

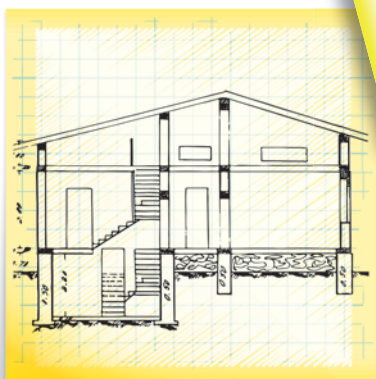
Marco Boscolo Bielo

MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI ESISTENTI

**INTEGRATO CON IL METODO SEMPLIFICATO
PER LA CLASSIFICAZIONE SISMICA DEGLI EDIFICI**

AGGIORNATO CON LE NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI
DI CUI AL DECRETO MINISTERIALE 17 GENNAIO 2018

- IL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE ▪ EVOLUZIONE NORMATIVA ▪ RISCHIO SISMICO
- E VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA ▪ CLASSIFICAZIONE INTERVENTI ▪ LIVELLI DI CONFIDENZA
- E FATTORI DI CONFIDENZA ▪ I SOLAI ▪ EDIFICI CON OSSATURA IN CALCESTRUZZA
- EDIFICI IN MURATURA ▪ DIAGNOSI STRUTTURE ▪ INTERVENTI



SOFTWARE INCLUSO

NTC 2018 IN VERSIONE DIGITALE E PROGRAMMA "SPETTRI DI RISPOSTA"



**PRONTO
GRAFILL**

Clicca e richiedi di essere contattato
per informazioni e promozioni

GRAFILL

Marco Boscolo Bielo

MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI ESISTENTI

Ed. I (5-2018)

ISBN 13 978-88-277-0006-8

EAN 9 788827 700068

Collana **Manuali** (231)

Boscolo Bielo, Marco <1967->
Miglioramento sismico degli edifici esistenti /
Marco Boscolo Bielo. – Palermo : Grafill, 2018.
(Manuali ; 231)
ISBN 978-88-277-0006-8
1. Edifici – Rischio sismico – Prevenzione.
624.1762 CDD-22 SBN Pal0307216
CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Il volume è disponibile anche in eBook (formato *.pdf) compatibile con PC, Macintosh, Smartphone, Tablet, eReader.

Per l'acquisto di eBook e software sono previsti pagamenti con c/c postale, bonifico bancario, carta di credito e PayPal.

Per i pagamenti con carta di credito e PayPal è consentito il download immediato del prodotto acquistato.

Per maggiori informazioni inquadra con uno Smartphone o un Tablet il Codice QR sottostante.



I lettori di Codice QR sono disponibili gratuitamente su Play Store, App Store e Market Place.

RINGRAZIAMENTI

L'Autore desidera ringraziare:

- Concrete S.r.l. di Padova, per Sismicad
- L'Arch. Roberto Amabilia, per le foto dei Capitoli 7 e 8
- Indagini Strutturali S.r.l. di Roma, Enzo Giannetto, Massimo Pasquali, Antonio Gennari e Diego Galbusera, per la collaborazione al Capitolo 9
- Kerakoll S.p.A., per le immagini del Capitolo 10
- Marco Cottica, Siram S.p.A.

© **GRAFILL S.r.l.** Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313

Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail grafill@grafill.it

Finito di stampare nel mese di maggio 2018

presso **Officine Tipografiche Aiello & Provenzano S.r.l.** Via del Cavaliere, 93 – 90011 Bagheria (PA)

Disegno di copertina / Archivio dell'Autore

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

Le indicazioni contenute nella presente pubblicazione non impegnano in alcun modo l'Autore. Il lettore utilizza le indicazioni contenute nel testo sotto la propria esclusiva responsabilità.

SOMMARIO

PRESENTAZIONE	p.	9
1. IL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE	"	11
1.1. Premessa	"	11
1.2. Quantificazione e distribuzione per Regioni.....	"	11
1.3. Distribuzione per epoca di costruzione e stato di conservazione	"	14
1.4. Distribuzione per tipologia costruttiva	"	17
1.5. Tipologie strutturali	"	18
1.6. Classi d'uso degli edifici, vita nominale e periodo di riferimento per l'azione sismica	"	19
2. EVOLUZIONE DEL QUADRO NORMATIVO	"	21
2.1. Generalità.....	"	21
2.2. Cenni storici sulle norme nel territorio italiano	"	21
2.2.1. Codici antecedenti al 1900.....	"	21
2.2.2. Regio Decreto n. 193 del 1908.....	"	22
2.2.3. Regio Decreto n. 431 del 1927.....	"	25
2.2.4. Norme successive al 1960.....	"	27
2.3. Norme e codici di comprovata validità.....	"	28
3. RISCHIO SISMICO E VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA	"	29
3.1. Generalità.....	"	29
3.2. Concetti fondamentali relativi al Rischio Sismico	"	29
3.3. La valutazione della sicurezza	"	30
3.4. Domanda e capacità	"	32
3.5. Gli stati limite	"	33
3.6. L'obbligatorietà della valutazione della sicurezza.....	"	35
4. CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI	"	36
4.1. Generalità.....	"	36
4.2. Interventi di adeguamento	"	36
4.3. Interventi di miglioramento	"	37
4.4. Riparazioni o interventi locali.....	"	38
4.5. Interventi nelle fondazioni.....	"	38
4.6. Interventi non strutturali	"	39

4.7.	Criteri di progettazione di elementi strutturali secondari ed elementi costruttivi non strutturali	p.	39
4.8.	Ampliamenti e sopraelevazioni	"	41
5.	LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA	"	52
5.1.	Generalità.....	"	52
5.2.	Analisi storico-critica.....	"	52
5.3.	Rilievo strutturale	"	53
5.4.	Caratterizzazione meccanica dei materiali	"	54
5.5.	Determinazione del « <i>livelli di conoscenza</i> »	"	54
5.5.1.	Costruzioni in muratura	"	54
5.5.1.1.	Geometria.....	"	54
5.5.1.2.	Dettagli Costruttivi.....	"	55
5.5.1.3.	Proprietà dei materiali.....	"	55
5.5.1.4.	Livelli di conoscenza	"	57
5.5.1.5.	Tipologie e relativi parametri meccanici.....	"	59
5.5.1.6.	Utilizzo dei fattori di confidenza nelle murature	"	62
5.5.2.	Costruzioni in calcestruzzo armato o in acciaio.....	"	62
5.5.2.1.	Generalità.....	"	62
5.5.2.2.	Dati da acquisire.....	"	63
5.5.2.3.	Livelli di conoscenza	"	63
5.5.2.4.	Indicazioni in relazione a disegni e rilievi	"	65
5.5.2.5.	Definizioni relative ai dettagli costruttivi.....	"	66
5.5.2.6.	Proprietà dei materiali.....	"	66
5.5.2.7.	Fattori di confidenza e stima delle resistenze.....	"	68
5.5.2.8.	Indicazioni supplementari per edifici in calcestruzzo armato.....	"	69
5.5.2.9.	Indicazioni supplementari per edifici in acciaio	"	69
5.6.	Esempio applicativo.....	"	69
6.	I SOLAI.....	"	77
6.1.	Generalità.....	"	77
6.2.	Funzione del solaio infinitamente rigido nella distribuzione delle azioni sismiche	"	77
6.3.	Influenza dell'ipotesi di solaio infinitamente rigido nei modi di vibrare.....	"	84
6.4.	Cenni storici sui solai in laterocemento.....	"	86
6.5.	Solai tipo SAP.....	"	87
6.6.	Solai tipo Varese	"	90
6.7.	Solai tipo SCAC.....	"	92
6.8.	Solai con nervatura monodirezionale	"	95
6.9.	Indicazione qualitative sulla rigidezza dei solai	"	96

7. EDIFICI CON OSSATURA IN CALCESTRUZZO ARMATO	p.	99
7.1. Generalità.....	"	99
7.2. L'ossatura portante «nuda»	"	100
7.3. Le strutture miste in calcestruzzo armato – muratura.....	"	101
7.4. La qualità dei materiali	"	101
7.5. Alcune indicazioni del comportamento dei telai con tamponamenti.....	"	104
7.6. Il «piano debole»	"	106
7.7. Criticità riscontrabili nelle costruzioni ad ossatura in c.a.....	"	106
7.8. Criticità riscontrabili nelle costruzioni di edifici industriali prefabbricati in c.a.	"	108
8. EDIFICI IN MURATURA	"	109
8.1. Classificazione degli edifici	"	109
8.2. Edifici di prima classe: integralmente in muratura con orizzontamenti a volta	"	109
8.3. Principi di funzionamento delle volte.....	"	111
8.3.1. Volte a botte.....	"	112
8.3.2. Volte a padiglione.....	"	115
8.3.3. Volte a crociera.....	"	116
8.3.4. Volte a doppia curvatura.....	"	117
8.4. Condizioni fisiologiche degli edifici esistenti di prima classe.....	"	117
8.5. Edifici di seconda classe: con ritzi in muratura e orizzontamenti a struttura portante in legno o in ferro.....	"	118
8.6. Edifici di terza classe: con ritzi in muratura ed orizzontamenti ancorati ad un cordolo di cemento armato.....	"	124
8.7. Travi di accoppiamento (o fasce di piano) in muratura	"	125
8.8. Interazioni del comportamento strutturale: murature, solaio infinitamente rigido, travi di accoppiamento	"	128
8.8.1. Caso in cui si ha l'ipotesi di traverso infinitamente rigido e il contributo delle travi di accoppiamento.....	"	129
8.8.2. Caso in cui si ha l'ipotesi di traverso infinitamente rigido e nessun contributo delle travi di accoppiamento	"	130
8.8.3. Caso in cui si ha l'ipotesi di traverso deformabile e il contributo delle travi di accoppiamento.....	"	131
8.8.4. Caso in cui si ha l'ipotesi di traverso deformabile e nessun contributo delle travi di accoppiamento	"	134
8.9. Meccanismi di rottura di I° e II° modo.....	"	135
8.10. Valutazione di sicurezza per meccanismi locali e globali.....	"	138
8.11. Gli aggregati e edifici misti.....	"	138
8.11.1. Definizione di aggregato e problematiche generali.....	"	138
8.11.2. L'unità strutturale (US)	"	139
8.11.3. L'interazione strutturale delle unità strutturali nell'aggregato	"	140

8.11.4.	Il carattere convenzionale dell'unità strutturale.....	p.	141
8.11.5.	Unità strutturali all'interno di una schiera aventi solai «sufficientemente rigidi».....	"	142
8.11.6.	Unità strutturali di testata aventi solai «sufficientemente rigidi».....	"	142
8.11.7.	Unità strutturali aventi solai «flessibili».....	"	142
8.12.	Abaco delle murature.....	"	143
8.12.1.	Murature a sacco priva di collegamento tra i due paramenti.....	"	143
8.12.2.	Murature a sacco con collegamenti (diatoni) tra i due paramenti	"	144
8.12.3.	Murature in pietra sbazzata irregolare	"	144
8.12.4.	Murature in pietra sbazzata con presenza di ricorsi.....	"	145
8.12.5.	Murature in pietra sbazzata con presenza di spigolo o mazzetta.....	"	146
8.12.6.	Murature in pietra arrotondata o ciotoli di fiume.....	"	146
8.12.7.	Murature in pietra arrotondata o ciotoli con ricorsi	"	147
8.12.8.	Murature in pietra arrotondata o ciotoli con mazzette o spigoli.....	"	148
8.12.9.	Murature in blocchi di tufo o pietra da taglio	"	148
8.12.10.	Murature in blocchi di calcestruzzo prefabbricato e/o alleggerito	"	149
8.12.11.	Murature in laterizio pieno a una o più teste.....	"	149
8.12.12.	Murature in laterizio semipieno (doppio UNI) a una o più teste (foratura < 45%).....	"	150
8.12.13.	Murature in laterizio forato (foratura > 45%).....	"	150
8.12.14.	Murature intelaiate o confinate	"	151
8.12.15.	Muratura armata.....	"	151
9.	DIAGNOSI DELLE STRUTTURE	"	152
9.1.	Le Indagini e la definizione del piano di Indagini	"	153
9.1.1.	Tecniche di Indagine	"	155
9.1.1.1.	Ispezione visiva.....	"	155
9.1.1.2.	Pacometro.....	"	160
9.1.1.3.	Carotaggio (e prove di laboratorio sui campioni prelevati).....	"	162
9.1.1.4.	Endoscopia.....	"	164
9.1.1.5.	Pull-out.....	"	166
9.1.1.6.	Sclerometro	"	168
9.1.1.7.	Ultrasuoni.....	"	170
9.1.1.8.	Tecniche combinate – SONREB.....	"	174
9.1.1.9.	Martinetto piatto doppio.....	"	176
9.1.1.10.	Laser Scanner.....	"	180
9.2.	I monitoraggi e la definizione del piano di monitoraggio.....	"	183

9.2.1.	Tecniche di monitoraggio semplici	p. 185
9.2.1.1.	Sonda di temperatura	" 185
9.2.1.2.	Livello	" 187
9.2.1.3.	Anemometro.....	" 188
9.2.1.4.	Fessurimetro.....	" 190
9.2.1.5.	Inclinometro.....	" 192
9.2.1.6.	Accelerometro.....	" 193
9.2.1.7.	Martinetto piatto singolo.....	" 195
9.2.2.	Tecniche di Monitoraggio complesse.....	" 196
9.2.2.1.	Prove di carico statiche	" 196
9.2.2.2.	Prove dinamiche.....	" 208
9.2.3.	Tecniche di restituzione del monitoraggio	" 216
9.2.3.1.	Monitoraggi periodici	" 217
9.2.3.2.	Monitoraggi « <i>in continua</i> ».....	" 219
9.2.3.3.	Monitoraggi « <i>in continua</i> » con trasmissione dati su web.....	" 222
10.	INTERVENTI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO	" 224
10.1.	Generalità.....	" 224
10.2.	Irrigidimento dei solai.....	" 225
10.2.1.	Obiettivi	" 225
10.2.2.	Solai in legno	" 226
10.2.3.	Solai metallici	" 230
10.2.4.	Solai in laterocemento.....	" 230
10.2.5.	Irrigidimento nel piano mediante tiranti	" 231
10.3.	Confinamento di nodi degli elementi in c.a.	" 232
10.4.	Rinforzo di pilastri in c.a.	" 234
10.5.	Rinforzo di travi in c.a.	" 236
10.6.	Rinforzo di setti c.a.....	" 238
10.7.	Rinforzo di murature mediante placcaggio.....	" 238
10.8.	Iniezioni di miscele leganti.....	" 240
10.9.	Tirantature.....	" 241
10.10.	Connessioni trasversali (diatoni)	" 244
10.11.	Ristilatura dei giunti.....	" 247
10.12.	Interventi di « <i>scuci-cuci</i> ».....	" 247
10.13.	Perforazioni armate.....	" 248
10.14.	Cerchiature esterne di edifici	" 249
10.15.	Cordoli in sommità di pareti	" 250
10.16.	Eliminazione delle spinte.....	" 253
10.17.	Interventi in coperture lignee.....	" 256
10.18.	Cerchiature di fori.....	" 257
10.19.	Incremento della resistenza delle fasce di piano.....	" 258
10.20.	Consolidamento di archi, volte e cupole.....	" 258
10.21.	Ripristino della « <i>regolarità geometrica</i> ».....	" 260

10.22. Mitigazione del rischio sismico con il metodo semplificato del D.M. n. 58/2017	p.	262
10.22.1. Generalità	"	262
10.22.2. Pietra sbozzata.....	"	265
10.22.3. Mattoni o pietra lavorata	"	265
10.22.4. Pietra massiccia per costruzioni monumentali.....	"	266
10.22.5. Mattoni + solai ad elevata rigidezza nel proprio piano medio	"	266
10.22.6. Muratura rinforzata e/o confinata.....	"	267
10.23. Mitigazione del rischio sismico per capannoni industriali in assenza di preventiva attribuzione della classe di rischio.....	"	268
10.24. Mitigazione del rischio sismico per edifici in c.a. in assenza di preventiva attribuzione della classe di rischio.....	"	271
 INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE INCLUSO	"	273
– Note sul software incluso	"	273
– Requisiti hardware e software.....	"	273
– Download del software e richiesta della password di attivazione.....	"	273
– Installazione ed attivazione del software	"	273
 BIBLIOGRAFIA E NORME DI RIFERIMENTO	"	275
– BIBLIOGRAFIA.....	"	275
– NORME TECNICHE.....	"	275

PRESENTAZIONE

Il testo è indirizzato agli operatori del settore tecnico delle costruzioni che vogliono iniziare un percorso ragionato sulla conoscenza del patrimonio edilizio esistente italiano e su come intervenire per favorire la diminuzione del rischio sismico.

Nel prossimo futuro ci aspetta molto lavoro su questo fronte. Una grande mole di edifici, le nostre stesse abitazioni, dovranno essere analizzate e monitorate. Dovremo imparare a conoscerle bene perché questa è la premessa per renderle più sicure.

Ci sono due punti vista: quello dei singoli soggetti – proprietari o utilizzatori dei fabbricati – i quali ritengono che, “forse”, nel corso della propria vita, un terremoto potrà provocare più o meno danni sul loro edificio. Poi c’è il punto di vista di chi deve amministrare, il quale riscontra, invece, che i terremoti hanno in Italia, frequenza sistematica e che, sfortunatamente, si presentano ogni due tre anni, con intensità tale da provocare danni sensibili a cose e/o persone.

Le norme tecniche e gli strumenti necessari per far fronte a tutto ciò sono oggi disponibili. Non resta che applicarli ed applicarci.

Pertanto, in questo libro troverete la trattazione di tematiche che riguardano le modalità di comportamento statico delle costruzioni edificate nel corso degli anni passati, la qualità dei materiali utilizzati, le carenze che si possono riscontrare, le modalità per migliorarli, quali norme tecniche possono essere utilizzate e quali tecniche di intervento possono essere perseguite anche con investimenti contenuti.

Come potrete constatare il campo è molto vasto sia per quanto riguarda gli aspetti da trattare, sia per quanto riguarda i possibili lettori. L’opera, dunque, si rivolge all’attenzione di Architetti, Ingegneri, Geometri, Periti Edili, ecc., ed è pensata soprattutto per chi vuole iniziare: un imprinting per fare in modo che sfoci l’interesse ad ulteriori approfondimenti.

Marco Boscolo Bielo

IL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE

1.1. Premessa

Nel prossimo futuro l'attività tecnica dei professionisti del settore edilizio verrà sempre più coinvolta in attività relative alla gestione del *patrimonio edilizio esistente*. Probabilmente vi saranno risorse economiche finanziate dallo Stato Italiano finalizzate a monitoraggi e a interventi sia su edifici a carattere pubblico (infrastrutture strategiche, scuole, ospedali, caserme, ecc.), sia a carattere privato (residenze, attività produttive, uffici, ecc.). Le forme di finanziamento potranno essere di tipo diversificato: a fondo perduto, in conto capitale, sgravi fiscali, ecc., come già attualmente diffuse.

La sensibilità politica e tecnico-culturale si sta muovendo verso una maggiore tutela dell'incolumità dei cittadini, visti gli esiti spesso tristi, di eventi che, purtroppo, periodicamente investono il territorio italiano. I progettisti e i tecnici del settore saranno sempre più spesso coinvolti con terminologie che fino ad oggi sono rimaste «*oscure*» ai più (periodo di ritorno di un evento sismico, probabilità di accadimento, *peak ground acceleration*, perdita media annua) e potrebbe rivelarsi che le *politiche di tutela* si estendano fino all'obbligatorietà di assicurare i fabbricati al fine di contenere la spesa pubblica in caso di interventi in favore della messa in sicurezza e/o del ripristino del tessuto urbano danneggiato da futuri eventi sismici.

Nell'ottica di avere un quadro generale dello *status quo del patrimonio edificato* questo primo Capitolo viene dedicato ad una analisi quantitativa delle tipologie costruttive.

1.2. Quantificazione e distribuzione per Regioni

Dal punto di vista numerico il patrimonio edilizio residenziale italiano risulta fotografato nella seguente Tabella 1.1.

Tabella 1.1. *Patrimonio edilizio italiano (Dati ISTAT 2011)*

	Numero di edifici	Numero di complessi di edifici
Italia	14.452.680,00	63.115,00
Nord-ovest	3.264.089,00	19.300,00
Piemonte	1.130.742,00	4.467,00
Valle d'Aosta	58.751,00	227,00
Liguria	312.781,00	1.475,00
Lombardia	1.761.815,00	13.131,00
Nord-est	2.785.717,00	12.414,00
Trentino Alto Adige	236.313,00	917,00

[segue]

	Numero di edifici	Numero di complessi di edifici
Provincia Autonoma Bolzano	91.187,00	154,00
Provincia Autonoma Trento	145.126,00	763,00
Veneto	1.222.447,00	5.043,00
Friuli-Venezia Giulia	351.598,00	1.522,00
Emilia-Romagna	975.359,00	4.932,00
Centro	2.440.643,00	12.079,00
Toscana	886.113,00	4.144,00
Umbria	237.796,00	1.187,00
Marche	367.633,00	1.170,00
Lazio	949.101,00	5.578,00
Sud	3.637.768,00	13.108,00
Abruzzo	432.223,00	2.044,00
Molise	129.865,00	753,00
Campania	1.049.459,00	3.734,00
Puglia	1.091.133,00	3.889,00
Basilicata	186.818,00	436,00
Calabria	748.270,00	2.252,00
Isole	2.324.463,00	6.214,00
Sicilia	1.722.072,00	4.371,00
Sardegna	602.391,00	1.843,00

Sempre a compendio di una immagine complessiva del «*parco edificato*», nelle Tabella 1.2¹ sono riportati i dati relativi ai fabbricati utilizzati e non utilizzati divisi per Regione.

Nel glossario ISTAT con il termine «*edificio*» ci si riferisce ad:

«Una costruzione generalmente di concezione ed esecuzione unitaria; dotata di una propria struttura indipendente; contenente spazi utilizzabili stabilmente da persone per uso residenziale (alloggi) e/o per la produzione di beni e servizi (uffici, studi, laboratori eccetera); delimitata da pareti, esterne o divisorie, e da coperture; dotata di almeno un accesso dall'esterno.».

Con il termine «*edificio residenziale*» ISTAT individua un:

- «– edificio progettato, costruito ed utilizzato solo a fini abitativi: case unifamiliari, ville, villette, case a schiera, palazzine in complessi residenziali, etc.;
- edificio progettato, costruito ed utilizzato principalmente a fini abitativi: condomini o palazzine con negozi (o sedi di attività economiche in genere) a piano strada, etc.;
- edificio che, pur se progettato e costruito non a fini abitativi, nel corso del tempo ha subito una variazione d'uso diventandolo;

¹ Dati ISTAT 2011. I complessi di edifici sono riferiti a destinazione non residenziale.

CAPITOLO 2

EVOLUZIONE DEL QUADRO NORMATIVO**2.1. Generalità**

Ci sono vari aspetti che ci inducono a mettere a disposizione nel nostro bagaglio tecnico-culturale la questione dell'evoluzione normativa italiana.

C'è, infatti, com'è logico aspettarsi, una stretta correlazione fra le modalità tecnico costruttive che caratterizzano un fabbricato, la sua collocazione storica e le relative norme dell'epoca.

I manufatti riflettono, infatti, le conoscenze tecnico-scientifiche dell'epoca in cui sono stati concepiti così come la capacità organizzativa del cantiere, la reperibilità di materiali da utilizzarsi a livello locale, ecc..

Le norme tecniche riassumono in modo ufficiale questa molteplicità di aspetti. Allo stesso scopo, utile riferimento possono essere i manuali tecnici d'epoca.

Per questi motivi in questo capitolo analizzeremo in modo sintetico le modalità in cui la normativa tecnica si è evoluta nel nostro territorio.

2.2. Cenni storici sulle norme nel territorio italiano**2.2.1. Codici antecedenti al 1900**

Le notizie storiche inerenti disposizioni tecnico-costruttive per rendere efficaci gli elementi strutturali ai fini sismici sono diffuse in molti documenti ma è probabile che le prime *norme sismiche*, intrise di una qualche ufficialità nel territorio italiano, siano state disposte nel Regno di Sicilia a seguito del terremoto del gennaio 1693 che colpì la zona di Catania e della Valle di Noto. Si trattava di un documento emanato il 28 giugno 1694 titolato *Consiglio ed Istruzioni fatte dal Vicario Generale Duca, che fu di Camastro, col voto dell'Ill.mo Senato, e Corpo Ecclesiastico, per la nuova riedificazione della città*.

Un secolo dopo un nuovo evento sismico di grande rilievo interessò il territorio calabro-mesinese a partire dal febbraio 1783. Il Regno di Napoli emanò allora le *Norme Tecniche ed edilizie per ricostruire le case distrutte* (20 marzo 1784).

I criteri costruttivi erano rivolti ad assicurare ai fabbricati una struttura intelaiata lignea (sistema a *baraccato*), opportunamente controventata mediante diagonali, sulla quale veniva poi adottata una chiusura a tamponamento che poteva essere a sua volta in legno o in muratura.

Al terremoto di Norcia del 22 agosto 1859 seguì il *Regolamento Edilizio da osservarsi per le fabbriche nel Comune di Norcia*, il quale operò una distinzione tra le nuove opere e quelle esistenti da restaurare. In particolare, per quest'ultime, le volte in muratura potevano essere conservate fino al piano terreno purché tirantate da elementi metallici. Per le nuove costruzioni, invece, le volte erano ammesse solo nel piano interrato purché impostate su un arco a tutto sesto semicircolare, a botte, a vela o a schifo. Seguivano indicazioni di carattere dimensionale: minimo spes-

sore in chiave 25 cm oppure, rinforzi ai fianchi per volte con dimensioni significative, ecc.. Lo spessore delle murature doveva essere non inferiore a 60 cm, in elementi lapidei squadri con esclusione dei formati piccoli e dei ciotoli. Raccomandato il sistema *a baraccato*.

Dopo la formazione del Regno d'Italia due provvedimenti succedettero ad altrettanti eventi sismici prima del '900. Si tratta del Regio Decreto del 29 agosto 1884 (*Regolamento Edilizio per i Comuni dell'isola di Ischia danneggiati dal terremoto del 28 luglio 1883*) e del Regio Decreto 13 novembre 1887 (*Regolamento contenente le norme per la costruzione ed il restauro dei Comuni liguri danneggiati dal terremoto del 22 febbraio 1887*). In esse sono contenute disposizioni che ricalcano grossomodo le indicazioni tecniche precedentemente illustrate in rapporto alle caratteristiche di impiego dei materiali locali.

2.2.2. Regio Decreto n. 193 del 1908

Il XX secolo si apre, purtroppo, con ulteriori eventi funesti. Nella notte del 28 dicembre del 1908, 37 secondi di scossa seguita da tsunami danneggiò gravemente le città e zone limitrofe di Messina e Reggio Calabria (Figura 2.1).

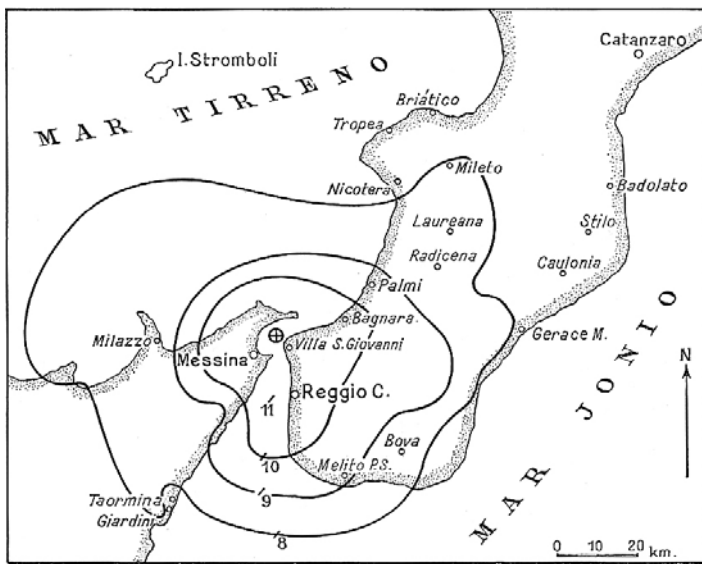


Figura 2.1. Quadro delle «isosismiche Mercalli» relative terremoto calabro-siculo del 28 dicembre 1908 (da Perri)

Alcune stime indicano in 80.000 le vittime in territorio siciliano e 15.000 quelle in territorio calabrese. Lo sciame sismico durò qualche mese e andò distrutto il 90% dell'edificato (Figure 2.2 e 2.3 nella pagina a fianco).

Alla sciagura fece seguito l'emanazione del Regio Decreto 18 aprile 1909, n. 193 portante norme tecniche ed igieniche obbligatorie per le riparazioni, ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati nei luoghi colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 e da altri precedenti elencati nel R.D. 15 aprile 1909 e designante i Comuni.



Figura 2.2. Case rovinate dal terremoto di Calabria del 28 dicembre 1908



Figura 2.3. Messina, terremoto del 1908

RISCHIO SISMICO E VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

3.1. Generalità

La questione della sicurezza sismica investe una serie di tematiche che variano dalla «*scala territoriale*» al «*singolo fabbricato*». In generale, è compito delle organizzazioni statali farsi carico degli aspetti previsionali riguardanti le conseguenze di un terremoto nei propri territori. A questo scopo vengono predisposti piani di intervento, quantificate le risorse economiche dovute ai soccorsi, alla ricostruzione, ecc.. A ciò viene affiancata l'emanazione di norme tecniche che recepiscano la progressiva crescita delle conoscenze in campo scientifico, le innovazioni tecnologiche e quanto necessario a rendere più sicure le costruzioni al manifestarsi di eventi sismici, anche a livello di probabilità previsionale. Tuttavia, l'entrata in vigore di nuove e aggiornate norme tecniche hanno sempre reso cogente l'applicazione degli indirizzi innovativi agli edifici di nuova edificazione e di ampliamento dell'esistente.

Gli indirizzi attuali sembrano finalmente rivolgersi anche alla prevenzione incentivando il «*privato*» ad attuare interventi che possano attenuare il rischio sismico sulle costruzioni esistenti¹.

3.2. Concetti fondamentali relativi al Rischio Sismico

Dal punto di vista concettuale con il termine **Rischio Sismico (RS)** è definito dalla combinazione di tre fattori principali:

- 1) **Pericolosità (P)** – La pericolosità sismica (P) di una data zona è rappresentata dalla frequenza e dalla intensità dei terremoti che la riguardano ed è una caratteristica intrinseca del luogo (sismicità).
- 2) **Vulnerabilità (V)** – La vulnerabilità sismica (V) invece è una caratteristica delle costruzioni in quanto riguarda la capacità o meno di subire danni a seguito di un evento sismico che può avere un dato livello di intensità assegnato. I danni subiti possono essere di tipo strutturale, e quindi portare al collasso del fabbricato, oppure non strutturali, e quindi interessare la sua fruibilità.
- 3) **Esposizione (E)** – L'esposizione sismica (E) rappresenta, infine, la quantificazione del danno in termini di vite umane, economici e sociali. Ovvero di tutto ciò che attiene al tessuto sociale e al suo funzionamento.

Se si quantificano le grandezze **P**, **V** ed **E**, il rischio sismico **RS** può essere rappresentato dalla funzione:

¹ Ad esempio con l'entrata in vigore del D.M. n. 58/2017 e del D.M. n. 65/2017 e delle *Linee Guida* per la classificazione sismica degli edifici.

$$RS = f(P, V, E) \quad (3.1)$$

ovvero come combinazione dei parametri suindicati.

Dal punto di vista grafico l'inferenza delle tre variabili può rappresentarsi attraverso l'area di intersezione delle tre grandezze P, V, E, come indicato in Figura 3.1.

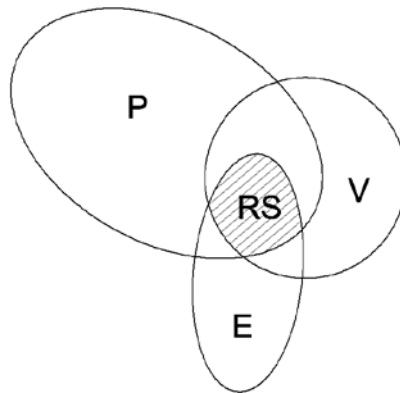


Figura 3.1. Rappresentazione grafica del rischio sismico

Ne deduciamo che il rischio sismico rappresenti una misura dei danni che, in base al tipo di sismicità, di resistenza delle costruzioni e di antropizzazione (natura, qualità e quantità dei beni esposti), ci si può attendere in un dato intervallo di tempo.

Per quanto attiene al parametro di *pericolosità* (P), esso è determinato da norme tecniche nazionali (ad esempio attraverso una definizione probabilistica dell'accelerazione sismica attesa al suolo caratteristica dei luoghi, come avviene nelle NTC). Anche la valutazione dell'*esposizione* (E) attiene ad ambiti previsionali che sono elaborati dallo Stato e sui quali il singolo cittadino non ha una capacità di intervento. Diverso è invece il discorso per quanto attiene alla valutazione della *vulnerabilità* (V), sulla quale invece la possibilità di intervento del proprietario di un immobile è possibile ed è codificata. Ciò avviene attraverso il procedimento di *valutazione della sicurezza* di cui si dirà al paragrafo successivo. In tal senso i proprietari di immobili incaricano un professionista per redigere le opportune analisi dello stato di fatto di un edificio esistente e per individuare le azioni progettuali volte alla diminuzione della sua vulnerabilità sismica.

In generale, dunque, la relazione scritta nella (3.1) è solo un'operazione di tipo concettuale, non tradotta in una normativa tecnica di riferimento e che attenga ai vigenti livelli di programmazione progettuale da parte dei singoli proprietari di immobili (sia essi privati cittadini o enti di vario genere).

3.3. La valutazione della sicurezza

La valutazione della sicurezza nelle costruzioni esistenti è definita al § 8.3 delle NTC2018. Per **costruzione esistente** si intende quella che abbia, alla data della redazione della valutazione di sicurezza e/o del progetto d'intervento, la struttura completamente realizzata.

CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI

4.1. Generalità

Il D.M. 17 gennaio 2018 classifica tre categorie di intervento strutturale sulle costruzioni esistenti in base alle seguenti definizioni:

- 1) Interventi di **riparazione o locali**: interventi che interessino singoli elementi strutturali e che, comunque, non riducano le condizioni di sicurezza preesistenti.
- 2) Interventi di **miglioramento**: interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, senza necessariamente raggiungere i livelli di sicurezza fissati al § 4.3.
- 3) Interventi di **adeguamento**: interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, conseguendo i livelli di sicurezza fissati al § 4.4.

L'elenco suindicato assume concettualmente anche un significato crescente in relazione al traguardo che si vuole raggiungere in termini di sicurezza.

Gli interventi di adeguamento sono rivolti al conseguimento di livelli sicurezza *specificamente previsti* dalle NTC. Gli interventi di miglioramento, invece, sono solo rivolti ad un *aumento del livello di sicurezza strutturale* della costruzione esistente, pur senza raggiungere quanto disposto per l'adeguamento. In entrambi i casi comunque è obbligatorio il collaudo statico dell'opera.

La scelta del tipo di intervento da adottare non è completamente arbitraria, ma vincolata ad alcune condizioni che vengono precisate ai paragrafi successivi.

4.2. Interventi di adeguamento

Le NTC rendono obbligatoria l'adozione di una procedura di *adeguamento* quando si verificano alcune circostanze chiaramente indicate nel decreto:

«L'intervento di adeguamento della costruzione è obbligatorio quando si intenda:

- a) *sopraelevare la costruzione;*
- b) *ampliare la costruzione mediante opere ad essa strutturalmente connesse e tali da alterarne significativamente la risposta;*
- c) *apportare variazioni di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali verticali in fondazioni superiori al 10%, valutati secondo la combinazione caratteristica di cui alla seguente equazione (combinazione caratteristica rara):*

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (4.1)$$

- d) *includendo i soli carichi gravitazionali. Resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione;*
- e) *effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un sistema strutturale diverso dal precedente; nel*

caso degli edifici, effettuare interventi strutturali che trasformano il sistema strutturale mediante l'impiego di nuovi elementi verticali portanti su cui grava almeno il 50% dei carichi gravitazionali complessivi riferiti ai singoli piani;

- f) *apportare modifiche di classe d'uso che conducano a costruzioni di classe III ad uso scolastico o di classe IV¹.*

In ogni caso, il progetto dovrà essere riferito all'intera costruzione e dovrà riportare le verifiche dell'intera struttura post-intervento, secondo le indicazioni del Capitolo 8 delle NTC. Nei casi a), b) e d), per la verifica della struttura, si deve avere

$$\zeta_E \geq 1 \quad (4.2)$$

Nei casi c) ed e) si può assumere:

$$\zeta_E \geq 0,8 \quad (4.3)$$

Resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione.».

Il progetto di adeguamento dovrà in ogni caso essere riferito all'intera costruzione e dovrà riportare le verifiche dell'intera struttura post-intervento.

Ad esempio, qualora si intenda eseguire una sopraelevazione di un piano su un fabbricato esistente di originari 4 piani, la valutazione della sicurezza del progetto di adeguamento dovrà comprendere, nei limiti disposti dalle condizioni di verifica delle NTC, l'intero fabbricato di 5 piani (cfr. anche § 4.8).

4.3. Interventi di miglioramento

Gli interventi di miglioramento sono caratterizzati da parametri di verifica di progetto meno stringenti rispetto all'adeguamento. Essi sono infatti limitati ad una dimostrazione quantitativa di accrescimento della capacità resistente del sistema strutturale soggetto all'intervento (a meno di casi specifici).

Nelle parole del D.M. 17 gennaio 2018 si ha quanto segue.

«La valutazione della sicurezza e il progetto di intervento dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.

Per la combinazione sismica delle azioni (ovvero la 4.1), il valore di ζ_E può essere minore dell'unità.

A meno di specifiche situazioni relative ai beni culturali, per le costruzioni di classe III ad uso scolastico e di classe IV il valore di ζ_E , a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere comunque non minore di 0,6, mentre per le rimanenti costruzioni di classe III e per quelle di classe II il valore di ζ_E , sempre a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere incrementato di un valore comunque non minore di 0,1.

Nel caso di interventi che prevedano l'impiego di sistemi di isolamento, per la verifica del sistema di isolamento, si deve avere almeno $\zeta_E = 1,0$.

¹ Per la definizione delle classi d'uso vedi Capitolo 1.

LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA

5.1. Generalità

L'analisi preliminare di un fabbricato esistente si basa sostanzialmente su:

- 1) verifiche visive *in situ*;
- 2) reperimento di documentazione del progetto originario e/o di varianti;
- 3) indagini sperimentali.

È indubbio che il primo punto è quello immediatamente constatabile dal progettista, il quale, in ragione di opportuni sopralluoghi, si fa un'idea dello stato dei materiali e del loro eventuale degrado.

La ricerca di documentazione afferente alla costruzione può indirizzarsi verso eventuali disegni, relazioni di calcolo, depositi di atti presso enti competenti, ecc..

A seconda dei livelli di conoscenza che si vogliono realizzare per gli interventi, è necessario effettuare una campagna di indagini sui materiali, eseguite in laboratorio su campioni estratti (qualora possibile) o in situ. Queste permetteranno la definizione dei parametri meccanici dei materiali per la realizzazione del modello di calcolo.

Il D.M. 17 gennaio 2018, al § 8.5 (*Definizione del modello di riferimento per le analisi*), dal punto di vista generale, delinea la situazione in questo modo:

«Nelle costruzioni esistenti le situazioni concretamente riscontrabili sono le più diverse ed è quindi impossibile prevedere regole specifiche per tutti i casi. Di conseguenza, il modello per la valutazione della sicurezza dovrà essere definito e giustificato dal progettista, caso per caso, in relazione al comportamento strutturale atteso, tenendo conto delle indicazioni generali di seguito esposte.»

5.2. Analisi storico-critica

Il D.M. 17 gennaio 2018, al § 8.5.1 pone in risalto la necessità di una preliminare analisi storico-critica dei manufatti con le seguenti parole:

«Ai fini di una corretta individuazione del sistema strutturale e del suo stato di sollecitazione è importante ricostruire il processo di realizzazione e le successive modificazioni subite nel tempo dalla costruzione, nonché gli eventi che l'hanno interessata.»

L'analisi dovrebbe mirare ad una ricostruzione storica degli eventi che hanno caratterizzato la vita del fabbricato, ad esempio: se abbia o meno subito delle alterazioni rispetto alla sua concezione-configurazione originaria, se vi siano stati fatti degli ampliamenti o, al contrario, riduzioni

della mole, ecc.. Questi sono infatti gli aspetti essenziali e determinanti che interessano il *punto di vista strutturale*. Variazioni o modifiche di ordine formale, non influenti sul comportamento statico, sono senza dubbio meno significativi e fanno parte di altri tipi di discipline.

In alcuni casi può essere difficile disporre dei disegni originali di progetto necessari a ricostruirne la storia progettuale e costruttiva, ad esempio per gli edifici a valenza culturale, storico-architettonica. In questi ultimi casi si può ricorrere ad una ricerca d'archivio in modo da poter ricostruire ed interpretare almeno le diverse fasi edilizie.

Esistono anche dei testi classici che mettono a disposizione i dati sui terremoti che la zona in cui sorge l'edificio da analizzare potrebbe avere subito nel corso del tempo¹. La consultazione di questi potrà consentire di avere una prima idea su quanti e quali terremoti l'edificio possa avere subito in passato. Ciò sarà indubbiamente di notevole utilità, perché consentirà di valutare la sua *efficienza antisismica*.

5.3. Rilievo strutturale

Anche per quanto concerne la fase del rilievo il D.M. 17 gennaio 2018 offre una panoramica delle attività che il tecnico è chiamato a svolgere.

«Il rilievo geometrico-strutturale dovrà essere riferito alla geometria complessiva, sia della costruzione, sia degli elementi costruttivi, comprendendo i rapporti con le eventuali strutture in aderenza. Nel rilievo dovranno essere rappresentate le modificazioni intervenute nel tempo, come desunte dall'analisi storico-critica.

Il rilievo deve individuare l'organismo resistente della costruzione, tenendo anche presenti la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi.

Dovranno altresì essere rilevati i dissesti, in atto o stabilizzati, ponendo particolare attenzione all'individuazione dei quadri fessurativi e dei meccanismi di danno.»

È evidente, anche in questo caso, che le finalità del rilievo sono di tipo strutturale. È indispensabile che il rilievo sia condotto da persona esperta e qualificata. Alcuni rilievi, probabilmente eseguiti per altre finalità e/o senza la consapevolezza e la *forma mentis* dello strutturista, sono poco significativi se non, addirittura, del tutto inutili.

È bene avere chiaro quali siano gli elementi portanti e quelli portati. È bene sapere se un dato spessore di un paramento murario sia o meno dovuto ad una doppia parete, di cui una sia stata magari costruita in epoca successiva e quindi *«inefficace»* nel contributo statico di certe azioni. Per questi motivi, il rilievo strutturale, va quasi sempre accompagnato da altre indagini, più o meno complesse, che debbono essere eseguite contemporaneamente.

Nelle costruzioni in calcestruzzo armato, oltre al rilievo geometrico delle membrature strutturali degli elementi, è evidente la necessità di conoscere anche la quantità e la disposizione delle armature. A tale scopo possono essere utilizzate alcune tecniche descritte al Capitolo 9 (ad esempio le indagini pacometriche).

¹ Ad esempio: Mario Baratta, *I terremoti d'Italia*, Torino, Arnoldo Forni Editore, 1901.

I SOLAI

6.1. Generalità

I *solai* (*orizzontamenti* o *impalcati*) sono elementi strutturali che svolgono principalmente due tipi di funzioni:

- **sostegno dei carichi verticali** (pavimenti, mobili, persone, ecc.) da trasferire agli elementi portanti verticali (pilastri, murature, ecc.);
- **distribuzione delle azioni orizzontali** (vento, azioni sismiche, ecc.) sugli elementi resistenti verticali.

Questa seconda funzione risulta di fondamentale importanza per quanto riguarda il comportamento sismico scatolare di una costruzione ed è assicurata quando vi siano le condizioni affinché il comportamento del solaio possa definirsi *infinitamente rigido* nel proprio piano (comportamento a *diaframma*).

Nelle nuove costruzioni, gli orizzontamenti possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano se sono realizzati:

- in **calcestruzzo armato**;
- in **latero-cemento con soletta in c.a. di almeno 40 mm di spessore**;
- in **struttura mista con soletta in cemento armato di almeno 50 mm di spessore**, ad esempio solai in legno con soletta collaborante in c.a., solai in acciaio-calcestruzzo con soletta collaborante in c.a. In tal caso la soletta deve essere collegata da connettori a taglio opportunamente dimensionati agli elementi strutturali in acciaio o in legno, purché le aperture presenti non ne riducano significativamente la rigidità.

Negli edifici esistenti non sempre le sopraindicate condizioni risultano soddisfatte e ne consegue che il comportamento risulta affetto da un certo grado di deformabilità, tuttavia la circolare applicativa delle NTC consente di considerare infinitamente rigidi nel loro piano quei solai per i quali gli «*spostamenti orizzontali massimi in condizioni sismiche non superano per più del 10% quelli calcolati con l'assunzione di piano rigido*».

Una valutazione qualitativa del comportamento del solaio può essere effettuata secondo le indicazioni contenute nel § 6.7.

6.2. Funzione del solaio infinitamente rigido nella distribuzione delle azioni sismiche

Una prima diretta conseguenza dell'assunzione dell'ipotesi del comportamento infinitamente rigido di un solaio comporta che, l'eventuale distribuzione di una azione orizzontale F sui piedritti, avviene in modo proporzionale alla rigidità dei medesimi.

Per chiarire questo concetto bisogna considerare che l'ipotesi di solaio infinitamente rigido, assunta per semplicità in un caso piano come indicato in Figura 6.1 (*traverso infinitamente rigido*), implica l'uguaglianza degli spostamenti x in sommità.

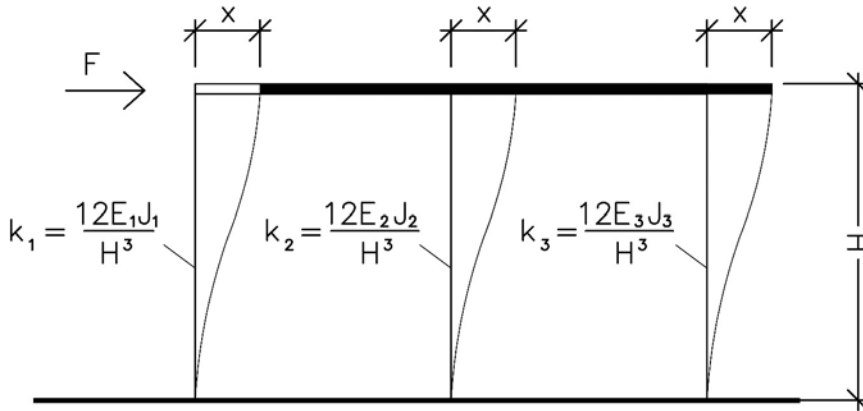


Figura 6.1. Congruenza degli spostamenti su portale con travesso infinitamente rigido

Cosicché, se ad esempio, in un telaio avente 3 ritti di rigidezza k_1 , k_2 , k_3 , e soggetto ad una forza orizzontale F sul travesso, si impone l'uguaglianza degli spostamenti x (condizione di congruenza), ne consegue direttamente:

- 1) per l'equilibrio alla traslazione orizzontale:

$$F = F_1 + F_2 + F_3 \quad (6.1)$$

- 2) per il comportamento elastico lineare dei materiali:

$$F_1 = k_1 \cdot x_1$$

$$F_2 = k_2 \cdot x_2 \quad (6.2)$$

$$F_3 = k_3 \cdot x_3$$

- 3) per il comportamento di travesso infinitamente rigido, la seguente condizione di congruenza, ovvero identità di tutti gli spostamenti:

$$x_1 = x_2 = x_3 = x \quad (6.3)$$

La rigidezza complessiva del telaio è data dalla somma delle singole rigidità dei ritti, per cui:

$$F = k_{tot} \cdot x \quad (6.4)$$

$$k_{tot} = k_1 + k_2 + k_3 \quad (6.5)$$

$$F = (k_1 + k_2 + k_3) \cdot x \Rightarrow x = \frac{F}{k_1 + k_2 + k_3} \quad (6.6)$$

e, conseguentemente:

EDIFICI CON OSSATURA IN CALCESTRUZZO ARMATO

7.1. Generalità

Nel corso del '900 vi è stata una progressiva diffusione del calcestruzzo armato conseguente al progresso delle conoscenze tecniche sul funzionamento combinato dei materiali calcestruzzo e acciaio in barre.

In Italia va ricordata l'opera di diffusione teorica effettuata dal Prof. Ing. Luigi Santarella, soprattutto per quanto riguarda la traduzione di autori fondamentali quali: E. Mörsch, *Teoria e Pratica del Cemento Armato* (1923) e C. Bach – R. Baumann, *Elasticità e Resistenza dei Materiali* (1928), oltre che per volumi dedicati alla manualistica e all'illustrazione di progetti, di cui egli stesso fu autore.

L'edificio con ossatura portante in c.a., ovvero caratterizzato da un sistema portante di travi e pilastri in calcestruzzo armato, entra nella prassi costruttiva anche combinato con la muratura portante di laterizio nelle cosiddette «*strutture miste in c.a.*».

In una fase successiva gli elementi in muratura assumono sempre più la funzione di «*tampamenti*», anche in virtù del loro alleggerimento in termini di massa (elementi forati).

Le tipologie ad ossatura portante mista c.a. e laterizio si riscontrano in modo frequente anche negli anni '60 e '70, tuttavia il loro comportamento strutturale rispetto alla cosiddetta «*ossatura portante nuda*» assume caratteristiche diverse come vedremo nei paragrafi successivi.

Oggi giorno la situazione relativa alla codificazione delle possibili tipologie strutturali che si possono ottenere con il calcestruzzo armato può desumersi dalle NTC le quali definiscono, in particolare per quanto concerne le strutture sismo-resistenti, la seguente classificazione:

- **strutture a telaio**, nelle quali la resistenza alle azioni sia verticali che orizzontali è affidata principalmente a telai spaziali, aventi resistenza a taglio alla base $\geq 65\%$ della resistenza a taglio totale;
- **strutture a pareti**, nelle quali la resistenza alle azioni sia verticali che orizzontali è affidata principalmente a pareti, singole o accoppiate, aventi resistenza a taglio alla base $\geq 65\%$ della resistenza a taglio totale;
- **strutture miste telaio-pareti**, nelle quali la resistenza alle azioni verticali è affidata prevalentemente ai telai, la resistenza alle azioni orizzontali è affidata in parte ai telai ed in parte alle pareti, singole o accoppiate; se più del 50% dell'azione orizzontale è assorbita dai telai si parla di strutture miste equivalenti a telai, altrimenti si parla di strutture miste equivalenti a pareti;
- **strutture deformabili torsionalmente**, composte da telai e/o pareti, la cui rigidità torsionale non soddisfa ad ogni piano alcuni valori minimi imposti dalla norma;
- **strutture a pendolo inverso**, nelle quali almeno il 50% della massa è nel terzo superiore dell'altezza della costruzione o nelle quali la dissipazione d'energia avviene alla base di un singolo elemento strutturale.

7.2. L'ossatura portante «nuda»

Negli edifici esistenti le ossature portanti nude realizzate in calcestruzzo armato sono strutture alle quali la capacità portante, in termini di stabilità e resistenza, è affidata ad elementi trave e pilastro costituiti in telai, generalmente a maglia quadrangolare, e orditi su due direzioni principali di pianta. I punti di collegamento tra travi e pilastri sono detti «nodi». In questa tipologia di costruzioni i solai sono quasi sempre costituiti in latero-cemento.

Per le costruzioni non sismo-resistenti edificate nel corso del '900, si possono riscontrare schemi statici costituiti da telai in c.a. orditi in una sola direzione e collegati direttamente dai solai in laterocemento nell'altro senso (vedi Figura 7.1).

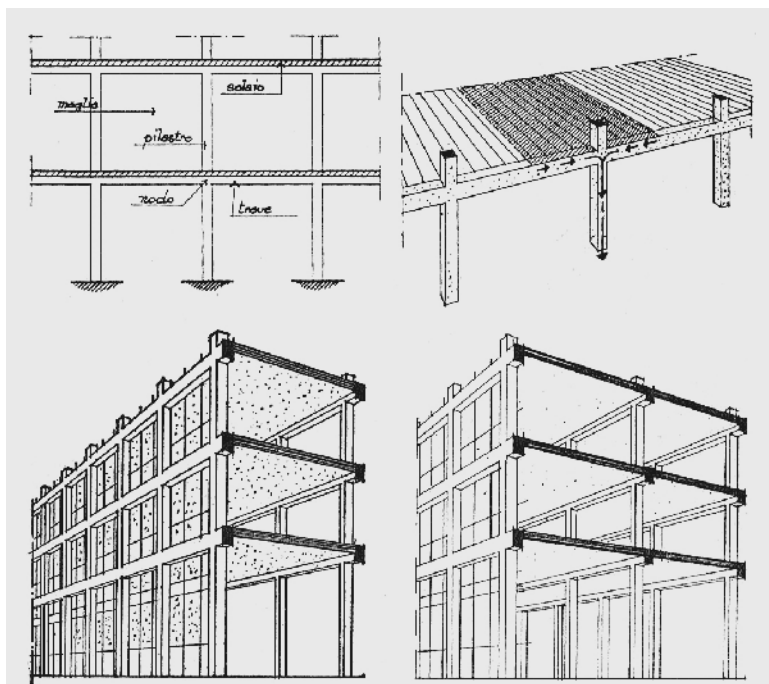


Figura 7.1. Ossatura portante in una sola direzione

Nelle ossature portanti nude, il sistema resistente è dunque esclusivamente affidato agli elementi trave e pilastro, più o meno rigidamente connessi ai nodi e, almeno in linea di principio, i tamponamenti e le tramezzature non interferiscono staticamente con l'ossatura.

Da ciò ne consegue un comportamento globale del sistema che non risulta «irrigidito» dalla muratura interposta nelle maglie dell'ossatura e, conseguentemente, una risposta in termini di spettro elastico diversa rispetto ai sistemi misti di cui si dirà nel successivo paragrafo.

L'esperienza desunta nei confronti di fabbricati edificati secondo questa tipologia ha messo in luce che, laddove si è riscontrata una cattiva progettazione e/o realizzazione dei nodi, i terremoti hanno generalmente messo in crisi l'intero sistema strutturale. Peraltro a questa conclusione si può pervenire anche in modo puramente concettuale rilevando che, nel caso di un sistema elementare costituito da una maglia quadrangolare (Figura 7.2), qualora vi fosse la mancan-

EDIFICI IN MURATURA

8.1. Classificazione degli edifici

Quantunque le classificazioni pecchino sovente di rigidità nel loro intento di ordinare e organizzare in gruppi gli elementi di un insieme, soprattutto quando questo sia caratterizzato da peculiarità molto eterogenee, qual'è il caso appunto degli edifici esistenti in muratura portante di mattoni, sembra utile riproporre quella adottata da Michele Pagano¹. Essa consta delle seguenti tre classi:

- I. Edifici interamente in muratura con orizzontamenti costituiti da volte;
- II. Edifici con ritzi in muratura e orizzontamenti costituiti da solai la cui orditura principale è composta da travi isostatiche in legno o ferro;
- III. Edifici con ritzi in muratura ed orizzontamenti costituiti da solai ammassati in un cordolo perimetrale in calcestruzzo armato.

È evidente che, in molti casi, un dato edificio potrà anche contenere le tre varianti suindicate, e dunque presentarsi a tipologia ibrida.

8.2. Edifici di prima classe: integralmente in muratura con orizzontamenti a volta

Si tratta di tipologie costruttive *storiche* nelle quali l'organizzazione strutturale portante è interamente affidata a murature. In sostanza, sia l'apparato fondale, sia le strutture verticali e gli orizzontamenti (o impalcati), sono realizzati mediante elementi lapidei o in laterizio (Figura 8.1c), variamente legati. Discorso a parte vale invece per le coperture che, invece, riscontrano il favore prevalentemente di capriate in legno o comunque di dispositivi strutturali con elementi lignei.

Le fondazioni possono essere realizzate secondo lo schema di Figura 8.1a e 8.1b: una serie di piloni in muratura posti in prossimità degli incroci dei muri maestri raggiungono lo strato fondale più resistente; un sistema di volte sostiene le parti restanti delle strutture di elevazione.

Lo schema dell'arco di fondazione può essere anche «*rovesciato*», in tal caso il livello terra poggia direttamente sul suolo (Figura 8.2).

Per quanto riguarda gli orizzontamenti (incluso, come si vede in Figura 8.1b, il livello terra) il sistema costruttivo adottato si fonda sul principio della *volta*. Numerosissime sono le tipologie di volta adottate; di seguito si riporta una breve illustrazione di alcuni tipi principali raggruppate secondo le seguenti categorie:

- a) a botte;
- b) a padiglione;
- c) a crociera;
- d) a doppia curvatura.

¹ Michele Pagano, *Teoria degli Edifici. Edifici in Muratura*, Liguori Editore, Napoli 1969.

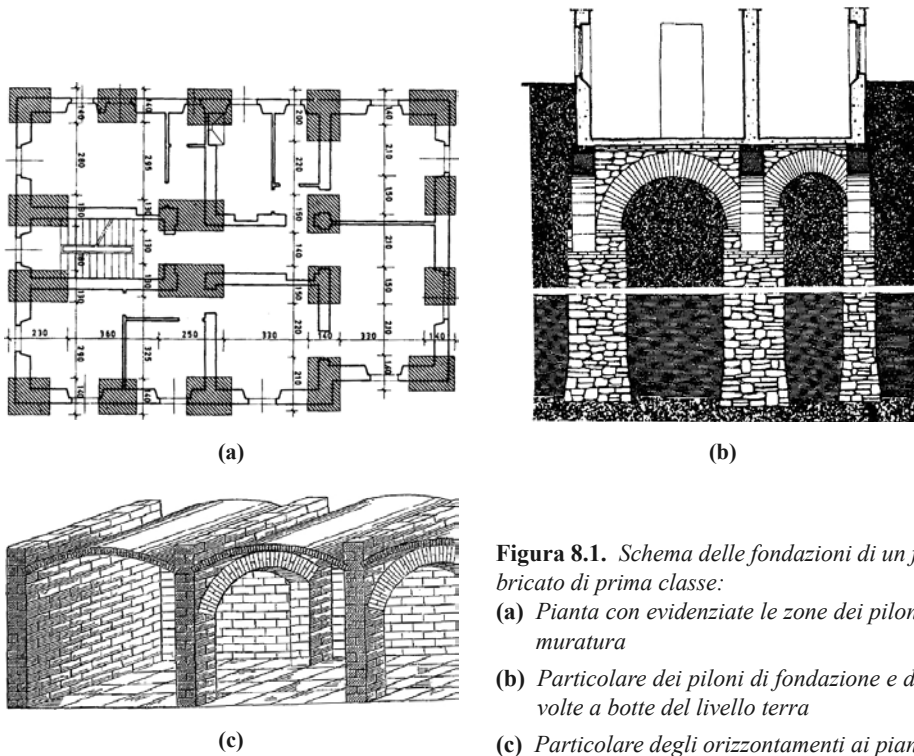


Figura 8.1. Schema delle fondazioni di un fabbricato di prima classe:

- (a) Pianta con evidenziate le zone dei piloni in muratura
- (b) Particolare dei piloni di fondazione e delle volte a botte del livello terra
- (c) Particolare degli orizzontamenti ai piani

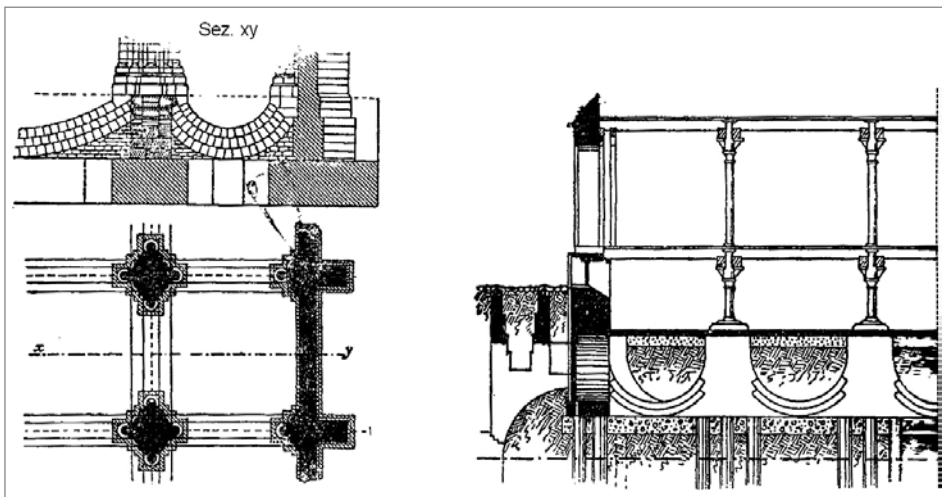


Figura 8.2. Schema delle fondazioni di un fabbricato di prima classe con archi rovesciati

Tutti questi sistemi si fondano principalmente sul comportamento statico dell'arco. Anche le aperture sui muri sono generalmente ottenute mediante l'inserimento di un *arco di scarico* o di una *piattabanda* al di sopra delle stesse (Figura 8.3).

DIAGNOSI DELLE STRUTTURE

Per *Diagnosi delle strutture* si intende un complesso di attività che ha come obiettivo l'acquisizione di informazioni rilevanti della struttura e/o delle azioni (nel senso più ampio) a cui è sottoposta.

La Diagnosi delle strutture costituisce un momento fondamentale per il Professionista che si occupa di costruzioni esistenti. In quest'ambito, infatti, l'attività progettuale (adeguamento, miglioramento, riparazione o semplicemente valutazione di sicurezza) ha come oggetto una costruzione già realizzata, di cui però non sono generalmente note le caratteristiche strutturali; il Professionista deve quindi anteporre, alla consueta attività di progettazione, una preliminare fase conoscitiva, per ricavare quei tratti essenziali e significativi della struttura che sono indispensabili per qualsiasi successivo sviluppo dell'attività richiesta.

La fase di Diagnosi è ugualmente necessaria anche quando sia disponibile il Progetto dell'opera. Infatti, la qualità dei materiali può discostarsi da quella del progetto originario per una serie di cause: errori di manipolazione durante la posa in opera; riduzione nel corso del tempo a seguito di esposizione a carichi eccessivi e/o ad azioni eccezionali; fenomeni di degrado sia esterni che endogeni, solo per citare le principali.

È possibile, inoltre, che non vi sia completa corrispondenza tra dettagli costruttivi/geometrie progettati e quelli effettivamente realizzati sia per modifiche sopravvenute (e non riportate negli elaborati progettuali) sia per improprie esecuzioni.

Due considerazioni per rimarcare l'importanza della Diagnosi strutturale.

- La prima: eventuali errori nell'attività di Diagnosi possono condizionare anche pesantemente la successiva fase di progettazione, con la predisposizione di inutili interventi di rinforzo (qualora fossero sottostimate le caratteristiche dei materiali, ad esempio) ovvero insufficienze statiche (nel caso contrario, e cioè di una sopravvalutazione delle resistenze). Analoghi gravi inconvenienti possono verificarsi a seguito di una errata valutazione dei dettagli costruttivi e/o dei carichi (permanenti) applicati e/o nel mancato riconoscimento di difetti di realizzazione della struttura.
- La seconda: lo sforzo conoscitivo del Professionista nei riguardi della qualità dei materiali (e della geometria e dei dettagli costruttivi) viene riconosciuto e premiato dalla Normativa che consente l'adozione di «*fattori di confidenza*» (coefficienti di sicurezza con cui occorre dividere le resistenze ricavate per i materiali) via via decrescenti all'aumentare dell'approfondimento dell'indagine (livello di conoscenza) con la possibilità di economie nella soluzione progettuale e vantaggi complessivi per il Cliente dell'opera.

Nel prosieguo si descrive l'attività di Diagnosi strutturale adottando una suddivisione tradizionalmente utilizzata tra *Indagini* – aventi prevalentemente l'obiettivo di ricavare informazioni

relative alle proprietà della struttura (o strettamente connesse alla struttura) – e *Monitoraggi*, – generalmente orientati a verificarne il comportamento e, comunque, ulteriormente contraddistinti (in generale) da una ripetizione delle determinazioni nel corso del tempo¹.

9.1. Le Indagini e la definizione del piano di Indagini

L'attività di Indagine ha come scopo l'accertamento delle proprietà rilevanti della struttura unitamente a ciò che ne influenza la risposta sia in campo statico che dinamico. In relazione al caso specifico e all'oggetto dell'intervento può essere necessario accertare una o più dei seguenti parametri: geometria, dettagli costruttivi, deformabilità e resistenza meccanica dei materiali, caratteristiche del terreno di fondazione, ecc..

Si intuisce, conseguentemente, l'esistenza di una gamma assai ampia delle tecniche utilizzabili, tra le quali è opportuno segnalare una distinzione fondamentale tra **Indagini di tipo diretto** e **quelle di tipo indiretto**: le prime acquisiscono la grandezza di interesse (ad esempio la resistenza a rottura del materiale), le seconde, invece, una proprietà che può essere collegata in qualche modo con quella che si ricerca (la velocità di trasmissione di un impulso meccanico che è correlabile al modulo elastico dinamico del materiale che, a sua volta, può essere rapportato alla sua resistenza a rottura). Sebbene siano disponibili in letteratura relazioni che consentono di esprimere i risultati ricavati da una prova di tipo indiretto nella corrispondente grandezza rilevante ai fini progettuali, è da ricordare che le citate relazioni sono state ricavate con riferimento ad un certo materiale (e a certe condizioni di prova) e, pertanto, la corretta applicazione ad un caso specifico deve essere opportunamente validata/calibrata attraverso il seguente procedimento. Ad esempio, è noto che la velocità delle onde elastiche nel calcestruzzo (ricavabile mediante ultrasuoni) può essere relazionata alla resistenza a compressione secondo la seguente espressione analitica:

$$R_c = A \times e^{(BV)} \quad (9.1)$$

essendo:

- R_c è la resistenza a compressione;
- V è la velocità di trasmissione delle onde.

I coefficienti A e B che rendono completamente definita la precedente relazione sono reperibili in letteratura tecnica², ma l'operazione di calibrazione consiste nel ricavarli sulla base del confronto con un numero adeguato di risultati di prove dirette (tipicamente schiacciamento di campioni prelevati nella immediate vicinanze), utilizzando metodi statistici di minimizzazione dell'errore. Pur con queste accortezze è ovvio che le indagini di tipo diretto restino maggiormente risolutive ma la loro sistematica adozione si scontra con un carattere generalmente invasivo sulla struttura; conseguentemente si rende necessaria una loro (parziale) sostituzione con

¹ La distinzione tra Indagini e Monitoraggi non è essenziale ed alcune attività si pongono, tra l'altro, in zone di confine per cui l'attribuzione all'uno o all'altro gruppo risulta anche a carattere soggettivo; tuttavia la si adotta per comodità di trattazione e per seguire un'impostazione di tipo tradizionale.

² I valori forniti in letteratura si riferiscono ad un certo tipo di mix di calcestruzzo e a specifiche condizioni ambientali e, come già detto, possono fornire risultati non sufficientemente affidabili se utilizzati nell'ambito di casi diversi.

INTERVENTI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO

10.1. Generalità

In questo Capitolo si tratteranno argomenti che trovano giustificazioni dalla lettura di quanto fin qui esposto. Ad esempio, la logica generale da perseguire negli interventi sugli edifici esistenti in muratura, dovrebbe essere volta ad adottare misure tecniche che portino le costruzioni ad assumere un comportamento scatolare.

Volendo adottare i parametri classificatori proposti nel Capitolo 7, gli interventi andrebbero indirizzati verso una trasformazione di organismi edilizi da classe I e II, a classe III. In secondo luogo, per far sì che gli edifici possano attivare tutte le proprie risorse meccaniche contro il sisma si deve fare in modo di eliminare tutti i possibili meccanismi di collasso locale (meccanismi di I modo), portando la costruzione all'attivazione di meccanismi globali (meccanismi di II modo).

Tenendo presente questi obiettivi, la lettura delle indicazioni proposte dal D.M. 17 gennaio 2018 e dalla *Linee Guida per la Classificazione Sismica degli Edifici* (D.M. n. 58/2017 e ss.mm.ii.), risulta perfettamente congruente.

In generale gli interventi sulle strutture esistenti devono essere effettuati con i materiali previsti al Capitolo 11 del D.M. 17 gennaio 2018, ovvero quelli impiegati nelle nuove costruzioni, definiti come *materiali e prodotti per uso strutturale* conformi al Regolamento UE 305/2011. Tuttavia possono essere utilizzati materiali non tradizionali, purché nel rispetto di normative e documenti di comprovata validità richiamate nel Paragrafo 2.3 del presente testo.

In edifici in muratura è possibile effettuare riparazioni locali o integrazioni con materiale analogo a quello impiegato originariamente nella costruzione, purché durevole e di idonee caratteristiche meccaniche. Ovviamente sarà il progettista ad assumersi le responsabilità in tal senso.

Nel D.M. 17 gennaio 2018 sono riportate indicazioni di carattere generale da seguire:

«Per tutte le tipologie di costruzioni esistenti gli interventi vanno progettati ed eseguiti, per quanto possibile, in modo regolare ed uniforme. L'esecuzione di interventi su porzioni limitate dell'edificio va opportunamente valutata e giustificata, considerando la variazione nella distribuzione delle rigidità e delle resistenze e la conseguente eventuale interazione con le parti restanti della struttura. Particolare attenzione deve essere posta alla fase esecutiva degli interventi, in quanto una cattiva esecuzione può peggiorare il comportamento globale della costruzione.

La scelta del tipo, della tecnica, dell'entità e dell'urgenza dell'intervento dipende dai risultati della precedente fase di valutazione, dovendo mirare prioritariamente a contrastare lo sviluppo di meccanismi locali e/o di meccanismi fragili e, quindi, a migliorare il comportamento globale della costruzione.

In generale dovranno essere valutati e curati gli aspetti seguenti:

- riparazione di eventuali danni presenti;
- riduzione delle carenze dovute ad errori grossolani;
- miglioramento della capacità deformativa («duttilità») di singoli elementi;

- riduzione delle condizioni, anche legate alla presenza di elementi non strutturali, che determinano situazioni di forte irregolarità, sia planimetrica sia altimetrica, degli edifici, in termini di massa, resistenza e/o rigidezza;
- riduzione delle masse, anche mediante demolizione parziale o variazione di destinazione d'uso;
- riduzione dell'impegno degli elementi strutturali originari mediante l'introduzione di sistemi d'isolamento o di dissipazione di energia;
- riduzione dell'eccessiva deformabilità degli orizzontamenti, sia nel loro piano che ortogonalmente ad esso;
- miglioramento dei collegamenti degli elementi non strutturali, alla struttura e tra loro;
- incremento della resistenza degli elementi verticali resistenti, tenendo eventualmente conto di una possibile riduzione della duttilità globale per effetto di rinforzi locali;
- realizzazione, ampliamento, eliminazione di giunti sismici o interposizione di materiali atti ad attenuare gli eventuali urti;
- miglioramento del sistema di fondazione, ove necessario.

Interventi su parti non strutturali ed impianti sono necessari quando, in aggiunta a motivi di funzionalità, la loro risposta sismica possa mettere a rischio la vita degli occupanti o produrre danni ai beni contenuti nella costruzione. Per il progetto di interventi atti ad assicurare l'integrità di tali parti valgono le prescrizioni fornite nei §§ 7.2.3 e 7.2.4¹.

Per le strutture in muratura, inoltre, dovranno essere valutati e curati gli aspetti seguenti:

- miglioramento dei collegamenti tra orizzontamenti e pareti, tra copertura e pareti, tra pareti confluenti in martelli murari o angolate;
- riduzione ed eliminazione delle spinte non contrastate di coperture, archi e volte;
- rafforzamento delle pareti intorno alle aperture.

Per le strutture in c.a. ed in acciaio si prenderanno in considerazione, valutandone l'eventuale necessità e l'efficacia, anche le tipologie di intervento di seguito esposte o loro combinazioni:

- rinforzo di tutti o parte degli elementi;
- aggiunta di nuovi elementi resistenti, quali pareti in c.a., controventi in acciaio, etc.;
- eliminazione di eventuali meccanismi «di piano» (debole N.d.A.);
- introduzione di un sistema strutturale aggiuntivo in grado di resistere per intero all'azione sismica di progetto;
- eventuale **trasformazione** di elementi non strutturali in elementi strutturali, come nel caso di incamiciatura in c.a. di pareti in laterizio.

Infine, per le **strutture in acciaio**, potranno essere valutati e curati gli aspetti seguenti:

- miglioramento della stabilità degli elementi e della struttura;
- incremento della resistenza e/o della rigidezza dei collegamenti;
- miglioramento dei dettagli costruttivi nelle zone dissipative;
- introduzione di indebolimenti locali controllati, finalizzati ad un miglioramento del meccanismo di collasso².

10.2. Irrigidimento dei solai

10.2.1. Obiettivi

L'irrigidimento dei solai può essere condotto perseguendo due tipi di obiettivo diverso:

- a) irrigidimento per azioni nel piano del solaio;
- b) irrigidimento per azioni ortogonali al piano del solaio.

¹ Questi paragrafi delle NTC riguardano i criteri di progettazione di elementi strutturali secondari, di elementi non strutturali e di impianti a servizio delle costruzioni.

² NTC § 8.7.4.

INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE INCLUSO

Note sul software incluso

Il software incluso installa le **Norme Tecniche per le Costruzioni 2018** di cui al D.M. 17 gennaio 2018 (in versione PDF) e il programma **Spettri di risposta** che fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale.

Requisiti hardware e software

- Processore da 2.00 GHz;
- MS Windows Vista/7/8/10 (è necessario disporre dei privilegi di amministratore);
- MS .Net Framework 4 e vs. successive;
- 250 MB liberi sull'HDD;
- 2 GB di RAM;
- MS Office 2007 e vs. successive;
- Adobe Reader 11.x e vs. successive;
- Accesso ad internet e browser web.

Download del software e richiesta della password di attivazione

- 1) Collegarsi al seguente indirizzo internet:

https://www.grafill.it/pass/0006_8.php

- 2) Inserire i codici “**A**” e “**B**” (vedi ultima pagina del volume) e cliccare [**Continua**].
- 3) **Per utenti registrati** su www.grafill.it: inserire i dati di accesso e cliccare [**Accedi**], accettare la licenza d'uso e cliccare [**Continua**].
- 4) **Per utenti non registrati** su www.grafill.it: cliccare su [**Iscriviti**], compilare il form di registrazione e cliccare [**Iscriviti**], accettare la licenza d'uso e cliccare [**Continua**].
- 5) Un **link per il download del software** e la **password di attivazione** saranno inviati, in tempo reale, all'indirizzo di posta elettronica inserito nel form di registrazione.

Installazione ed attivazione del software

- 1) Scaricare il setup del software (file *.exe) cliccando sul link ricevuto per e-mail.
- 2) Installare il software facendo doppio-click sul file **88-277-0007-5.exe**.
- 3) Avviare il software:

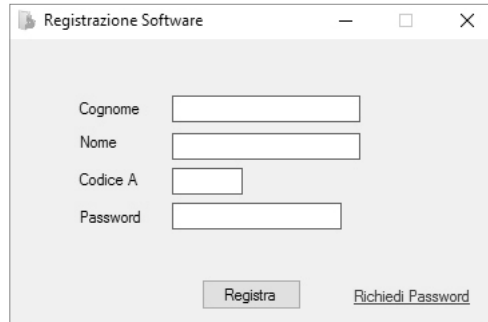
Per utenti MS Windows Vista/7/8: **[Start]** > **[Tutti i programmi]** > **[Grafill]**
> **[Miglioramento Sismico degli Edifici Esistenti]** (cartella)

> **[Miglioramento Sismico degli Edifici Esistenti]** (icona di avvio)

Per utenti MS Windows 10: **[Start]** > **[Tutte le app]** > **[Grafill]**

> **[Miglioramento Sismico degli Edifici Esistenti]** (icona di avvio)

- 4) Compilare la maschera *Registrazione Software* e cliccare su **[Registra]**.



- 5) Dalla finestra *Starter* del software sarà possibile accedere ai documenti disponibili.



