

ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA

ASPETTI GEOTECNICI DELLA PROGETTAZIONE IN ZONA SISMICA

LINEE GUIDA



Edizione provvisoria marzo 2005

PATRON EDITORE
BOLOGNA

PARTE I - CONSIDERAZIONI GENERALI	1
1. OGGETTO E SCOPO DELLE LINEE GUIDA.....	
1.1 Premessa.....	3
1.2 Organizzazione delle linee guida.....	4
1.3 Normative di riferimento	5
1.4 Simbologia	7
2. COMPORTAMENTO MECCANICO DEI TERRENI SOTTO AZIONI SISMICHE....	
2.1 Premessa.....	13
2.2 Propagazione di onde sismiche nei terreni	13
2.3 Comportamento non lineare e dissipativo dei terreni.....	16
2.3.1 Comportamento a piccole deformazioni	16
2.3.2 Comportamento a medie deformazioni	17
2.3.3 Comportamento a grandi deformazioni.....	18
2.4 Comportamento a rottura dei terreni sotto azioni cicliche	19
2.4.1 Resistenza ciclica di terreni a grana grossa.....	20
2.4.2 Resistenza ciclica e post-ciclica di terreni a grana fine.....	22
2.5 Modellazione del legame costitutivo in termini di tensioni efficaci	23
2.6 Accoppiamento tra le fasi e fenomeni associati	24
Bibliografia	25
3. PRINCIPI DI PROGETTAZIONE E METODOLOGIE DI ANALISI.....	
3.1 Considerazioni generali.....	37
3.2 Stati limite e terremoti di progetto	38
3.3 Gradi di danno e classi di prestazione.....	39
3.4 Metodologie di analisi.....	40
3.4.1 Metodi empirici e analisi pseudostatiche	41
3.4.2 Analisi dinamiche semplificate	43
3.4.3 Analisi dinamiche complete	45
3.4.4 Applicabilità delle diverse metodologie d'analisi.....	47
Bibliografia	50
4 MOTI SISMICI DI RIFERIMENTO	
4.1 Vincoli e obiettivi.....	53
4.2 Grandezze rappresentative del moto sismico	54
4.3 Determinazione di parametri del moto di riferimento.....	55
4.4 Determinazione di spettri di risposta di riferimento.....	57
4.5 Determinazione di accelerogrammi di riferimento	57
Bibliografia	58

PARTE II - ANALISI GEOTECNICA DEL SITO 65

5.	PERICOLOSITÀ ED EFFETTI DEL SITO	
5.1	Introduzione	67
5.2	Variabilità spaziale del moto sismico ed effetti indotti	68
5.3	Definizioni e problemi	69
5.4	Scale di indagine	71
5.5	Valutazione della pericolosità del sito (siting).....	74
5.5.1	Siti in prossimità di faglie e di discontinuità dell'ammasso.....	75
5.5.2	Siti potenzialmente instabili	75
5.5.3	Amplificazione della risposta sismica.....	76
	Bibliografia	77
6.	RISPOSTA SISMICA LOCALE	
6.1	Premesse.....	83
6.2	Posizione del problema	84
6.3	Procedure di analisi della risposta sismica locale	84
6.4	Metodi empirici.....	85
6.4.1	Metodi basati sulla geologia di superficie.....	86
6.4.2	Metodi basati su correlazioni con la velocità delle onde di taglio V_s	86
6.4.3	Metodi basati sulla definizione di categorie di sottosuolo	87
6.5	Relazioni approssimate	87
6.5.1	Analisi modale	88
6.6	Metodi numerici	89
6.6.1	Definizione del modello geotecnico del sottosuolo	89
6.6.2	Definizione delle azioni sismiche di ingresso al basamento	90
6.6.3	Scelta di un codice di calcolo e tipo di risultati ottenuti	90
	Bibliografia	91
7.	LIQUEFAZIONE	
7.1	Premessa.....	99
7.2	Posizione del problema	99
7.3	Motivi di esclusione dalla verifica a liquefazione	100
7.4	Metodi di analisi.....	101
7.5	Metodi di analisi semplificata	101
7.6	Metodi di analisi dinamica semplificata.....	102
7.7	Metodi di analisi dinamica avanzata	104
7.8	Valutazione degli effetti della liquefazione	104
	Bibliografia	106

8.	STABILITÀ DEI PENDII E DEI FRONTI DI SCAVO	
8.1	Premessa.....	109
8.2	Definizione del modello geotecnico e dell'azione sismica	109
8.3	Analisi di stabilità	111
8.4	Analisi pseudostatica.....	112
8.5	Analisi dinamica semplificata (metodi degli spostamenti)	115
8.6	Analisi dinamica avanzata.....	117
	Bibliografia	118
	 PARTE III - OPERE GEOTECNICHE	123
9.	FONDAZIONI	
9.1	Considerazioni generali e limitazioni.....	125
9.2	Richiami preliminari	127
9.2.1	Iter progettuale delle fondazioni in campo statico	127
9.2.2	Principali procedure di analisi strutturale impiegate in ingegneria sismica	128
10.	FONDAZIONI SUPERFICIALI.....	
10.1	Regole generali di progetto	135
10.2	Il ruolo del sottosuolo.....	136
10.3	Analisi pseudo-statica	136
10.4	Analisi dinamica semplificata	137
10.4.1	Considerazioni generali.....	137
10.4.2	Metodi per la valutazione del carico limite e dei sedimenti.....	138
10.5	Analisi dinamica completa	142
	Bibliografia	142
11.	FONDAZIONI SU PALI	
11.1	Generalità sull'interazione sismica terreno-palo-struttura	147
11.2	Aspetti costruttivi.....	149
11.3	Prescrizioni dell'Eurocodice	150
11.4	Analisi pseudo-statica	150
11.4.1	Considerazioni generali.....	150
11.4.2	Interazione cinematica	150
11.4.3	Interazione inerziale	153
11.4.4	Pali inclinati	153
11.4.5	Analisi non lineare del palo singolo	154
11.4.6	Verifica agli stati limite ultimo e di danno	154
11.5	Analisi dinamica semplificata	155
11.6	Analisi dinamica completa	155
	Bibliografia	156

12.	OPERE DI SOSTEGNO A GRAVITA'	
12.1	Introduzione	161
12.2	Criteri di progettazione	162
12.3	Stati limite	163
12.4	Metodi di analisi.....	164
12.5	Metodi empirici ed analisi pseudostatiche	165
12.5.1	Teoria di Mononobe e Okabe.....	165
12.5.2	Estensione della teoria di M.O.	170
12.5.3	Previsione degli spostamenti: formule predittive.....	171
12.6	Analisi dinamica semplificata	173
12.7	Analisi dinamica completa.....	174
	Bibliografia	175
13.	OPERE DI SOSTEGNO FLESSIBILI.....	
13.1	Premessa.....	183
13.2	Considerazioni generali.....	183
13.3	Stati limite	184
13.4	Metodi di analisi.....	185
13.4.1	Metodi empirici e analisi pseudo-statiche.....	185
13.4.2	Analisi dinamica semplificata	193
13.4.3	Analisi dinamica completa.....	195
	Bibliografia	196
14.	OPERE IN TERRA RINFORZATA.....	
14.1	Introduzione	201
14.2	Classificazione delle opere in terra rinforzata.....	201
14.3	Criteri di progettazione	203
14.4	Stati limite	203
14.5	Metodi di analisi.....	204
14.6	Metodi pseudo-statici.....	205
14.7	Metodi dinamici semplificati	206
14.8	Metodi dinamici completi	206
14.9	Conclusioni	207
	Bibliografia	207
15.	COSTRUZIONI IN SOTTERRANEO E SCAVI A CIELO APERTO.....	
15.1	Premessa.....	213
15.2	Analisi delle sezioni traversali di costruzioni in sotterraneo.....	214
15.2.1	Analisi pseudostatica.....	214
15.2.2	Analisi dinamica semplificata	215
15.2.3	Analisi dinamica completa.....	215

15.3	Analisi di costruzioni in sotterraneo lungo il proprio asse	216
15.3.1	Condizioni geotecniche uniformi in direzione longitudinale	216
15.3.2	Condizioni geotecniche variabili in direzione longitudinale.....	218
15.3.3	Analisi pseudostatica.....	218
15.3.4	Analisi dinamica semplificata	219
15.3.5	Analisi dinamica avanzata.....	219
15.4	Effetti indotti da fenomeni di liquefazione sulle costruzioni in sotterraneo	219
15.4.1	Analisi della sezione trasversale di strutture interrate.....	219
15.4.2	Analisi lungo l'asse della struttura interrata.....	220
15.5	Scavi a cielo aperto	220
	Bibliografia	221
16.	COSTRUZIONI IN TERRA	
16.1	Premessa.....	227
16.2	Rilevati stradali	227
16.2.1	Posizione del problema	227
16.2.2	Stati limite e terremoti di progetto	228
16.2.3	Definizione dell'input sismico	229
16.2.4	Metodi di calcolo e di verifica	229
16.3	Rilevati ferroviari	230
16.4	Dighe in terra.....	231
16.4.1	Posizione del problema	231
16.4.2	Stati limite e terremoti di progetto	231
16.4.3	Definizione dell'input sismico	232
16.4.4	Metodi di calcolo e verifica.....	233
16.4.5	Raccomandazioni sul monitoraggio statico e sismico di dighe in terra	235
16.4.6	Opere accessorie.....	236
16.5	Argini fluviali.....	236
	Bibliografia	236

APPENDICI	239
-----------------	-----

APPENDICE A – TECNICHE SperimentALI IN SITO ED IN LABORATORIO

A.1 Introduzione	241
A.2 Prove penetrometriche	241
A.3 Prove geofisiche in sito	242
A.3.1 Prove di superficie.....	243
A.3.2 Prove in foro.....	244
A.3.3 Cenni alle procedure di interpretazione	245
A.3.4 Criteri di scelta del tipo di prova.....	247
A.4 Prove di laboratorio.....	247
A.4.1 Prove statiche	248
A.4.2 Prove dinamiche.....	252
A.4.3 Criteri di scelta del tipo di prova.....	254
Bibliografia	256

APPENDICE B – FATTORI DI INFLUENZA SUL COMPORTAMENTO MECCANICO DEI TERRENI.....

B.1 Introduzione	277
B.2 Fattori che influenzano il comportamento a piccole deformazioni	277
B.2.1 Modellazione del legame tra parametri equivalenti e variabili di stato.....	278
B.2.2 Influenza del tempo di consolidazione	280
B.2.3 Influenza della velocità di deformazione	282
B.2.4 Effetto della storia deformativa ciclica	284
B.3 Fattori che influenzano il comportamento a piccole deformazioni	284
B.3.1 Influenza della pressione di confinamento	285
B.3.2 Influenza della composizione granulometrica e della plasticità.....	285
B.3.3 Influenza della velocità di deformazione	287
B.3.4 Degradazione ciclica	288
B.4 Descrizione analitica del legame tensio-deformativo in campo non lineare	289
Bibliografia	290

APPENDICE C – CARATTERI DEI MOTI SISMICI ED ANALISI DI PERICOLOSITÀ.....
--

C.1 Energia associata ad un evento sismico	313
C.2 Leggi di ricorrenza e probabilità della Magnitudo.....	314
C.3 Spettro di Fourier	316
C.4 Spettro di risposta.....	317
C.5 Leggi di attenuazione empiriche dei parametri sintatici del moto	318
C.6 Leggi di attenuazione empiriche degli spettri di risposta.....	319
C.7 Metodi di analisi di pericolosità regionale	321
C.8 Metodo deterministico	321
C.9 Metodo probabilistico	322
Bibliografia	322

APPENDICE D – SOLUZIONI ANALITICHE APPROXIMATE PER IL CALCOLO DEL MOTO SISMICO IN SUPERFICIE

D.1	Richiami teorici	335
D.2	Forme spettrali secondo l'Eurocodice 8 (EC8)	336
D.2.1	Parametri di classificazione e determinazione delle categorie di sottosuolo	336
D.2.2	Modifica dei parametri del moto in relazione alle categorie di sottosuolo	338
D.2.3	Effetti della topografia	340
D.3	Analisi modale di uno strato elastico, omogeneo e isotropo	340
D.4	Stima del periodo fondamentale di un deposito stratificato orizzontalmente	341
D.5	Codici di calcolo per l'analisi numerica della risposta locale	342
	Bibliografia	342

APPENDICE E – VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE MEDIANTE METODI SEMPLIFICATI

E.1	Valutazione del rapporto di tensione ciclica CSR	351
E.2	Valutazione del rapporto di tensione ciclica CRR	352
E.3	Valutazione del rapporto di tensione ciclica CRR in presenza di sovraccarichi e piano di campagna inclinato.....	355
E.4	Osservazioni sull'impiego delle diverse prove in situ.....	356
E.5	Una procedura di analisi semplificata per la verifica a liquefazione.....	357

APPENDICE F – METODI GLOBALI DELL'EQUILIBRIO LIMITE

F.1	Premessa.....	365
F.2	Pendio indefinito	365
F.3	Pendio delimitato da superficie di scorrimento piana (cuneo piano)	366
F.4	Pendio delimitato da superficie di scorrimento curvilinea	367
F.5	Resistenza a taglio	370

APPENDICE G – DETERMINAZIONE DELLE AZIONI STATICHE EQUIVALENTI PER L'ANALISI DI STABILITÀ DEI PENDII

G.1	Accelerazione e coefficiente sismico equivalente da analisi della risposta sismica bidimensionali	377
G.2	Accelerazione e coefficiente sismico equivalente da analisi della risposta sismica monodimensionali	377

APPENDICE H – ANALISI DINAMICA SEMPLIFICATA COL MODELLO DI NEWMARK

H.1	Metodi semplificati degli spostamenti	379
H.2	Approccio originario di Newmark – analisi dello scorrimento del blocco rigido.....	380
H.3	Approccio modificato di Newmark – effetto della risposta sismica locale e del decremento della resistenza al taglio.....	380

APPENDICE I – ESEMPI APPLICATIVI DI CALCOLO DI PALI SOTTO AZIONI SISMICHE

I.1	Interazione cinematica semplificata	385
I.2	Esempi di calcolo di pali inclinati	385
I.3	Metodo analitico approssimato	387
I.4	Analisi dinamica semplificata	387

APPENDICE J – VERIFICA SISMICA DI UN RILEVATO IN TERRA RINFORZATA

J.1	Verifica sismica di un rilevato in terra rinforzata	397
-----	---	-----