

GUIDO SARÀ



[Scheda sul sito >](#)

COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA

IMPARARE A PROGETTARE DAI TERREMOTI

- I fondamenti della prevenzione antisismica: il terremoto di Città del Messico del 19/09/1985
- La risposta delle costruzioni ai terremoti, la normativa sismica, le strategie progettuali
- Le costruzioni in c.a. in zona sismica: il terremoto di Campania e Basilicata del 23/11/1980
- Le costruzioni in muratura in zona sismica: il terremoto d'Umbria e Marche del 26/09/1997
- Il terremoto d'Abruzzo del 06/04/2009: conferme e novità



Dario Flaccovio Editore

Alle piccole Arianna e Irene, ai giovani, al futuro

“C’erano una volta tre porcellini...”

“Il giorno dopo il lupo arrivò alla casetta di paglia: “Porcellino, porcellino, fammi entrare!” gridò il lupo. Ma il Porcellino Piccolo sapeva che era il lupo e non lo lasciò entrare. Allora il lupo cominciò a soffiare stizzito. E soffiò e soffiò buttò giù la casetta del Porcellino Piccolo. Poi se lo mangiò in un baleno...”

“Il giorno dopo il lupo arrivò alla casa di mattoni e gridò: “Porcellino, porcellino, fammi entrare!”. Ma il Porcellino Grande rispose: “No, non ti farò entrare!”. Allora il lupo cominciò a soffiare e soffiare ma non riuscì a buttare giù la casa...”

(Da *I tre porcellini*, fiaba di Joseph Jacobs)



Guido Sarà

COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA

IMPARARE A PROGETTARE DAI TERREMOTI



Dario Flaccovio Editore

Guido Sarà

COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA

ISBN 9788857902456

© 2014 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: gennaio 2014

Sarà, Guido <1934->

Costruzioni in zona sismica : imparare a progettare dai terremoti / Guido Sarà. -

Palermo : D. Flaccovio, 2013.

ISBN 978-88-579-0245-6

1. Costruzioni antisismiche.

624.1762 CDD-22

SBN PAL0264794

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Stampa: Tipografia Priulla, Palermo, gennaio 2014

FONTI DELLE IMMAGINI

Le immagini appresso indicate sono tratte dalle fonti bibliografiche qui specificate:

Como M., Lanni G., Elementi di costruzioni antisismiche, Cremonese, 1979: figg. 1.17b, 2.8a.

Flores G., I terremoti, Longanesi, 1981: figg. 1.16a, 1.18, 2.16.

Bolt B.A., I terremoti, Zanichelli, 1982: figg. 1.17a, c, 2.18.

Münchener Rück-Munich Re, Reinsurance Company, Report Earthquake Mexico '85, Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, München, 1986: figg. 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.10, 1.11, 1.12, 1.13, 1.14, 1.15, 1.16b, c, d, e.

Wakabayashi M., Progettazione di strutture antisismiche, McGraw-Hill Libri Italia, Milano, 1989: figg. 2.3, 2.6, 2.10, 2.11, 2.13, 2.17.

Earthquake spectra 1993/9, 1991/7: figg. 2.15, 2.18.

Rivista "Epoca", n. 1575, 1980: fig. 3.1.

Sarà G. (a cura di), Ingegneria antisismica, Liguori Editore, Napoli, 1985: fig. 3.2.

Dipartimento della Protezione Civile - Presidenza del Consiglio dei Ministri, Sito Internet: fig. 4.2.

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

<i>Premessa</i>	pag. 9
<i>Prefazione</i>	» 11

1. I fondamenti della prevenzione antisismica: il terremoto di Città del Messico del 19/09/1985

1.1. Il terremoto di Città del Messico del 19 settembre 1985	» 13
1.1.1. La catastrofe e l'emergenza	» 13
1.1.2. Il rischio sismico di Città del Messico	» 16
1.1.3. La sismicità del Messico e di Città del Messico	» 16
1.1.3.1. La sismicità del Messico	» 16
1.1.3.2. La sismicità di Città del Messico	» 16
1.1.4. La vulnerabilità del costruito	» 23
1.1.5. L'esposizione del costruito	» 30
1.1.6. I costi del terremoto	» 31
1.2. Il rischio sismico	» 32
1.2.1. I fattori di rischio	» 32
1.2.2. Il contenimento del rischio	» 32
1.3. La previsione	» 32
1.3.1. L'accertamento della pericolosità del sito	» 32
1.3.2. L'accertamento della vulnerabilità del costruito	» 36
1.4. La prevenzione	» 37
1.4.1. Il rischio accettabile	» 37
1.4.2. La progettazione antisismica	» 37
1.5. Conclusioni	» 37
1.6. Approfondimenti	» 38

2. La risposta delle costruzioni ai terremoti, la normativa sismica, le strategie progettuali

2.1. La risposta delle costruzioni ai terremoti	» 39
2.1.1. Flusso energetico	» 39
2.1.2. Assorbimento dell'energia sismica	» 40
2.1.3. Distribuzione dell'azione sismica nel sistema strutturale	» 41
2.1.4. Esito prestazionale	» 42
2.1.5. Potenziali fonti di vulnerabilità	» 42
2.2. Regole progettuali: normative	» 42
2.2.1. Zonazione sismica	» 42
2.2.2. Categorie d'importanza degli edifici	» 42
2.2.3. Tipologie strutturali e materiali	» 44
2.2.4. Calcolo	» 45
2.2.4.1. Oscillatore semplice	» 45
2.2.4.2. Spettri di risposta elastici	» 47
2.2.4.3. Spettri di risposta di progetto	» 48
2.2.4.4. Sistemi a più gradi di libertà (oscillatori multipli)	» 48
2.2.4.5. Azioni e forze sismiche	» 49

2.2.4.6.	Sollecitazioni e deformazioni.....	» 49
2.2.4.7.	Verifica	» 49
2.2.5.	Dettagli costruttivi.....	» 50
2.2.6.	Controlli in corso d'opera e collaudo	» 50
2.3.	Tecniche costruttive e strategie progettuali	» 50
2.3.1.	Tecniche costruttive e relative problematiche	» 50
2.3.2.	Edifici esistenti	» 50
2.3.3.	Strategie progettuali e sistemi strutturali, con particolare riferimento alle costruzioni in cemento armato.....	» 51
2.3.3.1.	Strategie e sistemi.....	» 51
2.3.3.2.	Sistemi a resistenza	» 51
2.3.3.3.	Sistemi a dissipazione	» 51
2.3.3.4.	Sistemi ad isolamento.....	» 55
2.3.3.5.	Sistemi intelligenti, a controllo attivo	» 57
2.4.	Conclusioni.....	» 59
2.5.	Approfondimenti	» 59

3. Le costruzioni in cemento armato in zona sismica: il terremoto di Campania e Basilicata del 23/11/1980

3.1.	Il terremoto d'Irpinia del 23 novembre 1980	» 61
3.1.1.	L'evento sismico.....	» 61
3.1.2.	Il comportamento delle costruzioni.....	» 62
3.2.	L'analisi del danneggiamento.....	» 62
3.3.	Il danneggiamento delle costruzioni in cemento armato a Lioni, zona non classificata sismica.....	» 63
3.3.1.	Il sistema dei controventamenti	» 63
3.3.2.	L'influenza dei tamponamenti	» 65
3.3.3.	Le scale.....	» 67
3.3.4.	La qualità del cemento armato: calcestruzzo e armature.....	» 68
3.3.5.	Il suolo.....	» 69
3.3.6.	I giunti	» 70
3.3.7.	Le costruzioni "ibride".....	» 71
3.4.	Il danneggiamento delle costruzioni in cemento armato a S. Angelo dei Lombardi, zona classificata sismica	» 72
3.4.1.	Controventamenti e duttilità.....	» 72
3.4.2.	Dissimmetria e torsione.....	» 74
3.4.3.	Le scale	» 74
3.4.4.	Sistemi misti telai-pareti.....	» 76
3.4.5.	I bow-windows	» 76
3.4.6.	La qualità del cemento armato: calcestruzzo e armature.....	» 78
3.4.7.	I giunti	» 79
3.5.	Bilancio del comportamento delle costruzioni in cemento armato	» 79
3.5.1.	Principali localizzazioni dei dissesti.....	» 79
3.5.2.	Cause presunte dei dissesti.....	» 80
3.6.	Il danneggiamento delle costruzioni in muratura	» 81

3.7. Conclusioni.....	» 83
3.8. Approfondimenti	» 84

4. Le costruzioni in muratura in zona sismica: il terremoto d'Umbria e Marche del 26/09/1997

4.1. Il terremoto d'Umbria e Marche del 26 settembre 1997	» 85
4.1.1. L'evento sismico.....	» 85
4.1.2. Il comportamento delle costruzioni	» 86
4.2. L'analisi del danneggiamento delle costruzioni in muratura	» 86
4.2.1. Quadri di danneggiamento, meccanismi di crisi, fonti di vulnerabilità ...	» 86
4.2.2. Coperture e relativi supporti.....	» 87
4.2.2.1. Cedimenti delle coperture e delle loro connessioni alle pareti....	» 87
4.2.2.2. Cedimenti delle pareti di supporto delle coperture	» 87
4.2.3. Pareti.....	» 93
4.2.3.1. Ribaltamenti e imbozzamenti di pareti, senza coinvolgimento della copertura	» 93
4.2.3.2. Lesionamento di pareti per sollecitazione di taglio.....	» 93
4.3. Gli interventi sulle costruzioni in muratura	» 93
4.3.1. Comportamento scatolare e connessioni	» 93
4.3.2. Miglioramento ed adeguamento	» 103
4.3.3. L'edilizia storico-monumentale.....	» 104
4.4. Moderne costruzioni antisismiche in muratura	» 104
4.4.1. Edifici in muratura ordinaria	» 104
4.4.1.1. Organizzazione del sistema strutturale	» 104
4.4.1.2. Materiale murario	» 104
4.4.2. Edifici in muratura armata.....	» 104
4.5. Conclusioni.....	» 105
4.6. Approfondimenti	» 105

5. Il terremoto d'Abruzzo del 06/04/2009: conferme e novità

5.1. L'evento sismico.....	» 107
5.2. Il comportamento delle costruzioni	» 107
5.3. La vulnerabilità dell'edilizia in muratura	» 108
5.3.1. Meccanismi di crisi connessi all'interazione copertura-pareti	» 108
5.3.2. Meccanismi di crisi relativi alle pareti	» 109
5.3.2.1. Ribaltamenti	» 109
5.3.2.2. Lesionamento di pareti per sollecitazione di taglio	» 110
5.3.3. L'influenza della qualità muraria.....	» 111
5.3.4. L'influenza dei rifacimenti: preesistenze e sovrapposizioni architettoniche	» 111
5.3.5. L'interazione fra costruzioni in adiacenza.....	» 112
5.4. La vulnerabilità delle chiese	» 114
5.5. La vulnerabilità dell'edilizia in cemento armato	» 117
5.6. I paesi del "cratere": l'influenza del degrado	» 117
5.7. Conclusioni.....	» 124
5.8. Approfondimenti	» 125
Riferimenti bibliografici	» 127

Premessa

L'opera si ripromette di fornire gli elementi conoscitivi alla base della progettazione antisismica delle costruzioni, evidenziandone le principali problematiche. Tale obiettivo viene perseguito facendo fondamentale riferimento all'esperienza acquisita in occasione dei recenti terremoti come illustrata dall'ampio repertorio di immagini che correde il volume.

L'opera stessa si propone pertanto sia come primo approccio alla comprensione delle complesse problematiche della progettazione antisismica sia, a livello più alto, come riferimento concettuale per una corretta lettura dei complessi codici normativi recentemente introdotti. Ne consegue, nel complesso, un'attenzione maggiormente rivolta all'individuazione dei problemi che non alla specificazione delle relative soluzioni.

Per una conoscenza più approfondita sui vari argomenti si rimanda ai riferimenti bibliografici riportati alla fine di ciascun capitolo. In particolare, per ciò che concerne i dettami normativi, si rinvia al testo dell'Autore *Norme per la progettazione degli edifici in zona sismica: lettura comparata dei testi normativi* citato in bibliografia.

Nel primo capitolo del presente volume, prendendo lo spunto dal terremoto di Città del Messico del 1985, vengono richiamati i concetti fondamentali della prevenzione sismica: il rischio sismico e i fattori che lo determinano, nonché gli strumenti per il suo abbattimento attraverso i momenti della previsione e della prevenzione.

Il secondo capitolo è dedicato all'illustrazione delle modalità di risposta delle costruzioni ai terremoti e alla presentazione delle tecniche e strategie progettuali come condizionate dagli strumenti normativi di supporto.

Nel terzo e quarto capitolo, facendo rispettivamente riferimento al terremoto d'Irpinia del 1980 e al terremoto d'Umbria e Marche del 1997, si procede poi ad illustrare le problematiche delle costruzioni in cemento armato e di quelle in muratura soggette ad azione sismica.

Nel quinto capitolo, infine, vengono evidenziate conferme e novità, relativamente alle diverse problematiche sismiche, come emerse in occasione del recente terremoto d'Abruzzo del 2009.

L'Autore ringrazia i colleghi ed amici professori Giampiero Barbetti, Raffaele Nudo, Barbara Pintucchi, Stefania Viti e gli architetti Andrea Acciai e Paola Pomposi che gli hanno cortesemente messo a disposizione le loro immagini fotografiche relative al terremoto dell'Aquila del 6 aprile 2009.

Speciali ringraziamenti anche a Jacopo Mechelli e Giulia Misseri, all'epoca studenti d'Architettura, preziosi accompagnatori nella visita all'Aquila.

Un vivo ringraziamento, infine, all'editore Dario Flaccovio che ha immediatamente creduto nel progetto di quest'opera e si è efficacemente adoperato per la sua migliore riuscita.

Prefazione

All'indomani del terremoto d'Abruzzo del 6 aprile 2009 un gruppo di studenti della Facoltà d'Architettura di Firenze organizzò un incontro con i docenti per "capire" perché gli edifici erano crollati con tanta facilità. L'incontro ebbe una larghissima partecipazione di studenti, circa duecento, mettendo in rilievo l'elevata sensibilizzazione degli stessi nei confronti dell'evento ed il loro desiderio di responsabilizzarsi quali futuri architetti.

Per anni ho svolto, presso la suddetta Facoltà, un Corso di Costruzioni in zona sismica, disciplina opzionale del quinto anno. A parte il periodo immediatamente successivo al terremoto dell'Irpinia del 1980, in cui il Corso ha avuto un discreto numero di allievi, la partecipazione ha oscillato intorno alla decina di studenti, partecipazione bassissima in rapporto al numero di studenti iscritti alla Facoltà. Ciò è spiegabile considerando che la disciplina non è facile e che gli studenti tendono ad alleggerire il loro percorso didattico inserendo nei piani di studio discipline opzionali "leggere", anche perché la materia in questione viene considerata prevalentemente ingegneristica. Situazione analoga si è verificata anche nelle altre Facoltà di Architettura del nostro Paese.

D'altra parte sono sempre stato fermamente convinto che il primo artefice e responsabile della prevenzione antisismica delle costruzioni sia l'architetto: è lui infatti, in virtù dell'ampio e differenziato ambito di conoscenze professionali in materia di costruzioni, che può maggiormente esercitare la sua influenza nelle varie fasi, tutte importanti ai fini della prevenzione antisismica, in cui il progetto si va concretizzando nella realizzazione. Mi riferisco, in particolare, alle scelte delle tipologie costruttive, delle morfologie architettonico-strutturali, dei materiali strutturali e non, delle opere complementari, degli impianti, della collocazione dei fabbricati sul territorio anche in rapporto alle situazioni in fondazione, dei controlli sia in fase di progetto che di esecuzione nonché di utilizzo e manutenzione. Alla luce di quanto sopra maturai la convinzione che un ciclo articolato di seminari, o corso breve, potesse essere una risposta valida sia al desiderio degli studenti di avere un minimo di preparazione di base in tema di prevenzione antisismica in grado di aprire, poi, le porte per eventuali approfondimenti, sia all'esigenza di creare professionisti più preparati in tale settore.

La necessità della concisione e della chiarezza, nonché quella di fornire cognizioni utilizzabili professionalmente mi indussero a pensare di organizzare il ciclo di seminari facendo riferimento all'esperienza di alcuni recenti significativi terremoti: i vari temi e problemi della disciplina dovevano, in questa visione, essere richiamati, nel modo più organico possibile, facendo riferimento alle risultanze degli eventi sismici considerati. L'illustrazione della disciplina e delle sue problematiche doveva scaturire quanto più possibile dall'osservazione di immagini, con ricorso minimo a strumenti astratti quali formule, tabelle, schemi.

Così impostato il ciclo di seminari si poteva proporre come momento culturale-informativo nel curriculum degli studenti senza particolari appesantimenti del carico didattico. Doveva comunque risultare chiaro agli studenti che il corso si proponeva principalmente di evidenziare i problemi piuttosto che di fornirne le soluzioni. Una soluzione esaustiva dei problemi andava ricercata, successivamente, mediante gli opportuni approfondimenti: testi o corsi specialistici.

Approntai pertanto il programma di un ciclo di seminari, intitolato “Architettura in zona sismica: imparando a progettare dai terremoti”, strutturato in cinque lezioni correate dalla proiezione di una cospicua serie di diapositive.

Il ciclo di seminari, indirizzato agli studenti dei diversi Corsi di Laurea della Facoltà d'Architettura di Firenze, venne svolto con notevole successo d'affluenza (più di 200 studenti attivamente partecipanti) nell'autunno 2009.

Visto il successo, l'iniziativa è stata ripetuta sotto forma di workshop nella primavera 2012, con un ciclo di seminari ampliato a 12 lezioni il che ha consentito di dare più spazio all'illustrazione delle soluzioni progettuali ed altresì delle richieste normative. Ancora una volta la partecipazione studentesca è risultata particolarmente attiva e consistente. I successivi terremoti d'Emilia del 20 e 29 maggio 2012 sono stati poi occasione per un partecipato confronto, con e fra gli studenti, sulle tematiche sviluppate nel workshop.

Il presente volume riporta sostanzialmente, nei diversi capitoli, i vari seminari come sviluppati all'interno del ciclo originario del 2009, ciclo più sintetico e quindi più confacente al ruolo di introduzione alle problematiche sismiche che si è voluto attribuire al volume stesso.

Guido Sarà
Firenze, novembre 2013

1. I fondamenti della prevenzione antisismica: il terremoto di Città del Messico del 19/09/1985

1.1. Il terremoto di Città del Messico del 19 settembre 1985

1.1.1. La catastrofe e l'emergenza

Il 19/09/1985 un violentissimo terremoto (8,2 della scala Richter) colpì la metropoli di Città del Messico (circa 20 milioni di abitanti all'epoca) creando i tradizionali scenari dell'immediata emergenza: l'estrazione delle vittime e dei feriti dalle macerie degli edifici crollati, lo spegnimento dei focolai d'incendio, la ricerca dei dispersi, lo sgombero degli edifici danneggiati, l'approvvigionamento idrico e alimentare della popolazione superstite (figura 1.1).



Figura 1.1. Città del Messico: il dopo terremoto del 19/09/1985

- a) Le notizie sulla stampa locale del giorno dopo; b) La città colpita: una metropoli di oltre 20 milioni di abitanti; c) Alla ricerca delle vittime fra le macerie; d) Rottura del manto stradale e dei sottostanti impianti; e) Focolai d'incendio; f) Salvataggio di un neonato nel reparto maternità dell'ospedale; g) Manifesti per la ricerca dei dispersi; h) Recupero di effetti da edifici inagibili; i) L'approvvigionamento idrico della popolazione



1.1.2. Il rischio sismico di Città del Messico

Città del Messico è luogo ad elevato rischio sismico. Ciò è dovuto alla concomitanza dei tre fattori che determinano il rischio stesso: la pericolosità sismica del territorio, la vulnerabilità sismica di una consistente parte delle costruzioni, l'esposizione (cioè il "valore" del costruito sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo).

1.1.3. La sismicità del Messico e di Città del Messico

1.1.3.1. La sismicità del Messico

La sismicità del Messico è collegata alla placca di Cocos che esercita, lungo la costa del Pacifico, una spinta sulla zolla continentale messicana. È pertanto lungo la costa pacifica che si vengono a collocare gli epicentri dei diversi sismi che interessano il Messico (zona sismogenetica). In base a tale fatto e alle caratteristiche geotettoniche del Paese, nonché alle statistiche degli eventi sismici che hanno interessato il territorio, si è proceduto alla zonazione sismica del Paese (figura 1.2).

1.1.3.2. La sismicità di Città del Messico

Città del Messico si è sviluppata sul luogo della vecchia capitale azteca situata su un'isoletta del lago Texcoco. Durante i secoli della colonizzazione spagnola si è sviluppata l'urbanizzazione del luogo e ciò ha comportato il progressivo prosciugamento del lago. Gran parte della città è venuta ad edificarsi su terreni di recente sedimentazione, particolarmente soffici. Il drenaggio via via esercitato per le esigenze idriche della popolazione ha inoltre determinato negli anni, e in particolare negli ultimi cinquanta anni in cui la città ha avuto la sua esplosione demografica, un cospicuo abbassamento del suolo (fenomeno della subsidenza) (figura 1.3).

La particolarità del suolo sopra descritta fa sì che nelle zone di Città del Messico fondate sul suolo di prosciugamento l'intensità delle onde sismiche provenienti dalla zona costiera in occasione dei terremoti subisca, nonostante la notevole distanza (oltre 300 chilometri), considerevolissime amplificazioni (figura 1.4).

Dalle statistiche dei terremoti che hanno colpito Città del Messico è possibile dedurre valori presunti (probabilistici) dei periodi di ritorno dei terre-



Figura 1.2
La sismicità del Messico

a) Posizione e movimento delle placche; **b)** Le zone sismogenetiche; **c)** La zonazione sismica del Messico. Da rilevare le due zone speciali: Città del Messico, con i problemi connessi alla particolarità del suolo, e Acapulco, con il problema degli tsunami





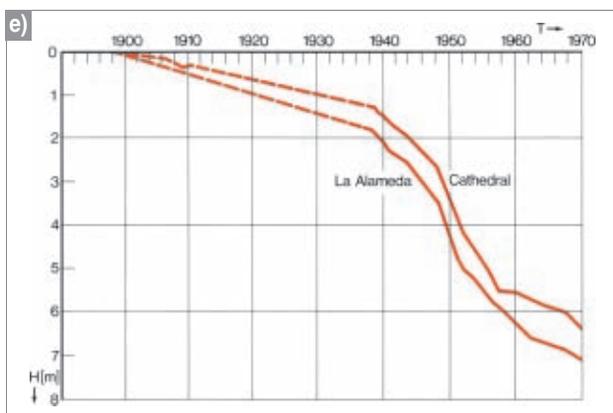
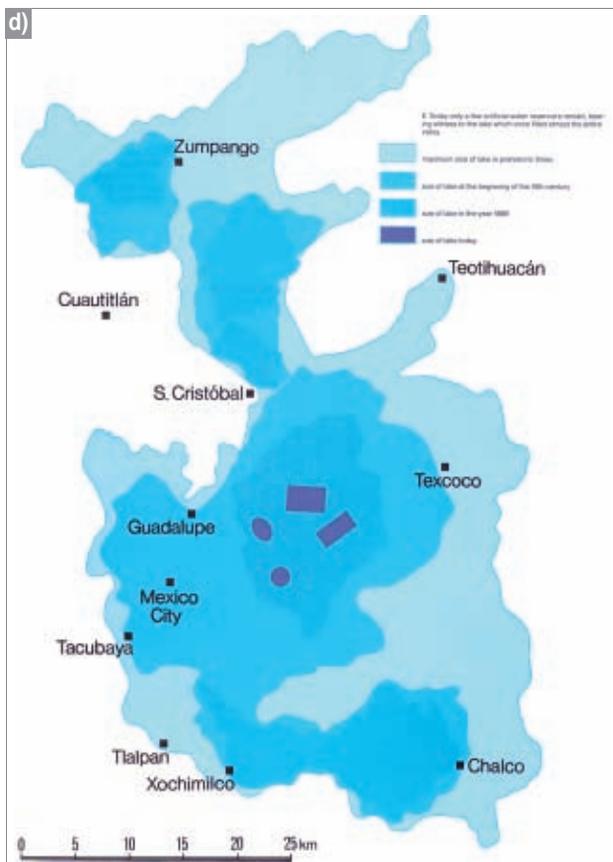
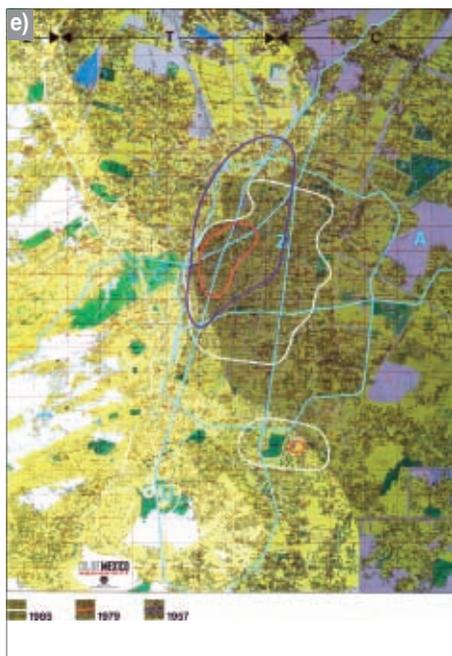
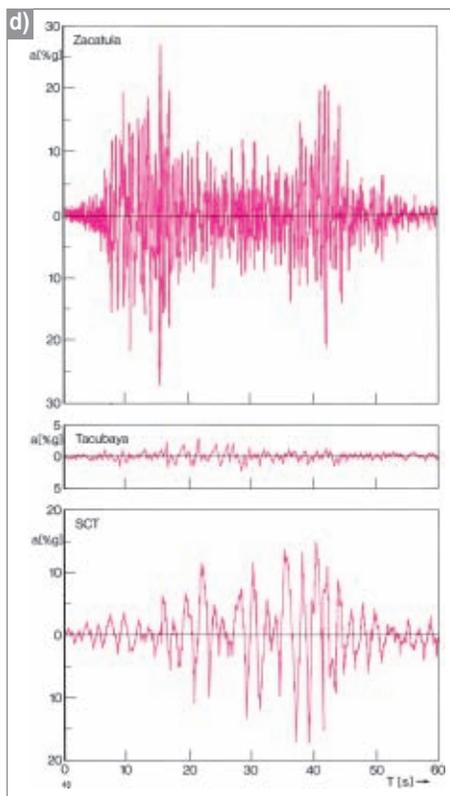
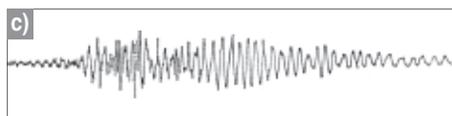
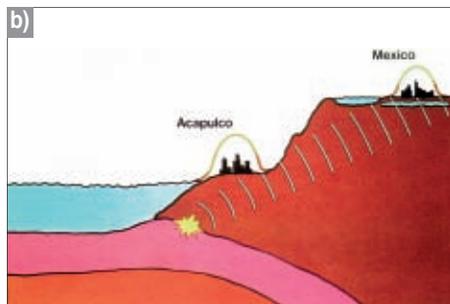
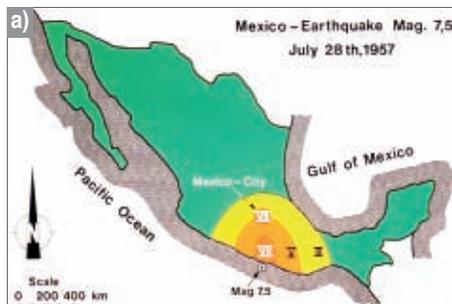


Figura 1.3. Caratteristiche del suolo di Città del Messico

- a)** La città azteca di Tenochtitlán, progenitrice di Città del Messico, nel '500; **b)** Città del Messico nel '700; **c)** Città del Messico nell'800; **d)** Le successive fasi di prosciugamento del lago Texcoco; **e)** Lo sviluppo del fenomeno della subsidenza nel '900

Figura 1.4. La sismicità di Città del Messico

a) L'amplificazione, a Città del Messico, dell'intensità sismica dei terremoti con epicentro in corrispondenza della costa pacifica; **b)** La propagazione delle onde sismiche dall'ipocentro dei sismi fino a Città del Messico; **c)** Il sismogramma relativo al sisma del 19/09/1985 registrato a Città del Messico nella zona a terreno soffice: si osserva come ad una prima fase ad andamento irregolare (legata all'arrivo delle onde sismiche dall'ipocentro del terremoto) segue una fase ad andamento regolare (legata all'attivazione delle oscillazioni naturali del suolo). Ciò ne spiega l'eccezionale durata (circa 3 minuti); **d)** In ordine, dall'alto in basso, i sismogrammi registrati nella zona epicentrale in prossimità della costa pacifica (Zacatula), nella zona di Città del Messico a terreno consistente (Takubaya), nella zona di Città del Messico a terreno soffice (SCT): si osserva come, nonostante la distanza (oltre 300 chilometri), l'ampiezza massima dell'accelerogramma del terreno soffice di Città del Messico sia stata comparabile a quella della zona epicentrale. Diverso invece il contenuto di frequenze a causa della dissipazione d'energia, a lunga distanza, delle onde ad elevata frequenza; **e)** Zone di massima intensità sismica, e danneggiamento, dei terremoti che hanno recentemente colpito Città del Messico. Si osserva come esse siano tutte collocate in corrispondenza della zona a terreno soffice del vecchio lago prosciugato (zona più scura); **f)** Picchi di accelerazione nelle varie zone di Città del Messico in occasione del terremoto del 19/09/1985



f) Subsoil conditions and ground movements

Subsoil	Prevailing oscillation period in seconds	Peak acceleration as a percentage of gravity
Rock	up to 0.5	1
Firm subsoil	up to 1.0	4
Transition zone T	approx. 1.0	10
Zone C, area of damage	approx. 2.0	20
Zone C, middle of valley	3.0-4.0	10

moti violenti (terremoti rari) e di quelli medio-deboli (terremoti frequenti) (figura 1.5). L'individuazione dei periodi di ritorno è importante, come si vedrà in seguito, per stabilire le strategie di prevenzione antisismica.

a)

Date	Latitude (° N)	Longitude (° W)	Magnitude (Richter)	Distance from Mexico City (km)	Intensity in Mexico City, zone C (mod. Mercalli)
20th Jan. 1900	20.0	105.0	8.1	600	
16th May 1900	20.0	105.0	7.6	600	
13th Jan. 1903	15.0	98.0	8.3	520	
15th Apr. 1907	16.7	99.2	8.2	310	
26th Mar. 1908	18.0	99.0	7.7	170	VI
26th Mar. 1908	17.0	101.0	7.2	330	
30th July 1909	16.8	99.9	7.6	300	VII
7th June 1911	19.7	103.7	7.9	470	VIII
16th Dec. 1911	16.9	100.7	7.6	330	V
19th Nov. 1912	19.9	99.8	7.0	120	V
21st Nov. 1916	18.0	100.0	7.0	190	
29th Dec. 1917	15.0	97.0	7.1	560	
21st Mar. 1928	16.2	95.5	7.7	540	VI
16th June 1928	16.3	96.7	8.0	440	VI
4th Aug. 1928	16.8	97.6	7.4	330	V
8th Oct. 1928	16.3	97.3	7.8	400	
14th Jan. 1931	16.1	96.6	8.0	460	
3rd June 1932	19.8	104.0	8.4	500	
18th June 1932	19.5	103.5	8.0	450	
29th Nov. 1934	19.0	105.3	7.2	640	
23rd Dec. 1937	17.1	98.1	7.7	290	
15th Apr. 1941	18.9	102.9	7.9	410	VII
22nd Feb. 1943	17.6	101.2	7.7	290	
14th Dec. 1950	17.2	98.1	7.3	280	
28th July 1957	17.1	99.1	7.7	270	VIII
11th May 1962	17.3	99.6	7.2	270	VII
23rd Aug. 1965	16.3	95.8	7.8	500	VI
2nd Aug. 1968	16.6	97.7	7.4	360	VI
30th June 1973	18.4	103.2	7.5	430	
29th Nov. 1978	16.0	96.7	7.8	500	VI
14th Mar. 1979	17.5	101.5	7.6	340	VII
24th Oct. 1981	17.8	102.3	7.3	370	V
19th Sept. 1985	18.1	102.4	8.1	360	IX
20th Sept. 1985	17.3	101.4	7.5	340	VII

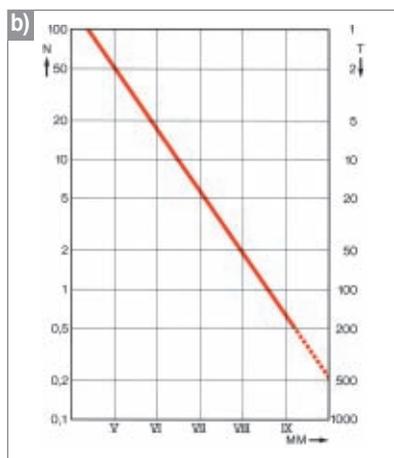


Figura 1.5
Periodi di ritorno dei terremoti
di Città del Messico

a) Quadro statistico dei terremoti dell'ultimo secolo; **b)** Diagramma che evidenzia, sulla base del precedente quadro statistico, la frequenza e il periodo di ritorno dei terremoti di diversa intensità

1.1.4. La vulnerabilità del costruito

Città del Messico presentava una grande varietà di tipologie costruttive. Il terremoto ha colpito in maniera prevalente alcuni particolari tipi di edifici e situazioni costruttive (figura 1.6).



b)

Main causes of loss
(as a percentage out of a total of 330 collapsed or badly damaged buildings)

Corner building	42
Collapse of intermediate floors	40
Collapse of upper floors	38
Neighbouring buildings hitting together	15
Pronounced asymmetry of building reinforcement	15
Inadequacy of foundation structures	13
Excessive loads	9
"Soft" ground-floor structures	8
Previous earthquake damage	5
Punching through of ceiling slabs	4
Short columns	3
Previous uneven settlement	2

Figura 1.6
Tipologie edilizie: principali fonti di vulnerabilità e modalità di danneggiamento

a) Variabilità delle tipologie edilizie di Città del Messico; **b)** Principali fonti di vulnerabilità

Danni particolarmente gravi si sono verificati in numerosi edifici in cemento armato situati nella zona a terreno soffice e in particolare negli edifici flessibili di circa dieci piani d'altezza con pilastri fortemente distanziati fra loro, elevate masse d'impalcato e assenza di tamponature di facciata. Tali edifici, caratterizzati da un elevato valore del periodo d'oscillazione naturale, sono andati in risonanza con le oscillazioni ondulatorie del suolo subendo forti sollecitazioni. La loro altezza ha altresì contribuito all'attivazione di modi di vibrare "superiori" con oscillazioni a serpentina e collasso a taglio in corrispondenza di piani elevati (intorno al settimo piano) (figura 1.7).

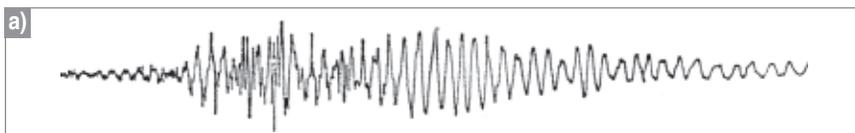




Figura 1.7. Collasso di edifici multipiano ad elevate flessibilità e masse d'impalcato

a) Sismogramma, caratterizzato da un elevato periodo di oscillazione, che ha interessato il suolo soffice di Città del Messico; **b)** Edificio multipiano caratterizzato da elevata flessibilità (a causa dell'altezza, dei pilastri radi e dell'assenza di tamponature) nonché da elevata massa (a causa dei massicci solai in c.a. a doppia nervatura e a forte spessore finalizzati a superare le elevate luci determinate dall'impianto dei pilastri) e pertanto caratterizzato da elevato periodo di oscillazione naturale. Edificio soggetto a collasso in corrispondenza dei piani alti; **c)** I solai "massicci" degli edifici della tipologia di cui alla figura b); **d), e)** Edifici e modalità di collasso analoghi a quelli di figura b); **f)** Altro caso di collasso parziale in edificio ad elevata flessibilità

In diversi casi la presenza, in adiacenza, di altri edifici non sufficientemente distanziati da quelli assai flessibili precedentemente indicati ha determinato gravi fenomeni di martellamento (figura 1.8).



Figura 1.8
Edifici multipiano ad elevate
flessibilità e masse d'impalcato.

Scenari di collasso a seguito di fenomeni di martellamento fra edifici contigui

Un'altra importante fonte di danneggiamento è risultata costituita dalla presenza di dissimmetrie o non regolarità in pianta, quali situazioni di contatto eccentrico con edifici contigui o piante di forma non regolare, con i conseguenti movimenti torsionali indotti nei fabbricati (figura 1.9).

La qualità della fattura del cemento armato (qualità del calcestruzzo, distribuzione e quantità delle armature), anche se nel complesso è risultata accettabile, a volte non è stata del tutto adeguata (figura 1.10).

Frequenti sono stati anche i cedimenti alla base dovuti a sistemi di fondazione non sempre adeguati alle particolari caratteristiche di cedevolezza del suolo (figura 1.11).

Da rilevare l'assenza di significativi danneggiamenti sia nelle costruzioni a grattacielo, spesso realizzate in acciaio su robuste palificate, sia nelle



Figura 1.9

Crolli e danneggiamenti indotti da moti torsionali in fabbricati a pianta non regolare o eccentricamente vincolati ad edifici adiacenti

a) Forte danneggiamento in edificio a pianta non regolare; **b)** Collasso per torsione in edificio con contatto eccentrico con gli edifici adiacenti; **c)** Collasso di edificio “d’angolo” all’estremità di una stecca di fabbricati



Figura 1.10

Collasso in pilastro per “esplosione” del calcestruzzo e delle barre longitudinali soggetti a schiacciamento e non sufficientemente confinati dalle staffe