

CONSULTA LA SCHEDA DEL LIBRO

Pietro Cirone



Dario Flaccovio Editore

Restauro strutturale delle murature

Manuale di riparazione e consolidamento



- Collasso sismico di pareti, tetti, archi e volte ✓
- Progetto di architravi, solai, scale e balconi ✓
- Calcolo di tiranti metallici, di telai cerchianti, di pareti isolate e contro terra ✓
- Diagnosi dei dissesti statici, lavori di riparazione e consolidamento ✓

a mia moglie e ai miei figli

Pietro Cirone

RESTAURO STRUTTURALE DELLE MURATURE

Manuale di riparazione e consolidamento



Dario Flaccovio Editore

Pietro Cirone

RESTAURO STRUTTURALE DELLE MURATURE – Manuale di riparazione e consolidamento

ISBN 978-88-579-0098-8

© 2011 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: settembre 2011

Cirone, Pietro <1949>

Restauro strutturale delle murature : manuale di riparazione e consolidamento / Pietro Cirone. - Palermo :

D. Flaccovio, 2011.

ISBN 978-88-579-0098-8

1. Strutture edilizie – Consolidamento [e] Restauro.

690.24 CDD-22

SBN PAL0235583

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana “Alberto Bombace”

Stampa: Tipografia Priulla, Palermo, settembre 2011

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

INDICE

Premessa

1. Interventi su strutture esistenti. Principi. Indirizzi normativi

1.1.	Nuove norme tecniche per le costruzioni (NTC 2008).....	»	1
1.2.	Vincoli e possibilità delle NTC 2008	»	1
1.2.1.	Intervento di adeguamento.....	»	2
1.2.2.	Intervento di miglioramento.....	»	3
1.2.3.	Interventi locali di riparazione e rafforzamento.....	»	4
1.2.4.	Meccanismi sismici locali di collasso.....	»	7
1.3.	Questioni normative di carattere generale.....	»	8
1.3.1.	Sicurezza e prestazioni.....	»	8
1.3.2.	Requisiti delle strutture	»	9
1.3.3.	Stati Limite in assenza di azioni sismiche	»	10
1.3.3.1.	Stati Limite Ultimi (SLU).....	»	10
1.3.3.2.	Stati Limite di Esercizio (SLE)	»	10
1.3.3.3.	Verifiche.....	»	10
1.3.4.	Stati Limite in presenza di azioni sismiche.....	»	11
1.3.4.1.	Stato Limite di Operatività (SLO).....	»	11
1.3.4.2.	Stato Limite di Danno (SLD)	»	11
1.3.4.3.	Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV)	»	11
1.3.4.4.	Stato Limite di prevenzione di Collasso (SLC).....	»	11
1.3.5.	Vita nominale di un'opera strutturale.....	»	11
1.3.6.	Classi d'uso.....	»	12
1.3.7.	Periodo di riferimento per l'azione sismica e coefficienti d'uso	»	12
1.3.8.	Valutazione di sicurezza delle costruzioni esistenti	»	12
1.3.9.	Analisi storico-critica.....	»	14
1.3.10.	Rilievo geometrico-strutturale	»	18
1.3.11.	Dettagli costruttivi.....	»	19
1.3.12.	Caratterizzazione meccanica e proprietà dei materiali	»	19
1.3.13.	Livelli di conoscenza e fattori di confidenza	»	20
1.3.14.	Azioni.....	»	20
1.3.15.	Combinazioni delle azioni	»	21
1.3.16.	Azioni nelle verifiche SLU	»	21
1.3.17.	Azione sismica e probabilità di superamento degli Stati Limite	»	22
1.3.18.	Parametri sismici su sito di riferimento rigido e orizzontale	»	24
1.3.19.	Risposta sismica locale	»	25
1.3.20.	Spettro di risposta elastico in accelerazione	»	27
1.3.21.	Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali.	»	27
1.3.22.	Spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale ...	»	28
1.3.23.	Spettri di progetto per gli stati limite di esercizio.....	»	28
1.3.24.	Spettri di progetto per gli stati limite ultimi.....	»	28
1.3.25.	Risposta alle diverse componenti dell'azione sismica.....	»	28

1.4.	Elementi strutturali di costruzioni in muratura esistenti. Modelli di capacità per la valutazione di sicurezza.....	»	29
1.4.1.	Generalità.....	»	29
1.4.2.	Modelli di capacità resistente a taglio delle pareti murarie.....	»	30
1.4.3.	Modelli di capacità resistente a compressione delle pareti murarie.....	»	32
1.4.4.	Impiego del “q-factor”. Duttilità muraria.....	»	33
1.4.5.	Rigidezza e resistenza dei solai.....	»	34
1.5.	Analisi dei meccanismi sismici locali di collasso.....	»	34
1.5.1.	Generalità.....	»	34
1.5.2.	Analisi cinematica lineare.....	»	36
1.6.	Elementi strutturali secondari in acciaio.....	»	38
1.6.1.	Materiali.....	»	39
1.6.2.	Valutazione della sicurezza, stati limite e resistenza delle sezioni.....	»	39
1.6.3.	Resistenza di calcolo dell'acciaio.....	»	41
1.6.4.	Criterio di resistenza di Henchy-Mises. Stato tensionale piano in regime flesso/tagliante.....	»	41
1.6.5.	Verifica a deformabilità.....	»	42
1.7.	Elementi strutturali secondari in cemento armato.....	»	43
1.7.1.	Caratteristiche dei nuovi materiali previsti dalle NTC 2008.....	»	43
1.7.1.1.	Acciaio.....	»	43
1.7.1.2.	Calcestruzzo.....	»	44
1.7.2.	Resistenze di calcolo e tensioni di esercizio dei nuovi materiali.....	»	44
1.7.2.1.	Acciaio.....	»	44
1.7.2.2.	Calcestruzzo.....	»	45
1.7.3.	Tensioni ammissibili negli elementi strutturali secondari.....	»	46
1.7.4.	Legami costitutivi di calcolo dell'acciaio e del calcestruzzo.....	»	49

2. Meccanismi locali di collasso

2.1.	Meccanismi cinematicamente ammissibili.....	»	51
2.1.1.	Vincoli piani. Centri di rotazione assoluta.....	»	51
2.1.2.	Catene cinematiche. Centri di rotazione relativa. Teoremi. Diagrammi degli spostamenti.....	»	53
2.2.	Principio dei lavori virtuali nei sistemi olonomi.....	»	58
2.2.1.	Generalità.....	»	58
2.2.2.	Sistemi olonomi ad un grado di libertà.....	»	59
2.2.2.1.	Applicazione di calcolo 2.1.....	»	60
2.2.2.2.	Applicazione di calcolo 2.2.....	»	61
2.3.	Meccanismi locali sismici di collasso murario.....	»	62

3. Collasso sismico locale di pareti

3.1.	Carichi agenti e loro combinazione.....	»	63
3.2.	Meccanismi sismici semplici (singole pareti).....	»	63
3.2.1.	Parete direttamente appoggiata a terra.....	»	64
3.2.1.1.	Generalità.....	»	64
3.2.1.2.	Applicazione. Calcolo parametri sismici.....	»	65
3.2.2.	Parete non direttamente appoggiata a terra (con cerniera di collasso in elevazione).....	»	65

3.2.3.	Calcolo di una catena metallica di presidio ad una parete	»	67
3.2.3.1.	Generalità.....	»	67
3.2.3.2.	Applicazione numerica.....	»	68
3.2.4.	Importanza della tipologia dei vincoli. Scelta della catena cinematica	»	69
3.2.4.1.	Generalità.....	»	69
3.2.4.2.	Applicazione numerica.....	»	74
4. Collasso sismico locale di strutture spingenti			
4.1.	Generalità.....	»	89
4.2.	Influenza della componente sismica orizzontale E_x	»	90
4.2.1.	Applicazione. Arco murario.....	»	91
4.3.	Influenza della componente sismica verticale E_z	»	93
4.4.	Arco murario. Combinazioni sismiche.....	»	94
4.4.1.	Applicazione numerica.....	»	95
4.5.	Collasso delle volte murarie a crociera.....	»	96
4.6.	Collasso dei tetti	»	100
4.6.1.	Applicazione numerica	»	104
5. Interventi locali sugli elementi strutturali secondari			
5.1.	Generalità.....	»	109
5.2.	Travi in materiale omogeneo	»	110
5.2.1.	Trave in acciaio. Comportamento elasto-plastico.....	»	112
5.2.2.	Trave in acciaio. Comportamento plastico (completa plasticizzazione della sezione).....	»	115
5.2.3.	Sezioni in acciaio. Riscontro normativo per il regime flesso/tagliante.....	»	118
5.2.4.	Sezioni in acciaio a doppio T in regime di taglio puro	»	119
5.2.5.	Dominio resistente flesso/tagliante. Sezione in acciaio a doppio T.....	»	120
5.2.6.	Trave in acciaio a doppio T semplicemente appoggiata	»	121
5.2.7.	Mensola in acciaio a doppio T	»	122
5.2.8.	I nuovi acciai da carpenteria (tabella 11. 3. IX – NTC).....	»	123
5.2.9.	Verifiche di travi in acciaio secondo le nuove NTC.....	»	124
5.2.10.	Applicazioni di calcolo	»	124
5.2.10.1.	Sostituzione di un architrave murario in legno con altro realizzato mediante putrelle in acciaio	»	124
5.2.10.2.	Progetto delle putrelle in acciaio di un balcone.....	»	128
5.2.10.3.	Rinforzo di un solaio in legno mediante intervento all'estradosso	»	130
5.2.10.4.	Apertura di un vano in una parete muraria e relativi rinforzi. Telaio cerchante in acciaio	»	137
5.3.	Elementi in cemento armato	»	149
5.3.1.	Resistenza di calcolo dei materiali.....	»	149
5.3.2.	Legami costitutivi tensioni-deformazioni	»	150
5.3.3.	Flessione retta. Sezione rettangolare a semplice armatura	»	151
5.3.4.	Taglio. Trave a sezione rettangolare	»	157
5.3.5.	Applicazioni di calcolo	»	163
5.3.5.1.	Progetto di un architrave in c.a.	»	163
5.3.5.2.	Progetto di un solaio latero/cementizio	»	165

5.3.5.3.	Progetto di una scala in c.a. a soletta rampante	»	170
5.3.5.4.	Verifica di un balcone in c.a. inserito in una parete muraria	»	174

6. Interventi di tipo locale su pareti. Pareti contro terra

6.1.	Generalità.....	»	185
6.2.	Rinforzo di pareti isolate con solai flessibili	»	186
6.2.1.	Meccanismi murari resistenti semplificati	»	186
6.2.1.1.	Rottura per scorrimento	»	188
6.2.1.2.	Rottura per fessurazione diagonale.....	»	189
6.2.1.3.	Rigidezza e capacità di deformazione della parete.....	»	191
6.3.	Pareti contro terra	»	195
6.3.1.	Stati di Rankine.....	»	196
6.3.1.1.	Stato attivo.....	»	196
6.3.1.2.	Stato passivo.....	»	199
6.3.2.	Esempi di calcolo della spinta attiva.....	»	201
6.3.3.	Stato attivo di Rankine in condizioni sismiche	»	203
6.3.3.1.	Stato attivo sismico senza sovraccarico.....	»	203
6.3.3.2.	Stato attivo sismico con sovraccarico.....	»	205
6.3.4.	Stato passivo di Rankine in condizioni sismiche	»	206
6.3.4.1.	Stato passivo sismico senza sovraccarico.....	»	206
6.3.4.2.	Stato passivo sismico con sovraccarico.....	»	207
6.3.5.	Verifiche delle pareti contro terra in stato attivo	»	208
6.3.5.1.	Sintesi delle verifiche SLU-GEO/EQU	»	208
6.3.5.2.	Sintesi delle verifiche SLU-STR	»	208
6.3.5.3.	Verifiche agli stati limite ultimi – SLU. Verifiche sismiche	»	208
6.3.5.4.	Verifiche di resistenza. Stati limite ultimi SLU – Condizioni sismiche	»	225
6.3.6.	Calcolo di pareti contro terra in stato passivo e di riposo.....	»	225
6.3.6.1.	Applicazione di calcolo. Parete in c.a. per intercapedine contro terra.....	»	229

7. Dissesti statici

7.1.	Stati tensionali e quadri fessurativi. Modelli matematici	»	235
7.1.1.	Cerchio di Mohr	»	235
7.1.2.	Tensioni principali ed ideali. Direttrice fessurativa	»	238
7.1.3.	Curva intrinseca	»	244
7.1.4.	Lastre murarie	»	250
7.1.4.1.	Stati piani di tensione nella lastra muraria.....	»	250
7.1.4.2.	Lastra rettangolare: forze uniformemente distribuite sul contorno	»	255
7.1.4.3.	Lastra rettangolare: forze normali distribuite sul contorno laterale	»	257
7.1.4.4.	Lastra rettangolare: forze tangenziali e normali sul contorno laterale	»	258
7.1.4.5.	Lastra rettangolare a mensola	»	261
7.1.4.6.	Lastra rettangolare appoggiata agli estremi.....	»	261
7.1.4.7.	Lastra muraria soggetta ad un cedimento fondale intermedio....	»	268
7.1.4.8.	Lastra muraria soggetta ad un cedimento fondale terminale	»	276
7.1.4.9.	Architravi e nuclei murari come lastre-travi.....	»	282

7.1.5.	Quadri fessurativi caratteristici	»	286
7.1.5.1.	Cedimento fondale terminale.....	»	287
7.1.5.2.	Cedimento fondale relativo	»	288
7.1.5.3.	Cedimento fondale intermedio	»	289
7.1.5.4.	Traslazione fondale orizzontale.....	»	290
7.1.5.5.	Rotazione fondale.....	»	292
7.1.5.6.	Schiacciamento murario	»	293
7.1.5.7.	Lesioni termiche	»	301
7.1.5.8.	Lesioni da ritiro	»	303
7.2.	Dissesti murari e fondali complessi. Diagnosi strutturale.....	»	303
7.3.	Valutazioni sul complesso fondale dell'edificio in dissesto	»	320
7.3.1.	Giudizio sulla profondità del piano fondale.....	»	320
7.3.2.	Giudizio sulle condizioni al contorno	»	321
7.3.3.	Valutazione della capacità portante del complesso fondale.....	»	322
7.3.3.1.	Distribuzione dei carichi e dei cedimenti fondali.....	»	322
7.3.3.2.	Carico limite e capacità portante del terreno fondale	»	323
7.3.3.3.	Consistenza e densità dei terreni fondali	»	325
7.3.3.4.	Capacità portante di progetto delle fondazioni dei vecchi edifici	»	328
7.3.4.	Valutazione della compressibilità del terreno fondale	»	329
7.3.5.	Cedimenti del complesso fondale in dissesto	»	331

8. Approfondimenti diagnostici. Riparazioni e consolidamenti

8.1.	Struttura e tecnologia delle costruzioni murarie vetuste	»	333
8.1.1.	Muri in elevazione ed in fondazione.....	»	333
8.1.2.	Murature in pietrame.....	»	334
8.1.3.	Tipologie fondali.....	»	336
8.1.4.	Solai in ferro.....	»	338
8.1.5.	Solai in legno	»	340
8.1.6.	Scale in pietra, su volte murarie, in ferro.....	»	342
8.1.7.	Archi, piattabande e volte in muratura.....	»	346
8.1.7.1.	Archi murari	»	347
8.1.7.2.	Piattabande murarie	»	349
8.1.7.3.	Volte e cupole murarie	»	351
8.1.8.	Tetti in legno	»	353
8.2.	Cause e fenomenologia dei dissesti in edifici vetusti	»	357
8.2.1.	Cause ed origine dei dissesti.....	»	357
8.2.2.	Spostamenti rigidi e fessurazioni	»	358
8.2.3.	Perdita della congruenza interna ed esterna delle strutture.....	»	362
8.2.4.	Deformazioni flessionali	»	363
8.2.5.	Deformazioni nelle strutture spingenti.....	»	364
8.2.5.1.	Tetti.....	»	364
8.2.5.2.	Archi	»	365
8.2.5.3.	Volte e cupole	»	366
8.2.6.	Vulnerabilità muraria da vibrazioni	»	368
8.2.6.1.	Generalità.....	»	368
8.2.6.2.	Edifici e costruzioni snelle.....	»	370
8.2.6.3.	Archi e volte	»	375
8.2.6.4.	Tamburi murari delle strutture a cupola.....	»	378

	8.2.6.5. Pareti murarie e solai	»	384
	8.2.6.6. Influenza delle fessurazioni e delle sconnessioni murarie sul periodo	»	386
8.3.	Interventi di riparazione e consolidamento	»	386
8.3.1.	Generalità	»	386
8.3.2.	Tipologia degli interventi secondo la Circolare NTC 2008	»	387
8.3.2.1.	Cordoli di sommità	»	388
8.3.2.2.	Archi e volte	»	389
8.3.2.3.	Deformabilità dei solai	»	390
8.3.2.4.	Interventi in copertura	»	391
8.3.2.5.	Modifiche alla distribuzione degli elementi verticali resistenti..	»	391
8.3.2.6.	Incremento della resistenza dei maschi murari.....	»	392
8.3.2.7.	Interventi su pilastri e colonne.....	»	394
8.3.2.8.	Rinforzo delle aperture	»	394
8.3.2.9.	Scale in muratura	»	394
8.3.2.10.	Cornicioni, parapetti, camini	»	395
8.3.2.11.	Interventi in fondazione.....	»	395
8.3.2.12.	Giunti sismici.....	»	396
8.4.	Categorie di lavori	»	396
8.4.1.	Puntellamenti e centinature	»	397
8.4.2.	Scavi.....	»	397
8.4.3.	Demolizioni, smontaggi e tagli murari	»	398
8.4.4.	Interventi sul terreno fondale	»	399
8.4.5.	Interventi in fondazione	»	399
8.4.6.	Riparazione e consolidamento di pareti.....	»	401
8.4.7.	Applicazione di tiranti.....	»	405
8.4.8.	Consolidamento di architravi e solai.....	»	405
8.4.9.	Consolidamento di archi e volte.....	»	406
8.4.10.	Consolidamento e riparazione di coperture	»	407
8.4.11.	Riparazione di cornicioni, gronde, modesti sbalzi e frontalini	»	408
8.4.12.	Schemi di ordinari interventi di riparazione e rafforzamento murario	»	409
8.5.	Protocolli tecnici regionali significativi.....	»	417
8.5.1.	Prescrizioni e protocolli tecnici regionali (Regione Friuli-Venezia Giulia, 1976/80 – Regione Molise, 2006).....	»	417
8.5.2.	Indicazioni tecniche Regione Friuli-Venezia Giulia, 1976/80.....	»	419
8.6.	Esempi di interventi tradizionali su edifici murari	»	442
8.6.1.	Metodi di consolidamento delle murature	»	442
8.6.1.1.	Iniezioni di boiaccia di cemento	»	442
8.6.1.2.	Consolidamento con rete elettrosaldata e betoncino	»	443
8.6.1.3.	Rinforzo con lastre in calcestruzzo o pilastri	»	445
8.6.1.4.	Inserimento di nuovi setti in muratura.....	»	445
8.6.1.5.	Perforazioni armate e cementate.....	»	448
8.6.1.6.	Inserimento di cavi previa perforazione delle murature	»	448
8.6.2.	Interventi di “organizzazione” della struttura	»	449
8.6.2.1.	Interventi sui solai	»	449
8.6.2.2.	Interventi sulle coperture.....	»	454
8.6.3.	Esempi di interventi e progetti di restauro	»	455
8.6.3.1.	Progetto di restauro – Palazzina risalente all’inizio del secolo, seriamente danneggiata dal sisma del 1976 in Friuli.....	»	455

8.6.3.2. Esempi di interventi su edilizia minore	»	459
8.6.3.3. La Guarneriana a San Daniele del Friuli (Impresa Icos).....	»	462
8.6.3.4. Restauro di Villafredda a Tarcento	»	464
8.6.4. Cordoli di fondazione.....	»	468
Appendice 1 – Tabelle di normativa	»	471
Bibliografia	»	485

PREMESSA

La possibilità di avvalersi di un testo nel quale siano opportunamente compendiate ed esemplificati principi e nozioni fondanti di una disciplina tecnica costituisce in genere un notevole vantaggio in ambito professionale. Non perché esso possa mai sostituirsi alla ragionata applicazione di quei principi, ma solo perché è possibile che esso ne faciliti ed orienti la sintesi applicativa nei casi propri dell'esercizio professionale. Quando poi accade, come in questo momento di delicato cambiamento epocale della normativa tecnica delle costruzioni, che l'esercizio professionale si trovi di fronte ad un corpo normativo di non semplice applicazione, un manuale di calcolo o comunque un testo di ausilio può essere, se non necessario, quanto meno opportuno per chi voglia affrontare in modo speditivo, ma non acritico, la risoluzione dei problemi di progettazione e di verifica riguardanti elementi costruttivi diffusi qua e là nelle costruzioni murarie esistenti. E ciò risulta tanto più vero, nel caso di questo libro, quanto più si rifletta sul fatto che tali costruzioni rappresentano una notevole parte del patrimonio edilizio nazionale, con cui i tecnici si trovano ad interagire in modo pressoché quotidiano. Sono stati questi i motivi che hanno spinto la redazione di un tal tipo di opera rivolta a singoli elementi ed a parti di costruzioni, i quali, per loro natura ed entità, mal si adattano ad essere calcolati mediante utilizzo di software codificati per risolvere ben più complessi problemi di verifica globale.

In particolare, partendo dalle *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni* (D.M. 14/01/08 e relativa Circolare applicativa n. 617 del 02/02/09), ne vengono qui scandagliati in modo ragionato i nuovi indirizzi, con riferimento specifico ai vincoli e alle possibilità che essi ad un tempo da un lato impongono e dall'altro offrono. Si affronta quindi il problema del collasso sismico locale delle pareti mediante l'analisi e l'esemplificazione numerica dei relativi meccanismi labilizzanti, per poi estendere la trattazione alle strutture spingenti (tetti, archi, volte a botte ed a crociera) con relative applicazioni di calcolo coinvolgenti anche gli eventuali tiranti metallici. Viene successivamente esaminato il problema di calcolo di quegli elementi strutturali destinati a resistere in regime flessione/tagliante ai soli carichi verticali, quali architravi, solai, balconi e scale, cogliendo in proposito una tale preziosa occasione al fine di affrontare mediante molteplici analisi ed applicazioni il comportamento dell'elemento trave (sia in cemento armato che in acciaio) agli stati limite ultimi da flessione, taglio e torsione, comparando utilmente (dove possibile ed opportuno) il predetto calcolo con le metodologie tradizionali proprie delle tensioni ammissibili. Ciò anche al fine di indicare, nell'ambito del nuovo solco normativo, una proficua strada operativa atta a sfruttare al meglio, senza disperderlo, anche quell'enorme patrimonio professionale (acquisito attraverso un'esperienza che ha sfidato il tempo) di concetti e

procedimenti stratificatisi nella tradizione ingegneristica dei decenni passati. Una non trascurabile parte del testo è poi dedicata al rinforzo delle pareti isolate e dei vani murari (con valutazioni di calcolo rivolte a problemi di resistenza, deformabilità e duttilità), nonché al comportamento delle pareti murarie contro terra in stato attivo ed in stato passivo di Rankine, anche in condizioni sismiche. E un'altra sostanziosa parte riguarda da vicino l'importante problema dei dissesti statici, soprattutto in relazione agli stati tensionali insorgenti nella muratura ed alla relativa modellazione matematica, oltre che ai conseguenti quadri fessurativi ed agli aspetti diagnostici della connessa patologia sia muraria che fondale, anche con approfondimenti particolarmente mirati a quei fabbricati in muratura di più vecchia tecnologia. In tale contesto notevole attenzione viene poi rivolta alla vulnerabilità muraria da vibrazioni in riferimento ad edifici e costruzioni snelle, ad archi e volte, a pareti murarie e solai. Infine viene trattato il tema della riparazione e del consolidamento, con riferimento non solo alle tipologie previste dalla Circolare applicativa delle NTC 2008, quanto anche agli aspetti tecnico/economici delle diverse categorie dei lavori di cantiere, proponendo anche schemi grafici ed esempi significativi di interventi di restauro strutturale murario propri della tradizione ingegneristica italiana. Ed a tal proposito ringrazio sentitamente l'ingegnere Laura Negri dell'AITEC di Roma per la sua fattiva collaborazione volta alla concessione della riproduzione nel testo di un vasto materiale editoriale pubblicato (come si dirà dettagliatamente nel capitolo 8) su *L'Industria Italiana del Cemento* nel lontano 1981, ma in gran parte sorprendentemente ancora attuale. E parimenti ringrazio i signori Giuseppe Sansone e Massimiliano Pastrovicchio della Biblioteca del Consiglio della Regione Friuli-Venezia Giulia per la riproduzione dell'altro interessante materiale riguardante gli storici, ma tuttora significativi, ben noti documenti tecnici friulani del 1976/1980.

Nel ringraziare poi l'Editore Dario Flaccovio per la sensibilità mostrata verso questo mio lavoro, un sentimento di viva gratitudine esprimo anche a mia figlia Livia, giovane designer, per i suoi preziosi consigli e fattivi aiuti inerenti ai disegni inseriti nel testo.

Firenze, aprile 2011

Pietro Cirone

1. INTERVENTI SU STRUTTURE ESISTENTI. PRINCIPI. INDIRIZZI NORMATIVI

1.1. Nuove norme tecniche per le costruzioni (NTC 2008)

Il grande tema tecnico-scientifico delle costruzioni murarie viene trattato, anche a livello normativo, mediante i due filoni (per molti aspetti fra loro interconnessi) delle *murature esistenti* e delle *nuove murature*. Le prime coinvolgono, si sa, una grandissima parte del patrimonio edilizio nazionale, arrivando a comprendere sostanzialmente ben oltre la metà del costruito. Ed anche il D.M. 14.01.2008, inerente alle suddette NTC, non sfugge a tale benefica impostazione concettuale ed operativa, dedicando in proposito il capitolo 8 proprio alle costruzioni esistenti (col § 8.7.1 riservato a quelle in muratura), il § 4.5 alle costruzioni civili ed industriali in muratura (definizioni, materiali, caratteristiche tipologiche e meccaniche, organizzazione ed analisi strutturale, murature armate, ecc.), nonché il § 7.8 alle costruzioni in muratura soggette alle azioni sismiche (regole generali, muratura ordinaria, muratura armata, murature miste, regole di dettaglio) ed infine il § 11.10 ai materiali inerenti alla muratura portante (elementi lapidei naturali ed artificiali, malte, parametri meccanici).

Non vanno poi dimenticati, a proposito delle pareti murarie contro terra, da una parte il § 6.2.3 (verifica della sicurezza e delle prestazioni in campo geotecnico) ed il § 6.5 inerente alle opere di sostegno (criteri generali di progetto, azioni, verifiche agli stati limite) con particolare specifico riferimento ai muri di sostegno, e dall'altra il § 7.11.6.2 relativo ai muri di sostegno soggetti alle azioni sismiche (metodi di analisi, verifiche di sicurezza).

A livello di circolare applicativa vanno inoltre segnalati il capitolo C8 riguardante le costruzioni esistenti (criteri generali, valutazione della sicurezza, classificazione degli interventi, procedure per la valutazione della sicurezza e la redazione dei progetti, valutazione e progettazione in presenza di azioni sismiche col particolarmente importante riferimento, fatto al § C8.7.1, alle costruzioni in muratura), nonché in particolare il § C8A.1 (dell'appendice C8A al predetto capitolo C8) riguardante la stima dei livelli di conoscenza e dei fattori di confidenza (col particolare riferimento fatto al § C8A.1.A alle costruzioni in muratura), il § C8A.2 (tipologie e relativi parametri meccanici delle murature), il § C8A.3 (aggregati edilizi), il § C8A.4 (analisi dei meccanismi locali di collasso in edifici esistenti in muratura), ed infine il § C8A.5 (criteri per gli interventi di consolidamento di edifici in muratura).

1.2. Vincoli e possibilità delle NTC 2008

Dal precedente non semplice corpo normativo riguardante le costruzioni murarie, e particolarmente dalle norme inerenti a quelle esistenti (di cui ci si occupa nel manuale),

emerge innanzitutto una netta distinzione fra i tipi di interventi possibili sul patrimonio edilizio esistente, a complessità crescente, così sintetizzabili:

- *intervento di riparazione (o intervento locale);*
- *intervento di miglioramento;*
- *intervento di adeguamento.*

1.2.1. *Intervento di adeguamento*

Iniziando dall'intervento edilizio più complesso, l'*adeguamento*, va subito detto che esso è finalizzato a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalla suddetta nuova normativa. Pertanto in alcune ben definite circostanze, occorre procedere alla valutazione della sicurezza globale dell'edificio e, qualora necessario, al suo adeguamento. Sono questi i casi, citati dalla norma, riguardanti le seguenti circostanze edificatorie:

- sopraelevazione;
- ampliamento strutturale;
- variazione di classe e/o di destinazione d'uso con incrementi di carichi globali in fondazione superiori al 10%;
- interventi che prevedono un insieme sistematico di opere tali da condurre ad un organismo edilizio diverso dal precedente.

La valutazione di sicurezza è quindi finalizzata, in tali casi, a stabilire se la struttura è in grado (in seguito all'intervento su di essa effettuato) di resistere (con il grado di sicurezza richiesto dalla norma) a tutte le azioni di progetto conseguenti alle combinazioni di carico da essa previste. Né il progettista è chiamato ad un pedissequo rispetto delle prescrizioni sui dettagli costruttivi (armatura minima, passo delle staffe, dimensioni minime di travi e pilastri, ecc.), ben potendo egli non ottemperare ad esse purché dimostri che siano state comunque garantite le prescrizioni normative in termini di resistenza, duttilità e deformabilità. Va poi ricordato (in relazione alla suddetta possibile variazione di classe coinvolgente l'intervento di adeguamento) il concetto (nuovo) di *classe d'uso* di una costruzione di cui al § 2.4.2 di normativa.

Sintetizzando al massimo il suo significato, si può brevemente dire che la classe d'uso (per quel che riguarda i normali edifici) riguarda sostanzialmente la maggiore o minore presenza in essi di persone oltre che le particolari funzioni cui essi stessi sono destinati, secondo il seguente schema semplificato:

- *classe d'uso I* (permanenza occasionale di persone);
- *classe d'uso II* (normali affollamenti);
- *classe d'uso III* (affollamenti significativi);
- *classe d'uso IV* (funzioni pubbliche o strategiche importanti).

Evidentemente, riguardando l'adeguamento tutti quegli interventi (non ordinari, poco frequenti sia per motivi tecnici che economici) che richiedono la verifica globale dell'edificio (prima e dopo l'intervento stesso) da condurre generalmente mediante il ricorso a programmi di calcolo automatico, esso esula dall'ambito di questo manuale specificamente redatto per supportare invece la progettazione di altri interventi, i quali, sebbene inerenti

a singoli elementi o parti strutturali, costituiscono tuttavia la gran parte delle operazioni di restauro strutturale che ordinariamente vengono eseguiti nella riparazione e nel consolidamento delle costruzioni murarie esistenti.

1.2.2. *Intervento di miglioramento*

Bisogna subito dire che il *miglioramento* riguarda interventi che in ogni caso non ricadono nella precedente casistica dell'adeguamento, essendo esso finalizzato solo ad aumentare la capacità resistente di una struttura esistente alle azioni considerate nel calcolo. Il progetto e la valutazione della sicurezza devono tuttavia essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da qualsiasi modifica di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme. È questo il classico caso di quegli interventi edilizi che, sebbene non comportino sopraelevazione, né ampliamento strutturale, né variazione di classe e/o di destinazione d'uso tali da generare incrementi di carichi globali in fondazione superiori al 10%, né tanto meno la realizzazione di un organismo edilizio diverso dal precedente, costituiscono tuttavia una manomissione della costruzione esistente tale da modificarne significativamente il comportamento locale o globale (particolarmente rispetto alle azioni sismiche) a causa di variazioni di resistenza, rigidezza e/o duttilità dei suoi singoli elementi costruttivi o di intere parti della struttura, od anche a causa dell'introduzione addirittura di nuovi elementi strutturali.

Ovviamente l'intervento sulla costruzione esistente deve essere di tipo migliorativo nei confronti della regolarità costruttiva, della resistenza e della duttilità, in modo che esso intervenga più intensamente, ad esempio, sugli elementi strutturali più resistenti o sui meccanismi di collasso in modo da trasformarli da fragili in duttili, oppure ancora riducendo le eventuali irregolarità in pianta ed in elevazione. E, nel caso in cui l'intervento comporti anche un miglioramento antisismico della costruzione, la predetta valutazione di sicurezza dovrà riguardare non solo la struttura nel suo insieme, quanto anche i possibili meccanismi locali di collasso. Analogamente al caso dell'adeguamento, anche nel caso del miglioramento il problema di calcolo della valutazione di sicurezza viene affrontato a livello globale, anche se (come già detto) dovranno comunque essere eseguite in aggiunta tutte le verifiche di sicurezza di quelle parti di struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento e, nel caso di miglioramento antisismico della costruzione, anche dei meccanismi locali di collasso, come (ad esempio) quelli inerenti alle pareti murarie. Pertanto, se si escludono tali meccanismi, neanche il caso del miglioramento (richiedente verifiche globali eseguibili mediante l'impiego di software di calcolo automatico) riguarda l'ambito professionale cui è rivolto questo manuale. Anche il miglioramento, come l'adeguamento, rappresenta tuttavia un intervento non del tutto frequente, comportando esso un impegno di risorse economiche che non può definirsi di ordinaria amministrazione. Va in proposito evidenziato, ai fini della comprensione della graduazione degli interventi di cui si sta trattando, che in linea generale la predetta relativa differenziazione di riparazione, miglioramento ed adeguamento di una costruzione esistente, corrisponde grosso modo ad una differenziazione tecnico/economica rispettivamente individuata dai seguenti livelli di spesa correntemente spesso indicati in ambito

professionale (seppur usando in modo improprio il termine *ristrutturazione*, di diverso più appropriato significato) anche con la seguente terminologia:

- *ristrutturazione leggera*;
- *ristrutturazione media*;
- *ristrutturazione pesante*.

D'altra parte anche l'esperienza del consolidamento murario mostra come in linea di massima il costo degli interventi locali (che non modificano sostanzialmente, soprattutto sotto l'aspetto sismico, il comportamento locale o globale del fabbricato in termini di resistenza, duttilità o deformabilità, e che siano eseguiti solo in riparazione, talvolta anche sostanziosa, di fabbricati dissestati) corrisponda tutto sommato (nei termini relativi della scala tecnico/economica sopra evidenziata) ad una ristrutturazione strutturale di tipo leggero, laddove invece il miglioramento corrisponda a sua volta grosso modo a quella di tipo medio ed infine l'adeguamento alla terza di tipo pesante. E ciò viene detto per sottolineare in sostanza che tali interventi di ristrutturazione leggera (sia essa strutturale che tecnologico/funzionale) sulle costruzioni sono nella realtà quelli di gran lunga più frequenti. Ecco perché si è ritenuto opportuno mirare nella redazione del manuale agli interventi correnti di riparazione muraria, i quali nella generalità dei casi non comportano, come si vedrà, sensibili modifiche di comportamento in termini di resistenza, rigidità o duttilità della struttura, considerata nella sua globalità o in singole parti. Per la qual cosa il manuale, pur collocandosi come ausilio nei casi frequenti di progettazione inerente ad interventi di riparazione e rinforzo, non esclude tuttavia la possibilità di impiego anche in verifiche locali connesse ad interventi di miglioramento (anche di tipo sismico).

1.2.3. Interventi locali di riparazione e rafforzamento

Nel presente testo ci si occuperà particolarmente della *riparazione* muraria (o *intervento locale*) e, come si vedrà nel prosieguo, anche degli interventi di rafforzamento o consolidamento (locale) che non modifichi il comportamento globale dell'edificio. Si tratta in realtà di tutti quegli importanti e ricorrenti interventi riguardanti singole parti e/o elementi della struttura e, quindi, porzioni limitate di essa. Secondo il § C8.4.3 di normativa rientrano in generale in tale tipologia tutti gli interventi di riparazione propriamente detta, nonché quelli di rafforzamento o sostituzione di singoli elementi strutturali (travi, architravi, porzioni di solaio, pilastri, pannelli murari) o parti di essi, non adeguati alla funzione strutturale che debbono svolgere, a condizione che l'intervento non cambi significativamente il comportamento globale della struttura, soprattutto ai fini della resistenza alle azioni sismiche, a causa di una variazione non trascurabile di rigidità o di peso. Possono rientrare in questa categoria di interventi anche le sostituzioni di coperture e di solai solo se ciò non comporti una significativa variazione di rigidità nel proprio piano, rilevante ai fini della distribuzione di forze orizzontali, né un aumento dei carichi statici verticali. Ricadono inoltre in questo tipo di intervento anche il ripristino o il rinforzo delle connessioni tra elementi strutturali diversi (tra pareti murarie, tra pareti e travi o solai, anche mediante l'introduzione di catene/tiranti), in quanto essi migliorano in ogni caso anche il comportamento globale della struttura, particolarmente rispetto alle azioni

sismiche. Possono ancora rientrare in tale categoria gli interventi di variazione della configurazione di un elemento strutturale, attraverso la sua sostituzione o il rafforzamento localizzato (come, ad esempio, l'apertura di un vano in una parete muraria, accompagnata da opportuni rinforzi), solo se si dimostri che la rigidità dell'elemento variato non cambi significativamente e che la resistenza e la capacità di deformazione, anche in campo plastico, non peggiorino ai fini del comportamento rispetto alle azioni orizzontali.

Sotto l'aspetto normativo la riparazione muraria esige inoltre un progetto ed una valutazione di sicurezza di tipo locale previa dimostrazione che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, non solo non vengano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti della struttura e di essa stessa nel suo insieme, quanto anche che gli interventi comportino comunque un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.

Questo tipo di intervento è quindi così tecnicamente caratterizzato:

- la relazione tecnica, limitata alle sole parti di struttura interessate ed a quelle con esse interagenti, deve documentare le carenze strutturali riscontrate (risolte e/o persistenti) ed indicare le eventuali limitazioni (che ne conseguono) all'uso della costruzione;
- l'intervento non è soggetto a collaudo statico.

L'intervento locale (di riparazione o di rinforzo strutturale) può quindi interessare sostanzialmente la seguente casistica di elementi costruttivi (in muratura, cemento armato, acciaio, legno):

- rinforzo di pareti murarie, specialmente se di tipo isolato come nel caso di solai flessibili;
- connessioni murarie verticali ed orizzontali, meccanismi di collasso sismico locale di pareti murarie, tetti, archi e volte, con applicazioni di catene e tiranti;
- riparazione e rinforzo di pilastri, travi, architravi, piattabande, solai, balconi, scale, tetti, archi, volte, aperture di vani murari, pareti contro terra, ed anche porzioni di strutture fondali.

Va poi precisato, in base al § 7.2.3 di normativa (criteri di progettazione di elementi strutturali *secondari* ed elementi non strutturali), che:

- la rigidità e la resistenza dei predetti elementi strutturali (con l'ovvia esclusione di pareti e pilastri) vengono ignorate nell'analisi della risposta sismica dell'edificio;
- tali stessi elementi vengono progettati per resistere ai soli carichi verticali.

È invece ad essi richiesto l'importante requisito di essere in grado di assorbire le deformazioni della struttura soggetta all'azione sismica di progetto, mantenendo la capacità portante nei confronti dei carichi verticali, con l'ulteriore prescrizione che (limitatamente al soddisfacimento di tale requisito) ad essi si applicano i particolari costruttivi definiti per gli elementi strutturali (principali).

È poi interessante anche osservare che al § 7.2.6 di normativa nella definizione del modello strutturale dell'edificio gli elementi strutturali secondari (tipo travi, architravi, piattabande, solai, balconi, archi e volte) sono rappresentati unicamente in termini di massa e che il loro contributo alla rigidità ed alla resistenza antisismica del sistema strutturale viene preso in considerazione solo se possiedono rigidità e resistenza tali da modificare significativamente il comportamento del modello.

Ciò detto, si ritiene quindi opportuno evidenziare anche un'importante possibilità che sembra essere ragionevolmente offerta dalla normativa a proposito del calcolo degli elementi strutturali secondari. Il § 2.7 ammette infatti per le *costruzioni di tipo 1* (opere provvisorie e provvisionali, nonché strutture in costruzione) e di *tipo 2* (sostanzialmente edifici ordinari, per quel che qui ci riguarda) in classe d'uso I e II, limitatamente ai siti ricadenti in *Zona 4*, il metodo di verifica alle *tensioni ammissibili*. Cioè, nel caso di carichi verticali (tipici della predetta zona) e di costruzioni ordinarie e provvisorie (o provvisionali) con presenza occasionale di persone o con normali affollamenti è possibile operare (vecchia maniera) alle tensioni ammissibili. E quindi, poiché gli elementi secondari (per quanto sopra detto) vengono progettati per resistere ai soli carichi verticali, sembra logico poter concludere che, nel caso degli ordinari edifici suscettibili di normali affollamenti, detti elementi potrebbero (volendo) essere ancora verificati col suddetto vecchio metodo quantunque ricadenti zone diverse dalla 4. Sembra perciò questa, fra tanti nuovi vincoli imposti dalla norma, una ragionevole possibilità che, si ritiene, non vada sottovalutata.

Va infine chiarita particolarmente la questione del *consolidamento*, sul cui conto forse circolano da tempo delle inesattezze, a causa del fatto che esso è stato spesso genericamente e superficialmente liquidato, *sic et simpliciter*, come un intervento di miglioramento o di adeguamento, non ricadente perciò (secondo le correnti definizioni) fra quelli di tipo locale. Se si riflette infatti sulla circostanza euristica che consolidare un edificio significa, nella migliore tradizione muraria, renderlo solido, cioè stabile, conferendogli fermezza nel senso della *firmitas* vitruviana, è evidente che nel caso di fabbricati in muratura affetti da dissesti statici di tipo murario (schiacciamento) e/o di tipo fondale (cedimenti, traslazioni orizzontali, rotazioni), come si vedrà più avanti, l'intervento di consolidamento la fa da padrone, raccogliendo in sé anche tutti quegli interventi di riparazione e rafforzamento di un fabbricato volti a ricostituire la sua originaria stabilità.

Pertanto, atteso che intervenire su di un edificio dissestato significa soprattutto consolidarlo, ridandogli sufficiente stabilità, è evidente che il problema della collocazione tecnico/amministrativa del termine *consolidamento* non è apoditticamente di natura tassonomica, dipendendo la sua classificazione strutturale solo dal fatto se esso influenzi o meno la risposta sismica globale del fabbricato. Sicché laddove il consolidamento di singoli elementi costruttivi, o di porzioni di fabbricato, non alteri significativamente quella risposta, esso è da considerarsi sicuramente un intervento locale, quantunque possa essere anche geometricamente esteso. E la cosa rileva, dal momento che, specialmente in fabbricati murari con solai aventi un comportamento estensionale più vicino a quello di tipo flessibile che non a quello di tipo rigido, come spesso accade in quegli ordinari immobili di cui pullulano i centri storici italiani, il metter mano ad un edificio dissestato (ad esempio per aver esso delle pareti schiacciate e/o per essere interessato da cedimenti fondali) onde consolidarlo nel senso sopra chiarito, significa frequentemente conferire maggior resistenza e rigidezza alle fondazioni, riparare e rinforzare (perché lesionate) pareti murarie isolate in elevazione e pareti contro terra site a livello di locali ipogei o scantinati (collegandole eventualmente anche fra loro), riparare e rinforzare elementi secondari anch'essi lesionati quali architravi, archi, volte e solai, scale e balconi (talvolta perfino sostituentoli), riparare e rinforzare altresì tetti, inserire catene e tiranti capaci di eliminare spinte murarie e connettere muri. Tutti interventi, questi, che, nel consolidare i suddetti edifici,

non ne modificano sostanzialmente il comportamento globale nei confronti del sisma, se non in senso migliorativo per via dei rinforzi eseguiti.

Per la qual cosa si ritiene che in tali casi di consolidamento murario non avrebbe assolutamente senso, non solo a livello tecnico quanto anche autoritativo, appesantire sia i protocolli tecnici che le procedure amministrative con verifiche sismiche di tipo globale. Anche perché, una volta imboccata una strada sbagliata, ne conseguirebbero inevitabilmente anche una lievitazione di costi, senza peraltro averne in contraccambio proporzionati benefici. Non va dimenticato infatti che, se già la cosiddetta ristrutturazione leggera non è certo in Italia a portata di tutte le tasche, e quindi né ordinaria né scontata neppure nel caso di edifici dissestati, s'immagini che cosa significherebbe il progettare correttamente il consolidamento di un edificio in precarie condizioni statiche (mediante riparazioni e consolidamenti locali nel senso sopra detto) e poi magari trovarsi di fronte all'alea burocratica di una classificazione tassonomica dell'intervento spinta sul versante del miglioramento, con tutte le conseguenze tecnico-economiche che ne deriverebbero.

Si ribadisce pertanto come l'occasione di eseguire riparazioni e rafforzamenti murari (contenuti od estesi che siano, con interventi configurabili anche come consolidamenti), non debba andare perduta, né nei centri storici maggiori di medie e grandi città, né nei modesti agglomerati urbani di piccoli paesi e sperdute borgate rurali, dal momento che la loro esecuzione rappresenta comunque sempre un'attività ad alto valore aggiunto proprio nei confronti della sicurezza sismica, cui la norma è giustamente così sensibile.

1.2.4. Meccanismi sismici locali di collasso

Un vasto e proficuo panorama applicativo preso in considerazione dal manuale è quello dei meccanismi sismici locali di collasso. Il sottoparagrafo di normativa § 8.7.1 inerente alle costruzioni murarie esistenti in condizioni sismiche prevede in proposito i seguenti due tipi di *meccanismi sismici di collasso*:

- *meccanismi locali*;
- *meccanismi globali*.

Ora, mentre i meccanismi locali interessano singoli pannelli murari o più ampie porzioni della costruzione e sono favoriti dall'assenza o scarsa efficacia dei collegamenti tra pareti ed orizzontamenti oltre che fra le stesse pareti, i meccanismi globali interessano invece l'intera costruzione impegnando i pannelli murari prevalentemente nel loro piano. Per potersi attivare, i meccanismi globali richiedono quindi rigidezza e resistenza dei solai ed efficacia dei collegamenti fra gli elementi strutturali. Pertanto, ricordato che gli interventi di adeguamento e di miglioramento antisismici richiedono sempre la verifica sia dei meccanismi locali che di quelli globali, una certa attenzione va rivolta al caso dei meccanismi locali nel caso di alcune particolari situazioni riguardanti le pareti murarie. E, circa la possibilità di verifica globale di un edificio in muratura va in proposito precisato qualche importante concetto.

Intanto il § 8.5 di normativa, relativo alle procedure per la valutazione della sicurezza e la redazione dei progetti inerenti alle costruzioni esistenti, evidenzia in linea generale l'impossibilità di prevedere regole specifiche per tutti i casi, per cui spetta al progettista,

caso per caso, definire il modello per la valutazione di sicurezza e giustificarlo. E all'altro successivo § 8.7.1 (verifica con meccanismo globale), nel definire il concetto di *unità strutturale*, la norma non ne nasconde la genericità ed aleatorietà dei criteri su cui si basa la sua stessa definizione, affermando che “l'analisi globale di una singola unità strutturale assume spesso un significato convenzionale e perciò può utilizzare metodologie semplificate”. D'altra parte sempre allo stesso predetto § 8.7.1 si fa l'altra importante affermazione secondo la quale, qualora i solai dell'edificio siano flessibili, si può procedere all'analisi delle singole pareti (o dei sistemi di pareti complanari che costituiscono l'edificio), analizzando ciascuna come struttura indipendente soggetta ai carichi verticali di competenza oltre che all'azione del sisma nella direzione parallela alla parete. L'opportunità fisica di ricorrere ai meccanismi locali di collasso è poi ben evidenziata dal § C8A.4 della circolare applicativa con riferimento alla perdita di equilibrio di porzioni murarie, ai collassi di pareti murarie prevalentemente per azioni perpendicolari al loro piano, nonché ai collassi di sistemi murari ad arco anche per azioni nel piano.

Da tutto ciò discende perciò la significativa potenzialità di una verifica sismica delle costruzioni murarie esistenti eseguita (specialmente nei casi di dubbio funzionamento a sistema scatolare globale) ricorrendo per un verso all'analisi di singole pareti o di sistemi complanari di pareti (caso di solai flessibili) e dall'altro all'analisi dei meccanismi locali di collasso.

Temi, questi, che verranno affrontati più avanti.

1.3. Questioni normative di carattere generale

1.3.1. Sicurezza e prestazioni

Le suddette Norme, emesse con D.M. 14.01.2008 ai sensi delle Leggi n. 1086 del 05.11.1971 e n. 64 del 02.02.1974 (come riunite nel Testo Unico per l'Edilizia di cui al D.P.R. n. 380 del 06.06.2001 e dell'art. 5 del D.L. n. 136 del 28.05.2004 convertito in legge, con modificazioni, dall'art. 1 della L. n. 186 del 27.07.2004 e ss.mm.ii.) raccolgono in un unico organico testo le norme prima distribuite in diversi decreti ministeriali, definendo i principi per il progetto, l'esecuzione ed il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità.

Esse pertanto:

- forniscono i criteri generali di sicurezza;
- precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto;
- definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti;
- trattano più in generale gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.

Per quel che concerne poi le indicazioni applicative finalizzate all'ottenimento delle prescritte prestazioni, oltre a ricordare l'importante relativa Circolare applicativa n. 617 del 2 febbraio 2009, si evidenzia che, in relazione a quanto non espressamente specificato nel predetto D.M. del 2008, ci si può riferire a normative di comprovata validità oltre che agli altri documenti tecnici elencati al capitolo 12 delle stesse NTC (*Riferimenti Tecnici*), tenendo comunque presente che quelle fornite dagli Eurocodici, con le relative Appendici

Nazionali, costituiscono sicuramente indicazioni di comprovata validità e forniscono di fatto il sistematico supporto applicativo delle nuove norme.

In particolare va tenuto bene a mente che per la valutazione della sicurezza delle costruzioni vanno sempre adottati criteri probabilistici scientificamente comprovati, come quelli ad esempio (di primo livello) normati dalle NTC ed afferenti al cosiddetto *metodo semiprobabilistico agli stati limite*. Criteri, questi ultimi, applicabili nella generalità dei casi e basati sull'impiego dei *coefficienti parziali* di sicurezza inerenti ai materiali impiegati ed alle azioni in gioco, con possibilità tuttavia di ricorrere per opere di particolare importanza a metodi di livello superiore che siano comunque tratti da una documentazione tecnica di comprovata validità.

Va poi ricordato che nel predetto metodo semiprobabilistico la verifica della resistenza strutturale va eseguita confrontando la resistenza con l'effetto delle azioni.

1.3.2. Requisiti delle strutture

Al capitolo 2 di Normativa vengono definiti i criteri generali inerenti alla sicurezza e alle prestazioni richieste per le costruzioni, a partire dai principi fondamentali da seguire e dagli Stati Limite che si possono verificare durante la loro vita nominale, con definizioni anche delle relative classi d'uso e periodi di riferimento, fino ad arrivare alla classificazione delle azioni e alla loro combinazione nelle verifiche. Alla valutazione della sicurezza si è già fatto cenno nel paragrafo precedente. Ci si sofferma qui invece sui requisiti richiesti alle varie tipologie strutturali, sottolineando subito che la fondamentale richiesta fatta dalla norma è quella che le opere e le componenti strutturali devono essere progettate, eseguite, collaudate e sottoposte a manutenzione in modo tale da consentirne la prevista utilizzazione in forma economicamente sostenibile e con il livello di sicurezza previsto dalle stesse norme.

Chiarito poi che lo stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata, va ricordato che – in base alla norma – la sicurezza e le prestazioni di un'opera, o di una sua parte, devono essere valutate proprio in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la sua vita nominale. E in tal senso si giustifica quindi, in qualche modo, anche l'espressione (ormai corrente) secondo cui le NTC 2008 (e i precedenti corpi normativi della O.P.C.M. 3274 prima e del D.M. 14.09.2005 poi) sono delle *norme prestazionali*. E questa sarebbe una definizione perfettamente calzante, se non fosse per quel loro carattere un po' prescrittivo, talvolta affiorante nel corpo della norma, il quale, nell'obbligare il progettista (unico supremo responsabile oltre la stessa norma) a dover seguire in alcune circostanze formule e tabelle dal sapore codicistico, potrebbe sottrargli (o quanto meno inopportuno attutirgli) il suo naturale senso di controllo (tensionale e deformativo) della struttura che ha per le mani.

Comunque sia, i predetti requisiti strutturali da garantire sono i seguenti:

- sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (*SLU*), cioè capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, o mettere fuori servizio l'opera;

- sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (*SLE*), cioè capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- robustezza nei confronti di azioni eccezionali, cioè capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Così, mentre il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e viene pertanto definito *collasso*, il superamento invece di uno stato limite di esercizio può essere sia di tipo reversibile che irreversibile. Chiarisce inoltre la norma (§ 2.1) che per le opere esistenti è possibile fare riferimento (come si vedrà) a livelli di sicurezza diversi da quelli delle nuove opere.

1.3.3. Stati Limite in assenza di azioni sismiche

1.3.3.1. Stati Limite Ultimi (SLU)

I principali Stati Limite Ultimi in assenza di sisma sono i seguenti (§ 2.2.1):

- perdita di equilibrio della struttura o di una sua parte;
- spostamenti o deformazioni eccessive;
- raggiungimento della massima capacità di resistenza della struttura nel suo insieme o di sue parti, collegamenti, fondazioni;
- raggiungimento di meccanismi di collasso nei terreni;
- rottura di membrature e collegamenti per fatica o per altri effetti dipendenti dal tempo;
- instabilità della struttura nel suo insieme o di sue parti.

1.3.3.2. Stati Limite di Esercizio (SLE)

I principali Stati Limite di Esercizio in assenza di sisma sono i seguenti (§ 2.2.2):

- danneggiamenti locali (ad esempio l'eccessiva fessurazione del calcestruzzo) che possano ridurre la durabilità della struttura, la sua efficienza o il suo aspetto;
- spostamenti e deformazioni che possano limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto, oppure che possano compromettere l'efficienza e l'aspetto di elementi non strutturali, impianti, macchinari;
- vibrazioni che possano compromettere l'uso della costruzione; danni per fatica che possano compromettere la durabilità;
- corrosione e/o eccessivo degrado dei materiali in funzione dell'ambiente di esposizione.

1.3.3.3. Verifiche

Le opere strutturali devono essere verificate:

- per gli stati limite ultimi che possono presentarsi in conseguenza alle diverse combinazioni delle azioni;
- per gli stati limite di esercizio definiti in relazione alle prestazioni attese.

1.3.4. Stati Limite in presenza di azioni sismiche

Al § 3.2.1 di normativa, con riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso (includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti), vengono definiti nei confronti delle azioni sismiche due *Stati Limite di Esercizio (SLE)* e due *Stati Limite Ultimi (SLU)*.

1.3.4.1. Stato Limite di Operatività (SLO)

In seguito al terremoto la costruzione nel suo complesso (includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione) non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi.

1.3.4.2. Stato Limite di Danno (SLD)

In seguito al terremoto la costruzione nel suo complesso (includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione) subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

1.3.4.3. Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV)

In seguito al terremoto, sebbene la costruzione subisca rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici oltre che significativi danni dei componenti strutturali, cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti azioni orizzontali, tuttavia essa conserva una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

1.3.4.4. Stato Limite di prevenzione di Collasso (SLC)

In seguito al terremoto, sebbene la costruzione subisca gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici oltre che danni molto gravi dei componenti strutturali, tuttavia essa conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

1.3.5. Vita nominale di un'opera strutturale

La vita nominale V_N di un'opera strutturale, definita al § 2.4.1 delle NTC, è intesa come numero di anni durante il quale la struttura, purché sia soggetta a manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo a cui è destinata. La tabella 2.4.I di normativa, cui si rimanda per ulteriori precisazioni, fornisce in proposito la suddetta vita nominale in relazione ai diversi tipi di costruzioni considerati, secondo la seguente sintesi:

- opere provvisorie: $V_N \leq 10$ anni;
- opere ordinarie: $V_N \geq 50$ anni;
- grandi opere: $V_N \geq 100$ anni.

1.3.6. Classi d'uso

Per quanto concerne invece le classi d'uso, collegate alla presenza delle azioni sismiche sulle costruzioni con riferimento alle conseguenze che ne possono derivare (interruzione di operatività o eventuale collasso), esse sono codificate al § 2.4.2 di normativa, cui si rimanda, secondo la seguente sintesi:

- *Classe I* (costruzioni con presenza occasionale di persone);
- *Classe II* (costruzioni con normali affollamenti);
- *Classe III* (costruzioni con affollamenti significativi);
- *Classe IV* (costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti).

1.3.7. Periodo di riferimento per l'azione sismica e coefficienti d'uso

Il *periodo di riferimento* riveste particolare importanza in quanto le azioni sismiche agenti su di una costruzione vengono definite proprio in relazione al suo valore, espresso dal seguente prodotto:

$$V_R = V_N C_U$$

Esso dipende perciò dalla vita nominale dell'opera e dal *coefficiente d'uso* C_U codificato in tabella 2.4.II di normativa con i seguenti valori:

<i>Classe d'uso I</i>	0,7
<i>Classe d'uso II</i>	1,0
<i>Classe d'uso III</i>	1,5
<i>Classe d'uso IV</i>	2,0

1.3.8. Valutazione di sicurezza delle costruzioni esistenti

Una peculiarità delle costruzioni esistenti, qualunque sia il relativo sistema costruttivo, è quella di poterne valutare la sicurezza o progettarne gli interventi (di manutenzione, consolidamento, restauro o ristrutturazione) con riferimento ai soli stati limite ultimi *SLU* (§ 8.3 NTC). Precisa anzi la Norma che le verifiche agli *SLU* possono essere eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (*SLV*) o, in alternativa, alla condizione di collasso (*SLC*). In ogni caso la loro valutazione di sicurezza va fatta anche ogni qualvolta si presenti almeno una delle seguenti situazioni:

- riduzione della capacità resistente e/o deformativa della struttura, o di alcune sue parti, a causa di azioni ambientali o eccezionali, di significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, di funzionamenti e usi anomali, oltre che di significative deformazioni da cedimenti fondali;

- provati gravi errori di progetto o di costruzione;
- cambio di destinazione d'uso della costruzione, o di sue parti, comportante una significativa variazione dei relativi carichi variabili e/o della sua classe d'uso;
- interventi che, sebbene non dichiaratamente strutturali, interagiscano tuttavia (anche solo in parte) con eventuali elementi dotati di funzione strutturale, riducendone in modo consistente la capacità di resistenza o modificandone la rigidità; è questo, ad esempio, il caso (frequente nelle costruzioni in muratura) di inserimento di condutture in breccia nelle pareti portanti (come ricordato al § C8.2 della circolare applicativa) oppure della realizzazione di nicchie che indeboliscono sensibilmente non solo i singoli elementi strutturali, quanto anche la connessione fra le varie parti.

Qualora poi le suddette situazioni dovessero riguardare solo porzioni limitate, la valutazione di sicurezza potrà essere limitata agli elementi interessati ed a quelli con essi interagenti, considerandone tuttavia la relativa funzione nell'ambito dell'intero complesso strutturale di appartenenza. La valutazione di sicurezza va comunque condotta in modo da poter stabilire se l'uso della costruzione possa continuare senza alcun intervento o se invece debba subire un declassamento o un cambio di destinazione, e/o richieda eventuali provvedimenti di relative limitazioni e/o cautele. In caso poi di interventi di adeguamento, miglioramento o riparazione, per come definiti al § 8.4 di normativa, la valutazione di sicurezza dovrà riguardare il relativo livello di sicurezza prima e dopo l'intervento stesso. Sarà ovviamente compito del progettista relazionare non solo sui preesistenti livelli di sicurezza e su quelli raggiunti con l'intervento, quanto anche sulle eventuali conseguenti occorrenti limitazioni all'uso della costruzione.

Al § 8.5 viene quindi affrontato il delicato problema delle procedure per la valutazione della sicurezza delle costruzioni esistenti, nella piena euristica consapevolezza che in tali tipi di manufatti si riscontrano concretamente le più diverse situazioni, così disparate fra loro che non è ordinariamente possibile prevedere delle regole specifiche calzanti in tutti i casi. A tal punto che la stessa norma affida al progettista il compito di definire e giustificare autonomamente, caso per caso, il modello per la valutazione della sicurezza, in relazione all'attendibile comportamento strutturale della costruzione e comunque in base ad alcune generali indicazioni, cui la norma non rinuncia esponendole nel suo corpo, riguardanti particolarmente l'analisi storico-critica ed il rilievo della costruzione esistente, la caratterizzazione meccanica dei relativi materiali, i livelli di conoscenza ed i fattori di confidenza legati alle predette fasi conoscitive, nonché i valori delle azioni e le loro combinazioni da considerare nel calcolo.

Si ricorda poi, proprio sotto l'aspetto operativo e procedurale, che in base alla circolare applicativa (§ C8.3) per valutazione della sicurezza di una struttura esistente s'intende un procedimento quantitativo volto a:

- stabilire se la struttura sia in grado o meno di resistere alle combinazioni delle azioni di progetto contenute nelle NTC;
- oppure
- determinare l'entità massima delle azioni (considerate nelle previste combinazioni di progetto) che la struttura sia capace di sostenere con i margini di sicurezza, richiesti dalle NTC, definiti dai coefficienti parziali di sicurezza sulle azioni e sui materiali.

Ed ovviamente sono le stesse NTC a fornire gli strumenti generali per poter eseguire la suddetta valutazione di sicurezza nei diversi casi specifici.

1.3.9. Analisi storico-critica

La stessa circolare applicativa ricorda che nel caso delle costruzioni esistenti è spesso difficile disporre dei grafici di progetto atti a ricostruire la storia progettuale ed esecutiva di una costruzione, sicché, particolarmente nel caso di edifici in muratura, anche in presenza di un'eventuale documentazione parziale, è opportuno indagare, riflettere e argomentare sullo sviluppo storico del quartiere in cui eventualmente essi ricadano, cercando di acquisire informazioni sugli aspetti storico/urbanistici che ne hanno condizionato e guidato lo sviluppo, con particolare riferimento ovviamente a tutto ciò che possa riguardare l'edificio in esame. E ciò perché è solo per gli edifici a valenza storico/architettonica, o in generale culturale, che è possibile raccogliere (ma non sempre) una documentazione di natura archivistica sufficientemente completa sulla loro storia edificatoria tale da poter ricostruire ed interpretare le relative fasi edilizie susseguitesesi nel tempo. La ricostruzione della storia edificatoria dell'edificio, o comunque della sua storia in generale, potrebbe consentire poi di raccogliere anche utili informazioni sul suo comportamento in occasione di terremoti passati, sebbene con tutte le cautele del caso. In ogni caso l'insieme delle notizie raccolte può essere anche di un qualche ausilio per la modellazione meccanica globale dell'edificio.

Si riportano utilmente in proposito, a titolo di esempio, alcuni passi delle analisi storico-costruttive preliminari relative a due casi professionali (capitati entrambi in Calabria) riguardanti lo studio preparatorio per il progetto del consolidamento di un grosso casale in muratura a tre livelli strutturali e di un edificio per civili abitazioni (sempre in muratura) a cinque livelli strutturali, eseguite dallo *Studio dr. ing. Mario Cirone* di Firenze (che ne ha gentilmente concesso la pubblicazione per sintesi di brevi stralci esemplificativi e relative immagini), riunito per l'occasione in collegio professionale con l'Autore, quest'ultimo responsabile (in entrambi i casi di dissesto) della diagnosi strutturale:

- casale: “... *Il primo impianto planimetrico del fabbricato, risalente molto probabilmente a circa una ventina d'anni prima della fine dell'Ottocento, doveva forse consistere in un semplice fabbricato ad una sola manica... Ciò si evince da una lettura tipologica in pianta dell'attuale 1° livello strutturale, il quale mostra muri trasversali e longitudinali tutti dello spessore di 60-65 cm tranne due... L'edificazione del secondo livello strutturale avvenne con molta probabilità nei primissimi anni del Novecento (come lascia intuire la presenza di catene metalliche a questo livello strutturale, poste in opera – come un po' ovunque in Calabria – dopo il terremoto di Messina del 1908) e fu eseguita previa la costruzione, al sottostante pianterreno, di due muri trasversali alla manica muraria in modo da tripartire l'esistente grosso magazzino in tre locali e da predisporre così un appoggio per edificarvi sopra i corrispondenti muri del 1° piano... (figure 1.1, 1.2)”;*
- edificio per civili abitazioni: “... *si può ragionevolmente ritenere che le relative fasi costruttive, globalmente sfociate nell'attuale suddetta consistenza/conformazione immobiliare, siano così sintetizzabili: primo impianto planimetrico ... fine Ottocento;*

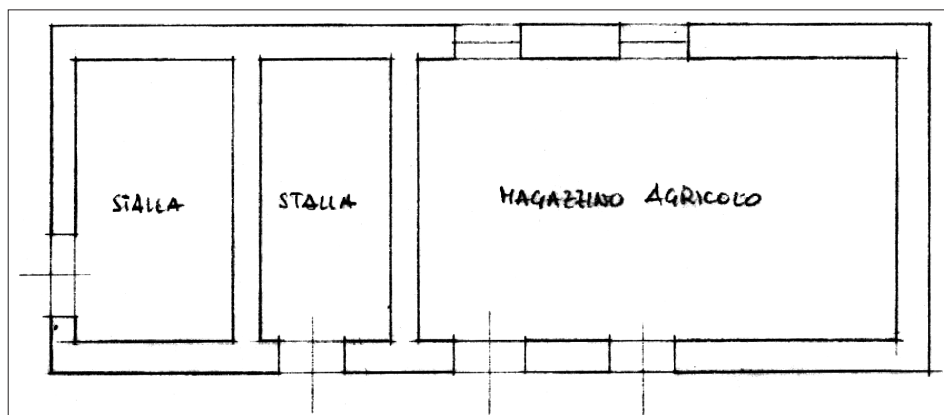


Figura 1.1. Tav. II – Schema (non in scala) del probabile primo impianto planimetrico del fabbricato di fine Ottocento

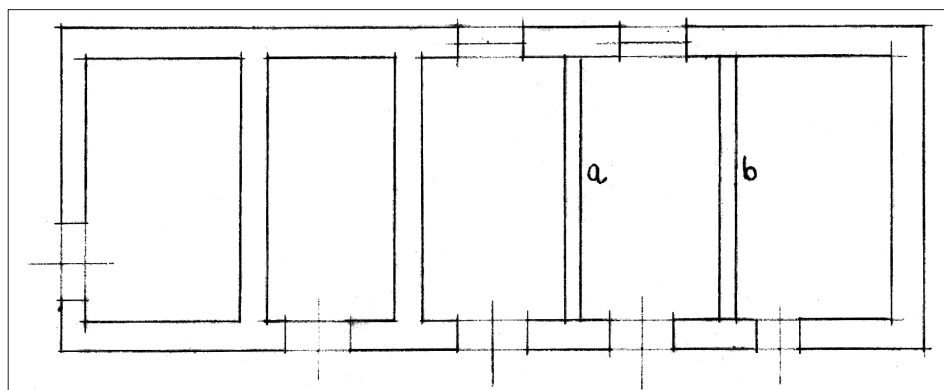


Figura 1.2. Tav. III – Schema (non in scala) della modifica subita dal pianterreno agli inizi del Novecento mediante l'inserimento al suo interno dei due muri trasversali alla manica muraria indicati nel disegno con le lettere "a" e "b"

edificazione del 2° livello ... inizio Novecento; edificazione del 3° livello Anni Venti; edificazione del 4° e del 5° livello ... Anni Trenta; ristrutturazione e consolidamento del 4° e del 5° livello ... anno 1983; modesto ampliamento del 3° livello strutturale, mediante edificazione (in sopraelevazione) del vano/cucina ... fine Anni Ottanta; lavori di manutenzione ordinaria e straordinaria al 4° e 5° livello ... anno 2005... Scendendo nei particolari, va innanzitutto osservato che il primo impianto planimetrico del fabbricato ... doveva consistere quasi certamente in due semplici unità edificatorie, fra loro inizialmente autonome, ... Per quanto attiene alla prima ... costituita dai suddetti due locali affiancati, caratterizzati entrambi dalla presenza dei due archi murari cui si è accennato in precedenza, si ritiene che inizialmente detti locali dovevano molto probabilmente avere l'accesso ... dalla parte opposta rivolta ad ovest ..., quando lo spazio esterno adiacente ai due archi di ingresso non era stato ancora riempito col terrapieno attualmente sottostante alla via ..., così come lascia pensare sia la presenza degli archi (costruiti per accedere ai locali, non avendo essi alcuna altra plausibile funzione), sia la circostanza che gli stessi furono in seguito chiusi alle loro spalle,

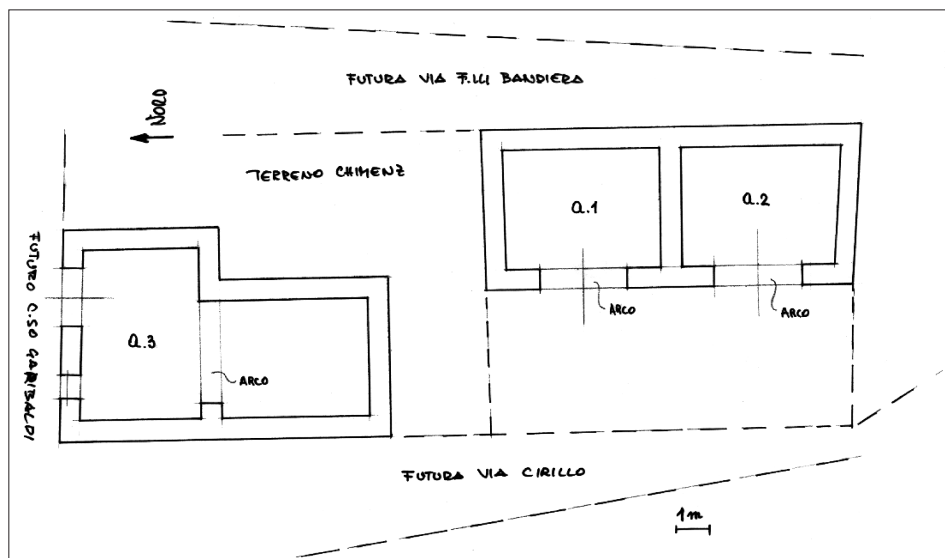


Figura 1.3. Tav. I – Ricostruzione schematica dimensionalmente approssimativa della pianta del 1° livello strutturale di fine Ottocento. Entrambe le costruzioni a.1-a.2 ed a.3 (probabilmente stalle per cavalli) erano ad un solo piano con calpestio al livello dell'attuale Via F.lli Bandiera. In particolare si evidenziano gli archi di accesso ad a.1/a.2 con antistante spazio libero, non ancora interrato, rivolto dalla parte della futura Via Cirillo

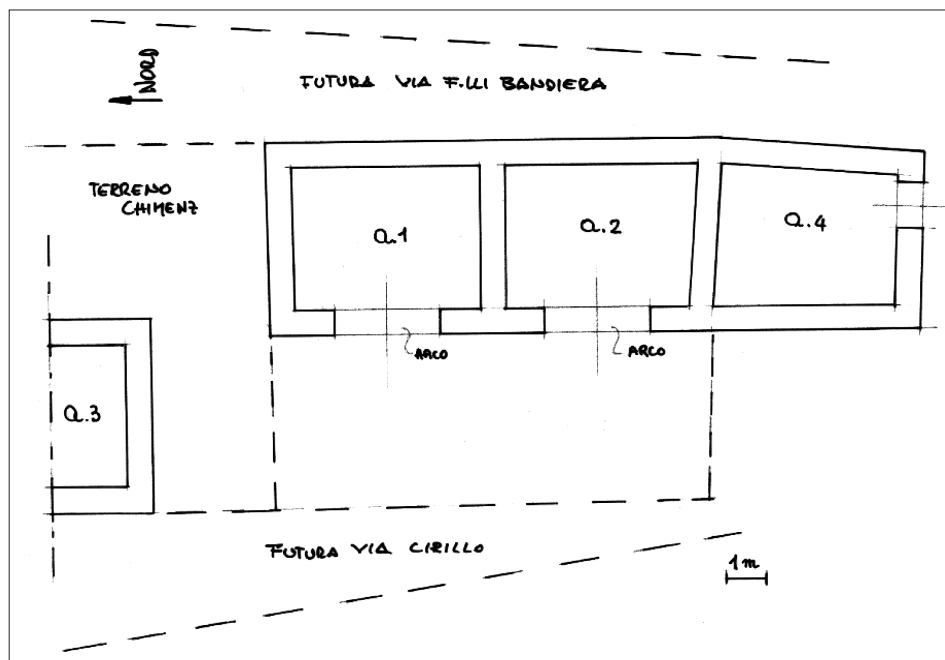


Figura 1.4. Tav. II – Ricostruzione schematica dimensionalmente approssimativa della pianta del 1° livello strutturale di fine Ottocento ampliato con l'edificazione dell'unità edilizia a.4 avvenuta alcuni anni dopo la costruzione di a.1-a.2

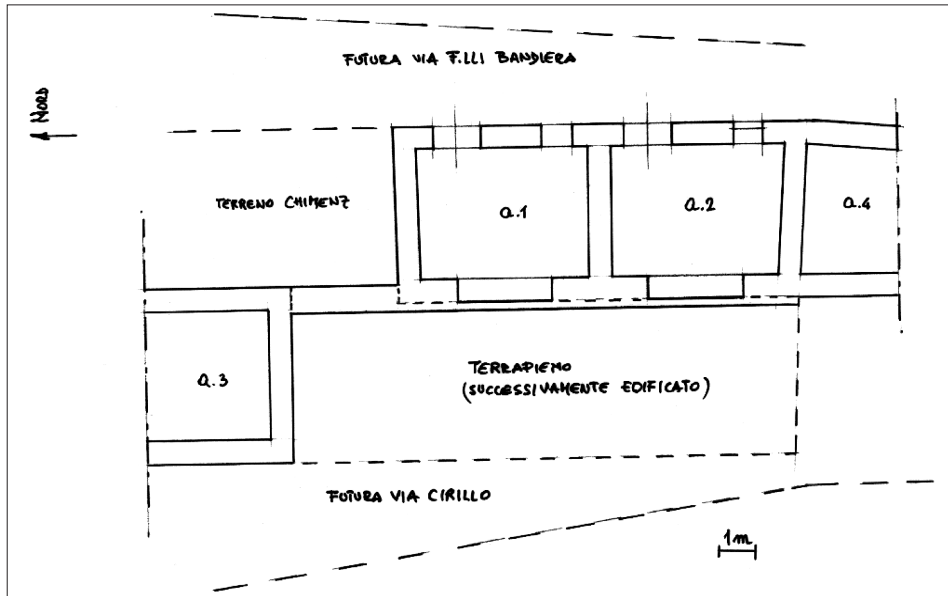


Figura 1.5. Tav. III – Ricostruzione schematica dimensionalmente approssimativa della pianta del 1° livello strutturale, prima di cominciare il 2°. Inizio Novecento. Con una parete controterra si chiudono gli archi di a.1-a.2. Mediante un'altra si congiungono a.1-a.2 con a.3. Si forma quindi un terrapieno alle spalle di a.1-a.2. Si passa così ad edificare il 2° livello strutturale. Eseguite infatti le fondazioni sul terrapieno, vi si edificano sopra i vani risulteranno a pianterreno sulla Via Cirillo e si sopraelevato contemporaneamente le unità edilizie a.1 a.2, a.3. a.4. Ne conseguirà la configurazione edilizia di piano riportata schematicamente alla Tav. IV

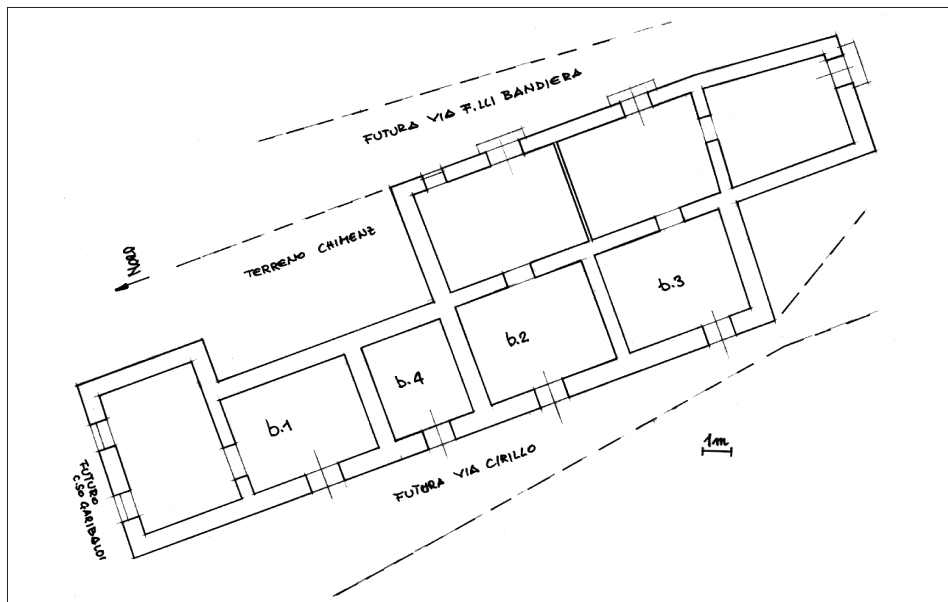


Figura 1.6. Tav. IV – Ricostruzione schematica dimensionalmente approssimativa della pianta del 2° livello strutturale. Inizio Novecento. Muri portanti e di controventamento

contro terra, con una parete atta a sostenere la spinta del terrapieno allorché si decise, qualche quindicina d'anni dopo, di costruire il secondo livello strutturale... (figure 1.3, 1.4, 1.5, 1.6)".

1.3.10. Rilievo geometrico-strutturale

Le operazioni di rilievo geometrico-strutturale da condurre sull'edificio oggetto d'intervento devono essere finalizzate a rappresentarne non solo la geometria, qualità e stato di conservazione complessivi dell'organismo murario, quanto anche quelli inerenti ai suoi elementi costruttivi, ed in relazione anche alle strutture ad esso aderenti. E, proprio basandosi sulla predetta analisi storico-costruttiva, vanno anche rappresentate tutte le modificazioni subite nel tempo dall'edificio. Sicché attraverso il rilievo si dovrà in sostanza individuare l'organismo resistente, considerandone anche la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi.

Per quanto attiene particolarmente alle costruzioni in muratura (costituenti, con le loro verifiche locali, specifico oggetto di attenzione da parte di questo manuale), le suddette operazioni dovranno comprendere il rilievo, piano per piano, di tutti gli elementi murari, incluse eventuali nicchie, cavità, canne fumarie, nonché quello delle volte (spessore e profilo), dei solai, della copertura (tipologia ed orditura), delle scale (tipologia strutturale). Saranno poi anche individuati i carichi gravanti su ogni elemento di parete e la tipologia delle fondazioni. La rappresentazione dei risultati del rilievo verrà quindi effettuata attraverso piante, alzati e sezioni.

Dovranno inoltre essere rilevati e rappresentati tutti gli eventuali dissesti, sia in atto che stabilizzati, prestando particolare attenzione ai quadri fessurativi dell'edificio e ai relativi meccanismi di danno, individuando e distinguendo le eventuali lesioni da patologia muraria da quelle da patologia fondale. Il che richiede nella rappresentazione del quadro fessurativo interessato, come si vedrà al Capitolo 7 (Dissesti Statici), un'opportuna delicata operazione di filtraggio dei due tipi di lesioni. In particolare si classificheranno le varie lesioni secondo la tipologia dei relativi meccanismi associati, sia di tipo fessurativo (distacco, rotazione, scorrimento, spostamenti fuori del piano, ecc.) che di tipo deformativo (evidenti fuori piombo, rigonfiamenti, depressioni nelle volte, ecc.). Il tutto al fine di consentire, nella successiva fase diagnostica, l'individuazione delle cause perturbatrici e quindi non solo la conoscenza dell'eziologia delle problematiche strutturali dell'edificio, quanto anche una ragionata proiezione delle relative possibili evoluzioni.

Va poi osservato a proposito delle costruzioni murarie che, mentre per la caratterizzazione meccanica dei materiali e per la verifica dei dettagli costruttivi (entrambe caratterizzanti col loro grado di approfondimento il livello di conoscenza ed il corrispondente fattore di confidenza) sono possibili indagini a crescente livello di conoscenza, viceversa per la geometria dell'edificio si richiede che, ai fini della definizione del modello strutturale necessario alla valutazione di sicurezza, il rilievo sia eseguito nel modo più completo e dettagliato possibile. E ciò ha rilevanza non solo in relazione a casi di interventi di tipo globale di adeguamento o di miglioramento, quanto anche in rapporto a casi di interventi di riparazione o consolidamento più ristretti e mirati, dal momento che una buona e corretta fase diagnostica richiede opportunamente sempre un rilievo geometrico sufficiente-

mente completo e dettagliato, quantunque esso possa essere circoscritto e limitato ad una porzione di fabbricato.

1.3.11. *Dettagli costruttivi*

Sempre con particolar riferimento alle costruzioni in muratura, per quanto attiene poi ai dettagli costruttivi, occorre tenere presente che essi, oltre a dover essere innanzitutto rilevati sotto l'aspetto geometrico, costituiscono anche e soprattutto oggetto di verifiche in situ (limitate o estese ed esaustive, a seconda del livello di conoscenza prescelto) in rapporto alla loro qualità e al loro stato di conservazione, e ciò con particolar riferimento a:

- qualità del collegamento tra pareti verticali;
- qualità del collegamento tra orizzontamenti e pareti ed eventuale presenza di cordoli di piano o di altri dispositivi di collegamento;
- esistenza di architravi strutturalmente efficienti al di sopra delle aperture;
- presenza di elementi strutturalmente efficienti atti a eliminare le spinte eventualmente presenti;
- presenza di elementi, anche non strutturali, a elevata vulnerabilità;
- tipologia della muratura (a un paramento, a due o più paramenti, con o senza riempimento a sacco, con o senza collegamenti trasversali, ecc), e sue caratteristiche costruttive (eseguita in mattoni o in pietra, regolare, irregolare, ecc).

1.3.12. *Caratterizzazione meccanica e proprietà dei materiali*

In tutti i tipi di interventi sulle costruzioni esistenti è sempre necessario avere, anche a gradi di conoscenza diversi a seconda del livello a cui si opera, adeguate informazioni sulle caratteristiche dei materiali e sul loro degrado. Come suggerisce la norma (§ 8.5.3), ci si potrà avvalere all'uopo di eventuale documentazione già disponibile, di verifiche visive e di motivate indagini sperimentali. In ogni caso va tenuto presente che i valori delle resistenze meccaniche dei materiali vanno valutati in base a prove effettuate sulla struttura, prescindendo ovviamente dalle classi di resistenza discretizzate previste dalla norma per le nuove costruzioni. In particolare per le costruzioni in muratura va prestata una certa attenzione alla valutazione della qualità muraria (§ C8.A.1.A.3 circolare applicativa), con riferimento agli aspetti legati al rispetto o meno della *regola d'arte*, considerando in proposito che il relativo esame e l'eventuale valutazione sperimentale delle caratteristiche meccaniche sono principalmente finalizzati a stabilire se la muratura sia in grado di sopportare le azioni statiche e dinamiche prevedibili per la costruzione, tenuto conto della categoria di suolo in cui ricade il relativo terreno fondale. Particolarmente importanti sono poi la presenza o meno di elementi di collegamento trasversale nel tessuto murario (come, a esempio, i *diatoni*), nonché la forma, tipologia e dimensione degli elementi, ed ancora la tessitura, l'orizzontalità delle giaciture, il regolare sfalsamento dei giunti, la qualità e la consistenza della malta. Rilevante la norma considera anche la caratterizzazione, mediante prove sperimentali, di malte (tipo di legante, tipo di aggregato, rapporto legante/aggregato, livello di carbonatazione), pietre e mattoni (caratteristiche fisiche e meccaniche).