





COMUNE DI ALTAMURA REGIONE PUGLIA

COMUNE DI SANTERAMO IN COLLE

COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA N.9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE.

ELABORATO: R.03

RELAZIONE GEOTECNICA

COMMITTENTE SCS 10 srl

Via GEN ANTONELLI 3 - MONOPOLI

PROGETTAZIONE

progettato e sviluppato da



PROGETTAZIONE



PROGETTAZIONE

Ingegneria Studio Volpe



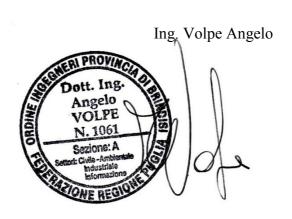


REVISIONI

REV	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
	LUG22	Sezioni cavidotti	Ing. Angelo Volpe		

		Studio Tecnico Ing. Ang	gelo Volpe		T
3 2					
1					
0					
Revision	Date	Comments	Elaborate	Verified	Approved
Client:		SCS 10 SRL			
	NERGI	E ED ESERCIZIO DI UN A ELETTRICA DA FONTE I PARI A 54 MW COSTITUITO	EOLICA AVEN	TE POTI	
POTENZ		I A 6 MW CON RELATIVO IMPIANTO DENOMINATO	COLLEGAME		LA RETE

Brindisi, 20/07/2022



	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS 10 S.R.L.		R_	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 2	20/07/2022	00

Indice

1.	Premessa e scopo del presente studio	11
2.	Relazione geotecnica Aerogeneratore I	13
Tak	bulati di stampa	33
A	trchivi	33
	Stratigrafie	33
	Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =10)	33
	Opzioni verifica terreni	33
	Suoli di posa fondazioni	33
V	Verifiche fondazioni dirette	33
	Rettangoli di fondazione	33
	Inviluppo forze su rettangoli di fondazione	34
	Verifiche Cedimenti Edometrici	34
	Verifiche Liquefazione	34
	Parametri strati calcolo portanza	34
	Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno	34
	Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza	35
	Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata	35
	Piano 0 Plinto 1 Scorrimento	35
	Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico	35
R	Riassunto verifiche	36
	Verifiche terreno di fondazione	36
	Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione	36
	Verifiche totali terreno di fondazione	36
Cor	nclusioni	36

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS 10 S.R.L.		R_	15_EO_SC\$	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revision
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 3	20/07/2022	00

3.	Relazione geotecnica Aerogeneratore 2	38
Та	ıbulati di stampa	58
	Archivi	58
	Stratigrafie	58
	Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =10)	58
	Opzioni verifica terreni	59
	Suoli di posa fondazioni	59
	Verifiche fondazioni dirette	59
	Rettangoli di fondazione	59
	Inviluppo forze su rettangoli di fondazione	59
	Verifiche Cedimenti Edometrici	59
	Verifiche Liquefazione	59
	Parametri strati calcolo portanza	60
	Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno	60
	Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza	60
	Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata	60
	Piano 0 Plinto 1 Scorrimento	61
	Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico	61
	Riassunto verifiche	61
	Verifiche terreno di fondazione	61
	Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione	61
	Verifiche totali terreno di fondazione	62
Co	onclusioni	62
4.	Relazione geotecnica Aerogeneratore 3	63
Та	ıbulati di stampa	83
	Archivi	83

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS 10 S.R.L.		R_	_15_EO_SCS	610
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revision
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 4	20/07/2022	00

Sir utigrafie	
Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =9.2)	83
Opzioni verifica terreni	84
Suoli di posa fondazioni	84
Verifiche fondazioni dirette	84
Rettangoli di fondazione	84
Inviluppo forze su rettangoli di fondazione	84
Verifiche Cedimenti Edometrici	84
Verifiche Liquefazione	84
Parametri strati calcolo portanza	85
Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno	85
Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza	85
Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata	85
Piano 0 Plinto 1 Scorrimento	86
Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico	86
Riassunto verifiche	86
Verifiche terreno di fondazione	86
Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione	86
Verifiche totali terreno di fondazione	87
Conclusioni	87
5. Relazione geotecnica Aerogeneratore 4	88
Tabulati di stampa	108
Archivi	108
Stratigrafie	108
Strati stratigrafia Tipo A (4 strati: Htot =10.1)	108
Opzioni verifica terreni	109

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS 10 S.R.L.		R_	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 5	20/07/2022	00

Verifiche fondazioni dirette 109 Rettangoli di fondazione 109 Inviluppo forze su rettangoli di fondazione 109 Verifiche Cedimenti Edometrici 109 Verifiche Liquefazione 109 Parametri strati calcolo portanza 110 Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno 110 Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza 110 Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata 110 Piano 0 Plinto 1 Scorrimento 111 Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico 111 Riassunto verifiche 111 Verifiche terreno di fondazione 111 Verifiche totali verifiche terreno di fondazione 111 Verifiche totali terreno di fondazione 112 Conclusioni 112 6. Relazione geotecnica Aerogeneratore 5 113 Tabulati di stampa 133 Archivi 133 Stratigrafie 133 Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot = 9.4) 133 Opzioni verifica terreni 134 Suoli di posa fondazioni. 134 Verifiche fondazioni dirette 134	Suoli di posa fondazioni	
Inviluppo forze su rettangoli di fondazione 109 Verifiche Cedimenti Edometrici 109 Verifiche Liquefazione 109 Parametri strati calcolo portanza 110 Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno 110 Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza 110 Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata 110 Piano 0 Plinto 1 Scorrimento 111 Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico 111 Riassunto verifiche 111 Verifiche terreno di fondazione 111 Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione 111 Verifiche totali terreno di fondazione 112 Conclusioni 112 Conclusioni 113 Tabulati di stampa 133 Archivi 133 Strati stratigrafia 133 Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =9.4) 133 Opzioni verifica terreni 134 Suoli di posa fondazioni dirette 134 Verifiche fondazioni dirette 134	Verifiche fondazioni dirette	
Verifiche Cedimenti Edometrici 109 Verifiche Liquefazione 109 Parametri strati calcolo portanza 110 Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno 110 Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata 110 Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata 111 Piano 0 Plinto 1 Scorrimento 111 Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico 111 Riassunto verifiche 111 Verifiche terreno di fondazione 111 Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione 111 Verifiche totali terreno di fondazione 112 Conclusioni 112 6. Relazione geotecnica Aerogeneratore 5 113 Tabulati di stampa 133 Archivi 133 Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot = 9.4) 133 Opzioni verifica terreni 134 Suoli di posa fondazioni dirette 134 Verifiche fondazioni dirette 134	Rettangoli di fondazione	
Verifiche Liquefazione109Parametri strati calcolo portanza110Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno110Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza110Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata110Piano 0 Plinto 1 Scorrimento111Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico111Riassunto verifiche111Verifiche terreno di fondazione111Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione111Verifiche totali terreno di fondazione112Conclusioni1126. Relazione geotecnica Aerogeneratore 5113Tabulati di stampa133Archivi133Stratigrafie133Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =9.4)133Opzioni verifica terreni134Suoli di posa fondazioni134Verifiche fondazioni dirette134	Inviluppo forze su rettangoli di fondazione	
Parametri strati calcolo portanza	Verifiche Cedimenti Edometrici	
Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno	Verifiche Liquefazione	
Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza	Parametri strati calcolo portanza	110
Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata110Piano 0 Plinto I Scorrimento111Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico111Riassunto verifiche111Verifiche terreno di fondazione111Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione111Verifiche totali terreno di fondazione112Conclusioni1126. Relazione geotecnica Aerogeneratore 5113Tabulati di stampa133Archivi133Stratigrafie133Stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =9.4)133Opzioni verifica terreni134Suoli di posa fondazioni134Verifiche fondazioni dirette134	Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno	110
Piano 0 Plinto 1 Scorrimento 111 Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico 111 Riassunto verifiche 111 Verifiche terreno di fondazione 111 Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione 111 Verifiche totali terreno di fondazione 112 Conclusioni 112 6. Relazione geotecnica Aerogeneratore 5 113 Tabulati di stampa 133 Archivi 133 Stratigrafie 133 Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot = 9.4) 133 Opzioni verifica terreni 134 Suoli di posa fondazioni 134 Verifiche fondazioni dirette 134	Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza	110
Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico 111 Riassunto verifiche 111 Verifiche terreno di fondazione 111 Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione 111 Verifiche totali terreno di fondazione 112 Conclusioni 112 6. Relazione geotecnica Aerogeneratore 5 113 Tabulati di stampa 133 Archivi 133 Stratigrafie 133 Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =9.4) 133 Opzioni verifica terreni 134 Suoli di posa fondazioni 134 Verifiche fondazioni dirette 134	Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata	110
Riassunto verifiche	Piano 0 Plinto 1 Scorrimento	111
Verifiche terreno di fondazione111Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione111Verifiche totali terreno di fondazione112Conclusioni1126. Relazione geotecnica Aerogeneratore 5113Tabulati di stampa133Archivi133Stratigrafie133Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =9.4)133Opzioni verifica terreni134Suoli di posa fondazioni134Verifiche fondazioni dirette134	Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico	111
Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione 111 Verifiche totali terreno di fondazione 112 Conclusioni 112 6. Relazione geotecnica Aerogeneratore 5 113 Tabulati di stampa 133 Archivi 133 Stratigrafie 133 Stratigrafie 133 Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =9.4) 133 Opzioni verifica terreni 134 Suoli di posa fondazioni 134 Verifiche fondazioni dirette 134	Riassunto verifiche	111
Verifiche totali terreno di fondazione112Conclusioni1126. Relazione geotecnica Aerogeneratore 5113Tabulati di stampa133Archivi133Stratigrafie133Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =9.4)133Opzioni verifica terreni134Suoli di posa fondazioni134Verifiche fondazioni dirette134	Verifiche terreno di fondazione	111
Conclusioni	Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione	111
6. Relazione geotecnica Aerogeneratore 5	Verifiche totali terreno di fondazione	112
Tabulati di stampa133Archivi133Stratigrafie133Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =9.4)133Opzioni verifica terreni134Suoli di posa fondazioni134Verifiche fondazioni dirette134	Conclusioni	112
Archivi	6. Relazione geotecnica Aerogeneratore 5	113
Stratigrafie	Tabulati di stampa	
Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =9.4)	Archivi	
Opzioni verifica terreni 134 Suoli di posa fondazioni 134 Verifiche fondazioni dirette 134	Stratigrafie	
Suoli di posa fondazioni	Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =9.4)	
Verifiche fondazioni dirette134	Opzioni verifica terreni	
	Suoli di posa fondazioni	
Rettangoli di fondazione	Verifiche fondazioni dirette	
	Rettangoli di fondazione	

SCS 10 S.R.L.	Tipo di documento: Relazione geotecnica	R_′	Codice documento:	S10
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 6	Data 20/07/2022	Revisione 00

Inviluppo forze su rettangoli di fondazione	134
Verifiche Cedimenti Edometrici	134
Verifiche Liquefazione	134
Parametri strati calcolo portanza	
Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno	135
Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza	
Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata	135
Piano 0 Plinto 1 Scorrimento	136
Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico	136
Riassunto verifiche	136
Verifiche terreno di fondazione	136
Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione	136
Verifiche totali terreno di fondazione	136
Conclusioni	137
7. Relazione geotecnica Aerogeneratore 6	138
Tabulati di stampa	
Archivi	
Stratigrafie	
Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =10)	
Opzioni verifica terreni	159
Suoli di posa fondazioni	159
Verifiche fondazioni dirette	159
Rettangoli di fondazione	159
Inviluppo forze su rettangoli di fondazione	159
Verifiche Cedimenti Edometrici	159
Verifiche Liquefazione	159

SCS 10 S.R.L.	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 7	Data 20/07/2022	Revisione 00

Parametri strati calcolo portanza	160
Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno	160
Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza	
Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata	
Piano 0 Plinto 1 Scorrimento	161
Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico	161
Riassunto verifiche	161
Verifiche terreno di fondazione	161
Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione	161
Verifiche totali terreno di fondazione	162
Conclusioni	162
8. Relazione geotecnica Aerogeneratore 7	163
Tabulati di stampa	
Archivi	
Stratigrafie	
Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =10)	
Opzioni verifica terreni	
Suoli di posa fondazioni	
Verifiche fondazioni dirette	
Rettangoli di fondazione	
Inviluppo forze su rettangoli di fondazione	
Verifiche Cedimenti Edometrici	
Verifiche Liquefazione	
Parametri strati calcolo portanza	
Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno	
Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza	

	Tipo di documento:		Codice documento:	
SCS 10 S.R.L.	Relazione geotecnica	R_	_15_EO_SCS	310
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 8	Data 20/07/2022	Revisione 00
Piano 0 Plinto 1 Portanza D	renata			185
Piano 0 Plinto 1 Scorrimento)			186
Piano 0 Plinto 1 Calcolo cea	limenti edometrico			186
Riassunto verifiche				186
Verifiche terreno di fondazio	ne			186
Coefficienti totali verifiche 1	erreno di fondazione			186
Verifiche totali terreno di for	ndazione			187
Conclusioni				187
9. Relazione geotecnica Aerog	eneratore 8			188
Tabulati di stampa				208
Archivi				208

Parametri strati calcolo portanza210

SCS 10 S.R.L.	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10		
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 9	20/07/2022	00

Riassunto verifiche	211
Verifiche terreno di fondazione	211
Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione	211
Verifiche totali terreno di fondazione	212
Conclusioni	212
10. Relazione geotecnica Aerogeneratore 9	213
Tabulati di stampa	233
Archivi	233
Stratigrafie	233
Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =10)	233
Opzioni verifica terreni	234
Suoli di posa fondazioni	234
Verifiche fondazioni dirette	234
Rettangoli di fondazione	234
Inviluppo forze su rettangoli di fondazione	234
Verifiche Cedimenti Edometrici	234
Verifiche Liquefazione	234
Parametri strati calcolo portanza	235
Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno	235
Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza	235
Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata	235
Piano 0 Plinto 1 Scorrimento	236
Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico	236
Riassunto verifiche	236
Verifiche terreno di fondazione	236
Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione	236

SCS 10 S.R.L.	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 10	Data 20/07/2022	Revisione 00

V	erifiche totali terreno di fondazione	. 237
	usioni	
11.	Conclusioni	238

SCS 10 S.R.L.	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
		R_15_EO_SCS10		
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 11	20/07/2022	00

1. Premessa e scopo del presente studio

La Società SCS10, con sede in Monopoli (BA) alla via Gen. Antonelli 3, intende installare un campo eolico in agro ricadente nel comune di Altamura e Santeramo in Colle (BA). Tale impianto ha una potenza elettrica in immissione pari a circa 54 MW prodotti da totali 9 aerogeneratori da 6 MW, ricadenti catastalmente in

		Estremi catastali		Coordinate WGS84 UTM 33N	
WTG	COMUNE	Fg.	P.IIa	E	N
A01	Altamura	252	43	638393	4515878
A02	Altamura	230	165	638732	4516289
A03	Altamura	230	83	638496	4517052
A04	Altamura	231	282	639483	4517084
A05	Altamura	254	49	639832	4514974
A06	Santeramo in colle	73	61	641278	4514349
A07	Santeramo in colle	73	10	640983	4515143
80A	Santeramo in colle	62	17	641046	4516067
A09	Altamura	231	203	641147	4516715

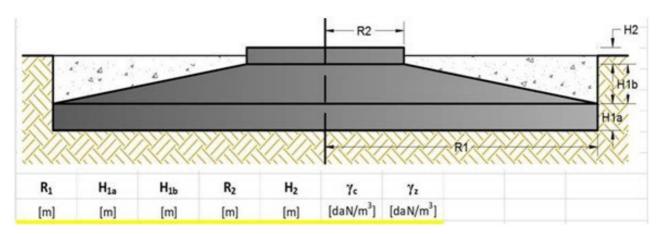
La presente relazione mira allo studio del comportamento del terreno a seguito dell'installazione degli aerogeneratori così come posizionati in fase progettuale.

Per poter procedere con la presente si è precedentemente eseguita una campagna geologica sui vari siti, che hanno portato all'individuazione dei parametri meccanici del terreno di fondazione di ogni aerogeneratore, per i quali si rimanda alla specifica relazione geologica redatta dal dott. Geol. Giovanni Paolo Mega.

Di seguito saranno riportati n. 9 report geotecnici, uno per ogni sito di intervento, report ottenuti simulando con software di calcolo i carichi trasmessi in fondazione così come da caratteristiche tecniche del costruttore (cfr. Allegato 1).

SCS 10 S.R.L.	Tipo di documento: Relazione geotecnica	R_	Codice documento:	S10
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 12	Data 20/07/2022	Revisione 00

Si prescrive di verificare le caratteristiche sulle opere di fondazione e sui carichi ad essa trasmessi prima di procedere con l'installazione.



 $Sezione\ plinto\ di\ fondazione\ (H1a=1.8m-H1b=1,20m-H2=0,50m-R1=10m-R2=2,7m)$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -	R_′	S10	
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 13	20/07/2022	00

2. Relazione geotecnica Aerogeneratore 1

1 Premessa

Nel seguente elaborato sono riportati i risultati delle verifiche geotecniche per fondazioni superficiali e profonde.

Verifiche fondazioni di tipo diretto o superficiali:

- · Portanza drenata
- Portanza non drenata (terreno a grana fine saturo)
- Scorrimento drenato
- Scorrimento non drenato (terreno a grana fine saturo)
- Liquefazione terreno (sisma con sabbie sature)
- Cedimenti edometrici (per terreno a grana fine)
- Cedimenti con metodo di Burland e Burbidge (per sabbie)
- Cedimenti differenziali.

Verifiche fondazioni di tipo indiretto su pali:

- Portata verticale drenata e non drenata
- Portata orizzontale drenata e non drenata
- Cedimenti

Le verifiche geotecniche sono effettuate congiuntamente alla modellazione ed alle verifiche strutturali con il software per calcolo strutturali Jasp[®]. Maggiori informazioni riguardanti la modellazione ed il calcolo delle sollecitazioni della struttura sono riportate nel documento "Relazione di calcolo" a cui si rimanda il lettore per eventuali informazioni non contenute nel seguente elaborato.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -	R_	S10	
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI ON IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 14	20/07/2022	00

2 Riferimenti legislativi

L'analisi della struttura e le verifiche geotecniche sono condotte in accordo alle vigenti disposizioni legislative ed in particolare alle seguenti norme:

Decreto Ministeriale del 17/01/2018, "Norme tecniche per le costruzioni" (di seguito NTC18) e relative "Istruzioni per l'applicazione" ovvero Circolare ministeriale n°7 CSLLPP del 21/1/2019 (di seguito CNTC18).

Inoltre si sono tenute presenti le seguenti referenze tecniche:

Eurocodice 7: "Progettazione geotecnica Parte 1: Regole Generali" . Norma UNI EN 1997-1:2013 (di seguito EC7-1)

Eurocodice 8: "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica, Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici" Novembre 2004. Norma UNI EN 1998-5:2005 (di seguito EC8-5)

3 Modellazione fondazioni

La presente relazione riguarda i seguenti tipi di fondazioni:

- Plinto diretto: Fondazione superficiale costituita da un blocco in calcestruzzo armato a forma di parallelepipedo su cui è presente un solo pilastro e/o un solo carico concentrato.
- •Trave rovescia: Trave di fondazione con una dimensione prevalente che per le verifiche geotecniche è considerata di lunghezza infinita.
- •Platea: Fondazione superficiale con 2 dimensioni prevalenti su cui di norma sono presenti più pilastri e/o carichi distribuiti. In generale le platee di fondazione hanno forma qualsiasi, prevalentemente poligonale o circolare, ma per le verifiche geotecniche di seguito riportate esse sono approssimate con un rettangolo di area equivalente ed orientato lungo gli assi principali di inerzia della forma originale.
- •Palo: Elemento strutturale con sezione circolare con una dimensione prevalente, realizzato in opera o infisso nel terreno, in grado agli strati profondi del terreno i carichi trasmessi dalla sovrastruttura.

4 Verifiche fondazioni dirette

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -			S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 15	20/07/2022	00

4.1 Capacità portante

La verifica per carico limite dell'insieme fondazione-terreno è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3) con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

$$\gamma_{G1} = 1.3;$$
 $\gamma_{G2} = 1.5;$ $\gamma_{Qi} = 1.5;$ $\gamma_{R} = 2.3;$ $\gamma_{M} = 1.0;$

La verifica della capacità portante viene fatta come indicato nell'appendice D dell'EC7-1 secondo il procedimento di seguito riportato.

4.1.1 Simboli utilizzati

q = pressione litostatica totale di progetto agente sul piano di posa della fondazione;

q' = pressione litostatica efficace di progetto agente sul piano di posa della fondazione;

B '= larghezza efficace di progetto della fondazione;

L'=lunghezza efficace di progetto della fondazione;

 $A' = B' \cdot L' =$ area della fondazione efficace di progetto (per le travi: $A' = B' \cdot 1m$);

 $B'/L' \le 1$ (per le travi: B'/L' = 0);

D = profondità del piano di posa;

 γ '= peso di volume efficace di progetto del terreno al di sotto del piano di posa della fondazione;

V = carico verticale;

H = carico orizzontale;

 θ = angolo che H forma con la direzione L';

R = Resistenza totale fondazione;

cu = Resistenza a taglio non drenata;

c' = Coesione intercetta in termini di tensioni efficaci;

 φ' = Angolo di resistenza a taglio in termini di tensioni efficaci;

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -			S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 16	20/07/2022	00

 φ' cv = angolo di resistenza a taglio allo stato critico;

4.1.2 Condizioni non drenate

Il carico limite di progetto si calcola con la formula:

$$R/A' = \sigma c \cdot c u \cdot s c \cdot i c + \sigma q$$

dove:

$$\sigma c = (2 + \pi)$$

$$\sigma q = q$$

$$sc = 1 + 0.2 (B'/L')$$

$$ic = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} [1 - H/(A'cu)]^{0.5} con H \le A'cu$$

$$dc = 1 + 0.4 atg(D/B')$$

dove il coefficiente di profondità de è calcolato come indicato da Meyerof (1951), Skempton (1951) e Hansen (1961) ([1] §8.17.2 pag 437; [2] §4.2 pag 117)

Nel caso di suoli con più strati, la resistenza portante è calcolata utilizzando i parametri dello strato meno resistente. La ricerca dello strato meno resistente viene fatta tenendo presente che il meccanismo di collasso non drenato interessa un zona con profondità 0,707 B ([1] §8.13.1 pag 412, fig.8.51).

4.1.3 Condizioni drenate

Il carico limite di progetto è calcolato con la formula:

$$R/A' = \sigma c \cdot Nc \cdot dc \cdot sc \cdot ic + \sigma q \cdot Nq \cdot dq \cdot sq \cdot iq + \sigma \gamma \cdot N\gamma \cdot d\gamma \cdot s\gamma \cdot i\gamma$$

con:

$$\sigma c = c'$$

$$\sigma q = q'$$

$$\sigma \gamma = 0.5 \gamma' B'$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -			S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 17	20/07/2022	00

e con i valori di progetto dei fattori adimensionali per

- la resistenza portante:

$$Nq = e^{\pi tan\phi'} tan^2 (45^{\circ} \phi'/2)$$

$$Nc = (Nq - 1) \operatorname{ctg} \varphi'$$

$$N\gamma = 2(Nq - 1) tg \varphi'$$

- la forma della fondazione:

$$sq = 1 + (B'/L') sen \varphi'$$

$$sc = (sq \cdot Nq - 1)/(Nq - 1)$$

$$s\gamma = 1 - 0.3(B'/L')$$

- la profondità della fondazione (Hansen 1970, Vesic 1973) ([1] §8.17.1 pag 435; [2] §4.2 pag 117)

$$dq = 1 + 2 tg \phi' (1 - \sin \phi')^2 atg(D/B')$$

$$dc = dq - (1-dq)/(Nc \cdot tg\phi')$$

$$d\gamma = 1$$

- l'inclinazione del carico, dovuta ad un carico orizzontale H che forma un angolo θ con la direzione di L',

$$iq = [1 - H/(V + A'c'cot\phi')]^m;$$

$$ic = iq - (1 - iq)/(Nc \cdot tan\phi');$$

$$i\gamma = [1 - H/(V + A' \cdot c' \cdot \cot \varphi')]^{m+1};$$

dove:

$$m = m_L \cos^2\!\theta + m_B \sin^2\!\theta$$

$$m_{B} = = \left[2 + (B \ '\!/L')\right] / \left[1 + (B \ '\!/L')\right]$$

$$m_L = [2 \cdot B '/L' + 1] / [1 + (B '/L')]$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -			S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 18	20/07/2022	00

Nel caso di suoli con più strati, la resistenza portante è calcolata utilizzando i parametri dello strato meno resistente. La ricerca dello strato meno resistente è fatto tenendo presente che il meccanismo di collasso drenato interessa un zona con profondità $z = B \sin \psi \exp(\psi t g \phi') \cos \psi = 45^{\circ} + \phi'/2$ ([1] §8.13.1 pag 430, fig.8.59).

4.1.4 Verifica sismica SLV

Gli effetti sismici sono tenuti in conto come indicato nei §7.11.5.3 NTC18 e §C7.11.5.3.1 CNTC08.

In particolare è possibile portare in conto l'effetto inerziale nel calcolo delle forze orizzontali H trasmesse dalla fondazione al terreno ed impiegando *le formule comunemente adottate per calcolare i coefficienti correttivi del carico limite in funzione dell'inclinazione, rispetto alla verticale, del carico agente sul piano di posa*. In tal caso si utilizza un coefficiente γ_R più basso, pari a 1,8, come indicato nelle NTC18. In alternativa si può non tenere conto dell'effetto inerziale delle forze orizzontali ed usare $\gamma_R = 2,3$.

L'effetto cinematico, che *modifica il solo coefficiente Ny*, è tenuto in conto con l'introduzione di una forza orizzontale aggiuntiva Hk = k_{vk} ·V, con k_{vk} calcolato come indicato nel §7.11.3.5.2 NTC18

4.2 Scorrimento

La verifica per scorrimento sul piano di posa è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3) con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

$$\gamma_{G1} = 1.0$$
; $\gamma_{G2} = 1.0$; $\gamma_{Oi} = 1.0$; $\gamma_{R} = 1.1$; $\gamma_{M} = 1.0$

Il calcolo della resistenza allo scorrimento è fatto come indicato nel §6.5.3 EC7-1:2005 ([4] §3.3.2 pag 96; [3] §2.5 pag 41)

La verifica a scorrimento in condizione drenate è fatta con la relazione:

$$H \le R_d$$

Dove,

in condizioni drenate: $R_d = V \cdot tg \, \phi' \cdot cv / \gamma_R$

in condizioni non drenate: $R_d = A \cdot cu/\gamma_R$

con A = area della fondazione.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -	R_	15_EO_SC	S 10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 19	20/07/2022	00

4.3 Liquefazione

La verifica della liquefazione è effettuata come indicato nel §7.11.3.4.2 delle NTC18.

Il calcolo della magnitudo attesa è effettuato utilizzando, a partire dal reticolo di riferimento fornito nell'allegato B delle NTC08, la formula di Sabetta e Pugliese (1996)

$$Log(A) = -1,562 + 0,306 M - Log[(de^2 + 5,8^2)^{1/2}]$$
 (1)

dove:

A è l'accelerazione massima attesa in g

de è la distanza dall'epicentro del sisma in km.

Per il calcolo della magnitudo attesa per il sito in oggetto si è proceduto in questo modo:

- a) Tutti i 10751 punti del reticolo sono ipotizzati (a vantaggio di sicurezza) come possibili epicentri di sisma e utilizzando la formula inversa della (1) sono calcolate tutte le magnitudo di tutti i possibili terremoti in Italia.
- b) Riutilizzando la (1) a partire da ogni punto del reticolo viene calcolata l'accelerazione nel sito in oggetto, scartando i terremoti che producono un'accelerazione attesa minore di 0,1g.
- c) Tra tutti i terremoti non scartati si prende quello con magnitudo massima.

In questo modo, per il sito in esame si trova il sisma che ha magnitudo massima e che produce un'accelerazione maggiore di 0,1g, ovvero che può produrre la liquefazione del terreno.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

Nel caso di sabbie in cui sia obbligatorio effettuare la verifica a liquefazione si procede, per ogni strato di terreno posto al di sotto potenzialmente liquefacibile, con la verifica: ([2] §11.5.4 pag 401; [5] §10.4.1.5 pag 295; [6]; [7] §6.2.4 pag 243):

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -	R_15_EO_SCS10		S 10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 20	20/07/2022	00

CSR*1,25/CRR ≤ 1

dove:

CSR = rapporto di sforzo ciclico;

CRR = rapporto di resistenza ciclica;

1,25 è il coefficiente di sicurezza definito dall'EC8-5 §4.1.4 (11) ;

con:

 $CSR = 0.65 \cdot rd \cdot (a_{max}/g) \cdot (\sigma_f/\sigma_f');$

 a_{max} = accelerazione orizzontale di picco SLV del sito in oggetto = S·ag = Ss·St·ag (NTC18§3.2.3.2);

 $\sigma_f = \Delta \sigma_V + \sigma_{V0} = \text{pressione verticale totale};$

 $\sigma'_f = \Delta \sigma_V + \sigma'_{V0} =$ pressione efficace verticale totale;

 $\Delta\sigma_V$ è l'incremento di tensione prodotto dal carico netto, calcolato trascurando la rigidezza della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

 σ'_{V0} è la tensione geostatica efficace

 σ_{V0} è la tensione geostatica totale

g è l'accelerazione di gravità;

rd = 1 - 0.00765 z, per $z \le 9.15 m$;

rd = 1,174 - 0,00267 z, per 9.15 m < $z \le 23$ m;

z è la profondità in metri dal piano di campagna;

 $CRR = CRR_{7,5} \cdot C_M;$

dove: $CRR_{7.5} = (a+c\cdot x+e\cdot x^2+g\cdot x^3)/(1+b\cdot x+d\cdot x^2+f\cdot x^3+h\cdot x^4)$;

con: a=0.048; b=-0.1248; c=-0.004721; d=0.009578; e =0.0006136; f=-0.0003285; g=-0.00001673; h =0.000003741 (Blake 1996);

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -			S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 21	20/07/2022	00

$$x = (N_1)_{60CS} = \alpha + \beta N_{60} C_N C_P$$
;

$$C_N = (100 \text{kPa/}\sigma'_{v0})^{1/2} \text{ con } 0.5 \le C_N \le 2;$$

$$C_P = 0.75 \text{ per } z \le 3m \text{ e } C_P = 1 \text{ per } z > 3m;$$

 $N_{60} = N_{SPT}$ normalizzato tenendo conto del rapporto energetico del maglio, diametro del foro, lunghezza delle aste e metodo di campionamento (vedere relazione geologica)

 α e β dipendono dal contenuto di fino FC, con:

- FC \leq 5%: $\alpha = 0.0$; $\beta = 1.0$;
- 5% < FC \leq 35%: $\alpha = \exp[1.76 (190/FC^2)]$; $\beta = 0.99 + FC^{1.5}/1000$;
- 35% < FC: α = 5,0; β = 1,2;

C_M dipende dalla magnitudo attesa M ed è ricavabile dalla Tabella B.1 EC8-5:2005, che approssimeremo per semplicità ed a vantaggio di sicurezza con le seguenti funzioni:

$$C_M = (M/7,5)^{-3.3}$$
 per M \leq 7,5 [Andrus e Stokoe. (1997)]

$$C_M = (M/7,5)^{-6.47} \text{ per } M > 7,5$$

4.4 Cedimenti

La verifica dei cedimenti è fatta con la disuguaglianza:

$$w \le 50 mm$$

come indicato al §H(4) EC7-1:2005

Il calcolo dei cedimenti è effettuato con:

- il metodo edometrico per i terreni a grana fine (limi ed argille)
- il metodo Burland e Burbidge per i terreni a grana grossa (sabbie e ghiaie)

4.4.1 Metodo edometrico

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -	R_′	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 22	20/07/2022	00

Per terreni a grana fine i cedimenti sono calcolati utilizzando il metodo edometrico, proposto da Terzaghi (1943) ([1] §8.7.2 pag 437; [2] §5.3.2 pag.164; [3] §2.7 pag.58)

Il terreno al di sotto della fondazioni viene diviso in n strati e per ogni strato si calcola il cedimento con la formula

$$\Delta Hi = Hi [RR \cdot Log(k_R) + CR \cdot Log(k_C)]$$

con:

$$k_R = min\{\sigma'_P; \sigma'_f\}/\sigma'_{V0}$$

$$k_C = \max\{\sigma'_f/\sigma'_P; 1\}$$

 σ'_{V0} è la tensione geostatica efficace

 $\Delta\sigma_V$ è l'incremento di tensione prodotto dal carico netto, calcolato trascurando la rigidezza della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

$$\sigma'_f = \Delta \sigma_V + \sigma'_{V0}$$

 σ'_P = tensione di preconsolidazione = OCR · σ'_{V0}

dove:

OCR è il rapporto di preconsolidazione.

Hi = spessore dello strato

RR = rapporto di ricompressione

CR = rapporto di compressione

Per terreni normalconsolidati $CR = 2.3 \cdot \sigma'_{V0}/Eed$

Per terreni sovraconsolidati RR = $2,3 \cdot \sigma'_{V0}$ /Eed

dove Eed è il modulo edometrico.

Il cedimento totale è calcolato sommando il cedimento di tutti gli strati in cui $\Delta \sigma'_{Z} > 0,10 \sigma'_{V0}$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -	R_	R_15_EO_SCS10	
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 23	20/07/2022	00

$$w = \sum \Delta Hi$$

Per argille tenere il metodo fornisce il cedimento di consolidazione ed il cedimento immediato è pari al 10% del cedimento di consolidazione

Per fondazioni su argille consistenti il metodo fornisce il cedimento totale.

4.4.2 Metodo di Burland e Burbidge

Il calcolo dei cedimenti per i terreni a grana grossa è effettuato con il metodo di Burland e Burbidge (1985) ([1] §8.8.1 pag 482; [2] §5.2.1 pag.153; [3] §2.8.1 pag.62)

Il cedimento totale è calcolato con la formula :

$$w = f_S \cdot fh \cdot ft \cdot Z_I \cdot Ic \cdot (\sigma_A/3 + \sigma_B)$$

dove:

$$\sigma_A = \min\{\sigma'_P; q'\}$$

$$\sigma_B = \max\{q' - \sigma_A; 0\}$$

 σ'_{P} = tensione di preconsolidazione al piano di posa della fondazione = OCR · σ'_{V0}

 $Z_I = B^{0,7} = profondità di influenza$

B è la larghezza minima della fondazione espressa in metri

L è la lunghezza della fondazione (L>B)

q' è il carico unitario efficace della fondazione espresso in kPa

 $Ic = 1.7/Nc^{1.4} = indice di compressibilità$

Nc è la media aritmetica dei valori Ncs per la profondità H

con:

H = spessore dello strato comprimibile, se $H < Z_I$

 $H = Z_I$, se N_{SPT} è costante o cresce con la profondità

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -			S10
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data 20/07/2022	Revisione 00
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	11. 24	20,0112022	

H = 2B, se N_{SPT} decresce con la profondità

e, per ogni strato:

Ncs = $15 + (N_{SPT}-15)/2$ per sabbie fini o limose sotto falda con $N_{SPT}>15$

 $N_{CS} = N_{SPT}$ negli altri casi.

inoltre:

$$fh = k_{HZ}/(2 - k_{HZ})$$

$$k_{HZ} = min\{1, H/Z_I\}$$

$$fs = [1,25 / (1+0,25 \cdot B/L)]^2$$

ft = $(1,3 + 0,2 \cdot \text{Log}(t/3))$ con t la vita nominale della struttura in anni.

4.4.3 Cedimenti Differenziali

La verifica dei cedimenti differenziali è fatta con la disuguaglianza:

$$\Delta w/L \le 1/500$$

come indicato al §H(2) EC7-1:2005

dove:

L è la distanza tra i due punti di calcolo dei cedimenti considerati

 $\Delta w = |w1 - w2| = differenza tra i cedimenti considerati$

In caso di trave di fondazione il calcolo è effettuato tra i cedimenti calcolati nelle sezioni iniziale, centrale e finale della trave.

Nel caso di plinti il calcolo viene effettuato tra ogni coppia di plinti.

Nel caso di platea il cedimento differenziale è calcolato tra il punto centrale e lo spigolo della platea considerando la platea di rigidezza nulla e posta su un semispazio elastico. In questo caso: $\Delta w = w/2$.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -	R_′	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 25	20/07/2022	00

5 Verifiche fondazioni su pali

5.1 Capacità portante

La verifica per carico limite dell'insieme fondazione-terreno è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3).

I coefficienti parziali di sicurezza, come riportato nei tabulati di stampa, utilizzati sono quelli indicati nel §6.4.3.1.1 NTC18 per le resistenze dei pali soggetti a carichi assiali, e quelli indicati nel §6.4.3.1.1 NTC18 per le resistenze dei pali soggetti a carichi trasversali.

Le resistenze assiale e trasversale sono calcolate con i metodi analitici di seguito indicati.

5.2Carichi verticali

Il carico limite ultimo di un singolo palo per carichi verticali è ottenuto dall'equazione: ([3] §3.1.2 pag 74 e [8] §13.1.2 pag.372)

$$Q_{lim} = P + S = \frac{\pi d^2}{4} p + \pi d \int_0^L s(z) dz - W$$

dove:

Q lim = carico limite ultimo assiale del palo singolo

P = Resistenza alla punta

S = Resistenza laterale

p = resistenza unitaria alla punta del palo singolo

s(z) = resistenza unitaria laterale alla generica profondità

W = peso proprio del palo

La resistenza unitaria alla punta (p) può essere espressa mediante l'equazione :

$$p = N_{\mathfrak{q}} \cdot \sigma'_{\upsilon,z=L} + N_c \ c$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -	R_	R_15_EO_SCS10	
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 26	20/07/2022	00

Che in condizioni non drenate si trasforma nell'equazione

$$p = R_c (\sigma_{v,z=L} + N_c c_u)$$

con:

Nc = 9;

Rc = 1 per argille non consistenti (indice di consistenza ≥ 0.5) ([2] §8.5.1.1 pag 377; [7] §3.1.2.1 pag.76)

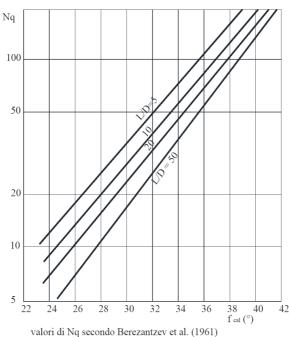
 $Rc = (D + 0.5)/(2D) \le 1$ per pali infissi in argille consistenti

 $Rc = (D+1)/(2D+1) \le 1$ per pali trivellati in argille consistenti

In condizioni drenate la resistenza unitaria alla punta (p) è calcolata con l'equazione:

$$p = N_q \cdot \sigma'_{\upsilon,z=L}$$

Per il calcolo del coefficiente Nq si utilizzano le curve di Berezantev et al 1961 ([8] §13.1 pag 377; [9] §2.4.2 pag.242)



	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -					
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 27	20/07/2022	00		

dove:

 $\varphi_{cal} = (\varphi + 40^{\circ})/2$ per pali battuti

 $\varphi_{cal} = \varphi - 3^{\circ}$ per pali trivellati

Come abbiamo visto in precedenza la resistenza laterale S è pari a:

$$S = \pi d \int_0^L s(z) dz$$

In condizioni drenate la resistenza laterale unitaria s(z) può essere valutata mediante il cosiddetto "metodo β ". Con questo metodo:

$$s(z) = \mu K \sigma'_{\nu z}$$

dove $\beta = \mu K e \mu = tg(\delta)$

Di seguito sono riportati i valori utilizzati da Jasp per terreni a grana grossa ([8] §13.1 pag 378; [9] §2.4.2 pag.246)

	ŀ	К				
Tipo di palo	(Dr = 25%) (Dr = 75%)		μ			
Batt. tubo acc. chiuso	1,0	2,0	0,36			
Batt. Cls prefabbricato	1,0	2,0	tan(0,75 φ')			
Batt. Cls gettato	1,0	3,0	tan(φ')			
Trivellato	0,5	0,4	tan(φ')			
Elica continua	0.7	0.9	tan(φ')			

Valori di K e μ per il metodo β in terreni a grana grossa

Per densità relative intermedie Jasp calcola il valore interpolato.

Per pali infissi in terreni a grana fine ([10] §3.2.2.2 pag 24; [7] §3.1.2.1 pag.76)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -					
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 28	20/07/2022	00		

$$K = K0 = (1-\sin\varphi') \cdot OCR^{0.5}$$

per pali trivellati in argille consistenti (indice di consistenza ≥0,5)

$$K = (1 + K_0)/2$$

In condizioni non drenate, quindi in caso di argille e limi saturi, la resistenza unitaria laterale è valutata con il cosiddetto "metodo α ". In questo caso:

$$s(z) = \alpha \cdot c_u$$

dove c_u è la coesione non drenata.

I valori di α possono essere calcolati come indicato di seguito:([8] §13.1 pag 378; [9] §2.4.2 pag.247)

Pali trivellati : $\alpha = 0.7-0.008(c_u - 25)$, con $0.35 \le \alpha \le 0.7$

Pali battuti: $\alpha = 1-0.011(c_u - 25)$, con $0.5 \le \alpha \le 1$

oppure: ([3] §3.1.2.1 pag 75;)

Pali trivellati (Stas e Kulhavy 1984) : $\alpha = 0.21 + 0.26 \cdot p_a/c_u$

dove p_a = pressione atmosferica

Pali infissi (Olson e Dennis 1982):

$$\alpha = \frac{0.5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0.25}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \ge 1$$

$$\alpha = \frac{0.5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0.5}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \le 1$$

5.3 Carichi orizzontali

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -	R_	R_15_EO_SCS10			
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 29	20/07/2022	00		

Il calcolo del carico limite orizzontale di pali verticali è riportato nel §13.2 di [8] e nel cap.7 di [10]. I risultati presentati nei riferimenti bibliografici sono calcolati ipotizzando un palo in un terreno omogeneo.

Jasp esegue un'analisi numerica per determinare il carico limite orizzontale di pali in terreni con diversi strati.

Per terreni coesivi la resistenza limite del terreno è posta pari a ([10] fig.7.4 pag 152; [8] fig.13.22 pag.399)

$$p_u = 9 c_u$$
 per profondità $\geq 3D$,

$$p_u = c_u [2 + 7z/(3d)]$$
 per $z < 3D$

per i terreni non coesivi ([10] §7.2.2.2 pag 155; [9] fig.9.3.2.1 pag.265)

$$p_u = 3\sigma'_v Kp$$

dove:

 σ'_{v} = tensione litostatica verticale efficace

$$Kp = (1+sen \varphi')/(1-sen \varphi')$$

 φ' = angolo di attrito interno (in tensioni efficaci)

5.3.1 Pali non vincolati o a testa libera

La rottura di un palo libero di ruotare in testa può avvenire secondo due meccanismi:

- a) a palo corto: senza la formazione di cerniere plastiche nel palo
- b) a palo lungo, con la formazione di una cerniera plastica nel palo ad una profondità da calcolare.

Jasp calcola, per ogni coppia Hu-M, il meccanismo di rottura e l'eventuale posizione della cerniera plastica, tenendo conto della resistenza limite dei diversi strati attraversati dal palo.

5.3.1 Pali vincolati o a testa incastrata

La rottura di un palo non libero di ruotare in testa può avvenire secondo tre meccanismi:

- a) a palo corto: senza la formazione di cerniere plastiche nel palo
- b) a palo medio, con la formazione di una sola cerniera plastica in testa al palo.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:					
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -	15_EO_SC	S10					
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione				
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 30	20/07/2022	00				

c) a palo lungo, con la formazione una cerniera plastica in testa al palo e di un'altra cerniera ad una profondità da calcolare.

Jasp calcola, per ogni forza orizzontale Hu, il meccanismo di rottura e l'eventuale posizione della cerniere plastiche, tenendo conto della resistenza limite dei diversi strati attraversati dal palo.

5.4 Gruppi di pali

Secondo EC7 §7.6.2.1punti (3) e (4):

Per i pali in gruppo si devono prendere in considerazione due meccanismi di rottura:

- rottura per compressione dei singoli pali;
- rottura per compressione dei pali e del terreno compreso tra essi, considerati come un blocco unico.

Si deve assumere come resistenza di progetto il minore tra i valori dovuti a questi due meccanismi.

La resistenza a compressione del gruppo di pali, considerato come un blocco unico, si può calcolare considerando il blocco come un palo singolo di grande diametro.

Per il calcolo della resistenza al carico verticale di un gruppo di pali Jasp calcola la resistenza del palo equivalente di grande diametro utilizzando i metodi di calcolo delle fondazioni diretta se L/D < 5 e i metodi di calcolo delle fondazioni profonde se L/D > 5

Jasp, oltre che alla procedura proposta dell'EC7, calcola il fattore E di efficienza della palificata come di seguito riportato ([8] §13.1.7 pag 396 e [10] §3.3.1.1 pag.32)

E = 1 per terreni incoerenti

Per un gruppo di m file con n pali ad interasse x in terreni incoerenti

$$E = 1 - \frac{\operatorname{arctg}(d/x)}{\pi/2} \frac{(m-1)n + (n-1)m}{mn}$$

Nel caso in cui i pali attraversano strati coerenti e incoerenti Jasp calcola il fattore E come la media pesata dei valori sopra indicati, utilizzando come peso la portata degli strati.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -					
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 31	20/07/2022	00		

Il coefficiente di gruppo in caso di carichi orizzontali è posto, forfettariamente a 0,5, se non indicato diversamente nel tabulato di stampa.([8] §13.2.6 pag 416 e [10] §7.3.1 pag.164)

5.5 Cedimenti

Per il calcolo dei cedimenti sotto i carichi di esercizio Jasp divide il palo in tanti conci elementari ed utilizza il metodo degli elementi finiti per il calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti del palo.

La costante di elasticità laterale verticale del terreno è calcolata con la formula:

 $kv = 2\pi G/\zeta$ [N/m²] ([8] §14.1.2 pag 424)

dove $\zeta = \ln(2.5*(1-v)*L/r0)$ ([8] §14.1.2 pag 425)

La costante di elasticità della punta del palo è

 $kp = 2dE/(1-v^2) [N/m]$ ([8] §14.1.2 pag 424)

La costante elastica orizzontale è calcolata con le formule ([8] §14.4.1 pagg 466, 487,479 e [10] §8.2.3 pag.180)

 $kh = 1.67 \cdot E/d$ per terreni a grana fine sovraconsolidati.

 $kh = nh \cdot z/d$, dove $nh = 0.5 \cdot 106 [N/m^3]$ per terreni a grana fine normalconsolidati. ([8] §14.4.1 pag 479)

 $kh = (A\gamma'/1,35) \cdot z/d$ per terreni a grana grossa.

dove:

γ' è il peso dell'unità di volume efficace.

A = 200 per terreni sciolti (Dr = 25%); A = 600 per terreni medi (Dr = 50%) ; A = 1500 per terreni sensi (Dr = 75%)

Nelle formule di questo paragrafo: G = modulo di elasticità trasversale del terreno; <math>v = coefficiente di Poisson del terreno; <math>L = lunghezza del palo; r0 = raggio del palo; d = diametro del palo; <math>E = modulo di elasticità longitudinale del terreno.

La verifica dei cedimenti differenziali è fatta come per le fondazioni dirette.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -					
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 32	20/07/2022	00		

5 Origine e caratteristiche del software di calcolo

Per l'analisi delle sollecitazioni e per le verifiche geotecniche si è utilizzato il software Jasp[®] versione 7.0.37 (64 bit), realizzato dell'ing. Silvestro Giordano, registrato presso la SIAE il 25/09/2012 col n° 008544, distribuito da Ingegnerianet srl (CF 06536761213) attraverso il sito internet www.ingegnerianet.it

6 Affidabilità del software

Il sito internet www.ingegnerianet.it di distribuzione del software Jasp[®] contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, per i quali sono forniti i file di input necessari a riprodurre l'elaborazione.

7 Bibliografia

- [1] R. Lancellotta, Goetecnica, IV Edizione, Zanichelli 2012.
- [2] M.Tanzini, Fondazioni, Dario Flaccovio Editore 2006
- [3] Lancellotta Costanzo Foti, Progettazione Geotecnica, Hoepli 2011
- [4] AA.VV. Guida all'Eurocodice 7, Thomas Telford 2005, EPC Editore 2012
- [5] AA.VV. Guida all'Eurocodice 8, Thomas Telford 2005, EPC Editore 2012
- [6] G. Riga, La liquefazione dei terreni, Dario Flaccovio Editore 2007
- [7] Lai Foti Rota, Input sismico e Stabilità Geotecnica dei Siti in Costruzione, IUSS Press 2009
- [8] C. Viggiani, Fondazioni, Hevelius Edizioni 1999
- [9] Diego Carlo Lo Presti, Manuale di Ingegneria Geotecnica, Pisa University Press 2015
- [10] H.G.Poulos E.H Davis, Pali, Dario Flaccovio Editore 1987

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -	15_EO_SC	SCS10			
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 33	20/07/2022	00		

Tabulati di stampa

Piano

0

Descrizione

Plinto 1

Aı	chivi																				
St	ratigrafie																				
N		Descr	izione				f	alda [n	า]							Strati					
1	Tipo A											80 3 9	strati:	Htot =	10						
St	rati stratig	ırafia	Tipo .	A (3 s	strati: F	ltot =	10)														
N	Descrizione	Classe			2 Potenza	γ	φ'	φ'cv	Dr	IC	c'	cu	٧	NSPT	OCR	Δσ'ρ	Eed	CR	RR	CR/RR	FC
					[m]	[kN/m³]	[°]	[°]	[%]		[kPa]	[kPa]				[kPa]	[MPa]				[%]
1	vegetale	limo	fine	argillos	a 0	1	0	0-	4.9E-324	0	0	0	0	0	1		0.001			0	0
2	Deposito sabbio 0	so li	limo	fine	argillosa	5.8	16.7	29.38	29.38	50	0.4	5	56	0.34	30	1		580			8
3	Ghiaioso sabbio	so de	limo	fine	argillosa	4.2	21.8	26	26	50	0.4	5	20.8	0.35	30	1		3505			8
Op	zioni veri	fica to	erreni	į																	
N	Descriz	zione	Porta	anza	Portanza	Sco	r.	Sco	rr.	Lique	f.	cedime	nti	ced. Bu	ırl. H	d compr.	ced. I	Max	d/∆w	k A	mplif.
			Drer	nata	Non Dren.	Dren	ato	Non E	ren.		[Edomet	rici	Burbido	ge Bi	ur-Bur [m	n] [m	1]		Si	isma
1	Opz.A		auto	a	auto	auto		auto	а	uto	а	uto	a	uto	au	to	auto	á	auto	auto)
Su	oli di pos	a fon	dazio	ni																	
N		crizione		v Trasv./	′kw kw A	ss./kw		Stratig	rafia		Opzio	ni Verit	fiche	F	Prof. di	H	sbanc.	H ri	oorto	γ ripo	orto
											T	erreno		po	osa [m]	lat	ter. [m]	Late	r. [m]	Later.[k	(N/m³]
1	Posa A				0.5	0.1	1) Tip	οА		1)	Opz.A					1	0		0		14
Ve	Verifiche fondazioni dirette																				
Re	ttangoli d	li fond	dazior	1e																	
	ndazione										Dim	ension	ie					P.c	entro		

Area calc.

475.24

Rotaz

0

[m]

0

[m]

0

[m]

-3.4

Suolo Posa

1) Posa A

[m]

21.8

[m]

21.8

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -	R_15_EO_SCS10				
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 34	20/07/2022	00		

Inviluppo f	orze su i	rettangoli	di	fondazione
-------------	-----------	------------	----	------------

			Min						Max						
Piano	Rettangolo Fond.	Fam. Cmb.	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	
	•			,						,					
0	Plinto 1	1) Fondamentale	0	0	-34.3M	15.3M	274M	238M	0	0	-34.3M	15.3M	274M	238M	
·		1) 1 0114411011410	·	·	0			200	·	·	0			200	
0	Plinto 1	4) Quasi Perm.	٥	0	-26.6M	10.2M	183M	159M	0	٥	-26.6M	10.2M	183M	159M	
U	i iiiito i	4) Quasi i eiiii.	U	U	-20.0IVI	10.21	100101	100101	U	U	-20.0IVI	10.2101	100101	100101	

 $\textbf{Suffissi}: \ f=10^{-15}; \ p=10^{-12}; \ n=10^{-9}; \ \mu=10^{-6}; \ m=10^{-3}; \ k=10^{3}; \ M=10^{6}; \ G=10^{9}; \ T=10^{12}; \ P=10^{15} \ (Sistema\ Internazionale\ di\ misura)$

Verifiche Cedimenti Edometrici

Piano	Rettangolo	Fam	Cmb	q	qN	σ'v0	WTot	k.Wink.
	fondazione			[Pa]	[Pa]	[Pa]	[mm]	[N/cm³]
	Toridazione			[i uj	[i u]	[i uj	[]	[IV/CIII]
0	Plinto 1	4	1	55968	39268	16700	0.67033	83.493

Verifiche Liquefazione

VCIIICII	c Liqueiaz	.10116									
Fam	Cmb	q	qN	Magnitudo	CM	agS	pa	Δ falda	sabbia	LPI	coef.
		[Pa]	[Pa]			[g]	[Pa]	[m]			verif.
4	1	55968	39268	6.2232	1.8513	0.14998	95867	79	No	0	0

Parametri strati calcolo portanza

		·		Str	rato Inferiore			Strato Superiore							
Piano	Rett.Fond	Drenato	fi'[°]	γ'	c'	cu	potenza	fi'[°]	γ'	c'	CU	potenza			
				[N/m³]	[Pa]	[Pa]	[m]		[N/m³]	[Pa]	[Pa]	[m]			
0	Plinto 1	Sì	29.38	19080	5000	56000	9	29.38	16700	5000	56000	1			
0	Plinto 1	No	29.38	19080	5000	56000	9	29.38	16700	5000	56000	1			

Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno

		Punto	o di applicazio	ne			For	za			Reage	ente	
Fam	Cmb	x [m]	y [m]	z [m]	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	Mx [Nm] My [Nm] Mz [Nm]			y [m]	Press.
													[Pa]
1	1	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	2	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	3	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	4	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
4	1	6.869	-0.385	0.000	0	0	-26.6M	0	0	159M	8.06	21.03	157k

 $\textbf{Suffissi}: f=10^{-15}; \ p=10^{-12}; \ n=10^{-9}; \ \mu=10^{-6}; \ m=10^{-3}; \ k=10^{3}; \ M=10^{6}; \ G=10^{9}; \ T=10^{12}; \ P=10^{15} \ (Sistema\ Internazionale\ di\ misura)$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -	R_15_EO_SCS10					
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione			
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 35	20/07/2022	00			

Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza

i iaiio o i i	iiito i ittazio	THE LETTERS	pei veillie	a portanza				
Fam	Cmb	B'[m]	L'[m]	B'/L'	V	НВ'	HL'	Hk
					[N]	[N]	[N]	[N]
					[14]	[14]	[14]	[14]
1	1	5.822	20.906	0.278	34.3M	C	0	0
1	2	5.822	20.906	0.278	34.3M	C	0	0
1	3	5.822	20.906	0.278	34.3M	C	0	0
1	4	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^3$; $M=10^6$; $G=10^9$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata

								γ						C	'					q			
								·															
Fam	Cmb	q	qLim	γR	coef	σ	N	S	i	b	d	σ	N	S	i	b	d	σ	N	S	i	b	d
		[Pa]	[Pa]		Verif	[Pa]						[Pa]						[Pa]					
1	1	282k	1.44M	2.30	0.450	55.5k	18.2	0.916	1.000	1.000	1.000	5.00k	28.7	1.145	1.000	1.000	1.053	16.7k	17.2	1.137	1.000	1.000	1.050
1	2	282k	1.44M	2.30	0.450	55.5k	18.2	0.916	1.000	1.000	1.000	5.00k	28.7	1.145	1.000	1.000	1.053	16.7k	17.2	1.137	1.000	1.000	1.050
1	3	282k	1.44M	2.30	0.450	55.5k	18.2	0.916	1.000	1.000	1.000	5.00k	28.7	1.145	1.000	1.000	1.053	16.7k	17.2	1.137	1.000	1.000	1.050
1	4	282k	1.44M	2.30	0.450	55.5k	18.2	0.916	1.000	1.000	1.000	5.00k	28.7	1.145	1.000	1.000	1.053	16.7k	17.2	1.137	1.000	1.000	1.050

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^{3}$; $M=10^{6}$; $G=10^{9}$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Scorrimento

			Dren	ato	Non Drenato			
Fam	Cmb	H [N]	Rd [N]	coefVerif	Rd [N]	coefVerif		
1	1	0	17.6M	0.000	-	-		
1	2	0	17.6M	0.000	-	-		
1	3	0	17.6M	0.000	-	-		
1	4	0	17.6M	0.000	-	-		

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^{3}$; $M=10^{6}$; $G=10^{9}$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico

1 14110 0 1 11	iito i oaiooit	, ooannon	040111011101	•					
z sup	spess.	σ'νο	σ'р	Δσν	Δσv/qN	σ'f	CR	RR	Δwi
[m]	[m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]		[Pa]			[m]
1	2.4	36740	36740	140039	0.99901	176779	0.00014586	1.8232E-5	0.00023884
3.4	2.4	76820	76820	136864	0.97636	213684	0.00030497	3.8122E-5	0.0003252

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -	R_′	S10	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 36	Data 20/07/2022	Revisione 00

5.8 4.2 142640 142640 123010 0.87753 265650 9.3706E-5 1.1713E-5 0.00010629

Riassunto verifiche

Verifiche terreno di fondazione

			C	oefficienti S	LU		Cedim	.Max			Cedim.E	Diff.	
Piano	Fondazione	Port.	Port.	Scorr.	Scorrim.	Liquef.	W	Coef.	Δw	Dist.	Coef	Fondazione	Verif.
		Dren.	Non Dren.	Dren.	Non Dren.		[mm]		[mm]	[m]		Confronto	Tot.
0	Plinto 1	0.449		0.000		0.000	0.670	0.013	0.000	0.000 -		Plinto 1	
	Sì												

Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione

SLU									SLE		Totale
Port.	Port.	Port.	Scorr.	Scorr	Scorr.	Liquef.	Tot	Ced. max	Ced. diff.	Tot.	Tot.
Dren.	Non dren.	Tot	dren.	non dren.							
0.449		0.449	0.000		0.000	0.000	0.449	0.013		0.013	0.449

Verifiche totali terreno di fondazione

SLU									SLE		Totale
Port.	Port.	Port.	Scorr.	Scorr	Scorr.	Liquef.	Tot	Ced. max	Ced. diff.	Tot.	Tot.
Dren.	Non dren.	Tot	dren.	non dren.							
Sì	-	Sì	Sì	-	Sì	Sì	Sì	Sì	-	Sì	Sì

Conclusioni

Al fine di fornire un giudizio motivato di accettabilità del risultato, come richiesto al § 10.2.1 NTC18, il geotecnico assevera di aver:

- ullet Esaminato preliminarmente la documentazione a corredo del software $Jasp^{\otimes}$ e di ritenerlo affidabile ed idoneo alla struttura in oggetto.
- Controllato accuratamente i tabulati di calcolo ed il listato degli errori numerici del solutore.
- Confrontato i risultati del software con quelli ottenuti con semplici calcoli di massima.

Pertanto ritiene che i risultati siano accettabili e che il presente progetto strutturale sia conforme alle Leggi n°1086/71 e n°64/74, e al DM 17/01/2018 (Norme tecniche per le costruzioni).

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 1 -	R_	S10	
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 37	20/07/2022	00

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_	S10	
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 38	20/07/2022	00

3. Relazione geotecnica Aerogeneratore 2

1 Premessa

Nel seguente elaborato sono riportati i risultati delle verifiche geotecniche per fondazioni superficiali e profonde.

Verifiche fondazioni di tipo diretto o superficiali:

- Portanza drenata
- Portanza non drenata (terreno a grana fine saturo)
- Scorrimento drenato
- Scorrimento non drenato (terreno a grana fine saturo)
- Liquefazione terreno (sisma con sabbie sature)
- Cedimenti edometrici (per terreno a grana fine)
- Cedimenti con metodo di Burland e Burbidge (per sabbie)
- Cedimenti differenziali.

Verifiche fondazioni di tipo indiretto su pali:

- Portata verticale drenata e non drenata
- Portata orizzontale drenata e non drenata
- Cedimenti

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_′	S10	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 39	Data 20/07/2022	Revisione 00

Le verifiche geotecniche sono effettuate congiuntamente alla modellazione ed alle verifiche strutturali con il software per calcolo strutturali Jasp[®]. Maggiori informazioni riguardanti la modellazione ed il calcolo delle sollecitazioni della struttura sono riportate nel documento "Relazione di calcolo" a cui si rimanda il lettore per eventuali informazioni non contenute nel seguente elaborato.

2 Riferimenti legislativi

L'analisi della struttura e le verifiche geotecniche sono condotte in accordo alle vigenti disposizioni legislative ed in particolare alle seguenti norme:

Decreto Ministeriale del 17/01/2018, "Norme tecniche per le costruzioni" (di seguito NTC18) e relative "Istruzioni per l'applicazione" ovvero Circolare ministeriale n°7 CSLLPP del 21/1/2019 (di seguito CNTC18).

Inoltre si sono tenute presenti le seguenti referenze tecniche:

Eurocodice 7: "Progettazione geotecnica Parte 1: Regole Generali" . Norma UNI EN 1997-1:2013 (di seguito EC7-1)

Eurocodice 8: "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica, Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici" Novembre 2004. Norma UNI EN 1998-5:2005 (di seguito EC8-5)

3 Modellazione fondazioni

La presente relazione riguarda i seguenti tipi di fondazioni:

- Plinto diretto: Fondazione superficiale costituita da un blocco in calcestruzzo armato a forma di parallelepipedo su cui è presente un solo pilastro e/o un solo carico concentrato.
- •Trave rovescia: Trave di fondazione con una dimensione prevalente che per le verifiche geotecniche è considerata di lunghezza infinita.
- •Platea: Fondazione superficiale con 2 dimensioni prevalenti su cui di norma sono presenti più pilastri e/o carichi distribuiti. In generale le platee di fondazione hanno forma qualsiasi, prevalentemente poligonale o circolare, ma per le verifiche geotecniche di seguito riportate esse sono approssimate con un rettangolo di area equivalente ed orientato lungo gli assi principali di inerzia della forma originale.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_	S10	
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 40	20/07/2022	00

•Palo: Elemento strutturale con sezione circolare con una dimensione prevalente, realizzato in opera o infisso nel terreno, in grado agli strati profondi del terreno i carichi trasmessi dalla sovrastruttura.

4 Verifiche fondazioni dirette

4.1 Capacità portante

La verifica per carico limite dell'insieme fondazione-terreno è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3) con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

$$\gamma_{G1} = 1.3;$$
 $\gamma_{G2} = 1.5;$ $\gamma_{Qi} = 1.5;$ $\gamma_{R} = 2.3;$ $\gamma_{M} = 1.0;$

La verifica della capacità portante viene fatta come indicato nell'appendice D dell'EC7-1 secondo il procedimento di seguito riportato.

4.1.1 Simboli utilizzati

q = pressione litostatica totale di progetto agente sul piano di posa della fondazione;

q' = pressione litostatica efficace di progetto agente sul piano di posa della fondazione;

B '= larghezza efficace di progetto della fondazione;

L' = lunghezza efficace di progetto della fondazione;

 $A' = B' \cdot L' =$ area della fondazione efficace di progetto (per le travi: $A' = B' \cdot 1m$);

 $B'/L' \le 1$ (per le travi: B'/L' = 0);

D = profondità del piano di posa;

 γ '= peso di volume efficace di progetto del terreno al di sotto del piano di posa della fondazione;

V = carico verticale;

H = carico orizzontale;

 θ = angolo che H forma con la direzione L';

	Tipo di documento: Relazione geotecnica			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_	S10	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 41	Data 20/07/2022	Revisione 00

R = Resistenza totale fondazione;

cu = Resistenza a taglio non drenata;

c' = Coesione intercetta in termini di tensioni efficaci;

 φ' = Angolo di resistenza a taglio in termini di tensioni efficaci;

 φ' cv = angolo di resistenza a taglio allo stato critico;

4.1.2 Condizioni non drenate

Il carico limite di progetto si calcola con la formula:

$$R/A' = \sigma c \cdot c u \cdot s c \cdot i c + \sigma q$$

dove:

$$\sigma c = (2 + \pi)$$

 $\sigma q = q$

$$sc = 1 + 0.2 (B'/L')$$

$$ic = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} [1 - H/(A'cu)]^{0.5} con H \le A'cu$$

$$dc = 1 + 0.4 atg(D/B')$$

dove il coefficiente di profondità de è calcolato come indicato da Meyerof (1951), Skempton (1951) e Hansen (1961) ([1] §8.17.2 pag 437; [2] §4.2 pag 117)

Nel caso di suoli con più strati, la resistenza portante è calcolata utilizzando i parametri dello strato meno resistente. La ricerca dello strato meno resistente viene fatta tenendo presente che il meccanismo di collasso non drenato interessa un zona con profondità 0,707 B ([1] §8.13.1 pag 412, fig.8.51).

4.1.3 Condizioni drenate

Il carico limite di progetto è calcolato con la formula:

$$R/A' = \sigma c \cdot Nc \cdot dc \cdot sc \cdot ic + \sigma q \cdot Nq \cdot dq \cdot sq \cdot iq + \sigma \gamma \cdot N\gamma \cdot d\gamma \cdot s\gamma \cdot i\gamma$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica			Codice documento:			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_15_EO_SCS					
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 42	Data 20/07/2022	Revisione 00			

con:

$$\sigma c = c'$$

$$\sigma q = q'$$

$$\sigma \gamma = 0.5 \gamma' B'$$

e con i valori di progetto dei fattori adimensionali per

- la resistenza portante:

$$Nq = e^{\pi tan\phi'} tan^2 (45^{\circ} \phi'/2)$$

$$Nc = (Nq - 1) ctg \varphi'$$

$$N\gamma = 2(Nq - 1) tg \varphi'$$

- la forma della fondazione:

$$sq = 1 + (B'/L') sen \varphi'$$

$$sc = (sq \cdot Nq - 1)/(Nq - 1)$$

$$sy = 1 - 0.3(B'/L')$$

- la profondità della fondazione (Hansen 1970, Vesic 1973) ([1] §8.17.1 pag 435; [2] §4.2 pag 117)

$$dq = 1 + 2 tg \phi' (1 - \sin \phi')^2 atg(D/B')$$

$$dc = dq - (1-dq)/(Nc \cdot tg\phi')$$

$$d\gamma = 1$$

- l'inclinazione del carico, dovuta ad un carico orizzontale H che forma un angolo θ con la direzione di L',

$$iq = [1 - H/(V + A'c'cot\phi')]^m;$$

$$ic = iq - (1 - iq)/(Nc \cdot tan\phi');$$

$$i\gamma = [1 - H/(V + A' \cdot c' \cdot \cot\varphi')]^{m+1};$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_′	S10	
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 43	20/07/2022	00

dove:

$$m = m_L \cos^2 \theta + m_B \sin^2 \theta$$

$$m_B = = [2 + (B'/L')] / [1 + (B'/L')]$$

$$m_L = [2 \cdot B'/L' + 1] / [1 + (B'/L')]$$

Nel caso di suoli con più strati, la resistenza portante è calcolata utilizzando i parametri dello strato meno resistente. La ricerca dello strato meno resistente è fatto tenendo presente che il meccanismo di collasso drenato interessa un zona con profondità $z = B \sin \psi \exp(\psi t g \phi') \cos \psi = 45^{\circ} + \phi'/2$ ([1] §8.13.1 pag 430, fig.8.59).

4.1.4 Verifica sismica SLV

Gli effetti sismici sono tenuti in conto come indicato nei §7.11.5.3 NTC18 e §C7.11.5.3.1 CNTC08.

In particolare è possibile portare in conto l'effetto inerziale nel calcolo delle forze orizzontali H trasmesse dalla fondazione al terreno ed impiegando *le formule comunemente adottate per calcolare i coefficienti correttivi del carico limite in funzione dell'inclinazione, rispetto alla verticale, del carico agente sul piano di posa*. In tal caso si utilizza un coefficiente γ_R più basso, pari a 1,8, come indicato nelle NTC18. In alternativa si può non tenere conto dell'effetto inerziale delle forze orizzontali ed usare $\gamma_R = 2,3$.

L'effetto cinematico, che *modifica il solo coefficiente Ny*, è tenuto in conto con l'introduzione di una forza orizzontale aggiuntiva $Hk = k_{vk} \cdot V$, con k_{vk} calcolato come indicato nel §7.11.3.5.2 NTC18

4.2 Scorrimento

La verifica per scorrimento sul piano di posa è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3) con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

$$\gamma_{G1} = 1.0$$
; $\gamma_{G2} = 1.0$; $\gamma_{Oi} = 1.0$; $\gamma_{R} = 1.1$; $\gamma_{M} = 1.0$

Il calcolo della resistenza allo scorrimento è fatto come indicato nel §6.5.3 EC7-1:2005 ([4] §3.3.2 pag 96; [3] §2.5 pag 41)

La verifica a scorrimento in condizione drenate è fatta con la relazione:

	Tipo di documento: Relazione geotecnica			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_15_EO_SCS10		
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 44	20/07/2022	00

Dove,

in condizioni drenate: $R_d = V \cdot tg \, \phi' \cdot cv/\gamma_R$

in condizioni non drenate: $R_d = A \cdot cu/\gamma_R$

con A = area della fondazione.

4.3 Liquefazione

La verifica della liquefazione è effettuata come indicato nel §7.11.3.4.2 delle NTC18.

Il calcolo della magnitudo attesa è effettuato utilizzando, a partire dal reticolo di riferimento fornito nell'allegato B delle NTC08, la formula di Sabetta e Pugliese (1996)

$$Log(A) = -1,562 + 0,306 M - Log[(de^{2} + 5,8^{2})^{1/2}]$$
 (1)

dove:

A è l'accelerazione massima attesa in g

de è la distanza dall'epicentro del sisma in km.

Per il calcolo della magnitudo attesa per il sito in oggetto si è proceduto in questo modo:

- a) Tutti i 10751 punti del reticolo sono ipotizzati (a vantaggio di sicurezza) come possibili epicentri di sisma e utilizzando la formula inversa della (1) sono calcolate tutte le magnitudo di tutti i possibili terremoti in Italia.
- b) Riutilizzando la (1) a partire da ogni punto del reticolo viene calcolata l'accelerazione nel sito in oggetto, scartando i terremoti che producono un'accelerazione attesa minore di 0,1g.
- c) Tra tutti i terremoti non scartati si prende quello con magnitudo massima.

In questo modo, per il sito in esame si trova il sisma che ha magnitudo massima e che produce un'accelerazione maggiore di 0,1g, ovvero che può produrre la liquefazione del terreno.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_	15_EO_SC:	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 45	20/07/2022	00

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

Nel caso di sabbie in cui sia obbligatorio effettuare la verifica a liquefazione si procede, per ogni strato di terreno posto al di sotto potenzialmente liquefacibile, con la verifica: ([2] §11.5.4 pag 401; [5] §10.4.1.5 pag 295; [6]; [7] §6.2.4 pag 243):

 $CSR*1,25/CRR \leq 1$

dove:

CSR = rapporto di sforzo ciclico;

CRR = rapporto di resistenza ciclica;

1,25 è il coefficiente di sicurezza definito dall'EC8-5 §4.1.4 (11);

con:

$$CSR = 0.65 \cdot rd \cdot (a_{max}/g) \cdot (\sigma_f/\sigma_f');$$

 a_{max} = accelerazione orizzontale di picco SLV del sito in oggetto = S·ag = Ss·St·ag (NTC18§3.2.3.2);

 $\sigma_f = \Delta \sigma_V + \sigma_{V0} = \text{pressione verticale totale};$

 $\sigma'_f = \Delta \sigma_V + \sigma'_{V0} =$ pressione efficace verticale totale;

 $\Delta\sigma_V$ è l'incremento di tensione prodotto dal carico netto, calcolato trascurando la rigidezza della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

 σ'_{V0} è la tensione geostatica efficace

 σ_{V0} è la tensione geostatica totale

g è l'accelerazione di gravità;

rd = 1 - 0.00765 z, per $z \le 9.15 m$;

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_′	15_EO_SC	S 10
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 46	Data 20/07/2022	Revisione 00

rd = 1,174 - 0,00267 z, per 9.15 m < $z \le 23$ m;

z è la profondità in metri dal piano di campagna;

$$CRR = CRR_{7.5} \cdot C_{M}$$
;

dove: $CRR_{7.5} = (a+c\cdot x+e\cdot x^2+g\cdot x^3)/(1+b\cdot x+d\cdot x^2+f\cdot x^3+h\cdot x^4)$;

con: a=0.048; b=-0.1248; c=-0.004721; d=0.009578; e=0.0006136; f=-0.0003285; g=-0.00001673; h=0.000003741 (Blake 1996);

$$x = (N_1)_{60CS} = \alpha + \beta N_{60} C_N C_P$$
;

$$C_N = (100 \text{kPa/}\sigma'_{v0})^{1/2} \text{ con } 0.5 \le C_N \le 2;$$

$$C_P = 0.75 \text{ per } z \le 3m \text{ e } C_P = 1 \text{ per } z > 3m;$$

 $N_{60} = N_{SPT}$ normalizzato tenendo conto del rapporto energetico del maglio, diametro del foro, lunghezza delle aste e metodo di campionamento (vedere relazione geologica)

α e β dipendono dal contenuto di fino FC, con:

- FC \leq 5%: $\alpha = 0.0$; $\beta = 1.0$;
- 5% < FC \leq 35%: $\alpha = \exp[1.76 (190/FC^2)]$; $\beta = 0.99 + FC^{1.5}/1000$;
- 35% < FC: α = 5,0; β = 1,2;

C_M dipende dalla magnitudo attesa M ed è ricavabile dalla Tabella B.1 EC8-5:2005, che approssimeremo per semplicità ed a vantaggio di sicurezza con le seguenti funzioni:

$$C_M = (M/7,5)^{-3.3}$$
 per M \leq 7,5 [Andrus e Stokoe. (1997)]

$$C_M = (M/7,5)^{-6.47} \text{ per } M > 7,5$$

4.4 Cedimenti

La verifica dei cedimenti è fatta con la disuguaglianza:

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_′	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN	Foglio n. 47	Data 20/07/2022	Revisione 00
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE			

come indicato al §H(4) EC7-1:2005

Il calcolo dei cedimenti è effettuato con:

- il metodo edometrico per i terreni a grana fine (limi ed argille)
- il metodo Burland e Burbidge per i terreni a grana grossa (sabbie e ghiaie)

4.4.1 Metodo edometrico

Per terreni a grana fine i cedimenti sono calcolati utilizzando il metodo edometrico, proposto da Terzaghi (1943) ([1] §8.7.2 pag 437; [2] §5.3.2 pag.164; [3] §2.7 pag.58)

Il terreno al di sotto della fondazioni viene diviso in n strati e per ogni strato si calcola il cedimento con la formula

$$\Delta Hi = Hi [RR \cdot Log(k_R) + CR \cdot Log(k_C)]$$

con:

$$k_R = min\{\sigma'_P; \sigma'_f\}/\sigma'_{V0}$$

$$k_C = max\{\sigma'_f/\sigma'_P; 1\}$$

 σ'_{V0} è la tensione geostatica efficace

 $\Delta\sigma_V$ è l'incremento di tensione prodotto dal carico netto, calcolato trascurando la rigidezza della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

$$\sigma'_f = \Delta \sigma_V + \sigma'_{V0}$$

 σ'_P = tensione di preconsolidazione = OCR · σ'_{V0}

dove:

OCR è il rapporto di preconsolidazione.

Hi = spessore dello strato

RR = rapporto di ricompressione

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_′	15_EO_SC	S10
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 48	Data 20/07/2022	Revisione 00

CR = rapporto di compressione

Per terreni normalconsolidati $CR = 2.3 \cdot \sigma'_{V0}/Eed$

Per terreni sovraconsolidati RR = $2.3 \cdot \sigma'_{V0}$ /Eed

dove Eed è il modulo edometrico.

Il cedimento totale è calcolato sommando il cedimento di tutti gli strati in cui $\Delta \sigma'_{Z} > 0,10 \sigma'_{V0}$

$$w = \sum \Delta Hi$$

Per argille tenere il metodo fornisce il cedimento di consolidazione ed il cedimento immediato è pari al 10% del cedimento di consolidazione

Per fondazioni su argille consistenti il metodo fornisce il cedimento totale.

4.4.2 Metodo di Burland e Burbidge

Il calcolo dei cedimenti per i terreni a grana grossa è effettuato con il metodo di Burland e Burbidge (1985) ([1] §8.8.1 pag 482; [2] §5.2.1 pag.153; [3] §2.8.1 pag.62)

Il cedimento totale è calcolato con la formula :

$$w = f_S \cdot fh \cdot ft \cdot Z_I \cdot Ic \cdot (\sigma_A/3 + \sigma_B)$$

dove:

$$\sigma_A = \min\{\sigma'_P; q'\}$$

$$\sigma_B = \max\{q' - \sigma_A; 0\}$$

 σ'_P = tensione di preconsolidazione al piano di posa della fondazione = OCR · σ'_{V0}

$$Z_I = B^{0,7} = profondità di influenza$$

B è la larghezza minima della fondazione espressa in metri

L è la lunghezza della fondazione (L>B)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 49	20/07/2022	00

q' è il carico unitario efficace della fondazione espresso in kPa

 $Ic = 1,7/Nc^{1,4} = indice di compressibilità$

Nc è la media aritmetica dei valori Ncs per la profondità H

con:

H = spessore dello strato comprimibile, se $H < Z_I$

 $H = Z_I$, se N_{SPT} è costante o cresce con la profondità

H = 2B, se N_{SPT} decresce con la profondità

e, per ogni strato:

 $Ncs = 15 + (N_{SPT}-15)/2$ per sabbie fini o limose sotto falda con $N_{SPT}>15$

 $Ncs = N_{SPT}$ negli altri casi.

inoltre:

$$fh = k_{HZ}/(2 - k_{HZ})$$

$$k_{HZ} = min\{1, H/Z_I\}$$

$$fs = [1,25 / (1+0,25 \cdot B/L)]^2$$

ft = $(1,3 + 0,2 \cdot \text{Log}(t/3))$ con t la vita nominale della struttura in anni.

4.4.3 Cedimenti Differenziali

La verifica dei cedimenti differenziali è fatta con la disuguaglianza:

$$\Delta w/L \le 1/500$$

come indicato al §H(2) EC7-1:2005

dove:

L è la distanza tra i due punti di calcolo dei cedimenti considerati

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_′	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 50	20/07/2022	00

 $\Delta w = |w1 - w2| = differenza tra i cedimenti considerati$

In caso di trave di fondazione il calcolo è effettuato tra i cedimenti calcolati nelle sezioni iniziale, centrale e finale della trave.

Nel caso di plinti il calcolo viene effettuato tra ogni coppia di plinti.

Nel caso di platea il cedimento differenziale è calcolato tra il punto centrale e lo spigolo della platea considerando la platea di rigidezza nulla e posta su un semispazio elastico. In questo caso: $\Delta w = w/2$.

5 Verifiche fondazioni su pali

5.1 Capacità portante

La verifica per carico limite dell'insieme fondazione-terreno è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3).

I coefficienti parziali di sicurezza, come riportato nei tabulati di stampa, utilizzati sono quelli indicati nel §6.4.3.1.1 NTC18 per le resistenze dei pali soggetti a carichi assiali, e quelli indicati nel §6.4.3.1.1 NTC18 per le resistenze dei pali soggetti a carichi trasversali.

Le resistenze assiale e trasversale sono calcolate con i metodi analitici di seguito indicati.

5.2Carichi verticali

Il carico limite ultimo di un singolo palo per carichi verticali è ottenuto dall'equazione: ([3] §3.1.2 pag 74 e [8] §13.1.2 pag.372)

$$Q_{lim} = P + S = \frac{\pi d^2}{4} p + \pi d \int_0^L s(z) dz - W$$

dove:

Q lim = carico limite ultimo assiale del palo singolo

P = Resistenza alla punta

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_	15_EO_SC:	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 51	20/07/2022	00

S = Resistenza laterale

p = resistenza unitaria alla punta del palo singolo

s(z) = resistenza unitaria laterale alla generica profondità

W = peso proprio del palo

La resistenza unitaria alla punta (p) può essere espressa mediante l'equazione :

$$p = N_q \cdot \sigma'_{v,z=L} + N_c c$$

Che in condizioni non drenate si trasforma nell'equazione

$$p = R_c (\sigma_{v,z=L} + N_c c_u)$$

con:

Nc = 9;

Rc = 1 per argille non consistenti (indice di consistenza ≥ 0.5) ([2] §8.5.1.1 pag 377; [7] §3.1.2.1 pag.76)

 $Rc = (D + 0.5)/(2D) \le 1$ per pali infissi in argille consistenti

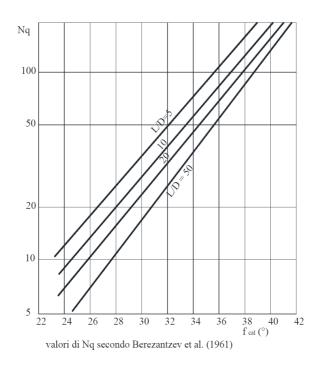
 $Rc = (D+1)/(2D+1) \le 1$ per pali trivellati in argille consistenti

In condizioni drenate la resistenza unitaria alla punta (p) è calcolata con l'equazione:

$$p = N_q \cdot \sigma'_{v,z=L}$$

Per il calcolo del coefficiente Nq si utilizzano le curve di Berezantev et al 1961 ([8] §13.1 pag 377; [9] §2.4.2 pag.242)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_	R_15_EO_SCS10	
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 52	20/07/2022	00



dove:

 $\phi_{cal} = (\phi + 40^{\circ})/2$ per pali battuti

 $\phi_{cal} = \phi - 3^{\circ}$ per pali trivellati

Come abbiamo visto in precedenza la resistenza laterale S è pari a:

$$S = \pi d \int_0^L s(z) dz$$

In condizioni drenate la resistenza laterale unitaria s(z) può essere valutata mediante il cosiddetto "metodo β ". Con questo metodo:

$$s(z) = \mu K \sigma'_{\upsilon z}$$

dove $\beta = \mu \text{ K e } \mu = \text{tg}(\delta)$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 53	20/07/2022	00

Di seguito sono riportati i valori utilizzati da Jasp per terreni a grana grossa ([8] §13.1 pag 378; [9] §2.4.2 pag.246)

	K		
Tipo di palo	(Dr = 25%)	(Dr = 75%)	μ
Batt. tubo acc. chiuso	1,0	2,0	0,36
Batt. Cls prefabbricato	1,0	2,0	tan(0,75 φ')
Batt. Cls gettato	1,0	3,0	tan(φ')
Trivellato	0,5	0,4	tan(φ')
Elica continua	0,7	0,9	tan(φ')

Valori di K e μ per il metodo β in terreni a grana grossa

Per densità relative intermedie Jasp calcola il valore interpolato.

Per pali infissi in terreni a grana fine ([10] §3.2.2.2 pag 24; [7] §3.1.2.1 pag.76)

$$K = K0 = (1-\sin\varphi') \cdot OCR^{0.5}$$

per pali trivellati in argille consistenti (indice di consistenza ≥ 0.5)

$$K = (1 + K_0)/2$$

In condizioni non drenate, quindi in caso di argille e limi saturi, la resistenza unitaria laterale è valutata con il cosiddetto "metodo α ". In questo caso:

$$s(z) = \alpha \cdot c_u$$

dove c_u è la coesione non drenata.

I valori di α possono essere calcolati come indicato di seguito:([8] §13.1 pag 378; [9] §2.4.2 pag.247)

Pali trivellati : $\alpha = 0.7-0.008(c_u - 25)$, con $0.35 \le \alpha \le 0.7$

Pali battuti: $\alpha = 1-0.011(c_u - 25)$, con $0.5 \le \alpha \le 1$

oppure: ([3] §3.1.2.1 pag 75;)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_′	15_EO_SC	S10
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 54	Data 20/07/2022	Revisione 00

Pali trivellati (Stas e Kulhavy 1984) : $\alpha = 0.21 + 0.26 \cdot p_a/c_u$

dove p_a = pressione atmosferica

Pali infissi (Olson e Dennis 1982):

$$\alpha = \frac{0.5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0.25}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \ge 1$$

$$\alpha = \frac{0.5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0.5}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \le 1$$

5.3 Carichi orizzontali

Il calcolo del carico limite orizzontale di pali verticali è riportato nel §13.2 di [8] e nel cap.7 di [10]. I risultati presentati nei riferimenti bibliografici sono calcolati ipotizzando un palo in un terreno omogeneo.

Jasp esegue un'analisi numerica per determinare il carico limite orizzontale di pali in terreni con diversi strati.

Per terreni coesivi la resistenza limite del terreno è posta pari a ([10] fig.7.4 pag 152; [8] fig.13.22 pag.399)

$$p_u = 9 c_u$$
 per profondità $\geq 3D$,

$$p_u = c_u [2 + 7z/(3d)]$$
 per $z < 3D$

per i terreni non coesivi ([10] §7.2.2.2 pag 155; [9] fig.9.3.2.1 pag.265)

$$p_u = 3\sigma'_v Kp$$

dove:

 σ'_{v} = tensione litostatica verticale efficace

$$Kp = (1+sen \varphi')/(1-sen \varphi')$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_	15_EO_SC:	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 55	20/07/2022	00

 φ' = angolo di attrito interno (in tensioni efficaci)

5.3.1 Pali non vincolati o a testa libera

La rottura di un palo libero di ruotare in testa può avvenire secondo due meccanismi:

- a) a palo corto: senza la formazione di cerniere plastiche nel palo
- b) a palo lungo, con la formazione di una cerniera plastica nel palo ad una profondità da calcolare.

Jasp calcola, per ogni coppia Hu-M, il meccanismo di rottura e l'eventuale posizione della cerniera plastica, tenendo conto della resistenza limite dei diversi strati attraversati dal palo.

5.3.1 Pali vincolati o a testa incastrata

La rottura di un palo non libero di ruotare in testa può avvenire secondo tre meccanismi:

- a) a palo corto: senza la formazione di cerniere plastiche nel palo
- b) a palo medio, con la formazione di una sola cerniera plastica in testa al palo.
- c) a palo lungo, con la formazione una cerniera plastica in testa al palo e di un'altra cerniera ad una profondità da calcolare.

Jasp calcola, per ogni forza orizzontale Hu, il meccanismo di rottura e l'eventuale posizione della cerniere plastiche, tenendo conto della resistenza limite dei diversi strati attraversati dal palo.

5.4 Gruppi di pali

Secondo EC7 §7.6.2.1punti (3) e (4):

Per i pali in gruppo si devono prendere in considerazione due meccanismi di rottura:

- rottura per compressione dei singoli pali;
- rottura per compressione dei pali e del terreno compreso tra essi, considerati come un blocco unico.

Si deve assumere come resistenza di progetto il minore tra i valori dovuti a questi due meccanismi.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:					
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_15_EO_SCS10					
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione			
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 56	20/07/2022	00			

La resistenza a compressione del gruppo di pali, considerato come un blocco unico, si può calcolare considerando il blocco come un palo singolo di grande diametro.

Per il calcolo della resistenza al carico verticale di un gruppo di pali Jasp calcola la resistenza del palo equivalente di grande diametro utilizzando i metodi di calcolo delle fondazioni diretta se L/D < 5 e i metodi di calcolo delle fondazioni profonde se L/D > 5

Jasp, oltre che alla procedura proposta dell'EC7, calcola il fattore E di efficienza della palificata come di seguito riportato ([8] §13.1.7 pag 396 e [10] §3.3.1.1 pag.32)

E = 1 per terreni incoerenti

Per un gruppo di m file con n pali ad interasse x in terreni incoerenti

$$E = 1 - \frac{\arctan(d/x)}{\pi/2} \frac{(m-1)n + (n-1)m}{mn}$$

Nel caso in cui i pali attraversano strati coerenti e incoerenti Jasp calcola il fattore E come la media pesata dei valori sopra indicati, utilizzando come peso la portata degli strati.

Il coefficiente di gruppo in caso di carichi orizzontali è posto, forfettariamente a 0,5, se non indicato diversamente nel tabulato di stampa.([8] §13.2.6 pag 416 e [10] §7.3.1 pag.164)

5.5 Cedimenti

Per il calcolo dei cedimenti sotto i carichi di esercizio Jasp divide il palo in tanti conci elementari ed utilizza il metodo degli elementi finiti per il calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti del palo.

La costante di elasticità laterale verticale del terreno è calcolata con la formula:

$$kv = 2\pi G/\zeta$$
 [N/m²] ([8] §14.1.2 pag 424)

dove
$$\zeta = \ln(2.5*(1-v)*L/r0)$$
 ([8] §14.1.2 pag 425)

La costante di elasticità della punta del palo è

$$kp = 2dE/(1-v^2) [N/m]$$
 ([8] §14.1.2 pag 424)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:						
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_15_EO_SCS10						
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione				
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 57	20/07/2022	00				

La costante elastica orizzontale è calcolata con le formule ([8] §14.4.1 pagg 466, 487,479 e [10] §8.2.3 pag.180)

 $kh = 1.67 \cdot E/d$ per terreni a grana fine sovraconsolidati.

 $kh = nh \cdot z/d$, dove $nh = 0.5 \cdot 106 [N/m^3]$ per terreni a grana fine normalconsolidati. ([8] §14.4.1 pag 479)

 $kh = (A\gamma'/1,35) \cdot z/d$ per terreni a grana grossa.

dove:

γ' è il peso dell'unità di volume efficace.

A = 200 per terreni sciolti (Dr = 25%); A = 600 per terreni medi (Dr = 50%) ; A = 1500 per terreni sensi (Dr = 75%)

Nelle formule di questo paragrafo: G = modulo di elasticità trasversale del terreno; <math>v = coefficiente di Poisson del terreno; L = lunghezza del palo; <math>r0 = raggio del palo; d = diametro del palo; E = modulo di elasticità longitudinale del terreno.

La verifica dei cedimenti differenziali è fatta come per le fondazioni dirette.

5 Origine e caratteristiche del software di calcolo

Per l'analisi delle sollecitazioni e per le verifiche geotecniche si è utilizzato il software Jasp[®] versione 7.0.37 (64 bit), realizzato dell'ing. Silvestro Giordano, registrato presso la SIAE il 25/09/2012 col n° 008544, distribuito da Ingegnerianet srl (CF 06536761213) attraverso il sito internet www.ingegnerianet.it

6 Affidabilità del software

Il sito internet www.ingegnerianet.it di distribuzione del software Jasp[®] contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, per i quali sono forniti i file di input necessari a riprodurre l'elaborazione.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:					
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_15_EO_SCS10					
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione			
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 58	20/07/2022	00			

7 Bibliografia

- [1] R. Lancellotta, Goetecnica, IV Edizione, Zanichelli 2012.
- [2] M.Tanzini, Fondazioni, Dario Flaccovio Editore 2006
- [3] Lancellotta Costanzo Foti, Progettazione Geotecnica, Hoepli 2011
- [4] AA.VV. Guida all'Eurocodice 7, Thomas Telford 2005, EPC Editore 2012
- [5] AA.VV. *Guida all'Eurocodice 8*, Thomas Telford 2005, EPC Editore 2012
- [6] G. Riga, La liquefazione dei terreni, Dario Flaccovio Editore 2007
- [7] Lai Foti Rota, Input sismico e Stabilità Geotecnica dei Siti in Costruzione, IUSS Press 2009
- [8] C. Viggiani, Fondazioni, Hevelius Edizioni 1999
- [9] Diego Carlo Lo Presti, Manuale di Ingegneria Geotecnica, Pisa University Press 2015
- [10] H.G.Poulos E.H Davis, Pali, Dario Flaccovio Editore 1987

Tabulati di stampa

Archivi

Stratig	_l rafie		
N	Descrizione	falda [m]	Strati
1	Тіро А	80	3 strati: Htot =10

Str	Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =10) N Descrizione Classe Tipo Classe 2 Potenza γ φ' φ'cν Dr IC c' cu ν NSPT OCR Δσ'p Eed CR RR CR/RR FC																				
N	Descrizione	Classe	Tipo	Classe 2	Potenza	γ	φ'	φ'cv	Dr	IC	c'	cu	٧	NSPT	OCR	Δσ'ρ	Eed	CR	RR	CR/RR	FC
					[m]	[kN/m³]	[°]	[°]	[%]		[kPa]	[kPa]				[kPa]	[MPa]				[%]

					· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	di documento:	піса	Codice documento:					
	SCS	510 S.R.	.L.			generatore		R	15_EO_S	CS10			
		dio Tecnio Ingelo Vo		COS I RE	STRUZIONE IMPIANTO L'ENERGIA EOLICA AV IMMISSION STITUITO DE ELATIVO CO RETE ELET IOMINATO " NEL COMUN	DI PRODU ELETTRIC ENTE POT NE PARI A 1 9 AEROG 1 PARI A 6 DLLEGAME TRICA – IN ALTAMUR	A DA FONTE ENZA IN 54 MW ENERATORI MW CON NTO ALLA IPIANTO A" UBICATO IMURA E	,	Data 20/07/2022	Revisione 00			
vege	etale limo	fine argil	llosa 0	1	0 04.9E-324	4 O C	0 0	0 1	0.001	C	<u> </u>		
Dep 0	osito sabbioso li	limo fine	argillosa	5.8 16.	7 29.39 29.39	50 0.4	5 56	0.34 30 1	1577		8		
Ghia	aioso sabbioso de	limo fine	argillosa	4.2 21.	2 26 26	50 0.4	5 17.1	0.35 30 1	6685		8		
)pzio	oni verifica te	erreni											
	Descrizione	Portanza	Portanza	Scorr.	Scorr.	Liquef.	cedimenti c	ed. Burl. H co	mpr. ced. Max	d/∆w k	Amplif.		
		Drenata	Non Dren.	Drenato	Non Dren.		Edometrici E	Burbidge Bur-B	ur [m] [m]		Sisma		
0)pz.A	auto	auto a	auto	auto	auto	auto au	to auto	auto	auto au	to		
Suoli	di posa fono Descrizione	dazioni kw Tras	sv./kw kw Ass	./kw	Stratigrafia	Opz	oni Verifiche	Prof. di	H sbanc. H	riporto γ rip	oorto		
							Terreno	posa [m]	later. [m] La	ter. [m] Later.[[kN/m³]		
F	Posa A		0.5	0.1 1) Ti	оо А	1) Opz./	A	1	0	0	14		
/eri	fiche fond	azioni	dirette										
Rettai Fondazi	ngoli di fond	azione				Dir	nensione		D	.centro			
Piano	Descrizi	ono	Suolo P	loca	В	L	Area calc.	Rotaz	x		Z		
rialio	Descrizi	one	3u0i0 P	USa						<u> </u>			
					[m]	[m]	[m²]	[°]	[m]		m]		
	Plinto 1		1) Posa A		21.8	21.	8 475.	24 0	0	0	-3.4		
าvilu	ppo forze su	rettang	oli di fond	azione	Mi	n			Max				
iano	Rettangolo Fond.	Fam. (Cmb. Fx	([N] Fy [N] Fz [N]	Mx [Nm] My	[Nm] Mz [Nm]	Fx [N] Fy [N	N] Fz [N] Mx [i	Nm] My [Nm] M	Mz [Nm]		
	Plinto 1	1) Fondamenta	ale	0	0 -34.3M	15.3M	274M 238M	0	0 -34.3M 15	5.3M 274M	238N		
	Plinto 1	4) Quasi Perm	l.	0	0 -26.6M	10.2M	183M 159M	0	0 -26.6M 10	0.2M 183M	159M		
Suff	issi: f=10 ⁻¹⁵ ; p=	10 ⁻¹² ; n=10	-9; μ=10 ⁻⁶ ; m=	=10 ⁻³ ; k=1	0^3 ; M= 10^6 ;	G=10 ⁹ ; T=1	0 ¹² ; P=10 ¹⁵ (Sistema Interr	nazionale di misu	ıra)			
/erifi	che Cedimer	nti Edom											
Piano	Re	ttangolo	Fa	am	Cmb	q	qN	σ'v0	WTot	k.Wink.			
	for	ndazione				[Pa]	[Pa]	[Pa]	[mm]	[N/cm³]			
	Plinto 1			4	1	559	968 3	9268 1	6700 0.263	105 212	2.77		
erific	che Liquefaz	zione q	qN	Magnitu	do CM	agS	pa	Δ falda	sabbia	LPI co	oef.		
am	CIIID			iviagilitu	GO CIVI				Sabbia				
		[Pa]	[Pa]			[g]	[Pa]	[m]		Ve	erif.		

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_15_EO_SCS10					
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione			
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 60	20/07/2022	00			

55968 39268 6.2232 1.8513 0.14998 95867 No

Parametri strati calcolo portanza

				St	rato Inferiore			Strato Superiore						
Piano	Rett.Fond	Drenato	fi'[°]	γ'	C'	cu	potenza	fi'[°]	γ'	C'	CU	potenza		
				[N/m³]	[Pa]	[Pa]	[m]		[N/m³]	[Pa]	[Pa]	[m]		
0	Plinto 1	Sì	29.39	18800	5000	56000	9	29.39	16700	5000	56000	1		
0	Plinto 1	No	29.39	18800	5000	56000	9	29.39	16700	5000	56000	1		

Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno

		Punto	o di applicazio	ne			For		Reage				
Fam	Cmb	x [m]	y [m]	z [m]	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	x [m]	y [m]	Press.
													[Pa]
1	1	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	2	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	3	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	4	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
4	1	6.869	-0.385	0.000	0	0	-26.6M	0	0	159M	8.06	21.03	157k

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^{3}$; $M=10^{6}$; $G=10^{9}$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Plano U Plil	nto 1 Keazi	one terrenc	per verific	a portanza				
Fam	Cmb	B'[m]	L'[m]	B'/L'	V	HB'	HL'	Hk
					[N]	[N]	[N]	[N]
1	1	5.822	20.906	0.278	34.3M	() 0	0
	_					_		_
1	2	5.822	20.906	0.278	34.3M	C) 0	0
1	2	F 022	20.000	0.370	24.214			
1	3	5.822	20.906	0.278	34.3M	() 0	0
1	4	5.822	20.906	0.278	34.3M	() 0	0
1	-	3.022	20.500	0.276	34.3101		, ,	, ,

 $\textbf{Suffissi}: f=10^{-15}; \ p=10^{-12}; \ n=10^{-9}; \ \mu=10^{-6}; \ m=10^{-3}; \ k=10^{3}; \ M=10^{6}; \ G=10^{9}; \ T=10^{12}; \ P=10^{15} \ (Sistema\ Internazionale\ di\ misura)$

Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata

								γ c'					q										
Fam	Cmh	~	al im	νD	ooof	~	NI	•		h	d	~	NI	0	:	h	d	σ	NI	0	:	h	4
Гап	Cmb	q	qLIIII	γĸ	coei	U	IN	5		D	u	U	IN	5		D	u	U	IN	S		b	u
		[Pa]	[Pa]		Verif	[Pa]						[Pa]						[Pa]					
1	1	2021	1 /3M	2 20	0.454	E 1 7 L	10 0	0.016	1 000	1 000	1 000	E 00k	20.7	1 1/5	1 000	1 000	1.052	16 7L	17.0	1 127	1 000	1 000	1.05(

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:						
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_15_EO_SCS10						
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione				
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 61	20/07/2022	00				

2 282k 1.43M 2.30 0.454 54.7k 18.2 0.916 1.000 1.000 1.000 5.00k 28.7 1.145 1.000 1.000 1.053 16.7k 17.2 1.137 1.000 1.000 1.050 1.0

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^{3}$; $M=10^{6}$; $G=10^{9}$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Scorrimento

		••					
			Drei	nato	Non Drenato		
Fam	Cmb	H [N]	Rd [N]	coefVerif	Rd [N]	coefVerif	
1	1	0	17.6M	0.000	-	-	
1	2	0	17.6M	0.000	-	-	
1	3	0	17.6M	0.000	-	-	
1	4	0	17.6M	0.000	-	-	

 $\textbf{Suffissi}: f=10^{-15}; \ p=10^{-12}; \ n=10^{-9}; \ \mu=10^{-6}; \ m=10^{-3}; \ k=10^{3}; \ M=10^{6}; \ G=10^{9}; \ T=10^{12}; \ P=10^{15} \ (Sistema\ Internazionale\ di\ misura)$

Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico

			• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	•					
z sup	spess.	σ'νο	σ'ρ	Δσν	Δσv/qN	σ'f	CR	RR	Δwi
[m]	[m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]		[Pa]			[m]
1	2.4	36740	36740	140039	0.99901	176779	5.3644E-5	6.7055E-6	8.7843E-5
3.4	2.4	76820	76820	136864	0.97636	213684	0.00011217	1.4021E-5	0.0001196
5.8	4.2	141380	141380	123010	0.87753	264390	4.8697E-5	6.0871E-6	5.5602E-5

Riassunto verifiche

Verifiche terreno di fondazione

			Co	pefficienti S	LU		Cedim	.Max			Cedim.I	Diff.	
Piano	Fondazione	Port.	Port.	Scorr.	Scorrim.	Liquef.	W	Coef.	Δw	Dist.	Coef	Fondazione	Verif.
		Dren.	Non Dren.	Dren.	Non Dren.		[mm]		[mm]	[m]		Confronto	Tot.
0	Plinto 1 Sì	0.453		0.000		0.000	0.263	0.005	0.000	0.000	-	Plinto 1	

Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione

SLU									SLE		Totale
			_	_							
Port.	Port.	Port.	Scorr.	Scorr	Scorr.	Liquef.	Tot	Ced. max	Ced. diff.	Tot.	Tot.
Dren.	Non dren.	Tot	dron	non dron							
Dieli.	Non dien.	101	dren.	non dren.							
0.453		0.453	0.000		0.000	0.000	0.453	0.005		0.005	0.453

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 2 -	R_′	S10	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 62	Data 20/07/2022	Revisione 00

Verifiche totali terreno di fondazione

SLU									SLE		Totale
Port.	Port.	Port.	Scorr.	Scorr	Scorr.	Liquef.	Tot	Ced. max	Ced. diff.	Tot.	Tot.
Dren.	Non dren.	Tot	dren.	non dren.							
Sì	-	Sì	Sì	-	Sì	Sì	Sì	Sì	-	Sì	Sì

Conclusioni

Al fine di fornire un giudizio motivato di accettabilità del risultato, come richiesto al § 10.2.1 NTC18, il geotecnico assevera di aver:

- Esaminato preliminarmente la documentazione a corredo del software Jasp[®] e di ritenerlo affidabile ed idoneo alla struttura in oggetto.
- Controllato accuratamente i tabulati di calcolo ed il listato degli errori numerici del solutore.
- Confrontato i risultati del software con quelli ottenuti con semplici calcoli di massima.

Pertanto ritiene che i risultati siano accettabili e che il presente progetto strutturale sia conforme alle Leggi $n^{\circ}1086/71$ e $n^{\circ}64/74$, e al DM 17/01/2018 (Norme tecniche per le costruzioni).

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -	R_	S10	
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 63	20/07/2022	00

4. Relazione geotecnica Aerogeneratore 3

1 Premessa

Nel seguente elaborato sono riportati i risultati delle verifiche geotecniche per fondazioni superficiali e profonde.

Verifiche fondazioni di tipo diretto o superficiali:

- Portanza drenata
- Portanza non drenata (terreno a grana fine saturo)
- Scorrimento drenato
- Scorrimento non drenato (terreno a grana fine saturo)
- Liquefazione terreno (sisma con sabbie sature)
- Cedimenti edometrici (per terreno a grana fine)
- Cedimenti con metodo di Burland e Burbidge (per sabbie)
- Cedimenti differenziali.

Verifiche fondazioni di tipo indiretto su pali:

- Portata verticale drenata e non drenata
- Portata orizzontale drenata e non drenata
- Cedimenti

Le verifiche geotecniche sono effettuate congiuntamente alla modellazione ed alle verifiche strutturali con il software per calcolo strutturali Jasp[®]. Maggiori informazioni riguardanti la modellazione ed il calcolo delle

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -	e 3 - R_15_EO_SCS			
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 64	Data 20/07/2022	Revisione 00	

sollecitazioni della struttura sono riportate nel documento "Relazione di calcolo" a cui si rimanda il lettore per eventuali informazioni non contenute nel seguente elaborato.

2 Riferimenti legislativi

L'analisi della struttura e le verifiche geotecniche sono condotte in accordo alle vigenti disposizioni legislative ed in particolare alle seguenti norme:

Decreto Ministeriale del 17/01/2018, "Norme tecniche per le costruzioni" (di seguito NTC18) e relative "Istruzioni per l'applicazione" ovvero Circolare ministeriale n°7 CSLLPP del 21/1/2019 (di seguito CNTC18).

Inoltre si sono tenute presenti le seguenti referenze tecniche:

Eurocodice 7: "Progettazione geotecnica Parte 1: Regole Generali" . Norma UNI EN 1997-1:2013 (di seguito EC7-1)

Eurocodice 8: "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica, Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici" Novembre 2004. Norma UNI EN 1998-5:2005 (di seguito EC8-5)

3 Modellazione fondazioni

La presente relazione riguarda i seguenti tipi di fondazioni:

- Plinto diretto: Fondazione superficiale costituita da un blocco in calcestruzzo armato a forma di parallelepipedo su cui è presente un solo pilastro e/o un solo carico concentrato.
- •Trave rovescia: Trave di fondazione con una dimensione prevalente che per le verifiche geotecniche è considerata di lunghezza infinita.
- •Platea: Fondazione superficiale con 2 dimensioni prevalenti su cui di norma sono presenti più pilastri e/o carichi distribuiti. In generale le platee di fondazione hanno forma qualsiasi, prevalentemente poligonale o circolare, ma per le verifiche geotecniche di seguito riportate esse sono approssimate con un rettangolo di area equivalente ed orientato lungo gli assi principali di inerzia della forma originale.
- •Palo: Elemento strutturale con sezione circolare con una dimensione prevalente, realizzato in opera o infisso nel terreno, in grado agli strati profondi del terreno i carichi trasmessi dalla sovrastruttura.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -	R_15_EO_SCS10			
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 65	20/07/2022	00	

4 Verifiche fondazioni dirette

4.1 Capacità portante

La verifica per carico limite dell'insieme fondazione-terreno è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3) con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

$$\gamma_{G1} = 1,3; \qquad \gamma_{G2} = 1,5; \qquad \gamma_{Qi} = 1,5; \qquad \gamma_{R} = 2,3; \qquad \gamma_{M} = 1,0;$$

La verifica della capacità portante viene fatta come indicato nell'appendice D dell'EC7-1 secondo il procedimento di seguito riportato.

4.1.1 Simboli utilizzati

q = pressione litostatica totale di progetto agente sul piano di posa della fondazione;

q' = pressione litostatica efficace di progetto agente sul piano di posa della fondazione;

B '= larghezza efficace di progetto della fondazione;

L'=lunghezza efficace di progetto della fondazione;

 $A' = B' \cdot L' =$ area della fondazione efficace di progetto (per le travi: $A' = B' \cdot 1m$);

 $B'/L' \le 1$ (per le travi: B'/L' = 0);

D = profondità del piano di posa;

 γ '= peso di volume efficace di progetto del terreno al di sotto del piano di posa della fondazione;

V = carico verticale;

H = carico orizzontale;

 θ = angolo che H forma con la direzione L';

R = Resistenza totale fondazione;

cu = Resistenza a taglio non drenata;

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -	R_15_EO_SCS10			
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 66	20/07/2022	00	

c' = Coesione intercetta in termini di tensioni efficaci;

 φ' = Angolo di resistenza a taglio in termini di tensioni efficaci;

 φ' cv = angolo di resistenza a taglio allo stato critico;

4.1.2 Condizioni non drenate

Il carico limite di progetto si calcola con la formula:

$$R/A' = \sigma c \cdot c u \cdot s c \cdot i c + \sigma q$$

dove:

$$\sigma c = (2 + \pi)$$

$$\sigma q = q$$

$$sc = 1 + 0.2 (B'/L')$$

$$ic = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} [1 - H/(A'cu)]^{0,5} con H \le A'cu$$

$$dc = 1 + 0.4 atg(D/B')$$

dove il coefficiente di profondità de è calcolato come indicato da Meyerof (1951), Skempton (1951) e Hansen (1961) ([1] §8.17.2 pag 437; [2] §4.2 pag 117)

Nel caso di suoli con più strati, la resistenza portante è calcolata utilizzando i parametri dello strato meno resistente. La ricerca dello strato meno resistente viene fatta tenendo presente che il meccanismo di collasso non drenato interessa un zona con profondità 0,707 B ([1] §8.13.1 pag 412, fig.8.51).

4.1.3 Condizioni drenate

Il carico limite di progetto è calcolato con la formula:

$$R/A' = \sigma c \cdot Nc \cdot dc \cdot sc \cdot ic + \sigma q \cdot Nq \cdot dq \cdot sq \cdot iq + \sigma \gamma \cdot N\gamma \cdot d\gamma \cdot s\gamma \cdot i\gamma$$

con:

$$\sigma c = c'$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -				
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 67	20/07/2022	00	

$$\sigma q = q'$$

$$\sigma \gamma = 0.5 \gamma' B'$$

e con i valori di progetto dei fattori adimensionali per

- la resistenza portante:

$$Nq = e^{\pi tan\phi'} tan^2 (45^{\circ} \phi'/2)$$

$$Nc = (Nq - 1) ctg \varphi'$$

$$N\gamma = 2(Nq - 1) tg \varphi'$$

- la forma della fondazione:

$$sq = 1 + (B'/L') sen \varphi'$$

$$sc = (sq \cdot Nq - 1)/(Nq - 1)$$

$$s\gamma = 1 - 0.3(B'/L')$$

- la profondità della fondazione (Hansen 1970, Vesic 1973) ([1] §8.17.1 pag 435; [2] §4.2 pag 117)

$$dq = 1 + 2 tg \phi' (1 - \sin \phi')^2 atg(D/B')$$

$$dc = dq - (1-dq)/(Nc \cdot tg\phi')$$

$$d\gamma = 1$$

- l'inclinazione del carico, dovuta ad un carico orizzontale H che forma un angolo θ con la direzione di L',

$$iq = [1 - H/(V + A'c'cot\phi')]^m;$$

$$ic = iq - (1 - iq)/(Nc \cdot tan\varphi');$$

$$i\gamma = [1 - H/(V + A' \cdot c' \cdot cot\phi')]^{m+1};$$

dove:

$$m = m_L \cos^2\!\theta + m_B \sin^2\!\theta$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -	R_15_EO_SCS10			
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 68	20/07/2022	00	

$$m_B = = [2 + (B'/L')] / [1 + (B'/L')]$$

$$m_L = [2 \cdot B'/L' + 1] / [1 + (B'/L')]$$

Nel caso di suoli con più strati, la resistenza portante è calcolata utilizzando i parametri dello strato meno resistente. La ricerca dello strato meno resistente è fatto tenendo presente che il meccanismo di collasso drenato interessa un zona con profondità $z = B \sin \psi \exp(\psi t g \phi') \cos \psi = 45^{\circ} + \phi'/2$ ([1] §8.13.1 pag 430, fig.8.59).

4.1.4 Verifica sismica SLV

Gli effetti sismici sono tenuti in conto come indicato nei §7.11.5.3 NTC18 e §C7.11.5.3.1 CNTC08.

In particolare è possibile portare in conto l'effetto inerziale nel calcolo delle forze orizzontali H trasmesse dalla fondazione al terreno ed impiegando *le formule comunemente adottate per calcolare i coefficienti correttivi del carico limite in funzione dell'inclinazione, rispetto alla verticale, del carico agente sul piano di posa*. In tal caso si utilizza un coefficiente γ_R più basso, pari a 1,8, come indicato nelle NTC18. In alternativa si può non tenere conto dell'effetto inerziale delle forze orizzontali ed usare $\gamma_R = 2,3$.

L'effetto cinematico, che *modifica il solo coefficiente N* γ , è tenuto in conto con l'introduzione di una forza orizzontale aggiuntiva Hk = k_{vk} ·V, con k_{vk} calcolato come indicato nel §7.11.3.5.2 NTC18

4.2 Scorrimento

La verifica per scorrimento sul piano di posa è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3) con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

$$\gamma_{G1} = 1.0$$
; $\gamma_{G2} = 1.0$; $\gamma_{Oi} = 1.0$; $\gamma_{R} = 1.1$; $\gamma_{M} = 1.0$

Il calcolo della resistenza allo scorrimento è fatto come indicato nel §6.5.3 EC7-1:2005 ([4] §3.3.2 pag 96; [3] §2.5 pag 41)

La verifica a scorrimento in condizione drenate è fatta con la relazione:

$$H \leq R_d$$

Dove,

in condizioni drenate: $R_d = V \cdot tg \, \phi' \cdot cv / \gamma_R$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -			
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 69	20/07/2022	00

in condizioni non drenate: $R_d = A \cdot cu/\gamma_R$

con A = area della fondazione.

4.3 Liquefazione

La verifica della liquefazione è effettuata come indicato nel §7.11.3.4.2 delle NTC18.

Il calcolo della magnitudo attesa è effettuato utilizzando, a partire dal reticolo di riferimento fornito nell'allegato B delle NTC08, la formula di Sabetta e Pugliese (1996)

$$Log(A) = -1,562 + 0,306 M - Log[(de^2 + 5,8^2)^{1/2}]$$
 (1)

dove:

A è l'accelerazione massima attesa in g

de è la distanza dall'epicentro del sisma in km.

Per il calcolo della magnitudo attesa per il sito in oggetto si è proceduto in questo modo:

- a) Tutti i 10751 punti del reticolo sono ipotizzati (a vantaggio di sicurezza) come possibili epicentri di sisma e utilizzando la formula inversa della (1) sono calcolate tutte le magnitudo di tutti i possibili terremoti in Italia.
- b) Riutilizzando la (1) a partire da ogni punto del reticolo viene calcolata l'accelerazione nel sito in oggetto, scartando i terremoti che producono un'accelerazione attesa minore di 0,1g.
- c) Tra tutti i terremoti non scartati si prende quello con magnitudo massima.

In questo modo, per il sito in esame si trova il sisma che ha magnitudo massima e che produce un'accelerazione maggiore di 0,1g, ovvero che può produrre la liquefazione del terreno.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -			
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 70	20/07/2022	00

Nel caso di sabbie in cui sia obbligatorio effettuare la verifica a liquefazione si procede, per ogni strato di terreno posto al di sotto potenzialmente liquefacibile, con la verifica: ([2] §11.5.4 pag 401; [5] §10.4.1.5 pag 295; [6]; [7] §6.2.4 pag 243):

CSR*1,25/CRR ≤ 1

dove:

CSR = rapporto di sforzo ciclico;

CRR = rapporto di resistenza ciclica;

1,25 è il coefficiente di sicurezza definito dall'EC8-5 §4.1.4 (11) ;

con:

 $CSR = 0.65 \cdot rd \cdot (a_{max}/g) \cdot (\sigma_f/\sigma_f');$

 a_{max} = accelerazione orizzontale di picco SLV del sito in oggetto = S·ag = Ss·St·ag (NTC18§3.2.3.2);

 $\sigma_f = \Delta \sigma_V + \sigma_{V0} = \text{pressione verticale totale};$

 $\sigma'_f = \Delta \sigma_V + \sigma'_{V0} =$ pressione efficace verticale totale;

 $\Delta\sigma_V$ è l'incremento di tensione prodotto dal carico netto, calcolato trascurando la rigidezza della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

 σ'_{V0} è la tensione geostatica efficace

 σ_{V0} è la tensione geostatica totale

g è l'accelerazione di gravità;

rd = 1 - 0.00765 z, per $z \le 9.15 m$;

rd = 1,174 - 0,00267 z, per 9.15 m < $z \le 23$ m;

z è la profondità in metri dal piano di campagna;

 $CRR = CRR_{7,5} \cdot C_M;$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -	R_15_EO_SCS10		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 71	Data 20/07/2022	Revisione 00

dove: $CRR_{7.5} = (a+c\cdot x+e\cdot x^2+g\cdot x^3)/(1+b\cdot x+d\cdot x^2+f\cdot x^3+h\cdot x^4)$;

con: a=0.048; b=-0.1248; c=-0.004721; d=0.009578; e=0.0006136; f=-0.0003285; g=-0.00001673; h=0.000003741 (Blake 1996);

$$x = (N_1)_{60CS} = \alpha + \beta N_{60} C_N C_P$$
;

$$C_N = (100 \text{kPa/}\sigma'_{v0})^{1/2} \text{ con } 0.5 \le C_N \le 2;$$

$$C_P = 0.75 \text{ per } z \le 3m \text{ e } C_P = 1 \text{ per } z > 3m;$$

 $N_{60} = N_{SPT}$ normalizzato tenendo conto del rapporto energetico del maglio, diametro del foro, lunghezza delle aste e metodo di campionamento (vedere relazione geologica)

 α e β dipendono dal contenuto di fino FC, con:

- FC \leq 5%: $\alpha = 0.0$; $\beta = 1.0$:
- 5% < FC \leq 35%: $\alpha = \exp[1.76 (190/FC^2)]$; $\beta = 0.99 + FC^{1.5}/1000$;
- 35% < FC: α = 5,0; β = 1,2;

C_M dipende dalla magnitudo attesa M ed è ricavabile dalla Tabella B.1 EC8-5:2005, che approssimeremo per semplicità ed a vantaggio di sicurezza con le seguenti funzioni:

$$C_M = (M/7.5)^{-3.3}$$
 per M \le 7.5 [Andrus e Stokoe. (1997)]

$$C_M = (M/7.5)^{-6.47} \text{ per } M > 7.5$$

4.4 Cedimenti

La verifica dei cedimenti è fatta con la disuguaglianza:

$$w \le 50 mm$$

come indicato al §H(4) EC7-1:2005

Il calcolo dei cedimenti è effettuato con:

• il metodo edometrico per i terreni a grana fine (limi ed argille)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -	R_′	R_15_EO_SCS10	
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 72	20/07/2022	00

• il metodo Burland e Burbidge per i terreni a grana grossa (sabbie e ghiaie)

4.4.1 Metodo edometrico

Per terreni a grana fine i cedimenti sono calcolati utilizzando il metodo edometrico, proposto da Terzaghi (1943) ([1] §8.7.2 pag 437; [2] §5.3.2 pag.164; [3] §2.7 pag.58)

Il terreno al di sotto della fondazioni viene diviso in n strati e per ogni strato si calcola il cedimento con la formula

$$\Delta Hi = Hi [RR \cdot Log(k_R) + CR \cdot Log(k_C)]$$

con:

$$k_R = min\{\sigma'_P; \sigma'_f\}/\sigma'_{V0}$$

$$k_C = \max\{\sigma'_f/\sigma'_P; 1\}$$

 σ'_{V0} è la tensione geostatica efficace

 $\Delta\sigma_V$ è l'incremento di tensione prodotto dal carico netto, calcolato trascurando la rigidezza della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

$$\sigma'_f = \Delta \sigma_V + \sigma'_{V0}$$

 σ'_P = tensione di preconsolidazione = OCR · σ'_{V0}

dove:

OCR è il rapporto di preconsolidazione.

Hi = spessore dello strato

RR = rapporto di ricompressione

CR = rapporto di compressione

Per terreni normalconsolidati $CR = 2.3 \cdot \sigma'_{V0}/Eed$

Per terreni sovraconsolidati RR = $2.3 \cdot \sigma'_{V0}$ /Eed

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -	R_	R_15_EO_SCS10	
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 73	20/07/2022	00

dove Eed è il modulo edometrico.

Il cedimento totale è calcolato sommando il cedimento di tutti gli strati in cui $\Delta \sigma'_{Z} > 0,10 \sigma'_{V0}$

$$w = \sum \Delta Hi$$

Per argille tenere il metodo fornisce il cedimento di consolidazione ed il cedimento immediato è pari al 10% del cedimento di consolidazione

Per fondazioni su argille consistenti il metodo fornisce il cedimento totale.

4.4.2 Metodo di Burland e Burbidge

Il calcolo dei cedimenti per i terreni a grana grossa è effettuato con il metodo di Burland e Burbidge (1985) ([1] §8.8.1 pag 482; [2] §5.2.1 pag.153; [3] §2.8.1 pag.62)

Il cedimento totale è calcolato con la formula:

$$w = fs \cdot fh \cdot ft \cdot Z_I \cdot Ic \cdot (\sigma_A/3 + \sigma_B)$$

dove:

$$\sigma_A = \min\{\sigma'_P; q'\}$$

$$\sigma_B = \max\{q' - \sigma_A; 0\}$$

 σ'_P = tensione di preconsolidazione al piano di posa della fondazione = OCR · σ'_{V0}

$$Z_I = B^{0,7} = profondità di influenza$$

B è la larghezza minima della fondazione espressa in metri

L è la lunghezza della fondazione (L>B)

q' è il carico unitario efficace della fondazione espresso in kPa

 $Ic = 1.7/Nc^{1.4} = indice di compressibilità$

Nc è la media aritmetica dei valori Ncs per la profondità H

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -	R_	15_EO_SC	S10
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 74	Data 20/07/2022	Revisione 00

con:

H = spessore dello strato comprimibile, se $H < Z_I$

 $H = Z_I$, se N_{SPT} è costante o cresce con la profondità

H = 2B, se N_{SPT} decresce con la profondità

e, per ogni strato:

 $Ncs = 15 + (N_{SPT}-15)/2$ per sabbie fini o limose sotto falda con $N_{SPT} > 15$

 $Ncs = N_{SPT}$ negli altri casi.

inoltre:

$$fh = k_{HZ}/(2 - k_{HZ})$$

$$k_{HZ} = min\{1, H/Z_I\}$$

$$fs = [1,25 / (1+0,25 \cdot B/L)]^2$$

ft = $(1,3 + 0,2 \cdot \text{Log}(t/3))$ con t la vita nominale della struttura in anni.

4.4.3 Cedimenti Differenziali

La verifica dei cedimenti differenziali è fatta con la disuguaglianza:

$$\Delta w/$$
 $L \le 1/500$

come indicato al §H(2) EC7-1:2005

dove:

L è la distanza tra i due punti di calcolo dei cedimenti considerati

 $\Delta w = |w1 - w2| = differenza tra i cedimenti considerati$

In caso di trave di fondazione il calcolo è effettuato tra i cedimenti calcolati nelle sezioni iniziale, centrale e finale della trave.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -	R_′	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 75	20/07/2022	00

Nel caso di plinti il calcolo viene effettuato tra ogni coppia di plinti.

Nel caso di platea il cedimento differenziale è calcolato tra il punto centrale e lo spigolo della platea considerando la platea di rigidezza nulla e posta su un semispazio elastico. In questo caso: $\Delta w = w/2$.

5 Verifiche fondazioni su pali

5.1 Capacità portante

La verifica per carico limite dell'insieme fondazione-terreno è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3).

I coefficienti parziali di sicurezza, come riportato nei tabulati di stampa, utilizzati sono quelli indicati nel §6.4.3.1.1 NTC18 per le resistenze dei pali soggetti a carichi assiali, e quelli indicati nel §6.4.3.1.1 NTC18 per le resistenze dei pali soggetti a carichi trasversali.

Le resistenze assiale e trasversale sono calcolate con i metodi analitici di seguito indicati.

5.2Carichi verticali

Il carico limite ultimo di un singolo palo per carichi verticali è ottenuto dall'equazione: ([3] §3.1.2 pag 74 e [8] §13.1.2 pag.372)

$$Q_{lim} = P + S = \frac{\pi d^2}{4} p + \pi d \int_0^L s(z) dz - W$$

dove:

Q lim = carico limite ultimo assiale del palo singolo

P = Resistenza alla punta

S = Resistenza laterale

p = resistenza unitaria alla punta del palo singolo

s(z) = resistenza unitaria laterale alla generica profondità

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -	R_	R_15_EO_SCS10	
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 76	20/07/2022	00

W = peso proprio del palo

La resistenza unitaria alla punta (p) può essere espressa mediante l'equazione :

$$p = N_q \cdot \sigma'_{v,z=L} + N_c c$$

Che in condizioni non drenate si trasforma nell'equazione

$$p = R_c (\sigma_{v,z=L} + N_c c_u)$$

con:

Nc = 9;

Rc = 1 per argille non consistenti (indice di consistenza ≥ 0.5) ([2] §8.5.1.1 pag 377; [7] §3.1.2.1 pag.76)

 $Rc = (D + 0.5)/(2D) \le 1$ per pali infissi in argille consistenti

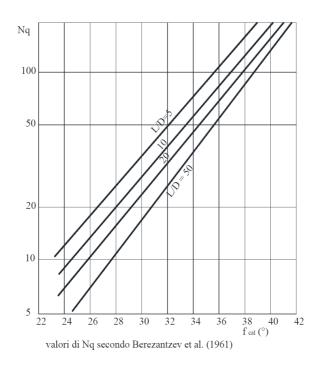
 $Rc = (D+1)/(2D+1) \le 1$ per pali trivellati in argille consistenti

In condizioni drenate la resistenza unitaria alla punta (p) è calcolata con l'equazione:

$$p = N_q \cdot \sigma'_{v,z=L}$$

Per il calcolo del coefficiente Nq si utilizzano le curve di Berezantev et al 1961 ([8] §13.1 pag 377; [9] §2.4.2 pag.242)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -	R_	R_15_EO_SCS10	
_	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 77	20/07/2022	00



dove:

 $\phi_{cal} = (\phi + 40^{\circ})/2$ per pali battuti

 $\varphi_{cal} = \varphi - 3^{\circ}$ per pali trivellati

Come abbiamo visto in precedenza la resistenza laterale S è pari a:

$$S = \pi d \int_0^L s(z) dz$$

In condizioni drenate la resistenza laterale unitaria s(z) può essere valutata mediante il cosiddetto "metodo β ". Con questo metodo:

$$s(z) = \mu K \sigma'_{\nu z}$$

dove $\beta = \mu K e \mu = tg(\delta)$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -	R_	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 78	20/07/2022	00

Di seguito sono riportati i valori utilizzati da Jasp per terreni a grana grossa ([8] §13.1 pag 378; [9] §2.4.2 pag.246)

_	K		
Tipo di palo	(Dr = 25%)	(Dr = 75%)	μ
Batt. tubo acc. chiuso	1,0	2,0	0,36
Batt. Cls prefabbricato	1,0	2,0	tan(0,75 φ')
Batt. Cls gettato	1,0	3,0	tan(φ')
Trivellato	0,5	0,4	tan(φ')
Elica continua	0,7	0,9	tan(φ')

Valori di K e μ per il metodo β in terreni a grana grossa

Per densità relative intermedie Jasp calcola il valore interpolato.

Per pali infissi in terreni a grana fine ([10] §3.2.2.2 pag 24; [7] §3.1.2.1 pag.76)

$$K = K0 = (1-\sin\varphi') \cdot OCR^{0.5}$$

per pali trivellati in argille consistenti (indice di consistenza ≥0,5)

$$K = (1 + K_0)/2$$

In condizioni non drenate, quindi in caso di argille e limi saturi, la resistenza unitaria laterale è valutata con il cosiddetto "metodo α ". In questo caso:

$$s(z) = \alpha \cdot c_u$$

dove c_u è la coesione non drenata.

I valori di α possono essere calcolati come indicato di seguito:([8] §13.1 pag 378; [9] §2.4.2 pag.247)

Pali trivellati : $\alpha = 0.7-0.008(c_u - 25)$, con $0.35 \le \alpha \le 0.7$

Pali battuti: $\alpha = 1-0.011(c_u - 25)$, con $0.5 \le \alpha \le 1$

oppure: ([3] §3.1.2.1 pag 75;)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -	R_′	15_EO_SC:	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 79	20/07/2022	00

Pali trivellati (Stas e Kulhavy 1984) : $\alpha = 0.21 + 0.26 \cdot p_a/c_u$

dove p_a = pressione atmosferica

Pali infissi (Olson e Dennis 1982):

$$\alpha = \frac{0.5}{\left(\frac{c_u}{\sigma_{v0}^I}\right)^{0.25}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma_{v0}^I} \ge 1$$

$$\alpha = \frac{0.5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0.5}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \le 1$$

5.3 Carichi orizzontali

Il calcolo del carico limite orizzontale di pali verticali è riportato nel §13.2 di [8] e nel cap.7 di [10]. I risultati presentati nei riferimenti bibliografici sono calcolati ipotizzando un palo in un terreno omogeneo.

Jasp esegue un'analisi numerica per determinare il carico limite orizzontale di pali in terreni con diversi strati.

Per terreni coesivi la resistenza limite del terreno è posta pari a ([10] fig.7.4 pag 152; [8] fig.13.22 pag.399)

$$p_u = 9 c_u$$
 per profondità $\geq 3D$,

$$p_u = c_u [2 + 7z/(3d)]$$
 per $z < 3D$

per i terreni non coesivi ([10] §7.2.2.2 pag 155; [9] fig.9.3.2.1 pag.265)

$$p_u = 3\sigma'_v Kp$$

dove:

 σ'_{v} = tensione litostatica verticale efficace

$$Kp = (1+sen \varphi')/(1-sen \varphi')$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -	R_	15_EO_SC:	S10
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 80	20/07/2022	00

 φ' = angolo di attrito interno (in tensioni efficaci)

5.3.1 Pali non vincolati o a testa libera

La rottura di un palo libero di ruotare in testa può avvenire secondo due meccanismi:

- a) a palo corto: senza la formazione di cerniere plastiche nel palo
- b) a palo lungo, con la formazione di una cerniera plastica nel palo ad una profondità da calcolare.

Jasp calcola, per ogni coppia Hu-M, il meccanismo di rottura e l'eventuale posizione della cerniera plastica, tenendo conto della resistenza limite dei diversi strati attraversati dal palo.

5.3.1 Pali vincolati o a testa incastrata

La rottura di un palo non libero di ruotare in testa può avvenire secondo tre meccanismi:

- a) a palo corto: senza la formazione di cerniere plastiche nel palo
- b) a palo medio, con la formazione di una sola cerniera plastica in testa al palo.
- c) a palo lungo, con la formazione una cerniera plastica in testa al palo e di un'altra cerniera ad una profondità da calcolare.

Jasp calcola, per ogni forza orizzontale Hu, il meccanismo di rottura e l'eventuale posizione della cerniere plastiche, tenendo conto della resistenza limite dei diversi strati attraversati dal palo.

5.4 Gruppi di pali

Secondo EC7 §7.6.2.1punti (3) e (4):

Per i pali in gruppo si devono prendere in considerazione due meccanismi di rottura:

- rottura per compressione dei singoli pali;
- rottura per compressione dei pali e del terreno compreso tra essi, considerati come un blocco unico.

Si deve assumere come resistenza di progetto il minore tra i valori dovuti a questi due meccanismi.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -	R_	R_15_EO_SCS10	
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 81	20/07/2022	00

La resistenza a compressione del gruppo di pali, considerato come un blocco unico, si può calcolare considerando il blocco come un palo singolo di grande diametro.

Per il calcolo della resistenza al carico verticale di un gruppo di pali Jasp calcola la resistenza del palo equivalente di grande diametro utilizzando i metodi di calcolo delle fondazioni diretta se L/D < 5 e i metodi di calcolo delle fondazioni profonde se L/D > 5

Jasp, oltre che alla procedura proposta dell'EC7, calcola il fattore E di efficienza della palificata come di seguito riportato ([8] §13.1.7 pag 396 e [10] §3.3.1.1 pag.32)

E = 1 per terreni incoerenti

Per un gruppo di m file con n pali ad interasse x in terreni incoerenti

$$E = 1 - \frac{\arctan(d/x)}{\pi/2} \frac{(m-1)n + (n-1)m}{mn}$$

Nel caso in cui i pali attraversano strati coerenti e incoerenti Jasp calcola il fattore E come la media pesata dei valori sopra indicati, utilizzando come peso la portata degli strati.

Il coefficiente di gruppo in caso di carichi orizzontali è posto, forfettariamente a 0,5, se non indicato diversamente nel tabulato di stampa.([8] §13.2.6 pag 416 e [10] §7.3.1 pag.164)

5.5 Cedimenti

Per il calcolo dei cedimenti sotto i carichi di esercizio Jasp divide il palo in tanti conci elementari ed utilizza il metodo degli elementi finiti per il calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti del palo.

La costante di elasticità laterale verticale del terreno è calcolata con la formula:

$$kv = 2\pi G/\zeta$$
 [N/m²] ([8] §14.1.2 pag 424)

dove
$$\zeta = \ln(2.5*(1-v)*L/r0)$$
 ([8] §14.1.2 pag 425)

La costante di elasticità della punta del palo è

$$kp = 2dE/(1-v^2) [N/m]$$
 ([8] §14.1.2 pag 424)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -	R_	15_EO_SC:	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 82	20/07/2022	00

La costante elastica orizzontale è calcolata con le formule ([8] §14.4.1 pagg 466, 487,479 e [10] §8.2.3 pag.180)

 $kh = 1.67 \cdot E/d$ per terreni a grana fine sovraconsolidati.

 $kh = nh \cdot z/d$, dove $nh = 0.5 \cdot 106 [N/m^3]$ per terreni a grana fine normalconsolidati. ([8] §14.4.1 pag 479)

 $kh = (A\gamma'/1,35) \cdot z/d$ per terreni a grana grossa.

dove:

γ' è il peso dell'unità di volume efficace.

A = 200 per terreni sciolti (Dr = 25%); A = 600 per terreni medi (Dr = 50%) ; A = 1500 per terreni sensi (Dr = 75%)

Nelle formule di questo paragrafo: G = modulo di elasticità trasversale del terreno; <math>v = coefficiente di Poisson del terreno; L = lunghezza del palo; <math>r0 = raggio del palo; d = diametro del palo; E = modulo di elasticità longitudinale del terreno.

La verifica dei cedimenti differenziali è fatta come per le fondazioni dirette.

5 Origine e caratteristiche del software di calcolo

Per l'analisi delle sollecitazioni e per le verifiche geotecniche si è utilizzato il software Jasp[®] versione 7.0.37 (64 bit), realizzato dell'ing. Silvestro Giordano, registrato presso la SIAE il 25/09/2012 col n° 008544, distribuito da Ingegnerianet srl (CF 06536761213) attraverso il sito internet www.ingegnerianet.it

6 Affidabilità del software

Il sito internet www.ingegnerianet.it di distribuzione del software Jasp[®] contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, per i quali sono forniti i file di input necessari a riprodurre l'elaborazione.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -	R_′	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 83	20/07/2022	00

7 Bibliografia

- [1] R. Lancellotta, Goetecnica, IV Edizione, Zanichelli 2012.
- [2] M.Tanzini, Fondazioni, Dario Flaccovio Editore 2006
- [3] Lancellotta Costanzo Foti, Progettazione Geotecnica, Hoepli 2011
- [4] AA.VV. Guida all'Eurocodice 7, Thomas Telford 2005, EPC Editore 2012
- [5] AA.VV. Guida all'Eurocodice 8, Thomas Telford 2005, EPC Editore 2012
- [6] G. Riga, La liquefazione dei terreni, Dario Flaccovio Editore 2007
- [7] Lai Foti Rota, Input sismico e Stabilità Geotecnica dei Siti in Costruzione, IUSS Press 2009
- [8] C. Viggiani, Fondazioni, Hevelius Edizioni 1999
- [9] Diego Carlo Lo Presti, Manuale di Ingegneria Geotecnica, Pisa University Press 2015
- [10] H.G.Poulos E.H Davis, Pali, Dario Flaccovio Editore 1987

Tabulati di stampa

Archivi

Stratio	grafie		
N	Descrizione	falda [m]	Strati
1	Tipo A	80	3 strati: Htot =9.2

Str	Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =9.2)																				
N	Descrizione	Classe	Tipo	Classe 2 P	otenza	γ	φ'	φ'cv	Dr	IC	c'	cu	٧	NSPT	OCR	Δσ'ρ	Eed	CR	RR	CR/RR	FC
						•															
					[m]	[kN/m³]	[°]	[°]	[%]		[kPa]	[kPa]				[kPa]	[MPa]				[%]

						di documento: ne geotecnic	а		Codice documento:				
	SCS	510 S.R.L	•			generatore 3 -		R_*	15_EO_SC:	S10			
		dio Tecnico Ingelo Volp		COST DI REI REI DENC	TRUZIONE IMPIANTO 'ENERGIA I COLICA AVI IMMISSION ITUITO DA LATIVO CO RETE ELET DMINATO ". EL COMUN	olo sintetico: I ED ESERCIZ DI PRODUZIO ELETTRICA I ENTE POTEN NE PARI A 54 A 9 AEROGEN PARI A 6 MV LLEGAMENT TRICA – IMPI ALTAMURA" IE DI ALTAMO AMO IN COLI	ONE DA FONTE ZA IN MW IERATORI V CON O ALLA ANTO UBICATO JRA E	Foglio n. 84	200				
vegeta	ale limo	fine argillos	a 0	1 0	04.9E-324	0 0	0 0	0 1	0.001	0			
Depos 0	sito sabbioso li	limo fine	argillosa	4.2 16.7	29.09 29.09	50 0.4	5 46 0.3	34 30 1	594				
Ghiaio	oso sabbioso de	limo fine	argillosa	5 21.2	33.6 33.6	50 0.4	2 17.1 0.3	30 1	1814				
)pzion	ni verifica te	erreni											
	Descrizione	Portanza	Portanza	Scorr.	Scorr.	Liquef. ce	dimenti ced.	Burl. H comp	r. ced. Max	d/Δw k Ampl			
		Drenata	Non Dren. D	renato	Non Dren.	Ede	ometrici Burb	idge Bur-Bur [m] [m]	Sisma			
Opz	z.A	auto a	auto auto	o :	auto a	auto auto	auto	auto	auto a	iuto auto			
uoii a	li posa fond Descrizione	kw Trasv./	/kw kw Ass./kv	V	Stratigrafia	Opzioni	Verifiche	Prof. di H	l sbanc. H rip	porto γ riporto			
						Ter	reno	posa [m] la	ater. [m] Later	r. [m] Later.[kN/m			
Po	osa A		0.5	0.1 1) Tipo	Α	1) Opz.A		1	0	0			
	iche fond		irette										
Rettan(Fondazior	goli di fond	_											
	ne	lazione				Dimen	sione		P.ce	entro			
iano	ne Descrizi		Suolo Pos	a	В	Dimen L	sione Area calc.	Rotaz		entro y z			
'iano			Suolo Pos	a		L	Area calc.		х	y z			
		ione	Suolo Pos Posa A	a	B [m]			Rotaz [°]	х				
	Descrizi	ione	Posa A		[m]	[m]	Area calc. [m²]	[°]	x [m] [i	y z m] [m]			
	Descrizi	ione	Posa A		[m]	[m] 21.8	Area calc. [m²]	[°]	x [m] [i	y z m] [m]			
nvilup	Descrizi	ione	Posa A i di fondaz	zione	[m] 21.8 Mir	[m] 21.8	Area calc. [m²] 475.24	[°]	x [m] [u	y z m] [m] 0 -3			
nvilup Piano	Descrizi Plinto 1 Popo forze su	ione 1) I rettangol	Posa A i di fondaz b. Fx [N	zione	[m] 21.8 Mir	L [m] 21.8	Area calc. [m²] 475.24 n] Mz [Nm] F	[°] 0	x [m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm	y z m] [m] 0 -3			
n vilup Piano	Plinto 1 POPO FORZE SU Rettangolo Fond.	1) I rettangol Fam. Cml	Posa A i di fondaz b. Fx [N	zione	[m] 21.8 Mir Fz [N]	L [m] 21.8	Area calc. [m²] 475.24 n] Mz [Nm] F	[°] O Ex [N] Fy [N]	x [m] [u] 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3	y z m] [m] 0 -3 n] My [Nm] Mz [Nr sM 274M 236			
nvilup Piano Pli Pli	Plinto 1 Popo forze su Rettangolo Fond. into 1	1) I rettangol Fam. Cml 1) Fondamentale 4) Quasi Perm.	Posa A i di fondaz b. Fx [N	Eione Fy [N] 0	[m] 21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M	L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nn 15.3M 274 10.2M 183	Area calc. [m²] 475.24 n] Mz [Nm] F sum 238M 159M	[°] 0 Ex [N] Fy [N] 0 0 0 0	x [m] [u] 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3	y z m] [m] 0 -3 n] My [Nm] Mz [Nr sM 274M 238 158 183M 159			
nvilup Piano Pli Pli Suffis:	Plinto 1 Ppo forze su Rettangolo Fond. into 1 into 1 isi: f=10 ⁻¹⁵ ; p=1	Tam. Cml 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ ; 11 Edome	Posa A i di fondaz b. Fx [N] $\mu = 10^{-6}; m = 10$ trici	Fy [N] 0 0 0 0-3, k=10	[m] 21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 0 -33; M=106; (L [m] 21.8 m	Area calc. [m²] 475.24 n] Mz [Nm] F HM 238M SM 159M 2; P=10 ¹⁵ (Sis	[°] 0 Ex [N] Fy [N] 0 0 0 tema Internaz	x [m] [u] 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3 -26.6M 10.2 dionale di misura	y z m] [m] 0 -3 n] My [Nm] Mz [Nr 8M 274M 238 2M 183M 158 a)			
nvilup Piano Pli Pli Suffis:	Plinto 1 Ppo forze su Rettangolo Fond. into 1 into 1 isi: f=10 ⁻¹⁵ ; p=1	Fam. Cml 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. $10^{-12}; n=10^{-9};$	Posa A i di fondaz b. Fx [N] $\mu=10^{-6}; \ m=10$	Fy [N] 0 0 0 0-3, k=10	[m] 21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M	L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nn 15.3M 274 10.2M 183	Area calc. [m²] 475.24 n] Mz [Nm] F sum 238M 159M	[°] 0 Ex [N] Fy [N] 0 0 0 0	x [m] [n] 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3 -26.6M 10.2	y z m] [m] 0 -3 n] My [Nm] Mz [Nr sM 274M 238 158 183M 159			
nvilup Piano Pli Pli Suffis:	Plinto 1 Ppo forze su Rettangolo Fond. into 1 into 1 isi: f=10 ⁻¹⁵ ; p=1 he Cedimer	Tam. Cml 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ ; 11 Edome	Posa A i di fondaz b. Fx [N] $\mu = 10^{-6}; m = 10$ trici	Fy [N] 0 0 0 0-3, k=10	[m] 21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 0 -33; M=106; (L [m] 21.8 m	Area calc. [m²] 475.24 n] Mz [Nm] F HM 238M SM 159M 2; P=10 ¹⁵ (Sis	[°] 0 Ex [N] Fy [N] 0 0 0 tema Internaz	x [m] [u] 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3 -26.6M 10.2 dionale di misura	y z m] [m] 0 -3 n] My [Nm] Mz [Nr 8M 274M 238 2M 183M 158 a)			
nvilup Pli Pli Suffis: Verificl Plano	Plinto 1 Ppo forze su Rettangolo Fond. into 1 into 1 isi: f=10 ⁻¹⁵ ; p=1 he Cedimer	Tam. Cml 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ ; nti Edomentale	Posa A i di fondaz b. Fx [N] $\mu = 10^{-6}; m = 10$ trici	Fy [N] 0 0 0 0-3, k=10	[m] 21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 0 -33; M=106; (L [m] 21.8 $\frac{1}{2}$ Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274 $\frac{1}{2}$ 10.2M 183 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$	Area calc. [m²] 475.24 a) Mz [Nm] F aM 238M bM 159M 2; P=10 ¹⁵ (Sis	[°] 0 Fx [N] Fy [N] 0 0 0 tema Internaz σ'v0 [Pa]	x [m] [n] [n] 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3 -26.6M 10.2 cionale di misura WTot [mm]	y z m] [m] 0 -3 n] My [Nm] Mz [Nr sM 274M 236 eM 183M 159 a) k.Wink. [N/cm³]			
nvilup Pli Pli Suffis: /erificl	Plinto 1 Rettangolo Fond. into 1 into 1 isi: f=10 ⁻¹⁵ ; p=1 he Cedimer Re for Plinto 1	Tone 1) Fam. Cmi 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ ; hti Edomentatione	Posa A i di fondaz b. Fx [N] $\mu = 10^{-6}; \text{ m} = 10$ trici	Fy [N] 0 0 0 0 0-3; k=10	[m] 21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 0 -26.6M Cmb	L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nn 15.3M 274 10.2M 183 G=10°; T=10 ¹³ q [Pa] 55968	Area calc. [m²] 475.24 n] Mz [Nm] F MM 238M MM 159M 2; P=10 ¹⁵ (Sis	[°] 0 Fx [N] Fy [N] 0 0 0 ttema Internaz σ'v0 [Pa] 8 1670	x [m] [n] 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3 -26.6M 10.2 cionale di misura WTot [mm] 00 0.5764	y z m] [m] 0 -3 n] My [Nm] Mz [Nr sM 274M 236 eM 183M 159 a) k.Wink. [N/cm³] 4 97.098			
Piano Pli Suffis: VerificI Piano	Plinto 1 Popo forze su Rettangolo Fond. into 1 into 1 into 1 csi: f=10 ⁻¹⁵ ; p=1 he Cedimer Re for	Fam. Cml 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ ; nti Edomentatione	Posa A i di fondaz b. Fx [N] $\mu = 10^{-6}; \text{ m} = 10$ trici	Fy [N] 0 0 0 0 0-3; k=10	[m] 21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 0 -26.6M Cmb	L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nn 15.3M 274 10.2M 183 G=10°; T=10 ¹³ q [Pa]	Area calc. [m²] 475.24 a) Mz [Nm] F BM 238M BM 159M 2; P=10 ¹⁵ (Sis	[°] 0 Fx [N] Fy [N] 0 0 0 tema Internaz σ'v0 [Pa]	x [m] [n] 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3 -26.6M 10.2 cionale di misura WTot [mm] 00 0.5764	y z m] [m] 0 -3 n] My [Nm] Mz [Nr sM 274M 236 eM 183M 159 a) k.Wink. [N/cm³]			

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -	R_	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 85	20/07/2022	00

4 1 55968 39268 6.2232 1.8513 0.14998 95867 79 No 0 0

Parametri strati calcolo portanza

				St	rato Inferiore				Strato Superiore							
Piano	Rett.Fond	Drenato	fi'[°]	γ'	c'	cu	potenza	fi'[°]	γ'	c'	CU	potenza				
				[N/m³]	[Pa]	[Pa]	[m]		[N/m³]	[Pa]	[Pa]	[m]				
0	Plinto 1	Sì	29.09	19444	5000	46000	8.2	29.09	16700	5000	46000	1				
0	Plinto 1	No	29 09	19444	5000	46000	82	29 09	16700	5000	46000	1				

Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno

		Punto	o di applicazio	ne	Forza							Reagente		
Fam	Cmb	x [m]	y [m]	z [m]	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	x [m]	y [m]	Press.	
													[Pa]	
1	1	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k	
1	2	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k	
1	3	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k	
1	4	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k	
4	1	6.869	-0.385	0.000	0	0	-26.6M	0	0	159M	8.06	21.03	157k	

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^{3}$; $M=10^{6}$; $G=10^{9}$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza

1 10110 0 1 11	iito i itcuzi	One terrent	Poi voille	a portanza				
Fam	Cmb	B'[m]	L'[m]	B'/L'	V	НВ'	HL'	Hk
					[N]	[N]	[N]	[N]
					[IN]	[IN]	[IN]	[IN]
1	1	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0
1	2	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0
1	3	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0
1	4	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^3$; $M=10^6$; $G=10^9$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata

								Υ	1					С	:'					C			
Fam	Cmb	a	al im	vR	coef	σ	N	9	i	h	А	σ	N	9	i	h	А	σ	N	S	i	b	Ч
i aiii	OIIID	ч	q_iiii	11.	0001		.,	J		· ·	u		.,	J	•		ŭ	U	•	J			
		[Pa]	[Pa]		Verif	[Pa]						[Pa]						[Pa]					
1	1	2821	1.40M	2 30	0.463	56 6k	17./	0.016	1 000	1 000	1 000	5 001	20.1	1 1//	1 000	1 000	1 053	16 7k	16.6	1 135	1 000	1 000	1.050

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -	R_′	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 86	20/07/2022	00

2 282k 1.40M 2.30 0.463 56.6k 17.4 0.916 1.000 1.000 1.000 5.00k 28.1 1.144 1.000 1.000 1.053 16.7k 16.6 1.135 1.000 1.000 1.050 1.0

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^{3}$; $M=10^{6}$; $G=10^{9}$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Scorrimento

	-				
		Drer	nato	Non D	renato
Cmb	H [N]	Rd [N]	coefVerif	Rd [N]	coefVerif
1	0	17.4M	0.000	_	_
2	0	17.4M	0.000	-	-
3	0	17.4M	0.000	-	-
4	0	17.4M	0.000	_	-
	1 2 3	1 0 2 0 3 0	Cmb H [N] Rd [N] 1 0 17.4M 2 0 17.4M 3 0 17.4M	1 0 17.4M 0.000 2 0 17.4M 0.000 3 0 17.4M 0.000	Cmb H [N] Rd [N] coefVerif Rd [N] 1 0 17.4M 0.000 - 2 0 17.4M 0.000 - 3 0 17.4M 0.000 -

 $\textbf{Suffissi}: f=10^{-15}; \ p=10^{-12}; \ n=10^{-9}; \ \mu=10^{-6}; \ m=10^{-3}; \ k=10^{3}; \ M=10^{6}; \ G=10^{9}; \ T=10^{12}; \ P=10^{15} \ (Sistema\ Internazionale\ di\ misura)$

Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico

			••••	•					
z sup	spess.	σ'νο	σ'ρ	Δσν	Δσv/qN	σ'f	CR	RR	Δwi
[m]	[m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]		[Pa]			[m]
1	3.2	43420	43420	139854	0.99769	183274	0.00016831	2.1039E-5	0.00033685
4.2	2.5	96640	96640	134319	0.95821	230959	0.00012267	1.5334E-5	0.00011604
6.7	2.5	149640	149640	122731	0.87554	272371	0.00018994	2.3743E-5	0.00012352

Riassunto verifiche

Verifiche terreno di fondazione

			Co	pefficienti S	LU		Cedim	.Max			Cedim.[Diff.	
Piano	Fondazione	Port.	Port.	Scorr.	Scorrim.	Liquef.	W	Coef.	Δw	Dist.	Coef	Fondazione	Verif.
		Dren.	Non Dren.	Dren.	Non Dren.		[mm]		[mm]	[m]		Confronto	Tot.
0	Plinto 1 Sì	0.462		0.000		0.000	0.576	0.011	0.000	0.000	-	Plinto 1	

Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione

SLU									SLE		Totale
Deat	Deat	Dest	0	0	0	L'anna f	T-1	0 - 1	0 - 1 -1:	T.1	T.1
Port.	Port.	Port.	Scorr.	Scorr	Scorr.	Liquef.	Tot	Ced. max	Ced. diff.	Tot.	Tot.
Dren.	Non dren.	Tot	dren.	non dren.							
0.462		0.462	0.000		0.000	0.000	0.462	0.011		0.011	0.462

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 3 -				
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 87	20/07/2022	00	

Verifiche totali terreno di fondazione

SLU									SLE		Totale
Port.	Port.	Port.	Scorr.	Scorr	Scorr.	Liquef.	Tot	Ced. max	Ced. diff.	Tot.	Tot.
Dren.	Non dren.	Tot	dren.	non dren.							
Sì	-	Sì	Sì	-	Sì	Sì	Sì	Sì	-	Sì	Sì

Conclusioni

Al fine di fornire un giudizio motivato di accettabilità del risultato, come richiesto al § 10.2.1 NTC18, il geotecnico assevera di aver:

- Esaminato preliminarmente la documentazione a corredo del software Jasp[®] e di ritenerlo affidabile ed idoneo alla struttura in oggetto.
- Controllato accuratamente i tabulati di calcolo ed il listato degli errori numerici del solutore.
- Confrontato i risultati del software con quelli ottenuti con semplici calcoli di massima.

Pertanto ritiene che i risultati siano accettabili e che il presente progetto strutturale sia conforme alle Leggi n°1086/71 e n°64/74, e al DM 17/01/2018 (Norme tecniche per le costruzioni).

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -	15_EO_SC:	EO_SCS10		
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 88	20/07/2022	00	

5. Relazione geotecnica Aerogeneratore 4

1 Premessa

Nel seguente elaborato sono riportati i risultati delle verifiche geotecniche per fondazioni superficiali e profonde.

Verifiche fondazioni di tipo diretto o superficiali:

- Portanza drenata
- Portanza non drenata (terreno a grana fine saturo)
- Scorrimento drenato
- Scorrimento non drenato (terreno a grana fine saturo)
- Liquefazione terreno (sisma con sabbie sature)
- Cedimenti edometrici (per terreno a grana fine)
- Cedimenti con metodo di Burland e Burbidge (per sabbie)
- Cedimenti differenziali.

Verifiche fondazioni di tipo indiretto su pali:

- Portata verticale drenata e non drenata
- Portata orizzontale drenata e non drenata
- Cedimenti

Le verifiche geotecniche sono effettuate congiuntamente alla modellazione ed alle verifiche strutturali con il software per calcolo strutturali Jasp[®]. Maggiori informazioni riguardanti la modellazione ed il calcolo delle

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -	R_15_EO_SCS10			
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 89	Data 20/07/2022	Revisione 00	

sollecitazioni della struttura sono riportate nel documento "Relazione di calcolo" a cui si rimanda il lettore per eventuali informazioni non contenute nel seguente elaborato.

2 Riferimenti legislativi

L'analisi della struttura e le verifiche geotecniche sono condotte in accordo alle vigenti disposizioni legislative ed in particolare alle seguenti norme:

Decreto Ministeriale del 17/01/2018, "Norme tecniche per le costruzioni" (di seguito NTC18) e relative "Istruzioni per l'applicazione" ovvero Circolare ministeriale n°7 CSLLPP del 21/1/2019 (di seguito CNTC18).

Inoltre si sono tenute presenti le seguenti referenze tecniche:

Eurocodice 7: "Progettazione geotecnica Parte 1: Regole Generali" . Norma UNI EN 1997-1:2013 (di seguito EC7-1)

Eurocodice 8: "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica, Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici" Novembre 2004. Norma UNI EN 1998-5:2005 (di seguito EC8-5)

3 Modellazione fondazioni

La presente relazione riguarda i seguenti tipi di fondazioni:

- Plinto diretto: Fondazione superficiale costituita da un blocco in calcestruzzo armato a forma di parallelepipedo su cui è presente un solo pilastro e/o un solo carico concentrato.
- •Trave rovescia: Trave di fondazione con una dimensione prevalente che per le verifiche geotecniche è considerata di lunghezza infinita.
- •Platea: Fondazione superficiale con 2 dimensioni prevalenti su cui di norma sono presenti più pilastri e/o carichi distribuiti. In generale le platee di fondazione hanno forma qualsiasi, prevalentemente poligonale o circolare, ma per le verifiche geotecniche di seguito riportate esse sono approssimate con un rettangolo di area equivalente ed orientato lungo gli assi principali di inerzia della forma originale.
- •Palo: Elemento strutturale con sezione circolare con una dimensione prevalente, realizzato in opera o infisso nel terreno, in grado agli strati profondi del terreno i carichi trasmessi dalla sovrastruttura.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -	R_15_EO_SCS10			
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 90	20/07/2022	00	

4 Verifiche fondazioni dirette

4.1 Capacità portante

La verifica per carico limite dell'insieme fondazione-terreno è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3) con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

$$\gamma_{G1} = 1,3; \qquad \gamma_{G2} = 1,5; \qquad \gamma_{Qi} = 1,5; \qquad \gamma_{R} = 2,3; \qquad \gamma_{M} = 1,0;$$

La verifica della capacità portante viene fatta come indicato nell'appendice D dell'EC7-1 secondo il procedimento di seguito riportato.

4.1.1 Simboli utilizzati

q = pressione litostatica totale di progetto agente sul piano di posa della fondazione;

q' = pressione litostatica efficace di progetto agente sul piano di posa della fondazione;

B '= larghezza efficace di progetto della fondazione;

L'=lunghezza efficace di progetto della fondazione;

 $A' = B' \cdot L' =$ area della fondazione efficace di progetto (per le travi: $A' = B' \cdot 1m$);

 $B'/L' \le 1$ (per le travi: B'/L' = 0);

D = profondità del piano di posa;

 γ '= peso di volume efficace di progetto del terreno al di sotto del piano di posa della fondazione;

V = carico verticale;

H = carico orizzontale;

 θ = angolo che H forma con la direzione L';

R = Resistenza totale fondazione:

cu = Resistenza a taglio non drenata;

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -				
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 91	20/07/2022	00	

c' = Coesione intercetta in termini di tensioni efficaci;

 φ' = Angolo di resistenza a taglio in termini di tensioni efficaci;

 φ' cv = angolo di resistenza a taglio allo stato critico;

4.1.2 Condizioni non drenate

Il carico limite di progetto si calcola con la formula:

$$R/A' = \sigma c \cdot c u \cdot s c \cdot i c + \sigma q$$

dove:

$$\sigma c = (2 + \pi)$$

$$\sigma q = q$$

$$sc = 1 + 0.2 (B'/L')$$

$$ic = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} [1 - H/(A'cu)]^{0.5} con H \le A'cu$$

$$dc = 1 + 0.4 atg(D/B')$$

dove il coefficiente di profondità de è calcolato come indicato da Meyerof (1951), Skempton (1951) e Hansen (1961) ([1] §8.17.2 pag 437; [2] §4.2 pag 117)

Nel caso di suoli con più strati, la resistenza portante è calcolata utilizzando i parametri dello strato meno resistente. La ricerca dello strato meno resistente viene fatta tenendo presente che il meccanismo di collasso non drenato interessa un zona con profondità 0,707 B ([1] §8.13.1 pag 412, fig.8.51).

4.1.3 Condizioni drenate

Il carico limite di progetto è calcolato con la formula:

$$R/A' = \sigma c \cdot Nc \cdot dc \cdot sc \cdot ic + \sigma q \cdot Nq \cdot dq \cdot sq \cdot iq + \sigma \gamma \cdot N\gamma \cdot d\gamma \cdot s\gamma \cdot i\gamma$$

con:

$$\sigma c = c'$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -	R_15_EO_SCS10			
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 92	20/07/2022	00	

$$\sigma q = q'$$

$$\sigma \gamma = 0.5 \gamma' B'$$

e con i valori di progetto dei fattori adimensionali per

- la resistenza portante:

$$Nq = e^{\pi tan\phi'} tan^2 (45^{\circ} \phi'/2)$$

$$Nc = (Nq - 1) ctg \varphi'$$

$$N\gamma = 2(Nq - 1) tg \varphi'$$

- la forma della fondazione:

$$sq = 1 + (B'/L') sen \varphi'$$

$$sc = (sq \cdot Nq - 1)/(Nq - 1)$$

$$s\gamma = 1 - 0.3(B'/L')$$

- la profondità della fondazione (Hansen 1970, Vesic 1973) ([1] §8.17.1 pag 435; [2] §4.2 pag 117)

$$dq = 1 + 2 tg \phi' (1 - \sin \phi')^2 atg(D/B')$$

$$dc = dq - (1-dq)/(Nc \cdot tg\phi')$$

$$d\gamma = 1$$

- l'inclinazione del carico, dovuta ad un carico orizzontale H che forma un angolo θ con la direzione di L',

$$iq = [1 - H/(V + A'c'cot\phi')]^m;$$

$$ic = iq - (1 - iq)/(Nc \cdot tan\varphi');$$

$$i\gamma = [1 - H/(V + A' \cdot c' \cdot cot\phi')]^{m+1};$$

dove:

$$m = m_L \cos^2\!\theta + m_B \sin^2\!\theta$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -	R_15_EO_SCS10			
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 93	Data 20/07/2022	Revisione 00	

$$m_B = = [2 + (B'/L')] / [1 + (B'/L')]$$

$$m_L = [2 \cdot B'/L' + 1] / [1 + (B'/L')]$$

Nel caso di suoli con più strati, la resistenza portante è calcolata utilizzando i parametri dello strato meno resistente. La ricerca dello strato meno resistente è fatto tenendo presente che il meccanismo di collasso drenato interessa un zona con profondità $z = B \sin \psi \exp(\psi t g \phi') \cos \psi = 45^{\circ} + \phi'/2$ ([1] §8.13.1 pag 430, fig.8.59).

4.1.4 Verifica sismica SLV

Gli effetti sismici sono tenuti in conto come indicato nei §7.11.5.3 NTC18 e §C7.11.5.3.1 CNTC08.

In particolare è possibile portare in conto l'effetto inerziale nel calcolo delle forze orizzontali H trasmesse dalla fondazione al terreno ed impiegando *le formule comunemente adottate per calcolare i coefficienti correttivi del carico limite in funzione dell'inclinazione, rispetto alla verticale, del carico agente sul piano di posa*. In tal caso si utilizza un coefficiente γ_R più basso, pari a 1,8, come indicato nelle NTC18. In alternativa si può non tenere conto dell'effetto inerziale delle forze orizzontali ed usare $\gamma_R = 2,3$.

L'effetto cinematico, che *modifica il solo coefficiente N* γ , è tenuto in conto con l'introduzione di una forza orizzontale aggiuntiva Hk = k_{vk} ·V, con k_{vk} calcolato come indicato nel §7.11.3.5.2 NTC18

4.2 Scorrimento

La verifica per scorrimento sul piano di posa è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3) con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

$$\gamma_{G1} = 1.0$$
; $\gamma_{G2} = 1.0$; $\gamma_{Oi} = 1.0$; $\gamma_{R} = 1.1$; $\gamma_{M} = 1.0$

Il calcolo della resistenza allo scorrimento è fatto come indicato nel §6.5.3 EC7-1:2005 ([4] §3.3.2 pag 96; [3] §2.5 pag 41)

La verifica a scorrimento in condizione drenate è fatta con la relazione:

$$H \leq R_d$$

Dove,

in condizioni drenate: $R_d = V \cdot tg \, \phi' \cdot cv / \gamma_R$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -				
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 94	20/07/2022	00	

in condizioni non drenate: $R_d = A \cdot cu/\gamma_R$

con A = area della fondazione.

4.3 Liquefazione

La verifica della liquefazione è effettuata come indicato nel §7.11.3.4.2 delle NTC18.

Il calcolo della magnitudo attesa è effettuato utilizzando, a partire dal reticolo di riferimento fornito nell'allegato B delle NTC08, la formula di Sabetta e Pugliese (1996)

$$Log(A) = -1,562 + 0,306 M - Log[(de^2 + 5,8^2)^{1/2}]$$
 (1)

dove:

A è l'accelerazione massima attesa in g

de è la distanza dall'epicentro del sisma in km.

Per il calcolo della magnitudo attesa per il sito in oggetto si è proceduto in questo modo:

- a) Tutti i 10751 punti del reticolo sono ipotizzati (a vantaggio di sicurezza) come possibili epicentri di sisma e utilizzando la formula inversa della (1) sono calcolate tutte le magnitudo di tutti i possibili terremoti in Italia.
- b) Riutilizzando la (1) a partire da ogni punto del reticolo viene calcolata l'accelerazione nel sito in oggetto, scartando i terremoti che producono un'accelerazione attesa minore di 0,1g.
- c) Tra tutti i terremoti non scartati si prende quello con magnitudo massima.

In questo modo, per il sito in esame si trova il sisma che ha magnitudo massima e che produce un'accelerazione maggiore di 0,1g, ovvero che può produrre la liquefazione del terreno.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -	R_15_EO_SCS10			
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 95	20/07/2022	00	

Nel caso di sabbie in cui sia obbligatorio effettuare la verifica a liquefazione si procede, per ogni strato di terreno posto al di sotto potenzialmente liquefacibile, con la verifica: ([2] §11.5.4 pag 401; [5] §10.4.1.5 pag 295; [6]; [7] §6.2.4 pag 243):

 $CSR*1,25/CRR \leq 1$

dove:

CSR = rapporto di sforzo ciclico;

CRR = rapporto di resistenza ciclica;

1,25 è il coefficiente di sicurezza definito dall'EC8-5 §4.1.4 (11) ;

con:

 $CSR = 0.65 \cdot rd \cdot (a_{max}/g) \cdot (\sigma_f/\sigma_f');$

 a_{max} = accelerazione orizzontale di picco SLV del sito in oggetto = S·ag = Ss·St·ag (NTC18§3.2.3.2);

 $\sigma_f = \Delta \sigma_V + \sigma_{V0} = \text{pressione verticale totale};$

 $\sigma'_f = \Delta \sigma_V + \sigma'_{V0} =$ pressione efficace verticale totale;

 $\Delta\sigma_V$ è l'incremento di tensione prodotto dal carico netto, calcolato trascurando la rigidezza della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

 σ'_{V0} è la tensione geostatica efficace

 σ_{V0} è la tensione geostatica totale

g è l'accelerazione di gravità;

rd = 1 - 0.00765 z, per $z \le 9.15 m$;

rd = 1,174 - 0,00267 z, per 9.15 m < $z \le 23$ m;

z è la profondità in metri dal piano di campagna;

 $CRR = CRR_{7,5} \cdot C_M;$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -	R_′	R_15_EO_SCS10 Foglio Data Revisio	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 96	Data 20/07/2022	Revisione 00

dove: $CRR_{7.5} = (a+c\cdot x+e\cdot x^2+g\cdot x^3)/(1+b\cdot x+d\cdot x^2+f\cdot x^3+h\cdot x^4)$;

con: a=0.048; b=-0.1248; c=-0.004721; d=0.009578; e=0.0006136; f=-0.0003285; g=-0.00001673; h=0.000003741 (Blake 1996);

$$x = (N_1)_{60CS} = \alpha + \beta N_{60} C_N C_P$$
;

$$C_N = (100 \text{kPa/}\sigma'_{v0})^{1/2} \text{ con } 0.5 \le C_N \le 2;$$

$$C_P = 0.75 \text{ per } z \le 3m \text{ e } C_P = 1 \text{ per } z > 3m;$$

 $N_{60} = N_{SPT}$ normalizzato tenendo conto del rapporto energetico del maglio, diametro del foro, lunghezza delle aste e metodo di campionamento (vedere relazione geologica)

 α e β dipendono dal contenuto di fino FC, con:

- FC \leq 5%: $\alpha = 0.0$; $\beta = 1.0$:
- 5% < FC \leq 35%: $\alpha = \exp[1.76 (190/FC^2)]$; $\beta = 0.99 + FC^{1.5}/1000$;
- 35% < FC: α = 5,0; β = 1,2;

C_M dipende dalla magnitudo attesa M ed è ricavabile dalla Tabella B.1 EC8-5:2005, che approssimeremo per semplicità ed a vantaggio di sicurezza con le seguenti funzioni:

$$C_M = (M/7.5)^{-3.3}$$
 per M \le 7.5 [Andrus e Stokoe. (1997)]

$$C_M = (M/7.5)^{-6.47} \text{ per } M > 7.5$$

4.4 Cedimenti

La verifica dei cedimenti è fatta con la disuguaglianza:

$$w \le 50 mm$$

come indicato al §H(4) EC7-1:2005

Il calcolo dei cedimenti è effettuato con:

• il metodo edometrico per i terreni a grana fine (limi ed argille)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -	R_	R_15_EO_SCS10	
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 97	20/07/2022	00

• il metodo Burland e Burbidge per i terreni a grana grossa (sabbie e ghiaie)

4.4.1 Metodo edometrico

Per terreni a grana fine i cedimenti sono calcolati utilizzando il metodo edometrico, proposto da Terzaghi (1943) ([1] §8.7.2 pag 437; [2] §5.3.2 pag.164; [3] §2.7 pag.58)

Il terreno al di sotto della fondazioni viene diviso in n strati e per ogni strato si calcola il cedimento con la formula

$$\Delta Hi = Hi [RR \cdot Log(k_R) + CR \cdot Log(k_C)]$$

con:

$$k_R = min\{\sigma'_P; \sigma'_f\}/\sigma'_{V0}$$

$$k_C = \max\{\sigma'_f/\sigma'_P; 1\}$$

 σ'_{V0} è la tensione geostatica efficace

 $\Delta\sigma_V$ è l'incremento di tensione prodotto dal carico netto, calcolato trascurando la rigidezza della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

$$\sigma'_f = \Delta \sigma_V + \sigma'_{V0}$$

 σ'_P = tensione di preconsolidazione = OCR $\cdot \sigma'_{V0}$

dove:

OCR è il rapporto di preconsolidazione.

Hi = spessore dello strato

RR = rapporto di ricompressione

CR = rapporto di compressione

Per terreni normalconsolidati $CR = 2.3 \cdot \sigma'_{V0}/Eed$

Per terreni sovraconsolidati RR = $2.3 \cdot \sigma'_{V0}$ /Eed

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -	R_	R_15_EO_SCS10	
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 98	20/07/2022	00

dove Eed è il modulo edometrico.

Il cedimento totale è calcolato sommando il cedimento di tutti gli strati in cui $\Delta \sigma'_{Z} > 0,10 \sigma'_{V0}$

$$w = \sum \Delta Hi$$

Per argille tenere il metodo fornisce il cedimento di consolidazione ed il cedimento immediato è pari al 10% del cedimento di consolidazione

Per fondazioni su argille consistenti il metodo fornisce il cedimento totale.

4.4.2 Metodo di Burland e Burbidge

Il calcolo dei cedimenti per i terreni a grana grossa è effettuato con il metodo di Burland e Burbidge (1985) ([1] §8.8.1 pag 482; [2] §5.2.1 pag.153; [3] §2.8.1 pag.62)

Il cedimento totale è calcolato con la formula:

$$w = fs \cdot fh \cdot ft \cdot Z_I \cdot Ic \cdot (\sigma_A/3 + \sigma_B)$$

dove:

$$\sigma_A = \min\{\sigma'_P; q'\}$$

$$\sigma_B = \max\{q' - \sigma_A; 0\}$$

 σ'_P = tensione di preconsolidazione al piano di posa della fondazione = OCR · σ'_{V0}

$$Z_I = B^{0,7} = profondità di influenza$$

B è la larghezza minima della fondazione espressa in metri

L è la lunghezza della fondazione (L>B)

q' è il carico unitario efficace della fondazione espresso in kPa

 $Ic = 1.7/Nc^{1.4} = indice di compressibilità$

Nc è la media aritmetica dei valori Ncs per la profondità H

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -	R_15_EO_SCS10		S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 99	20/07/2022	00

con:

H = spessore dello strato comprimibile, se $H < Z_I$

 $H = Z_I$, se N_{SPT} è costante o cresce con la profondità

H = 2B, se N_{SPT} decresce con la profondità

e, per ogni strato:

 $Ncs = 15 + (N_{SPT}-15)/2$ per sabbie fini o limose sotto falda con $N_{SPT}>15$

 $Ncs = N_{SPT}$ negli altri casi.

inoltre:

$$fh = k_{HZ}/(2 - k_{HZ})$$

$$k_{HZ} = min\{1, H/Z_I\}$$

$$fs = [1,25 / (1+0,25 \cdot B/L)]^2$$

ft = $(1,3 + 0,2 \cdot \text{Log}(t/3))$ con t la vita nominale della struttura in anni.

4.4.3 Cedimenti Differenziali

La verifica dei cedimenti differenziali è fatta con la disuguaglianza:

$$\Delta w/$$
 $L \le 1/500$

come indicato al §H(2) EC7-1:2005

dove:

L è la distanza tra i due punti di calcolo dei cedimenti considerati

 $\Delta w = |w1 - w2| = differenza tra i cedimenti considerati$

In caso di trave di fondazione il calcolo è effettuato tra i cedimenti calcolati nelle sezioni iniziale, centrale e finale della trave.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -	R_′	R_15_EO_SCS10	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 100	Data 20/07/2022	Revisione 00

Nel caso di plinti il calcolo viene effettuato tra ogni coppia di plinti.

Nel caso di platea il cedimento differenziale è calcolato tra il punto centrale e lo spigolo della platea considerando la platea di rigidezza nulla e posta su un semispazio elastico. In questo caso: $\Delta w = w/2$.

5 Verifiche fondazioni su pali

5.1 Capacità portante

La verifica per carico limite dell'insieme fondazione-terreno è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3).

I coefficienti parziali di sicurezza, come riportato nei tabulati di stampa, utilizzati sono quelli indicati nel §6.4.3.1.1 NTC18 per le resistenze dei pali soggetti a carichi assiali, e quelli indicati nel §6.4.3.1.1 NTC18 per le resistenze dei pali soggetti a carichi trasversali.

Le resistenze assiale e trasversale sono calcolate con i metodi analitici di seguito indicati.

5.2Carichi verticali

Il carico limite ultimo di un singolo palo per carichi verticali è ottenuto dall'equazione: ([3] §3.1.2 pag 74 e [8] §13.1.2 pag.372)

$$Q_{lim} = P + S = \frac{\pi d^2}{4} p + \pi d \int_0^L s(z) dz - W$$

dove:

Q lim = carico limite ultimo assiale del palo singolo

P = Resistenza alla punta

S = Resistenza laterale

p = resistenza unitaria alla punta del palo singolo

s(z) = resistenza unitaria laterale alla generica profondità

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -			S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 101	20/07/2022	00

W = peso proprio del palo

La resistenza unitaria alla punta (p) può essere espressa mediante l'equazione :

$$p = N_q \cdot \sigma'_{v,z=L} + N_c c$$

Che in condizioni non drenate si trasforma nell'equazione

$$p = R_c (\sigma_{v,z=L} + N_c c_u)$$

con:

Nc = 9;

Rc = 1 per argille non consistenti (indice di consistenza ≥ 0.5) ([2] §8.5.1.1 pag 377; [7] §3.1.2.1 pag.76)

 $Rc = (D + 0.5)/(2D) \le 1$ per pali infissi in argille consistenti

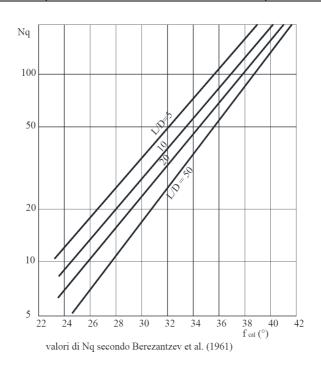
 $Rc = (D+1)/(2D+1) \le 1$ per pali trivellati in argille consistenti

In condizioni drenate la resistenza unitaria alla punta (p) è calcolata con l'equazione:

$$p = N_q \cdot \sigma'_{v,z=L}$$

Per il calcolo del coefficiente Nq si utilizzano le curve di Berezantev et al 1961 ([8] §13.1 pag 377; [9] §2.4.2 pag.242)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -	R_′	R_15_EO_SCS10	
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 102	20/07/2022	00



dove:

 $\phi_{cal} = (\phi + 40^{\circ})/2$ per pali battuti

 $\varphi_{cal} = \varphi - 3^{\circ}$ per pali trivellati

Come abbiamo visto in precedenza la resistenza laterale S è pari a:

$$S = \pi d \int_0^L s(z) dz$$

In condizioni drenate la resistenza laterale unitaria s(z) può essere valutata mediante il cosiddetto "metodo β ". Con questo metodo:

$$s(z) = \mu K \sigma'_{\nu z}$$

dove $\beta = \mu K e \mu = tg(\delta)$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -	R_15_EO_SCS10		S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 103	20/07/2022	00

Di seguito sono riportati i valori utilizzati da Jasp per terreni a grana grossa ([8] §13.1 pag 378; [9] §2.4.2 pag.246)

_	K		
Tipo di palo	(Dr = 25%)	(Dr = 75%)	μ
Batt. tubo acc. chiuso	1,0	2,0	0,36
Batt. Cls prefabbricato	1,0	2,0	tan(0,75 φ')
Batt. Cls gettato	1,0	3,0	tan(φ')
Trivellato	0,5	0,4	tan(φ')
Elica continua	0,7	0,9	tan(φ')

Valori di K e μ per il metodo β in terreni a grana grossa

Per densità relative intermedie Jasp calcola il valore interpolato.

Per pali infissi in terreni a grana fine ([10] §3.2.2.2 pag 24; [7] §3.1.2.1 pag.76)

$$K = K0 = (1-\sin\varphi') \cdot OCR^{0.5}$$

per pali trivellati in argille consistenti (indice di consistenza ≥0,5)

$$K = (1 + K_0)/2$$

In condizioni non drenate, quindi in caso di argille e limi saturi, la resistenza unitaria laterale è valutata con il cosiddetto "metodo α ". In questo caso:

$$s(z) = \alpha \cdot c_u$$

dove c_u è la coesione non drenata.

I valori di α possono essere calcolati come indicato di seguito:([8] §13.1 pag 378; [9] §2.4.2 pag.247)

Pali trivellati : $\alpha = 0.7-0.008(c_u - 25)$, con $0.35 \le \alpha \le 0.7$

Pali battuti: $\alpha = 1-0.011(c_u - 25)$, con $0.5 \le \alpha \le 1$

oppure: ([3] §3.1.2.1 pag 75;)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -	R_15_EO_SCS10		S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 104	20/07/2022	00

Pali trivellati (Stas e Kulhavy 1984) : $\alpha = 0.21 + 0.26 \cdot p_a/c_u$

dove p_a = pressione atmosferica

Pali infissi (Olson e Dennis 1982):

$$\alpha = \frac{0.5}{\left(\frac{c_u}{\sigma_{v0}^I}\right)^{0.25}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma_{v0}^I} \ge 1$$

$$\alpha = \frac{0.5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0.5}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \le 1$$

5.3 Carichi orizzontali

Il calcolo del carico limite orizzontale di pali verticali è riportato nel §13.2 di [8] e nel cap.7 di [10]. I risultati presentati nei riferimenti bibliografici sono calcolati ipotizzando un palo in un terreno omogeneo.

Jasp esegue un'analisi numerica per determinare il carico limite orizzontale di pali in terreni con diversi strati.

Per terreni coesivi la resistenza limite del terreno è posta pari a ([10] fig.7.4 pag 152; [8] fig.13.22 pag.399)

$$p_u = 9 c_u$$
 per profondità $\geq 3D$,

$$p_u = c_u [2 + 7z/(3d)]$$
 per $z < 3D$

per i terreni non coesivi ([10] §7.2.2.2 pag 155; [9] fig.9.3.2.1 pag.265)

$$p_u = 3\sigma'_v Kp$$

dove:

 σ'_{v} = tensione litostatica verticale efficace

$$Kp = (1+sen \varphi')/(1-sen \varphi')$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -	R_	15_EO_SC:	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 105	20/07/2022	00

 φ' = angolo di attrito interno (in tensioni efficaci)

5.3.1 Pali non vincolati o a testa libera

La rottura di un palo libero di ruotare in testa può avvenire secondo due meccanismi:

- a) a palo corto: senza la formazione di cerniere plastiche nel palo
- b) a palo lungo, con la formazione di una cerniera plastica nel palo ad una profondità da calcolare.

Jasp calcola, per ogni coppia Hu-M, il meccanismo di rottura e l'eventuale posizione della cerniera plastica, tenendo conto della resistenza limite dei diversi strati attraversati dal palo.

5.3.1 Pali vincolati o a testa incastrata

La rottura di un palo non libero di ruotare in testa può avvenire secondo tre meccanismi:

- a) a palo corto: senza la formazione di cerniere plastiche nel palo
- b) a palo medio, con la formazione di una sola cerniera plastica in testa al palo.
- c) a palo lungo, con la formazione una cerniera plastica in testa al palo e di un'altra cerniera ad una profondità da calcolare.

Jasp calcola, per ogni forza orizzontale Hu, il meccanismo di rottura e l'eventuale posizione della cerniere plastiche, tenendo conto della resistenza limite dei diversi strati attraversati dal palo.

5.4 Gruppi di pali

Secondo EC7 §7.6.2.1punti (3) e (4):

Per i pali in gruppo si devono prendere in considerazione due meccanismi di rottura:

- rottura per compressione dei singoli pali;
- rottura per compressione dei pali e del terreno compreso tra essi, considerati come un blocco unico.

Si deve assumere come resistenza di progetto il minore tra i valori dovuti a questi due meccanismi.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -	R_	15_EO_SC	S10
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 106	Data 20/07/2022	Revisione 00

La resistenza a compressione del gruppo di pali, considerato come un blocco unico, si può calcolare considerando il blocco come un palo singolo di grande diametro.

Per il calcolo della resistenza al carico verticale di un gruppo di pali Jasp calcola la resistenza del palo equivalente di grande diametro utilizzando i metodi di calcolo delle fondazioni diretta se L/D < 5 e i metodi di calcolo delle fondazioni profonde se L/D > 5

Jasp, oltre che alla procedura proposta dell'EC7, calcola il fattore E di efficienza della palificata come di seguito riportato ([8] §13.1.7 pag 396 e [10] §3.3.1.1 pag.32)

E = 1 per terreni incoerenti

Per un gruppo di m file con n pali ad interasse x in terreni incoerenti

$$E = 1 - \frac{\operatorname{arctg}(d/x)}{\pi/2} \frac{(m-1)n + (n-1)m}{mn}$$

Nel caso in cui i pali attraversano strati coerenti e incoerenti Jasp calcola il fattore E come la media pesata dei valori sopra indicati, utilizzando come peso la portata degli strati.

Il coefficiente di gruppo in caso di carichi orizzontali è posto, forfettariamente a 0,5, se non indicato diversamente nel tabulato di stampa.([8] §13.2.6 pag 416 e [10] §7.3.1 pag.164)

5.5 Cedimenti

Per il calcolo dei cedimenti sotto i carichi di esercizio Jasp divide il palo in tanti conci elementari ed utilizza il metodo degli elementi finiti per il calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti del palo.

La costante di elasticità laterale verticale del terreno è calcolata con la formula:

$$kv = 2\pi G/\zeta \text{ [N/m}^2\text{]}$$
 ([8] §14.1.2 pag 424)

dove
$$\zeta = \ln(2.5*(1-v)*L/r0)$$
 ([8] §14.1.2 pag 425)

La costante di elasticità della punta del palo è

$$kp = 2dE/(1-v^2) [N/m]$$
 ([8] §14.1.2 pag 424)

SCS10 S.R.L.	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
	- Aerogeneratore 4 -	R_15_EO_SCS10		
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 107	20/07/2022	00

La costante elastica orizzontale è calcolata con le formule ([8] §14.4.1 pagg 466, 487,479 e [10] §8.2.3 pag.180)

 $kh = 1.67 \cdot E/d$ per terreni a grana fine sovraconsolidati.

 $kh = nh \cdot z/d$, dove $nh = 0.5 \cdot 106 [N/m^3]$ per terreni a grana fine normalconsolidati. ([8] §14.4.1 pag 479)

 $kh = (A\gamma'/1,35) \cdot z/d$ per terreni a grana grossa.

dove:

γ' è il peso dell'unità di volume efficace.

A = 200 per terreni sciolti (Dr = 25%); A = 600 per terreni medi (Dr = 50%) ; A = 1500 per terreni sensi (Dr = 75%)

Nelle formule di questo paragrafo: G = modulo di elasticità trasversale del terreno; <math>v = coefficiente di Poisson del terreno; L = lunghezza del palo; <math>r0 = raggio del palo; d = diametro del palo; E = modulo di elasticità longitudinale del terreno.

La verifica dei cedimenti differenziali è fatta come per le fondazioni dirette.

5 Origine e caratteristiche del software di calcolo

Per l'analisi delle sollecitazioni e per le verifiche geotecniche si è utilizzato il software Jasp[®] versione 7.0.37 (64 bit), realizzato dell'ing. Silvestro Giordano, registrato presso la SIAE il 25/09/2012 col n° 008544, distribuito da Ingegnerianet srl (CF 06536761213) attraverso il sito internet www.ingegnerianet.it

6 Affidabilità del software

Il sito internet www.ingegnerianet.it di distribuzione del software Jasp[®] contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, per i quali sono forniti i file di input necessari a riprodurre l'elaborazione.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -	R_′	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 108	20/07/2022	00

7 Bibliografia

- [1] R. Lancellotta, Goetecnica, IV Edizione, Zanichelli 2012.
- [2] M.Tanzini, Fondazioni, Dario Flaccovio Editore 2006
- [3] Lancellotta Costanzo Foti, Progettazione Geotecnica, Hoepli 2011
- [4] AA.VV. Guida all'Eurocodice 7, Thomas Telford 2005, EPC Editore 2012
- [5] AA.VV. Guida all'Eurocodice 8, Thomas Telford 2005, EPC Editore 2012
- [6] G. Riga, La liquefazione dei terreni, Dario Flaccovio Editore 2007
- [7] Lai Foti Rota, Input sismico e Stabilità Geotecnica dei Siti in Costruzione, IUSS Press 2009
- [8] C. Viggiani, Fondazioni, Hevelius Edizioni 1999
- [9] Diego Carlo Lo Presti, Manuale di Ingegneria Geotecnica, Pisa University Press 2015
- [10] H.G.Poulos E.H Davis, Pali, Dario Flaccovio Editore 1987

Tabulati di stampa

Archivi

Stratig	_j rafie		
N	Descrizione	falda [m]	Strati
1	Tipo A	80	4 strati: Htot =10.1

S	trati stratig	rafia ⁻	Тіро .	A (4 st	rati: F	ltot =	10.1)													
Ν	Descrizione	Classe	Tipo	Classe 2	Potenza	٧	φ'	φ'cv	Dr	IC	c'	cu	٧	NSPT	OCR	Δσ'ρ	Eed	CR	RR	CR/RR	FC
					[m]	[kN/m³]	[°]	[°]	[%]		[kPa]	[kPa]				[kPa]	[MPa]				[%]

						-	di documento: ne geoteo				Codice docume	ento:		
	<i>5C51</i>	0 S.R.L	•			- Aerog	enerator	e 4 -		R	_15_EO_\$	SCS10		
		Tecnico gelo Volp		C	IN ELL'E EO IN COSTIT DI P RELA RE	RUZIONE RUZIONE NERGIA IL LICA AVE MMISSION FUITO DA POTENZA TIVO COI TE ELETI MATO "A L COMUN SANTERA	DI PRODE ELETTRICENTE POT E PARI A 9 AEROG PARI A 6 LLEGAMI FRICA – III ALTAMUR E DI ALTA	UZIONE CA DA F FENZA I 54 MW GENERA MW CO ENTO A MPIANT RA" UBI	EONTE IN ATORI ON LLA OCATO	Foglio n. 109	Data 20/07/20:		devisione 00	
vegetale	limo fin	e argillos	a 0	1	0	04.9E-324	0	0 0	0	0 1	0.001		0	
Deposito sal	obioso li lin	no fine	argillosa	1.6	16.8 2	9.44 29.44	50 0.	4 5	58 0.	34 30 1	12	21		
Ghiaioso sal	obioso de lin	no fine	argillosa	1.2	22 3	8.17 38.17	50 0.	4 2	17.1 0.	28 30 1	59	94		
Ghiaioso sal	obioso de lin	no fine	argillosa	7.3	16.7 2	9.34 29.34	50 0.	4 2	55 0.	34 30 1	18	314		
	erifica terr	eni Portanza	Portanza	Scorr		Scorr.	Liquef.	cedime	nti ced.	Burl. H cor	npr. ced. Max	x d/Δ·	w k A	١mp
		Drenata	Non Dren.	Drena	to N	on Dren.		Edomet	rici Burt	oidge Bur-Bu	ır [m] [m]		S	ism
Opz.A	а	uto a	auto	auto	aut	to a	uto	auto	auto	auto	auto	auto	auto	0
	osa fonda: Jescrizione	zioni kw Trasv.	/kw kw Ass	s./kw	St	ratigrafia	Op:	zioni Verif	iche	Prof. di	H sbanc.	H riporto	v ripo	orto
						•		T						
								Terreno		posa [m]	later. [m]	Later. [m]	Later.[l	kN/r
Posa A			0.5	0.1 1) Tipo A		1) Opz.			posa [m]	later. [m]		Later.[l	kN/r
	e fonda	zioni d		0.1 1) Tipo A		1) Opz.							kN/r
erifich ettangol	e fonda			0.1 1) Tipo A		, ,	A						kN/r
erifich ettangol	i di fondaz	zione	lirette) Tipo A		Di	A mension		1	0	P.centro	0	
erifich ettangol		zione) Tipo A	В	Di L	A mension Are	ea calc.	1 Rotaz	0 x	P.centro y	2	Z
erifich ettangol ndazione	i di fondaz Descrizion	zione e	Suolo I) Tipo A	B [m]	Di L [m]	A mension Are	ea calc. [m²]	1 Rotaz [°]	0 x [m]	P.centro y [m]	, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	z n]
erifich ettangoli ondazione ano	Descrizion	e 1)	Suolo I Posa A	Posa		В	Di L	A mension Are	ea calc.	1 Rotaz [°]	0 x	P.centro y [m]	2	z n]
erifich ettangoli endazione ano Plir viluppo	Descrizion nto 1 forze su r	ettango	Suolo I Posa A li di fond	Posa lazio r	ne	B [m] 21.8	Di L [m] 21	Mension Are	ea calc. [m²] 475.24	Rotaz [°]	x [m] O	P.centro y [m]		z n] -
erifich ettangoli ondazione ano Plir viluppo ano Retta	Descrizion nto 1 forze su r	e 1) ettango	Suolo I Posa A li di fond b. F	Posa lazior x [N]	l e	B [m] 21.8 Min	Di L [m] 21 Mx [Nm] M	Mension Are	ea calc. [m²] 475.24 Mz [Nm]	1 Rotaz [°] 0	0 x [m] 0 Max	P.centro y [m]	2 [n 0	z -:
erifich ettangoli ondazione ano Plir viluppo ano Rettat	Descrizion nto 1 forze su rengolo Fond.	e 1) ettangol Fam. Cm	Suolo I Posa A li di fond b. F	Posa lazior x [N]	Fy [N]	B [m] 21.8 Min Fz [N] -34.3M	Di L [m] 21 Mx [Nm] M	Mension Are 8	ea calc. [m²] 475.24 Mz [Nm]	1 Rotaz [°] 0 Fx [N] Fy [N]	0 x [m] 0 Max Fz [N] M 0 -34.3M	P.centro y [m] fx [Nm] My 15.3M	(n O 274M	z n] -: lz [N 23
erifich ettangoli ondazione ano Plir viluppo ano Rettar Plinto 1	Descrizion nto 1 forze su re ngolo Fond.	e 1) ettangol Fam. Cm Fondamentale Quasi Perm.	Suolo I Posa A li di fond b. F	Posa lazior x [N] 0	Fy [N] 0	B [m] 21.8 Min Fz [N] -34.3M -26.6M	Di L [m] 21 Mx [Nm] M 15.3M	Are	ea calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] 238M 159M	1 Rotaz [°] 0 Fx [N] Fy [N 0 0	0 x [m] 0 Max] Fz [N] M 0 -34.3M 0 -26.6M	P.centro y [m] fx [Nm] M 15.3M 10.2M	2 [n 0	z n] -: lz [N 23
erifich ettangoli endazione ano Plir viluppo no Rettan Plinto 1 Plinto 1 Suffissi: f	Descrizion to 1 forze su r ngolo Fond. 1) 4) =10 ⁻¹⁵ ; p=10 ⁻¹⁵	e 1) ettangol Fam. Cm Fondamentale Quasi Perm. 112; n=10 ⁻⁹ ;	Suolo I Posa A li di fond b. F $\mu=10^{-6}$; m	Posa lazior x [N] 0	Fy [N] 0	B [m] 21.8 Min Fz [N] -34.3M -26.6M	Di L [m] 21 Mx [Nm] M 15.3M	Are	ea calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] 238M 159M	1 Rotaz [°] 0 Fx [N] Fy [N 0 0	0 x [m] 0 Max Fz [N] M 0 -34.3M	P.centro y [m] fx [Nm] M 15.3M 10.2M	(n O 274M	z n] -: lz [N 23
erifich ettangoli ondazione ano Plir viluppo ano Rettan Plinto 1 Plinto 1 Suffissi: f	Descrizion to 1 forze su r ngolo Fond. 1) 4) =10 ⁻¹⁵ ; p=10 ⁻¹⁵ Cedimenti	e 1) ettangol Fam. Cm Fondamentale Quasi Perm. 112; n=10 ⁻⁹ ;	Suolo I Posa A li di fond b. F $\mu=10^{-6}$; m	Posa lazior x [N] 0	Fy [N] 0 0 k=10 ³ ;	B [m] 21.8 Min Fz [N] -34.3M -26.6M	Di L [m] 21 Mx [Nm] M 15.3M	Are	ea calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] 238M 159M	1 Rotaz [°] 0 Fx [N] Fy [N 0 0	0 x [m] 0 Max] Fz [N] M 0 -34.3M 0 -26.6M	P.centro y [m] fx [Nm] My 15.3M 10.2M nisura)	(n O 274M	Z
erifich ettangoli ondazione ano Plir viluppo ano Rettal Plinto 1 Plinto 1 Suffissi: fe	Descrizion to 1 forze su r ngolo Fond. 1) 4) =10 ⁻¹⁵ ; p=10 ⁻¹⁵ Cedimenti Retta	ettangol Fam. Cm Fondamentale Quasi Perm. 112; n=10 ⁻⁹ ; Edome	Suolo I Posa A li di fond b. F $\mu=10^{-6}$; m	Posa lazior x [N] 0 0 =10 ⁻³ ; 1	Fy [N] 0 0 k=10 ³ ;	B [m] 21.8 Min Fz [N] -34.3M -26.6M M=10 ⁶ ; C	Di L [m] 21 Mx [Nm] M 15.3M 10.2M $G=10^9$; $T=$	Are	ea calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] 238M 159M =10 ¹⁵ (Sis	Rotaz [°] 0 Fx [N] Fy [N 0 0 stema Intern	x [m] 0 Max 0 -34.3M 0 -26.6M azionale di m	P.centro y [m] tx [Nm] My 15.3M 10.2M stisura)	[n O v [Nm] M 274M 183M	z m] lz [N 23

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -	R_′	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data 20/07/2022	Revisione 00
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 110	20/07/2022	50

Fam	Cmb	q	qN	Magnitudo	CM	agS	pa	Δ falda	sabbia	LPI	coef.
		[Pa]	[Pa]			[g]	[Pa]	[m]			verif.
4	1	55968	39168	6.2232	1.8513	0.14998	95867	79	No	0	0

Parametri strati calcolo portanza

				Str	ato Inferiore				Str	ato Superiore		
Piano	Rett.Fond	Drenato	fi'[°]	γ'	c'	cu	potenza	fi'[°]	γ'	C'	cu	potenza
				[N/m³]	[Pa]	[Pa]	[m]		[N/m³]	[Pa]	[Pa]	[m]
0	Plinto 1	Sì	29.44	17405	5000	58000	9.1	29.44	16800	5000	58000	1
0	Plinto 1	No	29.44	17405	5000	58000	9.1	29.44	16800	5000	58000	1

Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno

		Punto	o di applicazio	ne			For	za			Reage	ente	
Fam	Cmb	x [m]	y [m]	z [m]	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	x [m]	y [m]	Press.
													[Pa]
1	1	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	2	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	3	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	4	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
4	1	6.869	-0.385	0.000	0	0	-26.6M	0	0	159M	8.06	21.03	157k

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^{3}$; $M=10^{6}$; $G=10^{9}$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza

				a portanza	o per verinc	One terrent	IIIO I NEAZI	i iaiio o i ii
Hk	HL'	НВ'	V	B'/L'	L'[m]	B'[m]	Cmb	Fam
[N]	[N]	[N]	[N]					
	_	_						_
0	0	0	34.3M	0.278	20.906	5.822	1	1
0	0	0	34 3M	0 278	20 906	5 822	2	1
O	O	o o	34.5101	0.270	20.500	5.022	-	1
0	0	0	34.3M	0.278	20.906	5.822	3	1
0	0	0	34.3M	0.278	20.906	5.822	4	1
					20.906			1 1 1

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^3$; $M=10^6$; $G=10^9$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata

γ c'

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -	R_′	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio n. 111	Data 20/07/2022	Revisione 00
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	11. 111	20/01/2022	

Fam	Cmb	q	qLim	γR	coef	σ	N	S	i	b	d	σ	N	S	i	b	d	σ	N	S	i	b	d
		[Pa]	[Pa]		Verif	[Pa]						[Pa]						[Pa]					
1	1	282k	1.37M	2.30	0.472	50.7k	18.4	0.916	1.000	1.000	1.000	5.00k	28.8	1.145	1.000	1.000	1.053	16.8k	17.3	1.137	1.000	1.000	1.050
1	2	282k	1.37M	2.30	0.472	50.7k	18.4	0.916	1.000	1.000	1.000	5.00k	28.8	1.145	1.000	1.000	1.053	16.8k	17.3	1.137	1.000	1.000	1.050
1	3	282k	1.37M	2.30	0.472	50.7k	18.4	0.916	1.000	1.000	1.000	5.00k	28.8	1.145	1.000	1.000	1.053	16.8k	17.3	1.137	1.000	1.000	1.050
1	4	282k	1.37M	2.30	0.472	50.7k	18.4	0.916	1.000	1.000	1.000	5.00k	28.8	1.145	1.000	1.000	1.053	16.8k	17.3	1.137	1.000	1.000	1.050

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^3$; $M=10^6$; $G=10^9$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Scorrimento

			Drer	nato	Non D	renato
Fam	Cmb	H [N]	Rd [N]	coefVerif	Rd [N]	coefVerif
1	1	0	17.6M	0.000	-	-
1	2	0	17.6M	0.000	-	-
1	3	0	17.6M	0.000	-	-
1	4	0	17.6M	0.000	-	-

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^3$; $M=10^6$; $G=10^9$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico

Plano U Pl	into i Calcoid) ceaimenti	edometrica)					
z sup	spess.	σ'νο	σ'р	Δσν	Δσv/qN	σ'f	CR	RR	Δwi
[m]	[m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]		[Pa]			[m]
1	0.6	21840	21840	140075	0.99998	161915	0.00041561	5.1951E-5	0.00021696
1.6	1.2	40080	40080	139939	0.99901	180019	0.00015537	1.9421E-5	0.00012163
2.8	3.65	83758	83758	136703	0.97591	220461	0.00010632	1.329E-5	0.0001631
C 45	2.55	444740	444740	420700	0.0000	265505	0.00040050	2 20545 5	0.00017674
6.45	3.65	144712	144712	120793	0.86233	265505	0.00018369	2.2961E-5	0.00017671

Riassunto verifiche

Verifiche terreno di fondazione

			•										
			Co	pefficienti S	LU		Cedim	.Max			Cedim.l	Diff.	
D:		5 /	5 /	•	0 1			• •		D: /			\
Piano	Fondazione	Port.	Port.	Scorr.	Scorrim.	Liquef.	W	Coef.	Δw	Dist.	Coef	Fondazione	Verif.
		Dren.	Non Dren.	Dren.	Non Dren.		[mm]		[mm]	[m]		Confronto	Tot.
0	Plinto 1	0.472		0.000)	0.000	0.678	0.013	0.000	0.000	-	Plinto 1	

Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 4 -	R_	S10	
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data 20/07/2022	Revisione 00
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 112	20/01/2022	

SLU									SLE		Totale
Port.	Port.	Port.	Scorr.	Scorr	Scorr.	Liquef.	Tot	Ced. max	Ced. diff.	Tot.	Tot.
Dren.	Non dren.	Tot	dren.	non dren.							
0.472		0.472	0.000		0.000	0.000	0.472	0.013		0.013	0.472
Verifiche totali terreno di fondazione											
SLU									SLE		Totale
Port.	Port.	Port.	Scorr.	Scorr	Scorr.	Liquef.	Tot	Ced. max	Ced. diff.	Tot.	Tot.
Dren.	Non dren.	Tot	dren.	non dren.							
Sì	_	Sì	Sì	-	Sì	Sì	Sì	Sì	-	Sì	Sì

Conclusioni

Al fine di fornire un giudizio motivato di accettabilità del risultato, come richiesto al § 10.2.1 NTC18, il geotecnico assevera di aver:

- ullet Esaminato preliminarmente la documentazione a corredo del software $Jasp^{\mathbb{R}}$ e di ritenerlo affidabile ed idoneo alla struttura in oggetto.
- Controllato accuratamente i tabulati di calcolo ed il listato degli errori numerici del solutore.
- Confrontato i risultati del software con quelli ottenuti con semplici calcoli di massima.

Pertanto ritiene che i risultati siano accettabili e che il presente progetto strutturale sia conforme alle Leggi n°1086/71 e n°64/74, e al DM 17/01/2018 (Norme tecniche per le costruzioni).

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 - R_15_EO_5			CS10	
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 113	20/07/2022	00	

6. Relazione geotecnica Aerogeneratore 5

1 Premessa

Nel seguente elaborato sono riportati i risultati delle verifiche geotecniche per fondazioni superficiali e profonde.

Verifiche fondazioni di tipo diretto o superficiali:

- Portanza drenata
- Portanza non drenata (terreno a grana fine saturo)
- Scorrimento drenato
- Scorrimento non drenato (terreno a grana fine saturo)
- Liquefazione terreno (sisma con sabbie sature)
- Cedimenti edometrici (per terreno a grana fine)
- Cedimenti con metodo di Burland e Burbidge (per sabbie)
- Cedimenti differenziali.

Verifiche fondazioni di tipo indiretto su pali:

- Portata verticale drenata e non drenata
- Portata orizzontale drenata e non drenata
- Cedimenti

Le verifiche geotecniche sono effettuate congiuntamente alla modellazione ed alle verifiche strutturali con il software per calcolo strutturali Jasp[®]. Maggiori informazioni riguardanti la modellazione ed il calcolo delle

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 - R_15_EO_S			CS10	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 114	Data 20/07/2022	Revisione 00	

sollecitazioni della struttura sono riportate nel documento "Relazione di calcolo" a cui si rimanda il lettore per eventuali informazioni non contenute nel seguente elaborato.

2 Riferimenti legislativi

L'analisi della struttura e le verifiche geotecniche sono condotte in accordo alle vigenti disposizioni legislative ed in particolare alle seguenti norme:

Decreto Ministeriale del 17/01/2018, "Norme tecniche per le costruzioni" (di seguito NTC18) e relative "Istruzioni per l'applicazione" ovvero Circolare ministeriale n°7 CSLLPP del 21/1/2019 (di seguito CNTC18).

Inoltre si sono tenute presenti le seguenti referenze tecniche:

Eurocodice 7: "Progettazione geotecnica Parte 1: Regole Generali" . Norma UNI EN 1997-1:2013 (di seguito EC7-1)

Eurocodice 8: "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica, Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici" Novembre 2004. Norma UNI EN 1998-5:2005 (di seguito EC8-5)

3 Modellazione fondazioni

La presente relazione riguarda i seguenti tipi di fondazioni:

- **Plinto diretto**: Fondazione superficiale costituita da un blocco in calcestruzzo armato a forma di parallelepipedo su cui è presente un solo pilastro e/o un solo carico concentrato.
- •Trave rovescia: Trave di fondazione con una dimensione prevalente che per le verifiche geotecniche è considerata di lunghezza infinita.
- •Platea: Fondazione superficiale con 2 dimensioni prevalenti su cui di norma sono presenti più pilastri e/o carichi distribuiti. In generale le platee di fondazione hanno forma qualsiasi, prevalentemente poligonale o circolare, ma per le verifiche geotecniche di seguito riportate esse sono approssimate con un rettangolo di area equivalente ed orientato lungo gli assi principali di inerzia della forma originale.
- •Palo: Elemento strutturale con sezione circolare con una dimensione prevalente, realizzato in opera o infisso nel terreno, in grado agli strati profondi del terreno i carichi trasmessi dalla sovrastruttura.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 -	R_15_EO_SCS10		
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 115	20/07/2022	00

4 Verifiche fondazioni dirette

4.1 Capacità portante

La verifica per carico limite dell'insieme fondazione-terreno è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3) con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

$$\gamma_{G1} = 1,3; \qquad \gamma_{G2} = 1,5; \qquad \gamma_{Qi} = 1,5; \qquad \gamma_{R} = 2,3; \qquad \gamma_{M} = 1,0;$$

La verifica della capacità portante viene fatta come indicato nell'appendice D dell'EC7-1 secondo il procedimento di seguito riportato.

4.1.1 Simboli utilizzati

q = pressione litostatica totale di progetto agente sul piano di posa della fondazione;

q' = pressione litostatica efficace di progetto agente sul piano di posa della fondazione;

B '= larghezza efficace di progetto della fondazione;

L'=lunghezza efficace di progetto della fondazione;

 $A' = B' \cdot L' =$ area della fondazione efficace di progetto (per le travi: $A' = B' \cdot 1m$);

 $B'/L' \le 1$ (per le travi: B'/L' = 0);

D = profondità del piano di posa;

 γ '= peso di volume efficace di progetto del terreno al di sotto del piano di posa della fondazione;

V = carico verticale;

H = carico orizzontale;

 θ = angolo che H forma con la direzione L';

R = Resistenza totale fondazione:

cu = Resistenza a taglio non drenata;

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 -	R_15_EO_SCS10			
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 116	Data 20/07/2022	Revisione 00	

c' = Coesione intercetta in termini di tensioni efficaci;

 φ' = Angolo di resistenza a taglio in termini di tensioni efficaci;

 φ' cv = angolo di resistenza a taglio allo stato critico;

4.1.2 Condizioni non drenate

Il carico limite di progetto si calcola con la formula:

$$R/A' = \sigma c \cdot c u \cdot s c \cdot i c + \sigma q$$

dove:

$$\sigma c = (2 + \pi)$$

$$\sigma q = q$$

$$sc = 1 + 0.2 (B'/L')$$

$$ic = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} [1 - H/(A'cu)]^{0,5} con H \le A'cu$$

$$dc = 1 + 0.4 atg(D/B')$$

dove il coefficiente di profondità de è calcolato come indicato da Meyerof (1951), Skempton (1951) e Hansen (1961) ([1] §8.17.2 pag 437; [2] §4.2 pag 117)

Nel caso di suoli con più strati, la resistenza portante è calcolata utilizzando i parametri dello strato meno resistente. La ricerca dello strato meno resistente viene fatta tenendo presente che il meccanismo di collasso non drenato interessa un zona con profondità 0,707 B ([1] §8.13.1 pag 412, fig.8.51).

4.1.3 Condizioni drenate

Il carico limite di progetto è calcolato con la formula:

$$R/A' = \sigma c \cdot Nc \cdot dc \cdot sc \cdot ic + \sigma q \cdot Nq \cdot dq \cdot sq \cdot iq + \sigma \gamma \cdot N\gamma \cdot d\gamma \cdot s\gamma \cdot i\gamma$$

con:

$$\sigma c = c'$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 -				
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 117	20/07/2022	00	

$$\sigma q = q'$$

$$\sigma \gamma = 0.5 \gamma' B'$$

e con i valori di progetto dei fattori adimensionali per

- la resistenza portante:

$$Nq = e^{\pi tan\phi'} tan^2 (45^{\circ} \phi'/2)$$

$$Nc = (Nq - 1) ctg \varphi'$$

$$N\gamma = 2(Nq - 1) tg \varphi'$$

- la forma della fondazione:

$$sq = 1 + (B'/L') sen \varphi'$$

$$sc = (sq \cdot Nq - 1)/(Nq - 1)$$

$$s\gamma = 1 - 0.3(B'/L')$$

- la profondità della fondazione (Hansen 1970, Vesic 1973) ([1] §8.17.1 pag 435; [2] §4.2 pag 117)

$$dq = 1 + 2 tg \phi' (1 - \sin \phi')^2 atg(D/B')$$

$$dc = dq - (1-dq)/(Nc \cdot tg\phi')$$

$$d\gamma = 1$$

- l'inclinazione del carico, dovuta ad un carico orizzontale H che forma un angolo θ con la direzione di L',

$$iq = [1 - H/(V + A'c'cot\phi')]^m;$$

$$ic = iq - (1 - iq)/(Nc \cdot tan\varphi');$$

$$i\gamma = [1 - H/(V + A' \cdot c' \cdot cot\phi')]^{m+1};$$

dove:

$$m = m_L \cos^2\!\theta + m_B \sin^2\!\theta$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 -	R_15_EO_SCS10			
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 118	Data 20/07/2022	Revisione 00	

$$m_B = = [2 + (B'/L')] / [1 + (B'/L')]$$

$$m_L = [2 \cdot B'/L' + 1] / [1 + (B'/L')]$$

Nel caso di suoli con più strati, la resistenza portante è calcolata utilizzando i parametri dello strato meno resistente. La ricerca dello strato meno resistente è fatto tenendo presente che il meccanismo di collasso drenato interessa un zona con profondità $z = B \sin \psi \exp(\psi t g \phi') \cos \psi = 45^{\circ} + \phi'/2$ ([1] §8.13.1 pag 430, fig.8.59).

4.1.4 Verifica sismica SLV

Gli effetti sismici sono tenuti in conto come indicato nei §7.11.5.3 NTC18 e §C7.11.5.3.1 CNTC08.

In particolare è possibile portare in conto l'effetto inerziale nel calcolo delle forze orizzontali H trasmesse dalla fondazione al terreno ed impiegando *le formule comunemente adottate per calcolare i coefficienti correttivi del carico limite in funzione dell'inclinazione, rispetto alla verticale, del carico agente sul piano di posa.* In tal caso si utilizza un coefficiente γ_R più basso, pari a 1,8, come indicato nelle NTC18. In alternativa si può non tenere conto dell'effetto inerziale delle forze orizzontali ed usare $\gamma_R = 2,3$.

L'effetto cinematico, che *modifica il solo coefficiente N* γ , è tenuto in conto con l'introduzione di una forza orizzontale aggiuntiva Hk = k_{vk} ·V, con k_{vk} calcolato come indicato nel §7.11.3.5.2 NTC18

4.2 Scorrimento

La verifica per scorrimento sul piano di posa è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3) con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

$$\gamma_{G1} = 1.0$$
; $\gamma_{G2} = 1.0$; $\gamma_{Oi} = 1.0$; $\gamma_{R} = 1.1$; $\gamma_{M} = 1.0$

Il calcolo della resistenza allo scorrimento è fatto come indicato nel §6.5.3 EC7-1:2005 ([4] §3.3.2 pag 96; [3] §2.5 pag 41)

La verifica a scorrimento in condizione drenate è fatta con la relazione:

$$H \leq R_d$$

Dove,

in condizioni drenate: $R_d = V \cdot tg \, \phi' \cdot cv / \gamma_R$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 -	R_15_EO_SCS10		
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 119	20/07/2022	00

in condizioni non drenate: $R_d = A \cdot cu/\gamma_R$

con A = area della fondazione.

4.3 Liquefazione

La verifica della liquefazione è effettuata come indicato nel §7.11.3.4.2 delle NTC18.

Il calcolo della magnitudo attesa è effettuato utilizzando, a partire dal reticolo di riferimento fornito nell'allegato B delle NTC08, la formula di Sabetta e Pugliese (1996)

$$Log(A) = -1,562 + 0,306 M - Log[(de^2 + 5,8^2)^{1/2}]$$
 (1)

dove:

A è l'accelerazione massima attesa in g

de è la distanza dall'epicentro del sisma in km.

Per il calcolo della magnitudo attesa per il sito in oggetto si è proceduto in questo modo:

- a) Tutti i 10751 punti del reticolo sono ipotizzati (a vantaggio di sicurezza) come possibili epicentri di sisma e utilizzando la formula inversa della (1) sono calcolate tutte le magnitudo di tutti i possibili terremoti in Italia.
- b) Riutilizzando la (1) a partire da ogni punto del reticolo viene calcolata l'accelerazione nel sito in oggetto, scartando i terremoti che producono un'accelerazione attesa minore di 0,1g.
- c) Tra tutti i terremoti non scartati si prende quello con magnitudo massima.

In questo modo, per il sito in esame si trova il sisma che ha magnitudo massima e che produce un'accelerazione maggiore di 0,1g, ovvero che può produrre la liquefazione del terreno.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 -	R_15_EO_SCS10		
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 120	20/07/2022	00

Nel caso di sabbie in cui sia obbligatorio effettuare la verifica a liquefazione si procede, per ogni strato di terreno posto al di sotto potenzialmente liquefacibile, con la verifica: ([2] §11.5.4 pag 401; [5] §10.4.1.5 pag 295; [6]; [7] §6.2.4 pag 243):

 $CSR*1,25/CRR \le 1$

dove:

CSR = rapporto di sforzo ciclico;

CRR = rapporto di resistenza ciclica;

1,25 è il coefficiente di sicurezza definito dall'EC8-5 §4.1.4 (11) ;

con:

 $CSR = 0.65 \cdot rd \cdot (a_{max}/g) \cdot (\sigma_f/\sigma_f');$

 a_{max} = accelerazione orizzontale di picco SLV del sito in oggetto = S·ag = Ss·St·ag (NTC18§3.2.3.2);

 $\sigma_f = \Delta \sigma_V + \sigma_{V0} = \text{pressione verticale totale};$

 $\sigma'_f = \Delta \sigma_V + \sigma'_{V0} =$ pressione efficace verticale totale;

 $\Delta\sigma_V$ è l'incremento di tensione prodotto dal carico netto, calcolato trascurando la rigidezza della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

 σ'_{V0} è la tensione geostatica efficace

 σ_{V0} è la tensione geostatica totale

g è l'accelerazione di gravità;

rd = 1 - 0.00765 z, per $z \le 9.15 m$;

rd = 1,174 - 0,00267 z, per 9.15 m < $z \le 23$ m;

z è la profondità in metri dal piano di campagna;

 $CRR = CRR_{7,5} \cdot C_M;$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 -	R_	R_15_EO_SCS10	
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE	Foglio n. 121	Data 20/07/2022	Revisione 00
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	12-1		

dove: $CRR_{7,5} = (a+c\cdot x+e\cdot x^2+g\cdot x^3)/(1+b\cdot x+d\cdot x^2+f\cdot x^3+h\cdot x^4)$;

con: a=0.048; b=-0.1248; c=-0.004721; d=0.009578; e=0.0006136; f=-0.0003285; g=-0.00001673; h=0.000003741 (Blake 1996);

$$x = (N_1)_{60CS} = \alpha + \beta N_{60} C_N C_P;$$

$$C_N = (100 \text{kPa/}\sigma'_{v0})^{1/2} \text{ con } 0.5 \le C_N \le 2;$$

$$C_P = 0.75 \text{ per } z \le 3m \text{ e } C_P = 1 \text{ per } z > 3m;$$

 $N_{60} = N_{SPT}$ normalizzato tenendo conto del rapporto energetico del maglio, diametro del foro, lunghezza delle aste e metodo di campionamento (vedere relazione geologica)

 α e β dipendono dal contenuto di fino FC, con:

- FC \leq 5%: $\alpha = 0.0$; $\beta = 1.0$:
- 5% < FC \leq 35%: $\alpha = \exp[1.76 (190/FC^2)]$; $\beta = 0.99 + FC^{1.5}/1000$;
- 35% < FC: α = 5,0; β = 1,2;

C_M dipende dalla magnitudo attesa M ed è ricavabile dalla Tabella B.1 EC8-5:2005, che approssimeremo per semplicità ed a vantaggio di sicurezza con le seguenti funzioni:

$$C_M = (M/7.5)^{-3.3}$$
 per M \le 7.5 [Andrus e Stokoe. (1997)]

$$C_M = (M/7.5)^{-6.47} \text{ per } M > 7.5$$

4.4 Cedimenti

La verifica dei cedimenti è fatta con la disuguaglianza:

$$w \le 50mm$$

come indicato al §H(4) EC7-1:2005

Il calcolo dei cedimenti è effettuato con:

• il metodo edometrico per i terreni a grana fine (limi ed argille)

	Tipo di documento: Codice docu Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 -	R_	R_15_EO_SCS10	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 122	Data 20/07/2022	Revisione 00

• il metodo Burland e Burbidge per i terreni a grana grossa (sabbie e ghiaie)

4.4.1 Metodo edometrico

Per terreni a grana fine i cedimenti sono calcolati utilizzando il metodo edometrico, proposto da Terzaghi (1943) ([1] §8.7.2 pag 437; [2] §5.3.2 pag.164; [3] §2.7 pag.58)

Il terreno al di sotto della fondazioni viene diviso in n strati e per ogni strato si calcola il cedimento con la formula

$$\Delta Hi = Hi [RR \cdot Log(k_R) + CR \cdot Log(k_C)]$$

con:

$$k_R = min\{\sigma'_P; \sigma'_f\}/\sigma'_{V0}$$

$$k_C = \max\{\sigma'_f/\sigma'_P; 1\}$$

 σ'_{V0} è la tensione geostatica efficace

 $\Delta\sigma_V$ è l'incremento di tensione prodotto dal carico netto, calcolato trascurando la rigidezza della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

$$\sigma'_f = \Delta \sigma_V + \sigma'_{V0}$$

 σ'_P = tensione di preconsolidazione = OCR · σ'_{V0}

dove:

OCR è il rapporto di preconsolidazione.

Hi = spessore dello strato

RR = rapporto di ricompressione

CR = rapporto di compressione

Per terreni normalconsolidati $CR = 2.3 \cdot \sigma'_{V0}/Eed$

Per terreni sovraconsolidati RR = $2.3 \cdot \sigma'_{V0}$ /Eed

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	·		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 -	R_	R_15_EO_SCS10	
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE	Foglio n. 123	Data 20/07/2022	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO			
	DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE			

dove Eed è il modulo edometrico.

Il cedimento totale è calcolato sommando il cedimento di tutti gli strati in cui $\Delta \sigma'_{Z} > 0,10 \sigma'_{V0}$

$$w = \sum \Delta Hi$$

Per argille tenere il metodo fornisce il cedimento di consolidazione ed il cedimento immediato è pari al 10% del cedimento di consolidazione

Per fondazioni su argille consistenti il metodo fornisce il cedimento totale.

4.4.2 Metodo di Burland e Burbidge

Il calcolo dei cedimenti per i terreni a grana grossa è effettuato con il metodo di Burland e Burbidge (1985) ([1] §8.8.1 pag 482; [2] §5.2.1 pag.153; [3] §2.8.1 pag.62)

Il cedimento totale è calcolato con la formula:

$$w = fs \cdot fh \cdot ft \cdot Z_I \cdot Ic \cdot (\sigma_A/3 + \sigma_B)$$

dove:

$$\sigma_A = \min\{\sigma'_P; q'\}$$

$$\sigma_B = \max\{q' - \sigma_A; 0\}$$

 σ'_P = tensione di preconsolidazione al piano di posa della fondazione = OCR · σ'_{V0}

$$Z_I = B^{0,7} = profondità di influenza$$

B è la larghezza minima della fondazione espressa in metri

L è la lunghezza della fondazione (L>B)

q' è il carico unitario efficace della fondazione espresso in kPa

 $Ic = 1.7/Nc^{1.4} = indice di compressibilità$

Nc è la media aritmetica dei valori Ncs per la profondità H

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 -	R_15_EO_SCS10		S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 124	20/07/2022	00

con:

H = spessore dello strato comprimibile, se $H < Z_I$

 $H = Z_I$, se N_{SPT} è costante o cresce con la profondità

H = 2B, se N_{SPT} decresce con la profondità

e, per ogni strato:

 $Ncs = 15 + (N_{SPT}-15)/2$ per sabbie fini o limose sotto falda con $N_{SPT} > 15$

 $Ncs = N_{SPT}$ negli altri casi.

inoltre:

$$fh = k_{HZ}/(2 - k_{HZ})$$

$$k_{HZ} = min\{1, H/Z_I\}$$

$$fs = [1,25 / (1+0,25 \cdot B/L)]^2$$

ft = $(1,3 + 0,2 \cdot \text{Log}(t/3))$ con t la vita nominale della struttura in anni.

4.4.3 Cedimenti Differenziali

La verifica dei cedimenti differenziali è fatta con la disuguaglianza:

$$\Delta w/$$
 $L \leq 1/500$

come indicato al §H(2) EC7-1:2005

dove:

L è la distanza tra i due punti di calcolo dei cedimenti considerati

 $\Delta w = |w1 - w2| = differenza tra i cedimenti considerati$

In caso di trave di fondazione il calcolo è effettuato tra i cedimenti calcolati nelle sezioni iniziale, centrale e finale della trave.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 -	R_′	R_15_EO_SCS10	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 125	Data 20/07/2022	Revisione 00

Nel caso di plinti il calcolo viene effettuato tra ogni coppia di plinti.

Nel caso di platea il cedimento differenziale è calcolato tra il punto centrale e lo spigolo della platea considerando la platea di rigidezza nulla e posta su un semispazio elastico. In questo caso: $\Delta w = w/2$.

5 Verifiche fondazioni su pali

5.1 Capacità portante

La verifica per carico limite dell'insieme fondazione-terreno è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3).

I coefficienti parziali di sicurezza, come riportato nei tabulati di stampa, utilizzati sono quelli indicati nel §6.4.3.1.1 NTC18 per le resistenze dei pali soggetti a carichi assiali, e quelli indicati nel §6.4.3.1.1 NTC18 per le resistenze dei pali soggetti a carichi trasversali.

Le resistenze assiale e trasversale sono calcolate con i metodi analitici di seguito indicati.

5.2Carichi verticali

Il carico limite ultimo di un singolo palo per carichi verticali è ottenuto dall'equazione: ([3] §3.1.2 pag 74 e [8] §13.1.2 pag.372)

$$Q_{lim} = P + S = \frac{\pi d^2}{4} p + \pi d \int_0^L s(z) dz - W$$

dove:

Q lim = carico limite ultimo assiale del palo singolo

P = Resistenza alla punta

S = Resistenza laterale

p = resistenza unitaria alla punta del palo singolo

s(z) = resistenza unitaria laterale alla generica profondità

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 -	R_*	R_15_EO_SCS10	
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 126	20/07/2022	00

W = peso proprio del palo

La resistenza unitaria alla punta (p) può essere espressa mediante l'equazione :

$$p = N_q \cdot \sigma'_{v,z=L} + N_c c$$

Che in condizioni non drenate si trasforma nell'equazione

$$p = R_c (\sigma_{v,z=L} + N_c c_u)$$

con:

Nc = 9;

Rc = 1 per argille non consistenti (indice di consistenza ≥ 0.5) ([2] §8.5.1.1 pag 377; [7] §3.1.2.1 pag.76)

 $Rc = (D + 0.5)/(2D) \le 1$ per pali infissi in argille consistenti

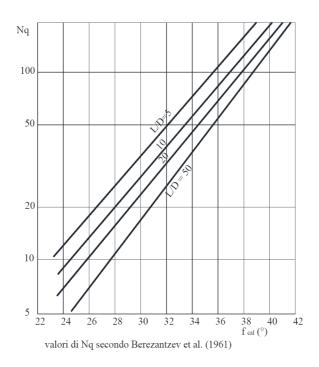
 $Rc = (D+1)/(2D+1) \le 1$ per pali trivellati in argille consistenti

In condizioni drenate la resistenza unitaria alla punta (p) è calcolata con l'equazione:

$$p = N_q \cdot \sigma'_{v,z=L}$$

Per il calcolo del coefficiente Nq si utilizzano le curve di Berezantev et al 1961 ([8] §13.1 pag 377; [9] §2.4.2 pag.242)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 -	R_′	R_15_EO_SCS10	
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 127	20/07/2022	00



dove:

 $\phi_{cal} = (\phi + 40^{\circ})/2$ per pali battuti

 $\varphi_{cal} = \varphi - 3^{\circ}$ per pali trivellati

Come abbiamo visto in precedenza la resistenza laterale S è pari a:

$$S = \pi d \int_0^L s(z) dz$$

In condizioni drenate la resistenza laterale unitaria s(z) può essere valutata mediante il cosiddetto "metodo β ". Con questo metodo:

$$s(z) = \mu K \sigma'_{\nu z}$$

dove $\beta = \mu K e \mu = tg(\delta)$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 -	R_15_EO_SCS10		S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 128	20/07/2022	00

Di seguito sono riportati i valori utilizzati da Jasp per terreni a grana grossa ([8] §13.1 pag 378; [9] §2.4.2 pag.246)

	К		
Tipo di palo	(Dr = 25%)	(Dr = 75%)	μ
Batt. tubo acc. chiuso	1,0	2,0	0,36
Batt. Cls prefabbricato	1,0	2,0	tan(0,75 φ')
Batt. Cls gettato	1,0	3,0	tan(φ')
Trivellato	0,5	0,4	tan(φ')
Elica continua	0,7	0,9	tan(φ')

Valori di K e μ per il metodo β in terreni a grana grossa

Per densità relative intermedie Jasp calcola il valore interpolato.

Per pali infissi in terreni a grana fine ([10] §3.2.2.2 pag 24; [7] §3.1.2.1 pag.76)

$$K = K0 = (1-\sin\varphi') \cdot OCR^{0.5}$$

per pali trivellati in argille consistenti (indice di consistenza ≥0,5)

$$K = (1 + K_0)/2$$

In condizioni non drenate, quindi in caso di argille e limi saturi, la resistenza unitaria laterale è valutata con il cosiddetto "metodo α ". In questo caso:

$$s(z) = \alpha \cdot c_u$$

dove c_u è la coesione non drenata.

I valori di α possono essere calcolati come indicato di seguito:([8] §13.1 pag 378; [9] §2.4.2 pag.247)

Pali trivellati : $\alpha = 0.7-0.008(c_u - 25)$, con $0.35 \le \alpha \le 0.7$

Pali battuti: $\alpha = 1-0.011(c_u - 25)$, con $0.5 \le \alpha \le 1$

oppure: ([3] §3.1.2.1 pag 75;)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 -	R_15_EO_SCS10 Foglio Data Revisi		S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 129	20/07/2022	00

Pali trivellati (Stas e Kulhavy 1984) : $\alpha = 0.21 + 0.26 \cdot p_a/c_u$

dove p_a = pressione atmosferica

Pali infissi (Olson e Dennis 1982):

$$\alpha = \frac{0.5}{\left(\frac{c_u}{\sigma_{v_0}^I}\right)^{0.25}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma_{v_0}^I} \ge 1$$

$$\alpha = \frac{0.5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v_0}}\right)^{0.5}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v_0}} \le 1$$

5.3 Carichi orizzontali

Il calcolo del carico limite orizzontale di pali verticali è riportato nel §13.2 di [8] e nel cap.7 di [10]. I risultati presentati nei riferimenti bibliografici sono calcolati ipotizzando un palo in un terreno omogeneo.

Jasp esegue un'analisi numerica per determinare il carico limite orizzontale di pali in terreni con diversi strati.

Per terreni coesivi la resistenza limite del terreno è posta pari a ([10] fig.7.4 pag 152; [8] fig.13.22 pag.399)

$$p_u = 9 c_u$$
 per profondità $\geq 3D$,

$$p_u = c_u [2 + 7z/(3d)]$$
 per $z < 3D$

per i terreni non coesivi ([10] §7.2.2.2 pag 155; [9] fig.9.3.2.1 pag.265)

$$p_u = 3\sigma'_v Kp$$

dove:

 σ'_{v} = tensione litostatica verticale efficace

$$Kp = (1+sen \varphi')/(1-sen \varphi')$$

	Tipo di documento: Codice d Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 -	R_	R_15_EO_SCS10	
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE	Foglio n. 130	Data 20/07/2022	Revisione 00
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA			
	RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE			

 φ' = angolo di attrito interno (in tensioni efficaci)

5.3.1 Pali non vincolati o a testa libera

La rottura di un palo libero di ruotare in testa può avvenire secondo due meccanismi:

- a) a palo corto: senza la formazione di cerniere plastiche nel palo
- b) a palo lungo, con la formazione di una cerniera plastica nel palo ad una profondità da calcolare.

Jasp calcola, per ogni coppia Hu-M, il meccanismo di rottura e l'eventuale posizione della cerniera plastica, tenendo conto della resistenza limite dei diversi strati attraversati dal palo.

5.3.1 Pali vincolati o a testa incastrata

La rottura di un palo non libero di ruotare in testa può avvenire secondo tre meccanismi:

- a) a palo corto: senza la formazione di cerniere plastiche nel palo
- b) a palo medio, con la formazione di una sola cerniera plastica in testa al palo.
- c) a palo lungo, con la formazione una cerniera plastica in testa al palo e di un'altra cerniera ad una profondità da calcolare.

Jasp calcola, per ogni forza orizzontale Hu, il meccanismo di rottura e l'eventuale posizione della cerniere plastiche, tenendo conto della resistenza limite dei diversi strati attraversati dal palo.

5.4 Gruppi di pali

Secondo EC7 §7.6.2.1punti (3) e (4):

Per i pali in gruppo si devono prendere in considerazione due meccanismi di rottura:

- rottura per compressione dei singoli pali;
- rottura per compressione dei pali e del terreno compreso tra essi, considerati come un blocco unico.

Si deve assumere come resistenza di progetto il minore tra i valori dovuti a questi due meccanismi.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 -	R_15_EO_SCS10		S10
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Ü		Revisione 00
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 131	20/07/2022	

La resistenza a compressione del gruppo di pali, considerato come un blocco unico, si può calcolare considerando il blocco come un palo singolo di grande diametro.

Per il calcolo della resistenza al carico verticale di un gruppo di pali Jasp calcola la resistenza del palo equivalente di grande diametro utilizzando i metodi di calcolo delle fondazioni diretta se L/D < 5 e i metodi di calcolo delle fondazioni profonde se L/D > 5

Jasp, oltre che alla procedura proposta dell'EC7, calcola il fattore E di efficienza della palificata come di seguito riportato ([8] §13.1.7 pag 396 e [10] §3.3.1.1 pag.32)

E = 1 per terreni incoerenti

Per un gruppo di m file con n pali ad interasse x in terreni incoerenti

$$E = 1 - \frac{\arctan(d/x)}{\pi/2} \frac{(m-1)n + (n-1)m}{mn}$$

Nel caso in cui i pali attraversano strati coerenti e incoerenti Jasp calcola il fattore E come la media pesata dei valori sopra indicati, utilizzando come peso la portata degli strati.

Il coefficiente di gruppo in caso di carichi orizzontali è posto, forfettariamente a 0,5, se non indicato diversamente nel tabulato di stampa.([8] §13.2.6 pag 416 e [10] §7.3.1 pag.164)

5.5 Cedimenti

Per il calcolo dei cedimenti sotto i carichi di esercizio Jasp divide il palo in tanti conci elementari ed utilizza il metodo degli elementi finiti per il calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti del palo.

La costante di elasticità laterale verticale del terreno è calcolata con la formula:

$$kv = 2\pi G/\zeta$$
 [N/m²] ([8] §14.1.2 pag 424)

dove
$$\zeta = \ln(2.5*(1-v)*L/r0)$$
 ([8] §14.1.2 pag 425)

La costante di elasticità della punta del palo è

$$kp = 2dE/(1-v^2) [N/m]$$
 ([8] §14.1.2 pag 424)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 -	R_15_EO_SCS10					
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione			
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 132	20/07/2022	00			

La costante elastica orizzontale è calcolata con le formule ([8] §14.4.1 pagg 466, 487,479 e [10] §8.2.3 pag.180)

 $kh = 1.67 \cdot E/d$ per terreni a grana fine sovraconsolidati.

 $kh = nh \cdot z/d$, dove $nh = 0.5 \cdot 106 [N/m^3]$ per terreni a grana fine normalconsolidati. ([8] §14.4.1 pag 479)

 $kh = (A\gamma'/1,35) \cdot z/d$ per terreni a grana grossa.

dove:

γ' è il peso dell'unità di volume efficace.

A = 200 per terreni sciolti (Dr = 25%); A = 600 per terreni medi (Dr = 50%) ; A = 1500 per terreni sensi (Dr = 75%)

Nelle formule di questo paragrafo: G = modulo di elasticità trasversale del terreno; <math>v = coefficiente di Poisson del terreno; L = lunghezza del palo; <math>r0 = raggio del palo; d = diametro del palo; E = modulo di elasticità longitudinale del terreno.

La verifica dei cedimenti differenziali è fatta come per le fondazioni dirette.

5 Origine e caratteristiche del software di calcolo

Per l'analisi delle sollecitazioni e per le verifiche geotecniche si è utilizzato il software Jasp[®] versione 7.0.37 (64 bit), realizzato dell'ing. Silvestro Giordano, registrato presso la SIAE il 25/09/2012 col n° 008544, distribuito da Ingegnerianet srl (CF 06536761213) attraverso il sito internet www.ingegnerianet.it

6 Affidabilità del software

Il sito internet www.ingegnerianet.it di distribuzione del software Jasp[®] contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, per i quali sono forniti i file di input necessari a riprodurre l'elaborazione.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10					
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 -						
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data 20/07/2022	Revisione 00			
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 133	20/07/2022	00			

7 Bibliografia

- [1] R. Lancellotta, Goetecnica, IV Edizione, Zanichelli 2012.
- [2] M.Tanzini, Fondazioni, Dario Flaccovio Editore 2006
- [3] Lancellotta Costanzo Foti, Progettazione Geotecnica, Hoepli 2011
- [4] AA.VV. Guida all'Eurocodice 7, Thomas Telford 2005, EPC Editore 2012
- [5] AA.VV. Guida all'Eurocodice 8, Thomas Telford 2005, EPC Editore 2012
- [6] G. Riga, La liquefazione dei terreni, Dario Flaccovio Editore 2007
- [7] Lai Foti Rota, Input sismico e Stabilità Geotecnica dei Siti in Costruzione, IUSS Press 2009
- [8] C. Viggiani, Fondazioni, Hevelius Edizioni 1999
- [9] Diego Carlo Lo Presti, Manuale di Ingegneria Geotecnica, Pisa University Press 2015
- [10] H.G.Poulos E.H Davis, Pali, Dario Flaccovio Editore 1987

Tabulati di stampa

Archivi

Stratig	grafie		
N	Descrizione	falda [m]	Strati
1	Tino Δ	0.8	3 strati: Htot -Q /

Sti	Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =9.4) N Descrizione Classe Tipo Classe 2 Potenza γ φ' φ'cν Dr IC c' cu ν NSPT OCR Δσ'p Eed CR RR CR/RR FC																				
N	Descrizione	Classe	Tipo	Classe 2 P	Potenza	γ	φ'	φ'cv	Dr	IC	c'	cu	٧	NSPT	OCR	Δσ'ρ	Eed	CR	RR	CR/RR	FC
					[m]	[kN/m³]	[°]	[°]	[%]		[kPa]	[kPa]				[kPa]	[MPa]				[%]

						di documento: 1e geotecnica		Codice documento:					
	SCS	510 S.R.L	<u>.</u>			eneratore 5 -		R_′	15_EO_SC:	S10			
		dio Tecnico Angelo Vol		DELL' COST DI REL RI DENO	TRUZIONE IMPIANTO I ENERGIA E OLICA AVE IMMISSION ITUITO DA ATIVO COL ETE ELETT MINATO "A EL COMUNI	ilo sintetico: ED ESERCIZIO DI PRODUZIO ELETTRICA DO ENTE POTENZ E PARI A 54 M 9 AEROGENE PARI A 6 MW LLEGAMENTO ERICA – IMPIA ALTAMURA" L E DI ALTAMURA AMO IN COLLI	NE A FONTE A IN WW ERATORI CON O ALLA NTO JBICATO RA E	Foglio n. 134	Data 20/07/2022	Revisione 00			
veg	getale limo	fine argillo	sa 0	1 0	04.9E-324	0 0	0 0	0 1	0.001	0			
De 0	eposito sabbioso li	limo fine	argillosa	5.2 16.9	29.54 29.54	50 0.4	5 6 0.3	4 30 1	1060				
Gh 0	hiaioso sabbioso de	limo fine	argillosa	4.2 21.8	26 26	50 0.4	2 20.8 0.3	5 30 1	4281				
)pzic	oni verifica te	erreni											
ľ	Descrizione	Portanza	Portanza	Scorr.	Scorr.	Liquef. cedi	menti ced. E	Burl. H compr	ced. Max	d/Δw k Amp			
		Drenata	Non Dren. D	renato	Non Dren.	Edor	metrici Burbi	dge Bur-Bur [r	m] [m]	Sisma			
(Opz.A	auto	auto aut	о а	iuto a	uto auto	auto	auto	auto a	uto auto			
1	i di posa fone Descrizione	kw Trasv	./kw kw Ass./kv	w S	Stratigrafia	Opzioni V			sbanc. H rip				
						Terre	eno		ater. [m] Later				
	Posa A			0.1 1) Tipo	A	1) Opz.A		1	0	0			
	ifiche fond		lirette										
ondaz	angoli di fond Izione	iazione				Dimens	ione		P.ce	entro			
Piano	Descriz	ione	Suolo Pos	a	В	L							
						-	Area calc.	Rotaz	x	y z			
					[m]	[m]	[m²]	Rotaz [°]		y z m] [m]			
	Plinto 1	1) Posa A		[m]								
	Plinto 1 uppo forze s ı		•	zione		[m]	[m²]	[°]	[m] [ı	m] [m]			
	uppo forze รเ	ı rettango	li di fondaz	zione		[m] 21.8	[m²]	[°]	[m] [ı	m] [m]			
nvilu Piano	uppo forze su	I rettango Fam. Cn	li di fondaz] Fy [N]	21.8 Min Fz [N]	[m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm]	[m²] 475.24 Mz [Nm] F	[°] 0 x[N] Fy[N]	[m] [i O Max Fz [N] Mx [Nm	m] [m] 0 -: n] My [Nm] Mz [Nn			
nvilu Piano	Rettangolo Fond.	Fam. Cn	li di fondaz] Fy [N]	21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M	[m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274M	[m²] 475.24 Mz [Nm] F 4 238M	[°] 0 x [N] Fy [N] 0 0	[m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3	0 -3 1] My [Nm] Mz [Ni M 274M 23			
nvilu Piano	uppo forze su	Fam. Cn 1) Fondamentale 4) Quasi Perm.	li di fondaz] Fy [N] 0 0	21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M	[m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274M 10.2M 183M	[m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M	[°] 0 x [N] Fy [N] 0 0 0 0	[m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3 -26.6M 10.2	0 -5 My [Nm] Mz [Ni M 274M 23 M 183M 15			
nvilu Piano Suf	Rettangolo Fond. Plinto 1 Plinto 1 ffissi: f=10 ⁻¹⁵ ; p=	Fam. Cn 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10^{-12} ; $n=10^{-9}$	li di fondazino. Fx [N $= 10^{-6}$; $m=10^{-6}$; $m=10^{-6}$	Fy [N] 0 0 0 0-3; k=10	21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 3; M=10 ⁶ ; C	[m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274N 10.2M 183N G=10 ⁹ ; T=10 ¹² ;	[m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M P=10 ¹⁵ (Sist	[°] 0 x[N] Fy[N] 0 0 0 0 tema Internaz	[m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3 -26.6M 10.2 ionale di misura	0 -5 n] My [Nm] Mz [Ni M 274M 23 M 183M 15 a)			
nvilu Piano Suf	Rettangolo Fond. Plinto 1 Plinto 1 ffissi: f=10 ⁻¹⁵ ; p=	Fam. Cn 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. $10^{-12}; n=10^{-9}$	li di fondazi nb. $Fx[N]$ Fx[N] Fx[N]	Fy [N] 0 0 0 0-3; k=10	21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M	[m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274M 10.2M 183M G=10 ⁹ ; T=10 ¹² ;	[m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M P=10 ¹⁵ (Siss	[°] 0 x [N] Fy [N] 0 0 0 0 tema Internaz	[m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3 -26.6M 10.2	m] [m] 0 -5 n] My [Nm] Mz [Ni iM 274M 23 nM 183M 15 na) k.Wink.			
nvilu Piano Suf	Rettangolo Fond. Plinto 1 Plinto 1 ffissi : f=10 ⁻¹⁵ ; p=	Fam. Cn 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10^{-12} ; $n=10^{-9}$	li di fondazino. Fx [N $= 10^{-6}$; $m=10^{-6}$; $m=10^{-6}$	Fy [N] 0 0 0 0-3; k=10	21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 3; M=10 ⁶ ; C	[m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274N 10.2M 183N G=10 ⁹ ; T=10 ¹² ;	[m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M P=10 ¹⁵ (Sist	[°] 0 x[N] Fy[N] 0 0 0 0 tema Internaz	[m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3 -26.6M 10.2 ionale di misura	0 -5 n] My [Nm] Mz [Ni M 274M 23 M 183M 15 a)			
nvilu Piano Sufi Verifi Piano	Rettangolo Fond. Plinto 1 Plinto 1 ffissi : f=10 ⁻¹⁵ ; p=	Fam. Cn 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ nti Edome	li di fondazino. Fx [N $= 10^{-6}$; $m=10^{-6}$; $m=10^{-6}$	Fy [N] 0 0 0 0-3; k=10	21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 3; M=10 ⁶ ; C	[m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274M 10.2M 183M G=10 ⁹ ; T=10 ¹² ;	[m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M P=10 ¹⁵ (Siss	[°] 0 x[N] Fy[N] 0 0 tema Internaz σ'v0 [Pa]	[m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3 -26.6M 10.2 ionale di misura WTot [mm]	m] [m] 0 -5 n] My [Nm] Mz [Ni M 274M 23 M 183M 15 a) k.Wink. [N/cm³]			
nvilu Sufi	Rettangolo Fond. Plinto 1 Plinto 1 Fissi: f=10 ⁻¹⁵ ; p= Fiche Cediments for plinto 1	Fam. Cn 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ nti Edome ettangolo ndazione	li di fondaz mb. Fx [N e ; μ=10 ⁻⁶ ; m=1 etrici Fam	Fy [N] 0 0 0 0-3; k=10	21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 3; M=10 ⁶ ; C	[m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274M 10.2M 183M G=10 ⁹ ; T=10 ¹² ; q [Pa] 55968	[m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M P=10 ¹⁵ (Sissing Pa) [Pa] 39068	[°] 0 x[N] Fy [N] 0 0 tema Internaz σ'v0 [Pa] 3 1690	[m] [n] 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3 -26.6M 10.2 ionale di misura WTot [mm] 00 0.35634	m] [m] 0 -5 m] My [Nm] Mz [Ni M 274M 23 m 183M 15 a) k.Wink. [N/cm³] 4 157.06			
nvilu Suf /erifi	Rettangolo Fond. Plinto 1 Plinto 1 ffissi: f=10 ⁻¹⁵ ; p= fiche Cedimer for Plinto 1	Fam. Cn 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. $10^{-12}; n=10^{-9}$ nti Edome ettangolo indazione	li di fondaz mb. Fx [N e ; μ=10 ⁻⁶ ; m=1 etrici Fam	Fy [N] 0 0 0 0-3; k=10	21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 3; M=10 ⁶ ; C	[m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274M 10.2M 183M G=10 ⁹ ; T=10 ¹² ; q [Pa]	[m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M P=10 ¹⁵ (Siss	[°] 0 x[N] Fy[N] 0 0 tema Internaz σ'v0 [Pa]	[m] [n] 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3 -26.6M 10.2 ionale di misura WTot [mm] 00 0.35634	m] [m] 0 -5 n] My [Nm] Mz [Ni M 274M 23 M 183M 15 a) k.Wink. [N/cm³]			

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 -	R_15_EO_SCS10					
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione			
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 135	20/07/2022	00			

4 1 55968 39068 6.2232 1.8513 0.14998 95867 79 No 0 0

Parametri strati calcolo portanza

				St	rato Inferiore			Strato Superiore						
Piano	Rett.Fond	Drenato	fi'[°]	γ'	c'	cu	potenza	fi'[°]	γ'	C'	CU	potenza		
				[N/m³]	[Pa]	[Pa]	[m]		[N/m³]	[Pa]	[Pa]	[m]		
0	Plinto 1	Sì	29.54	19350	5000	6000	8.4	29.54	16900	5000	6000	1		
0	Plinto 1	No	29 54	19350	5000	6000	8.4	29 54	16900	5000	6000	1		

Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno

		Punto	o di applicazio	ne			For		Reage	ente			
Fam	Cmb	x [m]	y [m]	z [m]	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	x [m]	y [m]	Press.
													[Pa]
1	1	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	2	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	3	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	4	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
4	1	6.869	-0.385	0.000	0	0	-26.6M	0	0	159M	8.06	21.03	157k

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^{3}$; $M=10^{6}$; $G=10^{9}$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza

1 10110 0 1 11	iito i itcuzi	One terrent	Poi voille	a portanza				
Fam	Cmb	B'[m]	L'[m]	B'/L'	V	НВ'	HL'	Hk
					[N]	[N]	[N]	[N]
					[IN]	[IN]	[IN]	[IN]
1	1	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0
1	2	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0
1	3	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0
1	4	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^3$; $M=10^6$; $G=10^9$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata

								Υ	1					С	!					C			
Fam	Cmb	q	qLim	γR	coef	σ	N	S	i	b	d	σ	N	S	i	b	d	σ	N	S	i	b	d
		[Pa]	[Pa]		Verif	[Pa]						[Pa]						[Pa]					
1	1	2824	1 /QM	2 30	0.435	56 3k	18 7	0 016	1 000	1 000	1 000	5 004	20.1	1 1/16	1 000	1 000	1.053	16 QL	17.5	1 137	1 000	1 000	1.050

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:					
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 -	R_15_EO_SCS10					
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione 00			
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 136	20/07/2022	00			

1 2 282k 1.49M 2.30 0.435 56.3k 18.7 0.916 1.000 1.000 1.000 5.00k 29.1 1.146 1.000 1.000 1.053 16.9k 17.5 1.137 1.000 1.000 1.050 1

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^{3}$; $M=10^{6}$; $G=10^{9}$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Scorrimento

i iaiio o i iiiit		0				
			Drer	nato	Non [Prenato
_						
Fam	Cmb	H [N]	Rd [N]	coefVerif	Rd [N]	coefVerif
1	1	0	17.7M	0.000	-	-
1	2	0	17.7M	0.000	-	-
1	3	0	17.7M	0.000	-	-
1	4	0	17.7M	0.000	-	-

 $\textbf{Suffissi}: f=10^{-15}; \ p=10^{-12}; \ n=10^{-9}; \ \mu=10^{-6}; \ m=10^{-3}; \ k=10^{3}; \ M=10^{6}; \ G=10^{9}; \ T=10^{12}; \ P=10^{15} \ (Sistema\ Internazionale\ di\ misura)$

Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico

z sup	spess.	σ'νο	σ'ρ	Δσν	Δσv/qN	σ'f	CR	RR	Δwi
f 1	f1	[0-1	[0-1	[0.1		1-01			f 1
[m]	[m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]		[Pa]			[m]
1	4.2	52390	52390	139261	0.99488	191651	0.0001138	1.4226E-5	0.00026923
5.2	4.2	133660	133660	126059	0.90057	259719	7.1891E-5	8.9863E-6	8.7111E-5

Riassunto verifiche

Verifiche terreno di fondazione

			Co	efficienti S	LU		Cedim	.Max			Cedim.E	Diff.	
Piano	Fondazione	Port.	Port.	Scorr.	Scorrim.	Liquef.	W	Coef.	Δw	Dist.	Coef	Fondazione	Verif.
		Dren.	Non Dren.	Dren.	Non Dren.		[mm]		[mm]	[m]		Confronto	Tot.
0	Plinto 1 Sì	0.434		0.000		0.000	0.356	0.007	0.000	0.000	-	Plinto 1	

Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione

SLU									SLE		Totale
Port.	Port.	Port.	Scorr.	Scorr	Scorr.	Liquef.	Tot	Ced. max	Ced. diff.	Tot.	Tot.
Dren.	Non dren.	Tot	dren.	non dren.							
0.434		0.434	0.000		0.000	0.000	N 434	0.007		0 007	0.434

Verifiche totali terreno di fondazione

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 5 -	R_′	S10	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 137	Data 20/07/2022	Revisione 00

Port.	Port.	Port.	Scorr.	Scorr	Scorr.	Liquef.	Tot	Ced. max	Ced. diff.	Tot.	Tot.
Dren.	Non dren.	Tot	dren.	non dren.							
Sì	_	C)	Q)		Q)	Sì	C)	Q)		C)	C)

Conclusioni

Al fine di fornire un giudizio motivato di accettabilità del risultato, come richiesto al § 10.2.1 NTC18, il geotecnico assevera di aver:

- Esaminato preliminarmente la documentazione a corredo del software Jasp® e di ritenerlo affidabile ed idoneo alla struttura in oggetto.
- Controllato accuratamente i tabulati di calcolo ed il listato degli errori numerici del solutore.
- Confrontato i risultati del software con quelli ottenuti con semplici calcoli di massima.

Pertanto ritiene che i risultati siano accettabili e che il presente progetto strutturale sia conforme alle Leggi n°1086/71 e n°64/74, e al DM 17/01/2018 (Norme tecniche per le costruzioni).

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_	S10	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 138	Data 20/07/2022	Revisione 00

7. Relazione geotecnica Aerogeneratore 6

1 Premessa

Nel seguente elaborato sono riportati i risultati delle verifiche geotecniche per fondazioni superficiali e profonde.

Verifiche fondazioni di tipo diretto o superficiali:

- Portanza drenata
- Portanza non drenata (terreno a grana fine saturo)
- Scorrimento drenato
- Scorrimento non drenato (terreno a grana fine saturo)
- Liquefazione terreno (sisma con sabbie sature)
- Cedimenti edometrici (per terreno a grana fine)
- Cedimenti con metodo di Burland e Burbidge (per sabbie)
- Cedimenti differenziali.

Verifiche fondazioni di tipo indiretto su pali:

- Portata verticale drenata e non drenata
- Portata orizzontale drenata e non drenata
- Cedimenti

Le verifiche geotecniche sono effettuate congiuntamente alla modellazione ed alle verifiche strutturali con il software per calcolo strutturali Jasp[®]. Maggiori informazioni riguardanti la modellazione ed il calcolo delle

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_′	S10	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 139	Data 20/07/2022	Revisione 00

sollecitazioni della struttura sono riportate nel documento "Relazione di calcolo" a cui si rimanda il lettore per eventuali informazioni non contenute nel seguente elaborato.

2 Riferimenti legislativi

L'analisi della struttura e le verifiche geotecniche sono condotte in accordo alle vigenti disposizioni legislative ed in particolare alle seguenti norme:

Decreto Ministeriale del 17/01/2018, "Norme tecniche per le costruzioni" (di seguito NTC18) e relative "Istruzioni per l'applicazione" ovvero Circolare ministeriale n°7 CSLLPP del 21/1/2019 (di seguito CNTC18).

Inoltre si sono tenute presenti le seguenti referenze tecniche:

Eurocodice 7: "Progettazione geotecnica Parte 1: Regole Generali" . Norma UNI EN 1997-1:2013 (di seguito EC7-1)

Eurocodice 8: "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica, Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici" Novembre 2004. Norma UNI EN 1998-5:2005 (di seguito EC8-5)

3 Modellazione fondazioni

La presente relazione riguarda i seguenti tipi di fondazioni:

- Plinto diretto: Fondazione superficiale costituita da un blocco in calcestruzzo armato a forma di parallelepipedo su cui è presente un solo pilastro e/o un solo carico concentrato.
- •Trave rovescia: Trave di fondazione con una dimensione prevalente che per le verifiche geotecniche è considerata di lunghezza infinita.
- •Platea: Fondazione superficiale con 2 dimensioni prevalenti su cui di norma sono presenti più pilastri e/o carichi distribuiti. In generale le platee di fondazione hanno forma qualsiasi, prevalentemente poligonale o circolare, ma per le verifiche geotecniche di seguito riportate esse sono approssimate con un rettangolo di area equivalente ed orientato lungo gli assi principali di inerzia della forma originale.
- •Palo: Elemento strutturale con sezione circolare con una dimensione prevalente, realizzato in opera o infisso nel terreno, in grado agli strati profondi del terreno i carichi trasmessi dalla sovrastruttura.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_′	S10	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 140	Data 20/07/2022	Revisione 00

4 Verifiche fondazioni dirette

4.1 Capacità portante

La verifica per carico limite dell'insieme fondazione-terreno è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3) con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

$$\gamma_{G1} = 1,3; \qquad \gamma_{G2} = 1,5; \qquad \gamma_{Qi} = 1,5; \qquad \gamma_{R} = 2,3; \qquad \gamma_{M} = 1,0;$$

La verifica della capacità portante viene fatta come indicato nell'appendice D dell'EC7-1 secondo il procedimento di seguito riportato.

4.1.1 Simboli utilizzati

q = pressione litostatica totale di progetto agente sul piano di posa della fondazione;

q' = pressione litostatica efficace di progetto agente sul piano di posa della fondazione;

B '= larghezza efficace di progetto della fondazione;

L'=lunghezza efficace di progetto della fondazione;

 $A' = B' \cdot L' =$ area della fondazione efficace di progetto (per le travi: $A' = B' \cdot 1m$);

 $B'/L' \le 1$ (per le travi: B'/L' = 0);

D = profondità del piano di posa;

 γ '= peso di volume efficace di progetto del terreno al di sotto del piano di posa della fondazione;

V = carico verticale;

H = carico orizzontale;

 θ = angolo che H forma con la direzione L';

R = Resistenza totale fondazione;

cu = Resistenza a taglio non drenata;

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_	S10	
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 141	20/07/2022	00

c' = Coesione intercetta in termini di tensioni efficaci;

 φ' = Angolo di resistenza a taglio in termini di tensioni efficaci;

 φ' cv = angolo di resistenza a taglio allo stato critico;

4.1.2 Condizioni non drenate

Il carico limite di progetto si calcola con la formula:

$$R/A' = \sigma c \cdot c u \cdot s c \cdot i c + \sigma q$$

dove:

$$\sigma c = (2 + \pi)$$

$$\sigma q = q$$

$$sc = 1 + 0.2 (B'/L')$$

$$ic = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} [1 - H/(A'cu)]^{0,5} con H \le A'cu$$

$$dc = 1 + 0.4 atg(D/B')$$

dove il coefficiente di profondità de è calcolato come indicato da Meyerof (1951), Skempton (1951) e Hansen (1961) ([1] §8.17.2 pag 437; [2] §4.2 pag 117)

Nel caso di suoli con più strati, la resistenza portante è calcolata utilizzando i parametri dello strato meno resistente. La ricerca dello strato meno resistente viene fatta tenendo presente che il meccanismo di collasso non drenato interessa un zona con profondità 0,707 B ([1] §8.13.1 pag 412, fig.8.51).

4.1.3 Condizioni drenate

Il carico limite di progetto è calcolato con la formula:

$$R/A' = \sigma c \cdot Nc \cdot dc \cdot sc \cdot ic + \sigma q \cdot Nq \cdot dq \cdot sq \cdot iq + \sigma \gamma \cdot N\gamma \cdot d\gamma \cdot s\gamma \cdot i\gamma$$

con:

$$\sigma c = c'$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_	S10	
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 142	20/07/2022	00

$$\sigma q = q'$$

$$\sigma \gamma = 0.5 \gamma' B'$$

e con i valori di progetto dei fattori adimensionali per

- la resistenza portante:

$$Nq = e^{\pi tan\phi'} tan^2 (45^{\circ} \phi'/2)$$

$$Nc = (Nq - 1) ctg \varphi'$$

$$N\gamma = 2(Nq - 1) tg \varphi'$$

- la forma della fondazione:

$$sq = 1 + (B'/L') sen \varphi'$$

$$sc = (sq \cdot Nq - 1)/(Nq - 1)$$

$$s\gamma = 1 - 0.3(B'/L')$$

- la profondità della fondazione (Hansen 1970, Vesic 1973) ([1] §8.17.1 pag 435; [2] §4.2 pag 117)

$$dq = 1 + 2 tg \phi' (1 - \sin \phi')^2 atg(D/B')$$

$$dc = dq - (1-dq)/(Nc \cdot tg\phi')$$

$$d\gamma = 1$$

- l'inclinazione del carico, dovuta ad un carico orizzontale H che forma un angolo θ con la direzione di L',

$$iq = [1 - H/(V + A'c'cot\phi')]^m;$$

$$ic = iq - (1 - iq)/(Nc \cdot tan\varphi');$$

$$i\gamma = [1 - H/(V + A' \cdot c' \cdot cot\phi')]^{m+1};$$

dove:

$$m = m_L \cos^2\!\theta + m_B \sin^2\!\theta$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_	S10	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 143	Data 20/07/2022	Revisione 00

$$m_B = = [2 + (B'/L')] / [1 + (B'/L')]$$

$$m_L = [2 \cdot B'/L' + 1] / [1 + (B'/L')]$$

Nel caso di suoli con più strati, la resistenza portante è calcolata utilizzando i parametri dello strato meno resistente. La ricerca dello strato meno resistente è fatto tenendo presente che il meccanismo di collasso drenato interessa un zona con profondità $z = B \sin \psi \exp(\psi t g \phi') \cos \psi = 45^{\circ} + \phi'/2$ ([1] §8.13.1 pag 430, fig.8.59).

4.1.4 Verifica sismica SLV

Gli effetti sismici sono tenuti in conto come indicato nei §7.11.5.3 NTC18 e §C7.11.5.3.1 CNTC08.

In particolare è possibile portare in conto l'effetto inerziale nel calcolo delle forze orizzontali H trasmesse dalla fondazione al terreno ed impiegando *le formule comunemente adottate per calcolare i coefficienti correttivi del carico limite in funzione dell'inclinazione, rispetto alla verticale, del carico agente sul piano di posa.* In tal caso si utilizza un coefficiente γ_R più basso, pari a 1,8, come indicato nelle NTC18. In alternativa si può non tenere conto dell'effetto inerziale delle forze orizzontali ed usare $\gamma_R = 2,3$.

L'effetto cinematico, che *modifica il solo coefficiente N* γ , è tenuto in conto con l'introduzione di una forza orizzontale aggiuntiva Hk = k_{vk} ·V, con k_{vk} calcolato come indicato nel §7.11.3.5.2 NTC18

4.2 Scorrimento

La verifica per scorrimento sul piano di posa è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3) con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

$$\gamma_{G1} = 1.0$$
; $\gamma_{G2} = 1.0$; $\gamma_{Oi} = 1.0$; $\gamma_{R} = 1.1$; $\gamma_{M} = 1.0$

Il calcolo della resistenza allo scorrimento è fatto come indicato nel §6.5.3 EC7-1:2005 ([4] §3.3.2 pag 96; [3] §2.5 pag 41)

La verifica a scorrimento in condizione drenate è fatta con la relazione:

$$H \leq R_d$$

Dove,

in condizioni drenate: $R_d = V \cdot tg \, \phi' \cdot cv / \gamma_R$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_′	15_EO_SC:	S10
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 144	Data 20/07/2022	Revisione 00

in condizioni non drenate: $R_d = A \cdot cu/\gamma_R$

con A = area della fondazione.

4.3 Liquefazione

La verifica della liquefazione è effettuata come indicato nel §7.11.3.4.2 delle NTC18.

Il calcolo della magnitudo attesa è effettuato utilizzando, a partire dal reticolo di riferimento fornito nell'allegato B delle NTC08, la formula di Sabetta e Pugliese (1996)

$$Log(A) = -1,562 + 0,306 M - Log[(de^2 + 5,8^2)^{1/2}]$$
 (1)

dove:

A è l'accelerazione massima attesa in g

de è la distanza dall'epicentro del sisma in km.

Per il calcolo della magnitudo attesa per il sito in oggetto si è proceduto in questo modo:

- a) Tutti i 10751 punti del reticolo sono ipotizzati (a vantaggio di sicurezza) come possibili epicentri di sisma e utilizzando la formula inversa della (1) sono calcolate tutte le magnitudo di tutti i possibili terremoti in Italia.
- b) Riutilizzando la (1) a partire da ogni punto del reticolo viene calcolata l'accelerazione nel sito in oggetto, scartando i terremoti che producono un'accelerazione attesa minore di 0,1g.
- c) Tra tutti i terremoti non scartati si prende quello con magnitudo massima.

In questo modo, per il sito in esame si trova il sisma che ha magnitudo massima e che produce un'accelerazione maggiore di 0,1g, ovvero che può produrre la liquefazione del terreno.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 145	20/07/2022	00

Nel caso di sabbie in cui sia obbligatorio effettuare la verifica a liquefazione si procede, per ogni strato di terreno posto al di sotto potenzialmente liquefacibile, con la verifica: ([2] §11.5.4 pag 401; [5] §10.4.1.5 pag 295; [6]; [7] §6.2.4 pag 243):

 $CSR*1,25/CRR \le 1$

dove:

CSR = rapporto di sforzo ciclico;

CRR = rapporto di resistenza ciclica;

1,25 è il coefficiente di sicurezza definito dall'EC8-5 §4.1.4 (11);

con:

 $CSR = 0.65 \cdot rd \cdot (a_{max}/g) \cdot (\sigma_f/\sigma_f');$

 a_{max} = accelerazione orizzontale di picco SLV del sito in oggetto = S·ag = Ss·St·ag (NTC18§3.2.3.2);

 $\sigma_f = \Delta \sigma_V + \sigma_{V0} = \text{pressione verticale totale};$

 $\sigma'_f = \Delta \sigma_V + \sigma'_{V0} =$ pressione efficace verticale totale;

 $\Delta\sigma_V$ è l'incremento di tensione prodotto dal carico netto, calcolato trascurando la rigidezza della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

 σ'_{V0} è la tensione geostatica efficace

 σ_{V0} è la tensione geostatica totale

g è l'accelerazione di gravità;

rd = 1 - 0.00765 z, per $z \le 9.15 m$;

rd = 1,174 - 0,00267 z, per 9.15 m < $z \le 23$ m;

z è la profondità in metri dal piano di campagna;

 $CRR = CRR_{7,5} \cdot C_M;$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_	15_EO_SC	S10
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 146	Data 20/07/2022	Revisione 00

dove: $CRR_{7,5} = (a+c\cdot x+e\cdot x^2+g\cdot x^3)/(1+b\cdot x+d\cdot x^2+f\cdot x^3+h\cdot x^4)$;

con: a=0.048; b=-0.1248; c=-0.004721; d=0.009578; e=0.0006136; f=-0.0003285; g=-0.00001673; h=0.000003741 (Blake 1996);

$$x = (N_1)_{60CS} = \alpha + \beta N_{60} C_N C_P;$$

$$C_N = (100 \text{kPa/}\sigma'_{v0})^{1/2} \text{ con } 0.5 \le C_N \le 2;$$

$$C_P = 0.75 \text{ per } z \le 3m \text{ e } C_P = 1 \text{ per } z > 3m;$$

 $N_{60} = N_{SPT}$ normalizzato tenendo conto del rapporto energetico del maglio, diametro del foro, lunghezza delle aste e metodo di campionamento (vedere relazione geologica)

 α e β dipendono dal contenuto di fino FC, con:

- FC \leq 5%: $\alpha = 0.0$; $\beta = 1.0$:
- 5% < FC \leq 35%: $\alpha = \exp[1.76 (190/FC^2)]$; $\beta = 0.99 + FC^{1.5}/1000$;
- 35% < FC: α = 5,0; β = 1,2;

C_M dipende dalla magnitudo attesa M ed è ricavabile dalla Tabella B.1 EC8-5:2005, che approssimeremo per semplicità ed a vantaggio di sicurezza con le seguenti funzioni:

$$C_M = (M/7,5)^{-3.3}$$
 per M \leq 7,5 [Andrus e Stokoe. (1997)]

$$C_M = (M/7.5)^{-6.47} \text{ per } M > 7.5$$

4.4 Cedimenti

La verifica dei cedimenti è fatta con la disuguaglianza:

$$w \leq 50 mm$$

come indicato al §H(4) EC7-1:2005

Il calcolo dei cedimenti è effettuato con:

• il metodo edometrico per i terreni a grana fine (limi ed argille)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_	15_EO_SC:	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 147	20/07/2022	00

• il metodo Burland e Burbidge per i terreni a grana grossa (sabbie e ghiaie)

4.4.1 Metodo edometrico

Per terreni a grana fine i cedimenti sono calcolati utilizzando il metodo edometrico, proposto da Terzaghi (1943) ([1] §8.7.2 pag 437; [2] §5.3.2 pag.164; [3] §2.7 pag.58)

Il terreno al di sotto della fondazioni viene diviso in n strati e per ogni strato si calcola il cedimento con la formula

$$\Delta Hi = Hi [RR \cdot Log(k_R) + CR \cdot Log(k_C)]$$

con:

$$k_R = min\{\sigma'_P; \sigma'_f\}/\sigma'_{V0}$$

$$k_C = \max\{\sigma'_f/\sigma'_P; 1\}$$

 σ'_{V0} è la tensione geostatica efficace

 $\Delta\sigma_V$ è l'incremento di tensione prodotto dal carico netto, calcolato trascurando la rigidezza della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

$$\sigma'_f = \Delta \sigma_V + \sigma'_{V0}$$

 σ'_P = tensione di preconsolidazione = OCR · σ'_{V0}

dove:

OCR è il rapporto di preconsolidazione.

Hi = spessore dello strato

RR = rapporto di ricompressione

CR = rapporto di compressione

Per terreni normalconsolidati $CR = 2.3 \cdot \sigma'_{V0}/Eed$

Per terreni sovraconsolidati RR = $2,3 \cdot \sigma'_{V0}$ /Eed

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE	Foglio n. 148	Data 20/07/2022	Revisione 00
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE			

dove Eed è il modulo edometrico.

Il cedimento totale è calcolato sommando il cedimento di tutti gli strati in cui $\Delta \sigma'_{Z} > 0,10 \sigma'_{V0}$

$$w = \sum \Delta Hi$$

Per argille tenere il metodo fornisce il cedimento di consolidazione ed il cedimento immediato è pari al 10% del cedimento di consolidazione

Per fondazioni su argille consistenti il metodo fornisce il cedimento totale.

4.4.2 Metodo di Burland e Burbidge

Il calcolo dei cedimenti per i terreni a grana grossa è effettuato con il metodo di Burland e Burbidge (1985) ([1] §8.8.1 pag 482; [2] §5.2.1 pag.153; [3] §2.8.1 pag.62)

Il cedimento totale è calcolato con la formula:

$$w = fs \cdot fh \cdot ft \cdot Z_I \cdot Ic \cdot (\sigma_A/3 + \sigma_B)$$

dove:

$$\sigma_A = \min\{\sigma'_P; q'\}$$

$$\sigma_B = \max\{q' - \sigma_A; 0\}$$

 σ'_P = tensione di preconsolidazione al piano di posa della fondazione = OCR · σ'_{V0}

$$Z_I = B^{0,7} = profondità di influenza$$

B è la larghezza minima della fondazione espressa in metri

L è la lunghezza della fondazione (L>B)

q' è il carico unitario efficace della fondazione espresso in kPa

 $Ic = 1.7/Nc^{1.4} = indice di compressibilità$

Nc è la media aritmetica dei valori Ncs per la profondità H

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_′	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 149	20/07/2022	00

con:

H = spessore dello strato comprimibile, se $H < Z_I$

 $H = Z_I$, se N_{SPT} è costante o cresce con la profondità

H = 2B, se N_{SPT} decresce con la profondità

e, per ogni strato:

 $Ncs = 15 + (N_{SPT}-15)/2$ per sabbie fini o limose sotto falda con $N_{SPT}>15$

 $Ncs = N_{SPT}$ negli altri casi.

inoltre:

$$fh = k_{HZ}/(2 - k_{HZ})$$

$$k_{HZ} = min\{1, H/Z_I\}$$

$$fs = [1,25 / (1+0,25 \cdot B/L)]^2$$

ft = $(1,3 + 0,2 \cdot \text{Log}(t/3))$ con t la vita nominale della struttura in anni.

4.4.3 Cedimenti Differenziali

La verifica dei cedimenti differenziali è fatta con la disuguaglianza:

$$\Delta w/$$
 $L \le 1/500$

come indicato al §H(2) EC7-1:2005

dove:

L è la distanza tra i due punti di calcolo dei cedimenti considerati

 $\Delta w = |w1 - w2| = differenza tra i cedimenti considerati$

In caso di trave di fondazione il calcolo è effettuato tra i cedimenti calcolati nelle sezioni iniziale, centrale e finale della trave.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 150	20/07/2022	00

Nel caso di plinti il calcolo viene effettuato tra ogni coppia di plinti.

Nel caso di platea il cedimento differenziale è calcolato tra il punto centrale e lo spigolo della platea considerando la platea di rigidezza nulla e posta su un semispazio elastico. In questo caso: $\Delta w = w/2$.

5 Verifiche fondazioni su pali

5.1 Capacità portante

La verifica per carico limite dell'insieme fondazione-terreno è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3).

I coefficienti parziali di sicurezza, come riportato nei tabulati di stampa, utilizzati sono quelli indicati nel §6.4.3.1.1 NTC18 per le resistenze dei pali soggetti a carichi assiali, e quelli indicati nel §6.4.3.1.1 NTC18 per le resistenze dei pali soggetti a carichi trasversali.

Le resistenze assiale e trasversale sono calcolate con i metodi analitici di seguito indicati.

5.2Carichi verticali

Il carico limite ultimo di un singolo palo per carichi verticali è ottenuto dall'equazione: ([3] §3.1.2 pag 74 e [8] §13.1.2 pag.372)

$$Q_{lim} = P + S = \frac{\pi d^2}{4} p + \pi d \int_0^L s(z) dz - W$$

dove:

Q lim = carico limite ultimo assiale del palo singolo

P = Resistenza alla punta

S = Resistenza laterale

p = resistenza unitaria alla punta del palo singolo

s(z) = resistenza unitaria laterale alla generica profondità

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 151	20/07/2022	00

W = peso proprio del palo

La resistenza unitaria alla punta (p) può essere espressa mediante l'equazione :

$$p = N_q \cdot \sigma'_{v,z=L} + N_c c$$

Che in condizioni non drenate si trasforma nell'equazione

$$p = R_c (\sigma_{v,z=L} + N_c c_u)$$

con:

Nc = 9;

Rc = 1 per argille non consistenti (indice di consistenza ≥ 0.5) ([2] §8.5.1.1 pag 377; [7] §3.1.2.1 pag.76)

 $Rc = (D +0.5)/(2D) \le 1$ per pali infissi in argille consistenti

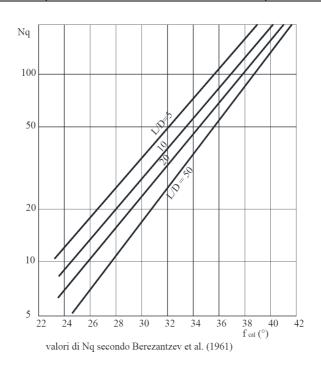
 $Rc = (D+1)/(2D+1) \le 1$ per pali trivellati in argille consistenti

In condizioni drenate la resistenza unitaria alla punta (p) è calcolata con l'equazione:

$$p = N_q \cdot \sigma'_{v,z=L}$$

Per il calcolo del coefficiente Nq si utilizzano le curve di Berezantev et al 1961 ([8] §13.1 pag 377; [9] §2.4.2 pag.242)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 152	20/07/2022	00



dove:

 $\phi_{cal} = (\phi + 40^{\circ})/2$ per pali battuti

 $\varphi_{cal} = \varphi - 3^{\circ}$ per pali trivellati

Come abbiamo visto in precedenza la resistenza laterale S è pari a:

$$S = \pi d \int_0^L s(z) dz$$

In condizioni drenate la resistenza laterale unitaria s(z) può essere valutata mediante il cosiddetto "metodo β ". Con questo metodo:

$$s(z) = \mu K \sigma'_{\nu z}$$

dove $\beta = \mu K e \mu = tg(\delta)$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 153	20/07/2022	00

Di seguito sono riportati i valori utilizzati da Jasp per terreni a grana grossa ([8] §13.1 pag 378; [9] §2.4.2 pag.246)

_	K		
Tipo di palo	(Dr = 25%)	(Dr = 75%)	μ
Batt. tubo acc. chiuso	1,0	2,0	0,36
Batt. Cls prefabbricato	1,0	2,0	tan(0,75 φ')
Batt. Cls gettato	1,0	3,0	tan(φ')
Trivellato	0,5	0,4	tan(φ')
Elica continua	0,7	0,9	tan(φ')

Valori di K e μ per il metodo β in terreni a grana grossa

Per densità relative intermedie Jasp calcola il valore interpolato.

Per pali infissi in terreni a grana fine ([10] §3.2.2.2 pag 24; [7] §3.1.2.1 pag.76)

$$K = K0 = (1-\sin\varphi') \cdot OCR^{0.5}$$

per pali trivellati in argille consistenti (indice di consistenza ≥0,5)

$$K = (1 + K_0)/2$$

In condizioni non drenate, quindi in caso di argille e limi saturi, la resistenza unitaria laterale è valutata con il cosiddetto "metodo α ". In questo caso:

$$s(z) = \alpha \cdot c_u$$

dove c_u è la coesione non drenata.

I valori di α possono essere calcolati come indicato di seguito:([8] §13.1 pag 378; [9] §2.4.2 pag.247)

Pali trivellati : $\alpha = 0.7-0.008(c_u - 25)$, con $0.35 \le \alpha \le 0.7$

Pali battuti: $\alpha = 1-0.011(c_u - 25)$, con $0.5 \le \alpha \le 1$

oppure: ([3] §3.1.2.1 pag 75;)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_′	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 154	20/07/2022	00

Pali trivellati (Stas e Kulhavy 1984) : $\alpha = 0.21 + 0.26 \cdot p_a/c_u$

dove p_a = pressione atmosferica

Pali infissi (Olson e Dennis 1982):

$$\alpha = \frac{0.5}{\left(\frac{c_u}{\sigma_{v0}^I}\right)^{0.25}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma_{v0}^I} \ge 1$$

$$\alpha = \frac{0.5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0.5}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \le 1$$

5.3 Carichi orizzontali

Il calcolo del carico limite orizzontale di pali verticali è riportato nel §13.2 di [8] e nel cap.7 di [10]. I risultati presentati nei riferimenti bibliografici sono calcolati ipotizzando un palo in un terreno omogeneo.

Jasp esegue un'analisi numerica per determinare il carico limite orizzontale di pali in terreni con diversi strati.

Per terreni coesivi la resistenza limite del terreno è posta pari a ([10] fig.7.4 pag 152; [8] fig.13.22 pag.399)

$$p_u = 9 c_u$$
 per profondità $\geq 3D$,

$$p_u = c_u [2 + 7z/(3d)]$$
 per $z < 3D$

per i terreni non coesivi ([10] §7.2.2.2 pag 155; [9] fig.9.3.2.1 pag.265)

$$p_u = 3\sigma'_v Kp$$

dove:

 σ'_{v} = tensione litostatica verticale efficace

$$Kp = (1+sen \varphi')/(1-sen \varphi')$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:						
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_15_EO_SCS10						
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data 20/07/2022	Revisione 00				
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO	n. 155	2010112022	50				
	NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE							

 φ' = angolo di attrito interno (in tensioni efficaci)

5.3.1 Pali non vincolati o a testa libera

La rottura di un palo libero di ruotare in testa può avvenire secondo due meccanismi:

- a) a palo corto: senza la formazione di cerniere plastiche nel palo
- b) a palo lungo, con la formazione di una cerniera plastica nel palo ad una profondità da calcolare.

Jasp calcola, per ogni coppia Hu-M, il meccanismo di rottura e l'eventuale posizione della cerniera plastica, tenendo conto della resistenza limite dei diversi strati attraversati dal palo.

5.3.1 Pali vincolati o a testa incastrata

La rottura di un palo non libero di ruotare in testa può avvenire secondo tre meccanismi:

- a) a palo corto: senza la formazione di cerniere plastiche nel palo
- b) a palo medio, con la formazione di una sola cerniera plastica in testa al palo.
- c) a palo lungo, con la formazione una cerniera plastica in testa al palo e di un'altra cerniera ad una profondità da calcolare.

Jasp calcola, per ogni forza orizzontale Hu, il meccanismo di rottura e l'eventuale posizione della cerniere plastiche, tenendo conto della resistenza limite dei diversi strati attraversati dal palo.

5.4 Gruppi di pali

Secondo EC7 §7.6.2.1punti (3) e (4):

Per i pali in gruppo si devono prendere in considerazione due meccanismi di rottura:

- rottura per compressione dei singoli pali;
- rottura per compressione dei pali e del terreno compreso tra essi, considerati come un blocco unico.

Si deve assumere come resistenza di progetto il minore tra i valori dovuti a questi due meccanismi.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:					
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_	S10				
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione			
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 156	20/07/2022	00			

La resistenza a compressione del gruppo di pali, considerato come un blocco unico, si può calcolare considerando il blocco come un palo singolo di grande diametro.

Per il calcolo della resistenza al carico verticale di un gruppo di pali Jasp calcola la resistenza del palo equivalente di grande diametro utilizzando i metodi di calcolo delle fondazioni diretta se L/D < 5 e i metodi di calcolo delle fondazioni profonde se L/D > 5

Jasp, oltre che alla procedura proposta dell'EC7, calcola il fattore E di efficienza della palificata come di seguito riportato ([8] §13.1.7 pag 396 e [10] §3.3.1.1 pag.32)

E = 1 per terreni incoerenti

Per un gruppo di m file con n pali ad interasse x in terreni incoerenti

$$E = 1 - \frac{\arctan(d/x)}{\pi/2} \frac{(m-1)n + (n-1)m}{mn}$$

Nel caso in cui i pali attraversano strati coerenti e incoerenti Jasp calcola il fattore E come la media pesata dei valori sopra indicati, utilizzando come peso la portata degli strati.

Il coefficiente di gruppo in caso di carichi orizzontali è posto, forfettariamente a 0,5, se non indicato diversamente nel tabulato di stampa.([8] §13.2.6 pag 416 e [10] §7.3.1 pag.164)

5.5 Cedimenti

Per il calcolo dei cedimenti sotto i carichi di esercizio Jasp divide il palo in tanti conci elementari ed utilizza il metodo degli elementi finiti per il calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti del palo.

La costante di elasticità laterale verticale del terreno è calcolata con la formula:

$$kv = 2\pi G/\zeta$$
 [N/m²] ([8] §14.1.2 pag 424)

dove
$$\zeta = \ln(2.5*(1-v)*L/r0)$$
 ([8] §14.1.2 pag 425)

La costante di elasticità della punta del palo è

$$kp = 2dE/(1-v^2) [N/m]$$
 ([8] §14.1.2 pag 424)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:						
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_′	S10					
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione				
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 157	20/07/2022	00				

La costante elastica orizzontale è calcolata con le formule ([8] §14.4.1 pagg 466, 487,479 e [10] §8.2.3 pag.180)

 $kh = 1.67 \cdot E/d$ per terreni a grana fine sovraconsolidati.

 $kh = nh \cdot z/d$, dove $nh = 0.5 \cdot 106 [N/m^3]$ per terreni a grana fine normalconsolidati. ([8] §14.4.1 pag 479)

 $kh = (A\gamma'/1,35) \cdot z/d$ per terreni a grana grossa.

dove:

γ' è il peso dell'unità di volume efficace.

A = 200 per terreni sciolti (Dr = 25%); A = 600 per terreni medi (Dr = 50%) ; A = 1500 per terreni sensi (Dr = 75%)

Nelle formule di questo paragrafo: G = modulo di elasticità trasversale del terreno; <math>v = coefficiente di Poisson del terreno; L = lunghezza del palo; <math>r0 = raggio del palo; d = diametro del palo; E = modulo di elasticità longitudinale del terreno.

La verifica dei cedimenti differenziali è fatta come per le fondazioni dirette.

5 Origine e caratteristiche del software di calcolo

Per l'analisi delle sollecitazioni e per le verifiche geotecniche si è utilizzato il software Jasp[®] versione 7.0.37 (64 bit), realizzato dell'ing. Silvestro Giordano, registrato presso la SIAE il 25/09/2012 col n° 008544, distribuito da Ingegnerianet srl (CF 06536761213) attraverso il sito internet www.ingegnerianet.it

6 Affidabilità del software

Il sito internet www.ingegnerianet.it di distribuzione del software Jasp[®] contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, per i quali sono forniti i file di input necessari a riprodurre l'elaborazione.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:					
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_15_EO_SCS10						
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 158	Data 20/07/2022	Revisione 00				

7 Bibliografia

- [1] R. Lancellotta, Goetecnica, IV Edizione, Zanichelli 2012.
- [2] M.Tanzini, Fondazioni, Dario Flaccovio Editore 2006
- [3] Lancellotta Costanzo Foti, Progettazione Geotecnica, Hoepli 2011
- [4] AA.VV. Guida all'Eurocodice 7, Thomas Telford 2005, EPC Editore 2012
- [5] AA.VV. *Guida all'Eurocodice 8*, Thomas Telford 2005, EPC Editore 2012
- [6] G. Riga, La liquefazione dei terreni, Dario Flaccovio Editore 2007
- [7] Lai Foti Rota, Input sismico e Stabilità Geotecnica dei Siti in Costruzione, IUSS Press 2009
- [8] C. Viggiani, Fondazioni, Hevelius Edizioni 1999
- [9] Diego Carlo Lo Presti, Manuale di Ingegneria Geotecnica, Pisa University Press 2015
- [10] H.G.Poulos E.H Davis, Pali, Dario Flaccovio Editore 1987

Tabulati di stampa

Archivi

Stratio	grafie		
N	Descrizione	falda [m]	Strati
1	Tipo A	80	3 strati: Htot =10
Strati	stratigrafia Tipo A (3 s	trati: Htot =10)	

Str	ati stratig	rafia ⁻	Γipo Δ	A (3 strati: I		10)														
N	Descrizione	Classe	Tipo	Classe 2 Potenza	γ	φ'	φ'cv	Dr	IC	c'	cu	٧	NSPT	OCR	Δσ'ρ	Eed	CR	RR	CR/RR	FC
				[m]	[kN/m³]	[°]	[°]	[%]		[kPa]	[kPa]				[kPa]	[MPa]				[%]

						di documento: ne geotecnica		Codice documento:						
	SCS	510 S.R.L.				generatore 6 -		R_′	15_EO_SC	S10				
		dio Tecnico Angelo Volp	e	DELL E COST DI REL R	TRUZIONE IMPIANTO 'ENERGIA I 'OLICA AVI IMMISSION ITTUITO DA 'ATTIVO CO LETE ELET DMINATO ". EL COMUN	olo sintetico: ED ESERCIZI DI PRODUZIO ELETTRICA ELETRICA 54 I 9 AEROGENI PARI A 6 MW LLEGAMENTO TRICA – IMPIA ALTAMURA" (IE DI ALTAMU AMO IN COLL	NE A FONTE ZA IN WW ERATORI CON O ALLA INTO UBICATO RA E	Foglio n. 159	Data 20/07/2022	Revisione 00				
veg	getale limo	fine argillosa	a 0	1 0	04.9E-324	0 0	0 0	0 1	0.001	0 (
Dep 0	eposito sabbioso li	limo fine	argillosa 3	3.4 21.8	37.31 37.31	50 0.4	2 6 0.2	8 30 1	1207	8				
Ghi 0	niaioso sabbioso de	limo fine	argillosa (6.6 25	34.76 34.76	50 0.4	20 20.8 0.3	5 30 1	5449	8				
Opzio	oni verifica te	erreni												
١	Descrizione	Portanza	Portanza S	Scorr.	Scorr.	Liquef. ced	imenti ced. I	Burl. H compi	ced. Max	d/Δw k Amplif.				
		Drenata	Non Dren. D	renato	Non Dren.	Edo	metrici Burbi	dge Bur-Bur [m] [m]	Sisma				
(Opz.A	auto a	uto auto) a	auto a	auto auto	auto	auto	auto a	uto auto				
	Descrizione	kw Trasv./	kw kw Ass./kv	ν ,	Stratigrafia	Opzioni \			I sbanc. H rip ater. [m] Later					
	Posa A		0.5).1 1) Tipo	Α	1) Opz.A		1	0	0 14				
	ifiche fond		irette											
Retta	angoli di fond		irette			Dimens	iione		P.ce	entro				
Retta ondaz	angoli di fond zione	lazione		a	В	Dimens L		Rotaz						
Retta ondaz	angoli di fond	lazione	Suolo Posa	a		L	Area calc.	Rotaz	x	y z				
Retta Fondaz Piano	angoli di fond zione	lazione ione		a	B [m] 21.8			Rotaz [°]	X					
Retta Fondaz Piano	angoli di fond zione Descrizi	lazione ione	Suolo Posa Posa A		[m] 21.8	L [m] 21.8	Area calc. [m²]	[°]	x [m] [i	y z m] [m]				
Retta Fondaz Piano nvilu	angoli di fondizione Descrizi Plinto 1 uppo forze su	lazione ione 1) u rettangoli	Suolo Posa Posa A i di fondaz	ione	[m] 21.8 Mir	L [m] 21.8	Area calc. [m²] 475.24	[°] 0	x [m] [i	y z m] [m] 0 -3.4				
Retta Fondaz Piano nvilu	Plinto 1 Rettangolo Fond.	lazione ione 1) rettangoli Fam. Cmb	Suolo Posa Posa A i di fondaz	ione Fy [N]	[m] 21.8 Mir Fz [N]	L [m] 21.8	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F	[°] 0	x [m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm	y z m] [m] 0 -3.4				
Retta Fondaz Piano nvilu	Plinto 1 Rettangolo Fond. Plinto 1	lazione 1) 1 rettangoli Fam. Cmb 1) Fondamentale	Suolo Posa Posa A i di fondaz	: ione Fy [N] 0	[m] 21.8 Mir Fz [N] 0 -34.3M	L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 2741	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F	[°] 0 6x [N] Fy [N] 0 0	x [m] [u 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.38	y z m] [m] 0 -3.4] My [Nm] Mz [Nm] M 274M 238M				
Retta Fondaz Piano nvilu Piano	Plinto 1 Rettangolo Fond.	lazione 1) I rettangoli Fam. Cmt 1) Fondamentale 4) Quasi Perm.	Suolo Posa Posa A i di fondaz o. Fx [N]	Fy [N] 0	[m] 21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M	L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 2741 10.2M 1831	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M	[°] 0 Ex [N] Fy [N] 0 0 0 0	x [m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3l -26.6M 10.2l	y z m] [m] 0 -3.4] My [Nm] Mz [Nm] M 274M 238N M 183M 159N				
Retta Fondaz Piano nvilu Piano Sufi	Plinto 1 Rettangolo Fond. Plinto 1 Plinto 1 Plinto 1 Plinto 1 Fissi: f=10 ⁻¹⁵ ; p= iche Cedimei	Jazione 1) Jarettangoli Fam. Cmt 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ ; nti Edomet	Suolo Posa Posa A i di fondaz D. Fx [N] μ =10 ⁻⁶ ; m=10	Fy [N] 0	[m] 21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 3; M=10 ⁶ ; (L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274H 10.2M 183H 183H 193H 193H 193H 193H 193H 193H 193H 19	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M S; P=10 ¹⁵ (Sis	[°] 0 ix [N] Fy [N] 0 0 0 0 tema Internaz	x [m] [1 0	y z m] [m] 0 -3.4] My [Nm] Mz [Nm] M 274M 238N M 183M 159N				
Retta Fondaz Piano nvilu Piano Sufi	Plinto 1 Rettangolo Fond. Plinto 1 Plinto 1 Plinto 1 Plinto 1 Fissi: f=10 ⁻¹⁵ ; p= iche Cedimei	Iazione 1) I rettangoli Fam. Cmt 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10^{-12} ; $n=10^{-9}$;	Suolo Posa A i di fondaz $\mu=10^{-6}; m=10$	Fy [N] 0	[m] 21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M	L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274H 10.2M 183H G=10 ⁹ ; T=10 ¹²	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M g P=10 ¹⁵ (Sis	[°] 0 6x [N] Fy [N] 0 0 0 tema Internaz	x [m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3l -26.6M 10.2l	y z m] [m] 0 -3.4] My [Nm] Mz [Nm] M 274M 238N M 183M 159N A) k.Wink.				
Retta Fondaz Piano nvilu Piano Sufi	Plinto 1 Rettangolo Fond. Plinto 1 Plinto 1 Plinto 1 Plinto 1 Plinto 1 Crissi: f=10 ⁻¹⁵ ; p= iche Cedimei	Jazione 1) Jarettangoli Fam. Cmt 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ ; nti Edomet	Suolo Posa Posa A i di fondaz b. Fx [N] μ =10 ⁻⁶ ; m=10	Fy [N] 0	[m] 21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 3; M=10 ⁶ ; (L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274H 10.2M 183H 183H 193H 193H 193H 193H 193H 193H 193H 19	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M S; P=10 ¹⁵ (Sis	[°] 0 ix [N] Fy [N] 0 0 0 0 tema Internaz	x [m] [1 0	y z m] [m] 0 -3.4] My [Nm] Mz [Nm] M 274M 238N M 183M 159N				
Retta Fondaz Piano nvilu Piano Suff	Plinto 1 Rettangolo Fond. Plinto 1 Plinto 1 Plinto 1 Plinto 1 Plinto 1 Crissi: f=10 ⁻¹⁵ ; p= iche Cedimei	Jazione 1) Jarettangoli Fam. Cmb 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ ; nti Edomet	Suolo Posa Posa A i di fondaz b. Fx [N] μ =10 ⁻⁶ ; m=10	Fy [N] 0	[m] 21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 3; M=10 ⁶ ; (L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274H 10.2M 183H G=10 ⁹ ; T=10 ¹²	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M g P=10 ¹⁵ (Sis	[°] 0 fx [N] Fy [N] 0 0 0 tema Internaz σ'v0 [Pa]	x [m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3] -26.6M 10.20 ionale di misura WTot [mm]	y z m] [m] 0 -3.4] My [Nm] Mz [Nm] M 274M 238N M 183M 159N A) k.Wink. [N/cm³]				
Retta Fondaz Piano nvilu Piano Suff Piano /erifi	Plinto 1 Plinto 1 Plinto 1 Plinto 1 Plinto 1 Plinto 1 Fissi: f=10 ⁻¹⁵ ; p= iche Cedimer Re for Plinto 1	Jazione 1) I rettangoli Fam. Cmt 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ ; nti Edometettangolo ndazione	Suolo Posa A i di fondaz $\mu=10^{-6}; m=10$ rici	Fy [N] 0 0 0 0-3; k=10	[m] 21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 3, M=10 ⁶ ; C	L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274I 10.2M 183I G=10 ⁹ ; T=10 ¹² q [Pa] 55968	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M S P=10 ¹⁵ (Sis	[°] 0 Ex [N] Fy [N] 0 0 tema Internaz σ'v0 [Pa] 8 2180	x [m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3] -26.6M 10.2i ionale di misura WTot [mm] 00 0.23588	y z m] [m] 0 -3.4] My [Nm] Mz [Nm] M 274M 238N M 183M 159N A) k.Wink. [N/cm³] 8 237.27				
Retta Fondaz Piano Invilu Piano Sufi Piano	Plinto 1 Rettangolo Fond. Plinto 1 Plinto 1	Jazione 1) I rettangoli Fam. Cmt 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ ; nti Edometettangolo indazione	Suolo Posa A i di fondaz $\mu=10^{-6}; m=10$ rici	Fy [N] 0 0 0 0 0-3; k=10	[m] 21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 3, M=10 ⁶ ; C	L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274I 10.2M 183I G=10 ⁹ ; T=10 ¹² q [Pa]	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M G P=10 ¹⁵ (Sis	[°] 0 fx [N] Fy [N] 0 0 0 tema Internaz σ'v0 [Pa]	x [m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3] -26.6M 10.2i ionale di misura WTot [mm] 00 0.23588	y z m] [m] 0 -3.4] My [Nm] Mz [Nm] M 274M 238N M 183M 159N A) k.Wink. [N/cm³]				

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_15_EO_SCS10					
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione			
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 160	20/07/2022	00			

4 1 55968 34168 6.1931 1.881 0.13328 95618 79 No 0 0

Parametri strati calcolo portanza

				St	rato Inferiore			Strato Superiore								
Piano	Rett.Fond	Drenato	fi'[°]	γ'	c'	cu	potenza	fi'[°]	γ'	c'	cu	potenza				
				[N/m³]	[Pa]	[Pa]	[m]		[N/m³]	[Pa]	[Pa]	[m]				
0	Plinto 1	Sì	37.31	24147	2000	6000	9	37.31	21800	2000	6000	1				
0	Plinto 1	No	37 31	24147	2000	6000	9	37.31	21800	2000	6000	1				

Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno

		Punto	di applicazio	ne				Reage					
Fam	Cmb	x [m]	y [m]	z [m]	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	x [m]	y [m]	Press.
													[Pa]
1	1	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	2	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	3	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	4	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
4	1	6.869	-0.385	0.000	0	0	-26.6M	0	0	159M	8.06	21.03	157k

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^{3}$; $M=10^{6}$; $G=10^{9}$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza

1 10110 0 1 11	iito i itcuzi	One terrent	Poi voille	a portanza				
Fam	Cmb	B'[m]	L'[m]	B'/L'	V	НВ'	HL'	Hk
					[N]	[N]	[N]	[N]
					[IN]	[IN]	[IN]	[IN]
1	1	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0
1	2	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0
1	3	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0
1	4	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^3$; $M=10^6$; $G=10^9$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata

							γ					c'				q							
Fam	Cmb	q	qLim	γR	coef	σ	N	S	i	b	d	σ	N	S	i	b	d	σ	N	S	i	b	d
		[Pa]	[Pa]		Verif	[Pa]						[Pa]						[Pa]					
1	1	2821	5 61M	3 30	0 115	70.3k	66.6	0.016	1 000	1 000	1 000	2 001	57.3	1 172	1 000	1 000	1 0/11	21 81	117	1 160	1 000	1 000	1 0/0

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_15_EO_SCS10			
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 161	20/07/2022	00	

1 2 282k 5.61M 2.30 0.115 70.3k 66.6 0.916 1.000 1.000 1.000 2.00k 57.3 1.173 1.000 1.000 1.041 21.8k 44.7 1.169 1.000 1.000 1.040 1 3 282k 5.61M 2.30 0.115 70.3k 66.6 0.916 1.000 1.000 1.000 2.00k 57.3 1.173 1.000 1.000 1.041 21.8k 44.7 1.169 1.000 1.000 1.040 1 4 282k 5.61M 2.30 0.115 70.3k 66.6 0.916 1.000 1.000 1.000 2.00k 57.3 1.173 1.000 1.000 1.001 1.041 21.8k 44.7 1.169 1.000 1.000 1.040

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^{3}$; $M=10^{6}$; $G=10^{9}$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Scorrimento

		-				
			Drer	nato	Non D	renato
Fam	Cmb	H [N]	Rd [N]	coefVerif	Rd [N]	coefVerif
1	1	0	23.8M	0.000	_	_
1	2	0	23.8M	0.000	-	-
1	3	0	23.8M	0.000	-	-
1	4	0	23.8M	0.000	-	-

 $\textbf{Suffissi}: f=10^{-15}; \ p=10^{-12}; \ n=10^{-9}; \ \mu=10^{-6}; \ m=10^{-3}; \ k=10^{3}; \ M=10^{6}; \ G=10^{9}; \ T=10^{12}; \ P=10^{15} \ (Sistema\ Internazionale\ di\ misura)$

Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico

			••••						
z sup	spess.	σ'νο	σ'ρ	Δσν	Δσv/qN	σ'f	CR	RR	Δwi
[m]	[m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]		[Pa]			[m]
1	2.4	47960	47960	134944	0.99901	182904	9.1493E-5	1.1437E-5	0.00012765
3.4	3.3	115370	115370	130682	0.96746	246052	4.8752E-5	6.094E-6	5.2919E-5
6.7	3.3	197870	197870	116062	0.85922	313932	8.3614E-5	1.0452E-5	5.5311E-5

Riassunto verifiche

Verifiche terreno di fondazione

			Co	efficienti S	LU		Cedim	.Max			Cedim.[Diff.	
Piano	Fondazione	Port.	Port.	Scorr.	Scorrim.	Liquef.	W	Coef.	Δw	Dist.	Coef	Fondazione	Verif.
		Dren.	Non Dren.	Dren.	Non Dren.		[mm]		[mm]	[m]		Confronto	Tot.
0	Plinto 1 Sì	0.115		0.000		0.000	0.236	0.004	0.000	0.000 -		Plinto 1	

Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione

SLU									SLE		Totale
Port.	Port.	Port.	Scorr.	Scorr	Scorr.	Liquef.	Tot	Ced. max	Ced. diff.	Tot.	Tot.
Dren.	Non dren.	Tot	dren.	non dren.							
0.115		0.115	0.000		0.000	0.000	0.115	0.004		0.004	0.115

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 6 -	R_15_EO_SCS10		
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 162	20/07/2022	00

Verifiche totali terreno di fondazione

SLU									SLE		Totale
Port.	Port.	Port.	Scorr.	Scorr	Scorr.	Liquef.	Tot	Ced. max	Ced. diff.	Tot.	Tot.
Dren.	Non dren.	Tot	dren.	non dren.							
Sì	-	Sì	Sì	-	Sì	Sì	Sì	Sì	-	Sì	Sì

Conclusioni

Al fine di fornire un giudizio motivato di accettabilità del risultato, come richiesto al § 10.2.1 NTC18, il geotecnico assevera di aver:

- Esaminato preliminarmente la documentazione a corredo del software Jasp[®] e di ritenerlo affidabile ed idoneo alla struttura in oggetto.
- Controllato accuratamente i tabulati di calcolo ed il listato degli errori numerici del solutore.
- Confrontato i risultati del software con quelli ottenuti con semplici calcoli di massima.

Pertanto ritiene che i risultati siano accettabili e che il presente progetto strutturale sia conforme alle Leggi $n^{\circ}1086/71$ e $n^{\circ}64/74$, e al DM 17/01/2018 (Norme tecniche per le costruzioni).

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_	S10		
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data 20/07/2022	Revisione 00	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 163	20/07/2022	50	

8. Relazione geotecnica Aerogeneratore 7

1 Premessa

Nel seguente elaborato sono riportati i risultati delle verifiche geotecniche per fondazioni superficiali e profonde.

Verifiche fondazioni di tipo diretto o superficiali:

- Portanza drenata
- Portanza non drenata (terreno a grana fine saturo)
- Scorrimento drenato
- Scorrimento non drenato (terreno a grana fine saturo)
- Liquefazione terreno (sisma con sabbie sature)
- Cedimenti edometrici (per terreno a grana fine)
- Cedimenti con metodo di Burland e Burbidge (per sabbie)
- Cedimenti differenziali.

Verifiche fondazioni di tipo indiretto su pali:

- Portata verticale drenata e non drenata
- Portata orizzontale drenata e non drenata
- Cedimenti

Le verifiche geotecniche sono effettuate congiuntamente alla modellazione ed alle verifiche strutturali con il software per calcolo strutturali Jasp[®]. Maggiori informazioni riguardanti la modellazione ed il calcolo delle

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_15_EO_SCS10			
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data 20/07/2022	Revisione 00	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 164	20/01/2022		

sollecitazioni della struttura sono riportate nel documento "Relazione di calcolo" a cui si rimanda il lettore per eventuali informazioni non contenute nel seguente elaborato.

2 Riferimenti legislativi

L'analisi della struttura e le verifiche geotecniche sono condotte in accordo alle vigenti disposizioni legislative ed in particolare alle seguenti norme:

Decreto Ministeriale del 17/01/2018, "Norme tecniche per le costruzioni" (di seguito NTC18) e relative "Istruzioni per l'applicazione" ovvero Circolare ministeriale n°7 CSLLPP del 21/1/2019 (di seguito CNTC18).

Inoltre si sono tenute presenti le seguenti referenze tecniche:

Eurocodice 7: "Progettazione geotecnica Parte 1: Regole Generali" . Norma UNI EN 1997-1:2013 (di seguito EC7-1)

Eurocodice 8: "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica, Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici" Novembre 2004. Norma UNI EN 1998-5:2005 (di seguito EC8-5)

3 Modellazione fondazioni

La presente relazione riguarda i seguenti tipi di fondazioni:

- **Plinto diretto**: Fondazione superficiale costituita da un blocco in calcestruzzo armato a forma di parallelepipedo su cui è presente un solo pilastro e/o un solo carico concentrato.
- •Trave rovescia: Trave di fondazione con una dimensione prevalente che per le verifiche geotecniche è considerata di lunghezza infinita.
- •Platea: Fondazione superficiale con 2 dimensioni prevalenti su cui di norma sono presenti più pilastri e/o carichi distribuiti. In generale le platee di fondazione hanno forma qualsiasi, prevalentemente poligonale o circolare, ma per le verifiche geotecniche di seguito riportate esse sono approssimate con un rettangolo di area equivalente ed orientato lungo gli assi principali di inerzia della forma originale.
- •Palo: Elemento strutturale con sezione circolare con una dimensione prevalente, realizzato in opera o infisso nel terreno, in grado agli strati profondi del terreno i carichi trasmessi dalla sovrastruttura.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_15_EO_SCS10			
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione 00	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 165	20/07/2022	00	

4 Verifiche fondazioni dirette

4.1 Capacità portante

La verifica per carico limite dell'insieme fondazione-terreno è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3) con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

$$\gamma_{G1} = 1,3; \qquad \gamma_{G2} = 1,5; \qquad \gamma_{Qi} = 1,5; \qquad \gamma_{R} = 2,3; \qquad \gamma_{M} = 1,0;$$

La verifica della capacità portante viene fatta come indicato nell'appendice D dell'EC7-1 secondo il procedimento di seguito riportato.

4.1.1 Simboli utilizzati

q = pressione litostatica totale di progetto agente sul piano di posa della fondazione;

q' = pressione litostatica efficace di progetto agente sul piano di posa della fondazione;

B '= larghezza efficace di progetto della fondazione;

L'=lunghezza efficace di progetto della fondazione;

 $A' = B' \cdot L' =$ area della fondazione efficace di progetto (per le travi: $A' = B' \cdot 1m$);

 $B'/L' \le 1$ (per le travi: B'/L' = 0);

D = profondità del piano di posa;

 γ '= peso di volume efficace di progetto del terreno al di sotto del piano di posa della fondazione;

V = carico verticale;

H = carico orizzontale;

 θ = angolo che H forma con la direzione L';

R = Resistenza totale fondazione:

cu = Resistenza a taglio non drenata;

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_	S10		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 166	Data 20/07/2022	Revisione 00	

c' = Coesione intercetta in termini di tensioni efficaci;

 φ' = Angolo di resistenza a taglio in termini di tensioni efficaci;

 φ' cv = angolo di resistenza a taglio allo stato critico;

4.1.2 Condizioni non drenate

Il carico limite di progetto si calcola con la formula:

$$R/A' = \sigma c \cdot c u \cdot s c \cdot i c + \sigma q$$

dove:

$$\sigma c = (2 + \pi)$$

$$\sigma q = q$$

$$sc = 1 + 0.2 (B'/L')$$

$$ic = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} [1 - H/(A'cu)]^{0,5} con H \le A'cu$$

$$dc = 1 + 0.4 atg(D/B')$$

dove il coefficiente di profondità de è calcolato come indicato da Meyerof (1951), Skempton (1951) e Hansen (1961) ([1] §8.17.2 pag 437; [2] §4.2 pag 117)

Nel caso di suoli con più strati, la resistenza portante è calcolata utilizzando i parametri dello strato meno resistente. La ricerca dello strato meno resistente viene fatta tenendo presente che il meccanismo di collasso non drenato interessa un zona con profondità 0,707 B ([1] §8.13.1 pag 412, fig.8.51).

4.1.3 Condizioni drenate

Il carico limite di progetto è calcolato con la formula:

$$R/A' = \sigma c \cdot Nc \cdot dc \cdot sc \cdot ic + \sigma q \cdot Nq \cdot dq \cdot sq \cdot iq + \sigma \gamma \cdot N\gamma \cdot d\gamma \cdot s\gamma \cdot i\gamma$$

con:

$$\sigma c = c'$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_′	S10		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 167	Data 20/07/2022	Revisione 00	

$$\sigma q = q'$$

$$\sigma \gamma = 0.5 \gamma' B'$$

e con i valori di progetto dei fattori adimensionali per

- la resistenza portante:

$$Nq = e^{\pi tan\phi'} tan^2 (45^{\circ} \phi'/2)$$

$$Nc = (Nq - 1) \operatorname{ctg} \varphi'$$

$$N\gamma = 2(Nq - 1) tg \varphi'$$

- la forma della fondazione:

$$sq = 1 + (B'/L') sen \varphi'$$

$$sc = (sq \cdot Nq - 1)/(Nq - 1)$$

$$s\gamma = 1 - 0.3(B'/L')$$

- la profondità della fondazione (Hansen 1970, Vesic 1973) ([1] §8.17.1 pag 435; [2] §4.2 pag 117)

$$dq = 1 + 2 tg \phi' (1 - \sin \phi')^2 atg(D/B')$$

$$dc = dq - (1-dq)/(Nc \cdot tg\phi')$$

$$d\gamma = 1$$

- l'inclinazione del carico, dovuta ad un carico orizzontale H che forma un angolo θ con la direzione di L',

$$iq = [1 - H/(V + A'c'cot\phi')]^m;$$

$$ic = iq - (1 - iq)/(Nc \cdot tan\varphi');$$

$$i\gamma = [1 - H/(V + A' \cdot c' \cdot cot\phi')]^{m+1};$$

dove:

$$m = m_L \cos^2\!\theta + m_B \sin^2\!\theta$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_	15_EO_SC:	S10
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 168	Data 20/07/2022	Revisione 00

$$m_B = = [2 + (B'/L')] / [1 + (B'/L')]$$

$$m_L = [2 \cdot B'/L' + 1] / [1 + (B'/L')]$$

Nel caso di suoli con più strati, la resistenza portante è calcolata utilizzando i parametri dello strato meno resistente. La ricerca dello strato meno resistente è fatto tenendo presente che il meccanismo di collasso drenato interessa un zona con profondità $z = B \sin \psi \exp(\psi t g \phi') \cos \psi = 45^{\circ} + \phi'/2$ ([1] §8.13.1 pag 430, fig.8.59).

4.1.4 Verifica sismica SLV

Gli effetti sismici sono tenuti in conto come indicato nei §7.11.5.3 NTC18 e §C7.11.5.3.1 CNTC08.

In particolare è possibile portare in conto l'effetto inerziale nel calcolo delle forze orizzontali H trasmesse dalla fondazione al terreno ed impiegando *le formule comunemente adottate per calcolare i coefficienti correttivi del carico limite in funzione dell'inclinazione, rispetto alla verticale, del carico agente sul piano di posa*. In tal caso si utilizza un coefficiente γ_R più basso, pari a 1,8, come indicato nelle NTC18. In alternativa si può non tenere conto dell'effetto inerziale delle forze orizzontali ed usare $\gamma_R = 2,3$.

L'effetto cinematico, che *modifica il solo coefficiente Ny*, è tenuto in conto con l'introduzione di una forza orizzontale aggiuntiva $Hk = k_{vk} \cdot V$, con k_{vk} calcolato come indicato nel §7.11.3.5.2 NTC18

4.2 Scorrimento

La verifica per scorrimento sul piano di posa è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3) con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

$$\gamma_{G1} = 1.0$$
; $\gamma_{G2} = 1.0$; $\gamma_{Oi} = 1.0$; $\gamma_{R} = 1.1$; $\gamma_{M} = 1.0$

Il calcolo della resistenza allo scorrimento è fatto come indicato nel §6.5.3 EC7-1:2005 ([4] §3.3.2 pag 96; [3] §2.5 pag 41)

La verifica a scorrimento in condizione drenate è fatta con la relazione:

$$H \leq R_d$$

Dove,

in condizioni drenate: $R_d = V \cdot tg \, \phi' \cdot cv / \gamma_R$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_	15_EO_SC:	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 169	20/07/2022	00

in condizioni non drenate: $R_d = A \cdot cu/\gamma_R$

con A = area della fondazione.

4.3 Liquefazione

La verifica della liquefazione è effettuata come indicato nel §7.11.3.4.2 delle NTC18.

Il calcolo della magnitudo attesa è effettuato utilizzando, a partire dal reticolo di riferimento fornito nell'allegato B delle NTC08, la formula di Sabetta e Pugliese (1996)

$$Log(A) = -1,562 + 0,306 M - Log[(de^2 + 5,8^2)^{1/2}]$$
 (1)

dove:

A è l'accelerazione massima attesa in g

de è la distanza dall'epicentro del sisma in km.

Per il calcolo della magnitudo attesa per il sito in oggetto si è proceduto in questo modo:

- a) Tutti i 10751 punti del reticolo sono ipotizzati (a vantaggio di sicurezza) come possibili epicentri di sisma e utilizzando la formula inversa della (1) sono calcolate tutte le magnitudo di tutti i possibili terremoti in Italia.
- b) Riutilizzando la (1) a partire da ogni punto del reticolo viene calcolata l'accelerazione nel sito in oggetto, scartando i terremoti che producono un'accelerazione attesa minore di 0,1g.
- c) Tra tutti i terremoti non scartati si prende quello con magnitudo massima.

In questo modo, per il sito in esame si trova il sisma che ha magnitudo massima e che produce un'accelerazione maggiore di 0,1g, ovvero che può produrre la liquefazione del terreno.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 170	20/07/2022	00

Nel caso di sabbie in cui sia obbligatorio effettuare la verifica a liquefazione si procede, per ogni strato di terreno posto al di sotto potenzialmente liquefacibile, con la verifica: ([2] §11.5.4 pag 401; [5] §10.4.1.5 pag 295; [6]; [7] §6.2.4 pag 243):

 $CSR*1,25/CRR \le 1$

dove:

CSR = rapporto di sforzo ciclico;

CRR = rapporto di resistenza ciclica;

1,25 è il coefficiente di sicurezza definito dall'EC8-5 §4.1.4 (11);

con:

 $CSR = 0.65 \cdot rd \cdot (a_{max}/g) \cdot (\sigma_f/\sigma_f');$

 a_{max} = accelerazione orizzontale di picco SLV del sito in oggetto = S·ag = Ss·St·ag (NTC18§3.2.3.2);

 $\sigma_f = \Delta \sigma_V + \sigma_{V0} = \text{pressione verticale totale};$

 $\sigma'_f = \Delta \sigma_V + \sigma'_{V0} =$ pressione efficace verticale totale;

 $\Delta\sigma_V$ è l'incremento di tensione prodotto dal carico netto, calcolato trascurando la rigidezza della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

 σ'_{V0} è la tensione geostatica efficace

 σ_{V0} è la tensione geostatica totale

g è l'accelerazione di gravità;

rd = 1 - 0.00765 z, per $z \le 9.15 m$;

rd = 1,174 - 0,00267 z, per 9.15 m < $z \le 23$ m;

z è la profondità in metri dal piano di campagna;

 $CRR = CRR_{7,5} \cdot C_M;$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_′	15_EO_SC	S 10
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 171	Data 20/07/2022	Revisione 00

dove: $CRR_{7,5} = (a+c\cdot x+e\cdot x^2+g\cdot x^3)/(1+b\cdot x+d\cdot x^2+f\cdot x^3+h\cdot x^4)$;

con: a=0.048; b=-0.1248; c=-0.004721; d=0.009578; e=0.0006136; f=-0.0003285; g=-0.00001673; h=0.000003741 (Blake 1996);

$$x = (N_1)_{60CS} = \alpha + \beta N_{60} C_N C_P;$$

$$C_N = (100 \text{kPa/}\sigma'_{v0})^{1/2} \text{ con } 0.5 \le C_N \le 2;$$

$$C_P = 0.75 \text{ per } z \le 3m \text{ e } C_P = 1 \text{ per } z > 3m;$$

 $N_{60} = N_{SPT}$ normalizzato tenendo conto del rapporto energetico del maglio, diametro del foro, lunghezza delle aste e metodo di campionamento (vedere relazione geologica)

 α e β dipendono dal contenuto di fino FC, con:

- FC \leq 5%: $\alpha = 0.0$; $\beta = 1.0$:
- 5% < FC \leq 35%: $\alpha = \exp[1.76 (190/FC^2)]$; $\beta = 0.99 + FC^{1.5}/1000$;
- 35% < FC: α = 5,0; β = 1,2;

C_M dipende dalla magnitudo attesa M ed è ricavabile dalla Tabella B.1 EC8-5:2005, che approssimeremo per semplicità ed a vantaggio di sicurezza con le seguenti funzioni:

$$C_M = (M/7,5)^{-3.3}$$
 per M \leq 7,5 [Andrus e Stokoe. (1997)]

$$C_M = (M/7.5)^{-6.47} \text{ per } M > 7.5$$

4.4 Cedimenti

La verifica dei cedimenti è fatta con la disuguaglianza:

$$w \le 50mm$$

come indicato al §H(4) EC7-1:2005

Il calcolo dei cedimenti è effettuato con:

• il metodo edometrico per i terreni a grana fine (limi ed argille)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 172	20/07/2022	00

• il metodo Burland e Burbidge per i terreni a grana grossa (sabbie e ghiaie)

4.4.1 Metodo edometrico

Per terreni a grana fine i cedimenti sono calcolati utilizzando il metodo edometrico, proposto da Terzaghi (1943) ([1] §8.7.2 pag 437; [2] §5.3.2 pag.164; [3] §2.7 pag.58)

Il terreno al di sotto della fondazioni viene diviso in n strati e per ogni strato si calcola il cedimento con la formula

$$\Delta Hi = Hi [RR \cdot Log(k_R) + CR \cdot Log(k_C)]$$

con:

$$k_R = min\{\sigma'_P; \sigma'_f\}/\sigma'_{V0}$$

$$k_C = \max\{\sigma'_f/\sigma'_P; 1\}$$

 σ'_{V0} è la tensione geostatica efficace

 $\Delta\sigma_V$ è l'incremento di tensione prodotto dal carico netto, calcolato trascurando la rigidezza della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

$$\sigma'_f = \Delta \sigma_V + \sigma'_{V0}$$

 σ'_P = tensione di preconsolidazione = OCR $\cdot \sigma'_{V0}$

dove:

OCR è il rapporto di preconsolidazione.

Hi = spessore dello strato

RR = rapporto di ricompressione

CR = rapporto di compressione

Per terreni normalconsolidati $CR = 2.3 \cdot \sigma'_{V0}/Eed$

Per terreni sovraconsolidati RR = $2.3 \cdot \sigma'_{V0}$ /Eed

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_	15_EO_SC:	S10
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data 20/07/2022	Revisione 00
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E	n. 173	2010112022	50
	SANTERAMO IN COLLE			

dove Eed è il modulo edometrico.

Il cedimento totale è calcolato sommando il cedimento di tutti gli strati in cui $\Delta \sigma'_{Z} > 0,10 \sigma'_{V0}$

$$w = \sum \Delta Hi$$

Per argille tenere il metodo fornisce il cedimento di consolidazione ed il cedimento immediato è pari al 10% del cedimento di consolidazione

Per fondazioni su argille consistenti il metodo fornisce il cedimento totale.

4.4.2 Metodo di Burland e Burbidge

Il calcolo dei cedimenti per i terreni a grana grossa è effettuato con il metodo di Burland e Burbidge (1985) ([1] §8.8.1 pag 482; [2] §5.2.1 pag.153; [3] §2.8.1 pag.62)

Il cedimento totale è calcolato con la formula:

$$w = fs \cdot fh \cdot ft \cdot Z_I \cdot Ic \cdot (\sigma_A/3 + \sigma_B)$$

dove:

$$\sigma_A = \min\{\sigma'_P; q'\}$$

$$\sigma_B = \max\{q' - \sigma_A; 0\}$$

 σ'_P = tensione di preconsolidazione al piano di posa della fondazione = OCR · σ'_{V0}

$$Z_I = B^{0,7} = profondità di influenza$$

B è la larghezza minima della fondazione espressa in metri

L è la lunghezza della fondazione (L>B)

q' è il carico unitario efficace della fondazione espresso in kPa

 $Ic = 1.7/Nc^{1.4} = indice di compressibilità$

Nc è la media aritmetica dei valori Ncs per la profondità H

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_	15_EO_SC	S 10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 174	20/07/2022	00

con:

H = spessore dello strato comprimibile, se $H < Z_I$

 $H = Z_I$, se N_{SPT} è costante o cresce con la profondità

H = 2B, se N_{SPT} decresce con la profondità

e, per ogni strato:

 $Ncs = 15 + (N_{SPT}-15)/2$ per sabbie fini o limose sotto falda con $N_{SPT}>15$

 $Ncs = N_{SPT}$ negli altri casi.

inoltre:

$$fh = k_{HZ}/(2 - k_{HZ})$$

$$k_{HZ} = min\{1, H/Z_I\}$$

$$fs = [1,25 / (1+0,25 \cdot B/L)]^2$$

ft = $(1,3 + 0,2 \cdot \text{Log}(t/3))$ con t la vita nominale della struttura in anni.

4.4.3 Cedimenti Differenziali

La verifica dei cedimenti differenziali è fatta con la disuguaglianza:

$$\Delta w/$$
 $L \le 1/500$

come indicato al §H(2) EC7-1:2005

dove:

L è la distanza tra i due punti di calcolo dei cedimenti considerati

 $\Delta w = |w1 - w2| = differenza tra i cedimenti considerati$

In caso di trave di fondazione il calcolo è effettuato tra i cedimenti calcolati nelle sezioni iniziale, centrale e finale della trave.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 175	20/07/2022	00

Nel caso di plinti il calcolo viene effettuato tra ogni coppia di plinti.

Nel caso di platea il cedimento differenziale è calcolato tra il punto centrale e lo spigolo della platea considerando la platea di rigidezza nulla e posta su un semispazio elastico. In questo caso: $\Delta w = w/2$.

5 Verifiche fondazioni su pali

5.1 Capacità portante

La verifica per carico limite dell'insieme fondazione-terreno è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3).

I coefficienti parziali di sicurezza, come riportato nei tabulati di stampa, utilizzati sono quelli indicati nel §6.4.3.1.1 NTC18 per le resistenze dei pali soggetti a carichi assiali, e quelli indicati nel §6.4.3.1.1 NTC18 per le resistenze dei pali soggetti a carichi trasversali.

Le resistenze assiale e trasversale sono calcolate con i metodi analitici di seguito indicati.

5.2Carichi verticali

Il carico limite ultimo di un singolo palo per carichi verticali è ottenuto dall'equazione: ([3] §3.1.2 pag 74 e [8] §13.1.2 pag.372)

$$Q_{lim} = P + S = \frac{\pi d^2}{4} p + \pi d \int_0^L s(z) dz - W$$

dove:

Q lim = carico limite ultimo assiale del palo singolo

P = Resistenza alla punta

S = Resistenza laterale

p = resistenza unitaria alla punta del palo singolo

s(z) = resistenza unitaria laterale alla generica profondità

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 176	20/07/2022	00

W = peso proprio del palo

La resistenza unitaria alla punta (p) può essere espressa mediante l'equazione :

$$p = N_q \cdot \sigma'_{v,z=L} + N_c c$$

Che in condizioni non drenate si trasforma nell'equazione

$$p = R_c (\sigma_{v,z=L} + N_c c_u)$$

con:

Nc = 9;

Rc = 1 per argille non consistenti (indice di consistenza \geq 0,5) ([2] §8.5.1.1 pag 377; [7] §3.1.2.1 pag.76)

 $Rc = (D + 0.5)/(2D) \le 1$ per pali infissi in argille consistenti

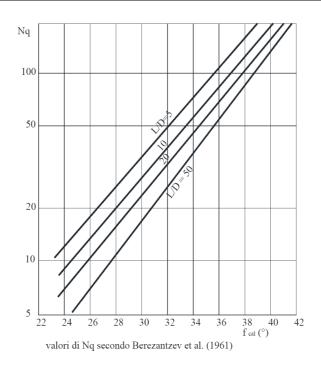
 $Rc = (D+1)/(2D+1) \le 1$ per pali trivellati in argille consistenti

In condizioni drenate la resistenza unitaria alla punta (p) è calcolata con l'equazione:

$$p = N_q \cdot \sigma'_{v,z=L}$$

Per il calcolo del coefficiente Nq si utilizzano le curve di Berezantev et al 1961 ([8] §13.1 pag 377; [9] §2.4.2 pag.242)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_′	15_EO_SC	S10
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 177	Data 20/07/2022	Revisione 00



dove:

 $\phi_{cal} = (\phi + 40^{\circ})/2$ per pali battuti

 $\varphi_{cal} = \varphi - 3^{\circ}$ per pali trivellati

Come abbiamo visto in precedenza la resistenza laterale S è pari a:

$$S = \pi d \int_0^L s(z) dz$$

In condizioni drenate la resistenza laterale unitaria s(z) può essere valutata mediante il cosiddetto "metodo β ". Con questo metodo:

$$s(z) = \mu K \sigma'_{\nu z}$$

dove $\beta = \mu K e \mu = tg(\delta)$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 178	20/07/2022	00

Di seguito sono riportati i valori utilizzati da Jasp per terreni a grana grossa ([8] §13.1 pag 378; [9] §2.4.2 pag.246)

	K		
Tipo di palo	(Dr = 25%)	(Dr = 75%)	μ
Batt. tubo acc. chiuso	1,0	2,0	0,36
Batt. Cls prefabbricato	1,0	2,0	tan(0,75 φ')
Batt. Cls gettato	1,0	3,0	tan(φ')
Trivellato	0,5	0,4	tan(φ')
Elica continua	0,7	0,9	tan(φ')

Valori di K e μ per il metodo β in terreni a grana grossa

Per densità relative intermedie Jasp calcola il valore interpolato.

Per pali infissi in terreni a grana fine ([10] §3.2.2.2 pag 24; [7] §3.1.2.1 pag.76)

$$K = K0 = (1-\sin\varphi') \cdot OCR^{0.5}$$

per pali trivellati in argille consistenti (indice di consistenza ≥0,5)

$$K = (1 + K_0)/2$$

In condizioni non drenate, quindi in caso di argille e limi saturi, la resistenza unitaria laterale è valutata con il cosiddetto "metodo α ". In questo caso:

$$s(z) = \alpha \cdot c_u$$

dove c_u è la coesione non drenata.

I valori di α possono essere calcolati come indicato di seguito:([8] §13.1 pag 378; [9] §2.4.2 pag.247)

Pali trivellati : $\alpha = 0.7-0.008(c_u - 25)$, con $0.35 \le \alpha \le 0.7$

Pali battuti: $\alpha = 1-0.011(c_u - 25)$, con $0.5 \le \alpha \le 1$

oppure: ([3] §3.1.2.1 pag 75;)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_15_EO_SCS10		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 179	Data 20/07/2022	Revisione 00

Pali trivellati (Stas e Kulhavy 1984) : $\alpha = 0.21 + 0.26 \cdot p_a/c_u$

dove p_a = pressione atmosferica

Pali infissi (Olson e Dennis 1982):

$$\alpha = \frac{0.5}{\left(\frac{c_u}{\sigma_{vo}^I}\right)^{0.25}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma_{vo}^I} \ge 1$$

$$\alpha = \frac{0.5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0.5}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \le 1$$

5.3 Carichi orizzontali

Il calcolo del carico limite orizzontale di pali verticali è riportato nel §13.2 di [8] e nel cap.7 di [10]. I risultati presentati nei riferimenti bibliografici sono calcolati ipotizzando un palo in un terreno omogeneo.

Jasp esegue un'analisi numerica per determinare il carico limite orizzontale di pali in terreni con diversi strati.

Per terreni coesivi la resistenza limite del terreno è posta pari a ([10] fig.7.4 pag 152; [8] fig.13.22 pag.399)

$$p_u = 9 c_u$$
 per profondità $\geq 3D$,

$$p_u = c_u [2 + 7z/(3d)]$$
 per $z < 3D$

per i terreni non coesivi ([10] §7.2.2.2 pag 155; [9] fig.9.3.2.1 pag.265)

$$p_u = 3\sigma'_v Kp$$

dove:

 σ'_{v} = tensione litostatica verticale efficace

$$Kp = (1+sen \varphi')/(1-sen \varphi')$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:						
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_15_EO_SCS10						
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione				
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 180	20/07/2022	00				

 φ' = angolo di attrito interno (in tensioni efficaci)

5.3.1 Pali non vincolati o a testa libera

La rottura di un palo libero di ruotare in testa può avvenire secondo due meccanismi:

- a) a palo corto: senza la formazione di cerniere plastiche nel palo
- b) a palo lungo, con la formazione di una cerniera plastica nel palo ad una profondità da calcolare.

Jasp calcola, per ogni coppia Hu-M, il meccanismo di rottura e l'eventuale posizione della cerniera plastica, tenendo conto della resistenza limite dei diversi strati attraversati dal palo.

5.3.1 Pali vincolati o a testa incastrata

La rottura di un palo non libero di ruotare in testa può avvenire secondo tre meccanismi:

- a) a palo corto: senza la formazione di cerniere plastiche nel palo
- b) a palo medio, con la formazione di una sola cerniera plastica in testa al palo.
- c) a palo lungo, con la formazione una cerniera plastica in testa al palo e di un'altra cerniera ad una profondità da calcolare.

Jasp calcola, per ogni forza orizzontale Hu, il meccanismo di rottura e l'eventuale posizione della cerniere plastiche, tenendo conto della resistenza limite dei diversi strati attraversati dal palo.

5.4 Gruppi di pali

Secondo EC7 §7.6.2.1punti (3) e (4):

Per i pali in gruppo si devono prendere in considerazione due meccanismi di rottura:

- rottura per compressione dei singoli pali;
- rottura per compressione dei pali e del terreno compreso tra essi, considerati come un blocco unico.

Si deve assumere come resistenza di progetto il minore tra i valori dovuti a questi due meccanismi.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:						
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_15_EO_SCS10						
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione				
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 181	20/07/2022	00				

La resistenza a compressione del gruppo di pali, considerato come un blocco unico, si può calcolare considerando il blocco come un palo singolo di grande diametro.

Per il calcolo della resistenza al carico verticale di un gruppo di pali Jasp calcola la resistenza del palo equivalente di grande diametro utilizzando i metodi di calcolo delle fondazioni diretta se L/D < 5 e i metodi di calcolo delle fondazioni profonde se L/D > 5

Jasp, oltre che alla procedura proposta dell'EC7, calcola il fattore E di efficienza della palificata come di seguito riportato ([8] §13.1.7 pag 396 e [10] §3.3.1.1 pag.32)

E = 1 per terreni incoerenti

Per un gruppo di m file con n pali ad interasse x in terreni incoerenti

$$E = 1 - \frac{\arctan(d/x)}{\pi/2} \frac{(m-1)n + (n-1)m}{mn}$$

Nel caso in cui i pali attraversano strati coerenti e incoerenti Jasp calcola il fattore E come la media pesata dei valori sopra indicati, utilizzando come peso la portata degli strati.

Il coefficiente di gruppo in caso di carichi orizzontali è posto, forfettariamente a 0,5, se non indicato diversamente nel tabulato di stampa.([8] §13.2.6 pag 416 e [10] §7.3.1 pag.164)

5.5 Cedimenti

Per il calcolo dei cedimenti sotto i carichi di esercizio Jasp divide il palo in tanti conci elementari ed utilizza il metodo degli elementi finiti per il calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti del palo.

La costante di elasticità laterale verticale del terreno è calcolata con la formula:

$$kv = 2\pi G/\zeta \text{ [N/m}^2\text{]}$$
 ([8] §14.1.2 pag 424)

dove
$$\zeta = \ln(2.5*(1-v)*L/r0)$$
 ([8] §14.1.2 pag 425)

La costante di elasticità della punta del palo è

$$kp = 2dE/(1-v^2) [N/m]$$
 ([8] §14.1.2 pag 424)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:						
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_15_EO_SCS10						
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione				
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 182	20/07/2022	00				

La costante elastica orizzontale è calcolata con le formule ([8] §14.4.1 pagg 466, 487,479 e [10] §8.2.3 pag.180)

 $kh = 1.67 \cdot E/d$ per terreni a grana fine sovraconsolidati.

 $kh = nh \cdot z/d$, dove $nh = 0.5 \cdot 106 [N/m^3]$ per terreni a grana fine normalconsolidati. ([8] §14.4.1 pag 479)

 $kh = (A\gamma'/1,35) \cdot z/d$ per terreni a grana grossa.

dove:

γ' è il peso dell'unità di volume efficace.

A = 200 per terreni sciolti (Dr = 25%); A = 600 per terreni medi (Dr = 50%) ; A = 1500 per terreni sensi (Dr = 75%)

Nelle formule di questo paragrafo: G = modulo di elasticità trasversale del terreno; <math>v = coefficiente di Poisson del terreno; L = lunghezza del palo; <math>r0 = raggio del palo; d = diametro del palo; E = modulo di elasticità longitudinale del terreno.

La verifica dei cedimenti differenziali è fatta come per le fondazioni dirette.

5 Origine e caratteristiche del software di calcolo

Per l'analisi delle sollecitazioni e per le verifiche geotecniche si è utilizzato il software Jasp[®] versione 7.0.37 (64 bit), realizzato dell'ing. Silvestro Giordano, registrato presso la SIAE il 25/09/2012 col n° 008544, distribuito da Ingegnerianet srl (CF 06536761213) attraverso il sito internet www.ingegnerianet.it

6 Affidabilità del software

Il sito internet www.ingegnerianet.it di distribuzione del software Jasp[®] contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, per i quali sono forniti i file di input necessari a riprodurre l'elaborazione.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:					
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_15_EO_SCS10						
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione 00				
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 183	20/07/2022	00				

7 Bibliografia

- [1] R. Lancellotta, Goetecnica, IV Edizione, Zanichelli 2012.
- [2] M.Tanzini, Fondazioni, Dario Flaccovio Editore 2006
- [3] Lancellotta Costanzo Foti, Progettazione Geotecnica, Hoepli 2011
- [4] AA.VV. Guida all'Eurocodice 7, Thomas Telford 2005, EPC Editore 2012
- [5] AA.VV. *Guida all'Eurocodice 8*, Thomas Telford 2005, EPC Editore 2012
- [6] G. Riga, La liquefazione dei terreni, Dario Flaccovio Editore 2007
- [7] Lai Foti Rota, Input sismico e Stabilità Geotecnica dei Siti in Costruzione, IUSS Press 2009
- [8] C. Viggiani, Fondazioni, Hevelius Edizioni 1999
- [9] Diego Carlo Lo Presti, Manuale di Ingegneria Geotecnica, Pisa University Press 2015
- [10] H.G.Poulos E.H Davis, Pali, Dario Flaccovio Editore 1987

Tabulati di stampa

Archivi

Stratig	grafie		
N	Descrizione	falda [m]	Strati
1	Тіро А	80	3 strati: Htot =10
Strati .	stratigrafia Tipo A /2 s	tratic Utat =10\	

Str	ati stratig	rafia 1	Tipo A	A (3 st	rati: F	tot =	10)														
N	Descrizione	Classe	Tipo	Classe 2	Potenza	γ	φ'	φ'cv	Dr	IC	c'	cu	٧	NSPT	OCR	Δσ'ρ	Eed	CR	RR	CR/RR	FC
					[m]	[kN/m³]	[°]	[°]	[%]		[kPa]	[kPa]				[kPa]	[MPa]				[%]

						di documento: ne geotecnica		Codice documento:							
	SCS	510 S.R.L.				eneratore 7 -		R_′	15_EO_SC:	S10					
		dio Tecnico Ingelo Volpo	e	DELL E COSI DI REL R	TRUZIONE IMPIANTO 'ENERGIA I 'OLICA AVE IMMISSION ITTUITO DA LATIVO CO. LETE ELETI DMINATO ", EL COMUN	olo sintetico: ED ESERCIZI DI PRODUZIO ELETTRICA D. ENTE PARI A 54 I 9 AEROGENI PARI A 6 MW LLEGAMENTO TRICA – IMPIA ALTAMURA" (E DI ALTAMU AMO IN COLL	NE A FONTE ZA IN WW ERATORI C CON O ALLA NTO UBICATO RA E	Foglio n. 184	Data 20/07/2022	Revisione 00					
vege	etale limo	fine argillosa	0	1 0	04.9E-324	0 0	0 0	0 1	0.001	0					
Depo	oosito sabbioso li	limo fine	argillosa	7 19.6	31.77 31.77	50 0.4	2 11.3 0.3	2 30 1	2544						
Ghia 0	aioso sabbioso de	limo fine	argillosa	3 26	39.4 39.4	50 0.4 2	7.1 20.8 0.3	5 30 1	9592						
OizaC	oni verifica te	erreni													
N .	Descrizione		Portanza S	Scorr.	Scorr.	Liquef. ced	imenti ced. I	Burl. H compr	ced. Max	d/Δw k Amplif					
		Drenata N	Non Dren. D	renato	Non Dren.	Edo	metrici Burbi	dge Bur-Bur [r	m] [m]	Sisma					
0	Opz.A	auto au	uto auto) a	auto a	uto auto	auto	auto	auto a	uto auto					
ı	Descrizione	kw Trasv./k	kw Ass./kv	V	Stratigrafia	Opzioni \			I sbanc. H rip						
F	Posa A	(0.5).1 1) Tipo	Α	1) Opz.A		1	0	0 1					
	fiche fond		irotto												
veri	nene iona	azioni di	ircttc												
Rettai	ngoli di fond		ii cttc			2:									
Rettai ondazi	ngoli di fond	azione				Dimens				entro					
Rettai ondazi	ngoli di fond	azione	Suolo Posa	a	В	L	Area calc.	Rotaz	х	y z					
Rettai ondazi	ngoli di fond	azione		a	B [m]			Rotaz [°]	х						
Rettai Fondazi Piano	ngoli di fond	azione one		a		L	Area calc.		х	y z					
Rettai Fondazi Piano	ngoli di fond ione Descrizi	lazione	Suolo Posa Posa A		[m] 21.8	L [m] 21.8	Area calc. [m²]	[°]	x [m] [i	y z m] [m]					
Rettai Fondazi Piano Nvilu	ngoli di fond ione Descrizi Plinto 1	lazione	Suolo Posa Posa A di fondaz	ione	[m] 21.8 Mir	L [m] 21.8	Area calc. [m²] 475.24	[*]	x [m] [i	y z m] [m] 0 -3.					
Rettai Fondazi Piano Novilu	ngoli di fondione Descrizi Plinto 1 ppo forze su	lazione one 1) F	Suolo Posa Posa A di fondaz	ione	[m] 21.8 Mir	L [m] 21.8	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F	[°]	x [m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm	y z m] [m] 0 -3.					
Rettai Fondazi Piano nvilu	ngoli di fondione Descrizi Plinto 1 ppo forze su Rettangolo Fond.	one 1) F rettangoli Fam. Cmb.	Suolo Posa Posa A di fondaz	ione Fy [N]	[m] 21.8 Mir Fz [N]	L [m] 21.8	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F 4 238M	[°] 0 x[N] Fy[N]	x [m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3	y z m] [m] 0 -3.] My [Nm] Mz [Nm] M 274M 238I					
Rettai Fondazi Piano nvilu	ngoli di fondione Descrizi Plinto 1 Ippo forze su Rettangolo Fond.	lazione 1) F I rettangoli Fam. Cmb. 1) Fondamentale 4) Quasi Perm.	Suolo Posa Posa A di fondaz . Fx [N]	Fy [N] 0	[m] 21.8 Mir Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M	L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274N 10.2M 183N	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M	[°] 0 x [N] Fy [N] 0 0 0 0	x [m] [n] [n] 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3 -26.6M 10.2	y z m] [m] 0 -3. Ny [Nm] Mz [Nm] M 274M 238I M 183M 159I					
Rettai Fondazi Piano nvilu Piano Suffi	ngoli di fondione Descrizi Plinto 1 Rettangolo Fond. Plinto 1 Plinto 1 Tissi: f=10 ⁻¹⁵ ; p=1	azione 1) F rettangoli Fam. Cmb. 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ ; p nti Edometi	Suolo Posa Posa A di fondaz . Fx [N] µ=10 ⁻⁶ ; m=10	Fy [N] 0	[m] 21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 3, M=10 ⁶ , C	L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274N 10.2M 183N 183N 183N 183N 183N 183N 183N 183N	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M F=10 ¹⁵ (Sis	[°] 0 x[N] Fy[N] 0 0 0 0 tema Internaz	x 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3 -26.6M 10.2 10.2 10.14	y z m] [m] 0 -3. Ny [Nm] Mz [Nm] M 274M 2381 M 183M 1591 A)					
Rettai Fondazi Piano nvilu Piano Suffi	ngoli di fondione Descrizi Plinto 1 Rettangolo Fond. Plinto 1 Plinto 1 Tissi: f=10 ⁻¹⁵ ; p=1	Tarettangoli Fam. Cmb. 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ ; p	Suolo Posa Posa A di fondaz . Fx [N] u=10 ⁻⁶ ; m=10	Fy [N] 0	[m] 21.8 Mir Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M	L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274N 10.2M 183N G=10 ⁹ ; T=10 ¹² ;	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M S P=10 ¹⁵ (Sis	[°] 0 x[N] Fy[N] 0 0 0 0 tema Internaz	x [m] [n] [n] 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3 -26.6M 10.2	y z m] [m] 0 -3. Ny [Nm] Mz [Nm] M 274M 238I M 183M 159I a) k.Wink.					
Rettai Fondazi Piano nvilu Piano Suffi	ngoli di fondione Descrizi Plinto 1 Rettangolo Fond. Plinto 1 Plinto 1 Fissi: f=10 ⁻¹⁵ ; p=1 Che Cedimer	azione 1) F rettangoli Fam. Cmb. 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ ; p nti Edometi	Suolo Posa Posa A di fondaz . Fx [N] µ=10 ⁻⁶ ; m=10	Fy [N] 0	[m] 21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 3, M=10 ⁶ , C	L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274N 10.2M 183N 183N 183N 183N 183N 183N 183N 183N	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M F=10 ¹⁵ (Sis	[°] 0 x[N] Fy[N] 0 0 0 0 tema Internaz	x 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3 -26.6M 10.2 10.2 10.14	y z m] [m] 0 -3. Ny [Nm] Mz [Nm] M 274M 2381 M 183M 1591 A)					
Rettai Fondazi Piano nvilu Piano Suffi	ngoli di fondione Descrizi Plinto 1 Rettangolo Fond. Plinto 1 Plinto 1 Fissi: f=10 ⁻¹⁵ ; p=1 Che Cedimer	Tarettangoli Fam. Cmb. 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ ; µ nti Edometi ttangolo	Suolo Posa Posa A di fondaz . Fx [N] µ=10 ⁻⁶ ; m=10	Fy [N] 0	[m] 21.8 Min Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 3, M=10 ⁶ , C	L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274N 10.2M 183N G=10 ⁹ ; T=10 ¹² ;	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M S P=10 ¹⁵ (Sis	[°] 0 x [N] Fy [N] 0 0 0 tema Internaz σ'v0 [Pa]	x [m] [i	y z m] [m] 0 -3. Ny [Nm] Mz [Nm] M 274M 238I M 183M 159I a) k.Wink. [N/cm³]					
Rettai Fondazi Piano nvilu Piano Suffi Verific	ngoli di fondione Descrizi Plinto 1 Ippo forze su Rettangolo Fond. Plinto 1 Plinto 1 Che Cedimer Re for Plinto 1 Che Liquefaz	azione 1) F I rettangoli Fam. Cmb. 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ ; µ nti Edometi ttangolo ndazione	Suolo Posa Posa A di fondaz . Fx [N] u=10 ⁻⁶ ; m=10	Fy [N] 0 0 0 0-3; k=10	[m] 21.8 Mir Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 3, M=10 ⁶ ; C	L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274N 10.2M 183N G=10 ⁹ ; T=10 ¹² ; q [Pa] 55968	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M S P=10 ¹⁵ (Sis	[°] 0 x[N] Fy [N] 0 0 tema Internaz σ'v0 [Pa] 3 1960	x [m] [n] [n] 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3 -26.6M 10.2 ionale di misura WTot [mm] 00 0.2064	y z m] [m] 0 -3. Ny [Nm] Mz [Nm] M 274M 238I M 183M 159I a) k.Wink. [N/cm³]					
Rettai Fondazi Piano Invilu Piano Suffi	ngoli di fondione Descrizi Plinto 1 Rettangolo Fond. Plinto 1 Plinto 1 Che Cedimer Re for Plinto 1	azione 1) F I rettangoli Fam. Cmb. 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ ; p nti Edometi ttangolo ndazione	Suolo Posa Posa A di fondaz . Fx [N] u=10 ⁻⁶ ; m=10	Fy [N] 0 0 0 0 0-3; k=10	[m] 21.8 Mir Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 3, M=10 ⁶ ; C	L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274N 10.2M 183N G=10 ⁹ ; T=10 ¹² ; q [Pa]	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M S P=10 ¹⁵ (Sis	[°] 0 x [N] Fy [N] 0 0 0 tema Internaz σ'v0 [Pa]	x [m] [n] [n] 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3 -26.6M 10.2 ionale di misura WTot [mm] 00 0.2064	y z m] [m] 0 -3. Ny [Nm] Mz [Nm] M 274M 238I M 183M 159I a) k.Wink. [N/cm³]					

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:						
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_15_EO_SCS10						
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione				
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 185	20/07/2022	00				

4 1 55968 36368 6.1931 1.881 0.13328 95618 79 No 0 0

Parametri strati calcolo portanza

				St	trato Inferiore			Strato Superiore								
Piano	Rett.Fond	Drenato	fi'[°]	γ'	c'	cu	potenza	fi'[°]	γ'	c'	cu	potenza				
				[N/m³]	[Pa]	[Pa]	[m]		[N/m³]	[Pa]	[Pa]	[m]				
0	Plinto 1	Sì	31.77	21733	2000	11300	9	31.77	19600	2000	11300	1				
0	Plinto 1	No	31 77	21733	2000	11300	9	31.77	19600	2000	11300	1				

Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno

		Punto	di applicazio	ne			For		Reage				
Fam	Cmb	x [m]	y [m]	z [m]	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	x [m]	y [m]	Press.
													[Pa]
1	1	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	2	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	3	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	4	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
4	1	6.869	-0.385	0.000	0	0	-26.6M	0	0	159M	8.06	21.03	157k

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^{3}$; $M=10^{6}$; $G=10^{9}$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza

i iaiio o i ii	iiilo i iteaz	ione terrent	y bei veillic	a portanza				
Fam	Cmb	B'[m]	L'[m]	B'/L'	V	HB'	HL'	Hk
					[N]	[N]	[N]	[N]
1	1	5.822	20.906	0.278	34.3M	() 0	0
1	2	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0
1	3	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0 0	0
1	4	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^3$; $M=10^6$; $G=10^9$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata

							γ					c'				q							
Fam	Cmb	q	qLim	γR	coef	σ	N	S	i	b	d	σ	N	S	i	b	d	σ	N	S	i	b	d
		[Pa]	[Pa]		Verif	[Pa]						[Pa]						[Pa]					
1	1	2821	2 16M	3 30	0.300	63 3h	26.7	0.016	1 000	1 000	1 000	2 001	3/18	1 153	1 000	1 000	1 0/0	10.66	22.6	1 1/17	1 000	1 000	1 0/17

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_15_EO_SCS10 Foglio Data Revisior			
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio		Revisione	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 186	20/07/2022	00	

2 282k 2.16M 2.30 0.300 63.3k 26.7 0.916 1.000 1.000 1.000 2.00k 34.8 1.153 1.000 1.000 1.049 19.6k 22.6 1.147 1.000 1.000 1.047
3 282k 2.16M 2.30 0.300 63.3k 26.7 0.916 1.000 1.000 1.000 2.00k 34.8 1.153 1.000 1.000 1.000 1.049 19.6k 22.6 1.147 1.000 1.000 1.047
4 282k 2.16M 2.30 0.300 63.3k 26.7 0.916 1.000 1.000 1.000 2.00k 34.8 1.153 1.000 1.000 1.000 1.049 19.6k 22.6 1.147 1.000 1.000 1.047

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^{3}$; $M=10^{6}$; $G=10^{9}$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Scorrimento

			Drer	Drenato Non Dre		renato	
Fam	Cmb	H [N]	Rd [N]	coefVerif	Rd [N]	coefVerif	
1	1	0	19.3M	0.000	-	-	
1	2	0	19.3M	0.000	-	-	
1	3	0	19.3M	0.000	-	-	
1	4	0	19.3M	0.000	-	-	

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^{3}$; $M=10^{6}$; $G=10^{9}$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico

				-					
z sup	spess.	σ'vo	σ'р	Δσν	Δσv/qN	σ'f	CR	RR	Δwi
[m]	[m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]		[Pa]			[m]
1	3	49000	49000	137015	0.99809	186015	4.435E-5	5.5438E-6	7.7083E-5
4	3	107800	107800	131370	0.95697	239170	9.757E-5	1.2196E-5	0.0001013
7	3	176200	176200	117092	0.85296	293292	4.2297E-5	5.2872E-6	2.808E-5

Riassunto verifiche

Verifiche terreno di fondazione

			Co	pefficienti S	LU		Cedim	.Max			Cedim.I	Diff.	
Piano	Fondazione	Port.	Port.	Scorr.	Scorrim.	Liquef.	W	Coef.	Δw	Dist.	Coef	Fondazione	Verif.
		Dren.	Non Dren.	Dren.	Non Dren.		[mm]		[mm]	[m]		Confronto	Tot.
0	Plinto 1 Sì	0.299		0.000		0.000	0.206	0.004	0.000	0.000	-	Plinto 1	

Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione

SLU									SLE		Totale	
Port.	Port.	Port.	Scorr.	Scorr	Scorr.	Liquef.	Tot	Ced. max	Ced. diff.	Tot.	Tot.	
Dren.	Non dren.	Tot	dren.	non dren.								
0.299		0.299	0.000		0.000	0.000	0.299	0.004		0.004	0.299	

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 7 -	R_15_EO_SCS10			
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 187	Data 20/07/2022	Revisione 00	

Verifiche totali terreno di fondazione

SLU									SLE		Totale
Port.	Port.	Port.	Scorr.	Scorr	Scorr.	Liquef.	Tot	Ced. max	Ced. diff.	Tot.	Tot.
Dren.	Non dren.	Tot	dren.	non dren.							
Sì	-	Sì	Sì	-	Sì	Sì	Sì	Sì	-	Sì	Sì

Conclusioni

Al fine di fornire un giudizio motivato di accettabilità del risultato, come richiesto al § 10.2.1 NTC18, il geotecnico assevera di aver:

- Esaminato preliminarmente la documentazione a corredo del software Jasp[®] e di ritenerlo affidabile ed idoneo alla struttura in oggetto.
- Controllato accuratamente i tabulati di calcolo ed il listato degli errori numerici del solutore.
- Confrontato i risultati del software con quelli ottenuti con semplici calcoli di massima.

Pertanto ritiene che i risultati siano accettabili e che il presente progetto strutturale sia conforme alle Leggi $n^{\circ}1086/71$ e $n^{\circ}64/74$, e al DM 17/01/2018 (Norme tecniche per le costruzioni).

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -	R_15_EO_SCS10 Foglio Data Revisio			
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 188	20/07/2022	00	

9. Relazione geotecnica Aerogeneratore 8

1 Premessa

Nel seguente elaborato sono riportati i risultati delle verifiche geotecniche per fondazioni superficiali e profonde.

Verifiche fondazioni di tipo diretto o superficiali:

- Portanza drenata
- Portanza non drenata (terreno a grana fine saturo)
- Scorrimento drenato
- Scorrimento non drenato (terreno a grana fine saturo)
- Liquefazione terreno (sisma con sabbie sature)
- Cedimenti edometrici (per terreno a grana fine)
- Cedimenti con metodo di Burland e Burbidge (per sabbie)
- Cedimenti differenziali.

Verifiche fondazioni di tipo indiretto su pali:

- Portata verticale drenata e non drenata
- Portata orizzontale drenata e non drenata
- Cedimenti

Le verifiche geotecniche sono effettuate congiuntamente alla modellazione ed alle verifiche strutturali con il software per calcolo strutturali Jasp[®]. Maggiori informazioni riguardanti la modellazione ed il calcolo delle

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -	R_15_EO_SCS10			
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 189	20/07/2022	00	

sollecitazioni della struttura sono riportate nel documento "Relazione di calcolo" a cui si rimanda il lettore per eventuali informazioni non contenute nel seguente elaborato.

2 Riferimenti legislativi

L'analisi della struttura e le verifiche geotecniche sono condotte in accordo alle vigenti disposizioni legislative ed in particolare alle seguenti norme:

Decreto Ministeriale del 17/01/2018, "Norme tecniche per le costruzioni" (di seguito NTC18) e relative "Istruzioni per l'applicazione" ovvero Circolare ministeriale n°7 CSLLPP del 21/1/2019 (di seguito CNTC18).

Inoltre si sono tenute presenti le seguenti referenze tecniche:

Eurocodice 7: "Progettazione geotecnica Parte 1: Regole Generali" . Norma UNI EN 1997-1:2013 (di seguito EC7-1)

Eurocodice 8: "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica, Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici" Novembre 2004. Norma UNI EN 1998-5:2005 (di seguito EC8-5)

3 Modellazione fondazioni

La presente relazione riguarda i seguenti tipi di fondazioni:

- Plinto diretto: Fondazione superficiale costituita da un blocco in calcestruzzo armato a forma di parallelepipedo su cui è presente un solo pilastro e/o un solo carico concentrato.
- •Trave rovescia: Trave di fondazione con una dimensione prevalente che per le verifiche geotecniche è considerata di lunghezza infinita.
- •Platea: Fondazione superficiale con 2 dimensioni prevalenti su cui di norma sono presenti più pilastri e/o carichi distribuiti. In generale le platee di fondazione hanno forma qualsiasi, prevalentemente poligonale o circolare, ma per le verifiche geotecniche di seguito riportate esse sono approssimate con un rettangolo di area equivalente ed orientato lungo gli assi principali di inerzia della forma originale.
- •Palo: Elemento strutturale con sezione circolare con una dimensione prevalente, realizzato in opera o infisso nel terreno, in grado agli strati profondi del terreno i carichi trasmessi dalla sovrastruttura.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -	R_15_EO_SCS10			
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 190	Data 20/07/2022	Revisione 00	

4 Verifiche fondazioni dirette

4.1 Capacità portante

La verifica per carico limite dell'insieme fondazione-terreno è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3) con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

$$\gamma_{G1} = 1,3; \qquad \gamma_{G2} = 1,5; \qquad \gamma_{Qi} = 1,5; \qquad \gamma_{R} = 2,3; \qquad \gamma_{M} = 1,0;$$

La verifica della capacità portante viene fatta come indicato nell'appendice D dell'EC7-1 secondo il procedimento di seguito riportato.

4.1.1 Simboli utilizzati

q = pressione litostatica totale di progetto agente sul piano di posa della fondazione;

q' = pressione litostatica efficace di progetto agente sul piano di posa della fondazione;

B '= larghezza efficace di progetto della fondazione;

L'=lunghezza efficace di progetto della fondazione;

 $A' = B' \cdot L' =$ area della fondazione efficace di progetto (per le travi: $A' = B' \cdot 1m$);

 $B'/L' \le 1$ (per le travi: B'/L' = 0);

D = profondità del piano di posa;

 γ '= peso di volume efficace di progetto del terreno al di sotto del piano di posa della fondazione;

V = carico verticale;

H = carico orizzontale;

 θ = angolo che H forma con la direzione L';

R = Resistenza totale fondazione:

cu = Resistenza a taglio non drenata;

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -	R_15_EO_SCS10				
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 191	20/07/2022	00		

c' = Coesione intercetta in termini di tensioni efficaci;

 φ' = Angolo di resistenza a taglio in termini di tensioni efficaci;

 φ' cv = angolo di resistenza a taglio allo stato critico;

4.1.2 Condizioni non drenate

Il carico limite di progetto si calcola con la formula:

$$R/A' = \sigma c \cdot c u \cdot s c \cdot i c + \sigma q$$

dove:

$$\sigma c = (2 + \pi)$$

$$\sigma q = q$$

$$sc = 1 + 0.2 (B'/L')$$

$$ic = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} [1 - H/(A'cu)]^{0,5} con H \le A'cu$$

$$dc = 1 + 0.4 atg(D/B')$$

dove il coefficiente di profondità de è calcolato come indicato da Meyerof (1951), Skempton (1951) e Hansen (1961) ([1] §8.17.2 pag 437; [2] §4.2 pag 117)

Nel caso di suoli con più strati, la resistenza portante è calcolata utilizzando i parametri dello strato meno resistente. La ricerca dello strato meno resistente viene fatta tenendo presente che il meccanismo di collasso non drenato interessa un zona con profondità 0,707 B ([1] §8.13.1 pag 412, fig.8.51).

4.1.3 Condizioni drenate

Il carico limite di progetto è calcolato con la formula:

$$R/A' = \sigma c \cdot Nc \cdot dc \cdot sc \cdot ic + \sigma q \cdot Nq \cdot dq \cdot sq \cdot iq + \sigma \gamma \cdot N\gamma \cdot d\gamma \cdot s\gamma \cdot i\gamma$$

con:

$$\sigma c = c'$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -	R_	S10			
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 192	20/07/2022	00		

$$\sigma q = q'$$

$$\sigma \gamma = 0.5 \gamma' B'$$

e con i valori di progetto dei fattori adimensionali per

- la resistenza portante:

$$Nq = e^{\pi tan\phi'} tan^2 (45^{\circ} \phi'/2)$$

$$Nc = (Nq - 1) ctg \varphi'$$

$$N\gamma = 2(Nq - 1) tg \varphi'$$

- la forma della fondazione:

$$sq = 1 + (B'/L') sen \varphi'$$

$$sc = (sq \cdot Nq - 1)/(Nq - 1)$$

$$s\gamma = 1 - 0.3(B'/L')$$

- la profondità della fondazione (Hansen 1970, Vesic 1973) ([1] §8.17.1 pag 435; [2] §4.2 pag 117)

$$dq = 1 + 2 tg \phi' (1 - \sin \phi')^2 atg(D/B')$$

$$dc = dq - (1-dq)/(Nc \cdot tg\phi')$$

$$d\gamma = 1$$

- l'inclinazione del carico, dovuta ad un carico orizzontale H che forma un angolo θ con la direzione di L',

$$iq = [1 - H/(V + A'c'cot\phi')]^m;$$

$$ic = iq - (1 - iq)/(Nc \cdot tan\varphi');$$

$$i\gamma = [1 - H/(V + A' \cdot c' \cdot cot\phi')]^{m+1};$$

dove:

$$m = m_L \cos^2\!\theta + m_B \sin^2\!\theta$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -	R_	15_EO_SC:	S10
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE	Foglio n. 193	Data 20/07/2022	Revisione 00
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO			
	DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE			

$$m_B = = [2 + (B'/L')] / [1 + (B'/L')]$$

$$m_L = [2 \cdot B'/L' + 1] / [1 + (B'/L')]$$

Nel caso di suoli con più strati, la resistenza portante è calcolata utilizzando i parametri dello strato meno resistente. La ricerca dello strato meno resistente è fatto tenendo presente che il meccanismo di collasso drenato interessa un zona con profondità $z = B \sin \psi \exp(\psi t g \phi') \cos \psi = 45^{\circ} + \phi'/2$ ([1] §8.13.1 pag 430, fig.8.59).

4.1.4 Verifica sismica SLV

Gli effetti sismici sono tenuti in conto come indicato nei §7.11.5.3 NTC18 e §C7.11.5.3.1 CNTC08.

In particolare è possibile portare in conto l'effetto inerziale nel calcolo delle forze orizzontali H trasmesse dalla fondazione al terreno ed impiegando *le formule comunemente adottate per calcolare i coefficienti correttivi del carico limite in funzione dell'inclinazione, rispetto alla verticale, del carico agente sul piano di posa.* In tal caso si utilizza un coefficiente γ_R più basso, pari a 1,8, come indicato nelle NTC18. In alternativa si può non tenere conto dell'effetto inerziale delle forze orizzontali ed usare $\gamma_R = 2,3$.

L'effetto cinematico, che *modifica il solo coefficiente N* γ , è tenuto in conto con l'introduzione di una forza orizzontale aggiuntiva Hk = k_{vk} ·V, con k_{vk} calcolato come indicato nel §7.11.3.5.2 NTC18

4.2 Scorrimento

La verifica per scorrimento sul piano di posa è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3) con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

$$\gamma_{G1} = 1.0$$
; $\gamma_{G2} = 1.0$; $\gamma_{Oi} = 1.0$; $\gamma_{R} = 1.1$; $\gamma_{M} = 1.0$

Il calcolo della resistenza allo scorrimento è fatto come indicato nel §6.5.3 EC7-1:2005 ([4] §3.3.2 pag 96; [3] §2.5 pag 41)

La verifica a scorrimento in condizione drenate è fatta con la relazione:

$$H \leq R_d$$

Dove,

in condizioni drenate: $R_d = V \cdot tg \, \phi' \cdot cv / \gamma_R$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -	R_′	15_EO_SC	S10
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 194	Data 20/07/2022	Revisione 00

in condizioni non drenate: $R_d = A \cdot cu/\gamma_R$

con A = area della fondazione.

4.3 Liquefazione

La verifica della liquefazione è effettuata come indicato nel §7.11.3.4.2 delle NTC18.

Il calcolo della magnitudo attesa è effettuato utilizzando, a partire dal reticolo di riferimento fornito nell'allegato B delle NTC08, la formula di Sabetta e Pugliese (1996)

$$Log(A) = -1,562 + 0,306 M - Log[(de^2 + 5,8^2)^{1/2}]$$
 (1)

dove:

A è l'accelerazione massima attesa in g

de è la distanza dall'epicentro del sisma in km.

Per il calcolo della magnitudo attesa per il sito in oggetto si è proceduto in questo modo:

- a) Tutti i 10751 punti del reticolo sono ipotizzati (a vantaggio di sicurezza) come possibili epicentri di sisma e utilizzando la formula inversa della (1) sono calcolate tutte le magnitudo di tutti i possibili terremoti in Italia.
- b) Riutilizzando la (1) a partire da ogni punto del reticolo viene calcolata l'accelerazione nel sito in oggetto, scartando i terremoti che producono un'accelerazione attesa minore di 0,1g.
- c) Tra tutti i terremoti non scartati si prende quello con magnitudo massima.

In questo modo, per il sito in esame si trova il sisma che ha magnitudo massima e che produce un'accelerazione maggiore di 0,1g, ovvero che può produrre la liquefazione del terreno.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -	R_′	15_EO_SC	S10
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 195	Data 20/07/2022	Revisione 00

Nel caso di sabbie in cui sia obbligatorio effettuare la verifica a liquefazione si procede, per ogni strato di terreno posto al di sotto potenzialmente liquefacibile, con la verifica: ([2] §11.5.4 pag 401; [5] §10.4.1.5 pag 295; [6]; [7] §6.2.4 pag 243):

CSR*1,25/CRR ≤ 1

dove:

CSR = rapporto di sforzo ciclico;

CRR = rapporto di resistenza ciclica;

1,25 è il coefficiente di sicurezza definito dall'EC8-5 §4.1.4 (11) ;

con:

 $CSR = 0.65 \cdot rd \cdot (a_{max}/g) \cdot (\sigma_f/\sigma_f');$

 a_{max} = accelerazione orizzontale di picco SLV del sito in oggetto = S·ag = Ss·St·ag (NTC18§3.2.3.2);

 $\sigma_f = \Delta \sigma_V + \sigma_{V0} = \text{pressione verticale totale};$

 $\sigma'_f = \Delta \sigma_V + \sigma'_{V0} =$ pressione efficace verticale totale;

 $\Delta\sigma_V$ è l'incremento di tensione prodotto dal carico netto, calcolato trascurando la rigidezza della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

 σ'_{V0} è la tensione geostatica efficace

 σ_{V0} è la tensione geostatica totale

g è l'accelerazione di gravità;

rd = 1 - 0.00765 z, per $z \le 9.15 m$;

rd = 1,174 - 0,00267 z, per 9.15 m < $z \le 23$ m;

z è la profondità in metri dal piano di campagna;

 $CRR = CRR_{7,5} \cdot C_M;$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -	R_	15_EO_SC	S10
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 196	Data 20/07/2022	Revisione 00

dove: $CRR_{7,5} = (a+c\cdot x+e\cdot x^2+g\cdot x^3)/(1+b\cdot x+d\cdot x^2+f\cdot x^3+h\cdot x^4)$;

con: a=0.048; b=-0.1248; c=-0.004721; d=0.009578; e=0.0006136; f=-0.0003285; g=-0.00001673; h=0.000003741 (Blake 1996);

$$x = (N_1)_{60CS} = \alpha + \beta N_{60} C_N C_P;$$

$$C_N = (100 \text{kPa/}\sigma'_{v0})^{1/2} \text{ con } 0.5 \le C_N \le 2;$$

$$C_P = 0.75 \text{ per } z \le 3m \text{ e } C_P = 1 \text{ per } z > 3m;$$

 $N_{60} = N_{SPT}$ normalizzato tenendo conto del rapporto energetico del maglio, diametro del foro, lunghezza delle aste e metodo di campionamento (vedere relazione geologica)

 α e β dipendono dal contenuto di fino FC, con:

- FC \leq 5%: $\alpha = 0.0$; $\beta = 1.0$:
- 5% < FC \leq 35%: $\alpha = \exp[1.76 (190/FC^2)]$; $\beta = 0.99 + FC^{1.5}/1000$;
- 35% < FC: α = 5,0; β = 1,2;

C_M dipende dalla magnitudo attesa M ed è ricavabile dalla Tabella B.1 EC8-5:2005, che approssimeremo per semplicità ed a vantaggio di sicurezza con le seguenti funzioni:

$$C_M = (M/7,5)^{-3.3}$$
 per M \leq 7,5 [Andrus e Stokoe. (1997)]

$$C_M = (M/7.5)^{-6.47} \text{ per } M > 7.5$$

4.4 Cedimenti

La verifica dei cedimenti è fatta con la disuguaglianza:

$$w \leq 50 mm$$

come indicato al §H(4) EC7-1:2005

Il calcolo dei cedimenti è effettuato con:

• il metodo edometrico per i terreni a grana fine (limi ed argille)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -	R_	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 197	20/07/2022	00

• il metodo Burland e Burbidge per i terreni a grana grossa (sabbie e ghiaie)

4.4.1 Metodo edometrico

Per terreni a grana fine i cedimenti sono calcolati utilizzando il metodo edometrico, proposto da Terzaghi (1943) ([1] §8.7.2 pag 437; [2] §5.3.2 pag.164; [3] §2.7 pag.58)

Il terreno al di sotto della fondazioni viene diviso in n strati e per ogni strato si calcola il cedimento con la formula

$$\Delta Hi = Hi [RR \cdot Log(k_R) + CR \cdot Log(k_C)]$$

con:

$$k_R = min\{\sigma'_P; \sigma'_f\}/\sigma'_{V0}$$

$$k_C = \max\{\sigma'_f/\sigma'_P; 1\}$$

 σ'_{V0} è la tensione geostatica efficace

 $\Delta\sigma_V$ è l'incremento di tensione prodotto dal carico netto, calcolato trascurando la rigidezza della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

$$\sigma'_f = \Delta \sigma_V + \sigma'_{V0}$$

 σ'_P = tensione di preconsolidazione = OCR $\cdot \sigma'_{V0}$

dove:

OCR è il rapporto di preconsolidazione.

Hi = spessore dello strato

RR = rapporto di ricompressione

CR = rapporto di compressione

Per terreni normalconsolidati $CR = 2.3 \cdot \sigma'_{V0}/Eed$

Per terreni sovraconsolidati RR = $2.3 \cdot \sigma'_{V0}$ /Eed

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -	R_′	15_EO_SC	S10
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 198	Data 20/07/2022	Revisione 00

dove Eed è il modulo edometrico.

Il cedimento totale è calcolato sommando il cedimento di tutti gli strati in cui $\Delta \sigma'_{Z} > 0,10 \sigma'_{V0}$

$$w = \sum \Delta Hi$$

Per argille tenere il metodo fornisce il cedimento di consolidazione ed il cedimento immediato è pari al 10% del cedimento di consolidazione

Per fondazioni su argille consistenti il metodo fornisce il cedimento totale.

4.4.2 Metodo di Burland e Burbidge

Il calcolo dei cedimenti per i terreni a grana grossa è effettuato con il metodo di Burland e Burbidge (1985) ([1] §8.8.1 pag 482; [2] §5.2.1 pag.153; [3] §2.8.1 pag.62)

Il cedimento totale è calcolato con la formula:

$$w = fs \cdot fh \cdot ft \cdot Z_I \cdot Ic \cdot (\sigma_A/3 + \sigma_B)$$

dove:

$$\sigma_A = \min\{\sigma'_P; q'\}$$

$$\sigma_B = \max\{q' - \sigma_A; 0\}$$

 σ'_P = tensione di preconsolidazione al piano di posa della fondazione = OCR · σ'_{V0}

$$Z_I = B^{0,7} = profondità di influenza$$

B è la larghezza minima della fondazione espressa in metri

L è la lunghezza della fondazione (L>B)

q' è il carico unitario efficace della fondazione espresso in kPa

 $Ic = 1.7/Nc^{1.4} = indice di compressibilità$

Nc è la media aritmetica dei valori Ncs per la profondità H

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -	R_	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 199	20/07/2022	00

con:

H = spessore dello strato comprimibile, se $H < Z_I$

 $H = Z_I$, se N_{SPT} è costante o cresce con la profondità

H = 2B, se N_{SPT} decresce con la profondità

e, per ogni strato:

 $Ncs = 15 + (N_{SPT}-15)/2$ per sabbie fini o limose sotto falda con $N_{SPT}>15$

 $Ncs = N_{SPT}$ negli altri casi.

inoltre:

$$fh = k_{HZ}/(2 - k_{HZ})$$

$$k_{HZ} = min\{1, H/Z_I\}$$

$$fs = [1,25 / (1+0,25 \cdot B/L)]^2$$

ft = $(1,3 + 0,2 \cdot \text{Log}(t/3))$ con t la vita nominale della struttura in anni.

4.4.3 Cedimenti Differenziali

La verifica dei cedimenti differenziali è fatta con la disuguaglianza:

$$\Delta w/$$
 $L \le 1/500$

come indicato al §H(2) EC7-1:2005

dove:

L è la distanza tra i due punti di calcolo dei cedimenti considerati

 $\Delta w = |w1 - w2| = differenza tra i cedimenti considerati$

In caso di trave di fondazione il calcolo è effettuato tra i cedimenti calcolati nelle sezioni iniziale, centrale e finale della trave.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -	R_1	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data 20/07/2022	Revisione 00
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 200	20/0//2022	50

Nel caso di plinti il calcolo viene effettuato tra ogni coppia di plinti.

Nel caso di platea il cedimento differenziale è calcolato tra il punto centrale e lo spigolo della platea considerando la platea di rigidezza nulla e posta su un semispazio elastico. In questo caso: $\Delta w = w/2$.

5 Verifiche fondazioni su pali

5.1 Capacità portante

La verifica per carico limite dell'insieme fondazione-terreno è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3).

I coefficienti parziali di sicurezza, come riportato nei tabulati di stampa, utilizzati sono quelli indicati nel §6.4.3.1.1 NTC18 per le resistenze dei pali soggetti a carichi assiali, e quelli indicati nel §6.4.3.1.1 NTC18 per le resistenze dei pali soggetti a carichi trasversali.

Le resistenze assiale e trasversale sono calcolate con i metodi analitici di seguito indicati.

5.2Carichi verticali

Il carico limite ultimo di un singolo palo per carichi verticali è ottenuto dall'equazione: ([3] §3.1.2 pag 74 e [8] §13.1.2 pag.372)

$$Q_{lim} = P + S = \frac{\pi d^2}{4} p + \pi d \int_0^L s(z) dz - W$$

dove:

Q lim = carico limite ultimo assiale del palo singolo

P = Resistenza alla punta

S = Resistenza laterale

p = resistenza unitaria alla punta del palo singolo

s(z) = resistenza unitaria laterale alla generica profondità

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -	R_	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 201	20/07/2022	00

W = peso proprio del palo

La resistenza unitaria alla punta (p) può essere espressa mediante l'equazione :

$$p = N_q \cdot \sigma'_{v,z=L} + N_c c$$

Che in condizioni non drenate si trasforma nell'equazione

$$p = R_c (\sigma_{v,z=L} + N_c c_u)$$

con:

Nc = 9;

Rc = 1 per argille non consistenti (indice di consistenza \geq 0,5) ([2] §8.5.1.1 pag 377; [7] §3.1.2.1 pag.76)

 $Rc = (D + 0.5)/(2D) \le 1$ per pali infissi in argille consistenti

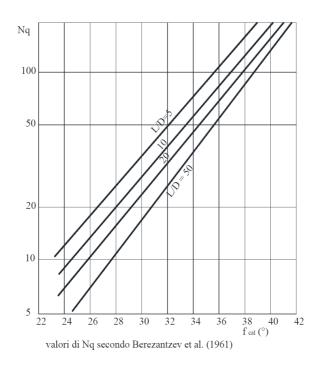
 $Rc = (D+1)/(2D+1) \le 1$ per pali trivellati in argille consistenti

In condizioni drenate la resistenza unitaria alla punta (p) è calcolata con l'equazione:

$$p = N_q \cdot \sigma'_{v,z=L}$$

Per il calcolo del coefficiente Nq si utilizzano le curve di Berezantev et al 1961 ([8] §13.1 pag 377; [9] §2.4.2 pag.242)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -	R_′	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 202	20/07/2022	00



dove:

 $\phi_{cal} = (\phi + 40^{\circ})/2$ per pali battuti

 $\varphi_{cal} = \varphi - 3^{\circ}$ per pali trivellati

Come abbiamo visto in precedenza la resistenza laterale S è pari a:

$$S = \pi d \int_0^L s(z) dz$$

In condizioni drenate la resistenza laterale unitaria s(z) può essere valutata mediante il cosiddetto "metodo β ". Con questo metodo:

$$s(z) = \mu K \sigma'_{\nu z}$$

dove $\beta = \mu K e \mu = tg(\delta)$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -	R_	15_EO_SC	S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 203	20/07/2022	00

Di seguito sono riportati i valori utilizzati da Jasp per terreni a grana grossa ([8] §13.1 pag 378; [9] §2.4.2 pag.246)

_	κ		
Tipo di palo	(Dr = 25%)	(Dr = 75%)	μ
Batt. tubo acc. chiuso	1,0	2,0	0,36
Batt. Cls prefabbricato	1,0	2,0	tan(0,75 φ')
Batt. Cls gettato	1,0	3,0	tan(φ')
Trivellato	0,5	0,4	tan(φ')
Elica continua	0,7	0,9	tan(φ')

Valori di K e μ per il metodo β in terreni a grana grossa

Per densità relative intermedie Jasp calcola il valore interpolato.

Per pali infissi in terreni a grana fine ([10] §3.2.2.2 pag 24; [7] §3.1.2.1 pag.76)

$$K = K0 = (1-\sin\varphi') \cdot OCR^{0.5}$$

per pali trivellati in argille consistenti (indice di consistenza ≥0,5)

$$K = (1 + K_0)/2$$

In condizioni non drenate, quindi in caso di argille e limi saturi, la resistenza unitaria laterale è valutata con il cosiddetto "metodo α ". In questo caso:

$$s(z) = \alpha \cdot c_u$$

dove c_u è la coesione non drenata.

I valori di α possono essere calcolati come indicato di seguito:([8] §13.1 pag 378; [9] §2.4.2 pag.247)

Pali trivellati : $\alpha = 0.7-0.008(c_u - 25)$, con $0.35 \le \alpha \le 0.7$

Pali battuti: $\alpha = 1-0.011(c_u - 25)$, con $0.5 \le \alpha \le 1$

oppure: ([3] §3.1.2.1 pag 75;)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica							
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -	R_15_EO_SCS10						
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 204	Data 20/07/2022	Revisione 00				

Pali trivellati (Stas e Kulhavy 1984) : $\alpha = 0.21 + 0.26 \cdot p_a/c_u$

dove p_a = pressione atmosferica

Pali infissi (Olson e Dennis 1982):

$$\alpha = \frac{0.5}{\left(\frac{c_u}{\sigma_{vo}^I}\right)^{0.25}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma_{vo}^I} \ge 1$$

$$\alpha = \frac{0.5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0.5}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \le 1$$

5.3 Carichi orizzontali

Il calcolo del carico limite orizzontale di pali verticali è riportato nel §13.2 di [8] e nel cap.7 di [10]. I risultati presentati nei riferimenti bibliografici sono calcolati ipotizzando un palo in un terreno omogeneo.

Jasp esegue un'analisi numerica per determinare il carico limite orizzontale di pali in terreni con diversi strati.

Per terreni coesivi la resistenza limite del terreno è posta pari a ([10] fig.7.4 pag 152; [8] fig.13.22 pag.399)

$$p_u = 9 c_u$$
 per profondità $\geq 3D$,

$$p_u = c_u [2 + 7z/(3d)]$$
 per $z < 3D$

per i terreni non coesivi ([10] §7.2.2.2 pag 155; [9] fig.9.3.2.1 pag.265)

$$p_u = 3\sigma'_v Kp$$

dove:

 σ'_{v} = tensione litostatica verticale efficace

$$Kp = (1+sen \varphi')/(1-sen \varphi')$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -					
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio n. 205	Data 20/07/2022	Revisione 00		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	11. 203	20,0112022			

 φ' = angolo di attrito interno (in tensioni efficaci)

5.3.1 Pali non vincolati o a testa libera

La rottura di un palo libero di ruotare in testa può avvenire secondo due meccanismi:

- a) a palo corto: senza la formazione di cerniere plastiche nel palo
- b) a palo lungo, con la formazione di una cerniera plastica nel palo ad una profondità da calcolare.

Jasp calcola, per ogni coppia Hu-M, il meccanismo di rottura e l'eventuale posizione della cerniera plastica, tenendo conto della resistenza limite dei diversi strati attraversati dal palo.

5.3.1 Pali vincolati o a testa incastrata

La rottura di un palo non libero di ruotare in testa può avvenire secondo tre meccanismi:

- a) a palo corto: senza la formazione di cerniere plastiche nel palo
- b) a palo medio, con la formazione di una sola cerniera plastica in testa al palo.
- c) a palo lungo, con la formazione una cerniera plastica in testa al palo e di un'altra cerniera ad una profondità da calcolare.

Jasp calcola, per ogni forza orizzontale Hu, il meccanismo di rottura e l'eventuale posizione della cerniere plastiche, tenendo conto della resistenza limite dei diversi strati attraversati dal palo.

5.4 Gruppi di pali

Secondo EC7 §7.6.2.1punti (3) e (4):

Per i pali in gruppo si devono prendere in considerazione due meccanismi di rottura:

- rottura per compressione dei singoli pali;
- rottura per compressione dei pali e del terreno compreso tra essi, considerati come un blocco unico.

Si deve assumere come resistenza di progetto il minore tra i valori dovuti a questi due meccanismi.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -					
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 206	Data 20/07/2022	Revisione 00		

La resistenza a compressione del gruppo di pali, considerato come un blocco unico, si può calcolare considerando il blocco come un palo singolo di grande diametro.

Per il calcolo della resistenza al carico verticale di un gruppo di pali Jasp calcola la resistenza del palo equivalente di grande diametro utilizzando i metodi di calcolo delle fondazioni diretta se L/D < 5 e i metodi di calcolo delle fondazioni profonde se L/D > 5

Jasp, oltre che alla procedura proposta dell'EC7, calcola il fattore E di efficienza della palificata come di seguito riportato ([8] §13.1.7 pag 396 e [10] §3.3.1.1 pag.32)

E = 1 per terreni incoerenti

Per un gruppo di m file con n pali ad interasse x in terreni incoerenti

$$E = 1 - \frac{\arctan(d/x)}{\pi/2} \frac{(m-1)n + (n-1)m}{mn}$$

Nel caso in cui i pali attraversano strati coerenti e incoerenti Jasp calcola il fattore E come la media pesata dei valori sopra indicati, utilizzando come peso la portata degli strati.

Il coefficiente di gruppo in caso di carichi orizzontali è posto, forfettariamente a 0,5, se non indicato diversamente nel tabulato di stampa.([8] §13.2.6 pag 416 e [10] §7.3.1 pag.164)

5.5 Cedimenti

Per il calcolo dei cedimenti sotto i carichi di esercizio Jasp divide il palo in tanti conci elementari ed utilizza il metodo degli elementi finiti per il calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti del palo.

La costante di elasticità laterale verticale del terreno è calcolata con la formula:

$$kv = 2\pi G/\zeta$$
 [N/m²] ([8] §14.1.2 pag 424)

dove
$$\zeta = \ln(2.5*(1-v)*L/r0)$$
 ([8] §14.1.2 pag 425)

La costante di elasticità della punta del palo è

$$kp = 2dE/(1-v^2) [N/m]$$
 ([8] §14.1.2 pag 424)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -	R_15_EO_SCS10				
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 207	20/07/2022	00		

La costante elastica orizzontale è calcolata con le formule ([8] §14.4.1 pagg 466, 487,479 e [10] §8.2.3 pag.180)

 $kh = 1.67 \cdot E/d$ per terreni a grana fine sovraconsolidati.

 $kh = nh \cdot z/d$, dove $nh = 0.5 \cdot 106 [N/m^3]$ per terreni a grana fine normalconsolidati. ([8] §14.4.1 pag 479)

 $kh = (A\gamma'/1,35) \cdot z/d$ per terreni a grana grossa.

dove:

γ' è il peso dell'unità di volume efficace.

A = 200 per terreni sciolti (Dr = 25%); A = 600 per terreni medi (Dr = 50%) ; A = 1500 per terreni sensi (Dr = 75%)

Nelle formule di questo paragrafo: G = modulo di elasticità trasversale del terreno; <math>v = coefficiente di Poisson del terreno; L = lunghezza del palo; <math>r0 = raggio del palo; d = diametro del palo; E = modulo di elasticità longitudinale del terreno.

La verifica dei cedimenti differenziali è fatta come per le fondazioni dirette.

5 Origine e caratteristiche del software di calcolo

Per l'analisi delle sollecitazioni e per le verifiche geotecniche si è utilizzato il software Jasp[®] versione 7.0.37 (64 bit), realizzato dell'ing. Silvestro Giordano, registrato presso la SIAE il 25/09/2012 col n° 008544, distribuito da Ingegnerianet srl (CF 06536761213) attraverso il sito internet www.ingegnerianet.it

6 Affidabilità del software

Il sito internet www.ingegnerianet.it di distribuzione del software Jasp[®] contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, per i quali sono forniti i file di input necessari a riprodurre l'elaborazione.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -	R_15_EO_SCS10				
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 208	Data 20/07/2022	Revisione 00		

7 Bibliografia

- [1] R. Lancellotta, Goetecnica, IV Edizione, Zanichelli 2012.
- [2] M.Tanzini, Fondazioni, Dario Flaccovio Editore 2006
- [3] Lancellotta Costanzo Foti, Progettazione Geotecnica, Hoepli 2011
- [4] AA.VV. Guida all'Eurocodice 7, Thomas Telford 2005, EPC Editore 2012
- [5] AA.VV. *Guida all'Eurocodice 8*, Thomas Telford 2005, EPC Editore 2012
- [6] G. Riga, La liquefazione dei terreni, Dario Flaccovio Editore 2007
- [7] Lai Foti Rota, Input sismico e Stabilità Geotecnica dei Siti in Costruzione, IUSS Press 2009
- [8] C. Viggiani, Fondazioni, Hevelius Edizioni 1999
- [9] Diego Carlo Lo Presti, Manuale di Ingegneria Geotecnica, Pisa University Press 2015
- [10] H.G.Poulos E.H Davis, Pali, Dario Flaccovio Editore 1987

Tabulati di stampa

Archivi

Stratigrafie												
N	Descrizione	falda [m]	Strati									
1	Тіро А	80	3 strati: Htot =11									

Str	Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =11)																			
N	Descrizione	Classe	Tipo	Classe 2 Poter	za y	φ'	φ'cv	Dr	IC	c'	cu	٧	NSPT	OCR	Δσ'ρ	Eed	CR	RR	CR/RR	FC
															•					
				ſm	[kN/m³]	[°]	[°]	[%]		[kPa]	[kPa]				[kPa]	[MPa]				[%]

				Re	Tipo di do		ica		Codice documento:				
	SC	510 S.R	R.L.		- /	Aerogen	eratore	8 -		R_	15_EO_S	CS10	
		dio Tecn Angelo V		DE CC	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE						Data 20/07/2022	Revisi 00	
1	vegetale limo	fine arg	gillosa 0	1	0 04	.9E-324	0 0	0	0 0	1	0.001	·	0 (
	Deposito sabbioso li	limo fine	e argillosa	6.6 1	6.5 29.23	29.23	50 0.4	2	53 0.34	30 1	1895	j	8
	Ghiaioso sabbioso de 0	limo fine	e argillosa	4.4 2	1.6 26	26	50 0.4	27.1	20 0.35	30 1	4942	!	8
Эpz	zioni verifica t	erreni											
N	Descrizione	Portanza	Portanza	Scorr.	Scor		quef.	cedimen	ti ced. Bi	'		d/∆w	k Amplif.
		Drenata	Non Dren.	Drenato	Non Di	ren.		Edometri	ici Burbid	ge Bur-Bur	[m] [m]		Sisma
l	Opz.A	auto	auto	auto	auto	auto	а	uto	auto	auto	auto	auto	auto
Suc N	oli di posa fon Descrizione		asv./kw kw As	ss./kw	Stratigr	afia	Opzio	oni Verific	che I	Prof. di	H sbanc. H	riporto	γ riporto
							7	Terreno	р	osa [m]	later. [m] La	ater. [m] L	ater.[kN/m³]
1	Posa A		0.5	0.1 1)	Гіро А		1) Opz.A			1	0	0	14
Ve	rifiche fond	lazioni	i dirette										
	tangoli di fond dazione	dazione					Dim	ensione	2		F	centro.	
Pian		zione	Suolo	Posa	В		L		a calc.	Rotaz	x	У	Z
· iuii	o Beschi		34010	1 030	[m		[m]		m²]	[°]	[m]	, [m]	[m]
)	Plinto 1		1) Posa A		ι	21.8	21.8		475.24	0	0	0	-3.4
nvi	iluppo forze s	น rettang	goli di fond	dazione	•	Min					Max		
Piano	Rettangolo Fond.	Fam.	. Cmb.	Fx [N] Fy	/ [N] Fz		[Nm] My	[Nm] M	lz [Nm] Fx	[N] Fy [N]		Nm] My [Nm	n] Mz [Nm]
)	Plinto 1	1) Fondamer		0				274M	238M		• •	5.3M 274	
)	Plinto 1	4) Quasi Per	m.	0	0 -2	26.6M 1	0.2M	183M	159M	0	O -26.6M 1	0.2M 183	M 159N
S	uffissi : f=10 ⁻¹⁵ ; p=	=10 ⁻¹² ; n=10	0 ⁻⁹ ; μ=10 ⁻⁶ ; n	n=10 ⁻³ ; k=	=10 ³ ; M=	10 ⁶ ; G=1	10 ⁹ ; T=1	0 ¹² ; P=	10 ¹⁵ (Siste	ema Interna:	zionale di mis	ura)	
Ver Pian	ifiche Cedime	nti Edon ettangolo		Fam	Cmb		q		qΝ	σ'v0	WTot	k.W	/ink.
		ondazione					[Pa]		[Pa]	[Pa]	[mm]		cm³]
)	Plinto 1			4		1	559	68	39468	165			195.61
	ifiche Liquefa	zione											
Fam		q	qN	Magnit	udo	CM	agS		pa	Δ falda	sabbia	LPI	coef.
		[Pa]	[Pa]				[g]		[Pa]	[m]			verif.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -	R_15_EO_SCS10				
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 210	20/07/2022	00		

4 1 55968 39468 6.1931 1.881 0.13328 95618 79 No 0 0

Parametri strati calcolo portanza

				St	trato Inferiore			Strato Superiore						
Piano	Rett.Fond	Drenato	fi'[°]	γ'	c'	cu	potenza	fi'[°]	γ'	C'	CU	potenza		
				[N/m³]	[Pa]	[Pa]	[m]		[N/m³]	[Pa]	[Pa]	[m]		
0	Plinto 1	Sì	29.23	18744	2000	53000	10	29.23	16500	2000	53000	1		
0	Plinto 1	No	29 23	18744	2000	53000	10	29 23	16500	2000	53000	1		

Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno

		Punto	o di applicazio	ne			For		Reage	ente			
Fam	Cmb	x [m]	y [m]	z [m]	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	x [m]	y [m]	Press.
													[Pa]
1	1	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	2	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	3	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	4	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
4	1	6.869	-0.385	0.000	0	0	-26.6M	0	0	159M	8.06	21.03	157k

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^{3}$; $M=10^{6}$; $G=10^{9}$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza

1 10110 0 1 11	iito i itcuzi	One terrent	Poi voille	a portanza				
Fam	Cmb	B'[m]	L'[m]	B'/L'	V	НВ'	HL'	Hk
					[N]	[N]	[N]	[N]
					[IN]	[IN]	[IN]	[IN]
1	1	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0
1	2	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0
1	3	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0
1	4	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0

 $\textbf{Suffissi}: f=10^{-15}; \ p=10^{-12}; \ n=10^{-9}; \ \mu=10^{-6}; \ m=10^{-3}; \ k=10^{3}; \ M=10^{6}; \ G=10^{9}; \ T=10^{12}; \ P=10^{15} \ (Sistema\ Internazionale\ di\ misura)$

Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata

								γ	1					С	'					C	1		
Fam	Cmb	q	qLim	γR	coef	σ	N	S	i	b	d	σ	N	S	i	b	d	σ	N	S	i	b	d
		[Pa]	[Pa]		Verif	[Pa]						[Pa]						[Pa]					
1	1	282k	1 20M	2 30	0.503	5/1 6k	17.8	0 016	1 000	1 000	1 000	2 00k	28.4	1 1/15	1 000	1 000	1.053	16 5k	16.0	1 136	1 000	1 000	1.050

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -	R_15_EO_SCS10				
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE	Foglio n. 211	Data 20/07/2022	Revisione 00		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE					

2 282k 1.29M 2.30 0.503 54.6k 17.8 0.916 1.000 1.000 1.000 2.00k 28.4 1.145 1.000 1.000 1.053 16.5k 16.9 1.136 1.000 1.000 1.050 1.0

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^{3}$; $M=10^{6}$; $G=10^{9}$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Scorrimento

		~				
			Drei	nato	Non D	renato
Fam	Cmb	H [N]	Rd [N]	coefVerif	Rd [N]	coefVerif
1	1	0	17.5M	0.000	-	-
1	2	0	17.5M	0.000	-	-
1	3	0	17.5M	0.000	-	-
1	4	0	17.5M	0.000	-	-

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^{3}$; $M=10^{6}$; $G=10^{9}$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico

				•					
z sup	spess.	σ'νο	σ'ρ	Δσν	Δσv/qN	σ'f	CR	RR	Δwi
[m]	[m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]		[Pa]			[m]
1	2.8	39600	39600	140159	0.99844	179759	4.8117E-5	6.0147E-6	8.8516E-5
3.8	2.8	85800	85800	135343	0.96413	221143	0.00010425	1.3032E-5	0.00012003
6.6	2.2	132660	132660	124290	0.8854	256950	6.1809E-5	7.7261E-6	3.9041E-5
8.8	2.2	180180	180180	111127	0.79163	291307	8.395E-5	1.0494E-5	3.8534E-5

Riassunto verifiche

Verifiche terreno di fondazione

			C	pefficienti S	LU		Cedim	.Max			Cedim.[Diff.	
Piano	Fondazione	Port.	Port.	Scorr.	Scorrim.	Liquef.	W	Coef.	Δw	Dist.	Coef	Fondazione	Verif.
		Dren.	Non Dren.	Dren.	Non Dren.		[mm]		[mm]	[m]		Confronto	Tot.
0	Plinto 1	0.503		0.000		0.000	0.286	0.005	0.000	0.000	-	Plinto 1	
	Sì												

Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione

SLU									SLE		Totale
Port.	Port.	Port.	Scorr.	Scorr	Scorr.	Liquef.	Tot	Ced. max	Ced. diff.	Tot.	Tot.
Dren.	Non dren.	Tot	dren.	non dren.							

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 8 -	R_15_EO_SCS10				
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 212	20/07/2022	00		

0.503 0.503 0.000 0.000 0.503 0.005 0.005 0.503

Verifiche totali terreno di fondazione

SLU									SLE		Totale
Port.	Port.	Port.	Scorr.	Scorr	Scorr.	Liquef.	Tot	Ced. max	Ced. diff.	Tot.	Tot.
ı ort.	i oit.	T OIL.	Ocoii.	OCOII	Ocoii.	Liquoi.	100	Ocu. max	oca. uiii.	101.	101.
Dren.	Non dren.	Tot	dren.	non dren.							
Sì	-	Sì	Sì	_	Sì	Sì	Sì	Sì	-	Sì	Sì

Conclusioni

Al fine di fornire un giudizio motivato di accettabilità del risultato, come richiesto al § 10.2.1 NTC18, il geotecnico assevera di aver:

- ullet Esaminato preliminarmente la documentazione a corredo del software $Jasp^{\otimes}$ e di ritenerlo affidabile ed idoneo alla struttura in oggetto.
- Controllato accuratamente i tabulati di calcolo ed il listato degli errori numerici del solutore.
- Confrontato i risultati del software con quelli ottenuti con semplici calcoli di massima.

Pertanto ritiene che i risultati siano accettabili e che il presente progetto strutturale sia conforme alle Leggi n°1086/71 e n°64/74, e al DM 17/01/2018 (Norme tecniche per le costruzioni).

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -	R_15_EO_SCS10				
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 213	20/07/2022	00		

10. Relazione geotecnica Aerogeneratore 9

1 Premessa

Nel seguente elaborato sono riportati i risultati delle verifiche geotecniche per fondazioni superficiali e profonde.

Verifiche fondazioni di tipo diretto o superficiali:

- Portanza drenata
- Portanza non drenata (terreno a grana fine saturo)
- Scorrimento drenato
- Scorrimento non drenato (terreno a grana fine saturo)
- Liquefazione terreno (sisma con sabbie sature)
- Cedimenti edometrici (per terreno a grana fine)
- Cedimenti con metodo di Burland e Burbidge (per sabbie)
- Cedimenti differenziali.

Verifiche fondazioni di tipo indiretto su pali:

- Portata verticale drenata e non drenata
- Portata orizzontale drenata e non drenata
- Cedimenti

Le verifiche geotecniche sono effettuate congiuntamente alla modellazione ed alle verifiche strutturali con il software per calcolo strutturali Jasp[®]. Maggiori informazioni riguardanti la modellazione ed il calcolo delle

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -	R_15_EO_SCS10				
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 214	20/07/2022	00		

sollecitazioni della struttura sono riportate nel documento "Relazione di calcolo" a cui si rimanda il lettore per eventuali informazioni non contenute nel seguente elaborato.

2 Riferimenti legislativi

L'analisi della struttura e le verifiche geotecniche sono condotte in accordo alle vigenti disposizioni legislative ed in particolare alle seguenti norme:

Decreto Ministeriale del 17/01/2018, "Norme tecniche per le costruzioni" (di seguito NTC18) e relative "Istruzioni per l'applicazione" ovvero Circolare ministeriale n°7 CSLLPP del 21/1/2019 (di seguito CNTC18).

Inoltre si sono tenute presenti le seguenti referenze tecniche:

Eurocodice 7: "Progettazione geotecnica Parte 1: Regole Generali" . Norma UNI EN 1997-1:2013 (di seguito EC7-1)

Eurocodice 8: "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica, Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici" Novembre 2004. Norma UNI EN 1998-5:2005 (di seguito EC8-5)

3 Modellazione fondazioni

La presente relazione riguarda i seguenti tipi di fondazioni:

- Plinto diretto: Fondazione superficiale costituita da un blocco in calcestruzzo armato a forma di parallelepipedo su cui è presente un solo pilastro e/o un solo carico concentrato.
- •Trave rovescia: Trave di fondazione con una dimensione prevalente che per le verifiche geotecniche è considerata di lunghezza infinita.
- •Platea: Fondazione superficiale con 2 dimensioni prevalenti su cui di norma sono presenti più pilastri e/o carichi distribuiti. In generale le platee di fondazione hanno forma qualsiasi, prevalentemente poligonale o circolare, ma per le verifiche geotecniche di seguito riportate esse sono approssimate con un rettangolo di area equivalente ed orientato lungo gli assi principali di inerzia della forma originale.
- •Palo: Elemento strutturale con sezione circolare con una dimensione prevalente, realizzato in opera o infisso nel terreno, in grado agli strati profondi del terreno i carichi trasmessi dalla sovrastruttura.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -					
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 215	Data 20/07/2022	Revisione 00		

4 Verifiche fondazioni dirette

4.1 Capacità portante

La verifica per carico limite dell'insieme fondazione-terreno è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3) con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

$$\gamma_{G1} = 1,3; \qquad \gamma_{G2} = 1,5; \qquad \gamma_{Qi} = 1,5; \qquad \gamma_{R} = 2,3; \qquad \gamma_{M} = 1,0;$$

La verifica della capacità portante viene fatta come indicato nell'appendice D dell'EC7-1 secondo il procedimento di seguito riportato.

4.1.1 Simboli utilizzati

q = pressione litostatica totale di progetto agente sul piano di posa della fondazione;

q' = pressione litostatica efficace di progetto agente sul piano di posa della fondazione;

B '= larghezza efficace di progetto della fondazione;

L'=lunghezza efficace di progetto della fondazione;

 $A' = B' \cdot L' =$ area della fondazione efficace di progetto (per le travi: $A' = B' \cdot 1m$);

 $B'/L' \le 1$ (per le travi: B'/L' = 0);

D = profondità del piano di posa;

 γ '= peso di volume efficace di progetto del terreno al di sotto del piano di posa della fondazione;

V = carico verticale;

H = carico orizzontale;

 θ = angolo che H forma con la direzione L';

R = Resistenza totale fondazione:

cu = Resistenza a taglio non drenata;

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -			S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 216	20/07/2022	00

c' = Coesione intercetta in termini di tensioni efficaci;

 φ' = Angolo di resistenza a taglio in termini di tensioni efficaci;

 φ' cv = angolo di resistenza a taglio allo stato critico;

4.1.2 Condizioni non drenate

Il carico limite di progetto si calcola con la formula:

$$R/A' = \sigma c \cdot c u \cdot s c \cdot i c + \sigma q$$

dove:

$$\sigma c = (2 + \pi)$$

$$\sigma q = q$$

$$sc = 1 + 0.2 (B'/L')$$

$$ic = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} [1 - H/(A'cu)]^{0,5} con H \le A'cu$$

$$dc = 1 + 0.4 atg(D/B')$$

dove il coefficiente di profondità de è calcolato come indicato da Meyerof (1951), Skempton (1951) e Hansen (1961) ([1] §8.17.2 pag 437; [2] §4.2 pag 117)

Nel caso di suoli con più strati, la resistenza portante è calcolata utilizzando i parametri dello strato meno resistente. La ricerca dello strato meno resistente viene fatta tenendo presente che il meccanismo di collasso non drenato interessa un zona con profondità 0,707 B ([1] §8.13.1 pag 412, fig.8.51).

4.1.3 Condizioni drenate

Il carico limite di progetto è calcolato con la formula:

$$R/A' = \sigma c \cdot Nc \cdot dc \cdot sc \cdot ic + \sigma q \cdot Nq \cdot dq \cdot sq \cdot iq + \sigma \gamma \cdot N\gamma \cdot d\gamma \cdot s\gamma \cdot i\gamma$$

con:

$$\sigma c = c'$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -	R_′	R_15_EO_SCS10		
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE	Foglio n. 217	Data 20/07/2022	Revisione 00	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	11. 211	25/51/2022		

$$\sigma q = q'$$

$$\sigma \gamma = 0.5 \gamma' B'$$

e con i valori di progetto dei fattori adimensionali per

- la resistenza portante:

$$Nq = e^{\pi tan\phi'} tan^2 (45^{\circ} \phi'/2)$$

$$Nc = (Nq - 1) \operatorname{ctg} \varphi'$$

$$N\gamma = 2(Nq - 1) tg \varphi'$$

- la forma della fondazione:

$$sq = 1 + (B'/L') sen \varphi'$$

$$sc = (sq \cdot Nq - 1)/(Nq - 1)$$

$$s\gamma = 1 - 0.3(B'/L')$$

- la profondità della fondazione (Hansen 1970, Vesic 1973) ([1] §8.17.1 pag 435; [2] §4.2 pag 117)

$$dq = 1 + 2 tg \phi' (1 - \sin \phi')^2 atg(D/B')$$

$$dc = dq - (1-dq)/(Nc \cdot tg\phi')$$

$$d\gamma = 1$$

- l'inclinazione del carico, dovuta ad un carico orizzontale H che forma un angolo θ con la direzione di L',

$$iq = [1 - H/(V + A'c'cot\phi')]^m;$$

$$ic = iq - (1 - iq)/(Nc \cdot tan\varphi');$$

$$i\gamma = [1 - H/(V + A' \cdot c' \cdot cot\phi')]^{m+1};$$

dove:

$$m = m_L \cos^2\!\theta + m_B \sin^2\!\theta$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -			S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 218	20/07/2022	00

$$m_B = = [2 + (B'/L')] / [1 + (B'/L')]$$

$$m_L = [2 \cdot B'/L' + 1] / [1 + (B'/L')]$$

Nel caso di suoli con più strati, la resistenza portante è calcolata utilizzando i parametri dello strato meno resistente. La ricerca dello strato meno resistente è fatto tenendo presente che il meccanismo di collasso drenato interessa un zona con profondità $z = B \sin \psi \exp(\psi t g \phi') \cos \psi = 45^{\circ} + \phi'/2$ ([1] §8.13.1 pag 430, fig.8.59).

4.1.4 Verifica sismica SLV

Gli effetti sismici sono tenuti in conto come indicato nei §7.11.5.3 NTC18 e §C7.11.5.3.1 CNTC08.

In particolare è possibile portare in conto l'effetto inerziale nel calcolo delle forze orizzontali H trasmesse dalla fondazione al terreno ed impiegando *le formule comunemente adottate per calcolare i coefficienti correttivi del carico limite in funzione dell'inclinazione, rispetto alla verticale, del carico agente sul piano di posa*. In tal caso si utilizza un coefficiente γ_R più basso, pari a 1,8, come indicato nelle NTC18. In alternativa si può non tenere conto dell'effetto inerziale delle forze orizzontali ed usare $\gamma_R = 2,3$.

L'effetto cinematico, che *modifica il solo coefficiente N* γ , è tenuto in conto con l'introduzione di una forza orizzontale aggiuntiva Hk = k_{vk} ·V, con k_{vk} calcolato come indicato nel §7.11.3.5.2 NTC18

4.2 Scorrimento

La verifica per scorrimento sul piano di posa è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3) con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

$$\gamma_{G1} = 1.0$$
; $\gamma_{G2} = 1.0$; $\gamma_{Oi} = 1.0$; $\gamma_{R} = 1.1$; $\gamma_{M} = 1.0$

Il calcolo della resistenza allo scorrimento è fatto come indicato nel §6.5.3 EC7-1:2005 ([4] §3.3.2 pag 96; [3] §2.5 pag 41)

La verifica a scorrimento in condizione drenate è fatta con la relazione:

$$H \leq R_d$$

Dove,

in condizioni drenate: $R_d = V \cdot tg \, \phi' \cdot cv / \gamma_R$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -	R_′	R_15_EO_SCS10	
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 219	20/07/2022	00

in condizioni non drenate: $R_d = A \cdot cu/\gamma_R$

con A = area della fondazione.

4.3 Liquefazione

La verifica della liquefazione è effettuata come indicato nel §7.11.3.4.2 delle NTC18.

Il calcolo della magnitudo attesa è effettuato utilizzando, a partire dal reticolo di riferimento fornito nell'allegato B delle NTC08, la formula di Sabetta e Pugliese (1996)

$$Log(A) = -1,562 + 0,306 M - Log[(de^2 + 5,8^2)^{1/2}]$$
 (1)

dove:

A è l'accelerazione massima attesa in g

de è la distanza dall'epicentro del sisma in km.

Per il calcolo della magnitudo attesa per il sito in oggetto si è proceduto in questo modo:

- a) Tutti i 10751 punti del reticolo sono ipotizzati (a vantaggio di sicurezza) come possibili epicentri di sisma e utilizzando la formula inversa della (1) sono calcolate tutte le magnitudo di tutti i possibili terremoti in Italia.
- b) Riutilizzando la (1) a partire da ogni punto del reticolo viene calcolata l'accelerazione nel sito in oggetto, scartando i terremoti che producono un'accelerazione attesa minore di 0,1g.
- c) Tra tutti i terremoti non scartati si prende quello con magnitudo massima.

In questo modo, per il sito in esame si trova il sisma che ha magnitudo massima e che produce un'accelerazione maggiore di 0,1g, ovvero che può produrre la liquefazione del terreno.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -	R_	15_EO_SC	_SCS10	
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 220	20/07/2022	00	

Nel caso di sabbie in cui sia obbligatorio effettuare la verifica a liquefazione si procede, per ogni strato di terreno posto al di sotto potenzialmente liquefacibile, con la verifica: ([2] §11.5.4 pag 401; [5] §10.4.1.5 pag 295; [6]; [7] §6.2.4 pag 243):

 $CSR*1,25/CRR \le 1$

dove:

CSR = rapporto di sforzo ciclico;

CRR = rapporto di resistenza ciclica;

1,25 è il coefficiente di sicurezza definito dall'EC8-5 §4.1.4 (11);

con:

 $CSR = 0.65 \cdot rd \cdot (a_{max}/g) \cdot (\sigma_f/\sigma_f');$

 a_{max} = accelerazione orizzontale di picco SLV del sito in oggetto = S·ag = Ss·St·ag (NTC18§3.2.3.2);

 $\sigma_f = \Delta \sigma_V + \sigma_{V0} = \text{pressione verticale totale};$

 $\sigma'_f = \Delta \sigma_V + \sigma'_{V0} =$ pressione efficace verticale totale;

 $\Delta\sigma_V$ è l'incremento di tensione prodotto dal carico netto, calcolato trascurando la rigidezza della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

 σ'_{V0} è la tensione geostatica efficace

 σ_{V0} è la tensione geostatica totale

g è l'accelerazione di gravità;

rd = 1 - 0.00765 z, per $z \le 9.15 m$;

rd = 1,174 - 0,00267 z, per 9.15 m < $z \le 23$ m;

z è la profondità in metri dal piano di campagna;

 $CRR = CRR_{7,5} \cdot C_M;$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -	R_′	R_15_EO_SCS10	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 221	Data 20/07/2022	Revisione 00

dove: $CRR_{7,5} = (a+c\cdot x+e\cdot x^2+g\cdot x^3)/(1+b\cdot x+d\cdot x^2+f\cdot x^3+h\cdot x^4)$;

con: a=0.048; b=-0.1248; c=-0.004721; d=0.009578; e=0.0006136; f=-0.0003285; g=-0.00001673; h=0.000003741 (Blake 1996);

$$x = (N_1)_{60CS} = \alpha + \beta N_{60} C_N C_P$$
;

$$C_N = (100 \text{kPa/}\sigma'_{v0})^{1/2} \text{ con } 0.5 \le C_N \le 2;$$

$$C_P = 0.75 \text{ per } z \le 3m \text{ e } C_P = 1 \text{ per } z > 3m;$$

 $N_{60} = N_{SPT}$ normalizzato tenendo conto del rapporto energetico del maglio, diametro del foro, lunghezza delle aste e metodo di campionamento (vedere relazione geologica)

 α e β dipendono dal contenuto di fino FC, con:

- FC \leq 5%: $\alpha = 0.0$; $\beta = 1.0$:
- 5% < FC \leq 35%: $\alpha = \exp[1.76 (190/FC^2)]$; $\beta = 0.99 + FC^{1.5}/1000$;
- 35% < FC: α = 5,0; β = 1,2;

 C_M dipende dalla magnitudo attesa M ed è ricavabile dalla Tabella B.1 EC8-5:2005, che approssimeremo per semplicità ed a vantaggio di sicurezza con le seguenti funzioni:

$$C_M = (M/7.5)^{-3.3}$$
 per M \le 7.5 [Andrus e Stokoe. (1997)]

$$C_M = (M/7.5)^{-6.47} \text{ per } M > 7.5$$

4.4 Cedimenti

La verifica dei cedimenti è fatta con la disuguaglianza:

$$w \le 50 mm$$

come indicato al §H(4) EC7-1:2005

Il calcolo dei cedimenti è effettuato con:

• il metodo edometrico per i terreni a grana fine (limi ed argille)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -	R_15_EO_SCS10		S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 222	20/07/2022	00

• il metodo Burland e Burbidge per i terreni a grana grossa (sabbie e ghiaie)

4.4.1 Metodo edometrico

Per terreni a grana fine i cedimenti sono calcolati utilizzando il metodo edometrico, proposto da Terzaghi (1943) ([1] §8.7.2 pag 437; [2] §5.3.2 pag.164; [3] §2.7 pag.58)

Il terreno al di sotto della fondazioni viene diviso in n strati e per ogni strato si calcola il cedimento con la formula

$$\Delta Hi = Hi [RR \cdot Log(k_R) + CR \cdot Log(k_C)]$$

con:

$$k_R = min\{\sigma'_P; \sigma'_f\}/\sigma'_{V0}$$

$$k_C = \max\{\sigma'_f/\sigma'_P; 1\}$$

 σ'_{V0} è la tensione geostatica efficace

 $\Delta\sigma_V$ è l'incremento di tensione prodotto dal carico netto, calcolato trascurando la rigidezza della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

$$\sigma'_f = \Delta \sigma_V + \sigma'_{V0}$$

 σ'_P = tensione di preconsolidazione = OCR · σ'_{V0}

dove:

OCR è il rapporto di preconsolidazione.

Hi = spessore dello strato

RR = rapporto di ricompressione

CR = rapporto di compressione

Per terreni normalconsolidati $CR = 2.3 \cdot \sigma'_{V0}/Eed$

Per terreni sovraconsolidati RR = $2.3 \cdot \sigma'_{V0}$ /Eed

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -	R_15_EO_SCS10		S10
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 223	20/07/2022	00

dove Eed è il modulo edometrico.

Il cedimento totale è calcolato sommando il cedimento di tutti gli strati in cui $\Delta \sigma'_{Z} > 0,10 \sigma'_{V0}$

$$w = \sum \Delta Hi$$

Per argille tenere il metodo fornisce il cedimento di consolidazione ed il cedimento immediato è pari al 10% del cedimento di consolidazione

Per fondazioni su argille consistenti il metodo fornisce il cedimento totale.

4.4.2 Metodo di Burland e Burbidge

Il calcolo dei cedimenti per i terreni a grana grossa è effettuato con il metodo di Burland e Burbidge (1985) ([1] §8.8.1 pag 482; [2] §5.2.1 pag.153; [3] §2.8.1 pag.62)

Il cedimento totale è calcolato con la formula:

$$w = fs \cdot fh \cdot ft \cdot Z_I \cdot Ic \cdot (\sigma_A/3 + \sigma_B)$$

dove:

$$\sigma_A = \min\{\sigma'_P; q'\}$$

$$\sigma_B = \max\{q' - \sigma_A; 0\}$$

 σ'_P = tensione di preconsolidazione al piano di posa della fondazione = OCR · σ'_{V0}

$$Z_I = B^{0,7} = profondità di influenza$$

B è la larghezza minima della fondazione espressa in metri

L è la lunghezza della fondazione (L>B)

q' è il carico unitario efficace della fondazione espresso in kPa

 $Ic = 1.7/Nc^{1.4} = indice di compressibilità$

Nc è la media aritmetica dei valori Ncs per la profondità H

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -	R_′	R_15_EO_SCS10		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 224	Data 20/07/2022	Revisione 00	

con:

H = spessore dello strato comprimibile, se $H < Z_I$

 $H = Z_I$, se N_{SPT} è costante o cresce con la profondità

H = 2B, se N_{SPT} decresce con la profondità

e, per ogni strato:

 $Ncs = 15 + (N_{SPT}-15)/2$ per sabbie fini o limose sotto falda con $N_{SPT}>15$

 $Ncs = N_{SPT}$ negli altri casi.

inoltre:

$$fh = k_{HZ}/(2 - k_{HZ})$$

$$k_{HZ} = min\{1, H/Z_I\}$$

$$fs = [1,25 / (1+0,25 \cdot B/L)]^2$$

ft = $(1,3 + 0,2 \cdot \text{Log}(t/3))$ con t la vita nominale della struttura in anni.

4.4.3 Cedimenti Differenziali

La verifica dei cedimenti differenziali è fatta con la disuguaglianza:

$$\Delta w/$$
 $L \le 1/500$

come indicato al §H(2) EC7-1:2005

dove:

L è la distanza tra i due punti di calcolo dei cedimenti considerati

 $\Delta w = |w1 - w2| = differenza tra i cedimenti considerati$

In caso di trave di fondazione il calcolo è effettuato tra i cedimenti calcolati nelle sezioni iniziale, centrale e finale della trave.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -	R_′	R_15_EO_SCS10 Foglio Data Revisi	
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 225	Data 20/07/2022	Revisione 00

Nel caso di plinti il calcolo viene effettuato tra ogni coppia di plinti.

Nel caso di platea il cedimento differenziale è calcolato tra il punto centrale e lo spigolo della platea considerando la platea di rigidezza nulla e posta su un semispazio elastico. In questo caso: $\Delta w = w/2$.

5 Verifiche fondazioni su pali

5.1 Capacità portante

La verifica per carico limite dell'insieme fondazione-terreno è effettuato secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3).

I coefficienti parziali di sicurezza, come riportato nei tabulati di stampa, utilizzati sono quelli indicati nel §6.4.3.1.1 NTC18 per le resistenze dei pali soggetti a carichi assiali, e quelli indicati nel §6.4.3.1.1 NTC18 per le resistenze dei pali soggetti a carichi trasversali.

Le resistenze assiale e trasversale sono calcolate con i metodi analitici di seguito indicati.

5.2Carichi verticali

Il carico limite ultimo di un singolo palo per carichi verticali è ottenuto dall'equazione: ([3] §3.1.2 pag 74 e [8] §13.1.2 pag.372)

$$Q_{lim} = P + S = \frac{\pi d^2}{4} p + \pi d \int_0^L s(z) dz - W$$

dove:

Q lim = carico limite ultimo assiale del palo singolo

P = Resistenza alla punta

S = Resistenza laterale

p = resistenza unitaria alla punta del palo singolo

s(z) = resistenza unitaria laterale alla generica profondità

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento: R_15_EO_SCS10		
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -			S10
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 226	20/07/2022	00

W = peso proprio del palo

La resistenza unitaria alla punta (p) può essere espressa mediante l'equazione :

$$p = N_q \cdot \sigma'_{v,z=L} + N_c c$$

Che in condizioni non drenate si trasforma nell'equazione

$$p = R_c (\sigma_{v,z=L} + N_c c_u)$$

con:

Nc = 9;

Rc = 1 per argille non consistenti (indice di consistenza \geq 0,5) ([2] §8.5.1.1 pag 377; [7] §3.1.2.1 pag.76)

 $Rc = (D + 0.5)/(2D) \le 1$ per pali infissi in argille consistenti

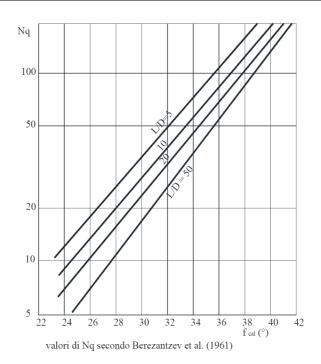
 $Rc = (D+1)/(2D+1) \le 1$ per pali trivellati in argille consistenti

In condizioni drenate la resistenza unitaria alla punta (p) è calcolata con l'equazione:

$$p = N_q \cdot \sigma'_{v,z=L}$$

Per il calcolo del coefficiente Nq si utilizzano le curve di Berezantev et al 1961 ([8] §13.1 pag 377; [9] §2.4.2 pag.242)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:	
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -	R_15_EO_SCS10		S10
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 227	Data 20/07/2022	Revisione 00



dove:

 $\phi_{cal} = (\phi + 40^{\circ})/2$ per pali battuti

 $\phi_{cal} = \phi - 3^{\circ}$ per pali trivellati

Come abbiamo visto in precedenza la resistenza laterale S è pari a:

$$S = \pi d \int_0^L s(z) dz$$

In condizioni drenate la resistenza laterale unitaria s(z) può essere valutata mediante il cosiddetto "metodo β ". Con questo metodo:

$$s(z) = \mu K \sigma'_{\upsilon z}$$

dove $\beta = \mu K e \mu = tg(\delta)$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -	R_15_EO_SCS10				
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 228	20/07/2022	00		

Di seguito sono riportati i valori utilizzati da Jasp per terreni a grana grossa ([8] §13.1 pag 378; [9] §2.4.2 pag.246)

	K		
Tipo di palo	(Dr = 25%)	(Dr = 75%)	μ
Batt. tubo acc. chiuso	1,0	2,0	0,36
Batt. Cls prefabbricato	1,0	2,0	tan(0,75 φ')
Batt. Cls gettato	1,0	3,0	tan(φ')
Trivellato	0,5	0,4	tan(φ')
Elica continua	0,7	0,9	tan(φ')

Valori di K e μ per il metodo β in terreni a grana grossa

Per densità relative intermedie Jasp calcola il valore interpolato.

Per pali infissi in terreni a grana fine ([10] §3.2.2.2 pag 24; [7] §3.1.2.1 pag.76)

$$K = K0 = (1-\sin\varphi') \cdot OCR^{0.5}$$

per pali trivellati in argille consistenti (indice di consistenza ≥ 0.5)

$$K = (1 + K_0)/2$$

In condizioni non drenate, quindi in caso di argille e limi saturi, la resistenza unitaria laterale è valutata con il cosiddetto "metodo α ". In questo caso:

$$s(z) = \alpha \cdot c_u$$

dove c_u è la coesione non drenata.

I valori di α possono essere calcolati come indicato di seguito:([8] §13.1 pag 378; [9] §2.4.2 pag.247)

Pali trivellati : $\alpha = 0.7-0.008(c_u - 25)$, con $0.35 \le \alpha \le 0.7$

Pali battuti: $\alpha = 1-0.011(c_u - 25)$, con $0.5 \le \alpha \le 1$

oppure: ([3] §3.1.2.1 pag 75;)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -	R_15_EO_SCS10				
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 229	Data 20/07/2022	Revisione 00		

Pali trivellati (Stas e Kulhavy 1984) : $\alpha = 0.21 + 0.26 \cdot p_a/c_u$

dove p_a = pressione atmosferica

Pali infissi (Olson e Dennis 1982):

$$\alpha = \frac{0.5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0.25}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \ge 1$$

$$\alpha = \frac{0.5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0.5}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \le 1$$

5.3 Carichi orizzontali

Il calcolo del carico limite orizzontale di pali verticali è riportato nel §13.2 di [8] e nel cap.7 di [10]. I risultati presentati nei riferimenti bibliografici sono calcolati ipotizzando un palo in un terreno omogeneo.

Jasp esegue un'analisi numerica per determinare il carico limite orizzontale di pali in terreni con diversi strati.

Per terreni coesivi la resistenza limite del terreno è posta pari a ([10] fig.7.4 pag 152; [8] fig.13.22 pag.399)

$$p_u = 9 c_u$$
 per profondità $\geq 3D$,

$$p_u = c_u [2 + 7z/(3d)]$$
 per $z < 3D$

per i terreni non coesivi ([10] §7.2.2.2 pag 155; [9] fig.9.3.2.1 pag.265)

$$p_u = 3\sigma'_v Kp$$

dove:

 σ'_{v} = tensione litostatica verticale efficace

$$Kp = (1+sen \varphi')/(1-sen \varphi')$$

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:					
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -	R_15_EO_SCS10					
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 230	Data 20/07/2022	Revisione 00			

 φ' = angolo di attrito interno (in tensioni efficaci)

5.3.1 Pali non vincolati o a testa libera

La rottura di un palo libero di ruotare in testa può avvenire secondo due meccanismi:

- a) a palo corto: senza la formazione di cerniere plastiche nel palo
- b) a palo lungo, con la formazione di una cerniera plastica nel palo ad una profondità da calcolare.

Jasp calcola, per ogni coppia Hu-M, il meccanismo di rottura e l'eventuale posizione della cerniera plastica, tenendo conto della resistenza limite dei diversi strati attraversati dal palo.

5.3.1 Pali vincolati o a testa incastrata

La rottura di un palo non libero di ruotare in testa può avvenire secondo tre meccanismi:

- a) a palo corto: senza la formazione di cerniere plastiche nel palo
- b) a palo medio, con la formazione di una sola cerniera plastica in testa al palo.
- c) a palo lungo, con la formazione una cerniera plastica in testa al palo e di un'altra cerniera ad una profondità da calcolare.

Jasp calcola, per ogni forza orizzontale Hu, il meccanismo di rottura e l'eventuale posizione della cerniere plastiche, tenendo conto della resistenza limite dei diversi strati attraversati dal palo.

5.4 Gruppi di pali

Secondo EC7 §7.6.2.1punti (3) e (4):

Per i pali in gruppo si devono prendere in considerazione due meccanismi di rottura:

- rottura per compressione dei singoli pali;
- rottura per compressione dei pali e del terreno compreso tra essi, considerati come un blocco unico.

Si deve assumere come resistenza di progetto il minore tra i valori dovuti a questi due meccanismi.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -	R_15_EO_SCS10				
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 231	20/07/2022	00		

La resistenza a compressione del gruppo di pali, considerato come un blocco unico, si può calcolare considerando il blocco come un palo singolo di grande diametro.

Per il calcolo della resistenza al carico verticale di un gruppo di pali Jasp calcola la resistenza del palo equivalente di grande diametro utilizzando i metodi di calcolo delle fondazioni diretta se L/D < 5 e i metodi di calcolo delle fondazioni profonde se L/D > 5

Jasp, oltre che alla procedura proposta dell'EC7, calcola il fattore E di efficienza della palificata come di seguito riportato ([8] §13.1.7 pag 396 e [10] §3.3.1.1 pag.32)

E = 1 per terreni incoerenti

Per un gruppo di m file con n pali ad interasse x in terreni incoerenti

$$E = 1 - \frac{\arctan(d/x)}{\pi/2} \frac{(m-1)n + (n-1)m}{mn}$$

Nel caso in cui i pali attraversano strati coerenti e incoerenti Jasp calcola il fattore E come la media pesata dei valori sopra indicati, utilizzando come peso la portata degli strati.

Il coefficiente di gruppo in caso di carichi orizzontali è posto, forfettariamente a 0,5, se non indicato diversamente nel tabulato di stampa.([8] §13.2.6 pag 416 e [10] §7.3.1 pag.164)

5.5 Cedimenti

Per il calcolo dei cedimenti sotto i carichi di esercizio Jasp divide il palo in tanti conci elementari ed utilizza il metodo degli elementi finiti per il calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti del palo.

La costante di elasticità laterale verticale del terreno è calcolata con la formula:

$$kv = 2\pi G/\zeta \text{ [N/m}^2\text{]}$$
 ([8] §14.1.2 pag 424)

dove
$$\zeta = \ln(2.5*(1-v)*L/r0)$$
 ([8] §14.1.2 pag 425)

La costante di elasticità della punta del palo è

$$kp = 2dE/(1-v^2) [N/m]$$
 ([8] §14.1.2 pag 424)

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:					
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -	R_15_EO_SCS10					
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione			
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 232	20/07/2022	00			

La costante elastica orizzontale è calcolata con le formule ([8] §14.4.1 pagg 466, 487,479 e [10] §8.2.3 pag.180)

 $kh = 1.67 \cdot E/d$ per terreni a grana fine sovraconsolidati.

 $kh = nh \cdot z/d$, dove $nh = 0.5 \cdot 106 [N/m^3]$ per terreni a grana fine normalconsolidati. ([8] §14.4.1 pag 479)

 $kh = (A\gamma'/1,35) \cdot z/d$ per terreni a grana grossa.

dove:

γ' è il peso dell'unità di volume efficace.

A = 200 per terreni sciolti (Dr = 25%); A = 600 per terreni medi (Dr = 50%) ; A = 1500 per terreni sensi (Dr = 75%)

Nelle formule di questo paragrafo: G = modulo di elasticità trasversale del terreno; <math>v = coefficiente di Poisson del terreno; L = lunghezza del palo; <math>r0 = raggio del palo; d = diametro del palo; E = modulo di elasticità longitudinale del terreno.

La verifica dei cedimenti differenziali è fatta come per le fondazioni dirette.

5 Origine e caratteristiche del software di calcolo

Per l'analisi delle sollecitazioni e per le verifiche geotecniche si è utilizzato il software Jasp[®] versione 7.0.37 (64 bit), realizzato dell'ing. Silvestro Giordano, registrato presso la SIAE il 25/09/2012 col n° 008544, distribuito da Ingegnerianet srl (CF 06536761213) attraverso il sito internet www.ingegnerianet.it

6 Affidabilità del software

Il sito internet www.ingegnerianet.it di distribuzione del software Jasp[®] contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, per i quali sono forniti i file di input necessari a riprodurre l'elaborazione.

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -	R_15_EO_SCS10				
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE	Foglio n. 233	Data 20/07/2022	Revisione 00		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE					

7 Bibliografia

- [1] R. Lancellotta, Goetecnica, IV Edizione, Zanichelli 2012.
- [2] M.Tanzini, Fondazioni, Dario Flaccovio Editore 2006
- [3] Lancellotta Costanzo Foti, Progettazione Geotecnica, Hoepli 2011
- [4] AA.VV. Guida all'Eurocodice 7, Thomas Telford 2005, EPC Editore 2012
- [5] AA.VV. Guida all'Eurocodice 8, Thomas Telford 2005, EPC Editore 2012
- [6] G. Riga, La liquefazione dei terreni, Dario Flaccovio Editore 2007
- [7] Lai Foti Rota, Input sismico e Stabilità Geotecnica dei Siti in Costruzione, IUSS Press 2009
- [8] C. Viggiani, Fondazioni, Hevelius Edizioni 1999
- [9] Diego Carlo Lo Presti, Manuale di Ingegneria Geotecnica, Pisa University Press 2015
- [10] H.G.Poulos E.H Davis, Pali, Dario Flaccovio Editore 1987

Tabulati di stampa

Archivi

Stratigrafie											
N	Descrizione	falda [m]	Strati								
1	Tipo A	80	3 strati: Htot =10								

Str	Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =10)																				
N	Descrizione	Classe	Tipo	Classe 2 Pot	tenza	γ	φ'	φ'cv	Dr	IC	c'	cu	V	NSPT	OCR	Δσ'ρ	Eed	CR	RR	CR/RR	FC
						•															
					[m]	[kN/m³]	[°]	[°]	[%]		[kPa]	[kPa]				[kPa]	[MPa]				[%]

						di documento: ne geotecnica		Codice documento:				
	SCS	10 S.R.L.				eneratore 9 -		R_′	15_EO_SC	S10		
		io Tecnico ngelo Volpe		DELL' COST DI REL RI DENO	TRUZIONE IMPIANTO IENERGIA I OLICA AVI IMMISSION ITUITO DA ATIVO CO ETE ELETI MINATO ", EL COMUN	olo sintetico: ED ESERCIZI DI PRODUZIO ELETTRICA ENTE POTENZ IE PARI A 54 II 9 AEROGENI PARI A 6 MW LLEGAMENTO FRICA – IMPIA ALTAMURA" (I E DI ALTAMU	NE A FONTE ZA IN WW ERATORI CON O ALLA INTO UBICATO RA E	Foglio n. 234	Data 20/07/2022	Revisione 00		
vegeta	tale limo	fine argillosa	0	1 0	04.9E-324	0 0	0 0	0 1	0.001	0 (
Depos 0	osito sabbioso li	limo fine	argillosa	6 17.3	29.84 29.84	50 0.4	2 67 0.3	33 30 1	1160	3		
Ghiaid 0	ioso sabbioso de	limo fine	argillosa	4 21	26 26	50 0.4 2	7.1 13.7 0.3	35 30 1	5746	8		
)pzior	ni verifica te	rreni										
	Descrizione		ortanza S	Scorr.	Scorr.	Liquef. ced	imenti ced. I	Burl. H compr	ced. Max	d/Δw k Amplif.		
		Drenata N	on Dren. D	renato	Non Dren.	Edo	metrici Burb	idge Bur-Bur [r	m] [m]	Sisma		
Ор	oz.A	auto aut	to auto	o a	auto a	uto auto	auto	auto	auto a	uto auto		
	Descrizione	kw Trasv./kv	v kw Ass./kv	v S	Stratigrafia	Opzioni \			ster. [m] Later			
Po	osa A	0	E 0).1 1) Tipo	Δ	1) Opz.A		1	0	0 4		
	00071	0.	.5 0). i i) iipu	\sim	1) Op2.A		ı	U	0 14		
/erif	iche fonda).1 1) HPO	A	1) Ομέ.Α		ı	Ü	0 12		
Rettan	iche fonda	azioni di		7.1 1) 11po	^			·				
Rettan ondazio	iche fonda ngoli di fonda one	azioni di azione	rette			Dimens	ione			U 12		
k ettan ondazio	iche fonda	azioni di azione			В		iione Area calc.	Rotaz	P.ce			
Rettan ondazio	iche fonda ngoli di fonda one	azioni di azione	rette			Dimens		_	P.ce	entro		
Rettan Fondazio Piano	iche fonda ngoli di fonda one	azioni di azione	rette		В	Dimens	Area calc.	Rotaz	P.ce	entro y z		
Rettan ondazio	riche fonda ngoli di fonda one Descrizio	azione one 1) Po	Suolo Posa osa A	a	B [m] 21.8	Dimens L [m] 21.8	Area calc. [m²]	Rotaz [°]	P.ce x [m] [i	entro y z m] [m]		
Rettan Fondazio Piano nvilup	ngoli di fonda one Descrizio Plinto 1	azione one 1) Po	Suolo Posa osa A	a Lione	B [m] 21.8	Dimens L [m] 21.8	Area calc. [m²] 475.24	Rotaz [°]	P.ce x [m] [i	entro y z m] [m] 0 -3.4		
Rettan Fondazio Piano nvilup	Descrizion Plinto 1 Opo forze su Rettangolo Fond.	azione azione 1) Po	Suolo Posa osa A di fondaz	a cione	B [m] 21.8	Dimens L [m] 21.8	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F	Rotaz [°]	P.ce x [m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm	entro y z m] [m] 0 -3.4		
Rettan Fondazio Piano nvilup Piano	Plinto 1 Pettangolo Fond. Plinto 1	azione 1) Porrettangoli Fam. Cmb.	Suolo Posa osa A di fondaz	eione Fy[N]	B [m] 21.8 Mir	Dimens L [m] 21.8	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F	Rotaz [°] O	P.ce x [m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3i	entro y z m] [m] 0 -3.4 i] My [Nm] Mz [Nm] M 274M 238M		
Rettan Fondazio Piano Piano	Plinto 1 Pettangolo Fond. Plinto 1	azione 1) Po rettangoli Fam. Cmb. 1) Fondamentale 4) Quasi Perm.	Suolo Posa osa A di fondaz Fx [N]	a Fy [N]	B [m] 21.8 Mir Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M	Dimens L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 2741 10.2M 1831	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M	Rotaz	P.ce x [m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3i -26.6M 10.2i	entro y z m] [m] 0 -3.4 i] My [Nm] Mz [Nm] M 274M 238N M 183M 159N		
Rettan Fondazio Piano Piano Pi	Plinto 1	rettangoli Fam. Cmb. 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ ; µ	Suolo Posa osa A di fondaz Fx [N] =10-6; m=10	a Fy [N]	B [m] 21.8 Mir Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 3, M=10 ⁶ ; (Dimens L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274I 10.2M 183I G=10 ⁹ ; T=10 ¹²	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M S P=10 ¹⁵ (Sis	Rotaz [°] 0 Ex [N] Fy [N] 0 0 0 0 etema Internaz	P.ce x [m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3i -26.6M 10.2i ionale di misura	entro y z m] [m] 0 -3.4 i] My [Nm] Mz [Nm] M 274M 238M M 183M 159M a)		
Rettan Fondazio Piano Piano Piano Pi	Plinto 1	azione 1) Po rettangoli Fam. Cmb. 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 0 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ ; μ	Suolo Posa osa A di fondaz Fx [N] =10-6; m=10	a Fy [N]	B [m] 21.8 Mir Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M	Dimens L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274I 10.2M 183I G=10 ⁹ ; T=10 ¹²	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M g P=10 ¹⁵ (Sis	Rotaz [°] 0 Ex [N] Fy [N] 0 0 0 tema Internaz	P.ce x [m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3i -26.6M 10.2i	entro y z m] [m] 0 -3.4 i] My [Nm] Mz [Nm] M 274M 238M M 183M 159M a) k.Wink.		
Rettan Fondazio Piano Piano Piano Pi	Plinto 1 Reti	rettangoli Fam. Cmb. 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ ; µ	Suolo Posa osa A di fondaz Fx [N] =10-6; m=10	a Fy [N]	B [m] 21.8 Mir Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 3, M=10 ⁶ ; (Dimens L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274I 10.2M 183I G=10 ⁹ ; T=10 ¹²	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M S P=10 ¹⁵ (Sis	Rotaz [°] 0 Ex [N] Fy [N] 0 0 0 0 etema Internaz	P.ce x [m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3i -26.6M 10.2i ionale di misura	entro y z m] [m] 0 -3.4 i] My [Nm] Mz [Nm] M 274M 238M M 183M 159M a)		
Rettan Fondazio Piano	Plinto 1 Reti	Tettangoli Fam. Cmb. 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ ; µ ti Edometr tangolo	Suolo Posa osa A di fondaz Fx [N] =10-6; m=10	a Fy [N]	B [m] 21.8 Mir Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 3, M=10 ⁶ ; (Dimens L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274I 10.2M 183I G=10 ⁹ ; T=10 ¹²	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M g P=10 ¹⁵ (Sis	Rotaz [°] 0 Fx [N] Fy [N] 0 0 0 0 ottema Internaz σ'v0 [Pa]	P.ce x [m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3i -26.6M 10.2i ionale di misura WTot [mm]	entro y z m] [m] 0 -3.4 i) My [Nm] Mz [Nm] M 274M 238M M 183M 159M a) k.Wink. [N/cm³]		
Rettan Fondazio Piano Pilo Suffis Verific Piano	Plinto 1	azione 1) Po rettangoli Fam. Cmb. 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ ; µ ti Edometr tangolo dazione	Suolo Posa osa A di fondaz Fx [N] =10-6; m=10	Fy [N] 0 0 0 0-3; k=10	B [m] 21.8 Mir Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 3; M=10 ⁶ ; C	Dimens L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274I 10.2M 183I G=10 ⁹ ; T=10 ¹² q [Pa] 55968	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M S P=10 ¹⁵ (Sis	Rotaz [°] 0 Ex [N] Fy [N] 0 0 0 0 0 ttema Internaz σ'v0 [Pa] 8 1730	P.ce x [m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3i -26.6M 10.2i ionale di misura WTot [mm] 00 0.3622:	entro y z m] [m] 0 -3.4 n] My [Nm] Mz [Nm] M 274M 238M M 183M 159M a) k.Wink. [N/cm³] 1 154.52		
Rettan Fondazio Piano Piano Piano Piano Piano Piano Piano Piano Piano	Plinto 1	azione 1) Po rettangoli Fam. Cmb. 1) Fondamentale 4) Quasi Perm. 10 ⁻¹² ; n=10 ⁻⁹ ; μ ti Edometr tangolo dazione	Suolo Posa osa A di fondaz Fx [N] =10-6; m=10	Fy [N] 0 0 0 0-3; k=10	B [m] 21.8 Mir Fz [N] 0 -34.3M 0 -26.6M 3; M=10 ⁶ ; C	Dimens L [m] 21.8 Mx [Nm] My [Nm] 15.3M 274I 10.2M 183I G=10 ⁹ ; T=10 ¹² q [Pa]	Area calc. [m²] 475.24 Mz [Nm] F M 238M M 159M G P=10 ¹⁵ (Sis	Rotaz [°] 0 Fx [N] Fy [N] 0 0 0 0 ottema Internaz σ'v0 [Pa]	P.ce x [m] [i 0 Max Fz [N] Mx [Nm -34.3M 15.3i -26.6M 10.2i ionale di misura WTot [mm] 00 0.3622:	entro y z m] [m] 0 -3.4 i) My [Nm] Mz [Nm] M 274M 238M M 183M 159M a) k.Wink. [N/cm³]		

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -	R_15_EO_SCS10				
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 235	20/07/2022	00		

4 1 55968 38668 6.2232 1.8513 0.14998 95867 79 No 0 0

Parametri strati calcolo portanza

				Strato Inferiore					Strato Superiore					
Piano	Rett.Fond	Drenato	fi'[°]	γ'	c'	cu	potenza	fi'[°]	γ'	c'	CU	potenza		
				[N/m³]	[Pa]	[Pa]	[m]		[N/m³]	[Pa]	[Pa]	[m]		
0	Plinto 1	Sì	29.84	18944	2000	67000	9	29.84	17300	2000	67000	1		
0	Plinto 1	No	29 84	18944	2000	67000	9	29 84	17300	2000	67000	1		

Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno

		Punto di applicazione		ne			For		Reage				
Fam	Cmb	x [m]	y [m]	z [m]	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	x [m]	y [m]	Press.
													[Pa]
1	1	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	2	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	3	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
1	4	7.989	-0.447	0.000	0	0	-34.3M	0	0	238M	5.82	20.91	282k
4	1	6.869	-0.385	0.000	0	0	-26.6M	0	0	159M	8.06	21.03	157k

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^{3}$; $M=10^{6}$; $G=10^{9}$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza

1 10110 0 1 11	iito i itcuzi	One terrent	Poi voille	a portanza				
Fam	Cmb	B'[m]	L'[m]	B'/L'	V	НВ'	HL'	Hk
					[N]	[N]	[N]	[N]
					[IN]	[IN]	[IN]	[IN]
1	1	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0
1	2	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0
1	3	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0
1	4	5.822	20.906	0.278	34.3M	(0	0

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^{3}$; $M=10^{6}$; $G=10^{9}$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata

								Υ	1					С	;'					C			
Fam	Cmb	q	qLim	γR	coef	σ	N	S	i	b	d	σ	N	S	i	b	d	σ	N	S	i	b	d
		[Pa]	[Pa]		Verif	[Pa]						[Pa]						[Pa]					
1	1	282k	1 //M	2 30	0.452	55 1k	10.6	0 016	1 000	1 000	1 000	2 004	20.8	1 1/17	1 000	1 000	1.052	17 3k	18 1	1 130	1 000	1 000	1 0//

	Tipo di documento: Relazione geotecnica	Codice documento:				
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -	R_15_EO_SCS10				
	Titolo sintetico: COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN	Foglio	Data	Revisione		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 236	20/07/2022	00		

2 282k 1.44M 2.30 0.452 55.1k 19.6 0.916 1.000 1.000 1.000 2.00k 29.8 1.147 1.000 1.000 1.052 17.3k 18.1 1.139 1.000 1.000 1.049
3 282k 1.44M 2.30 0.452 55.1k 19.6 0.916 1.000 1.000 1.000 2.00k 29.8 1.147 1.000 1.000 1.052 17.3k 18.1 1.139 1.000 1.000 1.049
4 282k 1.44M 2.30 0.452 55.1k 19.6 0.916 1.000 1.000 1.000 2.00k 29.8 1.147 1.000 1.000 1.052 17.3k 18.1 1.139 1.000 1.000 1.049

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^{3}$; $M=10^{6}$; $G=10^{9}$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Scorrimento

		~					
			Drer	nato	Non Drenato		
Fam	Cmb	H [N]	Rd [N]	coefVerif	Rd [N]	coefVerif	
1	1	0	17.9M	0.000	-	-	
_							
1	2	0	17.9M	0.000	-	-	
4	2	0	47.014	0.000			
1	3	0	17.9M	0.000	-	-	
1	4	0	17.9M	0.000		_	
1	4	U	17.9101	0.000	-	-	

Suffissi: $f=10^{-15}$; $p=10^{-12}$; $n=10^{-9}$; $\mu=10^{-6}$; $m=10^{-3}$; $k=10^{3}$; $M=10^{6}$; $G=10^{9}$; $T=10^{12}$; $P=10^{15}$ (Sistema Internazionale di misura)

Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico

			•••••	-					
z sup	spess.	σ'νο	σ'р	Δσν	Δσv/qN	σ'f	CR	RR	Δwi
[m]	[m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]		[Pa]			[m]
1	2.5	38925	38925	139422	0.99889	178347	7.7266E-5	9.6582E-6	0.00012769
3.5	2.5	82175	82175	135889	0.97357	218064	0.00016312	2.039E-5	0.00017284
6	4	145800	145800	121926	0.87353	267726	5.8426E-5	7.3033E-6	6.1682E-5

Riassunto verifiche

Verifiche terreno di fondazione

		Coefficienti SLU				Cedim	.Max	Cedim.Diff.					
Piano	Fondazione	Port.	Port.	Scorr.	Scorrim.	Liquef.	W	Coef.	Δw	Dist.	Coef	Fondazione	Verif.
		Dren.	Non Dren.	Dren.	Non Dren.		[mm]		[mm]	[m]		Confronto	Tot.
0	Plinto 1 Sì	0.451		0.000		0.000	0.362	0.007	0.000	0.000	-	Plinto 1	

Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione

SLU									SLE		Totale
Port.	Port.	Port.	Scorr.	Scorr	Scorr.	Liquef.	Tot	Ced. max	Ced. diff.	Tot.	Tot.
Dren.	Non dren.	Tot	dren.	non dren.							
0 451		0 451	0.000		0.000	0.000	0 451	0.007		0.007	0 451

	Tipo di documento: Relazione geotecnica		Codice documento:			
SCS10 S.R.L.	- Aerogeneratore 9 -	R_15_EO_SCS10				
	Titolo sintetico:	Foglio	Data	Revisione		
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	n. 237	20/07/2022	00		

Verifiche totali terreno di fondazione

		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	J	•							
SLU									SLE		Totale
Port.	Port.	Port.	Scorr.	Scorr	Scorr.	Liquef.	Tot	Ced. max	Ced. diff.	Tot.	Tot.
Dren.	Non dren.	Tot	dren.	non dren.							
DIGII.	Non dien.	100	ulen.	non dien.							
Sì	-	Sì	Sì	-	Sì	Sì	Sì	Sì	-	Sì	Sì

Conclusioni

Al fine di fornire un giudizio motivato di accettabilità del risultato, come richiesto al § 10.2.1 NTC18, il geotecnico assevera di aver:

- ullet Esaminato preliminarmente la documentazione a corredo del software $Jasp^{\otimes}$ e di ritenerlo affidabile ed idoneo alla struttura in oggetto.
- Controllato accuratamente i tabulati di calcolo ed il listato degli errori numerici del solutore.
- Confrontato i risultati del software con quelli ottenuti con semplici calcoli di massima.

Pertanto ritiene che i risultati siano accettabili e che il presente progetto strutturale sia conforme alle Leggi n°1086/71 e n°64/74, e al DM 17/01/2018 (Norme tecniche per le costruzioni).

SCS10 S.R.L.	Tipo di documento: Relazione geotecnica	R_1	Codice documento:	S10
Studio Tecnico Ing. Angelo Volpe	Titolo sintetico: C COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54 MW COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI DI POTENZA PARI A 6 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA – IMPIANTO DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO NEL COMUNE DI ALTAMURA E SANTERAMO IN COLLE	Foglio n. 238	Data 20/07/2022	Revisione 00

11.Conclusioni

In considerazioni degli studi effettuati, sulla scorta dei dati forniti, la presente relazione dimostra che i terreni di fondazione di ogni aerogeneratore hanno una buona risposta meccanica in termini di resistenza alle sollecitazioni valutate.

Si prescrive successiva verifica a redazione del progetto esecutivo.

Brindisi, 20/07/2022

