

## Indice

<b>Introduzione .....</b>	<b>11</b>
<b>Capitolo 1 - Dati generali di calcolo .....</b>	<b>13</b>
1.1 – Vita nominale .....	13
1.2 – Classe d'uso .....	15
1.3 – Periodo di riferimento per l'azione sismica .....	16
1.4 – Azioni sulla struttura .....	16
1.5 – Combinazioni delle azioni .....	17
1.6 – Azione sismica .....	20
1.6.1 – Stati limite e relative probabilità di superamento .....	20
1.6.2 – Categoria di suolo .....	23
1.6.3 – Condizioni topografiche .....	25
1.6.4 – Valutazione dell'azione sismica .....	25
1.6.5 – Amplificazione stratigrafica .....	27
1.6.6 – Amplificazione topografica .....	27
1.6.7 – Spettro di risposta elastico in spostamento delle componenti orizzontali .....	28
1.6.8 – Spettro di progetto .....	30
1.7 – Indicatori di rischio e tempi di ritorno .....	32
<b>Capitolo 2 - Classificazione dei materiali.....</b>	<b>43</b>
2.1 – Muratura esistente .....	43
2.1.1 – Prove sperimentali sui materiali – Martinetti piatti .....	43
2.1.1.1 – Macchinari per l'esecuzione della prova .....	44
2.1.1.2 – Valutazione delle proprietà meccaniche della muratura con martinetti piatti .....	47
2.1.2 – Tipologie di murature e relativi parametri meccanici .....	57
2.1.3 – Livello di conoscenza e fattore di confidenza .....	60
2.1.3.1 – Rilievo geometrico .....	60
2.1.3.2 – Dettagli costruttivi .....	61
2.1.3.3 – Qualità della muratura .....	61
2.1.3.4 – Livello di conoscenza (LC) .....	62
2.1.3.5 – Fattore di confidenza (FC) .....	63
2.1.4 – Parametri meccanici della muratura .....	63
2.2 – Muratura di nuova costruzione .....	70
2.2.1 – Elementi di cui è composta la muratura .....	70
2.2.2 – Malte per muratura .....	71
2.2.3 – Valutazione dei parametri meccanici della muratura .....	71
2.3 – Coefficiente di sicurezza .....	74
<b>Capitolo 3 - Il dissesto di edifici in muratura.....</b>	<b>75</b>
3.1 – Lesioni.....	75
3.2 – Dissesto per cedimento della fondazione.....	77
3.2.1 – Cedimenti dovuti ai carichi della costruzione .....	77
3.2.2 – Cedimenti dovuti alla variazione di carico dei terreni adiacenti all'edificio .....	79
3.2.3 – Cedimenti dovuti alla variazione di falda .....	81
3.2.4 – Cedimenti dovuti ad effetti dinamici .....	81
3.2.5 – Effetti del cedimento delle fondazioni sugli edifici in muratura .....	82
3.2.5.1 – Cedimento verticale del terreno in prossimità della parte terminale dell'edificio ..	84
3.2.5.2 – Cedimento verticale del terreno in prossimità della parte centrale dell'edificio ..	89
3.2.5.3 – Cedimento orizzontale del terreno .....	91

3.2.5.4 – Rotazione del terreno per effetto di carichi eccentrici.....	92
3.3 – Dissesto per strutture spingenti .....	96
3.3.1 – Dissesto di strutture con tetto spingente.....	96
3.3.2 – Dissesto di strutture con archi o volte .....	98
3.4 – Dissesto per carichi verticali (schiacciamento).....	100
3.5 – Dissesto per azione sismica .....	105
<b>Capitolo 4 - Analisi sismica globale di edifici in muratura .....</b>	<b>107</b>
4.1 – Analisi statica non lineare (pushover).....	108
4.1.1 – Schematizzazione a telaio equivalente di una parete.....	110
4.1.1.1 – Maschi murari .....	112
4.1.1.1.1 – Rigidezza del maschio murario .....	112
4.1.1.1.2 – Resistenza del maschio murario .....	113
4.1.1.2 – Fasce di piano .....	127
4.1.1.3 – Conci rigidi .....	129
4.1.2 – Curva di capacità .....	129
4.1.3 – Conversione del sistema MDOF in SDOF equivalente.....	141
4.1.4 – Sistema bilineare equivalente .....	144
4.1.5 – Capacità di spostamento e spostamento richiesto .....	150
4.1.6 – Verifica dell'analisi pushover.....	157
4.1.7 – Combinazioni di carico.....	158
4.1.8 – Punto di controllo .....	159
4.1.9 – Rigidezze fessurate .....	160
4.1.10 – La definizione degli stati limite per l'analisi pushover .....	161
4.1.11 – Osservazioni sull'analisi pushover .....	163
4.1.11.1 – Sistema SDOF con periodo proprio compreso tra $T_B$ e $T_C$ .....	164
4.1.11.2 – Sistema MDOF con periodo proprio compreso tra $T_B$ e $T_C$ .....	168
4.1.11.3 – Sistema SDOF con periodo proprio esterno all'intervallo $T_B - T_C$ .....	171
4.1.11.4 – Capacità di spostamento di un sistema SDOF rinforzato a pressoflessione....	171
4.1.11.5 – Rinforzo non efficace su un sistema a più gradi di libertà .....	172
4.1.12 – Sintesi dell'analisi pushover .....	174
4.2 – Valutazione approssimata del periodo fondamentale della struttura ( $T_1$ ) .....	174
<b>Capitolo 5 - Verifiche fuori piano .....</b>	<b>177</b>
5.1 – Pressoflessione per carichi laterali .....	177
5.2 – Verifica fuori piano.....	188
<b>Capitolo 6 - Meccanismi locali .....</b>	<b>193</b>
6.1 – Tecniche di calcolo .....	196
6.1.1 – Analisi cinematica lineare .....	197
6.1.2 – Analisi cinematica non lineare .....	201
6.1.2.1 – Curva di capacità.....	201
6.1.2.2 – Curva di capacità dell'oscillatore equivalente.....	205
6.1.2.3 – Resistenza e capacità di spostamento.....	208
6.1.2.4 – Verifiche di sicurezza.....	209
6.1.2.4.1 – Verifica allo Stato limite di danno (SLD).....	209
6.1.2.4.2 – Verifica allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).....	211
6.2 – Meccanismo di ribaltamento semplice.....	216
6.2.1 – Meccanismo di ribaltamento semplice per pareti monolitiche.....	217
6.2.2 – Arretramento della cerniera cinematica nello spessore del muro .....	235
6.2.3 – Meccanismo di ribaltamento semplice per pareti con più paramenti .....	240
6.3 – Meccanismo di flessione verticale .....	245
6.3.1 – Meccanismo di flessione verticale per pareti monolitiche .....	247
6.3.2 – Meccanismo di flessione verticale per pareti con più paramenti.....	265
6.4 – Meccanismo di flessione orizzontale .....	269
6.4.1 – Meccanismo di flessione orizzontale di una parete monolitica non confinata.....	271
6.4.2 – Meccanismo di flessione orizzontale di una parete a più paramenti non confinata....	281

6.4.3 – Meccanismo di flessione orizzontale di una parete monolitica confinata .....	282
6.5 – Meccanismo di ribaltamento composto .....	287
6.6 – Casi particolari di meccanismo locale .....	299
6.6.1 – Meccanismo di sfondamento del timpano .....	300
6.6.2 – Meccanismo di ribaltamento del cantonale .....	307
6.6.3 – Meccanismo locale su una porzione di parete .....	311
<b>Capitolo 7 - Consolidamento di edifici in muratura – strutture di fondazione .....</b>	<b>313</b>
7.1 – Prescrizioni di normativa .....	313
7.2 – Consolidamento con interventi indiretti .....	315
7.2.1 – Miglioramento delle caratteristiche meccaniche del terreno con iniezioni .....	315
7.2.2 – Opere di sostegno per impedire il rifluimento laterale del terreno .....	316
7.2.3 – Modifica della distribuzione dei carichi sulla struttura .....	316
7.3 – Consolidamento con interventi diretti .....	318
7.3.1 – Sottofondazione con martinetti idraulici a perdere .....	318
7.3.2 – Allargamento della base della fondazione .....	319
7.3.3 – Fondazioni su pali di grosso e medio diametro .....	323
7.3.4 – Fondazioni su pali di piccolo diametro (micropali) .....	338
<b>Capitolo 8 - Consolidamento di edifici in muratura – strutture di elevazione .....</b>	<b>343</b>
8.1 – Tiranti e catene orizzontali .....	344
8.1.1 – Componenti dei tiranti .....	344
8.1.2 – Prescrizioni di normativa .....	350
8.1.3 – Resistenza del tirante .....	351
8.1.3.1 – Resistenza del cavo del tirante ( $T_t$ ) .....	351
8.1.3.2 – Resistenza della muratura ( $T_m$ ) .....	352
8.1.3.3 – Resistenza del capochiave ( $T_c$ ) .....	358
8.1.4 – Capacità di deformazione del tirante .....	361
8.1.5 – Resistenza nel piano della parete consolidata con tiranti .....	368
8.1.5.1 – Resistenza dei maschi murari consolidati con tiranti .....	368
8.1.5.2 – Resistenza della parete consolidata con tiranti .....	372
8.1.6 – Resistenza fuori piano di una parete consolidata con tiranti .....	377
8.1.6.1 – Comportamento dei tiranti nel calcolo dei meccanismi locali .....	377
8.1.6.2 – Contributo dei tiranti nel meccanismo di ribaltamento semplice .....	383
8.1.6.3 – Contributo dei tiranti nel meccanismo a flessione verticale .....	411
8.1.6.4 – Contributo dei tiranti nel meccanismo a flessione orizzontale .....	412
8.1.6.5 – Contributo dei tiranti nel meccanismo di ribaltamento composto .....	414
8.1.6.6 – Contributo dei tiranti nel meccanismo di ribaltamento del cantonale .....	417
8.2 – Cordoli di coronamento .....	418
8.2.1 – Prescrizioni di normativa .....	419
8.2.2 – Cordoli in cemento armato .....	420
8.2.3 – Cordoli in acciaio .....	423
8.2.4 – Resistenza dei cordoli .....	424
8.3 – Intonaco armato .....	429
8.3.1 – Tecnica di esecuzione .....	430
8.3.2 – Prescrizioni di normativa .....	432
8.3.3 – Resistenza nel piano di un maschio murario consolidato con intonaco armato .....	434
8.3.4 – Resistenza delle fasce di piano consolidate con intonaco armato .....	437
8.3.5 – Resistenza nel piano di una parete consolidata con intonaco armato .....	439
8.3.6 – Resistenza fuori piano di una parete consolidata con intonaco armato .....	442
8.3.7 – Dati sperimentali .....	449
8.3.8 – Criteri di intervento e dettagli costruttivi .....	454
8.4 – Iniezioni di malta .....	456
8.4.1 – Tecnica di esecuzione .....	457
8.4.2 – Materiali utilizzati per le miscele .....	461
8.4.3 – Prescrizioni di normativa .....	463
8.4.4 – Resistenza di un maschio murario consolidato con iniezione di malta .....	464
8.4.5 – Resistenza delle fasce di piano consolidate con iniezioni di malta .....	466

8.4.6 – Resistenza nel piano della parete consolidata con iniezioni di malta .....	466
8.4.7 – Resistenza fuori piano di una parete consolidata con iniezioni di malta .....	469
<b>8.5 – Perforazioni armate .....</b>	<b>469</b>
8.5.1 – Tecnica di esecuzione .....	470
8.5.2 – Prescrizioni di normativa .....	472
8.5.3 – Resistenza di un maschio murario consolidato con perforazioni armate .....	472
8.5.4 – Resistenza delle fasce di piano consolidate con perforazioni armate .....	474
8.5.5 – Resistenza nel piano di una parete consolidata con perforazioni armate .....	474
8.5.6 – Resistenza fuori piano di una parete consolidata con perforazioni armate .....	475
8.5.7 – Incremento di resistenza della parete in corrispondenza di forze concentrate .....	478
8.5.8 – Dettagli costruttivi .....	479
<b>8.6 – Diatoni artificiali .....</b>	<b>479</b>
8.6.1 – Tecnica di esecuzione .....	480
8.6.2 – Prescrizioni di normativa .....	481
8.6.3 – Resistenza nel piano di maschi e fasce consolidati con diatoni artificiali .....	482
8.6.4 – Resistenza nel piano della parete consolidata con diatoni artificiali .....	482
8.6.5 – Resistenza fuori piano della parete consolidata con diatoni artificiali .....	482
<b>8.7 – Cuci-scuci .....</b>	<b>483</b>
8.7.1 – Tecnica di esecuzione .....	484
8.7.2 – Prescrizioni di normativa .....	485
8.7.3 – Resistenza nel piano di maschi murari consolidati con cuci-scuci .....	486
8.7.4 – Resistenza fuori piano di una parete consolidata con cuci-scuci .....	490
<b>8.8 – Realizzazione di nuove pareti .....</b>	<b>493</b>
<b>8.9 – Telai metallici controventati .....</b>	<b>496</b>
8.9.1 – Resistenza nel piano di maschi murari consolidati con telai controventati .....	498
8.9.2 – Dettagli costruttivi .....	501
<b>8.10 – Cerchiature nelle aperture di murature portanti .....</b>	<b>503</b>
8.10.1 – Tecnica di esecuzione .....	504
8.10.2 – Prescrizioni di normativa .....	505
8.10.3 – Resistenza nel piano di una parete con cerchiatura .....	505
8.10.4 – Particolari costruttivi .....	513
<b>8.11 – Rinforzi con FRP .....</b>	<b>514</b>
8.11.1 – Normativa di riferimento .....	515
8.11.2 – Caratteristiche dei materiali utilizzati .....	515
8.11.3 – Caratteristiche meccaniche di calcolo .....	520
8.11.4 – Delaminazione (distacco dal supporto) .....	522
8.11.5 – Resistenza nel piano di un maschio rinforzato con FRP .....	531
8.11.5.1 – Resistenza a pressoflessione nel piano di un maschio murario consolidato con FRP .....	532
8.11.5.2 – Resistenza a taglio nel piano di un maschio murario consolidato con FRP .....	551
8.11.6 – Resistenza di una fascia di piano consolidata con FRP .....	557
8.11.7 – Resistenza nel piano di una parete consolidata con FRP .....	559
8.11.8 – Resistenza fuori piano di una parete consolidata con FRP .....	564
8.11.8.1 – Resistenza al meccanismo di ribaltamento semplice di una parete consolidata con FRP .....	564
8.11.8.2 – Resistenza al meccanismo a flessione verticale di una parete consolidata con FRP .....	573
8.11.8.3 – Resistenza al meccanismo a flessione orizzontale di una parete consolidata con FRP .....	580
<b>8.12 – Rinforzi con architravi .....</b>	<b>582</b>
<b>8.13 – Consolidamento di strutture orizzontali .....</b>	<b>589</b>
<b>Capitolo 9 - Analisi tridimensionale di edifici in muratura .....</b>	<b>593</b>
9.1 – Ripartizione delle azioni sismiche sugli impalcati .....	593
<b>9.2 – Organizzazione strutturale .....</b>	<b>597</b>
9.2.1 – Regole generali per edifici in muratura .....	597
9.2.2 – Regolarità della costruzione .....	598
9.2.2.1 – Regolarità in pianta .....	598

9.2.2.2 – Regolarità in altezza .....	600
9.3 – Classificazione di edifici in muratura ed analisi strutturale .....	602
9.4 – Classificazione degli interventi .....	605
9.5 – Analisi statica non lineare per edifici tridimensionali .....	607
9.6 – Esempio pratico (messa in sicurezza nei confronti dell'azione sismica di un edificio scolastico realizzato in muratura ordinaria).....	607
9.6.1 – Geometria della struttura.....	608
9.6.2 – Caratteristiche dei materiali.....	618
9.6.3 – Dati geotecnici.....	619
9.6.4 – Azioni sulla struttura e combinazioni di carico .....	619
9.6.5 – Calcolo della struttura .....	622
9.6.5.1 – Calcolo della struttura ante-operam.....	622
9.6.5.1.1 – Analisi sismica globale (pushover).....	623
9.6.5.2 – Calcolo della struttura post-operam.....	637
9.6.5.2.1 – Interventi di consolidamento.....	637
9.6.6 – Particolari costruttivi degli interventi.....	673
9.7 – Esempio pratico (adeguamento di un edificio in muratura ordinaria con solai non rigidi nel proprio piano).....	675
9.7.1 – Analisi dello stato di fatto della struttura.....	677
9.7.1.1 – Analisi dei meccanismi locali (ante-operam) .....	677
9.7.1.1.1 – Ribaltamento semplice .....	679
9.7.1.1.2 – Flessione verticale.....	681
9.7.1.1.3 – Flessione orizzontale.....	683
9.7.1.2 – Analisi globale della struttura.....	686
9.7.2 – Progettazione degli interventi.....	688
9.7.2.1 – Analisi dei meccanismi locali (post-operam).....	688
9.7.2.1.1 – Flessione orizzontale.....	689
9.7.2.1.2 – Ribaltamento semplice .....	691
9.7.2.1.3 – Pressoflessione verticale.....	692
9.7.2.2 – Analisi globale della struttura.....	694
<b>Appendice 1 - Cenni di geometria delle aree.....</b>	<b>697</b>
A.1.1 – Momento statico di sistemi discreti .....	697
A.1.2 – Momento statico di sistemi continui .....	698
A.1.3 – Baricentro di sistemi discreti e continui.....	699
A.1.4 – Momenti d'inerzia per sistemi discreti e continui.....	700
A.1.5 – Centro relativo o baricentro dei momenti statici.....	715
A.1.6 – Nocciolo centrale d'inerzia .....	717
<b>Appendice 2 - Cenni di Scienza delle Costruzioni .....</b>	<b>719</b>
A.2.1 – Sforzo normale centrato .....	719
A.2.2 – Flessione semplice retta per elementi omogenei ed isotropi .....	720
A.2.3 – Pressoflessione retta per elementi omogenei ed isotropi .....	723
A.2.4 – Pressoflessione per solidi non reagenti a trazione.....	727
A.2.5 – Taglio per elementi omogenei ed isotropi .....	729
<b>Appendice 3 – Software utilizzati .....</b>	<b>733</b>
A.3.1 – Software CdT.....	733
A.3.1.1 – Dati d'input .....	733
A.3.1.1.1 – Cavo.....	733
A.3.1.1.2 – Capochiave .....	734
A.3.1.1.3 – Muratura.....	735
A.3.1.1.4 – Materiali .....	735
A.3.1.2 – Dati di output .....	735
A.3.1.3 – Come scaricare il software .....	735
A.3.2 – Software FRP .....	735

A.3.2.1 – Dati d'input .....	736
A.3.2.1.1 – Caratteristiche geometriche della parete .....	736
A.3.2.1.2 – Rinforzo verticale .....	736
A.3.2.1.3 – Rinforzo orizzontale .....	736
A.3.2.1.4 – Sollecitazioni .....	736
A.3.2.1.5 – Materiali .....	737
A.3.2.2 – Dati di output .....	737
A.3.2.3 – Come scaricare il software .....	737
A.3.3 – Software STR .....	737
A.3.3.1 – Dati d'input .....	737
A.3.3.2 – Dati di output .....	738
A.3.3.3 – Come scaricare il software .....	738
A.3.4 – Software VEM <sub>NL</sub> .....	738
A.3.4.1 – L'input .....	738
A.3.4.2 – Il calcolo .....	739
A.3.4.3 – Il consolidamento delle strutture .....	739
A.3.4.4 – L'output .....	740
A.3.4.5 – Esempi di calcolo .....	740
<b>Bibliografia .....</b>	<b>741</b>