
L'architettura italiana e i terremoti: la situazione attuale
delle tecniche di conservazione degli edifici storici.
Il progetto ministeriale per “La verifica della sicurezza
sismica dei musei statali”

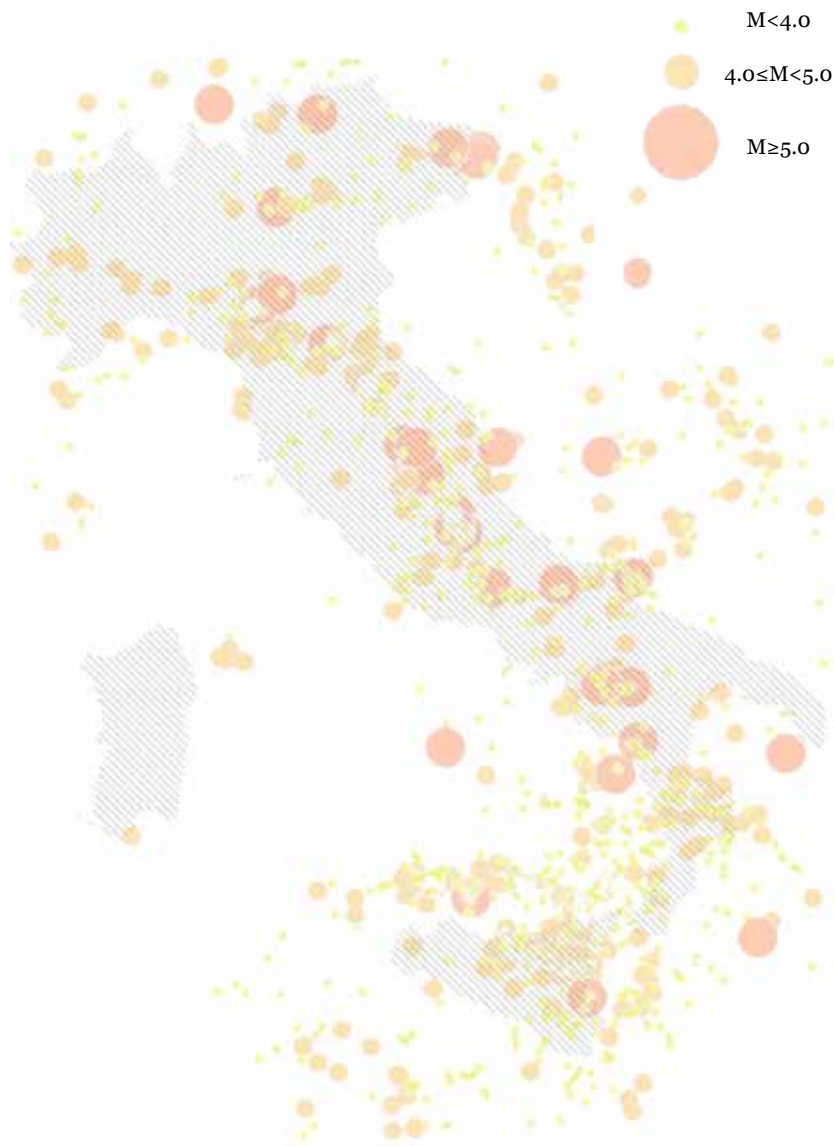
La penisola italiana è percorsa da nord a sud da una linea immaginaria, rappresentante l'incontro tra due grandi placche terrestri, quella africana e quella euroasiatica. La placca africana si muove verso quella euroasiatica al ritmo di qualche millimetro l'anno, e proprio l'Italia è uno di quei luoghi in cui si concentrano gli sforzi e le deformazioni generati dalla collisione dei due blocchi. Questi sforzi si accumulano nella crosta terrestre nel corso degli anni, liberandosi periodicamente sotto forma di terremoti.

Questa sua particolarità ha purtroppo reso l'Italia uno dei paesi al mondo maggiormente coinvolto da eventi sismici, nonché tra i primi in Europa. La maggior parte di questi si sono concentrati nelle Alpi, soprattutto quelle orientali, lungo gli Appennini e nell'arco calabro, cioè proprio in corrispondenza della sopra citata linea. Quindi, sebbene nessuna parte della penisola possa considerarsi completamente sicura dal punto di vista sismico, possono essere identificate aree a rischio maggiore rispetto alle altre. Innanzitutto secondo le caratteristiche geologiche e la conoscenza sviluppata nei secoli a proposito delle modalità di propagazione dei terremoti, poi secondo il principio che più un luogo è stato colpito da terremoti di forte entità in passato, più è probabile che anche in futuro questi lì si possano replicare nella medesima località.

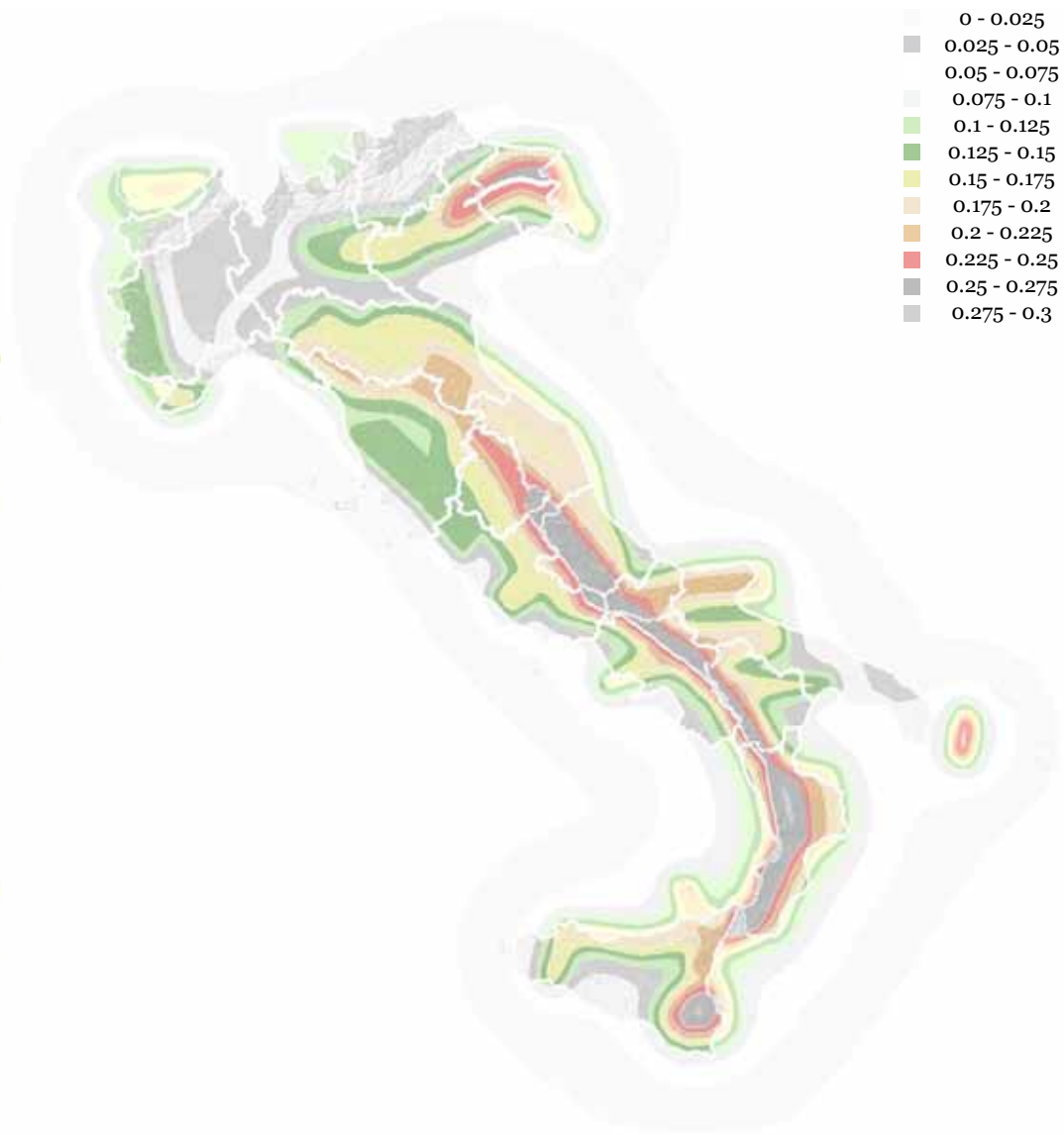
Il centro Italia e il meridione rappresentano secondo questi punti di vista sicuramente le aree più fragili, a causa dei numerosissimi eventi sismici a cui è stata ed è tuttora soggetta, basti pensare al

217 a.c.	6.5	Italia Centrale	10.12.1542	6.6	Siracusano	22.10.1796	5.6	Emilia	30.10.1930	5.9	Senigallia
174 a.c.	6.6	Sabina	11.05.1560	5.6	Barletta	28.07.1799	5.9	Marche	26.09.1933	5.7	Maiella
100 a.c.	5.8	Marche	19.08.1561	6.4	Vallo di Diano	12.05.1802	5.6	Oglio	18.10.1936	6.0	Cansiglio
91 a.c.	6.3	Reggio Calabria	20.07.1564	5.9	Alpi Marittime	26.07.1805	6.5	Molise	03.10.1943	5.9	Marche
76 a.c.	6.6	Reatino	10.09.1584	5.9	Romagna	26.08.1806	5.5	Colli Albani	11.05.1947	5.7	Calabria
56 a.c.	5.8	Marche	06.11.1599	5.8	Val Nerina	02.04.1808	5.7	Valle Pellice	05.09.1950	5.7	Gran Sasso
05.02.62	5.8	Campania	18.03.1624	5.5	Argenta	25.10.1812	5.7	Friuli	21.08.1962	6.2	Irpinia
25.08.79	5.7	Campania	04.04.1626	6.0	Catanzarese	20.02.1818	6.0	Area Etnea	15.01.1968	6.1	Valle del Belice
99	6.3	Sannio	30.07.1627	6.7	Gargano	05.03.1823	5.9	Cefalu'	06.05.1976	6.4	Friuli
101	6.3	Abruzzo	27.03.1638	7.0	Calabria Tirrenica	01.02.1826	5.7	Basilicata	15.09.1976	6.0	Friuli
346	6.0	Sannio	08.06.1638	6.7	Crotonese	09.10.1828	5.7	Valle Staffora	15.04.1978	6.0	Golfo di Patti
361-363	6.6	Stretto di Messina	07.10.1639	5.9	Monti della Laga	13.01.1832	6.1	Umbria	19.09.1979	5.9	Val Nerina
21.07.365	8.0	Sicilia	31.05.1646	6.6	Gargano	08.03.1832	6.5	Crotone	23.11.1980	6.9	Irpinia
375	6.0	Benevento	23.07.1654	6.1	Frusinate	12.10.1835	5.9	Cosentino	07.05.1984	5.9	Abruzzo
443	5.7	Roma	29.01.1657	6.3	Gargano	25.04.1836	6.1	Calabria Settentrionale	05.05.1990	5.8	Basilicata
778	5.8	Veneto	05.11.1659	6.5	Calabria	20.11.1836	5.9	Basilicata	13.12.1990	5.7	Augusta
848	6.0	Sannio	22.03.1661	5.8	Romagna	11.04.1837	5.7	Apuane	26.09.1997	6.0	Umbria – Marche
31.08.853	6.3	Messina	14.04.1672	5.6	Rimini	14.08.1846	5.8	Monti Pisani	09.09.1998	5.7	Pollino
951	6.0	Rossano	11.04.1688	5.8	Romagna	14.08.1851	6.3	Basilicata	06.09.2002	5.8	Palermo
25.10.989	6.0	Irpinia	05.06.1688	6.7	Sannio	12.02.1854	6.1	Cosentino	31.10.2002	5.7	Molise
03.01.1117	6.5	Verona	09.01.1693	6.1	Val di Noto	29.12.1854	5.8	Mar Ligure	26.10.2006	5.6	Tirreno Meridionale
07.06.1125	5.8	Siracusa	11.01.1693	7.4	Sicilia Orientale	16.12.1857	6.9	Basilicata	06.04.2009	6.3	L'Aquila
11.10.1125	5.7	Sannio	08.09.1694	6.8	Irpinia eg Lucania	22.08.1859	-	Norcia	20.05.2012	6.0	Emilia
04.02.1169	6.6	Sicilia Orientale	25.02.1695	6.6	Veneto	04.10.1870	6.1	Cosentino	29.05.2012	5.8	Emilia
24.05.1184	6.0	Valle Crati	11.06.1695	5.7	Lago di Bolsena	12.03.1873	5.9	Marche			
25.12.1222	6.0	Brescia	14.03.1702	6.3	Beneventano	29.06.1873	6.3	Bellunese			
1223	6.0	Gargano	14.01.1703	6.6	Italia Centrale	17.03.1875	5.8	Romagna			
1273	5.8	Potentino	03.11.1706	6.6	Majella	06.12.1875	6.0	Puglia			
01.05.1279	6.3	Marche – Umbria	12.05.1730	5.8	Umbria – Marche	28.07.1883	5.7	Ischia			
04.09.1293	5.9	Sannio	20.03.1731	6.3	Foggiano	23.02.1887	6.3	Liguria Occidentale			
01.12.1298	5.9	Reatino	29.11.1732	6.6	Irpinia	07.06.1891	5.7	Valle d'Ilasi			
03.12.1315	6.0	Abruzzo	24.04.1741	6.0	Marche	16.11.1894	6.0	Calabria Meridionale			
01.12.1328	6.3	Val Nerina	20.02.1743	7.0	Salento	30.10.1901	5.7	Salo'			
09.09.1349	6.6	Lazio-Molise-Abruzzo	07.12.1743	5.7	Calabria	24.02.1904	5.6	Marsica			
25.12.1352	6.0	Val Tiberina	17.04.1747	5.9	Umbria-Marche	08.09.1905	6.9	Calabria			
17.07.1361	6.0	Foggiano	27.07.1751	6.3	Umbria-Marche	23.10.1907	5.9	Calabria Ionica			
18.10.1389	6.0	Alta Val Tiberina	06.10.1762	5.9	Aquilano	28.12.1908	7.1	Stretto di Messina			
1414	5.8	Gargano	14.07.1767	5.8	Cosentino	07.06.1910	5.8	Irpinia			
07.08.1414	5.6	Toscana	19.10.1768	5.8	Romagna	27.10.1914	5.8	Lucchesia			
11.06.1438	5.6	Parmense	10.07.1776	5.8	Carnia	13.01.1915	7.0	Marsica			
05.12.1456	7.1	Abruzzo- Molise – Campania	04.04.1781	5.9	Romagna	17.05.1916	5.8	Romagna			
26.04.1458	5.8	Val Tiberina	03.06.1781	6.2	Marche	16.08.1916	5.9	Romagna			
27.11.1461	6.4	Aquilano	05.02.1783	6.9	Calabria	26.04.1917	5.9	Val Tiberina			
15.01.1466	6.0	Irpinia	07.02.1783	6.5	Calabria	10.11.1918	5.8	Appennino Romagna			
07.05.1481	5.6	Lunigiana	28.03.1783	6.9	Calabria	29.06.1919	6.1	Mugello			
11.08.1483	5.7	Romagna	10.03.1786	6.0	Golfo di Patti	07.09.1920	6.4	Lunigiana – Garfagnana			
05.06.1501	5.9	Appennino Modenese	25.12.1786	5.7	Romagna	26.12.1927	5.0	Lazio, Colli Albani, Roma			
25.02.1509	5.6	Calabria Meridionale	30.09.1789	5.8	Val Tiberina	07.03.1928	5.8	Calabria Centrale			
26.03.1511	6.5	Friuli-Slovenia	13.10.1791	5.9	Calabria Centrale	27.03.1928	5.8	Carnia			
13.06.1542	5.9	Mugello	07.06.1794	6.0	Carnia	23.07.1930	6.7	Vulture – Irpinia			

1.1. *Rassegna dei maggiori eventi sismici documentati che hanno coinvolto la penisola italiana, con relativa data e magnitudo*



1.2. *Eventi sismici di magnitudo superiore a 4.0 nel periodo 1981-2011*



1.3. *Mappa della pericolosità sismica, espressa in accelerazione massima del suolo*



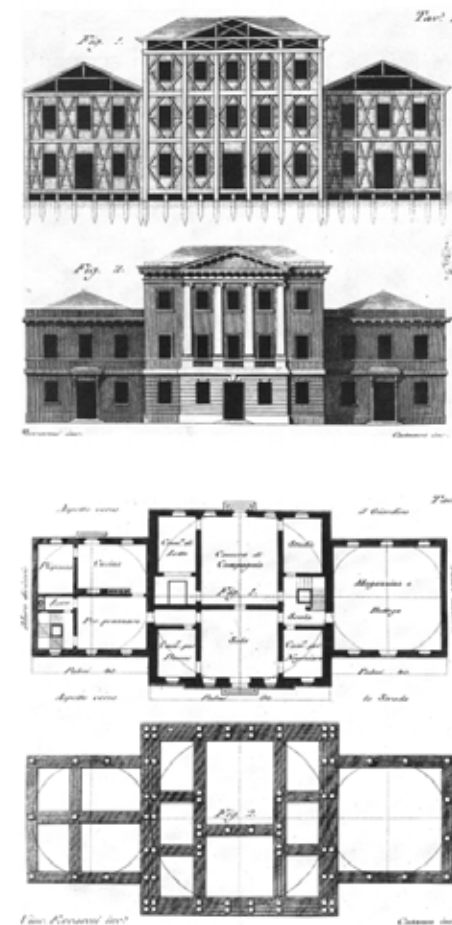
1.4. *Illustrazioni dell'epoca ai danni causati sugli edifici dal terremoto della Calabria e della Sicilia del 1783*

recente sisma del 2009 a L'Aquila. Non è una coincidenza perciò che le prime normative antisismiche nel campo dell'architettura siano state sviluppate proprio qui, è più precisamente in corrispondenza dell'antico Regno delle Due Sicilie.

L'evento scatenante corrispondeva al lunghissimo e violento periodo sismico che devastò la Calabria e la Sicilia nordorientale dal 5 febbraio al 28 marzo 1783. In questo lasso di tempo si registrarono cinque scosse maggiori (5-6-7 febbraio e 1-28 marzo) e centinaia di scosse minori nei periodi intermedi. Dal 5 al 6 febbraio le scosse si concentrarono nella zona dello Stretto di Messina e dell'Aspromonte, per poi spostarsi nell'area compresa tra il Golfo di Sant'Eufemia e quello di Squillace. La notizia delle prime scosse impiegò dieci giorni ad arrivare a Napoli, capitale dell'allora Regno Borbonico; tuttavia, non appena questo avvenne, il re Ferdinando IV di Borbone nominò immediatamente il conte Francesco Pignatelli Vicario generale delle Calabrie, «con autorità e facoltà ut alter ego sopra tutti li présidi, tribunali, baroni, corti regie e baronali e qualsísiano altri uffiziali politici di qualunque ramo qualità e carattere, come altresì sopra tutta la truppa tanto regolare quanto di milizie». A questi vennero affidati 100.000 ducati e il compito di prestare i primi soccorsi ma soprattutto di coordinare la progettazione della ricostruzione delle zone colpite dal sisma. Insieme a lui vennero mandati una squadra di scienziati della Reale Accademia delle Scienze e Belle Lettere di Napoli, oltre ad altri diversi scienziati dai maggiori stati europei, tra cui il famoso Déodat de Dolomieu. Dalle esperienze di questi venne redatto l'Istoria de' Fenomeni del Tremoto avvenuto nelle Calabrie, e nel Valdemone nell'anno 1783, pubblicata nel 1784 e curata da Michele Sarconi, con allegato l'Atlante iconografico redatto dagli architetti Pompeo Schiantarelli e Ignazio Stile. Il resoconto del terremoto fu impressionante: la morfologia del territorio ne uscì profondamente mutata, con intere colline che scivolarono a valle trascinando con loro i centri abitati; estesi tratti di costa furono investiti da uno tsunami con onde alte tra i 6 e gli 8 metri avvenuto nella notte tra il 5 e il 6 febbraio; oltre 30000 persone morirono per effetto dei terremoti e del maremoto, altre 5000 negli anni successivi a causa di carestie e malattie; gli effetti sulle architetture furono ugualmente devastanti, con 182 centri abitati completamente rasi al suolo. L'impatto dell'evento fu enorme, sia all'interno del Regno che a livello europeo: ci si rese conto dell'inadeguatezza dei precedenti sistemi costruttivi e urbanistici, e si resero perciò necessari

nuovi modelli da seguire. Vennero così emanate il 20 marzo 1784 le Istruzioni Reali, uno dei primi regolamenti, se non il primo, in Europa riguardanti una progettazione finalizzata alla riduzione del rischio sismico. La scala variava da quella della città in generale a quella del singolo edificio: intere città, tra cui le più famose Messina, Mileto, Reggio Calabria e Palmi, vennero ricostruite in siti differenti da quelli originari e secondo canoni ben definiti. Le norme appena introdotte infatti proponevano degli assetti urbanistici costituiti da piante impostate secondo schemi regolari, con larghezze delle strade ben definite e regole sulla struttura degli edifici. Ma forse la direttiva più nota riguardò il sistema delle case baraccate: esso consisteva nel suggerimento dell'utilizzo di costruzioni di massimo due piani (in caso di edifici esistenti si consigliava la rimozione dei piani in più), senza balconi o alcun elemento aggettante e con la copertura non spingente; le travi e i solai andavano incatenati alle murature, le quali erano a loro volta rinforzate da un telaio in legno. In realtà sembra che questo tipo di struttura fosse già stato introdotto nel 1627 in seguito ad un altro terremoto che aveva interessato alcune zone della Campania e della Puglia; in quel caso si parla di un sistema baraccato alla beneventana, con un'intelaiatura lignea fissata ad un basamento in muratura e tamponata con materiali leggeri, come canne e legname, legati con malta e rivestiti da intonaco. In ogni caso questo sistema si rivelò vincente, tanto che in seguito al terribile terremoto di Reggio e Messina del 1908 le case in cui questo era stato utilizzato reagirono, nonostante la gravità dell'evento, in maniera ottima, mostrando lesioni solo ai piani superiori. Il più celebre in questo caso fu il Palazzo Vescovile di Mileto, che viene tuttora studiato come modello di efficacia del sistema baraccato.

Da questo momento in poi, in coincidenza dei maggiori eventi sismici, si assistette a continue azioni normative nel tentativo di arginare i loro effetti sulle costruzioni. Nel 1859 per esempio, in seguito al terremoto dello stesso anno a Norcia e a quello di due anni prima in Basilicata, il papa Pio IX, ultimo sovrano dello Stato Pontificio, formulò un vero e proprio regolamento edilizio, fissando: un'altezza massima degli edifici, pari a 8,5 metri; uno spessore minimo delle murature sia interne che esterne, pari a 60 centimetri; la presenza di una scarpata nelle murature esterne, pari a un ventesimo dell'altezza dell'edificio; l'obbligo di un collegamento tra muri interni ed esterni, in modo da formare una massa unica; il posizionamento di porte e finestre, con un allineamento verticale tra le stesse e una distanza



1.5. Pianta, sezioni e prospetti di un edificio costruito secondo il sistema baraccato, sviluppate da Vincenzo Ferraresi in seguito al terremoto del 1783

minima dagli angoli esterni e dalle tramezzature.

Poi con l'Unità d'Italia i decreti andarono intensificandosi ulteriormente: tra gli altri, nel 1884, in seguito al terremoto di Ischia dell'anno prima, venne promulgato un Regio Decreto che definì il limite di altezza a 10 metri, ma vietò le strutture spingenti e limitò l'aggetto dei balconi a 60 centimetri.

Ma il più importante di questo periodo, e anche il maggiormente codificato, fu sicuramente quello del 18 aprile 1909, successivo ai sismi di Messina e Reggio, il Regio Decreto n. 193 "Norme tecniche ed igieniche obbligatorie per le riparazioni ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati nei luoghi colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 e da altri precedenti elencati nel R.D. 15 aprile 1909 e ne designa i Comuni". Innanzitutto per la prima volta vennero definite delle zone a rischio sismico, alle quali, anche se non direttamente colpite dal sisma in questione, andavano applicate le nuove norme. Quindi vennero definiti ben 36 articoli riguardanti tutte le costruzioni, da quelle completamente nuove a quelle restaurate dopo il sisma. Per le nuove si formularono 24 articoli, secondo i quali per esempio: veniva vietata l'edificazione in siti dove il terreno non fosse sufficientemente solido; veniva prescritto un isolamento spaziale degli edifici con altezza superiore ai dieci metri; veniva definito un interpiano massimo di 5 metri; venivano definite le modalità di esecuzione delle fondazioni, i materiali da utilizzare per le strutture portanti, "gli edifici debbono essere costruiti con sistemi tali da comprendere un'ossatura di membrature di legno, di ferro, di cemento armato, o di muratura armata, capaci di resistere contemporaneamente a sollecitazioni di compressione, trazione e taglio" (art.7); venivano vietate le volte al di sopra del livello del terreno; si regolarizzavano ulteriormente i sistemi baraccati; si prescrivevano dei telai per porte e finestre; si definivano le distanze tra gli edifici e le larghezze delle strade; venivano codificati i calcoli di stabilità e resistenza delle costruzioni, prescrivendo di considerare "le azioni statiche dovute al peso proprio ed al sopraccarico, aumentate di una percentuale che rappresenti l'effetto delle vibrazioni sussultorie" e "le azioni dinamiche dovute al moto sismico ondulatorio, rappresentandole con accelerazioni applicate alle masse del fabbricato nelle due direzioni (lunghezza e larghezza) ed agenti in entrambi i sensi di ogni direzione". Per le ricostruzioni invece andavano applicate tutte le norme riguardanti le nuove costruzioni, ma veniva concesso di edificare nello stesso sito di edifici distrutti, costruzioni di massimo un piano e utilizzando le stesse fondazioni

solo nel caso queste fossero in perfette condizioni. Particolarmente interessanti le norme riguardanti le riparazioni, dato che venivano si permesse le riparazioni degli edifici danneggiati, ma solo secondo strette limitazioni: per esempio bisognava in ogni caso uniformare gli edifici alle norme per le nuove costruzioni, sostituendo tutti quegli elementi che non rispettassero i nuovi standard; quindi in caso di edifici storici, potevano sì essere riparati, a patto che non venissero utilizzati per servizi pubblici ad alta densità come scuole o ospedali; gli edifici non edificati secondo il sistema baraccato andavano “baraccati”, attraverso l’inserimento di un telaio in legno, ferro o cemento armato; gli edifici che presentassero lesioni e fessurazioni diffuse non potevano essere riparati ma andavano demoliti.

Dopo questo decreto seguirono altri decreti minori ma soprattutto varianti al decreto del 1909, tra cui quello del 1916 che quantifica le forze sismiche agenti su un edificio, definendo per esempio che quelle verticali sarebbero state pari a quelle derivanti dal peso proprio e dal sovraccarico maggiorate del 50%, in modo da simulare l’effetto delle vibrazioni sussultorie, mentre quelle orizzontali avrebbero avuto un coefficiente di intensità sismica C pari 0,125 al pian terreno e 0,167 ai piani superiori.

Interessanti anche il Regio Decreto del 3 aprile 1926 e quello del 13 marzo 1927, che per la prima volta stabilirono delle distinzioni da zona a zona, introducendo la seconda categoria sismica: per esempio nelle costruzioni delle aree appartenenti alla nuova categoria venne concessa un’altezza massima di 12 metri e vennero riquantificate le forze sismiche, con una maggiorazione delle spinte verticali limitata al 33% e un C per quelle orizzontali di 0,1 al pian terreno e 0,125 ai piani superiori. Nel Regio Decreto del 25 marzo 1935 si obbligano i Comuni delle località colpite da terremoti a costituire un proprio regolamento edilizio, caratterizzando ancora di più le norme a seconda delle diverse situazioni urbanistiche e delle diverse tecniche costruttive utilizzate. Con quello del 22 Novembre 1937 si ridusse ulteriormente la quantificazione delle azioni sismiche, portando le azioni verticali da 50 a 40% per la prima categoria e da 33 a 25% per la seconda, mentre portando il C di quelle orizzontali a 0,1 per la prima categoria e a 0,07 per la seconda categoria. Il 25 novembre 1962 le azioni orizzontali vennero ridotte ulteriormente in caso di condizioni geologiche favorevoli, mentre quelle verticali vennero totalmente eliminate, fatta eccezione per gli elementi aggettanti. Tra il ‘67 e il ‘71 vennero promulgati regolamenti più specifici, riguardo le fondazioni (6 novembre 1967), le costruzioni con strutture prefabbricate (11

agosto 1969), le costruzioni in conglomerato cementizio armato, anche precompresso, ed a struttura metallica (5 novembre 1971).

Il 2 febbraio 1974 si ebbe una piccola rivoluzione a livello normativo, con la legge n. 64 che stabilì l'istituzione di un regolamento sismico nazionale completamente nuovo: al Ministero dei lavori pubblici venne chiesto di elaborare nuove norme tecniche riguardanti edifici pubblici e privati, di concerto con il Ministero dell'interno, il Consiglio dei lavori pubblici e il Consiglio Nazionale di Ricerca (CNR); inoltre ebbe l'incarico di modificare le suddette norme ogni qual volta venissero fatte nuove scoperte nel campo dei fenomeni sismici. Quindi gli fu affidata la riclassificazione delle località dal punto di vista sismico, da effettuare ogni qual volta nuovi eventi fossero occorsi. I primi risultati si videro già con il Decreto del 3 marzo del 1975: tra le altre cose vennero rivisti i criteri di progettazione delle fondazioni, le altezze degli edifici, illimitate nel caso di edifici in cemento armato o in acciaio; vennero cambiati i coefficienti di proporzionalità e di distribuzione per le forze sismiche, introdotti nuovi coefficienti di riduzione dei sovraccarichi e concessa la possibilità di effettuare analisi di tipo statico o dinamico. Queste norme costituirono la base di lavoro per moltissimi altri provvedimenti e decreti, con continui aggiornamenti e integrazioni nel corso degli anni (per esempio con il Decreto Ministeriale del 12 febbraio 1982, quello del 19 giugno 1984, del 12 dicembre 1985, altri vari nel 1987, del 4 maggio 1990, del 4 marzo 1996).

I grandi terremoti che colpirono il suolo italiano, in Friuli nel 1976 e in Irpinia nel 1980, aprirono una lunga stagione di decreti e nuovi regolamenti, che uscirono con una frequenza quasi annuale. Per esempio il 20 giugno 1977, con le norme per il recupero degli edifici in Friuli Venezia Giulia, venne introdotto il metodo di calcolo POR per valutare la risposta alle azioni orizzontali di edifici in muratura. Con il Decreto del 7 marzo 1981 vennero riclassificate le zone sismiche in Campania, Puglia e Basilicata, secondo un nuovo metodo di indagine per la prima volta di tipo probabilistico, che vide la nascita della terza categoria sismica, minore alle due precedenti (C pari a 0,04). Nello stesso anno uscirono diversi altri Decreti e leggi riguardanti le regole da seguire per la ricostruzione, riparazione e il rafforzamento degli edifici nelle zone terremotate l'anno prima. Nel 1984 venne classificata la sismicità di alcune zone in Lombardia, e inoltre venne introdotto dal Decreto del 19 giugno un aggiornamento del Decreto del

1975, che prevedeva una protezione sismica maggiore per gli edifici con importanza strategica e per quelli a particolare rischio d'uso.

Dopo diversi anni di azioni legislative minori, nel 1996 vennero effettuate modifiche sostanziali ai Decreti del '74 e '75, con la promulgazione del Decreto Ministeriale del 16 gennaio: venne concessa la possibilità di adottare il metodo di verifica agli stati limite oltre a quello delle tensioni ammissibili, e introdotto il coefficiente di riposta R a seconda del periodo di realizzazione della struttura oggetto dei calcoli per la definizione delle forze sismiche.

Dopo i terremoti nell'Umbria e nelle Marche del 1997 furono promulgati per due anni diversi Decreti riguardanti i provvedimenti necessari per la risoluzione dello stato d'emergenza delle due regioni, senza che però i regolamenti necessari venissero modificati; l'unica azione degna di nota è il passaggio di consegne dal Ministero dei lavori pubblici alla Protezione Civile per quanto riguarda la classificazione delle zone sismiche.

Nel 2003 si assistette ad un altro evento importante, l'adeguamento del sistema agli Eurocodici attraverso l'OPCM n. 3274 del 20 marzo: fu reso obbligatorio il calcolo semiprobabilistico agli stati limite e le analisi dinamiche con lo spettro di risposta. Tutta l'Italia venne definita come sismica, definendo però l'esistenza di quattro categorie di classificazione; venne data la possibilità alle Regioni di imporre l'uso della progettazione antisismica. Inoltre per la prima volta vennero racchiuse in un documento le norme tecniche riguardanti la quasi totalità delle tipologie costruttive; tra queste particolarmente importanti quelle riguardanti le infrastrutture e gli edifici strategici, di cui venne richiesta una verifica dal punto di vista della vulnerabilità sismica in cinque anni.

Prima di procedere con le normative più recenti, è utile procedere con una breve digressione. Infatti, fino a questo momento, si è potuto notare come nelle norme riguardo le costruzioni ci si sia sempre limitati a distinzioni riguardo le caratteristiche tecniche, morfologiche e funzionali, e non si sia mai considerato in maniera specifica il valore storico dell'edificio. In molti casi le ricostruzioni avvenute hanno causato la perdita di eredità architettoniche importanti, rappresentate dalle diverse identità che i centri storici vanno a costituire. Le esigenze della sicurezza hanno quasi sempre prevalso su quelle della conservazione, soprattutto a causa delle tecniche disponibili al tempo che rendevano inconciliabili le due cose. Anche quando si optava per un mantenimento dell'edificio originario, molto spesso ci si limitava ad uno "svuotamento più o meno integrale della scatola edilizia" e ad una "ricostruzione con tecniche e tecnologie proprie del cantiere moderno"¹.

1. A.A.V.V., *Manuale del recupero della Città di Castello*, DEI, Roma 1988

Il non considerare la natura storica di certe costruzioni ha reso gli stessi interventi ritenuti "sicuri" inefficaci, a causa di incompatibilità tra le nuove tecniche e quelle utilizzate in origine. L'introduzione di nuovi materiali e tecniche costruttive si è rivelata in molti casi anche dannosa, soprattutto per quanto riguarda l'utilizzo del cemento armato, che molto spesso ha rappresentato, più che un aiuto, un "peso" per le strutture storiche con comportamenti in caso di sisma completamente diversi (basta pensare al caso dell'Aquila, con le coperture in cemento armato martellanti sulle murature).

La causa di tutto ciò è da cercare anche nella mancanza di conoscenze e studi specifici riguardo alle murature storiche, che sono rimaste fino a poco tempo fa completamente sconosciute ai progettisti e agli altri addetti dell'edilizia, che per comodità preferivano prodotti semplificati che potessero avere maggiori possibilità d'impiego. Così per molto tempo le le strutture storiche sono state considerate nel

campo della tecnica delle costruzioni allo stesso modo delle strutture più moderne dell'era industriale. Tuttavia, dopo i terremoti degli anni '70 in Friuli e quello dell'Irpinia del 1980, molti ricercatori si resero conto come i metodi di studio e di calcolo delle murature fino a quel punto utilizzati, fossero inadatti alle murature tradizionali. Uno dei pionieri di questo cambiamento fu sicuramente Antonino Giuffré, grande esperto di strutture che con il suo "Lecture sulla meccanica delle murature storiche" del 1990 fu tra i primi a codificare queste riflessioni. Egli identifica nell'Opus quadratum romano, a sua volta derivato dei blocchi isodomi greci, il modello fondamentale di ogni muratura. Con i suoi blocchi disposti su filari orizzontali, i giunti verticali sfalsati, e la disposizione alterna e cadenzata di elementi di punta e di fascia, questa tecnica crea un manufatto che presenta la corretta trasmissione dei carichi verticali, una risposta ai carichi orizzontali ortogonali quasi monolitica e soprattutto una "capacità di compiere piccole oscillazioni sotto l'azione sismica mantenendo l'integrità dello spessore". I muri medievali e moderni sono naturalmente diversi, non essendo nella maggior parte dei casi frutto di un progetto anteriore da parte del progettista, ma opera in sito dei mastri muratori. Il loro scopo sarà realizzare un manufatto che, sebbene gli elementi costituenti siano differenti, tenda alla correttezza e alle caratteristiche del Opus quadratum. Il fatto che la muratura sia realizzata a "regola d'arte" e che perciò raggiunga la meccanica esposta nell'Opus Quadratum o no, dipende dalla loro abilità e conoscenza. Nel momento in cui il muro viene realizzato in maniera non conforme, la sua risposta alle spinte esterne sarà diversa da quella ideale, e perciò i modelli di calcolo classici si rivelano inadatti. Basta pensare al momento in cui vengono applicate delle forze orizzontali: se le connessioni interne si rivelano implementate incorrettamente, il muro non reagirà in maniera unitaria, e cederà prima di un muro realizzato a regola d'arte. Giuffré individua perciò la necessità di un modello meccanico differente, da applicare a tutte quelle murature che non rispondono al modello ideale, situazione abbastanza comune vista la relativa impossibilità di una sempre perfetta esecuzione dell'opera muraria. Ormai si rende fondamentale per comprendere la meccanica di ogni muratura comprenderne prima i principi costruttivi, dato che ognuna di esse presenterà caratteristiche proprie derivanti sia dalla tipologia che dalla modalità d'esecuzione. Questa non si presenta come un'operazione particolarmente semplice, dato che "il linguaggio costruttivo si diffonde tra i popoli, acquista connotazioni regionali, si articola in

2. Giovanetti, F., *Manuale del recupero del Comune di Roma*, DEI, Roma 1987

3. D'Antonio, M., *Ita terraemotus damna impedire. Note sulle tecniche antisismiche storiche in Abruzzo*, CARSA, Pescara 2013

accezioni di gergo locale”. Ogni paese e ogni città presenta espressioni architettoniche diverse, derivate dai diversi materiali disponibili, dalla diversa tradizione, dalle condizioni economiche differenti.

Da queste riflessioni nacque l'esigenza di codificare le diverse tradizioni del costruire, in modo da riconoscere gli elementi fondamentali delle costruzioni storiche ed effettuare interventi di recupero il più efficace possibile. Risultato di questa esigenza furono i manuali del recupero, guide contenenti una “ricognizione negli edifici cittadini intesa a riconoscere gli elementi tipici e ricorrenti, con un'attenzione particolare a quelle componenti soggette al massimo rischio di sostituzione e mirando ad evidenziare strutture e apparecchi il più possibile tipici, tralasciando in prima istanza gli elementi eccezionali per far emergere i caratteri dell'edilizia tradizionale nella sua generalità”². Ma soprattutto furono il primo atto di dissociazione dalla tendenza imperante al tempo che promuoveva il recupero funzionale e di riuso degli edifici storici mettendo completamente in secondo piano il problema della conservazione, tendenza tra l'altro indirettamente promossa dalle leggi vigenti allora. Per la prima volta si considera quello della sicurezza sismica un campo non di esclusiva pertinenza dell'ingegneria strutturale, ma invece un qualcosa da affrontare anche secondo le conoscenze sviluppate nei secoli nell'ambito del restauro architettonico. In molti casi, infatti, le tecniche e i materiali utilizzati si rivelano importanti non solo dal punto di vista del valore storico fine a se stesso, ma soprattutto perché essi sono la miglior soluzione possibile: abbiamo visto infatti come il sistema baraccato sia tuttora oggetto di studi vista le altissime prestazioni in caso di terremoto, testate anche nello stesso caso del sisma del 2009. D'Antonio nel suo libro arriva perfino a parlare di “cultura sismica locale”³, intendendo tutte quelle regole e tecniche costruttive non codificate che si sono sviluppate nel corso dei secoli all'interno delle aree soggette ad eventi sismici. Infatti sebbene i primi passi ufficiali verso la ricerca di metodi antisismici si siano visti con il terremoto del 1783, sono rinvenibili tracce negli edifici e nelle città italiane, oltre che in trattati rinascimentali, che portano a pensare che alcuni tentativi siano stati compiuti anche in epoche precedenti. Questi sono stati per lo più risultati diretti dell'osservazione degli effetti dei sismi sugli edifici, accorgimenti effettuati con materiali e tecnologie disponibili caso per caso e tramandati oralmente. Gli stessi accorgimenti e le stesse istruzioni che vennero promulgate alla fine del Settecento furono, magari non totalmente, ma sicuramente parzialmente figlie o imitazioni di questi antichi

1.3 Codici e linee guida

Per molti anni in Italia si assistette ad un relativo immobilismo legislativo non solo per quanto riguarda le costruzioni storiche, ma in generale per le norme antisismiche. Infatti il sopra citato D.M. del 1996 rimase la normativa di riferimento per più di dieci anni, e le uniche modifiche effettuate constarono nell'adeguamento agli eurocodici dei primi anni 2000 con il PCM 3274. Nonostante gli enormi passi avanti compiuti fin dalla fine degli anni '90 per quanto riguarda la conoscenza della meccanica delle murature storiche e non in caso di evento sismico, si permise per molti anni di costruire e restaurare senza particolari accorgimenti in tal senso, provocando perdite considerevoli anche, purtroppo, di vite umane. Gli stessi manuali e le loro evoluzioni rimasero ad uso discrezionale dei progettisti e delle imprese edili.

NTC 2008

Il 14 gennaio 2008 tuttavia, avvenne un profondo cambiamento, con l'emanazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni. Dopo un tentativo fallito nel 2005, con un documento dello stesso tipo che alla fine non entrerà mai in vigore, si raccolsero tutte le norme che fino a quel momento erano state emanate in maniera separata e abbastanza dispersiva con i vari decreti ministeriali. Ma, oltre a ciò, si arriva a considerare tutto il suolo italiano come zona sismica e si rende obbligatoria una verifica sismica degli edifici, introducendo l'obbligo implicito del ricorso agli ormai inevitabili programmi di calcolo. Si codifica inoltre parte di quelle pratiche, suggerite già vent'anni prima nei manuali di recupero, sul

trattamento delle costruzioni esistenti, sebbene non facendo alcuna distinzioni tra edilizia con un certo valore storico e quella di più recente costruzione. Ciò avviene nel capitolo 8, dove vengono infatti definiti “i criteri generali per la valutazione della sicurezza e per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo degli interventi sulle costruzioni esistenti”, dove con costruzione esistente si intende “quella che abbia, al la data della redazione della valutazione di sicurezza e/o del progetto di intervento, la struttura completamente realizzata”. In questo capitolo viene resa obbligatoria una valutazione di sicurezza per tutti gli edifici che siano: oggetto di interventi che interessino la struttura, parzialmente o totalmente; oggetto di interventi che non interessano la struttura ma che comunque interagiscano con essa riducendone le capacità o la rigidità; oggetto di cambi di destinazione d’uso che comportino una variazione dei carichi variabili o della classe d’uso della costruzione; che presentino evidenti danni alla stessa e riduzioni della capacità resistente e/o deformativa; che presentino errori di progetto o costruzione. La valutazione di sicurezza dovrà essere eseguita solo in riferimento agli Stati Limite Ultimi.

Considerando che la costruzione è lo specchio delle conoscenze presenti al tempo della sua realizzazione, e che, oltre a difetti di impostazione e realizzazione o effetti di degrado e modifiche generali, potrebbe essere stata danneggiata da eventi eccezionali non necessariamente manifesti, sarà necessario uno studio della stessa in maniera approfondita, anche attraverso esami strumentali. Andando nello specifico, gli studi dovranno comprendere:

- un’*analisi storico-critica*, intesa come una ricostruzione delle diverse fasi realizzative principali, oltre a tutti gli eventuali interventi di modifica successivi;
- un *rilievo generale dell’edificio*, costituito da un rilievo geometrico dimensionale, costituito da elaborazioni grafiche che descrivano l’organismo edilizio, compresi gli elementi costruttivi principali e le eventuali modifiche avvenute nel tempo e registrate durante l’analisi storica; un rilievo materico, che metta in evidenza anche il degrado; infine un rilievo del quadro fessurativo, mettendo in evidenza eventuali meccanismi di danno;
- una *caratterizzazione meccanica dei materiali*, attraverso l’utilizzo di prove e indagini sperimentali in situ, motivate da un loro effettivo utilizzo nelle verifiche e di cui, nel caso di beni di particolare

- valore culturale e del recupero di centri storici, dovrà essere studiato l'impatto sulla costruzione;
- una *determinazione dei "Livelli di Conoscenza"*, a seconda del livello di precisione e di accuratezza degli approfondimenti sopra riportati, che determineranno a loro volta i "Fattori di Confidenza", ulteriori coefficienti parziali di sicurezza da utilizzare nei calcoli;
 - un *calcolo delle azioni* a cui le strutture sono soggette.

Una volta completata, la valutazione della sicurezza dovrà determinare se la costruzione e/o il suo progetto potranno procedere senza interventi strutturali, oppure se debba essere effettuato un declassamento d'uso o un cambio di destinazione, oppure se sia necessario aumentare o ripristinare la capacità portante. In ogni caso per gli interventi necessari dovranno essere utilizzati solo i materiali inclusi nella normativa o, nei casi di edifici in muratura, è possibile utilizzare lo stesso materiale utilizzato nel progetto originale.

In presenza di azioni sismiche saranno necessarie ulteriori verifiche, considerando in particolar modo la duttilità della struttura, e, di conseguenza, interventi di consolidamento. Dovrà infatti essere verificato che essa sia "in grado di sostenere cicli di sollecitazioni o deformazioni anche dopo il superamento delle soglie di plasticizzazione o di frattura". In tal senso vengono presentate delle procedure di analisi sismica a seconda della natura della struttura, individuando tre categorie principali, cioè muratura, cemento armato o acciaio, e strutture miste. Per le strutture in muratura vengono individuati due tipi di meccanismi, quelli globali, cioè interessanti la struttura nel complesso, e quelli locali, interessanti invece singoli porzioni della costruzione caratterizzate da scarse connessioni con il resto della struttura, e per ognuno dei due tipi di vengono indicati dei metodi di calcolo; "per le tipologie in aggregato, particolarmente frequenti nei centri storici, sono definiti i criteri per l'individuazione delle unità strutturali analizzabili separatamente e per la loro analisi strutturale, tenuto conto della complessità del comportamento, delle inevitabili interazioni con unità strutturali adiacenti e delle possibili semplificazioni apportabili al calcolo". Per quelle in cemento armato o acciaio vengono invece individuati meccanismi duttili, che di solito non portano al collasso della struttura, e quelli fragili, che al contrario possono comportarne il collasso, e anche qui vengono indicati due differenti metodi di calcolo. Per le strutture miste, cioè strutture che presentano elementi di entrambe le categorie

precedenti, viene consigliato di utilizzare, ove necessario, metodi di analisi non lineare. Vengono quindi indicati i criteri e i tipi d'intervento necessari per raggiungere gli standard previsti, dando la priorità alla risoluzione dei meccanismi locali e fragili per migliorare così il comportamento globale. Tutte le fasi del progetto dovranno essere documentate, comprese le fasi post-intervento con una verifica della struttura con determinazione del livello di azione sismica per la quale viene raggiunto lo Stato Limite Ultimo (e anche lo Stato Limite d'Esercizio quando richiesto).

Circolare n.° 617 del 2009

L'anno dopo dell'emanazione delle NTC, e precisamente il 2 febbraio 2009, sopraggiunse una circolare a riferimento delle stesse Norme: "in considerazione del carattere innovativo di dette norme, si è ritenuto opportuno emanare la presente circolare esplicativa che ha cercato di privilegiare, con una trattazione maggiormente diffusa, gli argomenti più innovativi e per certi versi più complessi contenuti dalle Nuove norme tecniche". Viste le numerose novità contenute in esso, venne data particolare attenzione al capitolo 8, quello delle costruzioni esistenti: dal nostro punto di vista, gli approfondimenti più importanti sono quelli presenti nell'appendice 8A, relativi agli ambiti di indagine necessari alla determinazione dei Livelli di Conoscenza negli edifici di muratura. Sebbene già accennate nelle Norme, le operazioni di analisi vengono sintetizzate in tre categorie principali, e cioè Geometria, Dettagli costruttivi, Proprietà dei materiali.

- *Geometria*: in questa categoria rientrano tutte le operazioni di rilievo affrontate nel paragrafo precedente; viene raccomandata la produzione di piante, prospetti e sezioni che mettano in luce tutti gli elementi in muratura, con una particolare attenzione per le volte, i solai, le coperture e le scale, non tralasciando però elementi fondamentali come nicchie, canne fumarie e altre cavità. Viene anche approfondita l'elaborazione delle tavole relative al quadro fessurativo, con la raccomandazione di associare alle diverse lesioni rilevate il relativo meccanismo e deformazione.
- *Dettagli costruttivi*: qui vengono elencati gli elementi architettonici fondamentali che devono essere oggetto di un'indagine il quanto più approfondita possibile; tra questi i diversi collegamenti tra gli elementi, la natura dell'elemento murario, gli elementi resistenti e quelli vulnerabili. Viene

quindi introdotta un'ulteriore classificazione, relativa al grado di approfondimento sia in termini qualitativi che quantitativi delle verifiche effettuate, che potranno essere limitate (*verifiche in-situ limitate*), o esaustive (*verifiche in-situ estese ed esaustive*).

- *Proprietà dei materiali*: reintroducendo il concetto di “regola dell’arte”, viene raccomandata la verifica dell’attinenza della muratura a questo modello ideale, in modo da determinare la sua capacità a “sostenere le azioni statiche e dinamiche prevedibili per l’edificio in oggetto”; sarà inoltre necessaria la caratterizzazione di malte e blocchi, attraverso il loro prelievo in situ. Anche in questo caso viene introdotta una classificazione relativa al livello di approfondimento, anche se in questo caso le categorie vengono portate a tre, con una distinzione tra indagini estese ed esaustive. Le *indagini limitate* dovranno quantomeno riguardare un esame visivo su una porzione significativa della muratura, preferibilmente in corrispondenza degli angoli, in modo da poter effettuare una verifica degli ammorsamenti. Le *indagini estese* dovranno riguardare ogni tipologia di muratura presente nell’edificio, e dovranno comprendere oltre all’esame visivo delle indagini più invasive, come quelle con i martinetti piatti, e indagini meno invasive, come quelle soniche; in caso di chiara e provata corrispondenza, sarà anche possibile effettuare le suddette prove su un’altra costruzione della stessa zona. Le *indagini esaustive* devono comprendere, oltre a tutte le indagini appena elencate, un approfondimento meccanico dei materiali, con per esempio prove di compressione in laboratorio di saggi della muratura; anche in questo caso sarà possibile effettuare le prove su elementi provenienti da edifici corrispondenti della stessa zona.

Secondo i diversi gradi di completezza raggiunti, definiti dalla classificazione ottenuta, sarà quindi possibile determinare i Livelli di Conoscenza, abbreviati spesso in LC, a loro volta divisi in tre categorie:

- *LC1*: rilievo geometrico effettuato, verifiche in situ limitate sia per quanto riguarda i dettagli costruttivi che la proprietà dei materiali;
- *LC2*: rilievo geometrico effettuato, dettagli costruttivi verificati in maniera estesa ed esaustiva, proprietà dei materiali verificate solamente in maniera estesa;
- *LC3*: rilievo geometrico effettuato, dettagli costruttivi verificati in maniera estesa ed esaustiva, proprietà dei materiali verificate in maniera esaustiva.

Il Livello di Conoscenza ottenuto ha una doppia valenza: la prima è quella di andare a determinare i **Fattori di Confidenza**, coefficienti di sicurezza che vanno a “ridurre i valori medi di resistenza dei materiali della struttura esistente, per ricavare i valori da adottare, nel progetto o nella verifica, e da ulteriormente ridurre, quando previsto, mediante i coefficienti parziali di sicurezza”; il loro valore è direttamente correlato ad un LC corrispondente, secondo una tabella *C8A.1.1* riportata nella circolare (vedi *1.6*).

La seconda è quella di determinare la possibilità o meno di utilizzare, se rilevati, i valori di resistenza dei materiali ottenuti durante le prove per le fasi di verifica successive; infatti nel caso di un LC1 o di un LC2, sarà obbligatorio ignorare i valori ottenuti e riferirsi invece a valori tabellari prestabiliti. Questi valori possono essere ottenuti dalla tabella *C8A.2.1* (vedi *1.7*) della circolare, dove sono presenti la resistenza media a compressione e a taglio, il valore medio di elasticità normale e tangenziale, oltre al peso specifico medio della muratura. I valori sono riferiti a una muratura con “malta di caratteristiche scarse, assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, muratura non consolidata, tessitura (nel caso di elementi regolari) a regola d’arte” e priva di fenomeni fessurativi. Nel caso invece che le condizioni della muratura siano migliori o peggiori di quelle appena elencate, sarà possibile applicare dei coefficienti correttivi ai valori di resistenza e di elasticità in maniera diversa a seconda dei casi, secondo la tabella *C8A.2.2* (vedi *1.8*).

Livelli di Conoscenza	Geometria	Dettagli costruttivi	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	Fattori di Confidenza
LC1	Rilievo muratura, volte, solai, scale. Individuazione carichi gravanti su ogni elemento di parete Individuazione tipologia fondazioni. Rilievo eventuale quadro fessurativo e deformativo.	Verifiche in situ limitate	Indagini in situ limitate Resistenza: valore minimo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1	Tutti	1.35
LC2		Verifiche in situ limitate	Indagini in situ estese Resistenza: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1		1.20
LC3		Verifiche in situ estese ed esaustive	Indagini in situ esaustive - CASO A (disponibili 3 o più valori sperimentali di resistenza) Resistenza: media dei risultati delle prove Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 - CASO B (disponibili 2 valori sperimentali di resistenza) Resistenza: se valore medio sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, valore medio dell'intervallo di Tabella C8A.2.1; se valore medio sperimentale maggiore di estremo superiore intervallo, quest'ultimo; se valore medio sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore medio sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – CASO A. - CASO C (disponibile 1 valore sperimentale di resistenza) Resistenza: se valore sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, oppure superiore, valore medio dell'intervallo; se valore sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – CASO A.		1.00

Tipologia di muratura	f_m	τ_0	E	G	w
	(N/cm ²)	(N/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	
	Min Max	Min Max	Min Max	Min Max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc...)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadriati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura <45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2700 3600	810 1080	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	1200 1600	300 400	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300 440	18,0 24,0	2400 3520	600 880	14

1.7.(a fronte) La tabella C8A.1.1 estratta dalla Circolare n° 617 del 2009: Livelli di Conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti valori dei Fattori di Confidenza per edifici in muratura

1.8. La tabella C8A.2.1 estratta dalla Circolare n° 617 del 2009: valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura, riferiti alle seguenti condizioni: malta di caratteristiche scarse, assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, muratura non consolidata, tessitura (nel caso di elementi regolari) a regola d'arte; f_m = resistenza media a compressione della muratura, D_0 = resistenza media a taglio della muratura, E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio della muratura

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc...)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

1.9. La tabella C8A.2.2 estratta dalla Circolare n° 617 del 2009: Coefficienti correttivi dei parametri meccanici (indicati in Tabella C8A.2.1) da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone o ottime; giunti sottili; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; nucleo interno particolarmente scadente e/o ampio; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato. I valori relativi all'intonaco armato sono da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm)

Circolare n.° 26 del 2010

Come detto, le Norme Tecniche del 2008 facevano riferimento agli edifici esistenti, non facendo distinzione tra quelli facenti parte del patrimonio culturale italiano o meno. Per sopperire a questa mancanza nel 2010 è stata emanata una circolare ministeriale denominata “Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineamento alle nuove Norme tecniche per le costruzioni”. Questo documento raccoglie le pratiche necessarie per pervenire ad una conoscenza dell’edificio che permetta una valutazione del livello di sicurezza e i conseguenti interventi di miglioramento sismico, simili a quelle già illustrate nella circolare appena descritta del 2009 ma adattate a questo caso specifico e delicato. La distinzione dai documenti precedenti consta nel fatto che viene considerata come prioritaria la necessità di mantenere un’integrità dell’edificio tale da non diminuire il suo valore artistico e storico, considerando anche le fasi d’indagine e di intervento, pur rispettando gli stessi standard di sicurezza esposti nelle NTC del 2008.

Inizialmente è stato quindi fondamentale ridefinire i requisiti di sicurezza, identificando gli stati limite da rispettare per raggiungere un minimo livello di sicurezza sismica. Tra gli Stati Limite Ultimi, cioè tra quelli da considerare in caso di fenomeni sismici di forte entità, è opportuno riferirsi a quello riguardante la salvaguardia del bene e delle persone (Stato Limite di salvaguardia della Vita o SLV), dato che garantisce non solo l’incolumità degli occupanti dell’edificio, ma anche quella dell’edificio stesso. Tra gli Stati Limite d’Esercizio, cioè quelli atti a limitare i danni in caso di fenomeni meno gravi ma più comuni, è opportuno di norma considerare quello riguardante la funzionalità dell’edificio (Stato Limite di Danno o SLD). Viene inoltre introdotto un nuovo Stato Limite, da considerare in caso di presenza all’interno della costruzione di opere d’arte o altri beni artistici, denominato Stato Limite di danno ai beni Artistici, o SLA; questo è da intendere come quello stato limite che permetta ai sovraccitati beni, in caso di eventi sismici pari a quelli considerati nel calcolo del SLD, di non subire danni non rimediabili attraverso successive opere di restauro.

Quindi vengono illustrati i punti principali del “*Percorso della conoscenza*”, un modello di indagine introdotto dalle Linee guida del 2006 che si attiene alla filosofia di conservazione propria di questo documento. Ci si rende infatti conto come i metodi proposti nelle normative e nelle circolari precedenti

si rivelassero inadatti nel caso di costruzioni storiche, dove la parte investigativa riveste un ruolo ancora più importante: “le problematiche sono quelle comuni a tutti gli edifici esistenti, anche se nel caso del patrimonio culturale tutelato, ancora più importante risulta conoscere le caratteristiche originarie della fabbrica, le modifiche intercorse nel tempo dovute ai fenomeni di danneggiamento derivanti dalle trasformazioni antropiche, all’invecchiamento dei materiali e agli eventi calamitosi; tuttavia, in relazione alla necessità di impedire perdite irrimediabili, l’esecuzione di una completa campagna di indagini può risultare troppo invasiva sulla fabbrica stessa”. Diventa quindi necessario ridefinire gli ambiti di indagine principali in funzione degli obiettivi dettati dalla funzione e dagli interventi necessari. Le categorie, tranne un’unica eccezione, sono quelle già sottoposte nei documenti precedenti, ma vengono qui arricchite con aspetti propri dell’edificio storico, fondamentali per l’integrità di cui si è parlato in precedenza. Bisogna inoltre considerare come le diverse fasi di indagine non debbano essere effettuate in modo sequenziale e indipendente, ma debbano essere parte di un processo organico che dia risultati frutto di azioni complementari tra loro. Possono essere così sintetizzate:

- *Identificazione della costruzione*, intesa come fase preliminare che permetta la ricostruzione di un quadro generale sufficiente a impostare le fasi di indagine principali; in quest’ottica particolare importanza assumono per esempio la localizzazione, l’identificazione degli elementi di pregio e il rapporto con il contesto, soprattutto se l’edificio si trova a far parte di un Complesso Architettonico (in questo caso è opportuno anche descrivere le relazioni con gli edifici concomitanti).;
- *Caratterizzazione funzionale dell’edificio e dei suoi spazi*, intesa come studio dell’evoluzione funzionale nel corso del tempo, fondamentale per interpretare eventuali modifiche strutturali o deformazioni correlate;
- *Rilievo geometrico*, secondo le modalità già descritte nei documenti precedenti;
- *Analisi storica degli eventi e degli interventi subiti*, intesa come la ricostruzione di una cronostoria degli interventi costruttivi e degli eventi traumatici avvenuti nel corso della storia del manufatto; questa parte assume particolare rilievo nell’analisi di un edificio storico, dato che può portare alla luce modelli di comportamento di determinati tipi di struttura in occasione di eventi sismici, permettendo anche l’individuazione delle parti sensibili;

- *Rilievo materico costruttivo e lo stato di conservazione*, inteso come lo studio in termini qualitativi e quantitativi degli elementi costruttivi resistenti dell'edificio, sia per quanto riguarda la natura originale e le connessioni esistenti, sia per quanto riguarda lo stato di conservazione;
- *Caratterizzazione meccanica dei materiali*, intesa come l'insieme di indagini che servano a fornire dati sul comportamento meccanico dei materiali, come per esempio la prova con i martinetti piatti o le prove sclerometriche sulle malte. Visto il carattere distruttivo della maggior parte delle prove attuabili per questi fini, difficilmente sarà possibile effettuare un numero di prove tali da permettere l'utilizzo dei dati ottenuti nelle successive fasi di calcolo per la verifica della sicurezza; nella circolare si invita perciò a restituire quanto prima i dati ottenuti in modo da poter creare una banca dati accessibile da poter utilizzare per questo fine. Fino a quel momento tuttavia si invita ad utilizzare i valori medi già esposti nella circolare del 2009;
- *Aspetti geotecnici*, cioè l'insieme di tutte le informazioni riguardanti il terreno su cui la costruzione è stata edificata, oltre alla ricostruzione tipologica e qualitativa del sistema di fondazione. Questo è sicuramente l'aspetto più innovativo della circolare, dato che in precedenza queste tematiche esercitavano un ruolo secondario nella verifica della sicurezza; in questo caso invece viene posta molta attenzione sul rapporto terreno-struttura, tenendo conto anche dei diversi possibili fenomeni di instabilità del terreno.

Se in precedenza i risultati ottenuti da questa serie di indagini andavano a determinare un Livello di Conoscenza a cui corrispondeva un relativo Fattore di Confidenza, qui il metodo di calcolo di quest'ultimo è cambiato. Infatti ora vengono inizialmente restituiti molteplici Fattori di Confidenza relativi a quattro ambiti di indagine generale, permettendo un livello di precisione maggiore nei calcoli. Viene quindi restituito un valore relativo al livello di completezza di rilievo geometrico (FC_1), dell'identificazione delle specificità storiche e costruttive della fabbrica (FC_2), delle proprietà meccaniche dei materiali (FC_3), dello studio del terreno e delle fondazioni (FC_4). Questi valori saranno consultabili da un apposita tabella (4.1 nella circolare, 1.9 in questa tesi), e dovranno essere sommati secondo la seguente formula in modo da ottenere un unico Fattore di Confidenza:

$$FC=1+\sum FC_k$$

Rilievo geometrico	Identificazione delle specificità storiche e costruttive della fabbrica	Proprietà meccaniche dei materiali	Terreno e fondazioni
Rilievo geometrico completo $FC_1 = 0.05$	Restituzione ipotetica delle fasi costruttive basata su un limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche) $FC_2 = 0.12$	Parametri meccanici desunti da dati già disponibili $FC_3 = 0.12$	Limitate indagini sul terreno e le fondazioni, in assenza di dati geotecnici e disponibilità d'informazioni sulle fondazioni $FC_4 = 0.06$
Rilievo geometrico completo, con restituzione grafica dei quadri fessurativi e deformativi $FC_1 = 0$	Restituzione parziale delle fasi costruttive e interpretazione del comportamento strutturale fondate su: a) limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione e alla verifica delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche, verifica diagnostica delle ipotesi storiografiche); b) esteso rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche) $FC_2 = 0.06$	Limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali $FC_3 = 0.06$	Disponibilità di dati geotecnici e sulle strutture fondazionali; limitate indagini sul terreno e le fondazioni $FC_4 = 0.03$
	Restituzione completa delle fasi costruttive e interpretazione del comportamento strutturale fondate su un esaustivo rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche, eventuali indagini diagnostiche) $FC_2 = 0$	Estese indagini sui parametri meccanici dei materiali $FC_3 = 0$	Estese o esaustive indagini sul terreno e le fondazioni $FC_4 = 0$

1.10. La tabella 4.1 estratta dalla Circolare n° 26 del 2010: Definizione dei livelli di approfondimento delle indagini sui diversi aspetti della conoscenza e relativi fattori parziali di confidenza.

Oltre a nuovo percorso della conoscenza, vengono forniti nuovi metodi di modellazione del comportamento strutturale, adatti ad un genere di edifici come quello delle costruzioni storiche che hanno seguito metodi di costruzione e progettazione diversi da quelli delle costruzioni moderne. Andando nello specifico, possono essere identificati tre livelli di completezza per la verifica sismica (LV1, LV2 e LV3), a seconda del tipo e della scala della valutazione che si intende effettuare: quindi avremmo un livello minore LV1 in caso di valutazioni relative a tutti i beni tutelati e perciò a scala nazionale; un livello intermedio LV2 in caso di valutazioni finalizzate ad interventi locali su solamente alcune porzioni dell'edificio; un livello maggiore LV3 per valutazioni relative a interventi di maggiore importanza e che perciò interessino, se non la struttura complessiva dell'edificio, parti sensibili dello stesso.

Infine vengono elencati tutti i criteri da rispettare in caso di manifeste vulnerabilità del manufatto edilizio oggetto dello studio; vengono quindi proposti alcuni interventi possibili e consigliati, correlati da un'analisi relativa all'efficacia, alle possibili conseguenze sulla conservazione del bene storico e sui costi.

1.4

Il progetto “La verifica della sicurezza sismica dei Musei Statali”

L progetto da cui questa tesi prende spunto, è frutto di una collaborazione tra il Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo (MiBACT) e il Consorzio ReLUIS, atta a verificare la sicurezza sismica di alcuni edifici storici statali, prevalentemente ad uso museale.

La Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica, o ReLUIS, fondata nel 2003, è un consorzio formato da diverse università con il fine di coordinare le diverse attività dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica, “fornendo supporti scientifici, organizzativi, tecnici e finanziari alle Università consorziate e promuovendo la loro partecipazione alle attività scientifiche e di indirizzo tecnologico nel campo dell’Ingegneria Sismica, in accordo con i programmi di ricerca nazionali ed internazionali in questo settore”. Questa azione di coordinamento è fondamentale per permettere una continua collaborazione tra i diversi enti universitari e tra questi ultimi e gli altri attori operanti nell’ambito dell’ingegneria sismica, come le industrie o gli organi nazionali e statali. Il fine ultimo del consorzio è in ogni caso favorire il raggiungimento di importanti obiettivi nella ricerca per lo studio e la riduzione della vulnerabilità sismica.

Queste finalità coincidono con quelle del sovracitato progetto, rinominato “Verifica della sicurezza sismica dei musei statali”, che, attraverso lo studio di alcuni edifici tipo sparsi sul territorio italiano, intende andare ad approntare una metodologia comune e semplificata per lo studio del manufatto storico nell’ambito della vulnerabilità sismica. Partendo dal presupposto che “la prevenzione risulta essere ormai uno strumento obbligatorio da mettere a punto sul territorio nazionale per salvaguardare i beni culturali dalle azioni degli eventi sismici”, si è sentita la necessità di approfondire e aggiornare le

metodologie di verifica strutturale in materia di edifici storici; inoltre si è ritenuto necessario formulare delle proposte per la creazione di un metodo di valutazione non solo dell'edificio in sé ma anche dei beni artistici in esso contenuti.

Tutto ciò dovrà avvenire in conformità e in continua integrazione con le direttive contenute nella circolare 26 del 2010 descritta nel paragrafo precedente, soprattutto per quanto riguarda le fasi di indagine, attraverso il metodo “percorso della conoscenza”. Viene quindi richiesta una parte di studio strutturata su sette punti, che permetta di pervenire a dei Fattori di Confidenza che non dovranno mai essere superiori a 1,2. I sette punti in questione sono i seguenti:

- Caratterizzazione geologica del sito, geotecnica e sismica dei terreni;
- Analisi storico critica;
- Documentazione fotografica;
- Rilievo geometrico;
- Diagnosi sul campo e in laboratorio con una caratterizzazione meccanica dei materiali;
- Analisi dello stato di fatto e del comportamento strutturale con indicazione degli eventuali danni;
- Valutazione dell'impatto degli impianti tecnologici sugli elementi strutturali.

Per quanto riguarda la valutazione della sicurezza strutturale, viene richiesta un'analisi per ciascuno dei tre livelli di completezza. Per quanto riguarda il livello LV1, si invita l'uso di modelli con metodi semplificati e in particolare l'utilizzo del sistema SIVARS, in modo da ottenere una parte di risultati secondo strumenti di calcolo uniformi per tutti i casi oggetto di studio. Per quanto riguarda il livello LV2, si fa riferimento al modello di analisi dei meccanismi locali esposto nella circolare 617 del 2009, con il fine di individuare i possibili interventi da effettuare per la diminuzione della vulnerabilità sismica nel caso dell'attivazione di questo tipo di meccanismi. Infine per quanto riguarda il livello LV3, si chiede una verifica complessiva attraverso l'analisi statica non lineare o analisi pushover, dopo aver garantito un comportamento scatolare della struttura.

In questa tesi ci si è occupati principalmente della fase d'indagine, dato che è stata quella maggiormente seguita dall'autore attraverso una partecipazione attiva sia in fase di indagini in situ che in fase di elaborazione e presentazione dei dati.

Bibliografia di riferimento

D'Antonio, M., "Ita terraemotus damna impedire. Note sulle tecniche antisismiche storiche in Abruzzo", CARSA, Pescara 2013

Giuffré, A., "Letture sulla meccanica delle murature storiche", Kappa, Roma 1990

Vivenzio G., "Istoria de' tremuoti avvenuti nella provincia di Calabria Ulteriore, e nella città di Messina nell'anno 1783, e di quanto nelle Calabrie fu fatto per il suo risorgimento fino al 1787. Preceduta da una teoria, ed istoria generale de' tremuoti", Napoli 1788

Circolare n. 617, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M 14/01/2008», "Gazzetta Ufficiale" n. 47, 26/02/2009

DPCM-2008, "Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri, "Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni", supplemento ordinario n. 25, G.U. n. 24, 29.01.2008

DPCM-2011, "Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle NTC 2008", G. U. n. 47, 26.02.2011

LL. GG. 2010 - Ministero dei Beni e le Attività Culturali, "Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove Norme tecniche per le costruzioni", Circolare n. 26, 23/07/2010

NTC-08, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Ministro dell'interno, Capo della Protezione Civile, Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 14/01/2008, "Gazzetta Ufficiale" n. 29 del 4/02/2008

OPCM – DPC – “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”, n.3274/03, G.U. n. 252, 29/10/2003

A.A.V.V., “Manuale delle murature storiche”, DEI, Roma 2011

Giovanetti, F., Manuale del recupero del Comune di Roma, DEI, Roma 1987

A.A.V.V., Manuale del recupero della Città di Castello, DEI, Roma 1988

Sitografia di riferimento

www.beniculturali.it

ingvterremoti.wordpress.com

www.ivalsa.cnr.it

www.6aprile.it