



UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA



UNIVERSITA' DELLA CALABRIA

Dipartimento di Ingegneria Informatica, Modellistica, Elettronica e Sistemistica

Scuola di Dottorato

Scienza e Tecnica "Bernardino Telesio"

Indirizzo

Recupero e Tutela del Patrimonio Culturale

CICLO

XXVII

TITOLO TESI

**IL SISTEMA ANTISISMICO BORBONICO:
ANALISI STORICA, MECCANICO-COSTRUTTIVA E
SPERIMENTALE**

Settore Scientifico Disciplinare ICAR 19

Direttore: Ch.mo Prof. (Roberto BARTOLINO)

Firma _____

Supervisore: Ch.mo Prof. (Raffaele ZINNO)

Firma _____

Dottorando: Dott. (Nicola RUGGIERI)

Firma _____

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare tutti coloro che mi hanno aiutato nella realizzazione della mia tesi.

Il Professor Zinno per il supporto scientifico ed economico per la realizzazione dei test di laboratorio e soprattutto per "aver creduto" nella campagna sperimentale.

I correlatori, Professor Ceccotti, Professor Tampone e Professor Totaro, per aver seguito, consigliato e revisionato con grande pazienza l'intero lavoro.

Grazie di cuore ai tecnici del CNR Ivalsa di San Michele per la loro pazienza e professionalità: a Mario e a Max per l'attività di coordinazione; ad Andrea per la supervisione e la perfetta co-progettazione della prova; a Maria Giovanna per l'attività di diffusione del comunicato stampa (il movimento neo-borbonico di Napoli a momenti mi nomina barone); a Martino per il montaggio dell'interessante video (non poteva essere altrimenti dopo "la paletta").

Un ringraziamento al Professor Crisci per la disponibilità datami sia nella consulenza tecnico-scientifico che in quella relativa all'utilizzo dei laboratori del Dipartimento di Scienza della Terra. Alla Dottoressa Donatella Barca, per le precise analisi e interpretazioni petrografiche e al Dottor Domenico Miriello per l'esame chimico svolto sulle malte. Al Dottor Bonamini del CNR Ivalsa per l'identificazione della specie legnosa dei campioni di Mileto.

Grazie al Professor Burgarella e al Professor Tempesta, per l'interesse mostrato verso i miei studi e le consulenze, relativamente all'analisi storica per il primo e a quella di tipo meccanico per il secondo.

Un ringraziamento al personale della Biblioteca Provinciale di Cosenza in particolare alla Dottoressa Nicoletti, a quello della Biblioteca Nazionale di Napoli e della Biblioteca di Soriano Calabro per il grande contributo pratico alle ricerche.

SOMMARIO

Il 1783 segna per la Calabria una data infausta, un terremoto dalle proporzioni inaudite colpisce la Calabria Ulteriore con repliche che continuarono incessantemente per circa tre anni. Le conseguenze furono catastrofiche intere città completamente rase al suolo, circa 30.000 morti a cui si aggiunsero ulteriori 5.000 per gli stenti successivi al terremoto, l'economia della regione completamente annientata. Ferdinando IV in maniera tempestiva attua una serie di iniziative tra le quali la promulgazione delle Istruzioni generali, il primo regolamento antisismico di Europa. Tale codice rappresenta la sintesi dei più avanzati principi della nascente ingegneria antisismica, come il perseguire la connessione delle pareti murarie e quindi l'"effetto scatolare", la regolarità in pianta ed in alzato, la riduzione della massa sismica.

L'attuazione delle Istruzioni Borboniche è rappresentata da un sistema costruttivo costituito da muratura rinforzata da telai; una tecnologia che si fonda su un sapere costruttivo intorno alle strutture di legno esistente in Calabria da tempo immemore. Infatti, già durante la civiltà italica, modellini fittili scoperti a nord di Sibari, testimoniano un utilizzo d'intelaiature irrigidite da croci di sant'andrea; altri esempi di edifici a struttura lignea, oltre a quelli di epoca romana caratterizzati dall'opus craticium presenti nel Regno di Napoli e a costruzioni relative alla prima conquista Normanna, sono descritti in alcune cronache d'epoca del XVII e XVIII secolo.

La riedificazione successiva all'evento tellurico del 1783 prevede una buona organizzazione degli interventi, vera e propria protezione civile ante-litteram e lo sviluppo di diverse tipologie di edifici "baraccati", tra i quali, forse il più noto, quello incluso nel trattato di Vivenzio e indicato come "Case formate di legno".

I catastrofici terremoti del 1905 e 1908 "collaudarono" il sistema, che diede prova di una corretta risposta ad azioni di tipo dinamico mostrando, unico dissesto comune alle diverse costruzioni Borboniche analizzate, per apparecchi murari non eseguiti a regola d'arte, il ribaltamento di porzione di paramento murario esterno.

La campagna sperimentale, che ha incluso prove cicliche quasi statiche su riproduzioni in scala 1 a 1 di parete Borbonica, ha mostrato un appropriato comportamento del campione sotto azioni cicliche, in cui la muratura, almeno per spostamenti di non importante entità, viene riportata al cessare dell'azione della forza orizzontale, nella posizione originaria o prossima grazie alla presenza del telaio ligneo caratterizzato da un'alta flessibilità. Il telaio di legno non ha mostrato alcuna deformazione non reversibile o lesione per tutta la durata della prova, mentre piccole lesioni nei giunti di malta ed espulsioni di pietra hanno caratterizzato il riempimento di muratura.

La durabilità del sistema risulta limitata nonostante i diversi accorgimenti suggeriti dalle Istruzioni, a causa dell'alto tenore di umidità generato nell'apparecchio murario e quindi di condizioni favorevoli per attacchi di tipo biotico.

INDICE

Ringraziamenti	<i>i</i>
Sommario	<i>ii</i>
Indice	<i>iv</i>
Indice delle figure	<i>viii</i>
Indice delle tabelle	<i>xiii</i>

CAPITOLO 1.

1.1	Introduzione.....	1
1.2	<u>Obiettivi</u>	5
1.3	<u>Metodologia</u>	6
1.4	<u>Outline</u>	7

CAPITOLO 2. *Il terremoto del 1783*

2.1	<u>Abstract</u>	9
2.2	<u>Inquadramento storico</u>	9
2.3	<u>Nel dì 5 febbraio 1783</u>	11
2.4	<u>Empirismo e "sismologia"</u>	14

CAPITOLO 3. ***Istruzioni e Suggestimenti*** Il primo regolamento antisismico d'Europa

3.1	<u>Abstract</u>	16
3.2	<u>Introduzione</u>	16
3.3	<u>Il primo codice antisismico di Europa</u>	18
3.3.1	<u>Considerazione sugli effetti prodotti sugli edifici della Calabria dall'ultimo Tremoto e i suoi mezzi per ripararli e</u>	

	<i>prevenirli per lo avvenire</i>	21
3.3.2	<i>Capitolo I°, Istruzioni sul metodo da tenersi nella riedificazione de paesi diruti della Calabria</i>	22
3.4	<i>Applicazione nell'edilizia corrente e monumentale</i>	27
3.5	<i>Conclusioni</i>	29

CAPITOLO 4. Genesi e sviluppo in Calabria alla fine del '700

4.1	<i>Abstract</i>	31
4.2	<i>Tradizione costruttiva lignea in Calabria</i>	31
4.3	<i>L'"invenzione" di D. Francesco La Vega</i>	35
4.4	<i>L'organizzazione della ricostruzione e lo sviluppo del sistema antisismico borbonico</i>	38
4.5	<i>Le Varianti</i>	41
4.6	<i>Baracca e casa baraccata</i>	47
4.7	<i>Conclusioni</i>	49

CAPITOLO 5. Un "Antenato": Murature intelaiate nella civiltà Italica

5.1	<i>Abstract</i>	51
5.2	<i>Introduzione</i>	51
5.3	<i>Le ciste fittili a casa/tempietto di Guardia Perticara</i>	52
5.4	<i>La carpenteria lignea rappresentata</i>	55
5.5	<i>Il materiale costruttivo</i>	56
5.6	<i>L'intelaiatura resistente</i>	57
5.7	<i>L'orizzontamento di copertura</i>	60
5.8	<i>I nodi</i>	64
5.9	<i>Deformazioni e dissesti</i>	66
5.10	<i>Conclusioni</i>	68

CAPITOLO 6. I fondamenti teorici La trattatistica nel '700

6.1	<i>Abstract</i>	70
-----	-----------------------	----

6.2	<u>Introduzione</u>	71
6.3	<u>I fondamenti teorici antisismici</u>	73
6.4	<u>Il legno e la connessione delle pareti murarie</u>	75
6.5	<u>La riduzione della massa sismica e l'abbassamento del baricentro</u>	81
6.6	<u>La regolarità geometrica</u>	86
6.7	<u>I fondamenti compositivi, costruttivi e di "calcolo"</u>	88
6.7.1	<u>Caratteri compositivi e della distribuzione</u>	88
6.7.2	<u>Tecnica costruttiva, materiali e "calcolo"</u>	90
6.8	<u>Conclusioni</u>	96

CAPITOLO 7. Interpretazione meccanico-costruttiva del modello di Giovanni Vivenzio

7.1	<u>Abstract</u>	97
7.2	<u>Premessa</u>	97
7.3	<u>"Istoria e teoria de' tremuoti in generale ed in particolare di quelli della Calabria e di Messina"</u>	99
7.4	<u>Il modello di costruzione antisismica</u>	99
7.4.1	<u>Il complesso ed il suo comportamento al sisma</u>	100
7.4.2	<u>L'intelaiatura lignea</u>	103
7.4.3	<u>I nodi</u>	109
7.5	<u>Conclusioni</u>	110

CAPITOLO 8. Campagna sperimentale

8.1	<u>Abstract</u>	113
8.2	<u>Stato dell'arte, comportamento nel "piano"</u>	113
8.3	<u>Introduzione</u>	114
8.4	<u>Configurazione del modello</u>	117
8.5	<u>Apparecchiatura di prova</u>	122
8.6	<u>Protocollo di carico</u>	124
8.7	<u>Analisi della progressione del danno</u>	125

8.8	<i>Risultati sperimentali</i>	128
8.9	<i>Confronto tra diversi sistemi anti-sismici con telai di legno</i>	137
8.10	<i>Conclusioni</i>	140

CAPITOLO 9. Degradazioni tipiche

9.1	<i>Abstract</i>	141
9.2	<i>Introduzione</i>	141
9.3	<i>Degradazioni causate da terremoti anteriori al 1783</i>	142
9.4	<i>Degradazioni causate dai terremoti del 1905 e 1908</i>	143
9.5	<i>Espulsione di materiale nella parte sommitale</i>	143
9.6	<i>Ribaltamento limitato di porzione di muratura</i>	147
9.7	<i>Degradazioni biotiche: il caso studio di Mileto (Vv)</i>	150
	9.7.1 <i>La "baracca" vescovile</i>	150
	9.7.2 <i>Degrado biotico</i>	152
9.8	<i>Conclusioni</i>	154

CAPITOLO 10. Degradazioni tipiche: analisi parametrica del comportamento "fuori dal piano"

10.1	<i>Abstract</i>	156
10.2	<i>Stato dell'arte</i>	156
10.3	<i>Introduzione</i>	157
10.4	<i>Analisi della stabilità muraria</i>	158
10.5	<i>Conclusioni</i>	160

CAPITOLO 11. Sviluppi futuri..... 162

BIBLIOGRAFIA.....163

APPENDICE.....177

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 1 Il Palazzo di Knossos con evidenziate le intelaiature lignee (disegno di E. Tsakanika)	1
Fig. 2 Antalya, Turchia	2
Figg. 3 - 4 Antalya ed Istanbul, esempi di Bagdadi, sistema costruttivo costituito da telai lignei ricoperti da tavole nella faccia esterna ed interna della parete.	2
Fig. 5 L'intelaiatura lignea di un edificio Pombalino (Meireles, 2012)	3
Fig. 6 Edificio Pombalino, intelaiature lignee disposte nelle tre direzioni irrigidiscono la muratura perimetrale (Mascheranas, 2004)	3
Fig. 7 Sistema costruttivo di Lefkas, con dissesto tipico sotto azioni sismiche perpendicolari alla parete (Makarios e Demosthenous, 2006)	4
Fig. 8 Casa tradizionale Haitiana (Vieux-Champagne et al., 2014)	5
Fig. 9 La Calabria Ulteriore in una cartina del '700 (Vivenzio, G., 1783)	10
Fig. 10 Seminara dopo il terremoto del 1783 (da Sarconi, 1784)	12
Fig. 11 La carta di Eliseo della Concezione (da Sarconi, 1784)	13
Fig. 12 "Istruzioni per gli Ingegneri commissionati nella Calabria Ulteriore", Napoli, Biblioteca nazionale Vittorio Emanuele III, Biblioteca Provinciale	18
Fig. 13 "Considerazione sugli effetti prodotti sugli edifizii della Calabria dall'ultimo Tremoto e i suoi mezzi per ripararli e prevenirli per lo avvenire" Napoli, Biblioteca nazionale Vittorio Emanuele III, Biblioteca Provinciale	21
Fig. 14 "Istruzioni sul metodo da tenersi sulla riedificazione dé Paesi diruti della Calabria", Napoli, Biblioteca nazionale Vittorio Emanuele III, Biblioteca Provinciale	23
Fig. 15 Area archeologica di Francavilla Marittima (Cs). In primo piano buche per l'alloggiamento della struttura lignea del tempio	32
Fig. 16 Ercolano. Parete in "Opus craticium"	37

Fig. 17 Ercolano. Particolare del nodo della parete in "Opus craticium"	37
Figg. 18 – 19 Mileto (Vv), Palazzo Vescovile. Particolare dell'intelaiatura lignea	38
Fig. 20 La ricostruzione di Polistena (Rc) (da Sarconi, M., 1784)	42
Fig. 21 Inquadramento territoriale (da Osanna, 2008)	53
Fig. 22 Il modellino denominato "A" conservato nel Museo di Metaponto (Pz)	54
Fig. 23 Il modellino denominato "B" conservato nel Museo della Siritide, Policoro (Pz)	54
Fig. 24 Il modellino denominato "C" nel conservato Museo della Siritide, Policoro (Pz)	55
Fig. 25 Il modellino denominato "D" (Russo, 2000)	55
Fig. 26 Il modellino denominato "E" (da Bianco, 1998)	57
Fig. 27 Il modellino denominato "F"	57
Fig. 28 Ipotesi ricostruttiva di una capanna italica	61
Fig. 29 Ipotesi ricostruttiva di una capanna italica, l'ossatura portante lignea	62
Figg. 30 - 31 Ipotesi ricostruttiva di una capanna italica, l'ossatura portante lignea. Esploso	63
Fig. 32 Il modellino denominato "B", particolare dei nodi relativi alla proto-capriata	64
Fig. 33 Rilievo del modellino denominato "B"	66
Fig. 34 Particolare del cinematismo evidenziato nel modellino denominato "B"	67

Fig. 35 Du Hamel Du Monceau H.L., 1764, De l'exploitation des bois, Guerin et Delatour, Paris	73
Fig. 36 Van Musschenbroek P., 1745, Institutiones Physicae conscriptae in usus academicos, Venetiis	73
Fig. 37 Wolfii, C., 1738, Elementa Matheseos Universae, Genevae	76
Fig. 38 Vivenzio, G., 1783, Istoria e Teoria de' Tremuoti in generale, Napoli	84
Fig. 39 Sanvitali, F., 1755, Elementi di architettura civile, Brescia	87
Fig. 40 Doppia intelaiatura con elementi trasversali di collegamento (diatoni) e nodi del tipo a coda di rondine, non si rilevano ferramenti aggiuntivi. Tale struttura risulta simile a quella proposta da Vivenzio successivamente al terremoto che colpì la Calabria e la Sicilia nel 1783 (da Leupold J., 1726, Teatrum pontificiale, Leipzig)	91
Fig. 41 Vivenzio, G., 1788, Istoria de' tremuoti avvenuti nella provincia della Calabria ulteriore e nella città de Messina nell'anno 1783 e di quanto nella Calabria fu fatto per lo suo risorgimento fino al 1787, Stamperia Regale, Napoli	99
Fig. 42 Case formate di legno Tav. III (Vivenzio, G., 1783)	101
Fig. 43 Case formate di legno Tav. I (Vivenzio, G., 1783)	102
Fig. 44 Case formate di legno Tav. II (Vivenzio, G., 1783)	103
Fig. 45 Ricostruzione virtuale del prototipo di Vivenzio	104
Fig. 46 Ricostruzione virtuale del prototipo di Vivenzio, particolare della zona d'angolo	105
Fig. 47 Ricostruzione virtuale del prototipo di Vivenzio	106
Fig. 48 Ricostruzione virtuale del prototipo di Vivenzio. Particolare diatono di collegamento tra i due telai paralleli	108
Fig. 49 Ricostruzione virtuale del prototipo di Vivenzio. Particolare nodo pilastro membratura orizzontale telaio	110
Fig. 50 L'edificio vescovile di Mileto (Vv)	115

Fig. 51 Campione di intonaco prelevato dall'edificio vescovile di Mileto	116
Fig. 52 Campione di chiodo prelevato dall'edificio vescovile di Mileto	116
Fig. 53 Particolare dell'apparecchio murario dall'edificio vescovile di Mileto	117
Fig. 54 Foto al microscopio ottico a luce polarizzata di un campione prelevato dal palazzo vescovile di Mileto	117
Fig. 55 Analisi chimica su un campione di malta prelevato dal palazzo vescovile di Mileto	118
Figg. 56 - 57 Ricostruzione virtuale di un pannello murario del palazzo vescovile di Mileto	119
Fig. 58 Campione di parete Borbonica da sottoporre a prova ciclica quasi statica	120
Fig. 59 Campione di parete Borbonica durante la realizzazione	121
Fig. 60 Chiodo piramidale utilizzato, replica dei chiodi prelevati nel palazzo Vescovile	121
Fig. 61 Inerte quarzoso-granitico, dimensioni tra 2 e 3 mm	121
Fig. 62 Disposizione dell'apparecchiatura di prova	123
Fig. 63 Il protocollo di carico utilizzato (UNI EN 12512:2003 Strutture di legno – Metodi di prova – Prove cicliche di giunti realizzati con elementi meccanici di collegamento)	124
Fig. 64 Rotture e deformazioni in prossimità dello spostamento ultimo. In evidenza l'uplift dei due "maschi" laterali. (in rosso lesioni; in blu distacchi tra telaio ligneo e riempimento in muratura)	125
Fig. 65 Schema della divisione del campione in 4 sub-pannelli, due "maschi" (1 e 2), una "traversa" (3) e un blocco alla base della bucatura (4)	126
Fig. 66 Retro del modello con evidenziato in primo piano la fuoriuscita dalla muratura della membratura lignea orizzontale dovuta a instabilità per compressione eccentrica	127

Fig. 67 La curva d'inviluppo relativa al campione costituito da telai di legno e riempimento in muratura	130
Fig. 68 Energia dissipata riferita al drift (campione telaio ligneo e riempimento in muratura)	132
Fig. 69 Rapporto di smorzamento viscoso equivalente (EVDR) riferito al drift (campione telaio ligneo e riempimento in muratura)	132
Fig. 70 Degrado di resistenza riferito al drift (campione telaio ligneo e riempimento in muratura)	133
Fig. 71 Uplift misurato alle due estremità laterali del campione	133
Fig. 72 Campione di sistema costruttivo Borbonico costituito da solo telaio ligneo	134
Fig. 73 Curva d'inviluppo relativa al campione solo telaio ligneo	135
Fig. 74 Rapporto di smorzamento viscoso equivalente (EVDR) riferito al drift (campione solo legno)	136
Fig. 75 Degrado di resistenza riferito al drift (campione solo legno)	136
Fig. 76 (sulla sinistra) Diagramma forza-spostamento relativa ad un campione di muratura Dhajji Dewari (Ali et al., 2013) e (sulla destra) la curva d'inviluppo riguardante un campione di "Gaiola" testato all'Università di Minho. Le due tipologie di intelaiatura lignea evidenziano una risposta predominante flessionale, con, relativamente al provino di Dhajji una perdita di resistenza	138
Fig. 77 (sulla sinistra) Diagramma forza-spostamento di un pannello di "Gaiola" testato a Lisbona (Meireles and Bento, 2010) e di muratura Borbonica, (sulla destra). Cicli maggiormente "allargati" caratterizzano il campione Portoghese	138
Fig. 78 Schema della tipologia di danno	144
Fig. 79 Reggio Calabria, 1908	145
Fig. 80 Stefanaceni (Vv), 1905	146
Fig. 81 Palmi (Rc), 1908	147

Fig. 82 Seminara (Rc), 1908	149
Fig. 83 Monteleone (attuale Vibo Valentia), 1908	149
Fig. 84 Il Palazzo vescovile di Mileto, prospetto est	150
Fig. 85 Il Palazzo vescovile di Mileto, particolare dell'intelaiatura lignea	151
Fig. 86 Il Palazzo vescovile di Mileto, elementi lignei posta sulla parte sterna dell'apparecchio murario	152
Fig. 87 Avanzato stato di degrado del nodo di un telaio dovuto ad attacco biotico	153
Fig. 88 Avanzato stato di degrado dell'attacco montante trave del solaio dovuto ad attacco biotico	154
Fig. 89 Particolare del cantonale del fabbricato	155
Fig. 90 Fori di sfarfallamento nella membratura interna alla muratura	155
Fig. 91 Differenti tipologie di sistema Borbonico. Il telaio è posto nella parte interna della muratura (fig. a sinistra) o all'esterna (fig. a destra)	158
Fig. 92 Schema statico e tipologia di nodi del telaio presente nell'edificio vescovile di Mileto (Vv)	160

INDICE DELLE TABELLE

Tab. 1 Analisi chimica su campioni di malta prelevati dal palazzo vescovile di Mileto	119
Tab. 2 Principali risultati della prova (L_{max} =Maximum Load; L_u =Ultimate Load; D_{max} =Maximum Displacement; D_u = Ultimate Displacement) (campione telaio ligneo e riempimento in muratura)	129
Tab. 3 Energia dissipata riferita allo spostamento (campione telaio ligneo e riempimento in muratura)	131

Dove non indicato il riferimento le immagini e le tabelle sono di proprietà dell'autore.

CAPITOLO 1.

1.1 Introduzione

La consapevolezza dell'utilizzo di sistemi costruttivi ad intelaiatura lignea per la difesa dalle azioni sismiche degli edifici ha origini antiche.

Esempi sono riscontrabili in area minoica, come a Knossos e Phestos risalenti a circa il 2130-2110 a.C. e ad Akrotiri e Thera, relativamente ad alcuni fabbricati multipiano con datazione anteriore al XVII secolo a.C. (Tampone, 1996).

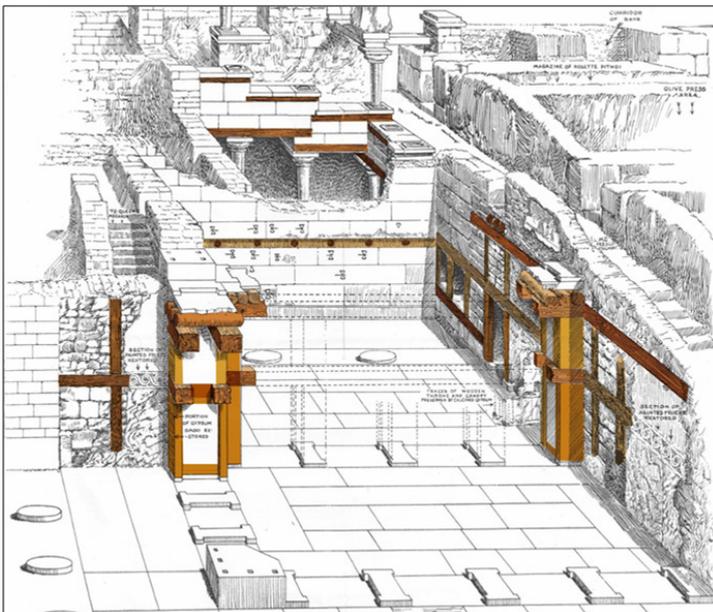


Fig. 1 Il Palazzo di Knossos con evidenziate le intelaiature lignee (Cortesia di Eleftheria Tsakanika)

Tuttavia in Italia meridionale esempi più antichi erano già presenti in aree di cultura Enotria, testimoniati da modellini fittili scoperti a nord di Sibari che riproducono edifici ad intelaiatura lignea controventati da croci di sant'andrea (Ruggieri, 2011).

Simili tipologie costruttive si ritrovano nel sistema delle "case lunghe" (neolitico in area danubiana) e, come successiva evoluzione, nelle costruzioni "pan de bois" o "colombage" in Francia e "Fachwerkbau" in Germania.

Altri impieghi di rinforzi lignei annegati nella muratura si ritrovano nell'architettura romana con l'*opus craticium*, forse non proprio ideato con finalità antisismiche mostra tuttavia innegabili potenzialità nella risposta ad azioni di tipo dinamico grazie alla sua poco significativa massa e duttilità. (Ruggieri, 2005).

In India il sistema a muratura intelaiata è definito *Dahjji Dewari*, caratterizzato da varie disposizioni delle membrature dei telai, le cui prime realizzazioni risalgono al XIII secolo (Langhenbach, 2009)



In Turchia esempi in muratura con catene lignee denominati *Himiş*, di tipo vernacolare e legati alla facilità di approvvigionamento del legno, hanno dato un'appropriate risposta al terremoto che ha colpito Kocaeli e Duzce nel 1999.

Fig. 2 Antalya, Turchia

La presenza di elementi orizzontali lignei nella muratura oltre a garantire una certa solidarietà tra le pareti ortogonali e a migliorare il comportamento del pannello per azioni fuori dal piano, in regime statico, può assorbire eventuali cedimenti differenziali dovuti a caratteristiche di portanza ridotte del terreno di fondazione.

Nella stessa area geografica, appartenente anche in questo caso all'architettura tradizionale, sono i *Bağdadi*, edifici caratterizzati da telai di legno ricoperti sia nella faccia interna che esterna da tavole sempre lignee.



Figg. 3 - 4 Antalya ed Istanbul, esempi di Bağdadi, sistema costruttivo costituito da telai lignei ricoperti da tavole nella faccia esterna ed interna della parete.

Nel XVIII secolo continua la realizzazione di fabbricati con ossatura lignea. Dopo il terribile sisma del 1755 che colpì Lisbona, con l'intento di realizzare edifici antisismici, il governo Portoghese ordinò la ricostruzione con l'impiego di una gabbia lignea, *Gaiola*, posizionata internamente alle pareti, al fine di irrigidire e migliorare il comportamento tridimensionale degli edifici in muratura durante il terremoto.



Fig. 5 L'intelaiatura lignea di un edificio Pombalino (Meireles, 2012)

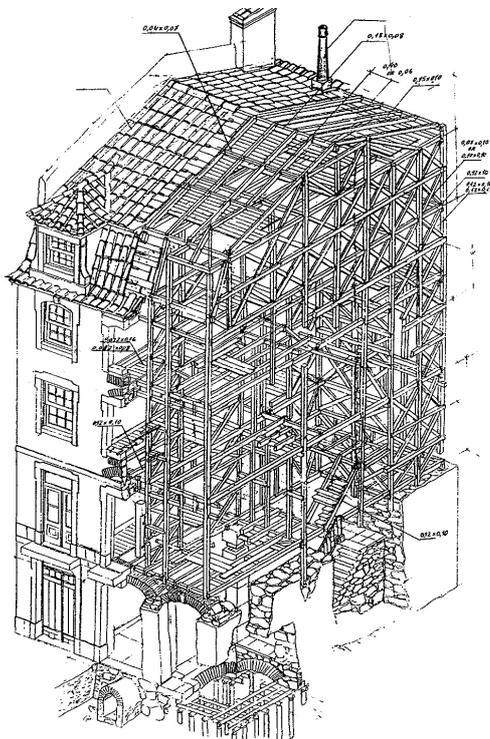


Fig. 6 Edificio Pombalino, intelaiature lignee disposte nelle tre direzioni irrigidiscono la muratura perimetrale (Mascheranas, 2004)

L'Età dei Lumi si caratterizza anche per la nascita e lo sviluppo di un altro sistema costruttivo caratterizzato da muratura con telai di legno. Dopo il terremoto del 1783, basandosi su una sviluppata trattatistica antisismica e

su esempi esistenti realizzati anteriormente all'evento tellurico, in Calabria, la ricostruzione viene eseguita con edifici a struttura portante costituita da muratura rinforzata da intelaiature lignee, precisa indicazione contenuta nelle Istruzioni Borboniche, da ritenersi il primo regolamento antisismico d'Europa.

Interessante è il sistema sviluppato a Lefkas, in Grecia, con edifici caratterizzati da un piano terra costituito da un telaio di legno completamente distaccato dalla muratura perimetrale che, per azione perpendicolare alla parete, quest'ultima tende a ribaltare senza alcun contributo strutturale da parte delle membrature lignee. Due sistemi strutturali indipendenti, in cui il telaio di legno se sufficientemente rigido nel piano, grazie anche ai nodi irrigiditi, ma senza controventamenti siano essi lignei o di muratura, costituisce una struttura di sicurezza che preserva la vita delle persone nell'eventualità di collasso della muratura. Il livello superiore è realizzato interamente da elementi di legno con un conseguente apporto di massa ridotta. Tale modalità costruttiva largamente ispirò il codice antisismico redatto dal governo inglese nel 1827, per la ricostruzione proprio di Lefkas dopo il terremoto del 1821.

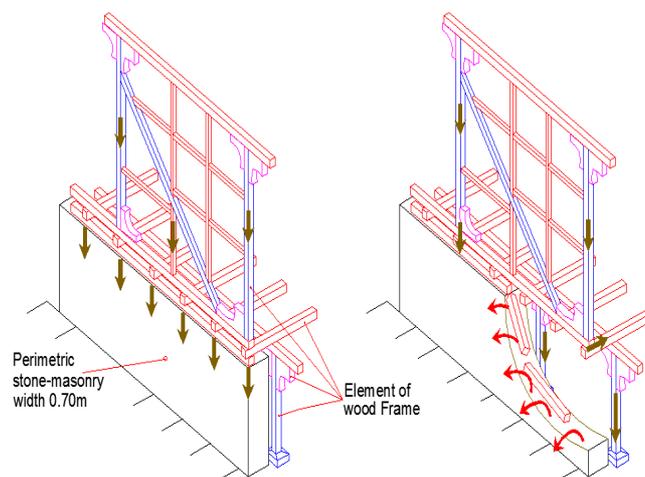


Fig. 7 Sistema costruttivo di Lefkas, con dissesto tipico sotto azioni sismiche perpendicolari alla parete (Makarios e Demosthenous, 2006).

Una tecnica costruttiva simile, con unicamente il primo piano con telai di legno, è riscontrabile in alcuni esempi in Spagna, *Entramados*, realizzati tra XVII e XIX secolo.



Fig. 8 Casa tradizionale Haitiana (Vieux-Champagne et al., 2014)

In Haiti la tipologia *Gingerbread*, basata sulla tecnica costruttiva delle *colombages*, fu sviluppata alla fine dell'Ottocento. Esempi caratterizzati da riempimento in laterizi e membrature, relativamente all'identificazione tassonomica, appartenenti a Pino caraibico o in alternativa Abete; sono presenti in particolare nella città di Port-au-Prince.

Un altro sistema tradizionale riscontrabile nel continente americano e precisamente in Perù è il *Quincha* il cui sviluppo fu particolarmente importante durante il XVIII secolo. Tale tecnica costruttiva è costituita da telai di legno riempiti da canne e fango ed è applicata solitamente ad edifici ad un solo piano fuori terra.

1.2 Obiettivi

L'analisi del comportamento meccanico e l'interpretazione costruttiva è uno degli scopi principali del presente lavoro.

Il dettagliato rilievo di un caso studio ha fornito indicazioni sulla tecnologia in uso relativa alla realizzazione di costruzioni ed in particolare sui ritrovati volti a mitigare la vulnerabilità al terremoto degli edifici. Tali analisi di tipo visivo e qualitative sono state confermate ed avvalorate dai test ciclici svolti nei laboratori del CNR.

Inoltre altro obiettivo è stato quello di raccogliere e sistematizzare la poca pubblicistica relativamente all'analisi storica a cui aggiungere nuovi documenti inediti e deduzioni sull'evoluzione del sistema, dagli esempi precedenti al terremoto del 1783 a le varie tipologie che caratterizzarono la riedificazione successivamente al catastrofico evento.

La ricerca si è posta l'obiettivo di decodificarne anche le degradazioni tipiche del sistema, sia per quanto riguarda la durabilità del materiale e soprattutto relativamente ai danni derivanti da azioni di tipo sismico.

Gli obiettivi sopra descritti rappresentano la volontà di una conoscenza dettagliata del sistema costruttivo Borbonico, una conoscenza approfondita di diversi aspetti del manufatto storico finalizzata ad una corretta gestione e conservazione di tale importante patrimonio culturale.

1.3 Metodologia

Analisi storica

Lo studio si è basato, sulla letteratura esistente, su cronache, tecniche costruttive e trattati del Settecento e precedenti, confrontando i dati desunti con esempi di costruzioni intelaiate realizzate.

Analisi costruttiva e dei materiali

L'edificio vescovile di Mileto (Vv), caso studio emblematico realizzato secondo i dettami tecnici della normativa Borbonica, ha fornito indicazioni sulle caratteristiche costruttive; con lo stesso intento sono state analizzate le tavole e le *Spiegazioni* a corredo del testo di Vivenzio. Inoltre, altri dati sono stati desunti dalla lettura di trattati in uso nel Settecento nelle università napoletane e riguardanti i metodi per la difesa contro i terremoti. Analisi di laboratorio su diversi campioni di malta e di pietra prelevati da edifici Borbonici sono stati effettuati nei laboratori del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Unical. Elementi lignei, al fine dell'identificazione della specie legnosa, sono stati sottoposti a prove, nei laboratori del CNR di Trento.

Analisi del comportamento meccanico

Prove cicliche quasi statiche su modelli di sistema Borbonico in scala 1 a 1 sono state svolte al CNR di Trento, fornendo indicazioni circa il comportamento ad azioni cicliche di una parete costituita da muratura e telai di legno.

Analisi delle degradazioni tipiche

Tali analisi si è fondata su un dettagliato rilievo dello stato di conservazione dei materiali dell'edificio vescovile di Mileto ed in particolare sulle caratteristiche delle degradazioni di tipo biotico occorrenti ai materiali lignei.

Inoltre basandosi su foto d'archivio e cronache storiche descriventi dissesti relativi ad edifici Borbonici dopo i terremoti del 1905 e 1908 è stata fornita un'interpretazione delle degradazioni tipiche causate da eventi sismici.

1.4 Outline

Oltre all'introduzione, il capitolo 1, la tesi è divisa in undici capitoli oltre un appendice.

Il capitolo 2 contiene un inquadramento storico descrivendo gli eventi salienti che hanno caratterizzato il XVIII secolo nel Regno di Napoli; quindi l'analisi si concentra sul terremoto del 1783, epicentro, sciame sismico e conseguenze in termini di vittime e costi. Il capitolo presenta anche una breve disamina sulle conoscenze relative alla nascente moderna sismologia.

Il capitolo 3 analizza gli interventi effettuati da Ferdinando IV immediatamente dopo il terribile terremoto ed in particolare fornisce una lettura, in chiave meccanico-costruttiva, delle Istruzioni Borboniche. Inoltre fornisce, deduzione dalla lettura di documenti storici, datazione del regolamento antisismico, per molti aspetti oscura o quanto meno dubbia.

Il capitolo 4 presenta un'analisi storica del sistema costruttivo descrivendone gli antecedenti. Inoltre viene analizzata l'organizzazione disposta da Ferdinando IV per la ricostruzione e lo sviluppo del sistema Borbonico in diverse tipologie.

Il capitolo 5 analizza dal punto di vista tecnico-costruttivo un "curioso" ritrovamento a nord di Sibari, modellini fittili che riproducono edifici con intelaiatura lignea e croci di sant'andrea.

Il capitolo 6 presenta lo stato del sapere intorno all'ingegneria antisismica nel Regno di Napoli e quindi i fondamenti teorici del sistema Borbonico.

Il capitolo 7 fornisce indicazioni circa l'interpretazione meccanico-costruttiva del prototipo antisismico proposto da Vivenzio, un'organizzazione strutturale suggerita in particolare per gli edifici di tipo pubblico.

Il capitolo 8 contiene la descrizione delle prove cicliche quasi statiche svolte a Trento nei laboratori del CNR, comprendente l'analisi del modello e delle sue caratteristiche dimensionali e dei materiali, il protocollo di carico utilizzato, l'analisi qualitativa della progressione del danno con l'aumentare degli spostamenti, l'interpretazione dei risultati ed in particolare la definizione della curva d'involuppo, dei valori di rigidezza, snervamento, energia dissipata etc. Inoltre, viene fornita una comparazione con altre campagne sperimentali eseguite su murature con intelaiature lignee.

Il capitolo 9 descrive le degradazioni tipiche mostrate nei terremoti antecedenti al 1783¹ e quelle osservate dopo i disastrosi sismi che colpiscono la Calabria nel 1905 e 1908. Inoltre vengono analizzate anche le degradazioni tipiche relative ai materiali ed in particolare quelle derivanti da aggressioni da funghi e insetti.

Nel capitolo 10 viene fornita un'analisi parametrica della stabilità delle pareti murarie realizzate con la tecnologia Borbonica per *azioni fuori del piano*.

Il capitolo 11 include indicazioni circa future ricerche riguardanti il sistema antisismico Borbonico.

L'appendice contiene una proposta di scheda per il rilievo di edifici ad intelaiatura lignea e l'applicazione di tale *template* al caso studio dell'edificio vescovile di Mileto.

¹ Relativamente ad edifici ad intelaiatura lignea realizzati precedentemente al terremoto del 1783.

CAPITOLO 2.

Il terremoto del 1783

Key words: Regno di Napoli; 1783 earthquake; Seismological analysis

2.1 Abstract

The Calabria region, ruled by Ferdinando IVth the Borbone, was strike by a catastrophic earthquake, characterized by several shocks. Many scientists visited the raised to the ground villages and with an empirical attitude provided indications about the cause and the in general characteristics of the earthquake, namely giving a proper seismological analysis about the terrible telluric event.

2.2 Inquadramento storico

L'arrivo di Carlo III dalla Spagna, nel 1734, comportò una riorganizzazione militare con il trasferimento a Napoli di molti ufficiali spagnoli giunti al seguito del sovrano². Il sovrano, figlio primogenito di Elisabetta Farnese e di Filippo V di Spagna, diede un forte impulso alla crescita, anche culturale, della città di Napoli. Borbone per via paterna, Carlo poteva vantare una parentela con il re Sole; e per via materna una discendenza da papa Paolo III, e in generale l'appartenenza ad una famiglia di insuperati collezionisti e cultori dell'arte. In pochi anni il giovane re fece costruire la Reggia di Capodimonte (1735), per ospitarvi la collezione di opere d'arte che sua madre gli aveva donato, il Teatro San Carlo (1737) e fondò la Reale Accademia di Marina (1735), il Real Collegio delle Scuole Pie (1737), la Reale Accademia Militare di Artiglieria (1744), la Reale Accademia del Corpo de San Carlo (1737) e la Reale Accademia del Corpo degli Ingegneri (1754), finalizzata alla formazione tecnico-scientifica degli ingegneri militari.

Una politica di dispotismo illuminato quindi, in cui inoltre realizza istituti

² I fratelli La Vega ad esempio, impegnati prima negli scavi di Ercolano e poi, Francisco in particolare, nella ricostruzione della Calabria dopo il sisma del 1783.

scientifici di avanguardia come l'orto botanico e l'Osservatorio astronomico³ e avvia in maniera "sistematica" le grandi ricerche archeologiche che riportarono alla luce le città romane di Pompei, Ercolano e Stabia. Né meno imponenti furono i suoi interventi nel sociale, annullando il ricorso alla tortura e la censura alla libertà di stampa.

Altri impulsi di riforma si scontrarono con la nobiltà e clero retrogradi non raggiungendo purtroppo gli esiti sperati, tuttavia riuscì a sopprimere l'inquisizione.

Il 6 ottobre del 1759 con atto di cessione della Monarchia di Re Carlo, il trono passò in favore del figlio Ferdinando e, data la sua giovane età 9 anni, la reggenza venne affidata al toscano Tanucci.

Con la maggiore età, re Ferdinando sposò Maria Carolina d'Asburgo, Arciduchessa d'Austria e per volere di questa allontanò Tanucci, a causa del suo orientamento troppo filo-spagnolo.



Il 1764 la Calabria venne colpita da una carestia e la diffusione di altri morbi epidemici con gravi conseguenze sulla popolazione (Del Pozzo, 1857).

Fig. 9 La Calabria Ulteriore in una cartina del '700 (Vivenzio, G., 1783)

³ Guidato dall'ambasciatore inglese William Hamilton, avviò una campagna di misurazione e di studi nell'area vesuviana al fine di predire le eruzioni.

Nel 1778 arrivò a Napoli Acton, diventando primo ministro, operò immediatamente misure per stimolare l'apertura al panorama internazionale. Infatti, per aggiornarsi gli ufficiali napoletani furono inviati nelle più avanzate corti di Europa (Pezzone, 2010).

Nel 1780 Ferdinando impiantò a Reggio Calabria uno stabilimento per la filatura della seta.

2.3 Nel dì 5 febbraio 1783

«...Spuntava l'alba del 5 febbraio 1783... in men del baleno, valli e monti si squarciarono, città e villaggi qua e là si sfecero, inabissarono e tutto il popoloso e ferace territorio della Piana, fu ravvolto nel terrore e nel nulla...» (Grimaldi 1863). De Dolomieu individua il *centro dell'esplosione*⁴ nell'area intorno a Santa Cristina; un'area mesosismica caratterizzata da una forma ellittica disposta da NW a SE e, delimitata dall'attuale Nicotera e Monterosso, ad est segue il crinale dell'Appennino, mentre a sud si spinge fino a Capo Peloro. Interessante è la carta di Eliseo della Concezione a corredo dell'*Historia* di Sarconi, in cui è mostrata una mappa con indicato il grado di danneggiamento dei singoli paesi, precursore della prima mappa di

⁴ De Dolomieu attribuisce l'origine del terremoto, a differenza di Vivenzio con cui intercorre una polemica epistolare, al "fuoco" al di sotto del suolo. Il medico napoletano e in generale i fisici partenopei invece, basandosi sulle diffuse teorie di Bertholon, fanno risalire l'origine del terremoto all'elettricità. Alla disputa tra *elettricismo e sotterranee accensioni* partecipa anche il calabrese, nato a Cerisano, Dottor Nicolò Zupo, propendente per l'evento tellurico come «...l'azione manifesta del fluido elettrico...». Hamilton abbraccia la teoria del fuoco sotterraneo che attraverso caverne si trasferisce dall'Etna dove si origina. Altri scienziati basandosi sulle teorie di Aristotele dello *Pneuma* attribuivano a venti sotterranei la causa dello scuotimento sismico con il conseguente mezzo, riportato in epoca romana da Plinio «...ventos in causa esse non dubium reor...», durante il lungo periodo medioevale con poche variazioni e diffuso ancora nel 18° secolo, dei pozzi, "sfiatatoi" con il fine di liberare il sottosuolo di tali vapori senza alcuna grave conseguenza.

pericolosità sismica italiana redatta da Mercalli⁵ (Ferrari e Ricciardi, 2014).



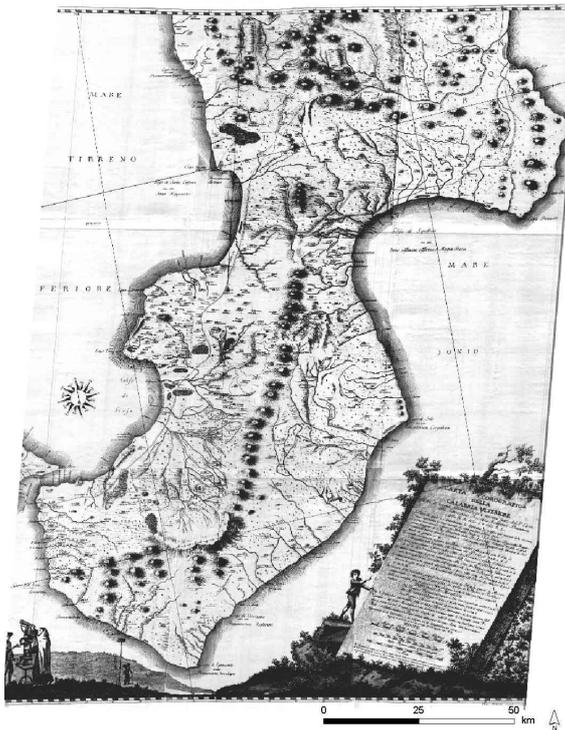
Fig. 10 Seminara dopo il terremoto del 1783 (da Sarconi, 1784)

Il parossismo del 5 febbraio «...durò due minuti...» (Dolomieu, 1784) con contemporaneo «...strepido sordo e interiore si fece sentire...» (Dolomieu, 1784) ebbe come conseguenza la generazione di un'onda anomala i cui flutti «...vennero a battere sul lido di Scilla e che coprono la punta del Faro di Messina...» attribuita ad una frana scaturita dall'evento tellurico, «...si sarebbe sperimentato lo stesso effetto nel golfo di Palmi ... nella spiaggia di Tropea ...».

Le scosse continuarono con repliche di forte intensità tanto «...che non fu

⁵ Mercalli nel 1882 redasse la prima sintetica mappa della sismicità italiana, ma solo successivamente al terremoto del 1908 lo stato italiano, con il Regio Decreto del 18 aprile 1909 n.193, attua una prima vera e propria zonizzazione sismica includente come paesi a rischio di terremoto la Calabria meridionale e la Sicilia dell'est. Tuttavia c'è da evidenziare che i Borbone, ante litteram, propongono una sorte di micro-zonizzazione sismica, attraverso la meditata scelta dei luoghi della ricostruzione da parte di Winspeare e La Vega in funzione della morfologia e delle caratteristiche geologiche.

possibile il tenerne un calcolo esatto e distinto...» (Sarconi, 1784) . Fino ad arrivare al 28 marzo «...verso l'un'ora e mezzo o circa...» (Sarconi, 1784), quando una scossa di notevole intensità si abbatte nuovamente sulla Calabria con epicentro in questo evento, variato, posizionato verso settentrione nei monti che occupano «...l'istmo ...tra il Golfo di Sant'Eufemia e quello di Squillace ... fu preceduto da un rumore sotterraneo fortissimo...» (Dolomieu, 1784).



Le conseguenze furono catastrofiche, secondo i calcoli di Vivenzio su una popolazione di circa 400.000 abitanti, le vittime furono circa 30.000, a cui si aggiunsero decessi dovuti alle malattie ed agli stenti per un numero totale superiore ai 35.000, non migliore sorte toccò ai sopravvissuti «...circa un milione di abitanti (compreso la Sicilia) senza patria e senza speranza, abbruttiti dal dolore...» (Grimaldi, 1863).

Fig. 11 La carta di Eliseo della Concezione
(da Sarconi, 1784)

Il parossismo annientò l'economia, i danni alle case furono valutati da Pignatelli in 31.250.000 ducati.

I terremoti, presentandosi in un lungo periodo sismico con «...scosse numerosissime per tre anni, durante i quali ne contarono circa 1650...» (Mercalli, 1897), comportarono modifiche anche nella morfologia del territorio con la formazione di nuovi laghi, «...innumerevoli larche⁶ fenditure fino a 3 palmi...» (Onorati, 1783) e spostamenti del suolo orizzontali

⁶ Anche nell'accezione di fenditura nel terreno.

addirittura tra i 500 e 700 mt (Guerricchio et al., 2007).

2.4 Empirismo e "sismologia"

Nei giorni successivi al terremoto, con la diffusione della notizia nell'intera Europa, sono diverse le personalità che visitano i luoghi colpiti dal terremoto per ragioni di studio. La Calabria diventa luogo deputato per ricercare o confermare teorie sismologiche appena sviluppate grazie ad una variata visione del terremoto non più come punizione divina ma come fenomeno scientifico⁷, in cui si attribuisce la causa fondamentale dei crolli e delle vittime alla «..negligenza e trascuratezza degli uomini...» (Vivenzio, 1783). Il terremoto quindi può essere indagato con un approccio fenomenologico ed empirico, ancora oggi essenziale per la spiegazione di molti fenomeni, e soprattutto si possono ricercare gli accorgimenti per prevenire vittime e rendere sicura l'abitazione.

L'osservazione, nel pieno spirito illuminista, diventa l'occasione per verificare e consolidare le recenti teorie di Michell (Michell, 1760)⁸ sulla propagazione dell'onda sismica secondo una direzione sferica che, a secondo degli *strati della terra* attraversati, cambia direzione e intensità della scossa. Anche Hamilton, osservando i crolli accaduti agli edifici

⁷ La virata verso un approccio più scientifico del terremoto si ebbe già dopo il sisma che colpì Lisbona nel 1755, fu in questa occasione che si ebbe un grande dibattito di carattere sismologico e sismico in cui diverse personalità denunciarono l'altezza elevata dei fabbricati di Lisbona come causa scatenante i diversi crolli: «...Se gli abitanti di Lisbona invece di vivere accatastati in ventimila case di pietra fossero stati più ugualmente e leggermente alloggiati...» (Milizia, 1781) si sarebbero evitate molte vittime; simile parere mostra Rosseau nel 1756, «...dopo tutto non è la natura che ha ammucciato là ventimila case di sei-sette piani...»

⁸ Precursore di tali teorie è Travagini che nel suo trattato scritto immediatamente dopo il terremoto di Dubrovnik del 1667, propone un modello di diffusione delle onde sismiche tra l'epicentro ed altri punti della superficie terrestre.

calabresi aveva evidenziato una "direzionalità" del sisma⁹. Altro parametro che influenza il "differente vigore" è la morfologia del terreno tanto che «...nella loro propagazione si comunicano con maggior forza ai luoghi montuosi che ai piani...»¹⁰ (Sarti, 1783) teoria che portò i tecnici borbonici a preferire per i paesi da ricostruire siti pianeggianti. Interessante è l'intuizione, ancora di Dolomieu, della causa del fenomeno della liquefazione caratteristico dei terreni argillo-sabbiosi e che in molti siti si presenta nella Calabria Ulteriore, il geologo francese attribuisce tale manifestazione al terreno «...di aumentare la sua densità col diminuire il suo volume, cioè rassettarlo...» (Dolomieu, 1784) aggiungendo che tale "effetti del rassettamento" comportano come conseguenza la fuoriuscita di acque sulfuree dal terreno, fenomeno osservato anche da Hamilton, «...dal terreno, ove prima posavano, erano scaturite fontane d'acqua calda, che si sollevavano ad una considerabile altezza, miste ad una terra di natura ferruginea...» (Hamilton, 1784).

⁹ «...perché la direzione dei terremoti seguita ordinariamente quella dei condotti sotterranei, e se le fabbriche sono situate a traverso di questi, è manifesto che l'urto dei terremoti contro di esse produce maggior fracasso...»

¹⁰ In generale sulla sommità di creste rocciose e sui culmini di rilievi si può riscontrare un'amplificazione locale del sisma.

CAPITOLO 3.

Istruzioni e Suggerimenti

Il primo regolamento antisismico d'Europa¹¹

Key words: 1783 earthquake; Borbone constructive system; Masonry reinforced with timber frames; Building anti-seismic code

3.1 Abstract

The present chapter examine the instructions (Istruzioni e Suggerimenti) issued by order of Ferdinando IV from Borbone, King of Naples, in 1783 soon after the terrible earthquake that hit the Calabria Ulteriore region.

The act, the first European code on constructions in seism prone areas, was drawn by the two supervisors of the public works in Calabria, La Vega and Winspeare. It touches several points of building policy such as hygienic precautions, city planning, measures of civil protection and administrative rules for the distribution of soils for the reconstruction of the ruined estates. The very interesting point is that the document, based on the most advanced theories of the time in the field of seism-resistant constructions, contains updated indications for the best practice of building in a zone with high seismicity. The document suggests to keep low the height of the new buildings and to limit the overhang of eaves and balconies, it forbids the construction of vaults, prescribes the construction of a timber frame to be built into the masonry walls with the aim of connecting the various walls of the building and achieve a box behaviour of the whole construction. Other indications deal with the best practice for increasing the durability of the interior timber frame.

In 1906 the principles of the "Istruzioni" were included in Italy in the Royal decree Norme per la ricostruzione e riparazione degli edifici pubblici.

3.2 Introduzione

Le prime notizie e relazioni sul terremoto giungono nella capitale il 14 di

¹¹ Relativamente ai principi teorici contenuti nel regolamento si faccia riferimento all'analisi dello stato del sapere nel '700 a Napoli affrontata nel capitolo 7

febbraio, la risposta del governo fu pronta con l'invio di vettovaglie e denaro per i primi interventi di sgombero delle rovine. Ferdinando IV nominò suo vicario generale Francesco Pignatelli dei Principi di Strongoli che si recò immediatamente in Calabria¹² accompagnato dagli ingegneri Winspeare e La Vega. Pignatelli «...il di 22 febbraio...» (Vivenzio, 1787) stabilendosi a Monteleone (l'attuale Vibo Valentia) iniziò a dare le prime disposizioni

Nel 1784 il governo borbonico decretò la soppressione degli ordini religiosi e la nomina della Cassa Sacra con l'obiettivo di amministrare e vendere i beni religiosi in favore di realizzazioni per la ricostruzione, anche sotto forma di prestiti per i privati per «...la rifazione del tetto avito...» (Grimaldi, 1863). Altra iniziativa fu la possibilità per i condannati di sconto della pena se si fossero impegnati nella ricostruzione e l'esenzione dei *pesi fiscali* per tutto il territorio calabrese. Altrettanto tempestivamente emanò le Istruzioni un apparato di regole riguardanti vari campi d'intervento post sisma, dalla ricostruzione degli edifici, alla bonifica dei laghi, a raccomandazioni principalmente di carattere igienico sanitario come il ripristino dei cimiteri¹³.

Tale manoscritto composto da 12 elementi contiene documenti appartenenti al lasso temporale compreso tra il 1750 ed il 1805. La copia del codice oggetto di studio appartenne alla biblioteca del Reale Ufficio Topografico, fondata nel 1787 e passò nel 1873, insieme al materiale della biblioteca del

¹² E' curioso come le cronache e i dispacci governativi dell'epoca fanno pochi riferimenti alla Sicilia, anch'essa colpita dal terremoto relativamente all'area del Valdemone, né viene dettagliato intorno alla ricostruzione ed all'utilizzo del sistema costruttivo Borbonico. Debole sembra essere la motivazione che la regione Calabrese sia stata interessata da una maggiore estensione dal terremoto e quindi maggiore necessità di interventi; piuttosto, i Borbone avevano iniziato un processo accentratore a Napoli già con Carlo III ed il trasferimento della corte, l'unità del Regno probabilmente non si era mai avuta, sia i siciliani che i regnanti Borbonici si erano sempre sentiti parte di due stati diversi (da una discussione con il Prof. Filippo Burgarella, Unical).

¹³ Esistevano precise raccomandazioni, precedentemente all'arrivo di Napoleone, già nel '700 nel Regno di Napoli, sulla realizzazione dei *campisanti* lontano dai centri abitati.

Collegio Militare, alla Biblioteca Provinciale, istituita nel 1872, il cui materiale conflù nel 1924 nella Biblioteca Nazionale di Napoli.

3.3 Il primo codice antisismico di Europa

Le *Istruzioni* per la riedificazione sono da ritenersi il primo codice antisismico d'Europa. Tale codice è preceduto da "Suggerimenti" e altre raccomandazioni sotto forma di intenso scambio epistolare, memorie inviate da La Vega e Winspeare al Vicario Generale che ne rappresentano il fondamento teorico e ne delineano i lineamenti normativi delle future *Istruzioni*. Vivenzio nella sua prima edizione de *Istoria* (settembre 1783), non fa alcun riferimento alle Istruzioni, mentre è solo nella seconda edizione (1787), nella descrizione delle varie disposizioni date da Pignatelli, solo prima di partire per Napoli «...il dì I di agosto...» (Vivenzio, 1787) «...fu prescritto dal Vicario Generale sotto rigorose pene...» a cui segue la precisa descrizione dei vari punti inclusi nelle Istruzioni compreso le norme relative «...acciocchè gli edifici potessero per l'avvenire resistere agli scuotimenti della terra ... fu risoluto che i muri avessero nel di dentro ben forti legni,

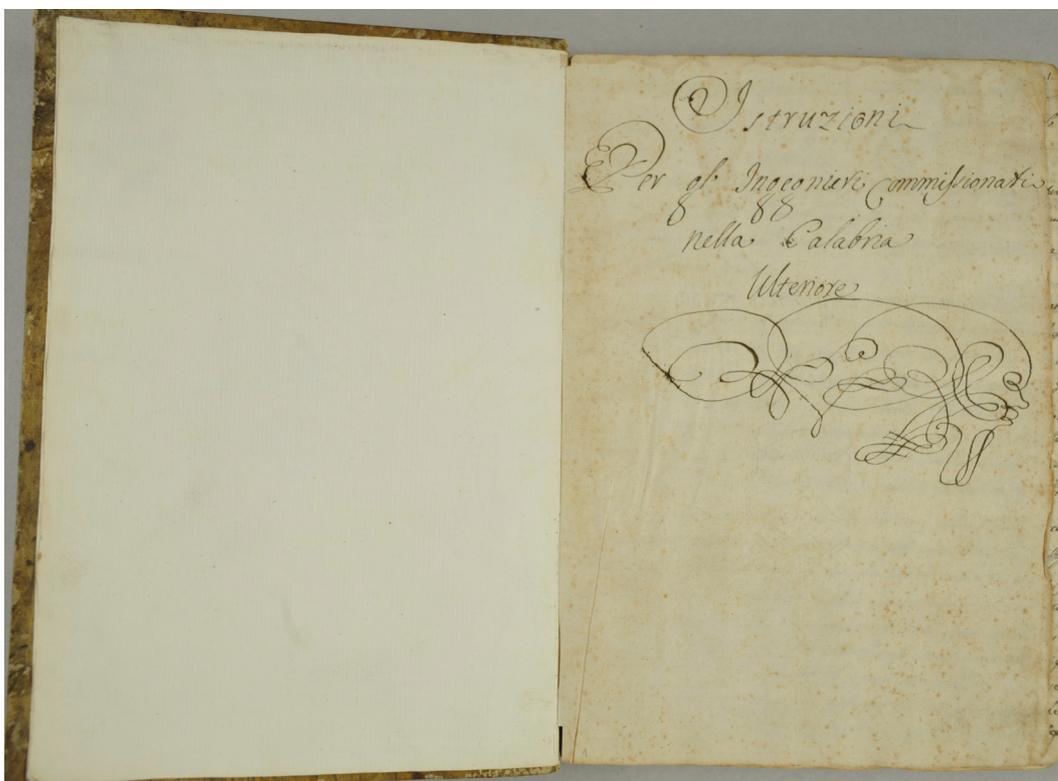


Fig. 12 "Istruzioni per gli Ingegneri commissionati nella Calabria Ulteriore" Napoli, Biblioteca nazionale Vittorio Emanuele III, Biblioteca Provinciale.

e d'intorno una soda fabbrica e contenessero un sol piano da abitare...» (Vivenzio, 1787).

Vivenzio, medico di Ferdinando IV ed illustre erudito del Regno quindi non cita le Istruzioni nella prima edizione di *Historia* e tuttavia, include nello stesso testo un prototipo antisismico *case formate di legno* che, sebbene descriva una tecnica costruttiva assai simile a quella proposta dalle *Istruzioni*, è caratterizzato da alcune differenze. Infatti, i disegni contenuti in Vivenzio si distinguono, relativamente alle norme dettate dai Borbone, principalmente per l'altezza del fabbricato che, a differenza del codice, propone tre livelli oltre sottotetto e per la presenza di una doppia intelaiatura.

La data di promulgazione del codice è incerta, Aricò e Milella propongono con molti dubbi per ammissione degli stessi autori, maggio 1783, basandosi su un documento a firma di La Vega e Winspeare¹⁴; c'è però da evidenziare che se le Istruzioni fossero già circolanti alla data di maggio 1783 è difficile pensare che una personalità come Vivenzio non ne fosse a conoscenza e, ancora meno realistico, che lo stesso medico facesse risalire le Istruzioni, commettendo un errore, solo a pochi giorni precedenti alla partenza di Pignatelli da Monteleone per Napoli avvenuta, sempre secondo Vivenzio, a luglio del 1784.

Si potrebbe allora dedurre, se l'indicazioni di Vivenzio sono esatte, che nel documento scoperto da Aricò il riferimento sono le *memorie*, fondamento tecnico-teorico su cui si basa il codice, che i due ingegneri della ricostruzioni avevano già redatto per le Istruzioni e che, plausibile supposizione, il ritardo con cui diventano *Istruzioni* sia giustificato (già avvenuto tra l'altro con quelle di Reggio) da possibili meditate correzioni e aggiunte da parte dal Vicario Generale.¹⁵

¹⁴ «...una memoria da ambi noi formata doppo l'osservazioni fatte sugli effetti del tremuoto sopra gli edifici diruti e l'istruzioni desunte sui principi adottati per servire di norma alla riedificazione dei nuovi Paesi, 3 luglio 1783...» (Aricò e Milella, 1984)

¹⁵ Inoltre c'è da evidenziare che le Istruzioni riportano nel primo punto che gli «...Ingegneri D. Antonio Wispaer e D. Franco LaVega...» risultano essere

Il manoscritto è composto da 12 capitoli, oltre l'introduzione che riassume il contenuto dell'intero documento e un ultimo scritto con grafia differente e non numerato (*Metodo da praticarsi per la buona riuscita di un'opera a partito*). Il capitolo I° è rappresentato da *Istruzioni sul metodo da tenersi nella riedificazione de' Paesi diruti della Calabria*, seguito da un secondo, con molti articoli rimandanti alle Istruzioni, e dal titolo *Istruzioni per regolare la riedificazione della citta' di Reggio*; il terzo capitolo, *Istruzioni da eseguirsi per lo scolo de' laghi*, fornisce indicazioni di tecnica idraulica sulla bonifica e lo scolo dei laghi formati dopo il terremoto; la restante parte è caratterizzata da raccomandazioni di tipo prettamente igienico-sanitario (*Capitolo quarto, Istruzioni per la riedificazione delle case; Capitolo Quinto, Istruzioni per la costruzione de' campi Santi; Capitolo Sesto Istruzioni per cautelare i sepolchri della Peste*) e per la regolamentazione della distribuzione dei suoli per la riedificazione dei fabbricati (*Capitolo Settimo, Istruzioni per l'acquisto che convien Fare de' Fondi da occuparsi nell'ampliamento, o emigrazione de' paesi della Calabria Ulteriore*). Altri capitoli trattano norme che riguardano il computo del costo delle opere da realizzare, le priorità, "crono-programma", da seguire durante la ricostruzione e i controlli da effettuare alla conclusione dei lavori da parte dell'Ingegnere Direttore (*Capitolo Ottavo, Istruzioni da eseguirsi nell'apprezzo degli Edifizi della cassa Sagra dall'Ispettori, ed Ingegneri Direttori; Capitolo Nono, Istruzioni da eseguirsi dall'Ispettori ed Ingegneri Direttori, per aversi il maggior commodo, e provvedersi ai totali bisogni della Calabria Ulteriore; Capitolo Decimo; A postille che propor si devono al primo oblatore in qualsivoglia partito, che sarà per concludersi, delli quali ricevuta l'offerta a norma della perizia, deve farsene dall'oblatore l'accettata prima di*

sovrintendenti di tutta l'opera di ricostruzione, quindi nel caso che tale documento sia quello scritto dai due tecnici avrebbero dovuto autonomarsi ma soprattutto, a supporto ancora della datazione proposta da Vivenzio continua il periodo le norme sono state «..approvata da S.M...», con probabile tempo trascorso tra la redazione dei documenti degli ingegneri, *memorie* del maggio 1783 e l'approvazione delle Istruzioni di poco precedente a luglio 1784.

divenirsi agl'atti di candela? Capitolo 11, Metodo da consegnarsi le opere complete). Un capitolo a parte è rappresentato dal 12 in cui si fa riferimento all'Ingegnere Mori sovrintendente del ripartimento di Reggio Calabria (Capitolo 12, Minuta per la stipula degl'obblighi dell'opere che si danno a partito dall'Ingegnere Direttore D. Gio. Battista Mori.

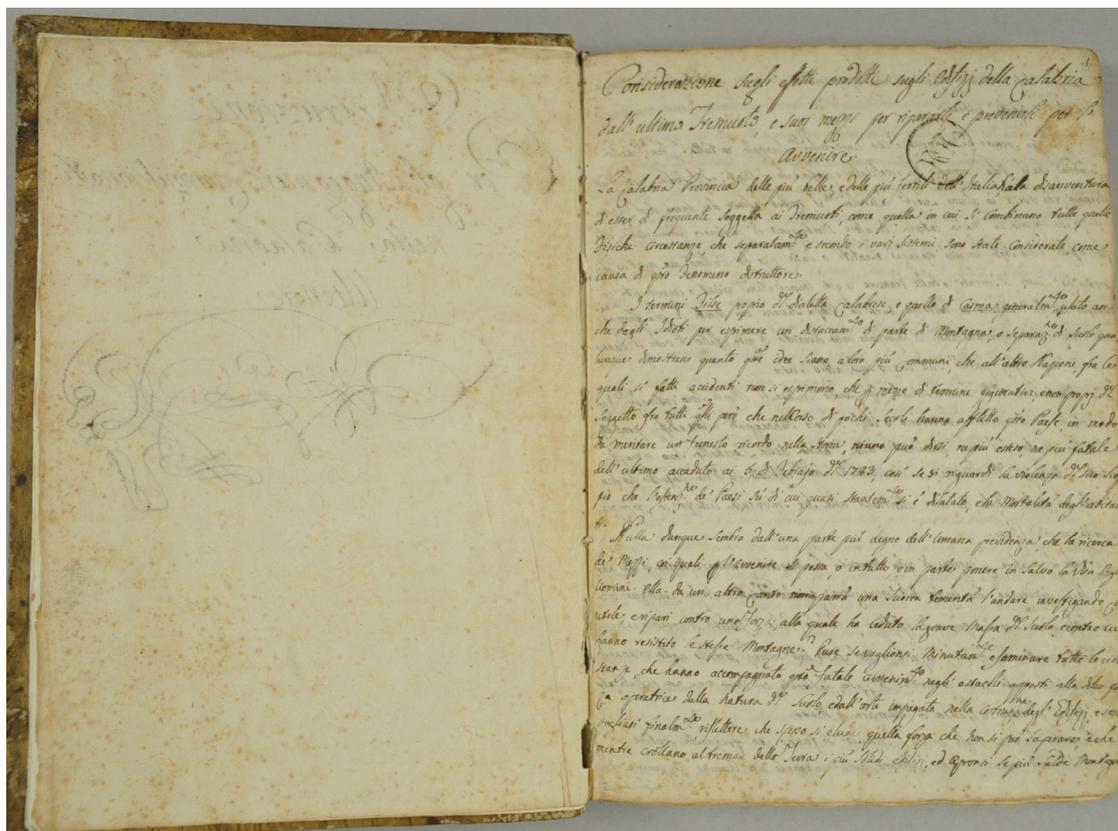


Fig. 13 "Considerazione sugli effetti prodotti sugli edifizii della Calabria dall'ultimo Tremoto e i suoi mezzi per ripararli e prevenirli per lo avvenire" Napoli, Biblioteca nazionale Vittorio Emanuele III, Biblioteca Provinciale.

3.3.1 Considerazione sugli effetti prodotti sugli edifizii della Calabria dall'ultimo Tremoto e i suoi mezzi per ripararli e prevenirli per lo avvenire

Si tratta dell'introduzione al manoscritto in cui sono contemplate considerazioni generali sul terremoto ed in particolare sull'analisi dei mezzi per riparare i danni post sisma e contemporaneamente indicazioni su come prevenirli. La Calabria, amara constatazione, proprio perché più delle altre regioni è soggetta ai terremoti disastrosi «...nulla dunque sembra più degna dell'umana previdenza che la ricerca dei mezzi coi quali l'avvenire si possa o

in tutto o in parte ponere in salvo la vita degli uomini...». Una descrizione degli stravolgimenti morfologici causati al paesaggio dalle scosse del 1783 per, continuando, trattare temi di sismologia come la dipendenza dell'onda sismica dal mezzo attraversato e la conseguente decisa raccomandazione, basandosi sulle osservazioni fatte sul territorio, di particolare attenzione nella scelta del terreno della ricostruzione sulla base di considerazioni di tipo geologico. Aggiunge inoltre, l'autore dell'introduzione, dato che il danno risulta essere distribuito in maniera inversamente proporzionale alla distanza del "centro dell'accensione" diventa naturalmente consequenziale la scelta di realizzare edifici ad una maggiore distanza possibile da questo, basando sull'errata interpretazione di invariabilità dell'epicentro del sisma. Quindi vengono enunciati in maniera sintetica i principi per la sicurezza dell'abitare su cui nelle pagine successive si fonderanno le Istruzioni, tra questi, riscontrabili in numerosi trattati in uso nelle scuole di Napoli, la «...leggerezza del Materiale ... gran coesione delle sue parti...» ed evitando decisamente gli edifici di altezza elevata.

3.3.2 Capitolo I°, Istruzioni sul metodo da tenersi nella riedificazione de' paesi diruti della Calabria

Tale capitolo è costituito da 26 articoli. Il primo punto riporta i nomi degli autori, i teorici del regolamento, Winspeare e La Vega e l'investe ufficialmente della carica di responsabili della ricostruzione e della scelta dei luoghi in cui edificare le nuove città, lontano il più possibile dalle valli e dai siti «cretosi o Arenosi»¹⁶, che avevano mostrato durante il terremoto una vulnerabilità maggiore, con fenomeni di amplificazione locale del sisma. Seguono indicazioni (articoli da 3 a 8) di carattere urbanistico ed igienico-sanitario, con istruzioni di moderna protezione civile, riguardanti le dimensioni delle strade principali e secondarie con il fine di garantire, nell'eventualità di terremoto, la possibilità di una via di fuga non ostacolata dalle macerie dei fabbricati prospettanti sulle strade e al contempo facilitare

¹⁶ I luoghi "arenosi" erano sconsigliati dall'edificazione perché provocavano condizioni di maggiore vulnerabilità dei fabbricati ai terremoti già nel '500 (Albini, et al., 2012).

le operazioni di soccorso nei momenti immediatamente successivi al terremoto.

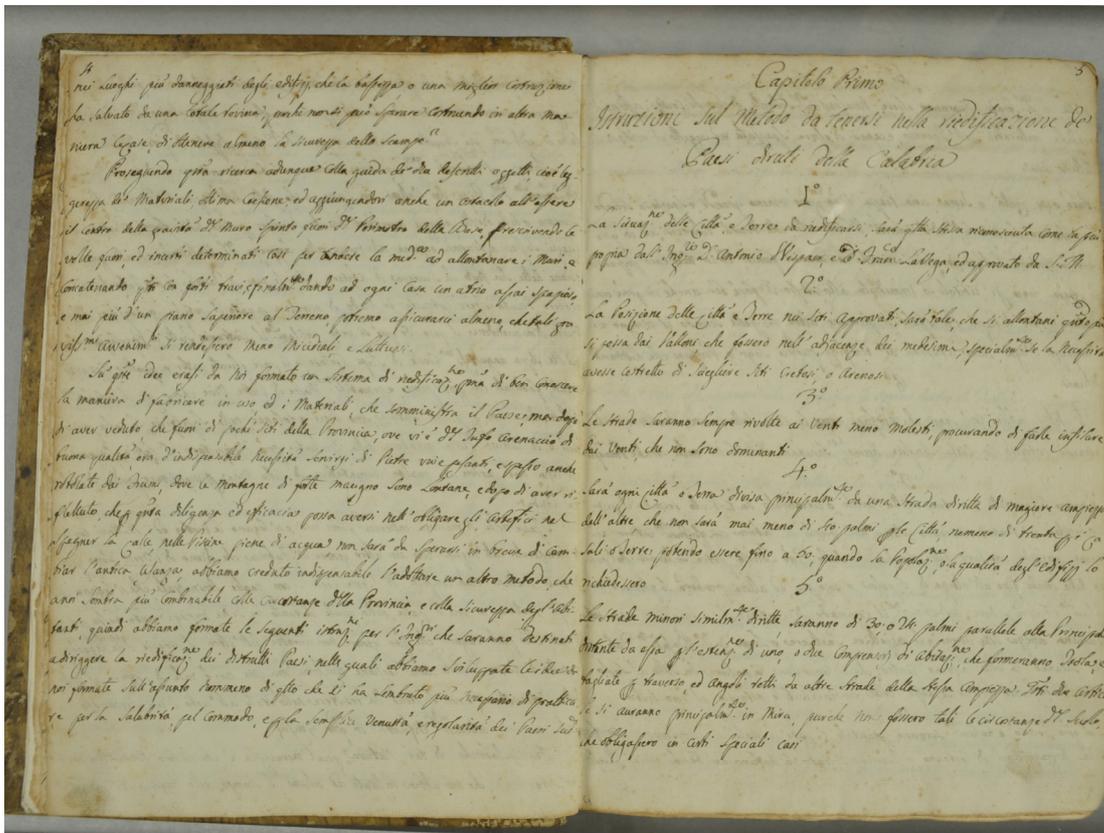


Fig. 14 "Istruzioni sul metodo da tenersi sulla riedificazione de Paesi diruti della Calabria" Napoli, Biblioteca nazionale Vittorio Emanuele III, Biblioteca Provinciale.

L'articolo 9 indica la necessità di un atrio e di una base del fabbricato realizzata esclusivamente in muratura, fondazioni più o meno profonde in ragione della consistenza del terreno, da cui spiccare l'intelaiatura lignea: tale «...zoccolo di fabrica ... potrà sollevarsi dal piano della strada fino a 5 palmi...»¹⁷, un sistema con il fine di isolare la struttura di legno dal terreno, raccomandazione anticipata da Vitruvio per l'*opus craticium*¹⁸, possibile veicolo di umidità e quindi minare la durabilità degli elementi lignei generando condizioni favorevoli per attacchi di tipo biotico. Inoltre, continua l'articolo, è permessa la realizzazione di un piano interrato con la possibilità,

¹⁷ Un palmo reggino corrisponde a circa 25 cm.

¹⁸ Vitruvio consiglia di realizzare sottostante l'intelaiatura «...solum substruatur alte...» al fine di evitare «...vetustate marcidi fiunt...» (Vitruvio Libro II capo VIII)

solo a questo livello, di eseguire solai a volta che «...incominciano a nascere da sotto il suolo delle strade, acciò trovino le stesse volte un invincibile ostacolo al loro urto...», con il chiaro obiettivo di fare assorbire la componente orizzontale dal terreno, superando quindi l'antica errata convinzione dell'arco come presidio antisismico¹⁹.

L'articolo 10, tra i più estesi, rappresenta l'indicazione in cui è descritto l'apparecchio murario intelaiato. Tale tipologia «... con ossatura di grossi travi di Castagno o Quercia, secondo la natura dei boschi vicini. Questi si situeranno negli angoli ed a tali ragionevoli distanze, e saranno in tale maniera legati con altri travi trasversali ... detta ossatura di legnami abbracciata di fabrica²⁰, in maniera che non resti esposta la menoma parte alle varie impressioni dell'aria ed ad un tale effetto non restino le mura men grossi di palmi due e mezzo...», ritorna la preoccupazione fondata, che il legno possa essere, se esposto direttamente all'aria con continue variazioni igrotermiche e acqua allo stato liquido, soggetto a marcimento per effetto di agenti biotici. Le *travi* saranno negli angoli, mostrando una cura per il cantonale, ormai regola costruttiva consolidata. Il punto 10 rappresenta la disposizione maggiormente significativa, strumento fondamentale per raggiungere la coesione delle parti e garantire "l'effetto scatolare" da perseguire per migliorare la risposta antisismica del fabbricato. Precursore della solidarietà tra le pareti murarie come ritrovato per prevenire danni dai

¹⁹ Plinio consiglia i «...fornices...» come elemento strutturale caratterizzato da un'alta capacità di rispondere ai terremoti, un concetto rimasto valido fino al '700, scardinato dal regolamento borbonico e precedentemente da Buoni nel suo trattato del '500 (Guidoboni,2005).

La "volta" rappresenta uno dei tanti elementi di distinzione tra il sistema borbonico e la Gaiola. Nel sistema portoghese infatti, tale elemento strutturale spingente è prescritto al piano terra, quindi fuori terra, vietando la realizzazione di solai lignei; il fine in questo caso, insieme alla muratura continua su tutto il perimetro dell'edificio è quello di compartimentare il fabbricato nell'eventualità d'incendio.

²⁰ Contrariamente al reale funzionamento, almeno in regime statico, sembra che per il legislatore l'ossatura di legno abbia un ruolo preponderante sulla muratura, limitandosi quest'ultima semplicemente a coprire la struttura di legno preservandola da aggressioni di tipo biotico.

terremoti, è Pirro Ligorio (Guidoboni, 2005) che nel '500 innestandosi ad una diffusa tradizione rinascimentale, anticipata da Vitruvio e riscontrabile nell'Alberti e Palladio²¹ legata a soddisfare il concetto di connessione come importante elemento della regola dell'arte del costruire utile al funzionamento del fabbricato comunque, esclusivamente in regime statico. In Ligorio, in maniera pionieristica, il principio viene collegato al miglioramento delle caratteristiche prestazionali dell'edificio in caso di azione dinamica, «...li muri che sono ben ligati...» diventano fondamentali infatti nella resistenza al terremoto²², a tal proposito lo scienziato napoletano raccomanda correttamente di «...fare delle fortezze...» negli angoli del fabbricato e al contempo di dotarlo di «...ferri ascosti dentro...» (Guidoboni, 2005).

L'articolo 10 continua raccomandando che «...La fabrica sarà di mattoni o di pietre piccole...», costante indicazione contenuta nella pubblicistica tecnica napoletana del '700, probabilmente motivata dalla volontà, attraverso la pezzatura ridotta, di diminuire la massa della muratura ed evitando espressamente «...di servirsi di qualunque pietra viva liscia nella superficie... legate con calce spenta all'uso Napoli, ed impastata con arena di torrente, o terra aspra al tatto, non cretosa..», proibendo l'uso di pietre tondeggianti che non garantiscono un'aderenza sufficiente per avere un comportamento maggiormente monolitico del pannello durante l'azione del terremoto. Inoltre, particolare attenzione è data alla malta che deve essere di ottima qualità indicandone in maniera dettagliata gli elementi componenti.

²¹ «...ossature collegate tra loro risulti tale da resistere da sola quando anche ogni altro elemento venisse a mancare, perfettamente conchiusa nella solidità della sua membratura...» Alberti, una solidarietà, tipica soprattutto delle strutture di legno, che comporta, un collegamento tra tutte le membrane componenti con una risposta migliore alle sollecitazioni esterne. Anche Palladio discute dello stesso principio in riferimento al ponte sul Cismone «...i ponti così fatti sono forti perché tutte le loro parti scambievolmente si contrastano...» (Palladio, 1616)

²² «...tutti li muri che sono ben ligati et di uguale grossezza egualmente resistono et giangono nel loro vantaggio..» Pirro Ligorio (Guidoboni, 2005)

Nel punto successivo ritorna una particolare attenzione per la durabilità del legno; ancora una volta è Vitruvio l'ispiratore, con la disposizione di «...abbrustolirsene tutte le superfici, o impeciarsi...» pratica diffusa per preservare le strutture lignee, ma che in alcuni casi risulta vana, nell'eventualità di apertura, dovuta a variazioni dell'umidità dell'ambiente ed al comportamento eminentemente igroscopico del legno, di nuove fenditure non preservati dalla pece e conseguentemente possibili fronti di attacco per funghi e insetti. Le stesse ragioni, quelle di garantire una certa durabilità della strutture di legno caratterizza l'articolo 12, «Non si ammetterà che per intero le case siano costruite con intelatura ... restando i legnami troppo esposti all'aria ... facilmente ci può nascere de' molesti insetti...»; soltanto per la distribuzione interna del fabbricato è possibile utilizzare semplici telai di legno con riempimento in muratura. Il regolamento contempla la possibilità anche di utilizzare altri tipi di tecniche costruttive come relativamente al "brest", mattoni in adobe che data la massa limitata offrono una certa resistenza al terremoto, anche se avverte il legislatore tale tipologia muraria è consentita solo per edifici di «...un solo appartamento...». L'articolo 14 dispone limitazioni sull'altezza dell'edificio basandosi su numerosi studi diffusi nel XVIII secolo e prescrivendo quindi una misura massima «..da sopra allo zoccolo fino al gocciolatoio...» di 28 palmi.

Il punto successivo si occupa di indicare, relativamente ai solai, metodi che anche in questo caso migliorino il comportamento scatolare del fabbricato con l'aiuto dei «... travi ben assicurati sui traversi dei muri esteriori» riprendendo una raccomandazione già chiaramente intuita da Leonardo. Gli articoli 16 e 17 propongono una deroga al limite di altezza, con la possibilità di elevare l'edificio di un ulteriore piano, in ogni caso comunque permettendo di raggiungere un'altezza massima 38 piedi, possibile solo per le persone «...*facultose* ... lasciando alla perizia dell'ingegnere incaricato di prescrivere ed invigilare» sul dimensionamento e in generale sulle caratteristiche tecniche del telaio ligneo.

«Le chiese principali ... dovranno avere un'ampiezza non maggiore di quella che richiede la popolazione del paese» è l'inizio del punto 18,

raccomandando navate misurate al numero degli abitanti, con pareti murarie di altezza non elevata, condizione individuata come elemento di vulnerabilità al sisma. Per questa particolare tipologia di edificio, coscienti della difficoltà di approvvigionamento di elementi lignei di altezza considerevole e sezione trasversale elevata, quindi difficoltà di esecuzione, consiglia in alternativa alla struttura lignea indicata nel punto 9 una diversa procedura di esecuzione legata a principi di buona regola d'arte come la realizzazione di «travi orizzontalmente lungo la sommità dei muri...», un cordolo che possa essere di ausilio nel collegamento delle pareti murarie, scongiurare possibili ribaltamenti per azioni perpendicolari al pannello e diffondere su una superficie più ampia il carico concentrato proveniente dalla carpenteria di copertura.

Con l'obiettivo di legare la muratura è presente anche la disposizione di inserire «...secondo la prudenza dell'Ingegneri delle catene di ferro, che attraversino le larghezze dei vani...». La realizzazione di volte è vietata anche per gli edifici sacri.

Gli articoli da 19 a 26 contengono indicazioni relative alla salubrità degli ambienti e soprattutto a fabbricati con destinazioni d'uso non compatibili e quindi da localizzare fuori dell'abitato dei nuovi paesi ricostruiti.

3.4 Applicazione nell'edilizia corrente e monumentale

Il sistema costruttivo dei Borbone si caratterizza, almeno negli anni immediatamente dopo il sisma del 1783, per una diffusa applicazione nella ricostruzione della Calabria Ulteriore, comprendente sia l'edilizia corrente che quella monumentale, con esclusione delle chiese.

La Calabria meridionale, con un'organizzazione da moderna protezione civile, viene suddivisa in quattro *ripartimenti*²³, di Reggio, della Piana, di Monteleone e di Catanzaro (Vivenzio, 1787) a cui capo ingegneri provenienti

²³ Secondo Grimaldi i ripartimenti furono 5 Reggio, Catanzaro, Monteleone, Palmi e Gerace.

da Napoli, coordinano la riedificazione, precursore dell'organizzazione dei lavori pubblici in Italia²⁴.

L'attività di controllo sulla conformità delle opere ai dettami borbonici era demandata ad un'apposita Deputazione, nominata in ogni città e costituita da notabili del luogo. Tale Deputazione aveva il compito di sorvegliare i lavori durante l'esecuzione, mentre spettava all'Ingegnere direttore, l'accettazione dell'opera conclusa, controllando eventuali frodi anche nelle parti nascoste e quindi relativamente alla presenza dell'intelaiatura lignea e in generale alla realizzazione del manufatto secondo le regole contenute nelle *Istruzioni*. Quindi l'opera poteva essere consegnata al magistrato dell'Università o se si trattava di edificio religioso al parroco.

La ricostruzione iniziò con una certa celerità, Vivenzio ci informa che «...s'incominciò ad eseguire la riedificazione delle Cattedrali, Seminarj ed Episcopj...» (Vivenzio, 1787) in particolare in Oppido, Tropea e Mileto. In questi primi anni stringenti risultano i controlli sulla regolarità del costruito è Grimaldi a testimoniare che a Bagnara «...*La Duchessa, potente aristocratica osava dirigere a suo capriccio le opere di questa città, ma il governo con la sola mira dell'utile pubblico, fece annientare trenta edifizi da lei costruiti in dispregio delle imposte e sane regole dell'arte...*». Nel 1787 si concentrò a Reggio un'intensa opera di ricostruzione (Aricò e Milella, 1984), ma già nel 1788 veniva lamentata la scarsità di denaro che impediva la prosecuzione dei lavori (Mafrici, 1977). La Repubblica Napoletana del 1799 e la successiva conquista napoleonica comportò purtroppo l'abbandono definitivo dell'applicazione delle normative antisismiche borboniche anche se già una certa imperizia era stata mostrata negli anni precedenti; ritardi e

²⁴ Tale organizzazione viene fatta risalire agli inizi dell'800 basata sul modello francese dei *Conseil général des ponts et chaussées*. Ad opinione dell'autore la nascita nel Regno di Napoli del "genio civile" deve retrodatarsi almeno al periodo di governo di Carlo III, in cui ordina il corpo degli ingegneri e attua una successiva riorganizzazione nel 1752 con l'inserimento di due ingegneri in capite (Pezzone, 2010), un istituto con la funzione principale di educazione tecnica ma anche di intervento nell'eventualità di calamità naturali che si attuò appunto dopo il terremoto del 1783.

inefficienze nella ricostruzione, dovuti soprattutto all'arretratezza e alla miseria economica e sociale che caratterizzava gran parte della Calabria, soggetta, nonostante i tentativi già di Carlo di Borbone di scardinarlo, ad un regime feudale in circa l'80% del territorio.

3.5 Conclusioni

Le indicazioni contenute nelle *Istruzioni* vengono riprese e ribadite quasi in maniera pedissequa nelle leggi dello stato unitario del 1906, con pochissimi punti d'innovazione ad esclusione delle raccomandazioni relative alle modalità di riparazione degli edifici danneggiati²⁵ frutto di un naturale avanzamento scientifico, previsti solo in maniera sommaria nel codice borbonico. Ancora è il legno nella normative italiana del 1906 ad avere un ruolo da protagonista relativamente ai materiali adatti a ridurre la vulnerabilità sismica di una costruzione; infatti, il sistema Borbonico viene

²⁵ Di particolare interesse è l'art.31 « Per le riparazioni degli edifici di carattere nazionale, in specie per valore artistico, storico ed archeologico sarà stabilito, caso per caso, il partito da seguire pel suo consolidamento» in cui si sancisce quello che poi porterà nelle moderne normative antisismiche sotto il nome di "miglioramento sismico"; principio in cui è insita una duplice motivazione, di carattere conservativo, per non alterare consistentemente la materia e la struttura storica e l'altra di carattere strutturale al fine di preservarne la sua risposta alle azioni dinamiche.

Inoltre tra gli interventi possibili di rinforzo antisismico e di riparazione è contemplata l'apposizione di montanti lignei a riprodurre un'intelaiatura lignea del tipo borbonica. Curioso è l'art. 35 «Gli edifici di cemento armato, che presentino lesioni tali nelle membrature dell'ossatura resistente da renderli inutilizzabili, debbono essere demoliti e rifatti ... quelle ... semplicemente baraccate, che si ritrovino nello stesso caso possono essere riparate ... purchè si provveda ad un collegamento rigido con la rimanente armatura..» in questo caso la fiducia per il sistema ad intelaiatura lignea è maggiore rispetto a quelle in c.a.; un'indicazione che può ritenersi in generale corretta in quanto la struttura di legno è caratterizzata da condizioni di iperstaticità, con in alcuni casi, membrature ridondanti e una "solidarietà" strutturale che nell'eventualità di rottura di un elemento difficilmente non comporta il collasso globale dell'intero sistema strutturale.

ad essere indicato, confermato anche nella successiva normativa del 1909²⁶, come possibile sostituto delle strutture in c.a., ancora con difficoltà di tipo esecutivo per la mancanza di adeguati materiali, a dimostrazione della riconosciuta validità, anche nella legislazione dello stato unitario del XX secolo.

²⁶ Norme edilizie per le regioni colpite dai terremoti del 28 dicembre o anteriori, 1909

CAPITOLO 4.

Genesi e sviluppo in Calabria alla fine del '700

Key words: Francisco La Vega; Opus craticium; Borbone constructive system typologies.

4.1 Abstract

The Borbone anti-seismic system was a Engineer La Vega "invention", who joins the most advanced a-seismic theories of the Enlightenment Age and the ancient wooden constructive tradition presents in the Calabria region, with an high ability to synthesize. The Borbone system is defined as Casa baraccata in the 19th C and; during the reconstruction it is developed in several versions characterized by different arrangements of the timber frames and by different geometric dimensions of the members.

4.2 Tradizione costruttiva lignea in Calabria

L'imponente patrimonio boschivo Calabrese trova una corrispondente tradizione, relativa alla presenza di strutture di legno, consolidata e di antica memoria. Tale presenza è attestata innanzitutto da numerosi ritrovamenti archeologici nella Calabria settentrionale, come resti di templi lignei databili tra VIII e VII sec. a.C. in un'area sacra dedicata ad Atena a Francavilla (Cs), che rappresenta un'evidenza archeologica tra le più antiche presenti sul territorio della penisola italiana, e da molteplici ritrovamenti di utensili per la lavorazione del legno in varie zone.

Nella stessa area geografica, pioneristici telai di legno controventati sono stati reperiti nell'area intorno a Sibari; trattasi dell'ossatura portante di abitazioni enotrie che, dalle modalità riproduttive di alcuni modelli fittili databili intorno al VI sec. a. C., sono classificabili come del tipo ad *Oikos*.



Fig. 15 Area archeologica di Francavilla Marittima (Cs). In primo piano buche per l'alloggiamento della struttura lignea del tempio.

Ulteriore impulso alla diffusione in Calabria di strutture di legno si ebbe nel periodo di inizio della dominazione romana allorché, come riportato da Vitruvio²⁷, erano ancora in uso costruzioni ad intelaiatura lignea. Tuttavia è nell'influsso normanno da ricercare uno sviluppo maggiormente estensivo in Calabria di edifici con ossatura portante di legno.

Gli *uomini del nord*, con chiaro atteggiamento di emulazione dell'Impero Romano, affiancano infatti alle operazioni di guerra una contemporanea penetrazione culturale attraverso anche un'intensa attività costruttiva.

Roberto il Guiscardo, con abile strategia di conquista para-militare, agli inizi del XI secolo arriva nelle regioni dell'Italia meridionale imponendo il sapere

²⁷ Contatti della civiltà romana con culture costruttive che si fondavano sul legno sono descritti da Vitruvio che riporta ciò che era riuscito a vedere al seguito della campagna militare di Cesare in Gallia, Aquitania, Cisalpina orientale e a Marsiglia. Altre indicazioni sono riferite sulla base di una diffusa tradizione letteraria di Varrone e Posidonio, relativamente alle strutture intelaiate di Lusitania e Spagna. Inoltre interessanti sono i rinforzi lignei, indicati da Vitruvio, per erigere le mura di fortificazione, «...*tum in crassitudine perpetuae taleae oleaginaea ustilatae quam creberrimae instruuntur uti utraeque muri frontes inter se, quemadmodum fibulis, his taleis conligatae aeternam habeant firmitatem...*». Cfr. Gros, P., a cura di, 1997, *Vitruvio De Architectura*, Giulio Einaudi Editore, Torino.

costruttivo normanno, con realizzazioni, almeno in una prima fase, mediante l'impiego prevalente del legno. Un esempio è rappresentato da San Marco Argentano (Cs), primo avamposto stabile nella Calabria settentrionale dove, testimonia Amato da Montecassino nel XI secolo, tale fortificazione è su «... *un mont molt fort, e la appareille de laigname ...*». Le realizzazioni lignee erano ricorrenti e riguardavano edifici anche di carattere civile, come la dimora dello stesso Guiscardo che, sebbene forse provvisoria, era costituita da un «...*tabernaculo*²⁸ ... *ex foliosis arborum ramis composito...*», secondo quanto è riportato da Goffredo Malaterra in una dettagliata cronaca²⁹.

È dunque riscontrabile una certa continuità della tradizione intorno alle strutture di legno in Calabria, da cui è facile attingere con atteggiamento empirico nel pieno spirito illuminista per i Borbone ed i tecnici del '700. Gli edifici costruiti con tali tipologie strutturali infatti, abbastanza diffuse precedentemente al sisma del 1783, avevano affrontato ricorrenti terremoti mostrando una inaspettata resistenza.

E' lo stesso Vivenzio, medico della casa reale di Borbone e docente universitario, ad ammettere che la redazione del suo prototipo di *Case formate di legno*³⁰ da utilizzare nella ricostruzione è derivata dalle «...*osservazioni fatte sul luogo medesimo...*» come ad esempio a «... *Filogaso l'antico Palazzo del Conte di Nocera ... costruito nel passato secolo di legno, e rivestito solamente di fabbrica, si rimase in tutto l'interiore illeso, nel*

²⁸ Da un punto di vista etimologico tale termine, secondo Pianigiani, rappresenta il diminutivo di *taberna* e deriva da *tabula*, tavola. Cfr. Vocabolario etimologico della lingua italiana di Ottorino Pianigiani, Società editrice Dante Alighieri di Albrighi, Segati, 1907.

²⁹ Goffredo Malaterra, cronista ufficiale delle imprese normanne in Italia, scrive nell'XI secolo basandosi sulle carte ufficiali del *Ducis*, "*De rebus gestis Rogerii Calabriae et Siciliae Comitis et Roberti Guiscardi Ducis fratris eius*".

³⁰ Vivenzio è l'autore di *Historia de tremuoti (v. infra)* in cui è contenuta la descrizione di un sistema costruttivo, resistente ai terremoti, caratterizzato da una doppia orditura di telai di legno.

mentre che il Paese fu uguagliato al suolo ...»³¹. A tale descrizione di strutture lignee antecedenti al 1783, si aggiunge quella dell'ambasciatore e scienziato inglese Hamilton che riferisce come i palazzi dei baroni fossero dotati di una *baracca*³² «...per ricoverarvisi al primo segno di una scossa...»³³ vero e proprio rifugio antisismico dunque, realizzato con piena consapevolezza di resistenza delle costruzioni di legno alle sollecitazioni indotte dai terremoti.

Un altro edificio con apparecchio murario rinforzato da intelaiature di legno esistente alla data del sisma del 1783 è descritto da Sarconi a Mileto (Vv), «...di Costa al tempio della chiesa abbadiale vi era un'ampia e bella casa... l'interno viscere era tutto intersecato di legni...»³⁴, la quale per le sue caratteristiche antisismiche era stata «...formata per servir da ricovero...».

Inoltre il Segretario della Reale Accademia delle Scienze di Napoli fornisce un altro esempio di «...una nobile e agiatissima baracca provvidamente in altra età fabbricata per ricoverarvisi dà tremuoti. Questa nell'universale

³¹ Vivencio, G., 1783, *Istoria e teoria de' tremuoti in generale ed in particolare di quelli della Calabria, e di Messina del MDCCLXXXIII*, Stamperia Regale, Napoli, pag. 53. Lo stesso fabbricato è riportato da Agatio Di Somma nel 1641 e Lutio D'Orsi di Belcastro nel 1640. Cfr. Ruggieri, N., 2005, *La casa antisismica*, International Conference on the Conservation of Historic Wooden Structures, Firenze, 2005, in Atti del convegno.

³² Una consuetudine, quella di realizzare ripari antisismici a struttura di legno vicino ai Palazzi, che Vincenzo Magnati vuole fare risalire al 1300 a Rieti «... Sotto il pontificato di Papa Bonifacio Ottavo e dell'imperio di Alberto nelli anni del Salvatore 1300 ... dove detto pontefice ... intimorito ... e non cessando il terremoto, hebbe per bene di fare edificare nè medesimi chiostrì una casa di tavole, e si viddero la prima volta in Italia li Tabernacoli, che volgarmente chiamano Barracche...». Magnati V., 1688, *Notitie istoriche de' terremoti successi nè secoli trascorsi e nel presente indirizzati alla serenissima maestà di Carlo II dall'abbate D. Vincenzo Magnati*, Napoli.

³³ Hamilton, G., 1783, *Relazione dell'ultimo terremoto delle Calabrie e della Sicilia inviata alla Società Reale di Londra*, Stamperia della Rovere, Firenze, pag. 32.

³⁴ Sarconi, M., 1784, *Istoria de' fenomeni del tremoto avvenuto nelle Calabrie, e nel Vademone nell'anno 1783*, Giuseppe Campo, Napoli, pag.44.

scomponimento (il sisma del 1783) non rimase nè punto nè poco alterata...»³⁵.

4.3 L'“invenzione” di D. Francesco La Vega

Agli inizi del XVIII secolo Carlo di Borbone attua, unica monarchia in Europa, un'intensa campagna di scavo ad Ercolano prima e successivamente a Pompei e Stabia.

Le attività di recupero e studio di reperti archeologici saranno dirette dal 14 marzo 1780 da Francesco La Vega³⁶, ingegnere militare del Genio, che conserverà la carica fino al 1804 anno della sua morte.

A tale ingegnere spagnolo è attribuita da Giovan Battista Mori³⁷, in una relazione del 1789 al Generale Pignatelli³⁸, «...*tutto il merito dell'invenzione...*»³⁹ del sistema antisismico borbonico.

³⁵ Alla stessa fabbrica fa riferimento Hamilton, evidenziando come a Monteleone e nei dintorni fossero particolarmente ricorrenti i palazzi a struttura di legno, «... *ed io fui qui alloggiato in una molto magnifica (baracca) composta di molte stanze bene addobbate, fatta fabbricare dall'avo del presente Duca di Monteleone e sono debitore della sicurezza...*». Hamilton, G., 1783, Relazione, op.cit., pag. 32.

³⁶ Francisco La Vega, discendente da una famiglia spagnola, membro dell'Accademia di Scienza dal 1787, è presente come assistente del direttore degli scavi Rocque Joaquín de Alcubierre dal 26 aprile 1764. E' autore di due celebri tavole disegnate dal fratello Pietro edite nel 1797 a margine della *Dissertatio Isagogica* di C. M. Rosini; tali planimetrie, raffiguranti la topografia dell'antica Ercolano, sono state ottenute attraverso la lettura dei numerosi pozzi eseguiti e sebbene schematiche mostrano una rilevante precisione. Cfr. Maiuri, A. 1964, *Pompei ed Ercolano fra case ed abitanti*, Aldo Martello editore, Milano.

³⁷ L'ingegnere Giovan Battista Mori nasce a Napoli nel 1751. Tecnico incaricato della ricostruzione di Reggio Calabria, ufficiale del Genio Militare, nel 1788 è nominato professore della Regia Accademia Militare.

³⁸ Il Tenente Generale Pignatelli eletto da Ferdinando IV Vicario Generale, con sede a Monteleone, è il responsabile “supremo” della ricostruzione.

³⁹ Mauri-Mori, G., 1909, *Riedificazione di Reggio Calabria*, Nuova Antologia, Roma. In tale scritto è contenuta la relazione di Giovan Battista Mori avo dell'autore.

Le operazioni di scavo praticate nel '700 nelle città vesuviane mediante pozzi e cunicoli da La Vega sono interessate prevalentemente alla statuaria ed al ritrovamento di oggetti preziosi di piccole dimensioni, in generale poco all'architettura e ancora meno alle tecniche costruttive⁴⁰.

Ad Ercolano, l'Ingegnere del Genio, sebbene rinunci a mettere in luce gli edifici, con ogni probabilità ha potuto osservare, per sua scoperta o dei suoi predecessori, oltre a diversi oggetti di legno carbonizzati, anche elementi strutturali, con esplorazioni che tuttavia, riporta Maiuri, hanno «...danneggiato e spesso assai gravemente la fragile consistenza del legno...»⁴¹. Il ritrovamento di suppellettili di legno e forse di membrature portanti⁴² è testimoniato da Venuti già nella prima fase di scavo borbonico in relazione ad alcune costruzioni rinvenute ad ottobre del 1740⁴³. La scoperta durante l'attività di scavo di elementi di legno è dunque frequente e doveva essere altrettanto ricorrente la possibilità di rinvenimento di pareti intelaiate del tipo ad *opus craticium* di uso abbastanza esteso negli edifici di Ercolano e Pompei.

⁴⁰ E' solo agli inizi del XX° secolo che l'atteggiamento degli archeologi si modifica mostrando una maggiore attenzione nei confronti dell'architettura come è riportato da Maiuri: durante il periodo borbonico, «...l'interesse ... si rivolgeva esclusivamente alle opere d'arte si rivolge ora non meno intenso alle strutture, agli edifici...». Maiuri, A, 1964, *Pompei ed Ercolano*, op. cit., pag. 314.

⁴¹ Ibidem, pag. 418.

⁴² Anche nel rapporto del 1739 dell'Alcubierre, direttore degli scavi di Ercolano precedente a La Vega, viene segnalato tra i ritrovamenti una «...*fabrica arruynada y diferentes maderas quemadas...*». Ruggiero, M., 1885, *Storia degli scavi di Ercolano*, Tipografia dell'Accademia Reale delle Scienze, Napoli, pag 41.

⁴³ «...*Tutto il legname è nero come il carbone, mantenuto in gran parte lucido, ed intiero, ma appena toccato, si stritola, e vi si vedono le sue linee filamenti o siano vene, dalle quali si potrebbe ancora conoscere la qualità del legname...*». Un'intuizione corretta quella di Venuti, dalla fibratura, *filamenti o siano vene*, è possibile infatti, avere indicazioni circa le caratteristiche fisiche del legno. Venuti, M., 1749, *Descrizione delle prime scoperte dell'antica città di Ercolano*, Venezia.



Fig. 16 Ercolano. Parete in "Opus craticium"

Fig. 17 Ercolano. Particolare del nodo della parete in "Opus craticium"

È dunque probabile che La Vega abbia studiato e preso a riferimento l'utilizzo di un *graticcio* di legno⁴⁴ al fine di migliorare le prestazioni alle azioni dinamiche degli edifici che sarà posto fondamento della normativa borbonica per la ricostruzione in Calabria successiva al 1783⁴⁵.

⁴⁴ Le somiglianze tra il sistema raccomandato dalle *Istruzioni* borboniche e l'*opus craticium* sono evidenti, sia nella distribuzione delle aste che nella realizzazione dei nodi. Nel caso della *Baracca* vescovile di Mileto (Vv) tra via Duomo e via Ospedale, la disposizione della struttura lignea è identica all'intelaiatura descritta da Vitruvio. Tali relazioni ricevono ulteriore vigore da una conoscenza dell'Architetto di Augusto abbastanza diffusa nel '700 e ancora di più fra chi come La Vega si occupava di archeologia e di architettura in generale.

⁴⁵ L'ingegnere La Vega viene immediatamente convocato in Calabria per prendere parte alla ricostruzione successiva al terremoto del 1783. L'assenza del direttore è testimoniata dalle annotazioni contenute nei diari degli scavi che, dopo il 1 febbraio del 1783, diventano meno frequenti e a firma unicamente di Pietro La Vega, fratello di Francesco. Il 2 agosto 1783 lo stesso Pietro scrive: «...Non ostante siasi già da quindici giorni restituito dalle Calabrie mio fratello ritrovandosi non ancora del tutto ristabilito dalla terzana, mi do l'onore ancora questa settimana di dare parte all'E.V.

L'*opus craticium*, descritto da Vitruvio con poco entusiasmo, sebbene nasca senza alcuna *ambizione* antisismica, s'innesta su un antico sapere costruttivo ligneo calabrese che invece aveva piena coscienza della capacità di resistenza al terremoto grazie alle severe prove che nei secoli, in Calabria, tali strutture avevano affrontato.



Fig. 18 – 19 Mileto (Vv), Palazzo Vescovile. Particolare dell'intelaiatura lignea.

4.4 L'organizzazione della ricostruzione e lo sviluppo del sistema antisismico borbonico

All'indomani del terribile terremoto Ferdinando IV di Borbone con notevole efficacia, almeno in una prima fase, attua una serie di misure per ristabilire l'economia e soprattutto per la ricostruzione dei paesi distrutti.

Tra le altre disposizioni istituisce la *Giunta per la Riedificazione* con la funzione di sorvegliare la ricostruzione e divide, con un carattere di forte novità, anticipatore di misure di moderna protezione civile, l'area colpita in

come si è evacuata una stanza...», da cui si evince il ritorno a Napoli di Francisco nel mese di luglio. Cfr. Pagano, M., a cura, 1997, *I diari di scavo di Pompei Ercolano e Stabia di Francesco e Pietro La Vega*, L'Erma di Bretschneider.

5 *ripartimenti*⁴⁶, Reggio, Gerace, Palmi, Catanzaro e Monteleone, con lo scopo di meglio organizzare la distribuzione degli interventi.

A capo di ciascun settore è nominato un Direttore a guida di un gruppo di ingegneri con il compito, nei giorni immediatamente successivi al sisma, di verificare le condizioni strutturali degli edifici colpiti. Tale attività comportava la classificazione, almeno relativamente a Reggio Calabria, al fine di eventuali interventi di rinforzo, in *edifici completamente demoliti, quelli parzialmente offesi e gli altri facilmente riparabili*⁴⁷.

E' tuttavia nella ricostruzione, piuttosto che nel consolidamento, che i Borboni per tramite degli ingegneri⁴⁸ inviati, diedero prova di una maggiore operosità.

Il Vicario Pignatelli e i suoi diretti subordinati Winspeare e La Vega immediatamente indicano i siti della ricostruzione, spesso distanti dall'abitato distrutto, con conseguente dispute, in alcuni casi complicate, che riguardano sia la nuova perimetrazione delle aree edificabili e soprattutto la riluttanza da parte degli abitanti ad abbandonare il luogo dell'abitazione colpita dal sisma.

La riedificazione dei fabbricati comuni è affidata ad una «... *moltitudine di valenti ingegneri spediti a questo fine...*»⁴⁹ da Napoli, tecnici che, altra

⁴⁶ E' Grimaldi a fornirci, oltre all'elenco completo dei tecnici-ufficiali intervenuti nella ricostruzione, anche i Direttori di ogni singolo ripartimento: «... *sig. Giovan Battista Mori per il ripartimento di Reggio, Claudio Rocchi per Catanzaro, Bernardo Morena per Monteleone, Pietro Galdo per Palmi, Paolo Scandurra per Gerace...*». Grimaldi, A., 1863, *La cassa sacra ovvero la soppressione delle manimorte in Calabria nel secolo XVIII*, Napoli, Stamperia dell'Iride, pag. ⁶². Vivenzio invece, descrive un'organizzazione che prevedeva 4 macroaree d'intervento. Vivenzio, G., 1788, *Istoria e risorgimento* op. cit., pp. 364-365.

⁴⁷ Cfr. Aricò, N., Milella, O., 1984, *Riedificare contro la storia*, op. cit.

⁴⁸ Nel Settecento inizia una distinzione delle discipline *Architettura* ed *Ingegneria*, cruciale è la nascita dell'*Ecole Nationale des ponts et chaussées*, con restringimento del campo di lavoro e conseguente approfondimento nelle due diverse branche; ma è nell'Ottocento che le scoperte scientifiche e la maggiore complessità del sapere attorno alla meccanica e più in generale alle costruzioni causeranno una netta separazione.

disposizione di particolare modernità, devono avere il requisito di essere regolarmente "abilitati" all'esercizio della professione⁵⁰; mentre le costruzioni di carattere pubblico più importanti sono sotto il controllo diretto di Francesco Pignatelli.

Un'edificazione comunque progettata in totale autonomia, con unica restrizione l'utilizzo, al fine di migliorare il comportamento nei confronti del sisma della costruzione, di un rinforzo interno alla muratura costituito da membrature di legno. Tale libertà tuttavia non è rilevabile, almeno relativamente alle regole compositive delle costruzioni realizzate, a causa probabilmente dell'identico ambito culturale di provenienza dei tecnici intervenuti nella ricostruzione, deduzione comprovata anche da una certa standardizzazione dei prospetti che si diversificano limitatamente alle decorazioni ed alle caratteristiche formali di alcuni portali⁵¹. La mancata variabilità architettonica e decorativa dei fabbricati non trova un altrettanto omogeneo utilizzo della struttura lignea, anche se in ogni caso conforme ai dettami Borbonici⁵².

Infatti gli ingegneri, sebbene con identica formazione tecnico-scientifica, mostrano interpretazioni differenti del codice antisismico Borbonico con una conseguente variabilità nella realizzazione dell'ossatura portante della costruzione.

⁴⁹ Salfi, 1787, *Saggio di fenomeni antropologici relativi al tremuoto*.

⁵⁰ Il 3 ottobre 1781 Ferdinando IV emana un provvedimento per tutti i professionisti che non fossero Tavolari del Sacro Regio Consiglio, Ingegneri comunali o del Tribunale della Fortificazione, contenente l'obbligo a sottoporsi ad un esame con lo scopo di formare un rigido albo professionale ed essere "abilitati" all'esercizio della professione. Inoltre l'editto imponeva la presentazione, almeno relativamente alle costruzioni più importanti ed a quelle di carattere pubblico, di un progetto a firma di un tecnico in cui erano indicate l'altezza, numero di piani e tipo di fondazioni.

⁵¹ Cfr. Maretto, P., 1975, *Edificazioni tardo settecentesche in Calabria*, Studi e documenti di architettura n.5, Teorema edizioni, Firenze.

⁵² Le *Istruzioni* borboniche non sono illustrate e descritte da alcun disegno; esse si limitano a imporre una ricostruzione con l'utilizzo di *ossatura di grossi travi di castagno o quercia*.

Le dimensioni e la disposizione delle aste lignee, il riempimento in muratura, la scelta del genere botanico, sono le varianti riscontrabili in diversi esempi realizzati nei vari *ripartimenti*. La causa di tale variabilità è attribuibile principalmente alle eventuali difficoltà di approvvigionamento del legno, che provocava un adeguamento della «... *maniera di fabbricare adottate alle circostanze particolari del sito, sicurissimo di non potersi ritrovare una maniera generale, che possa adottarsi in ogni luogo ed in ogni circostanza...*»⁵³.

4.5 Le Varianti

Diverse sono dunque le variazioni strutturali intorno all'elemento comune costituito dal telaio di legno con membrature verticali e traverse.

Il sistema antisismico borbonico si presenta, in esempi descritti nella pubblicistica settecentesca ed in casi realizzati, con doppia intelaiatura o singola, inserita a profondità variabile nella muratura.

Vivenzio⁵⁴ riporta un apparecchio murario caratterizzato da due orditure di telai, opportunamente solidarizzati mediante elementi diatonici di legno. Una muratura rinforzata che è prescritta, secondo il medico napoletano, per edifici pubblici date le difficoltà di realizzazione e soprattutto il costo elevato. Si tratta di un'esecuzione complessa che motiva la scarsa presenza di edifici realizzati⁵⁵, con una prevalenza di numero di fabbricati della ricostruzione caratterizzati da ossatura portante costituita da un unico telaio di legno.

Le fondazioni, elemento principale su cui si basa la *Firmitas* vitruviana e la trattazione teorica Settecentesca sulle costruzioni, variano per il sistema antisismico Borbonico secondo le due tipologie fondamentali, palificate o del tipo superficiale.

⁵³ Mauri-Mori, G., 1909, *Riedificazione*, *op. cit.*

In questo caso è evidente la somiglianza con il sistema strutturale sviluppatosi in area minoica a Cnossos e Phestos, si vedano per tale tecnica costruttiva gli studi di E. Tsakanika.

⁵⁵ Una doppia orditura di telai lignei mi è stata segnalata dall'architetto Infantino a Seminara (Rc) in via Fondatore Lauro.

Vivenzio raccomanda, nella descrizione di *Case formate di legno*, pali di legno ben infissi per una profondità di circa 3 metri, ponendosi in antitesi con Milizia che negli stessi anni, in maniera pioneristica consiglia, al fine di una risposta migliore del fabbricato alle azioni sismiche, di *isolare* la struttura dal terreno.

Interessante è il disegno contenuto nell'*Atlante* a corredo dell'*Istoria de' fenomeni del tremoto* dove, con intento quasi didascalico, Schiantarelli⁵⁶ documenta le varie fasi del cantiere della ricostruzione di Polistena (Rc) dopo il terremoto del 1783. La tavola mostra in primo piano un fabbricato con l'intelaiatura lignea ormai realizzata e diverse fasi per l'esecuzione di palificazioni, l'approvvigionamento del legno, la perimetrazione della fondazione interponendo materiale arido rispetto al piano di calpestio e l'esecuzione di pali appuntiti accatastati e pronti per essere conficcati nel terreno, senza tuttavia raffigurare alcun dispositivo per la battitura.



Fig. 20 La ricostruzione di Polistena (Rc) (da Sarconi, M., 1784)

⁵⁶ Abile disegnatore, architetto della Reale Accademia delle Scienze e delle Belle Lettere, è autore di cinquantasette tavole contenute in *Istoria de' fenomeni del tremoto avvenuto nelle Calabrie, e nel Valdemone nell'anno 1783*, Giuseppe Campo, Napoli.

Altra modalità di trasferimento al terreno dei carichi della struttura è contenuta nelle *Istruzioni generali*. Il regolamento antisismico infatti, disponeva l'esecuzione di fondazioni di tipo continuo su cui spiccare uno zoccolo in muratura di altezza massima fuori terra di *tre piedi o poco più*. L'accorgimento costruttivo è legato alla volontà di limitazione dell'apparecchio murario privo di rinforzi lignei, maggiormente vulnerabile alle azioni dinamiche e con lo specifico obiettivo di preservare le aste, allontanando i legni dal terreno possibile fonte di umidità con conseguente rischio di attacco di natura biotica.

Tale tipo di fondazione caratterizza il fabbricato vescovile di Mileto (Vv), tra via Duomo e via Ospedale, dove un abbassamento del livello del terreno evidenzia un basamento, non una vera e propria fondazione ma un corpo fondale, semplice inizio della muratura soprastante, costituito da pietrame di dimensioni rilevanti e tondeggianti⁵⁷. Superiormente a tale corpo si sviluppa un'ulteriore tratto di muratura dunque, privo di telaio di legno per circa 80 cm, con componenti dalle caratteristiche dimensionali e apparecchiatura diverse.

Baratta, nella sua dettagliata descrizione dei danni subiti dai fabbricati a causa del sisma del 1908⁵⁸, riporta le caratteristiche costruttive degli edifici analizzati ed evidenzia il *sistema Borbonico ridotto*. Si tratta di una tipologia strutturale che si contraddistingue per uno zoccolo in muratura, contrario ai dettami del regolamento Borbonico, che si estende per un intero livello, rinforzando solo il piano primo mediante l'utilizzo di telai di legno, con la consapevolezza di diminuire la massa sismica con l'altezza dell'edificio.

⁵⁷ Il professore Gallo lo indica come accorgimento necessario, «...*I fondamenti gettar si devono tutti ad un tempo, e debbonsi costruire di pietre grosse, e dure, e s'è poco possibile riquadrate, empendosi gli interstizj di piccoli sassi, anch'essi duri con della malta proporzionata, e fatta d'ottima calcina con della corrispondente arena...*». Gallo, A., 1784, *Relazione data all'illustrissimo Senato di questa città da Andrea Gallo Pubblico Professore di Filosofia e Matematica in questo Real Collegio Carolino*.

⁵⁸ Baratta, M., 1910, *La catastrofe sismica calabro messinese 28 dicembre 1908*, Roma, Società Geografica Italiana.

A tale variante costruttiva fa riferimento Riccò⁵⁹, ad essa attribuendo una capacità di resistenza ai terremoti di pari valore a quella contraddistinta da intelaiature lignee per l'intero elevato del fabbricato.

Diversità di caratteristiche del sistema antisismico Borbonico sono riscontrabili anche nell'irrigidimento dei telai conseguito attraverso la presenza di controventi lignei⁶⁰ e dal riempimento in muratura o in alternativa esclusivamente da quest'ultimo.

⁵⁹ «*la baraccatura eseguita perfettamente può rendere il fabbricato invulnerabile dai terremoti ... si potrà fare anche fare il primo piano ... in muratura, ed il secondo in legname...*». Riccò, A., 1907, *Sui metodi di costruzione in Calabria*, Modena, pag. 325.

⁶⁰ Le croci di sant'andrea di legno risultano in molte costruzioni intelaiate assenti. Si vedano ad esempio le illustrazioni contenute nell'Atlante a corredo di *Istoria de fenomeni de tremuoti*; le quali mostrano diverse *baracche* in costruzione e presentano in un unico caso controventamenti di legno, nella chiesa de Basiliani in Seminara (Rc) non ancora conclusa.

La letteratura scientifica offre contrapposte interpretazioni sull'effettivo contributo dei controventi nelle murature rinforzate da telai lignei. Kouris e Kappos, ad esempio, affermano che la rigidità del sistema strutturale viene assicurata dai diagonali lignei, in tal caso la muratura mostra utilità solo indirettamente prevenendo fenomeni d'instabilità dei controventi lignei veri deputati nel garantire una limitata deformabilità al sistema.

Una diversa teoria interpretativa è evidenziata nel report redatto da ARUP Gulf Ltd, in cui si afferma che un'efficace rigidità alle azioni orizzontale parallele al piano, viene garantita esclusivamente dalla muratura di riempimento del telaio. A supporto di tali deduzioni gli ingegneri di ARUP in collaborazione con University of Engineering Technology (UET) di Peshawar hanno effettuato numerose prove sperimentali e numeriche, mostrando l'inefficienza dei diagonali di legno nella riduzione di deformabilità della parete nell'eventualità di scossa sismica.

I controventi pertanto diverrebbero necessari dal punto di vista costruttivo ovvero unicamente nello stabilizzare la parete durante la realizzazione.

Cfr. Kouris, L., A., S., Kappos, A., J., 2012, *Detailed and simplified non linear models for timber-framed masonry structure*, in *Journal of Cultural Heritage*, n. 13, pp. 47-58;

La rigidità ad azioni sismiche parallele alle pareti murarie poteva essere ottenuta oltre che inserendo croci di sant'andrea, anche con l'utilizzo di diagonali di legno disposti negli angoli e vincolati alle due aste perpendicolari del telaio. Tale espediente, presente in maniera continua su tutta la facciata raffigurata da Vivencio nella Tavola II, è ideato con lo scopo preciso di permettere la realizzazione dei vani di porte e finestre caratterizzati a sua volta da un irrobustimento costituito da una cerchiatura lignea. In tutti i casi la rigidità dell'apparecchio usufruisce anche della presenza della muratura confinata dal telaio che diventa essenziale per una corretta risposta al sisma nel piano, nell'eventualità di struttura composta esclusivamente da montanti e traverse. La mancanza di aste diagonali, comporta secondo Riccò una maggiore flessibilità del sistema strutturale con «...grandi oscillazioni del tetto e produce distacco e caduta della muratura...» pur se «...sempre impedisce il crollo del tetto...»⁶¹.

L'apparecchio murario del riempimento delle intelaiature lignee è caratterizzato da pietre di differente composizione minerale, pezzatura e disposizione.

Vivencio fornisce nel suo trattato due soluzioni costruttive, un riempimento composto da conci di pietrame disposti in maniera ordinata riconducibile ad una muratura *pseudo-isodoma*, in alternativa «... per diminuire la spesa ... qualora la buona qualità dei materiali lo permette...»⁶² costituito da pietre apparecchiate secondo *l'opus incertum*.

La muratura di riempimento dei telai, replicando ciò che era già successo a Lisbona⁶³ dopo il terremoto del 1755, riutilizza in alcuni casi pietre prelevate da fabbricati in demolizione, soluzione dettata anche da problemi legati al trasporto e in generale al fine di diminuire il costo dei nuovi edifici in costruzione.

ARUP 2011 Report *Seismic Performance Assessment of Dhajji Dewari Building System Non Linear Response History Analysis*.

⁶¹ Riccò, 1907, *Sui metodi* Op.cit., pp. 324-325.

⁶² Vivencio, 1783 op. cit, p. 55.

⁶³ Cfr. França J., A., 1972, *Una città dell'illuminismo. La Lisbona del marchese di Pombal*, Roma.

La stessa motivazione viene adottata dall'ingegnere Mori per giustificare la sua variante al sistema descritto nelle *Istruzioni*. Una tipologia costruttiva, relativamente ai materiali utilizzati, completamente dissimile da quelle sinora elencate e definibile "variante Mori". Il legno è assente o con un impiego minore, che Mori giustifica con la motivazione della limitata quantità di legno approvvigionabile a Reggio e nelle aree limitrofe. Tale mancanza comporta anche il riutilizzo di quello esistente nei fabbricati danneggiati e in alcuni casi è denunciato⁶⁴ addirittura l'impiego di legno proveniente da costruzioni colpite dal sisma ma non talmente dissestate da essere demolite.

Le modifiche apportate dall'ingegnere Mori al sistema governativo furono oggetto di accese polemiche che culminarono con la sua destituzione dall'incarico da tecnico della ricostruzione di Reggio Calabria. La sua rimozione trova una giustificazione successiva, in quanto le variazioni strutturali apportate al modello governativo causarono agli edifici una maggiore vulnerabilità al sisma, tanto che come rileva Baratta, «...i rioni in cui aveva maggiormente lavorato il Mori, nella parte occidentale della città risultavano più danneggiati degli altri...»⁶⁵. La "variante Mori" si basa essenzialmente su altezze limitate dei fabbricati, la corretta regola d'arte dell'apparecchio murario, l'utilizzo di catene metalliche e il miglioramento delle connessioni tra tutte le membrature costituenti i palchi e le coperture, dispositivi volti ad ottenere quello che Milizia aveva pochi anni prima anticipato e che le moderne teorie antisismiche chiamano *effetto scatolare*: «...un edificio sarà tanto resistente ai tremuoti, finchè le sue parti non si distaccheranno nelle scosse...»⁶⁶. Relativamente al contributo del legno nella prestazione contro i terremoti della costruzione, Mori fa semplice cenno «...catene o legnami verticali nell'interno di esse...», ad affermare che a sua opinione, al fine di raggiungere lo scopo di realizzare *un'unica massa*, non è

⁶⁴ «...Molti buoni edifizj di monasteri si sono perduti per tirarsi il legname...». Galanti, M., 1793, *Giornale di viaggio in Calabria*.

⁶⁵ Baratta, M., 1910, *La catastrofe sismica*, op. cit.

⁶⁶ Mauri-Mori, G., 1909, *Riedificazione*, op. cit., p. 3.

necessaria la presenza del legno, ma esistono altri artifici che possono efficacemente surrogarlo.

4.6 Baracca e casa baraccata

Il sistema governativo Borbonico viene definito come *casa baraccata* a metà dell'Ottocento.

E' l'ingegnere Pessò tra i primi autori ad identificare come sistema baraccato l'apparato strutturale "ideato" dai tecnici del regno di Napoli. Una definizione che perdura nel XX secolo tanto da essere riportata come precisa tipologia costruttiva antisismica da utilizzare durante la ricostruzione, disposizione contenuta nelle leggi dello stato italiano redatte successivamente ai terremoti calabresi del 1905 e 1908⁶⁷.

Sembra però che nel Settecento e nei secoli precedenti la baracca o edificio baraccato⁶⁸ in realtà identificasse una costruzione assimilabile ad un

⁶⁷ La commissione del Genio Civile, inviata da Roma per rilevare i danni subiti dagli edifici dal terremoto del 1908, distingue in *case baraccate*, ovvero edifici costituiti da un rivestimento in muratura e struttura lignea all'interno dell'apparecchio e *case intelaiate*, lo stesso sistema costruttivo ma privo del rivestimento esterno in muratura; identica suddivisione viene adottata da Masciari Genoese nel 1915. Tale distinzione deriva probabilmente da un'errata interpretazione del punto 12 delle *Istruzioni* borboniche «*Non si ammetterà che per intiero le case siano costruite con intelature, cioè con armature di legno, legate tra loro con croce di S.Andrea e riempiti i vacui con fabrica di calcina o gesso....*»; infatti, ciò è stato letto come un dualismo, casa intelaiata in contrapposizione alle indicazioni della normativa ovvero alla casa baraccata. Più verosimilmente il redattore delle norme pare volesse intendere, che le costruzioni debbano realizzarsi con, in tutti i casi, l'impiego di *intelature*, ma non per *intiero*, ovvero rivestite all'esterno, per motivi igienici e di preservazione del legno dall'umidità, da muratura. A nostro avviso dunque, si tratta di due sistemi costruttivi definibili entrambi come *intelaiati*. Anche per Donghi, non c'è ambiguità «*...le fabbriche intelaiate di legname, siano esse a pareti pure di legnami o di mattoni (sistema baraccato)...*». Donghi, D., 1935, *Manuale dell'architetto*, Unione Tipografica Editrice Torinese, Torino. pag.140.

⁶⁸ Prova di tale deduzione è contenuta nel *Vocabolario degli Accademici della Crusca*, dove nella prima edizione del 1612 ed in quelle successive (1623; 1691;

palazzo in generale, con la particolarità di presentare un'ossatura portante di legno.

Numerosi autori avvalorano tale congettura, come ad esempio Hamilton, che successivamente al terremoto del 1783 riporta: «...fui alloggiato in una (baracca) molto magnifica, composta da molte stanze bene addobbate, fatta fabbricare dell'avo del presente Duca di Monteleone...». Anche Sarconi definisce un fabbricato con ossatura di legno come *Baracca*; precedentemente, nel 1638, un altro autore Recupito⁶⁹, definiva la *Baracca*, un edificio con ossatura resistente di legno, realizzabile in tempi brevi, l'unico valido ricovero per contrastare il sisma.

Pesso ci fornisce un'ulteriore conferma a tale supposizione, in quanto descrive il sistema Borbonico caratterizzato da «...certe intelaiature di legnami entro i muri delle case le quali perciò chiamansi baraccate....»⁷⁰.

Nel '900 il termine edificio baraccato diventa di uso comune e continua ad essere legato, oltre che alla tipologia costruttiva Borbonica, a costruzioni con struttura di legno sia di carattere provvisorio che definitivo «...Nei paesi dove esso (il legno) abbondadi uso comune...chalets svizzeri, negli Hotels alpini, nei cottages inglesi... Ivi le costruzioni in legno

1729-1738 e 1863-1923) alla voce *Baracca* è riportata la seguente definizione: «Stanza, o Casa di legno ... per istare coperto, o per farvi bottega per soldati o altri».

Il "Devoto Oli", registrando una naturale evoluzione della lingua italiana, definisce la baracca come una «Costruzione provvisoria, per lo più di legname, destinata al soggiorno o al riparo di persone, specialmente in situazioni di emergenza ETIMO Dallo sp. *Barraca* DATA sec XVII». Devoto, G., Oli, G., 2013, Il Devoto-Oli Vocabolario della lingua italiana, Le Monnier, Milano.

⁶⁹ «... *Illud etiam feitu (?) dignum, quod cum fumni (?) iuxta, atque imi (?) oneri, senes, mulieres viri terrae damna metuerent, coeli iniurijis paterent lignea veluti tentoriola (BARRACCHAS APPELLANT) mira celeritate struxere; delecto a viris primoribus loco nostris Patribus ...quo promptius esset ad consessionem perfugium...».* Recupito G. C., 1638, *De novo in universa Calabria terraemotu congemminatus nuncius*, Neapoli.

⁷⁰ Pessa, L., 1876, *Sul consolidamento delle fabbriche nelle Calabrie*.

costituiscono la dimora permanente....Qui invece le baracche debbono soddisfare ad un'imperiosa necessità d'urgenza...»⁷¹

4.7 Conclusioni

La Vega è indicato dalle cronache d'epoca come l'inventore del sistema antisismico borbonico; forse più correttamente la genesi del sistema denominato *casa baraccata* è da ricercare più che nell'invenzione di un unico tecnico, nella congiuntura e confluenza di diversi fattori legati alla storia ed allo sviluppo tecnologico dell'Italia meridionale, in particolare in Calabria mettendo a frutto le conoscenze acquisite. Un sapere intorno alle strutture di legno in Calabria insito da secoli nella cultura costruttiva locale che unito alla piena consapevolezza della resistenza al terremoto degli edifici a struttura portante di legno, apportano un notevole contributo alla genesi e sviluppo del congegno ad intelaiatura lignea.

Il sistema borbonico sintetizza quello che la maggioranza dei trattatisti riportava già da alcuni decenni, in un dibattito scientifico che trova particolare vigore successivamente al terremoto del 1755 di Lisbona⁷². Una codificazione tecnologica da tempo precisata e che usufruiva delle "prove sperimentali" che fabbricati a struttura di legno realizzati precedentemente al terremoto del 1783 avevano subito.

Le costruzioni realizzate con il sistema antisismico borbonico, nelle sue diverse tipologie, hanno sfidato quasi impunemente i terremoti del 1905 e 1908, mostrando ottimo comportamento e resistenza ad azioni di tipo

⁷¹ Masciari-Genoese, F., 1915, *Trattato di costruzioni antisismiche*, Ulrico Hoepli, Milano, pag.928.

⁷² Tuttavia, a nostro parere, il sistema Borbonico non è derivabile direttamente dalla Gaiola Portoghese. Le due teorie costruttive infatti, sono unicamente accumulate dall'utilizzo del legno. La *Gaiola* presenta nella sua versione tipica, a differenza della *casa baraccata*, un piano terra in muratura con copertura a volta e pareti murarie perimetrali ai livelli superiori, che di legno prevede, esclusivamente, un nucleo interno a tale scatola muraria. Il sistema anti-sismico Portoghese si caratterizza anche per una disposizione degli elementi strutturali con il fine dichiarato di scongiurare l'innesco e la diffusione degli incendi; un obiettivo poco perseguito nella teorizzazione del congegno antisismico applicato in Calabria.

sismico⁷³. Tali prestazioni comportarono, almeno per quanto contenuto nel Regio decreto n. 511 del 1906 e il n. 193 del 1909, la decisa raccomandazione, in alternativa alla nascente tecnologia del cemento armato, delle strutture *baraccate* che, secondo i redattori delle norme, presentavano una considerevole resistenza e sicurezza al sisma.

⁷³ Ruggieri, N., Tampone, G., Zinno, R., 2013, *Typical failures, seismic behavior and safety of the "Bourbon system" with timber framing*, in "Advanced Materials Research" Vol. 778 (2013). Trans Tech Publications, Switzerland, pp 58-65.

CAPITOLO 5.

Un "Antenato":

Murature intelaiate nella civiltà Italica

Keywords: timber frames, clay model, Italic culture

5.1 Abstract

Several clay models, which date back to the 6th century B.C., were discovered in the enotrian site of Guardia Perticara (Pz). They represent Italic huts and emphasize a wooden constructive system constituted by timber frames.

The chapter aims to propose a systematic reading of the represented load bearing system which embodies an important step in the historical development of timber structures in the Calabria region.

The clay models show a concordance with archeological evidences. In fact some holes dug into the ground to hold timber post, with a rectangular development in plan, were discovered in this geographical area.

These models reveal a complex hierarchic organization of the various members with the presence of bracings inside timber frame and along the roof structure. The wooden diagonals increase the constructive system stiffness and improve the timber frame response to horizontal forces and consequently to in-plane seismic actions.

The paper also focus on a representation of a joint failure with loss of equilibrium and members bending which characterize some load bearing elements. Such realistic description is coherent and compatible with the structural configuration, the loads system and the mechanical material characteristics.

5.2 Introduzione

La ricerca ha analizzato cinque manufatti fittili, strutturati secondo sistemi costruttivi lignei, provenienti dal sito enotrio di contrada San Vito, nel

territorio di Guardia Perticara (Pz), a cui si aggiunge un sesto rinvenuto fuori contesto.

Trattasi di ciste, risalenti al VI sec. a.C e identificate nel presente contributo con "A, B, C, D, E", ritrovate da Salvatore Bianco in sepolture femminili con caratteristiche formali abbastanza omogenee. I modellini, raffigurazioni di casa/tempietto, sono caratterizzati da una cassetta rettangolare conclusa superiormente da due spioventi e da un rialzo alla base mediante sostegni quadrangolari o in alternativa a forma di piede, ad esclusione di un esemplare che ne è privo.

Le dimensioni⁷⁴, simili per tutti i manufatti, sono di circa 20 cm relativamente all'altezza, larghezza di circa 15 cm, mentre circa 25 cm contraddistinguono la lunghezza del lato maggiore.

La decorazione è di tipo sub geometrico, bicroma, con motivi a croce di sant'Andrea, a graticcio e a forma di svastica.

5.3 Le ciste fittili a casa/tempietto di Guardia Perticara

La valle del fiume Agri e dei suoi affluenti, situata a sud-ovest dell'attuale Basilicata, rappresenta una delle più importanti vie di comunicazione dell'antichità⁷⁵, il collegamento tra l'interno ed il mondo magno-greco e proseguendo lungo il Vallo di Diano e Sala Consilina⁷⁶, con la Campania etrusca.

⁷⁴ Tali misure sono derivanti da un rilievo a "vista".

⁷⁵ L'importanza dei fiumi nella nascita e sviluppo degli insediamenti abitativi, in età arcaica e precedentemente, è legata, oltre che alla facilità di scambi commerciali, alla presenza dell'acqua, elemento fondamentale per la vita e sacro per eccellenza, con proprietà purificatrici ed essenziale nello svolgimento di cerimonie religiose. Cfr. AAVV, 1999, *Il sacro e l'acqua. Culti indigeni in Basilicata*, Edizioni De Luca, Roma.

⁷⁶ Molti autori evidenziano l'importanza del centro di Sala Consilina nell'antichità, «(...)nella prima età del ferro era stato un grande centro proto-etrusco, di facies Villanoviana (...) con un carattere più avanzato rispetto al mondo indigeno (...) nella seconda metà del VII sec. i rapporti con l'area costiera s'interrompono e Sala s'inserisce completamente nel contesto locale assumendo il ruolo di grande centro di redistribuzione di portata cantonale (...)». D'Agostino, B, 1989, *Le genti*, (op. cit.), p. 216. Anche De Juliis evidenzia per Sala Consilina una trasformazione, tra

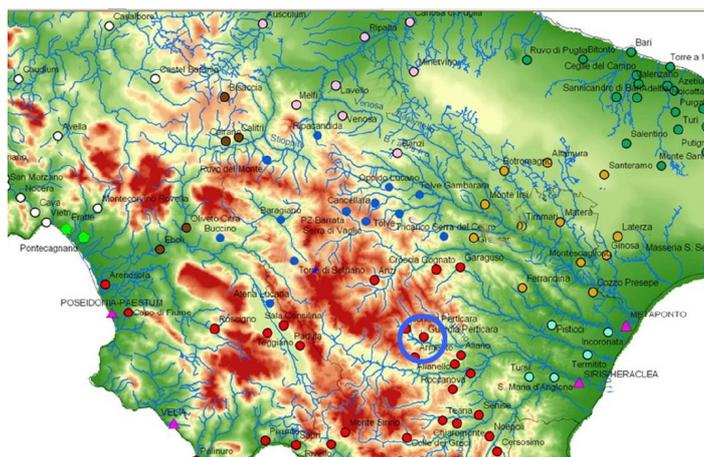


Fig. 21 Inquadramento territoriale (da Osanna, 2008)

Tutti i modellini fittili, ad esclusione di quello denominato "E", sono caratterizzati da decorazioni a sintassi geometrica⁷⁷, con peculiari "motivi a clessidra", presente nei "tempietti" conservati in Italia, a cui si aggiungono, in un unico esemplare, il modello "D", svastiche sul lato minore; il modellino "A" presenta invece, in posizione centrale, una decorazione a figure antropomorfe, con braccia sollevate e piegate verso l'alto, quasi a volere sostenere l'intera carpenteria lignea sovrastante. Il carattere peculiare di

VIII e VII sec. a.c., «(...) in un centro legato alla Basilicata interna piuttosto che all'area Tirrenica (...)». De Juliis, M., E., 1996, p. 113.

⁷⁷ Yntema identifica in tale ambito culturale una ceramica con motivi che denomina "West-Lucanian Geometric" ed in alternativa "Oinotrian" o "Lucanian Geometric". Si tratta di decorazioni, caratterizzate tra l'VIII, il VII ed il VI sec. a.c., da «(...) apparently opposite tendencies, which are especially marked in the second half of the 6th century. Increasing complexity of the decoration is found alongside increasing simplification. Simplification first. During much of the 7th century, lozenge patterns and meandriform patterns such as battlement, meander, and hooks had been fairly common features on the pottery of the western part of Lucania. In the early years of the 6th century, contemporary with a considerable increase of imported Greek or Greekish pottery and an increased use of bichrome painting, these patterns seem to disappear. In consequence, the decoration tends to be confined to some horizontal bands with suspended patterns attached to the lowest horizontal band. (...)». Yntema, D., 1990, *Matt-painted pottery of southern Italy*, Galatina, p. 135.

tale decorazione, forse apotropaico, potrebbe intendersi come la rappresentazione dell'ingresso.

Il lato lungo appartenente alla cista denominata "D" presenta tratti lineari che rimandano al labirinto.



Fig. 22 Il modellino denominato "A" conservato nel Museo di Metaponto (Pz).

Fig. 23 Il modellino denominato "B" conservato nel Museo della Siritide, Policoro (Pz).

Il motivo a scacchiera è presente nelle "pareti" degli esemplari denominati "B" e "C".

La struttura dell'"edificio", visibile in maniera chiara negli esemplari denominati "A", "B", "D", "F", è manifestata attraverso elementi in rilievo, per le incavallature e travi, relativamente alla copertura; è soltanto disegnata, con campiture piene per gli elementi secondari, i travetti e i controventamenti delle pareti verticali e degli spioventi, in questo caso il tratto è evidenziato da piccoli tratteggi.



Fig. 24 Il modellino denominato "C" nel conservato Museo della Siritide, Policoro (Pz).

Fig. 25 Il modellino denominato "D" (Russo, 2000)

5.4 La carpenteria lignea rappresentata

I modellini di Guardia Perticara documentano edifici con uno sviluppo in pianta rettangolare, in un rapporto di circa 1:3 tra i lati, unica eccezione il manufatto "B", dove la dimensione longitudinale è circa il doppio della parete di lunghezza minore; tutti sono costituiti probabilmente da un unico ambiente, del tipo ad oikos e quindi relativo ad un'unica cellula familiare⁷⁸.

La copertura, relativamente a tutti i modellini, è del tipo a falde, con pendenza importante, costituita da due spioventi, non molto aggettanti⁷⁹ per il lato minore, la falda all'imposta risulta priva di qualunque sbalzo.

Il tetto è sormontato da piccoli acroteri zoomorfi, protomi taurine o raffiguranti volatili e solo in un caso, nel modello "E", serpenti.

⁷⁸ Staccioli riferisce come *Oikos* il tipo di edificio più antico rappresentato da modelli, «(...) cioè quello costituito da un solo ambiente, rettangolare ma tendente al quadrato, con apertura sul lato minore e tetto appena sporgente sulle pareti (...)». Staccioli, R., A., 1968, p. 84.

⁷⁹ Distante dalle indicazioni di Vitruvio che prescriveva, per l'ordine tuscanico, lo *stillicidium*, un aggetto del tetto che preservasse dall'acqua piovana di dimensioni pari ad almeno 1/3 dell'intera falda.

5.5 Il materiale costruttivo

Il legno⁸⁰, facilmente approvvigionabile in natura, caratterizzato da un'agevole lavorabilità e messa in opera, unita ad una leggerezza che ne consente una facile trasportabilità, caratteristiche che non sono tuttavia limitative della resistenza, ha costituito, in età protostorica, l'unico materiale disponibile per la realizzazione di strutture portanti appartenenti al dominio del discreto.

Tutti i componenti costruttivi e più in generale la quasi totalità del sistema edilizio raffigurato nei modellini oggetto di studio, mostrano un utilizzo del legno: la struttura verticale, pali e montanti, con eventuale riempimento ad incannucciato, e l'orizzontamento di copertura, incavallature, travi e travetti. Per tali elementi strutturali è possibile ipotizzare l'uso della quercia, menzionata anche nelle tavole di Eraclea e in alternativa del castagno, congettura legittimata da una diffusione, in Italia e in particolare in Basilicata, di querceti e di castagneti in pianura e collina, fin dall'età del Bronzo.

Una disponibilità di tali specie legnose, confermata anche dall'analisi di pollini nel sito di Pantanello, vicino Metaponto⁸¹, che perdura durante l'età del Ferro e che, escludendo l'ipotesi, nonostante importanti vie fluviali di comunicazione vicine, di approvvigionamento del legno lontano dal cantiere di esecuzione del manufatto, possono essere di riferimento per l'esecuzione del sistema costruttivo raffigurato nelle ciste di Guardia Perticara.⁸²

⁸⁰ Tra le fonti più antiche che descrivono diverse specie legnose e il loro possibile impiego, in particolare per fini non strutturali, ma piuttosto relativamente alla realizzazione di suppellettili e mobilio, i testi delle tavolette in lineare B di Cnosso, ritrovate da Arthur Evans. Cfr. AAVV, 2002, *Il mondo dell'archeologia*, Istituto della Enciclopedia Italiana fondata da Giovanni Treccani, Roma, p. 879.

⁸¹ Il profilo palinologico, denominato "*bosco, macchia e specie selvatiche*", descritto dal Centro di Agriarcheologia di Pantanello, conferma la presenza di specie legnose appartenenti al genere *Quercus*, durante il VII-V sec. a.c., nel territorio della *chora* metapontina. Cfr. Carter, J., C., 2006.

⁸² Il sito di rinvenimento dei modelli fittili di Guardia Perticara ha un'altitudine di 750 m, in posizione quindi collinare.

La lavorazione delle varie membrature di legno messe in opera risulta grossolana da cui si ottiene nella maggioranza delle aste la raffigurazione di un elemento strutturale tondeggiante, messo in opera con la corteccia o appena scortecciato; diverso è il caso dei puntoni e la trave di colmo del modellino "B", dove la sezione è quadrangolare, pur non mostrando alcuna gerarchia dimensionale dei lati.

5.6 L'intelaiatura resistente

Il meccanismo strutturale⁸³ evidenziato nei manufatti "A", "B", "D", "F", è costituito da telai di legno, con riempimento non ben specificato, ma che s'ipotizza, concordemente con i rinvenimenti archeologici, in incannucciato,



Fig. 26 Il modellino denominato "E" (da Bianco, 1998)

Fig. 27 Il modellino denominato "F"

⁸³ Il modellino conservato a Parigi e quello denominato "E", non mostrano significative evidenze costruttive. Il manufatto custodito al Louvre presenta peculiarità anche formali che lo distinguono, nonostante provenga dallo stesso ambito culturale, dagli altri rinvenuti a Guardia Perticara; nello specifico le pareti allargantesi verso l'alto, simile ad alcuni esempi etruschi, sono irrazionali dal punto di vista costruttivo e comportano problemi di stabilità dei piedritti sostenenti l'incavallatura. I tamponamenti, inoltre, sono privi di rilievi o decorazioni interessanti al fine della documentazione delle caratteristiche meccanico-costruttive.

impasto di argilla e frasche o in alternativa in pietrame⁸⁴; per i restanti modelli, ad esclusione di "E", privo di decorazioni, la mancanza di evidenze costruttive potrebbe interpretarsi con la presenza di intonaci ricoprenti l'intera struttura.

Il motivo "a scacchiera"⁸⁵, presente nei manufatti "B" e "C", rimanda a possibili graticci di legno, composti da montanti ed elementi orizzontali disposti in maniera fitta, con conseguente beneficio per la rigidità trasversale della tamponatura.

La disposizione dei pilastri divide la parete longitudinale, per gli esemplari "A" e "F", in tre campate con luce di dimensioni simili.

Interessante è la presenza di croci di sant'Andrea, raffigurate sia nelle tamponature longitudinali (su "A" ed "F") che nelle pareti trasversali (su "B"), con una conseguente limitazione della deformabilità dei telai e resistenza elevata ad azioni quali vento e sisma; inoltre, la disposizione dei controventamenti in entrambe le direzioni, presente negli esemplari "A" ed "F", permette all'edificio raffigurato un comportamento tridimensionale relativamente ad azioni di tipo orizzontale.

Si potrebbe affacciare l'ipotesi, molto affascinante, della ricerca di una risposta antisismica della costruzione, precludendo ai sistemi più complessi

⁸⁴ Numerose prove cicliche sono state effettuate da Ceccotti ed altri, su modelli in scala reale, di intelaiature di legno con riempimento in canniccio intonacato ed in alternativa muratura piena o pietrame; tale campagna ha mostrato per il sistema costruttivo analizzato, indipendentemente dal riempimento, eccellenti qualità antisismiche e in generale di risposta ad azioni orizzontali, con ottimi risultati in termini di duttilità e rigidità. Cfr. Ceccotti, A., Follesa, M., Lauriola, P.L., 2007, *Le strutture di legno in zona sismica*, C.L.U.T. Editrice, Torino, p. 351 e s.

⁸⁵ Tale decorazione risulta frequente nella pittura vascolare Enotria del VII e VI sec. a.c. come è possibile riscontrare ad esempio nei rinvenimenti di Roccanova in Val d'Agri. Cfr. Adamesteanu, D., 1974, p.136.

Potrebbe altresì alludere, oltre che a graticci di legno, a stuoie a trama incrociata intessute per fare da chiusura.

“ideati” in Calabria nel '700⁸⁶. Un'illusione, forse, tuttavia risulta incontrovertibile la ricerca di telai indeformabili e quindi di una maggiore rigidità trasversale ottenuta appunto mediante l'utilizzo di elementi di controventamento; una necessità di stabilizzazione, per i telai, dettata anche dalla lavorazione imprecisa degli elementi costituenti e quindi nel complesso affetti da molte eccentricità.

L'intero sistema strutturale rappresentato nei modellini, poggiante su un piano orizzontale, presumibilmente un tavolato, leggermente sporgente rispetto alla parete verticale, risulta rialzato rispetto al terreno e scarica l'intero peso, in maniera puntuale, nei quattro angoli dell'edificio, mediante pali⁸⁷ con diverse caratteristiche formali. Tale disposizione costruttiva⁸⁸ mostra un certo sviluppo tecnologico e trova la sua probabile motivazione di preservare le strutture di legno da eventuale umidità proveniente dal terreno e da insetti, formiche carpentiere (*camponotus ligniperda*) per esempio, quindi evitare condizioni poco favorevoli alla conservazione del legno.

⁸⁶Esistevano già precedentemente al '700 ed al sistema antisismico denominato “gaiola” portoghese, esempi in Calabria, in territori quindi limitrofi, di telai di legno controventati o diversamente irrigiditi. Si attinge quindi ad un sapere diffuso nell'area geografica di riferimento; in maniera empirica, infatti, le popolazioni avevano potuto sperimentare l'ottima risposta ad azioni di tipo dinamico o più in generale orizzontali di edifici ad intelaiatura lignea. Cfr. Ruggieri, N., 2005,.

⁸⁷ Ad esclusione della casa/tempietto denominata “D”, tuttavia è ipotizzabile, anche per tale manufatto, la presenza, in origine, di elementi costruttivi distanziatori dal terreno del restante sistema strutturale.

⁸⁸ Altre ipotesi che giustificano il “rialzo” dell'edificio dal terreno, potrebbero riguardare il carattere sacro della costruzione e quindi la volontà di costituire una sorta di podio o in alternativa essere letto come artificio utile nella conservazione di materiali deperibili come derrate, se si prende in considerazione la possibilità espressa da De Siena che i manufatti rappresentino granai. Cfr. AAVV, 2005, *Magna Graecia, (op. cit.)*.

5.7 L'orizzontamento di copertura

La struttura di copertura è composta, per tutti i modellini, ad esclusione di "B" dove la raffigurazione non mostra appoggi intermedi, da tre campate di luce costante, con due incavallature di estremità: si tratta di protocapriate composte da due puntoni, una catena ed un monaco poggiante direttamente sulla catena stessa. Le due incavallature sono rese solidali attraverso un arcareccio all'imposta della falda ed una trave di colmo sempre collegata direttamente all'incavallatura, poggiante sul monaco⁸⁹. I nodi che così si formano sono costituiti da tre aste, per quello inferiore arcareccio-puntone-catena e da quattro aste relativamente all'unione monaco-puntone-puntone-trave; semplicemente appoggiata si presenta l'estremità inferiore del monaco sulla catena. Le due membrature monaco e catena risultano decorate; si evince una gerarchia, segnalata dalle decorazioni ed evidenziata da dimensioni differenti, maggiore nel caso degli arcarecci, di sezione minore per gli elementi della proto capriata. Il monaco, leggermente arretrato rispetto al piano verticale dell'unità strutturale, risulta di dimensioni più piccole.

Il manufatto denominato "B" è caratterizzato, unico tra tutti gli esempi, da un'orditura secondaria, parallela al piano della falda e raffigurata con tratto a campitura piena, rappresentante sei travetti disposti con luce di dimensione quasi uguale all'asta stessa.

⁸⁹ A tal proposito Munafò riferisce sull'origine dell'etimologia monaco, facendola risalire al XII sec., «(...) quando l'elemento cominciò ad assumere anche un significato religioso (...)». Munafò, P., 2002, *Le capriate lignee antiche per i tetti a bassa pendenza. Evoluzione-Dissesti-Tecniche di Intervento*, Firenze, Alinea Editrice srl, p. 44.



Fig. 28 Ipotesi ricostruttiva di una capanna italica

Altra peculiarità è afferente al modello "A", riscontrabile nell'ossatura portante delle falde, dove sono presenti due travetti accostati, poggianti all'imposta dello spiovente e sulla trave di colmo, disposizione di membrature che rinviano alle indicazioni di vitruviana memoria, per il tempio di ordine Tuscanico, delle trabes compactiles.⁹⁰

⁹⁰«(...) supra columnas trabes compactiles inponantur altitudinis modulis is qui a magnitudine operis postulabuntur. eaeque trabes compactiles eam habeant crassitudinem; quanta summae columnae erit hypotrachelium, et ita sint compactae subscudibus et securielis ut compactura duorum digitorum habeant laxationem. cum enim inter se tangunt et non spiramentum et perflatum venti recipiunt, concalefaciuntur et celeriter putrescunt. (...)». Vitruvio Marco Pollione, *De Architectura, Liber IV* (op. cit.).



Fig. 29 Ipotesi ricostruttiva di una capanna italica, l'ossatura portante lignea

La copertura, del tipo stramineo quindi con peso proprio minimo, presenta una pendenza rilevante⁹¹, con un'inclinazione dei puntoni non limitata, come in generale per ragioni di carattere climatico si riscontra in esempi successivi nella stessa area geografica. Di tale disposizione beneficia l'intera unità strutturale diminuendo l'entità della componente orizzontale al nodo puntone-catena, scongiurando quindi spinte eccessive che potrebbero causare il possibile malfunzionamento del collegamento; inoltre si ottiene una distribuzione favorevole delle tensioni con entità di sollecitazioni di

⁹¹ Un'inclinazione obbligata per permettere un adeguato deflusso delle acque piovane; a tal fine migliori prestazioni si ottengono in generale, con un tetto del tipo "pesante", composto da elementi fittili, anche se con pendenza minore.

«(...) For a thatched roof the ideal inclination lies between 45° and 60°, in order to make it resistant to rain and snow (...) basically a low inclination indicates a tiled roof, a steep inclination a thatched roof (...)». Helle Damgaard Andersen, 2001, *Thatched or tiled roofs from the early iron age to the archaic period in central Italy*, in atti del congresso "From Huts to Houses Transformation of ancient societies", J.Rasmus Brandt and Lars Karlsson, Stockholm, p. 245.

trazione parallela alla fibratura, minore sulla catena di capriate con falde ripide⁹².



Figg. 30 - 31 Ipotesi ricostruttiva di una capanna italica, l'ossatura portante lignea. Esploso.

Evidente, relativamente alla parete di lato minore dei manufatti "D" ed "F", la presenza di motivi geometrici, rettangoli raffigurati sulla catena, il cui disegno rimanda, plausibile illazione, alla scansione dei pieni e dei vuoti creati da travi di un solaio intermedio afferente ad un livello sottotetto oppure ad un soffitto. La disposizione delle membrature resistenti, tuttavia, è rappresentata parallela al lato maggiore quindi in maniera non ottimizzante il comportamento strutturale.

Interessanti dal punto di vista dell'evoluzione costruttiva sono gli esemplari "A", "D", "F", che, alla stregua delle strutture verticali, presentano controventamenti lungo il piano della falda; la configurazione comporta un irrigidimento dei telai componenti la copertura, in altre parole si costituisce un poligono regolare reso indeformabile, alle azioni orizzontali, dalla presenza di croci di san'Andrea.

⁹² Cfr. tesi di laurea in Ingegneria Civile, UNICAL, Falcone, M. , A.A. 2010/2011, *La capriata mediterranea di legno: storia, geometria, meccanica e consolidamento*, Relatore: Prof. Totaro N.; Correlatore: Arch. Ruggieri N.

Tutti gli esempi, ad esclusione di "C" ed "E", mostrano un'incavallatura, priva di saette, ma definita in tutti i suoi elementi strutturali, con disposizione di controventamenti a limitare la deformabilità del piano della falda.

5.8 I nodi

I collegamenti rappresentati rimandano a nodi del tipo a gravità con l'ausilio di corde, costituite da intrecci di fibre vegetali⁹³, segnalate da piccole protuberanze all'incrocio delle aste puntone-arcareccio-catena, al vincolo montante-traverso inferiore, ad esempio nel manufatto "F" e con ogni probabilità presenti anche nell'unione trave di colmo-puntone-monaco-puntone, occultata però dalla presenza di protomi zoomorfe.



Fig. 32 Il modellino denominato "B", particolare dei nodi relativi alla proto-capriata.

Il monaco sembra semplicemente poggiate sulla catena.

I nodi appaiono in un certo qual modo preservati con una corretta aerazione ed in parte difesi dagli agenti atmosferici, almeno per quanto riguarda i

⁹³ Salici in particolare come ricordato da Plinio nel libro XVI. Cfr. Brocato, P., Galluccio, F., 2001, *Capanne moderne, tradizioni antiche*, in atti del congresso "From Huts to Houses Transformation of ancient societies", J.Rasmus Brandt and Lars Karlsson, Stockholm, p. 304.

collegamenti trave di colmo-puntone-monaco-puntone e catena-monaco, diverso è il discorso relativamente al nodo catena-puntone-arcareccio, dove quest'ultimo, proseguendo verso l'esterno, oltre l'incrocio delle aste, risulta senza riparo, esposto direttamente alle intemperie, creando in tal modo le condizioni ottimali per un attacco biotico, micotico ed entomatico, con facilità di estensione anche alla superficie più interna ed interessare quindi in tempi brevi l'intera unione⁹⁴.

I collegamenti, rappresentati nei modellini con ogni probabilità privi di artifici, tipo intagli, a differenza di quelli relativi alle capriate moderne e premoderne del tipo a gravità, con comportamento monolatero e direzione di risposta alle sollecitazioni preferenziale, sono realizzati tramite corde quindi con una risposta strutturale possibile, seppur limitata, nelle tre direzioni; si segnala quindi una certa duttilità.

Alcune aste di controventamento, nei modelli "A", "B" e "F", non sono concorrenti perfettamente nel nodo, ma insistono sulla luce della membratura del telaio, tale esecuzione, probabilmente legata a motivi di ordine tecnologico e più in particolare ad una difficoltà nel collegare con corde tre membrature convergenti nello stesso vincolo, produce in prossimità del collegamento momenti secondari, non comportando, tuttavia, una riduzione della rigidità della struttura⁹⁵.

⁹⁴ Pur se non esistono studi a noi noti sul grado di vulnerabilità di un elemento ligneo, in condizioni igrotermiche sfavorevoli, nei confronti di insetti e funghi, nel periodo arcaico.

⁹⁵ I controventamenti eccentrici, di utilizzo frequente nella moderna tecnica in acciaio, presentano una buona risposta strutturale nell'eventualità di azioni di tipo dinamico con un miglioramento rispetto alle ordinarie croci di Sant'Andrea della capacità di dissipazione di energia, in quanto evitano l'instabilizzazione della singola asta: le diagonali sono in grado di assorbire unicamente sforzi di trazione, l'asta scarica collegata nel nodo può tuttavia essere sollecitata a compressione, provocando una sorta di "usura" del meccanismo, con instabilizzazione del controvento e conseguente diminuzione di capacità di dissipazione di energia durante l'azione ciclica del sisma; con aste disposte eccentricamente la lunghezza libera d'inflessione viene limitata, comportando una diminuzione di snellezza e la minore possibilità d'instabilizzazione della diagonale compressa. Cfr. Wakabayashi,

5.9 Deformazioni e dissesti

Acuto osservatore l'artigiano, creatore dei modelli, mostra chiaramente, con estrema minuzia, sia gli elementi costruttivi che, al contempo, i segni delle degradazioni meccaniche occorse alla "costruzione".

Annota infatti, dalla realtà, elementi strutturali alquanto minuti, sottodimensionati, impegnati al limite della loro resistenza e registra in maniera puntuale e precisa la raffigurazione delle deformazioni delle membrature.

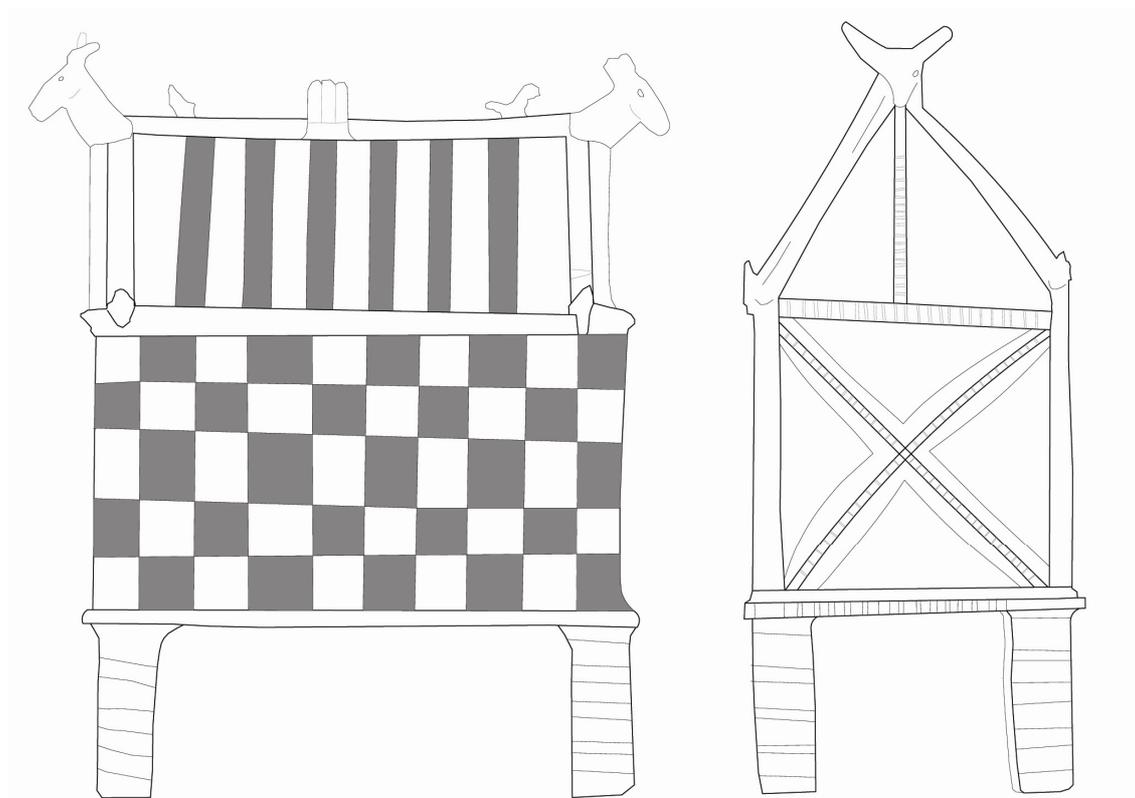


Fig. 33 Rilievo del modellino denominato "B".

M., 1989, *Progettazione di strutture antisismiche*, Mc Graw Hill Italia, Milano, p. 200.

Tale scenario deformativo è riferibile alle strutture metalliche, nel caso specifico dei telai di legno, il comportamento eminentemente elasto-fragile, sotto azioni eccezionali, determina il collasso della membratura diagonale compressa o in alternativa il ritorno nella posizione iniziale senza deformazione, plasticizzazione, alcuna.

In particolare, relativamente al manufatto denominato "B", su uno dei lati corti, la rappresentazione mostra l'abbassamento di estremità della catena, dislocazione che in virtù della solidarietà strutturale offerta dall'intelaiatura lignea, provoca l'inflessione di un'asta di controventamento, senza tuttavia

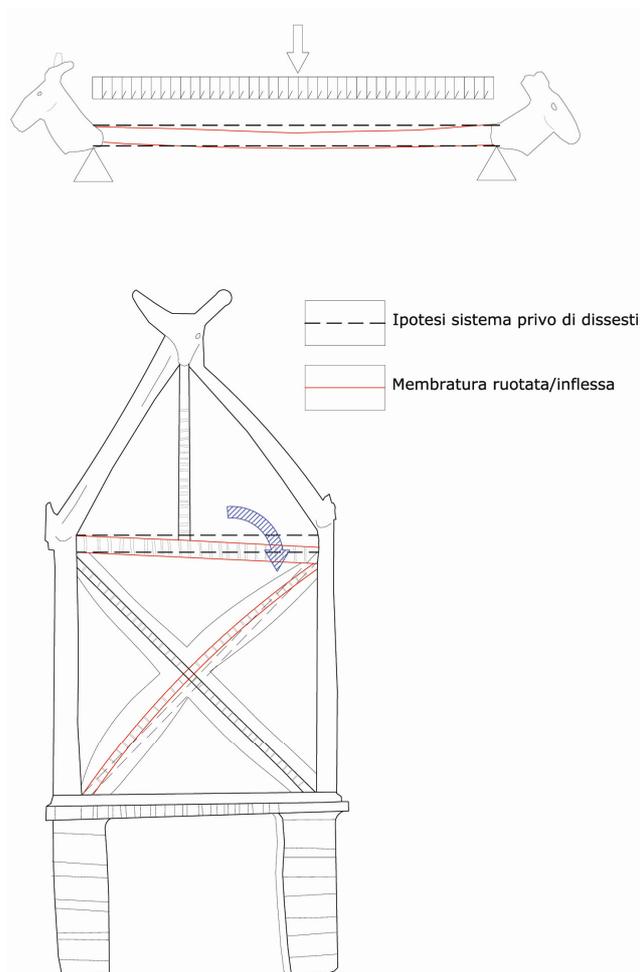


Fig. 34 Particolare del cinematismo evidenziato nel modellino denominato "B".

causare il collasso dell'intero sistema strutturale. Una raffigurazione che si pone, in maniera pionieristica, come antecedente dell'analisi sull'instabilità delle aste di legno affrontata da Leonardo prima, da Musschenbroeck poi, per essere quindi esaurientemente definita da Eulero.⁹⁶

La scrupolosità nel rendere il modello verosimile ad una costruzione reale è attestata anche nella riproduzione della deformazione della trave di colmo⁹⁷, non correttamente dimensionata, compatibile con il sistema dei carichi e dei vincoli raffigurati.

⁹⁶ Cfr. Ruggieri, N., 2011, *Il legno nel '700, aspetti meccanici e d'anatomia*, in *Bollettino degli Ingegneri*, n.6. e Timoshenko S.P., 1953, *History of Strength of Materials*, Mc Graw-Hill Companies, New York, pp. 28 e s.

⁹⁷ Nel modello denominato "F" la trave di colmo è raffigurata con una rotazione convessa, una sorta di monta. Anche alcune urne votive, in area etrusca, presentano come ricordato da Andersen, «(...) a central ridge, which sometimes curved "a schiena" (...)». Helle Damgaard Andersen, 2001, *Thatched or tiled roofs (op. cit.)*, p. 248.

Si tratta della membratura afferente ai modelli "B" e "D", dove la freccia è rappresentata in maniera corretta con rotazione concava massima della trave in mezzeria.

5.10 Conclusioni

I manufatti fittili di Guardia Perticara rappresentano edifici, ineludibili infatti, prescindendo dal carattere simbolico⁹⁸ posseduto, sono i riscontri con le evidenze archeologiche coeve e al contempo, la ricchezza e l'accuratezza di elementi e dettagli costruttivi raffigurati. Questi, nel complesso, sono coerenti e risultano totalmente compatibili con le caratteristiche, meccaniche del materiale e tecniche/tecnologiche del sistema strutturale, descritte.

Tali raffigurazioni assumono un ruolo non secondario nella storia delle strutture di legno dal momento che, con le necessarie cautele, sono da intendersi come veri e propri testi a cui attingere per una corretta e precisa definizione dell'evoluzione dell'abitazione ed in particolare delle sue caratteristiche meccanico costruttive.

Una rappresentazione che mostra una complessa organizzazione gerarchica del sistema portante ligneo, in cui sono garantite le condizioni di efficienza

⁹⁸ Un'indagine sull'interpretazione simbolica degli oggetti fittili di Guardia Perticara non preclude in alcun modo il notevole valore documentario per la storia delle costruzioni di legno.

Staccioli, in ambito etrusco, analizzando con acume numerose urne fittili, ritiene che si tratti di imitazione dell'architettura edilizia reale. Inoltre, i modelli dell'Italia centrale, di periodo Villanoviano e successivo, sempre secondo Staccioli, simboleggiano la rappresentazione di tempio/casa in dono al dio, con la motivazione dell'offerente «(...) di donare alla divinità venerata un suo tempio, sostituendo con un modello un edificio vero che gli era impossibile realizzare (...)». Staccioli, R. A., 1968, *I modelli (op. cit.)*, p. 82.

Un'altra questione dibattuta è se i modellini rappresentino abitazioni o templi, a tale proposito, Staccioli, evidenzia una certa "linearità" tipologica, almeno per gli esemplari più antichi, privi di differenze formali quindi perfettamente confondibili. Cfr. Staccioli, R. A., 1989, *Case o templi nei modelli etrusco-italici?* in "Scienze dell'Antichità", nn. 3-4.

della struttura, equilibrio e stabilità. Se confermato da ulteriori studi, la presenza di aste di controventamento, sia nelle pareti verticali, che lungo il piano delle falde di copertura, preconizza un pionieristico avanzamento nello sviluppo delle strutture di legno resistenti al sisma.

CAPITOLO 6.
I fondamenti teorici
La trattatistica nel '700

Key words: Enlightenment science; Reign of Naples; anti-seismic principles

6.1 Abstract

The Borbone constructive system represents the advancement and the synthesis of the knowledge of the 18th C science about anti-seismic constructions.

The herein chapter describes, by means of the analyses of treatises of Italian authors and particularly of Neapolitan ones, the scientific bases from which is originated a device that was widely applied in the buildings.

The scientific community of the Eighteenth Century and in particular the Neapolitan intelligenza, possesses anti-seismic principles and constructive techniques with the aim to improve the building response towards earthquake. These elements are used in the theorization of the Borbone system.

A edifice proper behaviour, in case of dynamic actions, cannot prescind from the timber employment, the latter is recommended by several writers of treatises as the unique material fundamental in the bond of the walls constituting the building. In addition several Neapolitan engineers⁹⁹ of the 18th are aware that timber, if compared to masonry, allows a decrease of the seismic mass and consequently an earthquake action reduction, in particular if the load decrease occurs with the increase of the edifice height. Others anti-seismic principles widely share by the Borbone technicians, concern the geometric characteristics of the building, with the strong instruction to pursue a both in plan and elevation regular shape.

⁹⁹ Esisteva dal 1754, fondata da Carlo di Borbone, una struttura accademica con l'obiettivo di formare ingegneri militari con solide basi tecnico-scientifiche ed in generale sull'architettura.

6.2 Introduzione

Il XVIII secolo si distingue per una buona circolazione delle idee e del sapere con un apporto rilevante delle Accademie e la loro puntuale pubblicazione di atti e libri che contribuirono in maniera determinante alla genesi del *sistema baraccato*¹⁰⁰ codificato all'indomani del terremoto del 1783.

Napoli è capitale di uno tra gli stati più moderni d'Italia¹⁰¹, sebbene i primati scientifici sono da ricercare principalmente in Francia e Inghilterra, caratterizzati da un vigoroso fermento culturale non riscontrabile in Italia. Infatti, l'intero attuale territorio nazionale è contraddistinto da un vero e proprio clima d'intimidazione persistente dalla condanna di Galilei che rende gli intellettuali, nella maggior parte dei campi d'investigazione, semplici spettatori dei progressi scientifici che stavano avvenendo in Europa.

I Borbone, con piena consapevolezza di tale ritardo, attuano diverse proposte nel tentativo di riforma e promozione del sistema universitario, avvalendosi dei suggerimenti dell'illuminato ministro Tanucci e tra le altre iniziative, nel 1778 Ferdinando IV fonda, basandosi sulla *Royal Society* e la francese *Académie*, la Reale Accademia di Scienze e Belle Arti. Comunque gli scienziati napoletani risultano perfettamente aggiornati sull'avanzamento tecnologico e relativamente alle ultime scoperte, grazie anche ad una buona pratica diffusa tra gli studiosi *Borbonici* di effettuare numerosi viaggi in Francia e in Germania e, da parte dei nobili, di invitare a corte e nei salotti

¹⁰⁰ La normativa Borbonica e Vivencio non descrivono il congegno antisismico come casa baraccata solo nel XIX secolo, tale definizione, identifica il sistema costruttivo costituito da muratura rinforzata da telai di legno e ideato alla fine del Settecento. Cfr. Ruggieri, N., 2013, Il sistema antisismico borbonico muratura con intelaiatura lignea genesi e sviluppo in Calabria alla fine del '700, Bollettino Ingegneri.

¹⁰¹ Il governo Borbonico realizza infatti, istituti di ricerca come l'orto botanico e l'osservatorio astronomico. Particolarmente interessante, vera e propria eccellenza in Europa, è il gruppo di studiosi che investiga intorno alle eruzioni del Vesuvio in cui primeggia, alla fine del '700, il famoso ambasciatore e scienziato inglese William Hamilton.

del regno alte personalità della scienza, con una conseguente facilitazione nella diffusione della cultura.

Un sapere, congetture e legge fisiche, che nasce nel Settecento da acute osservazioni di eventi naturali e da numerose sperimentazioni, nel pieno spirito illuminista. Un atteggiamento decisamente moderno della ricerca che si registra anche nello studio sui metodi di prevenzione del terremoto, non più influenzati dalle argomentazioni della filosofia naturale che voleva nella maggioranza degli studi derivare l'origine delle commozioni telluriche da cause di carattere religioso e superstizioso con conseguenti ridotte applicazioni e ricerche volte a contrastare gli effetti del sisma. Una razionalità e soprattutto empirismo riscontrabile anche per il sistema antisismico Borbonico che «...nasce dalle osservazioni fatte sul luogo...»¹⁰² avvalendosi dei *collaudi*, per azioni dinamiche causate dal terremoto, subiti da strutture di legno esistenti in Calabria anteriormente al 1783.

Inoltre i continui terremoti distruttivi, obbligavano a costruire abitazioni provvisorie di legno che, tuttavia mostravano grandi resistenze ed ottime risposte allo sciame sismico caratterizzante i giorni seguenti alla prima scossa. La baracca diventa quindi l'espressione per eccellenza dello spirito illuminista essenzialmente empirico: le severe prove affrontate infatti, testimoniano per i fisici e la gente comune che «...contro il furor della terra, non che dal cielo...»¹⁰³ l'unico rimedio possibile è una costruzione rinforzata da un'ossatura di legno. Tale consapevolezza è testimoniata dal popolo minuto e dai nobili, che dopo la cessazione delle scosse continuavano a rimanere in fabbricati a struttura lignea, molto più sicuri, al punto che, scrive Hamilton, «...quasi tutti i baroni tengono preparata presso i loro

¹⁰² Vivenzio, G., 1783, *Istoria e teoria de' tremuoti in generale ed in particolare di quelli della Calabria, e di Messina del MDCCLXXXIII*, Stamperia Regale, Napoli, pag. 53.

¹⁰³ Lutio D'orsi, 1640, *I terremoti di Calabria fedelissimamente descritti dal sig. Lutio D'orsi*, Napoli.

palazzi una di queste baracche per ricoverarvi al primo segno di una scossa...»¹⁰⁴.

DE L'EXPLOITATION DES BOIS,

^{OU}
MOYENS DE TIRER UN PARTI AVANTAGEUX
DES TAILLIS, DEMI-FUTAIES
ET HAUTES-FUTAIES,
ET D'EN FAIRE UNE JUSTE ESTIMATION:
Avec la Description des Arts qui se pratiquent
dans les Forêts :

Faisant partie du Traité complet des BOIS
& des FORESTS.

Par M. DUHAMEL DU MONCEAU, de l'Académie Royale
des Sciences; de la Société R. de Londres; de l'Acad. Imp. de Petersbourg;
des Académies de Palerme & de Besançon; Honoraire de la Société d'Edim-
bourg, & de l'Académie de Marine; de plusieurs Sociétés d'Agriculture;
Inspecteur Général de la Marine.

OUVRAGE ENRICHÍ DE FIGURES EN TAILLE-DOUCE.

PREMIERE PARTIE.



A PARIS,

Chez H. L. GUERIN & L. F. DELATOUR,
rue S. Jacques, à S. Thomas d'Aquin.

M. D C C. L X I V.

Avec Approbation & Privilège du Roi.

Collegii Soc. Jeph. Monachi 1755.

INSTITUTIONES PHYSICÆ CONSCRIPTÆ IN USUS ACADEMICOS A PETRO VAN MUSSCHENBROEK.

LUGDUNI BATAFORUM,
APUD SAMUELEM LUCHTMANS ET FILIUM, 1748.
Academia Typographus.

Cum Privilegio Ordinis Hollandicæ & West-Frisiæ.

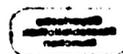


Fig. 35 Du Hamel Du Monceau H.L., 1764, *De l'exploitation des bois*, Guerin et Delatour, Paris.

Fig. 36 Van Musschenbroek P., 1745, *Institutiones Physicae conscriptae in usus academicos*, Venetiis.

6.3 I fondamenti teorici antisismici

Un evidente empirismo governa la ricerca nel Settecento corroborato da numerose prove sperimentali sui materiali da costruzione ed in particolare su membrature di legno che comportano un affinamento, seppur lento, delle conoscenze intorno alla meccanica ed alla soluzione del "problema della resistenza della trave"¹⁰⁵. Interessanti sono gli studi, almeno relativamente alle strutture di legno, di Du Hamel, De Buffon, Girard e con prevalente

¹⁰⁴ Hamilton, G., 1783, *Relazione dell'ultimo terremoto delle Calabrie e della Sicilia inviata alla Società Reale di Londra*, Stamperia della Rovere, Firenze, pag. 32.

¹⁰⁵ Si veda a tal proposito, tra le numerose pubblicazioni sull'argomento, l'attenta e sintetica disamina da Galilei fino a giungere a Coulomb contenuta in Heyman, J., 1997, *Coulomb's Memoir on Statics, An Essay in the History of Civil Engineering*, Imperial College Press, London.

ricerca di argomenti riguardanti la nascente statica applicata agli edifici, di Eulero e di Musschenbroek¹⁰⁶ con una sperimentazione resa valida da un gran numero di invenzioni di strumenti per prove. Sebbene tali autori investighino in maniera limitata intorno ad argomenti che riguardano i metodi di prevenzione ed il comportamento a sisma degli edifici, riconducendo l'analisi della vulnerabilità ai terremoti, d'accordo con altri scienziati del XVIII secolo, a fattori legati in generale alla *firmitas* di vitruviana memoria e quindi alla mancanza di buone regole costruttive. Andrea Gallo, professore ed erudito siciliano, raccomanda l'utilizzo di una buona malta affinché garantisca all'apparecchio murario in un certo qual modo una resistenza a taglio e solidarietà tra gli elementi costituenti, indicazione che deduce direttamente dai dissesti causati dal terremoto del 1783, le pietre «... *non movendosi tutte insieme colla medesima intensità vennero a separarsi le une dalle altre, e specialmente dove la calcina che le legava non ebbe la forza di tenerle unite insieme, e perciò si osservano le muraglie sgretolate ...*»¹⁰⁷. Il ribaltamento murario viene facilitato infatti nelle «...*muraglie ... (che) non abbiano una troppo solida coesione...*»¹⁰⁸, ovvero murature costituite da più paramenti e in generale caratterizzate da scarsa qualità costruttiva.

Tuttavia la comunità scientifica del Settecento e l'*intelligenza* napoletana in particolare, possiede principi di maggiore validità e metodi costruttivi volti ad aumentare la capacità antisismica di un fabbricato, che puntualmente utilizza nella teorizzazione del sistema governativo borbonico.

Una resistenza nei confronti di azioni dinamiche che non può prescindere dall'utilizzo del legno, unico materiale indicato da numerosi trattatisti come elemento essenziale nella connessione delle varie pareti murarie costituenti l'edificio. Il legno inoltre comporta, se paragonato alla muratura, come riportato in numerosi testi a fondamento dell'educazione scientifica degli

¹⁰⁶ Cfr. Ruggieri, N., 2011, *Il legno nel '700, aspetti meccanici e d'anatomia*, in *Bollettino degli Ingegneri*, n. 6, Firenze, pp. 3-16.

¹⁰⁷ Gallo, A., 1784, *Relazione data all'illustrissimo Senato di questa città da Andrea Gallo Pubblico Professore di Filosofia e Matematica in questo Real Collegio Carolino*.

¹⁰⁸ *Ibidem*.

ingegneri napoletani, una riduzione della massa sismica, con conseguente consapevole decremento dell'azione del terremoto sul fabbricato, specie se la diminuzione del carico avviene con l'aumentare dell'altezza.

Altri principi condivisi diffusamente tra i tecnici borbonici, di sicuro ausilio al fine di ridurre la vulnerabilità ai terremoti, riguardano le caratteristiche geometriche dell'edificio, con la decisa raccomandazione di perseguire una regolarità di forma sia in pianta che in alzato.

Un insieme di procedure e materiali quindi, che sintetizzano i fondamenti teorici del sistema costituito da muratura rinforzata da telai di legno, pionieristico, consapevole e valido congegno antisismico.

6.4 Il legno e la connessione delle pareti murarie

Il legno rappresenta l'elemento fondamentale nel funzionamento antisismico del sistema governativo borbonico, tale materiale, l'unico facilmente approvvigionabile che mostrava resistenza al terremoto, realizza uno dei principi basilari dell'ingegneria antisismica del XVIII secolo, quello di legare tutti gli elementi componenti il sistema strutturale¹⁰⁹.

Un obiettivo presente *in nuce* nella definizione di "ossatura" di Alberti, anche se non con accezione antisismica ma legata ad una corretta regola d'arte, che raccomandava nella costruzione la realizzazione di parti interagenti e concatenate. Collegamenti che dovevano avvenire sia ad una scala infima, relativa all'apparecchio murario prescrivendo correttamente i diatoni per rendere la muratura monolitica e alla dimensione della costruzione intera, con la presenza dei cantonali. Tale principio viene ripreso da numerosi autori¹¹⁰, prescrivendo il cordolo di sommità ed ai solai dei

¹⁰⁹ Appartenente pienamente al XVIII secolo è anche la *Gaiola*, il congegno antisismico utilizzato a Lisbona dopo il terremoto del 1755, nella cui definizione, *gabbia*, è chiaramente insita la ricerca di collegamento tra le pareti murarie. Con simile proposito, all'indomani del terremoto dell'Aquila del 1703, in area Borbonica quindi, si segnala la presenza dei "radiciamenti" membrature lignee all'interno della muratura con lo scopo di connettere le pareti murarie.

¹¹⁰ Frisi ad esempio osserva «... *Un edificio non solamente dev'essere tutto insieme sodo, e sicuro, ma deve comparire tale in tutte le parti che lo compongono ... per*

livelli intermedi, con l'ausilio delle travi del solaio «....che fan termine coi muri, armate di testa di chiave pure di ferro, col cui mezzo e cogli opportuni loro bolzoni discretamente ben tese, tengano quei nervi il corpo dell'Edificio saldamente in se unito...»¹¹¹.

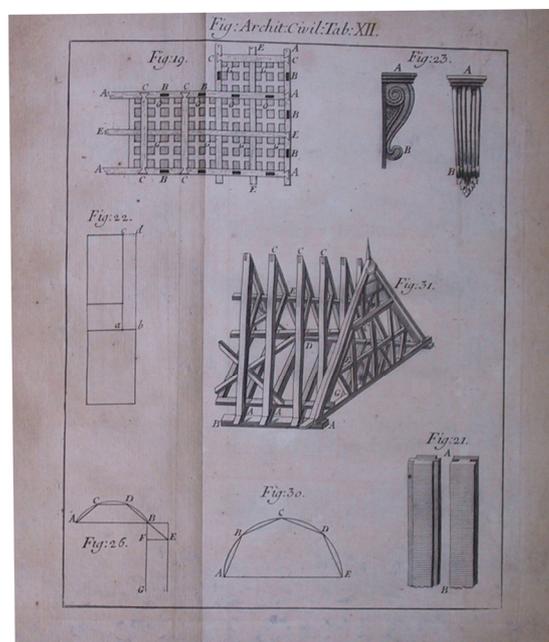
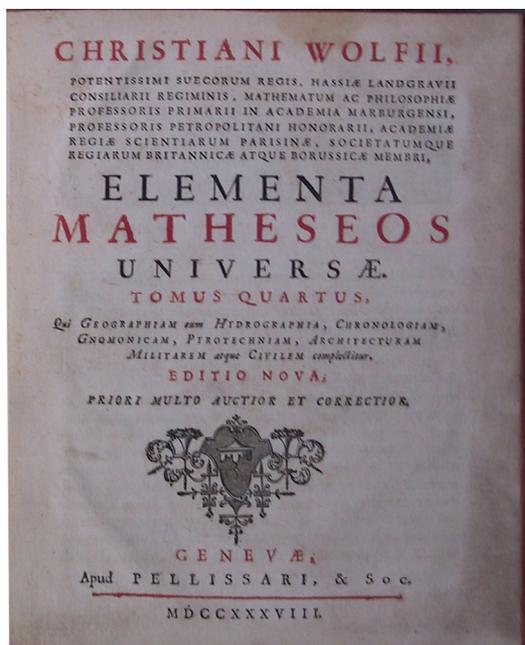


Fig. 37 Wolfii, C., 1738, *Elementa Matheseos Universae*, Genevae.

Tuttavia è agli inizi del '700, con Christian Wolf¹¹², che la connessione tra i vari elementi strutturali diventa condizione da perseguire per migliorare la risposta antisismica del fabbricato. Lo scienziato tedesco autore di un

*cui le parti restino fermamente connesse insieme tra loro...», Frisi, A.D.P., 1777, Istituzioni di Meccanica, d'Idrostatica e dell'Architettura Statica, e Idraulica, Giuseppe Galeazzo Regio stampatore, Milano, p.50. Anche Carletti, docente a Napoli, è interessato all'argomento, una costruzione realizzata correttamente deve essere caratterizzata da «.... materiali ben uniti, collegati, e concatenati...» Carletti, N., 1772, *Istituzioni d'Architettura civile*, Stamperia Raimondiana, Napoli, p. 203. Tuttavia sono raccomandazioni non direttamente rivolte a perseguire un miglioramento antisismico del fabbricato.*

¹¹¹ Vittone, B., A., 1760, *Istruzioni elementari per indirizzo dé giovani allo studio dell'architettura civile*, Agnelli stampatori, Lugano, p. 523.

¹¹² Christiani Wolfii, Breslavia 1697 - Halle 1754. Cfr. Ruggieri, N., 2005, *La casa antisismica*, International Conference on the Conservation of Historic Wooden Structures, Firenze, in Atti del convegno.

trattato *enciclopedico* particolarmente diffuso in Italia meridionale, dedica un capitolo di "*Elementa Matheseos Universae*" a «...*Craticula ad firmitatem fundamenti quomodo paranda...*»¹¹³ in cui descrive un graticcio di legno per fondazioni in pietrame destinata «...*In Terrae motibus hac ratiq̄ue partiam dissociatio impeditur...*»¹¹⁴. Tale fondazione¹¹⁵, con una base in pietra, è composta da due ordini di membrature di legno perpendicolari tra loro, che beneficiano di collegamenti del tipo a "coda di rondine"; è evidente sia nella descrizione che nelle illustrazioni una volontà di raccomandare un sistema ben vincolato che nel caso di commozioni telluriche permette un comportamento solidale dei vari elementi costituenti e quindi una trasmissione e distribuzione delle forze sismiche all'alzato, in maniera omogenea.

Nella stessa tavola, a corredo del trattato, il particolare della copertura sottolinea una timida ricerca di quello che i moderni calcolatori definiscono comportamento "scatolare" dell'edificio, una catena lignea, posta in sommità della parete, precoce anticipazione del cordolo con la funzione,

¹¹³ «...*Craticulam ad firmitatem fundamenti parare. Resolutio. I Pali ad distantiam 7 pedum juxta longitudinem Fundamenti Sublicae machinis adigantur, capitibus prominentibus. II Capita palorum B attenuentur ut intra crenas trabiam longiorum AA immitti possint. III Trabes AA decussatim compaginentur cum aliis transversis minoribus C, & clavis ligneis firmentur. IV Trabes transversae C ulterius coegmantentur ope trabis EE extremis AA paralelae. V In areis quadratis G defigantur pali ut supra. Scholio I. In Terrae motibus hac ratiq̄ue partiam dissociatio impeditur usum quoque habet insignem craticula...*» Christiani Wolfii, 1738, *Elementa Matheseos Universae*, Pellissari & soc., Genevae, p. 344.

¹¹⁴ Ibidem, p. 344.

¹¹⁵ Carletti riporta in maniera pedissequa le indicazioni di Wolf «...*La graticola... si è osservato, esser necessaria e di somma lode nelle Fondamenta, in tutti quei siti spesseggiati dai terremoti; perché con essa resta umanamente impedito lo scompaginamento delle parti, e del Fondamento...*» Carletti, N., 1772, *Istituzioni*, op. cit., p.48, rimarcando, prima di Milizia, la necessità, nel caso di sisma di contrastare lo *scompaginamento delle parti* mediante la realizzazione di una solidarietà tra i vari componenti del sistema strutturale.

oltre che di meglio distribuire sulla muratura i carichi concentrati provenienti dall'incavallatura, di legare i setti murari perpendicolari¹¹⁶.

Anche Poleni interpretando i dissesti descritti da Giovanni Gentili « ...Né terremoti accaduti a Livorno, l'anno 1742...»¹¹⁷ osserva e quindi deduce che la «... gran Torre (del Marzocco) ha più resistito ... essendo ella fabbricata di grossi marmi e ben commessi...»¹¹⁸ argomentando per deduzione il principio fondamentale della connessione tra elementi strutturali al fine della resistenza al terremoto del fabbricato.

Si deve comunque a Milizia¹¹⁹, sintetizzando quindi speculazioni già dibattute e concetti diffusi nel '700, la decisa e più diretta raccomandazione di legare tutti gli elementi componenti il sistema strutturale, con l'intento di realizzare una cassa e creare una mutua solidarietà che comporti una

¹¹⁶Si segnala la presenza di cordoli lignei a Filadelfia (Vv) in costruzioni realizzate immediatamente dopo il terremoto del 1783.

Il cordolo ligneo viene mostrato anche da Rusconi, G., 1660, *Dell'architettura di Giovanantonio Rusconi Nouamente ristampata & accresciuta della pratica del fabricar gl'orologi*, Venetia, p.74 nella tavola raffigurante un tempio, la parte superiore della parete infatti è caratterizzata da membrature lignee che perpendicolarmente si collegano mediante un nodo con commessure in entrambi gli elementi.

Prodromo per tale accorgimento, sebbene con intento diverso, è Leon Battista Alberti con la realizzazione, nel 1467, a Firenze nella Cappella Rucellai, di una trave di sommità disposta longitudinalmente al setto murario con la chiara volontà di contrastare l'azione orizzontale proveniente dalla volta. Si veda a tal proposito Tampone, G., 1996, *Il Restauro delle Strutture di legno*, Hoepli, Milano.

¹¹⁷ Poleni, G., 1748, *Memorie storiche della Gran Cupola del Tempio Vaticano e dé danni di essa, e dé ristoramenti loro, divise in libri cinque*, Stamperia del Seminario, Padova, p.77.

¹¹⁸ Ibidem, p.77.

¹¹⁹ «...Per difendersi de' tremuoti vogliono essere case di legno, ma in maniera che ciascun pezzo sia così ben connesso e incassato cogli altri, che formino tutti insieme una sola massa ... le scosse potranno farla tremare, ma non mai rovesciare, né precipitare: ella è una cassa...» Milizia, F., 1828, *Principii di Architettura civile di F. Milizia edizione arricchita di note ed aggiunte importantissime*, Tipografia Cardinale e Frulli, Bologna, pp. 217-218, capitolo IX.

risposta tridimensionale, con intervento anche delle pareti murarie di controvento caratterizzate da una maggiore rigidità rispetto a quelle ortogonali alla direzione del sisma. Infatti i pannelli murari per azione del terremoto fuori dal piano, se opportunamente connessi a quelli ortogonali, beneficiano di una "resistenza" aggiuntiva che si oppone al ribaltamento, modificandone la tipologia di collasso¹²⁰ e migliorandone il *momento resistente*.

Vivenzio fornisce senza fraintendimenti la prova diretta della ricerca nel sistema governativo borbonico del collegamento tra le murature mediante l'utilizzo d'intelaiature lignee. Infatti, a compendio delle sue *Tavole* «...ravvisa principalmente tutta la connessione dei legni...»¹²¹ come contributo decisivo alla resistenza al sisma del sistema costruttivo teorizzato, rimanda invece a Du Hamel circa la spiegazione della «...forza di detti legni...»¹²², il naturalista francese, nei suoi numerosi scritti, sebbene confermi la proprietà del legno nel migliorare la connessione tra le pareti murarie, ne tratta limitatamente alle caratteristiche anatomiche e meccaniche ed in nessun caso fa riferimento al comportamento delle strutture di legno in regime dinamico¹²³.

Un principio costruttivo ripreso e raccomandato da Mori¹²⁴, ingegnere responsabile della ricostruzione di Reggio Calabria successiva al terremoto

¹²⁰ Modalità di rottura intuita e correttamente teorizzata da Rondelet in *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir* che descrive dettagliatamente il ribaltamento di pareti murarie caratterizzate da differenti vincoli. Una tipologia di collasso trattata anche dal Prof. Giorgio Croci nella interpretazione del comportamento resistente della muratura che, soggetta ad una forza orizzontale, si dispone secondo un "arco" con innesco del cinematismo di rottura a causa della formazione di tre cerniere. Cfr. Croci, G., Cerone, M., 1979, *Lo sviluppo dell'effetto arco nelle pareti in muratura*, P.F. Geodinamica - CNR, Rep. 263, Giugno 1979, Convegno del Gruppo di Ricerca CNR Azioni sismiche e del vento sulle costruzioni - Genova, dicembre 1979.

¹²¹ Vivenzio, G., 1783, *Istoria e teoria*, op. cit., p.54.

¹²² *Ibidem*, p.54.

¹²³ Cfr. Ruggieri, N., 2011, *Il legno nel '700*, op. cit.

¹²⁴ Cfr. Ruggieri, N., 2013, *Genesi e sviluppo*, op.cit.

del 1783 che, sebbene introduca variazioni al metodo governativo a causa di mancanza di legno, si prefigge l'obiettivo di «...concatenare (il fabbricato) con catene di ferro...»¹²⁵ al fine di renderlo maggiormente resistente nei confronti del terremoto. Federico Sanvitali condivide le istruzioni indicate dall'ingegnere Mori ed aggiunge, «...Invece di catene di ferro si possono alcuna volta adoprare catene di legno...»¹²⁶ comportando le identiche prestazioni antisismiche per l'edificio.

Cristofano Sarti, operante principalmente in Toscana, ma con probabili echi della sua opera anche nel Regno di Napoli, concentra nel suo trattato deduzioni originali straordinariamente moderne, con la maggior parte dei principi enunciati tuttora di grande validità e da perseguire per ottenere un miglioramento antisismico dei fabbricati. Tale scienziato interviene sull'argomento, sebbene non raccomandi l'utilizzo del legno con l'intendimento di ottenere la connessione tra le murature, ma altri espedienti come una particolare cura degli angoli del fabbricato veri e propri «...nervi di tutta la fabbrica...»¹²⁷ che per tale motivo «...debbono essere saldamente legati...» con «...cantonate di pietra dura riquadrata, che entri profondamente a legare l'angolo delle due mura...»¹²⁸. Fornisce inoltre ulteriori accorgimenti antisismici come la decisa raccomandazione «...che s'incatenino gli appartamenti, collegando almeno le testate delle travi in guisa, che una sia strettamente unita con l'altra...»¹²⁹ ponendo in questo caso l'attenzione sulla capacità dei solai se collegati per mezzo delle travi

¹²⁵ Mauri-Mori, G., 1909, *Riedificazione di Reggio Calabria*, Nuova Antologia, Roma.

¹²⁶ Sanvitali, F., 1765, *Elementi di Architettura civile opera postuma*, Giammaria Rizzardi, Brescia, p. 43.

¹²⁷ Sarti, C., 1783, *Saggio di congetture su i terremoti*, Francesco Bonsignori, Lucca, p. 132. E' curioso constatare come chi si occupi di muratura in maniera approfondita, mostri un atteggiamento di particolare rispetto nei confronti di tale tecnica costruttiva tanto da assimilarla ad un organismo vivente a tal proposito anche Sisto Mastrodicasa nel suo famoso *Dissesti statici delle strutture edilizie*, descrive i danni riportati dalle murature come "tormento".

¹²⁸ Ibidem, p. 132.

¹²⁹ Ibidem, p. 132.

alla muratura di realizzare un vincolo efficace al ribaltamento per azione sismica perpendicolare al pannello murario¹³⁰.

6.5 La riduzione della massa sismica e l'abbassamento del baricentro

Diversi sono gli autori nel Regno di Napoli che raccomandano correttamente la riduzione¹³¹ del *carico proprio* del fabbricato come accorgimento utile al fine di un aumento della capacità antisismica della costruzione. Proprio il legno, per tale intento, garantiva un peso specifico minore rispetto alla muratura e quindi un corrispondente valore delle caratteristiche inerziali ridotto. Una relazione tra azione dinamica proveniente dal terremoto e peso della costruzione di cui erano pienamente consapevoli gli scienziati illuministi che avevano chiaramente compreso che «...*il moto comunicato dalla Terra tremante alle Muraglie sendo stato quasi proporzionale alle Masse delle Pietre di cui esse erano composte...*»¹³². Una dipendenza della vulnerabilità sismica anche dall'altezza del fabbricato,

¹³⁰ Concetto anticipato, senza sicuramente destare meraviglia nel lettore, da Leonardo «...*ogni trave vole passare i sua muri e essere ferma di la di essi muri con sufficienti catene, perché spesso si vede per i tremoti i muri insieme fermi...*» COD. A f 53 r , che intuisce l'effetto benefico di murature ben connesse, grazie al contributo delle travi, nei confronti del sisma. *Leonardo da Vinci, Scritti scelti*, 1966, Utet, Torino, p. 146.

¹³¹ A tal proposito Squarrio, considerato da Di Pasquale il primo autore ad applicare i principi della dinamica agli edifici, è di opinione diversa, infatti consiglia di aumentare i carichi in nella copertura del fabbricato, a supporto di tale raccomandazione propone diverse dimostrazioni geometriche. Lo scienziato veneziano aveva intuito che l'aumentare della compressione assiale dovuta ai carichi aggiuntivi comportava una maggiore resistenza della parete a forze orizzontali, sebbene l'azione sismica aumenti d'intensità. Inoltre l'indicazione dello scienziato Veneziano anticipa quello che la moderna ingegneria antisismica definisce una schematizzazione della struttura a *pendolo inverso*, in cui la massa è localizzata in maggioranza in sommità. Cfr. Laner, F., Barbisan, U., 1986, *Terremoto ed architettura. Il trattato di Eusebio Squarrio e la sismologia nel Settecento*, CLUVA, Venezia.

¹³² Sarti, C., 1783, *Saggio di congetture*, op. cit.

intuita da Sarti nell'osservare diversi cinematismi derivanti da eventi tellurici che avevano provocato il crollo *dalla loro cima*. Poleni intervenendo sull'argomento afferma che «... *son più che le basse Fabbriche, le alte soggette al pericolo del danno medesimo. Succede nelle alte Fabbriche uno scuotimento... come in certi moti degli alberi delle Navi... gli alberi di essa nelle alte loro parti sono obbligati a seguire un moto maggiore, che nelle basse. Questa similitudine farà conoscere quanto il pericolo dè danni negli Eccelsi Edificj sia maggiore che nelle umili Fabbriche...*»¹³³ intuendo il concetto di *periodo proprio* di una costruzione che comporta, in generale, una maggiore oscillazione per fabbricati con altezze elevate, sebbene continua Poleni «... *non nego già esservi il caso, che oscillino, per ragione dè terremoti, alcune volte le Torri, e poi restino a piombo, come prima intiere...*»¹³⁴ ancora una volta l'osservazione fornisce la chiave di decodificazione, l'oscillazione dipende oltre che dalle caratteristiche dell'azione sismica, dalla tipologia costruttiva, esprimendo ante-litteram il *fattore di struttura* di una costruzione. Ne deriva quindi, basandosi su tali conoscenze sulla prevenzione dei terremoti, la decisa raccomandazione nel regolamento antisismico borbonico di limitare l'altezza dell'edificio¹³⁵ fino al caso limite, per la sicurezza e la salvaguardia della vita umana in caso di scossa tellurica, evidenziato da Mori «...*di rendere tutti gli abitatori in case a pian terreno...*»¹³⁶.

¹³³ Poleni, G., 1748, *Memorie istoriche*, p. 77.

¹³⁴ Ibidem, p. 78.

¹³⁵ Il Regolamento borbonico, redatto immediatamente dopo il terribile terremoto del 1783, rappresenta la prima normativa antisismica d'Europa, tra le altre istruzioni comprendenti la tecnica costruttiva da utilizzare e indicazioni di vera e propria moderna protezione civile, prescrive «...*l'altezza...da sopra allo zoccolo fino al gocciolatoio sia di palmi 28...*» Istruzioni sul metodo da tenersi nella riedificazione dei paesi diruti della Calabria, in Aricò, N., Milella, O., 1984, *Riedificare contro la storia. Una ricostruzione illuminista nella periferia del regno borbonico*, Gangemi, Napoli.

¹³⁶ Mauro-Mori, G., 1909, *La riedificazione di Reggio*, op. cit.

Anche Sarti ammonisce «...non dee praticarsi sollevandosi in alto col fabbricare...»¹³⁷, a tal proposito riferisce che «...i popoli del Perù, i quali ammaestrati dal bisogno, in cui si trovano di guardarsi alla meglio dei frequenti terremoti che soffrono, fabbricano le loro abitazioni di un solo piano, e quando occorra di costruirvi due piani, sogliono formare il piano superiore con dei tavolati molto leggeri..»¹³⁸, raccomandando di ridurre i carichi con l'aumento dell'altezza del fabbricato¹³⁹.

Lo scienziato Pisano applica diversi concetti, dell'ormai codificata dinamica¹⁴⁰ agli edifici, Sarti infatti dissertando sul comportamento a sisma della costruzione osserva che «..Nelle fabbriche di maggiore altezza si presentano al terremoto due elementi, che ne ingrandiscono mirabilmente la forza, cioè la resistenza Quanto più si oppone di resistenza alla forza motrice, tanto più ella diventa energica nel suo operare: e quanto più i pendoli oscillano in grande, tanto più si allontanano dal centro detto di

¹³⁷ Sarti, C., 1783, Saggio, op.cit., p. 175

¹³⁸ Ibidem

¹³⁹ Sono numerosi i trattati scritti da docenti napoletani che contengono l'indicazione di ridurre lo spessore della muratura proporzionalmente all'altezza del fabbricato. Istruzione dettata non da ragioni antisismiche, bensì dalla consapevolezza che la riduzione dei carichi consente una minore sezione resistente in campo statico.

¹⁴⁰ Huygens, un orologiaio, nel 1671-73 è il primo ad aprire alla dinamica con l'analisi del moto pendolare.

Tra le diverse raccomandazioni di prevenzione sismica Sarti suggerisce che «....Le muraglie di faccia di una casa, che attaccano con quelle di un'altra casa collaterale, non devono, né possono essere di differente costruzione né in riguardo alla loro altezza, né in riguardo alla loro grossezza, numero di aperture, e qualità dei materiali, per non rendersi di due gravità specificatamente diseguali, giacchè nel caso di uno scuotimento o di un urto il moto loro risulterà differente ed ineguale...» Sarti, C., 1783, Saggio di congetture, op. cit.. Ribadisce nuovamente il concetto che l'azione del sisma è direttamente proporzionale alla massa ed alla rigidità della struttura investita, intuendo in aggiunta, che due fabbricati contigui, al fine di scongiurare il martellamento murario, devono garantire un'oscillazione sincrona. Tale spostamento è possibile unicamente se le costruzioni abbiano caratteristiche costruttive, di altezza e di aperture simili.

*gravità...»*¹⁴¹ l'oscillazione causa l'allontanamento dal baricentro e quindi realizza per il setto murario condizioni di maggiore vulnerabilità al ribaltamento; inoltre con particolare rigore, enunciato di moderna ingegneria antisismica, intuisce che una maggiore rigidità dell'elemento strutturale implica un accumulo del lavoro dei carichi sotto forma di energia elastica con conseguente generazioni di tensioni elevate, difficilmente tollerabili dalla struttura portante.

Il deciso consiglio di limitare l'altezza nasce dalla corretta esigenza di abbassare il baricentro della costruzione, Hamilton, scienziato e ambasciatore inglese a Napoli, raccomanda che «...*le case formassero tante piramidi troncate in tal modo ... sarebbe assai più difficile che il centro di gravità venisse sbalzato fuori dalla base, e le case andassero in rovina...»*¹⁴². L'identica deduzione è riscontrabile in Vivencio, le illustrazioni delle *Case formate di legno*¹⁴³ infatti rappresentano in alzato un fabbricato centrale con altezza maggiore e due costruzioni minori laterali, veri e propri contrafforti che descrivono una forma trapezoidale con un conseguente, se solidali strutturalmente, abbassamento del baricentro totale e importante beneficio nel funzionamento antisismico del sistema.

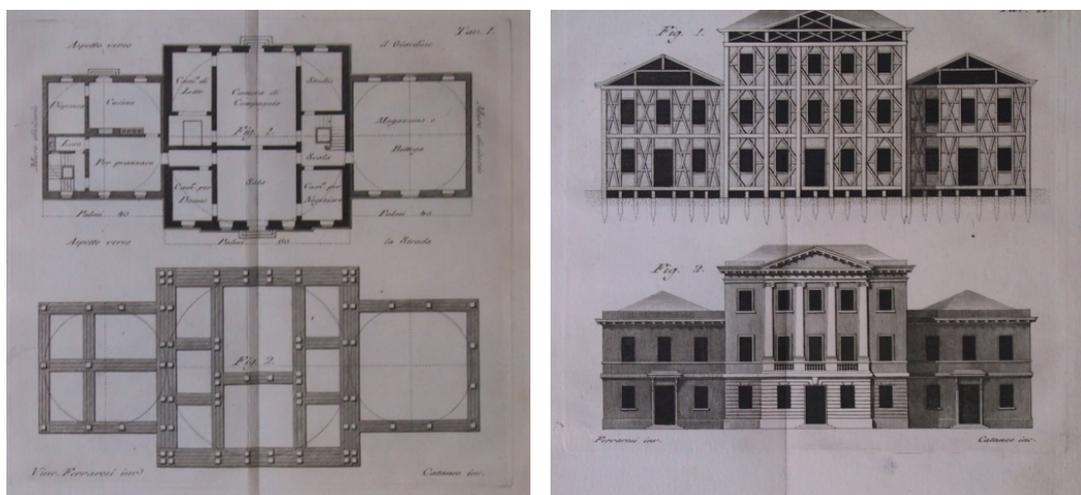


Fig. 38 Vivencio, G., 1783, *Istoria e Teoria de' Tremuoti in generale*, Napoli.

¹⁴¹ Sarti, C., 1783, *Saggio di congetture*, op. cit., p.178.

¹⁴² Hamilton, G., 1783, *Relazione dell'ultimo terremoto*, op. cit.

¹⁴³ Cfr. Ruggieri, N., 2013, *Case formate di legno*, op. cit.

L'analisi della stabilità muraria è un argomento costantemente presente nella letteratura scientifica del '700 che trattava di edifici civili. In campo dinamico, la ricerca aveva riconosciuto nel sisma la causa dell'azione ribaltante nella maggioranza dei crolli successivi ai terremoti. La speculazione scientifica però aveva circoscritto il campo d'investigazione al ribaltamento murario in regime statico, osservando ad esempio che «...*i Corpi Solidi posti verticalmente mai non cadono, né cader possono se prima la normale o sia Perpendicolare che supponesi tirata dal loro centro di gravità non esce fuori della loro Base...*»¹⁴⁴ intuendo che si realizza una situazione d'instabilità con la perdita di equilibrio se la risultante dei carichi propri ricade all'esterno della base. Tuttavia i maggiori scienziati dell'epoca, da De La Hire, De Belidor, a Coulomb e Mascheroni concentrano le loro ricerche nella quantificazione della spinta proveniente dalle volte, azione ribaltante che i trattasti borbonici erano consapevoli di maggiore onere nell'eventualità di evento tellurico.

Un'alta vulnerabilità delle volte¹⁴⁵ in regime dinamico quindi *recepita* dalle normative Borboniche che vietano correttamente la realizzazione di tale elemento costruttivo: organismo spingente¹⁴⁶ che sotto l'azione del sisma potrebbe facilmente superare il momento resistente dei piedritti e causarne il ribaltamento. La realizzazione delle volte era consentita unicamente al livello interrato dove l'azione spingente poteva essere assorbita dal terreno.

¹⁴⁴ Gallo, A., 1784, Relazione data all'Illustrissimo Senato, op. cit.

¹⁴⁵ La *Gaiola*, il sistema ad intelaiatura lignea sviluppatosi in Portogallo all'indomani del terribile terremoto di Lisbona del 1755, prescriveva invece al piano terra solai caratterizzati da volte in muratura, raccomandazione con il dichiarato obiettivo di ridurre il rischio derivante da incendi nella costruzione.

¹⁴⁶ Sarti riportando le considerazioni di Plinio riguardanti la sicurezza delle volte nell'eventualità di terremoto, critica l'autore di *Historia Naturalis* in quanto «...*l'esperienza, e la ragione par, che provi il contrario...*». Tuttavia il giudizio di Sarti è in parte inopportuno, Plinio infatti sembra volesse intendere elementi costruttivi realizzati di calcestruzzo con comportamento quindi di tipo *membranale* e presenza di componente orizzontale della forza unicamente se la volta risulta lesionata. Cfr. Di Pasquale, S., 1996, L'arte del costruire Tra conoscenza e scienza, Marsilio Editori, Venezia.

6.6 La regolarità geometrica

La rappresentazione di *Case formate di legno* di Vivenzio, culmine teorico per la ricostruzione, mostra una decisa regolarità in pianta ed in elevato.

Infatti, i tre edifici descritti sono caratterizzati da un organismo murario organizzato secondo una simmetria bi-assiale e conseguente regolare distribuzione degli elementi resistenti e delle masse, offrendo con tale disposizione uguale rigidità al sisma secondo le due direzioni principali.

Anche in alzato, l'insieme composto da tre corpi, uno centrale di altezza superiore e due laterali, si dispone¹⁴⁷ in maniera simmetrica.

L'ingegneria antisismica del '700, con deduzioni derivanti dall'esperienza, era consapevole che le forme regolari¹⁴⁸ mostrano minore vulnerabilità al sisma, infatti rispondono, a parità di caratteristiche costruttive, inerziali e di vincolo dei vari pannelli murari, con rigidità simile all'azione dinamica, scongiurando possibili effetti torsionali.

Gentile indica nel cerchio la figura geometrica da perseguire in pianta «...per resistere alla forza dé terremoti...»¹⁴⁹ un'intuizione che è derivata dall'osservazione, durante il terremoto del 1742 a Livorno della torre di Marzocco che proprio per essere «..di figura all'esterno ottagonale e nell'intima struttura si approssima alla cilindrica...» ha presentato una risposta al terremoto migliore dei comuni fabbricati.

Gli scienziati illuministi raccomandano di preferire «...gli edifici... specialmente li rotondi, o di forma quadrilatera...», indicazione corretta in quanto tale sviluppo in pianta comporta, a parità di caratteristiche

¹⁴⁷ Vivenzio è consapevole che i corpi bassi posizionati lateralmente al fabbricato principale centrale rappresentano dei contrafforti che, nell'eventualità di evento sismico, comportano una più alta resistenza al ribaltamento «...un vantaggio notevole, qual'è degli angoli di tutte le strade occupate da fabbriche basse, le quali contribuendo alla solidità apporterebbero meno ruina in caso di violentissimo, e sovversivo Tremuoto...» Vivenzio, G., 1783, *Istoria e Teoria*, op. cit., p. 55.

¹⁴⁸ Una ricerca intorno alla forma della costruzione resistente ai terremoti che rappresenta il preludio agli approfonditi studi effettuati successivamente, agli inizi del '900, da Masciari-Genoese e Ruffolo.

¹⁴⁹ Da Di Pasquale, S., 1983, *Architettura e terremoti*, in *Restauro* LIX, LX, LXI.

costruttive e carichi, che il centro delle masse corrisponda geometricamente a quello delle rigidità e conseguentemente «...vi abbisogna una Forza straordinaria per allontanare la normale dalle loro basi...»¹⁵⁰.

Sanvitali consapevole che «... la figura circolare sia la più capace di tutte, fortissima a resistere, e gratissima alla vista...»¹⁵¹ avverte però che i costi per la sua realizzazione sono elevati e la distribuzione interna risulta condizionata, quindi in alternativa è possibile sviluppare la pianta secondo «...la figura quadrangola, e specialmente la quadrata si dee preferire...»¹⁵²

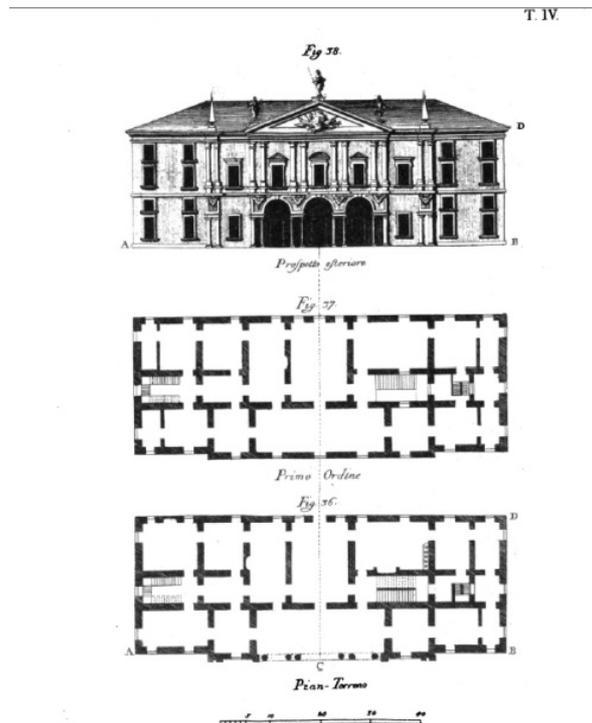


Fig. 39 Sanvitali, F., 1755, *Elementi di architettura civile*, Brescia.

Sembra però che per Vivencio la ricerca di ordine e regolarità è indirizzata nella scelta, più che dalla consapevolezza di mettere in atto un miglioramento delle caratteristiche antisismiche della costruzione, a conformarsi a teorie di tipo estetico che indicavano che maggiore è la tendenza verso «...la Simitria in ogni Edificio tanto più si rende

¹⁵⁰ Ibidem.

¹⁵¹ Sanvitali, F., *Elementi di Architettura*, op. cit., p. 72. Inoltre nel trattato è raffigurato a pag. 138 un palazzo dalle caratteristiche architettoniche molto simile a quello rappresentato da Vivencio.

¹⁵² Ibidem, p. 73.

aggredevole...»¹⁵³. Sebbene nella seconda metà del XVIII secolo raccomandazioni di carattere strutturale e compositivo si sovrappongono ed intrecciano, con difficoltà di distinzione, rispondente pienamente ai canoni di un'architettura neoclassica e razionalista in pieno sviluppo.

6.7 I fondamenti compositivi, costruttivi e di "calcolo"

Nella seconda metà del '700 i principi estetici che caratterizzano la teoria architettonica sono largamente ispirati dal classicismo e da Vitruvio in particolare. Un'architettura basata sulla ragione e quindi sul concetto di solidità vero fondamento dell'estetica neoclassica, che comporta l'eliminazione di qualunque elemento che *non ha il proprio suo ufficio*.

Il Regno di Napoli diventa l'epicentro del gusto del '700, con eccellenti rappresentanti in Vanvitelli, Gioffredo, Vaccaro. Al recupero del Classicismo contribuisce la riscoperta di Ercolano, Pompei e Stabia, mentre una trasformazione dell'estetica avviene con la riscoperta del dorico, attraverso Paestum e l'architettura greca, poco decorata, più razionalista e virile e quindi più adattabile ai nuovi tempi illuministi.

Il neoclassicismo privo di inutili decorazioni incarnava perfettamente lo spirito illuminista che ricercava principi lontani dal metafisico e basati principalmente su una lettura razionale dei fenomeni della natura.

6.7.1 Caratteri compositivi e della distribuzione

Vivenzio presenta nelle sue tavole fabbricati in piena sintonia con il gusto architettonico dominante a Napoli nel '700.

Il prospetto raffigurato, almeno relativamente al fabbricato principale, è caratterizzato da un basamento inferiore a bugnato e da un ordine gigante ionico che "percorre" il primo e secondo livello. Le colonne ioniche, caratterizzanti l'ingresso principale della *case formate di legno*, sono sormontate da un timpano, elementi che uniti allo sfondo realizzano una certa articolazione della facciata.

¹⁵³ Carletti, N., 1772, *Istituzioni d'Architettura*, op. cit. p. 30.

Le matrici compositive sono da ricercare nell'architettura classica, confermato anche dall'evidente riecheggiare la facciata di Sant'Andrea a Mantova di Alberti, similitudini che discendono indiscutibilmente dall'attingere ad un vocabolario compositivo derivante dall'identica fonte.

Un modello architettonico riconducibile a numerosi esempi neoclassici del XVIII secolo, di non particolare originalità, piuttosto ricalcante un diffuso stereotipo compositivo.

Tuttavia *il medico di corte* anche nel prospetto sintetizza il sapere, la teoria architettonica del periodo, utilizzando l'ordine ionico «... *giudicato dà dotti il più ben inteso e ragionato sopra gli altri...*»¹⁵⁴ e semplificando le decorazioni «...*senza ricorrere ai capricciosi e strani ornamenti...*»¹⁵⁵ con un'immediata espressione della struttura.

Nel neoclassicismo la forma, per dirla con Lodoli, deriva dalla struttura accumulando senza distinzioni questioni di estetica e di statica, un corretto dimensionamento e proporzioni dell'edificio comporta infatti «...*una bellezza che apparisce fuori ...e una conseguente minore dispendio di denaro...*»¹⁵⁶.

Vivenzio quindi, non ha necessità di indicare le regole compositive del fabbricato consapevole che la forma del costruito scaturisce unicamente da elementi di tipo costruttivo, legato alla tipologia e qualità dei materiali.

Una classicità che è riscontrabile anche nella distribuzione in pianta dei vari ambienti ispirata dal tipo fondamentale, primigenio, la casa romana ad atrio, con «un'area quadrangolare chiusa d'ogni intorno»¹⁵⁷, fulcro centrale «...*evidentemente principale e più nobile dell'abitazione...*»¹⁵⁸ da cui si sviluppa l'intera residenza.

¹⁵⁴ Ibidem, p. 147.

¹⁵⁵ Gravagnuolo, B., a cura di, 2002, *Mario Gioffredo*, Guida Editori, Napoli

¹⁵⁶ Algarotti, F., 1756, *Saggio del conte Algarotti sull'architettura e sulla pittura*, Società Tipografica de classici italiani, Milano.

¹⁵⁷ Ragozzino, A., a cura, 2000, Amedeo Maiuri *La casa pompeiana*, Struttura, ambienti, storia, nella magistrale descrizione di un grande archeologo, Generoso Procaccini, Napoli.

¹⁵⁸ Vittone, B., A., 1760, *Istruzioni elementari*, op. cit. p.449.

La distribuzione infatti si snoda da un atrio centrale, nucleo essenziale dell'abitazione, denominata *Sala* da cui è possibile raggiungere le camere poste lateralmente e l'elemento connettivo, le scale, per raggiungere i livelli soprastanti. I due corpi laterali sono destinati l'uno a *Magazzino*, l'altro alle *cucine* e ad un ambiente *per pranzare*. Il palazzo è destinato ad un'unica famiglia oltre ad un eventuale locale ad uso *Bottega*, sul retro trova collocazione un giardino. Lo sviluppo in pianta rappresentato segue i dettami di Carletti illustrati nel suo trattato, che descrivono un piano terra destinato ad un atrio ed al cortile con «...*le basse officine...*», mentre al livello superiore è ubicata la *Sala*, *Cucina* e *Dispensa*, «... *su la quale sono i Mezzanili, e Tetto per le abitazioni dei Familiari...*»¹⁵⁹.

Una tripartizione distributiva evidente in alzato anche in Vivenzio, discostandosi tuttavia per la pianta del piano terra dove è rappresentata una commistione di funzioni tra la *Sala*, le *Camere*, la *Cucina* e il *Magazzino* o *Bottega*. La diversità con il trattato di Carletti è solo apparente, verosimilmente Vivenzio non ritiene importante allo scopo di fornire un modello¹⁶⁰ per la ricostruzione dettagliare la pianta e quindi propone una sovrapposizione di attività relative al piano terra ed al primo livello.

6.7.2 Tecnica costruttiva, materiali e "calcolo"

Diversi accorgimenti costruttivi contenuti nei trattati di autori illuministi dedicati alla realizzazione di edifici civili trovano applicazione nel sistema antisismico governativo.

¹⁵⁹ Carletti, N., 1772, *Istituzioni d'Architettura*, op. cit. Nello stesso trattato vengono date indicazioni anche sulle dimensioni degli ingressi le cui misure sono proporzionali alla tipologia di abitazione; l'ingresso principale di Vivenzio di sei palmi è indicata secondo Carletti per un edificio civile non di tipo nobiliare ma di *aspetto dignitoso*

¹⁶⁰ In realtà non sappiamo quanto il trattato di Vivenzio rappresenti un vademecum tecnico-costruttivo della ricostruzione o se al contrario *condensa* nelle sue raffigurazioni e descrizioni lo stato dell'arte delle realizzazioni successive al terremoto del 1783 in Calabria.

L'intelaiatura sismo-resistente proposta da Vivencio rivela numerosi elementi comuni con un sistema costruttivo per la realizzazione di ponti descritto da Leupold¹⁶¹. Tale rappresentazione infatti, è caratterizzata dall'identica doppia orditura di telai con elementi trasversali di collegamento culminanti con una connessione a "coda di rondine" e riempimento interno irrigidente di materiale e composizione non specificata.

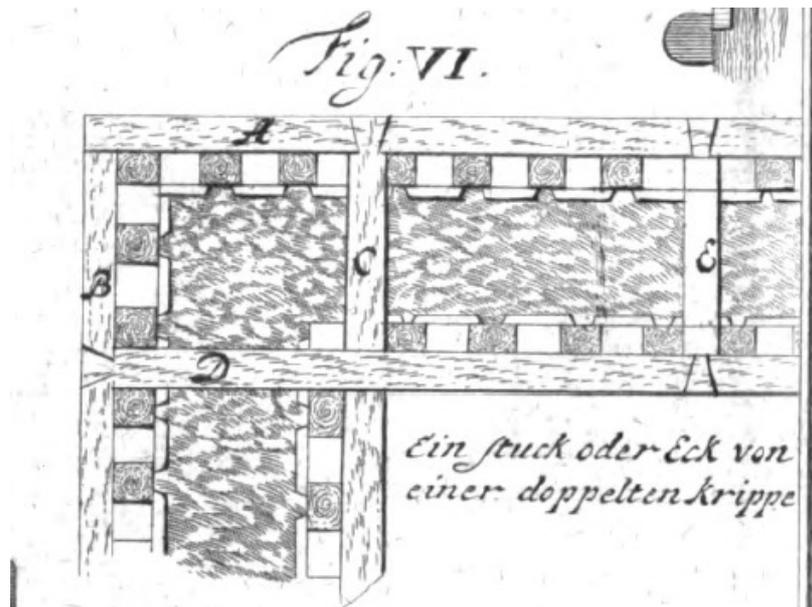


Fig. 40 Doppia intelaiatura con elementi trasversali di collegamento (diatoni) e nodi del tipo a coda di rondine, non si rilevano ferramenti aggiuntivi. Tale struttura risulta simile a quella proposta da Vivencio successivamente al terremoto che colpì la Calabria e la Sicilia nel 1783 (da Leupold J., 1726, *Teatrum pontificiale*, Leipzig). Tuttavia diversi scienziati napoletani, probabilmente risentendo del giudizio sostanzialmente negativo dato da Vitruvio, considerano il «...Muro a graticcio ... qualunque struttura di muro sottilissimo dentro cui siano meccanicamente coordinate, e collegate le travicelle, gli assi, ed altri legnami...»¹⁶² senza alcuna funzione strutturale ma con l'unico fine di «...separare e dividere...».

In realtà, se analizzati in regime statico, l'indicazione fornita da Carletti risulta valida, infatti i telai di rinforzo della muratura sono totalmente

¹⁶¹ Leupold J., 1726, *Teatrum pontificiale*, Leipzig

¹⁶² Carletti, N., 1772, *Istituzioni d'Architettura*, op. cit. p. 203.

esonerati dal sostenere il carico proprio del sistema strutturale che viene assorbito quasi interamente dalla muratura¹⁶³.

Altro principio teorizzato nella trattatistica settecentesca ed applicato nella realizzazione di pareti intelaiate nel Regno Borbonico è la particolare cura costruttiva per gli angoli del fabbricato¹⁶⁴, evidenziato da molti autori come fondamento al fine di connettere le due pareti ortogonali, in questo caso assume una motivazione differente. Lamberti a tal riguardo osserva che «...*debbon costruirsi di maggior fermezza, onde o debbonsi far di maggior grossezza, ovvero di materiali di densità maggiore degli altri, e perciò debbonsi evitar di fare forme vacue negli angoli degli edificj, ed allontanarle per quanto si può da essi...*»¹⁶⁵, le parti terminali della parete muraria infatti, non usufruiscono della solidarietà delle murature contigue, un concetto che, sebbene non dichiarato dall'autore, assume particolare importanza per azioni orizzontali causate da sisma. Anche Carletti è interessato all'argomento aggiungendo comunque nuovi elementi di riflessione, «...*I vacui ... si dispongano convenientemente lontani dagli angoli dell'edificio e perpendicolari gli uni sopra gli altri...*»¹⁶⁶ un'affermazione infatti, prodromo

¹⁶³ Dato il modulo elastico tra muratura e legno notevolmente differente, il carico derivante dal peso proprio delle pareti viene quasi totalmente assorbito dalla muratura, mentre sul telaio di legno, in regime statico, gravano unicamente i carichi provenienti dai solai ed ovviamente il peso proprio della struttura lignea. Il contributo del rinforzo di legno risulta invece determinante nell'eventualità di perturbazione tellurica, infatti l'energia derivante viene dissipata dal sistema da numerosi fattori, tra i quali l'attrito che si genera tra le membrature lignee e il riempimento di muratura del telaio.

¹⁶⁴ Il sistema evidenziato da Vivenzio presenta nell'angolo una doppia orditura di pilastri lignei opportunamente connessi da *calastrelli* lignei. Cfr. Ruggieri, N., 2013, *Case formate di legno* op. cit.

¹⁶⁵ Lamberti, V., 1781, *Statica degli edifici*, Giuseppe Campo, Napoli, p. 141. Il principio espresso da Lamberti viene ribadito da Vittone, le finestre « *...convorrà ... a non troppo avvicinarle agli angoli principali delle Fabbriche, acciocchè non venga indebolita quella parte, ch'esser deve il più essenzial sostegno, e rinforzo di esse...*» Vittone, B., A., 1760, *Istruzioni elementari*, op. cit. p. 463.

¹⁶⁶ Carletti, N., 1772, *Istituzioni d'Architettura*, op. cit. p. 54.

per ben altre complesse speculazione legate alla moderna concezione di *maschio murario (o colonna)* elemento essenziale nel *modellare* il comportamento della muratura per azione sismica parallela al setto.

La pubblicistica del Regno di Napoli relativa alle regole per la realizzazione degli edifici inoltre, fornisce numerose indicazioni riguardanti le caratteristiche dei materiali e le modalità applicative, raccomandazioni che spesso ricalcano pedissequamente i dettami per una costruzione a regola d'arte contenuti in Vitruvio. Il regolamento Borbonico e Vivencio sono poco interessati a tale tipo di questioni e affrontano l'indicazione dei materiali per la realizzazione del sistema antisismico in maniera sintetica, limitandosi a raccomandare, nello specifico nella normativa, la scelta di mattoni per l'apparecchio murario evitando qualunque pietra che non presenti una certa asperità superficiale come quelle provenienti dai letti dei fiumi, eventuale utilizzo che Teofilo Gallaccini segnala come uno degli *errori degli architetti*. Relativamente alla specie legnosa da utilizzare per i vari elementi costituenti l'intelaiatura lignea il regolamento antisismico Borbonico è abbastanza perentorio la scelta deve essere rappresentata unicamente da Castagno o Quercia, *istruzione* accompagnata da altre indicazioni di messa in opera che mostrano un'attenzione per la difesa delle membrature dal degrado di tipo biotico. A tal proposito Carletti attribuisce al castagno una scarsa durabilità¹⁶⁷ ed in particolare una maggiore predisposizione ad attacchi da parte di insetti e funghi, suggerendone l'uso unicamente per i coperti dei fabbricati, mentre «...*La Quercia ... è adatta a molti usi dell'edificio, e si adopera nella fondamenta ed in acqua...*»¹⁶⁸.

Altro accorgimento costruttivo relativo alla carpenteria lignea del tetto si evince dall'analisi delle tavole di Vivencio, le unità strutturali costituenti il sistema di copertura sono incavallature con conseguente spinta sul piedritto

¹⁶⁷ Un giudizio non corretto in quanto tale specie legnosa, in particolare per legno derivante dal durame, per come riportato nella EN 350-2 risulta mostrare buoni valori di resistenza al biodegradamento sia relativamente agli insetti che per quanto riguarda eventuali attacchi micotici.

¹⁶⁸ Carletti, N., 1772, *Istituzioni d'Architettura*, op. cit. p.107.

eliminata, ancora una caratteristica strutturale, non esplicitamente dichiarato, di notevole utilità in regime dinamico.

Sono numerosi gli autori nel '700 che si cimentano nel calcolo della componente orizzontale proveniente da una copertura inclinata¹⁶⁹, sebbene Vivencio e la normativa borbonica non forniscono interpretazioni "matematiche" del comportamento meccanico delle membrature di copertura né sono interessati al dimensionamento, in generale, degli elementi resistenti. L'autore di *Historia de tremuoti* non evidenzia alcuna spiegazione numerica degli elementi costruttivi presenti nelle Tavole, tuttavia c'è da osservare che la geometria resistente caratterizzante la muratura delle *Case formate di legno* risulta "proporzionata strutturalmente" all'altezza dell'alzato raffigurato, rispondente probabilmente ad una teoria di dimensionamento.

Nel XVIII secolo operano a Napoli diversi docenti che attraverso il metodo sperimentale cercavano di fornire regole numeriche per la valutazione della sezione resistente degli elementi strutturali che compongono l'edificio.

Lorgna è l'autore di un sistema di calcolo semplificato fondato sulle proporzioni, lo scienziato, partendo da valori noti derivanti da numerose *prove a rottura* effettua una tabulazione di tali risultati, valida nella verifica e dimensionamento di murature di identiche caratteristiche di resistenza a quelle sperimentali ma con carichi e dimensioni diverse; non è presente alcun coefficiente di sicurezza.

¹⁶⁹ Lorgna mediante il metodo grafico della composizione delle forze, calcola la spinta esercitata da un elemento inclinato, assimilabile ad un tetto, nei confronti del piedritto. Inoltre analizza diverse tipologie di copertura variando schema statico e soprattutto disposizione dei carichi, simulante le diverse situazioni possibili che si possono riscontrare nella pratica per un tetto di legno. A corredo fornisce anche, attraverso equazioni di equilibrio, una soluzione algebrica del problema. Lorgna, A., M., 1782, *Saggi di Statica e Meccanica applicati alle arti*, Dionigi Ramanzini, Verona.

Lamberti¹⁷⁰, docente a Napoli, con una terminologia ancora Galileiana e riferendosi ai più avanzati studi dell'epoca, tra gli altri cita Bernoulli, Muschenbroeck, Mariotte e De La Hire, effettua una serie di "calcoli" mediante lo strumento matematico delle proporzioni, fornendo informazioni sul dimensionamento a compressione dell'apparecchio murario.

Le verifiche vengono effettuate basandosi su prove sperimentali attuate su una casistica di tipologie murarie diffuse a Napoli «...nei tempi presenti...»¹⁷¹ nello specifico «...tufo spianato, o di mattoni, ovvero di tufo e mattoni mischiati ovvero di brecce, o di piperno spianato...»¹⁷², da cui l'autore estrapola le caratteristiche di resistenza a compressione¹⁷³.

Carletti basandosi su analisi svolte da altri autori, riporta, anche se in maniera semplificata, dei metodi per il dimensionamento della muratura mediante le proporzioni. L'altezza del fabbricato in cui sono contenuti implicitamente il peso proprio e quello di esercizio, in dipendenza della tipologia costruttiva, è il valore a cui relazionare la geometria dell'apparecchio murario. Proprio a tale autore sembrerebbe fare riferimento Vivencio nel "dimensionamento" della muratura in *pietre da taglio ben cementate* raffigurata nelle Tavole, infatti per un'altezza di circa 12 mt corrispondente al prospetto del fabbricato principale di *Case formate di*

¹⁷⁰ Sebbene non argomenta nelle sue speculazioni circa il terremoto, considera l'azione dinamica, basandosi su enunciazioni già svolte da Mariotte, in particolare *l'urto dei venti* come possibile forza che causa un momento ribaltante.

¹⁷¹ Lamberti, V., *Statica*, op. cit.

¹⁷² *Ibidem*.

¹⁷³ Lamberti effettua prove a compressione per tre tipologie murarie, in tufo, mattoni e piperno soggette unicamente al peso proprio (*la forza viva*) e conclude affermando che «... per la perpetuazione degli edifici...» è consigliabile costruire in piperno o in alternativa in mattoni legando tale proprietà unicamente al peso proprio limitato «...la forza morta nella fabbrica di tufo sta ... fabbrica di mattoni, ed a quella di piperno nella ragione di 59:54:47; è minore perciò l'azione della fabbrica di mattoni colla sua forza... da ciò si deduce quanto è di migliore condizione il fabbricare di mattoni e piperno per la perpetuazione degli edifici...». Lamberti, V., *Statica*, op. cit.

legno, lo spessore della muratura risulta di 1 mt, in perfetto accordo con le dimensioni puntualizzate nell'abaco di Carletti¹⁷⁴.

Maggiormente empirico risulta Vittone con indicazione di cui non fornisce alcun riferimento numerico limitandosi a raccomandare «...*i muri di facciata di un decimo della larghezza della Camera, bastar potrà per quelli di tramezza il duodecimo...*»¹⁷⁵, in nuce è contenuta una disposizione antisismica, maggiore è la distanza tra due pareti e maggiore è il rischio, a parità di azione e altezza d'interpiano, di ribaltamento per sisma ortogonale.

6.8 Conclusioni

Le ricerche svolte da Galilei vengono implementate nel '700 con applicazioni pratiche delle leggi della meccanica: è la nascita della tecnica della costruzione una scienza tutta concreta utile a «...*combinare gli artifizi del calcolo con la natura delle cose...*»¹⁷⁶. La speculazione scientifica viene intesa come investigazione di problemi applicativi e legati alla pratica trovando piena espressione nel sistema antisismico Borbonico sviluppatosi in Calabria dopo il terremoto del 1783.

Il Regno di Napoli non primeggia nell'avanzamento scientifico, tuttavia gli scienziati Borbonici risultano particolarmente aggiornati sulla tecnica di prevenzione contro i danni derivanti dai terremoti sviluppata nel '700 in Italia e nel mondo.

Il sistema governativo, anche nelle sue numerosi varianti¹⁷⁷, rappresenta un primato nella storia della scienza d'Europa nell'applicazione e nella perfetta sintesi dei principi della nascente ingegneria antisismica.

¹⁷⁴ «... *debbonsi proporzionare coll'altezza degli Edificj, che è peso proprio, e col peso di tutte le parti che li gravano... i solidi... resistono a proporzione della larghezza della base... le pietre di tufo La proporzione di 1:8 ... marmi, mattoni cotti ed altro simile ... 1:12 ... medj tra essi 1:10...*» Carletti, N., 1772, *Istituzioni d'Architettura*, op. cit., p.20.

¹⁷⁵ Vittone, B., A., 1760, *Istruzioni elementari*, op. cit. p.492.

¹⁷⁶ Lorgna, A., M., 1782, *Saggi di Statica*, op. cit., p. XV.

¹⁷⁷ Cfr. Ruggieri, N., 2013, *Genesi e sviluppo*, op. cit.

CAPITOLO 7.

Interpretazione meccanico-costruttiva del modello di

Giovanni Vivenzio

Keywords: 1783 earthquake, Borbone anti-seismic system, reinforced masonry with timber framing

7.1 Abstract

*The Borbone government promulgates several measures subsequent the 1783 earthquake in the Calabria region, such as sending numerous engineers from Naples to organize the reconstruction of the areas struck by earthquake. Among these various experts there is Giovanni Vivenzio, doctor of the Royal Household, university teacher, erudite in science, in particularly seismology and vulcanology. The polyhydic intellectual describes buildings damages and victims number in a detailed report, included in *Istoria e teoria de' tremuoti in generale ed in particolare di quelli della Calabria e di Messina*, published in 1783. This treatise is accompanied by *Tables with Spiegazione* which represent *Case formate di legno*, an earthquake resistant prototype constituted by masonry reinforced with a double timber framing. The research is based on the publications of the 18th C. concerning civil architecture, on realized examples and on the drawings and relative *Spiegazione delle Tavole*. The study provides data about the constructive interpretation of the anti-seismic model included in the Vivenzio's work and about its behavior in static field and especially in presence of dynamic actions due to the earthquake.*

7.2 Premessa

Il terremoto del febbraio e marzo 1783 interessa la Calabria per la sua interezza con conseguenze disastrose nella provincia di Reggio Calabria e Monteleone (l'attuale Vibo Valentia). Interi paesi vengono totalmente distrutti comportando, secondo le stime proposte dal vicario generale principe Pignatelli, circa 30.000 morti, calcoli che Vivenzio integra

successivamente con nuove vittime causate da epidemie e stenti successivi al sisma.

L'intervento del governo borbonico fu estremamente tempestivo con misure immediate, tra le quali la redazione, datata *solo* maggio 1783¹⁷⁸, del primo regolamento antisismico d'Europa e l'invio in Calabria di numerosi tecnici da Napoli al fine da realizzare in tempi brevi la ricostruzione.

Tra i vari esperti è presente anche Giovanni Vivenzio (174?-1819), medico della casa reale, docente universitario, uomo erudito nelle scienze, vulcanologia e sismologia in particolare e nelle lettere, Architetto dunque per come inteso da Vitruvio, sebbene probabilmente non aveva avuto alcuna esperienza diretta nella realizzazione di costruzioni.

Il poliedrico intellettuale partito da Napoli con il compito di riferire ai regnanti Borbonici relativamente allo stato di conservazione delle costruzioni calabresi e più in generale sugli «...*effetti funesti che hanno prodotto nelle due sicilie...*»¹⁷⁹ i terremoti, soggiorna a Monteleone dove, attraverso emissari e collaboratori, ottiene dati circa il numero delle vittime e sui danni occorsi ai fabbricati.

Tali elementi vengono raccolti dopo pochi mesi in un rapporto dettagliato in *Istoria e teoria de' tremuoti in generale ed in particolare di quelli della Calabria e di Messina*; la pubblicazione infatti stampata a Napoli, nella Stamperia Regale, è datata 8 settembre 1783, a cui fa seguito una successiva versione ampliata e corretta del 1788¹⁸⁰.

¹⁷⁸ "Istruzioni sul metodo da tenersi nella riedificazione dei paesi diruti della Calabria" a cui fecero seguito, nel marzo del 1784, Le Istruzioni reali per la città di Reggio. Si veda Grimaldi, A., 1863, *La cassa sacra ovvero la soppressione delle manimorte in Calabria*, Stamperia dell'iride, Napoli; Aricò, N., Milella, O., 1984, *Riedificare contro la storia. Una ricostruzione illuminista nella periferia del regno borbonico*, Gangemi, Napoli.

¹⁷⁹ Vivenzio, G., 1783, *Istoria e teoria de' tremuoti in generale ed in particolare di quelli della Calabria, e di Messina del MDCCLXXXIII*, Stamperia Regale, Napoli.

¹⁸⁰ Vivenzio, G., 1788, *Istoria de' tremuoti avvenuti nella provincia della Calabria ulteriore e nella città de Messina nell'anno 1783 e di quanto nella Calabria fu fatto per lo suo risorgimento fino al 1787*, Stamperia Regale, Napoli. In questa ristampa sono assenti le Tavole relative ai fabbricati con evidenziata l'intelaiatura lignea.

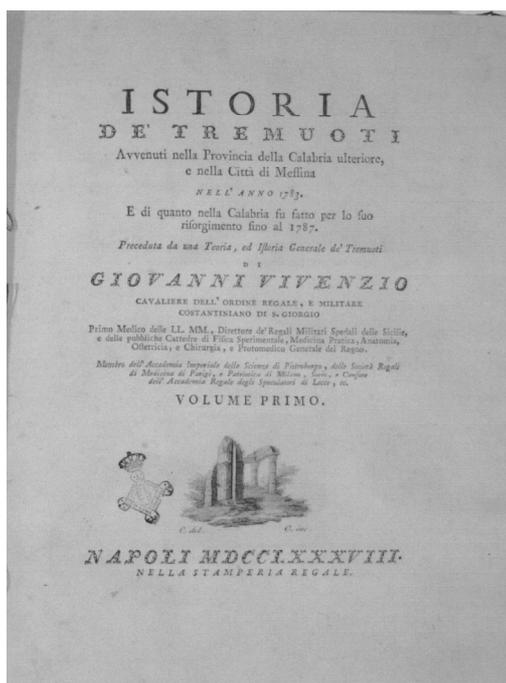


Fig. 41 Vivenzio, G., 1788, *Istoria de' tremuoti avvenuti nella provincia della Calabria ulteriore e nella città de Messina nell'anno 1783 e di quanto nella Calabria fu fatto per lo suo risorgimento fino al 1787*, Stamperia Regale, Napoli.

7.3 "Istoria e teoria de' tremuoti in generale ed in particolare di quelli della Calabria e di Messina"

L'opera è costituita da due parti, una prima in cui è contenuta un'interessante storia degli eventi tellurici accaduti nel mondo ed è esposta una teoria sismogenetica basata sul «...*fuoco elettrico ... nelle viscere della terra ... per cagione de' tremuoti...*»¹⁸¹, interpretazione comune a numerosi intellettuali napoletani, ma contestata da De Dolomieu¹⁸². La parte prima è conclusa con «...*l'indicazione dei rimedi a tale materia elettrica ...*»¹⁸³ ovvero con la descrizione di un dispositivo per la prevenzione dagli eventi tellurici, il «...*Para-tremuoto ... Per tirare il più lontano, che si potrà da sotto la terra la materia fulminante...*» costituito da «...*grandissime verghe di ferro...*»¹⁸⁴.

In particolare è presente rispetto alla prima stesura un capitolo in cui viene descritta l'attività governativa in favore dei paesi colpiti dal sisma.

¹⁸¹ Vivenzio, G., 1783, *Istoria*. Op. cit. pp. LXXXIV-V.

¹⁸² Lo scienziato francese sosteneva un'origine vulcanica dei terremoti derivante, nel caso calabrese, dal "focolare" dell'Etna.

¹⁸³ *Ibidem*, p. C.

¹⁸⁴ *Ibidem*, p. CXV.

La seconda parte del libro, oltre a restituire una rappresentazione minuziosa dei danni riportati dai vari paesi sia nelle costruzioni sia nelle variazioni morfologiche del territorio caratterizzate da «...*spaventevoli voragini ... e laghi ... elevazioni di terreno di varie altezze...*»¹⁸⁵, include un *indice generale* in cui sono contenuti, in maniera analitica e dettagliata, il numero delle vittime e dei guasti alle costruzioni causati dal sisma e ordinati per singolo paese colpito. Il testo è corredato da *Tavole* con relativa *Spiegazione*, in cui è rappresentata *Case formate di legno*, un prototipo resistente ai terremoti costituito da muratura con intelaiatura lignea di rinforzo.

7.4 Il modello di costruzione antisismica

7.4.1 Il complesso ed il suo comportamento al sisma

Vivenzio più che da ritenersi ideatore e scopritore di un nuovo metodo di costruire antisismico raffigura la sintesi del saper scientifico ed in generale intorno all'architettura del '700¹⁸⁶. I criteri della regola d'arte esposti in numerosi trattati, uniti al collaudo ed alle ottime prestazioni antisismiche di costruzioni intelaiate esistenti in Calabria¹⁸⁷, rappresentano dei chiari esempi da imitare e da prendere a riferimento nel modello e quindi nella ricostruzione calabrese più in generale.

I disegni, a firma di *Vincenzo Ferraresi*¹⁸⁸ ideatore e *Agnello Cataneo incisore*, sono dunque contenuti nella parte finale dell'opera e consistono in tre tavole in cui figura la pianta del piano terra, la platea di fondazione,

¹⁸⁵ Ibidem, p. CCV.

¹⁸⁶ A tal riguardo è in corso di pubblicazione da parte dell'autore di uno scritto relativo alle fonti teoriche del sistema antisismico borbonico.

¹⁸⁷ Comportamento testimoniato proprio durante il terremoto del 1783, « *...in Filogaso l'antico Palazzo del Conte di Nocera ... costruito nel passato secolo di legno, e rivestito solamente di fabbrica, si rimase in tutto l'interno illeso, nel mentre che il Paese fu uguagliato al suolo ...*» Vivenzio, G., 1783, *Istoria* op. cit., pag. 53

¹⁸⁸ Allievo e collaboratore di Milizia, dal 1784 docente di Architettura Civile all'Accademia del Disegno, è probabile quindi un'influenza indiretta di Milizia, testimoniata dalla particolare accortezza nei collegamenti al fine di realizzare una risposta al terremoto del fabbricato con *un'unica massa*.

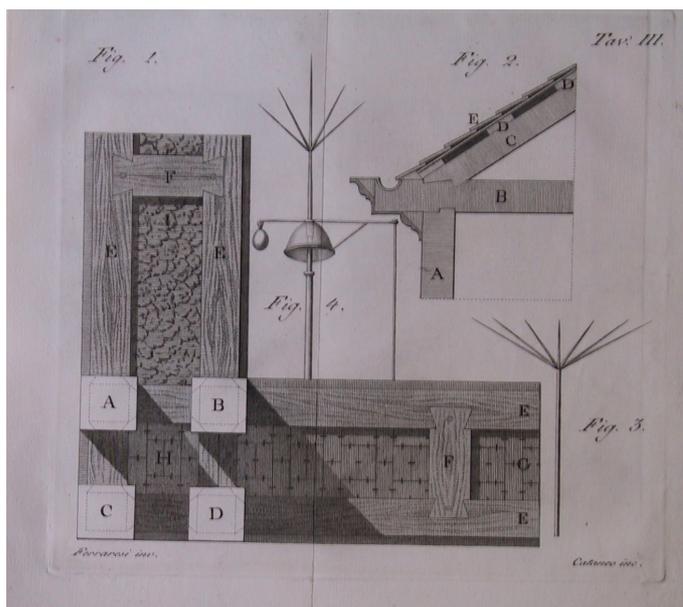


Fig. 42 Case formate di legno Tav. III (Vivenzio, G., 1783)

Il complesso rappresentato, a tre livelli fuori terra oltre sottotetto, relativamente al corpo principale e due piani per quelli laterali, contrario ai dettami del codice governativo¹⁸⁹ quindi, evidenzia una regolarità in pianta ed alzato con una simmetria biassiale¹⁹⁰.

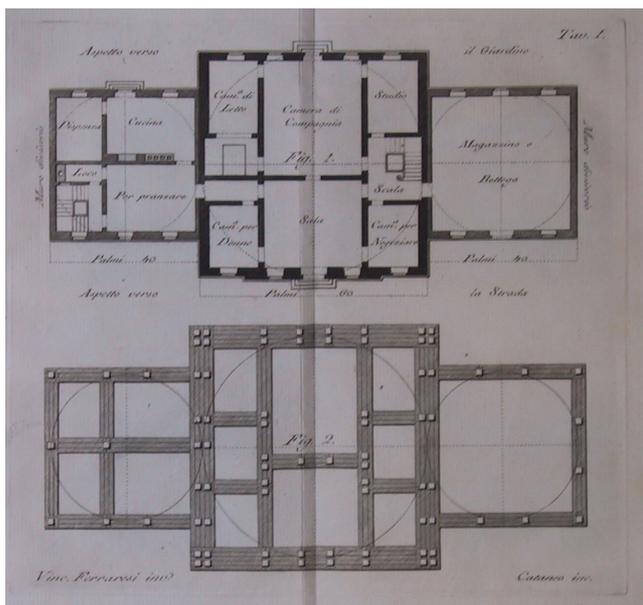
¹⁸⁹ Le *Istruzioni* raccomandavano un unico livello fuori terra ed in deroga, solo se presente un adeguato "dimensionamento" da parte dell'ingegnere, la possibilità di aggiungere un ulteriore solaio per un'altezza massima di 38 piedi (circa 10 mt) «..14) L'altezza di ogni piano terreno da sopra allo zoccolo fino al gocciolatoio sarà palmi 28 in circa e nei Paesi situati in pianura e dove le strade devono livellarsi con moderato pendio si procurerà che gli edifizi lungo le dette strade abbiano la medesima altezza e la stessa regola s'osserverà indispensabilmente in tutte le Piazze.

15) Saranno i detti edifizi di un sol piano coperti da un tetto a cui sia sottoposto il palco con travi ben assicurati sui traversi dei muri esteriori.

16) Le persone facoltose potranno costruire sopra il detto piano terreno anche un altro piano, lasciando alla perizia dell'ingegnere incaricato di prescrivere ed in vigilare che le travature siano di sufficiente robustezza e che restino bene legati con quelli del piano inferiore.

17) L'altezza di queste case fino sotto il gocciolatoio non eccederà i palmi 38 e questa sarà uniforme per tutti gl'edifizi di tale categoria, potendo però ciascheduno variare nella decorazione, che dovrà essere sempre semplice e senza carica di

l'alzato del fabbricato e alcuni interessanti particolari costruttivi sia dei montanti d'angolo che del nodo della capriata di copertura puntone-catena.



Tale ordine¹⁹¹ è rafforzato da altre indicazioni riportate da Vivencio relative alla realizzazione delle strade su cui affacciano le costruzioni, «...fossero diritte ... e per quanto si potesse esigere fossero queste perpendicolari le une con le altre trasversali, affinché le fabbriche venissero formate ad angoli retti...».

Fig. 43 Case formate di legno Tav. I (Vivencio, G., 1783)

Raccomandazioni dirette a scongiurare, nell'eventualità di sisma, possibili azioni di torsione, il sistema resistente infatti, "contrappone" ad un'eventuale azione dinamica identica distribuzione degli elementi strutturali e rigidità, secondo le due direzioni principali.

I fabbricati laterali, veri e propri contrafforti, «...contribuendo alla solidità apporterrebbero meno ruina in caso di violentissimo, e sovversivo tremuoto...»¹⁹², sono caratterizzati da una disposizione che al contempo genera un abbassamento del baricentro totale delle masse, conferendo al complesso, in caso di azione dinamica, una minore accelerazione.

aggetti molto pesanti, e stucchi soverchi...». Aricò, N., Milella, O., 1984, *Riedificare*. Op. cit.

¹⁹⁰ Cfr. Ruggieri N., 2005, *La casa antisismica*, in Atti (a cura di G. Tampone) del convegno "Conservation of Historic wooden structures", Collegio Ingegneri della Toscana, Firenze, pp.141-145

¹⁹¹ La raccomandazione di Vivencio prelude ad una serie di ricerche degli inizi del XX secolo intorno alla forma geometrica di un fabbricato più opportuna per resistere al sisma, come in Ruffolo e Masciari Genoese.

¹⁹² Vivencio, G., 1783, *Istoria*. Op. cit., p. 55.

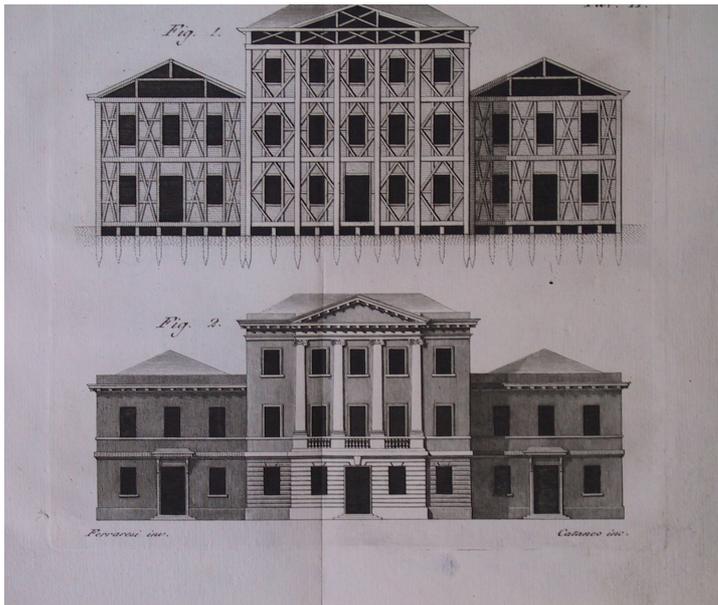


Fig. 44 Case formate di legno Tav. II (Vivenzio, G., 1783)

Inoltre, data la presenza consistente di membrature lignee il peso proprio dell'apparecchio murario proposto da Vivenzio risulta minore rispetto ad un'ordinaria muratura, con una conseguente ridotta massa sismica.

Le costruzioni sono rappresentate rialzate rispetto alla quota del terreno, «..affine di garantire le abitazioni dall'umidità, e per maggiore conservazione de' legnami..»¹⁹³, è evidente quindi una particolare attenzione per la durabilità delle strutture, allontanandole dal terreno possibile fonte di umidità e di conseguenza di condizioni favorevoli per attacchi di tipo biotico. Il legno consigliato per la realizzazione degli elementi strutturali è la Quercia, specie legnosa che è riportata anche nelle *Istruzioni* in alternativa al Castagno.

7.4.2 L'intelaiatura lignea

La struttura di legno perimetrale al fabbricato principale è rappresentata da due telai posti in parallelo, mentre all'interno e per la totalità dei corpi laterali, è costituita da un'unica orditura di pilastri.

¹⁹³ Ibidem, p. 54.

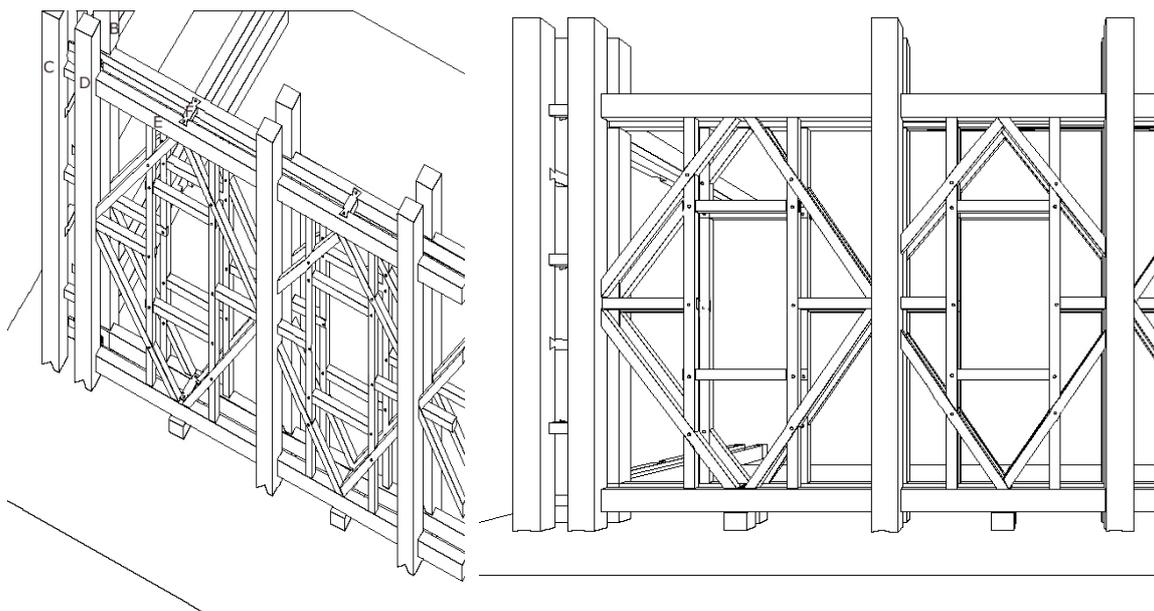


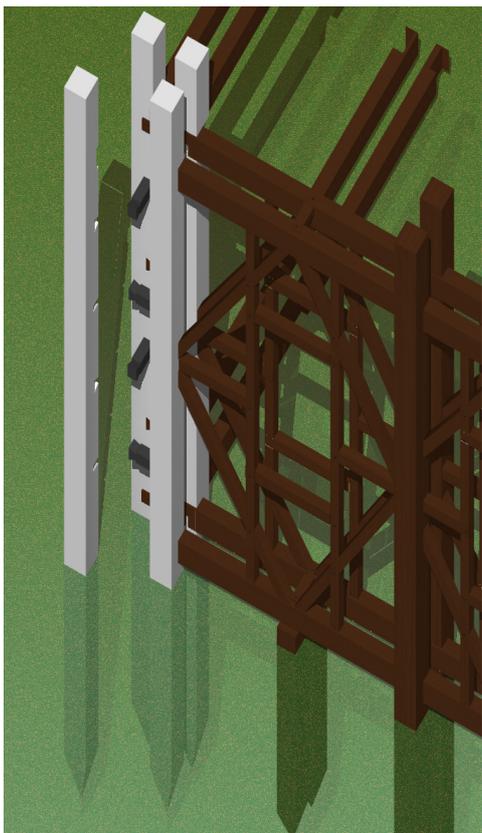
Fig. 45 Ricostruzione virtuale del prototipo di Vivenzio

I vuoti nel piano dei telai e l'apparecchio murario caratterizzante l'interno del *cassone* ligneo, sono costituiti da conci di pietra regolari ben cementati e solidarizzati da graffe metalliche o in alternativa muratura disposta ad *opus incertum* con in questo caso evidente economia di spesa.

I montanti, di sezione resistente quadrata e lunghezza di circa 13 metri a cui si aggiungono ulteriori 3 metri relativi alla parte infissa nel terreno¹⁹⁴, probabilmente risultano costituiti da più elementi connessi¹⁹⁵; la deformabilità, dovuta ad una snellezza elevata, viene contrastata, almeno in una direzione, dalla presenza dei controventamenti di legno; in senso perpendicolare, verso l'interno della costruzione, l'azione di ritegno è ottenuta grazie alla presenza dei solai interpiano e delle capriate di copertura.

¹⁹⁴ Con tale indicazione Vivenzio, si pone in antitesi a Milizia che consigliava d'isolare la struttura del terreno, evidente precorritore di alcune moderne tendenze dell'ingegneria antisimica e che solo nella seconda metà del XIX° secolo vede le prime rudimentali applicazioni.

¹⁹⁵ CFR. Tampone, G., 1996, *Il restauro delle strutture di legno*, Hoepli, Milano, p.146.



Ogni telaio è solidale con quello contiguo, nell'angolo dove maggiore risulta la vulnerabilità al sisma la distribuzione delle aste, correttamente, raddoppia con *quattro gran travi*; tali montanti sono collegati tramite elementi di legno trasversali e paralleli, con una contemporanea azione di contrasto all'instabilità dei pilastri, veri e propri vincoli intermedi che riducono la lunghezza libera d'inflessione; è lo stesso Vivencio che riferisce su tale accorgimento: «...affinchè dette travi non cedino da qualunque parte, s'incastano

Fig. 46 Ricostruzione virtuale del prototipo di Vivencio, particolare della zona d'angolo intestate a coda di rondine, e replicate lungo la loro altezza...»¹⁹⁶, ovvero dei calastrelli che solidarizzano i quattro elementi strutturali generando un unico pilastro composto.

I telai del corpo principale sono irrigiditi da aste inclinate, distribuite in prossimità dell'angolo, al fine di liberare la parte centrale dell'intelaiatura e quindi permettere la realizzazione della bucatura, caratterizzata a sua volta da un irrobustimento costituito da una cerchiatura lignea.

¹⁹⁶ Vivencio, G., 1783, *Istoria*. Op. cit., p. 55.

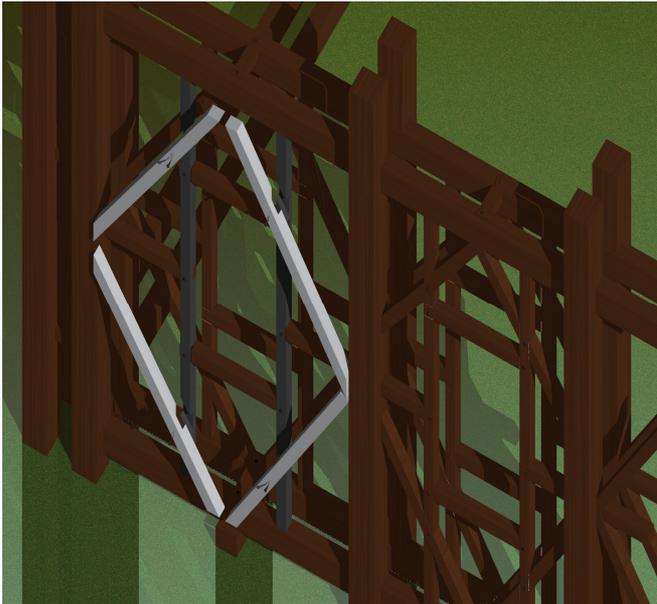


Fig. 47 Ricostruzione virtuale del prototipo di Vivenzio.

I controventamenti sul piano della facciata risultano continui fino a comprendere l'intero livello del sottotetto.

Interessante il contenuto della *Spiegazione* relativa al particolare costruttivo del cantonale in pianta raffigurato nella *Tavola III*, dove Vivenzio specifica che tale tipo di apparecchio, caratterizzato da doppia orditura di telai, è indicato per *muraglie de pubblici edificj*; in una certa misura si evidenzia una tendenza precorritrice del moderno principio *d'importanza* (fattore) del fabbricato. Le attuali normative infatti riconoscono, nell'eventualità di collasso, possibili conseguenze più gravi per una costruzione ad uso pubblico e quindi raccomandano per tali edifici una progettazione che preveda una maggiore sicurezza antisismica.

Il fronte dei fabbricati laterali è scandito dai pilastri, quest'ultime membrature non risultano continue ma sfalsate nei due piani consecutivi per quanto riguarda il telaio centrale e comunque interrotte dalla presenza della trave, mentre di un unico elemento ligneo è costituito il traverso orizzontale. Altre due membrature orizzontali, di difficile realizzazione, dividono e irrigidiscono i controventi, si può supporre un'esecuzione mediante incavi a mezzo legno alternati alle due estremità sul fronte ed il retro dell'elemento strutturale, altro artificio che migliora la connessione tra i legni, pur se a scapito della dimensione della sezione resistente che risulta ridotta. Negli angoli, relativamente ai corpi laterali, a compensare la

manca di una doppia orditura di pilastri è presente un montante di dimensioni maggiori rispetto al resto delle membrature verticali.

La presenza di un cordolo ligneo continuo, che sovrasta in sommità l'intera struttura, accorgimento tecnico caratterizzante sia i fabbricati laterali che il corpo centrale, contribuisce nel trattenere la parete da un eventuale ribaltamento per azioni orizzontali perpendicolari. Le capriate del tipo alla "Palladiana" con puntone e sottopuntone, almeno per quelle rappresentate afferenti ai corpi laterali, comunque, rappresentano un sistema "chiuso" non spingente e assicurano quindi l'assenza di forza orizzontale.

Nella *Tavola III*, relativamente al particolare di copertura, Vivenzio descrive e opportunamente raccomanda che gli elementi non portanti e di completamento del tetto quali ad esempio «...*le lastre di lavagna o di creta cotta...*»¹⁹⁷ siano ben fissati all'orditura lignea sottostante, con conseguente beneficio, sia pur ridotto, alla rigidità di piano della copertura.

I due fabbricati laterali presentano croci di sant'andrea¹⁹⁸ del tipo canonico disposte in maniera continua su tutto il prospetto.

La regolare distribuzione dei controventi non si riscontra in alcuni casi realizzati, specie successivi al '900, dove le aste disposte in maniera discreta, non rispondono almeno in apparenza ad alcuna regola, in realtà permettono dove assenti la realizzazione delle *bucature*, una ripartizione che al contempo fonda, a ben osservare, su istanze di tipo estetico e strutturali, localizzando le finestre distanti il più possibile dagli angoli del fabbricato e sempre, in un edificio a più livelli allineate in verticale, assicurando la disposizione che moderni modelli di calcolo definiscono *maschio o colonna muraria*.

Ferraresi rivolge particolare attenzione nei disegni ad aspetti modulari espressi attraverso cerchi inscritti nel perimetro murario che dettano le dimensioni della costruzione, 60 e 40 palmi, rispettivamente per il corpo

¹⁹⁷ Ibidem, p.55.

¹⁹⁸ La normativa borbonica non specifica in alcun modo circa la presenza di un sistema d'irrigidimento con croci di sant'andrea. Un esempio di intelaiatura priva di controventamenti lignei, ma comunque irrigidita dal riempimento in muratura, è riscontrabile a Mileto (Vv), nella fabbrica vescovile.

principale e per i due fabbricati laterali; tale interesse di tipo grafico si riscontra anche nella regolarità del passo dei controventi della costruzione centrale, che realizza motivi a losanga di sfondo, per come descritto nella *Tavola II*, in alcuni casi poco interessati alla disposizione delle intelaiature. Una rappresentazione che genera per alcuni telai la confluenza di tre aste in un unico nodo, nello specifico l'architrave ed il montante relativo alla bucatura ed il controvento, un collegamento quindi di difficile realizzazione e poco razionale dal punto di vista costruttivo. Inoltre le aste di controventamento del fabbricato principale sembrerebbero rappresentate continue con lunghezze che raggiungono circa 20 mt, dimensioni difficilmente approvvigionabili, in particolare per le specie legnose indicate dal regolamento governativo borbonico, quali Quercia e Castagno. Si rafforza l'ipotesi che alcune indicazioni sono generate da graficismi e attenzione alla modularità e proporzioni del disegno, piuttosto che indirizzate da reali esigenze esecutive.

La *Tavola III* con estremo realismo al contrario, evidenzia nella rappresentazione del diatono raffigurato nella parte alta, la presenza di una fessurazione generata dall'infissione del chiodo di collegamento, fenomeno non dissimile dal comportamento reale di un connettore metallico disposto parallelamente alla fibratura.



7.4.3 I nodi

I nodi rappresentati sono del tipo a *coda di rondine*, almeno relativamente ai collegamenti tra i telai mediante diatono e per quelli caratterizzante l'unione pilastro-calastrello-pilastro di angolo¹⁹⁹, la presenza di un chiodo è di sicuro ausilio alla rigidezza della connessione; altra rappresentazione nei disegni di Vivenzio riguarda il nodo catena-pilastro dove sono presenti intagli che ne migliorano l'unione.

Fig. 48 Ricostruzione virtuale del prototipo di Vivenzio. Particolare diatono di collegamento tra i due telai paralleli

Tale collegamento sarà raffigurato con le identiche caratteristiche geometriche da Warth, in Breymann, relativamente alla sala delle cerimonie nel castello di Norimberga e in particolare nel collegamento tra cordolo di legno e trave soprastante.

¹⁹⁹ Leupold, 1726, *Teatrum pontificale*, mostra un particolare costruttivo di un ponte di legno molto simile, con doppia intelaiatura e diatoni trasversali lignei connessi a coda di rondine. CFR. Ruggieri, N., 2011, *Il legno nel '700, aspetti meccanici e d'anatomia*, in Bollettino degli Ingegneri, n.6, Firenze.



Fig. 49 Ricostruzione virtuale del prototipo di Vivenzio. Particolare nodo pilastro membratura orizzontale telaio.

Il nodo della capriata di copertura, rappresentato nella *Tavola III*, è realizzato in modo, correttamente, da scaricare la componente verticale della forza trasmessa dal puntone assorbita interamente all'appoggio senza generare sollecitazioni di taglio aggiuntive sulla catena.

Tale collegamento tra puntone e catena è irrigidito da una doppia indentatura.

Nessuna indicazione evidente è fornita nei disegni e nella *spiegazione delle tavole* circa le connessioni di altri elementi strutturali, è comunque ipotizzabile sia per i nodi pilastro-trave, che relativamente alle aste costituenti il controventamento, delle commesure del tipo a *mezzo legno*, con incavo realizzato su entrambi gli elementi da collegare, si ottiene così la possibilità di contenere su uno stesso piano le varie membrature vincolate.

7.5 Conclusioni

Un sistema antisismico di cui non conosciamo quanto ampiamente fosse applicato²⁰⁰ e se, in generale, vi furono effetti estesi sulla pratica del costruire; sicuramente esistevano in Calabria prima del 1783 strutture di

²⁰⁰ Si segnala a Seminara (Rc) in via Fondatore Lauro, su gentile indicazione dell'arch. Infantino, una costruzione con la presenza di una doppia orditura di telai di legno.

legno, sebbene in pochi esemplari²⁰¹, questo fa presumere che l'opera di Vivenzio²⁰² è da intendersi non come un vademecum pratico-teorico per le costruzioni antisismiche, bensì un rilievo dello stato della conoscenza "scientifica" del XVIII secolo nel regno borbonico.

Il medico di Ferdinando IV infatti, con straordinaria sintesi racchiude i principi dell'ingegneria antisismica nascente nell'età dell'illuminismo²⁰³. La riduzione della massa sismica del fabbricato, la regolarità di forma in pianta ed in alzato e soprattutto l'obiettivo di perseguire un collegamento tra le pareti murarie perpendicolari attraverso l'utilizzo dell'intelaiatura lignea, sono i fondamenti teorici su cui si basa il sistema governativo borbonico ed il modello presentato da Vivenzio e rispondono pedissequamente alla più moderna tecnica e tecnologia, al fine di migliorare la capacità nei confronti di azioni dinamiche derivanti dal terremoto, disponibile nella comunità scientifica internazionale del XVIII secolo.

Le *Case formate di legno* di Vivenzio rappresenta, una tecnica costruttiva contraddistinta da un'elevata quantità di legni e un'estrema difficoltà del carpentiere nella realizzazione dei collegamenti. Tali caratteristiche comportano inevitabilmente una maggiore diffusione di realizzazioni nella versione ad un unico telaio o per come riporta Baratta²⁰⁴ del sistema borbonico ridotto, piano terra in muratura e primo piano con la presenza di

²⁰¹ Esempi sono presenti nelle cronache d'epoca, come in Sarcone in riferimento a Mileto, «..L'illustre Duca vi possiede una nobile e agiatissima baracca in altra età fabbricata per ricovrarvisi dà tremuoti...». Sarcone, M., 1784, *Istoria de' fenomeni del tremuoto*, Napoli.

²⁰² Tale trattato risulta abbastanza ancora diffuso alla fine dell'800, per come testimoniato da Mercalli:« ...è opera non rara nelle biblioteche pubbliche e private...», Mercalli, G., 1897, *I Terremoti della Calabria meridionale e del Messinese Saggio di una monografia sismica regionale*, Tipografia della R. Accademia dei Lincei, Roma, p.30.

²⁰³ Si veda a tal proposito Ruggieri, N., 2014, *Analisi storica euristica del sistema borbonico*

²⁰⁴ Baratta, M., 1910, *La catastrofe sismica calabro messinese*, Società geografica italiana, Roma, p. 91.

intelaiature di legno, con il fine consapevole di diminuire la vulnerabilità in regime dinamico riducendo i carichi e quindi le masse sismiche con l'altezza. Tuttavia, nelle varie versioni, il sistema antisismico borbonico ha mostrato buone capacità di duttilità e di contrasto dell'azione sismica in generale. I terremoti distruttivi del 1905 e 1908 che hanno interessato nuovamente la Calabria hanno infatti evidenziato nei fabbricati costituiti da strutture intelaiate di legno danni limitati o addirittura l'integrità dell'intera ossatura portante²⁰⁵.

Un'indubbia valenza antisismica dunque, che unita ad un'intrinseca eco-compatibilità del materiale, apre nuovi scenari di ricerca come una tecnologia ad uso anche per le nuove costruzioni.

²⁰⁵ CFR Ruggieri, N., Tampone, G., Zinno, R., 2013, *Typical failures, seismic behavior and safety of the "Bourbon system" with timber framing*, in 2nd International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures, Trento, Italy.

CAPITOLO 8.

Campagna sperimentale

Keywords: cyclic quasi static tests; ductility, energy dissipation, equivalent viscous damping ratio, strength impairment.

8.1 Abstract

The residence of the Bishop of Diocese of Mileto-Nicotera-Tropea was built in Mileto (Vv), at the end of 18th C, adopting the Borbone anti-seismic system. This "baracca" of the Bishop was investigated with an accurate dimensional and structural survey, supported by petrographic and chemical analysis of mortars and stones and by assessment of the wood species of the inner members of the load bearing system. All these data allowed the designers to realize an "imperfectly" identical copy of the bishop's building wall.

The chapter presents the results of quasi-static cyclic tests according to UNI EN 12512:2003, on the full scale specimen of the Mileto masonry reinforced with timber framing. Furthermore, the hysteretic behaviour (ductility, energy dissipation, equivalent viscous damping ratio, strength impairment) of the Borbone constructive system will be discussed in the document, with a special focus on the single anti-seismic contribution of masonry and timber frame to the overall cyclic stiffness.

8.2 Stato dell'arte

comportamento nel "piano"

Nella letteratura scientifica è evidente una tendenza della ricerca a concentrarsi sullo studio di pannelli di legno moderni con limitata pubblicistica nel campo dei telai di legno nell'edilizia storica. Relativamente al sistema costruttivo borbonico limitata è la ricerca con in particolare una completa mancanza di dati sul comportamento sotto azioni sismiche.

In anni recenti alcune campagne sperimentali su modelli del sistema costruttivo denominato Gaiola, caratterizzati da diverse tipologie di riempimento del telaio, sono state svolte nei laboratori del LNEC di Lisbona, da Meireles e Bento (Meireles et al., 2012).

Nel 2012 Vasconcelos et al., (Vasconcelos et al., 2012) hanno testato alcuni campioni "Pombalino" rapportandoli ad altre tipologie, rinforzate per mezzo di piatti o connettori metallici nei nodi. Tuttavia il primo test ciclico su una *Gaiola* è stato effettuato da Santos nel 1997 (Santos, 1997); in questo caso il campione fu prelevato da un fabbricato esistente in demolizione.

Altre sperimentazioni simili, seguite da test dinamici su tavola vibrante, sono state condotte in Pakistan nel 2011, al fine di comprendere il comportamento della tipologia costruttiva definita Dhajji Dewari sotto azioni cicliche.

Nel 2012 Quinn et al. (Quinn et al., 2012) attuarono alcuni test ciclici su modelli di Quincha, una particolare tipologia Peruviana di muratura con telai di legno caratteristica dei livelli superiori del fabbricato.

Aktas et al. (Aktas et al., 2012) indagarono il comportamento ciclico di una muratura *Himiş*, la tipologia tradizionale Ottomana intelaiata. I test furono effettuati su campioni con riempimento in adobe e altri privi di apparecchio murario, considerando differenti geometrie dei telai e la presenza di aperture.

Una campagna sperimentale su modelli in scala reale è stata eseguita da Ceccotti et al. (Ceccotti et al. 2006). Le prove cicliche su murature intelaiate tipiche dell'architettura rurale delle Dolomite sono state realizzate per mezzo di due paia di pistoni idraulici fissati con catene metalliche ai quattro angoli del telaio.

8.3 Introduzione

L'edificio vescovile, realizzato immediatamente dopo il 1783 in Mileto (Vv), rappresenta un esempio emblematico del sistema costruttivo Borbonico.



Fig. 50 L'edificio vescovile di Mileto (Vv).

Tale fabbricato, caratterizzato da uno sviluppo regolare in pianta ed in alzato con solo un piano oltre seminterrato e sottotetto, è stato eseguito in accordo con la "normativa" Borbonica, che limitava l'altezza della facciata e soprattutto obbligava all'utilizzo di uno scheletro ligneo interno alla muratura al fine di fornire una resistenza a trazione aggiuntiva al sistema resistente.

Del Palazzo Vescovile, scelto quindi per il suo paradigmatico valore, è stato riprodotto un modulo nei laboratori del CNR Ivalsa di San Michele all'Adige (Tn), una copia "imperfettamente" identica, con lo scopo di comprenderne il comportamento sotto azioni sismiche.



Fig. 51 Campione di intonaco prelevato dall'edificio vescovile di Mileto

In particolare analisi chimiche su due campioni di malta prelevati in due punti opposti (lato est ed ovest) dall'edificio vescovile sono state eseguite dal Dipartimento di Scienza della Terra dell'Università della Calabria.



Fig. 52 Campione di chiodo prelevato dall'edificio vescovile di Mileto

L'attività precedente la campagna sperimentale si è svolta attraverso un dettagliato rilievo della struttura esistente con una contemporanea indagine sui materiali.

Analisi petrografica alle sezioni sottile, sempre condotte al DIBEST dell'Università della Calabria, hanno fornito dati sulle caratteristiche mineralogiche dei componenti della muratura; mentre l'identificazione della specie legnosa relativa alle varie membrature è avvenuta nei laboratori CNR Ivalsa di Trento.

8.4 Configurazione del modello

La parete intelaiata di Mileto è costituito da muratura composta da conci pseudo-regolari di pezzatura variabile e laterizi "a rinzeppare"; inoltre elementi in laterizi sono stati utilizzati per definire le lesene presenti sul prospetto.



Fig. 53 Particolare dell'apparecchio murario dall'edificio vescovile di Mileto

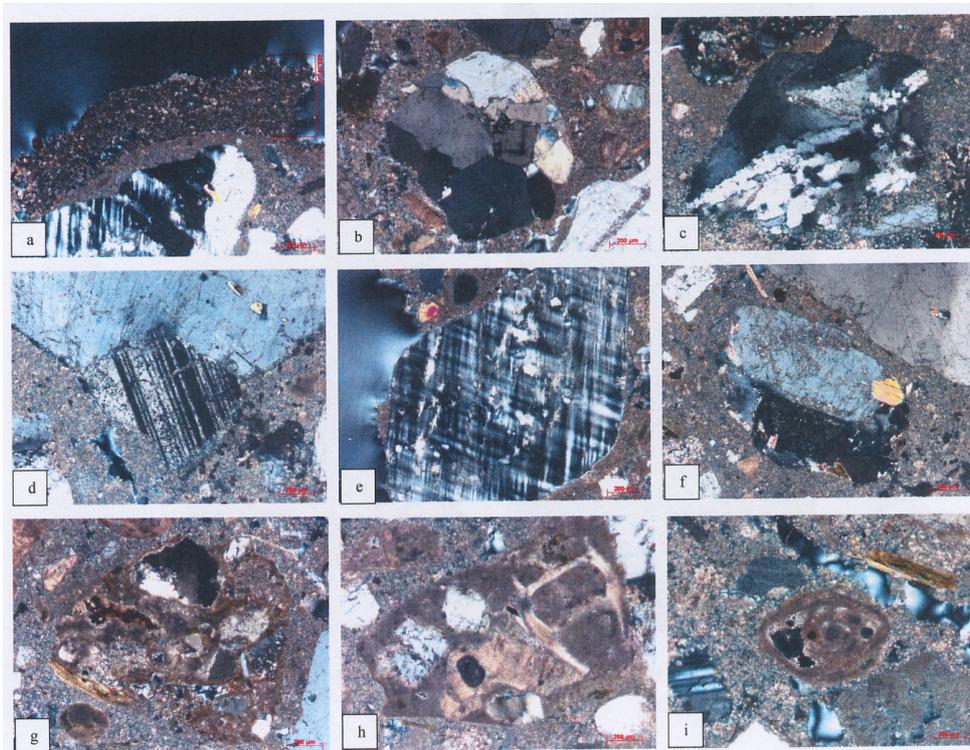
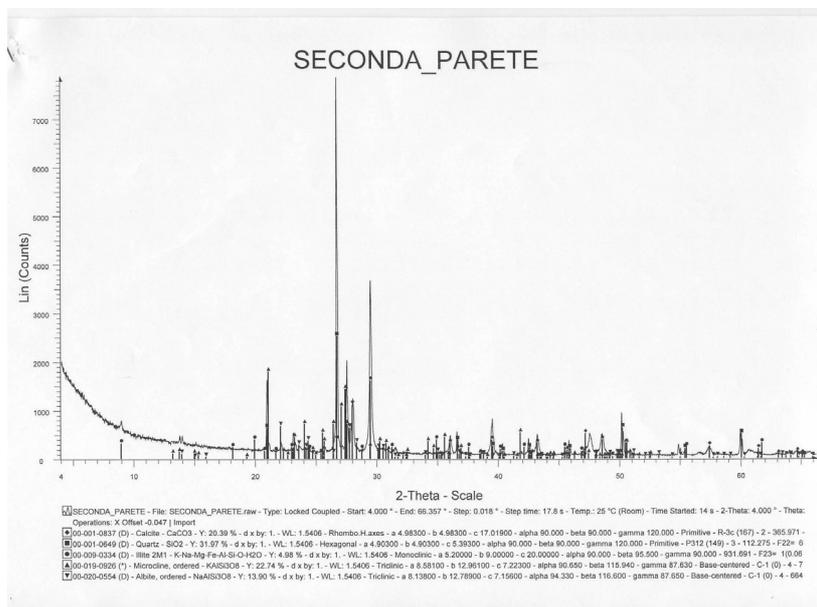


Fig. 54 Foto al microscopio ottico a luce polarizzata di un campione prelevato dal palazzo vescovile di Mileto

La pietra, da analisi petrografica alle sezioni sottile con microscopio ottico da mineralogia su campione prelevato prospetto lato piazza a nord, risulta un aggregato di calcite con dimensioni di circa 10-20 μ di forma variabile da sub-arrotondata ad arrotondata. La roccia può essere classificata come calcilitute, la provenienza verosimilmente dalla valle del Mesima da argille marnose e marne o da calcare evaporitico.

La malta, con una certa rigidezza al tatto, è composta prevalentemente da frammenti granitici con dimensioni medie dell'inerte intorno ai 2 mm (sabbie).



Sono presenti inoltre frammenti di rocce carbonatiche calcarinite e biocalcarinite, un aggregato, mediamente classato non omogeneo con clasti con basso grado di arrotondamento;

Fig. 55 Analisi chimica su un campione di malta prelevato dal palazzo vescovile di Mileto

si suppone, data la presenza di frammenti provenienti da diverse rocce, l'approvvigionamento sia avvenuto da fiumi o fiumare.

Da una stima visiva tramite tavole comparative le percentuali di legante mediamente è di circa il 50%, con un aggregato variabile dal 40% al 30%.

Campione	Date	Na2O (%)	MgO (%)	Al2O3 (%)	SiO2 (%)	P2O5 (%)	K2O (%)	CaO (%)	TiO2 (%)	MnO (%)	Fe2O3 (%)	Ni (PPM)
gsp2	07/02/2013 14.50	2,71	1,41	14,85	68,28	0,29	5,41	2,11	0,69	0,04	5,16	16,90
parete bruciata	07/02/2013 14.21	1,39	0,48	7,06	61,55	0,11	2,20	18,61	0,09	0,03	0,77	4,27
seconda parete	07/02/2013 13.52	0,80	0,50	5,21	47,73	0,13	1,75	31,54	0,09	0,04	0,80	2,89
ga	07/02/2013 13.22	3,33	1,59	14,64	69,61	0,14	4,11	2,41	0,41	0,09	2,83	6,86

Campione	Date	Cr (PPM)	V (PPM)	La (PPM)	Ce (PPM)	Co (PPM)	Ba (PPM)	Nb (PPM)	Y (PPM)	Sr (PPM)	Zr (PPM)	Cu (PPM)
gsp2	07/02/2013 14.50	22,00	56,00	182,00	428,00	9,61	1345,00	26,00	25,00	234,00	536,00	31,44
parete bruciata	07/02/2013 14.21		13,00		22,00	2,09	795,00	2,00	9,00	2785,00	207,00	10,75
seconda parete	07/02/2013 13.52		16,00		11,00		609,00	1,00	10,00	1716,00	102,00	13,99
ga	07/02/2013 13.22	8,00	39,00	31,00	60,00	3,03	860,00	11,00	24,00	323,00	166,00	13,68

Campione	Date	Zn (PPM)	Rb (PPM)	Sn (PPM)	Cs (PPM)	Pb (PPM)
gsp2	07/02/2013 14.50	112,30	259,00	17,00		41,00
parete bruciata	07/02/2013 14.21	21,57	48,00			14,00
seconda parete	07/02/2013 13.52	27,16	50,00			16,00
ga	07/02/2013 13.22	74,04	182,00	9,00		31,00

Tab. 1 Analisi chimica su campioni di malta prelevati dal palazzo vescovile di Mileto

Il pannello murario è rinforzato mediante la presenza di un telaio ligneo, privo di croci di sant'andrea, posizionato nella parte interna della parete. Altri elementi orizzontali di legno sono presenti lungo l'intero prospetto, immediatamente sottostante l'intonaco e, in prossimità dell'angolo del fabbricato, le due membrature si sovrappongono.

Nell'agosto del 2013, basando sulle caratteristiche geometriche, tecniche e tecnologiche della parete di Mileto sono stati realizzati due riproduzioni di tale pannello in scala 1 a 1, nello specifico un telaio di legno con o senza muratura di riempimento al fine di testarli sotto azioni cicliche.



Figg. 56 - 57 Ricostruzione virtuale di un pannello murario del palazzo vescovile di Mileto

Il telaio è stato realizzato con Castagno (*Castana sativa Mill.*) di provenienza Calabrese. Gli elementi lignei sono costituiti da un cappello di sommità con dimensioni di 13x14cm, l'elemento di base e tutte le membrature verticali di 12x12cm, mentre gli elementi lignei orizzontali misurano 7x7cm. Lo spessore dell'intera muratura è di 41 cm, la lunghezza di 339 cm e l'altezza di 295 cm.

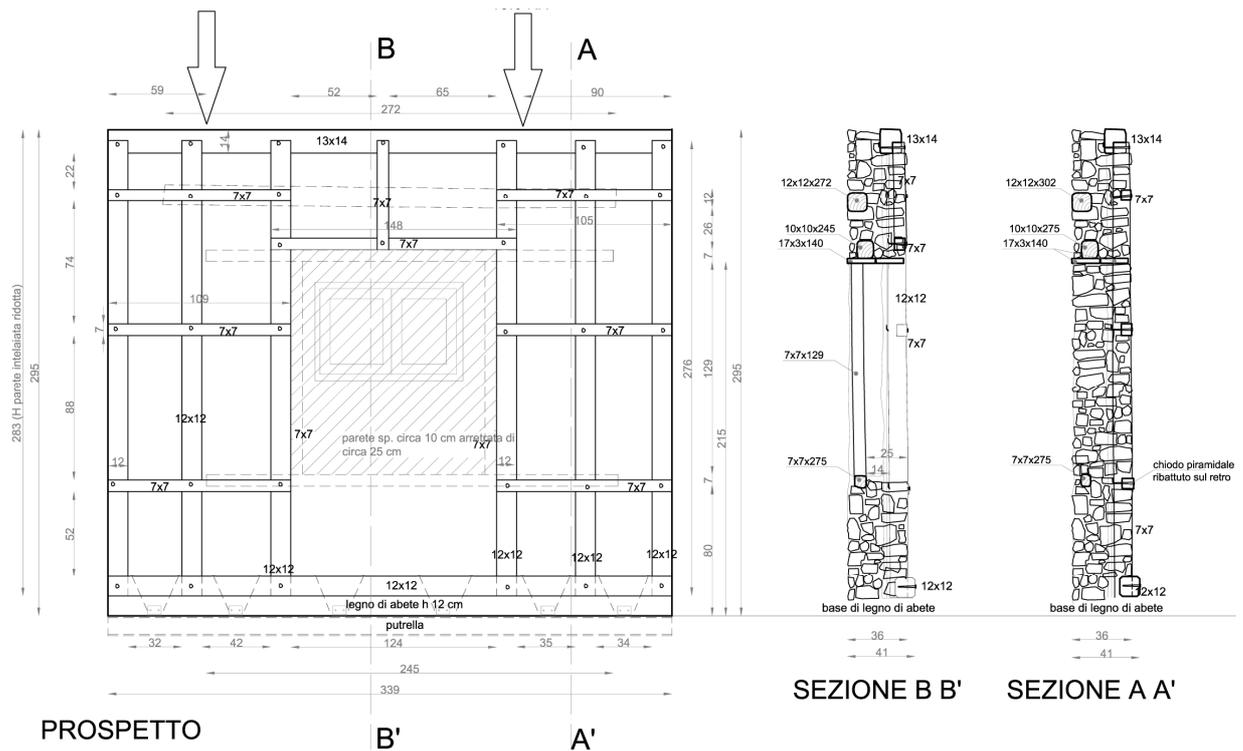


Fig. 58 Campione di parete Borbonica da sottoporre a prova ciclica quasi statica
 Tutte le connessioni, nodi del tipo a mezzo legno, sono irrigidite dalla presenza di chiodi piramidali caratterizzati da una sezione massima di 10 mm. Tali elementi metallici sono ribaditi sul retro dello scheletro ligneo.



Fig. 59 Campione di parete Borbonica durante la realizzazione



Fig. 60 Chiodo piramidale utilizzato, replica dei chiodi prelevati nel palazzo vescovile

Altre membrature lignee sono state posizionate nella parte più esterna del pannello a riprodurre il più fedelmente possibile l'apparecchio murario di Mileto.

La parte in muratura è stata realizzata con conci di *Calcare del Trentino*, un tipo di roccia che sebbene più antica rispetto a quella rilevata a Mileto, ne presenta simili caratteristiche mineralogiche e meccaniche.



Fig. 61 Inerte quarzoso-granitico, dimensioni tra 2 e 3 mm

La malta è stata realizzata con una concrezione di aggregati quarzosi - granitici con dimensioni intorno ai 2-3mm e legante idraulico con rapporto inerte legante di 1 a 2.

La malta ha raggiunto una stagionatura di circa 1 mese (agosto 2013)

8.5 Apparecchiatura di prova

I provini sono stati sottoposti a test ciclici mediante un attuatore idraulico MTS con una capacità di ± 500 kN attraverso l'induzione di spostamenti negativi (pulling) o positivi (pushing) alla sommità del telaio di legno.

L'intelaiatura è stata vincolata ad una putrella d'acciaio usando chiodi in acciaio disposti inclinati; lo scopo era di riprodurre un vincolo con un'alta rigidità e scongiurare il rocking del modello.

La parte sommitale dell'apparecchiatura era caratterizzato da *cuscinetti cilindrici* laterali in modo da creare una sorta di "guida" e prevenire l'instabilità del pannello. Un carico distribuito (18.7 kN/m^{206}) è stato applicato al pannello intelaiato per mezzo di 4 cilindri idraulici Parker al fine di riprodurre il peso proprio della capriata e dell'intera copertura in generale che scarica sulla muratura reale di Mileto.

Durante la campagna sperimentale i provini sono stati mantenuti con umidità relativa di $65 \pm 5\%$ e una temperatura 20 ± 2 °C.

Al fine di "catturare" sia il comportamento globale del pannello che gli effetti locali è stato posizionato un sistema di trasduttori. Nello specifico LVDT

²⁰⁶ La "parete" di Mileto è localizzata al piano terra di un fabbricato con un unico livello oltre sottotetto e seminterrato, con la copertura caratterizzata da capriate controventate nella direzione trasversale da croci di sant'andrea. Il carico verticale da imporre al provino è stato definite in accord con l'eurocodice 1, dato da $S_d = \text{peso proprio} + \text{carichi di esercizio}$. Quindi relativamente alla combinazione di carichi *sismica*, l'azione ha compreso unicamente il peso proprio degli elementi strutturali e non strutturali della copertura. Considerando un peso specifico del legno di Castagno di $6,5 \text{ kN/mc}$ e includendo i restanti elementi della copertura ne è derivata una forza concentrata per ciascuna capriata (due capriate che scaricano il loro peso sulla muratura in accordo con il pannello reale di Mileto) di circa 31 KN . Tale carico distribuito sull'intera parete di lunghezza 3.39 mt ha comportato un carico distribuito di 18.6 kN/m .

(Linear Voltage Displacement Transducer) LVF047 and LPM052 hanno misurato le deformazioni lungo la diagonale del modello;

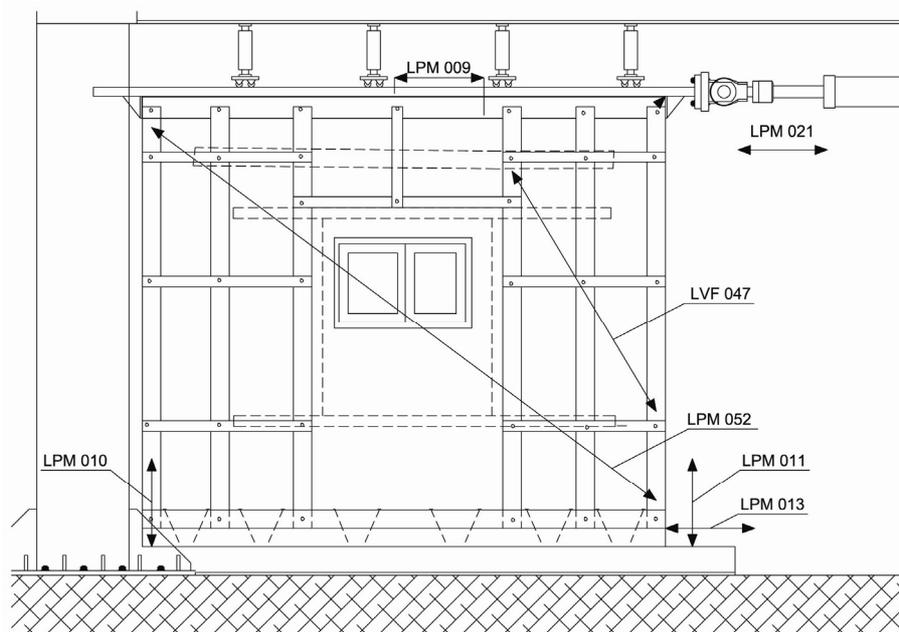


Fig. 62 Disposizione dell'apparecchiatura di prova

il trasduttore denominato LPM009, localizzato nella parte alta in mezzeria del provino, ha misurato lo spostamento orizzontale alla sommità della muratura; tre trasduttori LPM010, LPM011, LPM013, posizionati vicino la base del pannello hanno rilevato, relativamente ai primi due, le deformazioni verticali e lo spostamento orizzontale per quanto concerne l'ultimo.

Al fine di quantificare lo spostamento orizzontale in prossimità dell'attuatore è stato posizionato il trasduttore LPM 021.

Un personal computer ha analizzato i dati in tempo reale forniti dall'apparecchiatura di prova.

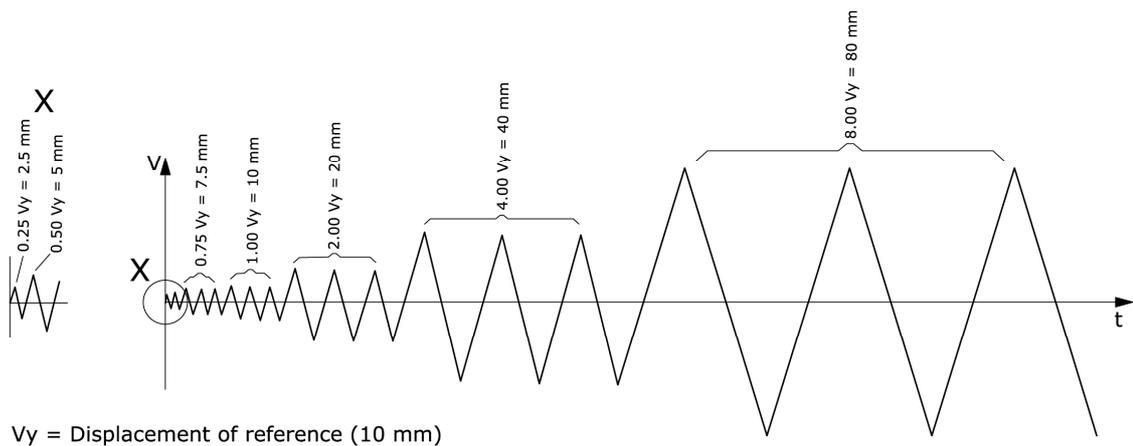


Fig. 63 Protocollo di carico utilizzato (UNI EN 12512:2003 Strutture di legno – Metodi di prova – Prove cicliche di giunti realizzati con elementi meccanici di collegamento)

8.6 Protocollo di carico

I test ciclici si sono svolti adottando la procedura di carico specificata nella UNI EN 12512:2003 (*Strutture di legno – Metodi di prova – Prove cicliche di giunti realizzati con elementi meccanici di collegamento*)²⁰⁷.

I test effettuati a controllo di spostamento hanno tenuto conto di 8 fasi, con spostamento = 2.5, 5, 7, 10, 20, 40, 60, 80 mm, corrispondenti a percentuali del valore di snervamento imposto pari a 10 mm derivante da prove similari su murature intelaiate.

Il test è stato condotto ad una velocità di scorrimento costante per tutti gli spostamenti di 0,2 mm/s.

²⁰⁷ La scelta di un tale protocollo è motivata dal fatto che tale procedura permette di definire la duttilità, importante parametro del pannello richiesto da EC8. Inoltre è utile ricordare che la UNI 12512:2003 ha largamente ispirato la ISO/DIS 21581:2010 relativa a prove su telai di legno.



Fig. 64 Rotture e deformazioni in prossimità dello spostamento ultimo. In evidenza l'uplift dei due "maschi" laterali. (in rosso lesioni; in blu distacchi tra telaio ligneo e riempimento in muratura)

8.7 Analisi della progressione del danno

Il sistema costruttivo Borbonico ha presentato un appropriato comportamento sotto azioni cicliche, confermando una certa capacità di risposta al sisma già evidenziata durante i terremoti del 1905 e 1908. La muratura di riempimento ha svolto un ruolo fondamentale durante le prove; il telaio, confinato dalla muratura è stato soggetto, almeno per i primi cicli di carico, soltanto a limitati spostamenti, permettendo alla struttura lignea di agire in campo elastico. Contemporaneamente l'alta flessibilità del telaio di legno ha avuto la capacità di riportare il pannello nella sua posizione iniziale o prossima (Di Pasquale, 1983). I nodi e tutte le membrature lignee

non hanno evidenziato per l'intera durata della prova alcun danno, se si esclude la rottura a taglio alla base del pilastro causato dall'uplift della parete (minore comunque di 3 cm). Al contrario la muratura è stata caratterizzata da fessurazioni nei fragili giunti di malta e da alcuni fenomeni di espulsioni di pietre, in particolare nella parte sommitale del provino.

Per i primi 3 cicli di carico, il sistema ha mostrato un trascurabile rocking con un uplift massimo di circa 5 mm.

Tutti i telai costituenti il provino hanno reagito all'azione ciclica con un moto sincrono e la contemporanea generazione di attrito all'interfaccia riempimento-telaio. Dopo i cicli con spostamento 7 mm, il provino ha iniziato a dividersi in 4 sub-pannelli, due "colonne" murarie (1 e 2) alle estremità, una "traversa" (3) nella parte alta del modello e un blocco monolitico costituito dalla muratura (4) sottostante la bucatura. Le due colonne murarie collegate nella parte sommitale sono state caratterizzate da un moto sincrono, la parte centrale, in parte vuota, quindi con minore rigidità e, priva di collegamenti orizzontali con gli altri pannelli, ha mostrato un moto differente dai sub-pannelli 1, 2 e 3.

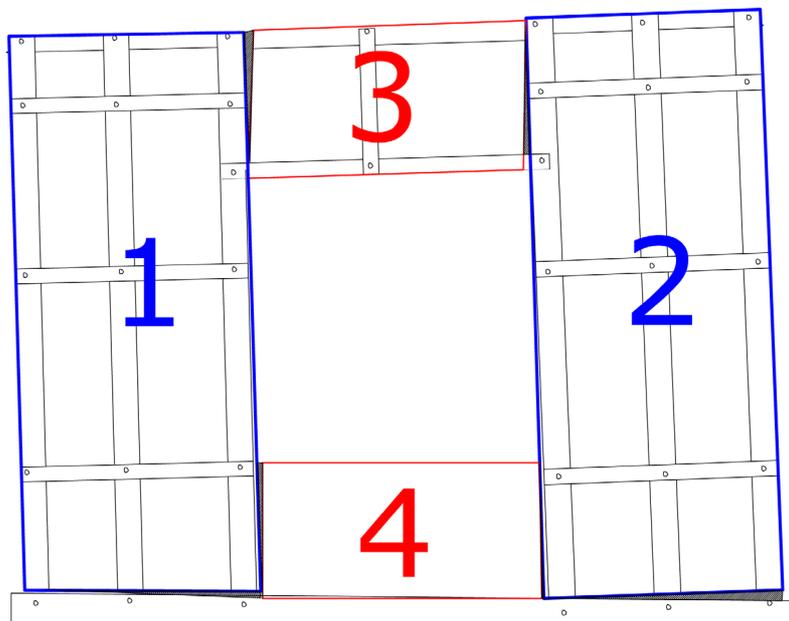


Fig. 65 Schema della divisione del campione in 4 sub-pannelli, due "maschi" (1 e 2), una "traversa" (3) e un blocco alla base della bucatura (4).

Con l'aumento dei cicli di spostamento, l'attrito tra le membrature di legno e la muratura è aumentato, successivamente si sono registrati distacchi tra il riempimento e il telaio di legno, fenomeno in particolare caratterizzante la parte alta del pannello 2. Questo momento della prova ha segnato l'inizio delle fessure lungo la fibratura localizzate nel nodo in prossimità del connettore metallico, alla base del pilastro all'estremità destra. Alcune lesioni si sono verificate nei giunti di malta sia nel fronte del modello che nella muratura sul retro. Gli ultimi cicli di spostamento fino a 80 mm hanno evidenziato ulteriori distacchi, in questo caso caratterizzati da deformazioni permanenti come ad esempio per entrambi i lati del pannello 4, dove il vuoto tra telaio e muratura non è stato recuperato anche con l'azione opposta dell'attuatore. Il retro del provino, privo di scheletro ligneo, ha evidenziato, durante questi severi spostamenti, l'aumento delle lesioni in prossimità dei 4 sub-pannelli evidenziati nel fronte del pannello. Inoltre gli elementi lignei presenti, sotto l'azione di "pushing" che ha generato una compressione eccentrica e a causa della mancanza di confinamento esterno si è avuta la conseguente fuoriuscita dell'elemento ligneo dalla muratura.



Fig. 66 Retro del modello con evidenziato in primo piano la fuoriuscita dalla muratura della membratura lignea orizzontale dovuta a instabilità per compressione eccentrica.

Durante l'intero test i nodi e le membrature lignee hanno continuato ad agire in dominio elastico senza alcuna deformazione o rottura.

8.8 Risultati sperimentali

I test su modello in scala reale sono stati svolto per mezzo di incrementi di scorrimento fino, in accordo con la UNI EN 12512:2003 allo spostamento di 80 mm con uno stato limite ultimo avvenuto per eccessiva deformazione. I risultati e la curva d'involuppo del diagramma forza-spostamento ha fornito dati per determinare la duttilità²⁰⁸, quantificare la dissipazione di energia²⁰⁹ e il degrado di resistenza²¹⁰, in accordo con le definizioni adottate.

La muratura rinforzata di Mileto, se si escludono i primi cicli con ridotti valori di spostamento, ha chiaramente mostrato un comportamento non lineare con alti valori di energia dissipata e duttilità.

²⁰⁸ La *Duttilità* è la capacità di subire uno scorrimento di grande ampiezza nell'intervallo di plasticità senza una sostanziale riduzione della resistenza. È definita dal rapporto tra lo scorrimento ammissibile massimo e lo scorrimento per snervamento (UNI EN 12512:2003, *Strutture di legno – Metodi di prova – Prove cicliche di giunti realizzati con elementi meccanici di collegamento*).

²⁰⁹ La *Dissipazione di energia* esprime la proprietà di smorzamento per isteresi e si misura con l'area determinata dai cicli carico-spostamento (UNI EN 12512:2003, *Strutture di legno – Metodi di prova – Prove cicliche di giunti realizzati con elementi meccanici di collegamento*).

²¹⁰ La *Diminuzione di resistenza* è rappresentata dalla riduzione del carico conseguente al raggiungimento di uno spostamento della struttura determinato tra il primo ed il terzo ciclo di uguale ampiezza (UNI EN 12512:2003, *Strutture di legno – Metodi di prova – Prove cicliche di giunti realizzati con elementi meccanici di collegamento*).

		L max (KN)	D max (mm)	L u (KN)	D u (mm)	Uplift (mm) LPM010	Uplift (mm) LPM011
Envelope curve 1 st cycle	P	103.64	59.18	100.66	79.12	-20.64	
	N	-101.62	-79.02	-101.62	-79.02		-32.70
Envelope curve 2 nd cycle	P	93.94	79.28	93.94	79.28	-30.18	
	N	-91.1	-79.16	-91.1	-79.16		-32.25
Envelope curve 3 rd cycle	P	88.6	59.56	88.6	59.56	-20.94	
	N	-86.8	-79.66	-86.8	-79.66		-32.19

Tab. 2 Principali risultati della prova (Lmax=Maximum Load; Lu=Ultimate Load; Dmax=Maximum Displacement; Du= Ultimate Displacement) (campione telaio ligneo e riempimento in muratura).

La curva d'involuppo è stata caratterizzata da una certa simmetria tra le due differenti direzioni di carico, sia in termini di rigidità che di carico di snervamento. Il comportamento è stato "elastico" nei primi cicli fino approssimativamente ad uno spostamento di 5 mm. La fase pseudo-plastica della parete è iniziata dopo lo scorrimento corrispondente a 7 mm, con una continua lenta riduzione dell'angolo della curva, fino al valore massimo della forza. Dopo lo spostamento di 60 mm la pendenza della curva ha rilevato una severa diminuzione dei valori di rigidità.

La rigidità iniziale, determinata sulla base di UNI En 12512, definita come l'angolo della linea tracciata tra il punto sulla curva forza-spostamento corrispondente a 0.1 Fmax e il punto corrispondente a 0.4 Fmax, ha registrato un valore di 6 kN/mm (quadrante positivo).

Relativamente alla direzione di trazione (pulling) il diagramma ha evidenziato un carico di snervamento (V_y)²¹¹ di 66.1 kN corrispondente ad uno spostamento di 10.5 mm.

²¹¹ Dato dall'intersezione tra la linea tracciata tra il punto sulla curva carico-spostamento corrispondente a 0.1 Fmax e il punto sulla curva carico-spostamento corrispondente a 0.4 Fmax e una seconda linea fornita dalla tangente che presenta un'inclinazione pari a 1/6 della prima linea.

Il comportamento del provino in compressione (pushing) è stato caratterizzato da una resistenza laterale massima di -101,62 kN corrispondente ad uno spostamento di -79,02 mm per un drift del 2.6%, coincidente con V_u , lo spostamento ultimo.

Nella direzione di trazione la parete ha presentato una leggera diminuzione di resistenza dopo lo scorrimento di 60 mm, con una F_{max} pari a 103,64 kN raggiunta allo spostamento di 59,18 mm (drift 2%).

Il valore della duttilità ($\mu = V_u/V_y$) registrato è di 7.6 (quadrante positivo); ne deriva che il provino ha evidenziato una considerevole risposta duttile, in accordo con l'Eurocodice 8²¹².

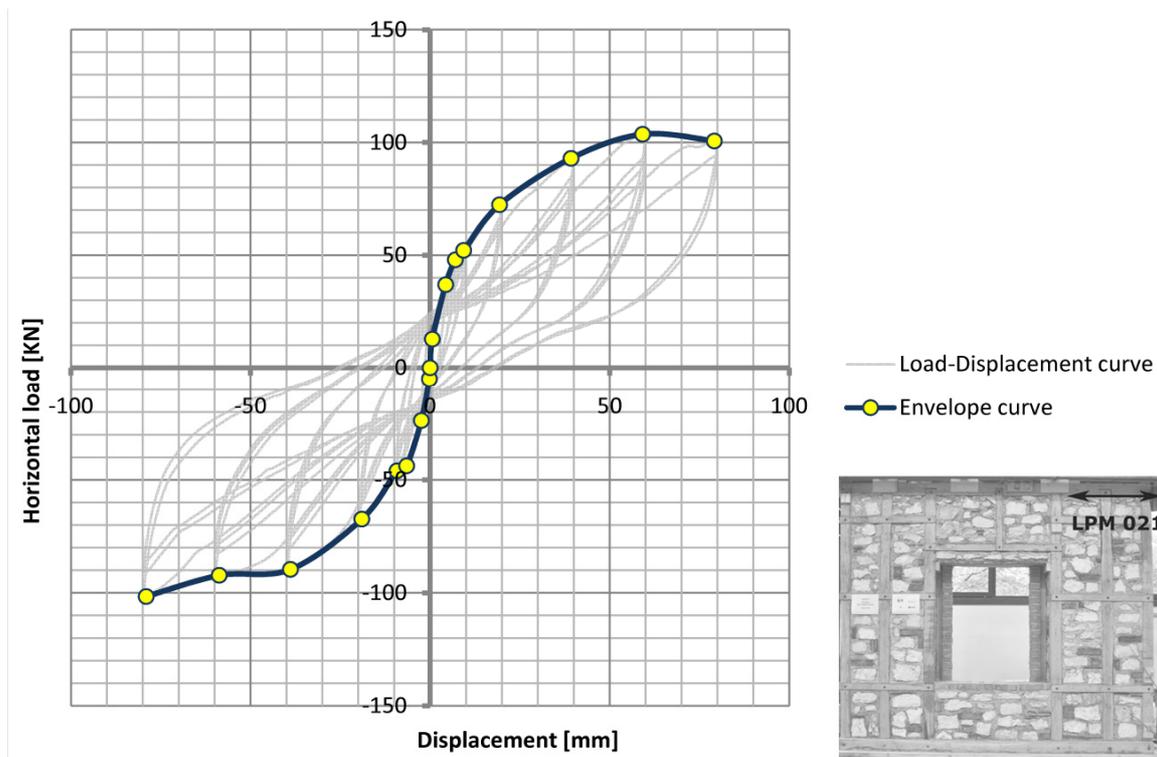


Fig. 67 La curva d'involuppo relativa al campione costituito da telai di legno e riempimento in muratura

²¹² Vedi Eurocode 8: Design of structures for Earthquakes resistance in cui relativamente in which, relative to Timber buildings, high ductility (H) ratio is defined as a value at least equal to 6 without than more 20% of reduction of resistance.

La curva d'involuppo, in "trazione", ha mostrato un ramo terminale di softening anche se la riduzione di resistenza non è stata significativa, grazie all'assenza di evidenti rotture o deformazioni e alla prevalente risposta di tipo flessionale del pannello. Infatti relativamente alla diminuzione di resistenza, tale parametro ha evidenziato un comportamento costante riguardo sia l'azione ciclica di *pushing* che di *pulling*, caratterizzato da simili valori di riduzione di circa l'11% con un picco del 19% corrispondente ad uno spostamento di -7 mm. Quest'ultimo valore potrebbe essere stato generato dai primi distacchi tra il telaio e la muratura registrati a tale livello di scorrimento e il contemporaneo inizio di suddivisione in 4 pannelli descritti sopra.

La curva d'involuppo è caratterizzata da cicli piuttosto "allargati" con una conseguente significativa dissipazione di energia variabile dai 1579 kNmm, relativamente ad uno spostamento di 80 mm in "trazione" a 323 kNmm per uno spostamento di -20 mm.

Displacement [mm]	E⁺input [kNmm]	E⁺d [kNmm]
80	3982	1557
60	3066	1194
40	1824	810
20	699	323
-80	4014	1579
-60	2707	1168
-40	1741	829
-20	639	358

Tab. 3 Energia dissipata riferita allo spostamento (campione telaio ligneo e riempimento in muratura).

La dissipazione di energia cumulativa, ottenuta addizionando tutte le quantità di energia relative agli spostamenti precedenti, ha mostrato un andamento esponenziale raggiungendo per l'ultimo ciclo circa 19.000 kNmm.

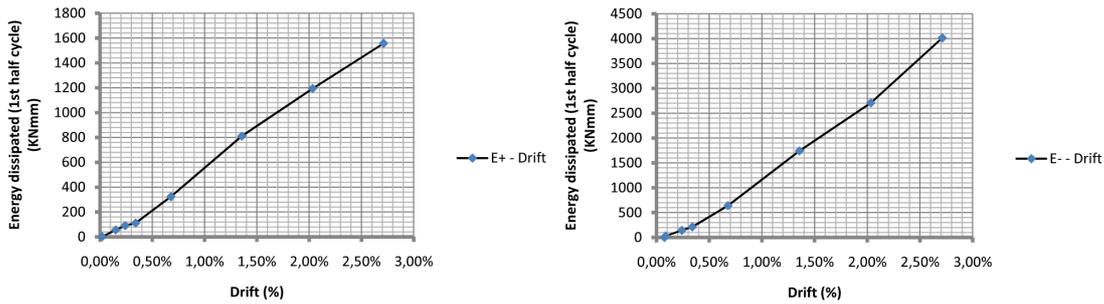


Fig. 68 Energia dissipata riferita al drift (campione telaio ligneo e riempimento in muratura).

Inoltre il diagramma carico-spostamento ha manifestato un leggero recupero di resistenza, in particolare durante gli ultimi cicli di carico. Un "pinching" moderato è stato evidenziato relativamente agli spostamenti di 60 e 80 mm per entrambi le direzioni di carico, che ha provocato una diminuzione del rapporto di smorzamento viscoso equivalente (EVDR)²¹³, con valori variabili, in generale, tra 6% e 10%.

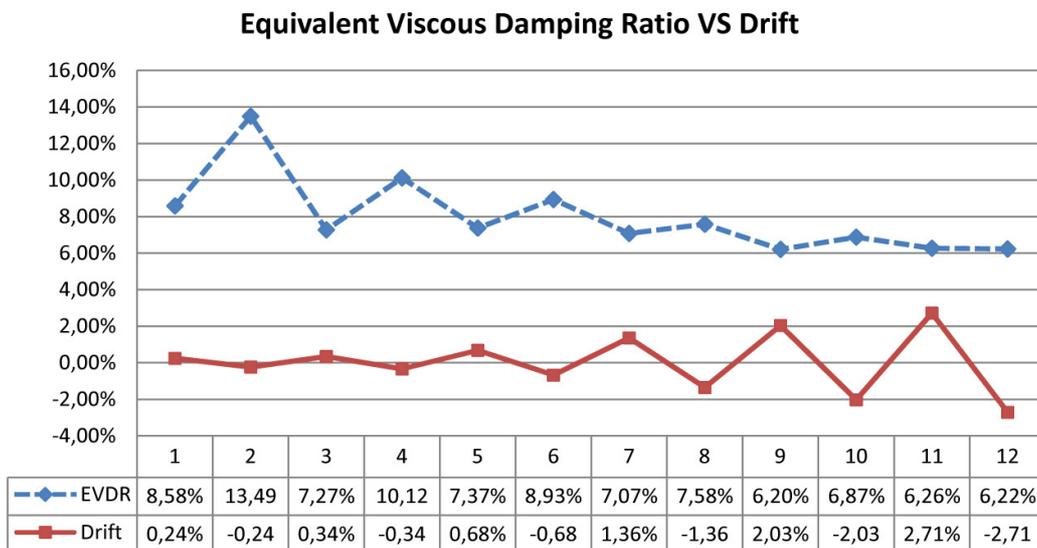


Fig. 69 Rapporto di smorzamento viscoso equivalente (EVDR) riferito al drift (campione telaio ligneo e riempimento in muratura).

²¹³ Il rapporto di smorzamento viscoso equivalente si misura come il rapporto tra l'energia dissipata E_d e l'energia di *in-input* E_p moltiplicata per 2π , ($V_{eq} = E_d/2\pi E_p$).

Il fenomeno del pinching, in generale legato alle connessioni nelle strutture lignee, potrebbe essere in questo caso attribuibile al distacco del riempimento di muratura dal telaio e alla generazione di vuoti tra muratura e legno che durante l'inversione dell'azione laterale aumentano. L'inizio di un tale fenomeno è stato sottolineato da un valore EVDR di 13.9% relativo a 7 mm (0.24% drift). Il provino è stato caratterizzato da un comportamento predominante di tipo flessionale con un limitato *rocking* e

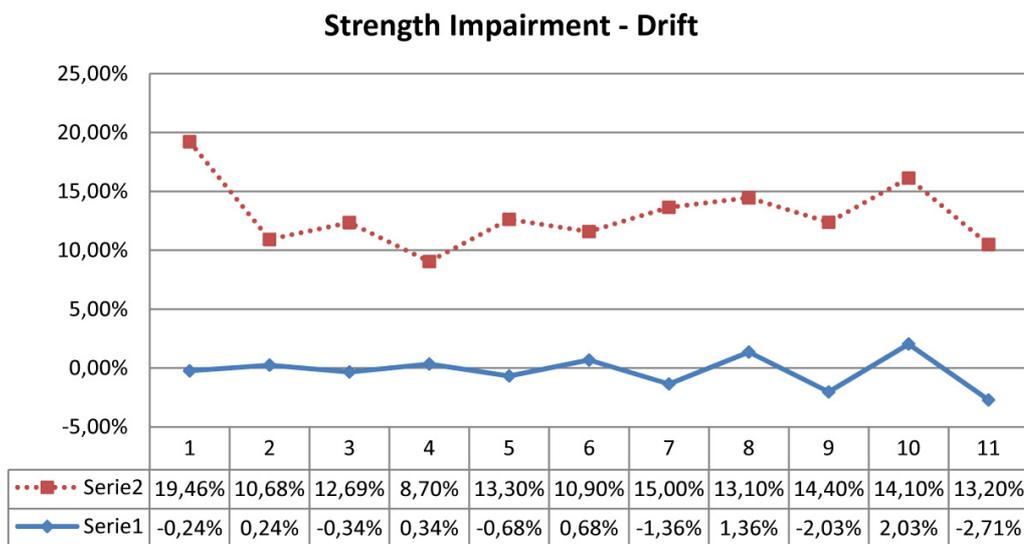


Fig. 70 Degrado di resistenza riferito al drift (campione telaio ligneo e riempimento in muratura).

un *uplift* delle membrature verticali, relativamente agli ultimi livelli di spostamento, di circa 30 mm in "trazione" e circa 20 mm in "compressione" con una conseguente ridotta rotazione del campione testato.

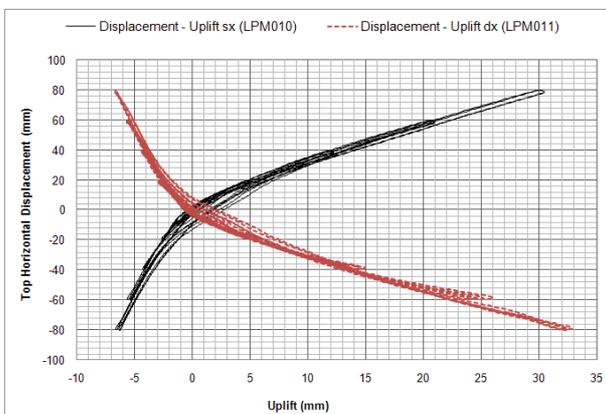


Fig. 71 Uplift misurato alle due estremità laterali del campione.

La campagna sperimentale ha compreso anche un provino costituito dal solo telaio di legno privo di riempimento. Tale pannello è stato testato per definire il contributo nella risposta ad azioni cicliche della struttura lignea rispetto al sistema globale. Il telaio di legno, cui è stato applicato la stessa entità di carichi distribuiti (18.6 Knm) del provino con muratura, non ha evidenziato rotture nelle membrature né nei nodi. Tuttavia il modello ha mostrato deformazioni elevate con la quasi totale duttilità concentrata nelle connessioni (valore della duttilità 1.36; $D_y=58.6$ mm; $D_u=79.8$ mm).



Fig. 72 Campione di sistema costruttivo Borbonico costituito da solo telaio ligneo.

Il provino, caratterizzato da una risposta del tipo a "taglio", non ha registrato un rocking importante, con un uplift massimo di 2.9 mm.

Il grafico forza-spostamento ha mostrato dei cicli molto allargati dovuti alle significative deformazioni occorse al telaio già immediatamente dopo lo spostamento di 7mm. Il rapporto di smorzamento viscoso equivalente ha evidenziato valori tra 23.47% (drift dello 0.15%) e 8.16% relativamente ad un drift 2.71%.

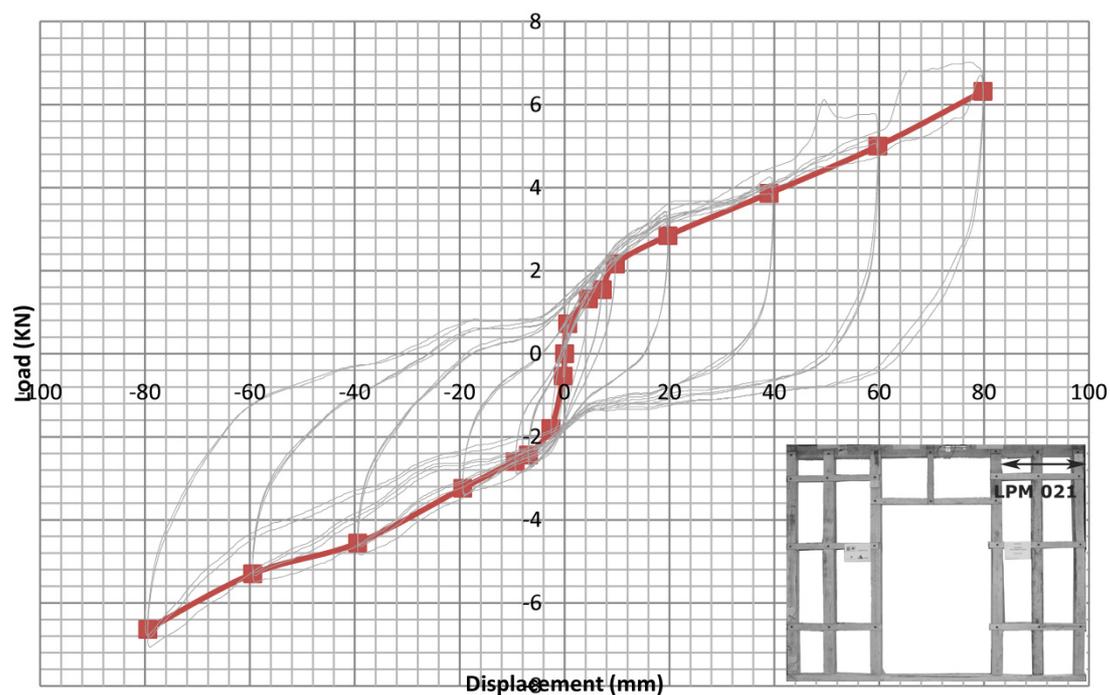


Fig. 73 Curva d'involuppo relativa al campione solo telaio ligneo.

Al contrario un aumento di resistenza ad azioni orizzontali è stata registrata a 1.36% drift (+25%), 0.24% (+10.97%) e 0.34% (+6.9%) drift. Una tale anomalia di risultati potrebbe essere scaturita dalle particolari caratteristiche dei nodi. Infatti i nodi a mezzo legno realizzati, caratterizzati da superfici non in perfetto contatto, durante l'azione ciclica, soltanto per alcuni valori di spostamento e di ciclo, la connessione è risultata attiva generando compressione locale ortogonale alla fibratura, con, solo in quest'ultimo caso, l'aumento della resistenza e dei valori di energia dissipata dovuta alla deformazione permanente.

In altri casi, strettamente dipendenti dal valore di spostamento, il provino ha sperimentato moderato attrito all'interfaccia legno-legno e l'azione imposta ha comportato soltanto l'"assorbimento" del vuoto tra le superfici costituenti il nodo con un conseguente degrado della resistenza.

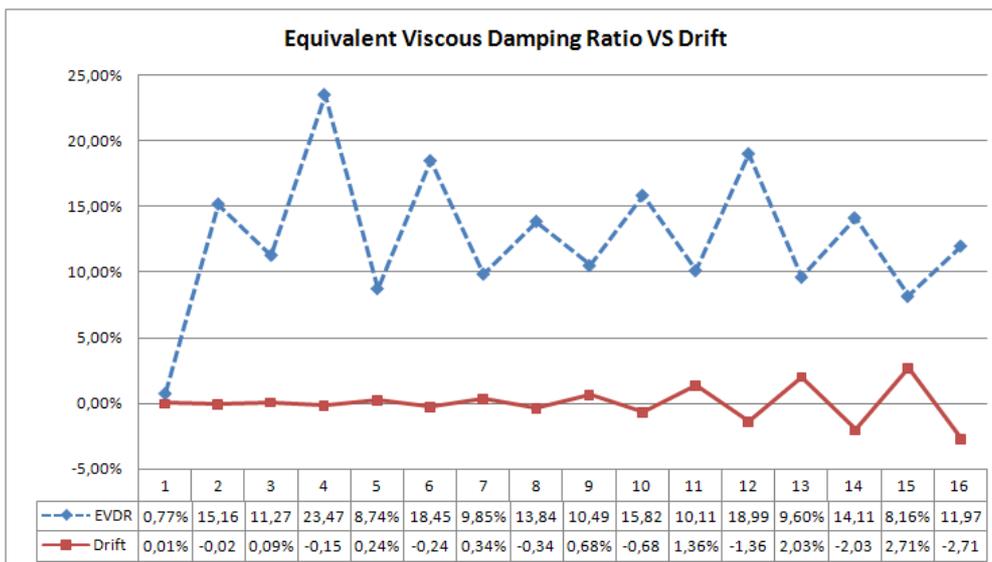


Fig. 74 Rapporto di smorzamento viscoso equivalente (EVDR) riferito al drift (campione solo legno)

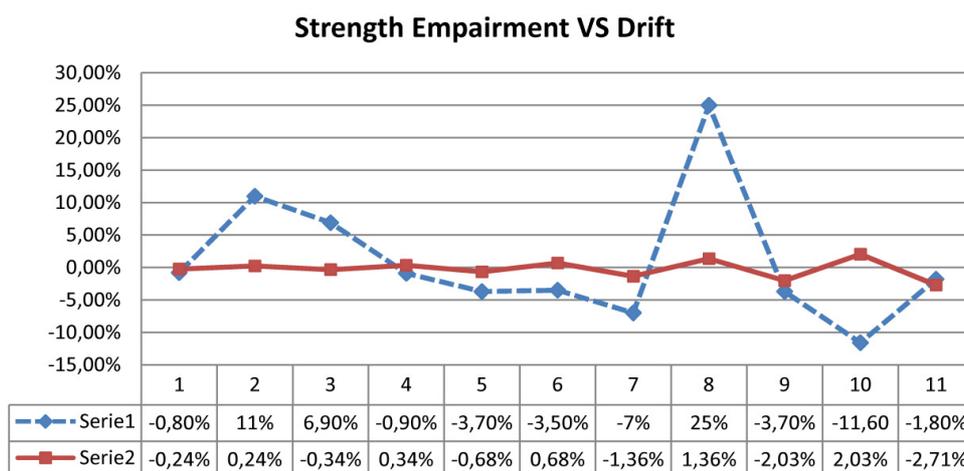


Fig. 75 Degrado di resistenza riferito al drift (campione solo legno)

Comunque alcuna deformazione plastica è stata registrata nei chiodi rigidi²¹⁴.

La curva d'involuppo ha evidenziato un primo tratto pseudo-elastico, con una pendenza di 0.13 kN/mm, successivamente l'angolo è diminuito, rimanendo approssimativamente costante per l'intera durata della prova; in altre parole ha mostrato un moderato degrado di rigidità.

²¹⁴ Differenti dai moderni, più deformabili, chiodi cilindrici in acciaio dolce.

Infatti la forza ultima è risultata coincidente, sia per la direzione di *pulling* che di *pushing*; tali valori, simili per "trazione" e "compressione" hanno raggiunto i 7 kN corrispondente a 80 mm di spostamento. L'energia dissipata cumulativa ha presentato uno sviluppo esponenziale con valori di circa 1600 kNmm.

8.9 Confronto tra diversi sistemi anti-sismici con telai di legno

Test ciclici quasi statici sono stati eseguiti su un modello di Gaiola a scala reale all'università di Minho, all'ISISE, e a Lisbona (IST), rispettivamente seguendo, come protocollo di carico la ISO DIS 21581 (Fmax 69 kN, Vmax 63 mm, conseguiti ad un drift di circa il 3% drift; Vu 83 mm) e la procedura CUREE²¹⁵ (forza max di 50 kN per uno spostamento ultimo di 90 mm, circa 3,5% drift).

Tre pannelli, basati sul sistema costruttivo Dhajji Dewari, sono stati realizzati nel laboratorio EEC di Peshawar.

Le tipologie descritte sopra presentano differente comportamento meccanico sia in campo statico che durante azioni sismiche, a causa delle diverse caratteristiche tecnologiche. Le murature di telai lignei "timber frame walls", (Gaiola and Dhajji Dewari), sono caratterizzate da elementi lignei che rappresentano la struttura resistente sotto azioni gravitazionali, mentre il riempimento laterizi o pietre ha la funzione di irrigidire il pannello sotto la forza orizzontale. Diversa è la tipologia muratura rinforzata, "masonry reinforced with timber frames" (ad esempio il sistema borbonico) caratterizzata da membrature lignee che non partecipano, al massimo in modo limitato, alla struttura portante per carichi statici; sotto azioni dinamiche, invece il comportamento è differente, lo scheletro ligneo entra in azione provvedendo di un'aggiuntiva resistenza a trazione la muratura.

²¹⁵ A tal proposito è da evidenziare che differenti protocolli di carico possono comportare un'alta variabilità di risultati e quindi difficoltà di comparazione.

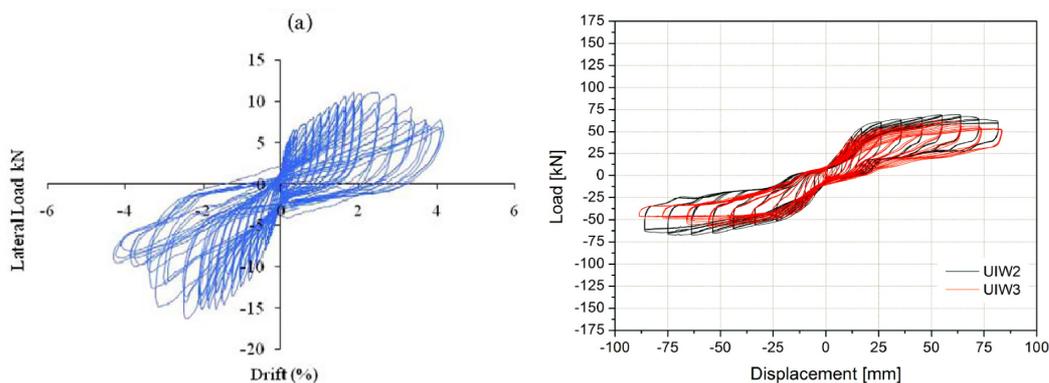


Fig. 76 (sulla sinistra) Diagramma forza-spostamento relativa ad un campione di muratura Dhajji Dewari (Ali et al., 2013) e (sulla destra) la curva d'involuppo riguardante un campione di "Gaiola" testato all'Università di Minho. Le due tipologie di intelaiatura lignea evidenziano una risposta predominante flessionale, con, relativamente al provino di Dhajji una perdita di resistenza.

Tutte le tipologie "timber frame walls" testate hanno mostrato un comportamento simile con un rocking significativo (il provino Gaiola, testato all'università di Minho, con basso carico verticale ha raggiunto un uplift di 50 mm, le murature di Dhajji di 70 mm). Inoltre relativamente a tale sistema strutturale i danni nel riempimento sono stati di scarsa entità se paragonati a quelli accaduti nei nodi e nelle membrature lignee. I diagonali in trazione hanno registrato un distacco, con l'inversione dell'azione, i controventi compressi sono stati caratterizzati da rottura nelle connessioni intermedie, preceduta dall'instabilità dell'elemento.

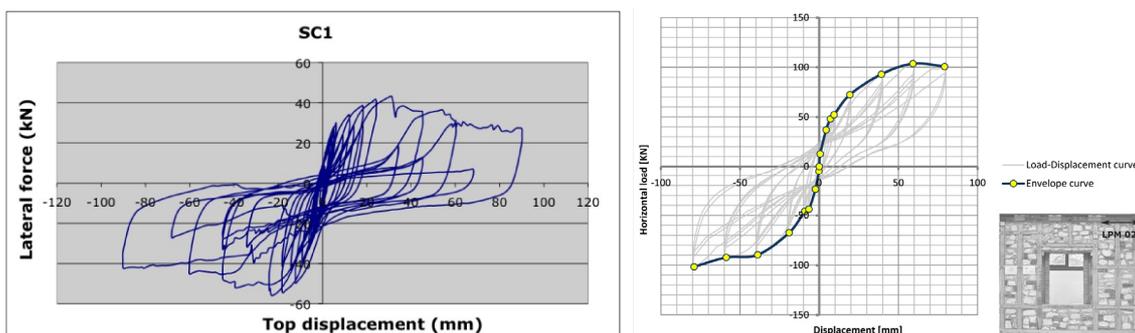


Fig. 77 (sulla sinistra) Diagramma forza-spostamento di un pannello di "Gaiola" testato a Lisbona (Meireles and Bento, 2010) e di muratura Borbonica, (sulla destra). Cicli maggiormente "allargati" caratterizzano il campione portoghese.

Un simile *pattern* dei danni ha mostrato il provino Pombalino testato a Lisbona, con distacchi del riempimento in muratura dal telaio di legno già a bassi valori di spostamento ed il collasso dei nodi. Quindi le deformazioni plastiche e le rotture si sono concentrate principalmente nelle connessioni.

Sotto azioni cicliche il sistema costruttivo Borbonico, "masonry reinforced with timber frame", ha mostrato un differente comportamento in cui ha avuto un ruolo fondamentale il riempimento in muratura. I nodi e le membrature lignee, per l'intera durata della prova non ha evidenziato alcun danno, se si esclude la rottura a taglio alla base del pilastro, a causa, anche se non significativo, uplift del muro (circa 3 cm). La muratura ha mostrato lesioni nei giunti di malta e limitate espulsioni di pietre.

Le curve d'involuppo, relative alle differenti tipologie analizzate, hanno evidenziato un simile comportamento qualitativo, con una certa simmetria del diagramma carico-deformazione per le due direzioni di carico e un ramo terminale di *softening* anche se il degrado di resistenza registrato non è stato particolarmente rilevante (perdita di resistenza di 6% relativamente al provino di "Minho"; un valore mediamente dell' 11% per quello Baraccato).

La rigidità iniziale evidenziata dal modello di "Minho" è stata di 3.03 kN/mm, minore di quella osservata nella muratura Borbonica (6.3 kN/mm), che ha beneficiato dello spessore rilevante di muratura.

Se si confrontano i valori di duttilità ottenuto dalla Gaiola testata in Minho con quelli del sistema costruttivo Borbonico, la prima ha mostrato una duttilità di 4.5, mentre la tipologia italiana di 7.6 in cui il significativo attrito generato ha comportato un aumento del valore dello spostamento ultimo.

L'altro provino di Gaiola, soggetto a test ciclici nei laboratori di Lisbona, ha mostrato un valore di duttilità, intorno a 3, simile a quello di "Minho".

Lo smorzamento isteretico equivalente (EVDR) è correlato alla dissipazione di energia, quest'ultima sempre associata all'entità del danno. Il provino di Dhajji ha raggiunto un valore di EVDR del 20% maggiore di quello registrato relativamente al sistema Pombalino (un valore costante del 10%). Questo

trova spiegazione nella tipologia di connessione che caratterizza il sistema costruttivo del Kashmir, eseguita con tenone e mortasa e irrigidita da chiodi in acciaio dolce, molto più efficace nel dissipare energia sismica rispetto al nodo realizzato nel sistema Pombalino costituito da giunzioni a mezzo-legno. La tipologia Borbonica ha evidenziato valori tra 6% e 8.9%.

8.10 Conclusioni

I test sperimentali eseguiti su provini di parete borbonica hanno mostrato una certa appropriatezza nella risposta ad azioni cicliche.

Le prove hanno evidenziato la totale integrità dell'intelaiatura lignea anche sotto spostamenti rilevanti; l'energia prodotta da queste azioni è stata dissipata mediante attrito e piccole rotture con espulsioni di pietre del riempimento in muratura.

Il meccanismo resistente che ha caratterizzato il provino con muratura è del tipo misto flessionale con presenza di taglio e un poco significativo rocking.

La presenza del riempimento in muratura ha determinato la variazione della tipologia di danno riscontrato nei due provini; relativamente al telaio senza muratura concentrati principalmente nei nodi, mentre per la muratura rinforzata le principali rotture si sono verificate nella muratura con lesioni nei giunti di malta, leggeri distacchi dal telaio ed espulsioni di pietre.

CAPITOLO 9.

Degradazioni tipiche

Keywords: 1783 earthquake, timber framed wall, in-plane behaviour, out-of-plane behaviour, cycling tests, damage progression

9.1 Abstract

The present chapter is based on the witnesses left by the most credited scholars of the time concerning the effects on Case Baraccate of the 1905 and 1908 and their behaviour and on a collection of historical photos depicting relative to the mentioned telluric events, damages on this kind of construction and propose an interpretation of the peculiar behaviour of the Borbone system during earthquake, assessing its response under out-of-plane action.

Extreme failure modes as collapse were always limited to single small parts of the walls; the rotation of small masses of masonry towards the exterior of the buildings usually occurred. It ought to be said that the wooden members, that constituted the internal framing, in general did not suffer damage. Observations and indications about damages on buildings constructed according to the System, drawn by a large collection of historical photos, will be presented and discussed in the chapter.

9.2 Introduzione

Le ricerche su comportamento e degradazioni caratteristiche del sistema borbonico di fabbrica ad intelaiatura lignea sono state effettuate in archivi fotografici degli inizi del '900 che mostrano immagini di dissesti di "case baraccate", successivi ai sismi del 1905 e 1908, e analizzando le relazioni ufficiali dei tecnici inviati dallo stato centrale, come quelli componenti la *Commissione del Genio Civile*, tra i cui membri Canevazzi e Panetti. Ulteriori dati sono derivati dalle descrizioni puntuali e minuziose contenute in Baratta (Baratta, 1910) in visita ai paesi della Calabria colpiti dal terremoto del 1908. Altri riferimenti sono tratti da cronache d'epoca, in particolare relativamente alle costruzioni ad intelaiatura lignea precedenti il 1783.

9.3 Degradazioni causate da terremoti anteriori al 1783

La Calabria presentava esempi con ossatura lignea antecedenti al 1783 (Ruggieri, 2005) che costituirono fonte d'ispirazione per i tecnici ideatori del sistema borbonico. Tali edifici, descritti in maniera dettagliata relativamente al comportamento ai terremoti del 1638 e del 1783, in diverse cronache, mostrano una certa capacità dissipativa quindi resistenza al sisma.

Un esempio anteriore (D'Orsi, 1640; Vivenzio, 1783) al 1638 era stato realizzato a Filogaso (Vv) dal Conte di Nocera. Tale palazzo, racconta Agatio Di Somma: *«...fatto edificare di legnami...e di fuori incrostatolo di sottili muraglie...»* resistette con danni lievi, almeno relativamente alla struttura di legno e comunque senza subire il crollo, al terremoto disastroso del XVII secolo: *«...Quell'edificio al tremor della terra si scosse d'intorno quelle fabbriche aggiunteli, e diè spettacolo non meno ridicolo, che pietoso, con fare mostra di un vastissimo scheletro d'ossa spolpate...»* (Di Somma, 1641). Altro esempio di costruzione costituita da muri *«...formati con industria tale, che l'interno viscere era tutto intersecato di legni congegnati in modo, che ad angoli verticali tenevano in tutela gli strati regolari delle sovrapposte canne, e la sottile fabbrica esteriore»*, è descritta da Sarconi, a Mileto (Rc). Tale fabbricato realizzato con piena consapevolezza di *«...servire da ricovero nè tremuoti...»* (Sarcone, 1784), colpito dal sisma del 1783, raggiunse il collasso solo dopo numerose scosse. Un caso emblematico della duttilità del sistema ad intelaiatura lignea, che collassò solo dopo numerose scosse a causa della perdita di efficacia dei vincoli. Le giunzioni infatti, assicurate anche da chiodi di *tipo piramidale*, sotto le ripetute oscillazioni si dissolsero provocando il crollo della fabbrica. L'edificio tuttavia, rispose perfettamente al compito di ricovero antisismico e prima del collasso diede numerosi segnali di deformazione e imminente rottura.

9.4 Degradazioni causate dai terremoti del 1905 e 1908²¹⁶

Il sistema borbonico, ormai definitivamente codificato e sistematizzato nel 1783²¹⁷, diede prova e confermò buone prestazioni antisismiche anche nei severi collaudi affrontati nei terremoti disastrosi del 1905 e 1908 che colpirono nuovamente la Calabria. Molti tecnici, tra i quali illustri personalità della sismologia e della scienza antisismica del Novecento, furono concordi nell'ammettere la particolare resistenza delle case con intelaiatura lignea, che avevano sfidato quasi impunemente diversi terremoti d'intensità superiore o pari al IX° grado, presentandosi completamente integre con assenza totale di lesioni significative, come alcuni edifici a Monteleone (oggi Vibo Valentia) e a Reggio Calabria. Altri esempi riportati da Baratta (Baratta, 1910) sono un fabbricato a Villa San Giovanni (Rc) e a Bagnara (Rc) dove «...la casa baraccata...dell'Ing. Domenico Paladino....resistito e dato prova del suo ottimo collegamento sin dal terremoto del 1905...».

In generale comunque i dissesti sono lievi; gli sporadici casi di crollo risultano, sempre indipendenti dalle reali capacità del sistema e provocati da altre cause.

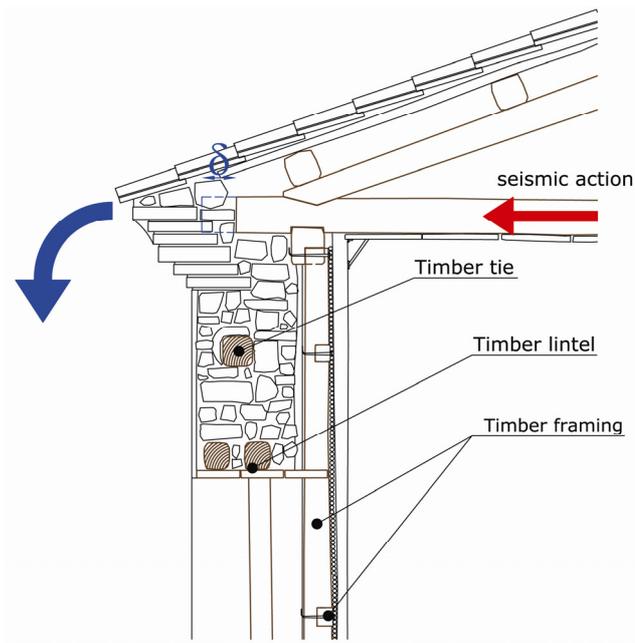
I dissesti derivanti da azioni dinamiche sono riconducibili a due tipologie fondamentali, piccole espulsioni di materiale nella parte sommitale dell'edificio e ribaltamenti localizzati e limitati di paramento murario.

9.5 Espulsione di materiale nella parte sommitale

Tale tipologia di danno corrisponde ad un sisma con azione agente sia in direzione perpendicolare che parallela alla parete intelaiata.

²¹⁶ L'8 settembre 1905 una scossa d'intensità pari al IX° grado della scala Mercalli, interessò l'intera Calabria, ulteriori repliche si registrarono nei mesi successivi. Il terremoto del 28 dicembre 1908, con intensità pari al IX° grado della scala Mercalli ed epicentro localizzabile nella Calabria meridionale, fu preceduto da numerose scosse di media intensità che interessarono l'intero territorio calabrese e parte di quello siciliano.

²¹⁷ A tale anno, secondo Aricò (Aricò e Milella, 1984) risale la redazione della prima normativa antisismica d'Europa per volontà di Ferdinando IV di Borbone.



Il dissesto si esplica attraverso espulsioni nel coronamento superiore di pietre e malta costituenti la muratura, dovute alla spinta della catena esercitata sulla massa muraria ed allo spostamento della capriata più in generale.

Fig. 78 Schema della tipologia di danno

Il cinematismo è favorito dalla presenza di un elemento architettonico ricorrente nelle composizioni neoclassiche dei palazzi più ricercati, il cornicione di conclusione della facciata, con limitato aggetto e privo di elementi lignei interni.²¹⁸

Tuttavia in tutti i casi le pareti hanno mostrato un comportamento abbastanza monolitico grazie alle efficaci connessioni presenti tra i vari telai, senza implicare la formazione di alcuna cerniera da ribaltamento, con comportamento resistente tridimensionale ed efficace solidarietà tra le pareti ortogonali che quindi hanno trattenuto e contrastato l'azione ribaltante.

Uno dei casi studio che ha presentato un simile dissesto è un fabbricato di Reggio Calabria. La costruzione di due piani ha pareti che presentano finestrate *strette e lunghe*, chiaro indizio di presenza di telaio ligneo

²¹⁸ La normativa borbonica, tra gli altri punti, limitava l'aggetto del cornicione, indicazione ripresa successivamente dalle *Norme per la ricostruzione e riparazione degli edifici pubblici*, Regio decreto n. 511, 16 settembre 1906.

all'interno²¹⁹. Lo sviluppo dell'edificio in pianta, per quanto è visibile dall'immagine, è regolare. Il sisma ha investito la facciata con direzione perpendicolare, evidenziata dall'incipiente ribaltamento del fronte del fabbricato limitrofo; si riscontra il crollo parziale alla sommità della parete muraria. Tale modesto dissesto, l'unico presente, sicuramente favorito dall'aggetto del cornicione, evidenzia una probabile spinta di esigua entità proveniente dalla capriata costituente la copertura. Gli spostamenti nella parte superiore risultano massimi perché l'azione non è stata sufficientemente contrastata dal cordolo ligneo di copertura risultato quindi non totalmente efficace.



Fig. 79 Reggio Calabria, 1908.

Il crollo segnala la scarsa qualità del rivestimento del telaio, composto da pietrame di varia e piccola pezzatura forse mal legato.

Alla stessa tipologia di danno è ascrivibile l'immagine che rappresenta un edificio a Stefanacani (Vv) . Le caratteristiche compositive del fabbricato e

²¹⁹ Lo stretto passo dei montanti infatti, non permetteva la realizzazione di vuoti di dimensioni rilevanti in larghezza; lo scarso illuminamento quindi, era compensato con l'aumento in altezza della finestra.

di sviluppo in alzato sono identiche a quello di Reggio Calabria, testimoniando caratteri architettonici comuni quasi ripetitivi nella ricostruzione post sismica del 1783, con fabbricati privi di particolari peculiarità e variazioni compositive (Maretto, 1985). In questo caso, il sisma ha causato dissesti sia nella parete ad esso parallela che in quella perpendicolare, la porzione di muratura ribaltata è estesa e comprende quasi l'intero cornicione; sono da segnalare espulsioni di materiali anche nelle zone che costituiscono il cantonale, causando la messa in vista di uno dei montanti di legno e denunciando la debolezza dell'angolo del fabbricato forse non costruito a regola d'arte.



Fig. 80 Stefanaconi (Vv), 1905.

Altri casi con simili caratteristiche di danno sono segnalati da Baratta (Baratta, 1910) con dettagliatissime note sui dissesti subiti dai fabbricati di Reggio Calabria.

Le tipologie di danno descritte interessano esclusivamente la parte muraria esterna all'apparecchio, la restante struttura, quella lignea nello specifico, risulta infatti integra. Sia le lesioni della parte sommitale degli edifici di Reggio Calabria, sia quelle del fabbricato di Stefanaconi, hanno in comune la cattiva qualità delle caratteristiche costruttive che ha facilitato il crollo

parziale: in entrambi i casi infatti è assente il confinamento della muratura che avrebbe dovuto offrire il telaio di legno.

9.6 Ribaltamento limitato di porzione di muratura

Tale tipologia di degrado, ricorrente in diversi esempi, è dovuta ad una realizzazione dell'apparecchio non proprio a regola d'arte, con pietre di piccola pezzatura tondeggianti e scarse qualità adesive della malta; in tal modo si costituisce un vero e proprio paramento esterno, il rivestimento di *fabbrica* come inteso dal regolamento borbonico²²⁰ che, privo di elementi diastematici di solidarizzazione con la restante muratura, anche a causa di azioni orizzontali limitate, mostra tendenza al ribaltamento con frazionamento della massa. Tuttavia non vi sono elevati rischi per la vita degli occupanti in quanto il paramento tende a ribaltare verso l'esterno.



A Palmi per esempio, in un edificio di due piani il sisma ha investito la parete con direzione perpendicolare, causando un ribaltamento parziale della muratura, limitato ad una superficie ridotta e alla sola parte esterna, denotando una cattiva realizzazione della *fabbrica*, mancante di elementi diastematici di collegamento trasversale della massa muraria.

Fig. 81 Palmi (Rc), 1908.

²²⁰ Uno dei punti fondamentali della normativa borbonica prescriveva, per ragioni soprattutto di carattere igienico e di preservazione dei legni, di rivestire il telaio di muratura.

A riguardo di simili degradazioni e in riferimento a quelle occorse agli edifici di Reggio Calabria, Baratta (Baratta, 1910) riporta di casi di costruzioni di pessima qualità che tuttavia hanno tenuto un buon comportamento. Le membrature che costituiscono il telaio realizzate in legno tondo, appena o neanche scortecciato, in termini di resistenza acquisiscono valori migliori rispetto a quello squadrato, comportamento correttamente interpretato da Du Hamel e De Buffon agli inizi del '700 (Ruggieri, 2011), non decisivo tuttavia ai fini della capacità antisismica. Certamente risulta problematica la realizzazione dei nodi, probabilmente da supportare appena giustapposti quindi con una conseguente maggiore deformabilità degli elementi costituenti e una maggiore capacità dissipativa dell'energia prodotta dall'azione sismica.

La Commissione del Genio civile, in visita ai paesi colpiti dal sisma del 1908, produce la foto di una costruzione di Seminara (Rc) colpita da un ribaltamento. L'edificio, seppur di forma regolare in pianta ed alzata, con un unico piano quindi con modesta vulnerabilità sismica *per forma*, presenta il quasi totale ribaltamento del rivestimento di muratura che mette in evidenza i telai lignei interni; questi non mostrano alcun segno di dissesto. Un cinematismo simile è rilevabile nella foto d'epoca di un fabbricato di Monteleone, una delle cui pareti, colpita da azione sismica parallela al proprio piano, è totalmente rovinata al suolo mentre il telaio ligneo è apparentemente in perfette condizioni.



Fig. 82 Seminara (Rc), 1908.



Fig. 83 Monteleone (attuale Vibo Valentia), 1908.

In altri esempi di crolli estesi riportati da Baratta (Baratta, 1910), il collasso è da imputare alla totale inefficienza dell'armatura lignea a causa del rilevante degrado biotico, probabilmente dovuto a funghi (funghi) «...quando il legname era deteriorato, e quindi non in grado di compiere l'ufficio suo, anche la gabbia è crollata...».

9.7 Degradazioni biotiche: il caso studio di Mileto (Vv)

9.7.1 La "baracca" vescovile

L'edificio oggetto di analisi, realizzato all'indomani del terremoto del 1783 per il vescovo della Diocesi di Mileto-Nicotera-Tropea, ad un solo piano con seminterrato, con finestre alte e strette disposte in maniera regolare, è descritto da Baratta (Baratta, 1910) che ne rileva le buone condizioni dopo il sisma del 1908. Le murature, costituite da conci di calcarenite locale a diversa pezzatura con ricorsi in laterizi, presenta all'interno un telaio di legno con membrature a sviluppo regolare e dimensioni variabili tra i 12 e i 7 cm, rispettivamente relativamente ai montanti e agli elementi trasversali. Tali legni sono vincolati mediante commessure a *mezzo legno* irrigidite da un chiodo piramidale.



Fig. 84 Il Palazzo vescovile di Mileto, prospetto est.

La rigidità ad azioni dinamiche viene data dalla muratura di riempimento dei telai; sono assenti i controventamenti lignei.



Fig. 85 Il Palazzo vescovile di Mileto, particolare dell'intelaiatura lignea.

La costruzione evidenzia la presenza, oltre al telaio posto sulla faccia interna della parete, di altre membrature di legno nella muratura; si tratta di elementi continui che si sviluppano in orizzontale e si sovrappongono negli angoli²²¹, con una particolare cura quindi per il cantonale maggiormente vulnerabile al sisma.

In prossimità delle finestre la continuità e omogeneità di rigidità del telaio viene garantita dalla presenza di un vero e proprio riquadro ligneo collegato al telaio, una cerchiatura, disposta intorno alla finestra.

Sono rilevabili artifici per proteggere gli elementi lignei dalla condensa e dall'acqua in generale nei diversi strati, ad esempio la realizzazione dello zoccolo in muratura²²² con la funzione di distanziare dal terreno i pilastri, possibile veicolo di umidità. La malta che avvolge l'incavo in cui è inserita la

²²¹ Elementi lignei inseriti in orizzontale e in maniera continua nella parte esterna dell'apparecchio murario trovano esempi antecedenti nell'architettura bizantina (si veda Touliatous, P., *The box framed entity of the structures the importance of wood's role*, 2005, in atti del convegno "Conservation of historic wooden structures", Gennaro Tampone ed., Firenze). Tali membrature oltre a garantire un'orizzontalità di disposizione degli strati di muratura e quindi una realizzazione a regola d'arte, permettono una solidarizzazione tra le pareti murarie perpendicolari. Inoltre studi e prove sperimentali sono stati effettuati da E. Tatsanika e E. Vintzileou, che hanno dimostrato, oltre che per azioni dinamiche, un contributo delle traverse lignee, a compressione.

²²² Lo zoccolo in muratura con un'altezza massima di *cinque piedi o poco più* è una precisa indicazione del Regolamento antisismico borbonico.

membratura di legno del telaio interno non è perfettamente aderente a tale elemento strutturale, si crea così una micro-circolazione di aria quindi condizioni igrometriche sfavorevoli ad attacchi biotici.

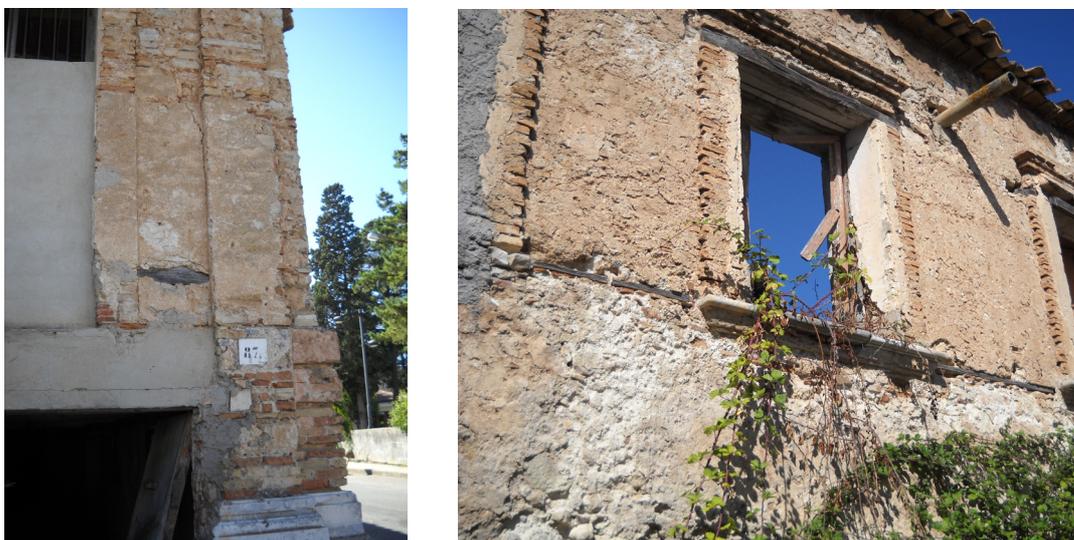


Fig. 86 Il Palazzo vescovile di Mileto, elementi lignei posta sulla parte sterna dell'apparecchio murario.

9.7.2 Degrado biotico

Gli elementi lignei, dato lo stato di abbandono caratterizzante il fabbricato, versano in un cattivo stato di conservazione con un diffuso attacco di tipo micotico. Tale degradazione presenta le peculiari fessurazioni longitudinali e trasversali, caratteristiche della *carie a cubetti*, con consistenza e massa del legno minori rispetto al materiale integro, scarsa coesione e bassa resistenza alla pressione trasversale.

Tale degrado è diffuso in numerosi elementi strutturali del telaio, con attacchi d'intensità diversa. Da un'analisi visiva, l'agente potrebbe essere individuato in *Serpula lacrimans* (fungo delle case), classe *basidiomiceti*, famiglia *meruliaceae*.

Altri elementi degradati sono riscontrabili ad Ovest del fabbricato dove la trave all'attacco con la muratura presenta una variazione cromatica, fessurazioni a sviluppo prevalente longitudinale, che fanno diagnosticare la probabile attività di *Coniophora puteana* (fungo delle cantine), classe *Basidiomiceti*, famiglia *Coniophoraceae*.



Fig. 87 Avanzato stato di degrado del nodo di un telaio dovuto ad attacco biotico.

In alcuni casi il legno è allo stato di finissima polvere come, nel caso dell'elemento orizzontale inferiore della "cerchiatura" della finestra e alla base del montante all'attacco con la trave del solaio.

Le degradazioni imputabili ad insetti xilofagi sono più rare.

La trave interna alla muratura, posta superiormente all'architrave, relativamente al prospetto est, per quanto è stato possibile ispezionare, non presenta degrado di origine micotica, ma puntuali e in area circoscritta attacchi estinti da insetti, con gallerie superficiali, fori di sfarfallamento circolari di dimensioni di circa 1 mm in quantità non elevata, gallerie con andamento parallelo alla fibratura; il probabile agente è *Lyctus linearis*, ordine *Coleotteri*, Famiglia *Lictidi*.



Fig. 88 Avanzato stato di degrado dell'attacco montante trave del solaio dovuto ad attacco biotico.

Maggiormente vulnerabili ad un attacco biotico risultano i legni posti in orizzontale limitrofi alla superficie esterna, in questo caso infatti il solo intonaco, ormai tra l'altro assente, risulta inefficace nel proteggere tali membrature dall'acqua piovana quindi da un ambiente con un alto tenore di umidità.

9.8 Conclusioni

Le degradazioni strutturali occorse dopo i sismi del 1905 e 1908 sono, per quanto visibile dalle immagini e desumibile dalle relazioni, limitate o addirittura assenti, in questo caso la dissipazione di energia può avvenire soltanto attraverso gli attriti interni che consentono una sorta di risposta "elastica" della struttura. Le accelerazioni sismiche trasmesse dal terreno al fabbricato attraverso le fondazioni trovano, infatti, nell'ossatura di legno all'interno della muratura la capacità elastica di riportare la parete nella posizione iniziale o a questa prossima. Il telaio confinato dalla muratura è limitato negli spostamenti, in tal modo, durante l'evento sismico le aste restano in campo elastico, i nodi possono dissipare energia seppur in

maniera ridotta; la duttilità è data dalla inconsistenza dei riempimenti murari e dalla labilità dei nodi.



Fig. 89 Particolare del cantonale del fabbricato.



Fig. 90 Fori di sfarfallamento nella membratura interna alla muratura.

CAPITOLO 10.

Degradazioni tipiche:

analisi parametrica del comportamento "fuori dal piano"

Key words Seismic behaviour, masonry reinforced, timber frames, out-of-plane

10.1 Abstract

With the present chapter based on pictures and reports of the time the author intend to contribute to the interpretation of the behavior to seismic actions of the cited System decoding the answer of the structure to horizontal forces perpendicular to the walls.

10.2 Stato dell'arte

Il collasso dovuto a *out-of-plane* delle facciate è un argomento cruciale nelle antiche costruzioni, sebbene pochi studi e pubblicazioni sono disponibile e limitate unicamente alle murature non rinforzate.

Nel 18° secolo il ribaltamento murario di un muro soggetto a forza orizzontale fu correttamente studiato da Rondelet, con analisi di tipo qualitativo relative ad un pannello murario costituito da laterizi e con differenti condizioni al contorno, muro isolato o connesso ai pannelli ortogonali. Giuffrè (Giuffrè, 1991) e Como (Como, 2011) si interessarono al moto di un corpo rigido e in particolare al ribaltamento di una muratura costituita da due paramenti indipendenti. Tale modello numerico dimostrò un'alta riduzione del momento stabilizzante sotto azioni ortogonali al pannello in presenza di una muratura con comportamento non monolitico. Meccanismi di collasso per out-of-plane sono stati definiti e raccolti in un database (FaMIVE) con l'obiettivo di ottenere una procedura per la diagnosi della vulnerabilità sismica delle costruzioni storiche (D'Ayala et al., 2003). Altre ricerche sono state svolte da D'Ayala (D'Ayala, 2011) relativamente all'analisi del comportamento "scatolare" di un fabbricato storico e della

tipologia di vincolo determinata dai cantonali, calcolando in particolare il contributo dell'attrito scaturito durante il ribaltamento.

Inoltre considerazioni sono presenti relativamente al prototipo di Vivenzio, evidenziando l'importante ruolo dei nodi dell'intelaiature lignee e in particolare dell'angolo del fabbricato, in questo specifico caso caratterizzato da un esplicito rinforzo con la presenza di 4 pilastri lignei connessi.

Doherty et al. (Doherty et al. 2002) presentarono un'analisi dinamica del meccanismo di *out-of-plane* di una muratura non rinforzata, validata da una campagna sperimentale su pannelli vincolati unicamente nella parte sommitale. Basato su queste prove Doherty elaborò un modello tri-lineare semplificato in cui è descritto un primo tratto lineare, con una rigidità costante, avviene la lesione, rappresentata da un ramo orizzontale e conseguente formazione di una cerniera cilindrica nella mezzeria del muro, quindi inizia il moto del muro che si comporta come un insieme di più corpi rigidi.

10.3 Introduzione

Il sistema borbonico si sviluppò in diverse tipologie, caratterizzate da differenti geometrie e organizzazione strutturale. Tra le possibili varianti, la posizione dell'intelaiatura lignea, in alcuni casi prossima alla faccia esterna formante un paramento esteriore. Quest'ultimo se non è collegato alla restante muratura per mezzo di elementi diatonici risulta essere vulnerabile sotto azioni sismiche perpendicolari al pannello murario.



Fig. 91 Differenti tipologie di sistema Borbonico. Il telaio è posto nella parte interna della muratura (fig. a sinistra) o all'esterna (fig. a destra).

10.4 Analisi della stabilità muraria

Il capitolo precedente ha evidenziato un appropriato comportamento del sistema costruttivo borbonico durante i terremoti del 1905 e 1908, mostrando danni lievi, limitati al ribaltamento parziale del paramento murario. Questa tipologia di danno è strettamente legata alle caratteristiche dell'apparecchio murario. Infatti la mancanza di elementi diatonici non garantisce un comportamento monolitico del muro con conseguente tendenza al ribaltamento anche sotto azioni dinamiche di lieve intensità.

L'equilibrio, tra momento ribaltante dovuto al sisma e il momento stabilizzante generato da fenomeni attritivi e dalle proprietà geometriche del sottile paramento, non può essere raggiunto; l'unico elemento per compensare il moto di out-of-plane è aumentando lo spessore della muratura esterna al fine di aumentarne il carico. Inoltre in tale tipologia di muratura priva di elementi diatonici l'alta deformabilità del telaio di legno genera una spinta aggiuntiva verso l'esterno e quindi una diminuzione della resistenza al ribaltamento del paramento.

In altre parole:

$$M_s = f(W, \theta, B) \quad (1) .$$

$$M_o = f(\alpha W, 1/K) \quad (2) .$$

Quindi la stabilità del pannello murario è governata da fenomeni attritivi (θ) e strettamente legata alla geometria ed al peso del muro (W). Inoltre le condizioni di vincolo al contorno (B), cantonali, solaio, copertura e murature ortogonali sono di fondamentale importanza e un'altra azione di ritegno può essere data da eventuale presenza di sovraccarico peraltro di difficile predizione.

Mentre il momento ribaltante (M_o) è funzione dell'intensità del terremoto e delle caratteristiche geometriche e di massa del muro (αW); in aggiunta la tendenza al ribaltamento può accrescere a causa della flessibilità del telaio ligneo data da ($1/K$) ovvero la deformabilità flessionale. Quest'ultima può essere calcolata tenendo in considerazione che la membratura verticale del telaio è caratterizzata da libera rotazione al nodo alla base, mentre in sommità il vincolo può essere simulato con un doppio pendolo dato da un nodo a mezzo legno, omettendo vincoli intermedi realizzati dagli elementi orizzontali del telaio caratterizzati da connessioni per azioni orizzontali verso l'esterno privi di efficacia (unilaterali)²²³. Questo rappresenta uno schema statico labile il cui equilibrio viene garantito dalla presenza della muratura.

L'analisi proposta è indipendente dall'eventuale componente verticale del sisma e dall'interazione muratura suolo.

²²³Infatti la membratura orizzontale del telaio è semplicemente sovrapposta all'elemento verticale e vincolata per mezzo di chiodi piramidali; tale organizzazione, sotto l'azione di una forza orizzontale con direzione verso l'esterno, non riescono a trasferire sollecitazioni e quindi inadeguata a limitare gli spostamenti orizzontali del pilastro.

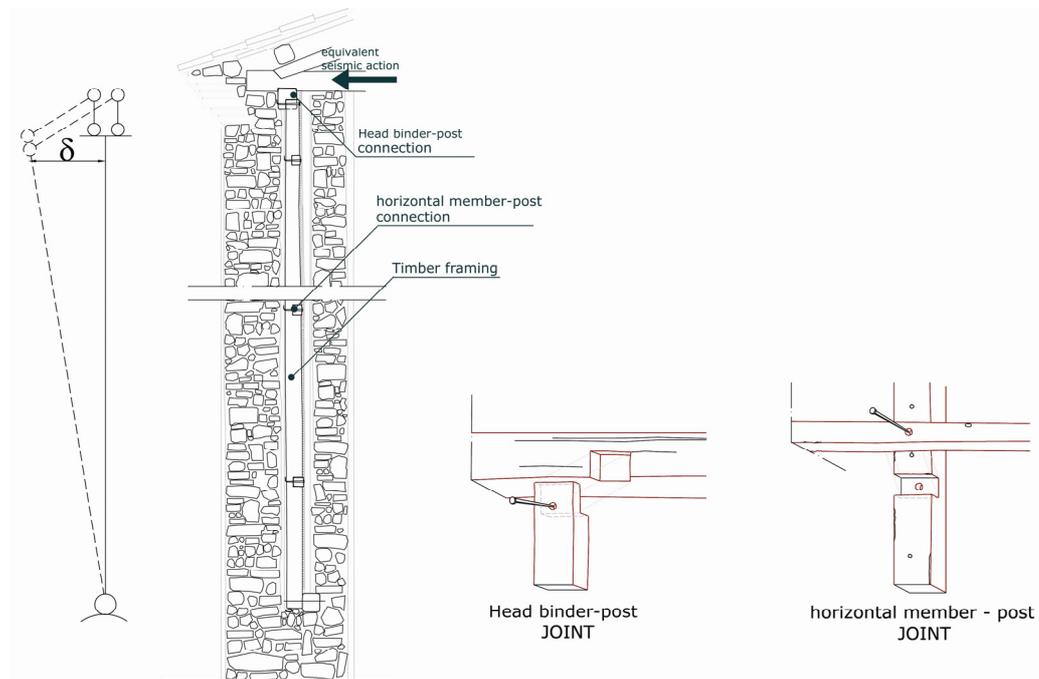


Fig. 92 Schema statico e tipologia di nodi del telaio presente nell'edificio vescovile di Mileto (Vv)

Altre tipologie di sistema borbonico presentano invece sufficienti ed efficaci elementi trasversali di connessione che permettono al muro di avere un comportamento monolitico solidale con il telaio ligneo interno. In questo caso il momento stabilizzante beneficia del contributo dato dalla rigidità flessionale (K) del telaio di legno:

$$M_s = f(W, \theta, B, K) \quad (3) .$$

Inoltre nell'eventualità di muratura baraccata con comportamento monolitico grazie alla presenza dell'intelaiatura lignea è improbabile la formazione di cerniera cilindrica sotto un'azione ribaltante.

10.5 Conclusioni

Il capitolo descrive un aspetto peculiare del comportamento sismico del sistema baraccato: la tendenza al ribaltamento del paramento esterno.

Tale muratura rinforzata, durante i catastrofici terremoti del 1905 e 1908, basandosi su documenti storici, non ha mostrato mai alcun caso di ribaltamento dell'intero pannello murario. Infatti i danni furono limitati e

relativamente ad azione del terremoto perpendicolare al pannello, ha interessato esclusivamente il paramento esterno, sottile e privo di elementi diatonici di connessione con il resto dell'apparecchio murario.

CAPITOLO 11.

Sviluppi futuri

La campagna sperimentale e l'analisi sui dissesti accaduti dopo i terremoti del 1905 e 1908 in Calabria ha fornito informazioni sulla vulnerabilità del sistema costruttivo borbonico sotto azioni cicliche. Ulteriori dati verranno dal calcolo numerico con comprensione del comportamento sismico dell'edificio a livello globale e generalizzazione dei risultati ad edifici con differenti caratteristiche geometriche. Una conoscenza che porterà a programmare una futura ricerca su interventi di riparazione successivi ad eventi tellurici e di miglioramento del comportamento anti-sismico compatibili con la complessità tecnologica del sistema ed al contempo rispettosi della storicità del manufatto, delle caratteristiche dei materiali e strutturali originali, al fine di conservare e tramandare alle generazioni future un patrimonio costruttivo che rappresenta un primato dell'ingegneria antisismica di Europa.

BIBLIOGRAFIA

Cfr. AAVV, 1999, *Il sacro e l'acqua. Culti indigeni in Basilicata*, Edizioni De Luca, Roma.

AAVV, 2002, *Il mondo dell'archeologia*, Istituto della Enciclopedia Italiana fondata da Giovanni Treccani, Roma.

Adamesteanu, D., 1974, *La Basilicata antica: storia e monumenti*, Di Mauro editore, Cava dè Tirreni.

Alberti, L., B., 1833, *Dell'Architettura libri dieci*, traduzione di Cosimo Bartoli, Milano. (prima edizione 1450)

Albini, P., Calvi, G., M., Stucchi, M., 2012, I terremoti di Ferrara del 1570 - 1574 e la fioritura di studi sulla storia sismica in *Progettazione sismica* 03 - 2012

Ali Q, Schacher T., Ashraf M., Alam B., Naeem A., Ahmad N., Umar M. 2012. *In-plane behavior of Dhajji-Dewari structural system (wooden braced frame with masonry infill)*. Earthq. Spectra.

Aktas Y.D., Akyüz U., Türer A., Erdil B., Sahin Güçhan N. 2012. *Seismic resistance evaluation of traditional Ottoman timber-frame himis houses: Frame loadings and material tests*, Earthquake Spectra.

Aricò, N., Milella, O., 1984, *Riedificare contro la storia. Una ricostruzione illuminista nella periferia del regno borbonico*, Gangemi, Napoli.

ARUP 2011 Report *Seismic Performance Assessment of Dhajji Dewari Building System Non Linear Response History Analysis*.

Baratta, M., 1910, *La catastrofe sismica calabro messinese*, Società geografica italiana, Roma.

Barucci C., 1990, *La casa antisismica. Prototipi e brevetti*, Gangemi editore, Reggio C.

Bianco A (2010) The 'casa baraccata'. Guide to design and rehabilitation site (in Italian). GB Editoria, Rome

Bianco, S., 1998, *Nel cuore dell'Enotria: La necropoli italica di Guardia Perticara*, Potenza

Breymann, G.,A., 1899, *Trattato generale di costruzioni civili*, Dottor Francesco Vallardi, Milano.

Brocato, P., Galluccio, F., 2001, *Capanne moderne, tradizioni antiche*, in atti del congresso "From Huts to Houses Transformation of ancient societies", J.Rasmus Brandt and Lars Karlsson, Stockholm

Carletti, N. (1772). *Istituzioni d'Architettura civile*, Stamperia Raimondiana, Napoli.

Carter, J., C., 2006, *La scoperta del territorio rurale greco di Metaponto*, Osanna Edizioni, Venosa.

Ceccotti A, Faccio P, Nart M, Simeone P. 2006. *Seismic behaviour of historic timberframe buildings in the italian dolomites*. In Proceedings of ICOMOS international wood committee, 15th international symposium, Istanbul and Rize.

Ceccotti, A., Follesa, M., Lauriola, P.L., 2007, *Le strutture di legno in zona sismica*, C.L.U.T. Editrice, Torino.

Como, M., 2011. *Statica delle costruzioni storiche in muratura*. Roma: Aracne Editrice.

Como, M., 2014, *The theory of Proportion in the History of Architecture and Engineering*, In proceedings of 1st International Conference on the History of Engineering, ed. D'Agostino, S., Fabricatore, G., 185-198, Naples: Cuzzolin.

Croci, G., Cerone, M. , 1979, *Lo sviluppo dell'effetto arco nelle pareti in muratura* , P.F. Geodinamica - CNR, Rep. 263, Giugno 1979, Convegno del Gruppo di Ricerca CNR Azioni sismiche e del vento sulle costruzioni - Genova, dicembre 1979

Cuteri, F., a cura, 2003, *I Normanni in finibus Calabriae*, Rubbettino, Soveria Mannelli (Cz).

D'Ayala, D., Speranza, E. 2003. *An Integrated Procedure for the Assessment of Seismic Vulnerability of Historic Buildings*. In proceedings of 12th European Conference on Earthquake Engineering.

D'Ayala, D. 2011. *The Role of Connections in the Seismic Resilience of Historic Masonry Structures*. In proceedings of ANIDIS.

De Dolomieu, D., 1784, *Mémoire sur les tremblemens de terre de la Calabre*, Antoine Fulgoni, Roma.

Del Pozzo, L., 1857, *Cronaca civile e militare delle Due Sicilie sotto la dinastia Borbonica del 1734 in poi*, Stamperia Regale, Napoli.

De Juliis, M., E., 1996, *Magna Grecia, l'Italia meridionale dalle origini leggendarie alla conquista romana*, EdiPuglia, Bari.

Devoto, G., Oli, G., 2013, *Il Devoto-Oli Vocabolario della lingua italiana*, Le Monnier, Milano.

Donghi, D., 1935, *Manuale dell'architetto*, Unione Tipografica Editrice Torinese, Torino.

Di Pasquale, S., 1983, *Architettura e terremoti*, in *Restauro* LIX, LX, LXI.

Di Pasquale, S., 1996, *L'arte del costruire Tra conoscenza e scienza*, Marsilio Editori, Venezia.

Di Somma, A., *Historico racconto de i terremoti della Calabria dall'anno 1638 fin'anno 41*, Napoli, 1641.

Doherty, K., Griffith, M.C., Lam, N., Wilson, J. 2002. *Displacement-based Seismic Analysis for Out-of-plane Bending of Unreinforced Masonry Wall*. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31: 833-850.

D'orsi, L., I terremoti di Calabria fedelissimamente descritti dal sig. Lutio D'orsi, Napoli, 1640.

Du Hamel Du Monceau H.L., 1764, *De l'exploitation des bois*, Guerin et Delatour, Paris.

Ferrari, G., Ricciardi, G., 2014, *Giuseppe Mercalli seismologist, volcanologist on the centenary of his death: his contribution to observational earth sciences at the turn of the 20th century*, in proceedings of 2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology 2014, Istanbul.

Franca J.A., 1972, *Una città dell'illuminismo. La Lisbona del marchese di Pombal*, Roma.

Frisi, A.D.P. (1777). Istituzioni di Meccanica, d'Idrostatica e dell'Architettura Statica, e Idraulica, Giuseppe Galeazzo Regio stampatore, Milano.

Gallaccini, T., 1767, *Trattato di Teofilo Gallaccini sopra gli errori degli architetti*, Giambatista Pasquali, Venezia.

Gallo, A., 1784, *Relazione data all'illustrissimo Senato di questa città da Andrea Gallo Pubblico Professore di Filosofia e Matematica in questo Real Collegio Carolino*.

Gaufredi Malaterrae De rebus gestis Rogerii Calabriae et Siciliae Comitis et Roberti Guiscardi Ducis fratris eius Edizione: *Rerum Italicarum Scriptores* 2, V 1, ed. E. Pontieri 1928

Galanti, G., M., 1793, *Giornale di viaggio in Calabria*, Edizione critica di Augusto Placanica, 1981, Società editrice napoletana, Napoli.

Giuffrè, A. 1991. *Lettura sulla Meccanica delle Murature Storiche*. Roma: Edizioni Kappa.

Galassi, S., Ruggieri N., Tempesta G., *Seismic Performance Evaluation Of Timber-Framed Masonry Walls. Experimental Tests And Numerical Modelling*. In proceedings of 1st International Conference on Historic Earthquake-Resistant Timber Frames in the Mediterranean Area. Ed. Ruggieri N., Tampone G., Zinno R., Springer

Galassi, S., Ruggieri N., Tempesta G., Zinno, R., 2014, *Stability and Stiffness Contribution of the masonry in the Borbone Anti-seismic System*”, in *proceedings of 9th International Masonry Conference 2014*, ed. P. Lourenço, B. Haseltine, G. Vasconcelos, Guimarães, Universidade do Minho Departamento de Engenharia Civil.

Gatto K., Uang C-M., 2003, Effects of loading protocol on the cyclic response of woodframe shearwalls. *Journal of Structural Engineering* , 129 (10), 1384-1393.

Giordano, G., 1999, *Tecnica delle costruzioni in legno*, Hoepli, Milano.

Grimaldi, A., 1863, *La cassa sacra ovvero la soppressione delle manimorte in Calabria*, Stamperia dell'iride, Napoli.

Gros, P., a cura di, 1997, *Vitruvio De Architectura*, Giulio Einaudi Editore, Torino.

Guerricchio, A., Biamonte, V., Mastromattei, R., Ponte, M., 2007, *Le deformazioni e la franosità indotte da liquefazione nel territorio di Polistena – Cinquefrondi (Rc) dal "terremoto delle Calabrie" del 1783 – Atti del 23° Convegno Nazionale gngts*

Guidoboni, E., a cura, 2005, *Libro dei diversi terremoti* di Pirro Ligorio, De Luca Editori d'arte, Roma.

Helle Damgaard Andersen, 2001, *Thatched or tiled roofs from the early iron age to the archaic period in central Italy*, in atti del congresso "From Huts to Houses Transformation of ancient societies", J.Rasmus Brandt and Lars Karlsson, Stockholm

Hamilton, G. (1783). *Relazione dell'ultimo terremoto delle Calabrie e della Sicilia inviata alla Società Reale di Londra*, Stamperia della Rovere, Firenze.

Heyman, J., 1997, *Coulomb's Memoir on Statics, An Essay in the History of Civil Engineering*, Imperial College Press, London.

Kouris, L., A., S., Kappos, A., J., 2012, *Detailed and simplified non linear models for timber-framed masonry structure*, in *Journal of Cultural Heritage*, n. 13.

L. A. S. Kouris, H. Meireles, R. Bento, A. J. Kappos, Simple and complex modelling of timber-framed masonry walls in Pombalino buildings, Bull Earthquake Eng

Leonidas Alexandros S. Kouris, Andreas J. Kappos, 2014, A practice-oriented model for pushover analysis of a class of timber-framed masonry buildings j.engineering structure 2014.06.012

Lamberti, V. (1781). *Statica degli edifici*, Giuseppe Campo, Napoli

Langenbach, R., 2007, From "Opus Craticium" to the "Chicago Frame": earthquake-resistant traditional construction. Int J Archit Herit 1(1):29–59

Langenbach, R., 2009, DON'T TEAR IT DOWN! Preserving the earthquake resistant vernacular architecture of Kashmir, UNESCO, New Delhi

Laner, F., Barbisan, U., 1986, Terremoto ed architettura. Il trattato di Eusebio Sguario e la sismologia nel Settecento, CLUVA, Venezia.

Leonardo da Vinci Scritti scelti, 1966, UTET, Torino

Leupold J., 1726, *Teatrum pontificale*, Leipzig.

Liotta, G., 1984, *Gli insetti e i danni del legno*, Firenze: Nardini ed.

Lorgna, A., M. (1782). *Saggi di Statica e Meccanica applicati alle arti*, Dionigi Ramanzini, Verona

Mafri, M., 1977, *Il progetto Mori: contributo alla storia urbana di Reggio Calabria nel tardo Settecento in La Calabria dalle riforme alla restaurazione*, atti del VI congresso storico calabrese, Società Editrice Meridionale.

Magenes, G., Calvi, G., M. 1997, In plane Seismic Response of Brick Masonry Wall, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, VOL. 26, 1091-1112.

Magnati V., 1688, *Notitie storiche de' terremoti successi ne' secoli trascorsi e nel presente indirizzate alla serenissima maestà di Carlo II dall'abbate D. Vincenzo Magnati*, Napoli.

Makarios T., Demosthenous M. (2006). Seismic response of traditional buildings of Lefkas Island, Greece. *Engineering Structures*, 28: 264-278.

Maiuri, A. 1964, *Pompei ed Ercolano fra case ed abitanti*, Aldo Martello editore, Milano.

Maretto, P., Edificazioni tardo-settecentesche nella Calabria meridionale, in *Studi e documenti di architettura*, n. 5, Teorema edizioni, Firenze, 1975.

Masciari Genoese, F., 1915, *Trattato di costruzioni antisismiche*, Hoepli, Milano.

Mascarenhas J. (2004). *Constructive systems - V. Livros Horizonte*, Lisbon, Portugal.

Meireles H.A., 2012, *Seismic vulnerability of pombalino buildings*. PhD Thesis, IST Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal.

Meireles, H, Bento, R, Cattari, S, Lagomarsino, S. , 2012, A hysteretic model for "frontal" walls in Pombalino buildings. *Bull Earthq Eng* 10(5):1481–1502

Meireles H.A., 2012, *Seismic vulnerability of pombalino buildings*. PhD Thesis, IST Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal.

Meireles, H., Bento, R. 2010. *Cyclic Behaviour of Pombalino "Frontal" Walls*. In proceedings of 14th ECEE, Ohrid.

Meireles, H., Bento, R., Cattari, S., Lagomarsino, S. 2012. *A hysteretic model for "frontal" walls in Pombalino buildings*. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 10(5): 1481-1502.

Mercalli, G., 1897, *I Terremoti della Calabria meridionale e del Messinese Saggio di una monografia sismica regionale*, Tipografia della R. Accademia dei Lincei, Roma.

Michell, J., 1760, *Conjectures concerning the cause, and observations upon the phaenomena of earthquakes*, London.

Milizia, F. (1828). *Principii di Architettura civile di F. Milizia edizione arricchita di note ed aggiunte importantissime*, Tipografia Cardinale e Frulli, Bologna. (prima edizione 1781)

Mauri-Mori, G. (1909). *Riedificazione di Reggio Calabria*, Nuova Antologia, Roma.

Munafò, P., 2002, *Le capriate lignee antiche per i tetti a bassa pendenza. Evoluzione-Dissesti-Tecniche di Intervento*, Firenze, Alinea Editrice srl.

Onorati, N. 1783, *Dissertazione sul tremuoto di Messina e di Calabria avvenuto il dì 5 e 7 Febbrajo del 1783*, Napoli.

Osanna, M., 2008, *Paesaggi agrari e organizzazione del territorio in Lucania tra IV e III sec. a.c.*, in atti del convegno "International Congress of Classical Archeology meetings between cultures in the ancient Mediterranean", Roma.

Palladio, A., 1616, *I quattro libri dell'architettura di Andrea Palladio: ne' quali, dopò vn breue trattato de' cinque ordini, & di quelli auertimenti, che sono più necesarij nel fabricare : si tratta delle case private, delle vie, de i ponti, delle piazze, de i xisti, & de'tempij*, Venezia, Bartolomeo Carampello

Pezzone, M., G., 2010, *Ingegneria militare borbonica. La formazione nel Settecento dalla lettura delle "Reali Ordinanze"*, in atti del 3° convegno nazionale di Storia dell'Ingegneria, Napoli, Cuzzolin editore.

Piazza M., Tomasi R., Modena R., 2005, *Strutture in legno*. Milan: Biblioteca Tecnica Hoepli.

PLINIUS SECUNDUS (Gaius), 1469, *Historia naturalis*. - Venezia, Johannes de Spira, (prima edizione ante 79)

Poletti, E.; Vasconcelos, G.; Jorge, M.; 2014 *Full-Scale Experimental Testing of Retrofitting Techniques in Portuguese "Pombalino" Traditional Timber Frame Walls*. Journal of Earthquake Engineering, 18:4: 553-579.

Poletti, E., Vasconcelos, G., Seismic behaviour of traditional timber frame walls: experimental results on unreinforced walls, *Bull Earthquake Eng*, July 2014.

Poletti, E., 2013, Characterization of the seismic behaviour of traditional timber frame walls, PhD Thesis, University of Minho, Portugal.

Pagano, M., a cura, 1997, *I diari di scavo di Pompei Ercolano e Stabia di Francesco e Pietro La Vega*, L'Erma di Bretschneider.

Pesso L., 1895, *Sul consolidamento delle fabbriche in Calabria contro i danni dei terremoti*, Parma.

Poleni, G. (1748). *Memorie istoriche della Gran Cupola del Tempio Vaticano e de' danni di essa, e de' ristoramenti loro, divise in libri cinque*, Stamperia del Seminario, Padova.

Principe, 1976, *Città nuove in Calabria nel tardo Settecento*, ed. Effe Emme.

Quinn N., D'Ayala, D., Moore, D. 2012. *Experimental testing and numerical analyses of Quincha under lateral loading*. In proceedings of International Conference Structural Analysis of Historical Constructions, ed. Jerzy Jasienko, Wroclaw, Poland.

Ragozzino, A, a cura, 2000, *Amedeo Maiuri, La casa pompeiana, Struttura ambienti, storia nella magistrale descrizione di un grande archeologo*, Generoso Procaccini, Napoli.

Recupito G. C., 1638, *De novo in universa Calabria terraemotu congeminatus nuncius*, Neapoli.

Riccò, A., 1907, *Sui metodi di costruzione in Calabria*, Modena.

Rondelet, J., 1817, *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, De Fain, Paris.

Ruffolo, F., 1912, *La stabilità sismica dei fabbricati*, Casa Editrice l'«Elettricista», Roma.

Ruggieri, N., La casa antisismica, in Proceedings of the International Conference "Conservation of historic wooden structures", Gennaro Tampone sc. ed., Firenze, 2005, pp.141-145.

Ruggieri, N., Il legno nel '700, aspetti meccanici e d'anatomia, in Bollettino degli Ingegneri, n.6, Firenze, 2011, pp. 3-16.

Ruggieri, N., La carpenteria lignea nella cultura italica in età arcaica, note meccanico-costruttive intorno alle raffigurazioni fittili di Guardia Perticara, in Bollettino degli Ingegneri, n.4, Firenze, 2012, pp. 5-21.

Ruggieri, N. 2013. *Il sistema antisismico borbonico, muratura con intelaiatura lignea, genesi e sviluppo in Calabria alla fine del '700*. Bollettino degli Ingegneri, (10), Firenze: 3-14.

Ruggieri, N., Tampone, G., Zinno, R. 2013. *Typical Failures, Seismic Behavior and Safety of the Bourbon system with Timber Framing*. Advanced Materials Research, Vol. 778, Trans Tech Publications, Switzerland: 58-65.

Ruggieri, N., Zinno, R., 2013. *Behaviour of the Borbone Constructive System Under Cyclic Loading. Preliminary Report*. In proceedings of 1st International Conference on Historic Earthquake-Resistant Timber Frames in the Mediterranean Area. Ed. Ruggieri N., Tampone G., Zinno R., Springer

Ruggieri, N., Zinno, R., 2013. *Mechanical and constructive interpretation of the Giovanni Vivencio's model*. In proceedings of 1st International Conference on Historic Earthquake-Resistant Timber Frames in the Mediterranean Area. Ed. Ruggieri N., Tampone G., Zinno R., Springer

Ruggieri, N., 2013. *Timber framing wall in the Italic civilization*. In proceedings of 1st International Conference on Historic Earthquake-Resistant Timber Frames in the Mediterranean Area. Ed. Ruggieri N., Tampone G., Zinno R., Springer

Ruggieri, N., Zinno, R. 2014. *Analisi storica euristica del sistema antisismico Borbonico*. In proceedings of 1st International Conference on the History of Engineering, ed. D'Agostino, S., Fabricatore, G., 410-424, Naples: Cuzzolin.

Ruggieri, N., 2014. *In-plane Cyclic Tests on Historic Timber Framed Wall. Outcomes Comparison*. In proceedings of COST action FP1004 Experimental Research with Timber, ed. Schober, Prague: 56-61.

Ruggieri, N., Zinno, R. 2014, *Seismic Assessment of "Baraccato" System: Constructive Analysis and Experimental Investigations*, in proceedings of 2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology 2014, Istanbul.

Ruggieri, N., Tampone, G., Zinno, R. 2014, *"In-plane vs Out-of-plane "Behaviour" of an Italian Timber Framed System: the Borbone Constructive System. Historical Analysis and Experimental Evaluation"* with G. Tampone and R. Zinno, *International Journal of Cultural Architectural Heritage* - in press

Ruggiero, M., 1885, *Storia degli scavi di Ercolano*, Tipografia dell'Accademia Reale delle Scienze, Napoli.

Rusconi, G., 1660, *Dell'architettura di Giovanantonio Rusconi Nouamente ristampata & accresciuta della pratica del fabricar gl'orologi*, Venetia

Russo, A., 2000, *L'età arcaica l'Enotria*, in Cultura/Archeologia, Consiglio regionale della Basilicata schede di documentazione ufficio del sistema informativo.

Santos, S. 1997. *Tests of Pombalino walls (in Portuguese)*. Lisbon: LNEC. Nota Técnica Nº 15/97-NCE.

Sanvitali, F. (1765). *Elementi di Architettura civile opera postuma*, Giammaria Rizzardi, Brescia.

Sarconi, M., 1784, *Istoria de fenomeni del tremoto avvenuto nelle Calabrie, e nel Vademone nell'anno 1783*, Giuseppe Campo, Napoli.

Sarti, C. (1783). *Saggio di congetture su i terremoti*, Francesco Bonsignori, Lucca.

Schacher T., Ali Q, 2010, Dhajji Construction. For one and two storey earthquake resistant houses. A guidebook for technicians and artisans. United Nations Pakistan, National Disaster Management Authority Pakistan, SUPSI.

Staccioli, R. A., 1989, *Case o templi nei modelli etrusco-italici?* in "Scienze dell'Antichità", nn. 3-4.

Staccioli, R. A., 1980, *Gli Etruschi: mito e realtà*, Newton Compton, Roma.

Tampone G., 1996, *Il restauro delle strutture di legno*, Hoepli, Milano.

Tampone G., Mannucci M., Macchioni N., 2002, *Le strutture di legno. Cultura, conservazione, restauro*, Milano, De Lettera.

Tampone G., 2003, *Il Restauro delle strutture di legno*, in *Trattato sul Consolidamento*, a cura di Paolo Rocchi, Milano, Mancosu.

Tampone G., Derinaldis P., 2006, *Rigidity versus Ductility as an Exception in Timber Structures Planning in a Moderately Seismic Area*, 15th International Symposium and Conference: *Why Save Historic Timber Structures?*, in *Proceedings of the Symposium*, Istanbul.

Tampone G., Derinaldis P., 2007, *The failure of the timber structures caused by incorrect design- execution of the joints. Two cases study*, in *Proceedings of the Int. Symposium "From Materials to Structure: Mechanical Behaviour and failures of the Ancient Timber Structures"*, Florence.

Tampone G., *Mechanical Failures of the Timber Structural Systems*, in *Proceedings of the Int. Symposium: "From Materials to Structure: Mechanical Behaviour and failures of the Ancient Timber Structures"*, Florence, 2007.

Timoshenko S.P., 1953, *History of Strength of Materials*, Mc Graw-Hill Companies, New York.

Tobriner, S., 1983, *La Casa Baraccata: Earthquake-Resistant Construction in 18th-Century Calabria* in *Journal of the Society of Architectural Historians*, Vol. 42, No. 2 (May, 1983), pp.131-138.

Travagini, F., 1673, *Francisci Travagini super observationibus a se factis tempore ultimorum terraemotum ac potissimum ragusiani*, Frankfurt.

Tsakanika-Theohari E. (2008). The constructional analysis of timber load bearing systems as a tool for interpreting Aegean Bronze Age architecture. In: Proceedings of the Symposium 'Bronze Age Architectural Traditions in the Eastern Mediterranean: Diffusion and Diversity', 7-8 May 2008, Munich.

Tsakanika-Theohari E., Mouzakis H. (2010). A post-Byzantine mansion in Athens. Restoration project of the timber structural elements. In Proceedings of WCTE World Conference on Timber Engineering, June 20-24, 2010 Riva Del Garda, Trento, Italy.

Van Musschenbroek P., 1745, Institutiones Physicae conscriptae in usus academicos, Venetiis.

Vasconcelos, G., Poletti, E. 2012. *Seismic Behaviour of Traditional Half Timbered Walls: Cyclic tests and Strengthening Solutions*. In proceedings of International Conference Structural Analysis of Historical Constructions, ed. Jerzy Jasienko, Wroclaw, Poland.

Vasconcelos G., Poletti E., Salavessa E., Jesus A.M., Lourenco P.B., Pilaon P. 2013. *In-plane shear behaviour of traditional timber walls*. Eng Struct;56(0):1028–48.

Vieux-Champagne F, Sieffert Y, Grange S, Polastri A, Ceccotti A, Daudeville L (2014) Experimental analysis of seismic resistance of timber-framed structures with stones and earth infill. Eng Struct 69:102–115

Vieux-Champagne, F., Grange, S., Sieffert, Y., Daudeville, L., Ceccotti, A., and Polastri, A. [2012] "Experimental analysis of seismic resistance of shear wall in traditional Haitian houses," *Proc. of the 15th World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE)*, September 24–28, Lisbon, Portugal.

Vittone, B., A. (1760). *Istruzioni elementari per indirizzo dé giovani allo studio dell'architettura civile*, Agnelli stampatori, Lugano

Vivenzio, G., 1783, *Istoria e teoria de' tremuoti in generale ed in particolare di quelli della Calabria, e di Messina del MDCCLXXXIII*, Stamperia Regale, Napoli.

Vivenzio, G., 1788, *Istoria de' tremuoti avvenuti nella provincia della Calabria ulteriore e nella città de Messina nell'anno 1783 e di quanto nella Calabria fu fatto per lo suo risorgimento fino al 1787*, Stamperia Regale, Napoli.

Wakabayashi, M., 1989, *Progettazione di strutture antisismiche*, Mc Graw Hill Italia, Milano.

Wolfii Christiani (1738). *Elementa Matheseos Universae*, Pellissari & soc., Genevae.

Yeomans, D., 2003, *The Repair of Historic Timber Structures*, Thomas Telford Publishing, London.

Yntema, D., 1990, *Matt-painted pottery of southern Italy*, Galatina.

Norme per le costruzioni, ricostruzioni e riparazioni degli edifici privati, pubblici e di uso pubblico nella regione calabrese e nei comuni della provincial di Messina danneggiati dal terremoto, Regio Decreto 16 settembre 1906, n 511.

Norme edilizie per le regioni colpite dai terremoti del 28 dicembre o anteriori – Relazione della commissione – in Giornale del Genio Civile Rivista dei lavori pubblici, anno XLVII – 1909.

Eurocode 1 [2002] EN 1991-1-1:2002. *Eurocode 1: Actions on Structures – Part 1-1: General Actions– Densities, Self-Weight and Imposed Loads*, CEN, Brussels.

Eurocode 5 [2004] EN 1995-1-1:2004. *Eurocode 5: Design of Timber Structures - Part 1-1: General-Common Rules and Rules for Buildings*, CEN, Brussels.

Eurocode 8 (2004). EN 1998-1-1:2004. Eurocode 8: Design of structures for earthquakeresistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, CEN, Brussels

Vocabolario etimologico della lingua italiana di Ottorino Pianigiani, Società editrice Dante Alighieri di Albrighi, Segati, 1907

APPENDICE

INSPECTION REPORT TEMPLATE²²⁴

	<p>BUILDING GENERAL FEATURES :</p> <p>Name</p> <p>Address</p> <p>Seismic classification area</p> <p>Property</p> <p>Authority for the preservation of the Monuments</p> <p>Mainly constructive phases</p> <p>Planner</p> <p>Executor</p> <p style="padding-left: 40px;">-Dimension:....</p> <p style="padding-left: 80px;"><input type="checkbox"/> Plane regularity</p> <p style="padding-left: 80px;"><input type="checkbox"/> Height regularity</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Property (private or public) - Dimension (length, width, height, number of floors) - Plane/height regularity (relative to geometric and resistant elements distribution) - HIERARCHIC ORGANIZATION Structural system – Unit - Member
	<p>ROOF AND FLOOR FEATURES :</p> <p style="padding-left: 40px;"><input type="checkbox"/> Flat roof</p> <p style="padding-left: 40px;"><input type="checkbox"/> Slope roof</p>	

²²⁴ Rappresenta il risultato di una ricerca svolta dall'autore durante il dottorato, come membro di E-COST ACTION FP1101 / WG1 Assessment of timber structures, Task Group 1 "Synthetic methods for the assessment of historical/existing timber structures".

	<p><u>Arrangement</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Trusses <input type="checkbox"/> Beam and joists <p>Material</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Timber <input type="checkbox"/> R.C. <input type="checkbox"/> Steel <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Bracing system <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> In plane roof <input type="checkbox"/> Perpendicular trusses <input type="checkbox"/> Ring <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Roof <input type="checkbox"/> Inter-storeys <p>Material</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Timber <input type="checkbox"/> R.C. <input type="checkbox"/> Steel 	
	<p>FOUNDATION FEATURES :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Continue <input type="checkbox"/> Punctual <p>Material</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Masonry 	

	<input type="checkbox"/> Timber <input type="checkbox"/> R.C. <input type="checkbox"/> Steel	
	<p>TIMBER FRAMES CONFIGURATION</p> <p>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 3D structural system response <input type="checkbox"/> 2D structural system response <p style="padding-left: 40px;"><u>Placed</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> perimeter building <input type="checkbox"/> Inner building <input type="checkbox"/> Inner and perimeter <p style="padding-left: 40px;"><u>Type</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Timber frame (half-timbered wall) <input type="checkbox"/> Masonry reinforced with timber frames <p style="padding-left: 80px;">-Dimension and span:...</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Double timber frame <p style="padding-left: 80px;">-Connected each one:....</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> One timber frame <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> in the middle of the wall <input type="checkbox"/> external part of the wall 	

	<input type="checkbox"/> internal part of the wall <u>In-plane stiffness</u> <input type="checkbox"/> Wooden bracings <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Saint Andrew crosses <input type="checkbox"/> Other <input type="checkbox"/> Masonry bracing <input type="checkbox"/> Mud and bamboo laths <input type="checkbox"/> Branches <input type="checkbox"/> Wattle and daub <input type="checkbox"/> Other	
	<p>JOINTS :</p> <p><u>Between timber frames and...</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Inter storey floor <input type="checkbox"/> Roof <input type="checkbox"/> Foundation <input type="checkbox"/> Orthogonal frame <input type="checkbox"/> Masonry leaf <p>-<u>Among frame members</u> :.....</p> <p>-<u>Among bracing members</u> :.....</p> <p><u>With the aid of...</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Nails <input type="checkbox"/> Stirrup 	<ul style="list-style-type: none"> - Types of Joints/frame member/ bracing member etc. (Half lap; Tenon and mortise; simple over position....)

	<input type="checkbox"/> Strip <input type="checkbox"/> Other metallic devices	
	<p>MATERIAL PROPERTIES :</p> <p><u>Wood Taxon</u></p> <input type="checkbox"/> Oak <input type="checkbox"/> Chestnut <input type="checkbox"/> Spruce <input type="checkbox"/> Larch <input type="checkbox"/> Fir <input type="checkbox"/> Pine <input type="checkbox"/> Unknown/other <p>-Moisture content :..... -Dating :..... -Strength class:.....</p> <p><u>Masonry infill</u></p> <p>-Mortar :..... -Stone/brick :.....</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Wood species (identification procedure) - Dating (Dating procedure) - Strength class (visual analyses; sclerometer; ultrasonic test....)
	<p>MATERIAL DEGRADATION :</p> <p><u>Environment</u></p> <p>-Humidity :..... -Temperature:.....</p> <p><u>Fungi decay</u></p> <input type="checkbox"/> Member	<ul style="list-style-type: none"> - Fungi decay (Rot types, brown or white) - degree: MODERATE, relative to fungi attack deep: $\leq 1-2$ mm ; relative to Isopteran attack

	<input type="checkbox"/> Joint - Degree <input type="checkbox"/> Chromatic variation <input type="checkbox"/> Moderate <input type="checkbox"/> Severe -Extension <u>Insects attack</u> <input type="checkbox"/> Member <input type="checkbox"/> Joint <input type="checkbox"/> Beetles - Extension <input type="checkbox"/> Isopteran - Degree <input type="checkbox"/> Moderate <input type="checkbox"/> Severe - Extension <input type="checkbox"/> Unknown - Extension -Reduction of resistant section	deep \leq 1 mm - indicate if different modes occur Quantify the resistant residual section after the biotic attack
--	--	--

	<p>:.....</p> <p><input type="checkbox"/> Corrosion of metal part</p>	
	<p>MECHANICAL DEGRADATION</p> <p>:</p> <p><u>Timber frames wall</u></p> <p><input type="checkbox"/> Overturning</p> <p><u>Timber frames member</u></p> <p><input type="checkbox"/> Transversal element crack</p> <p><input type="checkbox"/> Longitudinal element crack</p> <p><input type="checkbox"/> Tear</p> <p><input type="checkbox"/> Splitting</p> <p><input type="checkbox"/> Sliding</p> <p><input type="checkbox"/> Perpendicular compression (inelastic deformation)</p> <p><input type="checkbox"/> Other deformation</p> <p><input type="checkbox"/> Displacement (translation/rotation)</p> <p><input type="checkbox"/> Delamination (Deflection)</p> <p><u>Infill frame</u></p> <p><input type="checkbox"/> Detachment of the infill from the frame</p>	

	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Expulsion of masonry elements <input type="checkbox"/> Cracks along the bedjoints <input type="checkbox"/> Mutual sliding of the stones <input type="checkbox"/> Leaf wall overturning <p style="text-align: center;"><u>Joints</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Cracks <input type="checkbox"/> Splitting <input type="checkbox"/> Sliding <input type="checkbox"/> Perpendicular compression (inelastic deformation) <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Disconnection <input type="checkbox"/> Yielding of the nail and embedment of the wood <input type="checkbox"/> Pull out of the nails 	
	<p>Failure mode</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Due to loss of stability <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Member <input type="checkbox"/> Joint <input type="checkbox"/> Infill frame <input type="checkbox"/> Masonry leaf <input type="checkbox"/> By excessive deformation 	

	<input type="checkbox"/> Member <input type="checkbox"/> Joint <input type="checkbox"/> Infill frame <input type="checkbox"/> Masonry leaf <input type="checkbox"/> Loss of equilibrium <input type="checkbox"/> Rupture <input type="checkbox"/> other	
	<p style="text-align: center;">Causes</p> <input type="checkbox"/> Poor initial design <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Structural <input type="checkbox"/> Durability <input type="checkbox"/> Poor construction <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Quality of the material <input type="checkbox"/> Seasoning <input type="checkbox"/> Details <input type="checkbox"/> Overloading <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Vertical loads <input type="checkbox"/> Wind <input type="checkbox"/> Earthquakes <input type="checkbox"/> Settlement 	

	<input type="checkbox"/> Change of load conditions <input type="checkbox"/> Change of structural configuration <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Load path <input type="checkbox"/> Stiffness improvement -Environmental factors:..... <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Fire <input type="checkbox"/> Thunderbolt <input type="checkbox"/> Other 	Environmental factors (poor maintenance)
	<p style="text-align: center;">Anamnesys:</p> -Consolidation intervention:..... -Seismic repair:..... -Seismic strengthening:..... <input type="checkbox"/> Alteration <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Structural configuration <input type="checkbox"/> Aesthetics 	how many interventions and where
	<p style="text-align: center;">Seismic and static vulnerability tools:</p> -Numerical data:..... -In situ evaluation (non destructive/semi destructive/destructive tests):..... -Experimental investigation:.....	

	Reference/source:	

Scheda di rilievo applicata ad un caso studio

COST ACTION FP1101 / WG1 Assessment of timber structures
Task Group 1 “Synthetic methods for the assessment of
historical/existing timber structures”

Historic Timber Frames Inspection Report Template *Bishop’s building in Mileto, Italy. A case study*

Nicola Ruggieri _University of Calabria

Inspection report template: HISTORIC TIMBER FRAMES

Nicola Ruggieri _University of Calabria

Building general features

Name Palazzo del Vescovo
Address Via Duomo– Via Ospedale; Mileto; Calabria region; Italy
Seismic classification area Zone 1 (Italian Code)
Property Private
Authority for the preservation of the Monuments Not protected
Mainly constructive phases End of the XVIII C. and XIX C.
Planner Unknown
Executor Unknown
Dimension: One floor beside basement. The length is about 50 mt and the width approximately 15 mt; the height is 5,5 mt
Plane regularity A “C” shape development
Height regularity Yes



Roof and floor features

<p>Flat roof Slope roof X</p> <p>Arrangement Trusses X Beam and joists</p> <p>Material Timber X R.C. Steel</p> <p>Ring Roof X Inter-storeys X Material Timber X R.C. Steel</p> <p>Bracing system In plane roof Perpendicular trusses X</p>	 
--	---

Foundation features

<p>Continue X Punctual</p> <p>Material Masonry X Timber R.C. Steel</p>	
--	--

Timber frames configuration

3D structural system response X
 2D structural system response
Placed
 perimeter building
 Inner building
 Inner and perimeter X
Type
 Timber frame (half-timbered wall)
 Masonry reinforced with timber frames X
 Dimension and span: The width of the wall is :
 3 mt and 5 mt

Double timber frame Only horizontal elements
 Connected each one: No connections

One timber frame X
 in the middle of the wall
 external part of the wall
 internal part of the wall X

In-plane stiffness
 Wooden bracings
 Saint Andrew crosses
 Other

Masonry bracing X
 Mud and bamboo laths
 Branches
 Other



Joints

Between timber frames and...
 Inter storey floor: by means of a beam indentation
 Roof : by means of a beam indentation
 Foundation: Simple over position
 Orthogonal frame: Unknown
 Masonry leaf : Simple over position

Among frame members : half lap joint
Among bracing members :.....

With the aid of...
 Nails X relative to timber frames element
 Stirrup
 Strip
 Other metallic devices



Material properties

Wood Genus

Oak
 Chestnut X
 Spruce
 Larch
 Fir
 Pine
 Unknown/other
 Moisture content : Unknown
 Dating: End of XVIII C.
 Strength class: III (UNI 11119)



Masonry infill

Mortar: The mortar is predominantly composed by granite and carbonate rocks chips with average dimension about 2 mm; the binder level was about 55% compared to the overall mortar and the inert presence was approximately the

40%.

Stone/brick: The rock is calcilitute (petrographic thin section) with the presence of bricks as wedge

Material degradation

Environment

Humidity : Unknown
 Temperature: Unknown

Fungi decay

Member Brown Rot with peculiar cross and longitudinal grain cracking *Serpula lacrimans* (house fungus) *basidiomyceti* class, *meruliaceae* family (Visual analyses)

Joint

Degree

Chromatic variation
 Moderate
 Severe X
 Extension two posts and horizontal elements

Insects attack

Member The beam on the top of the lintel
 Joint
 Beetles
 Extension limited area
 Isopteran
 Degree
 Moderate
 Severe
 Extension
 Unknown
 Extension



Reduction of resistant section: In some cases the remaining wood is little more than powder as for example at the lower horizontal element of the window square and at the post fastened to the floor beam

Corrosion of metal part X

If damage has occurred in more than 1 wall, please duplicate the [page](#)

Mechanical degradation

Timber frames wall
 Overturning X (incipient)

Timber frames member
 Transversal element crack
 Longitudinal element crack
 Tear
 Splitting
 Sliding
 Perpendicular compression (inelastic deformation)
 Other deformation
 Displacement (translation/rotation)

Infill frame
 Detachment of the infill from the frame
 Masonry expulsion
 Cracks along the bedjoints
 Sliding of the stone
 Leaf wall overturning

Joints
 Cracks
 Splitting X
 Sliding
 Perpendicular compression (inelastic deformation)
 Disconnection
 Yielding of the nail and embedment of the wood
 Pull out of the nails



If damage has occurred in more than 1 wall, please duplicate the [page](#)

Failure modes

INCIPIENT OVERTURNING OF THE WALL

Due to loss of stability
 Member
 Joint
 Infill frame
 Masonry leaf

By excessive deformation
 Member
 Joint
 Infill frame
 Masonry leaf

Loss of equilibrium X

Rupture

Other

If damage has occurred in more than 1 wall, please duplicate the [page](#)

Causes

INCIPIENT OVERTURNING OF THE WALL

Poor initial design
 Structural
 Durability

Poor construction
 Quality of the material
 Seasoning
 Details

Overloading
 Vertical loads
 Wind
 Earthquakes
 Settlement X

Change of load conditions

Change of structural configuration
 Load path
 Stiffness improvement

Environmental factors: The building is in a poor state of maintenance

Fire X
 Thunderbolt
 Other

Failure modes

Joint SPLITTING

Due to loss of stability
 Member
 Joint
 Infill frame
 Masonry leaf

By excessive deformation
 Member
 Joint X The corrosion products and the shape variation of the timber due to the humidity environment cause the splitting of the element
 Infill frame
 Masonry leaf

Loss of equilibrium

Rupture

Other

Causes

Poor initial design
 Structural
 Durability

Poor construction
 Quality of the material X
 Seasoning
 Details

Overloading
 Vertical loads
 Wind
 Earthquakes
 Settlement

Change of load conditions

Change of structural configuration
 Load path
 Stiffness improvement

Environmental factors: The building is in a poor state of maintenance

Fire
 Thunderbolt
 Other

Consolidation intervention

Seismic repair: No
 Seismic strengthening: No
 other

Alteration
 Structural configuration No
 Aesthetics No

If intervention has concerned more than 1 wall, please duplicate the [page](#)

Anamnesys

Seismic vulnerability tools (also relative to static behaviour)

Modelling and calculation:.....

In situ evaluation (non destructive/semi destructive/destructive tests):.....

Experimental investigation: Cyclic Tests on a full scale specimen were performed in Trento in September 2013. The experimental campaign has showed a good response of *casa baraccata* constructive system under cyclic loading (outcomes Ductility; envelope curve; Energy dissipated etc...)

Reference/source: