

Indice

PREFAZIONE	IX
PREMESSA	XI
SIMBOLOGIA	XIII
ACRONIMI	XLI

Parte prima Introduzione e nozioni preliminari

1 INTRODUZIONE	3
1.1 LE STRUTTURE E IL LORO ESAME	3
1.2 LA MODELLAZIONE DELLE STRUTTURE	9
1.2.1 Il modello della geometria	10
1.2.2 Il modello dei materiali	12
1.2.3 Il modello delle azioni	18
1.3 L'ANALISI DELLA STRUTTURA	19
1.3.1 Metodi generali di analisi	19
1.3.2 Strumenti di calcolo manuale e di calcolo automatico	22
2 LE STRUTTURE IN MURATURA	27
2.1 GENERALITÀ	27
2.2 EVOLUZIONE DELLE COSTRUZIONI IN MURATURA	29
2.2.1 Dalla pietra alle costruzioni in pietra	29
2.2.2 Le prime costruzioni in pietra naturale	30
2.2.3 Le prime costruzioni in pietra artificiale	31
2.2.4 Le costruzioni mesopotamiche	34
2.2.5 Le costruzioni egizie	34
2.2.6 Le costruzioni megalitiche europee	36
2.2.7 Le costruzioni minoiche e micenee	37
2.2.8 Le costruzioni greche	38
2.2.9 Le costruzioni etrusche	39
2.2.10 Le costruzioni romane	39
2.2.11 Le costruzioni dal Medioevo al XVIII secolo	41
2.2.12 La rivoluzione nelle costruzioni	43
2.2.13 Le costruzioni moderne	46
2.3 CLASSIFICAZIONE DEGLI EDIFICI IN MURATURA	49
2.4 LA PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE IN MURATURA	52
2.4.1 Le origini greche e romane	52
2.4.2 Il periodo medioevale	54
2.4.3 Il periodo rinascimentale e i trattatisti	55
2.4.4 Dall'Accademie d'Architecture all'École Polytechnique	60
2.4.5 La progettazione nel XIX secolo	62
2.4.6 Prima metà del Novecento e fine dell'empirismo	68
2.4.7 La nascita di una Teoria delle strutture in muratura	70
3 FILOSOFIA ATTUALE DELL'INGEGNERIA SISMICA	75
3.1 RISCHIO SISMICO	75
3.1.1 Pericolosità	77

3.1.2	Vulnerabilità	82
3.1.3	Esposizione	84
3.2	INGEGNERIA SISMICA PRESTAZIONALE	86
3.2.1	Intensità sismica	86
3.2.2	Domanda sismica	95
3.2.3	Capacità sismica	162
3.2.4	Obiettivi e livelli di prestazione sismica	163
3.3	METODI DI ANALISI SISMICA	165
3.3.1	Analisi lineari e analisi non lineari	166
3.3.2	Analisi statiche e analisi dinamiche	168
3.3.3	Analisi dinamica lineare	169
3.3.4	Analisi statica lineare	177
3.3.5	Analisi dinamica non lineare	180
3.3.6	Analisi statica non lineare	189
3.4	ANALISI DEL DANNEGGIAMENTO SISMICO	216
3.5	VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI	223
3.5.1	Metodo delle tensioni ammissibili	224
3.5.2	Metodo probabilistico (III livello)	225
3.5.3	Metodi di II livello	235
3.5.4	Metodi di I livello	236
4	NORMATIVA STRUTTURALE E SUA EVOLUZIONE	239
4.1	GENERALITÀ	239
4.2	EVOLUZIONE DELLA NORMATIVA	241
4.3	NORME MODERNE PER LE COSTRUZIONI IN MURATURA	255
4.4	NORME ATTUALI PER LE COSTRUZIONI IN MURATURA	260
4.4.1	Norme italiane	260
4.4.2	Norme europee	269
4.4.3	Norme statunitensi	272
Parte seconda Modellazione strutturale		
5	MODELLAZIONE DEI MATERIALI	277
5.1	CONSIDERAZIONI PRELIMINARI	277
5.2	MECCANICA DELLA MURATURA ORDINARIA	279
5.2.1	Modello teorico di base per compressione monoassiale	280
5.2.2	Criteri di resistenza	282
5.2.3	Criteri di resistenza per la macro-modellazione	285
5.2.4	Criteri di resistenza per la micro-modellazione	295
5.2.5	Criteri di resistenza per modelli ai macro-elementi	300
5.2.6	Legami costitutivi sperimentali della muratura	304
5.3	CARATTERIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI LAPIDEI	311
5.3.1	Prove di compressione monoassiale	311
5.3.2	Prove di trazione e di splitting	313
5.4	CARATTERIZZAZIONE DELLA MALTA	315
5.5	CARATTERIZZAZIONE DELL'INTERFACCIA	315
5.5.1	Prove di aderenza	315
5.5.2	Prove di taglio diretto	317
5.6	CARATTERIZZAZIONE DELLA MURATURA	319
5.6.1	Prove di laboratorio	319
5.6.2	Prove in sito	328
5.7	IL DATABASE MADA	331
5.8	PROPRIETÀ DELLE MURATURE IN LETTERATURA	332
5.8.1	Resistenza a compressione	333

5.8.2	Deformazione ultima a compressione	335
5.8.3	Resistenza a trazione	336
5.8.4	Resistenza a taglio puro	336
5.8.5	Coefficiente di attrito	338
5.8.6	Moduli di elasticità	339
5.9	INDICAZIONI NORMATIVE PER MURATURE NUOVE	341
5.9.1	Valutazione sperimentale delle resistenze	341
5.9.2	Stima delle resistenze	342
5.9.3	Resistenze di progetto	346
5.9.4	Moduli di elasticità secanti	347
5.10	INDICAZIONI NORMATIVE PER MURATURE ESISTENTI	348
5.10.1	Costruzioni esistenti ordinarie	348
5.10.2	Costruzioni esistenti tutelate	357
5.11	INDICAZIONI DELLE NORMATIVE PREGRESSE	359
6	MODELLAZIONE DELLA GEOMETRIA	361
6.1	APPROCCI NUMERICI	361
6.1.1	Modellazione agli elementi finiti	361
6.1.2	Modellazione agli elementi discreti	366
6.2	APPROCCI AI MACRO-ELEMENTI	366
6.2.1	Modellazione di pareti per azioni nel piano	366
6.2.2	Modellazione di pareti per azioni fuori del piano	387
7	MODELLAZIONE DELLE AZIONI	393
7.1	GENERALITÀ	393
7.2	VITA NOMINALE DELLA STRUTTURA	394
7.3	TIPOLOGIE DI AZIONI	395
7.4	STATI LIMITE	398
7.5	SITUAZIONI DI PROGETTO E COMBINAZIONE DELLE AZIONI	400
7.6	AZIONI NON SISMICHE	404
7.6.1	Carichi permanenti strutturali	404
7.6.2	Carichi permanenti non strutturali	406
7.6.3	Carichi variabili	407
7.6.4	Azioni gravitazionali applicate ai pannelli murari	409
7.7	AZIONI SISMICHE	409
7.7.1	Classe d'uso	409
7.7.2	Periodo di riferimento	410
7.7.3	Valutazione della pericolosità sismica	410
7.7.4	Descrizione del moto sismico secondo la normativa	416
7.7.5	Azioni sismiche orizzontali	417
7.7.6	Azioni sismiche verticali	428
Parte terza Analisi strutturale		
8	ANALISI PER AZIONI NON SISMICHE	433
8.1	PERCORSO DEI CARICHI E RISULTANTI	433
8.2	VERIFICHE DI SICUREZZA	440
9	ANALISI SISMICA GLOBALE	443
9.1	I METODI DI ANALISI A MACRO-ELEMENTI	443
9.1.1	Analisi statica lineare con metodo RAN	446
9.1.2	Analisi statica non lineare con metodo DEUM	448
9.2	CAPACITÀ DEI PANNELLI DI MASCHIO	449
9.2.1	Tipologie di crisi e ipotesi generali	449
9.2.2	Domini di resistenza a presso-flessione	451

9.2.3	Domini di resistenza a taglio da trazione	485
9.2.4	Domini di resistenza a taglio da scorrimento	487
9.2.5	Sovrapposizione dei domini di resistenza	493
9.2.6	Legami momento-curvatura	497
9.2.7	Curve caratteristiche	505
9.3	CAPACITÀ DEI PANNELLI DI FASCIA	523
9.3.1	Considerazioni preliminari	523
9.3.2	Resistenza a presso-flessione con approccio alle tensioni	527
9.3.3	Resistenza a presso-flessione con approccio alle deformazioni	550
9.3.4	Domini di resistenza a taglio	558
9.3.5	Curve caratteristiche semplificate	560
9.4	RISPOSTA SISMICA DI PARETI SOLLECITATE NEL PIANO	560
9.4.1	Pareti prive di aperture	560
9.4.2	Curve caratteristiche di piano delle pareti forate	561
9.4.3	Variazioni di sforzo normale nelle pareti forate	564
9.4.4	Analisi statica lineare di pareti forate	577
9.4.5	Analisi statica non lineare di pareti forate	586
9.5	SISTEMI COMBINATI DI PARETI CIECHE E FORATE	595
9.6	RIPARTIZIONE DELLE AZIONI SISMICHE	600
9.7	ANALISI STATICA LINEARE DI EDIFICI IN MURATURA	606
9.8	ANALISI STATICA NON LINEARE DI EDIFICI IN MURATURA	609
9.8.1	Considerazioni preliminari	609
9.8.2	Procedimento di analisi	610
9.8.3	Verifica di sicurezza	615
10	ANALISI SISMICA PER MECCANISMI LOCALI	617
10.1	CONSIDERAZIONI PRELIMINARI	617
10.2	ANALISI STATICA LINEARE DI SINGOLI MACRO-ELEMENTI	618
10.3	ANALISI CINEMATICA LINEARE	620
10.4	ANALISI CINEMATICA NON LINEARE	623
10.5	CONSIDERAZIONI TEORICO-SPERIMENTALI	627
11	VALUTAZIONE DI UN EDIFICIO IN MURATURA	639
11.1	L'EDIFICIO OGGETTO DI APPLICAZIONE	639
11.2	MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA	641
11.2.1	Modello geometrico	641
11.2.2	Modello delle azioni	644
11.2.3	Modello meccanico	645
11.3	ANALISI SISMICA LINEARE DELLA STRUTTURA	646
11.3.1	Determinazione dei carichi gravitazionali allo SLU	647
11.3.2	Verifiche per azioni non sismiche	648
11.3.3	Analisi sismica statica lineare	651
11.4	ANALISI LINEARE TRAMITE CODICE RAN	670
11.4.1	Analisi per azioni non sismiche	670
11.4.2	Analisi per azioni sismiche	672
11.5	ANALISI NON LINEARE TRAMITE CODICE RAN	678
11.5.1	Modellazione non lineare della struttura	678
11.5.2	Analisi statica non lineare della struttura	678
11.5.3	Verifiche del modello non lineare	678
11.6	CONCLUSIONI	684
	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	687

Prefazione

Le ragioni che mi hanno spinto a scrivere questo nuovo libro sono molteplici, prima tra tutte quella che il volume *Il calcolo sismico degli edifici in muratura*, pubblicato in due successive edizioni rapidamente esaurite, non è stato più ristampato mentre l'interesse per l'argomento da parte di professionisti, ricercatori e studenti cresceva con legge esponenziale.

Sollecitato dalle richieste sempre più pressanti di colleghi e lettori di varia estrazione, sono venuto nella determinazione di scrivere nuovamente sulla progettazione e sulla verifica strutturale degli edifici in muratura, per lasciare una traccia delle tante e proficue ricerche che ho condotto in questo settore per quasi quattro decenni.

Dopo molte perplessità legate all'impegno che tale lavoro avrebbe richiesto, ma persuaso di poter fare cosa utile, ho deciso di cimentarmi nella redazione di un vero e proprio trattato su di un argomento, ogni giorno più attuale, sul quale è particolarmente difficile reperire esposizioni organiche. Con riferimento sia agli edifici nuovi che a quelli esistenti, ho voluto perciò riprendere i temi più importanti già trattati nel precedente testo ed esporre i risultati delle molte ricerche che ho portato avanti negli ultimi anni su altri argomenti come le analisi non lineari, le pareti irregolari, i legami costitutivi evoluti del materiale, il comportamento delle "fasce di piano" e su alcuni sistemi innovativi di consolidamento. Ovviamente ho colto anche l'occasione per armonizzare le verifiche ai dettami delle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni, di recente pubblicazione.

In questo ambizioso progetto ho voluto coinvolgere uno dei miei migliori figli putativi, Fulvio Parisi, attuale ricercatore universitario che mi è stato validamente vicino negli ultimi dieci anni di ricerca e di didattica e che, grazie alle sue capacità e al suo impegno, appartiene alla ristretta avanguardia scientifica della sua generazione: per lui è facile preconizzare una brillante carriera. Ci tengo peraltro a precisare che il libro è stato scritto *a quattro mani*, in piena sintonia e armonia (per usare termini cari a Fulvio, che è bravo persino come pianista).

Per chiarire lo spirito che mi ha animato nella redazione del presente testo e il taglio che abbiamo voluto dare agli argomenti trattati, ricorderò che la filosofia alla quale ho ispirato tutta la mia attività didattica è sempre stata quella di fornire agli allievi una rigorosa cultura scientifica, non disgiunta però dagli aspetti applicativi, ché la prima senza i secondi risulterebbe del tutto sterile. Cinquant'anni quasi di ricerca, di insegnamento e di attività professionale mi hanno convinto che l'unico modo per capire realmente una teoria è quello di applicarla. Ben più autorevolmente, d'altronde, Leonardo da Vinci affermava già nel XV secolo: "Studia prima la scientia e poi seguita la pratica nata da essa scientia".

Tramite il presente testo, in definitiva, abbiamo voluto riorganizzare la trattazione degli edifici in muratura e della loro analisi strutturale, per lasciare una traccia di quanto abbiamo capito sull'argomento, anche a beneficio di chi non ha la possibilità di seguire i corsi universitari.