

# LIBRO PRIMO

## PARTE PRIMA: I FONDAMENTI

Presentazione <i>Paolo Rocchi</i>	17
Introduzione <i>Marina Ines Scrosoppi</i>	25
<b>Capitolo 1: Richiami di Scienza delle Costruzioni</b>	<b>27</b>
1.1 - Caratteristiche geometriche - Geometria delle masse	30
1.1.1 Baricentri e momenti statici	30
1.1.2 Momenti di inerzia	31
1.2 - Schemi statici	33
1.2.1 Vincoli	33
1.2.2 Esempi semplici di calcolo delle reazioni vincolari	34
1.2.2.1 <i>Trave appoggiata</i>	34
1.2.2.2 <i>Mensola</i>	35
1.2.2.3 <i>Arco a tre cerniere</i>	35
1.3 - Diagrammi di sollecitazione	37
1.3.1 Esempi semplici di calcolo dei diagrammi di sollecitazione	37
1.3.1.1 <i>Trave appoggiata</i>	37
1.3.1.2 <i>Mensola</i>	38
1.3.1.3 <i>Arco a tre cerniere</i>	39
1.4 - Principi fondamentali per l'introduzione alle tensioni	40
1.4.1 Tensioni interne in un corpo solido	40
1.4.2 Legge di Hooke	41
1.4.3 Principio di sovrapposizione degli effetti	41
1.4.4 Coefficiente di Poisson	41
1.4.5 Principio di Saint-Venant	42
1.4.6 Coefficiente di sicurezza	42
1.5 - Sollecitazioni semplici e relativi stati tensionali	43
1.5.1 Trazione e compressione	43
1.5.2 Flessione	44
1.5.2.1 <i>Flessione semplice retta</i>	44
1.5.2.2 <i>Flessione deviata</i>	46
1.5.3 Torsione	47
1.5.4 Taglio	50
1.6 - Sollecitazioni composte	53
1.6.1 Flessione deviata composta	53
1.6.2 Flessione retta composta nei materiali non resistenti a trazione	54
1.7 - Carico di punta	55
1.8 - Cerchio di Mohr	57



<b>Capitolo 2: Cenni di geotecnica</b>	<b>59</b>
Giuseppe Chirivi	
2.1 - Elementi di meccanica delle terre	62
2.1.1 Geologia e Geotecnica	62
2.1.2 Le proprietà generali delle terre	62
2.1.2.1 <i>Proprietà caratteristiche di un singolo granulo</i>	62
2.1.2.2 <i>Suddivisione dei granuli</i>	63
2.1.3 Rapporti tra le fasi costituenti la terra	63
2.1.4 Descrizione, identificazione e classificazione delle terre	65
2.2 - Tensioni e deformazioni nelle terre	69
2.2.1 Tensioni e deformazioni normali e tangenziali	69
2.2.2 Il principio delle tensioni efficaci	70
2.2.3 Filtrazione e consolidazione nelle terre	70
2.2.3.1 <i>Filtrazione</i>	71
2.2.3.2 <i>Consolidazione</i>	72
2.3 - Compressibilità delle terre	74
2.3.1 I terreni coesivi	74
2.3.2 I terreni granulari	75
2.4 - Resistenza delle terre	78
2.4.1 I terreni coesivi	78
2.4.2 I terreni granulari	79
2.5 - Stabilità dei pendii	81
2.5.1 Generalità	81
2.5.2 Il pendio indefinito	81
 <b>Capitolo 3: I materiali</b>	 <b>87</b>
Laura Bussi	
3.1 - I leganti	90
3.1.1 Il gesso	90
3.1.2 La calce	90
3.1.3 La calce idraulica	91
3.1.4 Il cemento	92
3.2 - Le malte	93
3.2.1 I componenti non leganti	93
3.2.1.1 <i>L'acqua di impasto</i>	93
3.2.1.2 <i>Gli inerti</i>	94
3.2.1.3 <i>La pozzolana</i>	94
3.2.1.4 <i>Gli additivi</i>	94
3.2.2 La malta di gesso	95
3.2.3 La malta di calce	95
3.2.4 Le malte bastarde	96
3.2.5 La malta di calce idraulica	96
3.2.6 La malta di calce e pozzolana	96
3.2.7 La malta di cemento	97
3.3 - I materiali lapidei	99



3.4 - I laterizi	101
3.5 - Il legno	103
3.6 - Il ferro	106
3.7 - Le materie plastiche termoindurenti	108
3.8 - I compositi	109

## Capitolo 4: Le tipologie strutturali e le tecniche costruttive 113

Carmen Piccirilli

4.1 - Le fondazioni	116
4.1.1 Le fondazioni dirette	117
4.1.1.1 <i>Fondazioni continue normali</i>	117
4.1.1.2 <i>Fondazioni continue a larga base</i>	118
4.1.1.3 <i>Fondazioni discontinue</i>	118
4.1.2 Le fondazioni indirette	119
4.1.2.1 <i>Fondazioni a pozzi</i>	119
4.1.2.2 <i>Fondazioni a palificata</i>	122
4.1.3 Fondazioni su terreni cedevoli	124
4.1.4 Fondazioni idrauliche	124
4.2 - Le strutture verticali in muratura	125
4.2.1 Le murature	126
4.2.1.1 <i>Murature in pietra naturale</i>	126
4.2.1.2 <i>Murature in pietrame, miste o listate</i>	128
4.2.1.3 <i>Murature in pietra da taglio</i>	129
4.2.1.4 <i>Murature in pietra artificiale</i>	132
4.2.2 Le colonne e i pilastri	134
4.3 - Gli orizzontamenti	136
4.3.1 I solai	137
4.3.2 Le volte	140
4.3.2.1 <i>Volta a botte (o cilindrica)</i>	141
4.3.2.2 <i>Volta a padiglione</i>	142
4.3.2.3 <i>Volta a crociera</i>	143
4.3.2.4 <i>Volta a vela</i>	144
4.3.2.5 <i>Centine</i>	146
4.3.2.6 <i>Cupole</i>	147
4.4 - Le coperture	149
4.4.1 I tetti	149
4.4.1.1 <i>Materiale di copertura</i>	151
4.4.2 Le capriate	152

## Capitolo 5: Il comportamento statico dei principali elementi strutturali 157

Antonio Ambrosi

5.1 - Le fondazioni	160
5.1.1 Le fondazioni superficiali	160



5.1.1.1	<i>Plinti isolati</i>	160
5.1.1.2	<i>Fondazioni continue</i>	163
5.1.1.3	<i>Platee</i>	163
5.1.2	Le fondazioni profonde	163
5.1.2.1	<i>Pali e micropali</i>	163
5.1.2.2	<i>Fondazioni a pozzi e barulle</i>	165
5.2	<b>Le strutture verticali in muratura</b>	<b>166</b>
5.2.1	Le pareti murarie	166
5.2.1.1	<i>Pareti sottoposte a carico verticale</i>	166
5.2.1.2	<i>Pareti sottoposte ad azioni orizzontali ortogonali al piano medio</i>	168
5.2.1.3	<i>Pareti sottoposte ad azioni parallele al piano medio</i>	169
5.2.2	Le colonne e i pilastri	170
5.2.2.1	<i>La verifica a carico di punta</i>	171
5.3	<b>Gli orizzontamenti</b>	<b>172</b>
5.3.1	I solai	172
5.3.2	Le strutture curve: archi, volte e cupole	172
5.3.2.1	<i>Gli archi</i>	173
5.3.2.2	<i>Le volte</i>	174
5.3.2.3	<i>Le cupole</i>	175
5.4	<b>Le capriate</b>	<b>179</b>
5.4.1	Schema statico a trave reticolare	179
5.4.2	Schema statico di un insieme di travi vincolate alle estremità	180
<b>Capitolo 6: Brevi considerazioni in merito al comportamento statico e dinamico d'insieme delle strutture</b>		<b>183</b>
6.1	Problemi connessi alla dinamica delle strutture esistenti	186
6.2	Strutture in muratura	188
6.3	Strutture intelaiate	189
6.4	Modelli matematici	191



LIBRO PRIMO

PARTE SECONDA: IL PROGETTO DI CONSOLIDAMENTO

<b>Capitolo 1: La diagnosi dei dissesti</b>	<b>193</b>
Carmen Piccirilli	
1.1 - Generalità	196
1.2 - Manifestarsi del dissesto	199
1.3 - Studio dei fenomeni deformativi e fessurativi nei solidi murari	200
1.3.1 Tensioni normali: trazione in una direzione	200
1.3.2 Tensioni normali: trazione in due direzioni ortogonali	201
1.3.3 Tensioni normali: compressione in una direzione	201
1.3.4 Tensioni normali: compressione in due direzioni ortogonali	201
1.3.5 Tensioni normali: trazione e compressione in due direzioni ortogonali	201
1.3.6 Tensioni tangenziali: taglio intorno ad un asse	202
1.3.7 Definizione delle isostatiche, delle isodinamiche e della direttrice fessurativa	203
1.4 - Il fenomeno di rottura nei solidi prismatici	205
1.4.1 - Compressione	205
1.4.1.1 <i>Rottura iperboloïdica diretta</i>	205
1.4.1.2 <i>Rottura prismatica</i>	205
1.4.1.3 <i>Rottura iperboloïdica inversa</i>	205
1.4.2 - Trazione	206
1.4.3 - Flessione	206
1.4.4 - Torsione	206
1.4.5 - Flessione e taglio	206
1.4.6 - Quadri isostatici deformati	207
1.5 - Cedimenti fondali	208
1.5.1 - Trascinamento	208
1.5.1.1 <i>Cedimenti intermedi</i>	210
1.5.1.2 <i>Cedimenti terminali</i>	210
1.5.2 - Traslazione orizzontale	210
1.5.2.1 <i>Traslazione longitudinale</i>	210
1.5.2.2 <i>Traslazione trasversale terminale</i>	211
1.5.3 - Traslazione verticale assoluta	213
1.5.4 - Traslazione verticale relativa	214
1.5.4.1 <i>Cedimento intermedio</i>	215
1.5.4.2 <i>Moti secondari</i>	215
1.5.4.3 <i>Muri con aperture</i>	216
1.5.5 - Traslazione inclinata	217
1.5.6 - Rotazione	217
1.5.7 - Cedimenti differenziali	218
1.6 - Cedimento delle strutture murarie	219
1.6.1 - Assestamento murario	219
1.6.2 - Schiacciamento	220
1.6.2.1 <i>Sezioni disomogenee</i>	221
1.6.3 - Pressoflessione e carico di punta	222



1.6.4 - Dissesti dovuti alla spinta di masse murarie, archi e volte	223
1.6.4.1 <i>Muri perimetrali</i>	223
1.6.4.2 <i>Archi e volte</i>	224
1.6.4.3 <i>Manifestazioni secondarie</i>	225
1.6.4.4 <i>Cedimenti spontanei di archi, volte e piedritti</i>	226
1.6.4.5 <i>Volte a botte</i>	227
1.6.4.6 <i>Volte a padiglione</i>	227
1.6.4.7 <i>Volte a crociera</i>	228
1.6.4.8 <i>Volte a vela</i>	228
1.6.5 - Strutture caotiche ed incoerenti	228
1.7 - <b>Depressione di strutture orizzontali</b>	<b>230</b>
1.7.1 - Solai in legno	230
1.7.2 - Solai in ferro	231
1.7.3 - Solai in cemento armato	231
<b>Capitolo 2: La diagnostica</b>	<b>233</b>
2.1 - La diagnostica sui terreni e in fondazione	236
2.2 - La diagnostica sulle strutture verticali	243
2.3 - La diagnostica sulle strutture orizzontali	258
2.4 - La diagnostica per la valutazione degli elementi lignei in opera	260
2.5 - La diagnostica su elementi in c.a. e c.a.p.	262
<b>Capitolo 3: I sistemi di consolidamento</b>	<b>265</b>
3.1 - <b>Opere provvisorie</b>	<b>268</b>
3.1.1 - Premesse	268
3.1.2 - Elementi di impiego pratico	268
3.1.3 - Tipologie di puntelli	269
3.1.4 - Classificazione dei puntellamenti	270
3.1.4.1 <i>Puntellamenti alle piccole masse</i>	270
3.1.4.2 <i>Puntellamenti alle masse locali</i>	271
3.1.4.3 <i>Puntellamenti alle grandi masse</i>	271
3.1.5 - Peculiarità dei puntelli	272
3.1.6 - Verifiche statiche	273
3.1.6.1 <i>Verifica statica senza il contributo dell'attrito e della coesione</i>	274
3.1.6.2 <i>Verifica statica considerando il contributo del solo attrito</i>	274
3.1.6.3 <i>Verifica statica considerando il contributo della sola coesione</i>	275
3.2 - <b>Interventi in fondazione</b>	<b>277</b>
3.2.1 - Ampliamento della base fondale	277
3.2.2 - Sottofondazioni	278
3.2.3 - Pali in c.a.	280
3.2.3.1 <i>Criteri di analisi</i>	280
3.2.3.2 <i>Carico limite di un palo isolato</i>	280
3.2.3.3 <i>Gruppi di pali</i>	281



# INDICE

3.2.3.4	<i>Pali in terreni incoerenti</i>	281
3.2.3.5	<i>Pali in terreni coesivi</i>	285
3.2.3.6	<i>Coefficienti di sicurezza</i>	287
3.2.3.7	<i>Cedimenti delle palificate</i>	287
3.2.3.8	<i>Gruppi di pali soggetti a sforzi normali e momenti</i>	288
3.2.4	<b>Pali di piccolo diametro</b>	289
3.2.4.1	<i>Generalità</i>	289
3.2.4.2	<i>Palo di piccolo diametro di tipo gettato</i>	289
3.2.4.3	<i>Palo di piccolo diametro di tipo iniettato</i>	290
3.2.4.4	<i>Palo di piccolo diametro a guaina iniettata ed iniezione ripetuta</i>	290
3.2.4.5	<i>Capacità portante dei pali di piccolo diametro</i>	291
3.2.5	<b>Aggiornamenti normativi</b>	292
3.3	<b>Interventi sulle strutture murarie (ing. Michele Tataseo)</b>	296
3.3.1	<b>Inquadramento del consolidamento murario</b>	296
3.3.2	<b>Cause di danno e necessità del consolidamento</b>	297
3.3.3	<b>Schemi di calcolo e verifica</b>	299
3.3.4	<b>Interventi sulle murature</b>	300
3.3.4.1	<i>Rigenerazione muraria con iniezioni consolidanti</i>	300
3.3.4.2	<i>Incremento sezione resistente</i>	302
3.3.4.3	<i>Chiusura di vani (porte o finestre) con o senza messa in carico</i>	303
3.3.4.4	<i>Stilatura profonda dei giunti</i>	304
3.3.4.5	<i>Messa in sicurezza di muri in falso</i>	305
3.3.4.6	<i>Rinforzo con tirantini antiespulsivi</i>	306
3.3.4.7	<i>Confinamento di maschi murari</i>	307
3.3.4.8	<i>Cuciture armate</i>	308
3.3.4.9	<i>Tiranti metallici</i>	309
3.3.4.10	<i>Chiusura di lesioni</i>	311
3.3.4.11	<i>Bonifica dall'umidità</i>	311
3.3.4.12	<i>Rinforzo con fibre in carbonio</i>	314
3.4	<b>Interventi sulle strutture orizzontali - solai in legno</b>	316
3.4.1	<b>Irrigidimento dei solai</b>	316
3.4.2	<b>Consolidamento dell'orditura principale</b>	318
3.4.3	<b>Rigenerazione delle testate</b>	321
3.5	<b>Interventi sulle strutture orizzontali - volte</b>	322
3.5.1	<b>Riduzione dei carichi</b>	323
3.5.1.1	<i>Rinfianchi alleggeriti</i>	324
3.5.1.2	<i>Rinfianchi cellulari - frenelli</i>	324
3.5.2	<b>Eliminazione della spinta</b>	324
3.5.3	<b>Aumento della sezione resistente</b>	327
3.5.4	<b>Inserimento sistema ausiliario di sostegno</b>	330
3.5.5	<b>Rinforzo mediante utilizzo di materiali compositi FRP</b>	332
3.5.6	<b>Nervature di rinforzo estradossali</b>	334
3.6	<b>Interventi sulle coperture - capriate</b>	337
3.6.1	<b>Rigenerazione della testata</b>	337
3.6.2	<b>Rinforzo delle testate</b>	338
3.6.3	<b>Rinforzo ed integrazione della catena</b>	339
3.7	<b>Interventi sulle cupole</b>	340



<b>Capitolo 4: Recupero delle costruzioni esistenti in zona sismica</b>	<b>353</b>
Franco Braga, con apporti di Giuseppe Lomiento	
4.1 - Criteri di progetto sismico	356
4.2 - Progettazione prestazionale	357
4.3 - Quadro normativo nazionale	363
4.4 - Richiami di dinamica elementare	366
4.5 - Tecniche strutturali di protezione dal terremoto	371
4.6 - Valutazione della vulnerabilità sismica	373
4.6.1 Vulnerabilità puntuale	373
4.6.1.1 Elementi strutturali	373
4.6.1.2 Manifestazione della vulnerabilità puntuale: le zone critiche	374
4.6.2 Vulnerabilità locale e globale	375
4.6.2.1 Tipologie costruttive e sotto-sistemi strutturali	376
4.6.2.2 Manifestazione della vulnerabilità locale e globale	376
4.7 - Interventi sulle costruzioni esistenti secondo le NTC-08	377
4.7.1 Valutazione della sicurezza	378
4.7.2 Classificazione degli interventi	379
4.7.2.1 Intervento di adeguamento	380
4.7.2.2 Intervento di miglioramento	380
4.7.2.3 Riparazione o intervento locale	380
4.7.3 Procedure per la valutazione della sicurezza	380
4.7.4 Esempio di valutazione della sicurezza per un edificio in muratura	381
<b>Appendice: applicazioni numeriche</b>	<b>395</b>
Laura Bussi ed Enrico Tomassoli	
1 - Calcolo dello stato tensionale nel terreno (L. B.)	398
2 - Verifica della fondazione di un edificio in muratura (E. T.)	399
3 - Allargamento della base fondale di un edificio in muratura (E. T.)	403
4 - Intervento fondale su di un edificio in muratura mediante realizzazione di pali (E. T.)	405
5 - Verifica di un muro di sostegno a gravità in muratura (E. T.)	412
6 - Verifica dello stato tensionale al piede di una muratura verticale (E. T.)	418
7 - Verifica dello stato tensionale al piede di una muratura verticale in presenza di spinte orizzontali (E. T.)	425
8 - Verifica a ribaltamento per sisma di una muratura verticale (E. T.)	437
9 - Dimensionamento del tirante e nuova verifica a ribaltamento del caso n.8 (E. T.)	447
10 - Cerchiatura di una colonna con materiali FRP (E. T.)	453
11 - Cerchiatura di una colonna con materiali metallici (E. T.)	457
12 - Dimensionamento dell'architrave per una nuova apertura nella muratura (E. T.)	460
13 - Dimensionamento di un telaio rigido per l'apertura di una nuova apertura nella muratura in zona sismica (E. T.)	464
14 - Verifica di un solaio ligneo (L. B.)	471
15 - Consolidamento di un solaio ligneo (L. B.)	478
16 - Verifica di una capriata (L. B.)	493





## LIBRO SECONDO: ESEMPI PRATICI

### Suddivisione tipologica

#### 1 - Impianti religiosi

- 1.1 Chiesa Santissima Trinità delle Monache-Ex Ospedale militare di Napoli
- 1.2 Chiesa di S. Carlo a Leonessa (RI)
- 1.3 Chiesa dei SS. Biagio e Carlo ai Catinari, Roma

#### 2 - Palazzi

- 2.1 Galleria degli Uffizi, Firenze
- 2.2 Palazzo della Minerva, Roma
- 2.3 Galleria Borghese, Roma
- 2.4 Palazzo Ducale di Urbino
- 2.5 Palazzo Verga, Vercelli
- 2.6 Palazzo del Collegio Romano, Roma
- 2.7 Palazzo in Via Palestro, Roma
- 2.8 Palazzo delle Esposizioni, Roma
- 2.9 MAXXI: Museo Nazionale per le Arti del XXI secolo, edificio D dell'ex Caserma Montello, Roma

#### Appendice

- Fascicoli del Fabbriato di Beni Culturali:
- Complesso del S. Michele, Roma
  - Palazzo del Collegio Romano, Roma

#### 3 - Fortificazioni

- 3.1 Castel dell'Ovo, Napoli
- 3.2 Castel S. Angelo, Roma
- 3.3 Castello Angioino, Gaeta
- 3.4 Rocca Paolina, Perugia

#### 4 - Torri e campanili

- 4.1 Torre civica, S. Severino Marche (MC)
- 4.2 Campanile della Chiesa di S. Domenico, Acquaviva delle Fonti (BA)
- 4.3 Campanile di S. Croce in Gerusalemme, Roma
- 4.4 Torre di Guardia Vecchia, La Maddalena (OT)

#### 5 - Mura urbiche

- 5.1 Passetto di Borgo, Roma
- 5.2 Mura urbiche, Amelia (TR)
- 5.3 Mura urbiche, Recanati (MC)

#### 6 - Complessi monumentali

- 6.1 Basilica Patriarcale e Sacro Convento di San Francesco in Assisi (PG)
- 6.2 Monumento Nazionale a Vittorio Emanuele II, Roma
- 6.3 Complesso ex Saffa, Perugia



- 6.4 Ex-Hotel Columbia, Genova
- 6.5 Ex-Ospedale Galliera, Genova
- 6.6 Complesso Ipogeo sottostante la piazza di San Francesco in Assisi (PG)
- 6.7 Santuario di Ercole Vincitore, Tivoli (Roma)
- 6.8 Gran Teatro La Fenice, Venezia

## 7 - Centri abitati (interventi su scala urbana) e piani di recupero

- 7.1 Sassi di Matera
- 7.2 Piano di Recupero di Piazza della Rovere, Roma
- 7.3 Porto storico e waterfront cittadino, Civitavecchia (Roma)
- 7.4 Riqualificazione del Mausoleo di Augusto e di Piazza Augusto Imperatore, Roma
- 7.5 Edificio ex-Gil, Campobasso

## 8 - Interventi di ripristino a seguito dei danni causati dal terremoto - due esempi: il Centro storico di Nocera Umbra (PG) e di Gualdo Tadino (PG)

- 8.1 Centro storico di Nocera Umbra (PG) (Cattedrale di S. Maria Assunta, Torre Civica, Palazzo del Seminario)
- 8.2 Centro storico di Gualdo Tadino (PG) (Teatro Talia, Casa Cajani, Taverna di S. Martino)

## 9 - Casistica varia

- 9.1 Tunnel di Chiaia di Luna, Ponza (LT)
- 9.2 Colosseo, Roma

