

TERESA CRESPELLANI JOHANN FACCIORUSSO



# DINAMICA DEI TERRENI

## PER LE APPLICAZIONI SISMICHE



Dario Flaccovio Editore

## INDICE

---

Premessa .....	pag. IX
Obiettivi e organizzazione del volume .....	» XI

### Capitolo 1 – Caratteristiche dei problemi dinamici

1.1. La dinamica dei terreni e le sue applicazioni .....	» 1
1.2. Carichi dinamici e ciclici .....	» 3
1.2.1. Carichi dinamici .....	» 4
1.2.2. Carichi ciclici .....	» 5
1.3. Rapporto tra ampiezza dei carichi dinamici e ciclici e intensità dei carichi statici .....	» 6
1.4. Aspetti che caratterizzano la progettazione di opere geotecniche in campo dinamico .....	» 7
1.4.1. Caratteristiche dell'eccitazione dinamica .....	» 8
1.4.2. Propagazione delle perturbazioni nel mezzo terreno e mutue interazioni tra onde sismiche e terreni ..	» 9
1.4.3. Effetti indotti nell'ambiente fisico e costruito .....	» 10
1.5. Differenze tra i problemi geotecnici in campo statico e dinamico.....	» 12
1.6. Continuità comportamentale dei terreni nel passaggio da condizioni di carico statico a condizioni di carico dinamico .....	» 13
1.7. Riassunto del capitolo .....	» 13
1.8. Riferimenti bibliografici .....	» 15

### Capitolo 2 – Teoria delle vibrazioni e della propagazione delle onde sismiche

2.1. Natura delle vibrazioni .....	» 17
2.2. Tipi di vibrazioni .....	» 18
2.3. Vibrazioni armoniche .....	» 20
2.3.1. Rappresentazione trigonometrica del moto armonico .....	» 20
2.3.2. Rappresentazione vettoriale del moto armonico.....	» 22
2.3.3. Rappresentazione complessa del moto armonico.....	» 23
2.4. Vibrazioni irregolari .....	» 25
2.4.1. Teorema di Fourier .....	» 25
2.4.2. Trasformata di Fourier discreta.....	» 26
2.4.3. Rappresentazione delle vibrazioni nel dominio delle frequenze .....	» 27
2.5. Teoria dell'oscillatore semplice e spettro di risposta .....	» 29
2.5.1. Vibrazioni libere non smorzate .....	» 30
2.5.2. Vibrazioni libere smorzate .....	» 31
2.5.3. Vibrazioni forzate non smorzate .....	» 34
2.5.4. Vibrazioni forzate smorzate .....	» 36
2.5.5. Risposta dell'oscillatore semplice ad un carico periodico qualunque .....	» 39
2.5.6. Risposta dell'oscillatore semplice ad un carico sismico .....	» 40
2.5.7. Spettro di risposta .....	» 42
2.6. Le onde sismiche.....	» 43
2.6.1. Le onde di volume .....	» 43
2.6.2. Le onde di superficie .....	» 45
2.7. Teoria della propagazione delle onde sismiche in un mezzo elastico e isotropo .....	» 47
2.7.1. Mezzo omogeneo infinitamente esteso.....	» 47
2.7.2. Mezzo omogeneo cilindrico .....	» 50
2.7.3. Mezzo omogeneo confinato e onde di superficie .....	» 55
2.7.4. Mezzo stratificato e confinato .....	» 56
2.8. Propagazione delle onde sismiche nei terreni reali.....	» 58

2.9. Riassunto del capitolo .....	»	60
2.10.Riferimenti bibliografici .....	»	61

## Capitolo 3 – Effetti della ciclicità e della velocità di applicazione dei carichi dinamici

3.1. Stati di sforzo indotti dai terremoti e numero di cicli equivalente .....	»	63
3.1.1. Sollecitazioni e deformazioni indotte dalle azioni sismiche .....	»	64
3.1.2. Trasformazione di una sequenza ciclica irregolare in una sequenza regolare .....	»	66
3.2. Effetti della ciclicità dei carichi a scala di microelemento .....	»	68
3.2.1. Terreno ideale .....	»	68
3.2.2. Terreni reali .....	»	69
3.2.3. Fattori che governano le modificazioni dello scheletro solido in presenza di sforzi di taglio ciclici ..	»	70
3.3. Effetti della velocità di applicazione e della ciclicità dei carichi a scala di macroelemento .....	»	71
3.3.1. Risultati di prove monotoniche con l'apparecchio di taglio semplice ciclico .....	»	72
3.3.2. Risultati di prove triassiali monotoniche .....	»	75
3.4. Comportamento del terreno in presenza di carichi dinamici e ciclici .....	»	79
3.5. Domini di comportamento in relazione ai livelli deformativi .....	»	80
3.6. Soglie di deformazione lineare e volumetrica .....	»	83
3.7. Riassunto del capitolo .....	»	87
3.8. Riferimenti bibliografici .....	»	88

## Capitolo 4 – Comportamento del terreno a vari livelli deformativi

4.1. Problemi di dinamica dei terreni .....	»	91
4.2. Comportamento del terreno a bassi livelli deformativi: modelli e parametri .....	»	92
4.2.1. Modulo di taglio iniziale $G_0$ .....	»	93
4.2.2. Fattori che influenzano il modulo di taglio iniziale $G_0$ e determinazione indiretta di $G_0$ .....	»	94
4.2.3. Rapporto di smorzamento iniziale $D_0$ .....	»	104
4.2.4. Fattori che influenzano il rapporto di smorzamento iniziale $D_0$ .....	»	105
4.3. Comportamento del terreno a medi livelli di deformazione: modelli e parametri equivalenti .....	»	108
4.3.1. Decadimento del modulo secante normalizzato $G(\gamma/G_0)$ con l'ampiezza della deformazione di taglio $\gamma$ .....	»	110
4.3.2. Variazione del rapporto di smorzamento $D$ con l'ampiezza della deformazione di taglio $\gamma$ .....	»	112
4.4. Comportamento a elevati livelli deformativi e in prossimità della rottura: modelli e parametri .....	»	115
4.4.1. Accoppiamento tra le fasi e tra le deformazioni volumetriche e distorsionali .....	»	116
4.4.2. Degradazione delle proprietà meccaniche con il numero dei cicli .....	»	119
4.5. Comportamento contraente e dilatante e stati caratteristici .....	»	123
4.6. Riassunto del capitolo .....	»	127
4.7. Riferimenti bibliografici .....	»	128

## Capitolo 5 – Comportamento a rottura dei terreni a grana grossa

5.1. Evidenze sperimentali e simulazione in laboratorio .....	»	133
5.2. Comportamento di provini sabbiosi saturi a grandi deformazioni: liquefazione e mobilità ciclica .....	»	134
5.2.1. Comportamento in presenza di carichi monotonicci .....	»	136
5.2.2. Comportamento in presenza di carichi ciclici .....	»	139
5.3. Il meccanismo della liquefazione .....	»	142
5.3.1. Condizioni per l'innesto della liquefazione .....	»	144
5.4. Resistenza dei terreni granulari ai carichi dinamici e ciclici .....	»	144
5.4.1. Resistenza al taglio ciclica .....	»	145
5.4.2. Fattori che influenzano la resistenza al taglio ciclica .....	»	146

---

5.4.3. Resistenza al taglio non drenata post-ciclica .....	» 148
5.5. Incremento delle pressioni interstiziali e modelli per i terreni a grana grossa.....	» 152
5.6. Deformazioni permanenti post-cicliche .....	» 154
5.7. Riassunto del capitolo .....	» 156
5.8. Riferimenti bibliografici .....	» 158

**Capitolo 6 – Comportamento a rottura dei terreni a grana fine**

6.1. Introduzione.....	» 161
6.2. Aspetti caratteristici del comportamento dinamico e ciclico dei terreni a grana fine in prossimità della rottura .....	» 162
6.2.1. Incremento della rigidezza e della resistenza con la velocità di applicazione dei carichi e rapporto tra resistenza statica non drenata e resistenza dinamica.....	» 162
6.2.2. Degradazione della rigidezza e della resistenza del materiale con il numero dei cicli di carico....	» 165
6.2.3. Combinazione degli effetti di velocità di applicazione dei carichi e di degradazione ciclica e durata di applicazione dei carichi .....	» 168
6.3. Incremento e accumulo delle pressioni interstiziali nei terreni argilosì .....	» 168
6.4. Resistenza ciclica .....	» 170
6.5. Resistenza post-ciclica .....	» 173
6.5.1. Terreni argilosì normalconsolidati .....	» 174
6.5.2. Terreni argilosì sovraconsolidati .....	» 177
6.6. Deformazioni volumetriche.....	» 180
6.7. Fattori che influenzano il comportamento dei terreni a grana fine in prossimità della rottura e problemi applicativi .....	» 182
6.8. Riassunto del capitolo .....	» 185
6.9. Riferimenti bibliografici .....	» 186

**Capitolo 7 – Modelli dinamici e ciclici**

7.1. Risposte e modelli.....	» 189
7.2. Modelli e parametri .....	» 191
7.3. Modelli elastici .....	» 193
7.4. Modelli lineari equivalenti .....	» 194
7.4.1. Modello di Hardin e Drnevich .....	» 197
7.4.2. Modelli iperbolicamente modificati .....	» 197
7.4.3. Modello di Ramberg e Osgood.....	» 199
7.5. Modelli non lineari .....	» 201
7.6. Riassunto del capitolo .....	» 203
7.7. Riferimenti bibliografici .....	» 204

**Capitolo 8 – Misura in situ dei parametri dinamici**

8.1 Prove dinamiche in situ e in laboratorio .....	» 205
8.2. Tecniche geofisiche e misure sismiche .....	» 207
8.3. Misure sismiche in foro.....	» 210
8.3.1. Ipotesi e modelli interpretativi: metodo diretto, dell'intervallo e dello pseudo-intervallo .....	» 211
8.3.2. Strumentazione .....	» 212
8.3.3. Determinazione dell'istante di primo arrivo delle onde sismiche .....	» 213
8.3.4. Modalità di restituzione dei risultati .....	» 217
8.3.5. Prova down-hole (DH) .....	» 218
8.3.6. Prova cross-hole (CH) .....	» 224

8.3.7. Prova con il cono sismico (SCPT) e con il dilatometro sismico (SDMT).....	» 228
8.3.8. Suspension P-S Velocity Logging Method (SVLM) .....	» 231
8.4. Misure sismiche superficiali .....	» 235
8.4.1. Rifrazione e riflessione sismica .....	» 237
8.4.2. Metodi basati sulle onde sismiche di superficie (Surface Waves Methods, SWM). ....	» 247
8.5. Confronti tra le prove sismiche in foro e superficiali.....	» 261
8.6. Riassunto del capitolo .....	» 266
8.7. Riferimenti bibliografici .....	» 267
 Capitolo 9 – Prove dinamiche e cicliche di laboratorio	
9.1. Introduzione.....	» 273
9.2. Schematizzazione delle azioni sismiche in laboratorio e significatività dei risultati .....	» 275
9.3. Apparecchiature e tecniche di prova.....	» 276
9.4. Bender elements (BE) .....	» 279
9.5. Prova di Colonna Risonante (RC).....	» 282
9.5.1. Obiettivi della prova .....	» 283
9.5.2. Descrizione della prova .....	» 283
9.5.3. Basi teoriche .....	» 284
9.5.4. Principio di funzionamento.....	» 285
9.5.5. Apparecchiatura di prova .....	» 291
9.5.6. Procedura di prova .....	» 293
9.5.7. Rappresentazione dei risultati.....	» 294
9.6. Prova di Taglio Torsionale Ciclico (CTS).....	» 295
9.6.1. Obiettivi della prova .....	» 295
9.6.2. Principio di funzionamento.....	» 295
9.6.3. Apparecchiatura di prova .....	» 296
9.6.4. Prove di colonna risonante e taglio torsionale ciclico .....	» 297
9.6.5. Rappresentazione dei risultati .....	» 297
9.7. Prova Triassiale Ciclica (TXC).....	» 297
9.7.1. Obiettivi della prova .....	» 299
9.7.2. Descrizione dell'apparecchiatura e principio di funzionamento .....	» 299
9.7.3. Modalità di prova .....	» 301
9.7.4. Schemi di carico e stati di sforzo .....	» 301
9.7.5. Rappresentazione dei risultati .....	» 303
9.8. Prova di Taglio Semplice Ciclico (CSS).....	» 306
9.8.1. Obiettivi della prova .....	» 308
9.8.2. Principio di funzionamento.....	» 308
9.8.3. Condizioni di prova e stati di sforzo .....	» 311
9.8.4. Confronto tra i risultati delle prove di taglio semplice ciclico e di prove triassiali cicliche .....	» 312
9.8.5. Rappresentazione dei risultati .....	» 313
9.9. Prova di Torsione Ciclica (CT).....	» 313
9.10.Riassunto del capitolo .....	» 315
9.11.Riferimenti bibliografici .....	» 317
 Postfazione .....	
323	»
Bibliografia generale .....	» 325
Indice dei simboli utilizzati .....	» 347
Indice analitico .....	» 349