

# Indice

<b>Elenco delle figure</b>	<b>ix</b>
<b>Elenco delle tabelle</b>	<b>xv</b>
<b>Prefazione</b>	<b>xvii</b>
<b>1 Introduzione</b>	<b>1</b>
1.1 Vento globale . . . . .	1
1.2 Vento locale . . . . .	2
1.3 Risposta aerodinamica della struttura . . . . .	2
1.4 Risposta meccanica della struttura . . . . .	2
1.5 Criteri di progetto . . . . .	2
<b>2 Circolazione atmosferica</b>	<b>3</b>
2.1 Termodinamica dell'atmosfera . . . . .	3
2.1.1 Temperatura dell'atmosfera . . . . .	3
2.1.2 Radiazione solare e terrestre . . . . .	4
2.1.3 Radiazione nell'atmosfera . . . . .	5
2.1.4 Compressione ed espansione dell'aria . . . . .	5
2.1.5 Condensazione ed evaporazione del vapor d'acqua . . . . .	6
2.2 Idrodinamica dell'atmosfera . . . . .	7
2.2.1 Forza dovuta al gradiente di pressione orizzontale . . . . .	7
2.2.2 Forza dovuta alla rotazione della terra . . . . .	8
2.2.3 Vento geostrofico . . . . .	9
2.2.4 Effetti dell'attrito . . . . .	11
2.3 Moti atmosferici . . . . .	12
2.3.1 Circolazione generale . . . . .	13
2.3.2 Circolazione secondaria di natura termica . . . . .	14
2.3.3 Cicloni extratropicali . . . . .	16
2.3.4 Venti locali . . . . .	17
2.4 Spettro della componente longitudinale della velocità del vento . . . . .	18

<b>3</b>	<b>Strato limite atmosferico</b>	<b>21</b>
3.1	Equazioni del moto dell'atmosfera . . . . .	21
3.2	Soluzione dell'equazioni di moto medio . . . . .	23
3.3	Soluzione del moto turbolento . . . . .	24
3.4	Profilo della velocità media . . . . .	24
3.4.1	La spirale di Ekman . . . . .	25
3.4.2	Lo strato limite turbolento di Ekman . . . . .	26
3.4.3	Lunghezza di rugosità . . . . .	28
3.5	Terreni non omogenei . . . . .	29
3.5.1	Topografia . . . . .	30
3.6	Profilo esponenziale della velocità del vento . . . . .	33
3.6.1	Discontinuità del terreno . . . . .	34
<b>4</b>	<b>Turbolenza atmosferica</b>	<b>35</b>
4.1	Intensità di turbolenza . . . . .	36
4.2	Scale temporali . . . . .	37
4.3	Scale integrali . . . . .	38
4.4	Spettro della componente longitudinale della velocità del vento . . . . .	39
4.4.1	Spettro nel sotto-intervallo inerziale . . . . .	40
4.5	Correlazione spaziale della turbolenza . . . . .	42
<b>5</b>	<b>Aerodinamica dei corpi tozzi</b>	<b>45</b>
5.1	Equazioni che governano il moto di una corrente fluida . . . . .	45
5.1.1	Equazioni di moto . . . . .	45
5.1.2	Equazioni di continuità . . . . .	46
5.1.3	Equazioni di Navier-Stokes . . . . .	47
5.1.4	Equazioni di Bernoulli . . . . .	48
5.2	Flusso vorticoso . . . . .	49
5.3	Strato limite e separazione . . . . .	52
5.3.1	Distacco dei vortici e formazione della scia . . . . .	52
5.3.2	Numero di Strouhal . . . . .	57
5.3.3	Coefficienti di pressione e di forza . . . . .	58
<b>6</b>	<b>Variabili aleatorie e processi stocastici</b>	<b>63</b>
6.1	Variabili aleatorie continue . . . . .	63
6.1.1	Variabili aleatorie Gaussiane . . . . .	65
6.1.2	Variabili aleatorie congiunte . . . . .	65
6.1.3	Momenti di variabili aleatorie congiunte . . . . .	66
6.1.4	Variabili aleatorie Gaussiane congiunte . . . . .	67
6.2	Processi stocastici . . . . .	67
6.2.1	Processi stocastici stazionari . . . . .	69
6.2.2	Processi stocastici stazionari e Gaussiani . . . . .	69

6.2.3	Processi stocastici ergodici . . . . .	70
6.3	Processi stocastici multivariati . . . . .	71
6.3.1	Processi multivariati stazionari . . . . .	72
6.4	Densità spettrale . . . . .	72
6.5	Esempi di processi stocastici . . . . .	75
6.5.1	Processo a banda stretta . . . . .	75
6.5.2	Processo a banda larga . . . . .	76
6.5.3	Rumore bianco . . . . .	76
6.6	Valore estremo . . . . .	77
<b>7</b>	<b>Generazione di storie di vento</b>	<b>79</b>
7.1	Simulazione di singoli processi stocastici . . . . .	79
7.1.1	Constant Amplitude Wave Superposition (C.A.W.S.) . . . . .	79
7.1.2	Weighted Amplitude Wave Superposition (W.A.W.S.) . . . . .	81
7.1.3	Filtri Autoregressivi . . . . .	82
7.2	Simulazione di processi multivariati . . . . .	83
7.2.1	Weighted Amplitude Wave Superposition (W.A.W.S.) . . . . .	83
7.2.2	Filtri Autoregressivi . . . . .	84
<b>8</b>	<b>Dinamica delle strutture</b>	<b>87</b>
8.1	Sistemi ad un grado di libertà . . . . .	87
8.1.1	Oscillazioni libere . . . . .	87
8.1.2	Oscillazioni forzate . . . . .	89
8.1.3	Oscillazioni libere smorzate . . . . .	90
8.1.4	Oscillazioni forzate con smorzamento . . . . .	93
8.1.5	Risposta ad una forzante qualsiasi . . . . .	94
8.2	Sistemi a più gradi di libertà . . . . .	95
8.2.1	Oscillazioni libere non smorzate . . . . .	96
8.3	Oscillazioni libere smorzate . . . . .	99
8.3.1	Oscillazioni forzate con smorzamento . . . . .	100
8.3.2	Risposta a forzanti qualsiasi . . . . .	101
<b>9</b>	<b>Dinamica aleatoria delle strutture</b>	<b>103</b>
9.1	Risposta aleatoria dell'oscillatore smorzato . . . . .	103
9.2	Forzanti aleatorie debolmente stazionarie . . . . .	105
9.2.1	Valutazione della risposta media . . . . .	107
9.2.2	Valutazione dei momenti del secondo ordine . . . . .	107
9.3	Risposta dei sistemi a più gradi di libertà . . . . .	108
9.4	Forzanti aleatorie debolmente stazionarie . . . . .	109
9.4.1	Valutazione della risposta media . . . . .	112
9.4.2	Valutazione dei momenti del secondo ordine . . . . .	112
9.5	Formulazione generale della dinamica dei continui . . . . .	113

9.5.1	Risposta ad una forzante Gaussiana stazionaria . . . . .	115
<b>10</b>	<b>Risposta strutturale along-wind</b>	<b>119</b>
10.1	Strutture riconducibili a sistemi ad un grado di libertà . . . . .	120
10.1.1	Definizione della forzante eolica . . . . .	121
10.1.2	Ammettenza aerodinamica . . . . .	122
10.1.3	Calcolo della risposta strutturale . . . . .	123
10.1.4	Risposta quasi-statica . . . . .	125
10.1.5	Risposta in risonanza . . . . .	127
10.1.6	Strutture puntiformi . . . . .	129
10.2	Strutture allungate nella direzione del vento . . . . .	130
10.3	Trattazione generale della risposta strutturale along-wind . . . . .	131
10.3.1	Equazione di moto per le strutture che vibrano nella direzione del vento . . . . .	132
10.3.2	Funzioni d'influenza . . . . .	132
10.3.3	Valore estremo della risposta . . . . .	133
10.3.4	Strutture Line-Like . . . . .	133
10.3.5	Strutture plate-like . . . . .	143
<b>11</b>	<b>Risposta strutturale along-wind secondo l'Eurocodice 1</b>	<b>147</b>
11.1	Scopo . . . . .	147
11.2	Modellazione dell'azioni del vento . . . . .	147
11.3	Pressione dinamica di riferimento . . . . .	148
11.4	Profilo della velocità del vento . . . . .	148
11.4.1	Coefficiente di rugosità . . . . .	149
11.5	Coefficiente di raffica . . . . .	149
11.6	Forzante eolica . . . . .	150
11.7	Azioni eoliche agenti sulle strutture . . . . .	151
11.7.1	Pressioni . . . . .	151
11.8	Procedura per il calcolo della risposta along-wind . . . . .	153
11.8.1	Procedura semplificata . . . . .	153
11.8.2	Procedura dettagliata . . . . .	154
11.9	Esempi . . . . .	161
11.9.1	Edificio in acciaio . . . . .	161
11.9.2	Edificio basso in acciaio . . . . .	161
11.9.3	Torre in calcestruzzo poco snella ( $\lambda < 12$ ) . . . . .	161
11.9.4	Torre in calcestruzzo molto snella ( $\lambda > 12$ ) . . . . .	161
<b>12</b>	<b>Risposta strutturale across-wind</b>	<b>163</b>
12.1	Fenomeno del distacco dei vortici . . . . .	163
12.2	Sincronizzazione del distacco dei vortici . . . . .	165
12.3	Risposta across-wind delle strutture . . . . .	168

12.3.1	Forzante dovuta al distacco dei vortici . . . . .	170
12.3.2	Forzante dovuta alla turbolenza laterale . . . . .	172
12.3.3	Forzanti aeroelastiche . . . . .	172
12.3.4	Valutazione della risposta strutturale sincronizzata . . . . .	176
<b>13</b>	<b>Risposta strutturale across-wind secondo L'Eurocodice 1</b>	<b>179</b>
13.1	Modello di Ruscheweyh . . . . .	179
<b>14</b>	<b>Risposta aeroelastica delle strutture</b>	<b>185</b>
14.1	Galloping traslazionale . . . . .	185
14.2	Divergenza e Galloping torsionale . . . . .	189
14.2.1	Divergenza . . . . .	190
14.2.2	Galloping torsionale . . . . .	191
14.3	Galloping di sistemi a due gradi di libertà . . . . .	191
14.4	Flutter . . . . .	193
14.4.1	Equazioni di moto su un impalcato da ponte . . . . .	194
14.4.2	Forzanti aeroelastiche $L_h$ e $M_\alpha$ per i profili alari sottili . . . . .	195
14.4.3	Forzanti $L_h$ e $M_\alpha$ per impalcati da ponte . . . . .	196
14.4.4	Soluzione per il calcolo della velocità critica di Flutter classico	202
14.4.5	Flutter ad un grado di libertà . . . . .	202
14.5	Fenomeni aeroelastici in presenza della turbolenza atmosferica . . . . .	204
<b>15</b>	<b>Risposta aeroelastica delle strutture secondo l'Eurocodice 1</b>	<b>207</b>
15.1	Galloping . . . . .	207
15.2	Divergenza e Flutter . . . . .	210
15.2.1	Divergenza . . . . .	211
15.2.2	Flutter . . . . .	211
<b>16</b>	<b>Sperimentazione in galleria del vento</b>	<b>213</b>
16.1	Criteri di similitudine . . . . .	213
16.1.1	Analisi dimensionale . . . . .	214
16.1.2	Considerazioni di base per la scalatura . . . . .	214
16.1.3	Simulazione della circolazione atmosferica . . . . .	216
16.2	Simulazione aerodinamica ed aeroelastica dei corpi tozzi . . . . .	218
16.2.1	Effetti della turbolenza del flusso . . . . .	218
16.2.2	Effetti del numero di Reynolds: rugosità tecnica . . . . .	218
16.2.3	Effetti del bloccaggio . . . . .	220
	<b>Bibliografia</b>	<b>221</b>