi di edifici aggregati, per l'edificio in esame vanno considerate, anche con schemi limite, le interazioni con i fabbricati contermini che possono risultare nulle, ovvero di irrigidimento e sostegno, oppure di aggravio del cimento sismico. Dall'analisi dei vani esterni ai confini, sulle cui mezzerie passano le sezioni verticali che individuano l'edificio, vanno tratte le necessarie informazioni per la determinazione dei pesi che influiscono sulle parti di confine".
Per gli edifici in muratura le "*Linee di indirizzo per la progettazione*" propongono che :
"*Gli interventi di ripristino, con riparazione e miglioramento sismico, degli edifici danneggiati devono assicurare, al minimo, la riduzione o l'eliminazione delle carenze strutturali che ne influenzano sfavorevolmente il comportamento sismico*".
"*Il progettista deve dimostrare la necessità e l'efficacia degli interventi proposti attraverso un'analisi anche comparata, delle caratteristiche di vulnerabilità possedute dall'edificio e del tipo ed entità dei danni subiti con particolare riferimento ai seguenti aspetti:*

a) carenza di collegamenti fra orizzontamenti e murature e fra questi ultimi;
b) presenza di spinte non contrastate in elementi voltati e di copertura;
c) carenza di resistenza nelle murature, sia alle azioni orizzontali, sia ai carichi verticali;
d) carenza di collegamento negli elementi non strutturali.

Le "Linee di indirizzo per la perimetrazione delle aree oggetto di Programma di recupero", stabiliscono invece che "*Il programma di recupero é finalizzato al miglioramento sismico e alla riqualificazione di un abitato (o di parte significativa di esso), che risulti maggiormente colpito e di particolare interesse*", ai sensi della legge 61/1998. Il PR, secondo l'allegato, è uno strumento attraverso cui operare in maniera globale ed unitaria sul patrimonio edificato danneggiato, escludendo logiche di espansione edilizia.
L'aspetto che viene qui ritenuto di fondamentale importanza è l'introduzione nei PR di uno strumento di controllo della progettazione degli interventi di ricostruzione e restauro alla scala dell'aggregato, rappresentato dagli "Interventi Unitari". Tali interventi sono relativi a "*edifici o complessi di edifici tra loro collegati, con particolare riferimento alla integrazione strutturale, di cui all'art.2, comma4, della legge, tali da richiedere una progettazione unitaria ed una conseguente esecuzione unitaria*" [125]. Questo concetto porta a misurasi non più con il singolo edificio ma con un complesso di edifici aventi unitarietà ed interdipendenza strutturale. Attraverso gli Interventi Unitari si contribuisce alla diffusione della consapevolezza, nei tecnici come negli amministratori, dell'impossibilità di affrontare il consolidamento sismico di un edificio se non in una logica sistemica. La perimetrazione delle aree soggette ad intervento unitario avviene attraverso il riconoscimento delle "*unità*

125 Deliberazione Amministrativa del Consiglio Regionale n. 198 del 12 maggio 1998, *Criteri per la perimetrazione dei programmi di recupero*. La successiva delibera di Giunta n.2976/1999 formalizzerà i *Criteri per la valutazione degli interventi unitari*

minime di intervento antisismico", così come stabilito dalla legge stessa.
L'art. 2 della legge 61, prevede l'intervento su un comparto edilizio costituito da edifici strutturalmente interdipendenti attraverso gli Interventi Unitari. È la delibera DCR n.198/1998 che precisa cosa si intende per edificio nelle situazioni di aggregazione, dicendo che vanno considerate "*anche con schemi limite, le interazioni con i fabbricati contermini, che possono risultare nulle ovvero di irrigidimento e sostegno oppure ancora di aggravio del cimento sismico*".
La DACR n.238 del 1998[126], integrando la DACR n.198 del 1998, specifica gli Interventi Unitari devono essere effettuati su edifici collegati e con integrazione strutturale tale da richiedere una progettazione unitaria: "*la nozione di 'intervento unitario" concerne l'individuazione, all'interno dei programmi di recupero, degli edifici o complessi di edifici tra foro collegati, con particolare riferimento alla interazione strutturale di cui all'articolo 2, comma 4, della legge, tali da richiedere una progettazione unitaria ed una conseguente esecuzione unitaria*".
Gli elaborati previsti per gli interventi unitari, come stabilito dal DGR n.1224/ 1998[127], sono: documentazione fotografica dei complessi edilizi, rilievo in scala minima 1:500, con piante e sezioni, in modo da consentire la comprensione dello stato precedente al sisma. Per gli interveti di ristrutturazione urbanistica, inoltre, devono essere indicati i cambiamenti di volumetria anche in funzione delle ricadute sul calcolo degli standard urbanistici. Ciò dimostra come il problema venga affrontato solo dal punto di vista compositivo e urbanistico e non strutturale, operativo e cantieristico. Per questo la regione, nell'estate 1999, dovette organizzare, attraverso il Comitato Tecnico scientifico ed ai sensi dell'Ordinanza del Ministero dell'Interno 2742/1998, dei corsi informativi sull'argomento sia per i dirigenti pubblici che per i professionisti. A costituire oggetto di aggiornamento e formazione dei tecnici pubblici sono stati anche i "Criteri per la valutazione" dei progetti relativi agli "interventi unitari", attraverso la delibera GR N.2976 del 29-11-1999 . Questa delibera illustra il corretto percorso per la redazione dei progetti nell'ambito degli interventi unitari e per la loro valutazione da parte dei tecnici delle pubbliche amministrazioni.
Per lo studio degli edifici in condizione di aggregazione attraverso gli Interventi Unitari è considerato fondamentale dalla normativa regionale il rilievo.
Il rilievo geometrico e strutturale mira ad indicare:

- irregolarità morfologiche dovute all'andamento del terreno
- l'adiacenza di scatole murarie di dimensioni molto diverse, come nel caso di edifici specialistici inseriti in tessuti edilizi residenziali
- le strutture preesistenti inglobate nelle scatole murarie attuali, come mura urbane inglobate in edifici
- strutture di fondazione, edifici che poggiano su vecchie fondazioni
- condizioni di vincolo, connessioni tra pareti e orizzontamenti

126 Deliberazione Amministrativa del Consiglio Regionale n. 238 del 1/12/1998, *Criteri di valutazione e di priorità per l'approvazione dei programmi di recupero*
127 Deliberazione della G.R. n. 1224 SI/LPU del 1/06/1998, *Procedure per la formazione dei programmi di recupero*

- congruenza strutturale del sistema delle aperture
- caratteristiche di contatto tra edifici con diversa struttura portante

Il rilievo critico è finalizzato a:

- rappresentare le "tracce"di formazione e trasformazione storica del tessuto edilizio attuale supportata dalla ricerca archivistica e dall'osservazione diretta del manufatto
- individuare i punti di particolare debolezza che sono all'origine dei dissesti sismici: nodi privi di ammorsature efficaci; discontinuità nelle murature, come per esempio aperture tamponate senza ammorsatura, vecchie canne fumarie dimenticate nelle murature, riprese murarie non ammorsate; eliminazione di elementi costruttivi; inserimento di elementi estranei
- rappresentare interventi strutturali pregressi che abbiano mutato il comportamento strutturale e le caratteristiche di resistenza o di rigidezza degli orizzontamenti o delle murature.

Nell'esperienza delle Marche spesso il fatto che siano stati attuati dei progetti unitari non ha necessariamente portato all'intervento su tutto l'isolato. In alcuni casi infatti alcuni edifici inagibili erano stati già riparati ai sensi del DCD n.121 del 17-11-1997 attraverso dei contributi "leggeri" fino ad un massimo di lire 60.000.000 per unità immobiliare. Il DCD 121/1997 infatti permette di intervenire anche su edifici inagibili inclusi nei PR per agevolare il rientro di famiglie disagiate. Esso inoltre si riferisce anche agli edifici aggregati: *"Si definisce edificio un fabbricato con continuità strutturale, delimitato da cielo a terra da pareti portanti verticali cieche, tranne che per aperture si strade e spazi liberi. Possono comportare eccezioni pareti con modeste aperture, quando le porzioni di edificato adiacente abbiano caratteristiche strutturali diverse (non configurandosi l'edificio come un unico organismo statico che realizza una completa solidarietà strutturale): fabbricati costruiti in epoca diversa; fabbricati costruiti con materiali diversi; fabbricati con solai posti a quota diversa; fabbricati aderenti solo in minima parte".*
Una scorretta interpretazione di questo passaggio così articolato potrebbe fare pensare che proprio per edifici non strutturalmente omogenei attigui non si debba intervenire con Intervento Unitario.
Alcuni edifici non danneggiati come stabilito dalla soglia di danno della Legge 61/98 non potevano rientrare negli Interventi Unitari, per questo l'OMI n.3076 del 24-07-2000 ha stabilito, all'art 14 che i contributi per la ricostruzione potessero essere estesi anche agli edifici non danneggiati purché siano indispensabili ai fini di un corretto interveto su tutto l'aggregato in maniera unitaria.
Gli Interventi Unitari previsti dalla legge 61 sono stati individuati all'interno di alcuni isolati dei centri abitati delle marche oggetto di PR. Si è proceduto prima di tutto alla classificazione degli insediamenti urbani, in relazione alla morfologia del sito, e suc-

cessivamente alla classificazione delle tipologie di isolato presenti nel corrispondente insediamento.
La scelta dell' Iintervento Unitario spesso non avviene secondo esigenze di carattere strutturale legate alla riduzione della vulnerabilità, ma solo a livello di uniformità formale delle facciate in termini di aperture e coronamenti. In alcuni casi, come a Serravalle, si organizzano dei "sottoprogetti", con lo scopo di rendere più semplice l'unione dei soggetti privati interessati perché lo scopo prevalente è la rapidità dell'esecuzione (siamo comunque in condizioni di emergenza). In alcuni progetti quelle irregolarità morfologiche dei tessuti che possono influire sulla vulnerabilità sono indicati nelle relazioni come degli impedimenti all'esecuzione dell'IU, non come degli elementi da risolvere appunto tramite la redazione di un progetto che tenga in considerazione tutti gli aspetti. Ciò dimostra come non fosse chiara la motivazione preventiva e di comprensione del comportamento sismico d'assieme ispirata dalla legge 61.
La legge 61/98 è comunque assolutamente innovativa poiché propone una atteggiamento di prevenzione della vulnerabilità urbana che, seppure non obbligatoria nella legislazione regionale, ha visto nelle Marche una applicazione sul 40% dei 95 comuni interessati da PR. Per la prima volta dunque una norma sismica di urgenza relativa alla ricostruzione post sismica in Italia ha una strutturazione tale da indirizzare alla prevenzione e dunque alla riduzione della vulnerabilità sismica.
L'estensione della esperienza dei PR delineati dalla legge 61/98 anche a realtà urbane non recentemente colpite da terremoti potrebbe rappresentare una importante azione di prevenzione sismica, poiché potrebbero costituire un patrimonio di conoscenza di partenza per l'affinamento delle modalità di intervento sul costruito, rendendo partecipe la popolazione e intervenendo con più sistematicità anche nella formazione del personale tecnico e professionale.

3.5.2. Metodologia di intervento sugli edifici monumentali proposta dal Comitato Nazionale per la Protezione del Patrimonio Culturale dal Rischio Sismico

Il grande dibattito sulla conservazione del patrimonio artistico in zona sismica vede come protagonista il Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, attraverso l'istituzione del Comitato Nazionale per la Protezione del Patrimonio Culturale dal Rischio Sismico, presieduto da Romeo Ballardini[128]. Il primo documento che dimostra la presa di conoscenza della difficoltà di conciliazione dei termini di sicurezza e conservazione in riferimento alle strutture storiche è la Circolare del Ministero dei Beni Culturali ed Ambientali del 18 Luglio 1986 n.1032 [129].Tale Circolare, seguita al DM del 24/1/1986, denuncia l'inadeguatezza delle tecniche di intervento utilizzate che forniscono un grado "illusorio" di sicurezza.
Propone una serie di indicazioni da seguire per gli interventi di restauro dei monumenti in zona sismica, affidando al Comitato Nazionale per la Protezione del Patrimonio

128 Il Comitato Nazionale per la Prevenzione del Patrimonio Culturale dal Rischio Sismico era costituito da R. Ballardini, presidente, C. Gavarini, S. D'Agostino, C. Viggiani, V. Petrini, A. Frallone, F. Braga, A. Corsangelo, G. Miarelli, F. Doglioni, E. Coccia, G. Di Geso, P. Marconi, dai rappresentanti dei ministeri interessati. E' stato istituito nel 1984 con Decreto 7 agosto 1984 del Ministro per i Beni e le Attività Culturali di concerto con il Ministro dell'Interno e per il Coordinamento della Protezione Civile, *Istituzione presso il Ministero per i Beni Culturali e Ambientali del Comitato per la Prevenzione del Patrimonio Culturale dal Rischio Sismico*

129 Circolare del Ministero dei Beni Culturali ed Ambientali del 18 Luglio 1986 n.1032, *Interventi sul patrimonio monumentale in zone sismiche - Direttive per la realizzazione ed esecuzione di progetti di restauro comprendenti interventi di "miglioramento", antisismico e "manutenzione" nei complessi architettonici di valore storico - artistico in zona sismica*

Culturale dal Rischio Sismico il compito di approfondire sistematicamente gli interventi di miglioramento così come previsto dal decreto ministeriale 24-1-1986.
Essa si limita a ritenere necessaria:

- "*una particolare attenzione ai materiali e magisteri originali, nonché alle trasformazioni successive;*
- *una attenta ricostruzione della storia sismica del manufatto, con particolare riguardo per le eventuali riparazioni seguite ad eventi sismici passati;*
- *un rigoroso e sistematico approccio interdisciplinare in tutte le fasi progettuali, con particolare riferimento agli apporti architettonici, storici, geotecnici, strutturali, impiantistici (se del caso);*
- *il ricorso a tecniche e materiali il più possibile vicini agli originali*".

Inoltre per quanto riguarda gli interventi, stabilisce dei principi da seguire nel rispetto sia della logica costruttiva muraria che del patrimonio monumentale cui l'edificio appartiene.
Ritiene importante, ad esempio, intervenire sul miglioramento dei collegamenti specie se compromessi dai sismi precedenti o da mancata manutenzione attribuendo dunque un ruolo fondamentale al comportamento scatolare della costruzione muraria.
Inoltre stabilisce il principio secondo cui gli interventi sulla costruzione muraria sono strutturalmente e storicamente ammessi solo se realizzati nella logica muraria. Ne scaturisce che:

- "*verifica e riparazione degli orizzontamenti (tetti, solai, archi, volte, piattabande) debbano essere realizzati con procedimenti prevalentemente tradizionali (sostituzione parziale dei soli elementi lignei degradati, ripristino della tensione di catene e capochiave, irrigidimenti dei tavolati con un secondo tavolato chiodato, collocazione di nuove tirantature ai piani a bassa tensione di esercizio, reintegrazioni parziali di archi o piattabande, ecc.);*
- *verifica e riparazione delle lesioni verticali o subverticali con procedimenti tradizionali ai fini di ricostruire, pur senza eccessivi irrigidimenti, la continuità della compagine muraria;*
- *scarnitura dei giunti, rabboccatura e ripristino con malta tradizionale degli intonaci laddove esistevano e sono caduti, a reintegrazione delle capacità portanti della compagine muraria, con attenzione ad eventuali intonaci decorati*".

Nella pratica alcune espressioni possono rimandare a interventi poco legittimi sotto l'aspetto strutturale e conservativo. A esempio il risarcire le lesioni "*pur senza eccessivi irrigidimenti*"può portare a ritenere corretti interventi come gli intonaci armati.
Per conseguire tali obiettivi la Circolare elenca gli elaborati grafici necessari e tra questi in particolare sottolinea lo studio della storia sismica del sito, da cui trarre considerazioni su interventi di restauro pregressi sui segni di danni subiti dagli edifici e allo stesso tempo fare una valutazione sull'intensità sismica attesa. Oltre che della storia sismica la circolare parla per la prima volta di un "*dettagliato rilievo critico che riporti i dati acquisiti*

incrociandoli con dati ricavabili attraverso l'utilizzo di strumentazioni diagnostiche". Ciò dimostra come si cominci a dare importanza alla osservazione critica del monumento e a ciò che lui stesso può suggerire. Il Comitato Nazionale per la Prevenzione del Patrimonio Culturale del Rischio Sismico, istituito nel 1984, ha redatto numerose norme per la tutela del patrimonio culturale dal rischio sismico, via via aggiornandole in relazione al progredire degli studi.
Nel 1996 il Comitato Nazionale per la Prevenzione del Patrimonio Culturale dal Rischio Sismico del Ministero per i Beni Culturali ed Ambientali, emana le "*Norme tecniche per la redazione di progetti di restauro relativi a Beni architettonici di valore storico-artistico in zona sismica*" [130].
Le norme del 1996 sono riferite agli edifici soggetti a vincolo monumentale, del 1939, per i quali vanno applicati gli interventi di "miglioramento" stabiliti dal decreto del 16 Gennaio 1996. Esse ritengono che:*"Il tipo di intervento di miglioramento costituisce punto di incontro tra le esigenze della conservazione dei caratteri storico-artistici del complesso edilizio da un lato, e quelle della sicurezza dall'altro"* .

Le Norme del Comitato Nazionale per la Prevenzione del Patrimonio Culturale dal Rischio Sismico del 1996 prevedono tra l'altro:

- *"Nel caso di murature con caratteristiche meccaniche particolarmente scadenti, si potrà ricorrere alla tecnica dell'iniezione di miscele leganti, di cui andrà preventivamente provata la compatibilità e l'efficacia, tenendo anche conto delle protezioni eventualmente necessarie ad impedire il danneggiamento dei parametri esterni prodotto dalla miscela.*
- *Le perforazioni armate sono da evitare come intervento sistematico di consolidamento della muratura, per l'insieme di impatti prodotti. Potranno essere adottate in via eccezionale, in modo localizzato, ove il loro impiego si rilevi motivatamente utile a risolvere problemi di connessione tra murature con impatti minori rispetto ad altre tecniche.*
- *Sono da evitare in generale e comunque da considerare solo in mancanza di alternative da dimostrare con dettagliata specifica tecnica, gli inserimenti generalizzati di anime metalliche, perforazioni armate, precompressioni ed in generale gli interventi non reversibili volti a conferire a colonne e pilastri resistenza a flessione e taglio, modificando il comportamento di insieme della struttura.*
- *Va evitato comunque il ricorso a tecniche di placcaggio all'estradosso con realizzazione di controvolte in calcestruzzo o simili, armate o meno, a favore di interventi che riducano i carichi e/o diminuiscano le eccentricità e/o vincolino la deformazione all'estradosso (rinfianchi alleggeriti, frenelli, ecc.). Tale intervento è ammesso solo se non esistono valide alternative".*

130 Comitato nazionale per la prevenzione del patrimonio culturale dal rischio sismico, Ministero per i beni culturali ed ambientali, "*Norme tecniche per la redazione di progetti di restauro relativi a Beni architettonici di valore storico-artistico in zona sismica*", 29 ottobre 1996; Ministero dei Lavori Pubblici, Presidenza del Consiglio Superiore Servizio Tecnico Centrale, Circolare n. 65/AA.GG. del 10 aprile 1997, *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D.M. 16 gennaio 1996*

Uno dei più importanti documenti redatti dalla Commissione Ballardini sulla metodologia di interpretazione del patrimonio architettonico ai fini dell'intervento di restauro antisismico è rappresentato, infine, dalle Istruzioni generali per la redazione dei progetti di restauro dei beni architettonici di valore storico artistico in zona sismica del novembre 1997, successivo al sisma di Umbria e Marche. [131]

	Riferimento normativo	Contenuti essenziali
IL FALLIMENTO DELL'APPLICAZIONE DELLE TECNICHE MODERNE AGLI INTERVENTI SUGLI EDIFICI MURARI	L. n. 61 del 1998	• I "Programmi di Recupero" della regione Marche • Introduzione degli "Interventi Unitari" • Introduzione dell'intervento integrato sia a livello urbanistico che edilizio • Introduzione del concetto di intervento alla scala dell'aggregato • Descrizione delle operazioni preliminari al progetto di mitigazione della vulnerabilità
	Metodologia di intervento sugli edifici monumentali proposta dal Comitato Nazionale per la Protezione del Patrimonio Culturale dal Rischio Sismico	• Affermazione della tecnica muraria per gli interventi di protezione dal rischio sismico dei monumenti

131 Comitato nazionale per la prevenzione del patrimonio culturale dal rischio sismico, Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, *Istruzioni generali per la redazioni per la redazione dei progetti di restauro dei beni architettonici di valore storico artistico in zona sismica*, approvata in data 28 novembre 1997 con voto n.564

3.6. Normativa sismica vigente

3.6.1. L'evoluzione della classificazione sismica del territorio nazionale e l'Ordinanza 3274/03

Il terremoto di Messina del 1908 si può considerare spartiacque tra due diversi atteggiamenti della cultura sismica italiana per due diversi motivi. Innanzitutto segna l'inizio del processo di classificazione sismica del territorio nazionale attraverso uno studio sistematico e scientifico degli eventi sismici ed inoltre perchè la ricostruzione che ne seguì diede avvio alla diffusione a larga scala delle tecniche di consolidamento che adoperano strutture in cemento armato.

Dopo il sisma di Messina si intraprese una prima classificazione sismica del territorio italiano che però procedeva con il susseguirsi dei diversi terremoti. La catalogazione avveniva infatti non attraverso un vero studio sismologico e geodinamico dei suoli ma solamente in maniera empirica e statistica. Tutte le aree colpite prima del 1908 quindi non avevano classificazione e risultavano non sismiche.

Con la legge del 2/2/1974 n°64 il Ministero dei Lavori Pubblici si impegnò ad aggiornare, secondo stabilite modalità, la classificazione delle zone sismiche in maniera differenziata (vedi capitolo 3.4.5. parte I)

Nel 1980 un progetto del CNR, poi tradotto in regolamento nel 1981 e 1984, per la prima volta propose una metodologia di classificazione basata su strumenti quantitativi omogenei per tutto il territorio nazionale.

Fino al 1998 la competenza della zonizzazione sismica del territorio spettava al Ministero dei Lavori Pubblici. Con il Dlgs n°112/1998 questa competenza passò alle regioni mentre allo stato spettò il compito di stabilire i criteri generali.

Nel 1999 la competenza in materia di sismicità venne delegata dal Ministero dei Lavori Pubblici alla neo istituita Agenzia di Protezione Civile, con Dlg 300/1999.

Con il Dlg 343/2001 infine la competenza passò alla Protezione Civile, che sostituì l'agenzia mai entrata in vigore.

Di fatto dal 1984 al 2003, data di entrata in vigore dell'Ordinanza[132], sia la classificazione che le norme sismiche non erano mai state aggiornate nonostante il Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti (GNDT) e il Dipartimento di Protezione Civile (DPC) abbiano, già dal 1996, intrapreso diversi studi su tali tematiche. Nel 1997 infatti il DPC intraprese una classificazione sismica del territorio italiano. Nel 1998 si istituì una commissione con il compito di dettare di criteri con cui le regioni avrebbero potuto procedere con la classificazione, come previsto del decreto legislativo 112/1998, i cui risultati vennero pubblicati nella relazione dell'anno seguente. Nel 2000 il GNDT e il Servizio Sismico Nazionale (SSN) proposero una prima mappa di pericolosità.

Nel 2002 il DPC e il SSN proposero una bozza per la definizione di criteri di classificazione sismica dal presentare alle regioni, sulla base del lavoro già fatto nel 1998.

In seguito agli eventi calamitosi di San Giuliano di Puglia del 2002 il problema della

132 Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 Marzo 2003 n. 3274, *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*

zonizzazione sismica divenne di estrema rilevanza e priorità, dato che quell'area era ritenuta non a rischio sismico. Per questo motivo venne emanata la nuova Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003.
Tale Ordinanza ho come obiettivo la definizione di modalità comuni a tutte le regioni per la classificazione delle zone simiche e la definizione di norme di progettazione antisismica, basandosi sulle analisi condotte da una Commissione per lo studio della definizione dei criteri generali per la definizione delle zone sismiche istituita nel 2002. La relazione[133] della Commissione scientifica incaricata di redigere questa Ordinanza sottolinea che le operazioni condotte sono state sostanzialmente indirizzate alla omogeneizzazione delle norme italiane al sistema degli Eurocodici (in particolare l' EC8); l'eliminazione della differenza tra "zone classificate" e "zone non classificate" che di fatto sottintendeva zone sismiche o non sismiche, con l'estensione della zona a sismicità 4 a tutto il territorio precedentemente non classificato. Il quadro normativo di riferimento precedente era costituito dal DM Min LLPP 16 gennaio 1996, Norme per la costruzione degli edifici in zona sismica, ritenuto superato perché fornisce indicazioni di tipo prescrittivo e non prestazionale, come invece è previsto dagli eurocodici. Inoltre prevedeva ancora delle zone non sismiche come San Giuliano di Puglia (Molise), colpito dal terremoto del 2002.
Nell'Allegato 1 all'Ordinanza infatti vengono indicati i criteri per l'individuazione delle zone sismiche, attraverso il calcolo del coefficiente di accelerazione di picco orizzontale al suolo a_g (che deve avvenire con metodi riconosciuti), riferito all'accelerazione di gravità g.
In funzione di 4 valori di a_g/g vengono individuate dunque quattro zone sismiche:

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni
1	> 0,25
2	0,15 – 0,25
3	0,05 – 0,15
4	< 0,05

Si estendono dunque a zona sismica anche tutte le aree precedentemente non classificate e che ricadono adesso in zona 4.
Per gli interventi sugli edifici murari esistenti si riprende la distinzione tra interventi di adeguamento sismico e interventi di miglioramento sismico.

133 *Normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica e connessa classificazione sismica del territorio nazionale, Documento esplicativo*, 15 gennaio 2003, gruppo di lavoro: G.M. Calvi (coordinatore), E. Boschi, P.E. Pinto, E. Cosenza, M. Dolce, M. Stucchi. Collaboratori: F. Sorbetta (Dipartimento della Protezione Civile), F. Mazzolani (Università di Napoli "Federico II").

3.6.2. Processo metodologico conoscitivo proposto dall'Ordinanza e dalle Linee Guida

L'evoluzione normativa degli ultimi trenta anni ha dimostrato, soprattutto alla luce dei terremoti di Umbria e Marche del 1997, di San Giuliano di Puglia del 2002 e di L'Aquila del 2009, come non sia possibile stabilire dei corretti criteri di intervento sul patrimonio edilizio esistente, monumentale e non, senza tener conto sia della natura costruttiva dell'edificio che della sua interazione con il tessuto di cui fa parte. Per far questo è fondamentale la conoscenza e la riappropriazione del patrimonio di informazioni relativo alle modalità di edificazione delle costruzioni murarie, in parte andato perso. Ciò sta alla base dell' Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 Marzo 2003 (modificata ed integrata nel 2005) che ha introdotto il concetto di aggregato. L'approccio metodologico di intervento sugli edifici in aggregato è stato invece illustrato dalle Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni, del 2006[134].
La finalità delle Linee Guida è la specificazione del *"percorso di conoscenza, valutazione della sicurezza sismica e progetto degli eventuali interventi, concettualmente analogo a quello previsto per le costruzioni non tutelate, ma opportunamente adattato alle esigenze e peculiarità del patrimonio culturale".*
Nell' ultimo sostanziale aggiornamento dell'OPCM 3274/2003, costituito dall'Ordinanza n. 3431/2005 [135], si introduce dunque per la prima volta il concetto di aggregato edilizio. L'aggregato edilizio, si legge nell'allegato 2 a tale ordinanza, *"è costituito da un insieme di parti che sono il risultato di una genesi articolata e non unitaria, dovuta a molteplici fattori (sequenza costruttiva, cambio di materiali, mutate esigenze, avvicendarsi dei proprietari, etc.)"*[136].
Per la valutazione della sicurezza sismica degli edifici in aggregato l'ordinanza specifica, la necessità di comprendere il comportamento del singolo edificio murario in relazione al sistema complesso di cui esso fa parte, valutando le *"possibili interazioni derivanti dalla contiguità strutturale con gli edifici adiacenti, connessi o in aderenza ad esso".* Per fare ciò viene introdotto il concetto di Unità Strutturale (US), intesa in modo ancora troppo semplificato, come la componente strutturale del singolo edificio in esame, su cui evidenziare le azioni derivanti dalle unità strutturali contigue. L'ordinanza stabilisce dei criteri generali secondo cui individuare, all'interno di una porzione di aggregato, la relativa US, evidenziando soprattutto il fatto che essa deve tener conto sia dei carichi, statici e sismici, che delle caratteristiche costruttive degli elementi che la costituiscono, al fine di indirizzare il progetto verso soluzioni congruenti con l'originaria configurazione strutturale.
Si accenna al fatto che nella perimetrazione dell'US essa possa ricadere tra due o più unità immobiliari, senza specificare come muoversi al riguardo ma stabilendo solo che il criteri di scelta deve essere mosso anche dall'esigenza di minimizzare la frammenta-

134 Dipartimento della Protezione Civile e Dipartimento per i Beni Culturali e Paesaggistici, in attuazione del Decreto Interministeriale 23 maggio 2005 finalizzato all'elaborazione delle Linee Guida per l'applicazione al patrimonio culturale della normativa tecnica di cui all'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni*, 21 luglio 2006

135 Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3431 del 3 maggio 2005, *Ulteriori modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003 recante "Primi elementi in materia di criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".*

136 Testo integrato dell'Allegato 2 – Edifici – all'Ordinanza 3274/2003 come modificato dall'OPCM 3431 del 3/5/05, capitolo 11.5.4.3.2

zione in interventi singoli. A tal proposito si parla di "dimensione operativa minima", che il progettista può individuare tra *"l'insieme delle unità immobiliari costituenti il sistema", o tra "porzioni più o meno estese del contesto urbano".*
La perimetrazione dell'US sarà guidata dal fatto che, dal punto di vista del flusso dei carichi verticali, l'US dovrà avere continuità da cielo a terra e, di norma, potrebbe essere delimitata da spazi aperti, da giunti strutturali, da edifici contigui costruiti, ad esempio, con tipologie strutturali diverse, o con materiali diversi, oppure in epoche diverse.
"Tra le interazioni strutturali con gli edifici adiacenti si dovranno considerare: carichi (sia verticali che orizzontali, in presenza di sisma) provenienti da solai o da pareti di US adiacenti; spinte di archi e volte appartenenti ad US contigue; spinte provenienti da archi di contrasto o da tiranti ancorati su altri edifici. La rappresentazione dell'US attraverso piante, alzati e sezioni permetterà di valutare la diffusione delle sollecitazioni e l'interazione fra le US contigue.
Oltre a quanto normalmente previsto per gli edifici non disposti in aggregato, dovranno essere valutati gli effetti di: spinte non contrastate causate da orizzontamenti sfalsati di quota sulle pareti in comune con le US adiacenti; effetti locali causati da prospetti non allineati, o da differenze di altezza o di rigidezza tra US adiacenti, azioni di ribaltamento e di traslazione che interessano le pareti nelle US di testata delle tipologie seriali (schiere). Dovrà essere considerato inoltre il possibile martellamento nei giunti tra US adiacenti".
L'interazione tra edifici appartenenti allo stesso aggregato e dunque la necessità di lettura a una scala maggiore di quella della singola unità edilizia viene sottolineata anche nelle Linee Guida in cui, oltre a definire una metodologia di base per il processo di conoscenza finalizzato al progetto di conservazione e sicurezza dei monumenti, si introduce il termine *"complesso architettonico"* (CA).
"Si intende per complesso architettonico un sistema di più copri di fabbrica collegati fisicamente tra loro a formare un'entità spaziale circoscritta".
Il complesso architettonico può essere *"isolato"* o *"non isolato".* Nel secondo caso si parla di *"aggregato"* e le porzioni che lo costituiscono sono i *"Corpi di fabbrica costituenti"* (CF).
Le Linee Guida, come detto in precedenza, illustrano la metodologia di di intervento sui monumenti estendibile agli edifici in genere. Esse però non si soffermano in particolare sullo studio dell'aggregato.

La metodologia che propongono consiste in varie fasi:

a) Analisi preliminare dell'aggregato
Per lo studio dell'aggregato devono essere acquisite, secondo le Linee Guida, almeno le indicazioni riguardo:
- i rapporti tra i processi di aggregazione ed organizzazione dei tessuti edilizi e l'evo-

luzione del sistema viario;
- i principali eventi che hanno influito sugli aspetti morfologici del costruito storico (fonti storiche);
- la morfologia delle strade (andamento, larghezza, flessi planimetrici e disassamenti dei fronti edilizi);
- la disposizione e la gerarchia dei cortili (con accesso diretto o da androne) ed il posizionamento delle scale esterne;
- l'allineamento delle pareti; verifiche di ortogonalità rispetto ai percorsi viari; individuazione dei prolungamenti, delle rotazioni, delle intersezioni e degli slittamenti degli assi delle pareti (ciò aiuta ad identificare le pareti in relazione alla loro contemporaneità di costruzione e quindi a definire il loro grado di connessione);
- i rapporti spaziali elementari delle singole cellule murarie, nonché i rapporti di regolarità, ripetizione, modularità, ai diversi piani (ciò consente di distinguere le cellule originare da quelle dovute a saturazione successiva);
- la forma e la posizione delle bucature nei muri di prospetto: assialità, simmetria, ripetizione (ciò consente di determinare le zone di debolezza nel percorso di trasmissione degli sforzi, nonché di rivelare le modificazioni avvenute nel tempo);
- i disassamenti e le rastremazioni delle pareti; i muri poggianti "in falso" sui solai sottostanti; lo sfalsamento di quota tra solai contigui (ciò fornisce indicazioni sia per ricercare possibili fonti di danno in rapporto ai carichi verticali e sismici, sia per affinare l'interpretazione dei meccanismi di aggregazione).

Tali informazioni, necessarie per la modellazione numerica dell'edificio, sono comunque da ritenersi fondamentali per la comprensione del comportamento sismico dell'aggregato.

b) Identificazione della costruzione

L' identificazione del manufatto architettonico è intesa principalmente a individuare i rapporti con l'intorno ai fini di individuare i punti di maggiore sensibilità all'azione sismica. Il rapporto del manufatto con l'intorno viene esplicato attraverso lo studio del tessuto urbano e l'individuazione del "complesso architettonico", che, si legge nelle Linee Guida, è definito spazialmente solo dalle strade che lo circoscrivono ed è individuabile dall' "analisi dei prospetti visibili e dall'articolazione plano altimetrica".

c) Caratterizzazione funzionale dell'edificio e dei suoi spazi

L'analisi funzionale deve essere intesa anche nella sua evoluzione storica, in modo da riconoscere la successione delle funzioni cui è stato adibita la fabbrica in esame e associare ad esse le eventuali modifiche agli elementi strutturali, oltre che semplicemente distributivi, motivando dunque eventuali segni visibili sul manufatto.

d) Rilievo geometrico

Il rilievo geometrico è alla base di tutto il processo conoscitivo progettuale di una fabbrica muraria. Le linee Guida individuano con l'accezione di "rilievo geometrico" non solo la restituzione stereometrica dell'edificio, inclusi i suoi rapporti con gli edifici adiacenti, ma anche tutte le informazioni materico costruttive e strutturali necessarie alla comprensione del comportamento statico e sismico della fabbrica e cioè il rilievo dei dettagli costruttivi e il rilievo del quadro fessurativo, associato alle trasformazioni subite dalla fabbrica e alle caratteristiche dei materiali di cui essa è costituita.

e) Analisi storica degli eventi e degli interventi subiti
La ricostruzione storica delle fasi di crescita del manufatto architettonico è finalizzata sia all'individualizzazione di disomogeneità materiali come sopraelevazioni o corpi aggiunti che a valutare la risposta dell'edificio ad eventi traumatici passati. A questo proposito è importante dunque stabilire se esistono o sono esistiti interventi di consolidamento pregressi e di comprenderne l'effettiva efficacia.

f) Rilievo materico costruttivo e stato di conservazione
Attraverso il rilievo materico costruttivo è possibile individuare l'intero organismo resistente della fabbrica in modo da valutarne la rispondenza con la regola dell'arte. Per questo tipo di rilievo di dettaglio sono spesso necessarie indagini non distruttive di tipo indiretto (termografia, georadar, tomografia sonica, ecc.) o ispezioni dirette debolmente distruttive (endoscopie, scrostamento di intonaci, saggi, piccoli scassi, ecc.).

g) Caratterizzazione meccanica dei materiali
Attraverso il rilievo visivo ed alcune indagini non distruttive è possibile giungere ad una buona conoscenza e ad un giudizio sulla qualità dei materiali e del loro degrado, ma per la modellazione del comportamento strutturale nei riguardi dell'azione sismica, sono necessari altri parametri meccanici di deformabilità e resistenza dei materiali, ricavabili solo attraverso prove debolmente distruttive o distruttive, anche se su porzioni limitate.

h) Terreno e fondazioni
La conoscenza del sottosuolo e delle strutture di fondazione è particolare importanza per la previsione del comportamento sismico. Per questo motivo è necessario sia stabilire una caratterizzazione geotecnica del sottosuolo, che valutare la presenza di scavi in prossimità della fabbrica e l'andamento delle falde sotterranee.

i) Valutazione della sicurezza sismica del manufatto
Le Linee Guida finalizzano tutte le operazioni di conoscenza alla corretta valutazione della sicurezza sismica dell'edificio in esame per poter stabilire sia l'entità dell'intervento che il suo grado di urgenza. La valutazione della sicurezza sismica degli edifici murari

viene espressa da un indice denominato indice di sicurezza sismica I_S, ottenuto valutando preventivamente e quantitativamente l'accelerazione di collasso e rapportandola a quella attesa nel sito in un prefissato intervallo di tempo e con una prefissata probabilità di superamento. Tale indice è utile per evidenziare le situazioni più critiche e stabilire priorità per i futuri interventi, si ottiene:

$$I_{S=} a_{SLU} / \gamma_I Sa_g$$

Dove: a_{SLU} è l'accelerazione al suolo che porta al collasso, calcolabile in relazione al livello di valutazione della sicurezza; γ_I è il coefficiente di importanza; S è un fattore che tiene conto del profilo stratigrafico del suolo; a_g è l'accelerazione di riferimento nel sito.

j) Modellazione e verifica sismica

La modellazione, finalizzata alla definizione del relativo valore dell'accelerazione di collasso, varia in funzione del diverso grado di approfondimento e del livello di valutazione della sicurezza. Le Linee Guida forniscono diverse tipologie di analisi:

- Analisi statica lineare
- Analisi dinamica modale
- Analisi statica non lineare
- Analisi dinamica non lineare

k) Monitoriaggio

Il controllo periodico della costruzione rappresenta il principale strumento per una consapevole conservazione, in quanto consente di programmare la manutenzione ed attuare in tempo, quando realmente necessari, gli interventi di riparazione. "*È evidente che il monitoraggio non rappresenta uno strumento di allarme o di individuazione del comportamento sismico. Un suo uso può risultare significativo nell'emergenza post-terremoto, su strutture fortemente danneggiate di cui si volesse verificare l'evoluzione del meccanismo attivato dal sisma e la risposta ad eventuali scosse di replica*".

l) Criteri per il miglioramento sismico e tecniche di intervento

Le Linee Guida forniscono sia delle indicazioni di principio sugli interventi di consolidamento e di riduzione della vulnerabilità sismica che una serie di giudizi critici delle operazioni tecniche di intervento, valutando di volta in volta quale si ritiene corretta in relazione ai criteri generali. L'obiettivo principale delle Linee Guida è "*la conservazione non solo della materia ma anche del funzionamento strutturale accertato, qualora questo non presenti carenze tali da poter comportare la perdita del bene*", sottolineando dunque la necessità di intervenire, ove sia il caso, per migliorare dei difetti costruttivi intrinseci della costruzione ai fini di conferire maggiore resistenza al sisma ma allo stesso tempo senza alterarne il comportamento strutturale originario. A tal proposito sono

ritenuti utili anche i nuovi materiali, frutto dello sviluppo dell'innovazione tecnologica, a condizione che il loro comportamento venga valutato sempre in relazione al principio generale di compatibilità con la materia storica, riferendosi ad esempio agli elementi in FRP (Fiber Reinforced Polymers).
Le Linee Guida individuano diversi tipi di intervento generale:

- rinforzo di parte o di tutti gli elementi resistenti, al fine di aumentarne selettivamente la resistenza, la rigidezza, la duttilità o una combinazione di esse (ponendo sempre estrema attenzione alle modifiche indotte allo schema strutturale);
- inserimento di nuovi elementi, compatibili con quelli esistenti, al fine di eliminare la vulnerabilità locale di alcune parti della costruzione e migliorare il funzionamento complessivo in termini di resistenza o duttilità;
- introduzione di una protezione passiva mediante strutture di controvento dissipative e/o isolamento alla base (considerando accuratamente tutte le possibili ricadute sulla conservazione, ed in particolare la presenza di substrati archeologici);
- riduzione delle masse (con le dovute precauzioni);
- limitazione o cambiamento della destinazione d'uso dell'edificio (in questo caso sarà obbligatoria una verifica di compatibilità alle trasformazioni urbanistiche previste nei piani attuativi e nei cambi di destinazione d'uso degli edifici).

Le specifiche operazioni tecniche proposte vengono suddivise secondo il singolo elemento cui si rivolgono, e dunque in:

- Interventi volti a ridurre le carenze dei collegamenti

  Tali interventi sono mirati ad assicurare alla costruzione un soddisfacente comportamento d'assieme, mediante la realizzazione di un buon ammorsamento reciproco tra gli elementi costruttivi. Sono proposti l'inserimento di tiranti metallici o di altro materiali a livello dei solai ed in corrispondenza dei muri di spina; cerchiature metalliche o di altro materiale; ammorsamenti lapidei con la tecnica dello scuci e cuci; cordoli murari armati o in acciaio in copertura; il reciproco ancoraggio degli orizzontamenti intermedi alle strutture di copertura. Si suggerisce di evitare le perforazioni armate o i cordoli in cemento armato che vengono comunque ammessi seppur di ridotta altezza.

- Interventi volti a ridurre le spinte di archi e volte ed al loro consolidamento

  Si propongono interventi storici tradizionali quali il ricorso agli incatenamenti metallici, ai ringrossi murari in corrispondenza della spinta orizzontale. Si ammettono comunque i placcaggi con materiali innovativi mentre si suggerisce di evitare la realizzazione di controvolte in cemento armato o non.
- Interventi volti a ridurre l'eccessiva deformabilità dei solai ed al loro consolidamento

  I solai devono essere adeguatamente ancorati alle strutture murarie di elevazione oltre che irrigiditi nel loro piano. Tale irrigidimento può essere realizzato operando

all'estradosso sul tavolato. Una possibilità è fissare un secondo tavolato su quello esistente, disposto con andamento ortogonale o inclinato, ponendo particolare attenzione ai collegamenti con i muri laterali; in alternativa, o in aggiunta, si possono usare rinforzi con bandelle metalliche, o di materiali compositi, fissate al tavolato con andamento incrociato. Un analogo beneficio può essere conseguito attraverso un controventamento realizzato con tiranti metallici o con solette in calcestruzzo alleggerito.

- Interventi in copertura

Si suggerisce il mantenimento dei tetti in legno, in quanto capaci di limitare le masse nella parte più alta dell'edificio e di garantire un'elasticità simile a quella della compagine muraria sottostante. In generale, vanno il più possibile sviluppati i collegamenti e le connessioni reciproche tra la parte terminale della muratura e le orditure e gli impalcati del tetto, ricercando le configurazioni e le tecniche compatibili con le diverse culture costruttive locali. Tali connessioni si possono realizzare con cordoli-tiranti in legno o in metallo.

- Interventi volti ad incrementare la resistenza degli elementi murari

Sono interventi rivolti al risanamento di porzioni murarie degradate al fine di incrementarne la resistenza e variano in funzione della tipologia murarie e del degrado. In generale sono proposti interventi di riparazione localizzata di parti lesionate o degradate; ricostituzione della compagine muraria in corrispondenza di manomissioni quali cavità, vani di varia natura (scarichi e canne fumarie, ecc.); miglioramento delle caratteristiche di murature particolarmente scadenti per tipo di apparecchiatura e/o di composto legante. I principali interventi proposti sono lo scuci e cuci per ricostituire unità alla murature lesionata o danneggiata; la ristilatura dei giunti per conferire migliori caratteristiche meccaniche mentre sono da valutare le iniezioni di miscele leganti. Le Linee Guida inoltre propongono di evitare l'intonaco armato ma allo stesso tempo comunque ammettono l'inserimento di tirantini antiespilsivi e di diatoni artificiali. Sono ritenuti oggetto di valutazione i placcaggi con materiali fibririnforzati.

- Interventi su pilastri e colonne

Gli interventi proposti su tali elementi ad andamento verticale sono finalizzati a migliorarne la resistenza a compressione attraverso cerchiature e tassellature; a eliminare le spinte orizzontali attraverso catene o contrafforti in presenza di archi, volte e coperture. È ritenuto dannoso l' inserimenti di anime metalliche in asse alla colonna, cui affidare la capacità portante, o di tiranti verticali precompressi, per conferire maggiore resistenza a flessione e taglio.

- Interventi in fondazione

I principali interventi ammessi per consolidare le fondazioni sono l'allargamento mediante cordoli o platee in calcestruzzo armato o l'inserimento su tutta la superficie degli edifici di micropali, oltre che il miglioramento della caratteristiche del terreno di fondazione attraverso le tecniche del jet grouting o deep mixing. Tali interventi proposti risultano comunque eccessivamente invasivi oltre che dannosi per la costruzione poiché i micropali, ad esempio, oltre che alterare il comportamento generale delle strutture di fondazione possono intaccare eventuali strutture archeologiche presenti nel sottosuolo. Gli interventi di jet grouting inoltre non sono controllabili e la loro efficacia risulta dunque di dubbia valutazione.

- Realizzazione di giunti sismici

Le Linee Guida infine propongono la realizzazione di giunti sismici ma elusivamente tra edifici murari che presentano altezze differenti. In alternativa alla soluzione di sconnessione propongono, se sussistono le giuste condizione di complanarità dei solai e di omogeneità di materiale, anche l'interconnessione reciproca. Non si accenna comunque alle situazioni di disomogeneità strutturale in condizioni di adiacenza.

In generale dagli interventi proposti dalle Linee Guida emerge un sostanziale atteggiamento di mediazione tra interventi tradizionale e innovativi e soprattutto una insufficiente limitazione all'uso di interventi tecnici ormai ritenuto dannosi alla luce delle recenti crisi sismiche.

3.6.3. Le Norme tecniche per le costruzioni del gennaio 2008

Nel 2008 vengono approvate le Nuove Norme tecniche per le Costruzioni[137], con lo scopo di raggruppare in un unico documento normativo le indicazioni presenti in numerosi vari decreti precedenti. Le Norme si propongono di fornire dei criteri per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni con particolare riferimento alla sicurezza e sono ritenute integrabili alle prescrizioni degli Eurocodici. Le Norme Tecniche introducono, accanto alle già note definizioni di interventi di adeguamento e di miglioramento, l'intervento di riparazione o intervento locale che "interessino elementi isolati, e che comunque comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti". Per quanto riguarda la verifica sismica delle costruzioni murarie esistenti le Norme riprendono il concetto di verifica sismica globale e parziale proposto dall'Ordinanza così come vengono ripresi i concetti di aggregato e di Unità Strutturale. Tali norme sono sostanzialmente valide per gli edifici di nuova costruzione e non introducono nessun elemento di innovazione rispetto alle precedenti normative per quanto riguarda invece gli interventi sull'esistente.

Tali norme sono state seguite dalle Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni"[138], che costituiscono un approfondimento delle Norme tecniche

137 Ministro delle infrastrutture, Ministro dell'Interno, Dipartimento della Protezione Civile, Decreto Ministeriale 14 Gennaio 2008, *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*, Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 , Suppl. Ordinario n. 30

dal punto di vista applicativo e procedurale.
Le nuove norme tecniche rappresentano un momento di sintesi ed adeguamento normativo della disciplina edilizia italiana alle normative europee riprendendo da queste il carattere prestazionale e l'esigenza della certificazione sulla qualità dei materiali impiegati in edilizia, problema questo che incide nella qualità delle costruzioni e dunque sulla loro capacità di resistere adeguatamente alle azioni sismiche.
Uno degli aspetti innovativi delle norme riguarda la specificazione dell'unità strutturale all'interno dell'aggregato edilizio.
Per quanto riguarda la valutazione della sicurezza sismica le norme propongono gli stessi livelli di conoscenza e fattori di confidenza proposti dall'ordinanza, specificando però i modelli di calcolo, che per gli edifici in aggregato prevedono i modelli semplificati basati sull'analisi cinematica per la definizione dei meccanismi di danno.

	Riferimento normativo	Contenuti essenziali
NORMATIVA SISMICA VIGENTE	l'Ordinanza 3274/03 e le Linee Guida	• uniformazione dei criteri normativi agli Eurocodici • distinzione miglioramento/adeguamento • impostazione metodologica di analisi del costruito per la riduzione della vulnerabilità • definizioni di **Aggregato, Complesso Architettonico, Unità Strutturale , Dimensione Operativa Minima** • introduzione dei **fattori di confidenza** per valutare l'attendibilità del modello numerico
	Le Norme tecniche per le costruzioni del gennaio 2008	• per gli edifici esistenti riprendono l'ordinanza • si riferiscono sostanzialmente agli edifici di nuova costruzione introducendo nuovi criteri di verifica più rigidi

138 Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008*

3.7. Considerazioni sugli interventi normativi per la riduzione della vulnerabilità sismica

Dallo studio della normativa italiana e dei regolamenti pre-unitari è emersa una ciclica alternanza di atteggiamenti di estrema tutela del patrimonio edilizio, in seguito ad ogni evento sismico, e atteggiamenti di completo abbandono delle tematiche relative alla sicurezza degli edifici.

Si può dire che il terremoto del Friuli del 1976 ha innescato il processo di revisione della classificazione sismica del territorio nazionale, attraverso il Progetto finalizzato geodinamica, Pfg del Cnr. Ha posto inoltre l'attenzione sul consolidamento dei singoli edifici esistenti, fino ad allora esclusi da tale intervento se non giudicati "degni di attenzione". Ha inoltre affrontato per la prima volta il problema dell'adeguamento associato alla riparazione dei danni, in una logica di prevenzione purtroppo ancora oggi poco radicata.

A partire dagli anni ottanta, in seguito a un ventennio di disastri sismici, emerse l'inadeguatezza della normativa sismica vigente, la l n.64 del 1974, la quale si riferiva esclusivamente alla progettazione antisimica degli edifici realizzati ex novo, in relazione alle macrozone classificate come sismiche. Ai sensi del decreto Dm 3/3/1975, attuativo della legge n.64 del 2/2/1974, venne attribuita alla prima categoria il grado di sismicità S uguale a 12 e alla seconda il grado 9. Con il successivo Dm 21/1/1981 le classi di rilevanza sismica sono state innalzate a tre, aggiungendo una a sismicità 6. La nuova classificazione era basata non più sul riferimento dei terremoti storici ma sulla base dell'effettiva sismicità del sito, ricavata dal Cnr/Progetto finalizzato geodinamica, Proposta di classificazione sismica del territorio nazionale, Esa, Roma, 1980.

Gli eventi sismici deli anni settanta-ottanta sono i primi dopo il grande terremoto di Messina e Reggio Calabria del 1908 ed anche per questo costituirono un enorme archivio da cui trarre dati per l'elaborazione delle nuove norme sismiche e di nuovi metodi di intervento. Molti comuni gravemente colpiti infatti non erano classificati in zona sismica, mentre altri che lo erano subirono danni agli edifici che erano stati costruito secondo la norma sismica allora vigente. Ciò imponeva una profonda revisione di tali norme.

Lo stesso tipo di considerazioni sono state fatte dopo il sisma del 1997 di Umbria e Marche, evento che permise di sperimentare le tecniche utilizzate dopo gli eventi del ventennio precedente, aprendo ancora nuovi spunti di ricerca e considerazioni sulla qualità degli interventi realizzati. Possiamo affermare dunque che la spinta verso lo studio del comportamento sismico degli edifici murari è stata fornita dai terremoti degli anni settanta - ottanta, quando l'urgenza ha innescato la necessità dell'intervento; il "collaudo" di tali interventi, invece, è stato reso possibile dal sisma del 1997.

4. L'aggregato come unità di lettura per la valutazione della vulnerabilità sismica

Per aggregato si intende un insieme di edifici strutturato nel tempo e legato da un "sistema di autoregolazione storica" [139].
Gli elementi che costituiscono l'aggregato, attraverso tale processo di formazione ("aggregazione") acquisiscono caratteristiche diverse da quelle proprie dei singoli elementi componenti. L'aggregato ha cioè qualcosa di sostanzialmente diverso dagli elementi che lo compongono nel senso che questi hanno un grado di relazione interna tale da consentire di considerare il loro insieme come un unico oggetto. Si tratta cioè dello stesso tipo di relazione che esiste tra gli elementi strutturali della costruzione muraria storica, sempre realizzata per assemblaggio dei singoli elementi che costituiscono insieme l'organismo edilizio[140].

Il termine aggregato non presuppone implicitamente nulla in termini di connessione fra le cellule murarie, nel senso che possono costituire aggregato anche unità edilizie costruttivamente autonome accostate le une alle altre. La complessa articolazione planimetrica degli aggregati comporta, in molti centri storici, anche la presenza di elementi costruiti (archi di contrasto, passaggi coperti, ecc.) che costituiscono un collegamento con l'aggregato adiacente. Tali elementi non portano alla definizione di un unico grande aggregato quando sono di estensione limitata, sia planimetricamente che in elevato, ma vanno tenuti in considerazione nello studio delle modalità di crescita e di risposta sismica degli aggregati che legano.

Mentre il termine isolato, inteso come insieme di unità edilizie delimitate da strade e spazi pubblici, ha una connotazione più urbanistica che costruttivo-strutturale, il termine aggregato rimanda proprio alla logica aggregativa descritta e dunque alla processualità tipologica evolutiva.
Secondo questa lettura scalare ed in vista delle indagini che si affronteranno per la valutazione e riduzione della vulnerabilità sismica degli aggregati, possiamo considerare l'aggregato come termine medio tra l'edificio e la città.

L' impossibilità di studiare il problema sismico degli edifici scindendoli dal contesto urbano in cui si inseriscono emerge per la prima volta nel manuale per la compilazione delle schede di 1° livello GNDT in cui si legge:
"Occorre quindi individuare, nell'ambito dei tessuto urbano, l'aggregato strutturale (a.s.), che è costituito da un insieme di elementi strutturali non omogenei e che possono interagire sotto un'azione sismica (o dinamica in genere)".
"Un aggregato strutturale può essere costituito da uno o più edifici accorpati e, per

139 Caniggia, G., Maffei G., *Lettura dell'edilizia di base, Venezia*, Saggi Marsilio, 1979
140 Carocci C., Tocci C., "*Considerazioni per la sicurezza degli aggregati*", Ricerca Nazionale della Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica - Reluis - Protezione Civile Nazionale. Progetto esecutivo 2005–2007, *Progetto di ricerca 1 "Valutazione e riduzione della vulnerabilità di edifici in muratura"*, Coordinatori S. Lagomarsino e G. Magenes, Unità di Ricerca n. 16 (Siracusa), allegato 1.1 - UR16-3, 2006
Tocci C., "Valutazione della sicurezza strutturale di aggregazioni complesse di edifici storici", in Colajanni P., Muscolino G., Ricciardi G., a cura di, *Crolli e affidabilità delle strutture civili. Criteri e metodi per l'analisi dei crolli:studi ed esperienze*, Palermo, Flaccovio , 2007

accorpamento, si deve intendere un contatto, o un collegamento, più o meno efficace tra edifici con caratteristiche costruttive generalmente diverse […]. All'interno degli aggregati strutturali si individuano gli edifici, definiti come unità strutturali omogenee da cielo a terra […]."

Questa definizione di fatto conferisce all'aggregato il ruolo di modulo di analisi per lo studio della vulnerabilità urbana, all'interno del quale operare la giusta distinzione tra gli edifici. La scheda di 1° livello però fornisce indicazioni solo sulla vulnerabilità diretta e non su quella indotta, cioè non fornisce informazioni sul comportamento globale dell'edificio nel tessuto in occasione del sisma.

Sarà solo con l'Ordinanza 3274/2003 e le sue successive modifiche che si introdurrà definitivamente nella normativa nazionale il concetto di aggregato edilizio.

Parte II

La procedura metodologica: proposta di guida alla lettura degli aggregati

Introduzione

Alla luce delle considerazione sulle modalità con cui fino ad oggi è stato affrontato il tema della vulnerabilità sismica, la seconda parte della Tesi illustra una metodologia che, riprendendo alcuni concetti precedentemente descritti, propone una **guida alla lettura degli aggregati edilizi della città storica** finalizzata alla definizione di criteri di intervento per la sua conservazione e la riduzione della vulnerabilità sismica.

Le motivazioni che inducono alla lettura della città per aggregati sono da rintracciarsi nella considerazione che *"la dimensione di riferimento più adeguata è nell'interrelazione tra edifici"*[1].

La *scala urbana* è troppo estesa per tenere in considerazioni problematiche relative alle caratteristiche costruttive degli edifici e alle loro modalità di crescita e di modificazione, fattori questi che nella procedura che si descriverà hanno una influenza fondamentale nella valutazione della vulnerabilità sismica. Ciononostante alcune osservazioni sul rapporto tra l'aggregato e il contesto in cui si inserisce devono essere condotte a questo livello.

La *scala edilizia*, e ancora più quelle delle singole *unità imobiliari,* è al contrario troppo ridotta per comprendere le relazioni che intercorrono nel tessuto tra edifici adiacenti sebbene discontinui; per valutare la loro risposta in occasione del terremoto rispetto a ciò che hanno a fianco o al di sotto; per programmare degli interventi rispettosi sia della natura storica, evolutiva e costruttiva della città che delle esigenze di sicurezza che essa comunque richiede.

La *scala dell'aggregato* risulta essere dunque la più idonea a prestarsi a queste e ad altre considerazioni. Anche la recente normativa sismica ha inoltre ormai introdotto l'esigenza di riconoscimento dell'aggregato edilizio, conferendo ad esso il ruolo chiave nella programmazione degli interventi di conservazione e di messa in sicurezza della città storica.

La metodologia adottata si articola in tre fasi: fase di *conoscenza*, di *interpretazione* e di *progetto*.

La fase di conoscenza viene svolta a due diverse scale: la *scala dell'aggregato* e la *scala dell'edificio*. La necessità di rivolgere lo sguardo anche verso la scala dell'edificio scaturisce dalla constatazione della difficoltà di effettiva realizzazione delle operazioni che vengono programmate per l'intero aggregato, ponendo anche problemi di tipo amministrativo oltre che tecnico esecutivo.

La fase di interpretazione mira a trarre le considerazioni sull'analisi effettuata, da riversare direttamente sulle scelte di progetto.

La procedura metodologica oggetto della Tesi di Dottorato viene esposta attraverso l'illustrazione dei singoli passi che la compongono, facendo ricorso anche ad esempi tratti da esperienze applicative svolte durante l'attività di ricerca.

1 Fera G., *La città antisismica: storia, strumenti e prospettive della pianificazione territoriale per la riduzione del rischio, op.cit.*

1.1. La lettura critica

1.1.1. Contesto ambientale e morfologia del sito

La conoscenza dell'aggregato, prima fase della procedura metodologica esposta, avviene attraverso la *lettura critica* dell'esistente, cioè attraverso l'osservazione puntuale di tutte le caratteristiche proprie dell'aggregato e del contesto in cui esso si inserisce, con la finalità di individuare sia il ruolo che esse possono svolgere nell'influenzare o meno la sua danneggiabilità in occasione del terremoto, sia di fornire degli spunti progettuali di intervento.

Allargando la scala di osservazione al **contesto ambientale** si deve per prima cosa stabilire se l'aggregato che ci si accinge ad analizzare si trova in un contesto ambientale *urbano o rurale*. L'aggregato può infatti essere parte di una città consolidata o di un piccolo borgo agricolo, montano o marittimo. Ciò è utile a comprendere sia la tipologia dell'insediamento con cui si ha a che fare, sia se ci sono stati o se sono in atto dei processi di abbandono o delle trasformazioni radicali che possono aver influenzato le caratteristiche degli edifici.

Sia che si tratti di contesto ambientale urbano che di contesto rurale è utile osservare:

- la posizione dell'aggregato rispetto ai principali poli di sviluppo della città. Per comprendere se l'aggregato è stato interessato da particolari processi di trasformazione urbana o se la sua crescita è stata lenta e relativamente priva di eventi traumatici;
- la vicinanza dell'aggregato a vincoli di natura geografica (rilievi montuosi, fiumi, laghi, coste), antropici (presenza di aree cimiteriali, militari, emergenze architettoniche monumentali) che ne hanno bloccato o favorito la crescita;
- la presenza di collegamenti fisici tra l'aggregato in esame e gli aggregati limitrofi rappresentati ad esempio da sovrappassi che mettono in comunicazione unità edilizie originariamente separate;
- la presenza e la dimensione di percorsi che attraversano più aggregati mettendoli fisicamente in comunicazione;
- La presenza, la disposizione e la dimensione degli spazi aperti pubblici, che possono essere all'interno dell'aggregato (corti interne) o tra un aggregato e l'altro (piazze e slarghi);
- il rapporto tra i fronti dell'aggregato e la strada pubblica su cu essi prospettano in relazione alle loro reciproche dimensioni; la fascia di pertinenza[2], cioè l'inviluppo dei prospetti dei diversi aggregati rispetto ad uno stesso percorso; la contrada, cioè il rapporto tra le due fasce di pertinenza contrapposte riferite allo stesso percorso pubblico.

Oltre ai punti precedentemente descritti, che si riferiscono al contesto ambientale in cui è inserito l'aggregato, si possono fare delle ulteriori osservazioni sulla *morfologia del sito,* cioè sulle caratteristiche planialtimetriche dell'area su cui sorge l'aggregato.

2 Carocci C., *Conservazione dei centri storici in area sismica. Vulnerabilità e mitigazione, op.cit.*

Tali caratteristiche possono avere una profonda influenza sulle modalità di crescita dell'aggregato con conseguenze sulle tecniche costruttive adottate e sulla loro suscettibilità ad essere messe in crisi dal terremoto.
L'aggregato può essere disposto: in piano, su ciglio/margine, su un avvallamento, su pendio/versante, in relazione alla entità del dislivello esistente tra due fronti. Nel primo caso non esiste differenza di quota tra due fronti dell'aggregato; nel secondo caso l'aggregato è costruito a margine di un forte salto di quota; nel terzo caso l'aggregato si trova su un'area che ha una quota inferiore rispetto al contesto circostante; nel quarto caso i fronti dell'aggregato sono posti a quote sfalsate l'uno rispetto all'altro.
In particolare, inoltre, per quanto riguarda le soluzioni su pendio l'aggregato può essere disposto parallelamente o ortogonalmente alle curve di livello che segnano l'andamento del terreno. Inoltre, in relazione all' entità del dislivello si possono avere svariate soluzioni con conseguenti differenti organizzazioni spaziali delle unità edilizie.
L'importanza di tali osservazioni risiede nel fatto che oltre a condizionare il sistema costruttivo adottato, la morfologia del sito, può influenzare i meccanismi di collasso attivabili dal sisma.

1.1.2. Rilievo critico

Ponendo l'attenzione alle caratteristiche proprie dell'aggregato, lo strumento che permette la disamina puntuale di tale caratteristiche è il rilievo critico[3], cioè la rappresentazione sintetica, attraverso apposite simbologie, delle caratteristiche geometriche e materico – costruttive che permettono una conoscenza approfondita dell'aggregato in tutti i suoi aspetti.
Nella Circolare del Ministero per i beni culturali ed ambientali n. 1841/1991si legge che il rilievo critico "*è indirizzato a fornire un quadro dei caratteri presenti nel manufatto, al fine di costituire la base conoscitiva per la progettazione dell'intervento di restauro. Esso viene svolto attraverso operazioni di rilevamento eventualmente unite all'esecuzione di sondaggi nei punti significativi per riconoscere le trasformazioni avvenute. Il rilievo critico è uno strumento che tende a realizzare una saldatura tra la ricerca con metodi archeologici, l'analisi dei dati di cultura materiale presenti e stratificati nel testo edilizio e ricerche tipologiche ed architettoniche sui dati di conformazione e configurazione, osservati nella loro processualità* "[4].
In questo senso si configura come uno strumento che coinvolge saperi diversi e una particolare capacità *critica* di sintesi e rielaborazione delle informazioni raccolte.
Una simbologia di base che si ritiene utile riprendere e rielaborare caso per caso è quella proposta e già utilizzata nel progetto di regolamento regionale per il recupero in zona sismica dell' Emilia Romagna ("Progetto recupero"1986-1988)[5]. Attraverso tale simbologia vengono riportate indicazioni sintetiche riguardo i materiali delle strutture portanti verticali; orientamento e materiali dell'orditura dei solai e delle coperture; tipologie

3 Cremonini I., *Rischio sismico e pianificazione nei centri storici. Metodologie ed esperienze in Emilia Romagna, op.cit.*
4 Circolare del Ministero per i beni culturali ed ambientali n. 1841/1991, *Direttive per la redazione e l'esecuzione di progetti di restauro comprendenti interventi di "miglioramento" antisismico e manutenzione nei complessi architettonici di valore storico.*
5 Tali simbologie sono state rielaborate ed adoperate in:
Indelicato D., *Sicurezza e conservazione della città storica in zona sismica. L'isolato della chiesa di San Giuseppe al Transito a Catania*, Tesi di Laurea in Architettura, Facoltà di Architettura, Università di Catania, 2007;
Speranza C., *Sicurezza e conservazione della città storica in zona sismica. L'ex monastero della SS. Trinità a Catania*, Tesi di Laurea in Architettura, Facoltà di Architettura, Università di Catania, 2008

e materiali dei collegamenti verticali; elementi tecnologici incongrui; tracce di facies precedenti che testimoniano il processo di crescita dell' aggregato.
Anche nei casi in cui per problemi pratici di accessibilità alle unità edilizie non è possibile ottenere con esattezza l'indicazione ricercata, l'informazione non va perduta poiché, sempre attraverso una simbologia apposita, si può distinguere ciò che è effettivamente rilevato da ciò che si deduce dall'osservazione di casi analoghi.
Un rilievo di questo tipo permette l'analisi qualitativa dei principali problemi di comportamento sismico dell' aggregato collegati alla sua configurazione e al suo processo di crescita e costituisce la base per gli approfondimenti strutturali, configurandosi così come l'elaborato di base per la *lettura critica* dei manufatti.

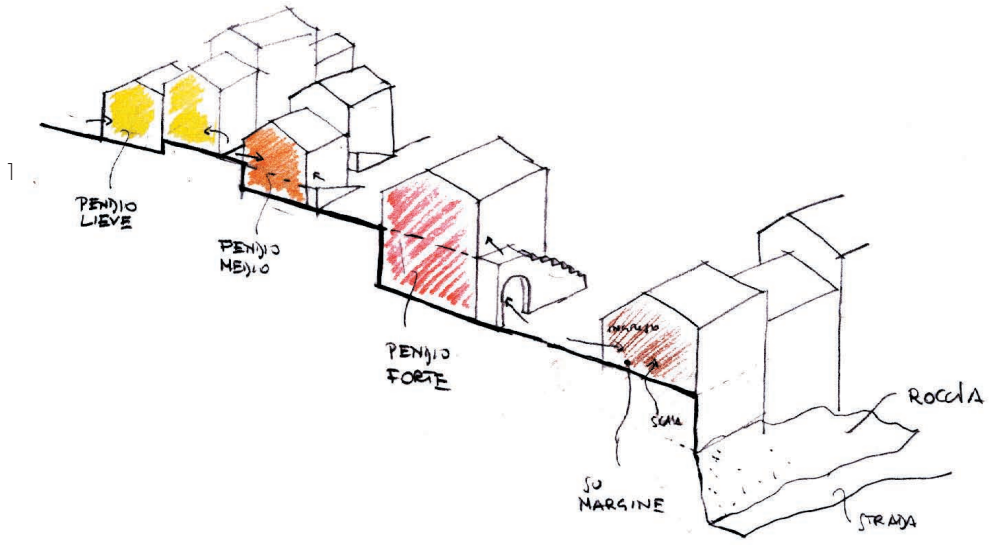


Fig.1 Modalità di aggregazione delle unità edilizie rispetto alla morfologia del terreno

Fig. 2 Rilievo critico di un aggregato nel centro storico di Catania

1.1.3. Rilievo costruttivo

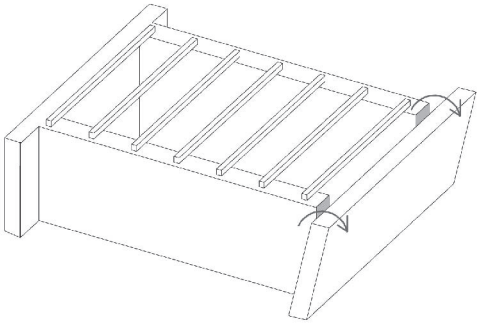
La conoscenza dell'organismo costruttivo degli edifici che compongono l'aggregato è un altro tassello importante per la comprensione del suo comportamento al sisma. Le peculiarità tecnico-costruttive di una generica area culturale ne costituiscono il "lessico costruttivo" e possono essere evidenziate solo sulla scorta della conoscenza della "regola dell'arte" muraria, cioè di quell'insieme di prescrizioni che assicurano che la costruzione muraria sia ben edificata in ogni sua parte e abbia i requisiti necessari per essere durevole nel tempo. La conoscenza della "regola dell'arte" consente, per via di raffronti ed interpretazioni, di valutare l'efficacia ovvero l'insufficienza della particolare realtà costruttiva analizzata. Si tratta quindi di riconoscere, all'interno di un determinato lessico costruttivo, l' aderenza sostanziale alle prescrizioni generalmente valide per le costruzioni murarie al di là delle differenze formali che connotano la particolare accezione di ogni specifica cultura costruttiva locale. Utilizzando questa metodologia di analisi, la disamina degli elementi costruttivi componenti le singole costruzioni di una data realtà costruttiva tende alla formulazione di un giudizio meccanico qualitativo per ciascuno di essi e investe, ad un secondo livello di lettura, anche la valutazione della stabilità della compagine complessiva delle costruzioni.

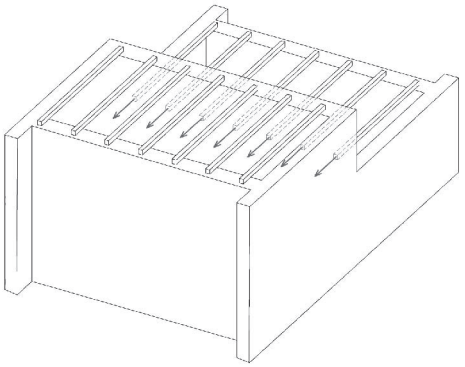
Per quanto riguarda gli elementi di fondazione, ad esempio, deve essere valutata, dove possibile, oltre alle modalità di costruzione, anche la loro estensione in profondità, nonché il tipo di terreno su cui sono realizzate. In questo modo è possibile associare, nel caso esistessero, le lesioni presenti sulla muratura di spiccato ai possibili cedimenti fondali dovuti alle caratteristiche del terreno, ad esempio. Esistono casi in cui si possono rintracciare interventi pregressi di sottomurazione di cui si può esprimere un giudizio qualitativo, o ancora casi in cui le strutture di fondazione sono diventate strutture murarie di spiccato in seguito ad abbassamenti delle quote stradali. In questo caso particolare si ha un incremento della vulnerabilità della struttura muraria in seguito all'aumento della loro snellezza verticale.

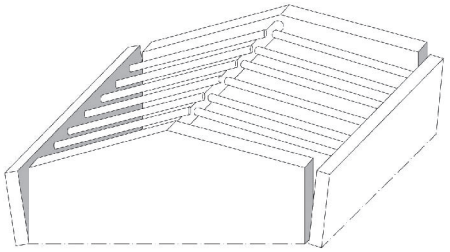
Il rilievo delle murature presenti nell'aggregato, oltre che fornire indicazioni sulla datazione relative delle strutture, permette di esprimere un giudizio meccanico qualitativo del comportamento sismico delle strutture verticali. Dal confronto con la regola dell'arte è possibile infatti ipotizzare o meno un comportamento monolitico della muratura e dunque valutarne la stabilità, classificando i diversi tipi di muratura in funzione del loro livello di qualità.

Dallo studio dalle strutture di orizzontamento, oltre che ricavare delle informazioni relative alle modalità costruttive specifiche di una data area geografica e culturale, è possibile fare delle considerazioni sulla loro efficacia nel contrastare l'azione sismica. Le travi dei solai, ad esempio, svolgono un'azione di trattenimento delle pareti di facciata nel caso in cui esse siano posizionate ortogonalmente alla facciata. L'osservazione della dimensione e della forma delle scatole murarie dunque ci permette di capire se

il solaio è in grado si svolgere tale azione (in caso di cellule murarie rettangolari che si sviluppano in larghezza) o se al contrario, essendo l'orditura parallela alla facciata (cioè nel caso di cellule murarie rettangolari che si sviluppano in profondità) non contribuiscono a tale comportamento. In questo ultimo caso, possono spesso generare anche degli effetti dannosi, qualora le travi fossero posizionate in maniera sfalsata rispetto a quelle delle cellule adiacenti. Tale conformazione potrebbe infatti determinare, in occasione di un'azione sismica diretta prevalentemente lungo la direzione longitudinale delle travi, un effetto di martellamento contro le strutture murarie di spina.
Anche le spinte non adeguatamente contrastate delle strutture voltate, specialmente se poste ai piani superiori a quello terreno, non solo costituiscono un'azione orizzontale permanente, ma incrementano la possibilità che, in condizione dinamica, si possa innescare un cinematismo di ribaltamento della facciata verso l'esterno.
Infine, l'azione orizzontale esercitata dalle coperture con struttura principale di puntoni ordita perpendicolarmente alla facciata, costituisce se non adeguatamente contrastata, un potenziale effetto di amplificazione della forza sismica.







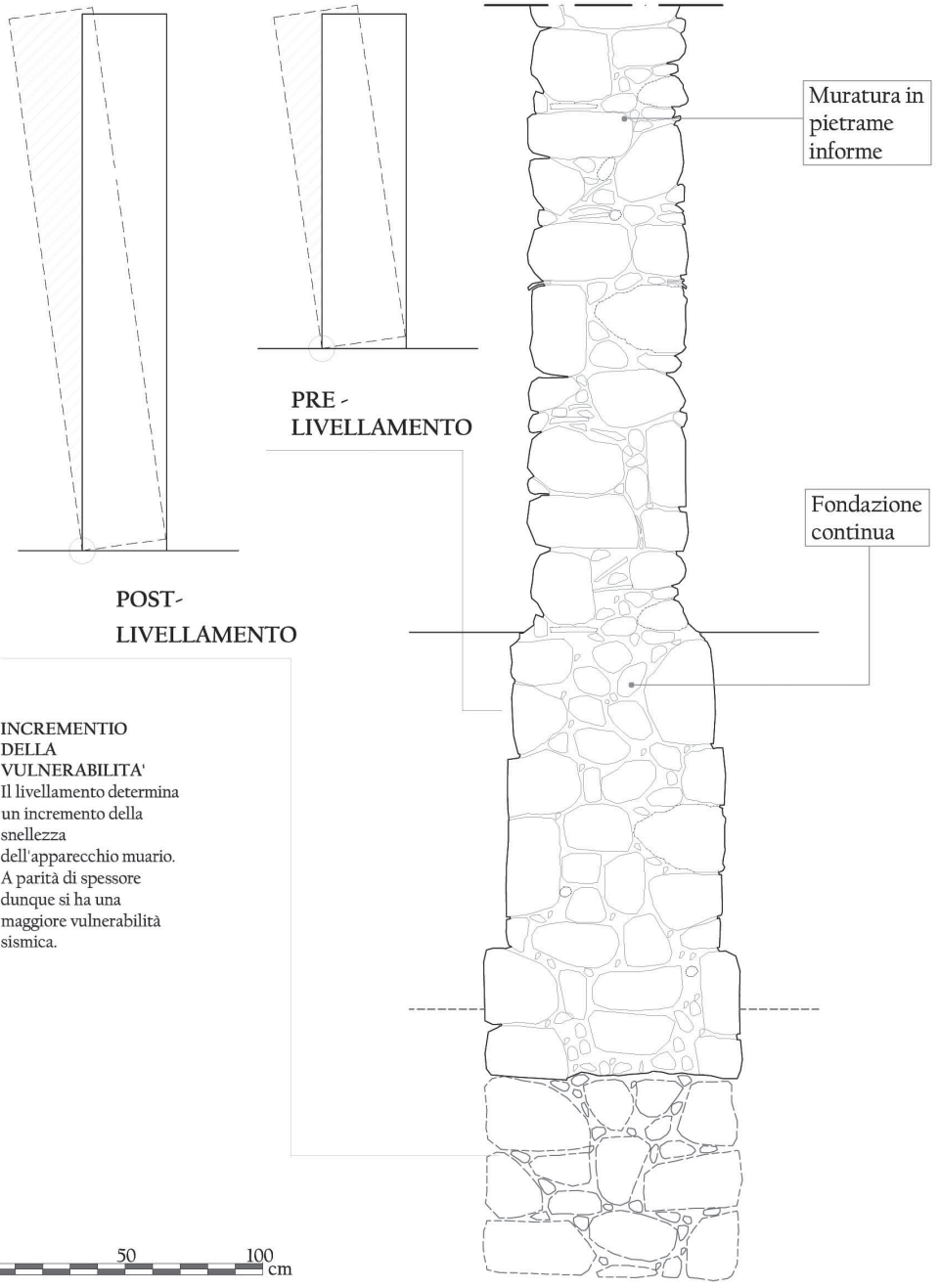


Fig. 3 Rilievo costruttivo. Considerazioni sulla vulnerabilità di strutture murarie verticali e sul contributo degli orizzontamenti nella riduzione della vulnerabilità

1.1.4. Cultura sismica locale

All'interno del lessico costruttivo locale, che caratterizza una data area geografica, possono essere spesso rintracciati dei particolari accorgimenti costruttivi che nel corso dei secoli sono stati messi in atto ai fini della prevenzione del rischio sismico e che per questo sono radicati nella cultura costruttiva locale. Spesso però tali accorgimenti, molto più diffusi nei momenti immediatamente successivi al sisma, perdono nel tempo sistematicità di applicazione. Ne sono un esempio le intelaiature lignee dei diffusissimi sistemi "baraccati" della Calabria del 700, utilizzati per i primi interventi di ricostruzione e poi progressivamente abbandonati per far fronte all' esigenza di costruire edifici con più di due elevazioni.

Dal punto di vista costruttivo sono numerosi i presidi e gli accorgimenti antisismici storici utilizzati per contrastare l'azione sismica, tra cui si ricordano gli incatenamenti metallici, i radicamenti lignei, i contrafforti e gli inspessimenti murari, gli archi di contrasto (di "sbatacchio"), di cui ogni realtà costruttiva trova una sua specifica e peculiare declinazione. Tra gli accorgimenti ad esempio si ricorda il fatto che, in zona sismica, sono scarsamente diffuse se non addirittura inesistenti: le coperture spingenti; le costruzioni con un'altezza superiore alle tre elevazioni; le cellule murarie prive di setti di controvento posti a distanza ravvicinata. Particolare attenzione inoltre viene rivolta alle connessione tra gli elementi costruttivi, che devono concorrere a rendere "scatolare" il comportamento della costruzione muraria.

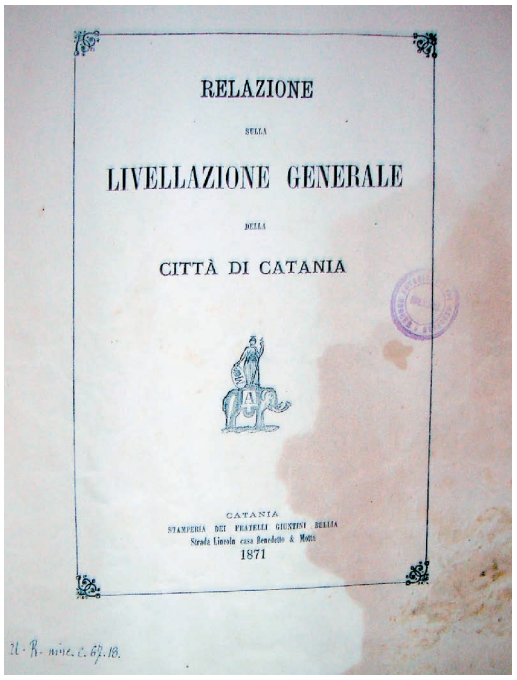
1.1.5. Eventi naturali ed antropici e ripercussioni sulla vulnerabilità sismica

Per la comprensione del comportamento sismico degli aggregati è importante stabilire se esistono degli eventi traumatici, di origine naturale o antropica, che hanno interessato la città o una sua porzione e che possono aver influito direttamente sulla vulnerabilità dell'aggregato o indirettamente sulla sua formazione ed evoluzione. Tale indagine permette di precisare le ragioni delle possibili alterazioni o delle particolarità costruttive presenti nell'aggregato e influenti sulla sua vulnerabilità.

Tra gli eventi traumatici di origine naturale rientrano ad esempio, oltre ai terremoti, le eruzioni vulcaniche, le alluvioni, le frane. Mentre tra gli eventi di origine antropica si possono individuare gli eventi bellici, le operazioni urbanistiche di diradamento e sventramento, le regolarizzazioni del livello stradale.

In particolare, ad esempio, lo studio della *sismicità storica* ha la finalità di associare ai terremoti storici i segni dei danni o degli interventi di riparazione degli stessi riscontrati sugli edifici, permettendo di individuare i punti di debolezza o di resistenza all'azione sismica e valutare l'efficacia o meno dei presidi antisismici adottati. In questo senso il terremoto costituisce una sperimentazione dal vero di tali interventi. Di conseguenza è possibile anche evidenziare le modalità di danneggiamento tipiche degli edifici appartenenti a uno specifico contesto edificato.

Lo studio della sismicità storica ha inoltre la finalità di comprendere la sismicità del sito costruendo una *storia sismica locale*. Dalla storia sismica si rintracciano infatti i valori dell'intensità macrosismica che definiscono sia il *massimo terremoto atteso* che il *terremoto più frequente,* da cui proteggere l'edificato.


RELAZIONE

SULLA

LIVELLAZIONE GENERALE

DELLA

CITTÀ DI CATANIA

CATANIA

STAMPERIA DEI FRATELLI GIUSTINI BELLIA

Strada Lincoln casa Benedetto 8 Monte

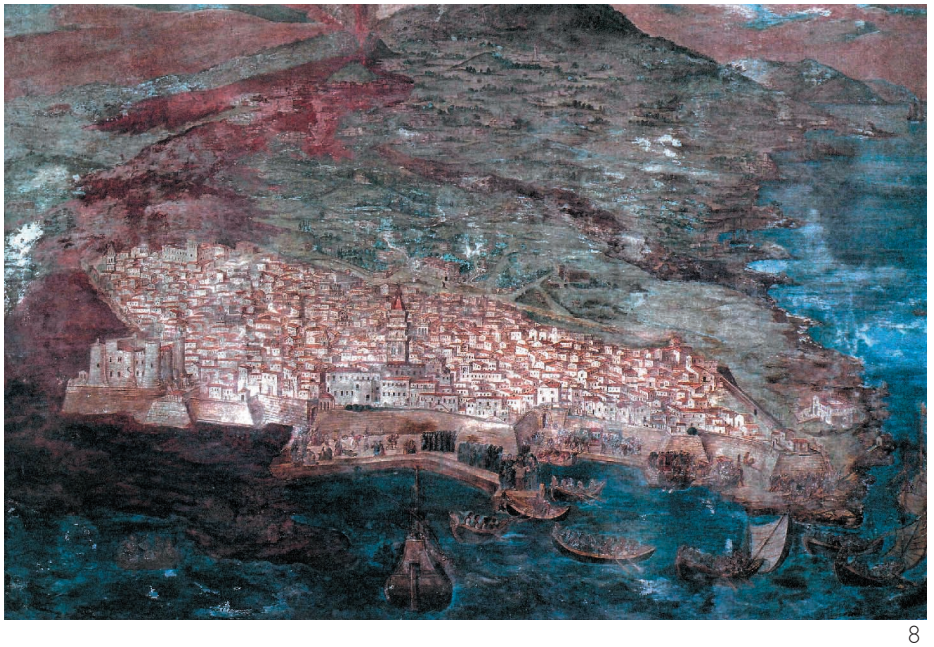
1871

4

5

6

7



8

Eventi naturali ed antropici che hanno influenza sulla vulnerabilità sismica: i terremoti storici, le colate laviche, gli interventi di livellamento stradale

Fig. 4 Copertina della relazione sul livellamento di Catania del XVIII sec

Fig. 5-6 Due immagini in cui si evidenzia l'effetto del livellamento stradale della città di Catania sulle strutture di fondazione e di elevazione

Fig. 7 Storia sismica della città di Catania

Fig. 8 Catania durante l'eruzione del 1669 in un affresco nella sacrestia della Cattedrale

1.1.6. Fasi di formazione ed evoluzione dell'aggregato e processualità tipologica

La lettura critica che porta alla conoscenza dell'aggregato in tutti i suoi aspetti include anche l'analisi storica. Tale indagine è rivolta a comprendere ed illustrare le fasi di evoluzione dell'aggregato non solo per poter giustificare le eventuali anomalie presenti ed individuare i punti di debolezza o di resistenza al sisma su cui intervenire, ma anche per trovare le ragioni su cui fondare il progetto di conservazione.

Per gli aggregati edilizi, costituiti spesso esclusivamente da edilizia residenziale, non è semplice reperire informazioni dalle tradizionali fonti archivistiche o bibliografiche, a causa delle modalità di costruzione spontanea degli edifici che non prevedono spesso alcuna testimonianza scritta.

Per questo motivo lo strumento da utilizzare per compiere questa fase di raccolta di informazioni è innanzitutto costituito dall' *osservazione dei segni presenti sui manufatti.*

Tra i segni da osservare e annotare puntualmente si possono distinguere quelli riferiti alla cellula muraria e alle sue modalità di aggregazione e quelli riferiti agli elementi costruttivi.

Tra i primi vi sono ad esempio gli accostamenti o gli ammorsamenti murari, che uniti all'osservazione degli spessori murari interni ed esterni, permettono di effettuare una datazione relativa delle cellule a cui appartengono. Anche l'osservazione delle dimensione e dalla dislocazione delle aperture in facciata o all'interno dei vani permette di stabilire se sono avvenute delle operazioni di rifusione tra cellule adiacenti o delle variazioni nell'assetto distributivo. A questo obiettivo concorre l'osservazione della posizione della scala interna o dei segni che la sua eventuale eliminazione ha comportato sulle pareti o sugli elementi costitutivi del solaio.

Passando ai segni riferiti agli elementi costruttivi, la presenza di tipologie murarie differenti per qualità di esecuzione, varietà degli elementi utilizzati o modalità di apparecchio, fornisce delle indicazioni preziose sulla storia del manufatto. A ogni tipologia muraria rilevata su pareti diverse o spesso anche su una stessa parete, è possibile associare una datazione relativamente approssimata in funzione della conoscenza del lessico costruttivo locale e della storia delle tecniche costruttive. In questo modo è possibile, di conseguenza, datare la parete, o la porzione di parete, a cui sono riferite.

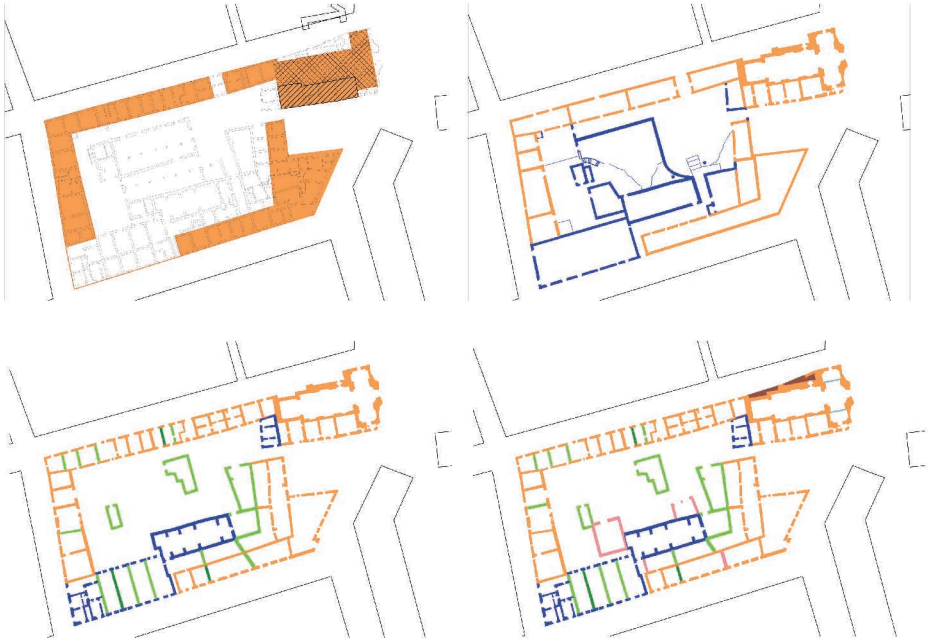
Le informazioni raccolte nel rilievo critico e strutturale relative agli elementi costruttivi sono qui utili, se lette in relazione alla storia di evoluzione dell'aggregato, a evidenziare le manomissioni e le alterazioni accorse nel tempo. Ne sono un esempio le sostituzioni di solai o di coperture, le sopraelevazioni o le strutture in aggetto, gli addossamenti di scale, logge o avancorpi in genere sulle pareti di facciata o più in generale tutti gli elementi costruttivi non appartenenti alla cultura costruttiva locale.

Uno strumento di supporto ed integrazione all'osservazione diretta dei segni sull'edificio è la lettura e l'interpretazione della cartografia e dell'iconografia storica. Lo studio delle planimetrie catastali storiche e delle rappresentazioni iconografiche storiche della

città può infatti confermare o smentire le ipotesi fatte attraverso l'osservazione diretta.
Anche l'osservazione delle emergenze architettoniche più prossime all'isolato, qualora fossero presenti, può indicare e giustificare alcune anomalie nell'aggregato. Non è raro ad esempio che per lasciar spazio al sagrato di una chiesa siano state demolite porzioni o interi isolati o che per la realizzazione un palazzetto nobiliare siano state accorpate più unità edilizie.
A questo proposito, infatti, le modalità di trasformazione edilizie possono essere evidenziate attraverso la lettura tipologica, cioè attraverso la comprensione delle logiche secondo cui sono avvenuti i passaggi da una tipologia edilizia all'altra. La lettura tipologica consiste dunque nell'individuare i tipi edilizi e le varianti che si sono realizzate nel tempo con l'evoluzione delle esigenze dell'abitare, comprendendone cioè la processualità tipologica. Attraverso la lettura tipologica si ha la comprensione del percorso evolutivo che dalla matrice elementare originaria porta alla formazione dello stato attuale dell'unità edilizia e dell'aggregato di cui fa parte. Leggere le strutture edilizie significa cioè "*capire le componenti di un insieme strutturato dall'uomo" che si può definire "spazio antropico*"[6] avvalendosi dello strumento della logica.
La prima componente dello "*spazio antropico*" è il tipo edilizio[7], la cui progressiva modificazione nella storia e nello spazio è il processo tipologico: "*sequenza organica di tipi edilizi*"[8], "*globale susseguirsi di tipi nel tempo in una stessa area culturale (mutazioni diacroniche) o in più aree culturali nello stesso intorno temporale (mutazioni sincroniche) coordinate da un divenire reciproco*"[9]. Il sistema di connessione tra i tipi edilizi costituisce il tessuto urbano, atto di coscienza spontanea nell'accostare gli edifici definendo gli aggregati edilizi.
L'approccio tipologico allo studio della città storica di scuola muratoriana[10], da cui sono riprese le definizioni precedentemente riportate, era originariamente finalizzato alla formulazione di una metodologia di lettura dell'esistente per la nuova progettazione. La finalità che qui si conferisce alla lettura tipologica è invece quella di rilevare all'interno della configurazione tipologica delle unità edilizie, delle situazioni strutturali e delle vocazioni ricorrenti a manomissioni significative e a danneggiamenti probabili.

6 Caniggia G., *Struttura dello spazio antropico: Studi e note, op.cit.*
7 Il tipo edilizio è "*prodotto della coscienza spontanea […],concetto, sintesi a priori, esiste nella mente prima della realizzazione dell'oggetto*" ma la sua formulazione è frutto della coscienza critica. Caniggia G., Maffei G., *Lettura dell'edilizia di base*, Venezia, Saggi Marsilio, 1979
8 Muratori S., in Caniggia, G., *Ragionamenti di tipologia: operatività della tipologia processuale in architettura, op.cit.*
9 Caniggia G., Maffei G., *Lettura dell'edilizia di base*, Venezia, *op.cit.*
10 La città storica, secondo l'interpretazione di scuola muratoriana, è il risultato della "*coscienza spontanea*", cioè di quell' "*attitudine di un soggetto operante ad adeguarsi, nel suo operare, alla sostanza civile ereditata senza necessità od obbligatorietà di mediazioni o di scelte*" dettata dalla "*comprensione immediata e sintetica di quel che conviene a formare un prodotto edilizio*". La "*coscienza spontanea*" è tipica dei momenti storici caratterizzati dalla certezza dell'agire, in cui cioè sono chiare le motivazioni e le modalità del costruire. L'atteggiamento opposto è invece la "*coscienza critica*". Muratori S., in Caniggia G., *Ragionamenti di tipologia: operatività della tipologia processuale in architettura, op.cit.*

9



10

Fig. 9 Stralcio di un foglio catastale di Catania del 1884
Fig. 10 Ricostruzione delle fasi di evoluzione di un aggregato nel centro storico di Catania attraverso la lettura delle tracce esistenti sui manufatti, lo studio della cartografia catastale e della iconografia storica

2. Il percorso di conoscenza alla scala edilizia

2.1. Individuazione delle unità elementari nell'aggregato

Il percorso di conoscenza alla scala dell'aggregato è indispensabile per il corretto indirizzo delle scelte di intervento. Le considerazioni che scaturiscono da questa fase di conoscenza si possono mettere in pratica però solo attraverso la programmazione degli interventi su porzioni ridotte di esso, essendo praticamente impossibile agire contestualmente sull'intero aggregato. Il problema particolarmente spinoso che a questo punto entra in gioco è relativo alle modalità di azione puntuale su una porzione dell'aggregato (al massimo su una singola unità immobiliare) nel rispetto delle necessità che scaturiscono dalla lettura dell'insieme.

Considerando che l'indispensabile fase di conoscenza e di interpretazione dell'aggregato richiede un livello di attenzione superiore rispetto a quello che viene di solito richiesto ad un progettista chiamato ad intervenire su una singola unità immobiliare, scaturisce la necessità di stabilire degli strumenti che ne consentano l'esecuzione.

Tali strumenti, necessari a permettere una azione preventiva di riduzione della vulnerabilità degli aggregati dei centri storici, dovrebbero essere, per la natura e la dimensione degli oggetti in esame, messi in atto dagli enti pubblici. Essi dovrebbero infatti avviare, contestualmente alla redazione degli strumenti urbanistici comunali o attraverso successivi procedimenti di approfondimento, la fase di conoscenza e interpretazione necessaria a fornire poi ai progettisti le informazioni utili per operare alla scala inferiore. Ed è qui che si colloca dunque la metodologia di indagine che si propone alla scala dell'aggregato, prima, e dell'unità edilizia dopo.

Per quanto riguarda la fase di conoscenza alla scala edilizia, l'estrema frammentarietà delle particelle proprietarie degli edifici nei centri storici e la conseguente difficoltà dell'effettuare un intervento coerente alla logica globale dell'aggregato agendo solo su una singola porzione di esso, induce a proporre l'individuazione, all'interno dell'aggregato, di porzioni unitarie specifiche dette *unità elementari*, tramite cui operare sull'aggregato. Tali unità elementari devono permettere di affrontare in maniera metodologicamente più agile il problema della comprensione delle caratteristiche degli edifici in aggregato. Al contempo però, la loro individuazione deve avvenire nel rispetto della reciproca interdipendenza degli edifici cui si riferiscono.

Il primo passo per la conoscenza alla scala edilizia è l'individuazione all'interno dell'aggregato, delle *Unità Edilizie* (in seguito indicate come U.E.) di cui esso è composto. Per U.E. si intende la porzione di aggregato edificata in maniera unitaria. L'U.E. può essere costituita da una o più *unità immobiliari*, cioè da porzioni di essa appartenenti a proprietari differenti. Operazione questa che deve essere contenuta nelle indagini alla scala dell'aggregato. L'intero aggregato viene scomposto nelle U.E. che lo costituiscono. Questa scomposizione deve avvenire tenendo conto della configurazione attuale delle

unità, frutto delle modifiche che esse hanno subito nel tempo. Così alcune U.E. individuabili oggi non coincidono esattamente con quelle riferibili alla loro conformazione originale.
L'insieme delle proprietà sulle quali un singolo professionista può ricevere l'incarico di intervenire si può invece definire *unità di intervento* (U.I.). All'interno di ogni U.E. sono rintracciabili al massimo tante U.I. quante sono le particelle proprietarie, dato che appunto ogni singolo proprietario potrebbe decidere di intervenire sulla sua unità immobiliare. Ma allo stesso tempo le U.I. possono appartenere contemporaneamente a più U.E. in conseguenza alle rifusioni accorse nel tempo.
L' U.I. da sola non basta a tenere in considerazione il rapporto tra la porzione di aggregato su cui intervenire e il suo intorno. Procedendo a definire i criteri di intervento osservando la sola U.I. infatti si perderebbero tutte le considerazioni sull'aggregato. Per questo motivo si introducono due ulteriori unità elementari: l'*unità di analisi statica* (U.A.St.) e l' *unità di analisi sismica* (U.A.Si.). L'unità di analisi statica (U.A.St.) è una porzione dell'aggregato, tendenzialmente piccola (al limite anche della semplice unità monocellulare), che presenta continuità da terra a cielo, cioè i carichi statici verticali presenti sui diversi elementi dell' U.I. vengono integralmente scaricati in fondazione attraverso le pareti. Essa è definita dal volume edificato delimitato dai piani verticali che inviluppano l'U.I. All'interno di una U.I. possono essere individuate anche più U.A.St. Ciò può accadere sia nei casi in cui si è in presenza di una proprietà particolarmente estesa, sia quando la proprietà si estende, magari anche ad un solo livello, su una U.E. adiacente.
L'unità di analisi sismica (U.A.Si.) invece è la porzione di aggregato all'interno della quale avviene la trasmissione delle forze sismiche agenti sull' U.I. considerata. Essa è una porzione opportunamente più ampia dell'insieme delle U.A.St. che interessano l' U.I. poiché si riferisce alla mutua interazione delle stesse in caso di sisma. L' U.A.Si. svolge un ruolo fondamentale nella definizione dei possibili meccanismi di collasso sismico che possono interessare l' U.I.
L'analisi della capacità sismica spesso può mettere in evidenza la necessità di interventi che non si limitano all'U.I. ma coinvolgono altre porzioni delle U.A.St. e dunque delle proprietà adiacenti. In questi casi sarà necessario, per il progetto, definire e fare riferimento ad una *unità minima d'intervento* (U.M.I.), più ampia della originale U.I. per la quale prevedere un progetto unitario.
La scomposizione dell'aggregato presentata permette di individuare delle porzioni sulle quali poter intervenire in tempi differenti rispettando comunque le logiche di aggregazione in cui si trovano gli edifici e lasciando liberi i singoli progettisti di trovare le soluzioni tecniche più congrue nel rispetto però di tale configurazione d'assieme.

2.2. Conoscenza delle unità elementari per l'orientamento del progetto

La fase conoscitiva dell'aggregato costituisce un elemento imprescindibile della metodologia proposta ma è evidente che tale procedura, da parte di un progettista chiamato ad intervenire su un singolo edificio, non possa che fondarsi su una analisi comunque caratterizzata da un limitato livello di dettaglio. Le operazioni che devono essere condotte dal singolo professionista sono invece limitate per estensione alle unità elementari e devono essere condotte con la medesima procedura metodologica proposta per l'aggregato.
Gli approfondimenti di indagini da condurre sulle unità elementari consistono nel *rilievo costruttivo-strutturale*, nel *rilievo dei dissesti e dei degradi* e nelle *indagini strumentali*.
Al rilievo geometrico – dimensionale, base per la redazione del rilievo critico dell'aggregato, si deve associare, per le U.I., il rilievo costruttivo, cioè lo studio e la rappresentazione degli elementi che compongo l'organismo costruttivo dell'unità al fine di capire sia il loro stato di conservazione che il ruolo svolto dal punto di vista dell'incremento o della riduzione della suscettibilità dell'edificio all'azione sismica. Una precisazione del rilievo costruttivo è inoltre il rilievo strutturale. Esso consiste nella raccolta di tutte le informazioni sui materiali e sulle loro dimensioni ai fini della corretta modellazione per la verifica analitica della resistenza al sisma. In questo tipo di rilievo si effettua una semplificazione delle informazioni eliminando tutti gli elementi che non influiscono direttamente sul comportamento strutturale. Ad esempio, un'informazione che non fa parte del rilievo strutturale è il tipo di modanatura presente sugli stipiti di una porta. Va rilevata invece la dimensione globale di tali stipiti, il peso, il numero di conci lapidei che li compongono.
Il rilievo dei dissesti deve fornire il quadro completo delle lesioni presenti sulle murature che costituiscono l'unità in esame; la loro dimensione, l'andamento e la profondità in modo da valutare i possibili meccanismi in atto o attivabili. Esso deve essere esteso anche all' U.A.St. e all'U.A.S.i, oltre che all' U.I. poiché deve permettere di avere un quadro generale sulle condizioni del contesto in cui si inserisce l'U.I., mettendo in correlazione le diverse lesioni alle cause che le hanno determinate. Al rilievo dei dissesti si associa il rilievo dei degradi presenti sugli elementi strutturali o sulle superfici, da cui ricavare delle informazioni sulla vulnerabilità intrinseca dell'elemento costruttivo incrementata dal suo cattivo stato di manutenzione.
Un ultimo passo per la conoscenza delle unità elementari è costituito dalle indagini strumentali (tipo martinetti piatti, prove soniche, etc.) per la caratterizzazione dei materiali. Esse rappresentano un tipo di conoscenza eccessivamente approfondito in rapporto all'oggetto in esame ma non sono da escludersi se giustificate dalle condizioni specifiche. Tali indagini sono finalizzate alla caratterizzazione delle proprietà meccaniche dei materiali, da impiegarsi nelle successive fasi di verifica analitica della sicurezza.

3. L'interpretazione: dall'analisi al progetto

3.1. Individuazione, valutazione e classificazione dei fattori di vulnerabilità e di resistenza

La fase di interpretazione costituisce il momento in cui si mettono in correlazione le informazioni sull'aggregato e sulle unità elementari ricavate nella fase precedente, con i criteri di intervento che si formuleranno nella fase successiva. È da qui infatti che emergono con chiarezza i nodi che dovranno essere sciolti con il progetto.
L'indagine condotta in questa fase non conduce alla valutazione numerica di una resistenza da mettere a confronto con una sollecitazione, ma consiste nell'individuare nell'aggregato, attraverso le considerazioni fatte sulla qualità costruttiva, sulle fasi di crescita, sulla morfologia del sito e sui fattori esterni, i particolari punti di debolezza o di resistenza al terremoto. Tali punti di debolezza e di resistenza vanno riconosciuti a diversi livelli negli aggregati e devono essere interpretati in maniera da costituire un quadro globale di danneggiamento al sisma.
Per poter correttamente leggere le precarietà e le resistenze presenti nell'aggregato ed associarle allo scenario di danno che configurano, è necessario saperle riconoscere.
Gli *indicatori di vulnerabilità e di resistenza sismica* sono rappresentati da tutte le caratteristiche, proprie del manufatto o determinate da fattori esterni, che lo rendono maggiormente suscettibile al danneggiamento sismico o al contrario particolarmente adatto ad opporsi ad esso.
Tali indicatori sono rintracciabili nel costruito storico solo attraverso la conoscenza della logica muraria e dunque delle regola dell'arte e delle modalità che regolano l'aggregazione degli edifici nel tessuto, con riferimento alle diverse situazioni locali.
Così come è possibile individuare nel costruito murario storico delle caratteristiche comuni e al contempo delle specificità locali, allo stesso modo è possibile ricondurre gli indicatori di vulnerabilità e di resistenza a delle forme comuni ricorrenti o specifiche, che possono far parte di una casistica di situazioni generalizzabili ai diversi contesti locali.
Secondo questa logica allora gli indicatori di vulnerabilità e di resistenza sismica possono ritrovarsi sia tra a) le caratteristiche generalizzate della costruzione muraria storica che tra b) le caratteristiche specifiche derivanti invece dal contesto storico culturale locale relativo a una determinata area geografica.

a) Indicatori di vulnerabilità o di resistenza riferibili alle *caratteristiche generalizzate della costruzione muraria*.

Rientrano in questa categoria tutte le vulnerabilità e le resistenze derivanti dalle modifiche evolutive dell'aggregato (come accrescimenti, intasamenti, rifusioni, sopraelevazioni, demolizioni) realizzate compatibilmente o meno alla logica muraria; le vulnerabilità e le resistenze derivanti dalle caratteristiche d'assieme del tessuto edilizio (come morfologia del terreno, caratteristiche degli spazi interni, caratteristiche tipologiche degli edifici, ca-

ratteristiche degli spazi aperti pubblici, altezze relative degli edifici contigui).

b) Indicatori di vulnerabilità o di resistenza riferibili alle *caratteristiche specifiche derivanti dal modo di costruire locale dei diversi contesti edilizi*.

Rientrano in questa categoria le vulnerabilità e le resistenze rintracciabili nella cultura costruttiva locale. Lo studio degli elementi costruttivi degli edifici di un centro storico è finalizzato, come si è visto in precedenza, alla comprensione del lessico costruttivo locale. Il raffronto delle peculiarità locali rintracciate con la regola dell'arte permette di darne un giudizio. In questo modo è possibile evidenziare la presenza di vulnerabilità e di resistenze intrinseche negli elementi costruttivi, nella loro reciproca connessione, o nella presenza di presidi antisismici storici di cui valutare l' efficacia.

Ricercati all'interno di questi due grandi ambiti, gli indicatori di vulnerabilità e di resistenza sismica, assumono diverse forme, in relazione alla dimensione cui fanno riferimento. In questo senso dunque gli indicatori di vulnerabilità e di resistenza possono essere letti alla scala edilizia e alla scala dell'aggregato.
Gli indicatori di vulnerabilità sismica edilizia sono riferiti alle caratteristiche intrinseche degli elementi costruttivi che compongo la singola unità edilizia e alle modifiche che essa ha subito nel tempo. Tali indicatori sono infatti:

- la snellezza verticale delle pareti murarie; cioè il rapporto tra lo spessore della parete alla base e la sua altezza. Al decrescere di questo rapporto cresce l'instabilità della parete e dunque la sua vulnerabilità, rappresentata dalla facilità con cui può essere messo in moto il suo ribaltamento verso l'esterno da un'azione orizzontale;
- la snellezza orizzontale delle pareti murarie; cioè il rapporto tra lo spessore della parete di facciata e l'interasse tra due muri ad essa ortogonali. Tale rapporto, codificato da Rondelet, esprime l'importanza del ruolo svolto dalle murature di spina, le quali, fungendo da controvento alle pareti di facciata, ne riducono la propensione al ribaltamento verso l'esterno. È facile osservare, infatti, come al crescere di questo rapporto decresce l'instabilità della porzione di facciata compresa tra i due muri di spina osservati;
- il disallineamento delle aperture. Ciò comporta uno scorretto percorso dei carichi fino in fondazione con la conseguente possibilità di avere porzioni murari eccessivamente sollecitate rispetto alle altre;
- le aperture eccessivamente ampie, frutto di incaute modifiche seguite a cambiamenti di destinazioni d'uso o di esigenze distributive. Tale caratteristica comporta la riduzione della porzione del pannello murario effettivamente resistente con la conseguenza di un indebolimento complessivo;
- le aperture realizzate in prossimità dei martelli murari. Tale caratteristica comporta l'indebolimento della connessione muro – muro e se ripetuta per più livelli sovrap-

posti della costruzione, rappresenta una vera e propria discontinuità verticale che elimina il vincolo costituito dalla controventatura con i muri di spina;
- le coperture spingenti, cioè le coperture le cui strutture resistenti sono posizionate ortogonalmente alle pareti di facciate. Esse esercitano un' azione orizzontale agente staticamente sulle murature d'ambito che può essere incrementata dall'azione dinamica del terremoto, favorendo il ribaltamento verso l'esterno delle pareti su cui sono posizionate.

Gli indicatori di vulnerabilità sismica dell'aggregato derivano dalle caratteristiche d'assieme del tessuto edilizio o dell'orografia del luogo e si esprimono proprio nel rapporto tra le diverse unità edilizie nel tessuto. Per questo motivo possiamo individuare due sottocategorie: indicatori di vulnerabilità sismica da interazione e indicatori di vulnerabilità sismica da posizione.

• *Indicatori di vulnerabilità sismica da interazione*.

Tali indicatori esprimono la vulnerabilità dovuta all'influenza reciproca di unità edilizie adiacenti e sono rappresentati da:
- le sopraelevazioni non integrate, cioè le strutture precarie realizzate con materiali e tecniche incongrue che in caso di crollo investono le unità edilizie limitrofe;
- le sconnessioni verticali tra cellule murarie costruite in epoche differenti, cioè le naturali carenze di ammorsamento tra strutture murarie non coeve che in caso di sisma determinano il moto reciproco tra le scatole murarie;
- i solai sfalsati che in occasione del terremoto esercitano un effetto di martellamento sulle murature ad essi ortogonali;
- gli orizzontamenti eccessivamente rigidi che occasione dell'azione orizzontale indotta dal sisma determinano delle spinte contro le murature.

• *Indicatori di vulnerabilità sismica da posizione*.

Tali indicatori sono riferiti alla collocazione planimetrica della cellula all'interno dell'aggregato. Anche le cellule che non hanno precarietà intrinseche infatti possono essere danneggiate dal crollo di porzioni murarie di cellule contigue che invece presentano maggiori debolezze. È noto inoltre che le cellule isolate sono da questo punto di vista le più vulnerabili poiché presentano quattro pareti esposte all'azione sismica; le cellule di testata ne presentano tre, le cellule d'angolo due mentre le cellule intercluse sono, in questo senso, le meno vulnerabili per la presenza di un solo fronte esposto.

Così come per la vulnerabilità, anche la resistenza sismica è legata sia a particolari caratteristiche intrinseche della costruzione muraria, (indicatori di resistenza sismica edilizia), sia alle caratteristiche di assieme dell'edificio nella sua posizione all'interno dell'aggregato, (indicatori di resistenza dell'aggregato).

I principali *indicatori di resistenza sismica edilizia* sono:

- la qualità dell'apparecchio murario. Ritenuta caratteristica imprescindibile per un corretto comportamento meccanico dell'intera compagine edificata;
- la complanarità degli orizzontamenti appartenenti a cellule adiacenti, che permette di evitare fenomeni di martellamento sulle murature d'ambito e al contrario costituisce un effetto di controventatura orizzontale;
- l'efficacia delle connessioni muro-muro, muro-orizzontamento di interpiano, muro-copertura. I nodi sono i punti di maggiore debolezza che possono essere messi in crisi dal sisma. Un particolare attenzione costruttiva verso tali elementi impedisce che si verifichino daneggiamenti localizzati;
- la presenza di presidi antisismici storici come incatenamenti, radicamenti lignei, muri di contrafforte o ringrossi murari, opportunamente collocati dai costruttori storici per favorire il comportamento "scatolare" della cellula muraria.

I principali *indicatori di resistenza sismica dell'aggregato* invece sono tutti gli elementi che garantiscono un reciproco contrasto degli edifici nel tessuto all'azione sismica e in particolare sono:

- gli allineamenti murari sia planimetrici che altimetrici, cioè la continuità orizzontale e verticale delle strutture murarie. Tale caratteristica permette di evitare effetti torsionali particolari e soprattutto di distribuire l'azione orizzontale del sisma su una superficie muraria il più possibile continua;
- la presenza di archi di sbatacchio opportunamente collocati, cioè di archi murari collocati tra un edificio e l'altro in corrispondenza dei muri interni. Ciò permette di esercitare un'azione di mutuo contrasto contro le pareti di facciata impedendone il ribaltamento.
- la regolarità plani – altimetrica, cioè la disposizione simmetrica delle aperture, la regolarità del passo dei muri di spina, la prevalenza di cellule di dimensione regolare tendente al quadrato. Tutto ciò per consentire una risposta unitaria al terremoto evitando la direzione prevalente di debolezza.

3.2. Prefigurazione dello scenario di danno sismico dell'aggregato

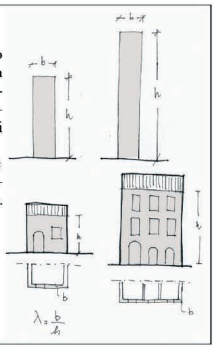
L'individuazione degli *indicatori di vulnerabilità e di resistenza* rintracciati nell'aggregato è finalizzata alla formulazione dello *scenario di danno sismico*, cioè alla prefigurazione del danneggiamento che potrebbe subire l'aggregato in caso di sisma. Il terremoto, infatti, investendo il manufatto, ne mette in crisi principalmente proprio i punti di maggiore debolezza. La formulazione dei meccanismi di collasso ipotizzati dunque è la diretta conseguenza dell' osservazione critica dei dissesti leggibili nel costruito, del degrado materico degli elementi costruttivi, dell'analisi storico morfologica dell'aggregato, della conoscenza della storia sismica e dei fattori di amplificazione dell'intensità

sismica. Per la prefigurazione dello scenario di danno si adotta una analisi cinematica dell'edificato che tiene conto della reale geometria degli elementi che lo compongo, delle loro caratteristiche costruttive e delle fasi di accrescimento, senza brutali semplificazioni. Ogni prospetto viene infatti studiato con la sua complessa articolazione, non come un semplice monolite, ma tenendo in considerazione invece tutto ciò che lo costituisce o che si trova al suo intorno: muri di spina, elementi di orizzontamento e di copertura proprie e delle unità adiacenti e tutti gli elementi che, come indicato in precedenza, ne possono determinare il danneggiamento.
Per la prefigurazione dello scenario di danno e dunque anche dei meccanismi di collasso locale devono comunque necessariamente essere adottate delle semplificazioni. Si ipotizza infatti che ogni cinematismo venga messo in atto per la perdita di equilibrio di porzioni di muratura isolate da lesioni. Tale porzione della costruzione isolata dalle lesioni risulta pertanto trasformata in un cinematismo di corpi rigidi, che ruotano e o traslano l' uno rispetto all'altro.
In effetti l'approssimazione sta nel fatto che un muro reale non può ruotare intorno ad uno spigolo come fosse un corpo rigido, visto che tale movimento comporterebbe tra l'altro la compenetrazione parziale delle porzioni di muratura messe in ribaltamento.
Ciononostante risulta evidente come la sicurezza sismica sia strettamente legata alla geometria della costruzione ed ai vincoli costruttivi presenti. Una ulteriore approssimazione nella definizione dei cinematismi di collasso che compongono lo scenario di danno consiste nel considerare le strutture murarie come costituite da materiale uniforme.
Bisogna tenere presente il fatto che la qualità dell'apparecchio murario può effettivamente impedire che il meccanismi si inneschi in maniera geometricamente definita ma che invece, ed è il caso di murature particolarmente decoese, la disgregazione porti al collasso prima che risulti evidente la catena cinematica di blocchi murari.
Un'ultima approssimazione infine consiste nella definizione di due direzioni prevalenti dell'azione sismica cui associare i rispettivi meccanismi attivabili. In realtà infatti esistono infinite direzioni dell'azione sismica ma ricondurle a due direzioni tra loro ortogonali permette di individuare i più probabili cinematismi attivabili.

INDICATORI DI VULENERABILITA' EDILIZIA

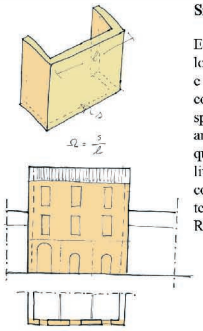
Snellezza verticale

E' data dal rapporto tra lo spessore della parete e la sua altezza. E' utile a individuare qualle parete di facciata risulta maggiormante suscettibile ai meccanismi di primo modo.



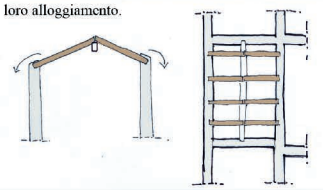
Snellezza orizzontale

E' data dal rapporto tra lo spessore della parete e la distanza che intercorre tra due muri di spina efficacemente ammorsati. E' utile a quantificare la possibilità di innescarsi dei collassi riconducibili al terzo meccanismo di Rondelet.



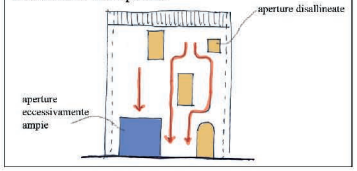
Coperture spingenti

Le strutture di copertura a falsi puntoni ordite perpendicolarmente alla facciata costituiscono una spinta orizzontale che agisce sia in condizioni statiche che, amplificata, in occasione di un evento sismico. In tale circostanza dunque le travi potrebbero favorire il ribaltamento verso l'esterno della facciata e sfilarsi dal loro alloggiamento.



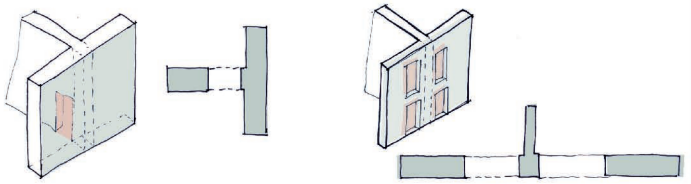
Aperture eccessivamente ampie e disallineate

Gli ampliamenti dei vani delle porte determinano una riduzione della porzione muraria resistente.
Il disallineamento delle aperture, inoltre, determina uno scorretto percorso dei carichi fino in fondazione con conseguenza di maggiori concentrazioni di carico su alcune porzioni della muratura ed il conseguente indebolimento della parete.



Aperture prossime al martello murario

Le aperture poste in prossimità del martello murario costituiscono un indebolimento del nodo parete -parete rendendo inefficace il contributo stabilizzande fornito dai muri di spina al ribaltamento della facciata.



INDICATORI DI VULENERABILITA' DELL'AGGREGATO

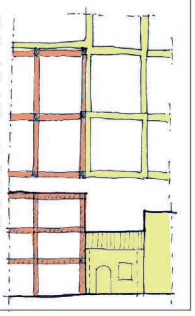
da interazione

Sopraelevazioni non integrate e strutture aggettenti

Le sopraelevazioni realizzate con strutture incongrue alla costruzione muraria e le strutture aggettanti precarie determinano un aumento del carico permanente. Si ha dunque un peggioramento delle condizioni di stabilità sia degli edifici su cui queste sopralevazioni sono realizzate, sia degli edifici adiacenti.

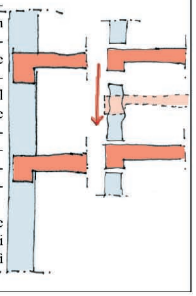
Martellamento tra strutture differenti adiacenti

L'adiacenza di edifici costruiti con tecniche costruttive differenti, dotate di rigidezza e peso diverso, può comportare dei fenomeni di "martellamento".
E' il caso diffuso di compresenza nello stesso aggregato di strutture intelaiate in cemento armato ed edifici murari.



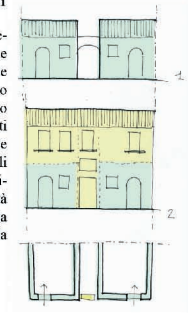
Orizzontamenti estremamente rigidi

I solai e le coperture in cemento armato o eccessivamente rigidi in genere, possono determinare delle spinte sulle murature fino alla espulsione verso l'esterno o al collasso sulle strutture sottostanti. Le cordolature in cemento armato infatti, oltre ad incrementare carico e rigidezza, costituiscono una discontinuità orizzontale sulle pareti murarie di elevazione creando così una cerniera orizzontale.



Discontinuità verticali

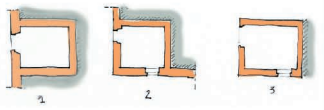
Le successive sopraelevazioni, ampliamenti e rifusioni delle cellule che costituiscono l'aggregato determinano degli accostamenti murari e dunque delle sconnessioni verticali che costituiscono indicatore di vulnerabilità poichè interrompono la continuità della scatola muraria.



da posizione

Posizione della cellula nell'aggregato

Dal posizionamento della cellula all'interno dell'aggregato si possono avere situazioni di diversa esposizione al sisma. Le cellule intercluse, poste cioè tra altre unità edilizie, hanno un solo fronte soggetto a ribaltamento verso l'esterno. Nel caso si trovino all'interno di una stecca lineare possono avevre due pareti esposte. Lo stesso accade nel caso di cellule d'angolo.



Vulnerabilità indiretta

Anche le cellule che non hanno precarietà intrinseche possono essere danneggiate dal crollo di porzioni murarie di cellule contigue che invece presentano maggiori debolezze.

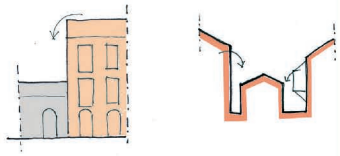
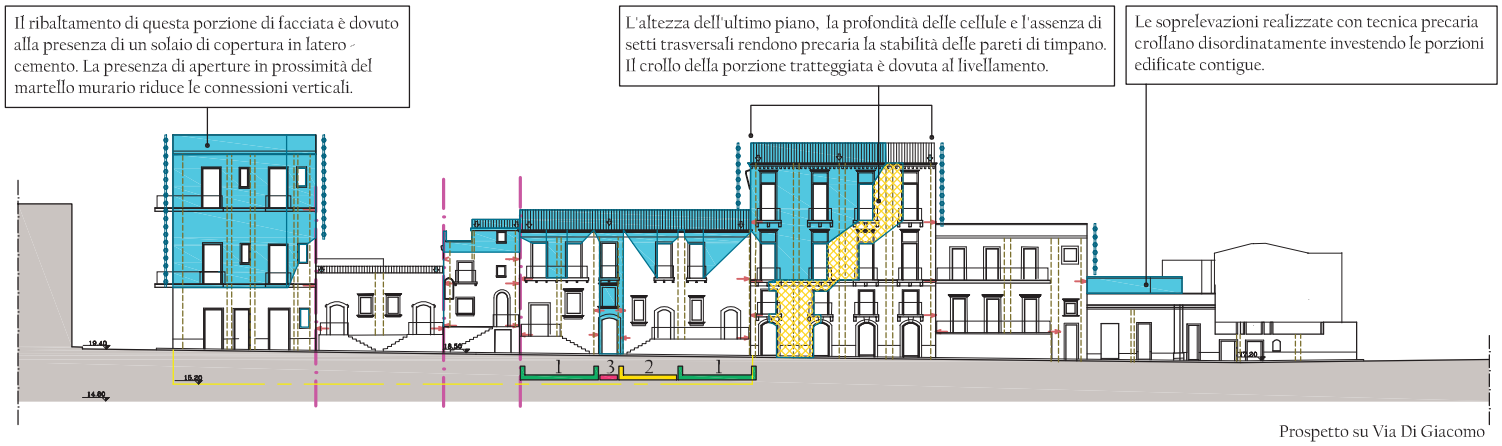
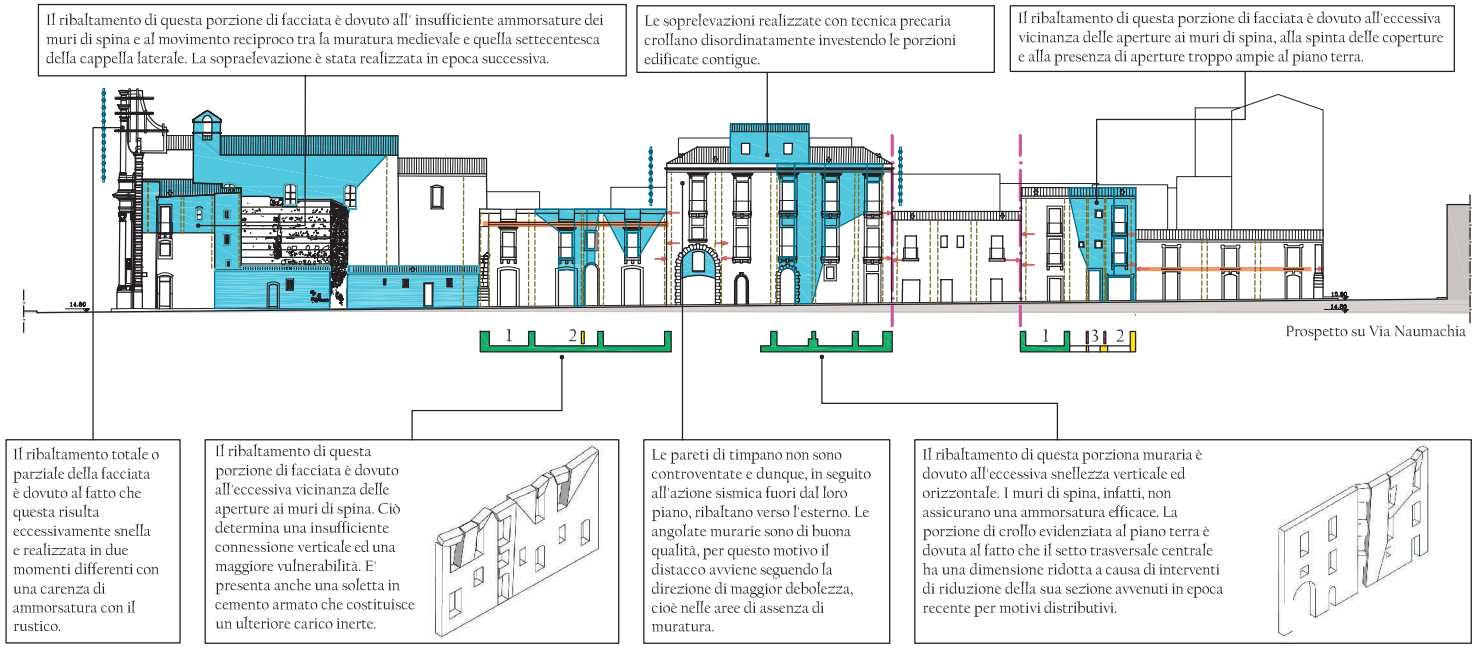


Fig. 11 Schemi grafici degli indicatori di vulnerabilità sismica edilizia e dell'aggregato.



12



13

Fig. 12-13 Ipotesi di scenario di danno per un aggregato nel centro storico di Catania

4. Il progetto

4.1. Criteri per la riduzione della vulnerabilità sismica degli aggregati: le "linee guida"

La metodologia di conoscenza ed interpretazione degli aggregati storici illustrata nei capitoli precedenti si configura come una guida per mezzo della quale trarre delle considerazioni per il progetto di riduzione della vulnerabilità sismica. In questo senso, dunque, potrebbe essere utilizzata come strumento operativo per gli interventi preventivi sui centri storici con cui migliorare la resistenza all'azione sismica e consentire così di evitare disastrose conseguenze.

La fase di progetto che scaturisce dalle indagini conoscitive ed interpretative viene intesa come una conseguenza diretta della comprensione del comportamento degli edifici murari in aggregato e per questo i criteri di intervento progettuale che fornisce ne rispecchiano pienamente la logica.

Tale fase di progetto adotta un approccio di tipo prestazionale, cioè non fornisce dei particolari procedimenti tecnici da adoperare nei casi specifici che si possono riscontrare nella pratica professionale, ma stabilisce dei criteri che tali interventi devono rispettare per ottenere la finalità preposta, cioè la mitigazione della vulnerabilità sismica e la conservazione degli aggregati storici. In questo modo è possibile evitare l'uso indiscriminato di soluzioni tecniche pronte all'uso da impiegare a prescindere dalla reale necessità del manufatto su cui intervenire ed inoltre si conferisce maggiore libertà progettuale al professionista chiamato ad agire sul singolo caso, purché rispetti criteri dettati.

Lo strumento che si ritiene essere più adatto a tale finalità è quello delle "linee guida", cioè delle indicazioni sugli obiettivi da perseguire e sui criteri da rispettare per farlo. Le linee guida costituiscono uno strumento di coordinamento dei progetti sulle singole unità, indispensabile a fare in modo che l'azione su ogni U.I. sia coerente con le necessità dell'intero aggregato.

Gli obiettivi delle linee guida possono essere così sintetizzati:

a. riduzione della vulnerabilità sismica degli aggregati e dunque incremento della sicurezza della vita all'interno della città storica;
b. conservazione e valorizzazione del patrimonio architettonico culturale della città storica;
c. conservazione e valorizzazione del linguaggio costruttivo con cui si esprime l'edilizia storica, testimonianza di un sapere tecnico proprio della cultura che l'ha generata e oggi andato perduto;
d. conservazione e valorizzazione del processo evolutivo che ha determinato la configurazione attuale dell'aggregato
e. Valorizzazione funzionale dell'aggregato

I criteri di intervento da rispettare per il conseguimento degli obiettivi delle linee guida si possono riassumere in un unico enunciato che li contiene tutti: rispetto della logica della

costruzione muraria e della processualità storico-evolutiva di aggregazione. Tale criterio è ritenuto il fondamento su cui concepire qualunque intervento sugli aggregati storici poiché il suo rispetto consente di concepire degli interventi che non siano dannosi per la costruzione storica sia dal punto di vista meccanico che storico. Rispettare la logica muraria significa infatti intervenire sulla costruzione muraria adoperando la tecnica muraria e ciò esclude, ad esempio, l'utilizzo del cemento armato; significa ancora non alterare il comportamento strutturale originario introducendo vincoli o debolezze originariamente assenti; non avere la presunzione di poter conferire alla costruzione muraria storica il medesimo livello di resistenza e di sicurezza proprio dei moderni edifici in cemento armato.

Gli interventi che rispettano tale criterio e sono finalizzati a perseguire l'obiettivo di riduzione della vulnerabilità sismica dell'aggregato possono essere raggruppai in tre categorie:

1. interventi di riduzione della vulnerabilità derivante da irregolarità morfologica e strutturale. Appartengono a questa categoria gli interventi di ripristino o creazione dei corretti percorsi dei carichi attraverso la chiusura o la riduzione di aperture eccessivamente ampie o posizionate in maniera scorretta; gli interventi di riduzione delle snellezze orizzontali tramite l'inserimento di setti di controvento; gli interventi di riduzione dei fenomeni di martellamento attraverso la sostituzione dei solai eccessivamente rigidi con solai realizzati con materiali coerenti alla natura della costruzione e opportunamente posizionati rispetto alle strutture verticali; interventi di demolizione delle strutture aggettanti o delle sopraelevazioni non integrate.
2. interventi di miglioramento dell'organizzazione del sistema resistente alle azioni sismiche. Appartengono a questa categoria gli interventi di miglioramento delle connessioni tra le strutture murarie attraverso inspessimenti ben ammorsati o attraverso l'inserimento di elementi lapidei nello spessore murario; gli interventi di riduzione delle spinte di archi e volte o delle coperture attraverso l'introduzione di catene e cordoli armati e attraverso il collegamento delle strutture di copertura.
3. interventi di ripristino degli elementi danneggiati. Appartengono a questa categoria gli interventi di sostituzione di singoli elementi strutturali degradati e l'eliminazione delle cause di degrado materico.

Fig. 14 Linee guida per la mitigazione della vulnerabilità sismica di un aggregato nel centro storico di Catania. Pianta del primo livello e prospetti

Parte III
Un'applicazione del metodo: il caso di Villa Sant'Angelo

Introduzione

Il tema di ricerca affrontato durante il triennio di dottorato è divenuto purtroppo di estrema attualità in seguito al terremoto del 6 Aprile 2009 che ha colpito diverse provincie abruzzesi. Tale evento ha inevitabilmente messo in moto una complessa macchina di intervento volta alla immediata gestione dell' emergenza nella prima fase, e alla ricostruzione delle zone colpite, nella fase seguente.

La partecipazione all' attività di indagine preventiva all'elaborazione degli interventi di messa in sicurezza e ricostruzione di due centri storici in provincia di L'Aquila[1], ha permesso di mettere in pratica la metodologia studiata nel corso dei due precedenti anni di Dottorato.

Tale metodologia, precedentemente esposta, si configura come una *guida alla lettura degli aggregati* edilizi dei centri storici per la valutazione e la riduzione della vulnerabilità sismica. Essa è pensata per essere applicata in maniera preventiva in situazioni di normale attività, ma la sua declinazione in condizioni post sismiche ne ha permesso una sperimentazione al vero.

Tale sperimentazione è stata condotta su un aggregato tipo particolarmente rappresentativo del centro storico Villa Sant'Angelo.

1.1. Sequenza sismica

Il 6 Aprile 2009 alle ore 03:32 l'area dell'Aquilano è stata investita da un forte terremoto[2], con una magnitudo (Ml) della scossa principale pari a 5.8 (magnitudo momento Mw=6.3 [3]).

La sequenza sismica però ha avuto inizio già qualche mese prima e ha proseguito nei mesi successivi con scosse di intensità inferiore. In particolare sono stati registrati tre eventi con magnitudo maggiore di 5: il 6 aprile (Ml=5.8), il 7 aprile (Ml=5.3) e il 9 aprile (Ml=5.1).

La distribuzione planimetrica delle repliche evidenzia che l'area interessata dalla sequenza sismica, definita "cratere sismico", si estende per oltre 30 km in direzione NO-SE, parallelamente all'asse della catena appenninica.

La prima scossa, del 6 Aprile, è localizzata a sud-ovest di L'Aquila, nei pressi di Tornimparte, Lucoli, Scoppito. La replica più forte, registrata alle 19:47 del 7 aprile, ha interessato il settore più meridionale dell'area, in prossimità dei centri di San Martino d'Ocre, Fossa, San Felice d'Ocre, dove erano state localizzate anche piccole scosse nella stessa giornata. L'evento del 9 aprile di Ml=5.1 è localizzato invece più a nord, lungo una struttura di più limitata estensione, sempre parallela alla catena appenninica, nei pressi di Barete e Pizzoli.

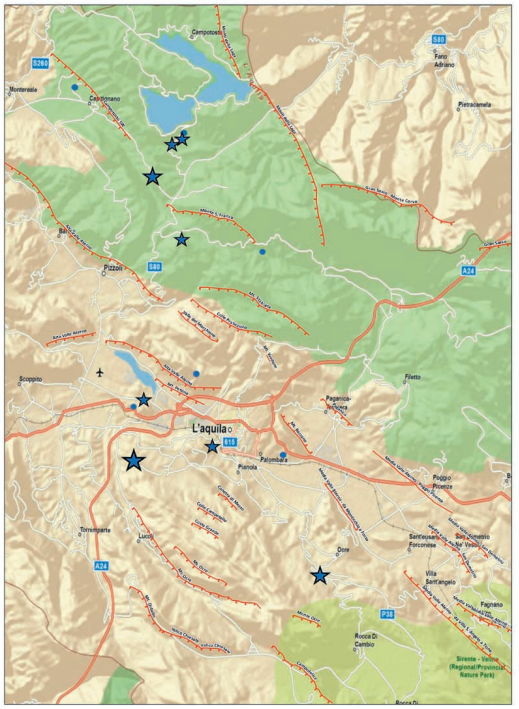
I terremoti della sequenza sono avvenuti principalmente nella crosta superiore, entro 10-12 km di profondità. Solo l'evento Ml=5.3 del 7 Aprile a SE di L'Aquila ha avuto una profondità di circa 15 km. Le analisi effettuate dall' Istituto Nazionale di Geofisica e Vul-

1 Carocci C.F., Cattari S., Lagomarsino S., Tocci C., gruppo di coordinamento, *Attività di studio finalizzata al recupero del centro storico di Casentino e di Villa Sant'Angelo*, 2009

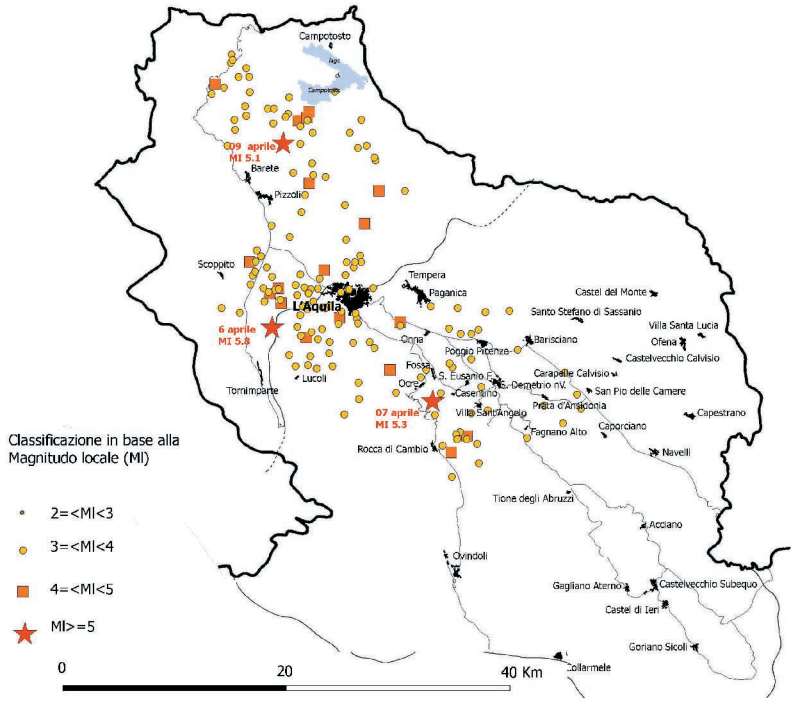
2 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, *La sequenza sismica de L'Aquilano – Aprile 2009*, http://www.ingv.it, 2009

3 La magnitudo Richter o locale (Ml) fu introdotta dal sismologo tedesco Richter nel 1935 per avere una stima della grandezza dei terremoti che fino a quel momento si basava esclusivamente sulla determinazione degli effetti dei terremoti. Il principio introdotto da Richter consiste nello stimare la grandezza di un terremoto direttamente dall'ampiezza di un sismogramma registrato da un sismografo standard chiamato Wood-Anderson. Negli anni '70 Kanamori introdusse la magnitudo momento (Mw) derivata dal parametro sismologico momento sismico che equivale al prodotto tra area di faglia, dislocazione e resistenza delle rocce. La magnitudo Richter è ancora in uso grazie alla rapidità con la quale viene calcolata, ma la magnitudo momento è sicuramente la migliore stima della reale grandezza di un terremoto, essendo direttamente legata alle dimensioni e alla dislocazione della sorgente sismica.

canologia identificano la struttura responsabile della scossa principale come una faglia che si estende per circa 15 km in direzione NO-SE e la cui estensione in superficie si localizza in corrispondenza di Paganica.
La sequenza continua la sua evoluzione, con molte repliche. Al 1 maggio 2009 ore 16:00, ad esempio, erano stati localizzati oltre 4700 terremoti dopo il 6 aprile, la maggior parte dei quali strumentali e non avvertiti dalla popolazione. Gli eventi sismici di Magnitudo Richter maggiore di 3 sono stati invece 157.
Il danneggiamento nella zona epicentrale è determinato, oltre che dalla intensità del terremoto (e quindi dalla magnitudo) anche dalla direzione di propagazione della rottura e dalla geologia dei terreni. In particolare, i danni maggiori vengono amplificati nelle aree dove in superficie affiorano sedimenti "soffici", quali depositi alluvionali, terreni di riporto, ecc.



1

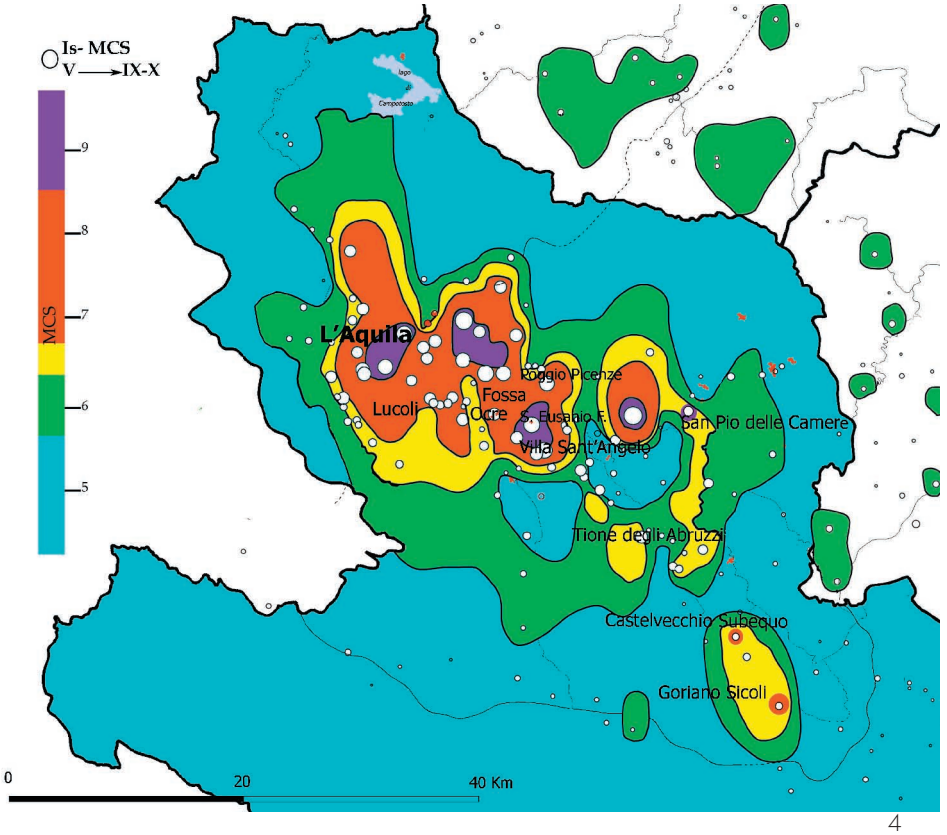


2

COMUNE	I_MCS
L'Aquila	8.5
Acciano	5.5
Arsita	6.0
Barete	6.0
Barisciano	6.0
Brittoli	6.0
Bugnara	6.0
Bussi sul Tirino	6.0
Cagnano Amiterno	6.0
Campotosto	6.0
Capestrano	6.0
Capitignano	6.0
Caporciano	6.0
Carapelle Calviso	6.5
Castel del Monte	6.0
Castel di Ieri	6.5
Castelli	6.0
Castelvecchio Calvisio	6.0
Castelvecchio Sub.	7.0
Civitella Casanova	6.0
Cocullo	6.0
Collarmele	6.0
Colledara	5.5
Cugnoli	6.0
Fagnano Alto	7.5
Fano Adriano	6.0
Fossa	7.5
Fontecchio	6.0

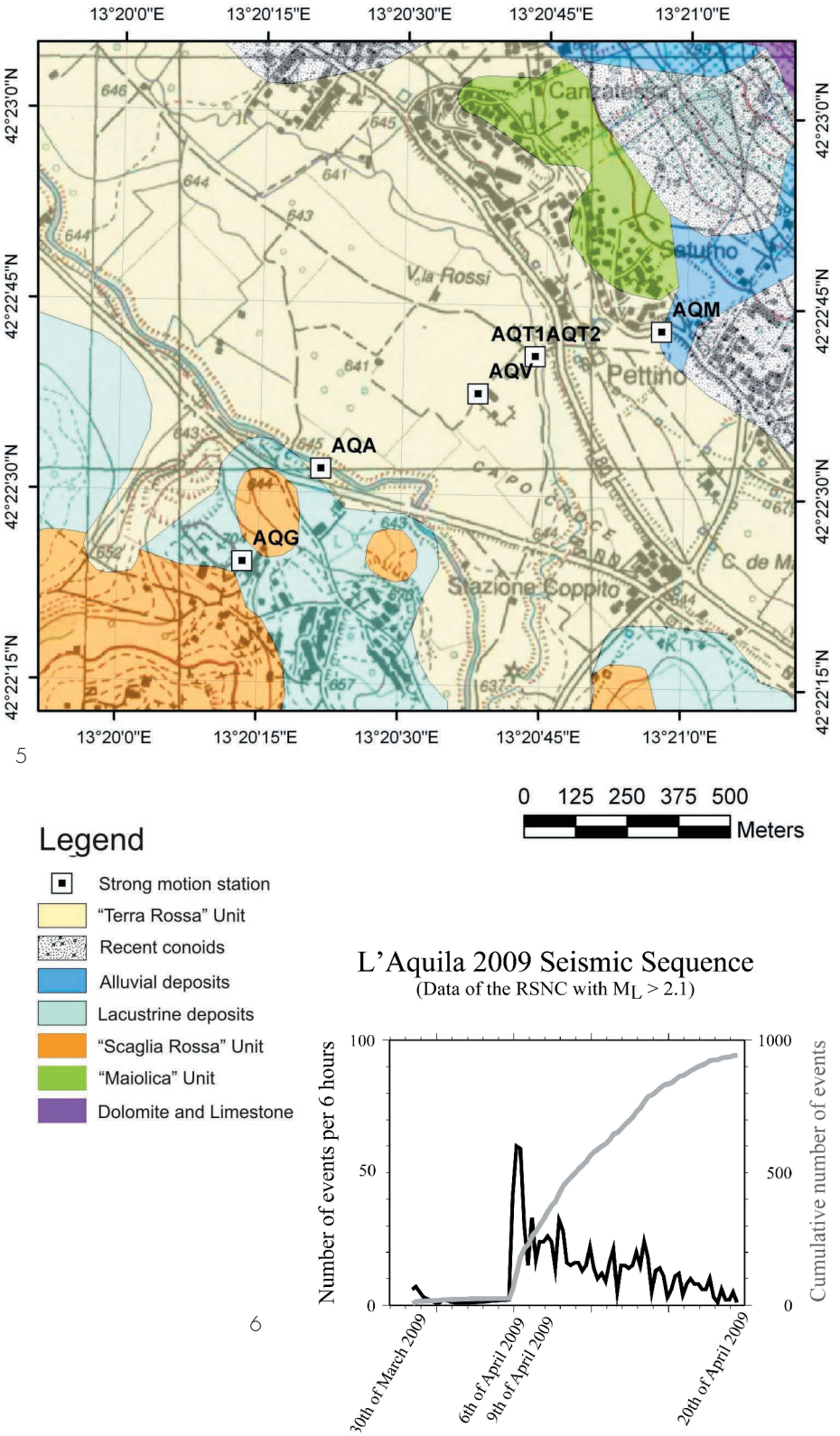
COMUNE	I_MCS
Gagliano Aterno	6.5
Goriano Sicoli	7.0
Lucoli	7.5
Montebello di Bertona	6.0
Montereale	6.0
Montorio al Vomano	6.0
Navelli	6.0
Ocre	7.5
Ofena	6.0
Ovidoli	6.0
Penna Sant'Andrea	6.0
Pitracamela	6.0
Pizzoli	6.0
Poggio Picenze	8.5
Popoli	6.0
Prata D'Ansidonia	6.5
Rocca di Cambio	6.0
Rocca di Mezzo	6.0
San Demetrio n. V.	6.5
San Pio delle Camere	9.5
Sant'Eusanio F.	9.0
Santo Stefano di S.	6.5
Scoppito	6.0
Tione degli Abruzzi	7.0
Tornimparte	6.0
Torre de'Passeri	6.0
Tossicia	6.0
Villa Sant'Angelo	9.0
Villa Santa Lucia d. A.	6.0

3



4

Fig. 1 Mappa delle faglie attive nell'aquilano. La direzione dell'allineamento della sismicità è relativa alla direzione delle principali faglie note nella zona
Fig. 2 Localizzazione e classificazione della sequenza sismica dell'aquilano dell'aprile-giugno 2009
Fig. 3-4 Mappa ed elenco dei comuni del "cratere sismico"



5

6

Fig. 5 Carta geologica della zona dell'aquilano. E' evidente la natura incoerente del sottosuolo
Fig. 6 Andamento temporale del numero di eventi dal 30 marzo al 20 aprile 2009

1.2. Sismicità storica dell'aquilano e di Villa Sant'Angelo

La ricostruzione dei principali eventi sismici che hanno interessato l'area danneggiata dal terremoto del 2009 ha evidenziato una costante attività sismica, di intensità anche particolarmente rilevante.

I più forti terremoti storici che hanno interessato la zona dell'aquilano riportati nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI04, 2004) sono quelli del 9 settembre 1349 (Me 6.5- Is 9) e del 2 febbraio 1703 (Me 6.7 Is 9). La scossa del 6 aprile è certamente non paragonabile a questi eventi sismici, legati a rilasci di energia decisamente superiori. Un paragone si può però proporre con altri eventi che hanno interessato l'area. In particolare, i terremoti del 1461 (Me 6.4 Is 9), 1762 (Me 5.9), 1916 (Me 5.2 Is 3) e 1958 (Me 5.2), tutti responsabili di danni a L'Aquila e dintorni.

L'evento del 1461, ad esempio, ha una somiglianza con quello attuale, con un gravissimo quadro di danni a L'Aquila e in alcune località minori di una limitata area a sud-est, e una lunga serie di repliche alcune delle quali molto forti. Le fonti attestano la pressoché totale distruzione di Onna, Poggio Picenze, Castelnuovo e Sant'Eusanio Forconese[4].

"[…] allo stato funesto della Città rovinata in tante parti, e guaste in tutte le altre, talché la quarta parte di essa restò adeguata al suolo, e le altre tre rotte, e lesionate, si aggiunse il non meno funesto del contado. In esso fu il danno ineguale giacché ne toccò il maggiore ai castelli di Sant'Eusanio, di Castelnuovo, di Onda, e del Poggio presso Picenza. Questo cadde quasi del tutto, nell'altro di Sant'Eusanio rovinarono tutte le case, e le chiese sicché non rimasero nepure le mura laterali in piedi né chiesa alcuna e vi morirono persone in più gran numero che altrove onde lo scrissero totalmente rovinato. Eguali furono i danni di Castelnuovo divenuto un mucchio di sassi, caduti anche i torrioni delle mura comuni colla morte di 28 persone, tutte native del luogo […] Nella Villa di Onda né tampoco restò casa impiedi […]" [5].

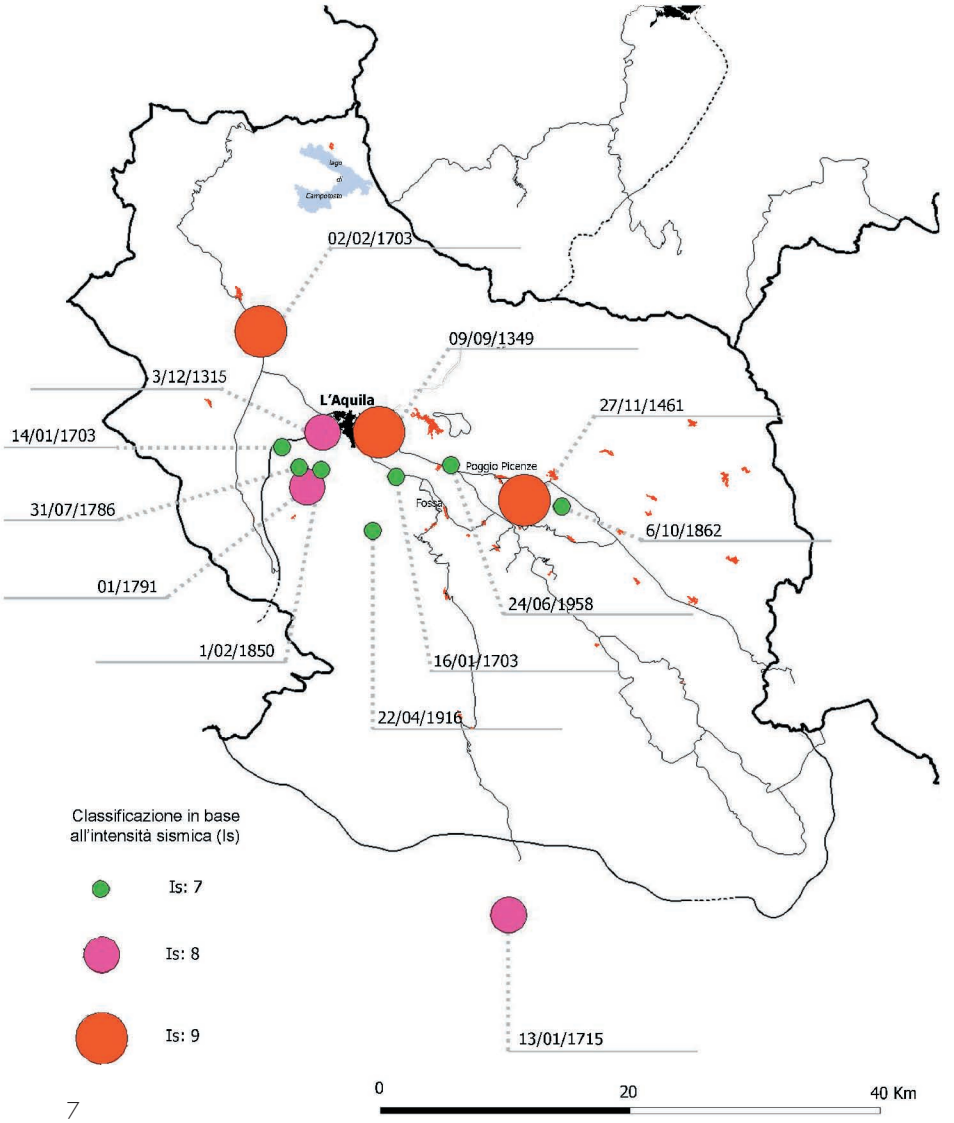
In particolare le fonti citano Villa Sant'Angelo a partire dal terremoto del 2 febbraio 1703. Tale evento sismico si colloca all'intero dello sciame sismico che interessò l'Italia centrale a partire dal 14 gennaio del 1703 e per il quale esiste una documentazione storiografica particolarmente cospicua e relativa alle relazioni effettuate dal commissario apostolico Pietro de Carolis e dal viceré di Napoli Alfonso Uria Llanos in seguito alle loro visite sui luoghi del disastro. Complessivamente furono danneggiati circa 150 centri e, solo a L'Aquila, si contarono 2500-3000 vittime. A tale crisi sismica seguì una profonda crisi economica e sanitaria, in seguito alla diffusione di epidemie. Dal punto di vista ambientale si assistette all'apertura di profonde fenditure nel terreno, spesso con fuoriuscita di materia gassosa, intorbidimento delle acque e nascita di nuove sorgenti.

Il terremoto della Marsica del 13 gennaio 1915 venne, tra l'altro, avvertito anche a Villa. La scossa principale ebbe effetti distruttivi in tutta la Marsica , a Perugia, nell'Alta Valle del Liri, nella Valle del Vomano e nella Valle dell'Aterno. L'area dei massimi effetti, con la distruzione pressoché totale degli abitati, coinvolse 20 centri ed una superficie di circa

4 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Rovida A., Castelli V., Camassi R., Stucchi M., a cura di, *Terremoti storici nell'area colpita dagli eventi sismici dell'aprile 2009*, http://www.ingv.it., 2009

5 Antinori A. L., *Annali degli Abruzzi*, sec. XVIII, edizione in facsimile, Sala Bolognese, 1971

380 Kmq. La documentazione storica testimonia una estrema lentezza della ricostruzione: fino all'aprile del 1917 il Genio Civile aveva demolito, nell'area maggiormente danneggiata, 3913 case; puntellati 3384 edifici e riparati altri 5027. Vennero costruite 21225 baracche e 1952 "casette antisismiche". Ciononostante però la ricostruzione venne ostacolata dalla crisi economica del dopoguerra che generò un aumento dei costi dei materiali edilizi.



7

Fig. 7 Sismicità storica dell'aquilano. Classificazione per intensità macrosismica maggiore di 7 Is

Fig. 8 Storia sismica di Villa Sant'Angelo

8

Storia sismica di Villa Sant'Angelo (AQ)
[42.269, 13.538]

Osservazioni disponibili: 4

Effetti	In occasione del terremoto:							
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Mw
8	1703	02	02	11	05		Aquilano	6.72
7-8	1915	01	13	06	52		Avezzano	7.00
NF	2000	03	11	10	35	27.00	Alto Aniene	4.29
NF	2004	12	09	02	44	25.00	Zona Teramo	4.18

2. Il centro storico di Villa Sant'Angelo

2.1. Contesto ambientale e morfologia del sito

Villa Sant'Angelo è un tipico insediamento collinare, di superficie pari a 5,26 Km^2, situato a 570 m sul livello del mare. Prima del terremoto del 2009 contava solo 436 residenti (fonte ISTAT 01-01-2007).

L'assetto insediativo di Villa Sant'Angelo consiste in due agglomerati (il capoluogo Villa S.Angelo e la frazione Tussillo) che in seguito alla recente urbanizzazione diffusa tendono a congiungersi, ma i cui centri storici rimangono distinti. La "villa" si estende in basso, sulla coda collinare appena rilevata dal filo della pianura; Tussillo si appoggia alle prime balze del monte di *Sant' Petr'*, avendo a destra il poggio su cui in passato sorgeva il "castello" di Barili e, a sinistra, il "fossato", o "sgrimone", canalone che incide il pendio della montagna.

Fino agli anni Sessanta del '900 l'economia del comune, per lo più a carattere chiuso, si basava sulla produzione di cereali, foraggi, vini, lino e canapa, ortaggi, zafferano. Nel frattempo lo storico mulino di Villa Sant'Angelo, che ancora nel '600 apparteneva al vicino monastero cistercense di Santo Spirito d'Ocre[6], dava gli ultimi segni di vita prima di cedere all'avvento dell'economia moderna.

Dopo il salasso di popolazione, successivo alle due guerre mondiali, il comune si ridusse dai più che mille abitanti del 1930 agli attuali 500, perdendo dal 1965 in poi l'asilo parrocchiale con la sua comunità di Suore, la condotta medica, la scuola media, quella elementare, l'asilo comunale, diversi esercizi pubblici e laboratori artigianali.

Il nucleo più antico della "villa" si trova a sud est della piazza della chiesa parrocchiale della Madonna del Popolo (Piazza Grande, ex Piazza del Popolo) ed è costituito da un tessuto fitto di isolati tendenzialmente di forma riconducibile al rettangolo con scarsa presenza di corti interne. Lo stato di crollo attuale rende difficoltoso il riconoscimento dell'assetto distributivo e morfologico dell'insediamento, ricostruibile però attraverso la lettura delle foto aeree e della cartografia antecedente al sisma. A ridosso del nucleo più antico dell'insediamento si è sviluppato un tessuto diffuso costituito da edilizia residenziale di recente formazione e da fabbricati agricoli.

Le struttura viaria principale è costituita da una strada con andamento sud-ovest nord-est (via Romana) che costituisce l'accesso da sud al paese (strada comunale del cimitero) e raccorda il livello più basso del centro abitato con quello più alto in cui è collocata la chiesa con l'antistante piazza. Tale strada, oltrepassando la piazza della chiesa, prosegue a nord verso San Demetrio ne' Vestini. In corrispondenza di Piazza Grande, inoltre, interseca una strada con andamento nord-ovest sud-est (strada Vicinale detta di Cogli) che costituisce il limite nord all'espansione dell'edificato.

Il limite sud invece è costituito da una strada con andamento curvilineo (via Colombo Andreassi – Strada Comunale degli Orti) che interseca prima l'asse di via Romana e poi

6 Colapietra R., "L'Aquila dell'Antinori. Strutture sociali e urbane nella città del Sei e Settecento", sta in *Antinoriana. Studi per il bicentenario della morte di A.L.Antinori*, DASP, II, L'Aquila, 1978

un'ultima strada che dalla piazza conduce alla frazione di Tussillo.
Tale struttura viaria costituisce l'ossatura su cui si dispongono gli aggregati. L'asse principale di via Romana influenza la forma e l'andamento degli aggregati che risultano essere posizionati ortogonalmente al pendio, così come quelli disposti a ventaglio sull'asse curvilineo di via Colombo Andreassi.
In conclusione possiamo dire che gli aggregati di Villa presentano una forma tendenzialmente rettangolare e sono disposti con la loro dimensione prevalente perpendicolare al pendio.

2.2. Inquadramento storico

La struttura abitativa di Villa si sviluppa in una trama che oggi ha il suo perno nella piazza; ma la zona edificata effettivamente, fino agli ultimi anni venti del '900 si riduceva ad uno spicchio dell'ideale impianto radiale complessivo[7]. Oggi l'edilizia che caratterizza il centro antico risale per lo più al '600-'700 (salvo erratici antichi pezzi scultorei inglobati nelle murature) includendo qualche esemplare tardo-cinquecentesco, e con completamenti ottocenteschi.
Anche la frazione di Tussillo ha come nucleo più antico la chiesa e la piazza, bloccata sul lato orientale da un fossato. Quest'ultimo testimonia la presenza di un antico corso d'acqua, che deve essersi estinto da non molto tempo, dato che ancor oggi la strada che ne discende, fino a Villa Sant' Angelo, è detta popolarmente "via fiume"[8].
Come la maggior parte dei centri storici della valle dell'Aterno e dell'Abruzzo, l'attuale borgo di Villa Sant' Angelo (detto Sant' Angelo di Bisegna nella bolla di Alessandro III del 1178, nelle *rationes decimarum* del 1312-28 e in altri documenti del XIV e XV secolo[9]) ebbe origine nel XI-XII secolo come "villa", appunto, ossia come nucleo insediativo aperto, senza cinta muraria difensiva.
Tuttavia diversi sono gli indizi che portano a pensare che Villa Sant'Angelo abbia origini ben più antiche.
Il ritrovamento di reperti scultorei a tipiche trecce longobardo-franche del IX-X secolo, inglobati nelle mura della ex-parrocchiale di San Michele (a margine del paese, verso est) e in alcune case del centro abitato, ad esempio, testimoniano l'esistenza della chiesa già in quel periodo. Nella parte opposta al colle villese verso Casentino, nel luogo detto *Santo Tòtere* sono state rinvenute tre sepolture a sarcofago di età imperiale, con corredo di monete del IV secolo, ed un altro sarcofago in pietra. Inoltre frammenti fittili d'epoca almeno romana sono segnalati, sparsi su tutto tale colle, dal D'Antonio e dal Pasqua. Tali ritrovamenti vengono ricondotti ad un'antica necropoli e dunque ciò confermerebbe la presenza di un centro abitato non molto distante la cui esistenza era del resto tradita anche dai rocchi di colonne romane, sia lisce che scanalate, che si vedono a supporto di croci votive sia a Villa che a Casentino. E trattandosi di necropoli di importanza considerevole, l'antico centro abitato scomparso di Villa dovrà aver vantato

7 Per la struttura urbana di Villa Sant'Angelo si veda Placidi V., *Strutture urbane e tipologie architettoniche*, L'Aquila, 1985
8 Antonini O., *Villa Sant'Angelo e dintorni. Tussillo, Casentino, Fontavignone, Stiffe, Campana, S. Eusanio, Fossa, Ocre. L'architettura religiosa*, One Group edizioni, L'Aquila, 2006
9 Antonini O., *Villa Sant'Angelo e dintorni. Op. cit.*

una consistenza demografica altrettanto considerevole. Ci si sarebbe insomma trovati di fronte ad una città e non ad un piccolo centro rurale. Il sito esatto di tale importante centro urbano, si può solo ipotizzare per indizi, uno dei quali è rappresentato dal ponte "*Capone*" (*Capponi* nelle mappe), a due campate di pietrame, ricostruito nel cinquecento su piloni romani di grossi massi squadrati. L'opera infrastrutturale, così come ubicata, non si inquadra nell'assetto territoriale viario e urbanistico odierno, né la sua consistenza architettonica parrebbe giustificarsi se ad esempio esso fosse stato originariamente funzionale al solo accesso all'attigua antica ed ora abbandonata "*Fonte le Pagliara* "di Casentino (del resto la strada che transitava sul ponte, anch'essa plausibilmente romana, mostra di puntare in altra direzione). Il ponte risulterebbe invece perfettamente funzionale ad un assetto territoriale anteriore che, diversamente da oggi, era strutturato non rispetto agli attuali piccoli borghi ma rispetto a un considerevole più antico abitato, poi distrutto, posto o sul sovrastante colle di *Pescasale* oppure nella piana dirimpetto, tra il fiume e la ferrovia, nell'area compresa pressappoco tra il ponte *Capone* e lo scomparso ponte *Santangelo* più giù verso est.

Fatte queste considerazioni si può aggiungere riguardo all'identità di tale antico insediamento che secondo Maurizio Pasqua e Maurizio D'Antonio, il sito della romana *Frustenias*, invece che a San Felice d'Ocre (come ipotizzato dal Giovenazzi), oppure a Fontavignone (come proposto dall'Orsatti) od anche a Sant' Eusanio (come proposto dal Miller), potrebbe esser localizzato appunto qui, in territorio villese[10]. L'ipotesi merita ogni considerazione, tenuto conto che una città esistente su uno dei siti indicati corrisponderebbe quasi esattamente alla *Frustenias* distante 2 miglia da Aveia e 18 da Alba Fucens riportata nel IV secolo d.C. sulla Tabula Peutingeriana nel tratto Amiternum-Alba Fucens assieme soltanto a Pitinum, Prifernum e Aveia.

Durante il periodo post romano compreso tra il VII e il IX secolo avvenne una decimazione della popolazione a causa delle invasioni barbariche e gli antichi centri di origine romana, tra cui forse anche l'antica Villa Sant'Angelo - Frustenias, assunsero un assetto insediativo sparso. Tale assetto urbano spiegherebbe la posizione della chiesa di San Michele, appartata rispetto al centro abitato attuale, poiché i luoghi di culto ("*pievi*"' o "*plebane*", da *plebs*, popolo) venivano edificati non in relazione a comunità specifiche ma in prossimità dei percorsi più idonei a riunire, per le celebrazioni, i fedeli disseminati in "*casali*". Ciò porta a ritenere che la chiesa sia stata costruita prima del centro abitato di Villa[11]. Se dunque nei secoli prima del Mille si impostò la chiesa di San Michele quale pieve nel sito in cui si trova ancora oggi, allora significa che tale sito costituiva uno degli snodi del sistema viario di fondovalle rivestendo, pertanto, una certa importanza territoriale, come d'altronde testimoniato dai ritrovamenti romani.

In seguito nel X sec., dopo il lungo periodo alto-medioevale, col sopraggiungere in Italia delle scorrerie sia dei saraceni che degli ungheri, il sistema politico e sociale del territorio, al pari di quello italiano, venne mano a mano a sconvolgersi e l'assetto insediativo

10 Per la ipotesi sulla collocazione della antica Frustenias si veda Degano U., "Storia ed arte delle ville di Ocre", *Studi e Testi*, fasc. 20, DASP, L'Aquila, 1996

11 L'attuale Piazza Grande svolge un ruolo centrale nella vita del borgo, ma va ricordato che essa ha cominciato ad esercitare tale funzione solo a partire dal 1817, quando la chiesa di S.Maria del Popolo divenne parrocchia, in sostituzione della chiesa di S.Michele

disperso a cambiare nuovamente. Per ragioni di difesa e di sicurezza si cominciarono ad innalzare torri e fondare castelli e le popolazioni tornarono a raccogliersi in centri abitati come era stato in epoca romana. È il momento della fondazione delle moderne Tussillo, Fontavignone, Casentino, Villa Sant'Angelo. Per quest'ultima non è inoltre da escludere che il primissimo nucleo abitato, incentivo al successivo incastellamento, possa essere stato l'insediamento pirata del X secolo, sul vicino dosso collinare detto tuttora "*colle Saraceno*", di un gruppo di arabi transfughi dalla battaglia del Garigliano nel 915, ed in seguito scacciati dai Normanni.
Nel rinnovato assetto insediativo, il sito di San Michele perse importanza poiché il baricentro si spostava dalle zone piane, divenute insicure, ai centri fortificati d'altura come Barili. Quest'ultimo non a caso divenne per secoli sede di baronia con Villa Sant' Angelo, Tussillo, Casentino e Fontavignone che ne dipesero fino al 1254 (o al massimo fino al 1294), dopo di che, fino al 1529, furono parte integrante del territorio del *Comitatus Aquilanus*.
Nel 1229 gli abitanti dei castelli del territorio decidono di ribellarsi alle vessazioni dei baroni feudali. Rivoltisi a Papa Gregorio IX ottennero, l'anno successivo, il permesso di Federico II per la costruzione di una nuova città. Di questo permesso è rimasta testimonianza nel *Diploma di Federico II*, un documento in cui si esortano i castelli degli antichi contadi di Amiternum e Forcona a unirsi per formare un unico centro. Controverse sono le notizie riguardanti il numero dei castelli che contribuirono alla fondazione della città: la tradizione vuole che siano stati novantanove, ma è più probabile che il numero effettivo si aggirasse intorno alla sessantina. Il primo grande monumento della città, la fontana delle 99 cannelle, sembra contribuire all'alimentazione di questa leggenda.
Barili non concorse alla fondazione dell'Aquila, a causa dell'opposizione del feudatario del tempo, Taddeo. Distrutto parzialmente, pare per ordine di Carlo I d'Angiò nel 1272 o 1275, e certamente devastato nel 1293 da Niccolò dell'Isola, Barili compare nel 1294 nel noto diploma di re Carlo II, che elencava, a scopo fiscale, le terre appartenenti in quel tempo al *Comitatus Aquilanus*. Parzialmente distrutto da Braccio da Montone nel 1424, di Barili si fa menzione ancora nel 1481, quando "*si ridusse all'obbedienza dell'Aquila*" (non perché prima fosse autonomo ma in quanto si era sottratto temporaneamente alla città in una delle periodiche ribellioni secessioniste dei castelli del Contado). Lo spopolamento forse già avviato, che portò poi all'abbandono stesso del borgo, dovette precipitare con i danni del terremoto del 1461-62, nonché con la peste del 1478: già nella numerazione dei fuochi del 1508 è Tussillo ormai a comparire ('*Barili alias Lu Tisallo*"), e nel 1513 il titolo e la proprietà stessa del Castello diruto furono spartiti tra la comunità di Tussillo e quella di Fontavignone.
La diminuita importanza geografico-amministrativa del sito di Villa Sant' Angelo dall' XI secolo in poi si vede riflessa nella modesta qualità sia dell'edilizia di base che della sua architettura sacra, se paragonata a quella di centri vicini come Fossa, ad esempio.

Ovviamente, le risorse della baronia, invece che a chiese divenute secondarie e periferiche come San Michele, dopo il Mille venivano convogliate sul capoluogo Barili e sulla sua chiesa parrocchiale.
Il ruolo secondario di Villa Sant' Angelo, che persisteva tale nei successivi secoli XIV e XV cominciò ad andare in controtendenza ad inizio '500. Decadendo infatti Barili dal 1293 fino ad essere completamente abbandonato nel 1508, gli abitanti scesero a popolare i centri sottostanti, i quali, specialmente quelli di pianura come Villa, per la stabilizzazione politica e strategica del territorio portata dalla dominazione spagnola e la riguadagnata autonomia amministrativa del Contado dall'Aquila, riacquistarono importanza registrando una vistosa crescita demografica.
Villa Sant' Angelo passava così dai 32 "fuochi" (famiglie) del 1532 (160 abitanti circa) a 45 nel 1545, ed a 50 nel 1561. Non a caso nel 1580-83 il centro territoriale riportato nella nota carta geografica dell'Abruzzo, disegnata da Antonio Danti e conservata presso la Galleria delle Carte Geografiche in Vaticano, è ormai "Sant' Angelo", non più Barili, né Tussillo. I "fuochi" aumenteranno a 64 nel 1595, e ad 84 nel 1648, quindi circa 420 abitanti[12]. Si deve a tale incremento demografico l'ampliamento documentato 1559 delle chiese parrocchiali di Tussillo e di Villa Sant'Angelo, così come avveniva nei centri vicini.
Con la rivolta aquilana contro gli Spagnoli nel 1529, la conseguente punitiva dissoluzione del *Comitatus Aquilanus* (per il 1533 il Blasetti menziona una distruzione di Villa da parte del principe d'Orange, che però è ignorata da ogni altra fonte documentale[13]) e il successivo rinfeudamento del territorio, Villa Sant' Angelo veniva assegnata al capitano spagnolo Martin Montañes; Tussillo dato a Rodrigo Peñalosa, Casentino pure al Montañes, e Fontavignone a Diego Pérez. Nel 1564 il feudo di Villa ricadde alla regia corte per rinuncia del Montañes, nel 1565 venne acquistato dagli Antonelli dell'Aquila e poi passato ai Leognani, per essere ceduto, tra 1585 e 1599, ai Palmario, e da questi, nel 1629, ai Colonna duchi di Zagarolo[14]. Infine Villa nel 1663 venne venduta ai principi Barberini del ramo di Sciarra-Colonna, che la ressero fino all'invasione napoleonica e all'abolizione, nel 1806, della feudalità. In questo periodo, sotto il regno di Giuseppe Bonaparte vennero istituiti intendenze e circondari e Villa Sant' Angelo venne aggregata al circondario di San Demetrio assieme a Tussillo, Fontavignone, Casentino, Sant'Eusanio, Stiffe, ed altri centri, e nel 1814 al comune di San Demetrio assieme a Tussillo, Sant' Eusanio, Casentino e Stiffe , mentre Fontavignone veniva accorpata a Roccadimezzo.
Dall'avvento nel 1860 dell'unità d'Italia fino ad oggi Villa S.Angelo/Tussillo, come pure Sant' Eusanio/Casentino, formano comune autonomo, salvo la parentesi di riaggregazione a San Demetrio tra 1927 e 1954.

12 Giustiniani L., *Dizionario geografico-ragionato del regno di Napoli*, Napoli, 1797-1805, tomo X, riediz. 1967
13 Blasetti C., *Le Arme del Contado Aquilano (Castelli – Ville - Terme)*, Roma, 1984
14 Incarnato G., *Il Possesso feudale in Abruzzo dal 1500 al 1670*, Archivio Storico delle Provincie Napoletane, 1972

9

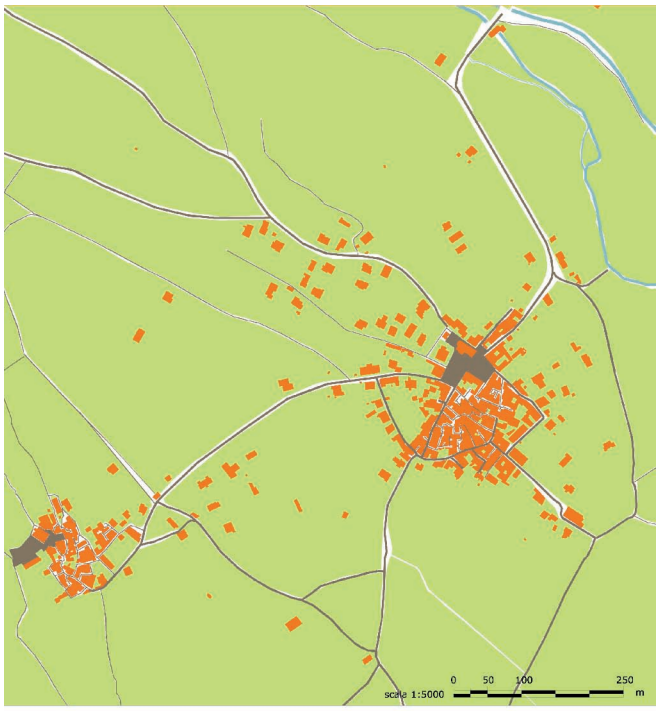
10

Fig. 9 Foto aerea di Villa Sant'Angelo precedente al sisma dell'aprile 2009
Fig. 10 Foto aerea di Villa Sant'Angelo successiva al sisma dell'aprile 2009

11

12

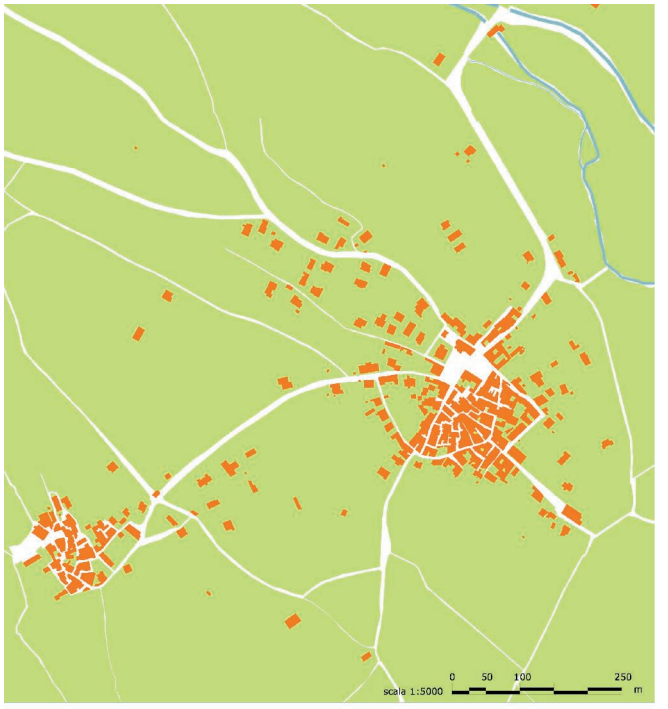
Fig. 11 Vista di Villa Sant'Angelo da sud ovest dalla frazione di Tussillo. Al centro è situato l'aggregato scelto come caso studio
Fig. 12 Vista di Villa Sant'Angelo da sud ovest dalla frazione di Tussillo. In primo piano i cosiddetti MAP (Moduli Abitativi Provvisori), gli edifici in legno di varie dimensioni realizzati per il ricovero della popolazione terremotata



Pieni
Vuoti urbani: strade e piazze pubbliche
Vuoti urbani: corti e orti privati
Corso d'acqua

Pieni

Vuoti urbani: strade e piazze pubbliche



Pieni
Vuoti urbani: corti e orti privati
Corso d'acqua

Fig. 13 Schemi di analisi territoriale di Villa Sant'Angelo e della frazione di Tussillo

3. Il percorso di conoscenza alla scala dell'aggregato

3.1. Rilievo critico dell'aggregato di studio

L'aggregato preso in esame come caso studio è rappresentativo di una condizione di crollo e di danneggiamento tipica del contesto urbano in cui si trova. È situato nell'area meridionale del centro storico, in prossimità dell'accesso alla città, all'angolo tra via Romana e la Strada comunale degli orti. Rispetto agli aggregati della zona più antica del centro, l'aggregato di studio, si trova in una condizione al margine della città, a limite con l'area agricola esterna all'abitato, tanto che gli edifici che lo costituiscono prospettano da un lato sulla strada principale (via Romana, appunto) e dall'altro sui campi coltivati ad ovest della zona abitata. Il rilievo dell'aggregato, condotto con difficoltà data la cospicua presenza di macerie, seppur parzialmente rimosse, ha evidenziato la presenza di un forte dislivello tra la quota a valle e quella a monte. Tale condizione orografica ha influito sulle caratteristiche costruttive e morfologiche dell'edificato, favorendo la costruzione di vani interrati o seminterrati. Tali ambienti hanno forma prevalentemente rettangolare con la dimensione maggiore ortogonale alla facciata; presentano degli orizzontamenti voltati a botte in muratura di pietra di media pezzatura. I piani superiori presentano orizzontamenti e coperture lignee. L'aggregato sembra essere costituito da due zone originariamente separate e oggi legate da un edificio a due elevazioni a pianta quadrata e situato quasi al centro, in corrispondenza di una rientranza di via Romana. Questa separazione è sottolineata anche dalla differente tipologia edilizia degli edifici che appartengono alle due aree. A monte le unità edilizie monocellulari con un solo affaccio hanno esclusivamente funzione residenziale, con piano interrato destinato a cantina, e due o tre piani superiori ad abitazione. A valle invece esiste una commistione di funzioni agricole e residenziali, per la presenza prevalente di un fienile a due elevazioni e un piano interrato, all'angolo fra via Romana e la Strada comunale degli orti.
Il rilievo critico dell' aggregato, così gravemente danneggiato dal sisma, è stato condotto anche attraverso l'osservazione delle macerie presenti, con lo scopo di ricavare informazioni sulle caratteristiche costruttive degli edifici crollati e associarle, nella successiva fase di interpretazione, alle modalità di danneggiamento. Questa fase di indagine ha richiesto dunque un ulteriore sforzo critico di osservazione esteso, oltre che agli edifici esistenti, anche alle macerie di quelli crollati. Allo stesso tempo però l'evidente stato di crollo ha facilitato la lettura degli elementi costruttivi, degli accostamenti murari, delle tracce di facies precedenti, dei presidi antisismici storici presenti, puntualmente annotati ed evidenziati graficamente.

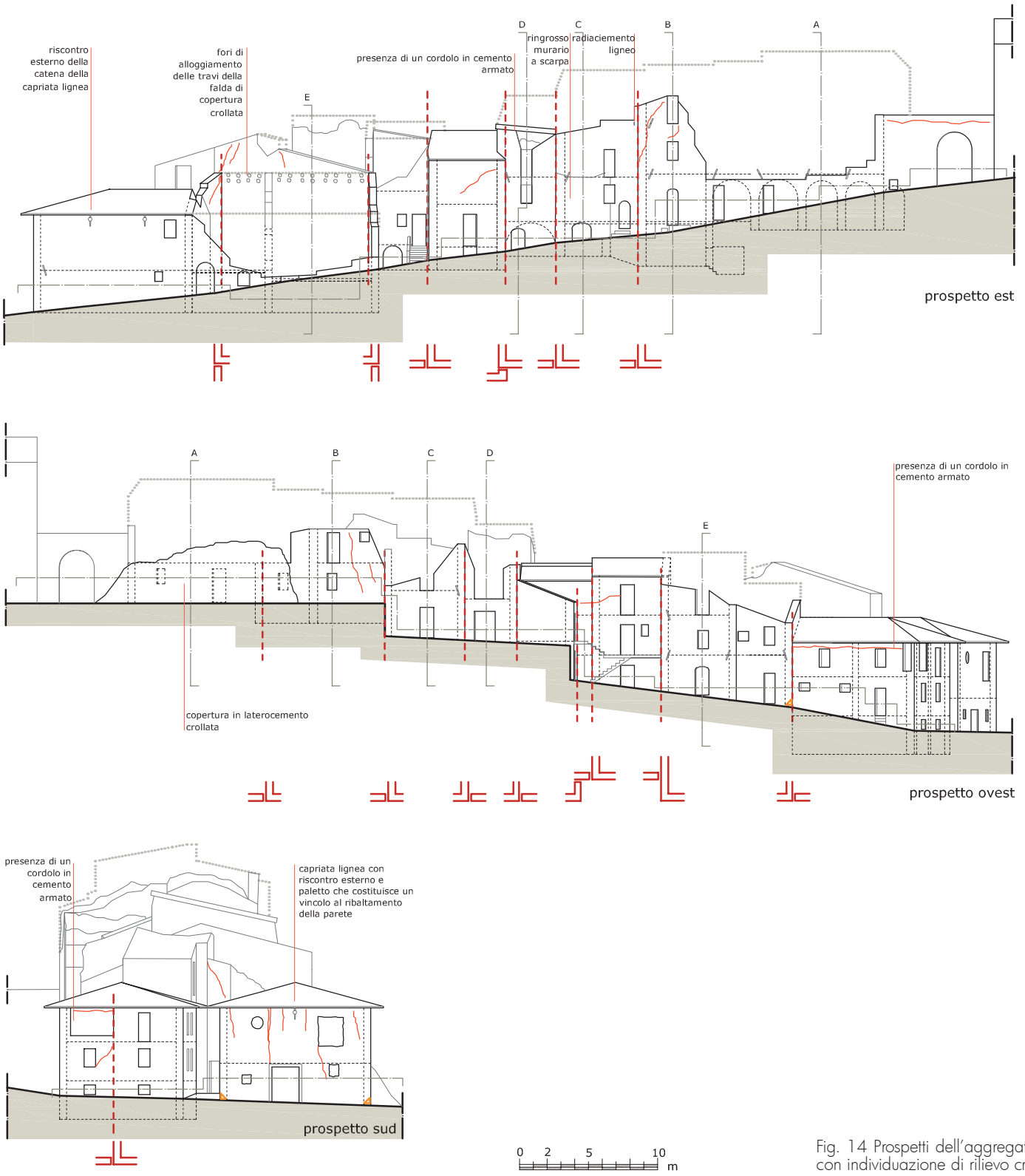


Fig. 14 Prospetti dell'aggregato campione con individuazione di rilievo critico

15

pianta *prospetto sezione*

- aree verdi/orti
- altezza degli edifici prima del sisma
- porzioni di muri di spina rimanenti
- solai rimasti in sito
- volte rimaste in sito (ortogonali al fronte)
- volte rimaste in sito (parallele al fronte)
- P — volte in pietra
- L — copertura in legno
- CL — capriata in legno
- LC — copertura in latero cemento
- accostamenti murari
- cantonale
- lesioni

16

N

0 2 5 10 m

Fig. 15 Localizzazione dell'aggregato nel tessuto urbano
Fig. 16 Rilievo critico dell'aggregato campione. Pianta dei piani terra

3.2. Rilievo dello stato di crollo e di danneggiamento

Per la comprensione delle caratteristiche dell'aggregato oggetto di studio nel centro storico di Villa Sant'Angelo è stato necessario svolgere delle ulteriori fasi di analisi rispetto a quelle descritte nella seconda parte della Tesi e relative ad aggregati non danneggiati da sisma. La prima nuova fase di indagine consiste nella lettura critica dello stato di crollo e di danneggiamento dell'aggregato, avviata con una metodologia appositamente elaborata ed estesa a tutto il centro storico.

Il rilievo dello stato di crollo e di danneggiamento degli aggregati del centro storico, oltre che costituire un approfondimento del rilievo critico, rappresenta il passo preliminare imprescindibile alla fase di rimozione delle macerie dalle percorrenze pubbliche e dagli edifici privati. Esso è stato condotto a due scale: alla scala urbana, attraverso il rilievo speditivo dell'entità del danno e delle macerie; e alla scala dell'aggregato, attraverso la disamina puntuale dei danni e dei crolli presenti nell'aggregato studio.

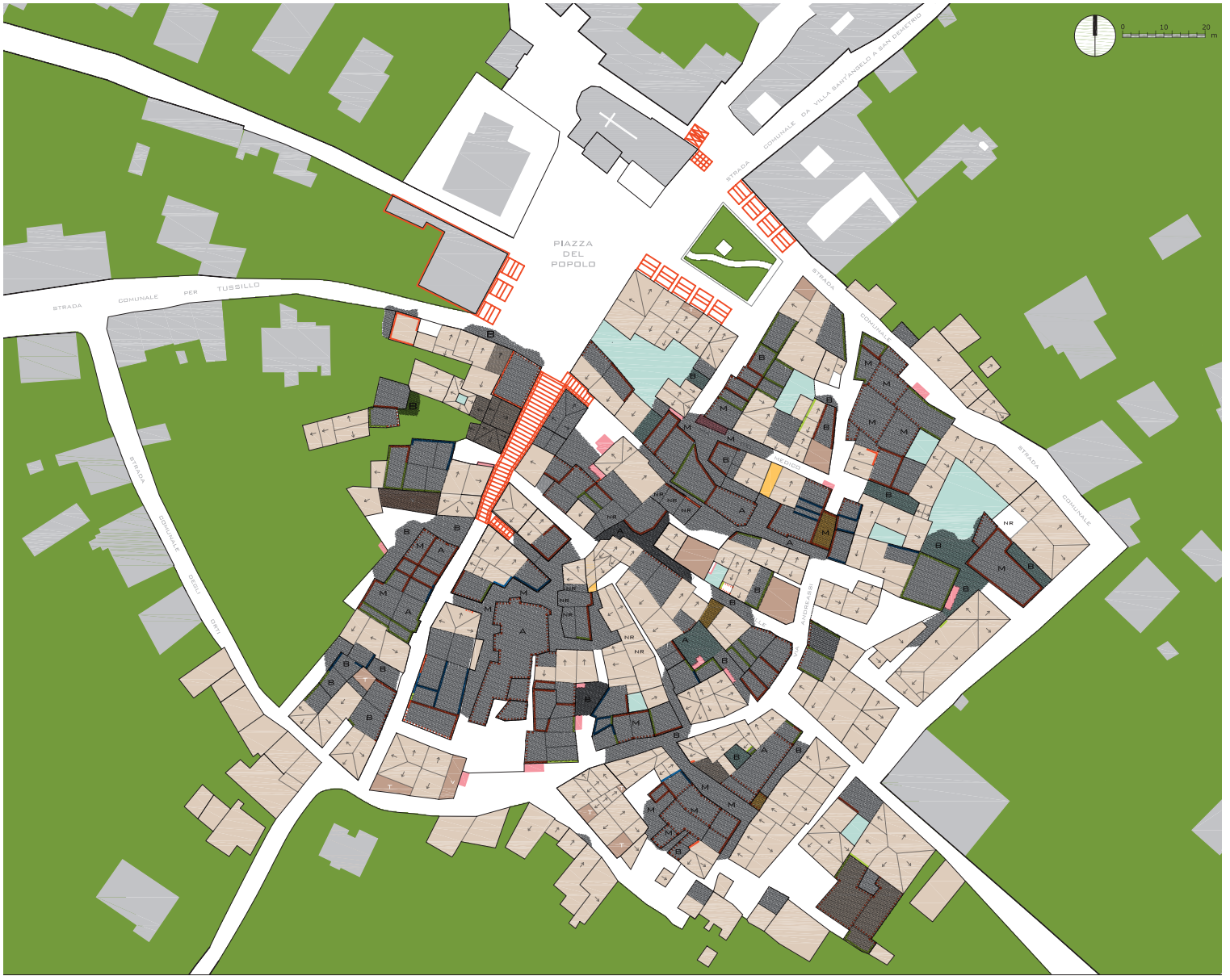
Per comprendere l'entità del danneggiamento di ogni singolo aggregato, alla scala urbana, si è proceduto attraverso l'osservazione delle porzioni murarie superstiti (esprimendone l'altezza attraverso il numero di piani) e delle macerie (la cui entità viene espressa attraverso la loro altezza da terra in metri).

Le unità edilizie (o le cellule murarie) superstiti, cioè quelle che pur avendo subito danni anche gravi, hanno mantenuto in sito sia le pareti murarie che la copertura, sono state indicate in pianta attraverso la direzione di pendenza delle falde di copertura. Le pareti murarie che hanno subito crolli più o meno estesi in altezza sono invece state indicate con colori differenziati in funzione dell'altezza di interpiano residua (un interpiano, due interpiani, tre interpiani, parete completamente crollata). Le coperture crollate sono state identificate dal simbolo grafico usato per indicare la presenza di macerie (indicano infatti le macerie provenienti delle strutture di copertura che sono crollate sia sulla strada che all'interno delle unità edilizie). La posizione e l'entità delle macerie, sia all'interno degli isolati che sugli spazi aperti (strade, piazze, corti) viene espressa in funzione dell'altezza da terra (fino a 2 m, da 2 a 4 m, oltre 4 m).

Queste indicazioni, ottenute dal rilievo speditivo di tutti gli isolati del centro storico, sono necessarie per permettere la successiva rimozione delle macerie e la messa in sicurezza degli aggregati per l'approfondimento della fase di indagine alla scala dell'aggregato.

Tale approfondimento del rilievo del danno, condotto sull'aggregato studio in esame e reso possibile dallo sgombero parziale delle macerie, ha permesso di evidenziare puntualmente tutti i danni esistenti in modo da associarli, nella successiva fase di interpretazione, alle cause che li hanno determinati. Ciò permetterà dunque sia, nell'immediata emergenza, di progettare gli interventi di conservazione e di messa in sicurezza dell'esistente, sia, imparando dalla lezione del terremoto, di comprendere come intervenire preventivamente per evitare il ripetersi di tali situazioni di danno.

La zona maggiormente danneggiata dell'aggregato è l'area nord, a monte. Qui l'unità edilizia di testata è completamente crollata sotto il peso della copertura in putrelle e laterizio. Il crollo ha, inoltre, interessato le due unità edilizie adiacenti e prospicienti su via Romana, lasciando una porzione a tre elevazioni di muratura svettante. La copertura in putrelle e laterizio, inoltre, crollando sui due piani sottostanti e scivolando verso la strada interna all'aggregato, ha danneggiato anche le unità edilizie prospicienti sul retro, verso gli orti.
Proseguendo verso valle, l'unità edilizia a due elevazioni e piano interrato, adiacente a quella che presenta un ringrosso murario a scarpa, è stata danneggiata dal martellamento del cordolo in cemento armato a C con il conseguente scivolamento della copertura.
L'unità edilizia a tre elevazioni che costituisce il raccordo tra l'area nord e l'area sud dell'aggregato è invece caratterizzata dal crollo parziale della copertura e di parte del muro sottostante, in corrispondenza dell'apertura centrale.
L'area sud, a valle dell'aggregato, presenta un danneggiamento circoscritto. Il fienile all'angolo tra via Romana e la Strada comunale degli orti, presenta il crollo di gran parte dei muri perimetrali, della parte sommitale della parete del fabbricato adiacente e della copertura spingente a falda unica.
Sul retro invece, l'unità edilizia corrispondente, è interessata dal crollo parziale della copertura e della porzione sommitale del muro di facciata con l'evidente attivazione del meccanismo di espulsione dell'angolata.
L'unità edilizia a ovest del fienile, oltre il piccolo vicolo, presenta una lesione orizzontale continua sulla cimasa muraria dovuta allo scorrimento del cordolo in cemento armato e parte della copertura, verso nord, ed è investita dalle macerie derivanti dal crollo della porzione muraria sommitale dell'unità edilizia adiacente.



Stato di crollo delle pareti murarie

- parete crollata
- parete residua alta 1 piano
- parete residua alta 2 piani
- parete residua alta 3 piani
- NR edificio non rilevabile

Localizzazione e altezza delle macerie

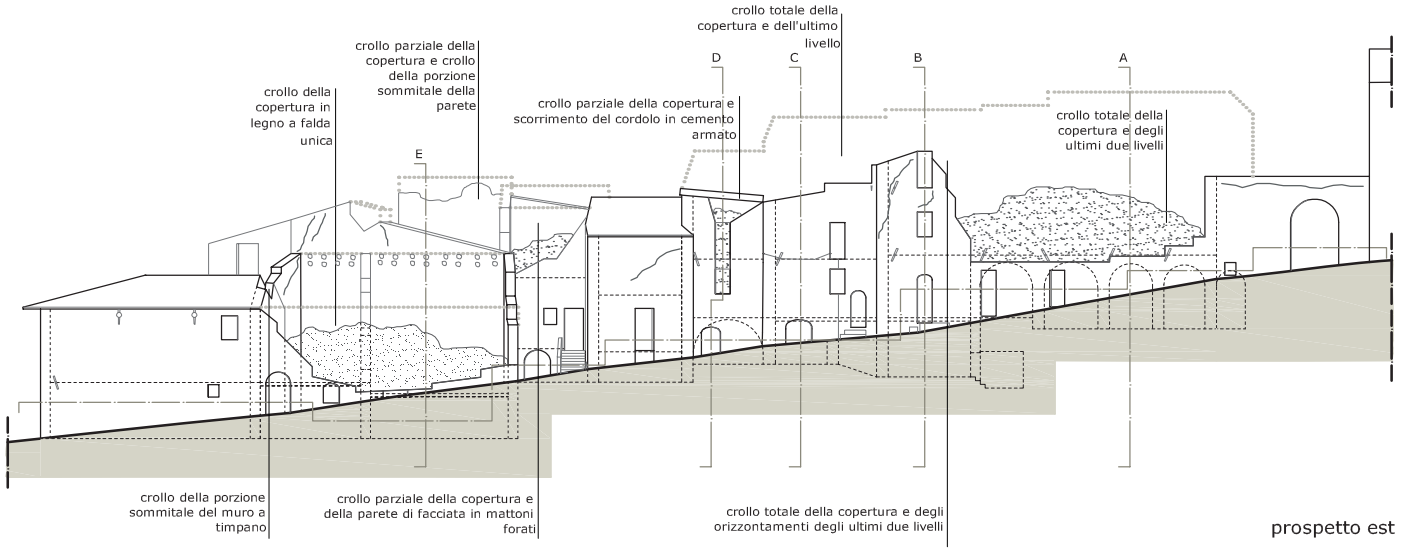
- macerie
- B da 0 a 2 m
- M da 2 a 4 m
- A maggiore di 4 m

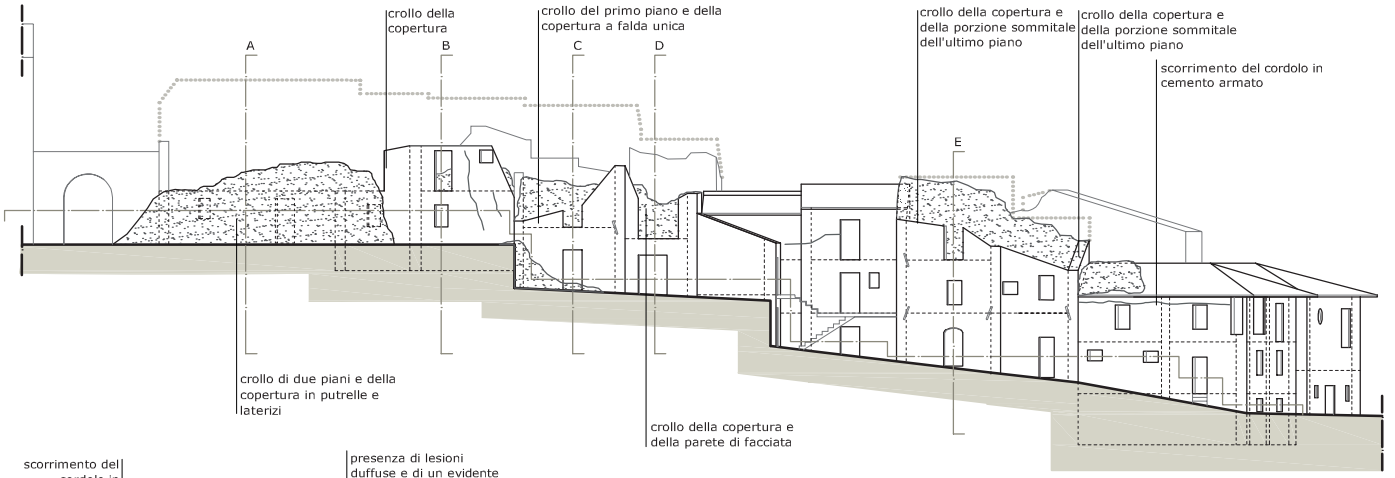
- corti/spazi aperti
- terrazzi/vuoti/coperture piane
- sottopassi
- interventi di messa in sicurezza eseguiti

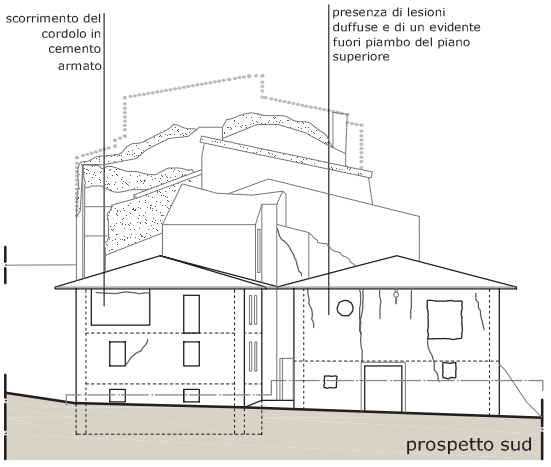
- aree verdi/orti
- scale
- Punti d'accesso per mezzi pesanti
- NR edificio non rilevabile

Fig. 17 Rilievo dello stato di crollo e di danneggiamento del centro storico di Villa Sant'Angelo

Fig. 18 Rilievo dello stato di crollo e di danneggiamento dell'aggregato di studio. Pianta dei piani terra







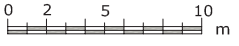
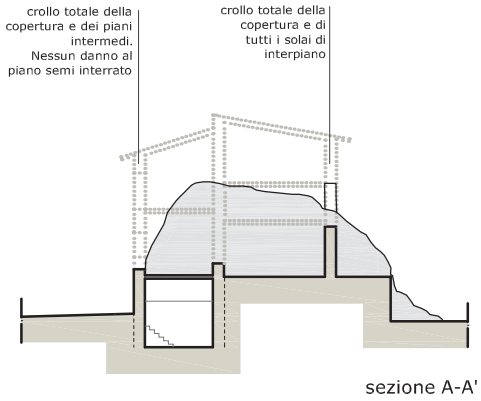
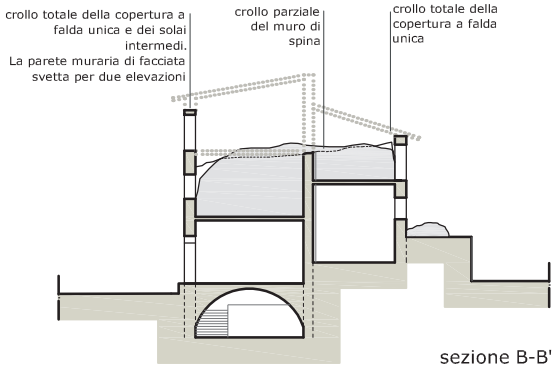
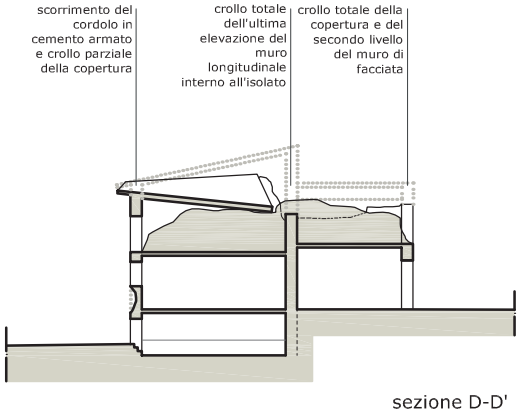
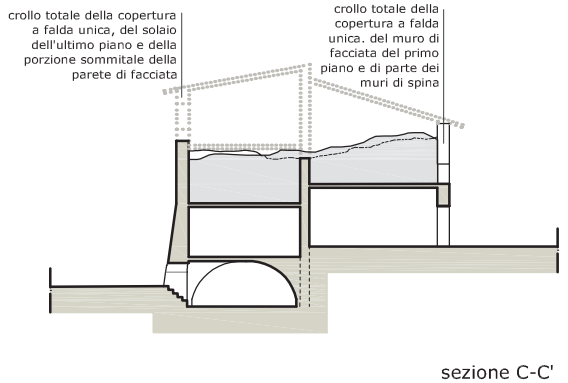


Fig. 19 Rilievo dello stato di crollo e di danneggiamento dell'aggregato di studio. Prospetti









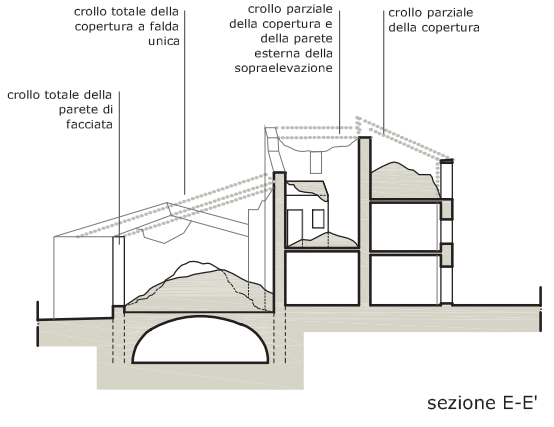


Fig. 20 Rilievo dello stato di crollo e di danneggiamento dell'aggregato di studio. Sezioni

a

b

c

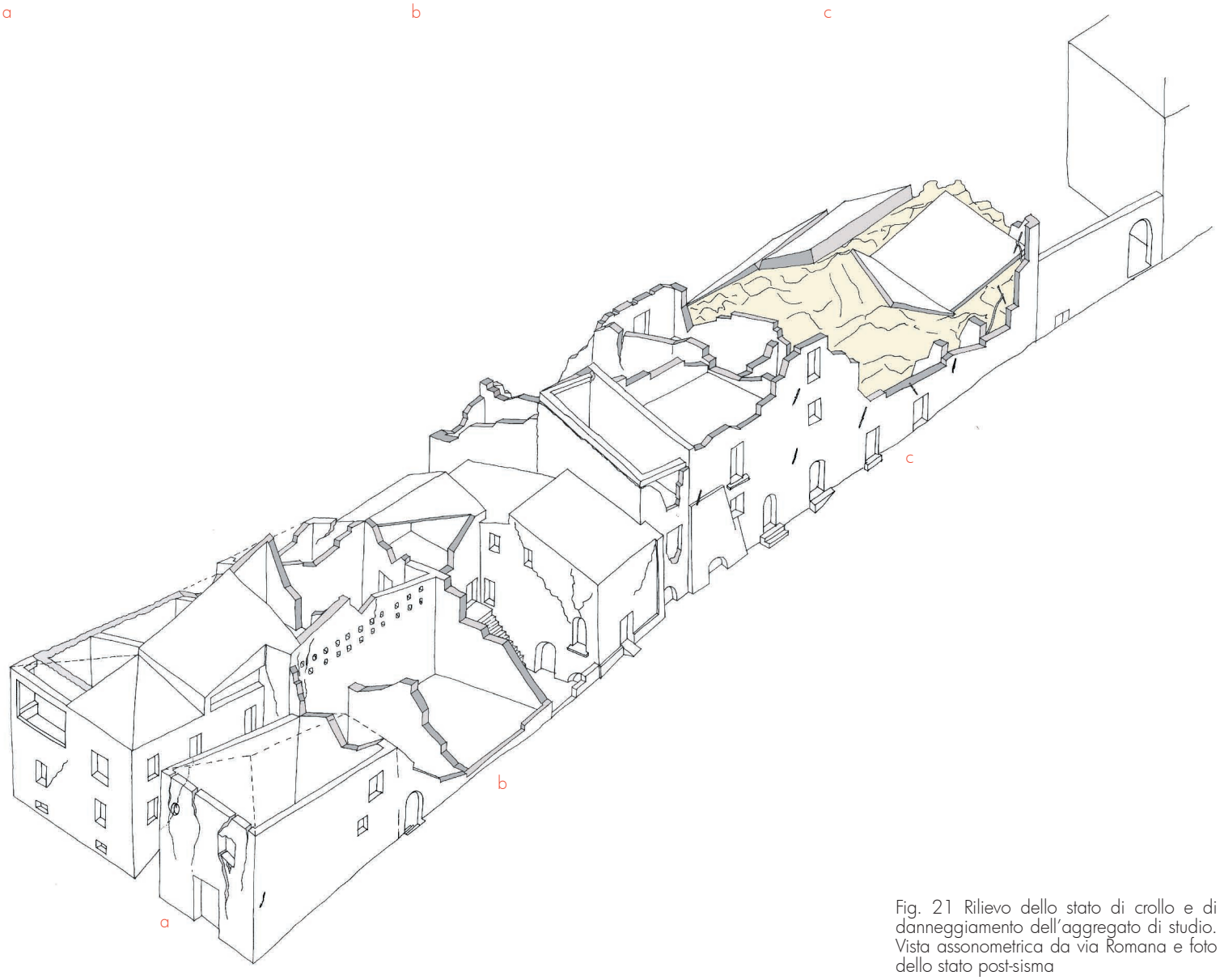


Fig. 21 Rilievo dello stato di crollo e di danneggiamento dell'aggregato di studio. Vista assonometrica da via Romana e foto dello stato post-sisma

a

b

c

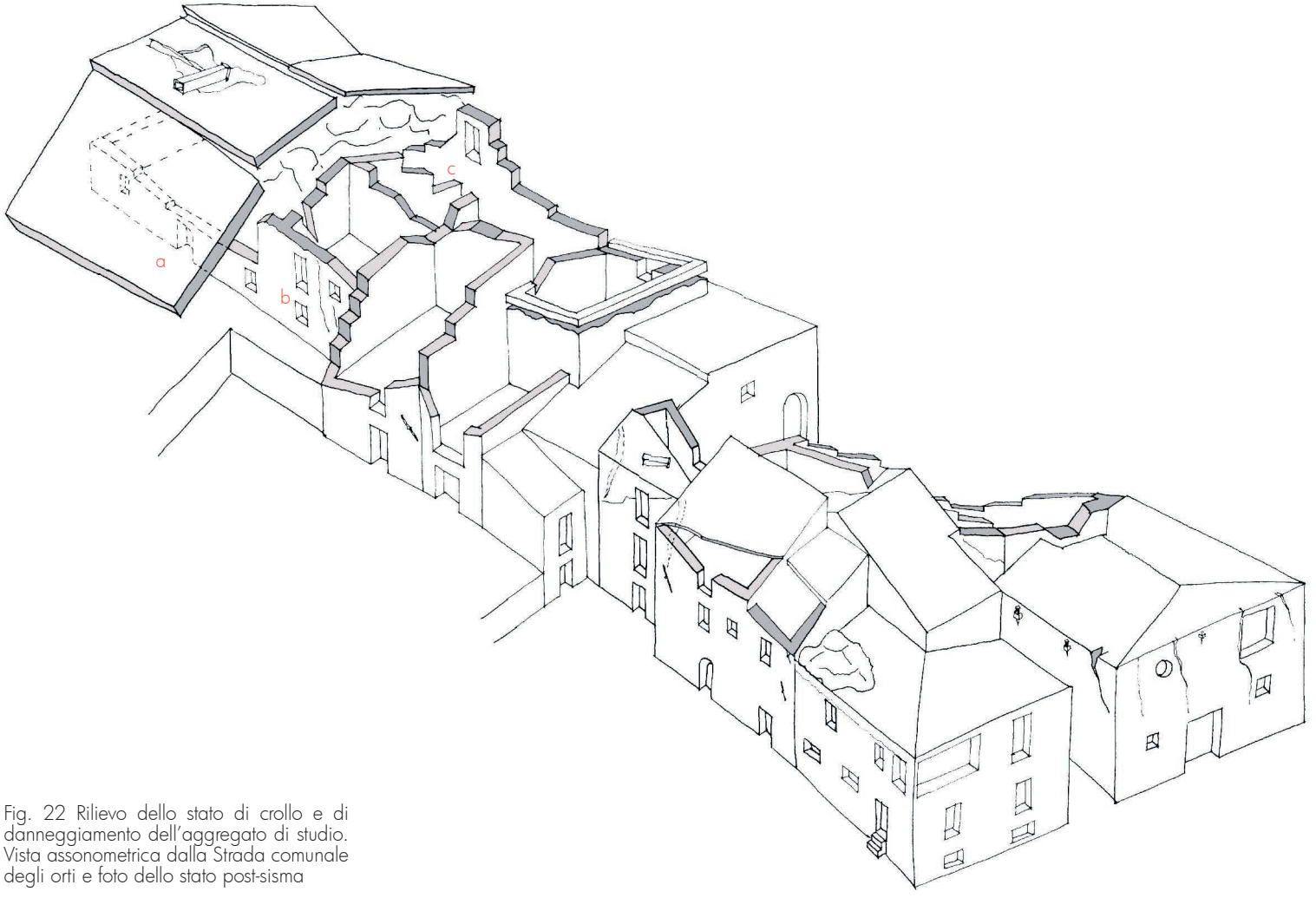


Fig. 22 Rilievo dello stato di crollo e di danneggiamento dell'aggregato di studio. Vista assonometrica dalla Strada comunale degli orti e foto dello stato post-sisma

3.3. Ipotesi di configurazione ante –sisma dell'aggregato

Questa fase, come la precedente, non compare nella metodologia illustrata nella seconda parte della Tesi poiché riferita in particolare alla situazione di danneggiamento in cui si trova l'aggregato ed è fondamentale per poter testare su una condizione reale il metodo esposto.

L'osservazione critica dello stato di crollo e di danneggiamento dell'aggregato e delle macerie presenti sulle strade e all'interno delle abitazioni, ha permesso di ipotizzare lo stato dell'aggregato precedentemente all'evento sismico. Ciò è necessario al fine di comprendere quali sono state le motivazioni, insite nello stato di conservazione dei manufatti o nella loro tipologia costruttiva, che ne hanno determinato il collasso, in modo da dedurre delle considerazioni per la preventiva riduzione della vulnerabilità degli aggregati non danneggiati dal sisma.

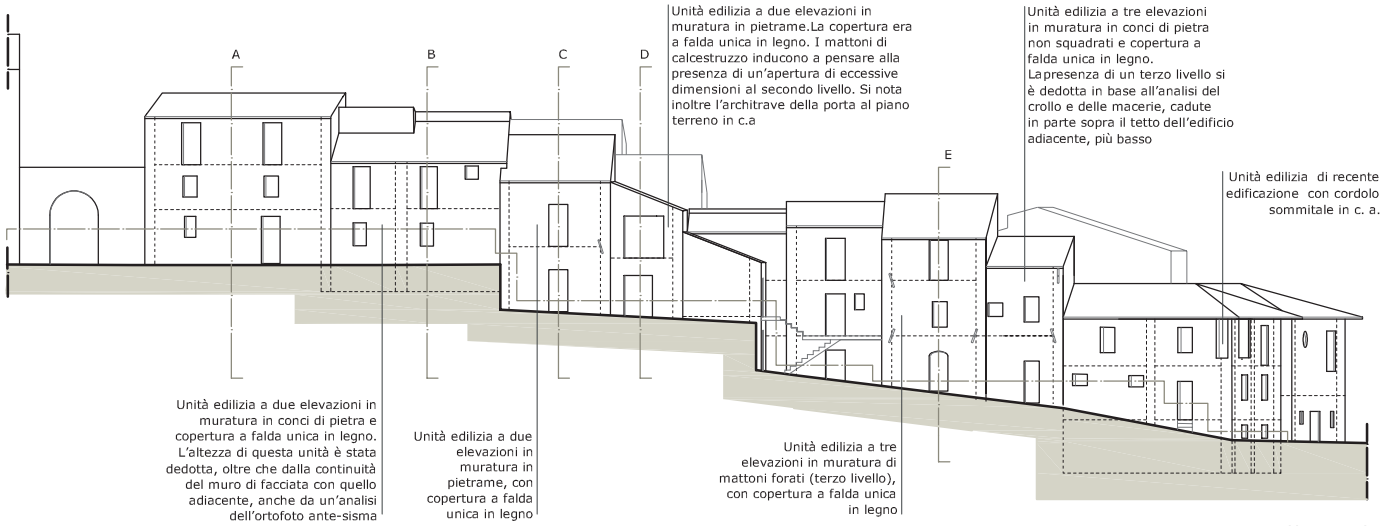
Sono stati letti puntualmente tutti i segni presenti sugli edifici rimasti parzialmente in sito in modo da ottenere delle indicazioni sul loro stato antecedente al crollo.

Procedendo a partire dalla zona nord si è ipotizzato che l' unità edilizia di testata doveva essere probabilmente a tre elevazioni fuori terra, due delle quali in muratura in conci di pietra, la terza costituita da blocchi di calcestruzzo. La copertura, come è evidente dall'osservazione delle macerie, era in putrelle e laterizio con una cappa superiore in calcestruzzo. Si è ipotizzato che le porzioni restanti dei muri di spina, evidenti al primo livello, non proseguissero fino all'ultimo piano, motivo per cui erano state posizionate due travi metalliche IPE binate con funzione di rompitratta della copertura sovrastante. Tra le macerie inoltre è stata individuata una scaletta metallica pieghevole, simile a quelle in uso nelle imbarcazioni. Tale elemento è stato rintracciato in molte abitazioni durante i vari sopralluoghi condotti in paese e nei centri abitati limitrofi. Nei casi in cui esso si presentava è stato notato che al di sotto delle strutture di copertura, era stato realizzato un vano sottotetto a cui si accedeva tramite tale scaletta, aperta all'occorrenza. Questa modifica è senza dubbio dettata dalla necessità di ampliare i ridotti spazi di cui si disponeva nelle abitazioni della zona. Tale osservazione induce a pensare che, anche nell'unità edilizia così gravemente danneggiata dell'aggregato studio, fosse stata apportata tale modificazione.

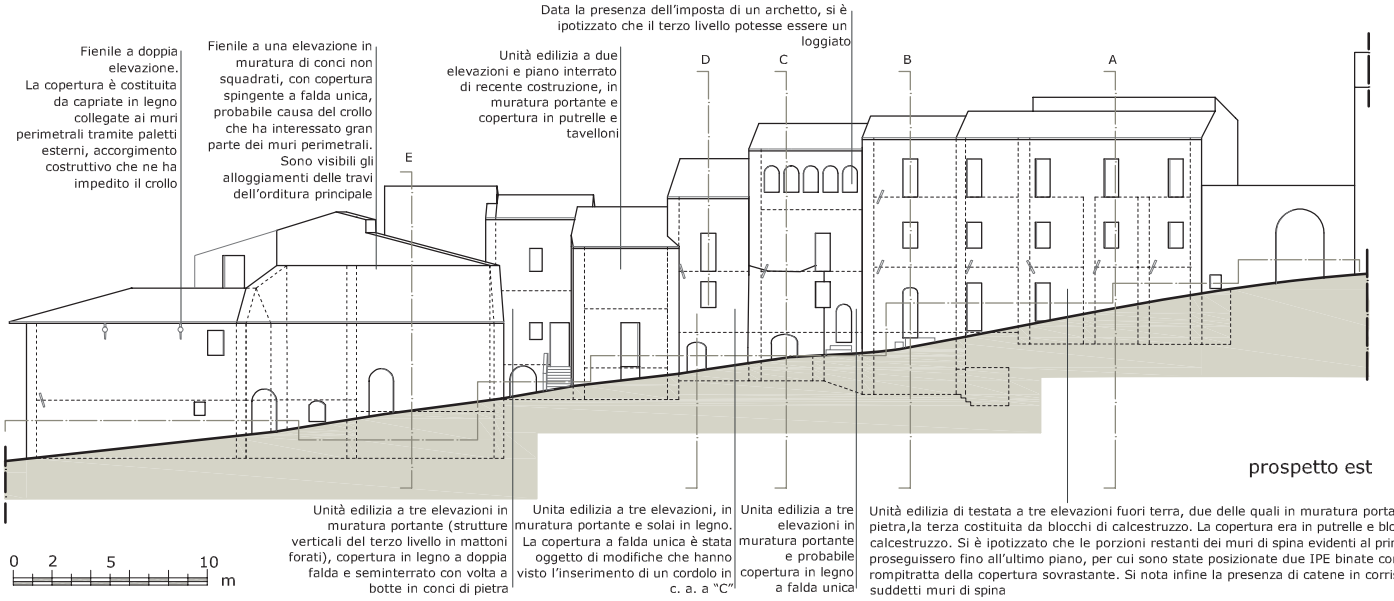
L'unità edilizia con ringrosso murario a scarpa presenta, in sommità, un piccolo elemento murario verticale con un accenno di imposta di un arco. Si è ipotizzato dunque, a partire dell'osservazione di tale elemento e grazie al riscontro avuto dall'osservazione delle tipologie edilizie diffuse in zona, che l'ultimo livello di tale unità edilizia fosse costituito da un piano loggiato a cinque arcate, motivo architettonico ricorrente nelle abitazioni della valle dell'Aterno.

Le unità edilizie retrostanti alle due sopra descritte presentano il crollo totale delle coperture. Si è dedotto, dall'osservazione delle macerie, che tali coperture fossero a falda unica in legno.

Nella zona sud, a valle, si è in particolare evidenziato lo stato antecedente al crollo del fienile posto all'angolo tra via Romana e la Strada comunale degli orti. Dalla presenza dei fori di alloggiamento delle travi di copertura presenti nella parete di fondo, si può affermare che le copertura doveva essere a falda unica, ordita ortogonalmente alla facciata. La geometria delle falde di coperture crollate è stata difficilmente individuabile attraverso l'esclusiva osservazione diretta delle macerie e delle porzioni residue. Per questo motivo un indispensabile contributo è stato fornito dallo studio delle ortofoto dello stato antecedente al sisma, incrociato ai dati ottenuti tramite l'osservazione diretta.
Si sottolinea, inoltre, che le considerazioni fatte sono il frutto di un'esperienza di ricerca condotta sul campo durante l'estate del 2009, precedentemente alla pubblicazione sul sito internet del comune di Villa Sant'Angelo e sul sito di Google Maps, delle immagini del centro di Villa pre - sisma. L'acquisizione di tali dati ha comunque ulteriormente confermato quanto ipotizzato per mezzo dell'osservazione diretta.

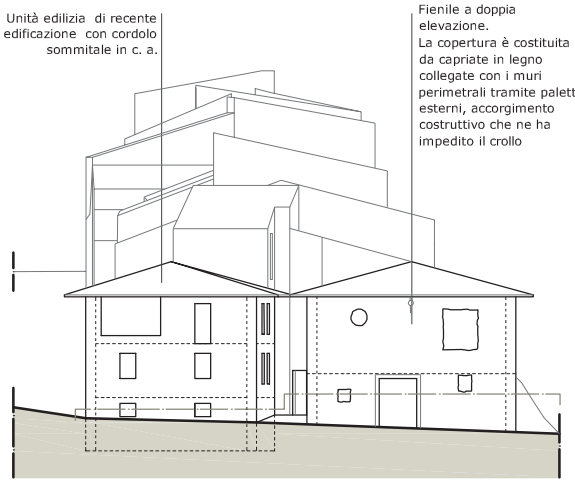


prospetto ovest

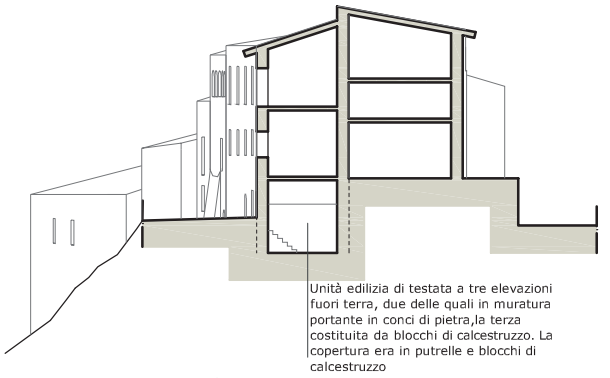


prospetto est

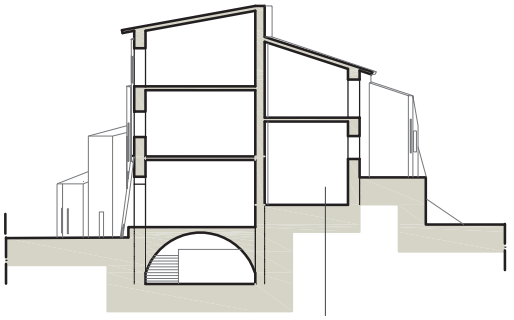
Fig. 23 Ricostruzione dello stato ante sisma dell'aggregato di studio. Prospetti



prospetto sud

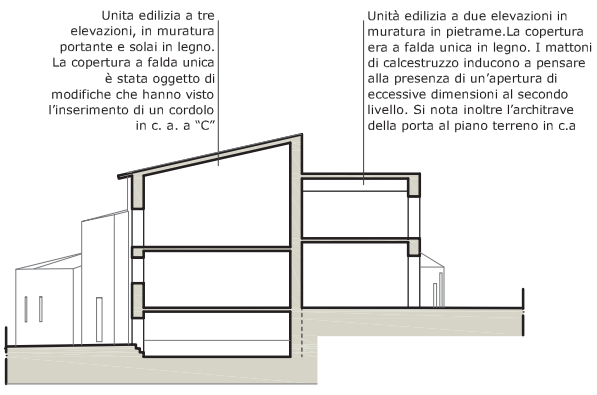


sezione A-A'

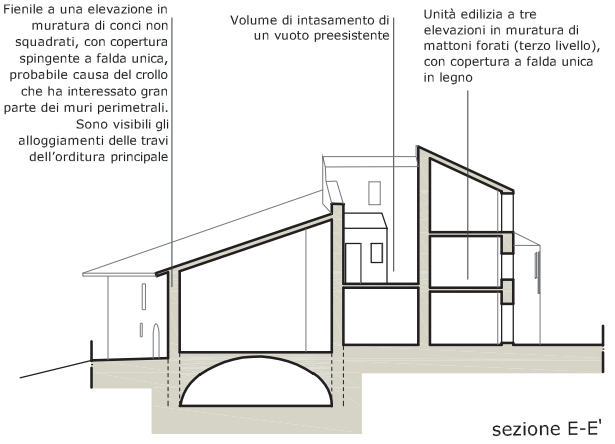


sezione B-B'

sezione C-C'



sezione D-D'



sezione E-E'

0 2 5 10 m

Fig. 24 Ricostruzione dello stato ante sisma dell'aggregato di studio. Prospetto sud e sezioni trasversali

a b c

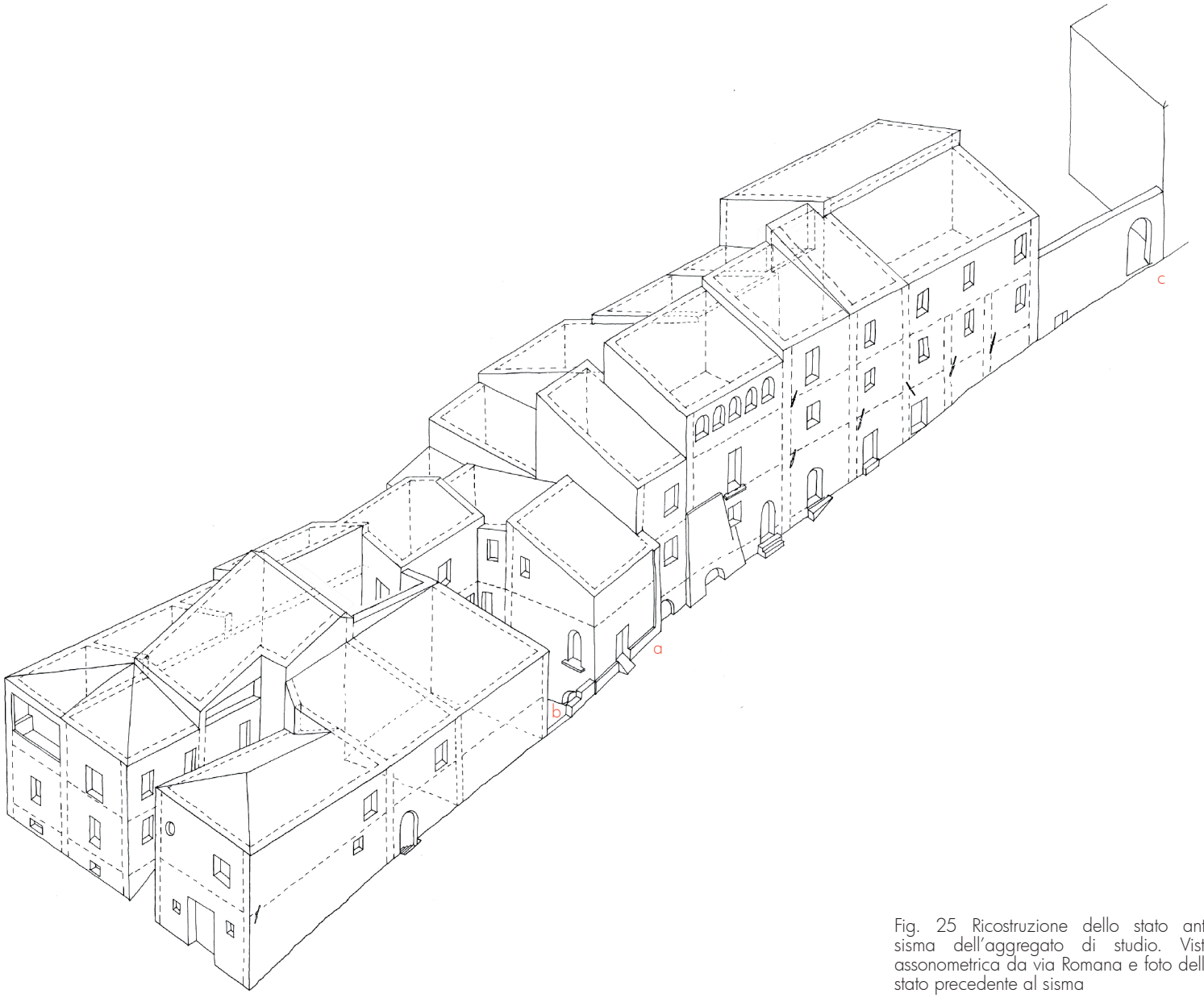


Fig. 25 Ricostruzione dello stato ante sisma dell'aggregato di studio. Vista assonometrica da via Romana e foto dello stato precedente al sisma

a b c d

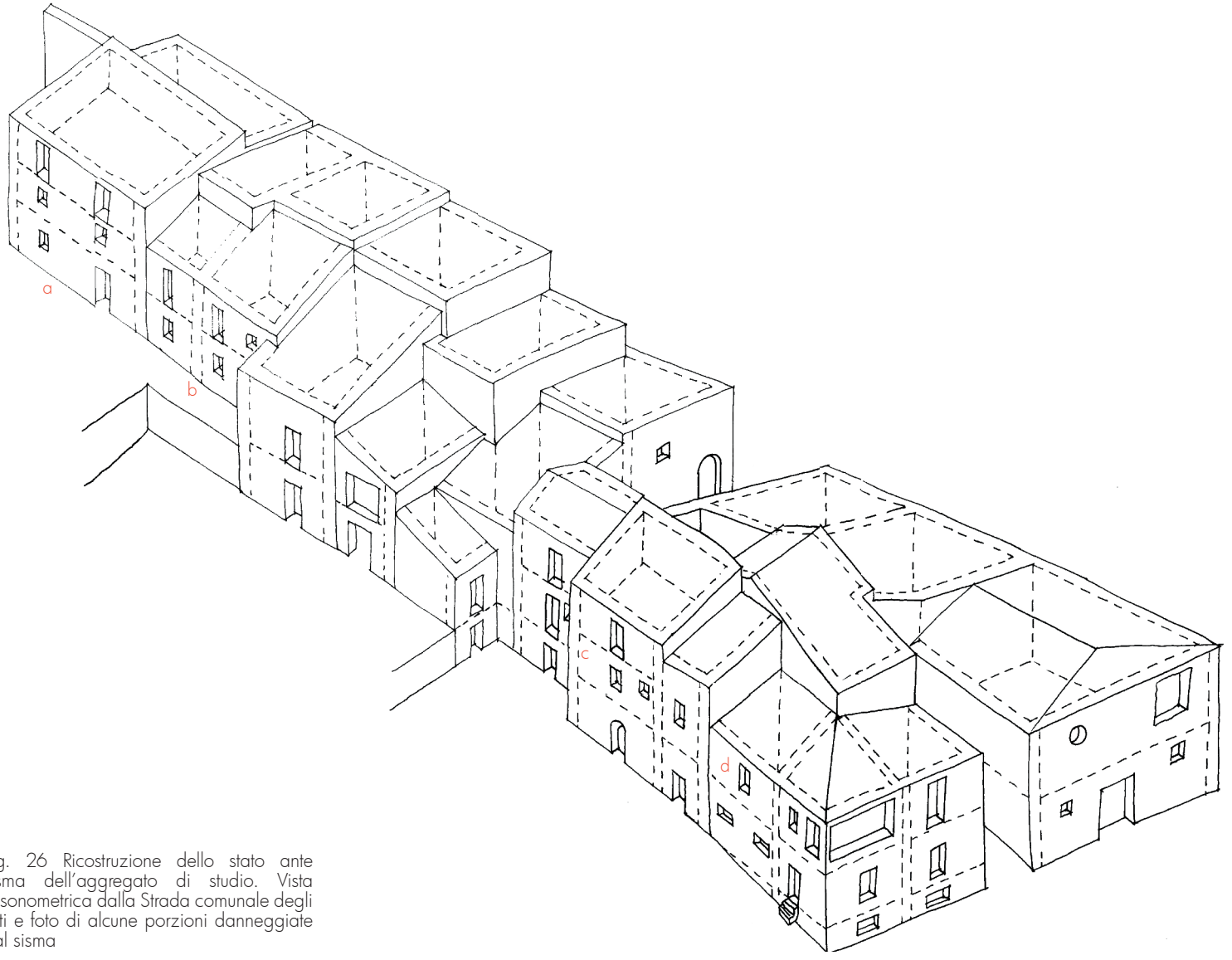


Fig. 26 Ricostruzione dello stato ante sisma dell'aggregato di studio. Vista assonometrica dalla Strada comunale degli orti e foto di alcune porzioni danneggiate dal sisma

3.4. Fasi di formazione ed evoluzione dell'aggregato

La ricostruzione della conformazione dell'aggregato precedentemente al sisma è necessaria, tra l'altro, a ripercorrere a ritroso il processo di formazione ed evoluzione tipologica degli edifici che lo costituiscono. Tale sequenza di edificazione viene ricostruita a partire dall'osservazione degli accostamenti murari, datando in maniera relativa, le diverse porzioni murarie e le unità edilizia corrispondenti.

L'occupazione dell'area dell'isolato è probabilmente avvenuta contemporaneamente a partire dalle unità edilizie di testata sia a nord che a sud, cioè a partire della unità edilizia a tre elevazioni oggi quasi totalmente crollata (unità 1) e dal fienile (unità 10).

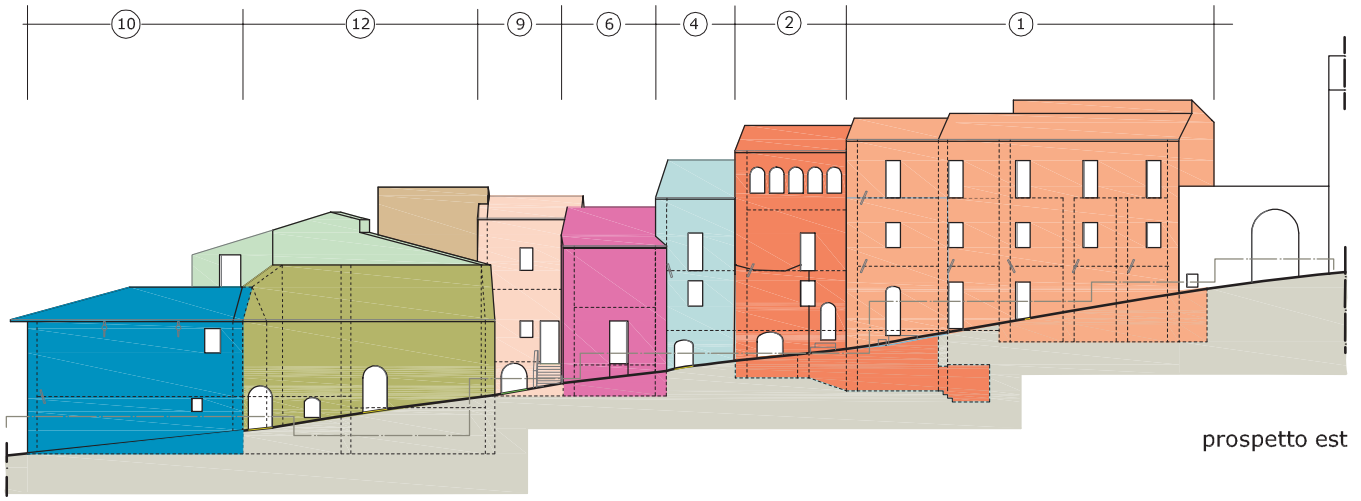
A monte quella che oggi è l' unità edilizia 1 è costituita da monocellule raddoppiate sul retro che probabilmente presentavano inizialmente un'unica elevazione e che dovevano originariamente essere separate. Le successive sopraelevazioni e rifusioni sono avvenute almeno in due momenti differenti, legati sia all'inserimento del corpo scala che conduceva ai livelli superiori oggi crollati, che alla sostituzione di parte della copertura (in calcestruzzo e putrelle, oggi crollata). La crescita dell'isolato proseguì verso valle con l'unità edilizia 2. Questa, prima del sisma, presentava tre elevazioni e un piano seminterrato; una scala interna disimpegnava i vari livelli fino all'ultimo piano con loggiato a tre arcate.

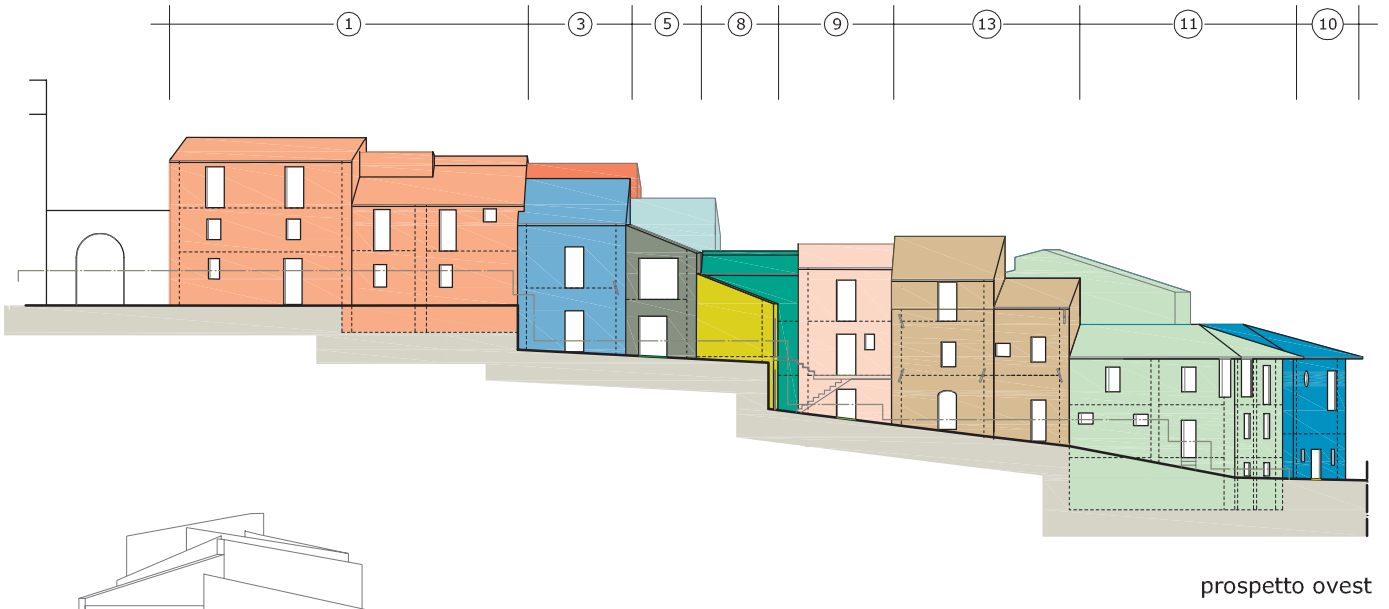
Successivamente a questa prima fase di crescita da monte verso valle allineandosi alla strada, è avvenuta l'occupazione, per intasamento e raddoppio, del fronte sul retro, con una parte di quella che oggi è l'unità edilizia 1 (descritta in precedenza) e con l' unità edilizia monocellulare a due elevazioni (numero 3).

Le ultime unità edilizie della zona nord realizzate sul fronte strada sono la numero 4 e la numero 6, entrambe a due elevazioni e piano seminterrato.

A valle, il fienile (unità 10), doveva originariamente costituire il margine verso la strada che porta agli orti, ad ovest del paese e il primo passo verso l'occupazione del fronte sud – ovest dell'aggregato. Tale occupazione è avvenuta con la costruzione di una prima unità edilizia rintracciabile in quella che oggi è indicata con il numero 11 ma che inizialmente era probabilmente costituita da tre unità edilizie differenti oggi accorpate e uniformate. L'edificazione della zona sud si completò con la costruzione del vano retrostante al fienile con copertura a falda unica oggi crollata.

L'ultima fase di crescita dell'aggregato è costituita, infine, da processi recenti di saturazione dei vuoti rimanenti attraverso la costruzione dell'unità edilizia 9, che costituisce il nodo di congiunzione tra le due aree descritte, e le unità monocellulari 7 ed 8.





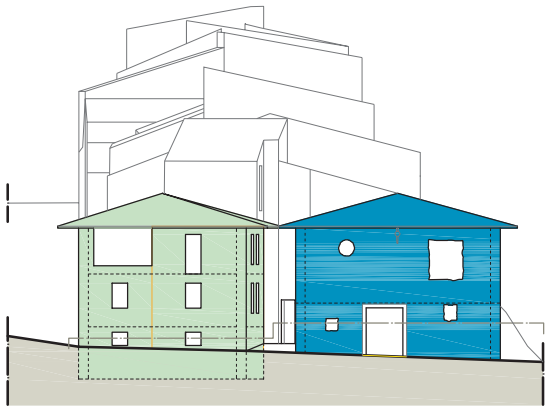
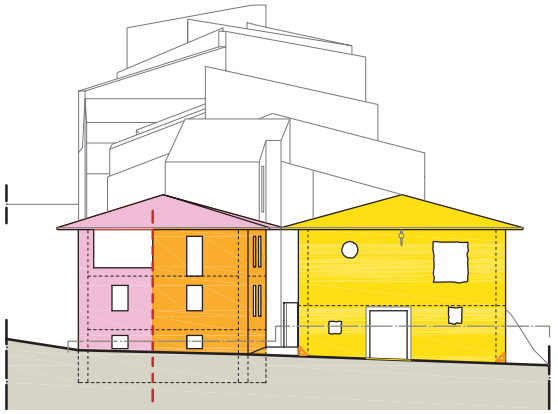


Fig. 27 Individuazione delle unità edilizie nell'aggregato di studio. Prospetti

Fig. 28 Individuazione delle unità edilizie nell'aggregato di studio. Pianta dei piani terra

prospetto est

prospetto ovest



prospetto sud

0 2 5 10 m

Fig. 29 Ricostruzione delle fasi di formazione ed evoluzione dell'aggregato di studio. Prospetti

Fig. 30 Ricostruzione delle fasi di formazione ed evoluzione dell'aggregato di studio. Pianta dei piani terra

3.5. Rilievo costruttivo e cultura sismica locale

Il territorio abruzzese è storicamente stato vittima di eventi calamitosi che hanno indotto i costruttori locali ad adottare dei particolari accorgimenti per fare in modo che i propri edifici fossero capaci a resistere a tali calamità. Ciò ha di fatto sviluppato una cultura costruttiva antisismica storica giunta fino a noi e comprensibile attraverso l'osservazione e lo studio degli edifici di cui sono frutto.

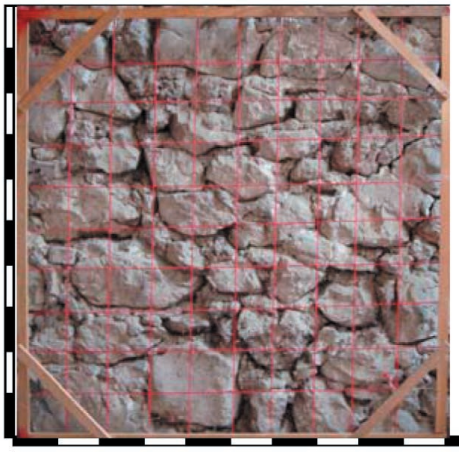
In particolare l'osservazione dell'aggregato scelto come caso studio all'interno del centro storico di Villa Sant'Angelo presenta molte delle caratteristiche proprie del lessico costruttivo locale e anche alcune "alterazioni" costruttive messe in crisi dal recente terremoto del 2009 (in particolare ci si riferisce ai cordoli, alle architravi e alle coperture in cemento armato) . La compresenza di tali differenti accorgimenti costruttivi storici e moderni valutati alla luce degli effetti dell'evento sismico, fornisce delle importanti considerazioni non solo sulle possibili scelte progettuali volte alla ricostruzione, ma in senso più esteso, sulle modalità di intervento sull'edificato murario per la riduzione della vulnerabilità sismica.

Tuttavia, lo stato di crollo incipiente e la notevole quantità di macerie all'interno degli edifici dell'aggregato campione studiato non ha consentito lo svolgimento delle operazioni di rilievo diretto degli elementi costruttivi in maniera esaustiva, per tale motivazione la comprensione del lessico costruttivo locale è avvenuta per lo più attraverso l'osservazione e il rilievo di campioni appartenenti all'intero contesto ambientale di Villa Sant'Angelo – Tussillo e del vicino centro di Casentino.

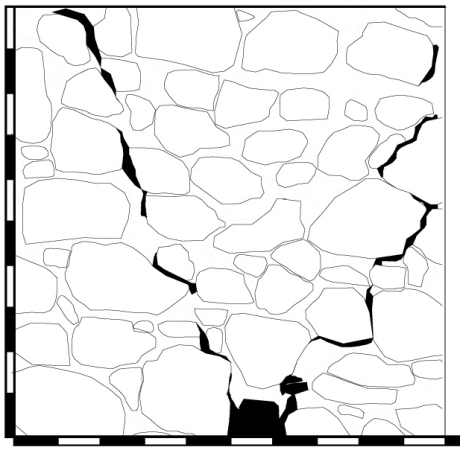
Le strutture murarie di elevazione rilevate nell'aggregato ed in generale osservate nel centro storico, non presentano una particolare qualità costruttiva. È stato osservato che gli elementi murari verticali sono realizzati per paramenti giustapposti scarsamente ammorsati reciprocamente in sezione. Se da un lato si rileva una eccessiva quantità di malta, al contempo si evidenzia la regolare disposizione di conguagli di orizzontamento a passo relativamente costante e l'utilizzo di pietrame di pezzatura medio – grande. Tali caratteristiche rendono la muratura di Villa nel complesso di una qualità tale da non riuscire a fornire una adeguata resistenza all'azione sismica nei casi in cui non sono presenti ulteriori accorgimenti di presidio antisismico (come radiciamenti lignei o catene metalliche, di fatto molto diffusi).

Le strutture orizzontali voltate in muratura sono molto frequenti ai piani interrati o seminterrati e abbastanza frequenti ai piani terra degli edifici di Villa Sant'Angelo. Tali strutture hanno resistito in maniera molto evidente al terremoto del 2009, mentre le volte in mattoni in foglio, utilizzate ai piani superiori, hanno subito notevoli danni. Tale differenza di comportamento al sisma è evidentemente dovuta alla caratteristica propria dell'elemento costruttivo ed al materiale adoperato. Le volte murarie di Villa sono infatti realizzate con elementi lapidei di dimensione medio – grossa, adeguatamente apparecchiati. È presente, come risulta evidente dalle rare porzioni crollate, un adeguato

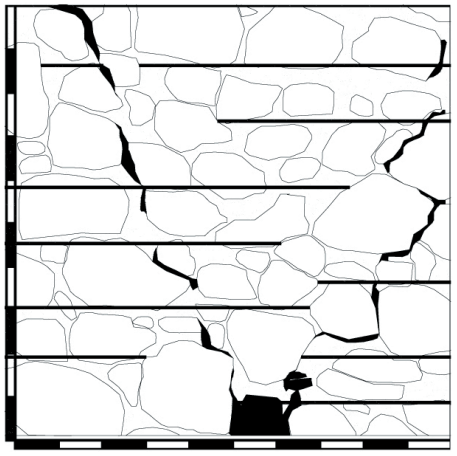
rinfianco di materiale leggero alle reni. La posizione contro terra, inoltre, permette di fare assorbire al terreno sia la naturale azione statica orizzontale che l'incremento dovuto all'azione sismica.
Gli orizzontanti di interpiano sono in genere in legno a semplice orditura di travi con tavolato e finitura in cotto. Le coperture, quasi esclusivamente ordite in modo da non essere spingenti, sono caratterizzate dalla presenza del tipico sporto, detto palombella, realizzato tramite i travicelli di seconda orditura che fuoriescono dallo spessore del muro o tramite ulteriori monconi lignei chiodati ai travicelli. Tali elementi lignei hanno una terminazione modanata e sostengono il tavolato e la finitura in coppi laterizi. Spesso le capriate lignee, diffuse per coprire i magazzini e i fienili, presentano un particolare accorgimento costruttivo quale l'estensione della catena lignea all' esterno della parete e fissata tramite un paletto ligneo. Ciò di fatto costituisce un importante quanto efficace elemento di trattenimento della facciata.
Tra i vari elementi che costituiscono contrasto all'azione sismica, oltre a quelli già citati, sono presenti anche dei ringrossi murari a scarpa, cioè delle strutture verticali addossate alle pareti e realizzate in muratura con la presenza, spesso, di ricorsi in mattoni o in pietra di dimensioni maggiori. Tali elementi hanno una estensione orizzontale spesso pari alla larghezza della parete e verticale fino al solaio del primo livello. L'azione sismica del recente terremoto del 2009 ne ha sottolineato la carenza intrinseca di ammorsamento rispetto alla facciata su cui si addossano e il ridotto spessore che raggiungono in sommità, data la conformazione rastremata verso l'alto.



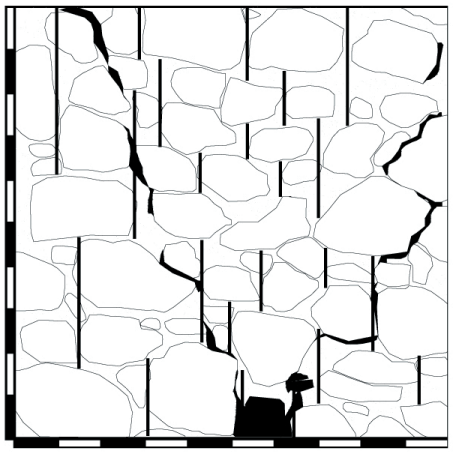
31



32



33



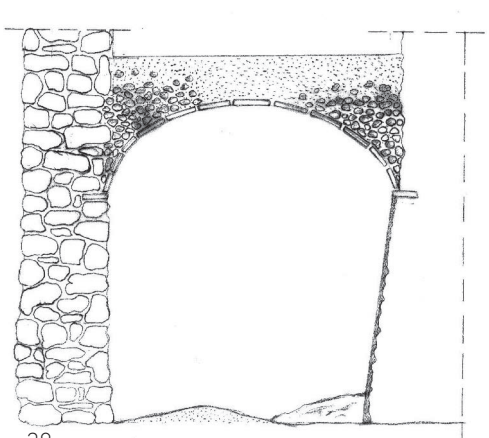
34

37

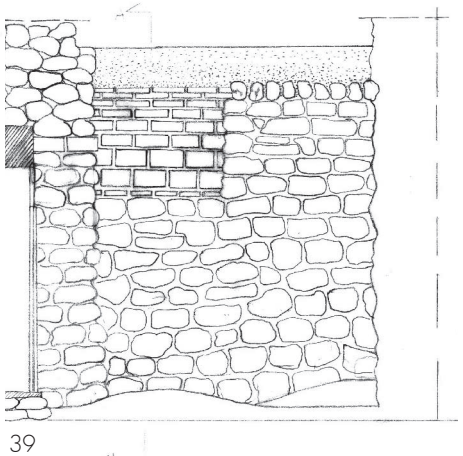
35

36

Fig. 31-32 Foto e restituzione grafica di un paramento murario. Vengono evidenziate le lesioni presenti
Fig. 33-34 Individuazione delle orizzontalità dei filari e di sfalsamento dei giunti verticali
Fig. 35-36 Tussillo e Villa San'Angelo. Inspessimenti murari senza ammorsamento
Fig. 37 Struttura muraria a doppio paramento di scadente qualità, messa in crisi dal sisma con la conseguente espulsione del paramento esterno

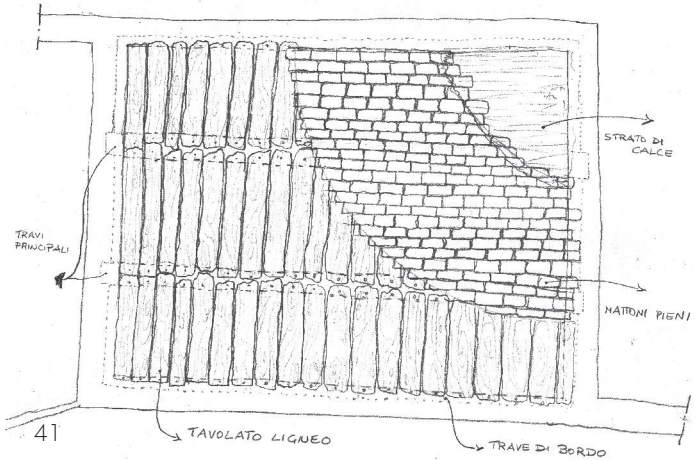


38

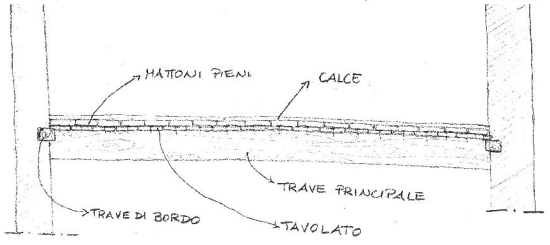


39

40

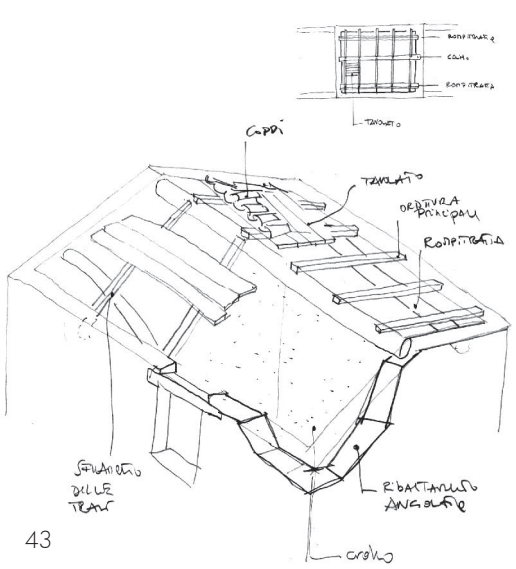


41

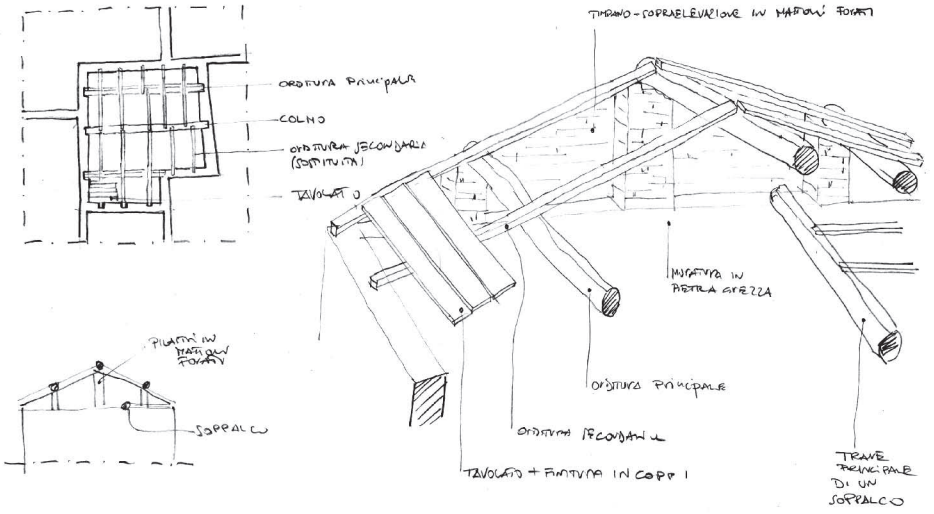


42

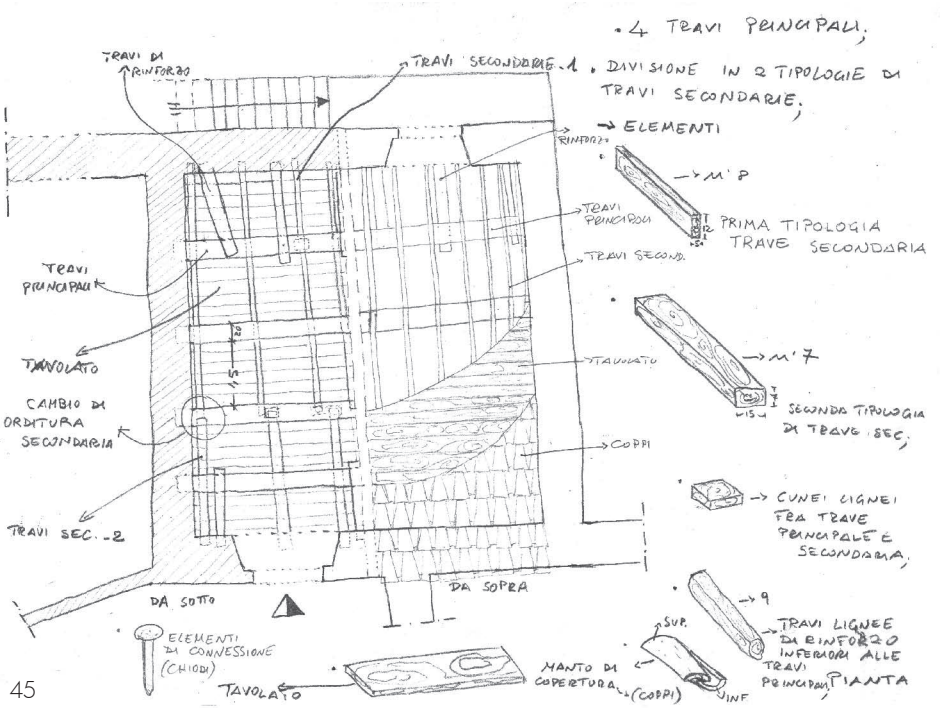
Fig. 38-39-40 Tussillo. Sezioni e foto di una volta muraria successivamente integrata con mattoni in foglio
Fig. 41- 42 Tussillo. Pianta e sezione di un solaio ligneo a semplice orditura con tavolato e pianelle



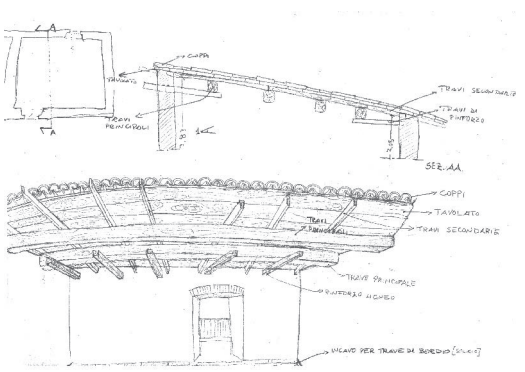
43



44

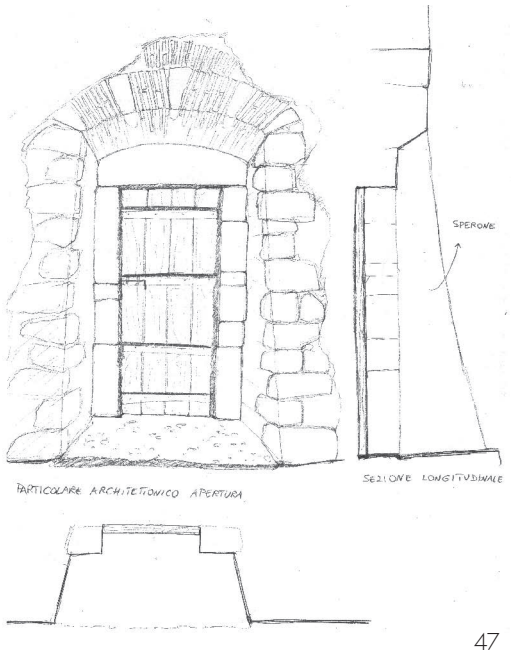


45



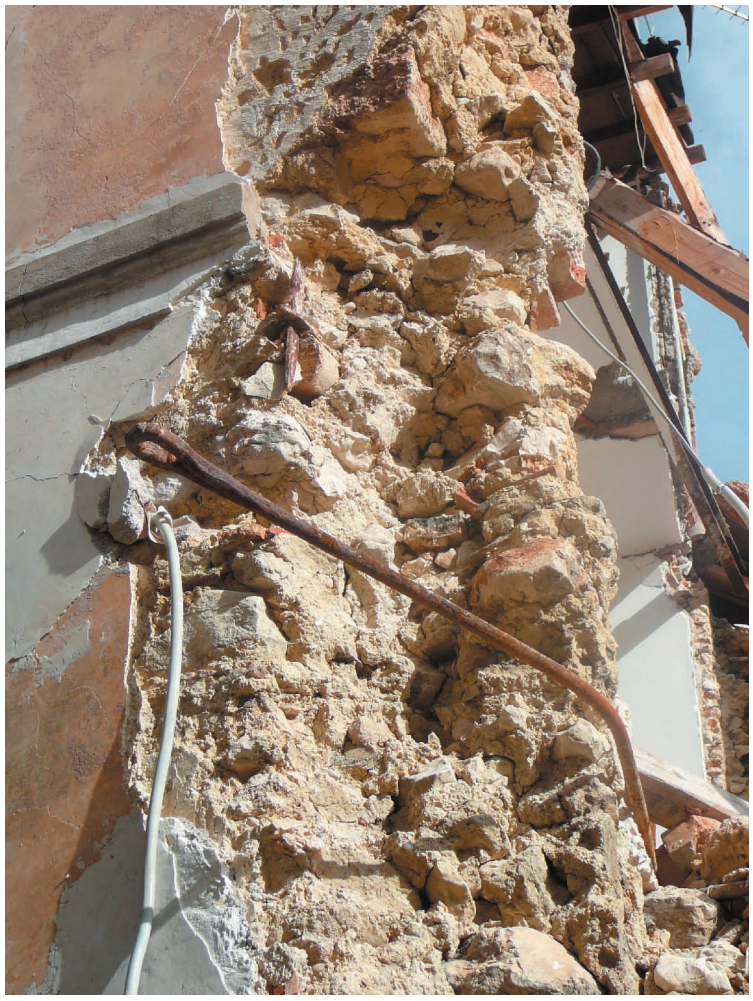
46

Fig. 43-44 Esempi di coperture in legno non spingenti danneggiate dal sisma a Casentino (L'Aquila)
Fig. 45-46 Pianta, sezione e vista prospettica di un solaio ligneo a doppia orditura a Tussillo



47

48



49

50

Fig. 47-48 Tussillo. Un ringrosso murario a scarpa in cui è realizzata una porta
Fig. 49- 50 Villa Sant'Angelo. Radiciamento ligneo con capochiave metallico a cuneo

4. Il percorso di conoscenza alla scala edilizia

4.1. Individuazione delle Unità Elementari

La conoscenza dell'aggregato richiede un notevole sforzo di indagine che non sempre può essere condotto in maniera unitaria da un unico soggetto. Per questo motivo si propone di individuare, all'interno dell'aggregato, delle porzioni che possono essere analizzate e su cui si può intervenire in maniera relativamente autonoma rispettando determinati criteri che tengono conto della loro interazione con il resto dell'aggregato.
All'interno dell'aggregato studio di Villa Sant'Angelo sono state individuate le unità edilizie di cui esso è costituito e a partire da esse è stata effettuata l'individuazione e l'illustrazione delle diverse possibili Unità di Intervento su cui rediggere un ipotetico progetto di ricostruzione e/o miglioramento sismico (in seguito esplicitato nella parte conclusiva di questo lavoro).
Questo procedimento di individuazione delle unità di intervento, qui applicato a un caso in cui il sisma ha già gravemente danneggiato l'edificato, è applicabile anche ne casi di interventi preventivi di mitigazione della vulnerabilità sismica.
La prima unità di intervento individuata riguarda l'unità edilizia a sud dell'aggregato, all'angolo tra via Romana e la Strada comunale degli orti. Si immagina di intervenire sull'intera unità edilizia a due elevazioni e per questo motivo l'UI, in questo caso, coincide con l'intera l'UE. L'UASt, dunque, è costituita dalle strutture murarie verticali che definiscono la cellula, dal solaio ligneo di interpiano e della copertura con capriata. L'UASi delimitata è costituita dalla retrostante cellula con la copertura crollata e dalla porzione di unità edilizia situata ad ovest oltre il vicolo. Si ritiene che per intervenire sulla UI selezionata sia necessario prima di tutto verificare se il crollo delle porzioni murarie adiacenti abbia interferito con l'unità in oggetto e, nel caso, valutare in che modo. Infatti si osserva che il crollo della copertura a falda unica ha coinvolto la porzione sommitale del timpano ad essa adiacente. Inoltre per operare in sicurezza sulla UI è necessario rilevare la presenza o meno di elementi instabili, appartenenti all'UASi.
L' UI 2 non coincide con una sola UE ma al contrario si estende per tre unità edilizie adiacenti. Si immagina di dover intervenire su una unità posta al primo piano ed appartenente ad un unico proprietario il quale, nel tempo, ha effettuato una rifusione orizzontale di cellule adiacenti ma originariamente indipendenti. Il problema della ripartizione proprietaria risulta assolutamente vincolante non tanto nella scelta dell'UI quanto, come si vedrà, nella identificazione e nell'intervento sulle UASt e UASi. Se dunque l'UI è costituita da quattro cellule al primo piano, l'UASt dovrà quantomeno valutare lo stato delle strutture murarie continue fino in fondazione, attraversando le cellule del piano terreno (che magari appartengono a un altro proprietario). Lo stesso intervento sul primo orizzontamento, inoltre, potrebbe richiedere di operare dal piano terra. Per quanto riguarda la copertura, crollata su se stessa, invece il problema non si pone.

L'UASi viene individuata tenendo conto alla presenza di orizzontamenti o coperture spingenti posti in adiacenza all'UI che possono aver causato danni su di essa come, ad esempio, il cordolo in cemento armato dell'unità più a sud che ha generato martellamento sulla parete in comune; o dalla possibilità che il crollo delle strutture verticali possa investire l'UI. Vengono inoltre osservate le strutture murarie adiacenti e valutato lo stato fessurativo.

L'UI 3 è costituita dalle tre elevazioni di una unica UE. Il piano interrato appartiene all'UE adiacente ma rientra nella delimitazione della UASt. L'ASi invece tiene conto della spinta della volta del piano terra adiacente a monte, nonché della presenza delle soprastanti macerie che possono gravare sulla stabilità della UI. Dal lato opposto invece l'UASi ingloba le strutture murarie verticali rimaste in sito.
La suddivisione illustrata cerca di definire le porzioni minime sulla quali poter intervenire autonomamente in modo da mettere in sicurezza via via tutto l'aggregato e procedere con gli interventi di ricostruzione e miglioramento sismico. Tale processo potrebbe avvenire in maniera discontinua e non unitaria e necessita quindi, oltre che di un progetto di coordinamento dei singoli interventi (vedi capitolo 6.1.2 parte III) anche di criteri attraverso i quali intervenire in maniera puntuale.

Fig. 51 Unità elementare 1.
Individuazione dell' U.I., U.ASt., U.A.Si

Fig. 52 Unità elementare 2.
Individuazione dell' U.I., U.ASt., U.A.Si

Fig. 53 Unità elementare 3.
Individuazione dell' U.I., U.ASt., U.A.Si

0 2 5 10 m

5. L'interpretazione

5.1. Individuazione dei fattori di vulnerabilità e di resistenza

L'interpretazione dei dati riportati nel rilievo critico e nel rilievo dello stato di crollo e danneggiamento dell'aggregato, incrociati ai dati relativi all'indagine storico-evolutiva, è finalizzata ad individuare e localizzare tutti gli elementi che hanno influito negativamente o positivamente sul suo comportamento in occasione del recente evento sismico. Le osservazioni effettuate permetteranno di definire dei criteri di intervento preventivi di mitigazione della vulnerabilità sismica e dunque di miglioramento del comportamento degli aggregati in occasione di terremoti futuri.

Gli indicatori di vulnerabilità sismica individuati sono stati suddivisi in tre categorie: vulnerabilità intrinseca, vulnerabilità da alterazione e interazione e vulnerabilità da posizione.

Gli indicatori di vulnerabilità intrinseca esprimono la suscettibilità al danneggiamento dell'aggregato a causa di caratteristiche costruttive originarie. In particolare gli indicatori individuati all'interno dell'aggregato di studio sono:

- Eccessiva snellezza verticale

  Le unità edilizia poste a monte sul fronte strada presentano una eccessiva snellezza verticale. Hanno infatti tre elevazioni fuori terra e uno spessore murario alla base di 60 cm e rispetto alle altre unità edilizie dell'aggregato risultano, da questo punto di vista, più vulnerabili.

- Eccessiva snellezza orizzontale per assenza di pareti di telaio

  L'unità edilizia con il ringrosso murario presentava un piano loggiato all'ultimo livello. Ciò impediva il posizionamento di muri di controvento sulla parete di facciata lunga 6.5 m.

- Muratura di scadente qualità meccanica

  Le strutture murarie verticali presentano molto frequentemente una scadente qualità costruttiva. Sono realizzate infatti con elementi lapidei di ridotte dimensioni, con eccessiva presenza di malta e insufficiente ingranamento sia nello spessore che nella lunghezza.

- Aperture di ampiezza eccessiva

  L'unità edilizia monocellulare posta nella zona nord dell'aggregato e prospiciente sugli orti presentava, al primo piano, un'apertura ampia quanto tutta la larghezza della cellula, con stipiti in blocchi di calcestruzzo. La stessa situazione è rintracciata sul prospetto del fienile sulla Strada comunale degli orti.

- Aperture disallineate

  L'unità edilizia a valle, posta a margine della strada comunale e ad angolo rispetto al vicolo che conduce al retro dell'aggregato, presenta delle aperture non allineate tra loro, risultato di un rimaneggiamento del fronte a seguito di rifusioni recenti tra due

unità edilizie adiacenti.

- Aperture in prossimità del martello murario

Tale caratteristica è abbastanza frequente in riferimento alle porte di accesso ai vani terreni della zona nord dell'aggregato, sia sul fronte strada che sul retro.

- Coperture spingenti

Non sono presenti numerosi casi di strutture di copertura spingenti. In genere le coperture presentano l'orditura principale parallela alla facciata e quindi solo la seconda orditura di travicelli risulta essere ortogonale ad essa, determinando una azione orizzontale praticamente nulla. Solo la copertura del fienile a valle era (prima del crollo) a falda unica con puntoni ortogonali alla facciata, mentre a nord l'unità edilizia di testata presentava una copertura pesante e spingente in putrelle, laterizio e calcestruzzo.

- Loggia

Il loggiato all'ultimo livello dell'unità edilizia con lo sperone costituiva un indebolimento della porzione muraria sommitale.

Gli indicatori di vulnerabilità da alterazione e interazione sono riferiti alle modifiche costruttive apportate nel tempo agli edifici e al danneggiamento che l'uno può generare sull'altro in occasione del terremoto.
In particolare gli indicatori individuati sono:

- Accostamenti murari (carenza di ammorsamento tra muri continui)

Sono generalmente segno di successive fasi di crescita dell'aggregato e costituiscono delle discontinuità verticali spesso continue per tutta l'altezza dell'unità edilizia. Sono presenti in molte cellule dell'aggregato, in particolare nelle unità monocellulari poste sul retro.

- Eccessiva snellezza orizzontale per sottrazione di pareti di telaio

Tale caratteristica è presente esclusivamente nell'unità edilizia di testata a monte.

- Copertura pesante (in c.a., in putrelle e laterizio, con vano sottotetto)

Le coperture sono spesso appesantite dalla creazione di soppalchi in putrelle e laterizi forati per la realizzazione di vani sottotetto. Tale fenomeno è presente nell'unità edilizia di testata a monte; nell'unità monocellulare a due elevazioni sul retro dell'aggregato e nelle due unità edilizie a tre elevazioni poste a valle ed anch'esse prospicienti sul vicolo interno verso gli orti.

- Cordolo in c.a.

La presenza di cordoli in cemento armato sulle cimase murarie è evidente su due unità edilizie: la prima a monte, adiacente all'unità con lo sperone; la seconda a valle, ad angolo tra la Strada comunale degli orti e il vicolo interno.

- Sopraelevazione incongrua non integrata

Presente nella zona sud dell' aggregato, sul retro del fienile.

- Strutture verticali portanti in laterizi forati

Le strutture verticali in mattoni forati sono evidenti sia all'ultimo livello dell'unità edilizia posta al centro dell'aggregato e prospiciente sulla rientranza di via Romana, che all'ultimo livello delle unità edilizie ad essa retrostante.

Gli indicatori di vulnerabilità da posizione sono riferiti al livello di esposizione della singola unità edilizia relativamente alla sua posizione nel tessuto.
In particolare si è evidenziato che sono maggiormente suscettibili al danneggiamento, proprio e indotto dalle unità adiacenti, le cellule aventi fronti svettanti. Inoltre l'unità di testata a nord, presentando tre fronti esposti, è maggiormente vulnerabile di quelle inserite all'interno dell'aggregato e che dunque hanno un solo fronte esposto.

Gli indicatori di resistenza sismica sono riferiti a caratteristiche costruttive che svolgono un ruolo positivo nel comportamento sismico. Gli indicatori di resistenza individuati nell'aggregato studio sono:

- Connessione efficace degli orizzontamenti alle pareti di elevazione

Il nodo muratura - orizzontamento sembra essere particolarmente curato ai livelli più bassi delle abitazioni, dove sono spesso collocate strutture voltate a botte in muratura. Ai livelli superiori la qualità di tale connessione sembra essere più scadente.

- Connessione efficace della copertura alle pareti di elevazione

La connessione tra strutture di copertura e pareti di elevazione risulta efficace in particolare nell'unità edilizia a margine della Strada comunale degli orti.

- Presenza di cantonali

L'unità edilizia di testata, a margine della Strada comunale degli orti, presenta cantonali ben apparecchiati, seppur in pietra appena sbozzata.

- Incatenamento metallico

Gli incatenamenti metallici posti a quota degli orizzontamenti sono frequenti sia nei casi di volte (quindi ai piani seminterrati) che di solai lignei.

- Radiciamento ligneo

La collocazione di elementi lignei all'interno della sezione muraria con riscontro esterno tramite paletto metallico non è, nell' aggregato studio, particolarmente frequente. Tale accorgimento si riscontra infatti esclusivamente nell'unità edilizia con lo sperone ed in quelle immediatamente a sud.

- Paletto ligneo di riscontro della capriata

L'unico caso individuato è relativo al fienile posto a valle, a margine della Strada comunale degli orti.

- Ringrosso murario a scarpa

Presente esclusivamente sull'unità edilizia a tre elevazioni con loggiato, posta a nord. Tale muro è stato collocato successivamente all'edificazione della cellula e presenta un'apertura opportunamente realizzata per permettere l'accesso al piano interrato.

Vulnerabilità

intrinseca

1 Eccessiva snellezza verticale
2 Eccessiva snellezza orizzontale per assenza di pareti di telaio
3 Muratura di scadente qualità meccanica
4 Aperture di ampiezza eccessiva
5 Aperture disallineate
6 Aperture in prossimità del martello murario
7 Copertura spingente
8 Loggia

da alterazione e interazione

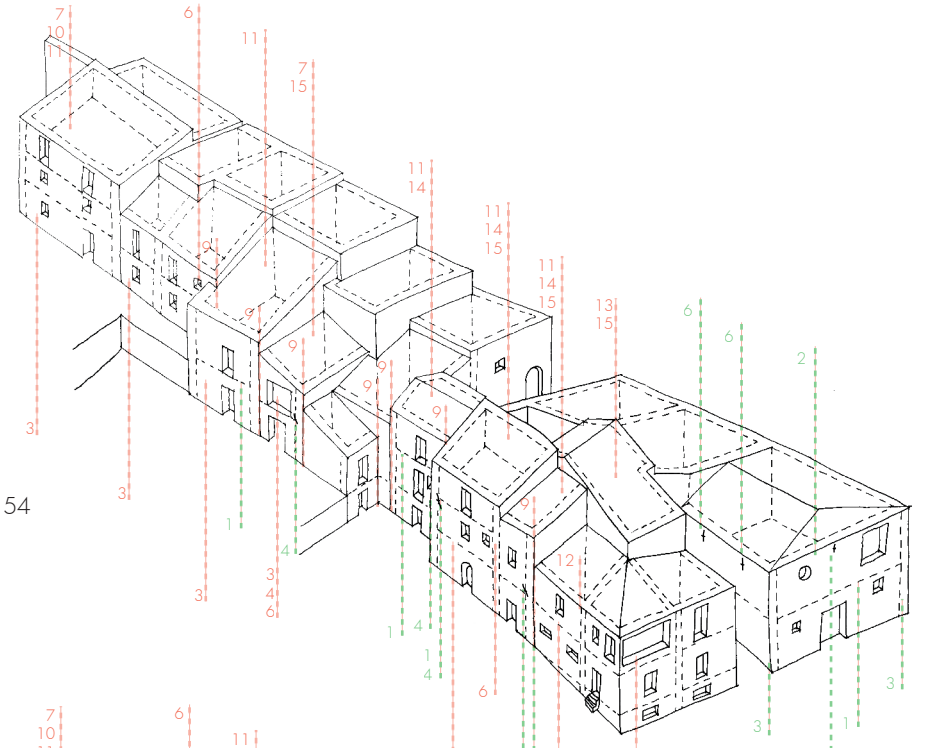
9 Accostamenti murari (carenza di ammorsamento tra muri continui)
10 Eccessiva snellezza orizzontale per sottrazione di pareti di telaio
11 Copertura pesante (c.a., putrelle e laterizi, con vano sottotetto)
12 Cordolo in c.a.
13 Sopraelevazione incongrua non integrata
14 Strutture verticali portanti in laterizi forati

da posizione

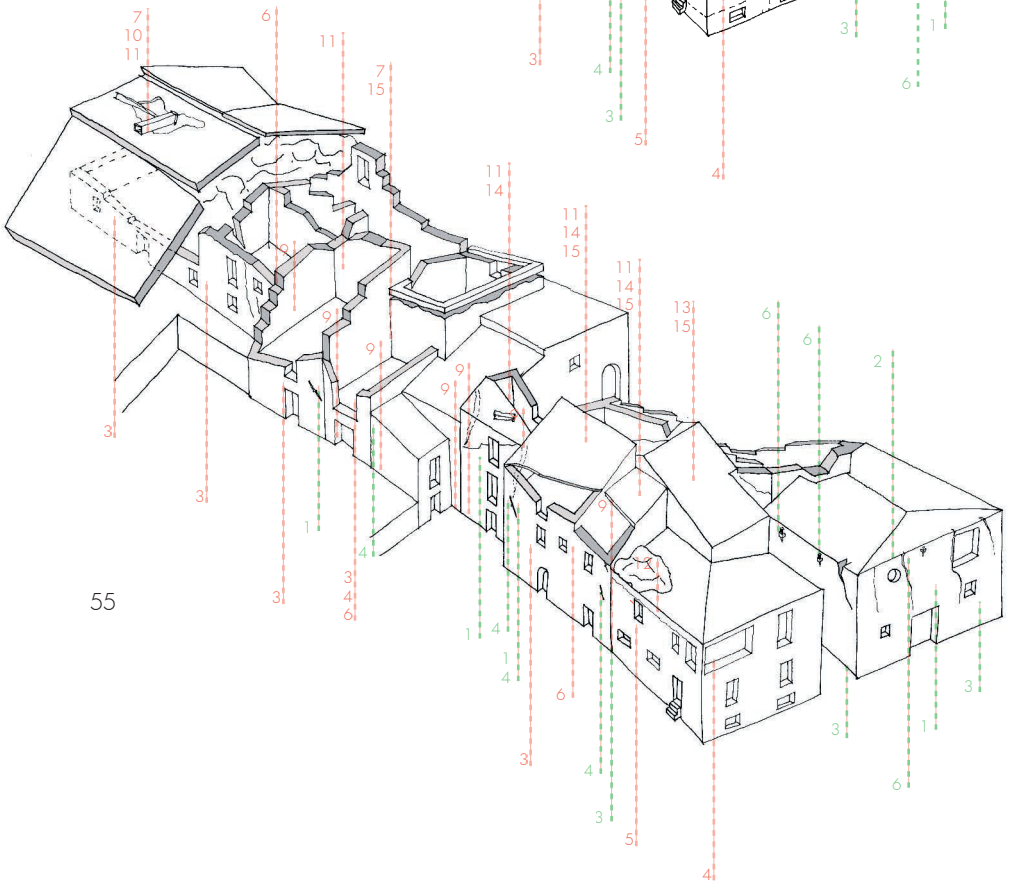
15 Fronti svettanti

Resistenze

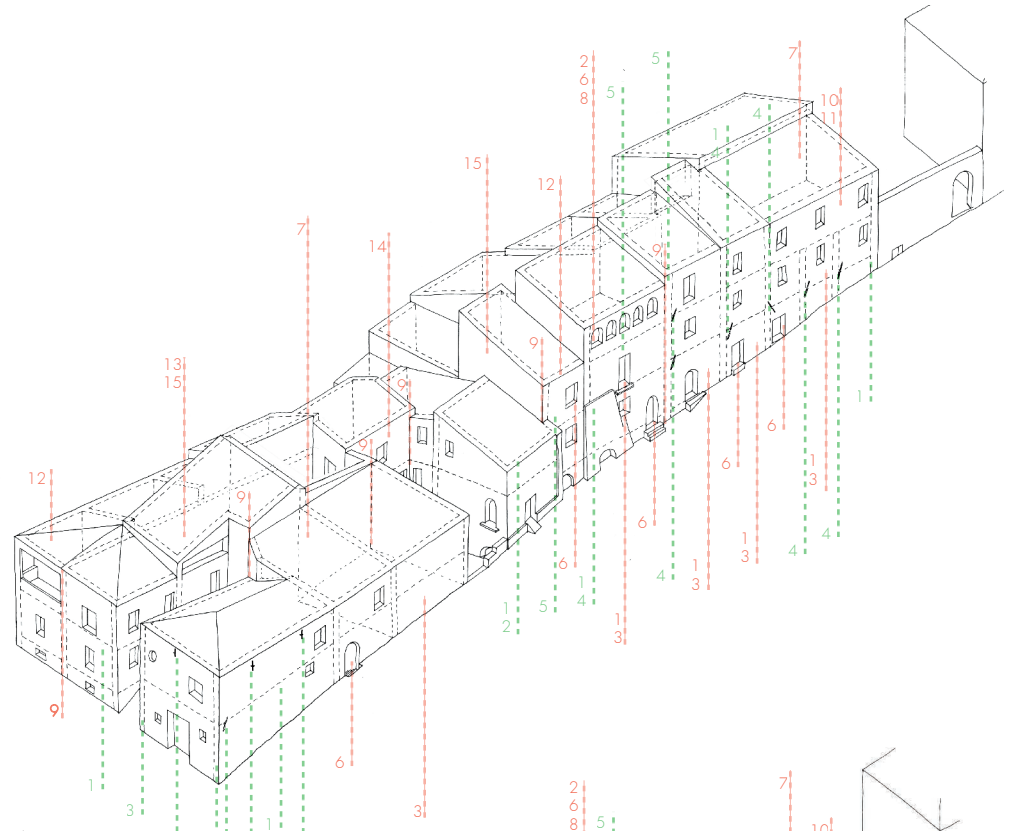
1 Connessione efficace degli orizzontamenti alle pareti di elevazione
2 Connessione efficace della copertura alle pareti di elevazione
3 Presenza di cantonali
4 Incatenamento metallico
5 Radiciamento ligneo
6 Paletto ligneo di riscondtro della capriata
7 Ringrosso murario a scarpa



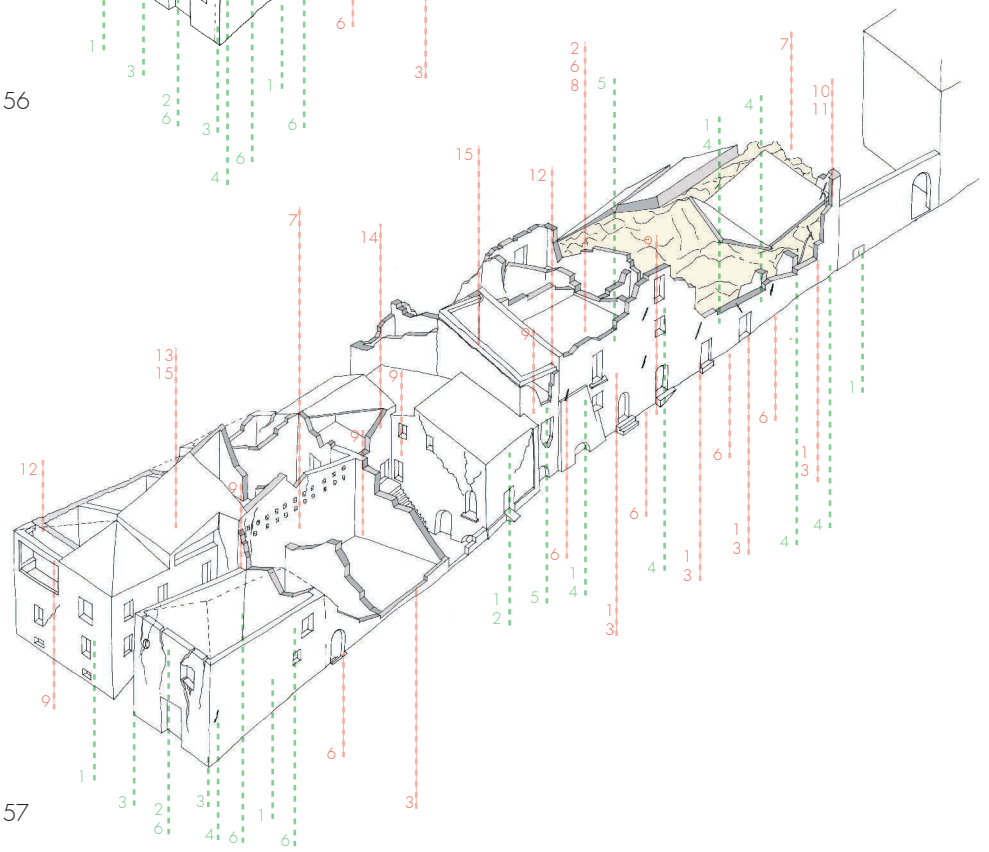
54



55



56



57

Fig. 54-55-56-57 Viste assonometriche dell' aggregato nello stato precedente e successivo al sisma con individuazione dei fattori di vulnerabilità e di resistenza

5.2. Ricostruzione dello scenario di danno sismico attivato e valutazione dei fattori di vulnerabilità e di resistenza sismica

A partire dallo studio degli indicatori di vulnerabilità e di resistenza sismica dell'aggregato si è scelto di ripercorrere il processo di danneggiamento verificatosi in occasione dell' evento sismico del 2009, ricostruendo quindi lo scenario di danno sismico effettivamente innescato per un'intensità macrosismica del IX grado MCS.
Tale passo della ricerca è finalizzato ad effettuare delle valutazioni:

- sull' efficacia o meno dei presidi antisismici (storici o recenti) presenti nell' aggregato;
- sul comportamento meccanico delle strutture murarie, al fine di esprimerne un giudizio qualitativo;
- sull'influenza delle caratteristiche costruttive e geometrico dimensionali degli edifici nel loro comportamento in occasione del terremoto;
- sull'influenza delle fasi di formazione e di evoluzione dell'aggregato nel suo comportamento in occasione del terremoto.

Il principale meccanismo di danno attivato ha coinvolto le unità edilizie più a nord. Qui la sostituzione della copertura originaria con una in ferro e laterizio ha comportato un notevole incremento di carico sulle strutture murarie verticali, tra l'altro di scadente qualità costruttiva. L'assenza di muri di controvento ai piani superiori ha costituito un ulteriore elemento di debolezza che ha contribuito all'attivazione del meccanismo di ribaltamento delle pareti di facciata e di scivolamento della copertura verso il retro con il conseguente crollo delle strutture di orizzontamento di interpiano (probabilmente lignee).
Tale meccanismo ha determinato il danneggiamento della cellula contigua (danno indotto), con il crollo della copertura, degli orizzontamenti di interpiano e della cimasa muraria. La situazione conseguente a questo meccanismo è la permanenza di un muro di altezza pari a tre piani privo di qualunque contributo stabilizzante fornito da solai e setti di spina. Il muro di telaio sud di questa cellula, infatti, è in parte ribaltato verso l'interno a causa dell'azione di martellamento del cordolo in cemento armato posto sulla cimasa della unità edilizia limitrofa.
Il crollo dell'unità edilizia di testata con la copertura pesante ha coinvolto anche le cellule che prospettano sul retro dell'aggregato. In particolare la cellula immediatamente adiacente ad essa è stata interessata dal ribaltamento parziale della facciata fino alla prima apertura del primo piano e dal crollo totale della copertura.
Proseguendo verso sud, sulla cellula adiacente alla precedente si è attivato un meccanismo di ribaltamento della facciata che ha coinvolto anche il muro di spina non adeguatamente ammorsato alla muratura retrostante.
L'apertura eccessivamente ampia posta al primo piano della cellula ancora più a sud è stata invece la principale causa del crollo della sua facciata e della copertura.

Osservando la porzione a valle dell'aggregato si individua in particolare il meccanismo che coinvolge la struttura retrostante il fienile. Il meccanismo di ribaltamento della facciata di tale unità edilizia è stato favorito dalla spinta della copertura e non adeguatamente contrastato dall'azione di trattenimento dei due muri di spina i quali sono a loro volta crollati in parte all'interno della cellula stessa.
L'unità edilizia posta al centro dell'aggregato ha visto l'attivarsi di un meccanismo di crollo della porzione muraria del secondo livello, realizzata in mattoni forati. Mentre l'ammorsatura muraria con il muro di spina a destra ha in parte svolto un'azine di trattenimento, quella a sinistra, evidentemente di peggiore qualità, non si è opposta all'espulsione della parete.
Tale unità edilizia ha inoltre subito, sul retro, l'attivazione di un meccanismo di secondo modo con il formarsi di una lesione continua inclinata nel piano della parete del primo livello che però non si è evoluta in crolli.
Sulle unità edilizia adiacenti a quella precedentemente descritta e prospicienti sul retro dell'aggregato, verso gli orti, si è attivato il ribaltamento della porzione sommitale della parete di facciata a causa dell'eccessivo peso della copertura. Parte delle macerie hanno inoltre investito l'unità edilizia su cui esse svettano, danneggiandone la copertura.
L'ultimo meccanismo attivato riguarda infine la sopraelevazione posta al centro della zona sud dell'aggregato, in cui il ribaltamento della parete del secondo piano ha determinato il crollo parziale della copertura. Le macerie conseguenti hanno inoltre investito le strutture sottostanti.
Dalla ricostruzione dello scenario di danno attivato scaturiscono alcune considerazioni.
I meccanismi di ribaltamento fuori piano delle strutture di facciata hanno interessato esclusivamente i piani superiori a quello terreno o seminterrato, spesso con volte murarie a botte e catene metalliche. Ciò testimonia il migliore comportamento sismico delle volte che hanno sempre resistito al terremoto sia nei casi in cui esse sono ortogonali al fronte (non esercitando su di esso alcuna spinta) che soprattutto nei casi in cui sono parallele al fronte.
I presidi antisismici storici adottati si sono mostrati particolarmente efficaci. Significativo, ad esempio, è stato il contributo fornito dall'incatenamento della capriata lignea al muro sottostante tramite il riscontro esterno della sua catena. Tale accorgimento ha evitato il ribaltamento di entrambi i fronti dell'unità edilizia d'angolo a valle dell'aggregato. Anche gli incatenamenti metallici e i radiaciamenti lignei rilevati hanno svolto una importante azione di trattenimento parziale delle strutture verticali, come risulta evidente osservando l'andamento dei margini di crollo i quali riguardano proprio le porzioni murarie su cui non insistono tali presidi.
Gli incatenamenti metallici sono risultati inefficaci solo nel caso del crollo dell'unità edilizia di testata a monte dell'aggregato.
Lo stesso livello di protezione dall'azione sismica non è stato invece fornito dai presidi

antisismici per così dire "moderni"costituiti dai cordoli in cemento armato. Tale "accorgimento", infatti, oltre che a non svolgere alcuna azione di trattenimento delle strutture murarie, ha esercitato un'azione opposta, cioè il danneggiamento sia delle strutture murarie adiacenti che di quelle sottostati a causa del suo scorrimento e martellamento.
Bisogna sottolineare il fatto che le strutture murarie maggiormente danneggiate non presentano una sufficiente qualità costruttiva. Ciò ha determinato ad esempio vari casi di espulsione localizzata di materiale lapideo, in particolare sulle porzioni sommitali o in prossimità delle aperture.
Dall'osservazione dei margini di crollo si evidenzia inoltre che molti ribaltamenti murari sono favoriti dall'assenza di ammorsamento tra strutture murarie adiacenti. Tale carenza costruttiva è testimonianza delle fasi di crescita dell'aggregato e cioè del progressivo accostamento delle varie cellule muraria l'una sull'altra.

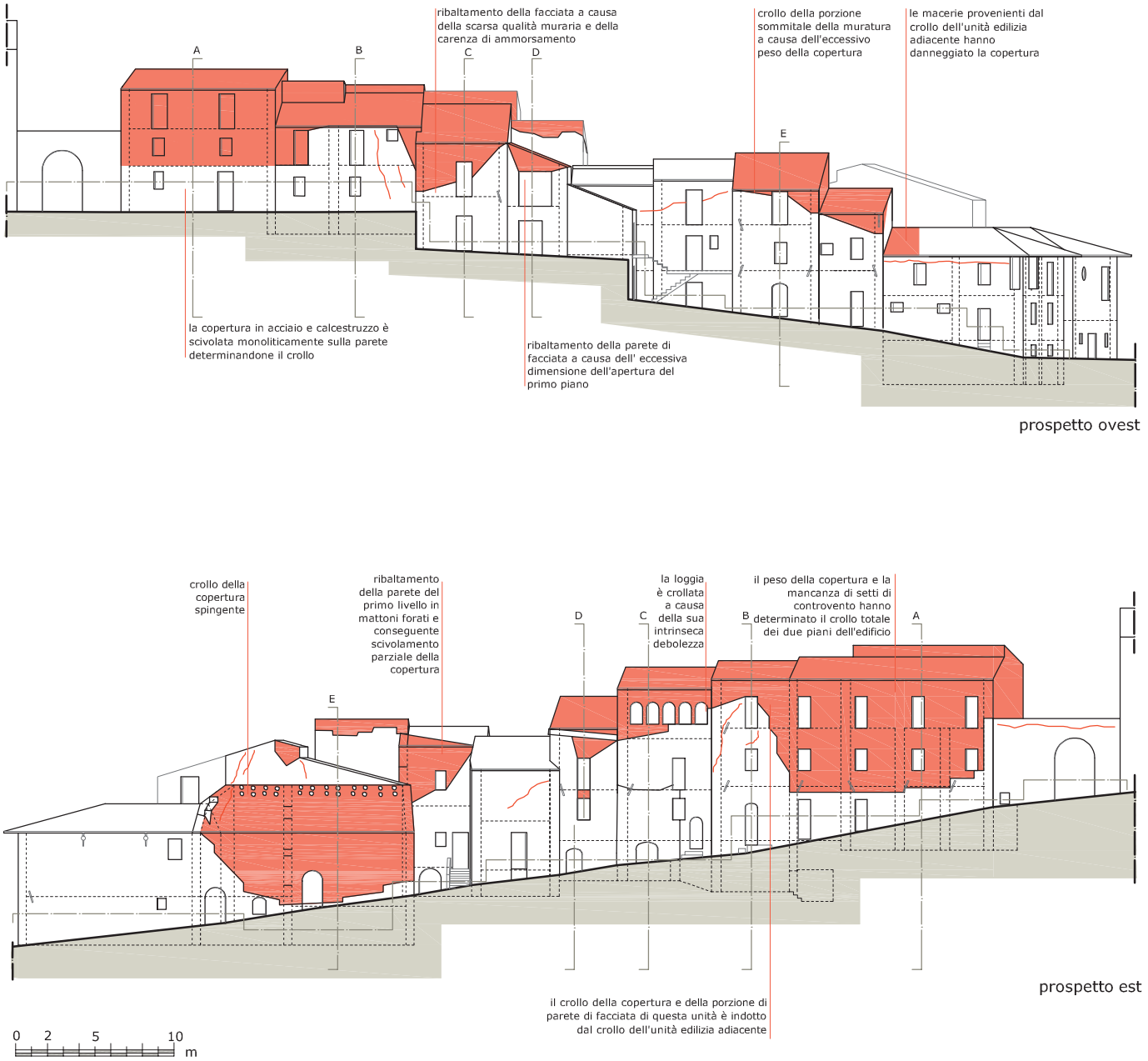


Fig. 58 Scenario di danno sismico innescato sull'aggregato per un'intensità macrosismica del IX grado MCS. Prospetti

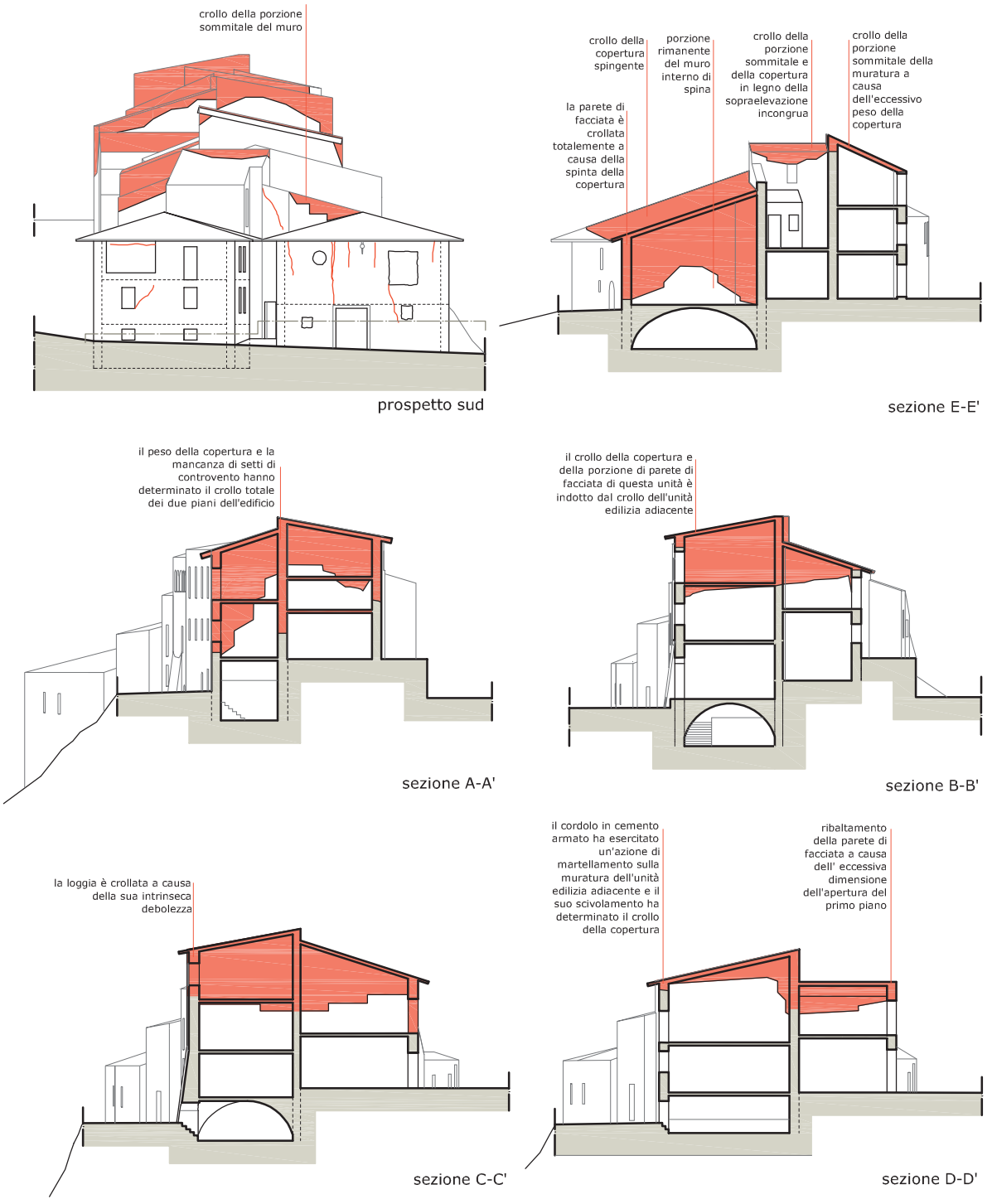


Fig. 59 Scenario di danno sismico innescato sull'aggregato per un'intensità macrosismica del IX grado MCS. Prospetto sud e sezioni trasversali

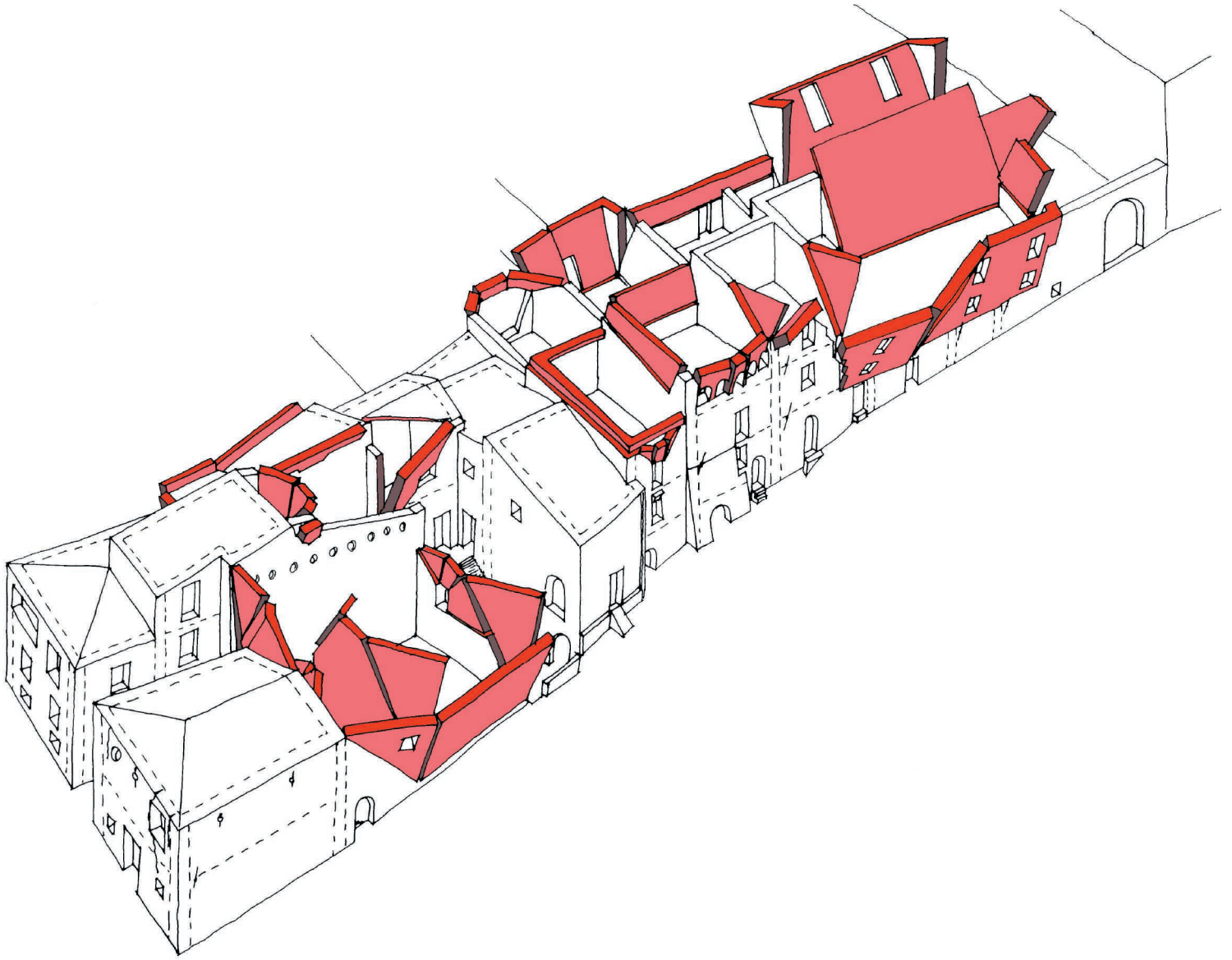


Fig. 60 Scenario di danno sismico innescato sull'aggregato per un'intensità macrosismica del IX grado MCS.
Vista assonometrica da via Romana

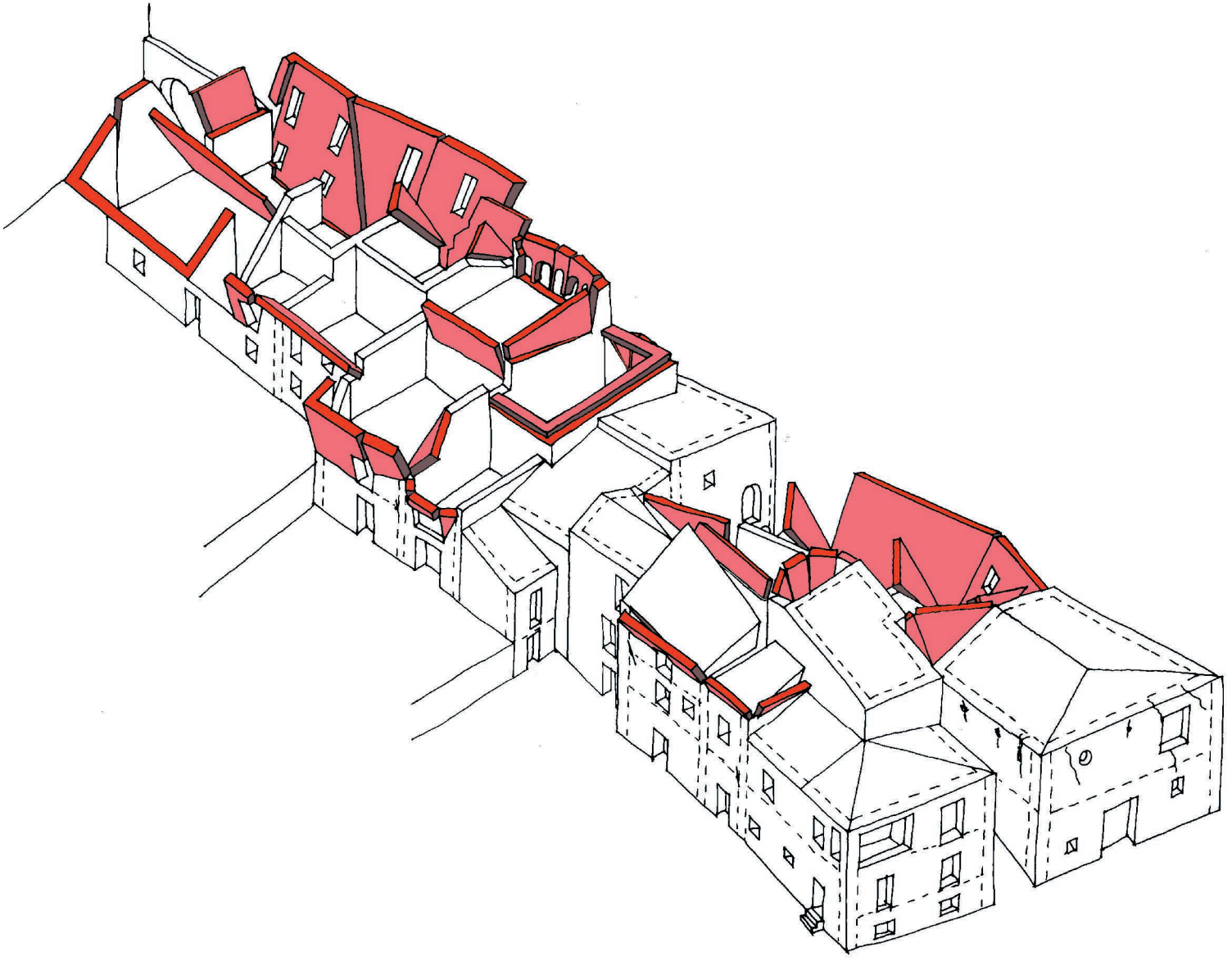


Fig. 61 Scenario di danno sismico innescato sull'aggregato per un'intensità macrosismica del IX grado MCS.
Vista assonometrica dalla Strada comunale degli orti

6. Il progetto

6.1. Criteri di messa in sicurezza, conservazione e riduzione della vulnerabilità sismica del centro storico e dell'aggregato

La fase progettuale delle ricerca mira a dimostrare che in condizioni di danneggiamento così esteso la demolizione totale o la delocalizzazione non sono le uniche soluzioni possibili, seppure sicuramente siano le più semplici ed immediate che possano venire in mente. Si ritiene che sia possibile trovare un compromesso per conservare ciò che ha resistito al terremoto, garantire la sicurezza e permettere la ricostruzione con criteri di miglioramento sismico.
Le indicazioni progettuali elaborate sul caso studio di Villa Sant'Angelo alla scala del centro storico, dell'aggregato e dell'unità edilizia sono finalizzate a dedurre dei criteri più generali applicabili al miglioramento sismico dei contesti urbani storici non danneggiati dal sisma.

6.1.1 Il progetto di rimozione delle macerie, messa in sicurezza e conservazione del centro storico

Il progetto di rimozione delle macerie, messa in sicurezza e conservazione del centro storico di Villa Sant'Angelo individua tutti gli interventi necessari a permettere gli approfondimenti alla scala dell'aggregato operando in condizioni di sicurezza.

Tale progetto si articola a diversi livelli. Il centro storico è stato suddiviso in otto zone in funzione della accessibilità dei mezzi meccanici e della possibilità di operare contemporaneamente su più settori della città senza interferenze reciproche. Su tutto il centro vengono individuate le categorie di intervento per la rimozione delle macerie e la messa in sicurezza, successivamente approfondite per ogni singola zona.
All'interno di ogni zona si individuano dei percorsi, cioè delle porzioni dell'area su cui intervenire separatamente. La scelta di individuare i percorsi all'interno della stessa zona è dovuta alla necessità di "attaccare" le aree danneggiate da più fronti consentendo di liberare progressivamente gli edifici dalle macerie. Lungo ogni singolo percorso le operazioni si eseguono per cantieri, avanzando progressivamente stazione dopo stazione. Ogni stazione contiene una descrizione dettagliata delle operazioni da condurre, riferite alle categorie di intervento generali. Tali categorie di intervento sono:

a) Interventi di rimozione delle macerie (su strada o all'interno degli edifici)
È l'operazione più diffusa e si può effettuare prima degli altri interventi se non esistono pericoli indotti dagli elementi contigui (porzioni di pareti prospicienti all'area in cui sono localizzate le macerie), nel qual caso occorre procedere preventivamente alla rimozione delle suddette condizioni di pericolo.

Contestualmente alla fase di rimozione deve essere avviata la selezione e lo stoccaggio del materiale. Tale fase consiste in particolare nel selezionare tutto il materiale lapideo che potrebbe essere oggetto di riciclo senza limitarsi però agli elementi in pietra concia di particolare valore architettonico (mostre di porte e finestre, conci di archi, capitelli ecc…) ma avendo cura di individuare anche gli elementi lapidei di dimensioni particolarmente significative seppur privi di elementi decorativi.

b) Interventi di demolizione controllata su elementi verticali
- demolizione controllata di porzioni murarie con sagomatura orizzontale
- demolizione controllata di porzioni murarie con sagomatura a scarpa
- demolizione controllata di porzioni murarie sommitali e/o svettanti (compreso lo smontaggio di stipiti e mensole lapidee).

Le demolizioni totali devono essere limitate alle sole situazioni irrimediabilmente compromesse, quali ad esempio:
- porzioni residue di dimensioni ridotte, anche di buona consistenza costruttiva, la cui eventuale conservazione renderebbe comunque problematiche le operazioni di ricostruzione;
- porzioni caratterizzate da gravi carenze costruttive o di impianto (cattiva qualità muraria, fuori piombo pronunciati, etc.) la cui eventuale conservazione richiederebbe comunque operazioni difficilmente sostenibili di smontaggio e rimontaggio.

c) Interventi di rimozione in copertura
- rimozione della struttura di copertura
- rimozione di elementi instabili della copertura
- rimozione di tegole e cornicioni

Si tratta degli interventi finalizzati a eliminare il pericolo di caduta sui percorsi di elementi lignei, murari o metallici delle strutture di copertura.

La demolizione controllata di porzioni di parete di elevazione o di porzioni di orizzontamento e/o copertura può comportare la sottrazione di vincoli alle porzioni superstiti. Questi sono di due tipi:
- vincolo parete-parete

  Le pareti fungono da contrafforte per le pareti ortogonali; per questo motivo è sempre preferibile sagomare a scarpa un muro piuttosto che demolirlo integralmente.
- vincolo parete-orizzontamento

Le volte (purché la spinta sia contenuta), i solai e le coperture (purché non spingenti) fungono da incatenamento delle pareti su cui si impostano. Bisogna quindi prestare attenzione alla demolizione delle pareti che caricano le imposte delle volte, poichè la

loro demolizione ne accresce l'effetto ribaltante della spinta. Occorre inoltre evitare il più possibile la rimozione dei solai a meno di crolli che ne interessino le orditure principali.

d) Interventi di messa in sicurezza e conservazione
- incatenamenti e cerchiature
- puntellature a contrasto su edifici fronteggianti
- puntellature con elementi inclinati
- protezione delle cimase murarie con bauletto di malta
- sbatacchiature di porte e finestre
- protezione degli ambienti parzialmente o totalmente scoperti con coperture provvisionali.

La conservazione a cui mira il progetto di rimozione delle macerie e di messa in sicurezza dei percorsi pubblici è quella che si ottiene mediante la minor alterazione degli spazi aperti (pubblici e privati) e delle fabbriche. Seppur limitata dalle ragioni della sicurezza, si tratta però allo stesso tempo di una finalità conservativa estremamente importante, in quanto attraverso essa sarà consentito di rintracciare e conservare (e a volte ricostruite su base documentaria o ipotetica) le tracce dello stato ante sisma.
La finalità è quella di non perdere ove possibile la riconoscibilità dei luoghi nello stato ante sisma, che si ottiene mediante la documentazione rigorosa dello stato attuale e mediante sistematica attenzione a non cancellare i segni che possono aiutare alla ricostruzione mentale della facies consolidata precedente al danneggiamento.

A titolo esemplificativo si è scelto di illustrare graficamente le operazioni di messa in sicurezza e rimozione delle macerie per la zona C, suddivisa in due percorsi e quattro cantieri.

corti/spazi aperti

terrazzi/vuoti/coperture piane

sottopassi

aree verdi/orti

scale

Punti d'accesso per mezzi pesanti

Zone di intervento

Zona A	punto di attacco	Zona E	punto di attacco
Zona B	punto di attacco	Zona F	punto di attacco
Zona C	punto di attacco	Zona G	punto di attacco
Zona D	punto di attacco	Zona H	punto di attacco

Interventi

Rimozione delle macerie

rimozione delle macerie
(su strada o all'interno degli edifici)

Rimozione in copertura

rimozione della struttura di copertura

rimozione di elementi instabili della copertura

rimozione tegole e cornicioni

Messa in sicurezza e conservazione

incatenamenti e cerchiature

puntellatura a contrasto su edifici contrapposti

puntellatura con elementi inclinati

bauletto di malta

Demolizione controllata su elementi verticali

demolizione controllata di porzioni murarie con sagomatura orizzontale

demolizione di porzioni murarie con sagomatura a scarpa

demolizione controllata di porzioni murarie sommitali e/o svettanti
(compreso smontaggio di stipiti e mensole lapidee)

Localizzazione e altezza delle macerie

macerie

B da 0 a 2 m

M da 2 a 4 m

A maggiore di 4 m

Fig. 62 Legenda delle categorie di intervento per la rimozione delle macerie, la conservazione e la messa in sicurezza del centro storico di Villa Sant'Angelo

Fig. 63 Progetto di rimozione delle macerie, conservazione e messa in sicurezza del centro storico di Villa Sant'Angelo

PERCORSO 1

RIFERIMENTO IN LEGENDA | DESCRIZIONE DELLE OPERAZIONI | ILLUSTRAZIONE

CANTIERE

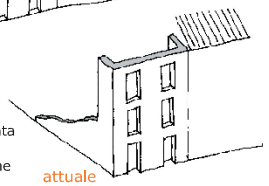
a

STAZIONE (operazioni:2) 1

Sagomatura a scarpa della parete

dopo gli interventi

Demolizione controllata dei resti pericolanti della parete. Selezione e stoccaggio degli elementi lapidei



attuale

STAZIONE (operazioni:1) 2

rimozione delle macerie dal sottopasso per tutta la sua estenzione

foto scattata dall'accesso su via del Medico

STAZIONE (operazioni:1) 3

rimozione delle macerie. Le pareti sottostanti, ora non visibili, saranno -se necessario- sagomate a scarpa verso le pareti più alte limitrofe al crollo. Le volte lapidee di interpiano al piano terra, se integre , saranno conservate.

foto scattata da via Andreassi

STOP

Percorsi

punto di attacco/direzione

limite del cantiere

1 STAZIONE DI RIFERIMENTO degli interventi presenti in un'area del percorso

PERCORSO 2

RIFERIMENTO IN LEGENDA | DESCRIZIONE DELLE OPERAZIONI | ILLUSTRAZIONE

CANTIERE

b

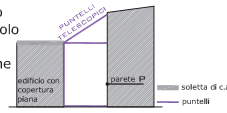
STAZIONE (operazioni:2) 1

Rimozione di elementi instabili a quota copertura che rendono rischioso il passaggio di uomini o mezzi meccanici.

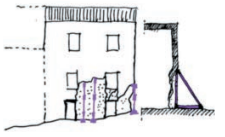
Rimozione delle macerie che ostruiscono il percorso. La strada è abbastanza sgombra e le macerie consistono in modeste quantita di cocci e pietrame, come si nota nella foto accanto

STAZIONE (operazioni:3) 2

Puntellatura a contrasto della parete P sul cordolo della copertura piana antistante. L'illustrazione mostra un esempio dell'intervento



Puntellatura verticale della porzione di paramento crollato



rimozione delle macerie

c

STAZIONE (operazioni:2) 1

Demolizione della loggia addossata al fabbricato

rimozione delle macerie restanti

d

STAZIONE (operazioni:2) 1

Puntellatura dell'arcone del sottopasso. Una possibile soluzione può essere costituita da morali da 10 cm o, in alternativa, da tavole e montanti telescopici.

rimozione delle macerie dal sottopasso

STAZIONE (operazioni:1) 2

rimozione delle macerie dalla corte interna.

STOP

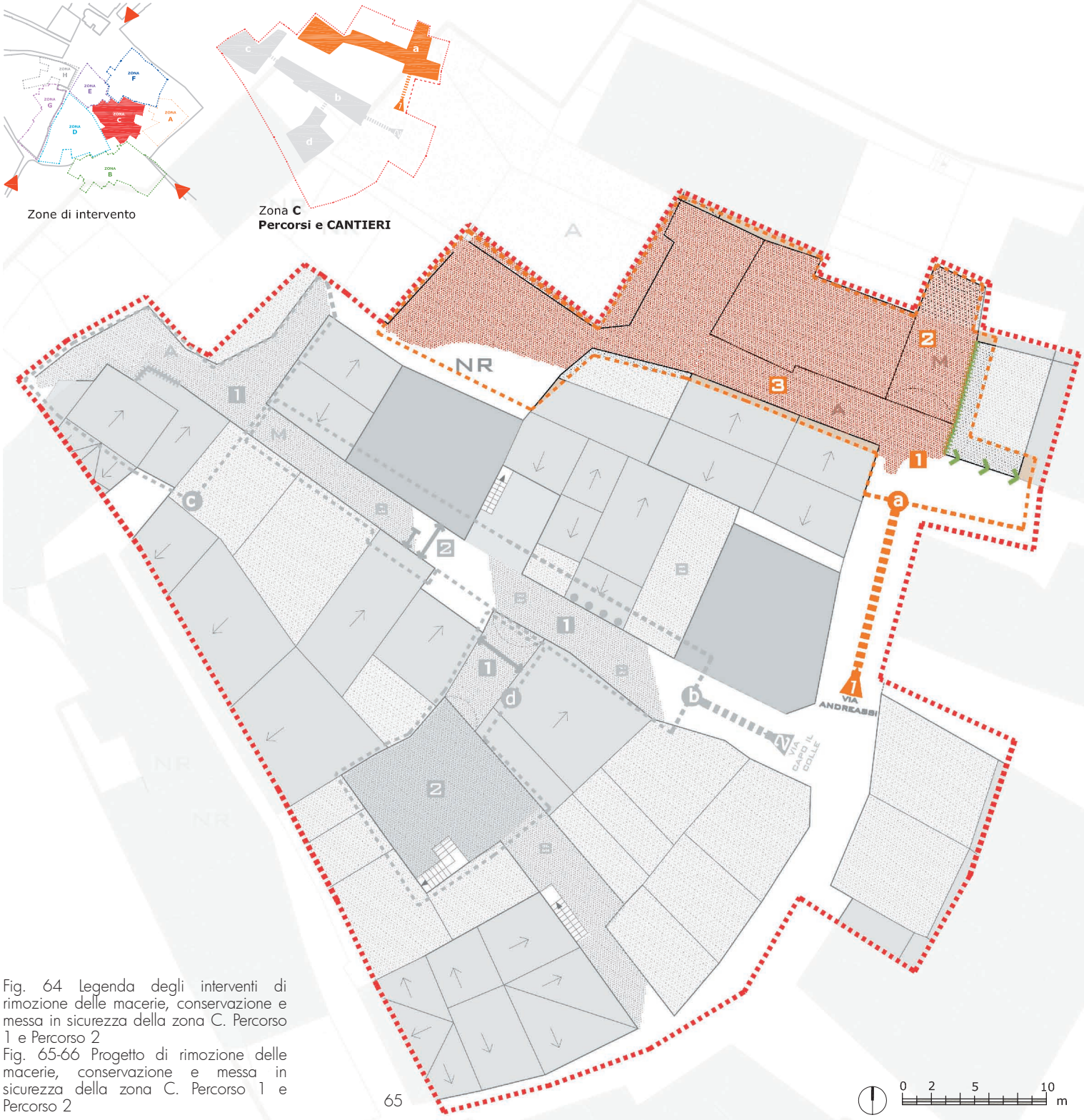
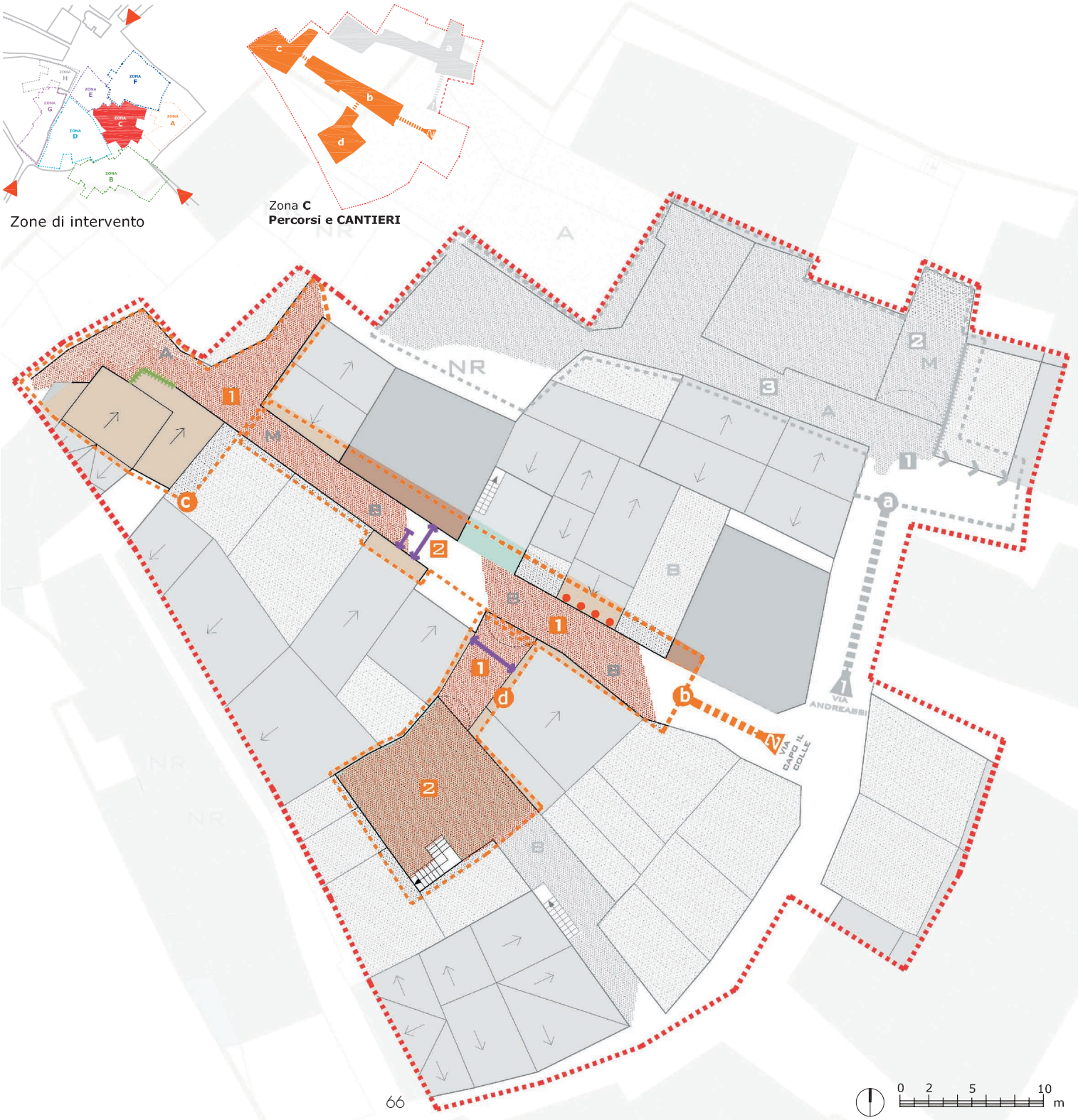


Fig. 64 Legenda degli interventi di rimozione delle macerie, conservazione e messa in sicurezza della zona C. Percorso 1 e Percorso 2

Fig. 65-66 Progetto di rimozione delle macerie, conservazione e messa in sicurezza della zona C. Percorso 1 e Percorso 2


Zone di intervento
Zona C
Percorsi e CANTIERI
NR
A
M
B
1
2
3
a
b
c
d
VIA ANDREASSI
VIA CAPO IL COLLE
0 2 5 10 m

6.1.2. Il progetto di rimozione delle macerie, messa in sicurezza e conservazione dell'aggregato

La finalità di questo passo dello studio è duplice: da un lato deve definire dei criteri per la messa in sicurezza, la conservazione e la ricostruzione degli aggregati danneggiati dal terremoto; dall'altro deve permettere di ricavare dei criteri per il miglioramento sismico applicabili agli interventi ordinari da eseguire preventivamente sugli aggregati per intero o su porzioni di essi (preventivamente individuate secondo i criteri illustrati nel capitolo 5.1parte III).

Così come per il progetto alla scala urbana, alla scala dell'aggregato sono state definite delle categorie di intervento finalizzate alla rimozione delle macerie e alla conservazione dell'esistente garantendo di operare in condizioni di sicurezza.

Tali categorie di intervento sono:

a. Interventi di rimozione delle macerie
   - a.1. rimozione delle macerie (su strada o all'interno degli edifici)

b. Interventi di demolizione controllata su elementi verticali
   - b.1. demolizione controllata di porzioni murarie con sagomatura orizzontale
   - b.2. demolizione controllata di porzioni murarie con sagomatura a scarpa
   - b.3. demolizione controllata di porzioni murarie sommitali e/o svettanti
   - b.4. smontaggio del paramento murario esterno
   - b.5. smontaggio di stipiti e mensole lapidee instabili

c. Interventi di rimozione in copertura
   - c.1. rimozione della struttura di copertura
   - c.2. rimozione di elementi instabili della copertura
   - c.3. rimozione di cordoli in c.a.
   - c.4. rimozione di tegole e cornicioni

d. Interventi di messa in sicurezza e conservazione
   - d.1. incatenamenti e cerchiature
   - d.2. puntellatura con elementi inclinati
   - d.3. protezione delle cimase murarie con bauletto di malta
   - d.4. sbatacchiature di porte e finestre
   - d.5. protezione degli ambienti parzialmente o totalmente scoperti con coperture provvisionali in legno o teloni

L'aggregato è stato suddiviso in due aree (sud-nord) sia per ragioni di esposizione ed illustrazione puntuale dei singoli interventi (tra l'altro numerati progressivamente secondo l'ordine di esecuzione) sia per permette di operare sull'aggregato contemporaneamente da entrambe le aree, ottenendo così una velocizzazione dell'esecuzione.

Il numero progressivo dell'intervento ne identifica la successione cronologia, il codice alfanumerico si riferisce invece alla categoria di appartenenza secondo l'elenco precedentemente esposto.

Area sud (dal fienile allo slargo)

1. Rimozione delle macerie interne alla cellula [a.1].

Le macerie possono essere rimosse senza compromettere la stabilità delle pareti che le delimitano e senza che dette pareti arrechino pericolo alle operazioni di rimozione.

2. Demolizione controllata con sagomatura a scarpa della porzione muraria isolata dalla lesione [b.2]; protezione della cimasa muraria con bauletto di malta [d.3].

Operazione che si può effettuare dall'alto con un braccio meccanico.

3. Demolizione controllata delle porzioni murarie sommitali precarie [b.3]; protezione delle cimase murarie con bauletto di malta [d.3].

L'intervento di protezione delle creste si può effettuare sia sulla parete indicata sia sulle altre pareti della cellula.

4. Demolizione controllata con sagomatura orizzontale della porzione muraria triangolare svettante [b.1]; incatenamento con il muro di spina [d.1]; protezione della cimasa muraria con bauletto di malta [d.3].

5. Incatenamento della facciata ai muri di spina [d.1]; sbatacchiatura delle aperture [d.4].

L'incatenamento va realizzato alla quota del primo livello e deve essere associato all'irrigidimento del piano della facciata che mostra, localmente, apprezzabili fuori piombo.

6. Rimozione degli elementi instabili della copertura [c.2]; demolizione controllata delle porzioni murarie sommitali instabili [b.3]; protezione delle cimase murarie con bauletto di malta [d.3]; protezione dell'ambiente parzialmente scoperto con copertura provvisionale in legno o teloni [d.5]

L'intervento che riguarda elementi del manto, del tavolato e dell'orditura secondaria. Va accompagnato: dallo smontaggio degli elementi lapidei smossi a seguito della caduta del timpano di imposta della copertura; dalla protezione delle superfici del crollo con bauletto di malta; dalla copertura provvisoria (anche con un semplice telo di plastica) della porzione di copertura rimossa.

7. Demolizione controllata della porzione muraria svettante [b.3]; protezione della cimasa muraria con bauletto di malta [d.3].

8. Rimozione delle strutture di copertura (parzialmente crollate) [c.1]; protezione dell'ambiente parzialmente scoperto con copertura provvisionale in legno o teloni [d.5].

9. Rimozione delle strutture di copertura (parzialmente crollate) [c.1]; protezione dell'ambiente parzialmente scoperto con copertura provvisionale in legno o teloni [d.5].

10. Rimozione delle strutture di copertura (parzialmente crollate) [c.1]; protezione dell'ambiente parzialmente scoperto con copertura provvisionale in legno o teloni [d.5].

11. Rimozione delle macerie derivanti dal crollo dell'unità adiacente [a.1].

12. Demolizione controllata con sagomatura orizzontale del muro in laterizio[b.1]; demolizione controllata con sagomatura a scarpa del muro ortogonale fino all'apertura [b.2]; protezione delle cimase murarie con bauletto di malta [d.3].

13. Demolizione controllata con sagomatura orizzontale della porzione muraria in mattoni forati dell'ultimo livello fino a quota della falda adiacente a sinistra [b.1]; protezione della cimasa muraria con bauletto di malta [d.3].
14. Demolizione controllata della porzione muraria sommitale instabile [b.3]; protezione della cimasa muraria con bauletto di malta [d.3].
Se il muro ortogonale è sagomato a scarpa, quello di facciata deve essere tutto abbassato, non la sola porzione sommitale, perché la scarpa del muro ortogonale è governata da una lesone che arriva quasi alla quota del balcone.
15. Demolizione controllata con sagomatura a scarpa del muro ortogonale al fronte [b.2]; protezione della cimasa muraria con bauletto di malta [d.3].

Area nord (dallo slargo alla cellula di testata crollata)
1. Puntellatura con elementi inclinati del fabbricato appartenente all'isolato adiacente [d.2].
2. Demolizione controllata con sagomatura orizzontale della porzione muraria fino alla quota di calpestio dell'ultimo livello [b.1]; sagomatura a scarpa della porzione di destra [b.2]; rimozione degli elementi instabili della copertura [c.2]; protezione della cimasa muraria con bauletto di malta [d.3].
3. Rimozione del cordolo in cemento armato [c.3]; demolizione controllata della porzione muraria svettante [b.3]; protezione della cimasa muraria con bauletto di malta [d.3].
4. Demolizione controllata con sagomatura orizzontale della porzione muraria dell'ultimo livello [b.1]; protezione della cimasa muraria con bauletto di malta [d.3]; smontaggio del paramento esterno della muratura attorno alla finestra del primo livello [b.4].
5. Demolizione controllata con sagomatura orizzontale della porzione muraria fino alla quota di calpestio dell'ultimo livello [b.1]; sagomatura a scarpa della porzione muraria a sinistra [b.2]; protezione delle cimase murarie con bauletto di malta [d.3].
6. Smontaggio delle mensole del balcone [b.5].
7. Rimozione delle macerie e della copertura crollata [a.1].
8. Demolizione controllata con sagomatura orizzontale delle porzioni murarie superstiti per metà altezza e fino alla lesione sotto la finestra [b.1]; protezione delle cimase murarie con bauletto di malta [d.3].
9. Rimozione delle macerie e della copertura [a.1].
10. Rimozione delle macerie e della copertura [a.1].
11. Demolizione controllata con sagomatura orizzontale delle porzioni murarie superstiti [b.1]; protezione delle cimase murarie con bauletto di malta [d.3].
12. Demolizione controllata con sagomatura a scarpa del muro di spina[b.2]; protezione delle cimase murarie con bauletto di malta [d.3].

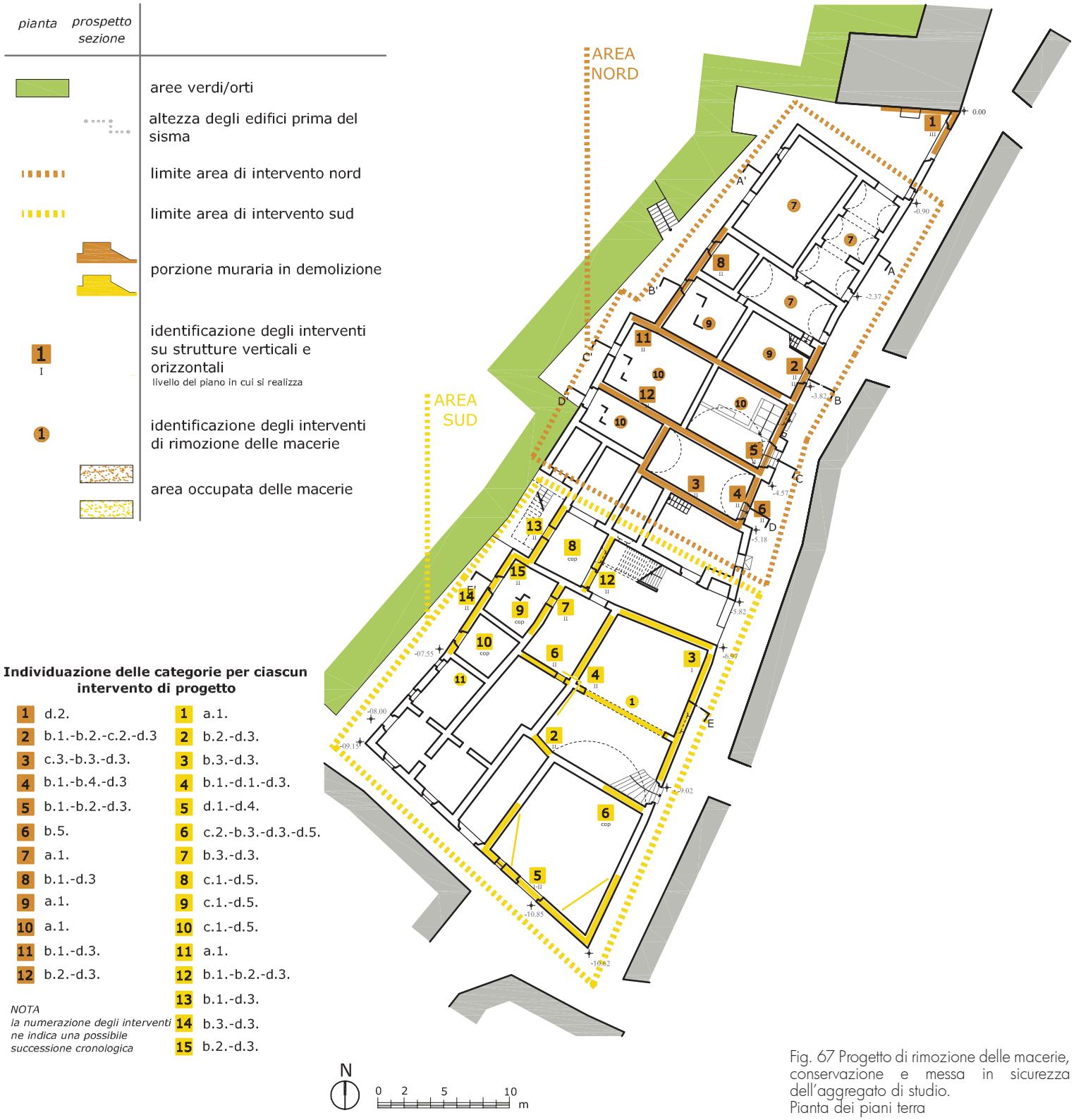


Fig. 67 Progetto di rimozione delle macerie, conservazione e messa in sicurezza dell'aggregato di studio.
Pianta dei piani terra

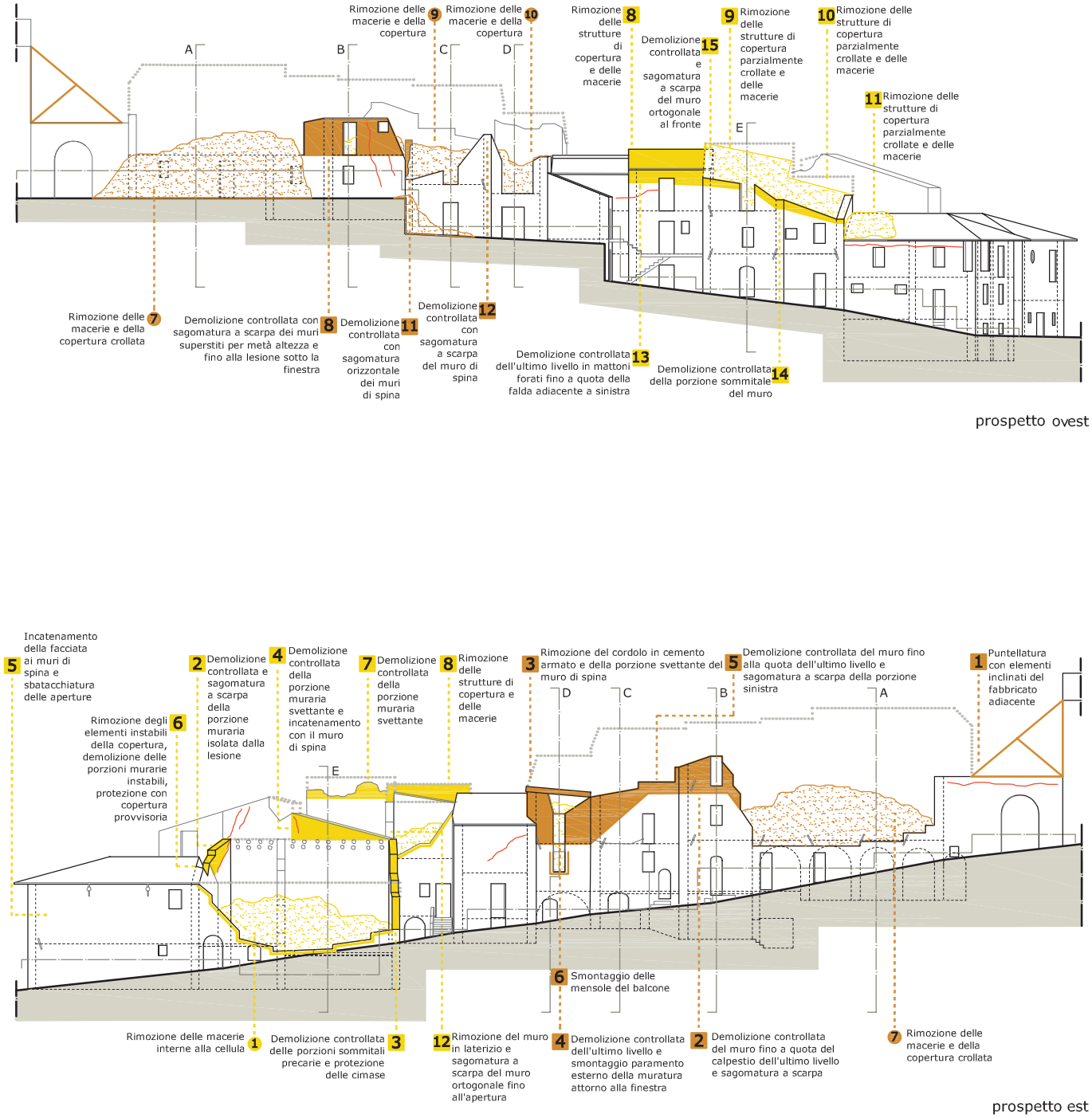
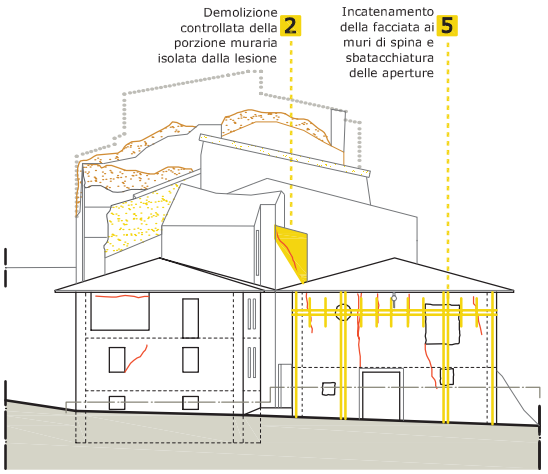
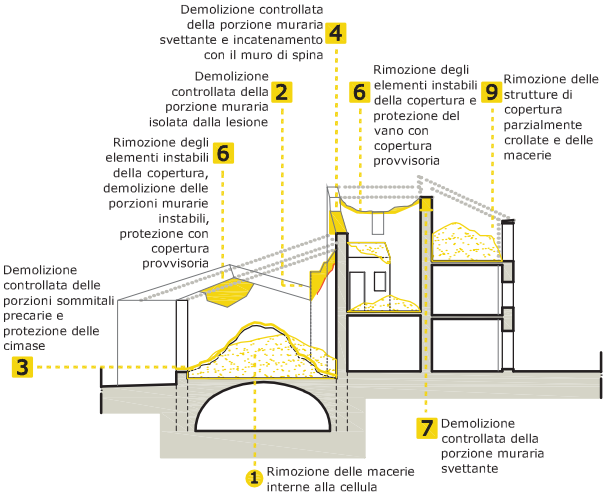


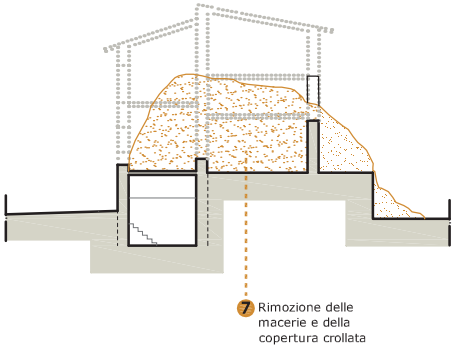
Fig. 68 Progetto di rimozione delle macerie, conservazione e messa in sicurezza dell'aggregato di studio. Prospetti



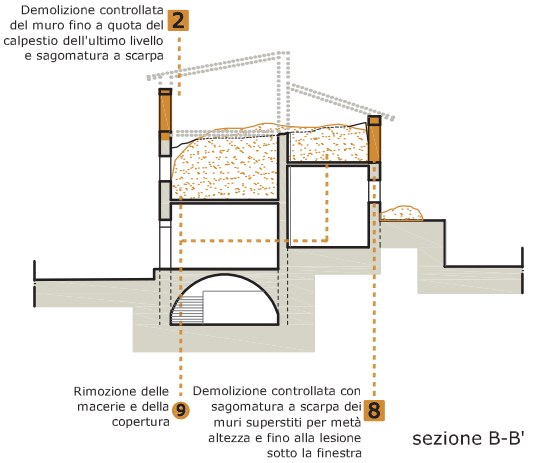
prospetto sud



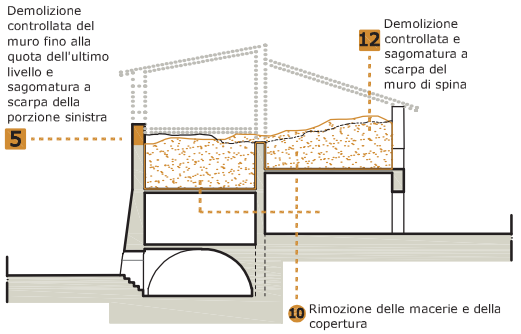
sezione E-E'



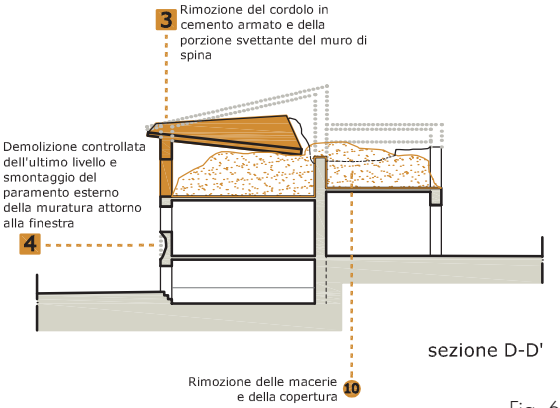
sezione A-A'



sezione B-B'

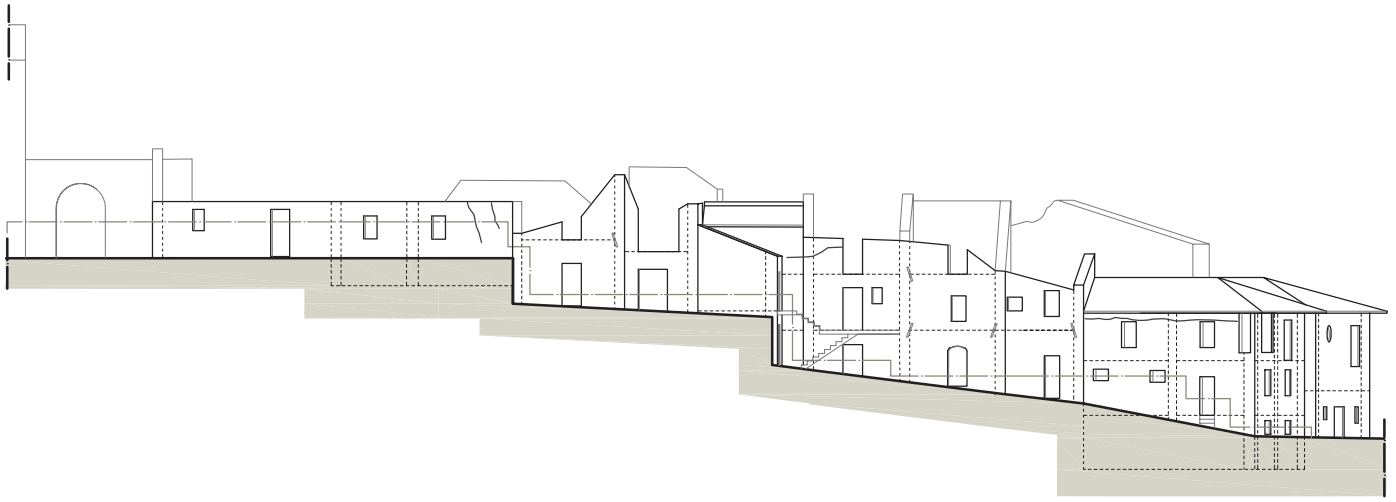


sezione C-C'



sezione D-D'

Fig. 69 Progetto di rimozione delle macerie, conservazione e messa in sicurezza dell'aggregato di studio. Prospetto sud e sezioni trasversali



prospetto ovest

prospetto est

0 2 5 10 m

Fig. 70 Prospetti dell'aggregato. Stato di progetto

6.1.3. Il progetto di conservazione e messa in sicurezza di un'unità edilizia

Scendendo ancora di scala, la ricerca approfondisce le modalità di messa in sicurezza di una unità edilizia "tipo" dell'aggregato, posta all'incrocio tra via Romana e la Strada comunale degli orti.

La forma planimetrica del fabbricato è quadrangolare con lati di lunghezza pari a circa 11.00 m. L'altezza è circa 8.30 m, nel punto più basso (in corrispondenza della Strada comunale degli orti), e si riduce a circa 7.00 m nel punto più alto su via Romana.

La copertura è a due falde con terminazione a padiglione sulla facciata principale. La struttura della copertura è costituita da una coppia di capriate lignee poggianti sulle pareti ortogonali alla facciata, e a queste ancorate mediante paletti lignei, con sovrapposti arcarecci e tavolato; sulla capriata più vicina alla facciata principale impostano i puntoni angolari del padiglione e un puntone di falda ancorato alla facciata stessa con lo stesso sistema a paletto usato per le capriate.

I danni subiti dal fabbricato in occasione del terremoto del 6 aprile 2009 sono essenzialmente concentrati sulla facciata principale e sulla parete parallela di fondo.

Quest'ultima ha subito il crollo parziale della porzione sommitale (con profilo parabolico) e il conseguente danneggiamento della parte di copertura su di essa impostata.

Sulla parete di facciata sono presenti numerose lesioni verticali, localizzate essenzialmente nella parte sommitale, e le porzioni murarie tra lesioni contigue esibiscono, localmente, fuori piombo più o meno pronunciati.

Alcune lesioni, più che denunciare la rottura della parete muraria, sembrano evidenziare le discontinuità costruttive associate ai numerosi rimaneggiamenti di cui la facciata reca traccia; anche uno dei fuori piombo sopra ricordati (quello della porzione muraria nella quale è ricavata l'apertura circolare) sembra legato allo spessore ridotto della muratura, probabile tamponatura di un precedente apertura.

Altre lesioni, quelle angolari, sembrano associate alla presenza dei puntoni angolari del padiglione terminale così come emerge sia dalla presenza di analoghe lesioni verticali sulle pareti ortogonali alla facciata, in prossimità delle angolate, sia dal fuori piombo delle angolate stesse.

I danneggiamenti esibiti dalle due pareti parallele, di facciata e sul retro, sono coerenti con una azione sismica diretta ortogonalmente alle pareti stesse.

Il crollo della porzione sommitale della parete di fondo non sembra recare pregiudizio alla stabilità del fabbricato, se non per la accelerazione dei fenomeni di degrado che il crollo locale della copertura può indurre nelle murature lasciate esposte.

Le lesioni e i fuori piombo della facciata principale sono da considerare invece con maggiore attenzione. Innanzitutto, perché il progredire della attuale condizione di dissesto potrebbe determinare il collasso di porzioni consistenti della facciata e della sovrapposta copertura, comportando una perdita consistente per il fabbricato stesso; in secondo luogo, perché la facciata prospetta sulla Strada comunale degli orti ren-

dendone non sicura la percorribilità e, a questo proposito, occorre tenere presente che la suddetta strada è tra i percorsi carrabili che potrebbero essere utilizzati per procedere alla rimozione delle macerie dal centro storico.
Sulla parete di fondo si ritiene di dover rimuovere gli elementi lapidei smossi dalla superficie di crollo, proteggere la superficie residua con un bauletto di malta, rimuovere gli elementi della copertura (tegole, tavole, arcarecci) in condizioni di equilibrio precarie ed, eventualmente, ricoprire con un telo di plastica la porzione di fabbricato scoperta.
L'insieme di queste operazioni, oltre che rallentare il progredire del degrado della muratura esposta, dovrebbe anche consentire di lavorare con sicurezza all'interno del fabbricato per realizzare la messa in sicurezza della facciata.
Contestualmente alle operazioni precedenti si prevede inoltre la rimozione di una porzione di muratura pericolante sita in adiacenza con il fabbricato contiguo ed allineata con la parete di fondo. La rimozione può essere effettuata fino alla lesione che attualmente isola la porzione sommitale pericolante.
Dopo avere rimosso gli elementi della copertura in condizioni di equilibrio precario, è necessario intervenire per impedire che il danno prima descritto possa evolvere secondo due meccanismi: il ribaltamento della facciata o delle porzioni di facciata che risultano isolate dalle lesioni verticali o che mostrano fuori piombo locali; l'espulsione delle angolate che risultano (soprattutto quella di sinistra) isolate da lesioni su entrambe le murature ortogonali e mostrano anch'esse limitati fuori piombo.
I due meccanismi si possono controllare contemporaneamente con un unico intervento che consiste nell'inserimento di funi metalliche che ancorino la facciata alle due pareti ortogonali, a una distanza sufficiente a garantire la stabilità del complesso delle tre pareti nei confronti di azioni dirette perpendicolarmente al piano della facciata, prevenendo al contempo la divaricazione delle angolate, e che siano collegate a un sistema di elementi lignei disposti sui due paramenti della facciata, e reciprocamente connessi, con lo scopo di impedirne la scompaginazione per ribaltamenti o espulsioni di materiale localizzati.
L'azione delle funi deve essere trasferita alle pareti ortogonali alla facciata a una distanza di almeno 7.00 m. In questo modo, infatti, ipotizzando la rottura diagonale delle pareti, con lesioni inclinate di circa 45°, le porzioni murarie individuate dalle suddette lesioni sono in grado di equilibrare la forza sismica ad esse applicata e quella che viene loro trasmessa dalle funi di acciaio.

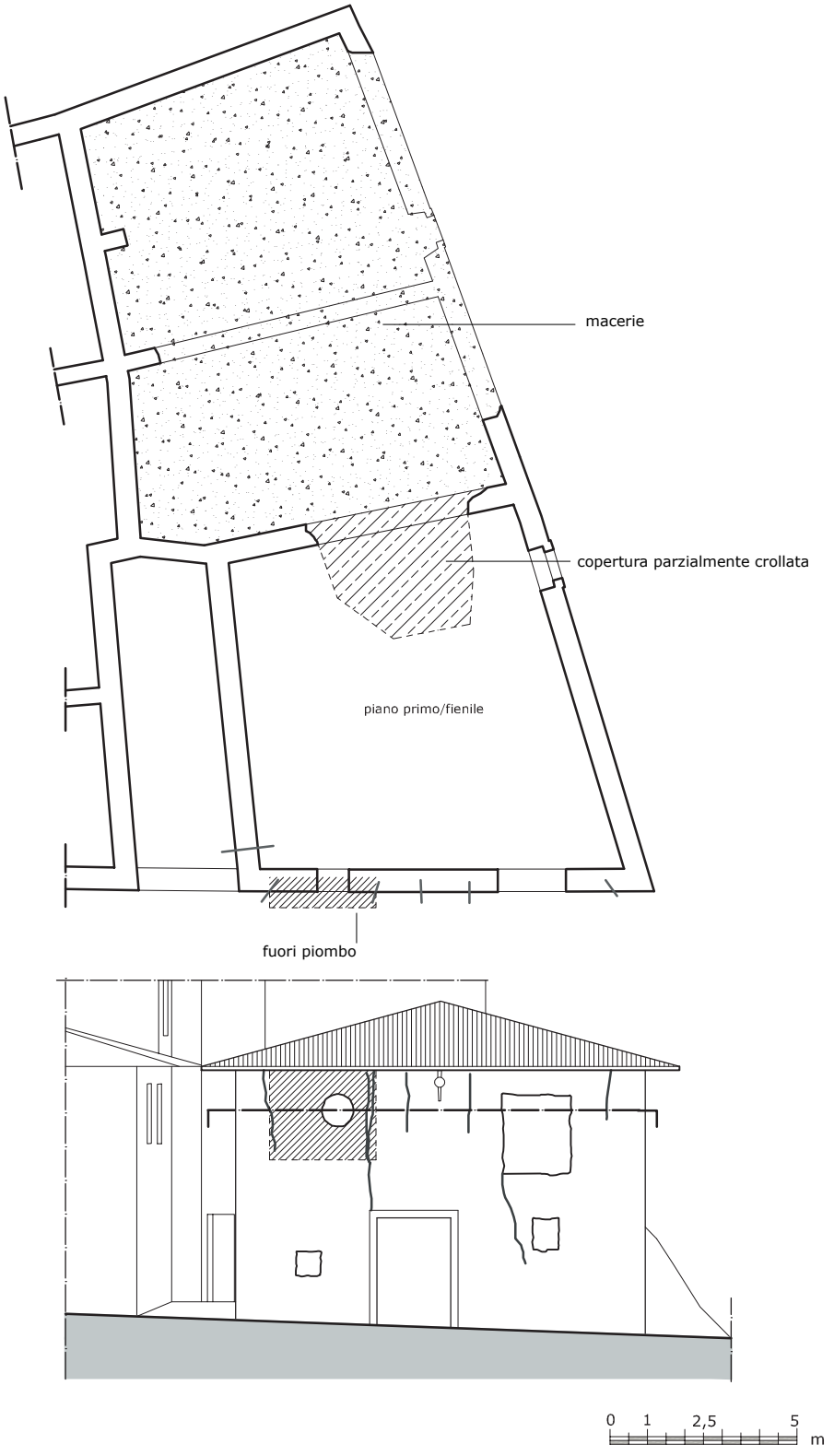
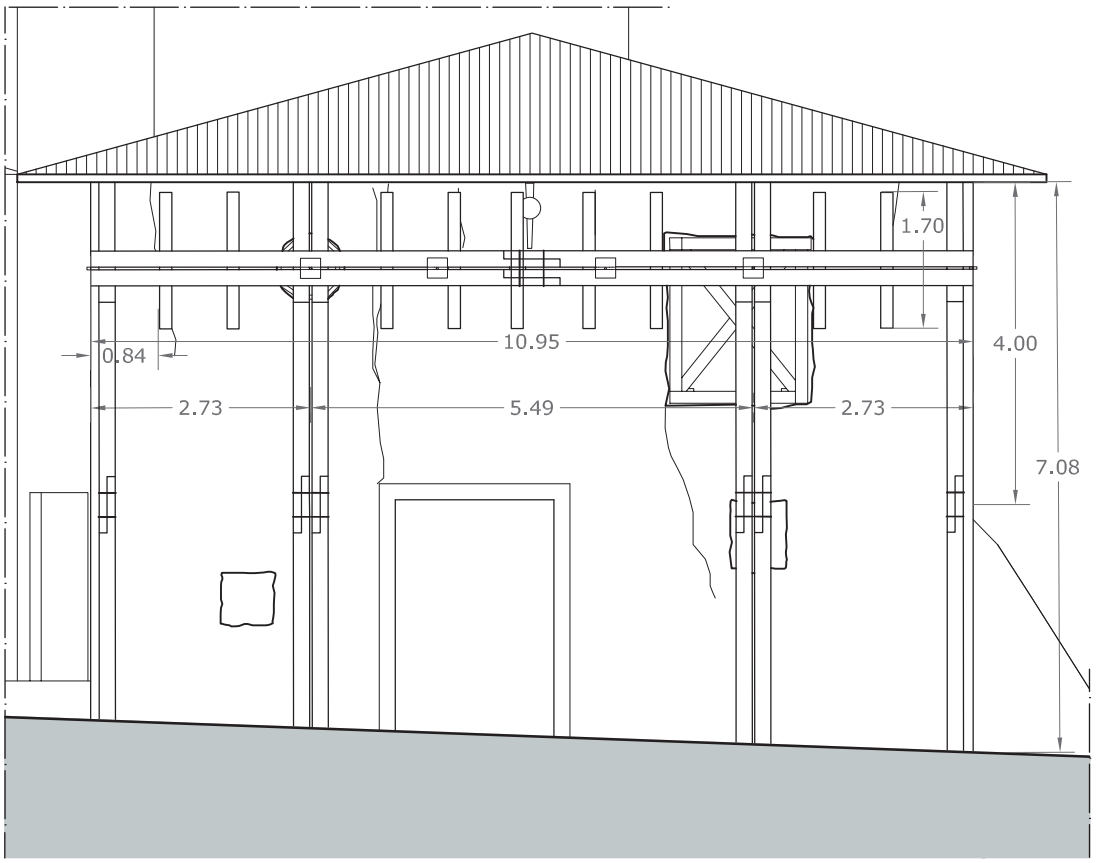


Fig. 71 Intervento di conservazione e messa in sicurezza di un'unità edilizia. Pianta e prospetto dello stato di fatto



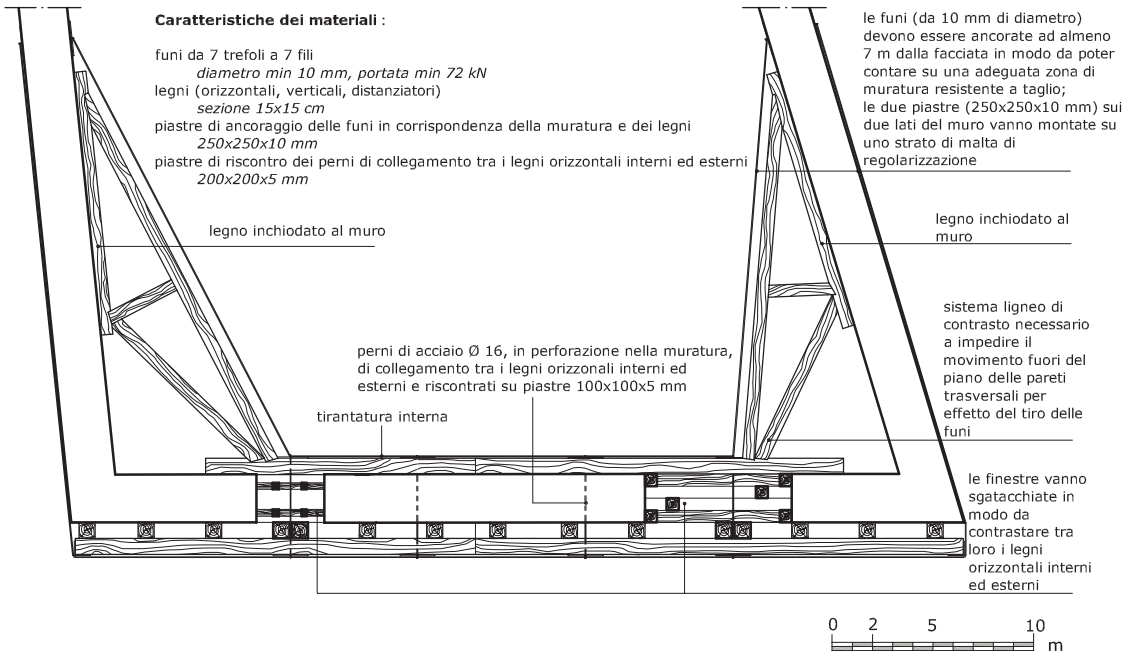


Fig. 72 Progetto di conservazione e messa in sicurezza di un'unità edilizia. Pianta e prospetto

6.2. La ricostruzione: quale futuro per Villa Sant'Angelo?

Il passo successivo alla rimozione delle macerie e alla messa in sicurezza è la ricostruzione. Tale delicata fase deve seguire dei criteri che permettano di conferire una identità urbana perduta ai luoghi così gravemente compromessi, facendo in modo che la popolazione riacquisti fiducia nella sicurezza delle proprie abitazioni e che dunque sia indotta a riappropriarsi del centro storico.

Per l'avvio della fase di ricostruzione di un centro storico così gravemente danneggiato si impongono una serie di riflessioni sia sulle funzioni che il nuovo centro dovrà ospitare che sull' immagine della città ricostruita.

La prevalente funzione residenziale ed agricola del borgo pre-sisma non deve infatti essere necessariamente riproposta come principale carattere insediativo del nuovo centro abitato. Si deve discutere sulla possibilità di cogliere l'occasione della ricostruzione per pensare anche ad un nuovo assetto economico e funzionale del centro. Ovviamente si ritiene necessario, conseguentemente alle riflessioni fin qui condotte, che ogni cambiamento, sia esso di carattere funzionale, costruttivo, culturale, debba discendere naturalmente dalle esigenze del contesto e debba essere da esso adeguatamente metabolizzato.

Dai dialoghi con la cittadinanza locale è emerso un prevedibile desiderio di ritornare a vivere la città alla stessa maniera di come la si viveva prima del terremoto. Tale comprensibile desiderio era tuttavia accompagnato dalla paura del ripetersi delle medesime tragiche circostanze e dai dubbi sulla effettiva sicurezza della città storica.

Ed ecco dunque che l'equilibrio tra le ragioni della sicurezza e quelle della conservazione si rivela essere il problema principale da affrontare nella fase di ricostruzione.

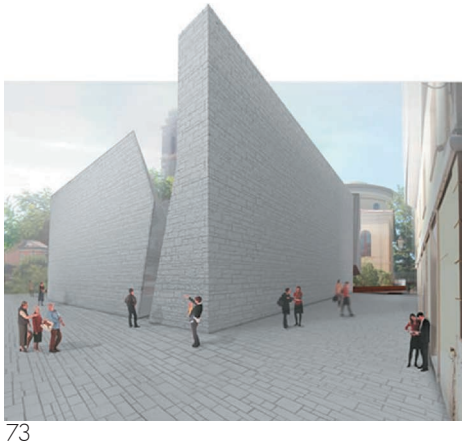
Per soddisfare le ragioni della sicurezza infatti, bisogna intervenire sul recupero dell'edificato storico danneggiato dal terremoto e sulla sua ricostruzione ex novo correggendo ciò che, in conseguenza dell'osservazione dei danni presenti e coerentemente alla logica costruttiva locale, si ritiene possa indurre dei danni futuri e naturalmente scegliere le tecniche che rispettino la cultura costruttiva locale non introducendo ulteriori precarietà.

Per soddisfare le ragioni della conservazione invece è necessario valutare caso per caso ciò che vale la pena conservare da ciò che può lasciare spazio a considerazioni di carattere esclusivamente architettonico-formale.

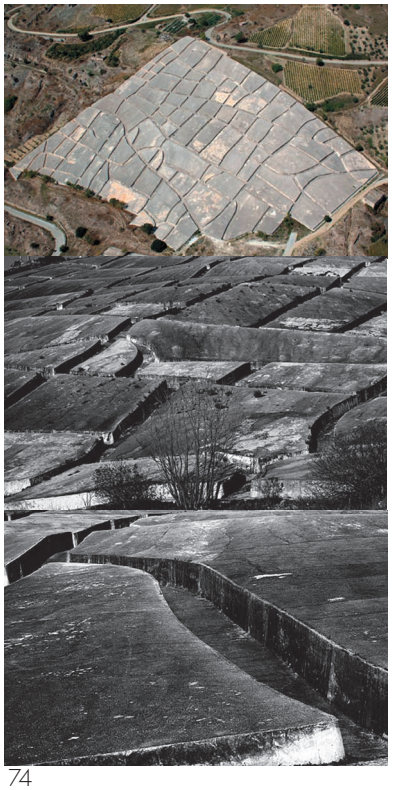
Così come nei casi in cui gli edifici hanno riportato lievi danni è facile pensare a interventi minimi; allo stesso modo nei casi in cui sono crollati interi isolati si potrebbe facilmente pensare di procedere alla demolizione totale e alla ricostruzione ex novo. Ma se, come a Villa Sant'Angelo, i casi in cui sono crollati interi isolati sono assai diffusi è ragionevole pensare di demolire e ricostruire una porzione così estesa della città?

In occasione del crollo della Cattedrale di Noto, ad esempio, hanno prevalso le ragioni dalla ricostruzione secondo il principio del "com'era, dov'era", utilizzando la tecnica

muraria. Questo esempio, seppur riferito ad un monumento isolato e non a un tessuto urbano, è rappresentativo della volontà di riappropriarsi di un simbolo perduto in cui la collettività si riconosce e di cui non riesce a fare a meno.
A Gibellina invece l'atteggiamento adottato è diametralmente opposto, poiché si è scelto di eliminare la città storica, o quel che rimaneva di essa, in favore della delocalizzazione e ricostruzione di una nuova città.
Un intervento che cerca invece di ripensare la città storica in chiave contemporanea pur nel rispetto della sua identità, è rappresentato dal progetto per la riqualificazione di Piazza Duomo ad Avellino. Il terremoto dell'Irpinia ha lasciato delle ferite aperte ancora oggi, tanto da indurre l'amministrazione locale a bandire nel 2007 un concorso che ha come tema proprio la ricostruzione di un isolato danneggiato dal sisma avvenuto decenni prima. Il progetto secondo classificato è rappresentativo della possibilità di riprogettare brani di città storica ponendosi in equilibrio con il contesto ma utilizzando un linguaggio formale e costruttivo attuale.
Molto diverso è infine il concetto di edificio storico e di città storica espresso da Daniel Libeskind nel Royal Ontario Museum, detto "The crystal" , a Toronto (2007). Il progetto consiste nell'ampliamento del museo esistente, collocato in un edificio murario storico. Seppur le due strutture, quella muraria esistente e quella in acciaio e vetro dell'ampliamento, non si tocchino, l'immagine e la spazialità della nuova architettura prevale assolutamente su quella dell'edificio e del contesto esistente.
Questi esempi dimostrano come siano molteplici le alternative progettuali, più o meno condivisibili, che si possono presentare nel momento in cui si interviene sull'esistente storico o, nello specifico, sugli aggregati storici danneggiati da eventi calamitosi.
Il criterio che si propone, e che è emerso da quanto fin qui esposto, consiste nell' intervenire in maniera gradualmente differenziata sulla ricostruzione della città, evitando il riproporsi di condizioni di precarietà costruttivo – strutturale ma riproponendo al contempo l'identità urbana in parte perduta.



73



74

75

76

77

Fig. 73 Michele Della Vecchia, *Concorso per la riqualificazione di Piazza Duomo ad Avellino distrutta dal sisma del 1980*, 2°classificato, 2007
Fig. 74 Alberto Burri, *Il cretto*, Gibellina, Trapani, 1984
Fig. 75 Il crollo e la ricostruzione della Cattedrale di Noto, Siracusa, 1996-2007
Fig. 76 Daniel Libeskind, *Royal Ontario Museum*, Toronto, 2007
Fig. 77 Aggregato studio a Villa S.Angelo: gradualità dell'intevento di ricostruzione

Conclusioni. Caratteri innovativi e prospettive di ricerca

La ricerca condotta consiste nell'elaborazione di una metodologia di indagine applicata ad un caso studio che permette di valutarne l'efficacia. Il carattere forse più innovativo della ricerca consiste nella visione complessa e unitaria che si fornisce della città storica, letta attraverso l'aggregato edilizio. Dell'aggregato infatti si propone, in maniera puntuale, una procedura di analisi, composta di diversi passi, per la comprensione del rapporto degli edifici che lo costituiscono in vista dell'intervento di mitigazione della vulnerabilità. Per questo motivo la tesi fornisce molteplici spunti di approfondimento delle numerose tematiche che tratta. Una delle possibili linee di approfondimento della ricerca condotta potrebbe essere rappresentata dalla elaborazione di una classificazione degli aggregati in funzione delle modalità di danneggiamento. La classificazione degli aggregati potrebbe essere condotta solo dopo aver studiato un numero di aggregati rappresentativo delle più svariate configurazioni che si possono rintracciare in contesti differenti. Solo in seguito infatti sarebbe possibile ottenere delle generalizzazioni e procedere dunque alla classificazione.Tale classificazione potrebbe essere condotta ad esempio in funzione di:

- Caratteristiche del contesto ambientale e urbano
  - morfologia del sito di insediamento
  - impianto planimetrico dell'aggregato
  - tipologie edilizie presenti nell'aggregato
  - accessibilità/evacuabilità dell'aggregato
- Caratteristiche edilizie degli edifici
  - lessico costruttivo degli edifici presenti
  - stato di conservazione
  - interventi di conservazione o manomissione pregressi
- Caratteristiche di vulnerabilità/resistenza
  - fattori di vulnerabilità/resistenza presenti
- Scenario di danno sismico
  - meccanismi di danno in atto
  - meccanismi di danno attivabili in relazione agli indicatori di vulnerabilità/resistenza

In particolare i meccanismi di collasso degli aggregati potrebbero essere raggruppati all'interno di una casistica di meccanismi, sia potenzialmente attivabili che non attivabili. L'applicazione di questo tipo di analisi su diversi aggregati campione può portare alla definizione di situazioni comuni ricorrenti e dunque alla classificazione tipologica degli aggregati con riferimento alle tipologie di vulnerabilità/resistenza in modo da creare degli strumenti direttamente operativi da fornire ai progettisti per individuare con più agilità le problematiche che si trovano ad affrontare nella pratica professionale.

BIBLIOGRAFIA

Parte I

- AA.W, *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione post sismica degli edifici*, Regione Umbria, Dei, Roma, 1999

- AA.W., *Relazione per le prescrizioni edilizie dell'isola di Ischia*, Istituita dal Min. LL. PP dopo il terremoto del luglio 1883, Tip G.C. Roma, 1883

- Balbi A., Giovinazzi S., Lagomarsino S., "Un modello di vulnerabilità per gli edifici nei centri storici", in *Atti del XI Convegno Nazionale ANIDIS "L'ingegneria sismica in Italia"*, Genova 25-29 Gennaio 2004

- Barazza F., Carniel R., Del Pin E., Di Cecca M., Grimaz S., Martini F., Manarolla I., Riuscetti M., *Progetto Rischio Sismico*, Gruppo di Ricerca in Sismologia applicata, Università di Udine, Dipartimento di Georisorse e Territorio, www.dgt.uniud.it/seismol/rischio/prs.html, 2009

- Benedetti D., Petrini V., "On seismic vulnerability of masonry buildings: proposal of an evaluation procedure", *The industry of constructions*. Vol. 18

- Bernardini A.(a cura di), *La vulnerabilità degli edifici: valutazione a scala nazionale della vulnerabilità sismica degli edifici ordinari*, CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 2000

- Bernardini A., "Coerenza fra osservazioni e previsioni di vulnerabilità sismica di tipologie murarie", in *Atti 8° Convegno Nazionale ANIDIS: L'ingegneria Sismica in Italia*, Taormina, 1997

- Bernardini A., "Seismic Damage to Masonry Buildings", in *Proceeding of the Int. Workshop of Seismic Damage to Masonry Buildings*, Monselice, Padova, June 25-26, 1998, Rotterdam, Balkema

- Bernardini A., *Finalità, definizione e misura della vulnerabilità sismica di singoli edifici e di tipologie murarie. Problemi di coerenza tra osservazioni e previsioni*, Rapporto al seminario GNDT sulla vulnerabilità edilizia murari Roma, 1996

- Bernardini A., *La vulnerabilità degli edifici - Valutazione a scala nazionale della vulnerabilità sismica degli edifici ordinari*, CNR-GNDT, Roma, 2000

- Bernardini, A. "Finalità, definizione e misura della vulnerabilità sismica di singoli edifici e di tipologie murarie. Problemi di coerenza fra osservazioni e previsioni", Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni dell'Università di Padova, RI 2/96, 1996 (non pubblicato), in *Attività del gruppo di lavoro GNDT-SSN per i rilievi di danno e vulnerabilità sismica degli edifici*

-Bollati S., Muratori S., *Studi per un'operante storia urbana di Roma*, Roma, 1963

- Braga F., Dolce M., Liberatore D., "A Statistical study on damaged buildings and an ensuing review of the M.S.K.-76 scale", in *Proceeding of the 7th European Conference on Earthquake Engineering*, 1982

- Braga F., Dolce M., Liberatore D., "Rassegna critica dei metodi per la stima della vulnerabilità", in *Atti del 3° Convegno nazionale "L'ingegneria sismica in Italia"*, Roma, 30 Settembre-2 Ottobre 1987

- Braga F., Ramasco M., "Valutazione su base statistica delle Vulnerabilità sismica degli edifici di Pozzuoli", in *Atti del 2° Convegno nazionale "L'ingegneria sismica in Italia"*, Rapallo, 1984

- Bramerini F., Di Pasquale G., Orsini G., Pugliese A., Romeo R., Sabetta F., *Rischio sismico del territorio italiano. Proposta di una metodologia e risultati preliminari*, Rapporto tecnico interno SSN, Roma, 1995

- Calvi G.M., (coordinatore), Boschi E., Pinto P.E., Cosenza E., Dolce M., Stucchi M., *Normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica e connessa classificazione sismica del territorio nazionale, Documento esplicativo*, 15 gennaio 2003,

-Camerana E., "Relazione sui danni prodotti dal terremoto del 16 novembre 1894 in Calabria e Sicilia", *in Boll. Uff. C.le Meteor e Geodin*, Vol. XIX, Roma, 1897

- Caniggia G., Maffei G., *Lettura dell'edilizia di base*, Venezia , Saggi Marsilio, 1979

- Caniggia G., *Ragionamenti di tipologia: operatività della tipologia processuale in architettura*, a cura di Gianluigi Maffei, Firenze , Alinea, 1997

-Caniggia G., *Struttura dello spazio antropico: Studi e note*, Firenze, Alinea, 1985

- Carocci C., Ceradini V., Cremonini I., Mazzotti P., Panzetta M., Smargiasso M., *Rassegna Ragionata dei programmi di recupero post sisma. Attività di ricerca promossa dal Comitato Tecnico Scientifico della Ragione Marche*, Bollettino Ufficiale della Regione Marche n.3 del 21/03/2002

- Carocci C., *Conservazione dei centri storici in area sismica. Vulnerabilità e mitigazione*, Tesi di dottorato di ricerca in Storia della Scienze e delle Tecniche costruttive, VIII ciclo, Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Facoltà di Architettura, 1996

- Carocci C., Tocci C., "Considerazioni per la sicurezza degli aggregati", Ricerca Nazionale della Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica - Reluis - Protezione Civile Nazionale, Progetto esecutivo 2005–2007 , *Progetto di ricerca 1 "Valutazione e riduzione della vulnerabilità di edifici in muratura"*, Coordinatori S. Lagomarsino e G. Magenes, Unità di Ricerca n. 16 (Siracusa), allegato 1.1 -UR16-3, 2006

- Cataldi G., *Per una scienza del territorio*, Alinea, Firenze, 1977

- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008*

- Circolare del Ministero dei Beni Culturali ed Ambientali del 18 Luglio 1986 n.1032, *Interventi sul patrimonio monumentale in zone sismiche - Direttive per la realizzazione ed esecuzione di progetti di restauro comprendenti interventi di "miglioramento", antisismico e "manutenzione" nei complessi architettonici di valore storico - artistico in zona sismica*

- Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici 30 Luglio 1981, n. 21745 e Legge 14 Maggio 1981, n. 219, *Istruzioni relative alla normativa tecnica per la riparazione ed il rafforzamento degli edifici in muratura danneggiati dal sisma*

- Circolare n. 65/AA.GG. del 10 aprile 1997, Ministero dei Lavori Pubblici, Presidenza del Consiglio Superiore Servizio Tecnico Centrale, *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D.M. 16 gennaio 1996*

- Clementi A., *Il contributo della progettazione urbanistica alla riduzione della vulnerabilità alla scala urbana*, CNR-Nsf, US-Italy, Workshop on Earthquake Disaster Mitigation, Roma, 12-16 Ottobre 1981

- Cocina S., Lagomarsino S., Podestà S., "Analisi di vulnerabilità della facciata nelle chiese di Catania", in *Atti del IX Convegno Nazionale "L'ingegneria sismica in Italia*, Torino 20-23 settembre 1999

- Comitato nazionale per la prevenzione del patrimonio culturale dal rischio sismico, Ministero per i beni culturali ed ambientali, *"Norme tecniche per la redazione di progetti di restauro relativi a Beni architettonici di valore storico-artistico in zona sismica"*, 29 ottobre 1996

- Comitato nazionale per la prevenzione del patrimonio culturale dal rischio

sismico, Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, *Istruzioni generali per la redazioni per la redazione dei progetti di restauro dei beni architettonici di valore storico artistico in zona sismica*, approvata in data 28 novembre 1997 con voto n.564

- Corsanego A., "Seismic vulnerability evaluations for risk assessment in Europe", in *Proceedings of the Fourth International Conference on Seismic Zonation* , Stanford , California, August 25th - 29th, Volume I, 1991

- Corsanego A., Petrini V., "Evaluation criteria of seismic vulnerability of the existing building patrimony on the national territory", *Ingegneria Sismica*, Vol. 1, 1994

- Corsanego A., Petrini V., "Seismic Vulnerability of Buildings. Work in Progress", *SEISMED 2nd Workshop on Earthquake Vulnerability, Loss and Risk Assessment*, Trieste, Italy, December 10-15, 1990

- Corsanego A., *Vulnerabilità degli edifici e metodi per valutarla*, in "L'ingegneria sismica", n.1/1984

- Corsangelo A., "La vulnerabilità degli insediamenti", in Italsider, Cee, Gruppo di lavoro azienda Finsider, *Strutture in acciaio ed abbattimento della vulnerabilità sismica*, Recco (GE), 1986

- Cremonini I., *Rischio sismico e pianificazione nei centri storici. Metodologie ed esperienze in Emilia Romagna*, Istituto Nazionale di Urbanistica Emilia Romagna, Firenze, Allinea, 1994

- De Nava, R., *Sui danni prodotti agli edifizi dai terremoti calabresi del 1894*, Milano, 1896

- Decreto 7 agosto 1984 del Ministro per i Beni e le Attività Culturali di concerto con il Ministro dell'Interno e per il Coordinamento della Protezione Civile, *"Istituzione presso il Ministero per i Beni Culturali e Ambientali del Comitato per la Prevenzione del Patrimonio Culturale dal Rischio Sismico"*

- Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 16 Gennaio 1996, *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*, Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale" n. 29 del 5 febbraio 1996

- Decreto Ministeriale 2 luglio 1981, n.593, *Normativa per le riparazioni ed il rafforzamento degli edifici danneggiati dal sisma nelle Regioni Basilicata*, Campania e Puglia

- Decreto Ministeriale 3 Marzo 1975 n. 40

- Decreto Ministro dei Lavori Pubblici 24 Gennaio 1986, *Norme tecniche relative alle costruzioni antisismiche*, Gazzetta Ufficiale 12-5-1986, n. 108

- Deliberazione Amministrativa del Consiglio Regionale Marche n. 238 del 1/12/1998, *Criteri di valutazione e di priorità per l'approvazione dei programmi di recupero*

- Deliberazione Amministrativa del Consiglio Regionale n. 198 del 12 maggio 1998, *Criteri per la perimetrazione dei programmi di recupero*

- Deliberazione della G.R. n. 1224 SI/LPU del 1/06/1998, *Procedure per la formazione dei programmi di recupero*

- Di Pasquale G., Dolce M., Martinelli A., "Analisi della vulnerabilità", in *Censimento di vulnerabilità a campione dell'edilizia corrente dei centri abitati, nelle regioni Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Molise, Puglia e Sicilia* (Progetto Lavori Socialmente Utili), Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 2000

-Di Sopra L., Palandra C., a cura di, "La vulnerabilità sistemica come dimensione generatrice del rischio. Un approccio di scienza del territorio", in *Teoria della vulnerabilità. Introduzione multidisciplinare*, F. Angeli, Milano, 1984

- Dipartimento della Protezione Civile e Dipartimento per i Beni Culturali e Paesaggistici, in attuazione del Decreto Interministeriale 23 maggio 2005, finalizzato all'elaborazione delle Linee Guida per l'applicazione al patrimonio culturale della normativa tecnica di cui all'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni*, 21 luglio 2006

-Dipartimento di Pianificazione territoriale e urbanistica (Dptu), Università "La Sapienza", Roma, Regione Umbria, "Analisi del comportamento del sistema urbano di Nocera Umbra sotto il sisma del 1997. Definizione della struttura urbana minima e verifica di vulnerabilità urbana", 2003, in *Atti del convegno, Rischio sismico e pianificazione a scala urbana: metodi di analisi e strumenti di intervento*, Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, Ufficio sismico nazionale, Roma, 5-6 giugno 2003

- Dolce M., Zuccaro G., Kappos A., Coburn A., "Report of the EAEE Working Group 3: Vulnerability and risk analysis", in *Proceeding of 10th European Conference on Earthquake Engineering*, Volume 4, 1994

- Dolce, M., "Basic ideas for a unified vulnerability/damage inspection form" in *EAEE/WG3 Meeting*, Ossiach, Austria, September 26, 1988, Annex to the 4th Circular of EAEE/WG3, 1988

- Fabietti W., a cura di, *Vulnerabilità urbanistica e trasformazione dello spazio urbano*, Alinea, Firenze, 1999

- Faccioli E., Pessina, V., Calvi G.M., Borzi B., *A study on damage scenarios for residential buildings in Catania city. The Catania Project*, Roma, CNR-GNDT, 1999

- Fazzio F., Nigro F., Pizzo B., "Prevenzione sismica e pianificazione: il caso di Nocera Umbra", *Urbanistica Informazioni*, n.191, 1993

- Fazzio F.,"La valutazione della vulnerabilità urbana: il caso di Nocera Umbra", sta in Olivieri M., a cura di, *Regione Umbria. Vulnerabilità urbana e prevenzione urbanistica degli effetti del sisma: il caso di Nocera Umbra* , Urbanistica, Quaderni, Collana dell'Istituto Nazionale di Urbanistica, INU, Supplemento al n.124 di Urbanistica Quaderno 44, Anno X, 2004

- Fera G., *La città antisismica : storia, strumenti e prospettive della pianificazione territoriale per la riduzione del rischio*, Roma, Gangemi, 1991

- French S.P., Isaacson M.S., "Applying Earthquake Risk Analysis to Land Use", in *Journal of American Planning Association*,n.4, 1984

- Fulci L., *Le leggi speciali italiane in conseguenza dei terremoti. Esposizione e commento*, Milano, 1916

- Gavarini C., Angeletti P., "Vulnerabilità sismica degli edifici esistenti. Lo stato dell'arte e le prospettive di sviluppo della ricerca in Italia", in *L'industria italiana del cemento*, n.2/1984

- Gavarini C., "Rischio sismico e danneggiamento", in *Atti del 5° Convegno "L'ingegneria sismica in Italia"*, Palermo 1991

- Gavarini G., "Ipotesi per una nuova scala di vulnerabilità sismica degli edifici in muratura", in *Atti del 3° Convegno Nazionale "L'ingegneria sismica in Italia"*, Roma, 1987

- Giovinazzi S., Lagomarsino S., "Seismic Risk Analysis: a method for the vulnerability assessment of built-up areas", in *Proceeding of European Safety and Reliability Conference ESREL 2003*, Maastricht, Olanda, 2003

- Giovinazzi S., Lagomarsino S., "Una metodologia di analisi di vulnerabilità del costruito", in *Atti del X Congresso Nazionale ANIDIS "L'ingegneria sismica in Italia"*, Potenza - Matera, 9-13 Settembre 2001

- Giuffrè A., Carocci C., *Codice di pratica per la sicurezza e la conservazione del centro storico di Palermo*, Roma, Laterza, 1999

- Giuffrè A., Carocci C., *Codice di pratica per la Sicurezza e Conservazione dei Sassi di Matera* , La Bautta, Matera, 1997

- Giuffrè A., *Codice di pratica per il recupero dei centri storici soggetti al sisma: Castelvetere sul Calore*, Roma, Multianddress, 1988

- Giuffrè A., *L'intervento strutturale quale atto conclusivo di un approccio multidisciplinare,* Quaderni ARCo - Restauro, Storia e Tecnica, Roma, 1995

-Giuffrè A., *Lettura sulla Meccanica delle Murature Storiche*, Roma, Kappa, 1991

- Giuffrè A., *Monumenti e terremoti: aspetti statici del restauro*, Roma, Multigrafica, 1988

- Giuffrè A., *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia*, Bari, Laterza, 1993

- Giuffrè A., "Valutazione della vulnerabilità sismica dei monumenti: metodi di verifica e tecniche di intervento" in *Atti del Convegno C.N.R. sui problemi del restauro in Italia*, Dipartimento di Ingegneria strutturale e geotecnica, Roma, 1986

- Giuffrè A., "Vulnerabilità della città storica in area sismica e criteri per la conservazione", in Sanfilippo E.D., La Greca P., a cura di, *Piano e progetto nelle aree a rischio sismico*, Gangemi editore, Roma, 1994

- Giuffrè M., "Gli studi per il centro urbano: obiettivi specifici, fasi del lavoro, struttura degli elaborati", sta in, Olivieri M., a cura di, *Regione Umbria. Vulnerabilità urbana e prevenzione urbanistica degli effetti del sisma: il caso di Nocera Umbra*, Urbanistica, Quaderni, Collana dell'Istituto Nazionale di Urbanistica, INU, Supplemento al n.124 di Urbanistica, Quaderno 44, Anno X, 2004

- Greco, L. M., *Delle principali opera intorno ai calabri tremuoti dal 1783 al 1854 e degli studi più convenevoli sopra i medesimi*, Tipografia Giuseppe Migliaccio, Cosenza, 1856

- Grimaldi, A., "*La Cassa Sacra ovvero la soppressione delle manimorte in Calabria nel secoloXVIII*, Napoli, 1863

- Haresh C. Shah Chairman, "Terms for Probabilistic Seismic-Risk and Hazard Analysis", in *EERI Committee on Seismic Risk, Earthquake Spectra*, Volume 1, November 1984

- HAZUS, *Earthquake Loss Estimation Methodology, Washington*, Federal Emergency Management Agency, 1999

- Kirijas T., "Phisical Planning in Seismic Region", in Jones B.J., Tomazevic M., a cura di, *Proceeding of the Thirt International Conference The social and economic aspects of Earthquake and planning to mitigate their impact*, Bled, YU, June 29-July 2, 1981

- Lagomarsino S., "Damage survey of ancient churches: the Umbria-Marche experience", *in Seismic Damage to Masonry Buildings* (A. Bernardini Ed.), *Proceeding of the International Workshop on Measures of seismic damage to masonry buildings*, Monselice, Padova, Italy, June 25-26 1998,

- Lagomarsino S., Brun S., Giovinazzi S., Idri C., Penna A., Podestà S., Resemini S., Rossi B., "Modelli di calcolo per il miglioramento sismico delle chiese", in *Atti del IX Convegno Nazionale "L'ingegneria sismica in Italia"*, Torino 20-23 settembre 1999

- Lagomarsino S., Podestà S., "Metodologie per l'analisi di vulnerabilità delle chiese", in *Atti del IX Convegno Nazionale "L'ingegneria sismica in Italia"*, Torino 20-23 settembre 1999

- Langenbach R., *Armature Crosswalls. How pre-modern construction practices may hold the key to avoiding the collapse of vulnerable urban housing blocks*, Joint US-India Symposium on Urban Housing and Infrastructure, New Delhi, India, October, 2005

- Legge 14 Maggio 1981 n. 219, *Istruzioni relative alla normativa tecnica per la riparazione ed il rafforzamento degli edifici in muratura danneggiati dal sisma*

- Legge 2 febbraio 1974, n. 64, *Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche*

- Legge 25 novembre 1962 n. 1684, *Provvedimenti per l'edilizia, con particolari prescrizioni per le zone sismiche*

- Legge 26 aprile 1976, n.176, *Norme per l'istituzione del servizio sismico e disposizioni Inerenti al movimenti sismici del 1971, del novembre e dicembre 1972, del dicembre 1974 e del gennaio 1975, in comuni della provincia di Perugia*, Gazzetta Ufficiale 7-5-1976, n. 120

- Legge 30 marzo 1998, n. 61, *Ulteriori interventi urgenti in favore delle zone terremotate delle regioni Marche e Umbria e di altre zone colpite da eventi calamitosi*, G.U. - Serie Generale - n. 75 del 31 marzo 1998

- Legge 5 Novembre 1964 n. 1224, *Integrazioni della legge 25 novembre 1962, n. 1684, concernente provvedimenti per l'edilizia con particolari prescrizioni per le zone sismiche*

- Liberatore D. (a cura di), *Progetto Catania: indagine sulla risposta sismica di due edifici in muratura*, CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 2000

- *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni*, 21 luglio 2006, allegato A "Programma per il monitoraggio dello stato di conservazione dei beni architettonici tutelati" parte II " Moduli schedografici e loro struttura", modulo B "Fattori di sensibilità".

- Maffei G.L., *La casa fiorentina nella storia della città: dalle origini all'Ottocento*, Venezia , Marsilio, 1990

- Marconi P., *Dal piccolo al grande restauro*, Marsilio, Venezia, 1988

-Masciari Genoese F., *Trattato di costruzioni antisismiche*, Hoepli, Milano, 1915

- Meroni F., Petrini V., Zonno G., "Distribuzione nazionale della vulnerabilità media comunale" in A. Bernardini (ed), *La vulnerabilità degli edifici*, CNR-GNDT, Roma, 2000

- Meroni F., Petrini V., Zonno, G., "Valutazione della vulnerabilità di edifici su aree estese tramite dati ISTAT" in *Atti del 9° Convegno Nazionale ANIDIS: L'ingegneria Sismica in Italia*, Torino, 1999

- Ministro delle infrastrutture, Ministro dell'Interno, Dipartimento della Protezione Civile, Decreto Ministeriale 14 Gennaio 2008, *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*, Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 - Suppl. Ordinario n. 30

- Muratori S., *Studi per un'operante storia urbana di Venezia*, Roma, 1959

- Olivieri M., "Finalità, contenuti, articolazione della ricerca", in, Olivieri M., a cura di, *Regione Umbria. Vulnerabilità urbana e prevenzione urbanistica degli effetti del sisma: il caso di Nocera Umbra*, Urbanistica, Quaderni, Collana dell'Istituto Nazionale di Urbanistica, INU, Supplemento al n.124

di Urbanistica, Quaderno 44, Anno X, 2004

- Olivieri M., a cura di, *Regione Umbria. Vulnerabilità urbana e prevenzione urbanistica degli effetti del sisma: il caso di Nocera Umbra*, Urbanistica, Quaderni, Collana dell'Istituto Nazionale di Urbanistica, INU, Supplemento al n.124 di Urbanistica, Quaderno 44, Anno X, 2004

- Ordinanza 3274/2003, Testo integrato dell'Allegato 2 – Edifici –come modificato dall'OPCM 3431 del 3/5/05, capitolo 11.5.4.3.2

- Ordinanza del Ministro del'Interno delegato per il coordinamento della protezione civile n. 2823 del 5 agosto 1998 recante *Ulteriori disposizioni per fronteggiare la situazione di emergenza alla crisi sismica iniziata il 26 settembre 1997 che ha colpito il territorio delle regioni Marche e Umbria*

- Ordinanza del Ministro del'Interno delegato per il coordinamento della protezione civile n. 2947 del 24 febbraio 1999 recante *Ulteriori disposizioni per i danni conseguenti la crisi sismica iniziata il 26 settembre 1997 nel territorio delle regioni Umbria e Marche*

- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 Marzo 2003 n. 3274, *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*

- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3431 del 3 maggio 2005, *Ulteriori modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003 recante "Primi elementi in materia di criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".*

- Parotto M., "Analisi della pericolosità sismica locale dell'area di Nocera Umbra", in Olivieri M., a cura di, *Regione Umbria. Vulnerabilità urbana e prevenzione urbanistica degli effetti del sisma: il caso di Nocera Umbra* , Urbanistica, Quaderni, Collana dell'Istituto Nazionale di Urbanistica, INU, Supplemento al n.124 di Urbanistica Quaderno 44, Anno X, 2004

- Petrini V., *La proposta di riclassificazione sismica del territorio nazione nel Progetto finalizzato Geodinamica del CNR*, relazione al corso organizzato dalla regione Emilia Romagna sulla prevenzione dei danni da terremoto, Bologna 1983

- Polverino F., *Ischia: architettura e terremoto*, CLEAN, Napoli, 1998

- Pugliano A., *Il contributo formativo del terremoto nella cultura edilizia della città storica. La normativa antisismica premoderna*, Rassegna di architettura e urbanistica, Anno 26 n°80 – 81, Maggio – Dicembre 1993

- Pugliano A., *Il contributo formativo del terremoto nella cultura edilizia della città storica. La normativa antisismica premoderna*, Rassegna di architettura e urbanistica, Anno 26 n°80 – 81, Maggio – Dicembre 1993

- Reale C., Scheibel B., Vignoli F., Decanini L.D., Sorrentino L., *Il Regolamento Edilizio di Norcia del 1860: fra storia sismica e storia urbanistica, in XI Congresso Nazione "L'ingegneria sismica in Italia", ANIDIS, Associazione Nazionale Italiana di Ingegneria Sismica*, Genova, 2004

- Regio Decreto 12 ottobre 1913 n. 1261, *da convertirsi in legge, che approva il Testo Unico delle leggi emanate in conseguenza del terremoto del 28 dicembre 1908*, Gazzetta Ufficiale n.274 del 25 novembre 1913

- Regio Decreto 18 aprile 1909 n.193, *portante norme tecniche ed igieniche obbligatorie per le riparazioni ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati nei luoghi colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 e da altri precedenti elencati nel R.D. 15 aprile 1909 e ne designa i Comuni*, Gazzetta Ufficiale n.95 del 22 aprile 1909

- Regio Decreto 6 settembre 1912 n. 1080, *da convertirsi in legge, che approva le norme obbligatorie per le riparazioni, ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici nei comuni colpiti dal terremoto, in sostituzione di quelle approvate col R. D. 18 aprile 1909, n. 193*, Gazzetta ufficiale n. 247 del 19 ottobre 1912

- Regio Decreto Legge 13 marzo 1927 n. 431, *Norme tecniche ed igieniche di edilizia per le località colpite dai terremoti*, Gazzetta Ufficiale n.82 del 8 aprile 1927

- Regio Decreto Legge 23 ottobre 1924 n. 2089, *Norme tecniche ed igieniche di edilizia per le località colpite dal terremoto*, Gazzetta Ufficiale n.303 del 30 dicembre 1924, aggiornato dal Regio Decreto Legge 3 aprile 1926 n. 705, *Modificazioni alle norme tecniche ed igieniche di edilizia obbligatorie per le località colpite da terremoti*, Gazzetta Ufficiale n.102 del 3 maggio 1926

- Regio Decreto Legge 25 marzo 1935 n. 640, *Nuovo testo delle norme tecniche di edilizia con speciali prescrizioni per le località colpite dai terremoti*, Gazzetta ufficiale n.120 del 22 maggio 1935

- Regio Decreto Legge 29 aprile 1915 n. 573, *Norme tecniche ed igieniche da osservarsi per i lavori edilizi nelle località colpite dal terremoto del 13 gennaio 1915*, Gazzetta Ufficiale n.117 del 11 maggio 1915

- Regio Decreto Legge 9 maggio 1920 n. 665, *che apporta modificazioni alle norme tecniche ed igieniche obbligatorie nelle località colpite dal terremoto*, Gazzetta ufficiale n. 129 del 2 giugno 1920

- Sandi H., "Vulnerability and Risk analysis for individual structures and systems", *in Proceedings of 8° European Conference on Earthquake Engineering (ECEE)*, Lisbon, 1986

- Sandi H., Dolce M., Coburn A.W., Goschy B., "EAEE/WG on Vulnerability and Risk Analysis" *Report to the IX ECEE, Proc. IX*, ECEE, Mosca, 1990

- Schacher T., *Basic Training on Dhajji construction*, Mansehra, Pakistan, 2006

- Severi A., "L'analisi del comportamento del sistema urbano per la determinazione della Struttura urbana minima e della vulnerabilità urbana", in, Olivieri Massimo, a cura di, *Regione Umbria. Vulnerabilità urbana e prevenzione urbanistica degli effetti del sisma: il caso di Nocera Umbra*, Urbanistica, Quaderni, Collana dell'Istituto Nazionale di Urbanistica, INU, Supplemento al n.124 di Urbanistica, Quaderno 44, Anno X, 2004

- Sorrentino L., Caiafa F., "Le prescrizioni edilizie dell'Isola d'Ischia emanate dopo il terremoto del 1883 per gli edifici in muratura ordinaria: considerazioni strutturali", in *Atti del XII Convegno Nazione "L'ingegneria sismica in Italia", ANIDIS, Associazione Nazionale Italiana di Ingegneria Sismica*, Pisa, 10-14 giugno 2007

- Tocci C., "Valutazione della sicurezza strutturale di aggregazioni complesse di edifici storici", in Colajanni P., Muscolino G., Ricciardi G., a cura di, *Crolli e affidabilità delle strutture civili. Criteri e metodi per l'analisi dei crolli: studi ed esperienze*, Palermo, Flaccovio , 2007

- Tommaso S., "Le vendite col verbo regio e scudo di perpetua salvaguardia in Sicilia", appendice al *Trattato storico - legale*, Palermo,1859

- Tortoioli L. "Una nuova cultura della prevenzione sismica", in, Olivieri M., a cura di, *Regione Umbria. Vulnerabilità urbana e prevenzione urbanistica degli effetti del sisma: il caso di Nocera Umbra*, Urbanistica, Quaderni, Collana dell'Istituto Nazionale di Urbanistica, INU, Supplemento al n.124 di Urbanistica, Quaderno 44, Anno X, 2004

- UNDP/UNESCO Project RER/79/015, "Building Construction Under

Seismic Conditions in the Balkan Region", Vol. 4, "Damage Evaluation and Strength Assessment of Buildings Under Seismic Conditions". Appendix D in Sandi, H. *Analytical Treatment of Seismic Risk*, UMIDO, Vienna,1985

- UNDP/UNIDO Project RER/79/015, *Post Earthquake damage Evaluation and Strength Assessment of Buildings under Seismic Condition* (Vol.4) UNDP, Vienna, 1985

- UNDRO (United Nations Disaster Relief Office), *National Disasters and Vulnerability Analysis*, New York, 1979

- Vivenzio G., *Istoria de' tremuoti avvenuti nella provincia di Calabria Ulteriore, e nella città di Messina nell'anno 1783, e di quanto nelle Calabrie fu fatto per lo suo risorgimento fino al 1787, preceduta da una teoria ed istoria generale di tremuoti*, Stamperia Regale, Napoli, 1788

- Wolfe M.R., Heikkala S.G., *Urban Scale Vulnerability*, Cnr-Nsf, US-Italy Workshop on Earthquake Disaster Mitigation, Roma, 12-16 Ottobre 1981

- Zuccaro G., Baratta A., "Valutazione a scala nazionale della vulnerabilità degli edifici ordinari", in *Atti 9° Convegno Nazionale ANIDIS: L'ingegneria Sismica in Italia*, Torino, 1999

- Zuccaro G., Papa F., Baratta, A., "Distribuzione nazionale della vulnerabilità media comunale", in A. Bernardini (ed), *La vulnerabilità degli edifici*, CNR-GNDT, Roma, 2000

Parte II

- Caniggia G., Maffei G., *Lettura dell'edilizia di base*, Venezia , Saggi Marsilio, 1979

- Caniggia G., *Ragionamenti di tipologia: operatività della tipologia processuale in architettura*, a cura di Gianluigi Maffei, Firenze , Alinea, 1997

- Caniggia G., *Struttura dello spazio antropico: Studi e note*, Firenze, Alinea, 1985

- Carocci C., *Conservazione dei centri storici in area sismica. Vulnerabilità e mitigazione*, Tesi di dottorato di ricerca in Storia della Scienze e delle Tecniche costruttive, VIII ciclo, Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Facoltà di Architettura, 1996

- Circolare del Ministero per i beni culturali ed ambientali n. 1841/1991, *Direttive per la redazione e l'esecuzione di progetti di restauro comprendenti interventi di "miglioramento" antisismico e manutenzione nei complessi architettonici di valore storico*

- Cremonini I., *Rischio sismico e pianificazione nei centri storici. Metodologie ed esperienze in Emilia Romagna*, Istituto Nazionale di Urbanistica Emilia Romagna, Firenze, Allinea, 1994

- Fera G., *La città antisismica: storia, strumenti e prospettive della pianificazione territoriale per la riduzione del rischio*, Roma, Gangemi, 1991

- Indelicato D., *Sicurezza e conservazione della città storica in zona sismica. L'isolato della chiesa di San Giuseppe al Transito a Catania*, Tesi di Laurea in Architettura, Facoltà di Architettura, Università degli Studi di Catania, 2007

- Maffei G., *Lettura dell'edilizia di base*, Venezia , Saggi Marsilio, 1979

- Speranza C., *Sicurezza e conservazione della città storica in zona sismica. L'ex monastero della SS. Trinità a Catania*, Tesi di Laurea in Architettura, Facoltà di Architettura, Università degli Studi di Catania, 2008

Parte III

- Antinori A. L., *Annali degli Abruzzi*, sec. XVIII, edizione in facsimile, Sala Bolognese 1971

- Antonini O., *Villa Sant'Angelo e dintorni. Tussillo, Casentino, Fontavignone, Stiffe, Campana, S. Eusanio, Fossa, Ocre. L'architettura religiosa*, One Group edizioni, L'Aquila, 2006

- Blasetti C., *Le Arme del Contado Aquilano (Castelli – Ville - Terme)*, Roma, 1984

- Carocci C.F., Cattari S., Lagomarsino S., Tocci C., gruppo di coordinamento, *"Attività di studio finalizzata al recupero del centro storico di Casentino e di Villa Sant'Angelo"*, 2009

- Colapietra R., "L'Aquila dell'Antinori. Strutture sociali e urbane nella città del Sei e Settecento", sta in *Antinoriana. Studi per il bicentenario della morte di A.L.Antinori*, DASP, II, L'Aquila, 1978

- Degano U., "Storia ed arte delle ville di Ocre", *Studi e Testi*, fasc. 20, DASP, L'Aquila, 1996

- Giustiniani L., *Dizionario geografico-ragionato del regno di Napoli*, Napoli, 1797-1805, tomo X, riediz. 1967

- Incarnato G., *Il Possesso feudale in Abruzzo dal 1500 al 1670*, Archivio Storico delle Provincie Napoletane, 1972

- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, *La sequenza sismica de L'Aquilano – Aprile 2009*, http://www.ingv.it, 2009

- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Rovida A., Castelli V., Camassi R., Stucchi M., a cura di, *Terremoti storici nell'area colpita dagli eventi sismici dell'aprile 2009*, http://www.ingv.it., 2009

- Placidi V., *Strutture urbane e tipologie architettoniche*, L'Aquila, 1985

BIBLIOGRAFIA DELLE ILLUSTRAZIONI

Parte I

Fig.1-2 GNDT http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/

Fig. 3-4 http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/

Fig. 5- 6 Sanfilippo E.D., La Greca P., a cura di, *Piano e progetto nelle aree a rischio sismico*, Gangemi editore, Roma,1994

Fig. 7-8-9-10-11-12 Schacher T., Technical advisor, *Bhatar construction. Timber reinforced masonry. An illustrated guide for craftsmen*. Swiss, Agency for Development and Cooperation SDC, Mansehra, NWFP, 2007

Fig. 13 Foto dell'autore, 2007

Fig. 14-15-16 Polverino F., *Ischia: architettura e terremoto*, CLEAN, Napoli, 1998

Fig. 17-18 www.santagatando.wordpress.com

Fig. 19-20 Sanfilippo E.D., La Greca P., a cura di, *Piano e progetto nelle aree a rischio sismico*, Gangemi editore, Roma,1994

Fig. 21-22-23-24-25-26 Baratta M., *La catastrofe sismica calabro messinese*, Roma, Società Geografica Messinese, Roma, 1910

Parte II

Fig. 1 Indelicato D., "Un aggregato nel quartiere Spirito Santo", in Carocci C.F., a cura di, *Conoscere per abitare. Un seminario di studio su Motta Camastra*, Lombardi editore, Siracusa, 2008. Disegni dell'autore

Fig. 2 Carocci C, Indelicato D., "Seismic safety and preservation of historical urban texture: a study case in Catania", in *proceeding of Seismic risk and rehabilitation of stone masonry housing*, Horta, Faial, Azores Islands, 9-13 July 2008. Disegni dell'autore

Fig. 3 Carocci C, Indelicato D., "Seismic safety and preservation of historical urban texture: a study case in Catania", in *proceeding of Seismic risk and rehabilitation of stone masonry housing*, Horta, Faial, Azores Islands, 9-13 July 2008. Disegni dell'autore

Fig. 4 Di Stefano M., Beltrami P., Landolina I., *Relazione sulla livellazione generale della città di Catania*, tipografia Giuntini, Catania, 1871

Fig. 5-6 Foto dell'autore, 2007

Fig. 7 Rielaborazione dei dati sulla storia sismica di Catania tratti dal Catalogo Parametrico dei Forti Terremoti, 2004

Fig. 8 Foto dell'autore, 2007

Fig. 9 Catastale storico fornito dal Laboratorio fotogrammetrico del Dipartimento di Architettura e Urbanistica dell'Università di Catania

Fig. 10 Disegni dell'autore

Fig. 11-12-13 Disegni dell'autore

Fig. 14 Disegni dell'autore

Parte III

Ove non altrimenti specificato, i grafici riguardanti lo stato di danno del centro storico di Villa Sant'Angelo, il piano di sgombero delle macerie, il rilievo e il progetto dell'isolato campione scelto come caso studio, sono stati elaborati durante l'attività di ricerca sul campo svolta dall'autore tra agosto 2009 e marzo 2010 a Villa Sant'Angelo (L'Aquila) e successivamente rielaborati ed approfonditi.

Si ringraziano a questo proposito il gruppo di coordinamento delle attività di studio composto da S. Lagomarsino, C.F. Carocci, C. Tocci, S. Cattari e i colleghi del gruppo di lavoro.

Fig. 1 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. *La sequenza sismica de L'Aquilano – Aprile 2009*, http://www.ingv.it

Fig. 2 Fonte dati Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, www.ingv.it. Disegni dell'autore

Fig. 3-4 Decreto del Commissario delegato per l'emergenza terremoto n.3 del 16 aprile 2009 *Individuazione dei comuni danneggiati dagli eventi sismici che hanno colpito la provincia di L' Aquila ed altri comuni nella regione Abruzzo il giorno 6 aprile 2009*, aggiornato con il Decreto n.11 del 17 luglio 2009, *Modifiche ed integrazioni al decreto del Commissario delegato n.3 del 16 aprile 2009 recante "Individuazione dei comuni danneggiati dagli eventi sismici che hanno colpito la provincia di L' Aquila ed altri comuni nella regione Abruzzo il giorno 6 aprile 2009"*, e successivi aggiornamenti.

Fig. 5-6 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, *La sequenza sismica de L'Aquilano – Aprile 2009*, http://www.ingv.it

Fig. 7 Fonte dati: DBMI08aq (database macrosismico di riferimento per la compilazione del CPTI08aq), Gruppo di lavoro CPTI 2008, *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI08aq)*, aprile 2009, INGV, Bologna. Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G. and Valensise G., *Catalogo dei forti terremoti 461 a.C.-1997*, 2007, http://storing.ingv.it/cfti4med. Elaborazione grafica dell'autore

Fig. 8 http://emidius.mi.ingv.it/DBMI08, DBMI08aq (database macrosismico di riferimento per la compilazione del CPTI08aq), Gruppo di lavoro CPTI (2008), *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI08aq)*, aprile 2009, INGV, Bologna

Fig. 9-10 Sito internet regione Abruzzo http://www.regione.abruzzo.it/xcartografia/

Fig. 11-12 Foto dell'autore, 2009

Fig. 13 Disegni dell'autore

Fig. 22 Foto dell'autore, 2009

Fig. 25 Documentazione fotografica dello stato ante sisma su www.maps.google.it

Fig. 26 Foto dell'autore, 2009

Fig. 27-28-29-30 Disegni dell'autore

Fig. 31-32-33-34-35-36-37 Foto e disegni dell'autore, 2010

Fig. 38-39-40-41-42 Elaborati prodotti durante il seminario didattico "Villa Sant'Angelo. Dalla conoscenza alla ricostruzione", Villa Sant'Angelo, L'Aquila, 8-13 marzo 2010

Fig. 43-44 Disegni dell'autore

Fig. 45-46 Elaborati prodotti durante il seminario didattico "Villa Sant'Angelo. Dalla conoscenza alla ricostruzione", Villa Sant'Angelo, L'Aquila, 8-13 marzo 2010

Fig. 47-48 Elaborati prodotti durante il seminario didattico "Villa Sant'Angelo. Dalla conoscenza alla ricostruzione", Villa Sant'Angelo, L'Aquila, 8-13 marzo 2010

Fig. 49-50 Foto dell'autore, 2010

Fig. 51-52-53 Disegni dell'autore

Fig. 54-55-56-57 Disegni dell'autore

Fig. 58-59-60-61 Disegni dell'autore

Fig. 73 www.europancorsi.com

Fig. 74 www.unplitrapani.it/Pro_Loco_Gibellina.htm

Fig. 75 www.cattedraledinoto.it

Fig. 76 www.daniel-libeskind.com

Fig. 77 Disegni dell'autore

ELENCO DELLE PUBBLICAZIONI E DELLE ATTIVITÀ SVOLTE DURANTE IL DOTTORATO

Pubblicazioni

- Carocci C.F., Cattari S., Circo C., Indelicato D., Tocci C., "A methodology for approaching the reconstruction of historical centres heavily damaged by 2009 L'Aquila earthquake", in *Structural Analysis of Historic Constructions, Periodical of Advanced Materials Research, Vols. 133-134, 2010, pp 1113-1118, Trans Tech Publications, Switzerland, doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.133-134.1113*

- Carocci C.F., Cattari S., Circo C., Indelicato D., Tocci C., "A methodology for approaching the reconstruction of historical centres heavily damaged by 2009 L'Aquila earthquake", in *The Structural Analysis of Historical Constructions 2010*, SAHC 2010, Shanghai, China, October 6-8 2010

- Carocci C.F., Circo C., Indelicato D., Lagomarsino S., Cattari S., Stagno G., Cifani A., Martinelli A., Castellucci A., Lemme A., Liris M., Martegiani F., Mazzariello A., Milano L., Morisi C., Petracca D., Tocci C., "Una metodologia per la conservazione di centri storici gravemente danneggiati dal sisma: la rimozione delle macerie e la messa in sicurezza di Villa Sant'Angelo (AQ")", in *Sicurezza e conservazione nel recupero dei Beni Culturali colpiti da sisma. Strategie e tecniche di ricostruzione ad un anno dal terremoto abruzzese*, Venezia, 8-9 Aprile 2010

- Carocci C.F., Costa M., Borgia C., Circo C., Indelicato D., Marino M., Tocci C., Lagomarsino S., Cattari S., Cianci F., Dal Bò A., Degli Abbati S., Ottonelli D., Romano C., Rossi M., Serafino N., Stagno G., Cifani A., Martinelli A., Castellucci A., Lemme A., Liris M., Martegiani F., Mazzariello A., Milano L., Morisi C., Petracca D., Pittaluga D., Vecchiatini R., "Una metodologia per la conservazione di centri storici danneggiati dal sisma: rilievo costruttivo e del danno, indagini ed indicazioni per il recupero di Casentino (AQ)", in *Sicurezza e conservazione nel recupero dei Beni Culturali colpiti da sisma. Strategie e tecniche di ricostruzione ad un anno dal terremoto abruzzese*, Venezia, 8 - 9 aprile 2010

- Fianchino C., Sciuto G., Circo A., Indelicato D., "Modelli progettuali per il raffrescamento e il riscaldamento passivo negli edifici", in Fianchino C. e Sciuto G., a cura di, *Materiali e procedimenti innovativi per la sostenibilità in edilizia*, ROMA, Anabiblo edizioni, p. 87-111, ISBN 978-88-96542-02-6, 2009

- Fianchino C., Sciuto G., Circo A., Indelicato D., "Sistemi per il raffrescamento e il riscaldamento in edifici contemporanei", in Fianchino C. e Sciuto G., a cura di, *Materiali e procedimenti innovativi per la sostenibilità in edilizia*, ROMA, Anabiblo edizioni, p. 113-135, ISBN 978-88-96542-02-6, 2009

- Indelicato D., - Manfredi G., Dolce M. Editors - Lagomarsino S., Magenes G., "Evaluetion and Reduction of the Vulnerability of Masonry Building", in *The state of Earthquake Engineering Reserch in Italy: the ReLUIS - DPC 2005-2008 Project*, Doppiavoce, Napoli, 2009, p. 1-50, ISBN/ISSN: 987-88-89972-14-4, partecipante Unità di Ricerca

- Indelicato D., "Metodologia di lettura per la riduzione della vulnerabilità sismica di edifici murari storici in aggregato: l'isolato di S.Giuseppe al Transito", in *Quinto Congresso Internazionale Ar.Tec. IL SISMA ricordare, prevenire, progettare"*, Facoltà di Ingegneria di Messina, 18-21 novembre 2009, Alinea editrice, Città Di Castello, p. 503-512, ISBN/ISSN: 978-88-6055-460-4

- Indelicato D., "Valutazione e riduzione della vulnerabilità sismica degli aggregati edilizi nei centri storici", in *Quinto Congresso Internazionale dell'Ar.Tec, Giornata di studio CODAT L'attività di ricerca nel Dottorato*, Università degli Studi di Messina, 18-21 Novembre 2009, Alinea editrice, Città Di Castello, p. 233-236, ISBN/ISSN: 978-88-6055-459-8

- Lagomarsino S, Magenes G. Coordinatori, Carocci C. Responsabile, Daniele G, Indelicato D., Marino M, Neri F, Tocci C. Gruppo Di Ricerca, *Conclusione del piano triennale del Progetto ReLUIS-DPC 2005-2008.TASK 1– Edifici in aggregato/SUBTASK 1.1– Classificazione tipologica degli aggregati e dei meccanismi di danno*, Poster illustrativo dei risultati della ricerca, Napoli, 1-3 aprile 2009

- Carocci C, Indelicato D., "Seismic safety and preservation of historical urban texture: a study case in Catania", in *proceeding of Seismic risk and rehabilitation of stone masonry housing*, Horta, Faial, Azores Islands, 9-13 July 2008, Oliveira, Costa, Nuns, p. 231-235, ISBN/ISSN: 978-989-20-1235-3

- Carocci C, Indelicato D., "Seismic safety and preservation of historical urban texture: a study case in Catania", poster in *Seismic risk and rehabilitation of stone masonry housing*, Horta, Faial, Azores Islands, 9-13 July 2008

- Carocci C. F. Indelicato D., "Fase di conoscenza dell'aggregato edilizio: dalla lettura alla individuazione delle vulnerabilità e delle resistenze", p. 1-15, Rapporto di ricerca RELUIS (Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica), allegato alla rendicontazione scientifica del III anno della Unità di ricerca n.16 (Siracusa) coordinatore scientifico Caterina F. Carocci, 2008

- Carocci C. F., Indelicato D., "Vulnerabilità sismica di edifici murari storici in aggregato:l'isolato di San Giuseppe al Transito", sta in XIII Congresso Anidis. Bologna, 28 Giugno - 2 Luglio 2008, abstract di comunicazione

- Carocci, C., Indelicato, D., "Il comportamento sismico degli aggregati edilizi storici. L'isolato di San Giuseppe al Transito a Catania", *Seminario Internazionale Le risorse territoriali nei paesi del Mediterraneo. Il ruolo dei beni culturali e ambientali tra tradizione e innovazione*, Siracusa, 3-4 marzo 2008

- Indelicato D., "Osservazioni e rilievi sul costruito storico di Motta Camastra (Messina)", poster presentato al *IV Forum Internazionale Le città del Mediterraneo*, Università Mediterranea di Reggio Calabria, 27-29 Maggio 2008

- Indelicato D., "Un aggregato nel quartiere Spirito Santo", in Carocci C.F., a cura di, *Conoscere per abitare. Un seminario di studio su Motta Camastra*, Lombardi editore, Siracusa, 2008, p. 96-121, ISBN/ISSN: 88-7260-171-1

- Indelicato D., "Valutazione e riduzione della vulnerabilità sismica di edifici murari storici in aggregato" in *L'attività di ricerca nel Dottorato: ambiti metodi e*

prospettive, CODAT. Università degli studi di Pavia, 17 settembre 2008, TCP, Pavia, 2008, p. 233-236, ISBN/ISSN: 978-88-86719-65-0

- Indelicato D., "Valutazione e riduzione della vulnerabilità sismica di edifici murari storici in aggregato", poster presentato alla *Giornata di studio CODAT, L'attività di ricerca nel Dottorato: ambiti, metodi e prospettive*, Università degli Studi di Pavia, 17 Settembre 2008

- Carocci C, Indelicato D., Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica (RELUIS),Progetto esecutivo 2005 – 2008, Progetto di ricerca N.1, "Valutazione e riduzione della vulnerabilità di edifici in muratura" Allegato 1.1_UR16_01. Casi di studio., p. 1-36, Rendicontazione Scientifica 2° anno, Dicembre 2007

Premi e riconoscimenti

- Indelicato D., "Metodologia di lettura per la riduzione della vulnerabilità sismica di edifici murari storici in aggregato: l'isolato di San Giuseppe al Transito", **Premio Giovani Ricercatori**, 21 Novembre 2009, Premio conseguito al *Congresso Ar.Tec. sul tema Il Sisma, ricordare, prevenire, progettare*, tenutosi a Messina presso la Facoltà di Ingegneria dal 19 al 21 Novembre 2009

- Indelicato D., "Sicurezza e Conservazione della città storica in zona sismica. L'isolato della chiesa di San Giuseppe al Transito a Catania", Tesi di Laurea in Architettura, A.A 2005-2006, 23 Ottobre 2009, **Menzione d'onore** al *Premio Gubbio 2009 Interventi sul patrimonio edilizio e/o iniziative gestionali ed organizzative nel quadro di strategie di riqualificazione di ambiti urbani o territoriali*.

Partecipazione ad attività didattica

- A.A. 2009/2010. Attività di tutorato all'interno del Laboratorio di Restauro dell'Architettura A, IV anno del Corso di Laurea Specialistica in Architettura dell' Università degli studi di Catania, titolare del corso Prof. Arch. C.F. Carocci

- A.A. 2008/2009. Attività di tutorato all'interno del Laboratorio di Restauro dell'Architettura B, IV anno del Corso di Laurea Specialistica in Architettura dell' Università degli studi di Catania, titolare del corso Prof. Arch. P. Copani

- A.A. 2008/2009. Attività di tutorato all'interno del corso di Caratteri costruttivi degli edifici storici, II anno del biennio di specializzazione in Restauro dell'architettura, Università degli studi di Catania, Facoltà di Architettura, titolare del corso Prof. Arch. C.F. Carocci

- A.A. 2007/2008. Attività di tutorato all'interno del Laboratorio di Restauro dell'Architettura B, IV anno del Corso di Laurea Specialistica in Architettura dell' Università degli studi di Catania, titolare del corso Prof. Arch. C.F. Carocci

Partecipazione ad attività di ricerca

- Partecipazione alla Ricerca Nazionale PRIN 2008 "Protocolli operativi per la valutazione e la riduzione del rischio sismico di grandi edifici civili (teatri ed edifici ad aula)", Responsabile Scientifico Prof.ssa Arch. Caterina F. Carocci

- Partecipazione alla Ricerca Nazionale PRIN 2007 "Soluzioni innovative per progettazione di sistemi con elevata capacità di climatizzazione naturale mutuate da architetture spontanee e tipi edilizi tradizionali", Responsabile Scientifico Prof. Ing. Corrado Fianchino

- Partecipazione al Progetto di Ricerca finanziabile con fondi di Ateneo 2007 dal titolo "Sicurezza e conservazione delle città storiche in area sismica", Responsabile Scientifico del programma di Ricerca Caterina F. Carocci

- Tutor per il seminario didattico "Dalla conoscenza alla ricostruzione", Coordinamento C.F. Carocci, M. Zampilli. Università degli studi di Catania, Facoltà di Architettura di Siracusa, Università degli Studi di Roma Tre, Facoltà di Architettura, Villa Sant'Angelo, L'Aquila, 8-13 marzo 2010

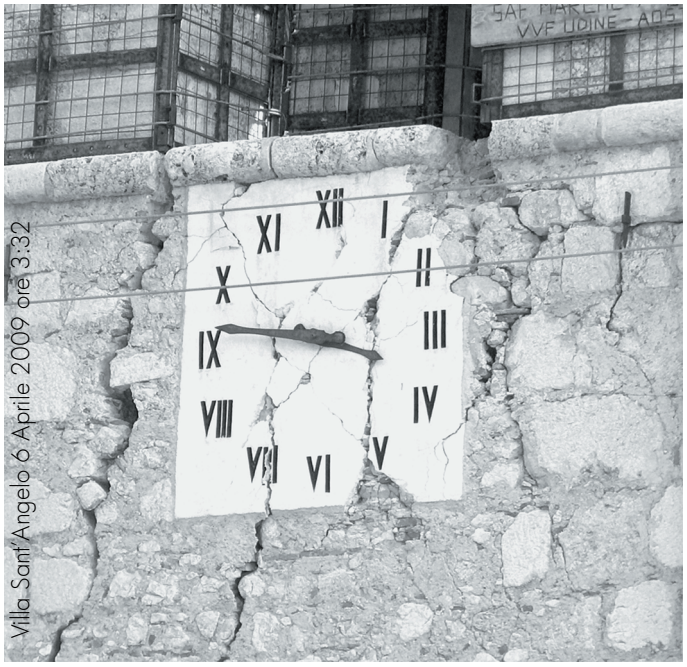
- Tutor per il seminario di studio "Osservazioni sul campo e rilievo della tecnica costruttiva nel centro storico di Motta Camastra", Università di Catania, Facoltà di Architettura, coordinamento Prof. P.Copani, Motta Camastra, 16-20 aprile 2009

- Tutor per il seminario di studio "Osservazioni sul campo e rilievo della tecnica costruttiva nel centro storico di Motta Camastra", Università di Catania, Facoltà di Architettura, coordinamento Prof.ssa C.F. Carocci, Motta Camastra, 18-22 aprile 2008

- Università di Genova (DICAT), Università di Catania (ASTRA), Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto per le Tecnologie delle Costruzioni (CNR-ITC), "Attività di studio finalizzata al recupero dei centri storici di Casentino (Sant'Eusanio Forconese) e Villa Sant'Angelo (L'Aquila). Rilievo e interpretazione del danno, finalizzati alla stesura di un codice di pratica per gli interventi di riparazione, miglioramento sismico e ricostruzione", Coordinamento delle attività: S. Lagomarsino, C.F. Carocci, C. Tocci, S. Cattari; gruppo di lavoro: A. Lemme, A. Castellucci, M. Liris, F. Martegiani, A. Mazzariello, L. Milano, C. Morisi, D. Petracca (CNR-ITC sede dell'Aquila), G. Stagno, F.Cianci, A.Dal Bò, S. Degli Abbati, D. Ottonelli, C. Romano, M. Rossi, N.Serafino (DICAT, Università di Genova); C. Borgia, C. Circo, M. Costa, D. Indelicato, M. Marino (ASTRA - DAU Università di Catania)

Attività di tirocinio/stage

- Tirocinio presso il Comune di Catania – Direzione Lavori Pubblici - Servizio Protezione Civile. Oggetto del tirocinio: "Applicazione della metodologia di ricerca elaborata nell'ambito del Dottorato di Ricerca a un caso-studio scelto all'interno del contesto urbano di Catania",Titolo dell'esercitazione: "Valutazione e riduzione della vulnerabilità sismica di un aggregato edilizio sensibile nel centro storico di Catania. L'isolato di San Filippo Neri". Tutor interno Prof. Ing. G. Sciuto; Tutor Aziendale Geom. D. Polimeni



Villa Sant'Angelo 6 Aprile 2009 ore 3:32

"converrete che, per esempio, la natura non aveva affatto riunito in quel luogo ventimila case di sei o sette piani, e che se gli abitanti di quella grande città fossero stati distribuiti più equamente sul territorio e alloggiati in edifici di minor imponenza, il disastro sarebbe stato meno violento o, forse, non ci sarebbe stato affatto"

JEAN - JACQUES ROUSSEAU

Lettera a Voltaire sul disastro di Lisbona, 18 agosto 1756